

中广核汕尾后湖海上风电场项目 海洋环境影响报告书

（报批稿）



评价单位：中国科学院南海海洋研究所
建设单位：中广核新能源海上风电（汕尾）有限公司
2019 年 7 月

目 录

1	总论	1
1.1	评价任务由来与评价目的	1
1.1.1	评价任务的由来	1
1.1.2	评价目的	2
1.2	报告书编制依据	3
1.2.1	法律	3
1.2.2	全国性法规	3
1.2.3	地方性法规及规范性文件	4
1.2.4	技术依据	5
1.2.5	基础资料	6
1.3	评价技术方法与技术路线	7
1.3.1	评价内容及评价重点	7
1.3.2	评价范围	8
1.3.3	评价等级	9
1.3.4	评价标准	12
1.4	环境保护目标和环境敏感目标	15
2	工程概况	18
2.1	工程基本情况	18
2.2	建设必要性	20
2.2.1	适应国家新能源政策和发展趋势	20
2.2.2	推动可再生资源开发利用，有利于经济与环境的协调发展	21
2.2.3	适应汕尾地区负荷发展需要，推动汕尾经济发展	21
2.2.4	有利于提高相关产业水平，推进广东海上风电发展	21
2.2.5	开发海洋经济增长点，促进地区经济社会发展	22
2.3	工程平面布置	22
2.3.1	总平面布置	22
2.3.2	风力发电机组平面布置比选	27
2.3.3	海上升压站平面布置	36
2.3.4	35KV 集电海底电缆平面布置	40
2.3.5	220KV 送出海底电缆平面布置	40
2.4	工程结构方案	53
2.4.1	风机基础结构方案比选	53
2.4.2	海上升压站基础结构方案比选	60

2.4.3	灌浆连接设计.....	64
2.4.4	基础防腐蚀设计	64
2.4.5	防冲刷设计.....	64
2.4.6	运维码头	65
2.4.7	工程量.....	65
2.5	工程施工方案.....	67
2.5.1	施工总体布置.....	67
2.5.2	工程施工供应条件	68
2.5.3	工程主体施工.....	69
2.5.4	土石方平衡	88
2.5.5	施工总进度	88
2.6	工程用海情况.....	90
2.6.1	申请用海面积.....	90
2.6.2	申请用海类型和用海方式	90
2.6.3	项目申请用海期限	90
2.6.4	岸线利用情况.....	90
3	工程分析	95
3.1	生产工艺与过程分析.....	95
3.1.1	施工期.....	95
3.1.2	营运期.....	95
3.2	工程各阶段污染环节与环境影响分析	96
3.2.1	施工期污染物排放状况	96
3.2.2	营运期污染物排放状况	101
3.3	工程各阶段非污染环节与环境影响分析	104
3.3.1	工程建设对水动力环境的影响	104
3.3.2	工程建设造成海底地形地貌及冲淤变化	104
3.3.3	工程建设对鸟类的影响	104
3.3.4	通航影响	105
3.3.5	海洋生态和渔业生产.....	105
3.4	环境影响要素和评价因子的分析与识别	105
4	区域自然和社会环境现状.....	107
4.1	区域自然环境现状	107
4.1.1	气候与气象.....	107
4.1.2	灾害性天气.....	111

4.2	区域社会环境现状	113
4.2.1	行政区划	113
4.2.2	经济发展现状	113
4.3	海域资源及开发利用与保护现状	114
4.3.1	海域资源概况	114
4.3.2	海域开发利用情况	123
4.3.3	自然保护区	131
5	环境现状调查与评价	132
5.1	水文动力环境现状调查与评价	132
5.1.1	潮汐	132
5.1.2	实测海流	134
5.1.3	水温及盐度	149
5.1.4	水体含沙量	150
5.1.5	表层沉积物粒度	157
5.1.6	波浪	163
5.2	地形地貌与冲淤环境现状调查与评价	175
5.2.1	地质	175
5.2.2	地形地貌与海床冲淤	207
5.3	海水水质现状调查与评价	217
5.3.1	调查概况	217
5.3.2	海水水质现状及评价	219
5.4	海洋沉积物环境质量现状调查与评价	236
5.4.1	调查概况	236
5.4.2	海洋沉积物质量现状及评价	236
5.5	海洋生物体质量现状调查与评价	241
5.5.1	调查概况	241
5.5.2	海洋生物质量现状及评价	241
5.6	海洋生态环境现状调查与评价	248
5.6.1	调查概况	248
5.6.2	海洋生态 2017 年 11 月调查结果	252
5.6.3	海洋生态 2018 年 3 月调查结果	- 282 -
5.7	主要经济鱼种“三场一通”分布	- 303 -
5.7.1	南海鱼类产卵场	- 303 -
5.7.2	南海北部幼鱼繁育场保护区	- 306 -
5.7.3	渔业品种保护区	- 306 -

5.8	珍稀保护动物.....	- 309 -
5.8.1	海马.....	- 309 -
5.8.2	海龟.....	- 310 -
5.8.3	鲎.....	- 311 -
5.8.4	龙虾.....	- 312 -
5.9	鸟类环境现状调查与评价.....	- 313 -
5.9.1	鸟类多样性调查.....	- 313 -
5.10	水上水下噪声环境现场调查.....	- 318 -
5.10.1	调查概况.....	- 318 -
5.10.2	水上噪声调查.....	320
6	环境影响预测与评价.....	326
6.1	水文动力环境影响预测与评价.....	326
6.1.1	潮流数学模型.....	326
6.1.2	模型的验证和潮流场结果分析.....	- 330 -
6.2	工程前后项目区域冲淤变化分析.....	- 345 -
6.2.1	计算参数的确定.....	- 345 -
6.2.2	计算结果分析.....	- 346 -
6.2.3	风电桩基局部冲刷深度预测.....	- 347 -
6.3	工程项目对水质环境的预测分析.....	- 352 -
6.3.1	水环境的影响因子.....	- 352 -
6.3.2	三维潮流泥沙输运扩散方程.....	- 352 -
6.3.3	悬浮物分布的计算结果及分析.....	- 355 -
6.3.4	悬浮物的影响范围.....	- 358 -
6.4	海洋沉积物环境影响预测与评价.....	- 360 -
6.4.1	风机基础施工对沉积物环境的影响分析.....	- 360 -
6.4.2	电缆铺设施工对沉积物环境的影响分析.....	- 360 -
6.4.3	风电场运行期对沉积物环境的影响分析.....	- 360 -
6.5	噪声环境影响预测与评价.....	- 361 -
6.5.1	海洋生物受水下噪声影响的声压阈值.....	- 361 -
6.5.2	施工噪声影响预测与评价.....	- 362 -
6.5.3	营运期噪声影响预测与评价.....	- 364 -
6.5.4	水下噪声对海洋生物影响的安全距离要求.....	- 371 -
6.6	电磁辐射环境影响分析与评价.....	- 371 -
6.6.1	220kV 海底电缆电磁环境类比分析.....	- 371 -
6.6.2	35kV 海底电缆场内叠加效应分析.....	- 376 -

6.6.3	海上升压站电磁环境类比分析	378 -
6.6.4	电磁辐射对海洋生物影响	379 -
6.6.5	电磁环境影响评价结论	380 -
6.7	海洋生态环境影响分析与评价	381 -
6.7.1	施工期影响分析	381 -
6.7.2	营运期影响分析	382 -
6.7.3	海洋生物资源损失估算	382 -
6.7.4	海洋生态系统服务功能影响.....	386 -
6.8	鸟类及其生境影响分析与评价	391 -
6.8.1	对鸟类栖息地的影响.....	391 -
6.8.2	对长距离迁徙、短距离迁飞通道影响	392 -
6.8.3	对候鸟和重点保护鸟类影响.....	392 -
6.8.4	鸟机相撞风险.....	393 -
6.8.5	光污染影响.....	396 -
6.9	环境敏感区影响分析与评价.....	396 -
6.9.1	碣石湾海马资源市级野生动物自然保护区.....	396 -
6.9.2	“三场一通道”	396 -
6.9.3	养殖区.....	397 -
6.9.4	人工鱼礁	397 -
6.9.5	渔民捕捞	397 -
6.10	通航安全影响分析.....	397 -
6.10.1	工程海域通航环境现状	398 -
6.10.2	项目建设对航道通航影响分析	399 -
6.10.3	对锚地影响分析	400 -
6.10.4	对海上通讯信号的影响分析.....	401 -
6.10.5	附近船舶抛锚对项目海缆埋深的影响分析.....	401 -
7	环境风险分析与评价.....	402 -
7.1	船舶事故溢油危害识别与事故频率估算.....	402 -
7.1.1	船舶事故溢油危害识别	402 -
7.1.2	事故概率估算.....	402 -
7.2	环境风险影响评价.....	404 -
7.2.1	船舶事故溢油环境影响预测.....	404 -
7.2.2	船舶事故溢油环境风险影响后果	422 -
7.2.3	风机和海上升压站倒塌溢油环境风险影响评价	424 -
7.3	环境风险防范对策措施和应急方法.....	425 -

7.3.1	施工期船舶事故溢油防范措施	- 425 -
7.3.2	营运期船舶事故溢油防范措施	- 426 -
7.3.3	船舶事故溢油环境风险应急措施	- 426 -
7.3.4	风机倒塌应急措施	- 433 -
8	清洁生产与污染防治对策措施	- 435 -
8.1	清洁生产水平分析	- 435 -
8.1.1	清洁能源利用	- 435 -
8.1.2	节约能源	- 436 -
8.1.3	污染物减排	- 436 -
8.1.4	风机选型	- 437 -
8.2	环境保护与污染防治对策措施	- 439 -
8.2.1	施工期环境保护与污染防治对策措施	- 439 -
8.2.2	营运期环境保护与污染防治对策措施	- 440 -
8.2.3	海洋生态环境保护对策措施	- 440 -
8.2.4	鸟类及其生态保护措施	- 441 -
8.2.5	输电电缆保护措施	- 442 -
8.2.6	环保措施技术、经济可行性分析	- 442 -
8.3	工程生态用海方案	- 446 -
8.3.1	用海布局优化	- 446 -
8.3.2	污染排放与控制	- 447 -
8.3.3	生态修复方案	- 447 -
8.3.4	跟踪监测及监测能力建设	- 450 -
8.4	污染物总量控制分析	- 451 -
8.4.1	总量控制原则	- 451 -
8.4.2	污染物排放总量控制	- 451 -
9	环境经济损益分析	- 453 -
9.1	环境保护设施和措施投入	- 453 -
9.2	节能减排效益	- 454 -
9.3	社会效益	- 454 -
9.4	环境经济损益分析	- 455 -
10	海洋工程环境可行性	- 456 -
10.1	海洋功能区划和海洋环境保护规划的符合性	- 456 -
10.1.1	《全国海洋主体功能区规划》（2015）	- 456 -
10.1.2	《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》（2012 年）	- 456 -

10.1.3	《广东省海洋生态红线》(2017)	462
10.1.4	《广东省海洋主体功能区划》	- 468 -
10.1.5	《广东省海洋生态环境保护规划(2017-2020年)》	- 468 -
10.1.6	《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》(2017)	- 469 -
10.2	区域和行业规划的符合性	- 470 -
10.2.1	《能源发展“十三五”规划》(2016)	- 470 -
10.2.2	《可再生能源中长期发展规划》(2006-2020)	- 471 -
10.2.3	《可再生能源发展“十三五”规划》(2016)	- 472 -
10.2.4	《广东省能源发展“十三五”规划》	- 472 -
10.2.5	《广东省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	- 473 -
10.2.6	《广东省海上风电发展规划(2017-2030年)》	- 474 -
10.2.7	《汕尾市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》	- 475 -
10.2.8	《汕尾港口总体规划》	- 475 -
10.3	工程选址与布置合理性	- 476 -
10.3.1	工程选址合理性	- 476 -
10.3.2	工程平面布置合理性	- 477 -
10.4	建设项目环境影响可接受性	- 478 -
11	环境管理与环境监测	- 480 -
11.1	环境保护管理计划	- 480 -
11.1.1	施工单位环境管理机构设置	- 480 -
11.1.2	建设单位环境管理机构设置	- 481 -
11.1.3	环境监理的主要工作内容	- 482 -
11.2	环境监测计划	- 483 -
11.2.1	施工期监测计划	- 483 -
11.2.2	运营期监测计划	- 486 -
11.2.3	其它有关事项	- 489 -
11.3	环境保护规章制度及监督实施	- 491 -
11.3.1	施工期主要环境保护规章制度	- 491 -
11.3.2	运营期主要环境保护规章制度	- 491 -
11.3.3	环境保护设施的实施和监督	- 491 -
11.4	环保验收清单	- 491 -
12	环境影响评价结论及建议	- 493 -
12.1	工程分析结论	- 493 -
12.2	环境现状分析与评价结论	- 494 -

12.2.1	海水水质环境.....	- 494 -
12.2.2	海洋沉积物环境	- 494 -
12.2.3	海洋生物质量.....	- 494 -
12.2.4	海洋生态环境质量	- 495 -
12.2.5	鸟类现状调查结果	- 495 -
12.2.6	噪声现状调查结果	- 495 -
12.3	环境影响预测分析与评价结论	- 496 -
12.3.1	水文动力环境影响预测与评价	- 496 -
12.3.2	冲淤环境影响预测与评价	- 497 -
12.3.3	施工期悬浮泥沙扩散影响预测与评价	- 497 -
12.3.4	沉积物环境影响分析与评价.....	- 497 -
12.3.5	海洋生态环境影响分析与评价	- 498 -
12.3.6	鸟类影响分析与评价.....	- 498 -
12.3.7	水下噪声对海洋生物资源影响预测与评价.....	- 498 -
12.3.8	电磁环境影响分析与评价	- 499 -
12.3.9	敏感区和保护目标影响分析与评价.....	- 500 -
12.3.10	通航环境影响分析与评价	- 501 -
12.4	环境风险分析与评价结论	- 502 -
12.5	区域环境影响、社会经济环境影响综合分析与评价结论.....	- 502 -
12.6	建设项目环境可行性结论	- 503 -
12.7	其他意见和建议	- 504 -
附录		- 505 -
附录 I	调查海域浮游植物名录.....	- 505 -
(1)	浮游植物 2017 年 11 月	- 505 -
(2)	浮游植物 2018 年 3 月	- 507 -
附录 II	调查海域浮游动物名录.....	- 509 -
(1)	浮游动物 2017 年 11 月	- 509 -
(2)	浮游动物 2018 年 3 月	- 512 -
附录 III	调查海域大型底栖生物名录.....	- 514 -
(1)	大型低栖生物 2017 年 11 月.....	- 514 -
(2)	大型低栖生物 2018 年 3 月	- 515 -
附录 IV	调查海域游泳动物调查种类名录	- 516 -
(1)	游泳动物 2017 年 11 月	- 516 -
(2)	游泳动物 2018 年 3 月	- 519 -
附录 V	调查海域鸟类调查种类名录	- 523 -

1 总论

1.1 评价任务由来与评价目的

1.1.1 评价任务的由来

随着全球能源供应持续紧张,世界各国都将发展新能源产业作为缓解能源供需矛盾的重要手段,其中风力发电相对其他新能源而言较为成熟,引起了世界各国的重视。随着陆上风力资源的大规模开发利用,海上风电因其具有风资源持续稳定、风速高、发电量大、不占用土地资源等优点,且海上风电靠近经济发达地区,距离电力负荷中心近,风电并网和消纳容易,得到了世界各国的青睐。近十年来,全球风力发电增长迅猛。预计 2020 年全球风电装机容量将达到 6 亿千瓦。

中国近年的风力发电发展速度远超世界其它风电大国,2010 年,中国新增风电装机容量 1600 万千瓦,装机总量已达到 4182.7 万千瓦,首次超过美国,位居世界首位。根据《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》(国海规范〔2016〕6 号)文件精神,海上风电是我国新兴的可再生能源产业,发展海上风电对于促进沿海地区能源结构调整优化和转变经济发展方式具有重要意义。依据《广东省能源发展“十三五”规划(2016-2020)》,要打造沿海清洁能源产业带、发展低碳绿色能源,加快珠海、阳江、湛江、汕头等近海风电场开发建设,逐步推进海上风电规模化发展。

根据《广东省海上风电发展规划(2017-2030)》,到 2020 年底,建成投产海上风电装机容量 100 万千瓦以上,初步建成海上风电研发、装备制造和运营维护基地,海上风电设备研发、制造和服务水平达到国内领先水平。依据海上风电场选址布局原则,根据风能资源分布情况,综合考虑建设条件、产业基地配套和项目经济性等因素,确定广东省近海浅水区(35 米水深以内)海上风电场址 15 个,装机容量 955 万千瓦,其中粤东海域 415 万千瓦,珠三角海域 150 万千瓦,粤西海域 390 万千瓦;近海深水区(35-45 米水深)场址 3 个,装机容量 750 万千瓦,全部在粤东海域。

本项目选址位于《广东省海上风电发展规划(2017-2030)》规划中的汕尾

甲湖海上风电场范围内，项目总装机容量 500MW，规划海域范围 77.73km²，风电场风机外包络范围 65.29km²，安装单机容量为 5.5MW 的风力发电机组 91 台，220kV 海上升压站 2 座。风电场分为东、西两个区域，西侧区域风电机组通过 8 回路 35kV 集电海底电缆，连接到西侧区域规模为 200MW 的 220kV 海上升压站，经过 1 回路 220kV 海底电缆线路送到沿岸登陆；东侧区域风电机组通过 11 回路 35kV 集电海底电缆，连接到东侧区域规模为 300MW 的 220kV 海上升压站，经过 2 回路 220kV 海底电缆线路送到沿岸登陆；登陆点位于碣石镇东南田尾山陆丰核电项目东北侧约 4.5km 处，登陆点附近新建陆上集控中心，海底电缆登陆后经新建陆上集控中心，就近送至变电网系统。本项目于 2017 年 6 月取得汕尾市发展和改革局《关于对汕尾后湖风电场一期工程 300MW 调整为 500MW 并开展前期工作事项的复函》。2018 年 9 月 13 日，中广核风电有限公司与广东宝丽华新能源股份有限公司签署合作意见书，双方共同出资设立项目公司【中广核新能源海上风电（汕尾）有限公司】，联合开发汕尾后湖海上风电场（500MW）项目（附件 6）。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《建设项目环境保护管理条例》等有关法律法规的规定，对新建、扩建和改建的项目必须进行环境影响评价，以了解建设项目对海洋环境的影响以及应采取的环境保护措施和管理要求。受中广核新能源海上风电（汕尾）有限公司委托，中国科学院南海海洋研究所承担了该工程项目的海洋环境影响评价任务。接到委托后，在认真研究建设单位提供的有关资料，并收集评价区域已有资料的基础上，对拟建工程进行了现场踏勘和野外调查，并在此基础上完成了《中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书》的编制工作。

1.1.2 评价目的

本次评价将主要从保护海洋环境、维护生态可持续发展的原则出发，根据项目附近海域的环境特点和环境质量控制目标，对各类施工行为和建成后带来的环境影响进行全面、科学的评价，以期达到如下目的：

（1）通过相关资料的收集和海洋环境质量现状调查掌握拟建项目所在区域的环境质量现状和自然、社会环境基本情况；

(2) 通过工程分析，查清建设项目可能带来的海洋环境影响，以及主要污染源、污染物及主要污染物的排放量；

(3) 对拟建项目的环境影响进行预测和评价，提出切实可行的环保措施，反馈于项目设计与施工管理，使项目对环境造成的不利影响降至最小程度，达到项目建设与环境保护协调发展的目的；

(4) 从环境保护角度出发，对项目可行性以及应采取的环保对策做出结论。

1.2 报告书编制依据

1.2.1 法律

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》(2014.4)；
- (2) 《中华人民共和国海洋环境保护法》(2016.11)；
- (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》(2018.12)；
- (4) 《中华人民共和国海域使用管理法》(2002.1)；
- (5) 《中华人民共和国噪声污染防治法》(1996.10)；
- (6) 《中华人民共和国大气污染防治法》(2018.10)；
- (7) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2013.6)；
- (8) 《中华人民共和国水污染防治法》(2017.6)；
- (9) 《中华人民共和国清洁生产促进法》(2012.2)；
- (10) 《中华人民共和国渔业法》(2013.12)；
- (11) 《中华人民共和国野生动物保护法》(2018.10)；
- (12) 《中华人民共和国海上交通安全法》(1984.1)；
- (13) 《中华人民共和国可再生能源法》(2009.12)；。

1.2.2 全国性法规

- (1) 《建设项目环境保护管理条例》(国务院，2017.7)；

- (2) 《中华人民共和国海洋倾废管理条例》(国务院, 2017.12);
- (3) 《中华人民共和国自然保护区条例》(国务院, 2017.10);
- (4) 《防治船舶污染海洋环境管理条例》(国务院, 2017.3);
- (5) 《中华人民共和国水生动植物自然保护区管理办法》(农业部 1997.10);
- (6) 《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》(农业部, 1993.10);
- (7) 《中华人民共和国水污染防治法实施细则》(国务院, 2000.3);
- (8) 《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, 2006.11);
- (9) 《全国生态环境保护纲要》(国家环境保护总局, 2000.12);
- (10) 《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》环发[2012]77号;
- (11) 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);
- (12) 《中国海洋渔业水域图(第一批)》(农业部公告第 189 号), 2002.2.8;
- (13) 《海底电缆管道保护规定》(国土资源部令第 24 号, 2003.12);
- (14) 《铺设海底电缆管道管理规定》(国务院令第 27 号, 1989.1);
- (15) 《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》(国家海洋局, 1992.8);
- (16) 《海上风电开发建设管理办法》(国能新能[2016]394号);
- (17) 《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》(国海规范[2016]6号);
- (18) 《国务院关于印发全国海洋主体功能区规划的通知》(国发〔2015〕42号)。

1.2.3 地方性法规及规范性文件

- (1) 《广东省实施<中华人民共和国海洋环境保护法>办法》(2018.11);

- (2) 《广东省环境保护条例》(2015.7);
- (3) 《广东省海域使用管理条例》(2007);
- (4) 《广东省固体废弃物污染环境防治条例》(2012.1);
- (5) 《广东省渔业管理条例》(2015.12);
- (6) 《广东省野生动物保护管理条例》(2012.7)。
- (7) 《广东省海洋功能区划(2011-2020)》;
- (8) 《广东省海洋生态环境保护规划(2017-2020)》;
- (9) 《广东省海上风电场工程规划》, 2012年8月;
- (10) 《广东省海洋生态红线(2016-2020年)》;
- (11) 《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》2017年12月;
- (12) 《广东省海洋主体功能区划》, 2017年12月。

1.2.4 技术依据

- (1) 《海洋工程环境影响评价技术导则》GB/T 19485-2014;
- (2) 《环境影响评价技术导则 生态影响》HJ 19-2011;
- (3) 《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169—2018);
- (4) 《海上风电工程环境影响评价技术规范》, (国家海洋局, 2014);
- (5) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》(国家海洋局, 2002.4);
- (6) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007);
- (7) 广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB44/26-2001);
- (8) 《海水水质标准》(GB3097-1997);
- (9) 《海洋沉积物质量》(GB18668-2002);
- (10) 《海洋生物质量》(GB 18421-2001);
- (11) 《海洋调查规范》GB/T12763-2007;

- (12) 《海洋监测规范》 GB 17378-2007;
- (13) 《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018);
- (14) 《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》(JTS/T231-2-2010);
- (15) 《海洋生态损害评估技术指南(试行)》(国家海洋局, 2013.8);
- (16) 《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T28058-2011)。

1.2.5 基础资料

- (1) 《汕尾后湖海上风电场(500MW)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, 2018年2月);
- (2) 项目实测水深地形图, 中交第四航务工程勘察设计研究院有限公司, 2018年1月;
- (3) 《汕尾后湖海上风电场项目岩土工程勘察报告(工程可行性研究阶段)》, 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2018年5月。
- (4) 项目水文观测资料, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 2018年1月;
- (5) 《汕尾后湖海上风电场(500MW)通航安全影响研究报告》(广东省航海学会, 2017年11月);
- (6) 《汕尾后湖海上风电场(500MW)项目通航安全及船舶操纵模拟试验研究》(武汉理工大学航运学院, 2018年3月);
- (7) 《汕尾后湖海上风电场(500MW)项目鸟类环境影响评价》(广东森霖造绿有限公司, 2018年3月);
- (8) 《汕尾后湖海上风电场(500MW)项目水下噪声对海洋生物影响专题研究报告》(中国水产科学研究院南海水产研究所, 2018年4月);
- (9) 《汕尾后湖海上风电场(500MW)项目海底电缆路由选择依据说明材料(报批稿)》(中国科学院南海海洋研究所, 2018年05月);
- (10) 《汕尾后湖海上风电场(500MW)项目海域使用论证报告(报批稿)》(中

国科学院南海海洋研究所，2018 年 8 月)；

1.3 评价技术方法与技术路线

1.3.1 评价内容及评价重点

1.3.1.1 评价内容

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T 19485-2014)，海洋工程建设项目的环境影响评价内容，依照建设项目的具体类型及其对海洋环境可能产生的影响按照表 1 确定（见表 1-1）。

表1-1 海洋工程建设项目各单项环境影响评价内容（引自《海洋工程环境影响评价技术导则 GB/T19485-2014》）

建设项目类型和内容	环境影响评价内容						
	海水水质环境	海洋沉积物环境	海洋生态和生物资源环境	海洋地形地貌与冲淤环境	海洋水文动力环境	环境风险	其他评价内容
风力发电及其输送设施及网络等工程	★	★	★	★	★	★	☆
★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；其他评价内容中包括放射性、电磁辐射热污染、大气、噪声、固废、景观、人文遗迹等评价内容。							

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014），海上风电项目海洋环境影响评价内容，依照海上风电项目具体构成及其对海洋环境可能产生的影响，可按表 1 确定（见表 1-2）。

表1-2 海上风电项目各环境要素环境影响评价内容（引自《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014））

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	★	★	★			☆	☆		☆	★
升压变电站工程	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	☆	★	★
填海造地工程	★	★	★	☆		★	★	☆		★
★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。										
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。										

因此，本工程项目海洋环境影响评价的内容主要为海水水质环境、海洋沉积

物环境、海洋生物生态环境、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境、鸟类生态环境、声环境、电磁环境及事故环境风险等。

1.3.1.2 评价重点

根据工程特征和环境特点，确定本次评价重点为：

- (1) 工程建设对水动力环境的影响预测与评价；
- (2) 工程建设对地形地貌与冲淤环境的影响预测与评价；
- (3) 施工期悬浮泥沙对海域水质环境的影响预测与评价；
- (4) 工程建设对海洋生态环境的影响分析与评价；
- (5) 营运期水下噪声环境的影响预测与评价；
- (6) 营运期电磁辐射环境的影响预测与评价；
- (7) 工程建设对鸟类的影响分析与评价；
- (8) 工程建设对周围环境敏感区和环境保护目标的影响分析与评价；
- (9) 工程建设的环境事故风险预测与评价；

1.3.2 评价范围

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T 19485-2014)，评价范围以本项目可能影响到的范围为主，主要根据该工程特点、影响特征以及承受载体的不同，确定本项目评价范围为工程区所处的碣石镇、湖东镇附近海域，评价范围四角坐标为：115° 44'57.4986"E~116° 21'4.444"E，22° 56'16.539"N~22° 30'58.453"N，总面积约为 2315.14km²，详见图 1-1 蓝色范围。

根据国家海洋局《海上风电工程环境影响评价技术规范》(2014)要求，水下声环境影响评价范围与海洋生态评价范围一致；水面上声环境影响评价范围与水下声环境影响评价范围一致；电磁环境评价范围为升压站站界外及电缆两侧各外扩 40m(水平)范围。



图1-1 项目评价范围图

1.3.3 评价等级

依据《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T 19485-2014)中的各单项评价因子评价等级的判定依据,确定本项目海水水质环境、海洋生态和生物资源环境、海洋水文动力环境的评价等级均为2级,海洋沉积物环境评价等级为2级。评价等级依据见表1-3。

依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》(2014),海上风电项目鸟类生态和水下声环境影响评价工作不划定具体评价等级;海水水质环境和海洋生态和生物资源环境的评价等级为1级;海洋沉积物环境和海洋水文动力环境的评价等级为2级;海洋地形地貌与冲淤环境评价等级为1级;海上升压站为户内式,界定电磁环境评价等级为3级。评价等级依据见表1-4、表1-5和表1-6。

根据上述分析,采用“就高不就低”的原则,本项目海洋环境影响评价工作的评价等级为:水文动力2级,水质1级,沉积物2级,海洋生态环境1级,电磁3级,海洋地形地貌与冲淤1级。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169-2018)对本项目风

险等级进行确定。本项目存在的风险物质为油类物质。施工期作业船舶在 500t 以下至 10000t 不等；营运期不存在大型船舶通航条件，附近通航或穿越风电场的主要是小型船舶和渔船，吨位多在 1500 吨以下。油箱储存油量按照载重的 2% 计算，单船油储量在 200t 以下。营运期海上升压站带油设备有主变和柴油机，两台主变带油量不超过 100t，柴油机带油量不超过 10t，海上升压站总带油量不超过 110t。风机带油设备为变压器，每台变压器带油量不超过 5t。根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T 169-2018），风险物质油类的临界量为 2500t，本项目涉及的船机和设备带油量均没有超过临界量，环境风险潜势为 I，可开展简单的风险分析。

表1-3 海洋水文动力、海洋水质、海洋沉积物和海洋生态环境影响评价等级判据
（引自《海洋工程环境影响评价技术导则 GB/T19485-2014》）

海洋工程分类	工程类型和工程内容	工程规模	海域特征和生态环境类型	单项海洋环境影响评价等级			
				水文动力环境	水质环境	沉积物环境	生态和生物资源环境
海洋能源开发利用类工程	海洋风力发电及其输送设施及网络工程	装机容量 500MW	其他海域	2	2	2	2
海底电（光）缆类工程	海上和海底电（光）缆工程	总长度 213.69km	其他海域	2	2	2	1

表1-4 海上风电项目海洋水文动力、水质、沉积物、生态环境影响评价等级判据
（引自《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014））

海上风电项目工程类型	工程规模	工程所在海域特征和生态环境类型	海洋水环境影响评价等级			海洋生态
			水文动力环境	水质环境	沉积物环境	
海上风电机组工程	装机容量 ≥300MW	海洋生态环境敏感区	1	1	1	1
		近岸海域且非海洋生态环境敏感区	2	1	2	1
		其它海域	2	2	2	2
海底电缆工程	长度 ≥100km	海洋生态环境敏感区	1	1	1	1
		近岸海域且非海洋生态环境敏感区	2	2	2	1
		其它海域	2	2	2	1
	20km ≤ 长度 < 100km	海洋生态环境敏感区	2	1	2	1
		近岸海域且非海洋生态环境敏感区	3	2	3	2

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

	5k≤ 长度< 20km	其它海域	3	2	3	2
		海洋生态敏感区	2	2	2	1
		近岸海域且非海洋生态敏感区	3	2	3	2
		其它海域	3	3	3	2
海上风电工程中的填海工程的评价工作等级按照《围填海工程环境影响评价技术规范》确定。						

表1-5 海上风电项目海洋地形地貌与冲淤环境影响评价等级判据
(引自《海上风电工程环境影响评价技术规范》(2014))

评价等级	工 程 类 型
1	海上风电项目所有工程类型总占海面积超过 $50 \times 10^4 \text{m}^2$ 以上的或严重改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生较严重冲刷、淤积的工程项目。
2	海上风电项目所有工程类型总占海面积在 $(50 \sim 30) \times 10^4 \text{m}^2$ 的或较严重改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生冲刷、淤积的工程项目。
3	海上风电项目所有工程类型总占海面积在 $(30 \sim 20) \times 10^4 \text{m}^2$ 的或有改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生较轻冲刷、淤积的工程项目。

表1-6 海上风电项目电磁环境影响评价等级判据
(引自《海上风电工程环境影响评价技术规范》(2014))

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价工作等级
交流电	110kV	输电线路	海底电缆	三级
			边导线投影外 10m 范围内有电磁环境敏感目标的架空输电线路	二级
			边导线投影外 10m 范围内无电磁环境敏感目标的架空输电线路	三级
		升压变电站	户外式	二级
			户内式、地下式	三级
	220~330 kV	输电线路	海底电缆	三级
			边导线投影外 15m 范围内有电磁环境敏感目标的架空输电线路	二级
			边导线投影外 15m 范围内无电磁环境敏感目标的架空输电线路	三级
		升压变电站	户外式	二级
			户内式、地下式	三级
	500 kV 及以上	输电线路	海底电缆	二级
			边导线投影外 20m 范围内有电磁环境敏感目标的架空输电线路	一级
			边导线投影外 20m 范围内无电磁环境敏感目标的架空输电线路	二级
		升压变电站	户外式	一级
			户内式、地下式	二级
直流电	+400kV 及以上	--	--	一级
	其它	--	--	二级

1.3.4 评价标准

1.3.4.1 环境质量标准

本次评价采用的环境质量标准：

- [1] 《海水水质标准》 GB3097-1997；
- [2] 《海洋沉积物质量》 GB18668-2002；
- [3] 《海洋生物质量》 GB18421-2001；
- [4] 《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》；
- [5] 《第二次全国海洋污染基线调查技术规程（第二分册）》。

根据《广东省海洋功能区划(2011-2020)》，结合本工程的特点和项目所属海域实际情况，位于珠海-潮州近海农渔业区和附近海洋保护区的站位，海水水质评价执行《海水水质标准》(GB3097-1997)的第一类标准，位于碣石湾农渔业区和田尾山-石碑山农渔业区的站位，海水水质评价执行《海水水质标准》(GB3097-1997)的第二类标准（表 1-7）；沉积物质量评价执行《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)中的第一类标准（表 1-8）；海洋生物中贝类质量评价执行《海洋生物质量》(GB18421-2001)中的第一类标准（表 1-9）；海洋生物中的鱼类、甲壳类和软体类生物质量评价采用《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中的标准，其中的石油烃采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中的标准要求（表 1-9）。

表1-7 海水水质标准（GB3097-1977）（mg/L，除 pH 外）

污染物名称	第一类	第二类	第三类	第四类
SS	人为增加的量 ≤10	人为增加的量 ≤10	人为增加的量 ≤100	人为增加的量 ≤150
pH	7.8~8.5		6.8~8.8	
DO>	6	5	4	3
COD≤	2	3	4	5
无机氮≤	0.20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐≤	0.015	0.030	0.030	0.045
总 Hg≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
Cd≤	0.001	0.005	0.01	0.01
Pb≤	0.001	0.005	0.010	0.050

Cu≤	0.005	0.010	0.050	0.050
Zn≤	0.020	0.050	0.10	0.50
As	0.02	0.03	0.05	0.05
硫化物	0.02	0.05	0.1	0.25
石油类≤	0.05	0.05	0.30	0.50

第一类 适用于海洋渔业海域，海上自然保护区和珍稀濒危生物自然保护区；

第二类 适用于水产养殖区，海水浴场，人体直接接触海水的海上运动或娱乐区，以及与人类食用直接有关的工业用水区；

第三类 适用于一般工业用水区，滨海风景旅游区；

第四类 适用于海洋港口海域，海洋开发作业区。

表1-8 沉积物质量标准（GB18668-2002）（ $\times 10^{-6}$ ，有机质为 $\times 10^{-2}$ ）

污染因子	石油类	Pb	Zn	Cu	Cd	Hg	As	Cr	有机质	硫化物
一类标准 ≤	500.0	60.0	150.0	35.0	0.50	0.20	20	80	2.0	300.0
二类标准 ≤	1000.0	130.0	350.0	100.0	1.50	0.50	65	150	3.0	500.0
三类标准 ≤	1500.0	250.0	600.0	200.0	5.00	1.00	93	270	4.0	600.0

第一类 适用于海洋渔业海域，海洋自然保护区，珍稀与濒危生物自然保护区，海水养殖区，海水浴场，人体直接接触沉积物的海上运动或娱乐区，与人类食用直接有关的工业用水区；

第二类 适用于一般工业用水区，滨海风景旅游区；

第三类 适用于海洋港口海域，特殊用途的海洋开发作业区。

表1-9 海洋生物体质量评价标准（湿重， $\times 10^{-6}$ ）

标准名称		生物类别	铜	铅	镉	锌	总汞	铬	砷	石油烃
海洋生物质量 (GB18421-2001)	一类	贝类	10	0.1	0.2	20	0.05	0.5	1	15
	二类		25	2.0	2.0	50	0.10	2.0	5	50
	三类		50	6.0	5.0	100	0.30	6.0	8	80
全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程 其中石油烃采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）标准		鱼类	20	2.0	0.6	40	0.3	1.5	5	20
		甲壳类	100	2.0	2.0	150	0.2	1.5	8	20
		软体类	100	10.0	5.5	250	0.3	5.5	10	20

第一类 适用于海洋渔业海域，海水养殖区，海洋自然保护区，与人类食用直接有关的工业用水区；

第二类 适用于一般工业用水区，滨海风景旅游区；

第三类 适用于海洋港口海域和海洋开发作业区。

1.3.4.2 污染物排放标准

(1) 水污染物

水污染物排放执行《广东省水污染物排放限值》（DB 44/26-2001）中一级标准（表 1-10）。

表1-10 水污染物排放标准

污染物种类	一级标准	二级标准	三级标准
pH	6-9	6-9	6-9
CODCr≤	90	mg/L	110
BOD5≤	20	mg/L	30
SS≤	60	mg/L	100
石油类≤	5.0	mg/L	8.0
TP≤	0.5mg/L	1.0	mg/L
氨氮≤	10	mg/L	15
动植物油≤	10	mg/L	15

(2) 船舶污染物

施工期船舶污染物排放执行《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》(国务院令第 561 号)要求,船舶的含油污水、生活污水和船舶垃圾定期接收至岸上达标处理排放,不在工程海域排放。

(3) 水下噪声

采用美国国家海洋渔业局现行采用的(过渡性)保护门限值见表 1-11。

表1-11 美国对海洋哺乳动物和鱼类的水下噪声(过渡性)门限值

海洋哺乳动物类		
门限等级	门限定义	门限值
A 级 (>180dB 危险级)	基于暂时性听力阈值提升(TTS)和保守估计的永久性听力阈值提升(PTS)伤害门限	鳍足类: 190dB RMS 鲸豚类: 180dB RMS
B 级 (120~180dB,警告级)	脉冲式噪声(如冲击打桩)可对动物产生行为妨害的门限	160dB RMS
B 级 (<120dB, 安全级)	非脉冲式噪声(如钻孔)可对动物产生行为妨害的门限	120dB RMS
鱼类		
伤害门限值	声压峰值(适用于所有鱼): 206dB	累积暴露级(Cumulative SEL): 对质量大于等于 2 克的鱼体: 187dB 对质量小于 2 克的鱼体: 183dB

其中声源级高于 180 dB 的水下噪声为危险级,可能会对海豚的听觉系统造成伤害,主要有打桩噪声和水下爆破噪声;声源级在 120~180 dB 范围的水下噪声为警告级,可能会对海豚行为产生影响,主要有施工船舶噪声以及钻孔噪声和疏浚噪声;声源级低于 120 dB 的水下噪声强度基本接近海洋环境噪声,因此评定为安全级。

(4) 电磁辐射

工频电磁场参照《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)中表 1 公众暴露控制限制,即电场强度 4kV/m,公众暴露控制限值 0.1mT 作为磁感应强度评价标准。

根据《高压交流架空送电线无线电干扰限值》(GB 15707-1995)要求,输电线距边相导线投影 20m 距离处、测试频率为 0.5MHz 的晴天条件下,无线电干扰值不大于 55dB($\mu\text{V}/\text{m}$);变电所外距围墙 20m 处、测试频率为 0.5MHz 的晴天条件下,无线电干扰值不大于 55dB($\mu\text{V}/\text{m}$)。

1.4 环境保护目标和环境敏感目标

项目评价范围内的海洋环境敏感区和环境保护目标见表 1-12 和图 1-2。

表1-12 环境敏感区和环境保护目标

环境敏感区/目标		图中序号/范围	方位/距离 (km)	保护目标
围塘养殖	湖东林场对虾养殖	1	登陆点东北/4.74	海水水质
	滴水村虾苗和成虾围塘养殖	2	登陆点东北/1.50	
	陆丰鹏晟种养有限公司虾苗和成虾围塘养殖	3	登陆点西南/1.03	
浅海养殖	陆丰市碣石鸿腾海产种苗养殖有限公司鲍鱼种苗及成品浅海养殖场	4	登陆点西南/4.11	
红线生态	湖东港砂质岸线	5/湖东港向海一侧 3.5 海里	登陆点穿越	自然岸线及沙滩
海洋功能区	田尾山-石碑山农渔业区	6/田尾山石碑山沿岸海域	路由穿越	二类水质
	珠海-潮州近海农渔业区	7/珠海至潮州近海海域	风电场占用、路由穿越	一类水质
三场一通	金钱鱼产卵场	海南岛到汕尾 40~80 米	风电场南侧外海	产卵期3月~8月
	南海北部幼鱼繁育场保护区	南海北部及北部湾沿岸 40 m 等深线水域	风电场占用	禁止在保护区内进行底拖网作业
	南海区幼鱼、幼虾保护区	广东省沿岸 20 米水深以内的海域	风电场占用	幼鱼幼虾, 3 月 1 日至 5 月 31 日
航道	粤东沿海小船航行的习惯航路	9/沿岸	风电场北侧沿海, 登陆海缆穿越	水深、通航海缆安全
	中小型船舶推荐航路	10	风电场南侧/1.1	
	大星角甲子航道	11	风电场北侧/3.1, 登陆海缆穿越	
锚地	甲湖电厂 1#锚地	12	风电场区之间/2.3	水深和锚泊风机安全
	甲湖电厂 2#锚地	13	风电场区之间/2.2	
其他	湖东三洲澳人工鱼礁区	14	登陆海缆东/1.14	生态环境
	碣石湾海马资源市级保护区	8	风电场南侧/10	三斑海马、日本海马等及其栖息地

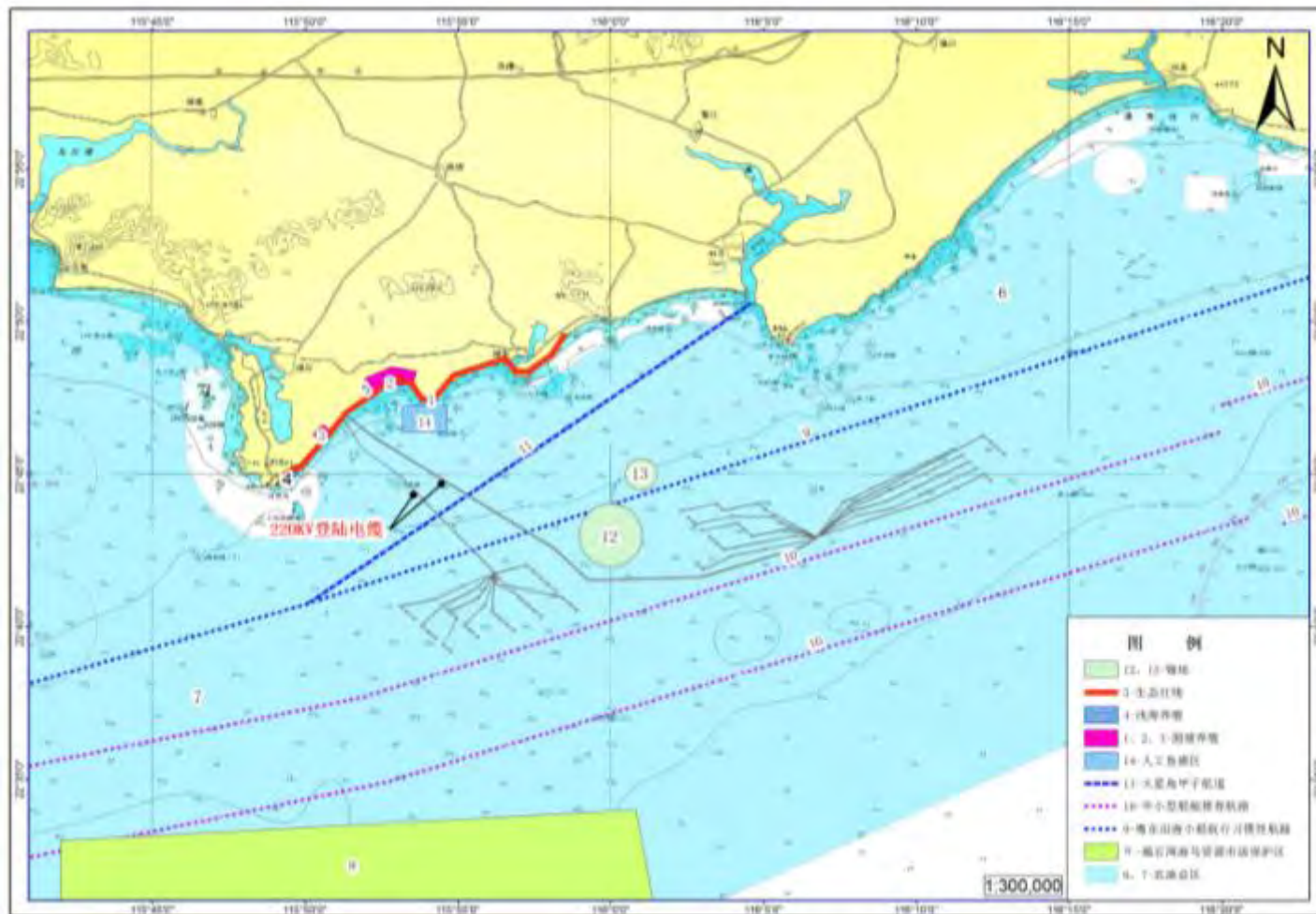


图1-2 环境敏感区和环境保护目标分布图

2 工程概况

2.1 工程基本情况

项目名称：中广核汕尾后湖海上风电场项目

项目性质：新建大型生产性项目

投资主体：中广核新能源海上风电（汕尾）有限公司

投资规模：总投资 842185 万元

地理位置：场址位于广东省汕尾市陆丰市湖东镇至揭阳市惠来神泉镇之间、汕尾陆丰湖东镇后湖南侧海域。登陆点位于田尾山陆丰核电项目东北侧约 4.5km 处。风电场位于水深 23m~28m 海区，西侧风电场距离岸边最近距离约 10.2km，东侧风电场距离岸边最近距离约 11km。工程场址及 220kV 主电缆路由拐点坐标见表 2-1，地理位置示意图见图 2-1。

建设规模：项目总装机容量 500MW，规划海域范围 77.73km²，风机外包络范围 65.29km²，安装单机容量为 5.5MW 的风力发电机组 91 台，220kV 海上升压站 2 座。风电场分为东、西两个区域，西侧区域风电机组通过 8 回路 35kV 集电海底电缆，连接到西侧区域规模为 200MW 的 220kV 海上升压站，经过 1 回路 220kV 海底电缆线路送到沿岸登陆；东侧区域风电机组通过 11 回路 35kV 集电海底电缆，连接到东侧区域规模为 300MW 的 220kV 海上升压站，经过 2 回路 220kV 海底电缆线路送到沿岸登陆；登陆点位于碣石镇东南田尾山陆丰核电项目东北侧约 4.5km 处，登陆点附近新建陆上集控中心，海底电缆登陆后经新建陆上集控中心，就近送至变电网系统。风机基础采用四桩导管架基础，其中 31 台嵌岩基础，60 台非嵌岩基础；海上升压站采用四桩导管架和钢管桩基础；35kV 集电海底电缆总长 140.54km，220kV 送出海底电缆长 73.15km。

用海情况：总申请用海面积为 624.4846 公顷。

表2-1 工程场址及 220kV 主电缆路由拐点坐标

风电场	序号	北纬 (°)	东经 (°)
		(CGCS2000 坐标)	
西侧风电场 200MW	1	22° 40' 40.80"	115° 53' 02.40"
	2	22° 39' 08.96"	115° 54' 44.56"
	3	22° 40' 33.93"	115° 59' 14.66"
	4	22° 42' 11.10"	115° 57' 28.29"
东侧风电场 300MW	1	22° 43' 46.44"	116° 02' 06.97"
	2	22° 41' 44.31"	116° 02' 55.82"
	3	22° 44' 44.53"	116° 12' 29.66"
	4	22° 45' 37.74"	116° 12' 58.76"
	5	22° 46' 22.41"	116° 12' 08.57"
	6	22° 43' 37.24"	116° 06' 28.80"
	7	22° 44' 20.40"	116° 03' 46.80"
路由	起点-拐点-终点	北纬 (°)	东经 (°)
		(CGCS2000 坐标)	
西区路由 L1 N (12.77km)	A、西区升压站	22°41'45.60"	115°56'13.20"
	C、拐点	22°44'54.16"	115°53'08.81"
	D、拐点	22°45'52.58"	115°51'51.19"
	N1、登陆点	22°46'51.00"	115°51'13.4"
东区路由 L2 N (60.38km)	B、东区升压站	22°42'57.6"	116°06'43.2"
	H1 (增加拐点)	22°42'37.53"	116°06'17.05"
	H2 (增加拐点)	22°41'37.83"	116°02'57.8"
	H3 (增加拐点)	22°41'31.52"	115°59'16.46"
	H、拐点	22°42'33.8"	115°58'10.5"
	G、拐点	22°46'12.08"	115°52'16.36"
	N2、登陆点	22°46'56.4"	115°51'19.9"



图2-1 项目地理位置示意图

2.2 建设必要性

2.2.1 适应国家新能源政策和发展趋势

近十年来，全球风力发电增长迅猛。2015 年巴黎气候大会，我国向国际社会承诺到 2030 年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现，2030 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%~65%，非化石能源占一次能源消费比重达到 20%左右。因风电是发电成本最接近常规能源的可再生能源之一，风力发电将是实现这一目标的重要支撑，特别是海上风力发电技术和产业是国家鼓励和支持培育的发展战略性新兴产业。

2017 年 1 月 18 日广东省发展改革委印发了《广东省能源发展“十三五”规划（2016-2020 年）》，其中强调要积极发展海上风电，加快近海风电场开发建设，逐步推进海上风电规模化发展。到 2020 年风电装机规模达到 8000MW，其中海上风电力争实现开工建设 2000MW、建成投产 1000MW 以上。《广东省海上风电发展规划（2017-2030）》确定广东省近海浅水区海上风电场址 15 个，装机容量共计 9550MW，其中包括了汕尾后湖海上风电场 500MW 装机容量。

本项目的建设适应国家可再生能源发展的政策需求，符合《广东省能源发展“十三五”规划（2016-2020年）》，是广东重要的海上风电项目。

2.2.2 推动可再生资源开发利用，有利于经济与环境的协调发展

风能被誉为二十一世纪最有开发价值的绿色环保新能源之一，我国风能储量较丰富，但是风能资源利用工作开展的较为缓慢，随着经济水平的不断提高，人类对环境的保护意识逐渐增强，开发绿色环保新能源成为能源产业发展方向，作为绿色环保新能源之一的风力发电场的开发建设是十分必要的。陆丰宝丽华后湖风电场项目能有利地开发汕尾地区的海上风电资源，符合国家能源产业发展方向，有效提高风能资源的利用。

广东省风力资源丰富，风电不仅是广东省能源供应的有效补充，促进地区经济的持续发展，而且作为绿色电能，风电的迅速发展将会大幅度减少有害气体的排放量，降低污染。本项目装机容量为 500MW，项目建成投产后，每年可减少多种大气污染物的排放，如二氧化硫(SO_2)、一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO_2)等污染物的排放。

本项目不仅是广东省能源供应的有效补充，而且作为绿色电能，有利于缓解电力工业的环境保护压力，促进地区经济的持续发展，项目社会效益显著。

2.2.3 适应汕尾地区负荷发展需要，推动汕尾经济发展

汕尾地区缺乏 220kV 地方电源，“十三五”期间汕尾 220kV 及以下电网大方式存在较大的电力缺口。根据电力平衡结果，考虑本项目电源利用容量，汕尾 2025 年和 2030 年夏大方式电力缺口分别达到 1800MW 和 2271MW，冬大方式电力缺口分别达到 1361MW 和 1738MW。本项目的建设适应汕尾地区负荷发展需求，能增强近区电源支撑能力，对提高汕尾地区供电能力起到重要作用。

2.2.4 有利于提高相关产业水平，推进广东海上风电发展

广东省近海海上风电资源丰富，其中，粤东海域作为广东省风能资源最为丰

富的地区，发展海上风电潜力巨大，是广东省海上风电重点规划发展区域。汕尾后湖海上风电场位于汕尾陆丰湖东镇后湖南侧海域，具备良好的开发条件。目前，广东省海上风电尚处于起步阶段，本项目的开发建设，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，为下一步后续海上风电建设和广东省海上风电规模化开发提供宝贵经验和示范。

2.2.5 开发海洋经济增长点，促进地区经济社会发展

本工程的建设充分利用了汕尾沿海资源，对于地区相关产业如建材、交通、设备制造业的发展起到带动作用，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，从而促进地区国民经济的全面发展和社会进步。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，风电是一种较为成熟的可再生能源发电技术。汕尾地处亚热带季风气候区，属广东省风资源分布较为丰富地区之一，具有较好的风电开发潜力。广东陆丰宝丽华后湖海上风电场项目的建设符合国家可持续发展政策和国家新能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减轻因燃煤等排放有害气体对环境的污染，带动风电产业链和第三产业的发展，增加就业机会，对促进地方经济发展将起到积极作用。

2.3 工程平面布置

2.3.1 总平面布置

风电场址范围 77.73km^2 ，水深 $23.5\text{m}\sim 28.1\text{m}$ 之间（当地理论深度基准面，下同），共布置 91 台单机装机容量为 5.5MW 的海上风机组，装机容量为 500MW ，配套建设 220kV 海上升压站 2 座，陆上集控中心各一座。风电场呈东西走向，分为东、西两个风电场区。西侧风电场区范围 27.72km^2 ，建设规模 200MW ，风电机组发出电能通过 8 回路 35kV 集电海底电缆接入 220kV 海上升压站，升压后通过 1 回 220kV 海底电缆接入位于陆上集控中心；东侧风电场区范围 50.01km^2 ，建设规模 300MW ，风电机组发出电能通过 11 回路 35kV 集电海底

电缆接入 220kV 海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆接入位于陆上集控中心。风电场总平面布置图见图 2-2。各主要工程布置如下：

(1) 海上风机塔：推荐机型为 5.5 MW 风力发电机组变桨变速机型，转轮直径 158 m，轮毂高度 100 m，共布设 91 台，其中西区风电场 38 台，东区风电场 53 台。风机之间列距 1787.9 m，行距 512.7 m。

(2) 海上升压站：本项目设置 2 座海上升压站。西侧风电场为 200MW，水深 24.5m，平台尺寸为 28.5m×37.0m，共 3 层；东侧风电场为 300MW，水深 26.5m，平台尺寸为 38.0m×40.0m，共 3 层。

(3) 35 kV 场内集电海缆：主要是连接风机与风机之间、风机与海上升压平台之间。西侧为 8 回路，东侧为 11 回，采用 3×70~3×400 26/35kV XLPE 绝缘海底电缆汇流至升压站中压柜。水平段电缆埋设在海底沙层 2m~3m 深处，总长度约 140.54km。

(4) 220 kV 送出海缆：西侧 200MW 海上升压站由 1 回三芯 3×500mm² XLPE 绝缘海底电缆送至登陆点，海缆长度 12.77 km；东侧 300MW 海上升压站由 2 回三芯 3×500mm² XLPE 绝缘海底电缆送至登陆点，2 回路海缆总长度 60.38km。本项目 220kV 海缆总长为 73.15km。

(5) 陆上集控中心：拟在登陆点后方建设风电场陆上集控中心 1 座。陆上集控中心内设置有警卫室、GIS 楼、变压器区、运维楼、备品备件车间、生活楼及相应的水处理设施。

表2-2 主要涉海建设内容一览表

序号	建设内容	规模	备注
1	海上风机塔	91 台	31 台嵌岩机，60 台非嵌岩机；四桩结构
2	海上升压站	2 座	东、西区各 1 座，四桩结构
3	35 kV 场内集电海缆	19 回	东区 11 回，西区 8 回
4	220 kV 送出海缆	3 回	东区 2 回，西区 1 回

表2-3 主要技术经济指标表

名称			单位	数量	备注	
			(或型号)			
风电场场址	年平均风速(轮毂高度)		m/s	7.51		
	年平均风功率密度(轮毂高度)		W/m ²	422.4		
	50 年一遇最大风速(轮毂高度)		m/s	56.5		
	50 年一遇极大风速(轮毂高度)		m/s	74.6		
	盛行风向			E		
主要设备	风电机组		推荐机型		MySE5.5-155	
			台数	台	91	
			额定功率	kW	5500	
			叶片数	片	3	
			风轮直径	m	157.7	
			切入风速	m/s	3	
			额定风速	m/s	10.1	
			切出风速	m/s	25	
			设计极大风速	m/s	70	
			轮毂高度	m	100	
			发电机额定功率	kW	5500	
			发电机功率因素		0.95C	
			额定电压	V	690	
	升压变电站	主变压器	型号	三相油浸式自然油循环自冷却型有载调压双绕组变压器		
			台数	台	3	
			容量	MVA	2*180MVA+1*240MVA	
			额定电压	kV	220	
	出线回数		出线回路数	回	3	
	及电压等级		电压等级	kV	220kV	
土建	风电机组基础		台数	台	91	
			四桩导管架	四桩导管架		
			地基特征	场址场地地层为上覆第四系土层主要有海积层、海陆交互沉积层及残积层，厚度较大，下伏基岩主要地层为侏罗系下统金鸡组（J1j）及燕山晚期第三次侵入岩花岗岩（γy3）。		

	升压变电站基础	型式		4 腿导管架	
		地基特征		同风机基础	
施工	主要工程量	钢材	t	168097	施工
		海底电缆敷设	m	140000	
	施工期限	总工期	月	30	
		第一批机组发电	月	13	
财务指标	本期工程装机容量		万 kW	50	
	本期工程年上网电量		亿 kW.h	13.52	
	年等效满负荷小时数		h	2701	
	平均上网电价(含增值税)		元/kW.h	0.85	

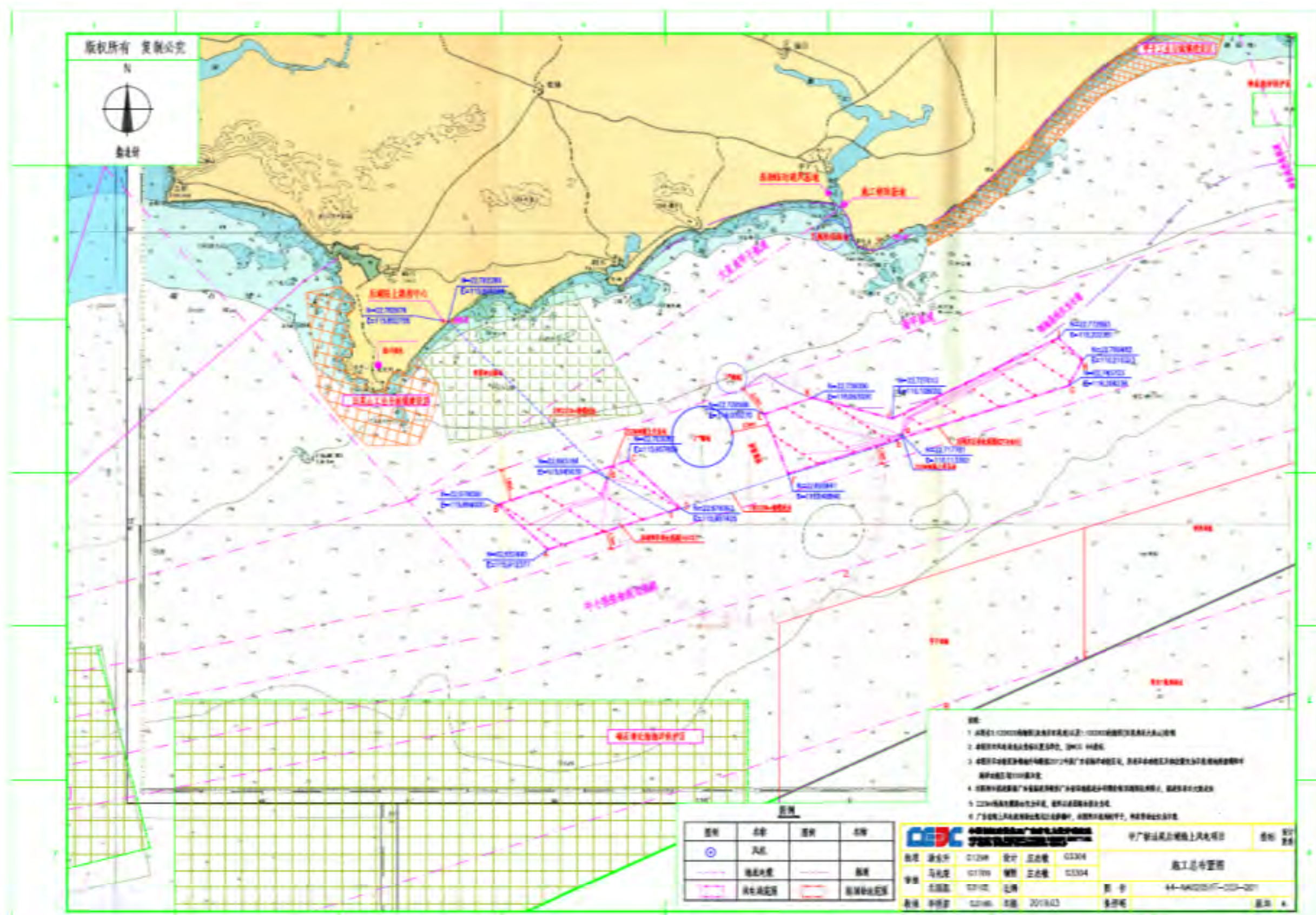


图2-2 场址规划图

2.3.2 风力发电机组平面布置比选

2.3.2.1 机型初选

(1) 机型选择基本要求

风机设备应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。

风电机型一般应满足以下基本要求：

1) 风机机组应满足一定的安全等级要求

根据汕尾气象站和湖东自动气象站（G1837）自动站分析结果推算，场址轮毂高度处 50 年一遇 10min 平均最大风速为 53.8m/s，3s 阵风极大风速为 71.1m/s。按照 IEC 标准《Wind turbines - Part 1:Design requirements》（IEC 61400-1:2005），本风电场宜选择 I 级风机以上的极端风速标准的 S 级风力发电机组。

根据测风塔的资料统计分析，本工程所用测风塔轮毂高度的 15m/s 风速对应的特征湍流强度 0.06，湍流强度较低。本项目规模较大，考虑风电场运行期间尾流影响，根据《Wind turbines - Part 1:Design requirements》（IEC 61400-1 2005），本风电场建议选择湍流强度等级 C 类及以上类别的风力发电机组。

2) 风电机组的机组性能应满足场址区特殊环境、气候等条件要求

本风电场位于海上，风电机组须具备较强的抗台风、抗潮湿、防盐雾腐蚀等性能。此外，本区域年平均雷暴日数 56.7d，故风电机组宜具有适当防雷保护。

风电场附近气象站多年平均气温为 22.1℃，极端温度在 0.9℃~38.3℃之间，因此本项目选择常温型风电机组（-20℃~+40℃）即可满足环境温度要求。

3) 风电场应满足国家能源主管部门及国家电力监管委员会的要求

a) 风电机组应满足《风电场接入电网技术规定》，风电机组必须具备低电压穿越功能及电能质量要求，并通过有资质的检测机构按《风电机组并网检测管理暂行办法》要求进行检测；在建和已建的风电项目，要按照《风电信息管理暂行办法》定期上报风电信息，风电机组要具备自动提交 SCADA 有关实时数据的性能。

b) 并网运行风电场，无功容量配置和有关参数整定应满足系统电压调节需求，风电机组应具备一定的输出无功能力。

c) 所选风电机型应通过相关部门的电能质量测试，所发电能符合电网相关要求。

d) 风电场应严格执行国家能源局《风电场功率预测预报管理暂行办法》

e) 风电开发企业进行设备采购招标时，应明确要求采用通过型式认证的产品。未获得型式认证的机组，不允许参加招标。

4) 工程进度保证

所选风电机组生产企业应该具备足够的产能，以满足风电场的安装进度要求。另外，风电机组生产企业应具备一定的技术实力，具备指导风电机组吊装、调试的能力，能够配合完成风电机组土建、电气等配套工程的建设，以保证项目的建设进度。

5) 运行可靠性

风电机组把风能转化为电能，各种类型的风力发电机组其发电原理基本相同，但其能量转化的机理和控制原理各有不同，且各机型的运行经验也有差异。所以选择风电机组时，应考虑其运行的可靠性，包括其电能质量、对电网的要求、对运行环境适应性及可用率保证等方面。

6) 易维护性

由于海上运行环境复杂，风电机组除应具备较高的可靠性外，在机组的易维护性方面也应重点关注。风电机组在发生故障后，从维修方便、可操作性强、耗时短等方面采取必要的措施，以保证项目收益。

7) 单机容量

从国外海上风电场的发展现状看，海上风电采用的主流机组单机容量已发展到 5MW 以上，并已有风电机组厂商及研究部门开发更大容量的风电机组。可见，风电机组走大型化是今后海上风电发展的必然趋势。但对于海上风电场而言，受机组价格、安装条件、运行安全性等因素的影响，并不是选择单机容量越大的机组，其项目经济型就越好。本报告，单机容量机型选择范围为 4MW~6MW。

(2) 机型初选方案

根据以上选型要求,结合目前风电市场现状,本报告选择了 7 种机型机型技术初选,各比选机型的技术特性见表 2-4。

表2-4 各比选机型风机参数特征表

项目	单位	WTG1	WTG2	WTG3	WTG4	WTG5	WTG6	WTG7
风机型号		SWT-4.0-130	SWT-6.0-154	H152-5MW	DEW-G5000	GW6.0-154	MySE5.5-155	XE128-5000
风电机组制造厂商		上海电气	上海电气	中船重工(重庆)海装风电	东方电气风电有限公司	金风科技	广东明阳风电产业集团	湘电风能有限公司
机组认证		DNV-GL A 类型式认证	DNV-GL A 类型式认证	设计评估	设计评估	正在认证	设计认证	型式认证
设计寿命	年	25	25	25	25	25	25	25
额定容量	kW	4000	6000	5000	5000	6000	5500	5000
预装轮毂高度	m	90	100	97	90	100	100	90
极限风速(3S)	m/s	70	70	70	70	79.8	70 及以上(S 类)	70
叶片数	个	3	3	3	3	3	3	3
叶片材料		玻璃纤维增强树脂	GRE	GFRP	GFRP	碳纤主梁/玻纤	玻璃纤维增强树脂	环氧玻纤复合材料
叶片长度	m	63.45	75	62	68	75	76.6	52
叶轮直径	m	130	154	151	140	154	155	128
扫风面积	m ²	13300	18627	17922	15375	18572.84	18870	12960
转速范围	rpm	5-14	5-11	6.08~12.47	3.9~13.9	7~11	4.3-14.0	7~12
入流角	°	6	6	10	/	/	8	8
切入风速	m/s	3.5	3.5	3.5	3.5	3	3	3
切出风速	m/s	32	25	25	30	25	25	25
额定风速	m/s	11~12	12~14	10.6	11.75	11.5	10.1	11.5
发电机类型		异步发电机	永磁直驱同步电机	高速永磁	永磁同步发电机	直驱永磁同步发电机	中速永磁同步	直驱永磁同步发电机

额定电压	V	750	690	690	690	720	690	690
发电机功率因数		0.86	0.9	0.95	0.9	0.95	/	0.93
发电机防护		IP54	IP44	IP 54	IP54	/	IP54	IP54
运行温度	℃	-10~40	-10~35 (预计 2018 年前完成高温改造至 40℃)	-10~40	-10℃ ~+40℃	-20℃ ~+40℃	/	-10℃ ~+40℃
生存温度	℃	-20~50	-20~45	-20~50	-20℃ ~+50℃	-30℃ ~+50℃	/	-20℃ ~+50℃
齿轮箱		两级行星/一级斜齿轮	-	两级行星一级平行轴	两级行星、一级平行	无		无
功率调节方式		变速变桨	变速变桨距	变桨变速	变桨变速	变桨变速	变速变桨	变速变桨
偏航系统偏航齿	个	16	16	6	6	/	13	4kw/8 台
气动刹车		全桨距液压变桨	-		电动变桨	液压变桨	桨叶变动	空气动力学
机械刹车		液压盘式制动	液压卡钳	SVENDBO RG	高速轴液压机械制动	液压制动	制动器制动	液压制动器
机舱防腐保护		C5-M/C3	C5M/C4	C5M/C4	C5M/C4	C5M/C4	C5-M/C3	C5-M/ C3
轮毂防腐保护		C5-M/C4	C5M/C4	C5M/C4	C5M/C4	C5M/C4	C5-M/C3	C5-M/ C3
塔筒防腐保护		C5-M/C3	C5M/C4	C5M/C4	C5M/C4	C5M/C4	C5-M/C3	C5-M /C3
防雷击保护		防雷等级 (LPL) 依据 IEC 62305	防雷等级 (LPL) 依据 IEC 62305	IEC I 级防雷保护依据 IEC 61400-24	IEC I 级防雷保护依据 IEC 61400-24	IEC61400-24-2010、IEC 62305-2010 标准, 符合 GL 认证规范	IEC I 级防雷保护依据 IEC 61400-24	IEC I 级防雷保护依据 IEC 61400-24
塔架型式		圆柱+圆锥钢塔	圆柱+圆锥钢塔	锥形钢圆筒结构	钢制柱状塔筒	钢制锥筒	钢制锥筒	钢制锥形管状结构
机舱重量	T	142	200	215	275.8	107	220	61

齿轮箱重量	T	33.1	-	64	58	/	68	无
发电机重量	T	10.5	140	14.3	16	155	45	152
叶片重量	T	17.95*3	26*3	27.168*3	27.3*3	27*3	33*3	25*3
轮毂重量	T	46.15	82	75	58	86.4	54	63.5
塔架重量	T	241	390	365.6	327.9	330	415	333
冷却方式		空冷+水冷	空冷+水冷	空冷+水冷	水冷	空冷	空冷	空冷+水冷
消防系统		手动消防	手动消防	自动/手动	自动/手动	自动消防	自动消防	自动消防

2.3.2.2 布置原则

风电场通过每台风电机组把风能转化为电能，风经过风电机组转轮后速度下降并产生紊流，沿着下风向一定距离后才能消除前一台风电机组对风速的影响。海平面由于粗糙度小，风机的尾流扩散小，影响距离长，因此前排风机的对后排风机的尾流影响相对陆地大。

在布置风电机组时，应充分考虑风电机组之间相互的尾流影响，确定各风电机组的间距，把尾流影响控制在合理范围内。风电机组间距的变大会使风电机组间的尾流影响降低，但同时也会降低对风能资源的利用率，增加机组间电缆的长度，增大电量损耗。海上风电场风电机组应根据风电场区域内风能资源条件和海底地形地质条件进行布置，布置原则为：

1) 首先应充分考虑规划使用海域的周边环境限制条件，协调与港口、航道、油气管道等之间的关系。

2) 根据场区内风资源分布特点，充分利用风电场盛行风向进行布置，合理选择风电机组间距。

3) 布置时既要尽量避免风电机组之间的尾流影响，又要减小风电机组之间的海缆长度，以降低配套工程投资和场内输变电损耗。

4) 对不同的布置方案，要按整个风电场发电量最大，兼顾各单机发电量的原则进行优化。

5) 为了便于施工、运行维护和降低工程投资,同一风电场内的同期工程,尽量选用型号与单机容量相同的风电机组。

6) 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,且不和用海和环保冲突。

7) 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,且不和用海和环保冲突。

8) 本风电场轮毂高度处主导风向为 E, NE、ENE、E 三个连续东北向风向的风向频率占 60.4%,相应风能频率占 78.9%。风向、风能分布相对集中。风机布置时按平行主导风向 9~12 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。

2.3.2.3 风机平面布置方案比选

广东省海上风电场规划报告对本项目装机容量为 500MW,根据以上风机布置原则及机型初选结果,分别对 4MW、5MW、5.5MW、6MW 机型进行布置。

本项目各单机容量机型优化布置、发电量及经济性比选综合考虑。各布置方案见图 2-3~图 2-6 所示。各方案行间距按 9~12 倍 RD,列间距按 3~6 倍 RD 试算,个别机位进行调整。各比选机型发电量计算成果见表 2-5。

从发电效益来看,年满发电小时数方案五 WTG6 最优,年上网电量 1342.65GWh,年等效满负荷小时数(满发小数)2683h,容量系数 30.62%,因此本阶段暂选择方案 6 为推荐方案,即选择 91 台 5.5MW 风机。

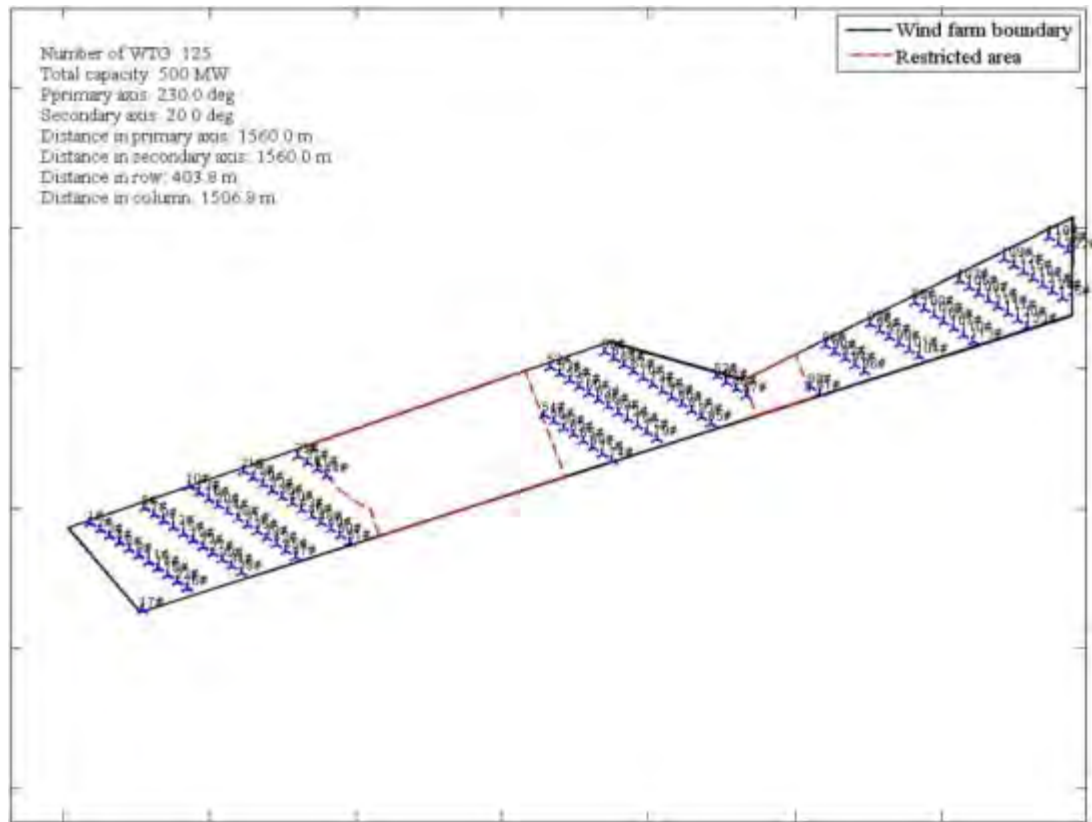


图2-3 4MW 机组布机方式

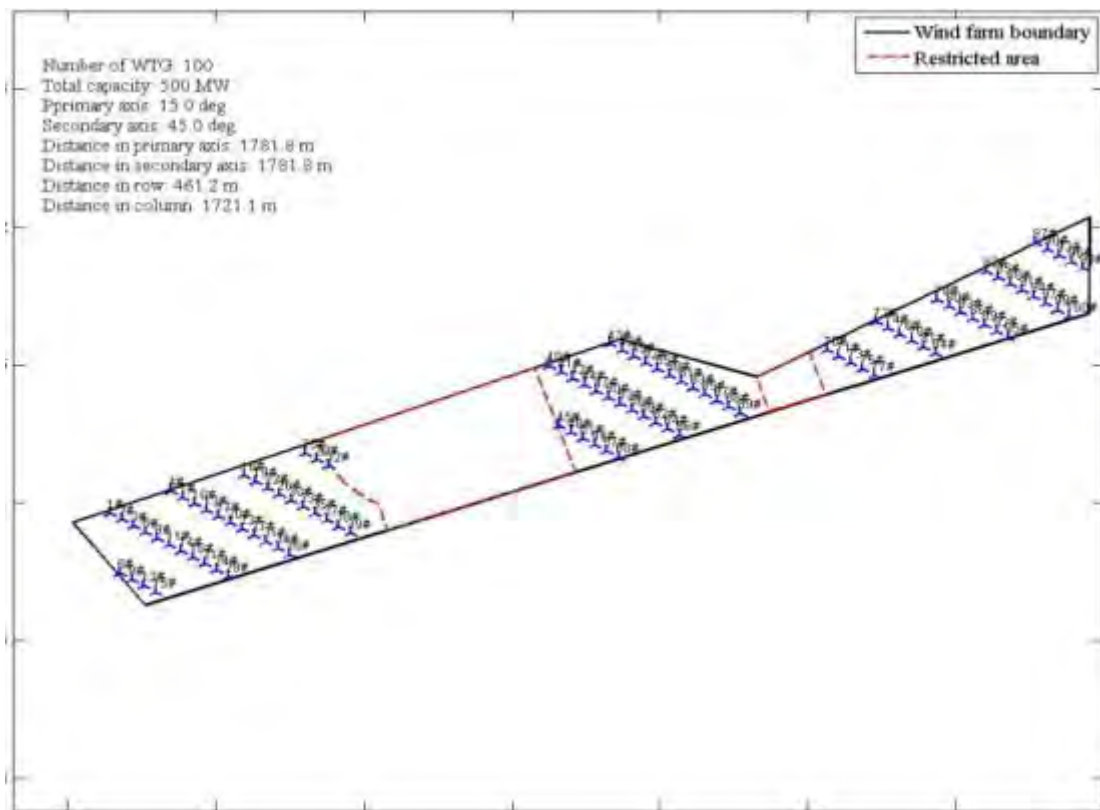


图2-4 5MW 风机机位布置示意图

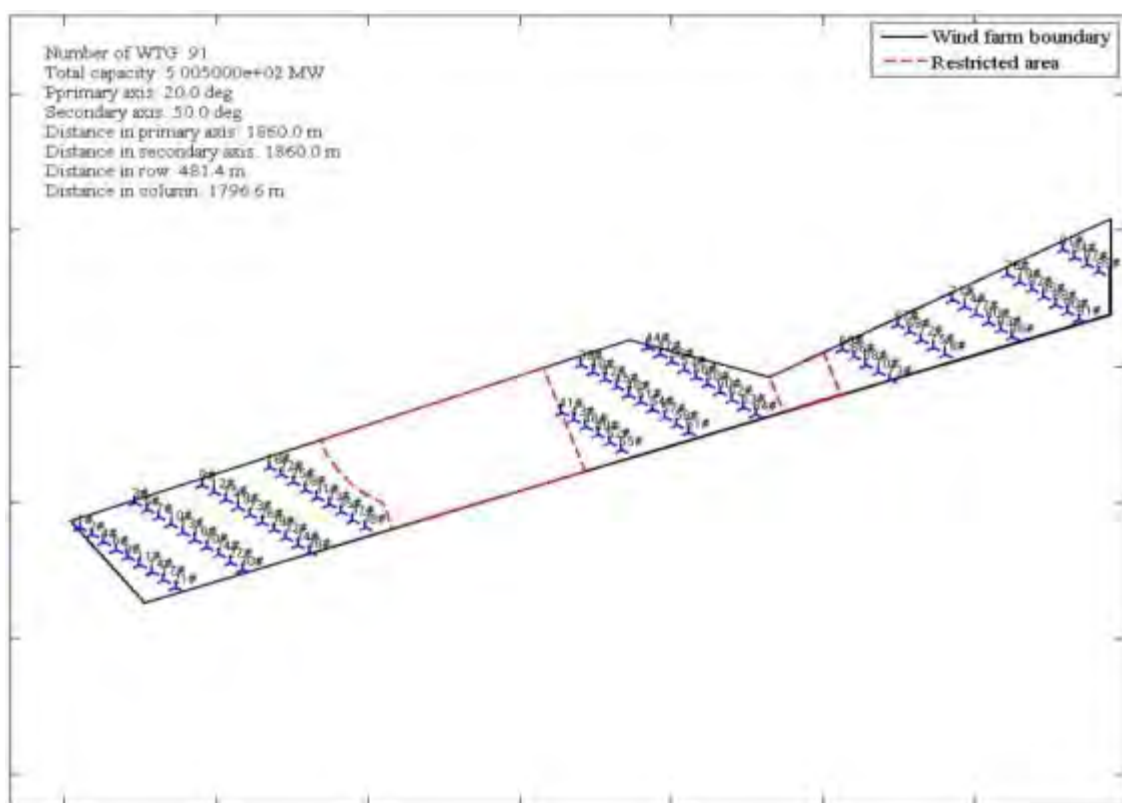


图2-5 5.5MW 风机机位布置示意图

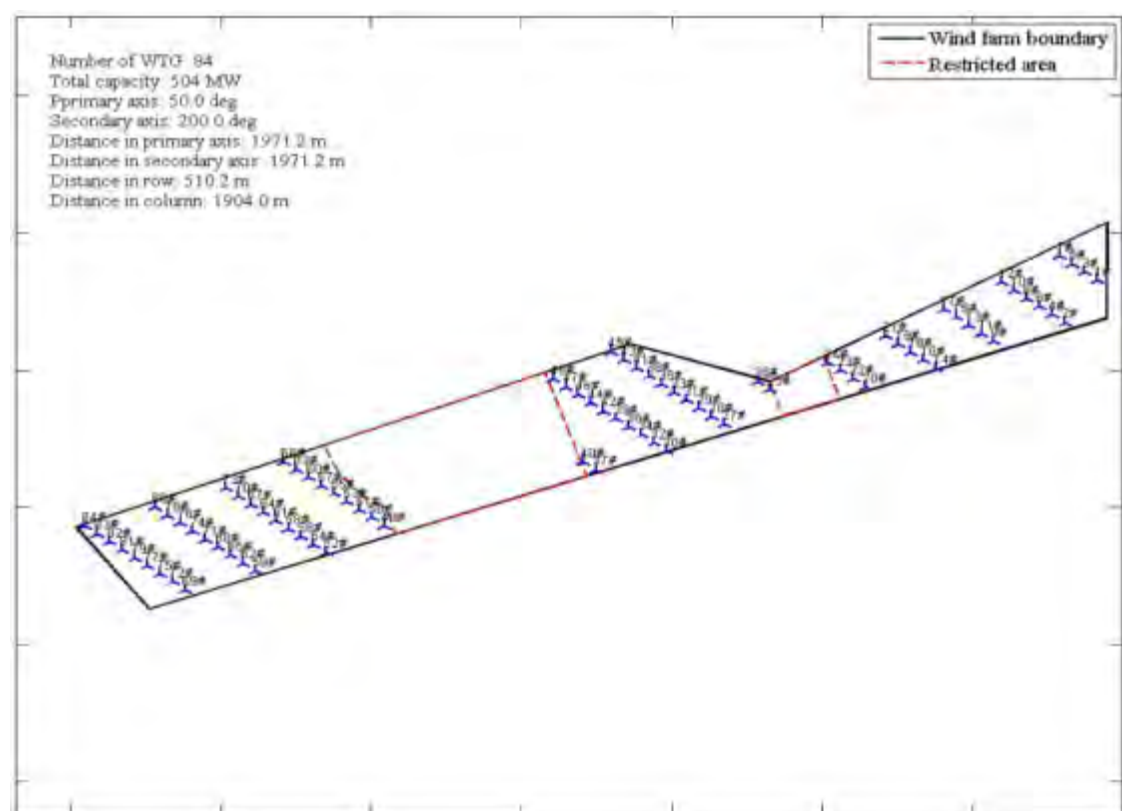


图2-6 6MW 风机机位布置示意图

表2-5 各机型及排布方案发电量计算结果对比表

方案	WTG1	WTG2	WTG3	WTG4	WTG5	WTG6	WTG7
机型	SWT4.0-130	SWT6.0-154	H152-5MW	DEW140-G5.0	GW6.0-154	MySE5.5-155	XE128-5.0
额定功率（MW）	4	6	5	5	6	5.5	5
台数（台）	125	84	100	80	84	91	100
设计容量（MW）	500	500	500	500	500	500	500
安全风速（m/s）	70	70	62.5	70	79.8	70	70
预装轮毂高度(m)	90	100	97	90	100	100	90
叶轮直径（m）	130	154	152	140	154	155	128
理论年发电量(GWh)	2026.52	1827.19	1989.47	1779.38	1897.97	2108.48	1718.28
净发电量（GWh）	1664.56	1650.34	1764.70	1581.87	1716.21	1862.21	1537.66
平均尾流损失率（%）	12.10	9.68	11.31	11.12	9.58	11.68	10.49
其他折减率（%）	72.1	72.1	72.1	72.1	72.1	72.1	72.1
年上网电量（GWh）	1198.48	1188.25	1270.59	1140.52	1235.67	1342.65	1107.11
满发小时数（h）	2397	2358	2541	2281	2452	2683	2214
容量系数(%)	27.36	26.92	29.01	26.04	27.99	30.62	25.27

2.3.3 海上升压站平面布置

2.3.3.1 方案介绍

本工程初步考虑采用220kV三芯 $3\times 500\text{mm}^2$ XLPE绝缘海底电缆送至陆上集控中心。为降低海底电缆的整体投资，在海上升压站布置上考虑尽量缩短220kV海底电缆及35kV海底电缆的长度，即升压站应设置在风电场中心或靠近陆地侧。综合海缆路由方案修改，220kV海上升压站站址选择有如下两个方案：

方案一：西区升压站位于场址中心靠北位置（A点），东区升压站位于场址中心靠北位置（B1点）；方案二：西区升压站位于场址中心靠北位置（A点），东区升压站位于场址中心靠北位置（B点）。

2.3.3.2 方案比选和推荐方案

220KV 海上升压站的位置选择，既要考虑风电场内风机的几何分布及风场内 35KV 海缆的走线布置，也要考虑 220KV 海缆的路由走向。根据本项目的情况，风电场被 2# 锚地分割为东西两个区块的情况，东西两区的 220KV 海上升压站相隔较远（可达 20km）。

西区 220KV 海上升压站应布置在风场的西北（A），这样与登陆点相距较近，海缆路由走向简单直接。

东区 220KV 海上升压站则位于锚地的东面，海缆路由如何穿越锚地，则与升压站的布局有很大关系。根据东区的几何形状、区内 35KV 海缆走线布置的特性和 220KV 海缆的可能走向，其 220KV 海上升压站只能布设在风电场的中北部边缘（B1）或中南部边缘（B）。为了集约用海的目的，东西区电缆路由必须先相互靠拢，再向岸登陆。考虑到东西区之间有 2#锚地阻隔，东区西北又有 1#锚地阻隔，如果把东区 220KV 海上升压站位置布设在风场中北边缘（B1），则东区海缆往西北方向要穿越两个锚地，海缆的风险将大大增加。把东区 220KV 海上升压站位置布设在风场中南边缘（B），东区海缆从西南边走线则只需躲避一个锚地，风险大大降低，故 220KV 海上升压站布设在风场中南边缘（B）是较好的选择。

综上从节能降耗、合理规避障碍物角度出发，方案二比方案一合理，推荐采用方案二作为目前升压站设计站址。

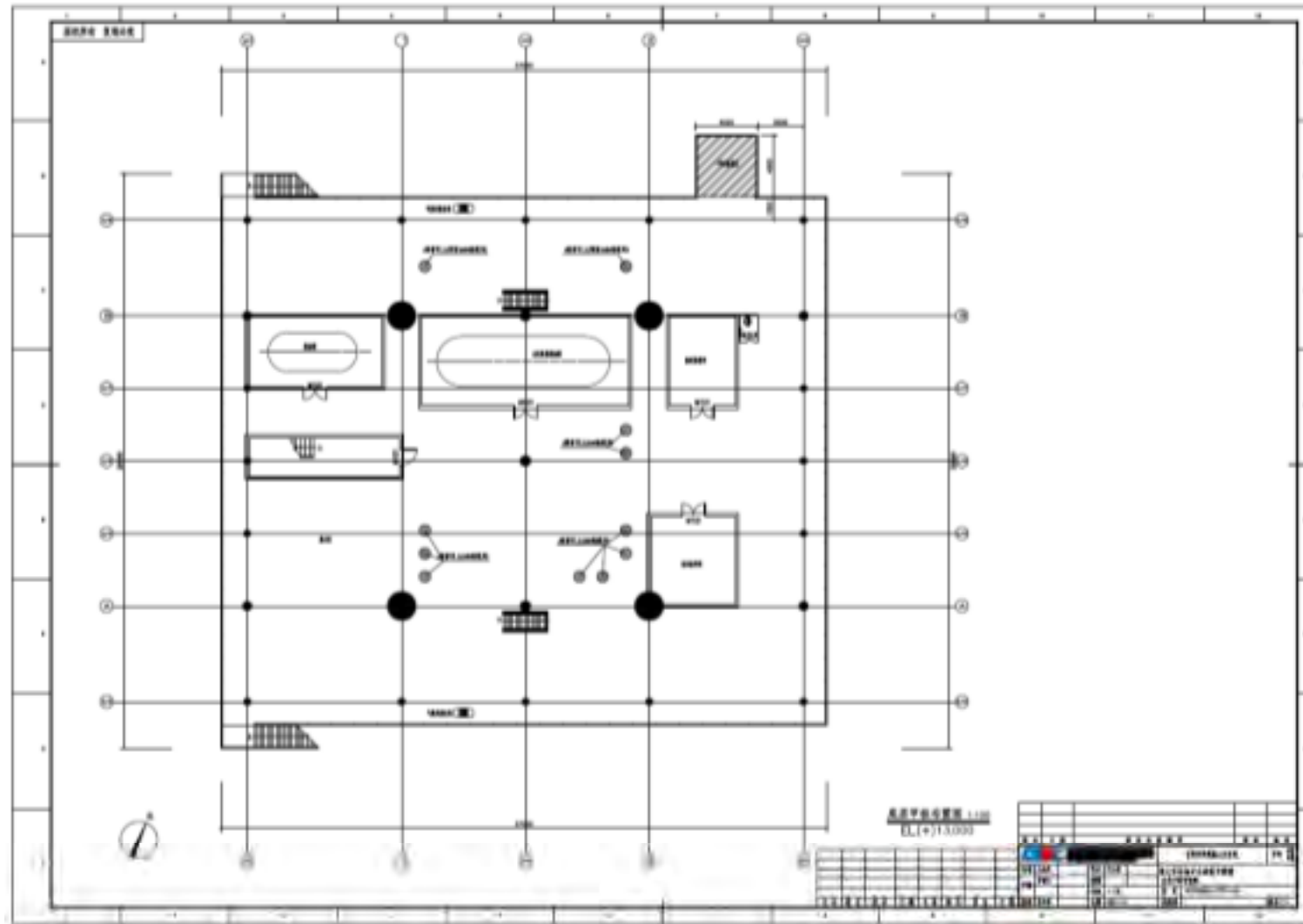


图2-8 200MW 升压站平面布置图

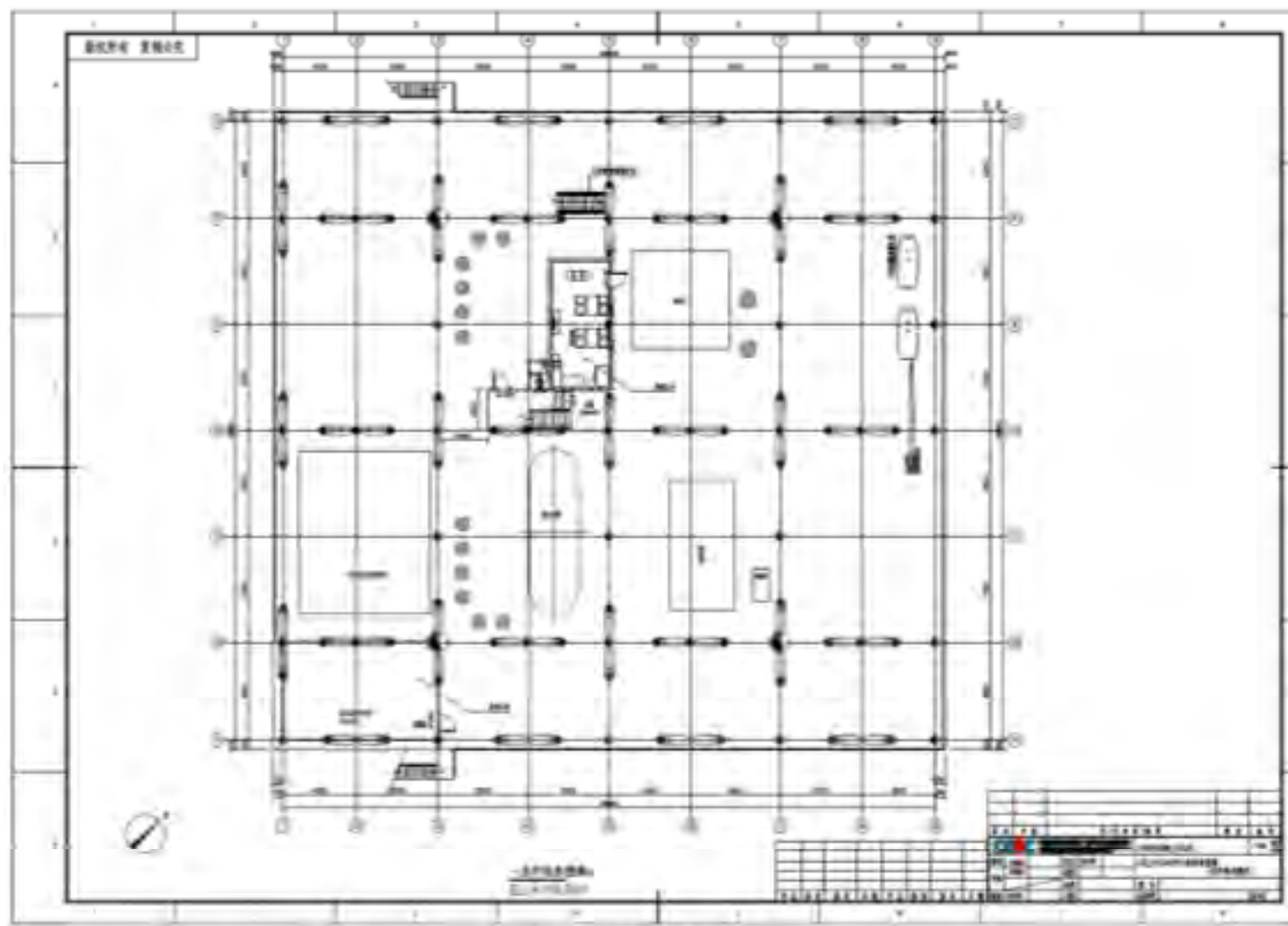


表2-6 300MW 升压站平面布置图

2.3.4 35KV 集电海底电缆平面布置

按照海上大型风电场的设计经验，本工程场内集电线路电压等级采用 35kV。场内每 4~5 台 5.5MW 风机以一机一变方式组成一个风机组，每回容量为 22~27.5MW，共 19 回。风机之间连接以及每一回风机组至升压变电站之间连接的海缆用交联聚乙烯绝缘，铅护套，无磁合金丝铠装，光电复合，三芯海底电缆。35kV 海缆截面应电缆截面从 $3 \times 70 \sim 400\text{mm}^2$ 不等。集电线路按照普通链式（放射式）连接方案。本工程 35kV 集电线路推荐路径见图 2-10。

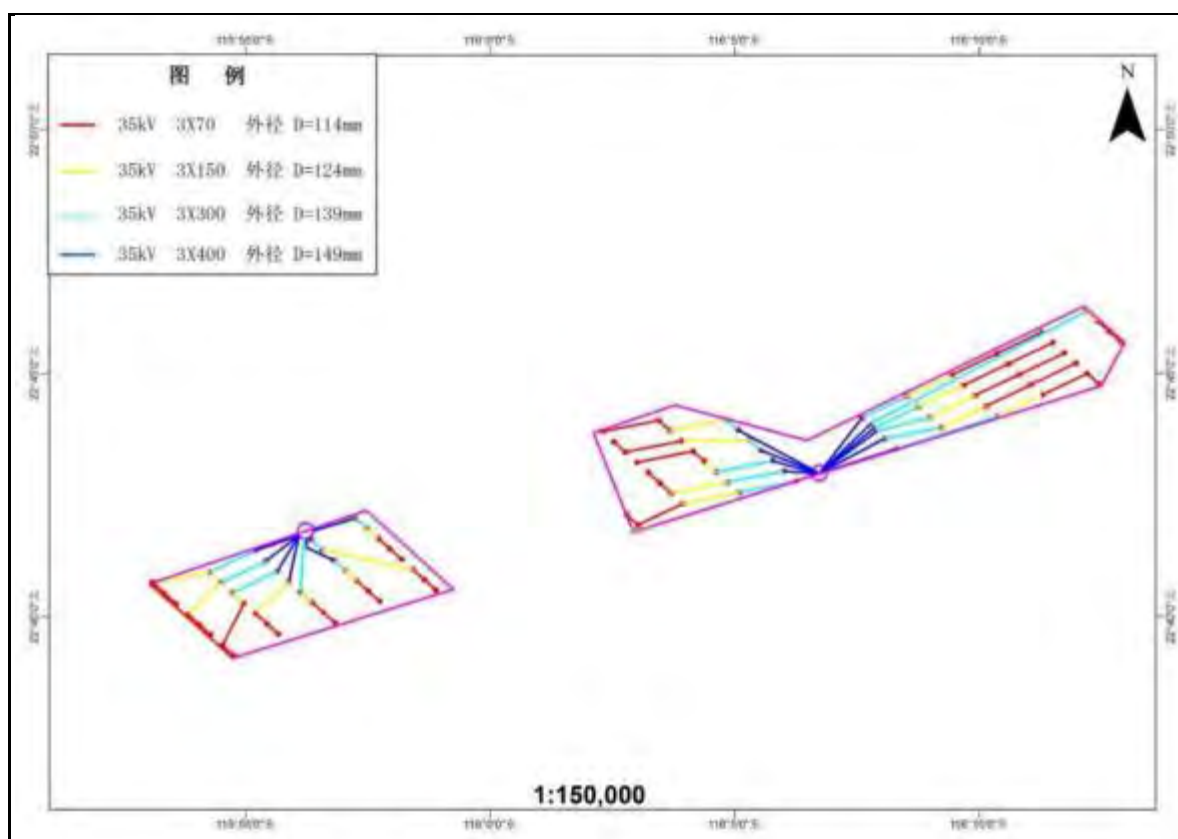


图2-9 35KV 集电线路推荐路径方案

2.3.5 220KV 送出海底电缆平面布置

《汕尾后湖海上风电场（500MW）项目海底电缆路由选择依据说明材料（报批稿）》（中国科学院南海海洋研究所，2018 年 05 月）对本项目 220kV 送出海底电缆路由进行了充分的比选。比选内容如下：

2.3.5.1 登陆点的选择

(1) 登陆点 E

在《汕尾后湖海上风电场（500MW）项目海底电缆路由选择依据说明材料》的送审阶段，依照就近原则，提出了登陆点 E 方案。路由候选登陆点 E 位于甲湖湾电厂西南近岸沙堤，有局部侵蚀现象（图 2-11），堤岸较低矮，高出岸线 1~2m，海滩为一狭窄倾斜的沙滩，登陆点对开海域礁石较多。主要考虑到此处有几点有利条件：

- 1) 其地质、地貌条件较优；
- 2) 此为裸露沙质海岸，上岸后可以深埋进厂，减少电缆登陆对自然岸线沙滩的影响；
- 3) 其离海上风电场的路程较短，弯路少符合经济原则。



图2-10 登陆点 E 附近的海岸地貌特征



图2-11 登陆点 E 与相应拟选集控中心的位置关系

(2) 登陆点 N

由于登陆点 E 岸段海床平坦的水域狭窄，不能为后续建设的甲子和深海风电场海底电缆预留足够的铺设空间，《汕尾后湖海上风电场（500MW）项目海底电缆路由选择依据说明材料》最终提出了登陆点 N 方案。

根据汕尾市有关风电基地的布局、甲子风电场建设单位的意见，新选登陆点 N 位于碣石镇东南的小海湾，与登陆点 E 的直线距离为 11.1km。登陆点定义为 250m 长的岸段，计划风电场西区电缆在 N1 点登陆（坐标为 $22^{\circ}46'51.0''\text{N}$ ， $115^{\circ}51'13.4''\text{E}$ ），风电场东区电缆在 N2 点登陆（坐标为 $22^{\circ}46'56.4''\text{N}$ ， $115^{\circ}51'19.9''\text{E}$ ），N1 和 N2 之间间隔（250m）就作为后续开发的甲子风电场和深水风电场的海缆登陆空间。路由拟登陆点 N 位于碣石镇东南的小海湾，海岸类型为沉积型沙质海岸，岸线为东北-西南走向，岸线比较稳定，海岸沙滩比较宽缓（图 2-13），海岸沙堤高程 1-2m。沙堤向陆内侧为防护林带。靠近登陆点的近岸段礁石较少，海床平坦宽阔。主要考虑到此处有几点有利条件：

1) 其地质、地貌条件较优，海岸类型为沉积型沙质海岸，岸线比较稳定，海岸沙滩比较宽缓，海岸沙堤高程 1-2m。靠近登陆点的近岸段礁石较少，海床平

坦的水域宽，路由走线较直，且与岸线接近正交登陆，对岸线保护和海缆的安全均较为有利；

2) 此为裸露沙质海岸，上岸后可以深埋进厂，减少电缆登陆对自然岸线沙滩的影响；

3) 此登陆点所对应的集控中心，靠近陆丰核电的主干道，交通方便，符合经济原则。

4) 登陆点附近海床平坦的水域宽，可为后续建设的甲子和深海风电场海底电缆预留足够的铺设空间。



图2-12 登陆点 N 附近的海岸地貌特征



图2-13 登陆点 N 与相应拟选集控中心的位置关系

(3) 登陆点比选

登陆点 E 和登陆点 N 的各指标特征比较，如表 2-6 所示。

根据设计单位的陆上送电方案，登陆点 E 所对应的集控中心将设计通过 1 回 220kV 出线接入 220kV 华美站，另 1 回 220kV 出线接入 220kV 陆丰站。登陆点 N 对应的集控中心将设计所有风电均接入陆丰站。登陆点 E 与华美站和陆丰站的直线距离分别约为 6.0km 和 37.5km，送电回路总长 43.5km；登陆点 N 对应的集控中心与陆丰站的直线距离为 29.7km。如果同样需要两条回路送电，送电回路总长 59.4km。两相比较，登陆点 N 的陆上输送电力路程要远大于登陆点 E 的陆上输送电力路程。

本项目备选的登陆点 E 位于湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区，其近岸段礁石较多，有明显的海岸侵蚀现象，且海底不平坦，可以铺设海缆的空间狭窄，且路由是斜交登陆的，对海岸保护和海底电缆的安全较为不利。登陆点 E 靠近长湖村，有养殖区域与登陆点紧邻，利益相关方多且复杂。

本项目拟选路由登陆点 N，有几点便利条件：(1) 地质、地貌条件较优。海

岸沙滩宽缓、岸线稳定、海底平坦、登陆点对开海域礁石较少、可以铺设海缆的空间较宽阔，且路由是正交登陆的，对海岸保护和海底电缆安全均较为有利；（2）登陆点后方，目前建设少，为林地，利益相关方较少；（3）与拟建集控中心紧连，并方便与陆上电力接入口接驳。

综上所述，以上两个登陆点各有优缺点，相比之下，虽然登陆点 N 陆上输送电力路程要远大于登陆点 E，但是从登陆点周边的登陆条件和未来发展来看，推荐登陆点 N 作为本项目的登陆点。

表2-7 登陆点 E 和登陆点 N 的指标特征比较

	登陆点 E	登陆点 N
路由走线	L1E/L2E	L1N/L2N
坐标	E1:22°48' 22.89" 115°57' 33.00" E2: 22°48' 26.31.0" 115°57' 36.56"	N1: 22° 46' 50.58" 115° 51' 13.67" N2: 22° 46' 56.23" 115° 51' 20.11"
海缆登陆方式点	与岸线斜交登陆	接近正交登陆
岸线保护规划	位于湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区。	位于规划的生态红线开放区。
路由段的主要障碍	近岸礁石较多、水道狭窄	近岸礁石较少、平坦水域宽阔
登陆点地形地貌	沙堤、沙滩陡倾、有侵蚀现象、岸线蚀退	沙堤、沙滩宽缓、无侵蚀现象、岸线稳定
与集控中心距离	东北约 500m	后方约 150m
对应陆上输送直线距离	华美：6.0 km；陆丰：37.5 km	华美：15.9 km；陆丰：29.7km
登陆点后方建设现状	靠近长湖村，有养殖区域与登陆点紧邻，利益相关方多且复杂。	登陆点后方目前为汕尾市规划的风电基地建设用地，电缆深埋穿越现有林地后即可进入集控中心。

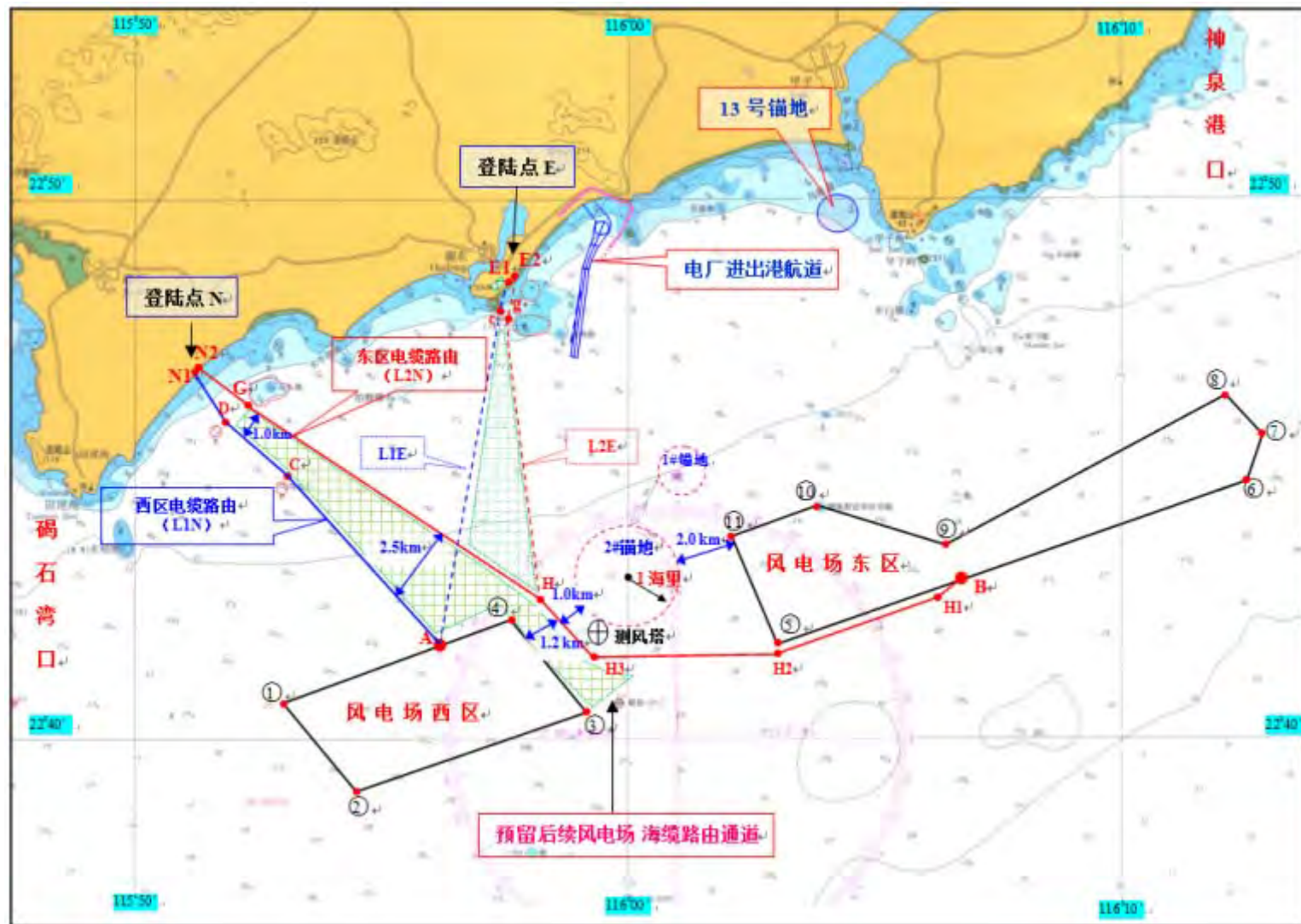


图2-14 候选海底电缆路由及登陆点位置图

2.3.5.2 路由方案选择

(1) 路由方案比选

本风电场被 1#锚地分割为东西两个区块，东西两区的 220KV 海上升压站相隔较远（可达 20km），西区 220KV 海上升压站与登陆点相距较近，海缆路由走向简单直接，而东区 220KV 海上升压站则位于锚地的东面，为了达到集约用海的目的，东西区电缆路由必须先相互靠拢，再向岸登陆。针对两个登陆点（E 和 N）分别提出以下两个路由备选方案，备选的登陆点 E 对应于路由方案 1，拟选路由登陆点 N 对应于路由方案 2（图 2-16）。

方案 1（L1E/ L2E 组合）：选择登陆点 E 为路由终点，L1E 和 L2E 的长度分别为 12.43 km 和 53.68km，总长为 66.11 km。该方案主要考虑了规避海底障碍（表 2-7），同时具备路径短的优点，但登陆点的条件较差，礁石较多，海岸有侵蚀现象，海域海缆通道狭窄，登陆点邻近为养殖区、后方为村庄对集控中心的建设，所涉利益相关方多且复杂。空地有限，较难为未来整个汕尾海上风电基地提供较宽阔的建设用地。

方案 2（L1N/ L2N 组合）：选择登陆点 N 为路由终点，L1N 和 L2N 的长度分别为 12.77 km 和 60.38km，总长为 73.15km，比方案 1 长。该方案主要考虑了规避海底障碍（表 2-7）和节约集约用海，东、西区电缆不会相距太远，又为后续风电开发预留足够的路由空间。

以上两个方案中，东、西两区的电缆路由均与海 - 甲航线交越，交越处水深为 -21.0m~-22.0m；也与大星角甲子航线交越，交越处水深较浅，为 -17.0m~-19.0m。

以上两个方案在近岸浅水段，东、西区电缆路由间距都收窄。

方案 1 在近岸 10m 水深处路由间隔为 400m，在 5m 水深处路由间隔为 200m 左右，并逐渐向登陆点汇聚。本方案所预留的路由管廊能为后续风电场建设铺设海缆数目有限（3~4 条）。

方案 2 在近岸 10m 水深处路由间隔为 750m，在 5m 水深处路由间隔为 500m 左右，并逐渐向登陆点汇聚。离岸海域则间距逐渐加宽，可以为将来在两者之间增加铺设海底电缆留下空间。根据测算，本方案所预留的路由管廊为后续风电场建设铺设 10~12 条海缆（相当于 1800MW 的装机容量所需海缆数目）。

两相比较，方案 2 比方案 1 的登陆点条件更优，近岸水域的地质地貌条件更适合于海底电缆的铺设。且为后续的海上风电场预留足够的海底电缆铺设空间。故推荐方案 2（L1N/L2N）作为本项目海底电缆路由的勘察方案。

表2-8 预选路由方案比选

坐标及其他参数 障碍物及编号	坐标 (CGCS2000)	方案 1		方案 2		数据来源
		与 L1E 的 最短距离 (m)	与 L2E 的 最短距离 (m)	与 L1N 的 最短距离 (m)	与 L2N 的 最短距离 (m)	
1# (乌头礁南角点)	22°46'14.03" N 115°52'26.85" E			路由东北侧 1150	路由北侧 250	1:12 万海图
2# (海底礁石)	22°45'46.75" N 115°51'44.90"E			路由西南侧 250	路由西南侧 1200	1:12 万海图
3# (鸟虫礁)	22°44'48.31" N 115°53'02.52"E			路由西南侧 250	路由西南侧 1400	1:12 万海图
4# (测风塔)	22°42'00.0" N 115°59'30.0"E	路由东侧超过 5000	路由东北侧 1000	路由东侧超过 5000	路由东北侧 1000	设计施工
5# (2012 报沉船)	22°40'40.0" N 115°59'50.0"E	路由东南超过 5000	路由东南侧 1500	路由东南超过 5000	路由东南侧 1500	1:12 万海图
6# (大士岛西北岸礁角点)	22°47'47.0" N 115°57'43.5"E	东侧 550	东侧 200			1:2 万海图
7# (靠近登陆点之浅点)	22°48'16.6" N 115°57'42.5"E	东侧 320	东侧 170			1:2 万海图
8# (甲湖湾西南岬角岸礁角点)	22°48'02.0" N 115°57'21.4"E	西侧 130	西侧 430			1:2 万海图

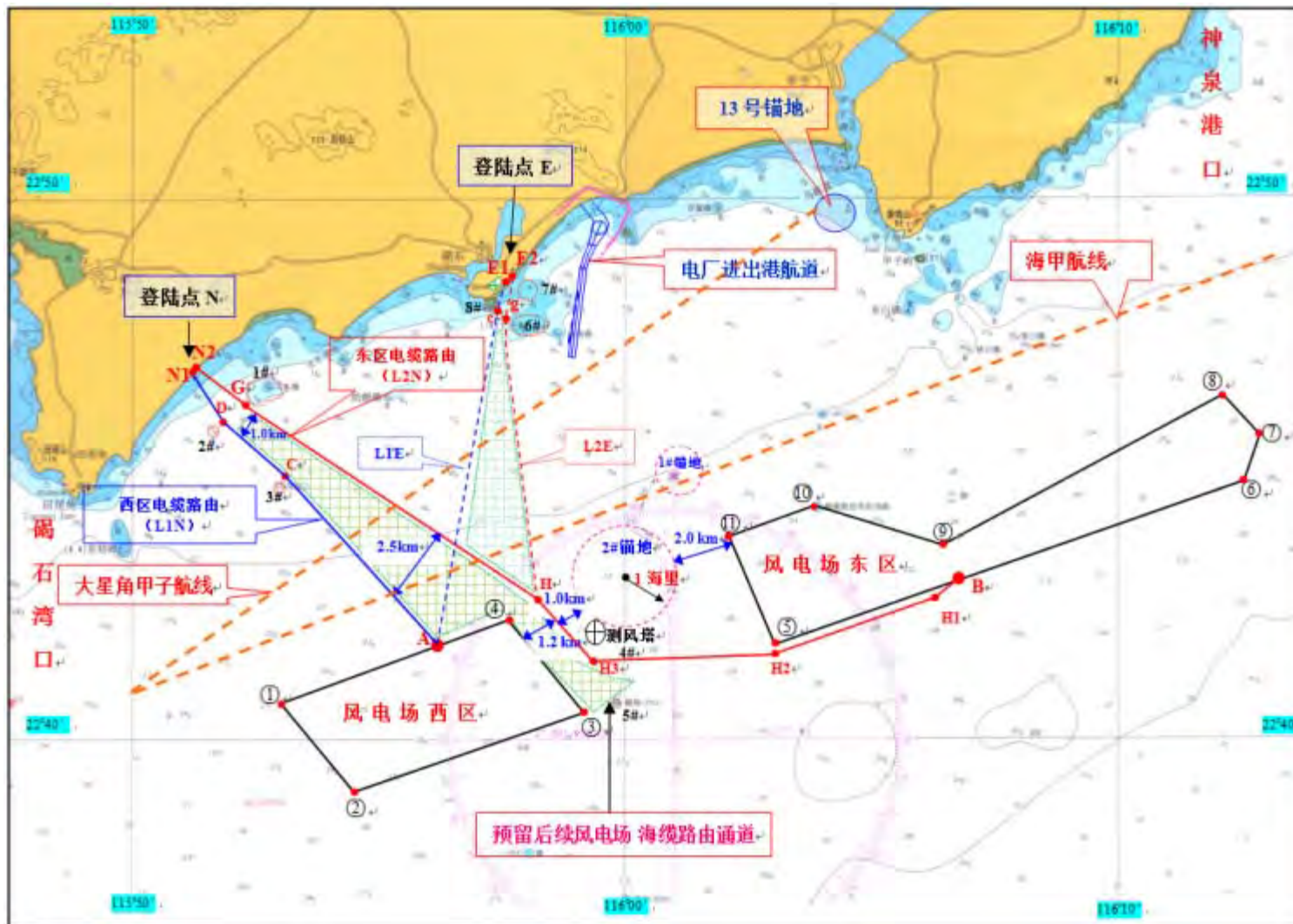


图2-15 候选路由走向及所涉障碍示意图

(2) 推荐方案

220kV 送出电缆由海上升压站至登陆点，在风电场东、西两区的两个海上升压站至拟建集控中心附近登陆点之间，分别采用 1 回路和 2 回路的海底电缆输电方案，送出海缆均采用 220kV 的三芯海缆，拟选用交联聚乙烯绝缘，铅护套，无磁合金丝铠装，光电复合，三芯海底电缆，电缆截面为 $3 \times 500 \text{ mm}^2$ 。路由区水深在 0m~-26.5m（理论深度基准面）。

(1) 登陆点：西区海缆在 N1 登陆，东区海缆在 N2 登陆，N1 与 N2 间距 250m，作为后续开发的甲子风电场和深水风电场的海缆登陆空间。

(2) 西区风场海缆路由：自西侧登陆点 N1 点起穿过潮间带到达浅海区 D 点（D 点考虑规避海底礁石区，保持与东区 L2N 海缆间距 1km），由 D 点转向东南至 C 点（C 点规避西侧 250m 乌头礁南角点），最后由 C 点至 A 点连接西区升压站，1 回路海缆全长 12.77km。

(3) 东区风场海缆路由：自东侧登陆点 N2 点起到达 G 点（G 点规避东侧 250m 处虫鸟礁），再有 G 点至 1#锚地附近 H 点，自 H 点起围绕 1#锚地外缘并与其保持间距不小于 1km 定拐点 H3，再至东侧风场西南角外侧定拐点 H2、沿东区风场南边界定拐点 H1（H1、H2 距离东区风电场南边界 300m），最后至 B 点连接东区升压站，2 回路海缆全长 60.38km（单回海缆长度 30.19km）。

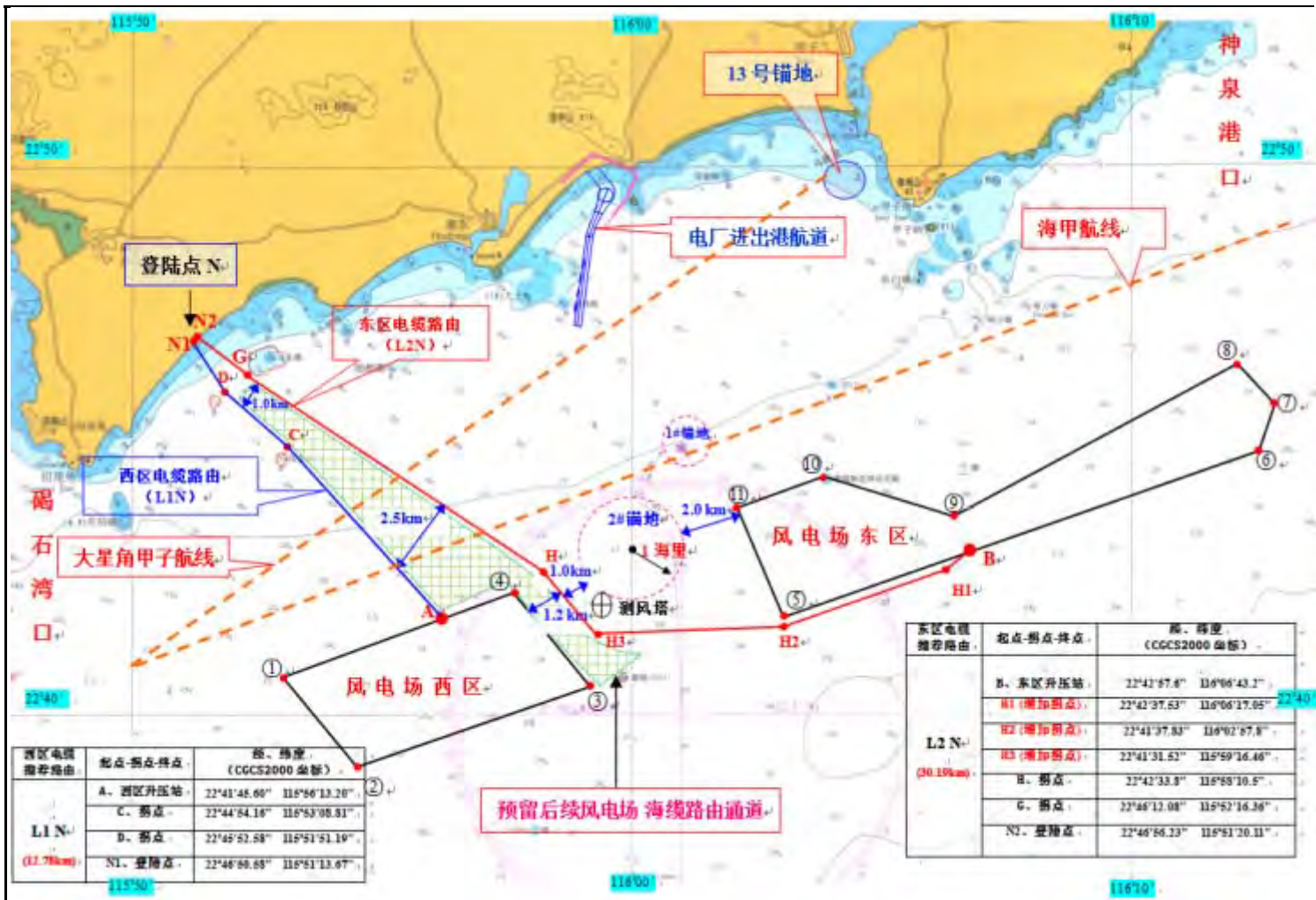


图2-16 220kV海底电缆路由走向及拐点图



图2-17 220kV海缆截面示意图

2.4 工程结构方案

2.4.1 风机基础结构方案比选

综合国内外海上风电场建设经验,结合本工程的特点以及目前国内海上施工单位的施工设备、施工能力及相应的技术水平,工程可研阶段风机基础主要考虑桩承基础型式,并选择高桩承台基础、水下三桩基础、水上三桩基础和四桩导管架基础四种基础型式进行详细的方案设计与比较。

2.4.1.1 高桩承台基础方案

高桩承台在特定海域具有它的优势,主要表现在施工设备配置要求不是很高,能进行施工的船舶资源国内市场较多,但适合离岸距离不远的海域施工,本方案海上作业时间久,需要大量混凝土。

高桩承台基础结构型式为:用 8 根直径 2.0m 的钢管桩作为基桩,平均桩长 106.15m,平均入土深度约为 76.5m,桩底平均高程约为 -101.65m,桩顶高

程约为 4.5m, 8 根 5.5:1 的斜钢管桩在承台底部沿 12m 直径的圆周均匀分布。钢管桩内部灌注 20 倍桩径长度的 C50 微膨胀混凝土, 以加强锚固作用并提高钢管桩抗弯刚度。承台底部高程约为 2.0m, 现浇混凝土承台下部直径为 16m, 顶端直径约为 11m, 承台总高约为 5.3m, 下部圆盘的高度为 3.8m, 承台上部锥形段的高度为 1.5m, 风机塔筒过渡段钢管插入承台的深度约为 3.5m。

风机塔筒连接钢管位于承台中心, 底端埋入承台混凝土中, 以保证与承台的固端连接。连接钢管顶端设操作平台与风机塔架连接。



图2-18 高桩承台基础计算模型图

2.4.1.2 四桩导管架基础方案

四桩导管架基础设计方案为: 导管架桩顶标高为-21.0m, 结合风机基础平台底高程以及国内外同类工程过渡段尺寸(高约 3~7m), 初定本工程导管架顶法兰标高为 18.0m。灌浆连接段长度为 6m。用 4 根钢管桩定位于海底, 4 根桩呈正方形均匀布设, 上部导管架结构插入到钢管桩里, 通过水下灌浆, 构成组合式基础。导管架承受波浪、海流荷载风机荷载及风机塔架传递的风荷载, 并将荷载传递给 4 根垂直打入海底的钢管桩。根据现阶段地质资料以及结构计算成果, 桩径 2.4m, 桩中心距为 22m, 整个风电场的平均钢管桩桩长约为 80.65 m, 平均入土深度约为 76.5 m。



图2-19 四桩导管架基础计算模型图

2.4.1.3 水上三桩基础方案

水上三桩基础用 3 根钢管桩定位于海底，3 根桩呈正三角形均匀布设，桩顶高出海平面一定距离，并通过钢套管灌浆连接支撑上部门架式结构，构成组合式基础。水上三桩基础承受波浪、海流荷载、风机荷载及风机塔架传递的风荷载，并将荷载传递给 3 根垂直打入海底的钢管桩。水上三桩基础灌浆连接段施工位于水面以上，能够较好的提高施工效率并保证施工质量。

水上三桩基础设计方案为：桩基沿直径 28m 的圆周均匀分布，桩径 3.5m，桩顶标高约为 4.6m，水上三桩基础法兰面标高约为 19.00m，过渡段插入钢管桩内的 3 根导管腿直径为 3.2m，钢结构最大厚度约为 70mm。根据现阶段地质资料以及结构计算成果，水上三桩基础平均桩长约为 102.75m，平均入土深度约为 73.0m。



图2-20 水下三桩基础计算模型图

2.4.1.4 单桩基础方案

无灌浆连接段单桩基础主体结构为大直径钢管桩，桩身设置靠泊、爬梯及平台等附属结构，钢管桩顶部法兰在工厂加工时预先焊接，沉桩后直接与塔筒底部法兰通过螺栓连接。

通过计算分析，并结合设计经验，本工程拟定无灌浆连接段单桩基础结构型式为：与风机塔筒连接处外径 7.0m，水中部分通过锥形段过渡到 9.25m，泥面以下为单根直径 9.25m 钢管桩定位于海底，承受风、浪、流等海洋环境荷载和上部塔架传递下来的风机荷载。根据现阶段基础结构设计计算成果，钢管桩平均桩长为 95.15m，平均入土深度约为 52.0m，现阶段考虑风机基础进行比选，桩顶高程与其余几种风机基础保持一致，初定为 18.0m。为了减少海上施工吊装作业时间，将防撞构件、外风机平台、爬梯、电缆管及牺牲阳极等附属构件设计为整体套笼结构，桩身预先设置附属构件的连接结构，打桩完成后将附属构件安装于桩身。



图2-21 单桩基础计算模型图

2.4.1.5 方案比选及推荐方案

本阶段从结构、施工、防腐蚀、工程量等因素综合考虑，对风机基础采用单桩基础、高桩承台基础、四桩导管架基础、水上三桩基础方案进行了综合比选。从结构安全性角度分析，各风机基础方案均能满足结构受力、变形、稳定及刚度要求，从技术角度这四种基础型式均可行；从施工难度、施工周期角度分析，由于采用了超大直径单桩，目前国内超大直径单桩施工装备和施工能力存在一定不足，加上工程地质的不确定性因素，单桩基础的施工存在一定困难。高桩承台基础、导管架基础都有相对成熟的施工经验，具有施工可行性。导管架基础的施工重点和难点在于基础调平和灌浆施工，高桩承台基础在国内有着非常成熟的施工经验，但是施工工序较多，工期较长。水上三桩基础采用水上灌浆施工，能够提高施工质量和效率；从工程量角度（主要是用钢量）分析，导管架基础的工程量最小，最具有经济性，水上三桩基础次之，高桩承台基础和单桩基础工程量相对较高。本阶段通过综合分析，认为四桩导管架基础结构安全、工程量最优、施工较为便利，是在满足安全性要求的前提下比较适宜本风电场的基础型式，现阶段首推四桩导管架基础方案。

表2-9 风机基础适用条件及优缺点对照表

基础型式	适用条件	优 点	缺 点
水上三桩基础 (Tripile)	水深 20~50m	较大的底盘可提供巨大的抗倾覆弯矩；构件数量较少，结构受力明确；钢管桩桩顶在水面以上，容易调平，灌浆施工便利，其灌浆质量容易控制；水面以下构件少，受波浪作用小。	主要受力节点较复杂，疲劳问题突出，同时建造成本高；桩基悬空长，基础重心高，整体刚度低；对冲刷敏感，基础周围一定范围内的海床，需采取可靠的防冲刷防护措施。
高桩承台基础	水深 小于 30m	国内施工工艺成熟；基础结构整体刚度大；对船只、设备要求低。	海上施工作业时间长，风险较大；打桩的工作量较大；桩基悬空长，基础重心高。
四桩导管架基础	水深 0~60m 海域	较大的底盘提供了巨大的抗倾覆弯矩能力，基础刚度大，导管架的建造和施工方便，受波浪和水流的荷载较小，对地质条件要求不高。	相对节点最多，需要进行大量的焊接与处理。
单桩基础	水深 0~25m	制造简单，钢材用量较少，且无需做任何海床准备。	受海底地质条件和水深的约束较大，水太深易出现弯曲现象；安装时需要专用的设备(如钻孔设备)，施工安装费用较高；对冲刷敏感，在海床与基础相接处，需做好防冲刷防护。

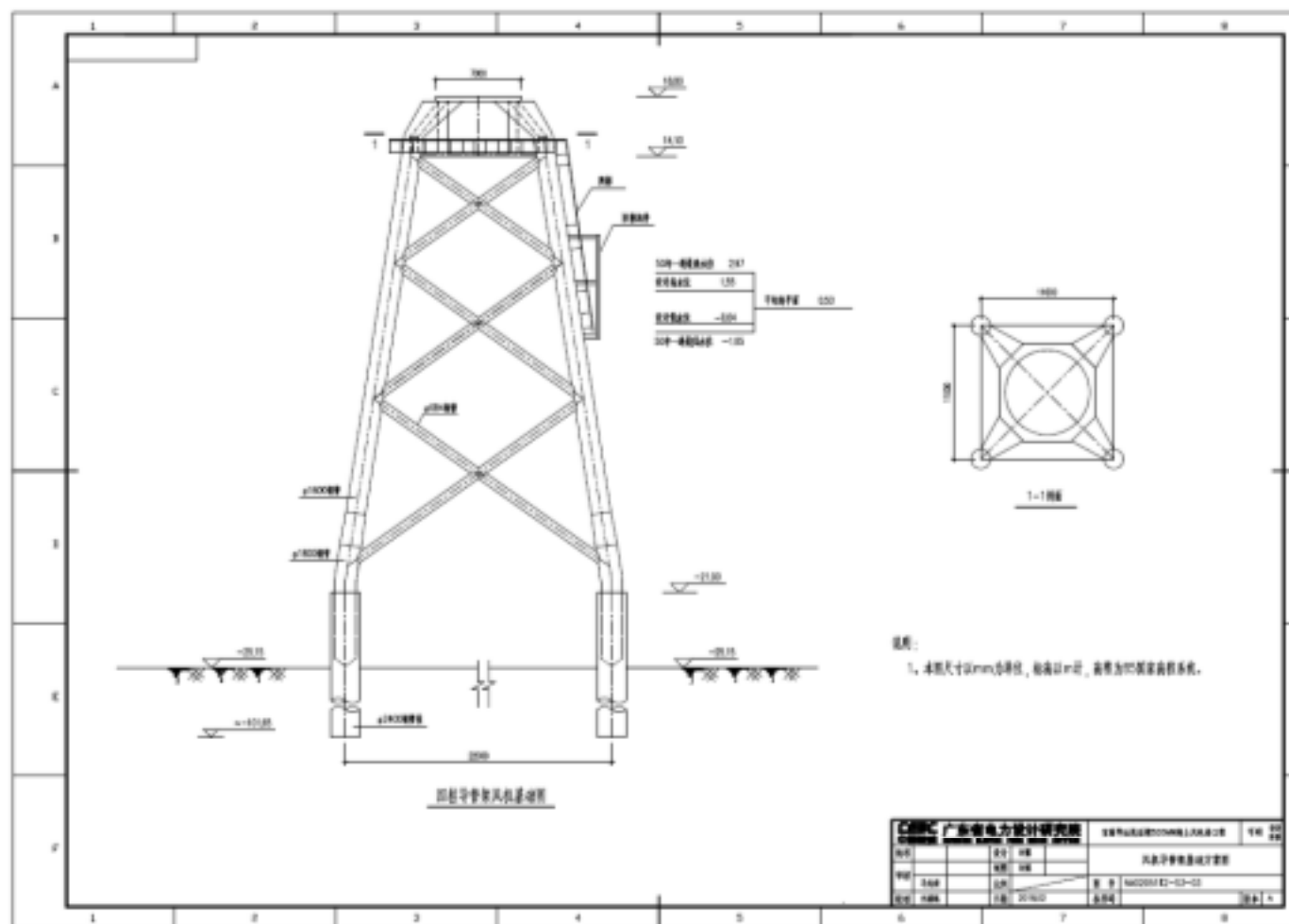


图2-22 风机四导管架基础结构图

2.4.2 海上升压站基础结构方案比选

根据项目所在的地质情况和海洋环境，选择了单桩基础和导管架结构基础，根据不同工况组合进行了初步的计算分析。

2.4.2.1 单桩基础

单桩基础结构方案采用直径 6 m 钢管桩作为基桩，入土深度约 50 m。桩顶通过灌浆连接将过渡段与钢桩连接在一起，过渡段连接段长度约为 8 m。过渡段钢管顶部挑出四根变截面箱型钢梁，钢梁尾部设连接件，上部平台四根柱子插连接件，调平后焊接。为提高基础刚度保证结构安全，在单桩桩周一定范围内进行抛石保护处理。

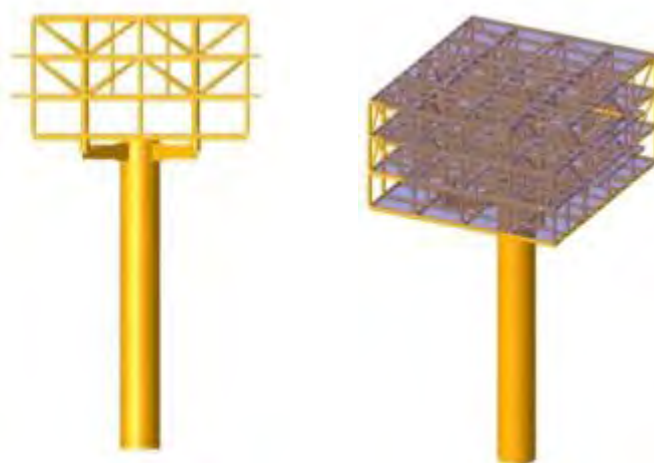


图2-23 升压站基础模型——单桩

2.4.2.2 导管架基础

四桩导管架基础方案如同成熟的浅海石油平台，先进行海底面平整，将导管架之置入海底，初次调平后将桩插入腿柱，打桩完毕后，调整好导管架结构，采用皇冠板将桩和导管架焊接起来固定。桩与腿柱之间灌注混凝土（或者不灌注混凝土），保证桩与导管架结构的共同工作。上部平台四根腿杆插入钢桩，调平后焊接。

导管架由四根主腿杆及水平及竖向撑杆组成。节点部分局部加厚或加粗管径。根据现有的钻孔资料及结构计算成果，该方案桩径约为 2.2 m，入土深度约 55m。

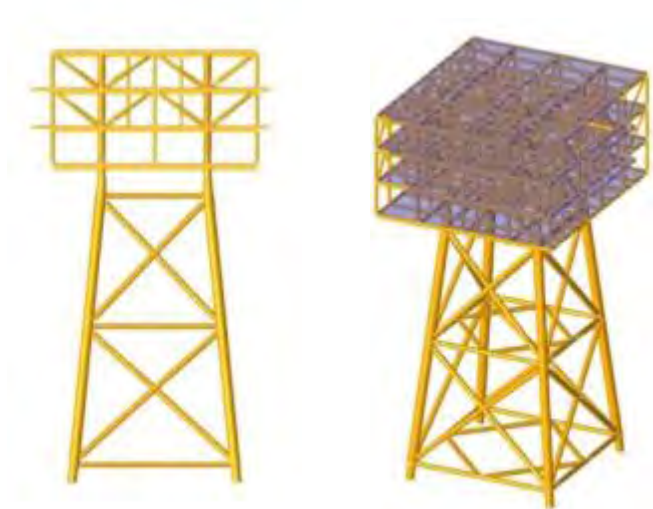


图2-24 升压站基础模型——导管架

2.4.2.3 方案比选

通过工可研的初步数值分析，单桩、四桩导管架两种基础的名义应力、节点冲切、桩承载力、转角以及频率均能够满足设计规范要求。从总用钢量方面来看，单桩基础较省钢；从结构设计的角度，导管架基础方案刚度大，结构超静定次数高，不需要做抛石防冲刷措施；单桩基础刚度相对导管架基础方案低，结构冗余度低；从施工的角度看，导管架基础，施工工序较单桩复杂，对各工序施工精度要求更为严格。单桩基础方案施工相对简单，但对于沉桩设备有较高要求。

考虑到该区域表面土层变异性较大，为保证海上升压站结构安全，综合考虑采用导管架基础作为海上升压站的用海方式合理。

表2-10 海上升压站下部基础结构方案比较表

层数	优势	劣势
单桩	1. 成本较低； 2. 国外已有成熟的案例以及设计方法； 3. 对海床变化不敏感； 4. 安装便捷，建造简单； 5. 运输需求空间最低； 6. 单桩内部空间可作为油储罐等容器。	1. 电缆及电缆J形护管拥挤； 2. 过渡段灌浆时的临时稳定性可能是一个问题； 3. 对甲板偏心（例如：变压器等大型设备更替、外挑直升机甲板等）的适应性较差； 4. 结构刚度低、环境力作用下产生侧向位移较大，运行期间产生的加速度可能会影响电气设备的正常运转。
四桩导管架	1. 电缆接入较为便捷；	1. 同单桩结构比较，建造复杂；

	2. 平台登入更方便； 3. 对荷载偏心具有更强的适应性； 4. 保证未来平台运行的灵活性（可新增、更替大型设备）； 5. 结构冗余度较高。	2. 增加了安装时间及成本； 3. 海床变化及打桩前临时稳定性可能是个问题； 4. 低潮时桩靴是潜在的风险（若有桩靴）； 5. 由于构件尺寸缩小，更易受损；
--	---	---

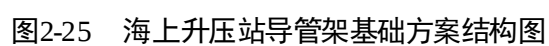
2.4.2.4 推荐方案

导管架采用 4 腿导管架型式，导管架 4 个面的斜度约为 1：10。导管架顶标高 17.0m，底标高 -28.02m。主导管采用 Φ 2200 钢管，成矩形布置，在标高 -26.52m， -17.02m， 4.66m， 15.50m 处设水平圆管 Φ 1000 钢管，在标高 -26.52m， 15.50m 处设置斜拉圆管 Φ 800 钢管，导管架局部节点用钢材 DH36—Z35 加强。导管架上设靠船构件、登船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等。

钢管桩采用 Φ 2800 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚为 30~60mm，桩长约为 93.5m，桩入泥约 84m，以⑥6 粘土 粉质粘土为桩基持力层。钢管桩在陆上加工制作，用打桩船沉桩施工。

在海上升压站两侧沿导管架分别布置 Φ 273mm 的 35kV 海缆保护 J 型套管和 Φ 508mm 的 220kV 海缆保护 J 型套管。35kV 海缆和 220kV 海缆沿 J 型套管登入、登出海上升压站平台。电缆保护 J 型套管固定在导管架上，上部延伸到一层甲板，下面伸到泥面处，采用电缆柔性保护限制器固定。

待钢管桩沉桩到位之后，导管架与钢管桩采用水下灌浆方式连接。



2.4.3 灌浆连接设计

本工程四桩导管架基础过渡段腿柱和钢管桩之间采用水下灌浆连接，通过腿柱与钢管桩之间的环形空间内灌浆，可以把导管架段荷载传递给钢管桩。四桩导管架钢管桩直径为 2.4m，插入灌浆段的导管架腿柱直径为 2.0m，带有剪切键的灌浆连接段大样如图 2-27 所示。

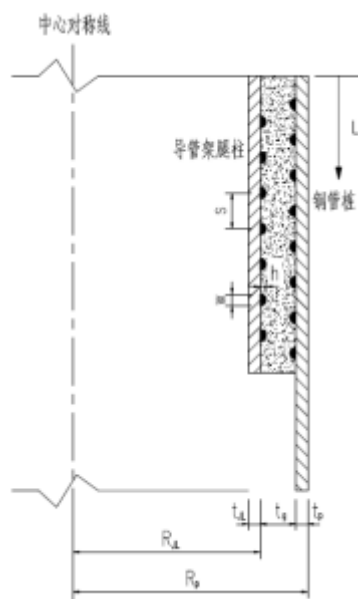


图2-26 带剪切键的灌浆连接段大样

2.4.4 基础防腐蚀设计

大气区的防腐蚀采用涂层或金属喷涂层保护；飞溅区和水位变动区的防腐蚀采用重防腐涂层或金属热喷涂层加封闭涂层保护；水下区的防腐蚀采用阴极保护和涂层联合保护或单独采用阴极保护；泥下区的防腐蚀采用阴极保护。

本工程风机基础结构设计年限按 50 年标准设计，但因风电场设计使用寿命为 25 年，工程建设期 2 年，本次防腐蚀设计使用年限按 27 年考虑。若 27 年后风机基础还需运行，需对其更换牺牲阳极块，并对重防腐涂层加强维护或补涂新的防腐涂层。

2.4.5 防冲刷设计

海上风电基础结构常用的结构冲刷的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。采用预留冲刷深度的办法可以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。综合考虑工程区域整体冲刷和桩周局部冲刷的影响，结合附近其他工程经验，在结构计算时，采用的预留冲刷深度暂定为 $1.5D$ 约为 3.6m 。

2.4.6 运维码头

运维码头拟租用陆丰核电站东北角的陆丰海洋基地码头。

2.4.7 工程量

表2-11 风机基础方案主要工程量表（共 91 台风机）

序号	项 目	规格	单位	四桩导管架
1	主体钢结构（包括过渡段及加强构件）	DH36/DH36-Z35（导管架节点区、支撑节点区需采用 DH36-Z35）	t	946.8
2	平台甲板	Q235B	t	
3	平台梁	Q235B	t	
4	爬梯、栏杆	Q235B	t	8
5	防撞构件(两处)	Q345C	t	15
6	灌浆量	1d 强度不低于 50MPa, 28 天强度不低于 120MPa	m ³	40
7	牺牲阳极块重量	铝-锌-钢合金	t	10
8	防腐涂层	大气区 930um, 浪溅区 1160 um, 水下区 800 um	m ²	5114.4
9	灌浆密封圈		套	8
10	承台混凝土量	C50	m ³	
11	承台钢筋	HRB500	t	
12	墩台混凝土环氧树脂漆	500 um	m ²	
13	墩台混凝土硅烷浸渍	喷涂两遍, 每遍 300mL/m ²	m ²	
14	桩内填芯混凝土	C50	m ³	
15	桩内钢筋笼	HRB500	t	
16	高强预应力螺栓(或基础环)	Φ 48 高强预应力螺栓	t	
17	灌浆管线	20 [#]	t	8.0
18	电缆 J 形管	20 [#]	t	18
19	电缆牵引用钢丝绳	Φ 20, 单根长 100m	m	200
20	运维吊机	1 吨, 悬臂 10 米	套	1
21	护舷	SA500 型/长 9.0m	个	4

22	系缆柱	A315 型	个	
23	砂袋及砂被(冲刷防护)	砂被厚度约 500mm	m ²	

表2-12 海上升压站下部基础工程量表

编号	项 目	单位	规格/型号	数量	备注
一	下部基础结构				
1.1	主体结构导管架	t	DH36	1755	导管架主腿杆、撑杆（水平及斜向）
1.2	加强部位	t	DH36-Z35	120	
1.3	靠船件及爬梯	t	Q235B	60	
1.4	橡胶护舷	个	SA 型橡胶护舷	4	
1.5	J 形管	t	20#	102	
1.6	牺牲阳极	t	A□I-2	28	
1.7	防腐涂层	m ²	大气区 930um, 浪溅区 1160 um, 水下区 800 um	7712	
1.8	防沉板	t	Q235B	85	材质: DH36; 规格: 壁厚 10~24mm, 封板厚 10mm;
1.9	灌浆材料	m ³	高强度灌浆料	80	材质: 环氧基高强灌浆料; 规格: 试件 28d 抗压强度 ≥ 120.0MPa;
1.10	灌浆管线	t	灌浆管线 Ø108x5	7	共 300 米, 一用二备
1.11	密封封隔器	个		4	每根桩靴 1 个, 共 4 根
1.12	桩靴灌浆紧固器	套		4	每根桩靴 1 个, 共 4 根
1.13	弯曲限制器	m	规格: Ø325、 Ø508	40	用途: 海缆套管
二	桩基				
2.1	钢管桩	t	DH36	823	钢管桩 2200 mm 桩长约 85 米 4 根

表2-13 主要监测设备一览表

序号	项目及内容	单位	数量	备注
1	钢板应变计	支	290	
2	钢板计电缆	m	10057	
3	静力水准仪	套	364	
4	静力水准联通管	m	10920	
5	自动化采集系统			
5.1	自动采集控制装置	台	10	含 24ah 蓄电池
5.2	弦振传感器模块	个	10	
5.3	监测软件	套	1	

5.4	扩展模块	个	10	
6	振动测试系统			
6.1	采集控制器	套	10	
6.2	三向加速度传感器	个	20	
6.3	传感器电缆	m	300	
6.4	工控机	台	10	
6.5	数据发射系统	套	10	
6.6	在线监测软件	套	1	
6.7	蓄电池	台	10	
6.8	逆变器	台	10	
7	阴极保护监测			
7.1	电流监控参比电极	套	40	
7.2	电缆	m	3750	
7.3	电缆保护管	m	3750	
7.4	数据采集器	套	10	
7.5	无线通讯模块	套	10	
7.6	系统软件	套	1	

2.5 工程施工方案

2.5.1 施工总体布置

本项目同时存在海上施工项目及陆上施工项目，施工现场覆盖范围较广，结合工程条件及施工条件，本工程施工期间规划 1 个施工补给码头、1 个施工基地及 4 大施工作业区。

2.5.1.1 施工辅助基地码头

施工避风基地位于陆丰甲子镇甲子港，施工辅助基地码头拟租用当地的渔港，用于承担人员进出，小型物资进出（图 2-2）。

2.5.1.2 施工基地

此基地计划布置在风电场陆上集控中心附近。该基地主要负责承担陆上集控中心的建设，同时兼顾海上风电场施工的补给及海上施工人员的陆上生活区。陆上集控中心环评不在本次环评报告范围内。

2.5.1.3 施工作业区

本工程按照施工空间位置主要划分 4 大施工作业区，分别是海上风场施工区、220kV 送出海缆施工区、陆上集控中心施工区、钢结构加工制作区。

2.5.2 工程施工供应条件

本工程主要的建筑材料为钢材，钢材可从广东省内及省外的市场采购。陆上集控中心所需混凝土量相对较小，可在汕尾市或邻近市直接采购商品混凝土。本工程的主要施工机械为大型的平底驳船、打桩船、拖轮、起重船及常规的机械设备等。大型专用船舶需从外地调用，小型船舶和部分机械设备可在汕尾当地租用。本区域的水电供应条件相对较好，汕尾港港区的供水、供电系统完备，陆上施工基地的水、电供应可直接从当地的管网系统接驳。海上的供水依靠淡水补给船补给，海上施工用电靠工程船舶自带的柴油发电机提供。

2.5.2.1 水上交通运输

本工程场内交通运输的主要有风机基础构配件、海上风机主要部件或整机、各种施工设备、零星材料及其它构配件的运输。运输工具主要为各类运输船、施工专用船舶等，接卸设备主要为码头吊机、船舶自带起重设备或专用起重船等。工程实施期间，风电场场内规划主航道与场址周边现有航道连接，避免船舶搁浅或触礁，确保施工期间的水上运输安全。现针对主要运输项目的运输方式进行简单介绍：

（1）风机整机利用专门改造的运输驳船运输风机，运输驳船也可采用无动力驳船，但需要配备拖轮拖带。

（2）施工期间的水及油料等消耗性材料利用专用运水船或加油船运输至施工现场。

（3）风机基础钢管桩及上部钢结构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客船运输。

(6) 常规施工设备、零星材料等采用普通货船进行运输。

2.5.2.2 陆上交通运输

场内陆上交通运输主要存在于陆上施工基地或陆上施工项目，陆上的交通运输主要依靠场内规划的施工便道或轨道，运输设备主要为汽车、门式起重机、履带吊或其它流动机械。

2.5.3 工程主体施工

2.5.3.1 风电机组基础施工

(1) 钢结构加工及制作

本工程共有 91 座风机基础。本阶段推荐采用四桩导管架基础形式，导管架基础需布置 4 根钢管桩，钢管桩桩径为 2.4m，平均桩长约 80.65m，平均入土深度 76.5m，单根钢管桩重量约为 230~240t。单个基础的钢结构重量（不含钢管桩）约为 900~950t，需要配备大型的起重船舶及驳船用于风机基础的运输及安装。风机基础钢管桩壁厚都在 30mm 以上，单根钢管桩重量较重，按照当前国内的生产能力，不能采用螺旋自动焊的加工工艺，只能采用半自动的直焊缝生产工艺。

(2) 导管架、钢管桩的运输

1) 导管架场内运输

本工程导管架底面根开为 22m，高度约为 30~40m，完成建造的导管架在场内采用 1200t 履带吊配合轨道、台车进行运输；导管架在码头前沿通过 1200t 以上履带吊起吊、装船并采取可靠措施固定。

2) 导管架场外运输

导管架场外运输利用 5000t 驳船进行，每次装载 3 台，通过 3000HP 拖轮拖带，将装有导管架的驳船运送至风电场安装或施工主基地临时存放。

3) 钢管桩的运输

钢管桩在加工厂生产完并经验收合格后，利用龙门吊或台车运至码头前沿进行出运，利用设置在出运码头的回转吊、履带吊或起重船进行装船，采用 3000t 运

输驳船运载，每次运输 8 根钢管桩至风电场，供 2 台风机基础施工使用。

(3) 基础桩施工

导管架基础对基础沉桩的精度要求非常高，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，然后插桩并利用振动打桩锤与常规打桩锤配合施工。

1) 施工工艺流程

国内典型的沉桩施工工艺如下：

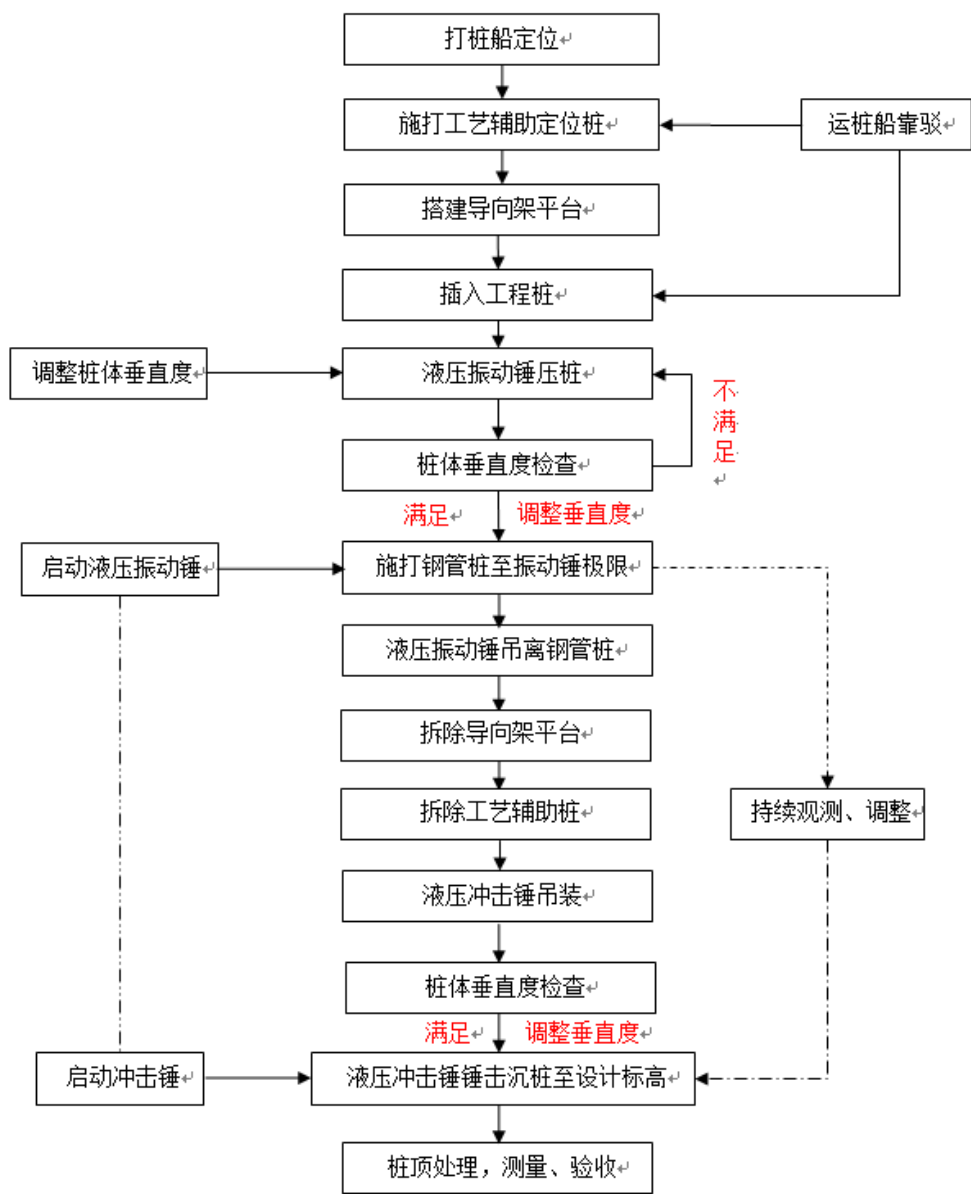


图2-27 常规钢管桩沉桩施工工艺图



图2-28 工艺定位架示意图

（4）四桩导管架基础施工

四桩导管架基础在国外的海上风电场已有广泛的应用，在国内的珠海桂山海上风电场示范项目工程中也有应用，其施工工艺已经成熟。借鉴国内外海上风电场的建设经验，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。

1) 其主要施工工艺如下：

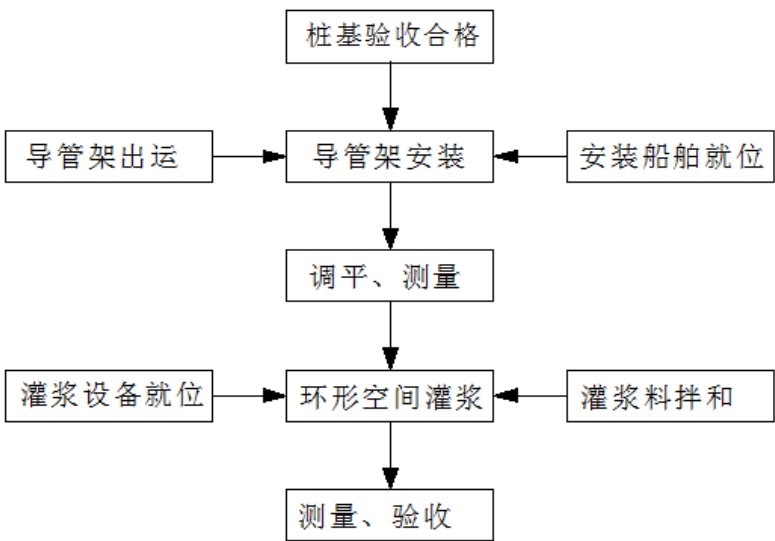


图2-29 四桩导管架施工工艺图

2) 主要施工步骤

a) 导管架海上吊装及调平施工

1200t 以上起重船、导管架运输船分别抛锚就位 → 竖直起吊导管架，运输船起锚驶出，工作船驶入、锚泊就位 → 工作船吊放照明及视频监控仪入水，起重船下放导管架 → 通过水下监控及工作船上揽风控制导管架位置，将导管架连接钢锥体插入钢管桩 → 验收合格后，对导管架进行初步固定，完成导管架吊装。

b) 水下灌浆施工

导管架吊装完成后，灌浆工作船立即驶入锚定 → 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 → 通过水下视频监控，当导管架上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。

(5) 施工船机设备

表2-14 四桩导管架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	1200 吨起重船	艘	1	钢管桩插打、安装导管架等	
2	S-800 液压打桩锤	台	1	钢管桩插打	
3	APE-400 型振动锤	个	2	插桩、稳桩、拔桩	
4	5000t 工程驳	艘	2	导管架运输	
5	3000t 平板驳	艘	2	钢管桩运输	
6	1000t 工程驳	艘	2	施工辅助船	
7	3000HP 拖轮	艘	2	驳船拖带	
8	2000HP 拖轮	艘	3	驳船拖带	
9	抛锚艇	艘	4	抛锚	
10	300 匹交通船	艘	2	交通运输	
11	1000t 工程驳	艘	1	灌浆船	
12	1000t 级加水、加油船	艘	2	现场船舶供水、供油	

2.5.3.2 风电机组安装

本项目共安装 91 台 5.5MW 风力发电机组，转轮直径为 157m，轮毂高度为 105.7m。所选机型为海上机型。国内海上风电开发建设虽起步较晚，但经过近几

年的发展，也已具备一定数量的专业海上风机安装船机、机具设备等。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。本工程风电场所在的甲子港海域海况条件复杂，涌浪较大，整体安装所需的施工窗口期较少，整体式安装面临的挑战较多；而采用自升式平台船的分体式安装对涌浪不敏感的特点使得其更为适合作为本工程风机安装的主选方案。同时经调研，目前国内可适应本工程水深及海床地质条件情况的平台船可选来源较多。综合考虑后，本工程风机安装采用分体吊装方案。

表2-15 风机主要设备安装参数一览表

设备	外形尺寸 (m)	重量 (t)
机舱	9.5×7.2×8.2	243
塔筒	4.05(顶端直径)、7.0 (底端直径)	411
叶片	76.6 (长度)	3*35
轮毂	105.7 (轮毂高度)	92

(1) 施工工艺流程

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。采用支腿顶升的自升式平台船是为了避免船只受涌浪的影响，达到稳定的作业工况，实现静对静吊装作业的目的。施工工艺流程如图 2-31 所示。

(2) 主要施工设备

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

表2-16 拟配备的主要施工船机设备表

序号	船型	单位	数量	配置设备	船舶用途	备注
1	自升平台船	艘	1	250t 及以上主吊、50t 辅助吊	风机吊装	国内已有
2	起重船	艘	1	400t 海工吊	配合风机吊装	
3	平板驳	艘	2	5000t	风机运输	平板驳
4	拖轮	艘	2		拖航	自航
5	供给船	艘	2		淡水、油料	自航
6	交通艇	艘	2		场内交通	自航

7	多功能驳	艘	1		材料运输	自航
8	锚艇	艘	2		起抛锚	自航

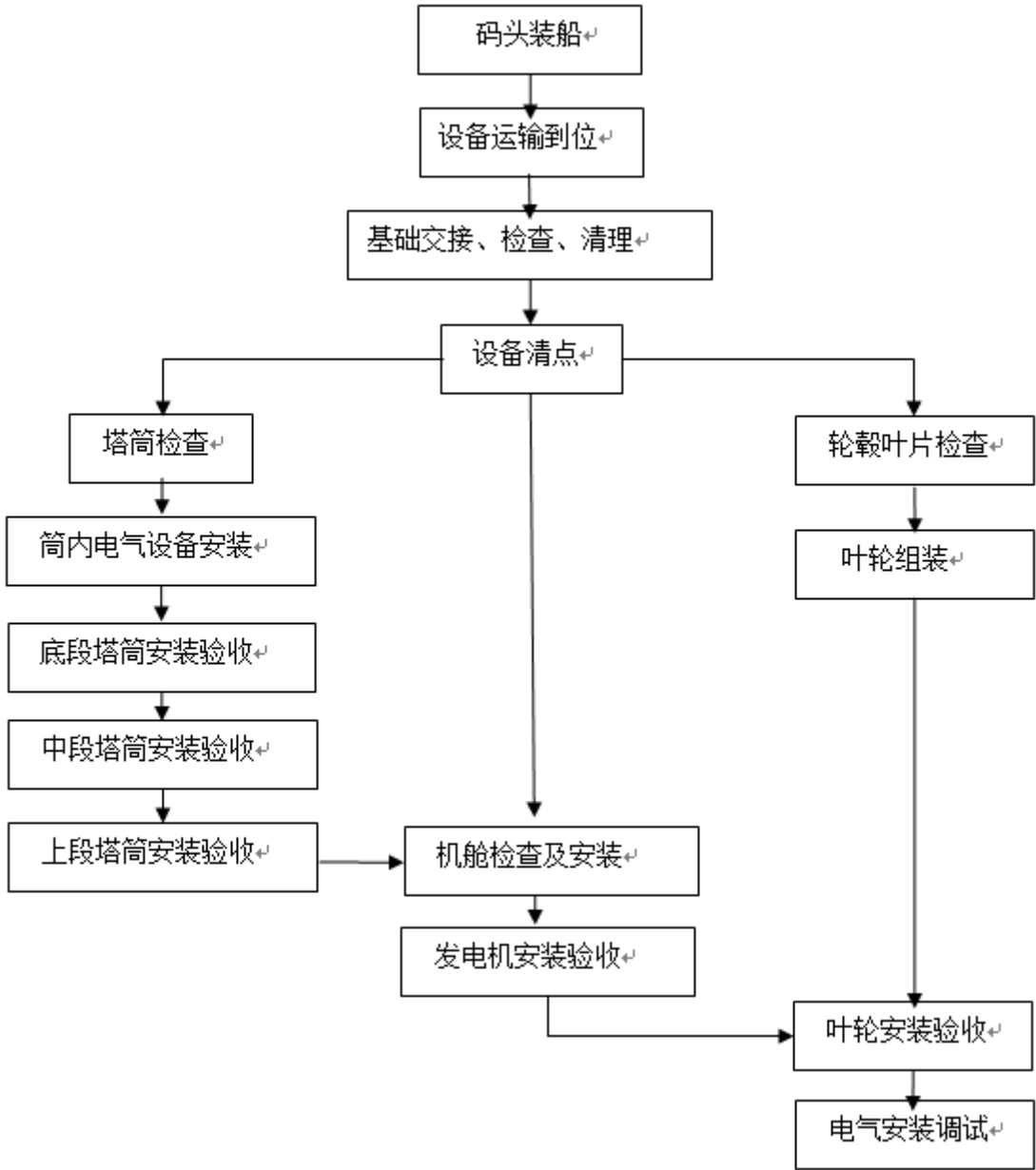


图2-30 风机分体吊装安装施工工艺流程图

2.5.3.3 导管嵌岩桩施工

本风电场场址内部分风机机位附近的海床覆盖层较薄，需要设置一定数量的嵌岩桩，嵌岩桩采用预制型芯柱嵌岩的型式。

嵌岩桩施工属于海上基桩施工中的一个专业的施工项目，施工技术难度及风险相对较高，本次就嵌岩桩的常规施工方法进行简单阐述。本工程基础工程桩为直桩，因此采用冲孔钻机成孔，嵌岩桩施工工艺流程：搭设施工平台→钻机就位成孔→清孔→验孔→下钢筋笼→二次清孔→现浇桩内混凝土。嵌岩桩施工的一个重要特点是海底地质情况复杂，施工进度控制风险高。

（1）搭设施工平台

利用夹桩用的钢结构牛腿以及工字钢作施工平台的主要支撑基础，即钢牛腿的结构和安全位置是以满足现浇梁底模安装的条件下，先提供施工平台使用。主梁及次梁采用工字钢，板面采用定型钢模板。

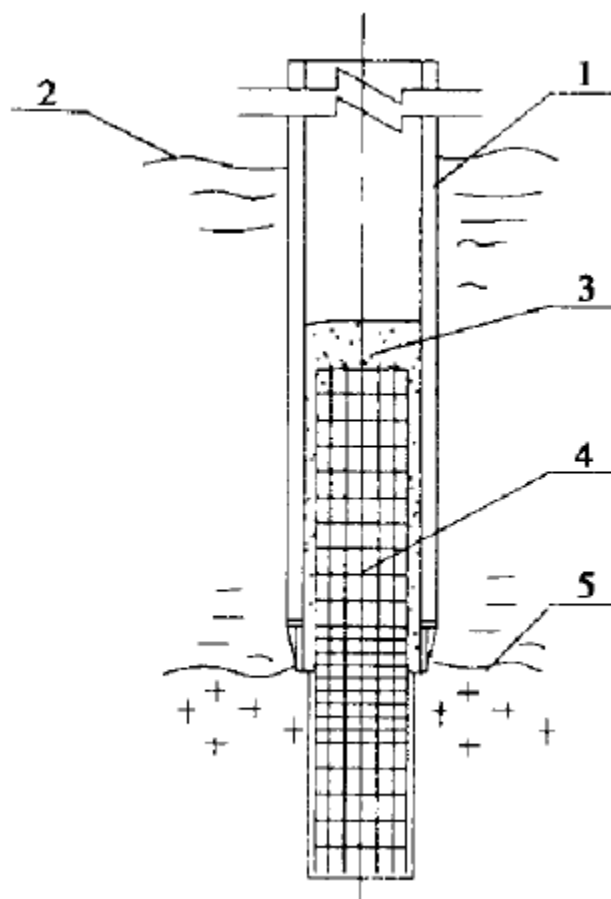


图2-31 预制型芯柱嵌岩桩嵌岩型式示意图



图2-32 嵌岩桩施工平台现场照片

(2) 冲孔及泥浆循环排渣

成孔采用冲击钻机进行冲孔，锤高必须大于桩尖至终孔岩面的距离，以防卡锤。用槽钢设置一条排浆沟槽，使护筒口与指定的泥浆罐相连。同时，在开孔前泥浆应调配合适，如果不合理使用会造成孔内沉渣，影响施工进度。



图2-33 嵌岩桩施工现场照片

（3）终孔、清孔及验孔

当判断孔深已到设计岩层时,应及时进行现场测量孔深,岩石取样,确保孔深达到设计要求。确定终孔后,进行孔径及标高测量,做桩位偏差值复测,符合设计标准立即进行清孔。清孔是保证冲孔质量的重要环节。清孔通过捞渣桶清渣,清孔验收时孔内残渣厚度必须小于 5cm 方可进行下道工序施工作业。导管安放后混凝土浇筑前进行二次清孔。二次清孔应检查泥浆性能和沉渣要求等,符合设计要求填写隐蔽验收记录,随即浇筑混凝土。成孔后应使用专门加工的验孔器进行上下扫孔检验桩孔直径、垂直度。

海上施工弃渣的来源主要为嵌岩施工时钻机钻进产生的,经初步计算,每个嵌岩机位产生的弃渣量约为 700m³, 31 台嵌岩风机共产生弃渣 2.17 万 m³。嵌岩施工时,可将产生的弃渣存于驳船上,存至一定量后运往陆上集控中心施工区用于回填。陆上集控中心施工区可完全消化海上嵌岩施工产生的弃渣。

（4）泥浆处理

建立良好的泥浆循环系统,包括泥浆沟槽、过滤池、沉淀池、储浆池、泥浆泵。弃渣集中按规定的地点、外运弃置。

（5）钢筋笼安放

钢筋笼在预制构件场制作,主筋间距、箍筋间距、钢筋笼直径及长度严格按照设计图纸要求加工,偏差值满足设计和规范要求。

浇筑混凝土采用分节的钢导管,采用法兰接头连接。起吊对准桩孔垂直放入,并将导管上下升降数次,若没有发生法兰盘挂钢筋现象,将导管提高距孔底一定距离,方可开拌灌注混凝土。



图2-34 嵌岩桩钢筋笼安放施工现场

（6）浇筑混凝土

钢筋笼安放验收后再次检查孔内残渣是否符合设计要求，若不符合要求则应再次清渣。然后装设导管并做升降检查。

按水下混凝土浇筑施工方法进行，即采用导管法浇筑水下不离析混凝土。斜桩导管的壁厚、法兰盘的厚度及连接螺栓均应加大（与直桩相比较），防止导管折弯。也可采用粗纹螺旋接头的导管。导管必须无裂缝且连接导管的法兰盘密封以防浇筑混凝土过程中导管进水。

导管要加焊鼓形导向器，利用鼓形导向器使导管沿着钢筋笼的内箍筋下滑，保证导管位于桩中轴线，防止被钢筋笼卡住。鼓形导向器的间距 6~9m 为宜，外径略小于钢筋笼内径。

水上搅拌船布料杆直接输送混凝土至漏斗内。混凝土开始浇筑时管下口至孔底距离控制在 30~50cm 之间，首批混凝土灌注后应进行标高探测，确保埋管深度。在施工中要经常探测孔内混凝土顶面标高，及时调整导管埋深，确保导管在混凝土中埋深控制在 2.0~6.0m。灌注开始后，必须保持连续性，防止混凝土在灌注期间中断造成导管内的高压气囊而堵管。混凝土灌注完成后顶面高程超出设计高程应大于 50cm。

表2-17 拟配备的主要施工船机设备表

内容	名称及规格	单位	数量	用途	备注
风机基础施工	起重船	艘	2	钢管桩打桩	桩架 60 米以上, 对应起重能力 500 吨以上, 均配置 IHCS-800 液压打桩锤
	起重船	艘	2	上部基础吊装	起重能力 1000t 级以上
	起重船	艘	3	嵌岩施工	起重能力 300 吨以上
	甲板驳船	艘	4	钢管桩运输	3000t 及以上, 每次运输两个机位的桩
	甲板驳船	艘	4	上部基础运输	3000t 及以上, 每次运输 3 个
	拖轮	艘	6	拖运、移位船只	2000HP 及以上
	抛锚艇	艘	6	驳船、起重船等起抛锚	
	交通艇	艘	2	接送人员	
	高压水泵	台	3	桩芯抽水	
	泥浆泵	台	3	吸泥清桩	
	回旋钻机	台	9	嵌岩施工	
	补给船	艘	2	淡水与生活物资补给	
	灌浆料搅拌机	台	3	搅拌灌浆料	搭载在嵌岩施工船上
	混凝土拌合站	台	2	搅拌混凝土	搭载在上部基础结构吊装起重船上

2.5.3.4 海上升压站施工

本风电场配套建设 2 座 220kV 海上升压站。220kV 海上升压站由下部基础（包括桩基础、导管架）、上部结构（包括甲板平台和电气设备层）组成。其中，下部基础由四桩导管架及钢管桩组成，四桩导管架底部为矩形，钢管桩通过灌浆与设置在导管架腿杆边的桩靴进行连接。

（1）钢管桩、导管架制造运输：钢管桩及导管架制造及出运与风机基础类似。

（2）海上升压站平台及电气设备安装：海上升压站上部平台钢结构考虑在汕尾市或临近汕头市钢结构加工厂制造、安装。平台结构在陆上施工场地内，利用龙门吊或履带吊机作为起吊设备进行组装，并在结构组装过程中完成电气设备以及其他相关专业设备的安装。在平台结构及电气设备安装完成后，进行检测调试，调试

合格后待运出海。

(3) 海上升压站下部基础施工

海上升压站下部基础施工流程见图 2-36。

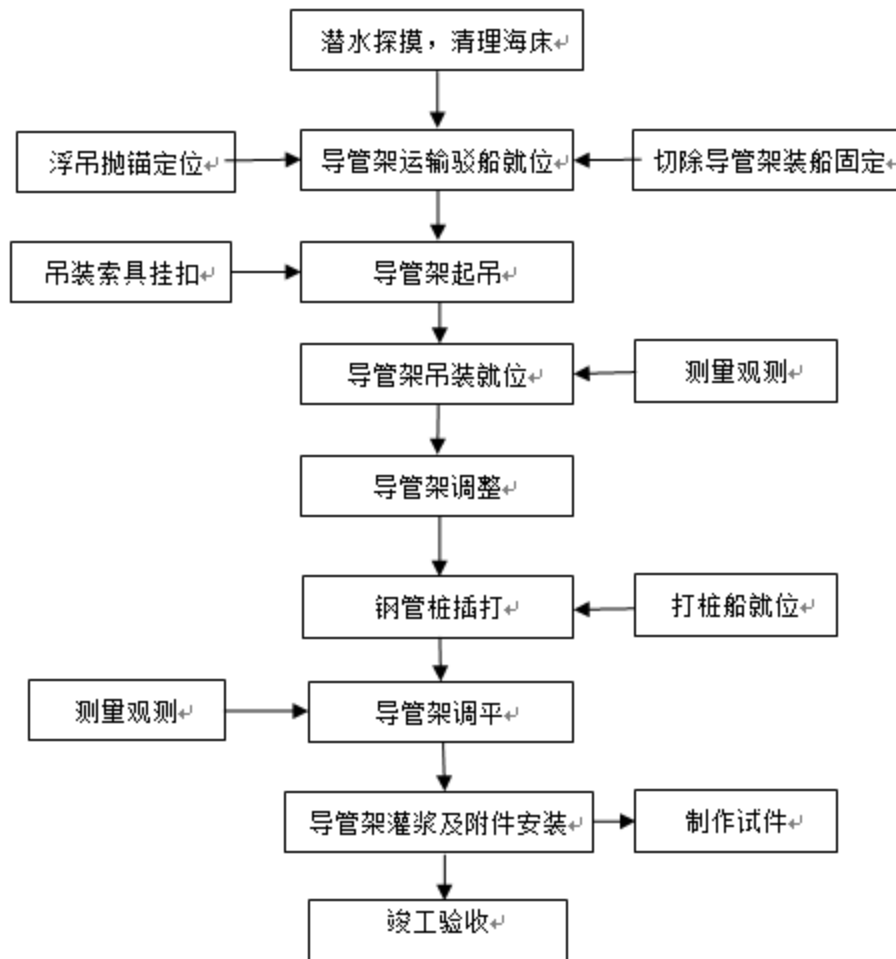


图2-35 升压站桩基导管架施工流程

1) 导管架海上安装

在建造厂重装码头利用 1200t 履带吊机将导管架吊装至 5000t 自航式平板驳上，并与平板驳船固定后，运至施工海域。

为保证导管架安放水平，施工前，在辅助驳船上配冲喷设备、沙石料等，对海床实施扫海，垫砂整平，确保海床无障碍物及基本平整。

所有准备工作完成后，将导管架运输船抛锚定位，利用 1200t 以上起重船整体吊装到位，导管架安装到位后，应及早跟进沉桩施工，以免导管架在风浪作用下

滑移，超出偏差要求。

2) 钢管桩沉桩施工

导管架安装就位后，进行钢管桩插打。沉桩作业选用 **1200t** 以上起重船配备 **APE400** 型液压振动打桩机。

钢桩沉桩分两步进行，第一步采用 **APE400** 液压振动打桩机按上述顺序依次沉桩至桩尖入土 **40m** 左右。然后测量并调整导管架平面水平度。第二步采用液压冲击打桩机或机械打桩锤依次沉桩到位。

3) 导管架与钢管桩连接

钢管桩沉桩完成后，固定于导管架腿杆上的桩靴与钢管桩之间的环缝按设计要求灌注高强灌浆材料连接。

(4) 海上升压站平台安装

1) 海上升压站安装流程

根据钢桁架组合体上部结构整体吊装尺寸要求，选择 **5000t** 级及以上起重能力的浮式起重船进行组合体的安装工作。目前国内的海油工程的“蓝鲸”号(**7500t**)、新振浮 **7** (**5000t**) 等起重船可满足本升压站上部组块的起吊工作，船机设备可选余地不大，需要根据施工进度计划提前与船机设备供应方沟通。上部组块转运时，可以采取起重船陆一水浮式起重吊装的模式进行升压站上部组块的装船工序。目前国内已成功吊装的 **4** 个海上升压站均无障碍一次性吊装成功，积累了比较丰富的经验。

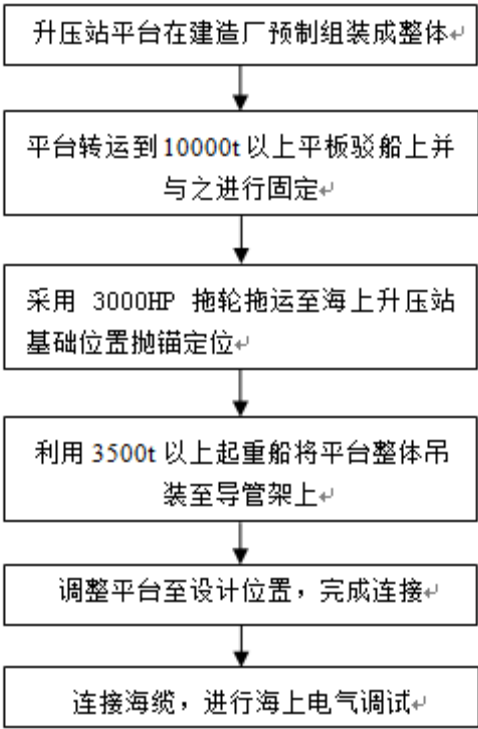


图2-36 升压站整体安装流程

2) 海上升压站施工主要船机配置

表2-18 海上升压站施工主要船机配置表

序号	名称及规格	单位	数量	用途
1	1600 吨起重船	艘	1	安放导管架、钢管桩插打等
2	APE-400 型振动锤	台	1	钢管桩稳桩
3	液压锤（柴油锤）	台	1	钢管桩插打 S800, S1200 备选
4	10000t 工程驳	艘	1	升压站平台运输
5	5000t 工程驳	艘	1	导管架运输
6	2000t 平板驳	艘	1	钢管桩运输
7	3000HP 拖轮	艘	1	驳船拖带
8	1000HP 拖轮	艘	2	驳船拖带
9	3500t 起重船	艘	1	升压站平台吊装
10	抛锚艇	艘	2	抛锚
11	300 匹交通船	艘	2	交通运输
12	1000t 工程驳	艘	1	灌浆船
13	1000t 级加水、加油船	艘	2	现场船舶供水、供油
14	运输台车	辆	4	升压站平台场内转运
15	1200t 履带吊机	台	1	导管架装船

2.5.3.5 海缆敷设施工

本工程电缆主要连接风机与风机之间、风机与海上升压站之间、海上升压站与陆地电网之间。电缆埋深需要根据路由详勘结果设计确定，一般为 3~5m。根据不同水深条件和海缆类型选用不同的施工设备，并采用不同的施工方案。

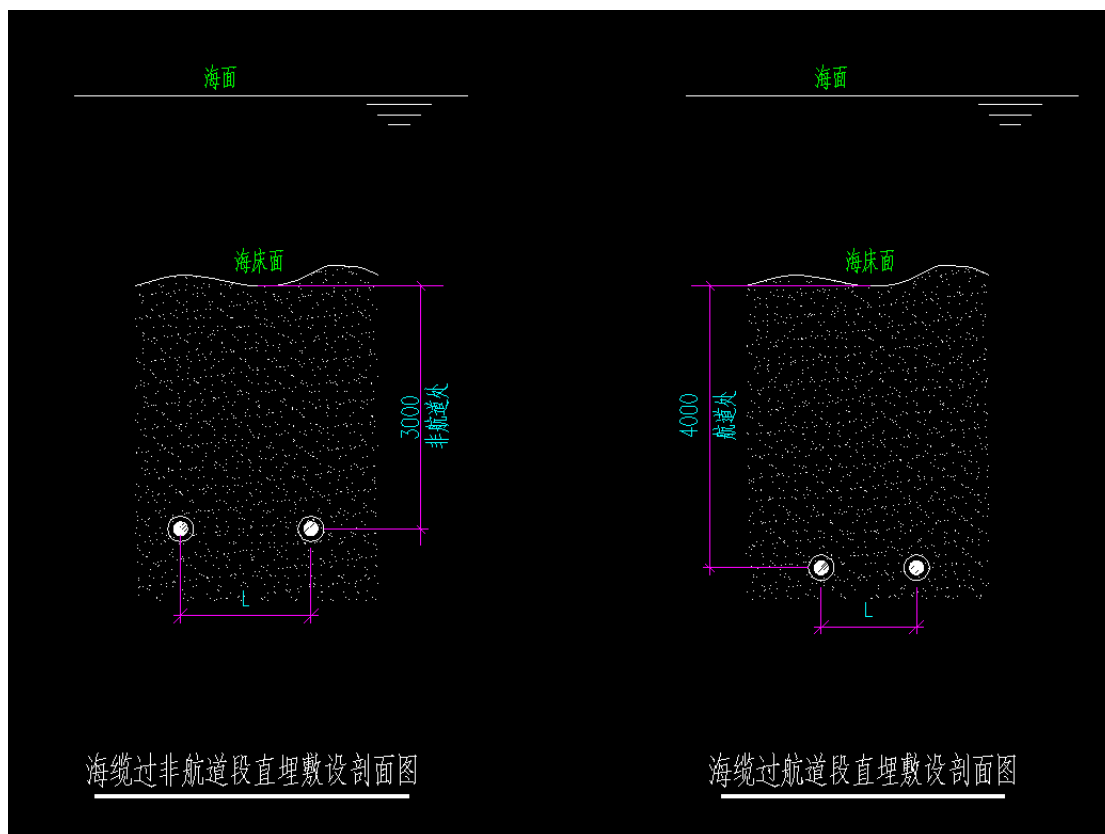


图2-37 海缆埋深的典型断面图

(1) 落潮后水深小于 3m 的区域

本段施工方式有两栖挖掘机和定向钻穿越两种方式进行比选。经比选，定向钻施工方式对自然岸线保护更有利，项目本阶段推荐定向钻穿越自然岸线。

1) 两栖挖掘机施工

采用两栖挖掘机进行挖沟和回填。两栖挖掘机可在直接在滩涂地区行驶，具备漂浮能力，可在无水和漂浮状态进行挖掘作业。电缆敷设前，采用两栖挖掘机对电缆路由进行清扫工作。两栖挖掘机挖沟后，由设置在陆上登陆点处的卷扬牵引电缆，牵引电缆的过程中引绳必须保持一定的张力和牵引速度，并对牵引张力进行监测。电缆沉入沟底后由两栖挖掘机进行回填施工。

2) 定向钻施工

登陆段浅滩属于自然保护海岸，为了减少破坏，预先使用定向钻拖拉法穿越海岸埋设管道，再通过管道牵引海缆完成登陆。

具体工艺：使用定向钻拖拉法穿越岸滩形成孔道，牵引并预埋管道，回填接收坑、工作坑。

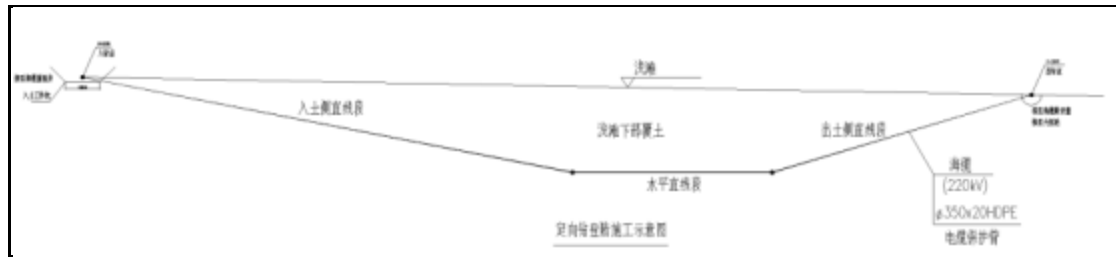


图2-38 定向穿越埋管示意图

登陆前存在数公里的浅滩，普通海缆施工船无法靠近作业，拟采用可坐底的海缆敷设船进行作业。穿越岸线的路径为长且平缓的弓形曲线，最大埋深需根据地质详勘资料与施工单位讨论具体施工方案方可确定，根据本项目穿越岸线的需要，最大埋深一般不大于 5m。

定向钻施工主要工艺流程为：施工准备 → 导向孔施工 → 反拉扩孔、成孔 → 牵引管道 → 基坑开挖 → 砌检查井 → 回填 → 验收清场。

施工船乘大潮驶入离登陆点 200m~400m 处就位，并利用 DGPS 测量系统定位于路由轴线上，抛设八字锚稳定船位。在终端登陆点处设置绞磨机。在电缆终端登陆前，已完成终端登陆的施工准备工作，具备登陆条件。将海缆头从电缆盘拉出，在电缆头上设置活络转头。并与设置在终端登陆点处绞磨机的牵引钢丝联结，牵引钢丝穿过预埋管道。启动绞磨机缓慢回绞钢丝，牵引海缆穿越管道，完成海缆穿越登陆。

定向钻岸基工作坑和临时施工场地拟选址在登陆点岸线向陆一侧，具体位置待完成路由勘察后确定。施工场地占地面积 40m×10m，场地内布置钻机、泥浆池和泥浆收集池、料场等。施工人员 15~20 人左右，占用时间大概 1 个月。施工过程中泥浆可重复利用，到施工结束后干化填埋或采用专用弃渣运输车辆外运至当地指定处理点，最后拆除沉淀池并覆土恢复植被。泥浆收集池应做防渗处理和布设排水

管渠，雨季覆盖遮挡物，避免雨水冲刷。

（2）浅水区与铺缆船施工的过渡区域（落潮后水深 3m~5m）

落潮后水深大于 3m 的区域由铺缆船乘高潮位进行电缆施工。

（3）深水区域海缆施工

1) 施工工艺流程

鉴于两种电压等级的海缆在海缆截面积、允许牵引力、单位重量、单根长度等参数存在较大差异，本工程拟选用两种不同吨位等级的海缆敷设船舶，即场内 35 kV 集电海缆与 220 kV 送出海缆采用两类不同的施工船舶。场内 35 kV 集电海缆优先选用带动态 DP 定位的施工船舶；220 kV 送出海缆采用无动力的绞锚施工船。常规海缆敷设主要施工工艺如下：

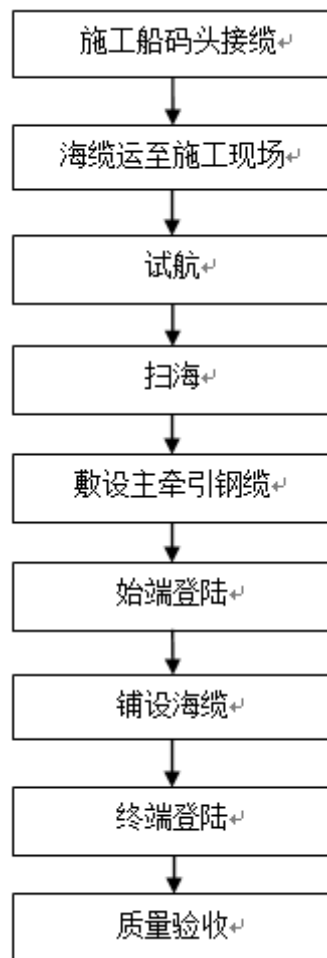


图2-39 海缆敷设施工工艺

2) 主要施工方案

①接缆：接缆采用海缆敷设船接缆，接缆地点为一般为生产厂家码头。

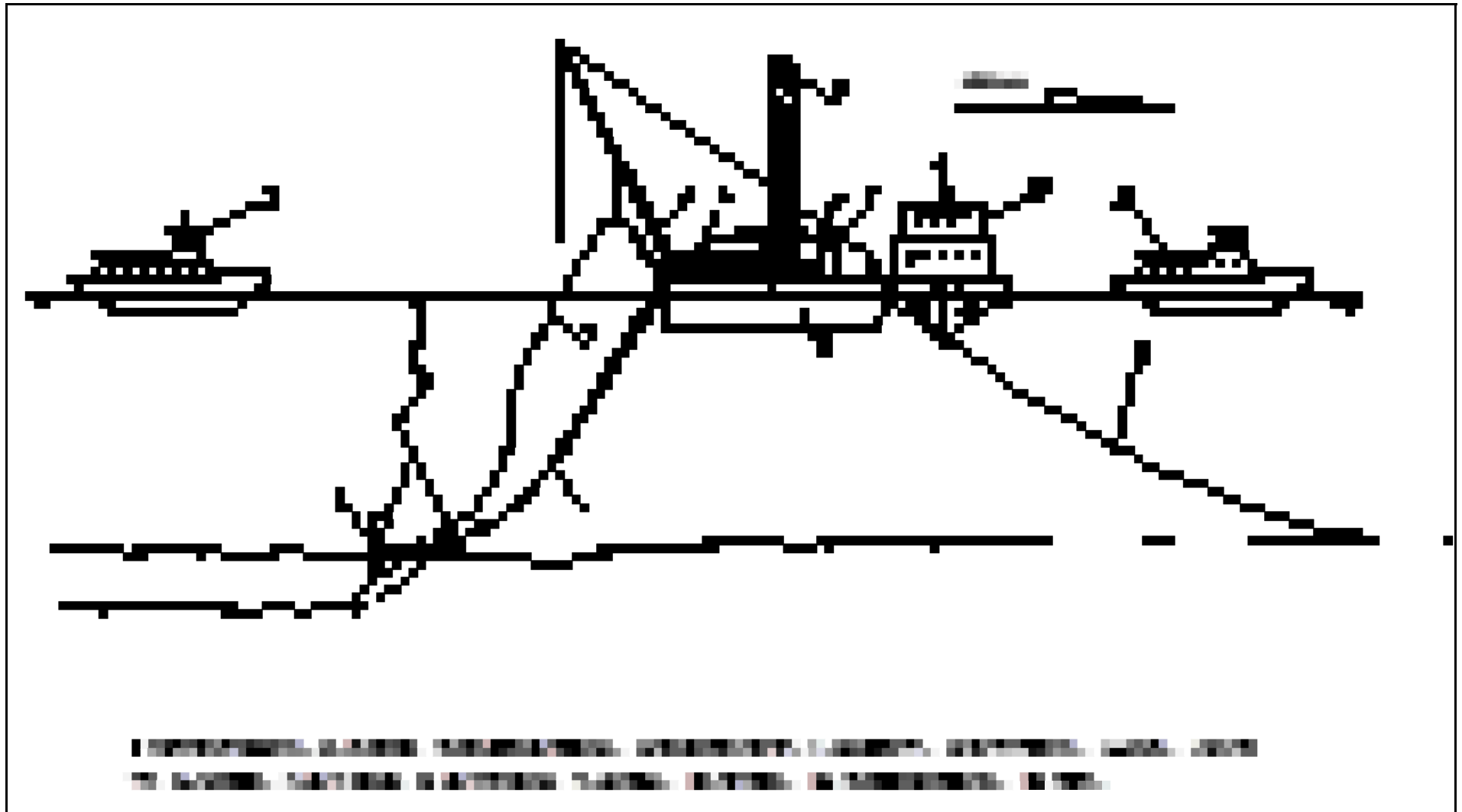
②试航：施工船舶到达施工现场之后，可首先进行试航作业，以确保后续施工顺利及施工质量。

③扫海：在电缆敷设施工前，应对预定固定电缆路由进行扫海操作，以便于探明施工路由轴线上可能影响施工顺利进行的旧有废弃缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物。扫海应注意避开已知的海底管线区域，防止造成意外损坏。

④敷设主牵引钢缆：海缆敷设船一般为无动力船型，需要拖轮拖带。本工程初步考虑采用设置主牵引钢缆引导敷设船的施工方法。由于本工程路由较长，需分段敷设主牵引钢缆，主牵引钢索由铺缆船释放并通过船上主锚机进行控制。

⑤敷埋海缆

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



(4) 主要施工设备

表2-19 主要施工船机配置表

序号	设备名称	单位	数量	用途
1	3000t 铺缆船	艘	1	敷设 220kV 电缆
2	1000t 铺缆船	艘	1	敷设 35kV 电缆
3	200t 汽车起重机	台	1	电缆装车
4	抛锚艇	艘	2	施工船抛锚、拖运施工船
5	2000HP 拖轮	艘	2	拖运施工船
6	交通艇	艘	2	接送施工人员
7	起重船	艘	1	电缆装船

2.5.4 土石方平衡

根据可行性研究报告，海上施工弃渣的来源主要为嵌岩施工时钻机钻进产生的，经初步计算，每个嵌岩机位产生的弃渣量约为 700m^3 ，31 台嵌岩风机共产生弃渣 2.17 万 m^3 。嵌岩施工时，可将产生的弃渣存于货船上，经甲湖湾电厂码头登陆，通过汽车运输至陆上集控中心。陆上集控中心施工区可完全消化海上嵌岩施工产生的弃渣。

铺缆船施工过程中，海缆管沟开挖完成后自然回填，没有多余土石方产生。

220kV 海缆定向钻登陆施工工作坑开挖土 50m^3 ，预埋管道后回填，不外抛；定向钻施工产生弃土约 60m^3 ，弃土运至陆上集控中心回填。

2.5.5 施工总进度

工程准备期主要包括规划的施工基地建设、风电场场内扫海、施工供水、施工供电、施工通信等准备工程建设。工程准备工作完成以后，开展主体工程的施工。风电场各主要施工项目的进度目标见表 2-19。

本项目计划在 2019 年 10 月开工，2020 年 6 月首批 3 台机组投产发电，2021 年底全部机组投产发电，工期约为 30 个月。

表2-20 工程 91 台风机施工总进度表

序号	项目	工期 (月)	计划开工 (月初)	计划结束 (月末)	备注
1	施工准备	6	T+0	T+6	T+0 为第 1 个月初
2	钢管桩制作	22	T+2	T+23	
3	导管架制作	22	T+2	T+23	
4	钢管桩沉桩施工	22	T+7	T+30	
5	导管架安装施工	13	T+8	T+25	首批 3 台先安装,时间跨度大于实际工期
6	首批风机机组安装	1	T+11	T+11	首批 3 台风机
	剩余风机机组安装	12	T+14	T+25	
7	首批 35KV 海缆敷设	1	T+12	T+12	
	35KV 海缆敷设	10	T+16	T+25	时间跨度大于实际工期,风机安装与海缆施工同步进行
8	220KV 送出海缆敷设	4	T+9	T+12	
9	海上升压站加工制作	8	T+4	T+11	
10	海上升压站安装	2	T+11	T+12	T+11 为基础施工时间
11	施工主基地改造	3	T+4	T+6	
	陆上集控中心	10	T+4	T+13	
12	首批风机并网调试	2	T+12	T+13	
13	剩余风机并网调试	12	T+18	T+29	工期表时间跨度
14	首批风机投产发电			T+13	里程碑
15	全部风机投产发电			T+30	里程碑

注：上表中“T+0”为第一个月开工时间。

2.6 工程用海情况

本项目用海情况引自《中广核汕尾后湖海上风电场项目海域使用论证报告书》（报批稿）（中国科学院南海海洋研究所 2018 年 8 月）。

2.6.1 申请用海面积

本项目总申请用海面积为 624.4846 公顷。其中：

（1）西区宗海 154.4489 公顷：35kV 集电线路申请用海面积为 73.7778 公顷，220kV 路由申请用海面积 25.7106 公顷，风机申请用海面积 53.2000 公顷，海上升压站申请用海面积 1.7605 公顷。

（2）东区宗海 470.0357 公顷：35kV 集电线路申请用海面积为 185.0391 公顷，220kV 路由申请用海面积 208.8646 公顷，风机申请用海面积 74.2000 公顷，海上升压站申请用海面积 1.9320 公顷。

2.6.2 申请用海类型和用海方式

（1）用海类型

本项目用海类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类）。

（2）用海方式

项目风机与升压站用海方式为构筑物用海（一级用海方式）中的透水构筑物用海（二级用海方式）；35kV 集线海缆和 220kV 送出海缆用海方式为其他用海方式（一级用海方式）中的海底电缆管道用海（二级用海方式）。

2.6.3 项目申请用海期限

本项目风机基础结构防腐蚀设计按 27 年考虑，风机的设计服务年限为 25 年，工程建设期为 30 个月。因此，本项目用海部分申请的用海期限为 28 年。

2.6.4 岸线利用情况

本项目利用岸线位于海底电缆登陆点及其两侧，利用海岸线总长度 43m，其中，西区 220kV 海缆利用砂质岸线 21m，东区 220kV 海缆利用砂质岸线 22m。



图2-41 建设项目海域使用宗海位置图

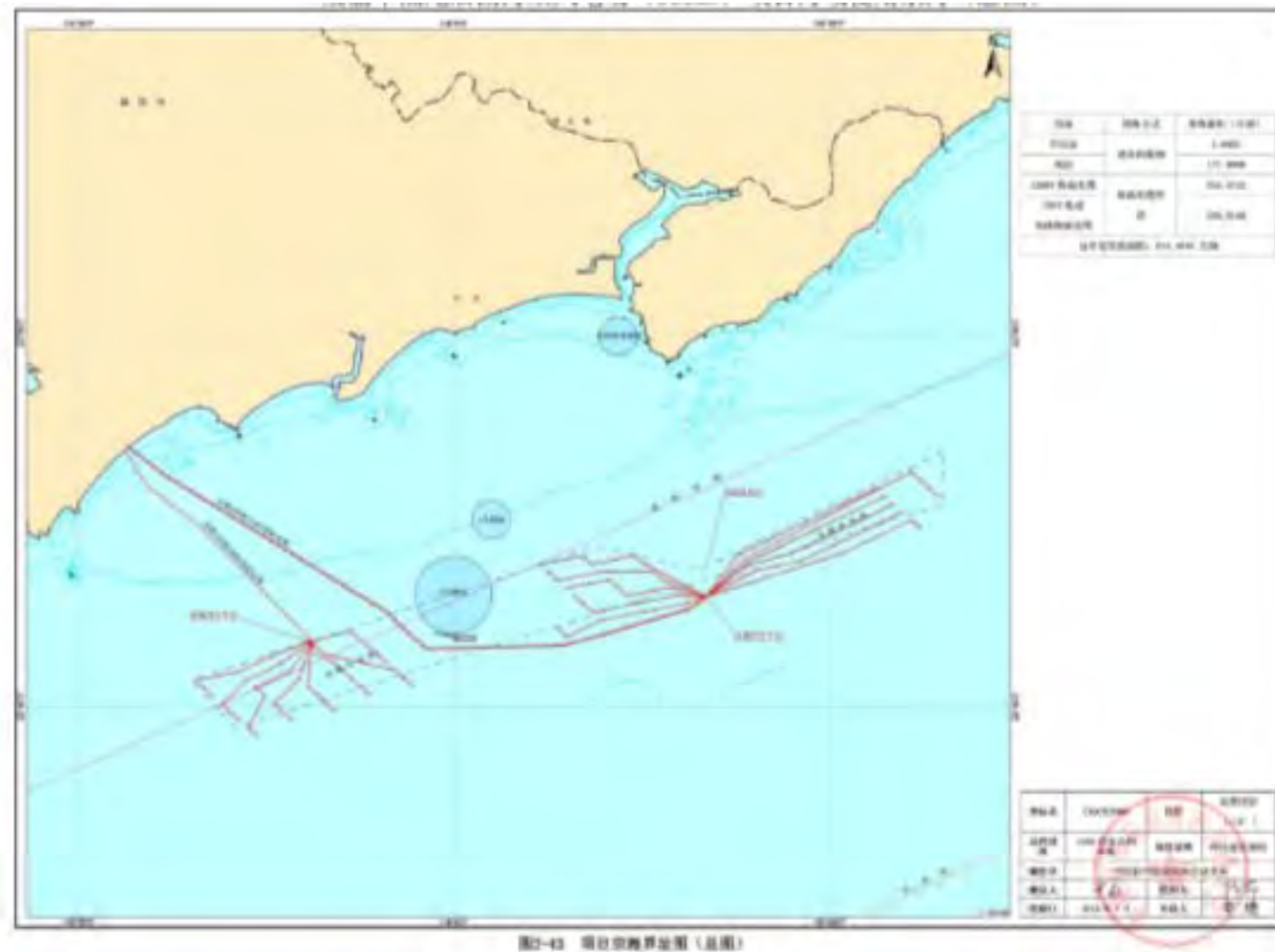


图2-42 建设项目海域使用宗海界址图

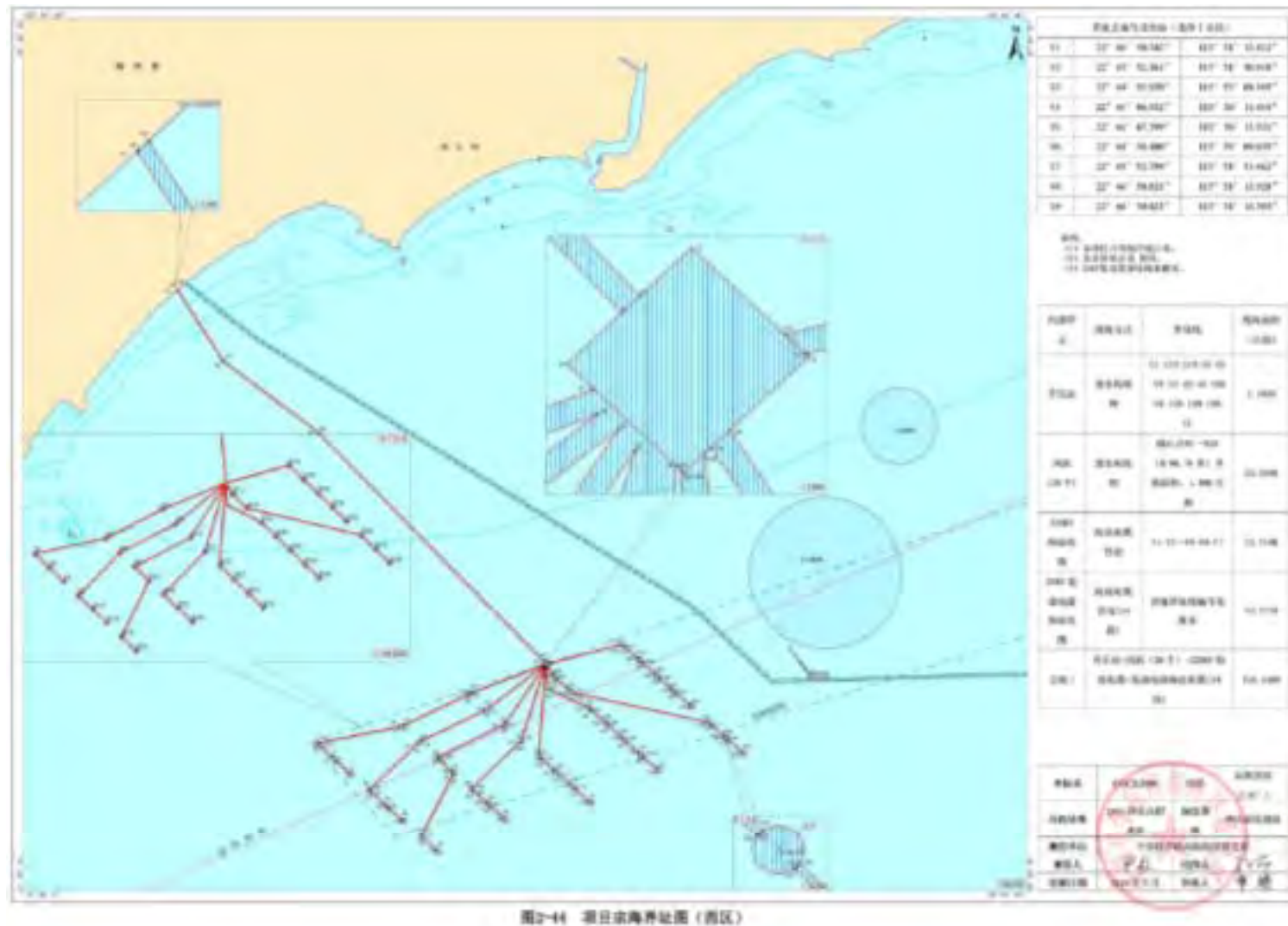


图2-43 宗海界址图(西区)

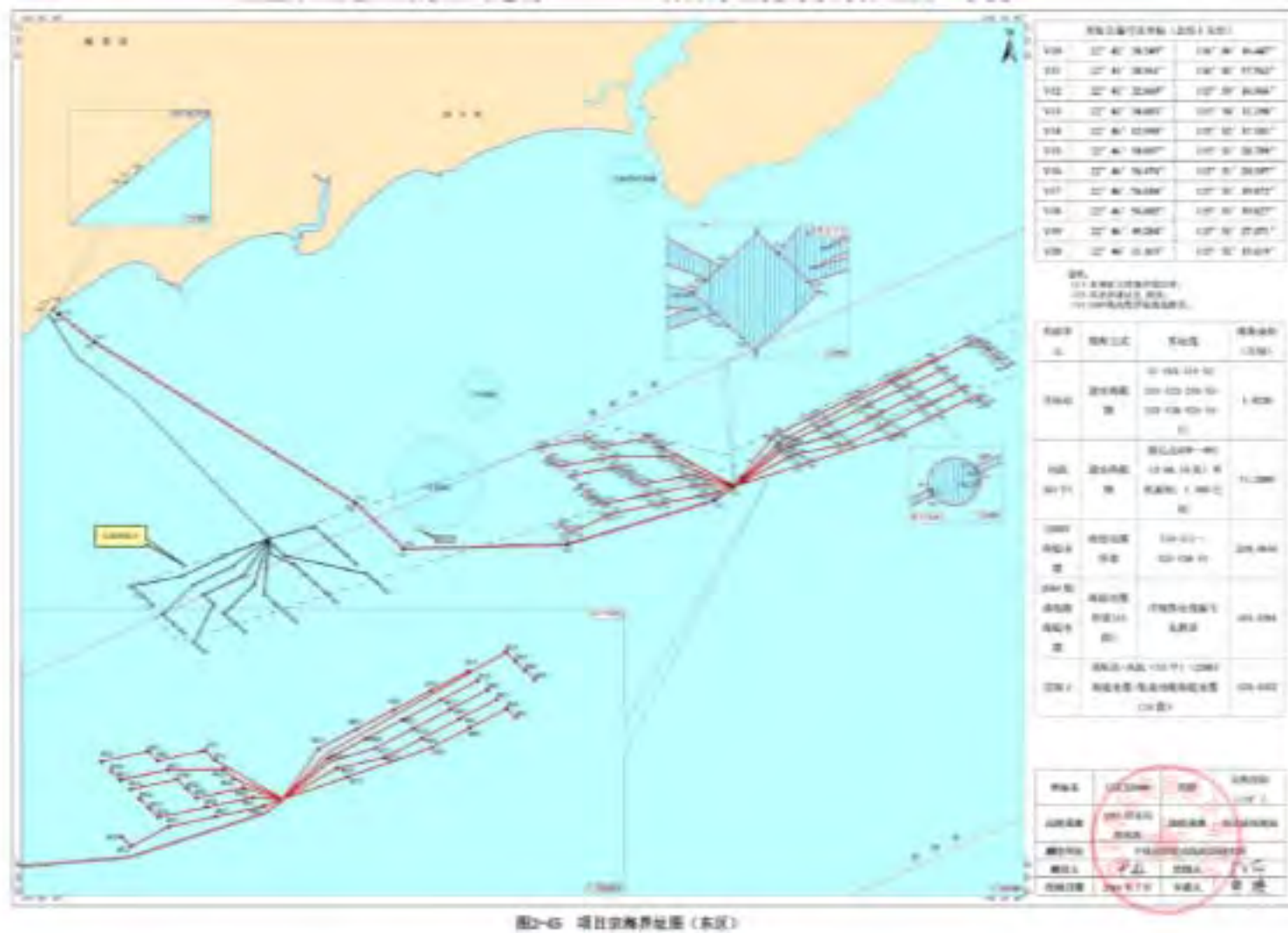


图2-44 宗海界址图（东区）

3 工程分析

3.1 生产工艺与过程分析

3.1.1 施工期

工程建设施工内容有：风机基础施工与吊装、海上升压站建设和电缆敷设。施工工艺过程及对海洋环境产生影响分析如下。

3.1.1.1 风机施工

风机基础施工与吊装过程中海域主要污染环节为打桩时产生的悬浮物、施工船舶产生的废水、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；固体废弃物包括嵌岩施工弃渣、施工人员生活垃圾以及施工废料等。

风机安装与吊装过程中基本无污染物排放。

3.1.1.2 海上升压站

海上升压站施工过程中海域主要污染环节为扫海清障找平和打桩时产生的悬浮物、施工船舶产生的废水、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。

设备运输及安装过程中基本无污染物排放。

3.1.1.3 海缆施工

海底电缆施工过程中海域主要污染环节为挖沟犁开沟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。

3.1.2 营运期

运营期主要工艺为：海上风机发电，将 35kV 集电线路升压至 220kV，通过

2 回 220kV 海底电缆输送至陆上集控中心。

运营期风电场污染因素包括升压站和风机维护过程中的废油及车船废气、废水和固废；阴极保护所产生的锌溶解；升压站产生的噪声和电磁辐射。此外，220kV 海缆也会产生电磁辐射。

3.2 工程各阶段污染环节与环境影响分析

3.2.1 施工期污染物排放状况

3.2.1.1 悬浮泥沙

(1) 钢管桩施工

钢管桩基础施工过程中会有少量海底泥沙再悬浮。本工程的打桩船配置 IHCS-800 液压打桩锤。根据同类工程实际施工经验，打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加 ($>10\text{mg/L}$) 范围一般在半径 100m 内。

(2) 海底电缆敷设

1) 定向钻登陆段

220kV 电缆潮间带段选择采用定向钻穿越施工，基本无悬浮泥沙产生。

2) 铺缆船施工段

海底电缆敷设在泥面下约 3m 深处，海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，正常铺设速度约 4m/min，单条海底电缆铺设正常施工土方量 = $(0.3\text{m} + 0.5\text{m}) \times 3\text{m} \times 0.5 \times 4 \text{ m/min} = 4.8\text{m}^3/\text{min}$ 计，折合 $288\text{m}^3/\text{h}$ 。根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 20% 计算 = $288\text{m}^3/\text{h} \times 20\% = 57.6\text{m}^3$ 。

根据 5.1.5 节工程海域表层沉积物粒度调查结果，本次计算将路由分为 2 个区段（近岸段、离岸段），中值粒径分别为 0.011mm 和 0.028mm，沉积物干容重按照公式 $\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$ 计算， D_{50} 为泥沙中值粒径。则近岸段和离岸段的泥沙干容重分别为 776kg/m^3 和 910kg/m^3 ，由此计算得到单条电缆施工

的悬浮物源强分别为近岸段 12.4kg/s 和离岸段 14.6kg/s 。

根据同类型的项目经验，海缆正常铺设速度控制在 $1\sim 5\text{m/min}$ ，铺设完成一段海缆即移至下一段。按照 4m/min 的工作效率计算，每个悬沙源强点连续溢出按照 1 小时计算，计算源点之间的距离取 1 小时作业点移动 240m 。

（3）扫海清障作业悬浮物

扫海作业范围在路由两侧 50m ，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沙源强，扫海源强基本可以忽略。

（4）含泥废水

定向钻开挖施工过程中产生 600m^3 泥浆，泥浆主要是砂水混合物。泥浆水主要成分为膨润土和少量无毒无害添加剂，成分呈弱碱性，经沉淀后重复利用，施工结束后，经 pH 调节为中性，自然蒸发后掩埋，不会存在悬浮泥沙排海。

此外，地表径流和施工过程产生的含泥废水经过沉砂、除渣和隔油等预处理后可回用于场地喷洒抑尘。

3.2.1.2 施工废水

（1）生活污水

生活污水主要包括施工船舶生活污水和陆域工作人员生活污水。类比同类型工程，海上作业人数为 200 人。按每人每天生活污水发生量为 160L/d 计算，海上生活污水产生量为 32t/d 。少量陆域生活污水来自登陆点定向钻施工场地，施工人员约 15 人，污水产生量为 2.4t/d ，施工期约 25 天，则施工期陆域生活污水发生量为 60t 。陆上施工基地及施工人员居住区建设在集控中心附近，污染物发生及排放在陆上集控中心环评统筹考虑。生活污水中主要污染物的浓度分别按 COD: 450mg/L 、BOD5: 250mg/L 、SS: 200mg/L 、氨氮: 30mg/L 计，各生活污水主要排放浓度见表 3-1。施工船舶生活污水集中收集，上岸交由船舶污染物接收单位统一处理。来自登陆点定向钻施工场地生活污水收集后，运送

至附近污水处理厂处理。

表3-1 生活污水主要污染物排放量表 (kg/d)

污染物名称	SS	COD _{Cr}	BOD ₅	氨氮
陆域生活污水	0.48	5.4	0.6	0.072
海上生活污水	6.4	14.4	8	0.96

(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《港口工程环境保护设计规范》(JTS-1-2007)要求，船舶舱底油污水产生量依据船型而不同。类比同类型工程，本项目施工船舶含油污水产生量具体统计情况见表 3-2。舱底油污水含油量计算时取平均值 2000mg/L~3000mg/L，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 39.81t/d，石油类污染物产生量为 99.53kg/d，

船舶机舱含油污水集中收集，上岸交由船舶污染物接收单位统一处理。

表3-2 船舶含油污水产生量统计表

船舶吨级 (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	28	0.14	3.92
500-1000	2	0.21	0.42
1000-3000	14	0.54	7.56
3000-7000	9	1.39	12.51
7000-15000	5	3.08	15.4

(3) 机修油污水

本项目施工期大型设备包括：起重机、装载机、塔式起重机等，施工高峰时同时投入使用量约 19 台，类比同类工程，若每天设备检修率按照 1%计算，机修用水量按 1m³/台·次计，年施工作业天数按 360 天计，则每天机修用水量为 0.19m³，年用水量为 68.4m³，污水产生系数 0.8 计，则污水产生量为 54.72m³/a，石油类浓度约为 500mg/L，则石油类污染物产生量为 0.05t/a。

含油污水禁止排放，统一收集后交由相关单位收购处理。

3.2.1.3 噪声

(1) 水上噪声

海上施工噪声污染源主要包括风机桩基施打、施工船舶行驶和电气接线埋设等。相对于其他噪声源，桩基施工的打桩锤产生的噪声污染最明显。参考《珠海桂山海上风电场示范项目环境影响报告书》（报批稿），根据打桩锤生产商 **IHCHrdrohammer BV** 公司提供的产品资料，本项目所采用的 **IHCS800** 液压打桩锤在配备荷兰研究所 **TNO/TPD** 开发的隔声外壳后 **7m** 处的噪声级为 **85dB (A)**，噪声源强约为 **102dB (A)**。

（2）水下噪声

施工水下噪声污染源包括海底电缆埋设噪声、运输船只行驶噪声及桩基础打桩噪声，其中桩基础施工水下噪声源强较大。类比同类工程在其他海域现场监测结果，根据本工程和环境特征，估算本工程打桩所产生的均方根声源级取 **230 dB re 1 μ Pa -m**。本报告以此来估算打桩施工时的水下噪声影响范围。

3.2.1.4 废气

本工程在海域施工时粉尘污染很小，基本可以忽略。

3.2.1.5 固体废物

（1）生活垃圾

施工期固体废物主要为工作人员生活垃圾，按施工人员生活垃圾产生量为 **1kg/人·d** 计，陆上施工人员 **15** 人，海上施工人员 **200** 人，经计算，陆域生活垃圾产生量为 **15kg/d**，船舶生活垃圾产生量为 **200kg/d**。施工过程中所产生的垃圾集中存放，统一收集，送垃圾场处理，对周围环境不会造成污染影响。

（2）生产垃圾

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。风机安装过程中也会有生产垃圾发生，主要是废弃的包装、焊接头等，可回收利用。

（3）嵌岩施工钻渣

海上施工弃渣的来源主要为嵌岩施工时钻机钻进产生的，经初步计算，每个嵌岩机位产生的弃渣量约为 **700m³**，**31** 台嵌岩风机共产生弃渣 **2.17 万 m³**。嵌岩施工时，可将产生的弃渣存于驳船上，存至一定量后运往陆上集控中心施工区

用于回填。陆上集控中心施工区可完全消化海上嵌岩施工产生的弃渣。

(3) 定向钻施工弃土

定向钻开挖施工产生约 600m^3 的废弃泥浆，按泥水 1: 9 核算，则弃土和泥浆的发生量分别为 60 m^3 和 540 m^3 。泥浆主要成分为膨润土和少量羧甲基纤维素钠，为无毒无害成分。泥浆和弃土均属于一般工业固废，经分离固化处理后，弃土回用于集控中心建设利用，泥浆经当地环保部门同意，自然干化后覆土掩埋恢复种植。

结合以上分析，施工期污染物排放情况见表 3-3。

表3-3 拟建工程施工期主要污染物排放情况表

种类	污染源	发生情况	主要污染物	排放方式
表3-4 水污染物	扫海清障	小于 1kg/s	SS	自然排放
	海底电缆敷设	近岸段 12.4kg/s		
		离岸段 14.6kg/s		
	陆域生活污水	2.4t/d	COD、BOD ₅ 、氨氮和 SS	集中收集运送至附近污水处理厂
	船舶生活污水	32t/d		上岸交由有资质的船舶污染物接收处理单位达标处理
	船舶含油污水	39.81t/d	油类污染物	交由有资质的单位处理
	机修油污水	54.72 m^3	油类污染物	调 pH 后自然干化填埋
	泥浆水	540 m^3	膨润土和少量羧甲基纤维素钠	经过沉砂、除渣和隔油等预处理后可回用于场地喷洒抑尘和道路清扫
噪声	定向钻施工场地地表径流和冲洗废水	少量	石油类和 SS	——
	水面噪声	102dB (A)	——	自然排放
	水下噪声	$230\text{ dB re }1\text{ }\mu\text{Pa m}$		
固体废物	陆域生活垃圾	15kg/d	生活垃圾	集中收集交由环卫部门处理
	船舶生活垃圾	200kg/d	生活垃圾	由船舶污染物接收单位接收上岸处理
	扫海清障		废弃沉船、渔具能	上岸处理
	海缆登陆定向钻工作坑开挖	50m^3	工作坑开挖土方	回填工作坑
		60m^3	定向钻开挖土	陆上集控中心及其他工程回收利用

	嵌岩桩施工	2.17 万 m ³	钻渣	集控中心回填
	风机安装	——	废弃焊头和包装等	上岸回收处理

3.2.2 营运期污染物排放状况

风力发电是可再生能源，其生产过程主要是利用当地自然风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程，不排放任何有害气体，属于清洁能源。根据本工程的实际情况，本工程运营期可能对周围环境影响的因子主要有生活污水排放、生活垃圾、环境噪声、电磁辐射、无线电干扰、光影闪烁等。

3.2.2.1 噪声

风机运行过程中产生的噪声主要由机械结构噪声和空气动力噪声组成，风机噪声源强分布见图 3-1。



图3-1 风机噪声源强分布

类比珠海桂山海上风电场示范项目中采用的风机最高转速为 16.6rpm，风机最高声功率级约为 108dB（A），本项目根据推选机型的主要特性，风机最高转速为 14.0rpm，由此推算风机最高声功率级约为 91dB（A）。

对水下噪声影响较大的以机组内部的机械噪声为主，低频噪声通过结构振动经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生了水下噪声。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、5.5MW，在风机轮毂处

的最大声功率级取 110dB (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 1~20 kHz 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。

3.2.2.2 废水

风电场在运行过程中没有工业废水排出, 所排污水有生活污水以及海上升压站检修和风机维修产生的含油污水。

(1) 生活污水

生活污水主要来自升压站工作人员。由于升压站按无常驻人员设计, 因此进行维护和检修工作人员的生活污水可忽略。

(2) 含油污水

海上升压站营运期间, 柴油机房在检修时可能产生少量的含油污水, 油污水产生量约为 10t, 最大油污水排量约为 40t, 本工程在海上升压站首层设有 1 座容量约为 70m³ 的事故油箱, 可收集该部分含油污水。

营运期间, 风机产生的废油仅是少量的润滑油和绝缘油, 其中齿轮油约为 1400L, 液压油约为 200L, 风机内配有专门的集油装置, 自动收集废弃油脂。例如: 风机变桨轴承设有废油排脂口, 配有集油瓶收废油脂, 变桨轴承废旧油脂通过润滑系统的加压, 被新注入的新油脂压送进入到油脂收集装置内, 防止废弃油脂泄露造成污染, 废油可在运维期间进行更换。

(3) 锌溶出

本工程海上风机基础钢桩水下区和泥下区采用牺牲阳极阴极保护, 牺牲阳极设计平均顶高程 -3.0m, 平均底高程 -29.0m。其主要特征污染指标为 Zn 的溶出。项目所采用的铝-锌-铟系合金牺牲阳极重量为 938t, 每台风机使用量为 10t, 设计使用年限为 27 年, 根据《铝-锌-铟系合金牺牲阳极》(GB/T 4948-2002), 锌成分含量在 2.2%~7.0%之间, 本次计算按平均含量 4.6%计

算, 假设锌在 27 年内以离子态形式全部析出, 锌离子析出的速率相同并向周围水体均匀扩散, 则每年进入海水中的锌为: $938 \times 0.046 / 27 = 1.60 \text{ t/a}$, 单个风机每年进入海水中的锌为: $10 \times 1000 \times 0.046 / 27 = 17.04 \text{ kg/a}$ 。

3.2.2.3 废气

海上风场运营期主要是风力发电, 工艺过程无废气产生。

每个海上升压站设置 1 台柴油发电机组作为事故紧急备用电源, 平时不运行。运行时柴油将作为发电机的能源, 内燃后会产生 NO_x 、 SO_2 及 CO 等少量废气, 全部为无组织自然排放, 对大气环境影响较小。

3.2.2.4 固体废物

固体废物主要来自升压站工作人员。由于升压站按无常驻人员设计, 因此进行维护和检修工作人员的生活垃圾可忽略。

3.2.2.5 电磁辐射及无线电干扰

海上风电场电磁辐射来源于变电站内的变压器和高压传输的海底电缆。

35kV 高压传输的海底电缆计算最大电流约为 485A; 220kV 高压传输的海底电缆计算出最大电流约为 966A。

类比监测数据显示, 110kV 升压变电站接入运行后, 其工频电场强度波动范围为 $1.22 \sim 1.25 \text{ V/m}$, 工频磁感应强度波动范围为 $0.15 \sim 0.90 \mu\text{T}$, 远远低于《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T 24-1998) 中推荐的工频电场 4 kV/m 和磁感应强度 0.1 mT 的评价标准。对于 35kV 海上干式变压器, 其工频电、磁场强度则更小于 110kV 辐射强度。

3.2.2.6 运营期污染物排放情况

综上所述, 项目运营期污染物排放情况见表 3-4。

表3-5 拟建工程运营期主要污染物排放情况表

环境要素	污染源	污染物	发生量	排放量	拟采取措施	排放方式
水环境	铝-锌-铜系合金牺牲阳极块	Zn	1.6t/a		——	连续
声环境	空气动力噪声	LAeq	91dB (A)		——	连续
	机械结构噪声		110 dB (A)		——	
电磁环境	35kV 海底电缆	电磁辐射			——	连续
	220kV 海底电缆				——	
	35kV 海上干式变压器，				——	

3.3 工程各阶段非污染环节与环境影响分析

3.3.1 工程建设对水动力环境的影响

本项目建成后，风机基础受涨落潮影响，风机基础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，尤其是风机墩柱周围的流速和流向均会发生变化。

3.3.2 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，风机基础和升压站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。

3.3.3 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 40~120m 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。

3.3.4 通航影响

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

3.3.5 海洋生态和渔业生产

本工程风机基础、升压站等永久占用海域，将减少海域资源，造成底栖生物死亡；电缆铺设施工对海底进行开挖，将造成部分底栖生物的掩埋或死亡；施工产生的悬浮物对海洋生物造成影响。

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。

3.4 环境影响要素和评价因子的分析与识别

本项目施工和运营阶段的主要污染及非污染影响因素分析见表 3-6。

表3-6 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	海洋生态	底栖生物	管沟开挖、构筑物建设	+++
		鱼卵、仔鱼	悬浮泥沙扩散	++
		浮游生物	悬浮泥沙扩散	++
	水环境	SS	管沟开挖、打桩产生悬浮物	+++
		石油类	船舶作业	+
		COD、氨氮	施工人员	+
	海洋水文动力	潮流	海上构筑物影响	+++
	海洋沉积物	底质	悬浮物扩散、锌溶出	++
	海洋地形、地貌与冲淤	冲淤环境	海上构筑物影响	+++
	噪声环境	噪声	船舶和机械作业	+
	固体废弃物	生活垃圾、船舶垃圾	作业船舶、施工人员	+
营运期	水环境	石油类	升压站和工作船含油污水	+
		重金属	牺牲阳极	+
	噪声环境	噪声	风机运转	++
	电磁环境	工频电磁场	升压站、输电线路 风电场	+
		无线电干扰		
	鸟类影响	鸟类的栖息、迁徙	升压站和工作船含油污水	++

4 区域自然和社会环境现状

4.1 区域自然环境现状

4.1.1 气候与气象

本项目所在的陆丰市位于广东省东部，北回归线以南的低纬度地区，地处亚热带，属亚热带季风性气候，光热充足，气候温和，雨量充沛，但降雨量的年内分配很不均匀，其中汛期的4~9月约占全年降雨量的85.6%，降雨多属锋面雨和热带气旋雨，前汛期(6月以前)以锋面雨为主，雨面广，降雨量大后汛期以台风雨为主，降雨强度大。季风盛行，全年盛行偏东风，年内风向随季节转换明显，大致4~8月盛行东南风，9~次年3月盛行东北偏北风。每年的夏、秋季节常受强烈热带风暴的影响。

根据陆丰市气象站(位于东海镇东风路尾后壁洋“郊外”，北纬22°57'，东经115°39')，1960年至2004年的实测气象资料，统计得该站各气象要素特征值，见表4-1。

表4-1 陆丰气象站多年统计各气象要素的年、月特征值表

月份项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均气压(hPa)	1019.9	1018.5	1016.2	1013.0	1009.1	1006.2	1005.4	1005.0	1008.7	1013.9	1017.5	1020.0	1012.8
平均气温(℃)	14.4	15.3	17.9	21.7	25.1	27.1	28.4	28.2	27.0	24.2	20.3	16.2	22.1
极端最高气温(℃)	29.6	29.9	30.7	32.8	34.8	36.7	38.3	38.0	36.6	35.2	33.2	30.1	38.3
极端最低气温(℃)	0.9	1.8	2.8	8.1	14.4	18.4	21.8	21.7	16.6	8.0	5.2	1.0	0.9
平均绝对湿度(hPa)	11.9	13.7	16.7	21.7	26.8	30.9	32.1	31.5	28.3	22.3	17.2	13.0	22.2
最大绝对湿度(hPa)	26.6	29.3	30.9	33.2	36.4	38.1	38.8	38.1	36.6	34.5	30.3	27.6	38.8
最小绝对湿度(hPa)	1.4	3.0	3.1	6.2	8.2	13.6	22.6	17.9	10.8	5.3	2.7	0.6	0.6
平均相对湿度(%)	72	78	80	82	84	86	83	83	80	74	71	70	79
最小相对湿度(%)	7	12	9	22	16	22	34	28	27	17	12	8	7
平均风速(m/s)	2.9	2.8	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	2.8
最大风速(m/s)	14.0	11.3	12.0	13.0	17.3	21.7	31.0	17.4	24.0	14.0	13.0	13.0	31.0
平均降雨量(mm)	27.3	55.7	88.4	157.1	278.5	442.3	318.4	326.5	200.3	51.3	32.1	28.7	2006.6
平均日照时数(h)	159.3	110.6	110.6	120.5	150.1	160.1	231.9	212.2	196.4	212.2	189.2	181.0	2034.1
蒸发量(mm)	109.0	93.3	110.6	122.5	144.4	143.3	180.0	171.5	165.0	171.4	143.1	122.5	1676.6

历年极端最高气温 38.3 (2005年7月18日)

历年极端最低气温 0.9 (1967 年 1 月 17 日)

历年最大年降水量 3045.0 mm (1961 年)

历年最小年降水量 942.2mm (1963 年)

历年最大一日降水量 621.6 mm (1977 年 5 月 31 日)

历年最大一小时降水量 106.1mm (1997 年 7 月 5 日)

历年最大十分钟降水量 38.0mm (1997 年 7 月 5 日)

多年平均雨日数为 167d

多年平均雷暴日数为 54d

多年平均冰雹日数为 0.0d

多年平均雾日数为 5d

多年平均大风日数为 4d

多年平均霜日数为 0.0d

多年平均晴天日数为 56d

多年平均阴天日数为 174d

陆丰气象站主导风向是 E，占 18%，静风频率占 12%，其多年风向玫瑰图见图 4-1。历年 10m 高度十分钟平均最大风速 29.3m/s，相应风向 E，发生日期 1990 年 7 月 31 日。

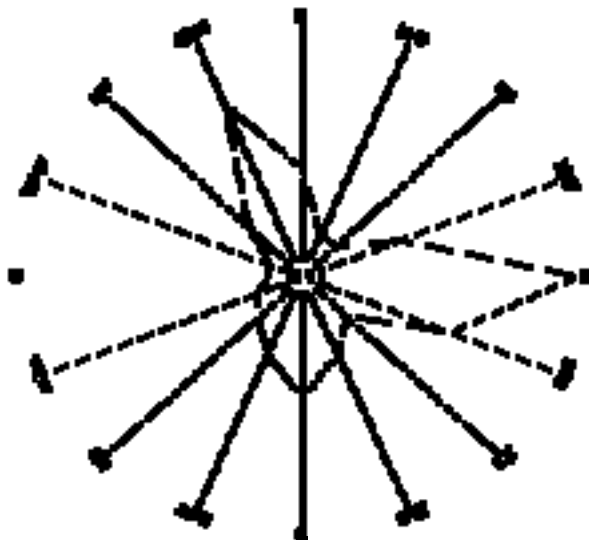


图4-1 陆丰气象站累年统计风玫瑰图

根据惠来气象站（东经 116° 18' ，北纬 23° 02' ）1956 年至 2012 年历年气象资料进行统计，各气象要素的年特征值如下：

多年平均气温	21.8℃
历年极端最高气温	38.4℃ (1982 年 7 月 28 日)
历年极端最低气温	1.5℃ (1999 年 12 月 23 日)
多年平均气压（本站）	1011.7 hPa
累年年平均海平面气压	1013.6 hPa
历年最大年降水量	2644.9 mm(1973 年)
历年最大风速	30.0 m/s
历年极大风速	48.0 m/s
多年平均年降雨量	1804.4 mm
多年平均相对湿度	78.7 %
多年平均风速	2.7 m/s
近 30 年平均风速	2.4m/s
多年平均日照时数	1923.0 h

多年平均雷暴天数 54.0 d

多年平均大风天数 5.0 d

多年平均雾天数 6.0 d

统计惠来气象站累年风玫瑰见图 4-2。由图可以看出，风电场区域全年各风向频率分布受季风影响显著，主导方向为和 NE 和 ENE。

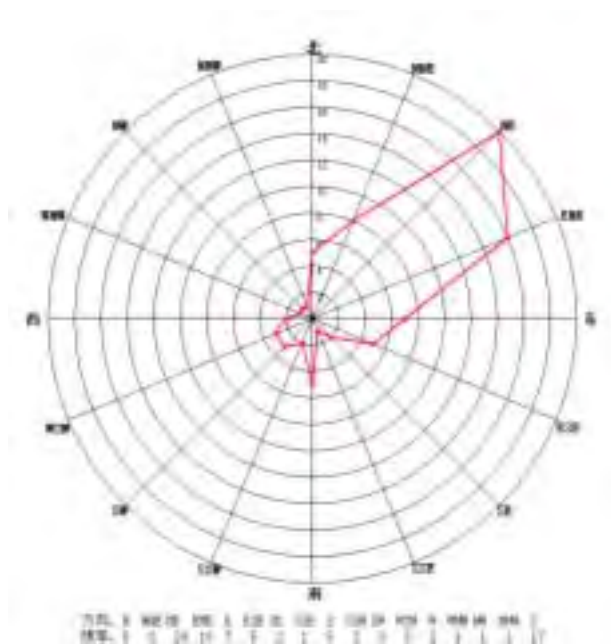


图4-2 惠来气象站风向频率玫瑰图



图4-3 气象站地理位置示意图

4.1.2 灾害性天气

本项目场址位于陆丰市近海海面，根据历史资料分析，在广东珠江口以东至饶平一带沿海地区登陆的热带气旋均可能对场址区域造成正面的较大影响（表4-2）。从1949至2017年，69年中在广东珠江口以东至饶平一带沿海地区登陆的热带气旋有96个（其中达到台风以上量级的52个），年平均1.4个。有13年的登陆热带气旋个数达到3个以上，其中1961年有6个热带气旋在此区域登陆。69年中，有14个（其中达到过台风以上级别的有8个，登陆时达到台风以上量级的3个）热带气旋在陆丰沿海登陆，登陆时强度最强的是1510号台风“莲花”，风速为38m/s，出现在2015年7月9日。

登陆该区域的热带气旋一般集中在6到10月，占9成以上。登陆最早的是1980年5月24日登陆的8004号热带风暴，登陆最迟的是2016年10月21日在海丰登陆的1622号台风“海马”。

表4-2 1949-2017年登陆广东珠江口以东到饶平沿海一带的台风概览表

年份	序	中央编	强度	过程中心气	过程中心风	登录地点	登录日期	风力(级)	风速(m/s)	中心气压
1949		2	强热带风暴	984	30	香港	7.1	8		996
1949		20	台风	980	40	潮阳	9.15	6~7		1000
1949		25	台风	980	35	澄海-饶平	10.04	8		993
1952		3	热带风暴	995	20	惠来	6.28	7		996
1952		8	台风	980	40	陆丰-海丰	7.3	9	---	988
1952		18	强热带风暴	990	30	汕头	9.12	11		990
1953		15	台风	942	65	海丰-惠东	9.02	12		960
1954		29	台风	937	75	海丰-惠来	11.12	7		1000
1956		7	热带风暴	1000	20	海丰	6.3	8		1000
1957		8	台风	980	50	惠阳-宝安	7.16	11		986
1957		17	台风	958	60	福建诏安-饶平	9.15	12	--	983
1959		5	强热带风暴	996	25	惠来	7.06	8	--	998
1959	17	5906	强热带风暴	985	30	海丰	9.11	10	--	985
1960	6	6001	台风	970	45	香港	6.09	12	---	970
1960	18	6012	强热带风暴	994	25	陆丰	8.15	5	---	996
1960	24	6016	台风	975	40	汕头-澄海	8.25	5	---	998
1961	4	6103	台风	975	40	香港	5.19	12	--	978
1961	12	6109	热带风暴	986	20	汕头	7.02	8	--	986
1961	14	6110	台风	974	50	汕头	7.15	8	--	990
1961	15	6111	强热带风暴	992	25	香港	7.19	7	--	995
1961	28	6121	台风	980	35	海丰-惠东	9.1	12	--	980
1961	32	6125	台风	980	40	宝安	9.29	10	--	988
1962	19	6213	台风	949	50	香港	9.01	12	---	960
1962	27	6217	台风	953	50	惠来-陆丰	10.03	12	---	978
1963	6	6304	台风	980	35	澄海	7.01	12	---	980
1964	20	6416	台风	896	100	宝安	9.1	12	--	970
1964	29	6423	台风	975	45	宝安	10.13	12	--	978
1967	8	6702	台风	975	45	潮阳	6.3	12	---	975
1968	17	6808	台风	962	40	香港	8.21	12	--	965
1968	27	6814	台风	908	75	惠来	10.01	10	--	985
1969	7	6903	台风	896	75	惠来	7.28	12	---	936

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

1970	8	7003	强热带风暴	982	25	惠东	7.16	8	---	990
1970	14	7004	强热带风暴	990	25	宝安-惠阳	8.03	8	---	993
1970	30	7011	台风	904	65	海丰	9.14	9	---	978
1971	19	7114	台风	912	60	惠东	7.22	11	---	968
1973	4	7304	台风	975	35	深圳	7.17	11	30	975
1976	20	7616	强热带风暴	985	30	海丰	8.24	11	30	985
1978	11	7807	台风	960	40	惠东	7.3	8	20	985
1979	11	7907	强热带风暴	975	30	陆丰	7.29	10	26	980
1979	12	7908	台风	898	70	深圳	8.02	12	40	958
1980	6	8004	强热带风暴	985	25	惠来	5.24	9	24	986
1980	9	8006	强热带风暴	979	30	汕头	7.11	9	24	983
1980	12	8009	台风	908	60	陆丰	7.27	11	30	989
1981	21	8116	台风	924	60	陆丰	9.22	11~12	30-35	960
1984	12	8408	强热带风暴	975	30	深圳	8.21	7	15	990
1984	16	8411	强热带风暴	980	30	惠来	8.31	8	20	984
1985	7	8504	台风	958	40	海丰	6.24	10	28	975
1985	10		热带低压	997	15	陆丰	7.08	5	10	998
1986	7		热带低压	996	15	惠东-深圳	6.25	5	10	996
1986	9	8607	台风	900	65	陆丰-海丰	7.11	11	30	978
1988	7	8805	台风	945	55	惠来	7.19	12	33	975
1988	23	8817	台风	970	35	陆丰-惠来	9.22	10	25	980
1988	24	8819	强热带风暴	990	25	惠东-海丰	9.24	6	12	1000
1990	15	9009	台风	970	35	海丰-陆丰	7.31	11	32	970
1991	8	9107	台风	930	55	汕头	7.19	12	40	950
1991	18	9116	强热带风暴	980	30	汕尾	9.06	11	30	980
1991	22	9119	台风	940	50	饶平	10.01	10	27	987
1992	14	9212	强热带风暴	985	25	饶平	8.19	8	20	993
1993	18	9315	台风	945	50	惠来-潮阳	9.14	12	36	950
1993	25		热带低压	1006	15	深圳	10.13	7	15	1008
1995	4	9504	强热带风暴	980	30	澄海	7.31	11	30	980
1995	5	9505	强热带风暴	980	30	惠阳	8.12	11	30	980
1995	9	9509	台风	945	50	惠东-海丰	8.31	12	35	970
1997	13	9710	强热带风暴	968	30	香港	8.02	11	30	975
1999	3	9902	台风	970	35	惠东	5.02	7	15	1000
1999	13	9908	台风	975	33	深圳	8.22	11	30	975
1999	17	9909	热带风暴	990	20	惠来	9.04	8	20	991
1999	22	9913	强热带风暴	985	25	香港	9.26	7	15	998
2000	5		热带低压	1002	15	香港	6.18	7	15	1002
2000	17	13	强热带风暴	980	28	惠东-海丰	9.01	10	28	980
2001	4	104	台风	965	35	海丰-惠东	7.06	11	30	970
2001	18	116	台风	960	40	惠来	9.2	10	28	985
2002	15	212	强热带风暴	980	28	陆丰	8.05	10	25	985
2004	12	409	热带风暴	990	23	香港	7.16	9	23	995
2004	14	411	热带风暴	990	23	陆丰-惠来	7.27	8	20	995
2005	10	510	强热带风暴	980	30	澄海	8.13	10	28	982
2006	1	601	强台风	945	45	饶平-澄海	5.18	12	35	960
2007	7	707	强热带风暴	975	30	香港	8.1	8	20	990
2008	7	806	台风	950	45	深圳	6.25	9	23	985
2009	7	906	台风	965	48	深圳	7.19	13	38	965
2011	6	1103	热带风暴	995	20	饶平-澄海	6.11	7	18	996
2013	20	1319	超强台风	915	60	汕尾	9.22	14	45	930
2014	7	1407	热带风暴	988	23	潮阳	6.15	9	23	988
2015	10	1510	台风	955	42	陆丰	7.09	13	38	965
2016	6	1604	台风	965	38	深圳	8.02	11	30	989
2016	24	1622	台风	905	68	海丰	10.21	13	38	970
2017	7	1702	强热带风暴	984	25	深圳	6.11	9	23	990
2017	15	1707	热带风暴	995	18	香港西贡	7.23	8	18	995
2017	25	1716	强热带风暴	990	25	陆丰	9.03	8	20	995

注：2006 年以前的登陆台风，按只定最大 12 级的旧标准记录登陆强度；2006 年以后的按新标准（最大 17 级）记录登陆强度。强度极值和登陆信息

以《台风年鉴》或《热带气旋年鉴》

4.2 区域社会环境现状

4.2.1 行政区划

汕尾市位于广东省东南部沿海，东临揭阳市，同惠来县交界；西连惠州市，与惠东县接壤；北接河源市，和紫金县相连；南濒南海。汕尾市历史悠久，源远流长。中华人民共和国成立后，海丰、陆丰均属东江专员公署管辖，1953年改属粤东行政公署，1957年隶属惠阳专员公署，1958年12月划归汕头地区专员公署，1983年9月，又归属惠阳地区专署管辖，1988年1月，经国务院批准，建立汕尾市。汕尾自然资源丰富，有山有水有平原，地腴水丰，自古有“南海物丰”之说。汕尾市总面积5271km²，辖区内有市城区、海丰县、陆丰市、陆河县、红海湾经济开发试验区、华侨管理区等1市2县3区，至2017年末全市常住人口305.33万人，其中不含深汕特别合作区的常住人口297.76万人；户籍人口362.82万人，其中不含深汕特别合作区的户籍人口355.12万人。

4.2.2 经济发展现状

根据《汕尾市2017年国民经济和社会发展统计公报》，2017年初步核算并经省统计局核定，2017年全市实现地区生产总值（GDP）855.37亿元（含深汕特别合作区的GDP为902.69亿元），比上年增长8.1%。其中，第一产业增加值128.89亿元，增长4.7%，对GDP增长的贡献率为8.4%；第二产业增加值379.74亿元，增长9.9%，对GDP增长的贡献率为54.8%；第三产业增加值346.74亿元，增长7.4%，对GDP增长的贡献率为36.8%。三次产业结构为15.1:44.4:40.5，第三产业比重比上年提高0.1个百分点。在现代产业中，高技术制造业增加值55.41亿元，增长0.5%；先进制造业增加值102.48亿元，增长1.8%。现代服务业增加值151.10亿元，增长12.2%。生产性服务业增加值119.67亿元，增长11.0%。民营经济增加值583.70亿元，增长9.0%。2017年，汕尾人均地区生产总值达到28776元，按平均汇率折算为4262美元；含深汕特别合作区的人均地区生产总值为29645元。



图4-4 2012-2017年地区生产总值及增长速度

4.3 海域资源及开发利用与保护现状

4.3.1 海域资源概况

4.3.1.1 港口资源

(1) 港口

项目所在海域，西南为碣石湾、汕尾港，东北为甲子港、神泉港。

汕尾港地处惠州市与揭阳市之间沿海，毗邻港澳，是华南地区便捷的海上门户，区位优势明显自然条件优越，水陆交通方便。1962年，汕尾港成为我国率先对外开放的16个港口之一，经过40几年的发展，汕尾港现有汕尾、汕尾新（红海湾）、海丰和陆丰4个港区，其中汕尾港区为国家一类口岸，陆丰港区为国家二类口岸。汕尾新港区已于2009年11月20日由国务院批准作为对外开放的口岸，该口岸现正在进行配套设施建设，迎接国家、省主管部门的检查和验收。进入二十一世纪后，招商引资力度逐渐加大，大型企业开始纷纷落户汕尾，港口发展得到进一步的加强，特别是大型深水泊位开始出现，汕尾新港区建成了汕尾电厂70000DWT散货泊位，海丰港区建成了华城3000DWT石化泊位。

目前，汕尾港全港有码头泊位28个，其中，70000DWT级泊位1个、5000DWT级泊位4个、1000~5000DWT级泊位18个，1000DWT级以下泊位

5 个。2011 年汕尾港吞吐量为 563.9 万 t。

汕尾港各港区的发展现状如下：

1) 汕尾港区

该港区现共有码头泊位 14 个，其中 5000DWT 级泊位 2 个，1000~5000 DWT 级泊位 10 个，1000DWT 级以下泊位 2 个；设计年综合通过能力 180 万 t。

2) 汕尾新港区（红海湾）

该港区现共有泊位 7 个，包括 1 个 70000DWT 泊位、2 个 3000DWT 泊位、2 个 2000DWT 泊位和 2 个 1000DWT 泊位，设计年综合通过能力 638.8 万 t。

3) 海丰港区

该港区现共有泊位 2 个，包括 1 个 3000DWT 泊位和 1 个 1000DWT 级泊位；设计年综合通过能力 113 万 t。

4) 陆丰港区

该港区现共有码头泊位 5 个，其中 5000DWT 级泊位 2 个，1000DWT 级以下泊位 3 个；设计年综合通过能力 55 万 t。

(2) 航道

根据《汕尾港总体规划》（报批稿）（2013 年 5 月），汕尾港航道主要有汕尾作业区航道（自 1#航标~5#航标）、汕尾作业区内航道、马宫作业区航道、后门作业区航道、甲子作业区航道（自西方位标~航道）、碣石作业区航道和乌坎作业区航道。航道具体情况见表 4-3 所示。

表4-3 汕尾港航道统计表

序号	航道名称	起讫点	等级	长度(km)	宽度(m)	水深(m)	备注
1	汕尾作业区航道	1#航标~5#航标	Ⅲ级	1.5	100	10	
2	汕尾作业区内航道	汕尾港内	Ⅲ级	0.5	50	10	
3	马宫作业区航道	马宫港内	Ⅲ级	0.5	50	10	
4	后门作业区航道	后门港内	Ⅲ级	0.5	50	10	
5	甲子作业区航道	甲子港内	Ⅲ级	0.5	50	10	
6	碣石作业区航道	碣石港内	Ⅲ级	0.5	50	10	
7	乌坎作业区航道	乌坎港内	Ⅲ级	0.5	50	10	

(2) 锚地

汕尾港总体规划现有锚地与规划锚地一致，共 15 个锚地，锚地信息列表见表 4-4。汕尾港规划中 13 号锚地处于甲子港外，为一小型锚地，直径一海里，位于风电场项目东北 9 公里处的甲子湾顶附近。其余港口与本项目相距较远，汕尾港 1~15 号锚地位置如图 4-5 所示。其中 9 号、10 号、11 号锚地位于项目西北方向 18 公里、19 公里、18 公里，汕尾港其他锚地与项目相距较远，关系不大。

表4-4 汕尾港锚地规划表

序号	名称	中心地点	半径（海里）	用途
1	大型船舶临时避风锚地	115° 13' 00.00" 22° 37' 00.00"	2	避风、防台
2	过驳锚地	115° 17' 30.00" 22° 40' 00.00"	2	侯泊、过驳、防台
3	引航锚地	115° 13' 00.00" 22° 44' 30.00"	1	引航、防台
4	检疫锚地	115° 16' 30.00" 22° 45' 30.00"	0.5	检疫、防台
5	装运危险货物船舶锚地	115° 17' 36.00" 22° 46' 18.00"	0.5	装运危险货物船舶侯泊
6	检疫锚地	115° 09' 00.00" 22° 45' 60.00"	0.5	检疫、防台
7	装运危险货物船舶锚地	115° 07' 48.00" 22° 45' 60.00"	0.5	装运危险货物船舶侯泊
8	引航检疫锚地	115° 31' 60.00" 22° 38' 00.00"	1	引航、检疫、防台
9	大型船舶临时避风锚地	115° 41' 00.00" 22° 40' 00.00"	2	避风、防台
10	过驳锚地	115° 41' 00.00" 22° 45' 00.00"	2	过驳、侯泊、防台
11	引航检疫锚地	115° 45' 00.00" 22° 47' 00.00"	0.5	引航、检疫、防台
12	引航检疫锚地	115° 40' 00.00" 22° 49' 60.00"	0.5	引航、检疫、防台
13	引航检疫锚地	116° 04' 23.00" 22° 49' 54.00"	0.5	引航、检疫、防台
14	引航检疫锚地	115° 07' 40.00" 22° 38' 60.00"	0.5	引航、检疫、防台
15	引航检疫锚地	115° 09' 00.00" 22° 36' 00.00"	1	引航、检疫、防台

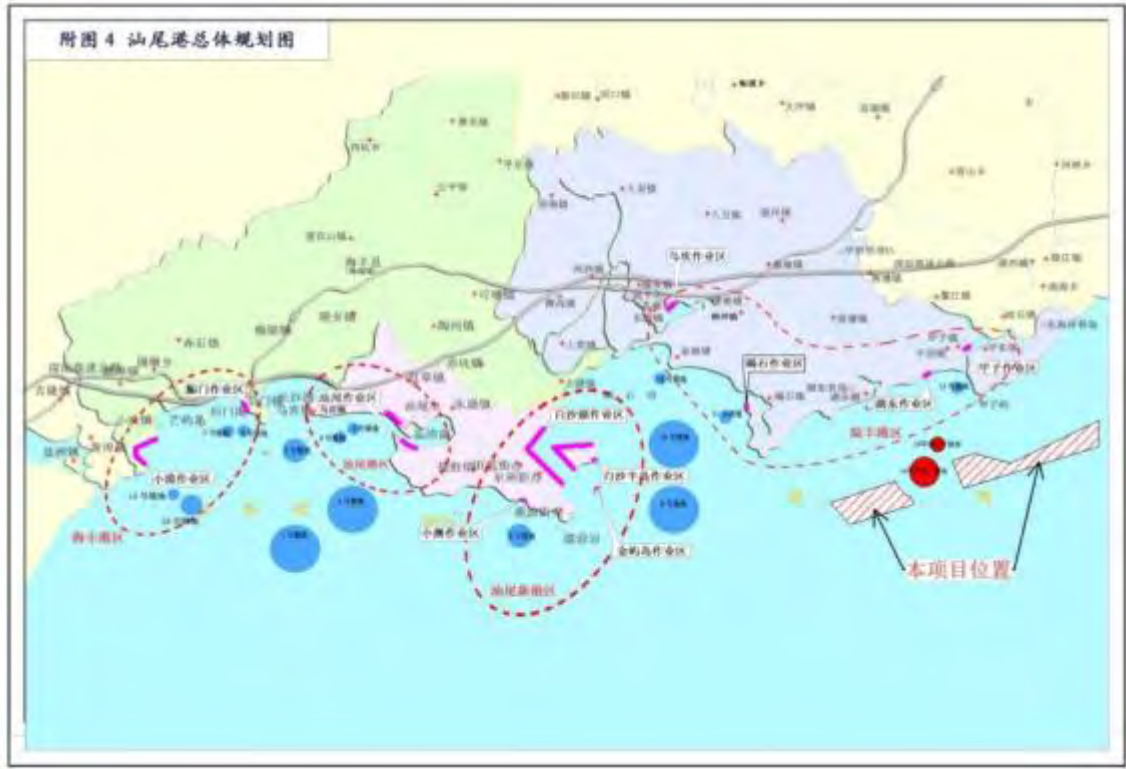


图4-5 项目与汕尾港规划港区及锚地的位置关系示意图（底图来源：汕尾港总体规划（报批稿）2013年5月）

4.3.1.2 渔业资源及渔业生产

根据《中国海洋志第九分册（中国东部海洋）》（海洋出版社，1998），海洋捕捞是碣石湾沿海居民传统的海洋产业之一。碣石湾渔港众多是渔业发展的基础。湾外不远是汕头渔场、甲子渔场和汕尾渔场。金厢鱿鱼饮誉海内外。

由于近海捕捞过度，近海鱼类资源衰退，渔获物中杂鱼及小鱼增加，而价值较高的经济鱼类减少。因此，海洋渔业发展要坚持“以养为主、养捕结合、多种经营、全面发展”的方针，保护和利用近海水产资源，积极向外海发展，开展资源增殖，发展增养殖业，逐步实现近海渔业农牧化。要积极发展外海捕捞，与现有大马力的渔船进行改造，增加投资，组织一支由国营渔业公司的沿海县市参加的外海捕捞队，开辟外海渔场，形成渔业基地。东沙群岛离碣石湾较近，如能改进捕捞作业，则可利用该海域资源。东沙群岛以北和以西海域水深为 100~200m，海域面积 $1 \times 10^4 \text{km}^2$ ，蕴藏着竹筴鱼、狭头鲈及红贝圆鲷等中、上层鱼类资源，为底拖网和流刺网捕捞渔场。

(1) 海洋渔业从业人员

根据《2017 年陆丰市海洋与渔业局水产生统计年报表》，陆丰市有海洋渔业乡 7 个，海洋渔业村 42 个，海洋渔业户 17549 户，海洋渔业人口 90333 人。陆丰市海洋渔业从业人员见表 4-5。从表可知，海洋渔业从业人员共 26873 人。

表4-5 陆丰海洋渔业从业人员表（人）

地区或 县市	渔业乡 (个)	渔业村 (个)	渔业户 (个)	渔业人口		渔业从业人员								专业从业人员中		
				小计	其中：传统 渔民	小计	专业从 业人员	其中： 女性	兼业 从业人 员	其中： 女性	临时 从业人 员	其中： 女性	捕捞	养殖	其它	
陆丰市	7	42	17549	90333	72274	23699	20968	1294	3095	486	1853	210	13890	5500	1970	

(2) 海洋捕捞

本海区捕捞多采用拖网、围网的作业方式，也结合钓和刺等手段。对风电场项目调查和电缆铺设有一定的影响，但不会对埋设于海底 2m 以下的电缆造成破坏。在风电场项目调查时可选择休渔期进行，时间上与作业渔船避开，以减少相互干扰。

根据《2017 年陆丰市海洋与渔业局水产生统计年报表》，陆丰市海洋捕捞产量见表 4-6。从表得知，海洋捕捞产量合计为 135018 吨，其中鱼类最多，为 79836 吨，占总产量的 59.13%；其次甲壳类为 29312 吨，占总产量的 21.71%；头足类为 18742 吨，占总产量的 13.88%；余下不足 10%为贝类、藻类、和其它类别。如按作业方式分（表 4-7），陆丰市拖网海洋捕捞产量最高，占总产量的 78.12%。

表4-6 陆丰海洋捕捞产量表（吨）

地区或 县市	捕捞总 量	鱼类	甲壳类	头足类	贝类	藻类	其他类（海胆海 蜇等）
陆丰市	135018	79836	29312	18742	3786	789	2553

表4-7 陆丰按作业方式分的海洋捕捞产量表（吨）

地区或县 市	合计	按捕捞渔具分					
		拖网	围网	刺网	张网	钓具	其它渔具
陆丰市	135018	105480	69467	19467	167	1531	1449

(3) 海水养殖

1) 海水养殖产量

根据《2017 年陆丰市海洋与渔业局水产生统计年报表》，陆丰市海水养殖产量见表 4-8。从表得知，海水养殖总产量为 94277 吨，其中，鱼类最高，接着是鱼类、甲壳类。

表4-8 陆丰海水养殖产量表（吨）

地区或县市	合计	鱼类	甲壳类	贝类	藻类	其他类（海胆海蜇等）
陆丰市	94277	30474	13334	44307	6118	44

2) 海水养殖面积

陆丰市海水养殖面积见表 4-9。从表得知，海水养殖总面积为 6659 公顷，其中甲壳类最多。

表4-9 陆丰海水养殖面积表（公顷）

地区或县市	合计	鱼类	甲壳类(公顷)	贝类(公顷)	藻类(公顷)	其他类（海胆海蜇等）
陆丰市	6659	1410	2709	2053	454	33

(4) 海洋渔业产值

陆丰市海洋渔业原始产值（属第一产业部分）见表 4-10。从表可知，海洋渔业产值最高的是海洋捕捞，其次是海洋养殖，分别占 51.61%和 40.18%。

表4-10 陆丰海洋渔业原始产值表（万元）

地区或县市	合计（万元）	捕捞和养殖				
		海洋捕捞	海水养殖	淡水捕捞	淡水养殖	水产苗种
陆丰市	258134	133242	103731	1219	19942	0

4.3.1.3 风能资源

甲湖湾地处台湾海峡喇叭口西南端，因独特的地理位置，风力资源特别丰富，是我国少有的可以大规模开发风力发电场的地域之一。

该海域轮毂高度 100m 处长年代年平均风速为 7.51m/s，平均风功率密度约为 422.4W/m²，风能资源较为丰富。轮毂高度处主导风向为 E，主导风能风向为 E，风向风能相对集中。风电场轮毂高度处 50 年一遇 10min 平均风速为 53.8m/s，50 年一遇 3s 极大风速为 71.1m/s。

4.3.1.4 岛礁资源

汕尾市濒临南海，海域辽阔，海岸线长，近海岛屿众多。据《中国海岛志·广东卷第一册》记载，汕尾市近海海域有岛（礁）311个，其中有居民岛2个，无居民岛（礁）309个。海岛总面积79.6平方公里，岛岸线长12.82公里，面积大于或等于500平方米的岛（礁）93个。

汕尾市位于海岛保护区的粤东区，规划范围有2个区，分别是红海湾区、甲子湾—碣石湾沿岸区。该区域共有海岛428个，其中，有居民海岛2个，无居民海岛424个，列入国家第一批可开发利用无居民海岛有2个。

靠近项目登陆点的无居民海岛属于甲子湾—碣石湾沿岸区，有红厝礁、北士岛、水牛坟角、北士一岛、北士二岛、北士三岛、北士四岛、锣锅头、三洲澳东岛、三洲澳南岛、三洲澳西岛、三洲澳岛、乌石礁、大马礁、大马南一岛、大马南二岛、后耳礁、蚊帐礁、渔翁礁、眠礁、两峡礁、东桔礁、东桔东岛、浪泡石。

表4-11 项目附近无居民海岛与项目相对距离表

序号	名称	距离 (km)
1	红厝礁	距海底电缆 6.65
2	北士岛	距海底电缆 4.23
3	水牛坟角	距海底电缆 3.95
4	北士一岛	距海底电缆 4.06
5	北士二岛	距海底电缆 3.97
6	北士三岛	距海底电缆 3.94
7	北士四岛	距海底电缆 4.02
8	锣锅头	距海底电缆 3.40
9	三洲澳东岛	距海底电缆 4.02
10	三洲澳南岛	距海底电缆 3.83
11	三洲澳西岛	距海底电缆 3.70
12	三洲澳岛	距海底电缆 3.65
13	鸟石礁	距海底电缆 3.46
14	大马礁	距海底电缆 3.59
15	大马南一岛	距海底电缆 3.46
16	大马南二岛	距海底电缆 3.54
17	后耳礁	距海底电缆 3.18
18	蚊帐礁	距海底电缆 4.14
19	渔翁礁	距海底电缆 4.48
20	眠礁	距海底电缆 4.47
21	两峡礁	距海底电缆 4.98
22	东桔礁	距海底电缆 5.53
23	东桔东岛	距海底电缆 5.67
24	浪泡石	距海底电缆 6.53



图4-6 项目周边无居民海岛分布图

4.3.2 海域开发利用情况

4.3.2.1 登陆点以东海域开发利用现状

表4-12 登陆点以东海域开发利用现状统计表（养殖）

序号	用海范围	管理归属	养殖方式	养 殖 品 种	是否确权用海	图中对应区块	与项目登陆点相对位置	与登陆点相对距离（km）
1	湖东大桥以北	曲清村村委	高位养殖	虾、鲍鱼	无证养殖	E1	登陆点东北	11.62
2	湖东大桥以北	/	高位养殖	虾、鲍鱼	无证养殖	E2	登陆点东北	10.92
3	湖东大桥以北	/	高位养殖	虾、鲍鱼	无证养殖	E3	登陆点东北	9.91
4	湖东大桥以北	定壮村、长溪村	围塘养殖	虾、鲍鱼	无证养殖	E4、E5	登陆点东北	9.41
5	湖东大桥以北	长溪村	高位养殖	虾、鲍鱼	无证养殖	E8	登陆点东北	8.89
6	湖东大桥以南	长湖村养殖场	高位养殖	对虾	无证养殖	E9	登陆点东北	8.62
7	湖东大桥以南	湖东思源养殖场	高位养殖	对虾	无证养殖	E10	登陆点东北	8.87
8	登陆点以东	海甲村	高位养殖	对虾	无证养殖	E19	登陆点东北	14.24
9	登陆点以东	海甲村	高位养殖	对虾	无证养殖	E20	登陆点东北	14.79
10	登陆点以东	海甲村	高位养殖	对虾	无证养殖	E21	登陆点东北	15.66
11	登陆点以东	博社村	高位养殖	对虾	无证养殖	E22	登陆点东北	16.51
12	登陆点以东	博社村	高位养殖	对虾	无证养殖	E23	登陆点东北	16.49
13	登陆点以东	博社村	高位养殖	对虾	无证养殖	E24	登陆点东北	17.01
14	登陆点以东	博社村	高位养殖	对虾	无证养殖	E25	登陆点东北	17.40
15	登陆点以东	博社村	高位养殖	对虾	无证养殖	E26	登陆点东北	17.42
16	登陆点以东	博社村	高位养殖	对虾	无证养殖	E27	登陆点东北	17.76
17	登陆点以东	上堆村	高位养殖	对虾	无证养殖	E28	登陆点东北	20.25
18	登陆点以东	上堆村	高位养殖	对虾	无证养殖	E29	登陆点东北	20.27
19	登陆点以东	上堆村	高位养殖	对虾	无证养殖	E30	登陆点东北	20.65
20	登陆点以东	上堆村	高位养殖	对虾	无证养殖	E31	登陆点东北	20.85
21	石角尾山附近	湖东林场	高位养殖	对虾	无证养殖	E12	登陆点东北	4.74

表4-13 登陆点以东海域开发利用现状统计表（非养殖）

序号	周边开发利用产业名称	是否确权用海	图中对应区块	与项目相对位置	与登陆点相对距离（km）
1	湖东渔港	否	E6	登陆点东	8.44
2	湖东大桥	否	E7	登陆点东	9.43
3	甲湖湾电厂 码头、护岸、取水明渠	是	E18	登陆点东	12.93
4	甲湖湾电厂 港池	是	E13	登陆点东	12.86
5	甲湖湾电厂 排水口	是	E14	登陆点东	13.76
6	甲湖湾电厂 防波堤、排水明渠	是	E15	登陆点东	11.74
7	甲湖湾电厂 排水管	是	E16	登陆点东	14.62
8	甲湖湾电厂 温排水口	是	E17	登陆点东	14.13
9	汕尾后湖海上风电场（500MW）测风塔	是	E11	东西风场之间	2.41（与 220KV 电缆距离）

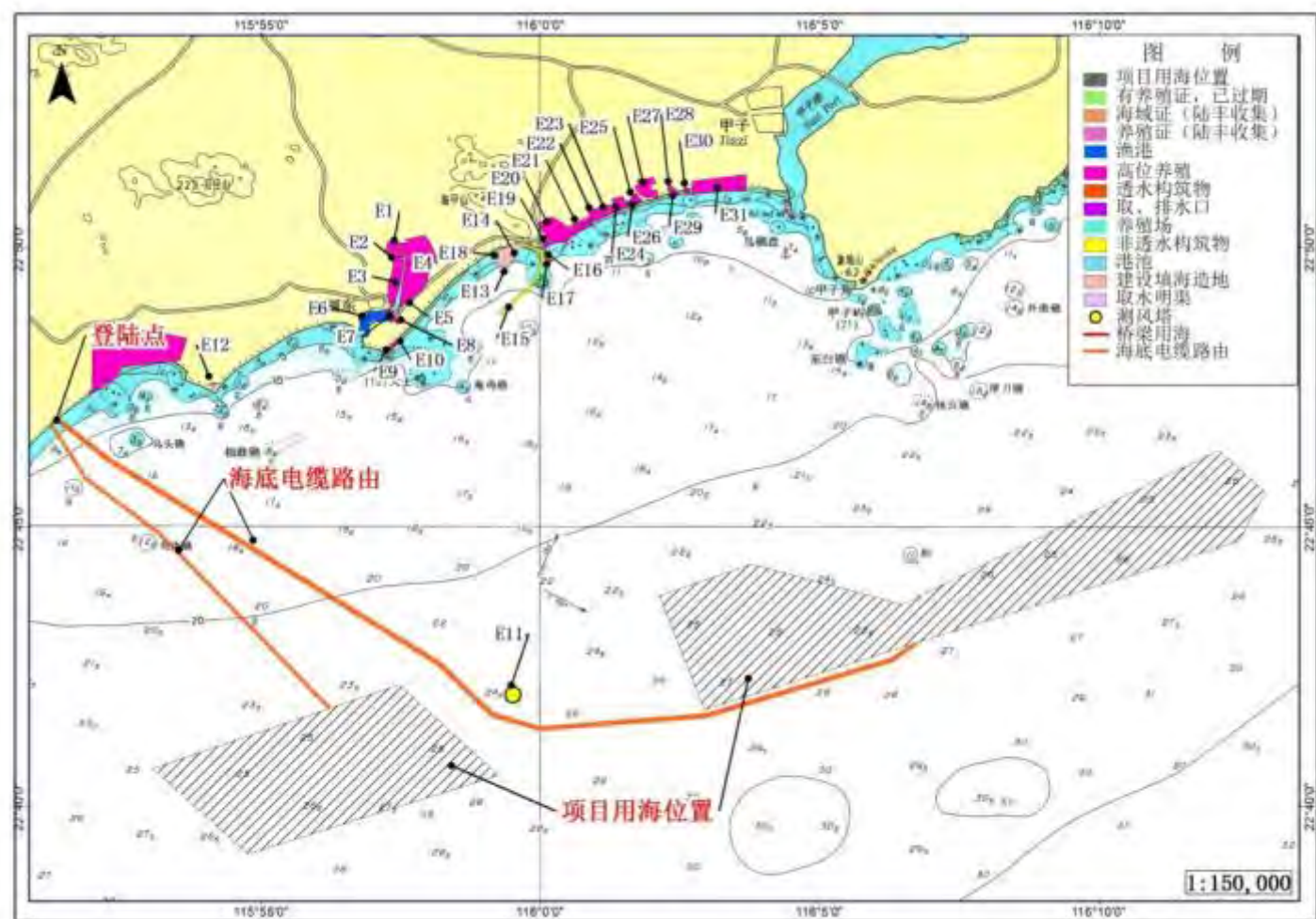


图4-7 登陆点以东海域开发利用现状图

4.3.2.2 登陆点沿岸海域开发利用现状

表4-14 登陆点沿岸海域开发利用现状统计表

序号	周边开发利用产业名称	是否确权用海	图中对应区块	与项目相对位置	与项目相对距离（km）
1	滴水村虾苗和成虾围塘养殖	否	Y3	登陆点东北	1.50
2	陆丰鹏晟种养有限公司虾苗和成虾围塘养殖	否	Y2	登陆点西南	1.03
3	陆丰市碣石鸿腾海产种苗养殖有限公司鲍鱼种苗及成品浅海养殖场	养殖证	Y1	登陆点西南	4.11
4*	湖东三洲澳人工鱼礁区	规划	Y4	登陆海缆东	3.35/1.14
5	汕尾市金峰超细材料有限公司的填海和港池用海	是	Y5	登陆点西南	5.65
6	陆丰核电一期工程	是	Y6	登陆点西南	4.97

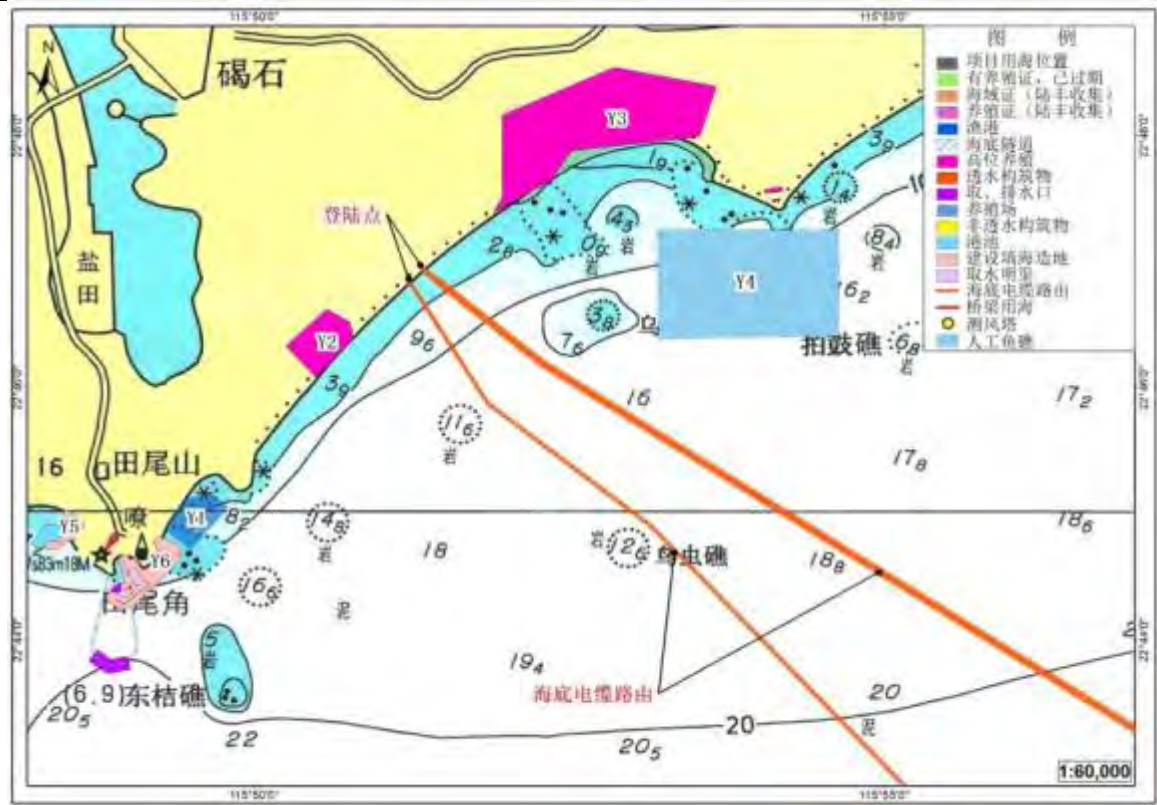


图4-8 登陆点沿岸海域开发利用现状图

4.3.2.3 登陆点西侧海域开发利用现状

表4-15 登陆点西侧海域开发利用现状统计表

图中编号	养殖信息	面积 (公顷)	有效/ 过期	登陆点 最近距 (km)	开发现状及 用海权属情况
w1	刘奇养殖场 1	24	有效	6.5	渔业养殖, 有海域使用权证
w2	陆丰市丰基海洋经纪有限公司养殖场 1	32	有效	8.17	渔业养殖, 有海域使用权证
w3	陆丰润嘉实业有限公司养殖场 1	48	有效	9.18	渔业养殖, 有海域使用权证
w4	陈俊养殖场	98	有效	8.81	渔业养殖, 有海域使用权证
w5	陈琼峰养殖场 1	30	有效	8.25	渔业养殖, 有海域使用权证
w6	陆丰润嘉实业有限公司养殖场 2	79.3	有效	8.59	渔业养殖, 有海域使用权证
w7	施富养殖场	45	过期	6.52	有海域使用权证
w8	李雷养殖场	20	有效	5.6	有海域使用权证
w9	吴奋养殖场	24	有效	6.68	有海域使用权证
w10	刘奇养殖场 2	24	有效	6.5	有海域使用权证
w11	刘奇养殖场 3	24	有效	7.33	有海域使用权证
w12	陆丰润嘉实业有限公司养殖场 3	79.3	有效	8.43	有海域使用权证
w13	陆丰市丰基海洋经纪有限公司养殖场 2	32	有效	9.71	有海域使用权证
w14	陆丰市丰基海洋经纪有限公司养殖场 3	38	有效	10.51	有海域使用权证
w15	陈琼峰养殖场 2	79.3	有效	8.98	有海域使用权证
w16	陆丰市海印水产有限公司养殖场 1	1.3622	有效	5.61	有海域使用权证
w17	陆丰市海印水产有限公司养殖场 2	4.5	过期	7.48	有海域使用权证
w18	蔡镇威养殖场	33.33	有效	6.79	水域滩涂养殖使用证
w19	邵泽楷养殖场	33.33	有效	7.71	水域滩涂养殖使用证
w20	刘奇养殖场 4	24	有效	8.33	水域滩涂养殖使用证
w21	陈杰民养殖场	33.33	有效	7.45	水域滩涂养殖使用证
w22	蔡汉昌养殖场	24	有效	7.98	水域滩涂养殖使用证
w23	陈丽珍养殖场	33.33	有效	7.09	水域滩涂养殖使用证
w24	陈琼峰养殖场	33.33	有效	8.13	水域滩涂养殖使用证
w25	陆丰市德海宝养殖场 1	140	有效	9.54	水域滩涂养殖使用证
w26	陆丰市德海宝养殖场 2	150	有效	10.77	水域滩涂养殖使用证
w27	陈俊养殖场 2	48	有效	8.56	水域滩涂养殖使用证
W28	碣石渔港			4.84	

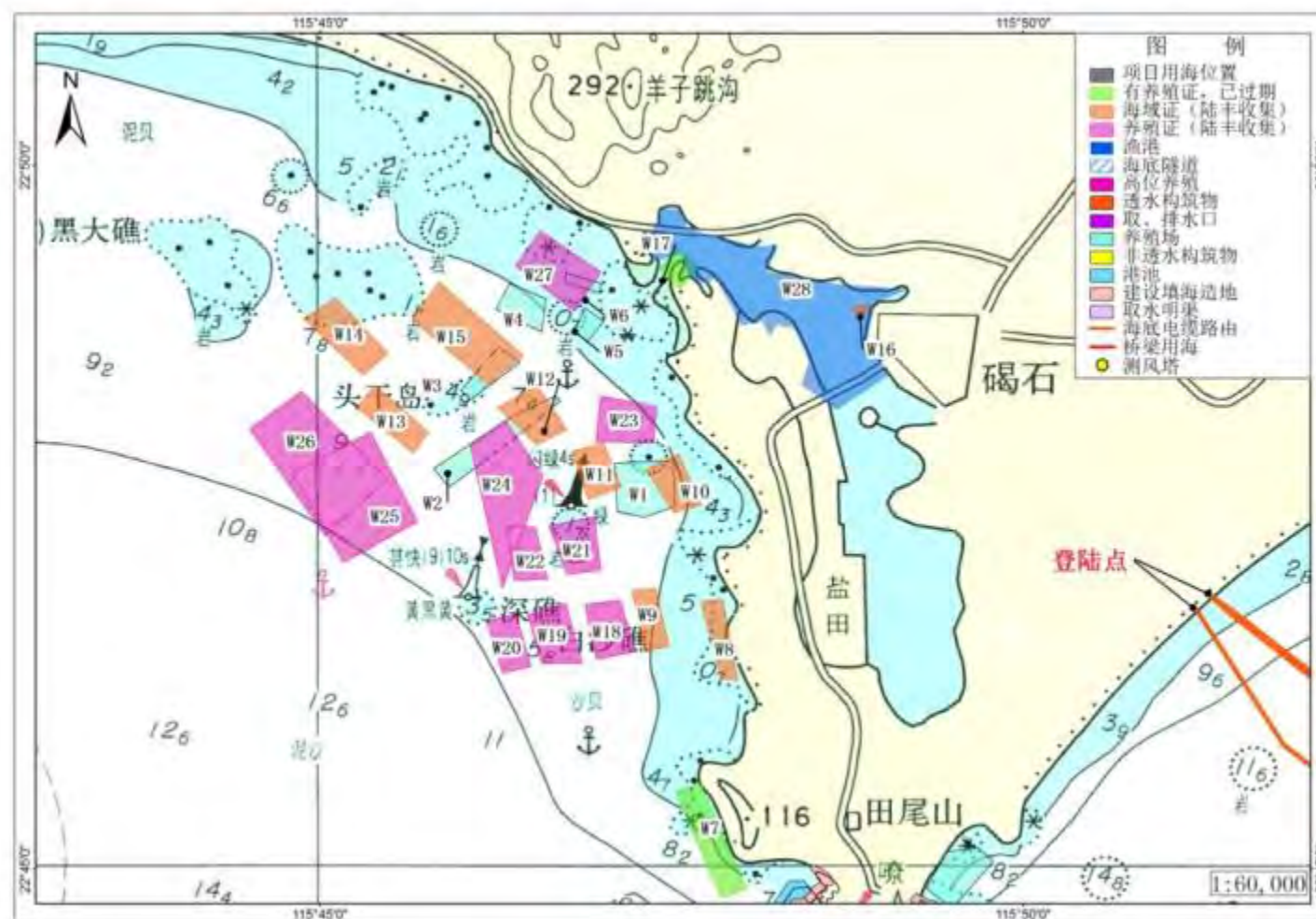


图4-9 登陆点西侧海域开发利用现状图

4.3.2.4 风电场区周边海域开发利用现状

风电场周边的开发利用现状主要是航道和锚地。

表4-16 风电场周边海域航道和锚地统计表

序号	名称	方位	距离 (km)	备注
1	粤东沿海小船航行的习惯航路	风电场北侧	沿岸	小船多沿沿海航行
2	中小型船舶推荐航路	风电场南侧	1.1	
3	大型船舶推荐航路	风电场南侧	18.9	
4	海甲航道	风电场北侧	沿岸	与本项目海缆交越
5	大星角甲子航道	西风场边线	3.1	与本项目海缆交越
6	碣石湾与海甲航道相连的航行通道	西风场边线	5.2	
7	煤电厂码头进出航道	东风场	7.7	
8	神泉港连港航道	东风场	16.4	
9	甲湖电厂 1#锚地	风电场东区西北	2.3	中心坐标: 116° 00' 00.00" 22° 43' 00.00" 半径: 1 海里
10	甲湖电厂 2#锚地	风电场西区东	2.2	中心坐标: 116° 01' 00.00" 22° 45' 00.00" 半径: 0.5 海里

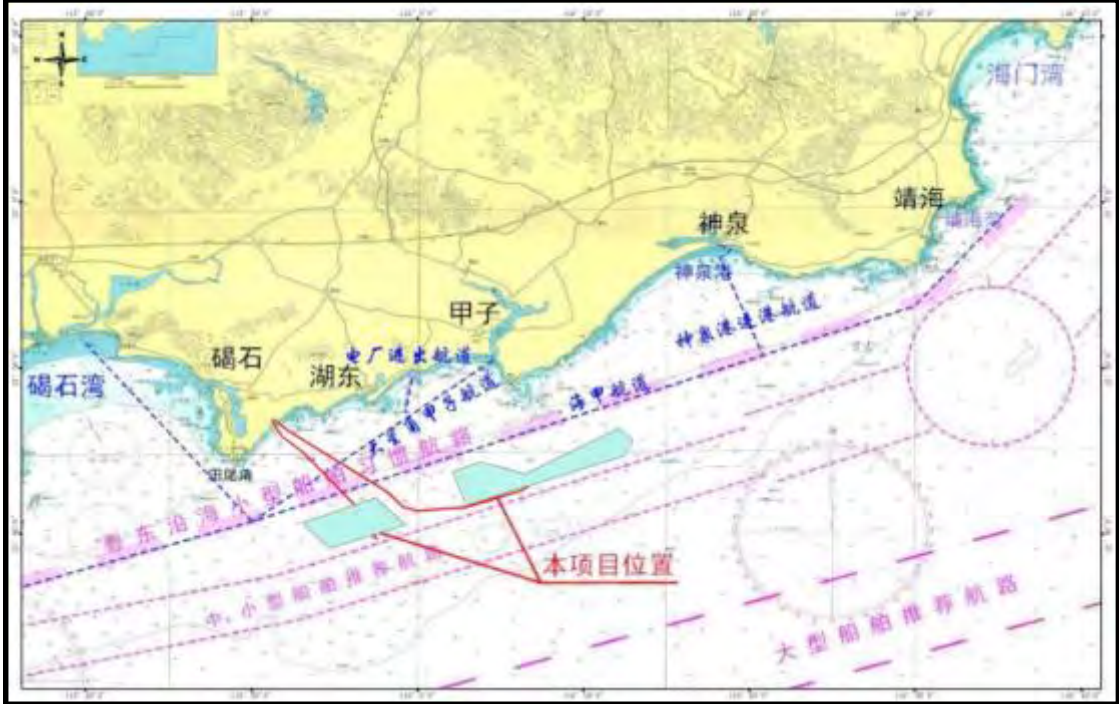


图4-10 评价海域主要航道分布示意图

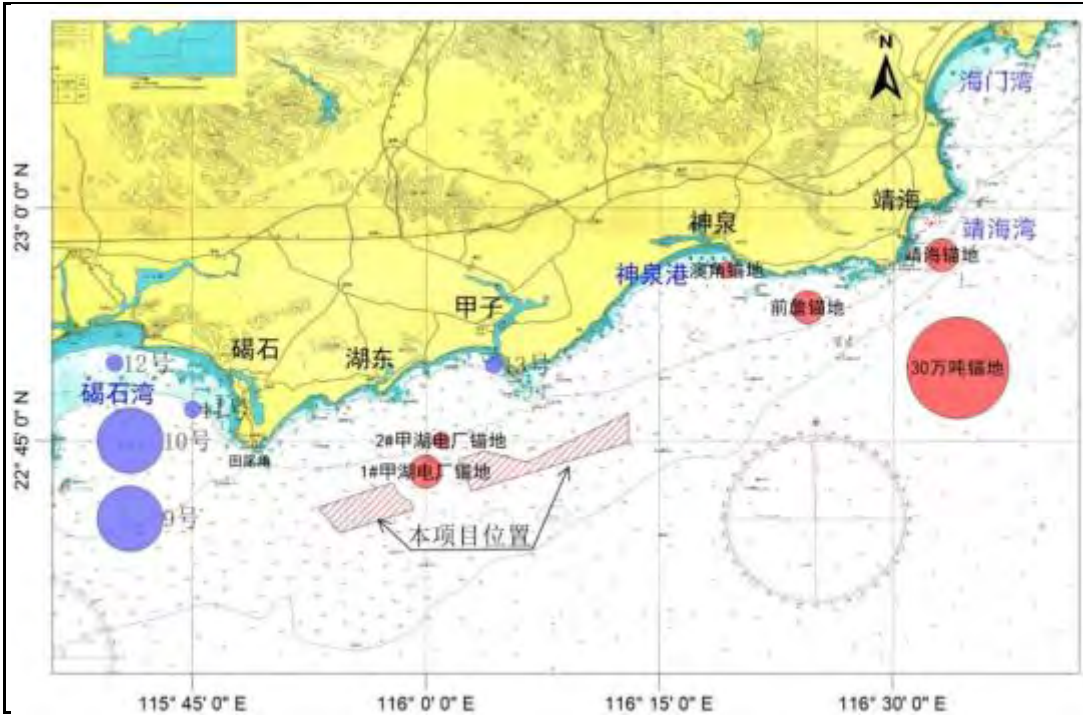


图4-11 评价海域主要锚地分布示意图

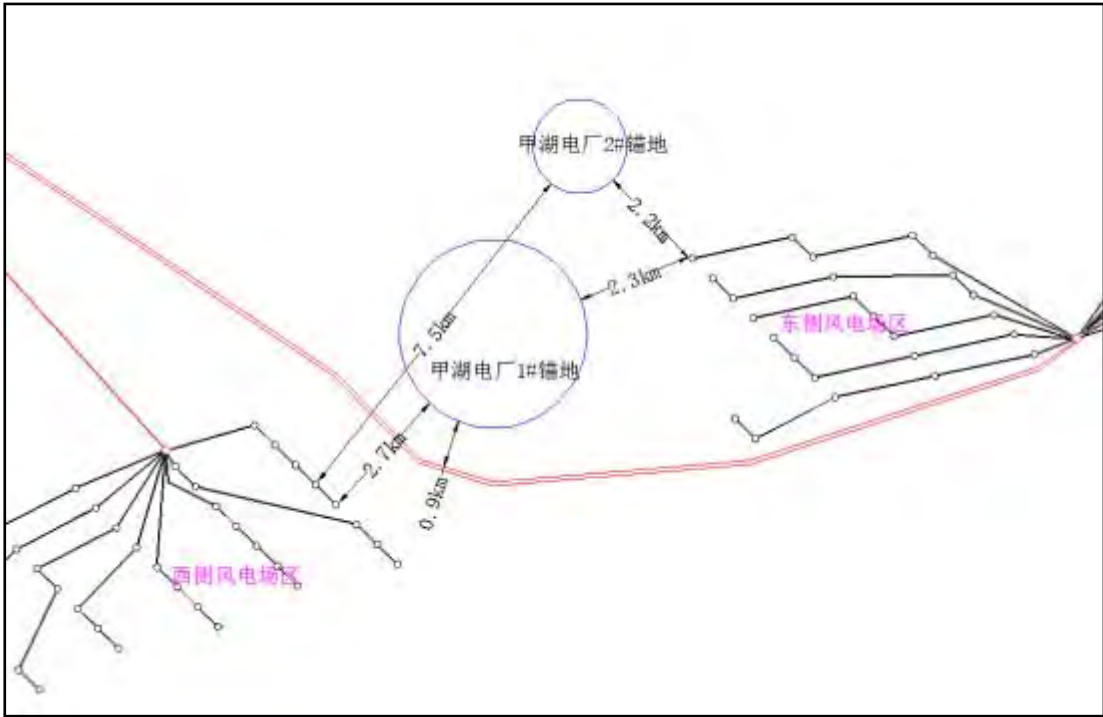


图4-12 风电场附近主要锚地分布示意图

4.3.3 自然保护区

碣石湾海马资源市级保护区位于陆丰市碣石镇对开海域，与本项目风场南侧距离约 10km，广东省海洋功能区划中的碣石湾近海海洋保护区。

碣石湾海马资源市级保护区坐标范围：A，东经 115° 42′ 00″、北纬 22° 33′ 00″；B，东经 116° 00′ 50″、北纬 22° 34′ 00″；C，东经 116° 02′ 35″、北纬 22° 24′ 40″；D，东经 115° 42′ 00″、北纬 22° 20′ 40″ 四点连线内海域。

表4-17 评价范围内自然保护区一览表

保护区名称	行政区域	面积	主要保护对象	类型	级别	始建时间	主管部门
碣石湾海马资源	汕尾市	500	三斑海马、日本海马等及其栖息地	野生动物	市级	20060801	海洋

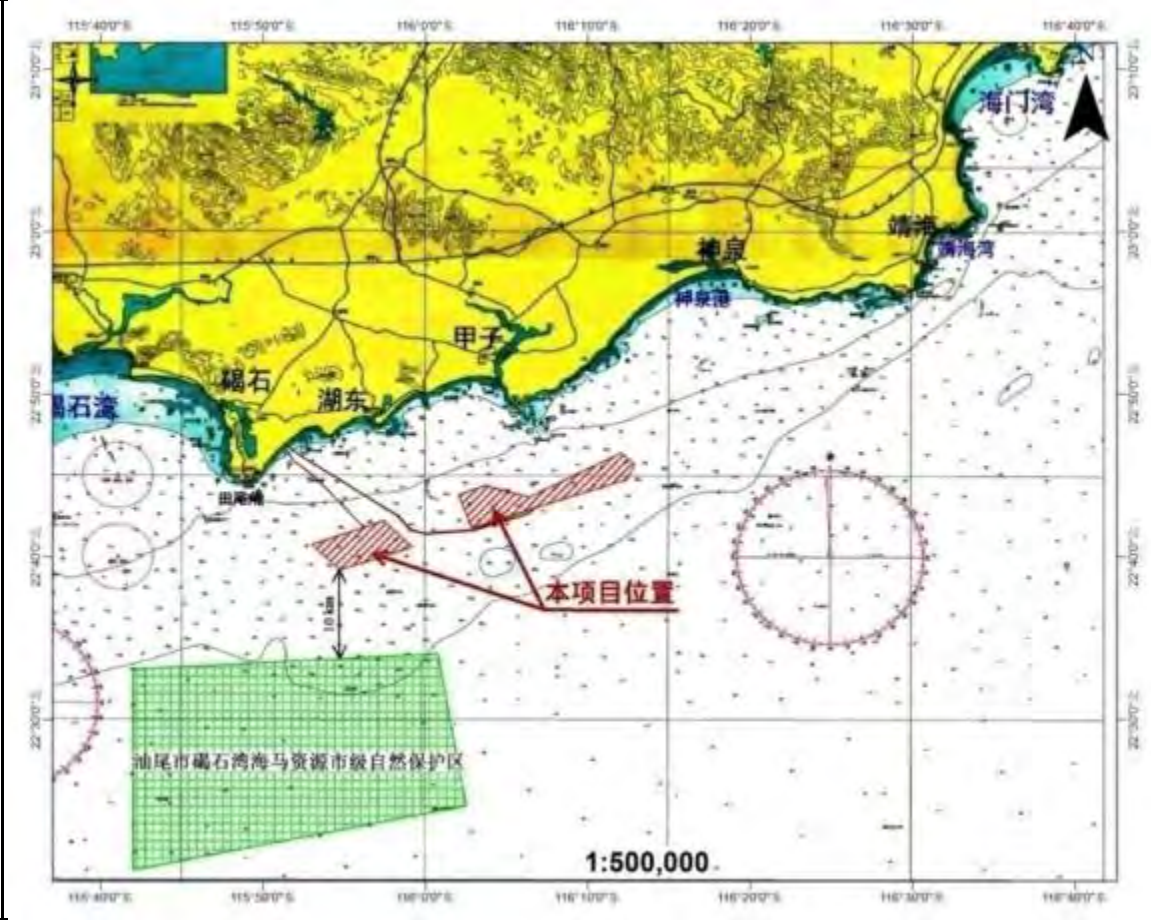


图4-13 风电场址与碣石湾海马资源市级保护区关系图

5 环境现状调查与评价

5.1 水文动力环境现状调查与评价

5.1.1 潮汐

5.1.1.1 基面关系

基面关系为理论最低潮面在平均海平面下 0.9m，56 黄海平均海面在理论最低潮面上 0.623m，85 国家高程在理论最低潮面上 0.465m。

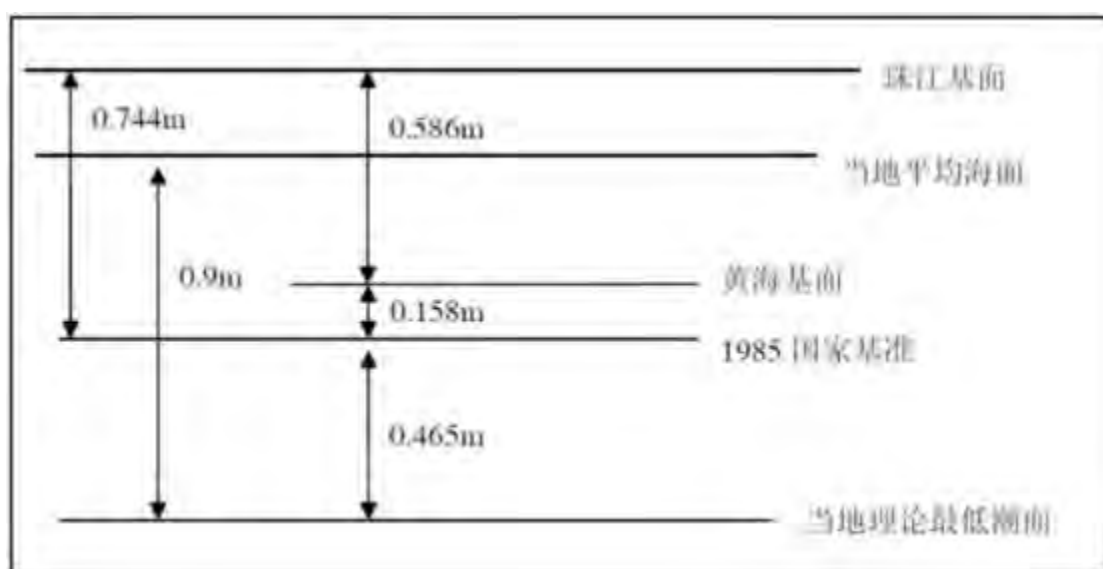


图5-1 汕尾站基面关系图

5.1.1.2 潮位特征

潮位站的观测均开始于 2017 年 12 月 1 日 0 时，其中神泉站观测结束于 2017 年 12 月 20 日 12 时，观测日数共计 19 日；甲子站观测结束于 2017 年 12 月 21 日 15 时，观测日数共计 20 日；遮浪站观测结束于 2017 年 12 月 31 日 17 时，观测日数共计 30 日。

各站逐时潮位数据变化如图 5-2 所示（潮位基面基于平均海平面），从图中可以看出各潮位站的潮位数据日周期变化明显，并在其上叠加有半日周期的小幅振荡。约 14 天周期的大-小潮变化显著，在观测期间，3 个验潮站大-小潮周期内的最低潮位相当，最高潮位以遮浪站为最高，甲子站次之，神泉站最低。

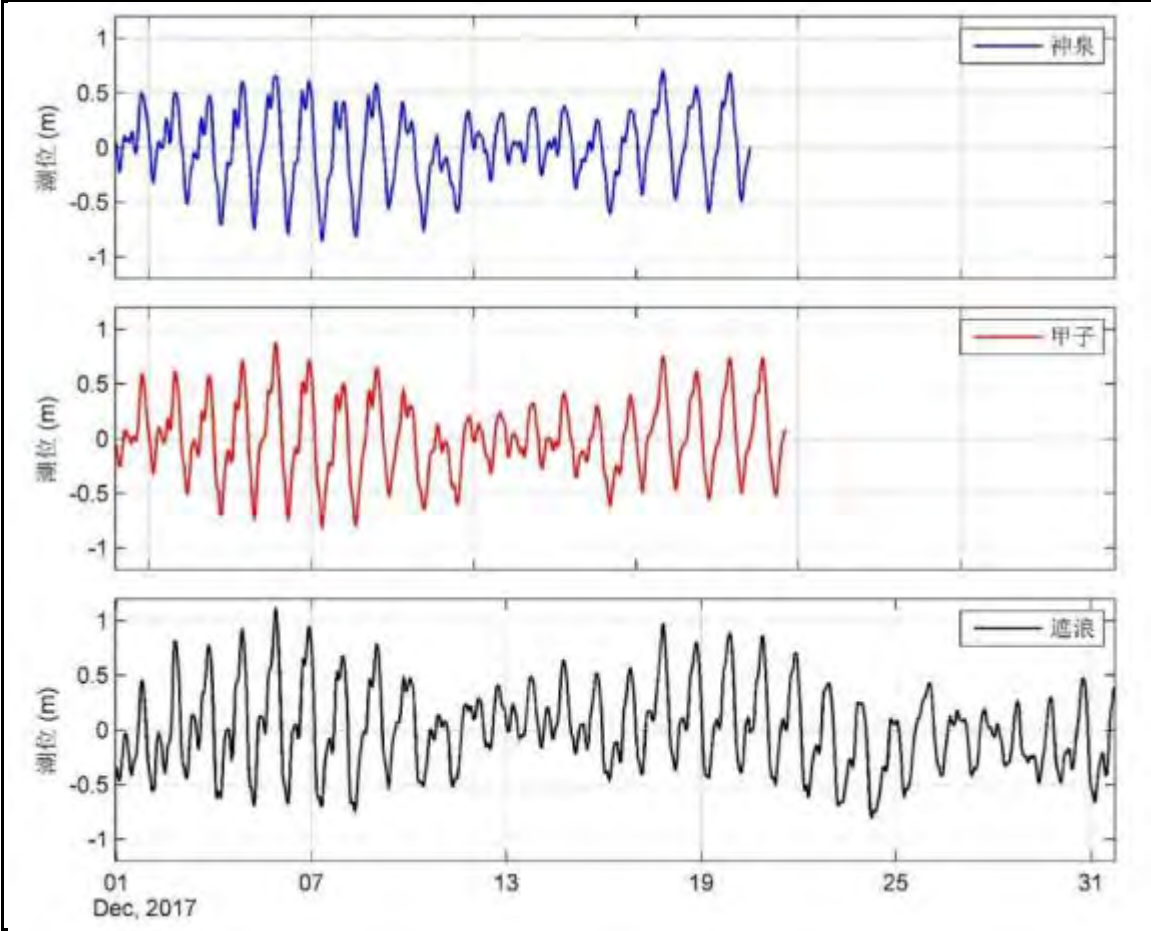


图5-2 神泉、甲子、遮浪潮位站观测到的潮位变化

对神泉、甲子、遮浪这 3 个潮位站的数据资料进行统计，潮位特征如表 5-1 所示。观测期间，3 个站的平均潮差相当，均为 1.1m 左右；平均高潮位以遮浪站为最高为 0.64m，神泉站最低为 0.46m；平均低潮位以遮浪站最高为 -0.48m，神泉站最低为 -0.88m；观测海域的平均涨潮历时大于落潮历时，在 3 个验潮站中，甲子站的平均涨潮历时和平均落潮历时均居中，分别为 14.21h 和 9.79h。

表5-1 冬季潮位站短期潮位特征表单位：m

	神泉站	甲子站	遮浪站
最高潮位	0.72	0.90	1.12
最低潮位	-0.88	-0.80	-0.80
平均高潮位	0.46	0.51	0.64
平均低潮位	-0.56	-0.54	-0.48
最大潮差	1.46	1.64	1.84
平均潮差	1.01	1.05	1.13
平均涨潮历时（h）	13.71	14.21	14.50
平均落潮历时（h）	10.29	9.79	9.50

5.1.1.3 潮位调和分析

对神泉、甲子和遮浪 3 个潮位站的逐时潮位数据应用最小二乘法的潮汐分析方法，可求得潮汐调和常数，进而可按下式判别潮汐性质：

$$F = \frac{H_{O_1} + H_{K_1}}{H_{M_2}}$$

式中， H_{O_1} 、 H_{K_1} 、 H_{M_2} 分别为主太阴日分潮、太阴太阳赤纬日分潮、主太阴半日分潮的平均振幅（cm）。当 $F \leq 0.5$ 时为正规半日潮， $0.5 < F \leq 2.0$ 时为不正规半日潮， $2.0 < F \leq 4.0$ 时为不正规全日潮， $F > 4.0$ 时为正规全日潮。

根据调和和分析结果，可计算得到 3 个验潮站所对应的 F 值分别为 5.03、4.67 和 3.24，该结果表明本工程场址所在海域的潮汐为正规全日潮，场址以西的海域则为不正规全日潮。

5.1.2 实测海流

5.1.2.1 站位设置

基于项目所在位置及其所属海域的地理特点，本次冬季水文观测共布设潮位站 3 个，定点连续观测站 9 个，表层底质采样站 40 个（见表 5-2~表 5-4 及图 5-3）。冬季水文观测开展于 2017 年 12 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日，其中潮位站记录潮位数据连续变化，定点连续观测站获取大、中潮期间各水层流速、流向、温度、盐度、悬沙含量的变化，表层底质采样站取得表层沉积物采样，并进行沉积物的粒度分析。以上数据作为本报告的海流、泥沙等海洋水文条件的主要依据。

夏季海流观测进行于 2018 年 6 月 29 日 10 时至 2018 年 6 月 30 日 11 时的大潮期间，2018 年 7 月 2 日 10 时至 2018 年 7 月 3 日 11 时的中潮期间，以及 2018 年 7 月 6 日 10 时至 2018 年 7 月 7 日 11 时的小潮期间三次观测分别获取了 9 个定点连续观测站表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底层的流速和流向逐时数据。

表5-2 潮位站经纬度

站位	东经	北纬
神泉站	116°18.813′	22°57.802′
甲子站	116°4.475′	22°52.291′
遮浪站	115°33.994′	22°39.002′

表5-3 定点连续观测站经纬度

观测内容	站位	东经	北纬	备注和描述
潮流、温度、盐度、泥沙	1#	116°07.446′	22°43.705′	25m~30m 等深线
	2#	115°58.435′	22°46.434′	15m ~20m 等深线
	3#	115°58.819′	22°41.582′	25m~30m 等深线
	4#	115°57.968′	22°37.328′	25m~30m 等深线
	5#	116°10.723′	22°41.664′	30m 等深线附近
	6#	115°50.941′	22°39.015′	25m~30m 等深线
	7#	116°03.001′	22°45.958′	20m 等深线附近
	8#	116°23.53′	22°48.377′	25m~30m 等深线
	9#	116°23.281′	22°52.476′	15m ~20m 等深线

表5-4 表层底质采样站经纬度

站位	东经	北纬	编号	东经	北纬
1	115°54.186′	22°40.387′	21	115°58.289′	22°44.323′
2	115°56.234′	22°41.085′	22	116°2.861′	22°45.848′
3	115°58.791′	22°42.027′	23	116°7.804′	22°47.451′
4	116°1.251′	22°42.837′	24	116°11.929′	22°48.804′
5	116°3.375′	22°43.472′	25	116°16.347′	22°46.658′
6	116°5.660′	22°44.340′	26	116°13.564′	22°43.015′
7	116°8.407′	22°45.137′	27	116°9.319′	22°41.635′
8	116°10.858′	22°46.009′	28	116°4.250′	22°40.251′
9	116°12.634′	22°46.455′	29	115°59.525′	22°38.758′
10	116°12.892′	22°45.578′	30	115°54.801′	22°37.356′
11	116°11.13′	22°45.029′	31	115°52.245′	22°36.507′
12	116°8.686′	22°44.239′	32	115°51.119′	22°41.988′
13	116°5.935′	22°43.465′	33	116°15.364′	22°49.939′
14	116°3.647′	22°42.767′	34	116°17.141′	22°43.969′
15	116°1.426′	22°41.987′	35	116°0.760′	22°44.936′
16	115°58.993′	22°41.169′	36	116°14.149′	22°40.993′
17	115°56.407′	22°40.399′	37	116°17.734′	22°42.146′
18	115°54.298′	22°39.707′	38	115°47.741′	22°41.109′
19	115°51.774′	22°38.918′	39	115°48.269′	22°38.148′
20	115°53.687′	22°42.828′	40	116°5.146′	22°46.468′



图5-3 潮位站、水文站及底质采样点位置分布示意图

5.1.2.2 冬季测流成果

冬季海流观测进行于 2017 年 12 月 7 日 7 时至 2017 年 12 月 8 日 8 时的大潮期间,以及 2017 年 12 月 9 日 17 时至 2017 年 12 月 10 日 18 时的中潮期间,两次观测分别获取了 9 个定点连续观测站表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底层的流速和流向逐时数据。

(1) 潮流历时

受月赤纬变化和地形等因素的影响,不同水域的涨、落潮历时不同。如表 5-5,观测期间,根据实测资料统计,大、中和小潮期实测海域落、涨潮流平均历时均为 13 h,涨潮流历时与落潮流历时大致相同。其中,大潮涨、落潮历时均为 13h;中潮涨、落潮历时分别为 15h 和 11h;小潮涨、落潮历时均为 12h 和 14h。

表5-5 观测海域涨、落潮潮流历时统计表 (h)

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
1	13	14	11	13	13	12	15	13
2	15	15	14	15	11	11	12	11
3	13	14	12	13	13	12	14	13
4	13	15	11	13	13	11	15	13
5	10	16	10	12	16	10	16	14
6	15	15	10	13	11	11	16	13
7	14	13	12	13	12	13	14	13
8	10	17	14	14	16	9	12	12
9	16	16	13	15	10	10	13	11
平均	13	15	12	13	13	11	14	13

(2) 潮段平均流向

根据各站涨、落潮潮段垂线平均流向计算结果（表 5-6，图 5-4～图 5-6），各测站涨潮流向为 64° ~ 269° 之间，落潮流向为 202° ~ 271° 之间。

表5-6 观测海域涨、落潮垂线平均流向统计表 ($^{\circ}$)

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
1	89	90	269	149	236	264	260	253
2	73	73	166	104	257	243	249	250
3	111	88	262	154	239	259	262	253
4	66	80	228	125	234	269	227	243
5	64	88	152	101	244	222	227	231
6	76	107	257	147	256	271	267	265
7	98	104	219	140	259	240	257	252
8	75	105	109	96	202	264	261	242
9	92	96	109	99	247	204	257	236
平均	83	92	197	124	242	248	252	247

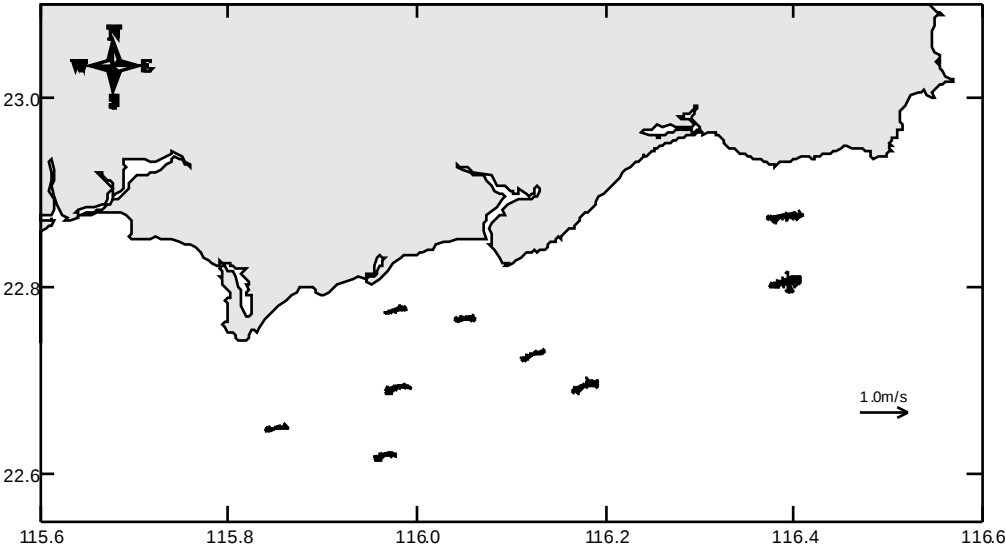


图5-4 大潮垂线平均流速矢量图

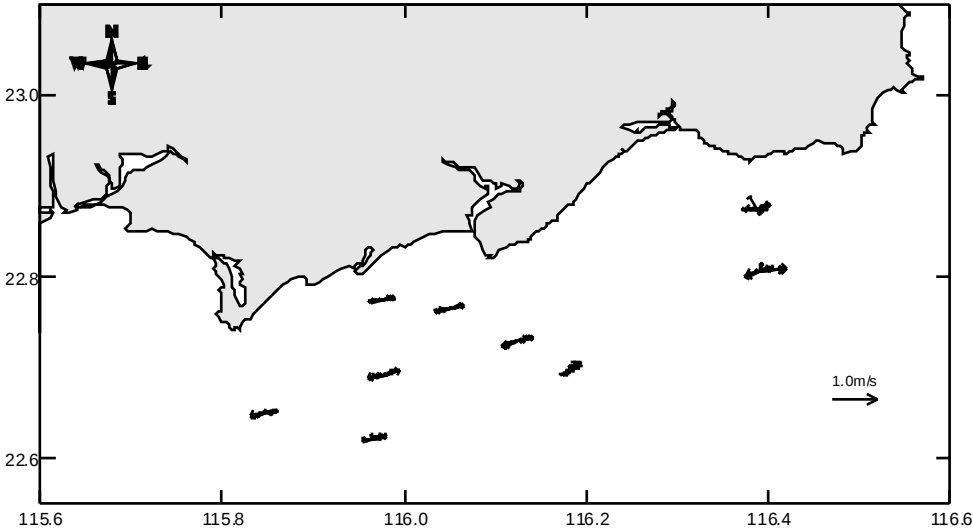


图5-5 中潮垂线平均流速矢量图

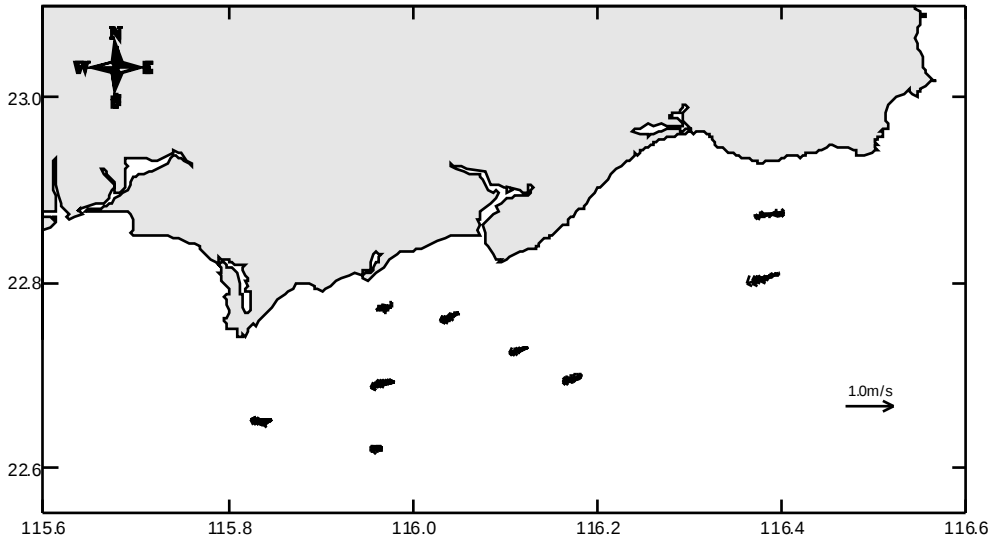


图5-6 小潮垂线平均流速矢量图

(3) 潮段平均流速

对测验期内各个测站的垂线平均流速进行统计，按涨潮段、落潮段分别求矢量平均值得到各测站不同潮段垂线平均流速（见表 5-7）。

(1) 水文测验期间，实测涨、落潮段平均流速分别为 0.17 m/s 和 0.19 m/s。其中，大潮期间涨、落潮平均流速均为 0.16 m/s；中潮期间落潮平均流速 0.16 m/s，小于涨潮平均流速 0.18 m/s；小潮期间落潮平均流速 0.23 m/s，大于涨潮平均流速 0.15 m/s。

(2) 涨潮段平均流速最大值发生在中潮 8#测站，为 0.29 m/s，最小值在小潮 8#测站，为 0.08 m/s；落潮段平均流速最大值发生在小潮 3#测站，为 0.34 m/s，最小值在中潮 5#测站，为 0.07 m/s。

表5-7 各测站潮段平均流速统计表 (m/s)

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
1	0.12	0.17	0.16	0.15	0.18	0.19	0.24	0.20
2	0.18	0.2	0.09	0.16	0.1	0.12	0.14	0.12
3	0.12	0.16	0.25	0.18	0.18	0.21	0.34	0.24
4	0.11	0.14	0.09	0.11	0.16	0.13	0.13	0.14
5	0.21	0.20	0.15	0.19	0.17	0.07	0.18	0.14
6	0.12	0.11	0.23	0.15	0.11	0.22	0.31	0.21
7	0.13	0.16	0.17	0.15	0.12	0.16	0.24	0.17
8	0.21	0.29	0.08	0.19	0.23	0.22	0.29	0.25
9	0.24	0.2	0.17	0.20	0.21	0.14	0.23	0.19
平均	0.16	0.18	0.15	0.17	0.16	0.16	0.23	0.19

(4) 垂线平均最大流速

对本期测验各测站的垂线平均最大流速进行统计（见表 5-8）。总体来看，水文测验期间，垂线平均最大流速涨潮段出现在中潮 8#测站，为 0.54 m/s，流向均为 84°；落潮段垂线平均最大流速出现在小潮 8#测站，为 0.62 m/s，流向 258°。

表5-8 各测站涨落潮段垂线平均最大流速统计表

站号	潮段	大潮		中潮		小潮	
		流速(m/s)	流向(°)	流速(m/s)	流向(°)	流速(m/s)	流向(°)
1	涨潮	0.24	83	0.37	74	0.30	256
	落潮	0.31	243	0.36	251	0.40	256

2	涨潮	0.32	83	0.34	80	0.17	233
	落潮	0.19	253	0.27	263	0.25	256
3	涨潮	0.25	92	0.34	77	0.39	263
	落潮	0.30	258	0.27	260	0.52	256
4	涨潮	0.24	94	0.30	82	0.15	250
	落潮	0.25	234	0.27	259	0.26	258
5	涨潮	0.28	66	0.39	50	0.29	259
	落潮	0.31	247	0.17	252	0.33	282
6	涨潮	0.29	89	0.26	82	0.35	265
	落潮	0.20	254	0.38	265	0.49	273
7	涨潮	0.25	96	0.32	81	0.36	243
	落潮	0.20	260	0.37	254	0.42	249
8	涨潮	0.33	85	0.54	84	0.13	58
	落潮	0.41	252	0.39	247	0.62	258
9	涨潮	0.43	89	0.34	324	0.30	89
	落潮	0.41	259	0.32	270	0.37	257

(5) 最大流速特征值

各测站涨、落潮最大流速特征值如表 5-9 至表 5-11 所示。由表可见，水文测验期间，大潮实测最大流速为 0.56 m/s，流向为 260°，出现在 8#测站涨潮段的 0.4H；中潮实测最大流速为 0.65 m/s，流向为 11°，出现在 3#测站落潮段的 0.8H；小潮实测最大流速为 0.83 m/s，流向为 256°，出现在 8#测站涨潮段的 0.2H。

表5-9 各测站大潮垂线分层最大流速统计表

项目 测点	涨 潮			落 潮		
	流速 (m/s)	流向 (°)	测层	流速 (m/s)	流向 (°)	测层
1	0.37	126	0.8H	0.38	250	0.2H
2	0.38	82	0.4H	0.22	255	0.6H
3	0.34	90	0.6H	0.39	2	0.6H
4	0.33	64	0.6H	0.38	250	表层
5	0.46	34	0.6H	0.50	245	0.2H
6	0.39	83	0.8H	0.31	269	0.2H
7	0.34	68	0.6H	0.30	266	0.8H
8	0.50	90	0.6H	0.56	260	0.4H
9	0.50	89	0.8H	0.42	212	表层
最大流速	0.50	90	0.6H	0.56	260	0.4H

表5-10 各测站中潮垂线分层最大流速统计表

项目 测点	涨 潮			落 潮		
	流速 (m/s)	流向 (°)	测层	流速 (m/s)	流向 (°)	测层
1	0.48	70	0.6H	0.45	249	0.4H
2	0.47	79	0.8H	0.30	258	表层
3	0.40	76	0.6H	0.65	11	0.8H
4	0.39	81	0.4H	0.36	282	0.2H
5	0.55	66	0.6H	0.27	251	表层
6	0.42	68	底层	0.46	257	0.4H
7	0.50	248	底层	0.42	253	0.2H
8	0.67	91	0.2H	0.51	254	0.4H
9	0.60	312	0.6H	0.42	285	表层
最大流速	0.67	91	0.2H	0.65	11	0.8H

表5-11 各测站小潮垂线分层最大流速统计表

项目 测点	涨 潮			落 潮		
	流速 (m/s)	流向 (°)	测层	流速 (m/s)	流向 (°)	测层
1	0.35	246	0.6H	0.47	256	0.4H
2	0.25	215	0.2H	0.27	247	0.2H
3	0.47	257	0.6H	0.58	260	底层
4	0.23	252	底层	0.28	242	0.4H
5	0.33	264	表层	0.38	271	表层
6	0.47	246	表层	0.56	249	表层
7	0.48	234	表层	0.49	247	表层
8	0.24	304	0.2H	0.83	256	0.2H
9	0.49	230	0.6H	0.48	264	表层
最大流速	0.49	230	0.6H	0.83	256	0.2H

(6) 潮段平均流速垂向分布

通过对本期测验各个测站的各层实测的流速资料进行统计,按涨潮段、落潮段分别统计平均值得到各测站的涨、落潮段平均流速垂向分布(如表 5-12 至表 5-14 所示)。

表5-12 各测站大潮涨、落潮段平均流速垂向分布统计表 (m/s)

站名	涨潮						落潮					
	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
1	0.09	0.14	0.16	0.16	0.17	0.18	0.21	0.20	0.21	0.22	0.19	0.14
2	0.15	0.18	0.20	0.22	0.20	0.16	0.14	0.12	0.14	0.13	0.12	0.09
3	0.05	0.13	0.14	0.18	0.18	0.14	0.20	0.22	0.21	0.20	0.19	0.11

4	0.11	0.12	0.13	0.17	0.21	0.13	0.24	0.24	0.22	0.17	0.13	0.10
5	0.18	0.22	0.25	0.31	0.32	0.26	0.33	0.29	0.22	0.17	0.16	0.13
6	0.06	0.10	0.12	0.16	0.21	0.17	0.19	0.19	0.17	0.12	0.08	0.08
7	0.07	0.15	0.16	0.18	0.18	0.14	0.10	0.16	0.18	0.18	0.16	0.12
8	0.17	0.23	0.26	0.33	0.30	0.28	0.18	0.30	0.28	0.27	0.24	0.21
9	0.10	0.28	0.26	0.27	0.25	0.26	0.25	0.26	0.22	0.22	0.21	0.20
平均	0.11	0.17	0.19	0.22	0.22	0.19	0.20	0.22	0.21	0.19	0.16	0.13
与表层比值	1.00	1.58	1.71	2.02	2.06	1.76	1.00	1.08	1.01	0.91	0.80	0.64

表5-13 各测站中潮涨、落潮段平均流速垂向分布统计表 (m/s)

站名	涨潮						落潮					
	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
1	0.13	0.17	0.20	0.21	0.24	0.20	0.16	0.23	0.22	0.22	0.20	0.18
2	0.17	0.25	0.24	0.23	0.21	0.14	0.12	0.13	0.15	0.13	0.12	0.12
3	0.11	0.13	0.16	0.22	0.24	0.15	0.27	0.28	0.24	0.23	0.22	0.11
4	0.09	0.16	0.19	0.21	0.20	0.14	0.14	0.19	0.17	0.17	0.16	0.08
5	0.15	0.20	0.25	0.27	0.27	0.22	0.12	0.09	0.11	0.10	0.11	0.08
6	0.06	0.10	0.11	0.14	0.17	0.17	0.19	0.26	0.26	0.23	0.22	0.21
7	0.16	0.20	0.17	0.18	0.20	0.17	0.16	0.19	0.18	0.18	0.18	0.13
8	0.29	0.33	0.33	0.30	0.28	0.26	0.27	0.27	0.28	0.27	0.24	0.14
9	0.16	0.20	0.21	0.24	0.23	0.17	0.17	0.19	0.19	0.17	0.16	0.20
平均	0.15	0.19	0.21	0.22	0.23	0.18	0.18	0.20	0.20	0.19	0.18	0.14
与表层比值	1.00	1.32	1.41	1.52	1.55	1.23	1.00	1.14	1.13	1.06	1.01	0.78

表5-14 各测站小潮涨、落潮段平均流速垂向分布统计表 (m/s)

站名	涨潮						落潮					
	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
1	0.10	0.16	0.19	0.23	0.21	0.19	0.14	0.24	0.29	0.28	0.26	0.26
2	0.09	0.12	0.09	0.13	0.13	0.10	0.16	0.17	0.15	0.16	0.15	0.13
3	0.25	0.26	0.22	0.27	0.24	0.29	0.37	0.35	0.32	0.31	0.34	0.36
4	0.07	0.08	0.11	0.10	0.10	0.12	0.12	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
5	0.20	0.16	0.17	0.16	0.12	0.12	0.20	0.18	0.18	0.16	0.17	0.21
6	0.24	0.25	0.24	0.26	0.25	0.18	0.34	0.34	0.31	0.31	0.31	0.30
7	0.24	0.23	0.19	0.16	0.18	0.16	0.29	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19
8	0.12	0.16	0.12	0.14	0.15	0.13	0.39	0.47	0.36	0.30	0.24	0.19
9	0.17	0.18	0.19	0.21	0.22	0.14	0.31	0.28	0.26	0.26	0.21	0.12
平均	0.16	0.18	0.17	0.18	0.18	0.16	0.26	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21
与表层比值	1.00	1.08	1.03	1.12	1.08	0.97	1.00	1.06	0.97	0.92	0.87	0.81

5.1.2.3 夏季流场特征

(1) 潮流历时

受月赤纬变化和地形等因素的影响，不同水域的涨、落潮历时不同。如表 5-15，观测期间，根据实测资料统计，大、中和小潮期实测海域涨潮流平均历时分别为 10 h、11 h 和 11 h，落潮流平均历时均为 9 h。

表5-15 观测海域涨、落潮潮流历时统计表（h）

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
1	9	12	11	11	10	9	9	9
2	13	9	12	11	11	9	10	10
3	8	9	9	9	11	11	9	10
4	10	14	12	12	8	8	9	8
5	11	13	12	12	8	9	10	9
6	7	8	12	9	7	10	9	9
7	11	12	12	12	7	11	8	9
8	12	12	11	12	6	6	9	7
9	11	13	11	12	9	9	9	9
平均	10	11	11	11	9	9	9	9

(2) 潮段平均流向

根据各站涨、落潮潮段垂线平均流向计算结果（表 5-16，图 5-7～图 5-9，各测站涨潮流向为 50~81°之间，落潮流向为 234~260°之间。

表5-16 观测海域涨、落潮垂线平均流向统计表（°）

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
1	78	69	67	71	260	247	249	252
2	74	79	73	75	253	258	249	253
3	72	74	74	73	260	250	257	256
4	77	65	68	70	259	245	247	250
5	58	71	66	65	243	244	249	245
6	81	71	63	72	244	252	249	248
7	80	77	79	78	257	258	256	257
8	56	58	60	58	238	241	239	239
9	56	50	55	53	239	234	234	236
平均	70	68	67	68	250	248	248	249

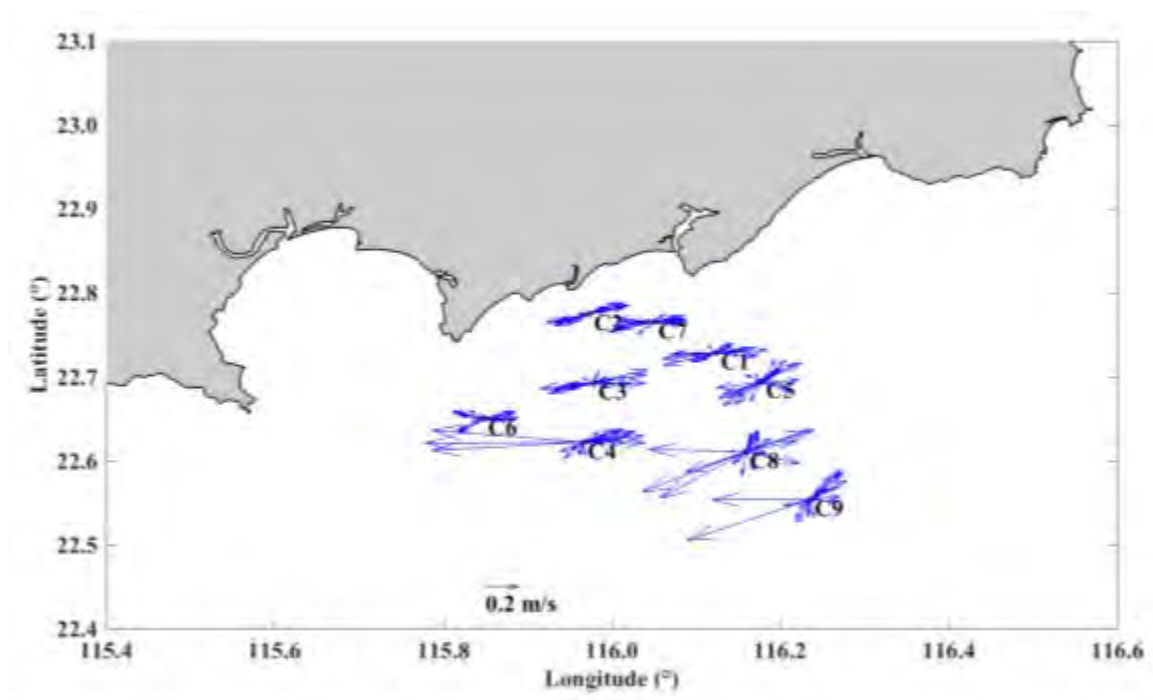


图5-7 大潮垂线平均流速矢量图

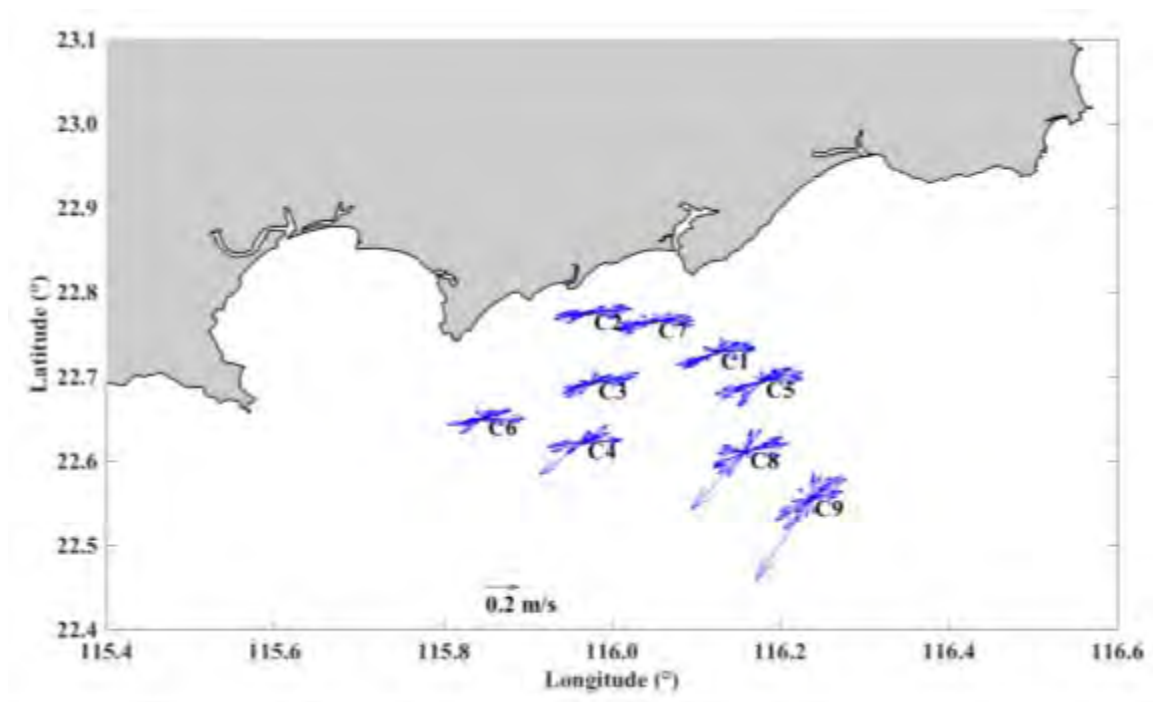


图5-8 中潮垂线平均流速矢量图

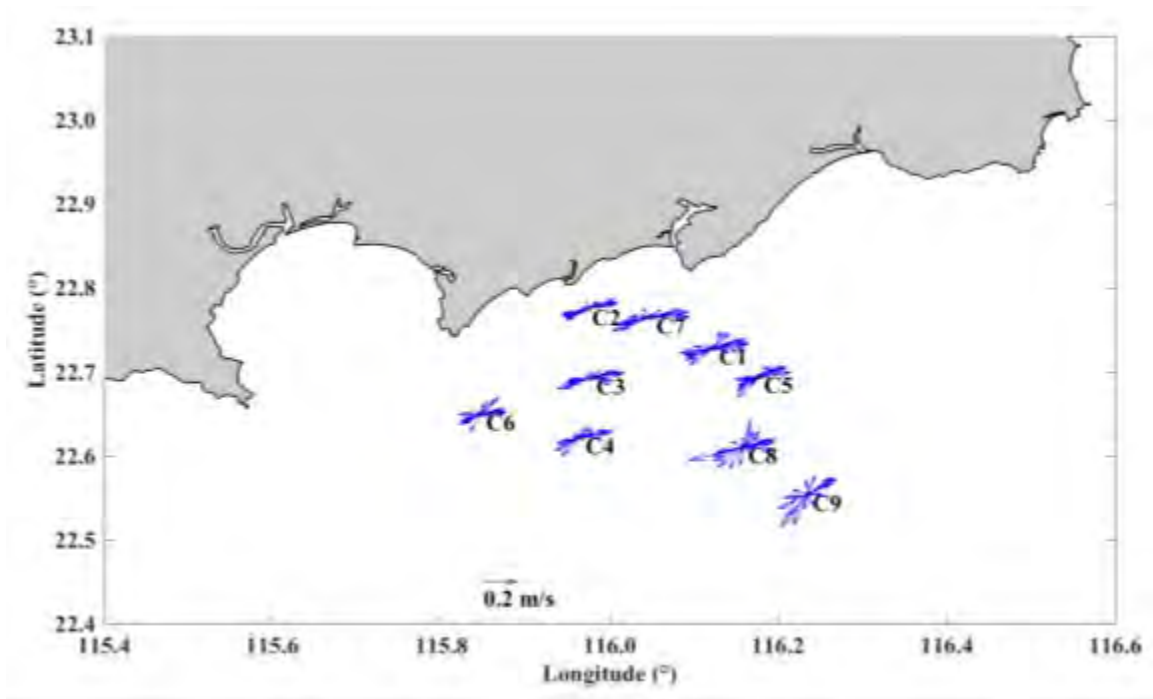


图5-9 小潮垂线平均流速矢量图

（3）潮段平均流速

对测验期内各个测站的垂线平均流速进行统计，按涨潮段、落潮段分别求矢量平均值得到各测站不同潮段垂线平均流速（见表 5-17）。

（1）水文测验期间，实测涨、落潮段平均流速分别为 0.13 m/s 和 0.16 m/s。其中，大潮期间涨、落潮平均流速分别为 0.15 m/s 和 0.19 m/s；中潮期间落潮平均流速 0.16 m/s，大于涨潮平均流速 0.13 m/s；小潮期间落潮平均流速 0.12 m/s，大于涨潮平均流速 0.11 m/s。

（2）涨潮段平均流速最大值发生在大潮 4#测站，为 0.22 m/s，最小值在大潮 6#测站，为 0.08 m/s；落潮段平均流速最大值发生在大潮 4#测站，为 0.29 m/s，最小值为 0.10 m/s，发生在小潮 2#、4#和 6#测站。

表5-17 各测站潮段平均流速统计表 (m/s)

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
1	0.14	0.14	0.12	0.13	0.20	0.18	0.15	0.18
2	0.13	0.14	0.10	0.12	0.16	0.13	0.10	0.13
3	0.15	0.14	0.12	0.13	0.17	0.12	0.13	0.14
4	0.22	0.10	0.09	0.14	0.29	0.17	0.10	0.19
5	0.14	0.13	0.11	0.13	0.22	0.20	0.11	0.18

6	0.13	0.11	0.08	0.11	0.12	0.13	0.10	0.12
7	0.13	0.11	0.12	0.12	0.18	0.14	0.15	0.16
8	0.17	0.14	0.12	0.15	0.27	0.19	0.13	0.20
9	0.17	0.15	0.13	0.15	0.14	0.15	0.14	0.14
平均	0.15	0.13	0.11	0.13	0.19	0.16	0.12	0.16

(4) 垂线平均最大流速

对本期测验各测站的垂线平均最大流速进行统计（见表 5-18）。总体来看，水文测验期间，垂线平均最大流速涨潮段出现在大潮 8#测站，为 0.43 m/s，流向 72°；落潮段垂线平均最大流速出现在大潮 4#测站，为 0.94 m/s，流向 270°。

表5-18 各测站涨落潮段垂线平均最大流速统计表

站号	潮段	大潮		中潮		小潮	
		流速 (m/s)	流向 (°)	流速 (m/s)	流向 (°)	流速 (m/s)	流向 (°)
1	涨潮	0.30	87	0.23	86	0.20	82
	落潮	0.33	257	0.25	252	0.21	261
2	涨潮	0.24	77	0.26	84	0.18	78
	落潮	0.27	258	0.22	260	0.15	258
3	涨潮	0.33	76	0.28	78	0.20	82
	落潮	0.32	264	0.20	250	0.22	251
4	涨潮	0.36	84	0.23	86	0.20	79
	落潮	0.94	270	0.33	233	0.16	226
5	涨潮	0.26	64	0.25	77	0.19	82
	落潮	0.28	248	0.29	254	0.16	238
6	涨潮	0.20	89	0.25	90	0.14	87
	落潮	0.18	245	0.22	260	0.15	245
7	涨潮	0.20	87	0.24	89	0.22	90
	落潮	0.28	258	0.22	255	0.25	250
8	涨潮	0.43	72	0.26	79	0.20	77
	落潮	0.66	249	0.22	243	0.20	244
9	涨潮	0.26	45	0.25	60	0.19	61
	落潮	0.58	270	0.25	239	0.20	206

(5) 最大流速特征值

各测站涨、落潮最大流速特征值如表 5-19 至表 5-21 所示。由表可见，水文测验期间，大潮实测最大涨潮流速为 1.33 m/s，流向为 83°，出现在 3#测站表层；最大落潮流速为 0.98 m/s，流向 259°，出现在 4#0.8H 层。中潮实测最大

涨潮流速为 0.69 m/s，流向为 102°，出现在 9#测站表层；最大落潮流速 0.49 cm/s，流向 108°，出现在 4#表层。小潮实测最大涨潮流速为 0.79 m/s，流向为 89°，出现在 4#测站表层；最大落潮流速 0.53 m/s，流向 94°，出现在 4#测站表层。

表5-19 各测站大潮垂线分层最大流速统计表

项目 测点	涨 潮			落 潮		
	流速 (m/s)	流向 (°)	测层	流速 (m/s)	流向 (°)	测层
1	0.87	83	2	0.75	109	1
2	0.67	76	1	0.43	74	1
3	1.33	83	1	0.86	89	1
4	1.17	97	1	0.98	259	5
5	0.81	84	1	0.55	93	1
6	0.99	82	1	0.77	88	1
7	0.66	97	1	0.41	99	1
8	0.54	81	1	0.92	246	4
9	0.89	69	1	0.73	107	1
最大流速	1.33	83	1	0.98	259	5

表5-20 各测站中潮垂线分层最大流速统计表

项目 测点	涨 潮			落 潮		
	流速 (m/s)	流向 (°)	测层	流速 (m/s)	流向 (°)	测层
1	0.49	81	1	0.26	102	1
2	0.50	81	1	0.25	102	2
3	0.63	88	1	0.48	100	1
4	0.64	95	1	0.49	108	1
5	0.49	100	1	0.33	258	1
6	0.63	76	1	0.33	67	1
7	0.44	83	1	0.29	263	1
8	0.59	100	1	0.38	123	1
9	0.69	102	1	0.43	83	1
最大流速	0.69	102	1	0.49	108	1

表5-21 各测站小潮垂线分层最大流速统计表

项目 测点	涨 潮			落 潮		
	流速 (m/s)	流向 (°)	测层	流速 (m/s)	流向 (°)	测层
1	0.49	91	1	0.33	124	1
2	0.41	81	4	0.21	43	1
3	0.74	83	1	0.52	90	1

4	0.79	89	1	0.53	94	1
5	0.40	76	1	0.25	131	1
6	0.68	59	1	0.43	61	1
7	0.53	82	1	0.21	114	3
8	0.65	74	1	0.33	111	1
9	0.73	57	1	0.45	129	1
最大流速	0.79	89	1	0.53	94	1

(6) 潮段平均流速垂向分布

通过对本期测验各个测站的各层实测的流速资料进行统计，按涨潮段、落潮段分别统计平均值得到各测站的涨、落潮段平均流速垂向分布（如表 5-22 至表 5-24 所示）。

表5-22 各测站大潮涨、落潮段平均流速垂向分布统计表 (m/s)

站名	涨潮						落潮					
	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
1	0.66	0.39	0.42	0.45	0.39	0.33	0.36	0.12	0.06	0.07	0.05	0.06
2	0.47	0.34	0.34	0.33	0.29	0.25	0.15	0.13	0.04	0.03	0.03	0.01
3	0.96	0.57	0.47	0.47	0.37	0.29	0.60	0.21	0.17	0.14	0.13	0.11
4	0.93	0.60	0.45	0.43	0.40	0.25	0.50	0.14	0.05	0.12	0.20	0.22
5	0.55	0.44	0.37	0.37	0.32	0.27	0.31	0.20	0.09	0.02	0.06	0.04
6	0.86	0.71	0.59	0.48	0.40	0.27	0.70	0.47	0.26	0.26	0.23	0.15
7	0.47	0.35	0.37	0.35	0.31	0.21	0.25	0.11	0.03	0.03	0.05	0.04
8	0.31	0.24	0.15	0.08	0.14	0.11	0.19	0.20	0.33	0.47	0.50	0.48
9	0.71	0.68	0.52	0.46	0.39	0.33	0.47	0.45	0.17	0.09	0.11	0.08
平均	0.66	0.48	0.41	0.38	0.33	0.26	0.39	0.23	0.13	0.14	0.15	0.13
与表层比值	1.00	0.73	0.62	0.58	0.51	0.39	1.00	0.57	0.34	0.35	0.38	0.34

表5-23 各测站中潮涨、落潮段平均流速垂向分布统计表 (m/s)

站名	涨潮						落潮					
	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
1	0.26	0.24	0.27	0.25	0.24	0.20	0.08	0.13	0.14	0.07	0.11	0.09
2	0.24	0.24	0.26	0.31	0.26	0.18	0.03	0.06	0.08	0.02	0.04	0.06
3	0.35	0.26	0.30	0.33	0.28	0.17	0.19	0.08	0.05	0.02	0.04	0.03
4	0.44	0.29	0.27	0.33	0.29	0.20	0.27	0.14	0.08	0.07	0.05	0.07
5	0.28	0.28	0.27	0.27	0.25	0.19	0.16	0.06	0.14	0.09	0.12	0.07
6	0.37	0.32	0.36	0.31	0.28	0.19	0.14	0.07	0.06	0.08	0.05	0.03
7	0.14	0.17	0.21	0.25	0.24	0.16	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.04
8	0.31	0.29	0.32	0.29	0.29	0.25	0.17	0.14	0.10	0.08	0.09	0.04

9	0.51	0.35	0.31	0.31	0.30	0.22	0.29	0.08	0.10	0.12	0.06	0.03
平均	0.32	0.27	0.29	0.29	0.27	0.20	0.15	0.10	0.09	0.07	0.07	0.05
与表层比值	1.00	0.84	0.88	0.91	0.83	0.61	1.00	0.62	0.58	0.45	0.46	0.35

表5-24 各测站小潮涨、落潮段平均流速垂向分布统计表 (m/s)

站名	涨潮						落潮					
	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
1	0.37	0.31	0.26	0.30	0.30	0.23	0.13	0.12	0.08	0.09	0.04	0.03
2	0.23	0.26	0.27	0.33	0.28	0.21	0.05	0.05	0.08	0.10	0.09	0.04
3	0.52	0.31	0.33	0.42	0.34	0.18	0.26	0.10	0.14	0.12	0.09	0.05
4	0.45	0.35	0.37	0.39	0.33	0.22	0.29	0.24	0.17	0.20	0.15	0.07
5	0.33	0.28	0.24	0.27	0.23	0.17	0.10	0.05	0.05	0.04	0.01	0.03
6	0.42	0.36	0.36	0.37	0.29	0.17	0.26	0.19	0.16	0.14	0.13	0.05
7	0.35	0.29	0.32	0.35	0.32	0.21	0.08	0.09	0.11	0.04	0.03	0.03
8	0.31	0.30	0.32	0.34	0.30	0.25	0.21	0.16	0.09	0.09	0.05	0.03
9	0.44	0.38	0.36	0.37	0.31	0.27	0.24	0.17	0.08	0.14	0.11	0.09
平均	0.38	0.31	0.31	0.35	0.30	0.21	0.18	0.13	0.11	0.11	0.08	0.05
与表层比值	1.00	0.83	0.83	0.92	0.79	0.56	1.00	0.72	0.61	0.60	0.44	0.26

5.1.3 水温及盐度

5.1.3.1 水温

对本工程毗邻海域的冬季全潮水文观测中温度资料进行统计，实测垂线平均温度为 19.2℃；大潮为 20.1℃，中潮为 19.7℃。水文测验期间潮段平均温度，大潮介于 19.9~20.4℃之间，中潮介于 19.4~20.0℃之间；水体温度平面分布变化幅度较小，基本维持在 19℃左右。

表5-25 冬季各测站垂线平均温度统计表单位：(℃)

	大潮	中潮	平均
1#	19.9	19.7	19.8
2#	20.1	19.6	19.9
3#	20.1	19.7	19.9
4#	20.4	20.0	20.2
5#	20.2	20.0	20.1
6#	20.2	19.9	20.1
7#	20.0	20.0	20.0
8#	19.9	19.4	19.7
9#	19.9	19.4	19.7
平均温度	20.1	19.7	19.9

5.1.3.2 盐度

对本工程毗邻海域的冬季全潮水文观测中盐度资料进行统计，实测垂线平均盐度为 32.5psu；大潮为 32.1psu，中潮为 32.1psu。水文测验期间潮段平均盐度，大潮介于 31.8~32.9psu 之间，中潮介于 31.8~32.8psu 之间；大潮期间以 8# 测站为最小，为 31.8psu；4#测站最大，为 32.9。

表5-26 冬季各测站垂线平均盐度统计表单位：（psu）

站号	大潮	中潮	平均
1#	31.9	32.1	32.0
2#	32.1	31.8	32.0
3#	32.1	32.1	32.1
4#	32.9	32.6	32.8
5#	32.1	32.8	32.5
6#	32.2	32.2	32.2
7#	31.9	31.9	31.9
8#	31.8	31.8	31.8
9#	31.9	31.8	31.9
平均盐度	32.1	32.1	32.1

5.1.4 水体含沙量

对本工程毗邻海域的冬季全潮水文观测中悬沙量资料进行统计，实测垂线平均含沙量分别为 0.015kg/m³；大潮为 0.013kg/m³，中潮为 0.016kg/m³。水文测验期间潮段平均含沙量，大潮介于 0.010~0.022kg/m³ 之间，中潮介于 0.011~0.028kg/m³ 之间；大潮期间以 9#测站为最大，达 0.022kg/m³；中潮期间以 9#测站为最大，达 0.028kg/m³。水体含沙浓度平面分布，为施测海域近岸处略高，远岸处略低的分布状态。

表5-27 冬季各测站垂线平均含沙量统计表单位：（kg/m³）

站位	大潮	中潮	平均
1#	0.010	0.014	0.012
2#	0.010	0.014	0.012
3#	0.011	0.011	0.011
4#	0.011	0.011	0.011
5#	0.011	0.013	0.012
6#	0.016	0.016	0.016

7#	0.014	0.015	0.015
8#	0.014	0.020	0.017
9#	0.022	0.028	0.025
平均	0.013	0.016	0.015

表5-28 冬季各测站最大含沙量统计表单位：（kg/m³）

站位	大潮		中潮	
	含沙量	测层	含沙量	测层
1#	0.020	中层	0.033	底层
2#	0.018	中层	0.037	底层
3#	0.028	中层	0.022	底层
4#	0.018	底层	0.029	中层
5#	0.024	底层	0.017	中层
6#	0.028	中层	0.026	底层
7#	0.028	中层	0.023	底层
8#	0.032	中层	0.033	中层
9#	0.041	中层	0.088	底层

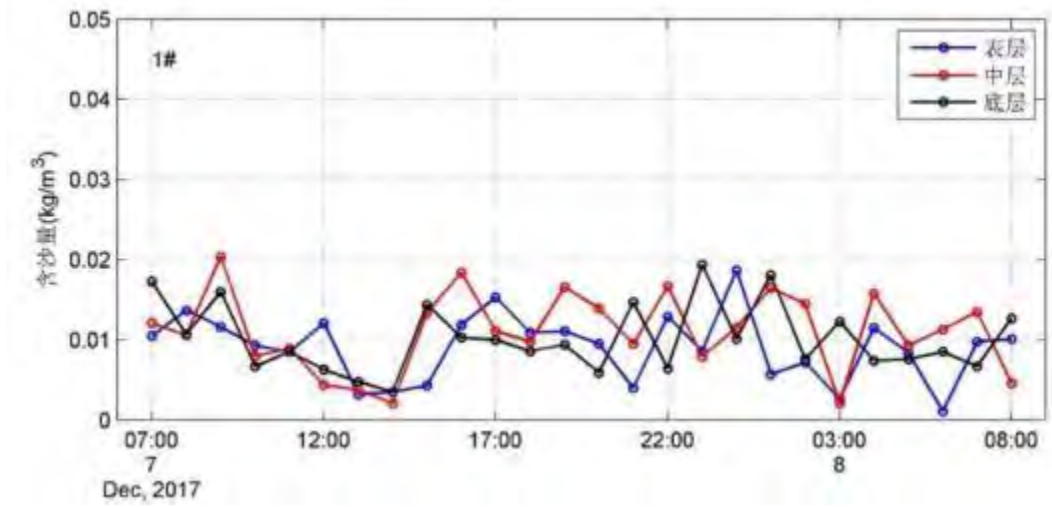


图5-10 冬季大潮 1#含沙量变化过程

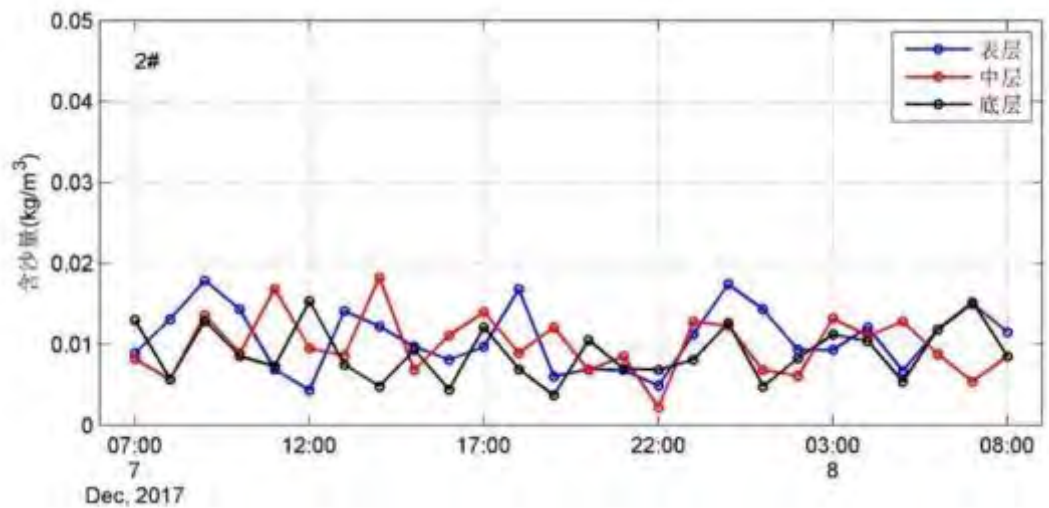


图5-11 冬季大潮 2#含沙量变化过程

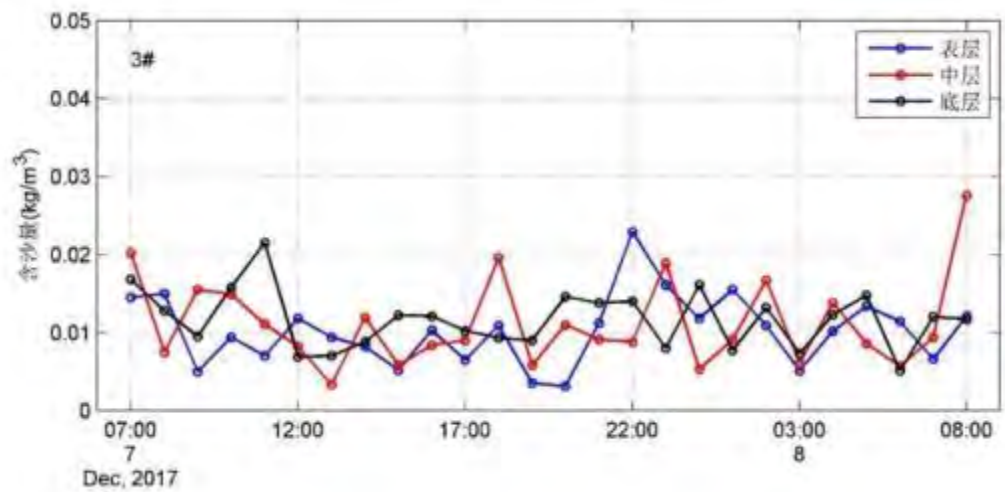


图5-12 冬季大潮 3#含沙量变化过程

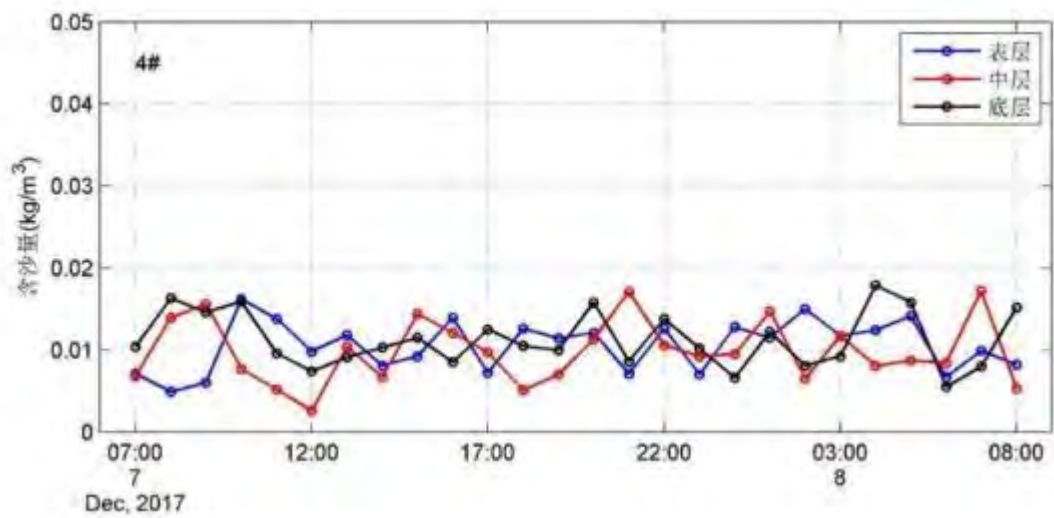


图5-13 冬季大潮 4#含沙量变化过程

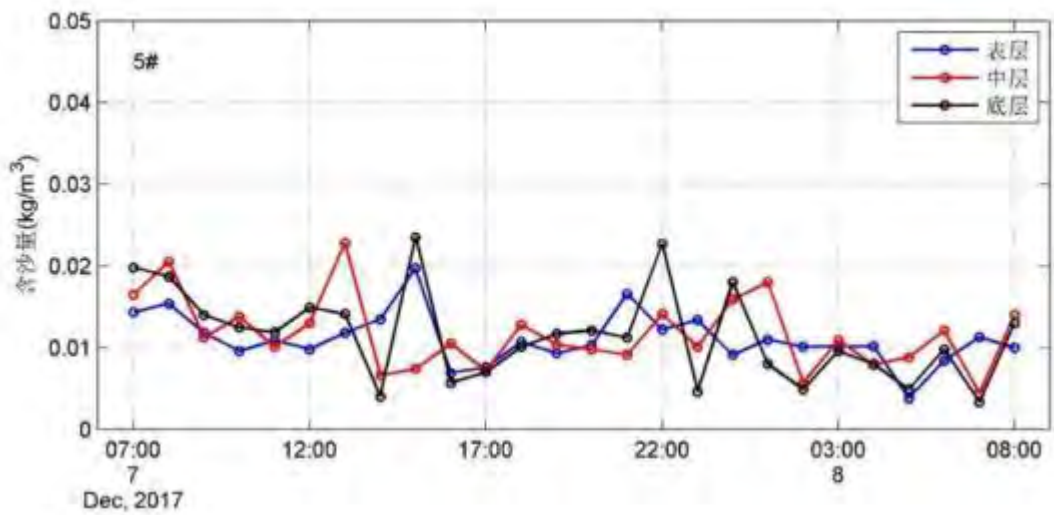


图5-14 冬季大潮 5#含沙量变化过程

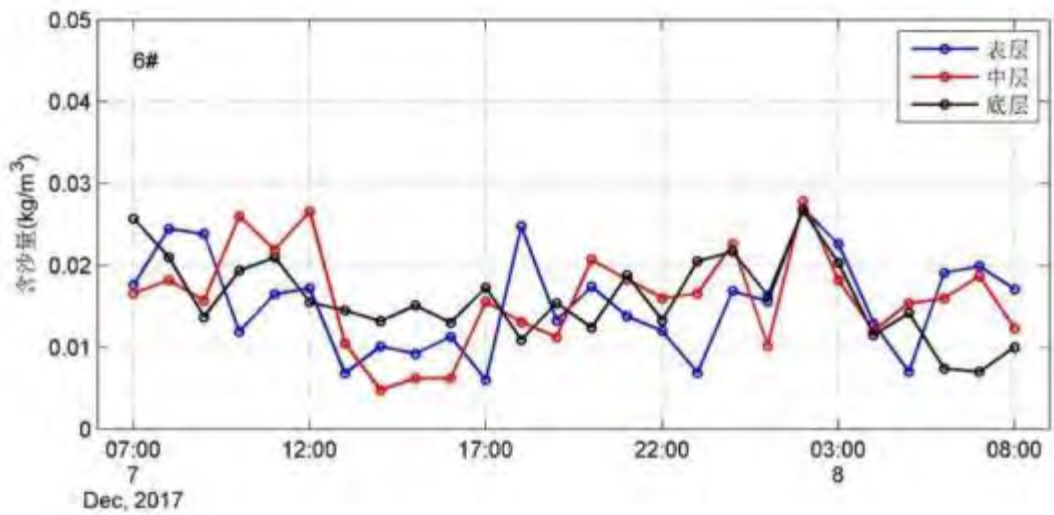


图5-15 冬季大潮 6#含沙量变化过程

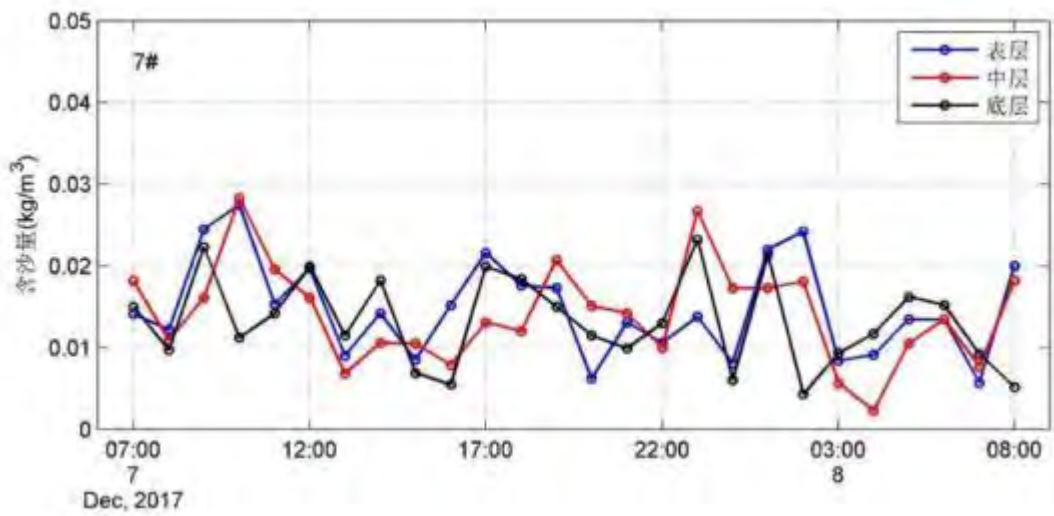


图5-16 冬季大潮 7#含沙量变化过程

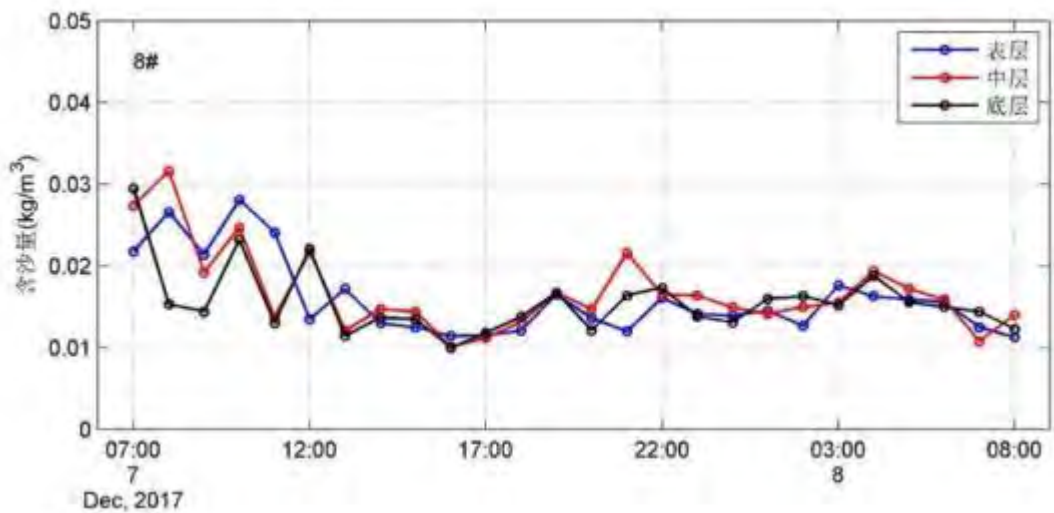


图5-17 冬季大潮 8#含沙量变化过程

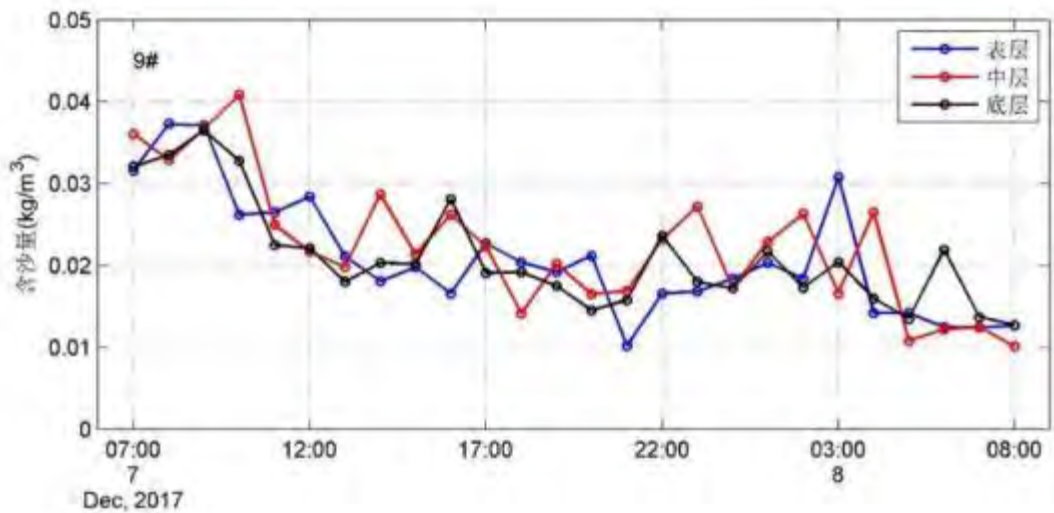


图5-18 冬季大潮 9#含沙量变化过程

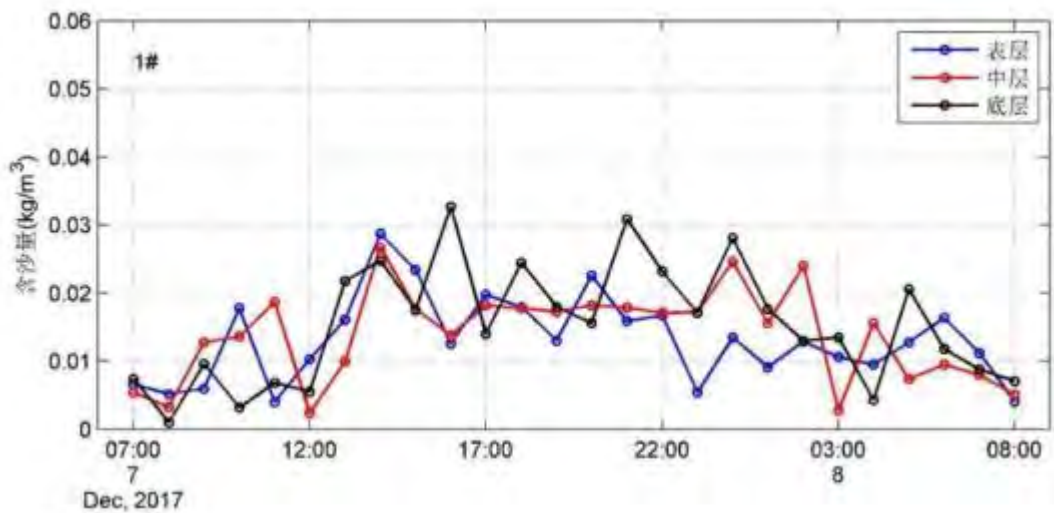


图5-19 冬季中潮 1#含沙量变化过程

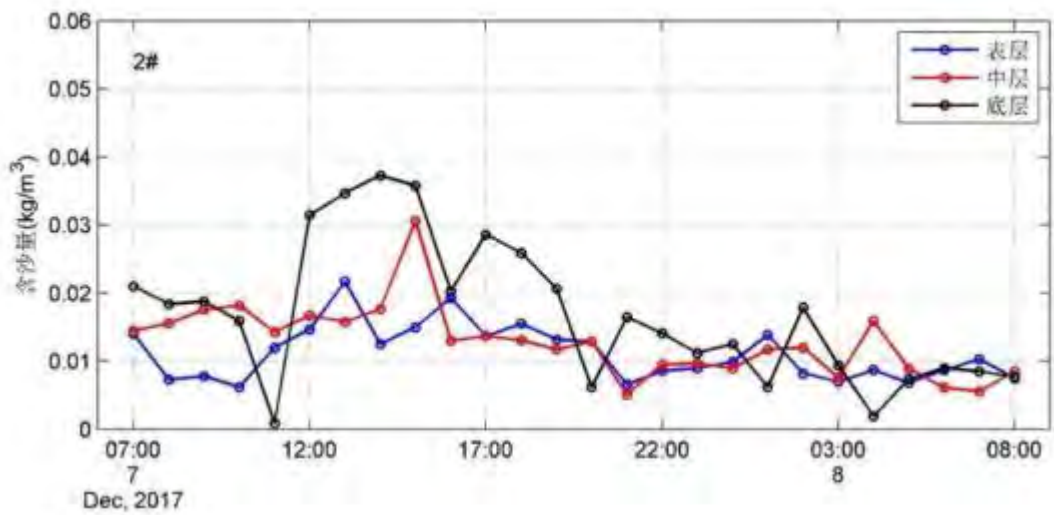


图5-20 冬季中潮 2#含沙量变化过程

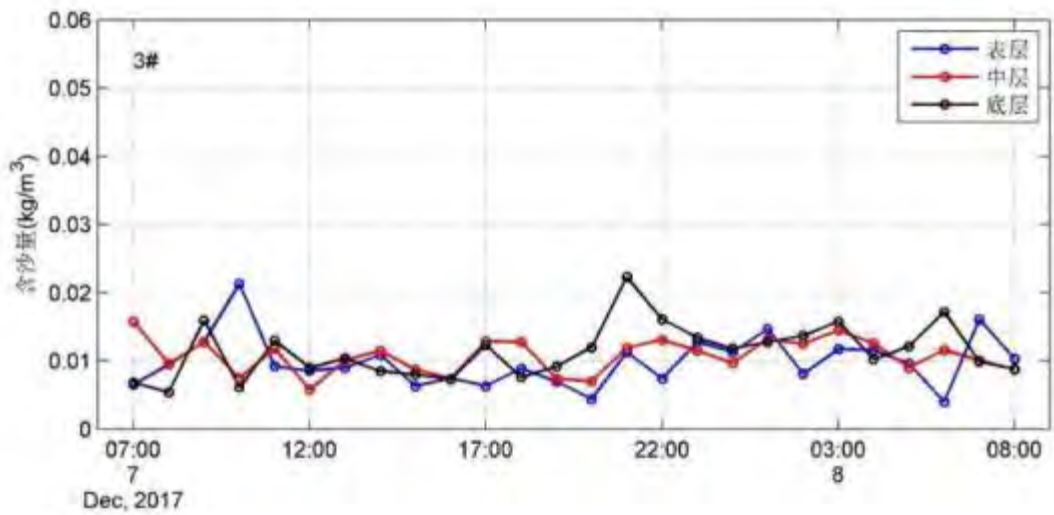


图5-21 冬季中潮 3#含沙量变化过程

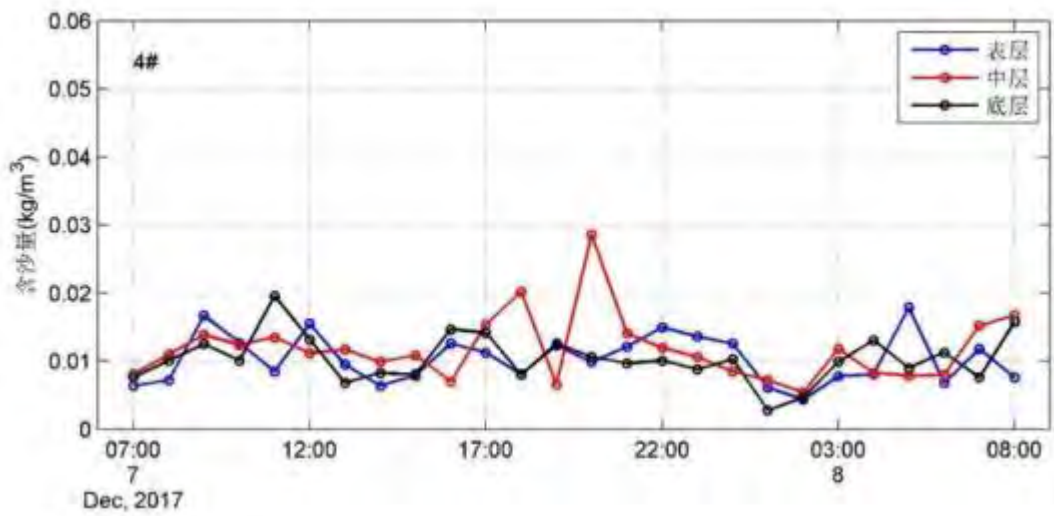


图5-22 冬季中潮 4#含沙量变化过程

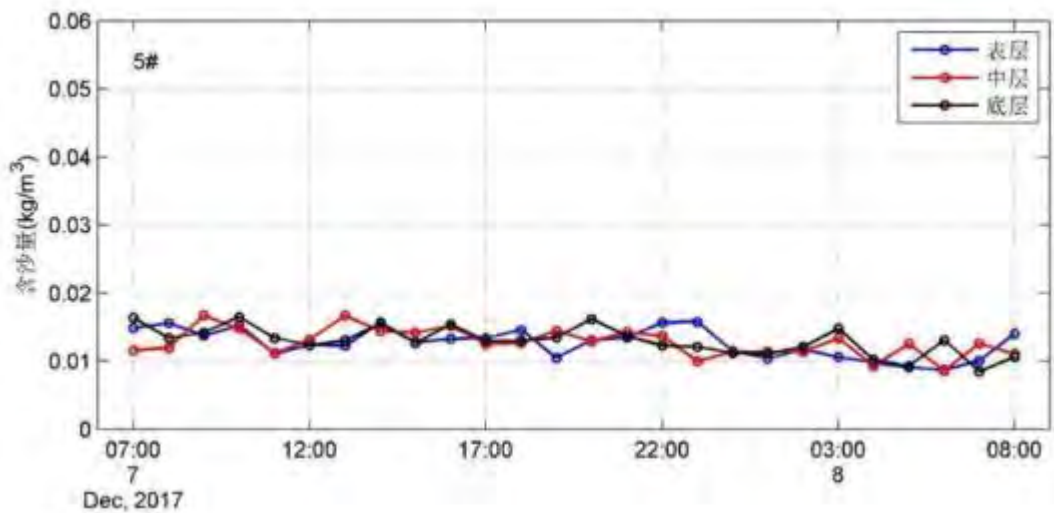


图5-23 冬季中潮 5#含沙量变化过程

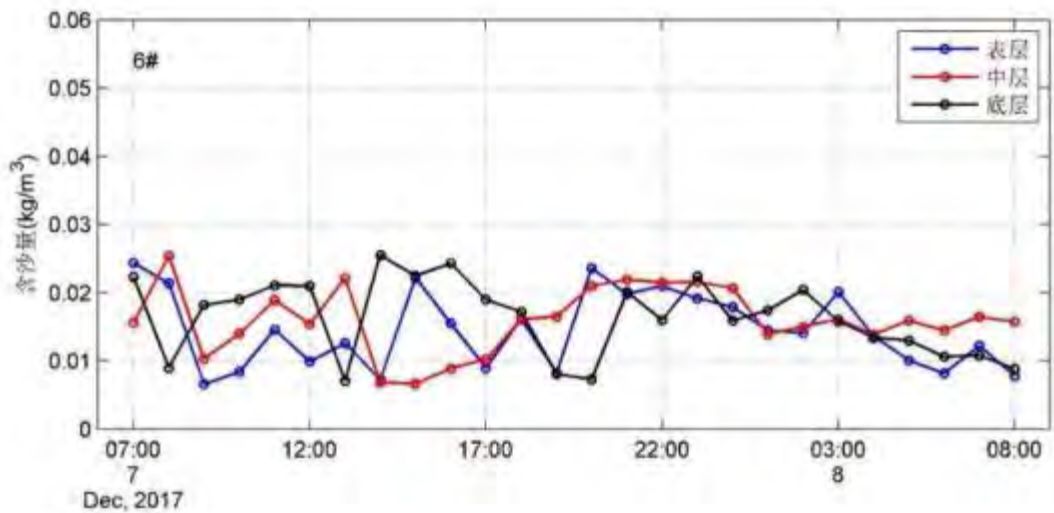


图5-24 冬季中潮 6#含沙量变化过程

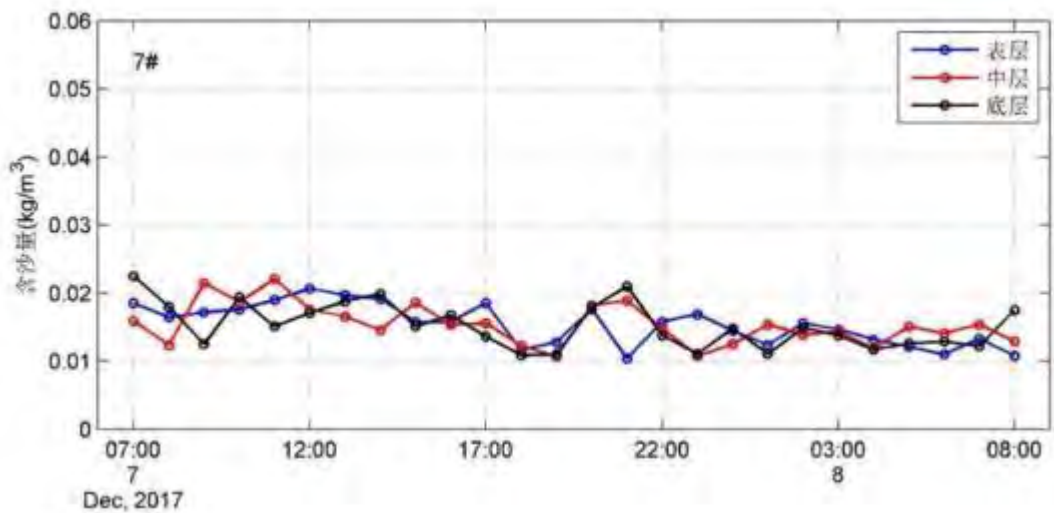


图5-25 冬季中潮 7#含沙量变化过程

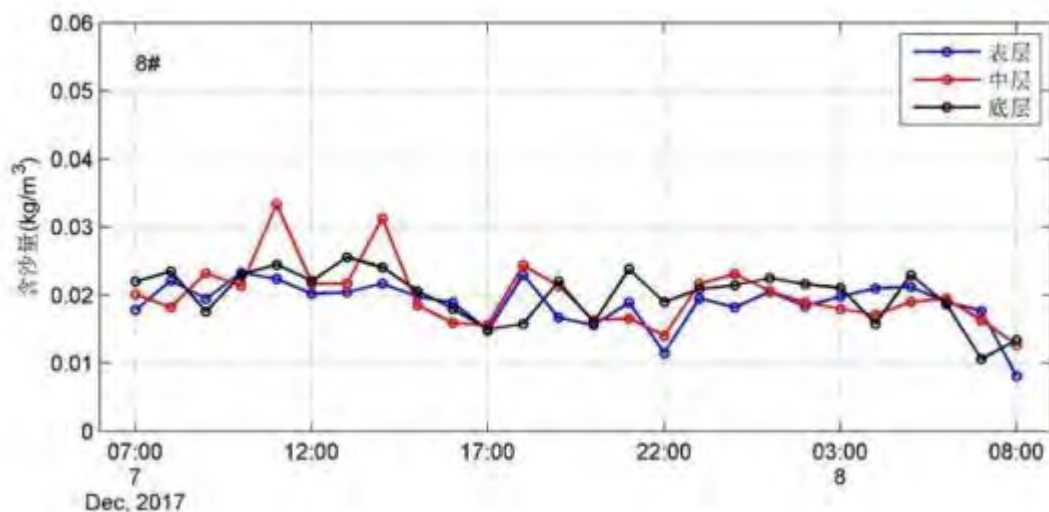


图5-26 冬季中潮 8#含沙量变化过程

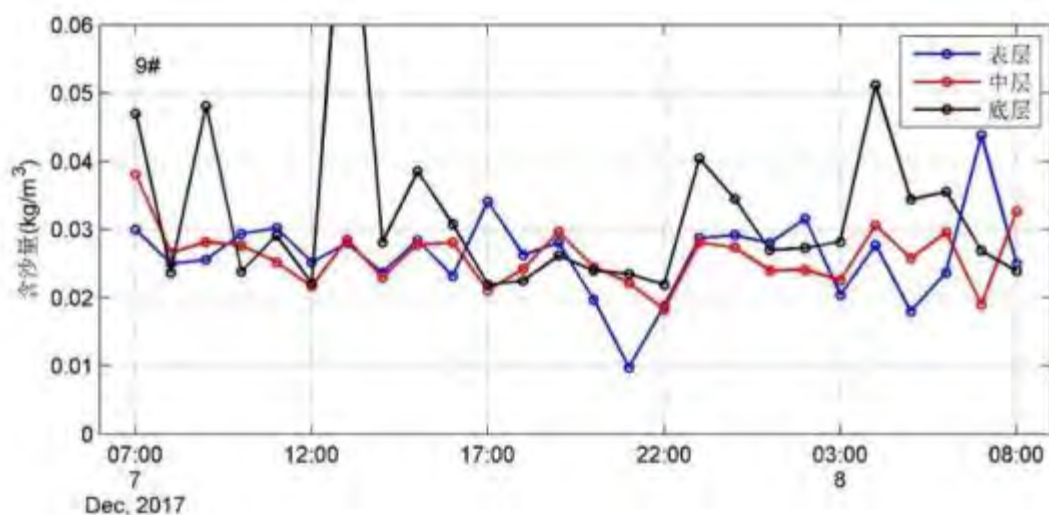


图5-27 冬季中潮 9#含沙量变化过程

5.1.5 表层沉积物粒度

沉积物表层取样工作与水文泥沙观测工作同步，站位设置见 5.1.2.1 节，共取表层样 40 个，通过对样品的粒度分析，得到各取样站位的表层沉积物粒度参数。

5.1.5.1 冬季调查结果

冬季调查各粒度参数值的平面分布如图 5-28~图 5-31 所示。

调查区域表层沉积物的平均粒径范围为 0.0103mm~0.1242mm，中值粒径范围为 0.0091mm~0.1514mm，主要为黏土质粉砂和砂质粉砂。平均粒径等值线分布与岸线走向基本一致，呈现由近岸区向远岸区逐渐增大的趋势。分选系数变化于

1.2572~2.2750，平均值 1.7216，说明调查区域表层沉积物分选较差，反映出所在海域的水动力条件较强。而分选系数等值线的分布基本是由近岸向远岸逐步增大，说明水动力条件远岸强于近岸。

偏态结果表明调查海域基本呈正偏，偏态值基本由近岸区向远岸区逐渐增大。各采样站点的偏态值介于-0.016~1.313 之间，平均值为-0.346，说明粒径平均值在中值粒径的右方，表层沉积物向粗组分偏移。沉积物峰度分布也由近岸区向远岸区逐渐增大，峰度值介于 1.910~4.339 之间，平均值为 2.334，说明与正态频率相比调查区域的峰度曲线较尖锐，表层沉积物颗粒粒径分布较集中。

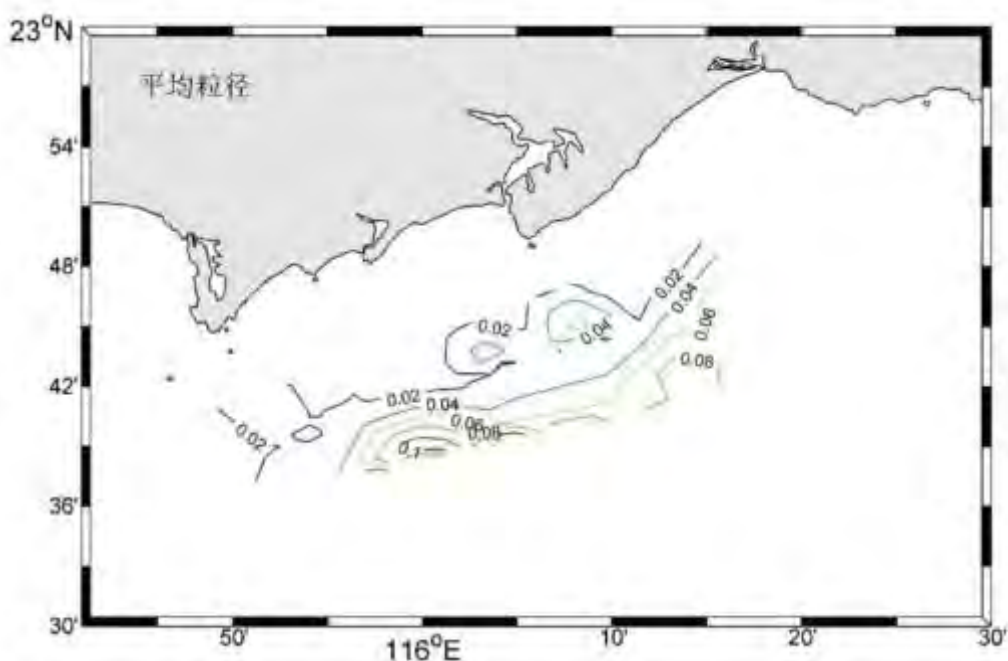


图5-28 表面沉积物平均粒径分布（单位：mm）

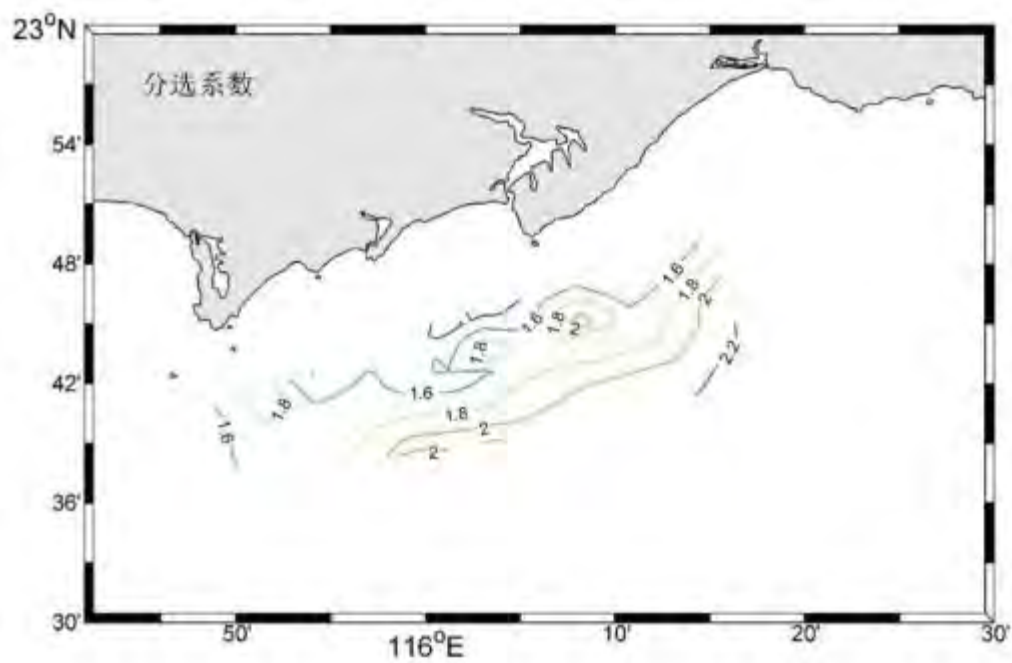


图5-29 表面沉积物分选系数分布

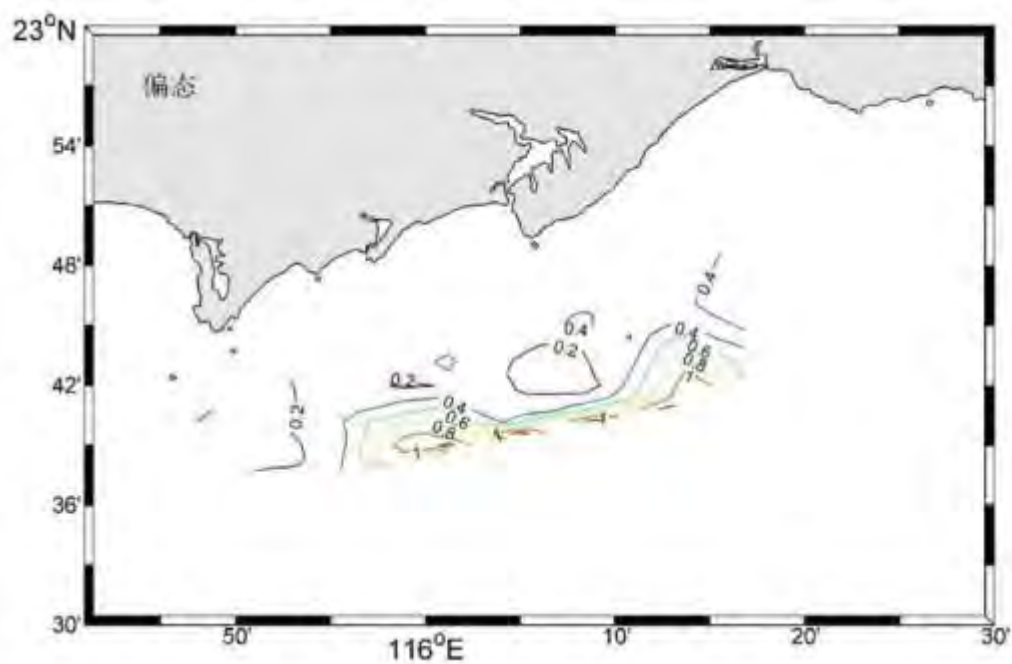


图5-30 表面沉积物偏态分布

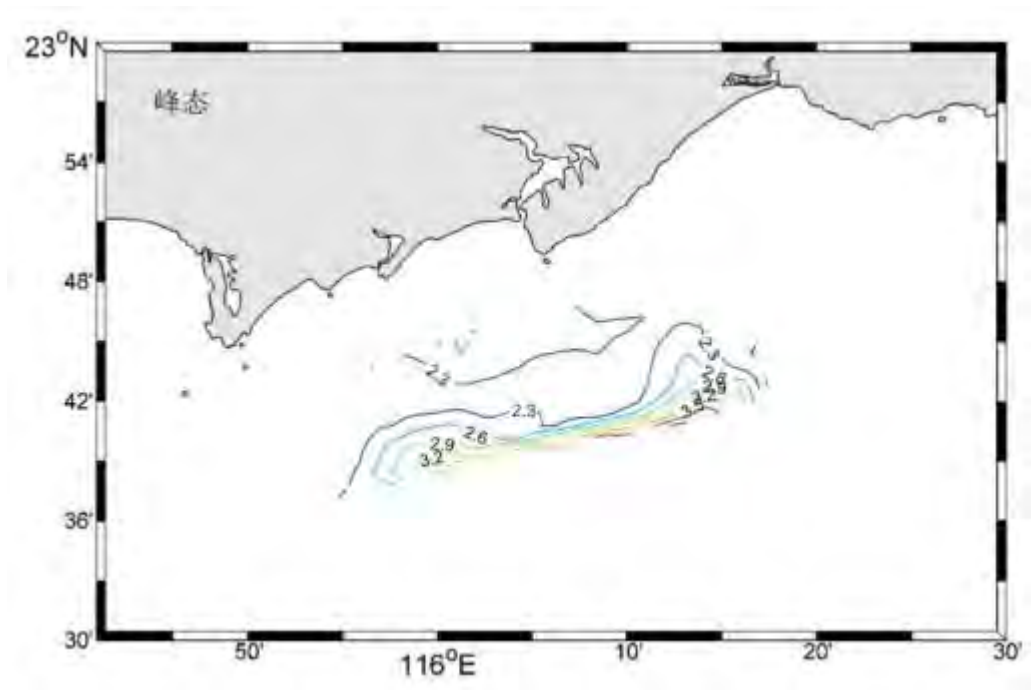


图5-31 表面沉积物峰态分布

5.1.5.2 夏季调查结果

(1) 沉积物组成及类型

根据《海洋调查规范-第 8 部分：海洋地质地球物理调查》采用谢帕德沉积物粒度三角图解法（图 5-32）进行分类，结果见表 5-29。由表可知，项目海区沉积物类型相对简单，由粗至细分别为粉砂质砂、砂质粉砂和粘土质粉砂，共 3 种类型。从表沉积物沉积类型组成表可以看出（见表 5-30），项目海区沉积物以粘土质粉砂为主，占 67.5%，其次是砂质粉砂，占 20%，粉砂质砂最少，占 12.5%。从沉积物沉积类型分布来看，粘土质粉砂分布在近岸侧，粒径较粗的粉砂质砂和砂质粉砂分布在离岸较远处、风电场的向海一侧。

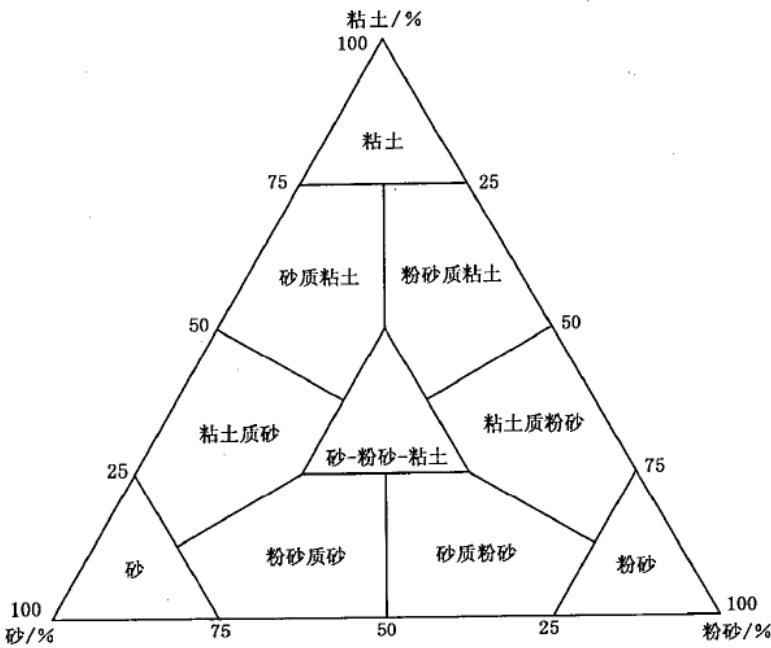


图5-32 沉积物粒度三角图分类

表5-29 项目海区沉积物粒级含量成果表 (%)

采样 站点	砾石	砂	粉砂	粘土 (泥)	类型	采样 站点	砾石	砂	粉砂	粘土 (泥)	类型
L1	0.00	7.05	76.47	16.48	粘土质粉砂	L21	0.00	4.16	79.95	15.90	粘土质粉砂
L2	0.00	8.66	75.05	16.29	粘土质粉砂	L22	0.00	0.00	82.22	17.78	粘土质粉砂
L3	0.00	1.78	77.65	20.57	粘土质粉砂	L23	0.00	0.24	77.71	22.05	粘土质粉砂
L4	0.00	6.73	78.45	14.82	粘土质粉砂	L24	0.00	0.12	79.16	20.72	粘土质粉砂
L5	0.00	31.10	59.46	9.44	砂质粉砂	L25	0.00	49.49	41.38	9.13	粉砂质砂
L6	0.00	9.49	76.36	14.15	粘土质粉砂	L26	0.00	60.07	33.18	6.75	粉砂质砂
L7	0.00	42.88	48.57	8.55	砂质粉砂	L27	0.00	31.79	56.12	12.09	砂质粉砂
L8	0.00	4.70	78.75	16.55	粘土质粉砂	L28	0.00	28.97	61.83	9.20	砂质粉砂
L9	0.00	9.88	75.77	14.36	粘土质粉砂	L29	0.00	69.84	23.99	6.17	粉砂质砂
L10	0.00	25.39	65.82	8.79	砂质粉砂	L30	0.00	16.53	70.50	12.98	砂质粉砂
L11	0.00	4.14	77.72	18.14	粘土质粉砂	L31	0.00	9.26	75.79	14.95	粘土质粉砂
L12	0.00	5.45	79.10	15.46	粘土质粉砂	L32	0.00	23.19	63.20	13.61	砂质粉砂
L13	0.00	9.92	73.59	16.49	粘土质粉砂	L33	0.00	4.30	77.96	17.74	粘土质粉砂

L14	0.00	5.19	79.24	15.57	粘土质粉砂	L34	0.00	41.06	48.25	10.70	砂质粉砂
L15	0.00	2.25	79.56	18.19	粘土质粉砂	L35	0.00	0.72	84.51	14.76	粘土质粉砂
L16	0.00	11.44	76.57	11.99	粘土质粉砂	L36	0.00	61.88	30.05	8.03	粉砂质砂
L17	0.00	8.08	78.23	13.69	粘土质粉砂	L37	0.00	45.80	43.29	10.91	粉砂质砂
L18	0.00	5.98	77.93	16.09	粘土质粉砂	L38	0.00	1.49	79.67	18.84	粘土质粉砂
L19	0.00	8.03	73.64	18.34	粘土质粉砂	L39	0.00	2.96	77.55	19.49	粘土质粉砂
L20	0.00	0.00	77.57	22.43	粘土质粉砂	L40	0.00	0.95	82.25	16.80	粘土质粉砂

表5-30 沉积物沉积类型组成

沉积类型	样品个数	百分比 (%)
粉砂质砂	5	12.5
砂质粉砂	8	20.0
粘土质粉砂	27	67.5
合计	40	100.0

(2) 中值粒径

调查海域沉积物相对较细，中值粒径在 0.009~0.151 mm 之间变化，从沉积物中值粒径组成表（表 5-31）可知，中值粒径主要集中在 0.01~0.02 mm 的范围内，占总样品数的 70.0%，而中值粒径大于 0.05mm 的沉积物样品数为 5。由沉积物中值粒径分布图（图 5-33）可知，该片海域表层沉积物中值粒径呈现由海向陆逐渐减小的趋势，厂址附近表层沉积物中值粒径多在 0.02mm 左右。

表5-31 沉积物中值粒径组成

中值粒径 mm	含样数	百分比 (%)
<0.01	1	2.5
≤ 0.01 < 0.02	28	70.0
≤ 0.02 < 0.05	6	15.0
≥ 0.05	5	12.5
合计	40	100.0

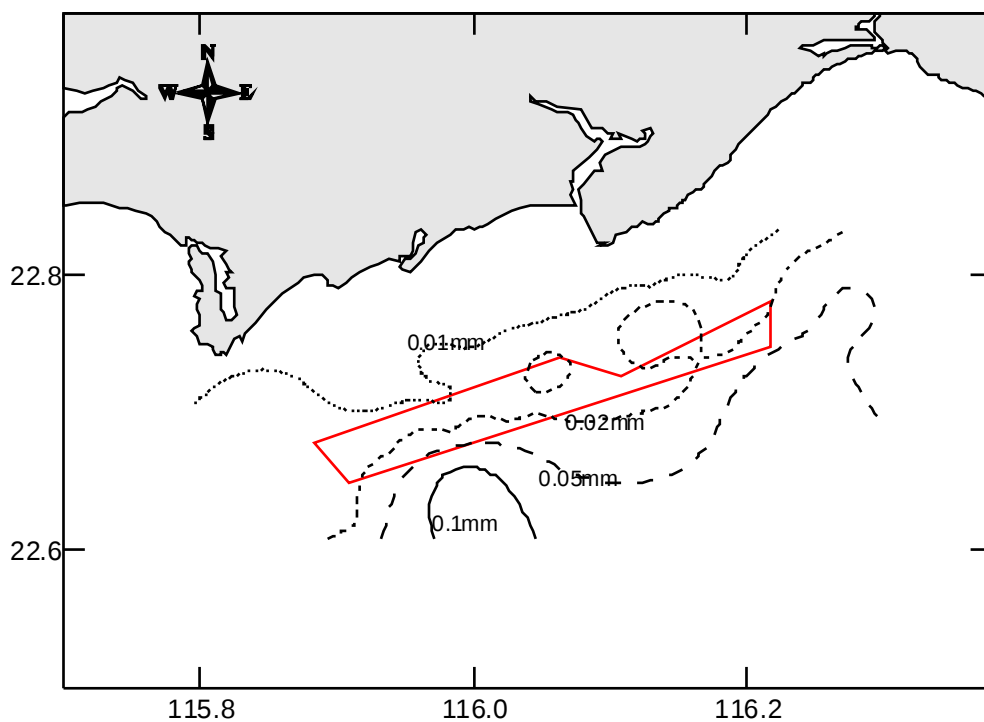


图5-33 沉积物中值粒径分布图

5.1.6 波浪

波浪资料采用遮浪海洋站 2005 年 1~12 月和项目北侧 -15m 水深处周年波浪观测站 2008 年 10 月 26 日 2 时~2009 年 10 月观测成果分析。

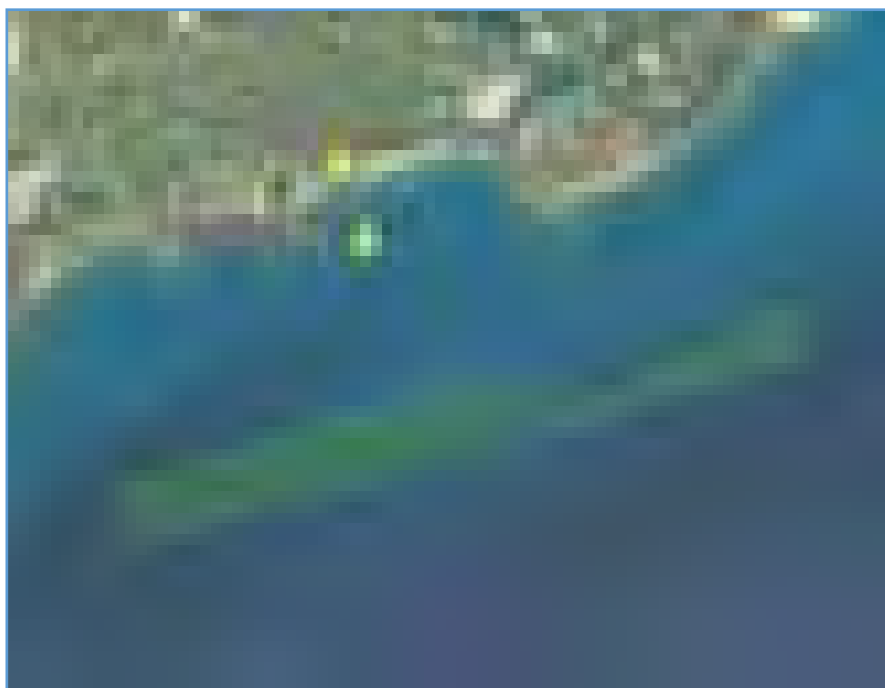


图5-34 波浪观测站位图

5.1.6.1 遮浪海洋站观成果

根据遮浪海洋站 ($N22^{\circ}39'$, $115^{\circ}34'$) 1971~1990 年观测资料统计, 本海域以风浪为主, 其年频率为 90%, 涌浪年频率为 40%。受东北大风和热带气旋影响时, 可产生大浪, 冬半年东北大风影响下, 碣石湾湾口可产生 3m 以上的偏东向大浪, 成为冬半年的常浪向何强浪向。而夏半年, 在热带气旋的影响下, 湾口可产生 4m 以上偏南向的巨浪, 并成为年极值波高。

表5-32 遮浪站各月波向频率统计 (单位: %)

月	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNN	NW	NNW	C
1	1	14	8	16	32	26	2	1	-	-	0	-	-	-	-	-	-
2	2	14	7	17	43	16	1	0	0	1	0	-	-	-	-	-	-
3	1	3	4	25	32	24	3	1	2	0	3	-	1	-	-	-	-
4	-	3	4	25	30	21	4	1	2	2	6	0	1	-	-	-	-
5	-	1	3	23	20	21	7	4	3	3	10	4	1	0	0	-	0
6	0	0	2	7	10	17	8	5	8	12	21	7	2	1	-	-	0
7	1	2	1	4	5	14	10	5	9	10	24	12	3	0	-	0	-
8	0	0	2	9	10	15	13	5	7	8	20	8	2	1	-	-	-
9	2	4	6	29	16	19	8	2	1	5	6	2	1	-	-	-	-
10	2	9	8	30	18	19	5	2	1	1	4	0	-	-	-	-	-
11	6	15	11	18	21	22	3	1	-	0	1	0	-	-	-	-	-
12	6	16	12	19	23	19	2	1	-	0	1	1	-	-	-	0	-

注: '0' 代表观测到的频率 < 0.5; '-' 代表无此波向记录

表5-33 遮浪站各月波浪要素统计 (1971~1990 年)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
$H_{1/10}(m)$	1.5	1.5	1.4	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.5	1.7	1.6	1.6	1.4
$T(s)$	4.2	4.3	4.3	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0	4.2	4.4	4.3	4.2	4.2
$H_M(m)$	4.7	4.6	4.5	3.9	4.4	5.9	8.3	9.5	7.7	9.0	4.5	4.8	9.5

冬季: 常浪向为 E 向, 出现频率 33%, 平均 $H_{1/10}$ 波高 1.5m, 平均周期 4.2s。
强浪向为 E 向, 最大 H_{max} 波高可达 4.8m。

春季: 常浪向为 ENE-ESE 向, 出现频率分别为 22%~27%, 平均 $H_{1/10}$ 波高为 1.2m, 平均周期为 4.1s。强浪向为 ENE 和 E 向, 最大 H_{max} 波高可达 4.5m。

夏季: 常浪向为 SW 向, 出现频率为 22%, 平均 $H_{1/10}$ 波高 1.2m, 平均周期

为 4.0s。强浪向为 SE 向，最大 Hmax 波高可达 9.5m。

秋季：常浪向为 ENE 向，出现频率为 26%，平均 H1/10 波高为 1.5m，平均周期为 4.3s。强浪向为 ESE 和 SE 向，最大 Hmax 波高可达 9.0m。

据遮浪海洋站资料统计，可见以 ENE-ESE 出现频率最高，而最大的 Hmax 波高发生在 SE 向，为 1979 年 8 月 2 日 7908 号台风影响水域时产生，对应周期 9.1s。

遮浪站累年波浪玫瑰图见图 5-35。

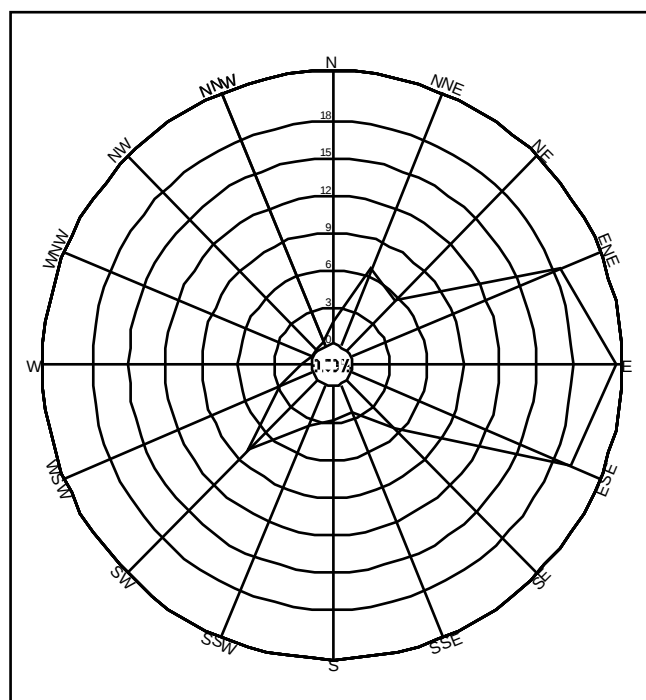


图5-35 遮浪站累年波浪玫瑰图（1971-1990）

5.1.6.2 项目北侧 15m 水深处周年波浪观测

在电厂南面海区建有周年波浪观测站，位于厂址正南方水深约为 -15m 的开阔海域上，地理坐标 $22^{\circ} 47.5' N$ ， $116^{\circ} 00' E$ （图 5-34），距离岸边约 4km。波浪观测期间为 2008 年 10 月 26 日 2 时～2009 年 10 月 25 日 23 时，共 365 天，采用 SZF 型波浪仪进行波浪测量，记录波浪数据共 2877 次，数据获取率为 95.7%。

（1）波浪基本特征

本海区波浪主要受西南季风、热带气旋、东北季风三种天气系统所影响，观测期间周年的平均 Hs 为 1.02m，周年平均 Ts 为 6.67s，Hmax 为 6.60m 观测期

间各月观测波浪的特征值如下表 5-34 所示。

(2) 联合分布及波浪玫瑰图

从 Hs-Ts 联合分布中可以看出：

Hs 波高主要集中在 0.5m~1.49m 范围内，占 80%，Ts 周期主要集中在 5s~7.9s 范围内，占 82.39%；从 H1/10~T1/10 联合分布中可以看出：H1/10 波高主要集中在 0.5m~1.99m 范围内，占 87.39%，T1/10 周期主要集中在 6s~8.9s 范围内，占 78.31%；从 Hz-Tz 联合分布中可以看出：Hz 波高主要集中在 0m~0.99m 范围内，占 90.56%，Tz 周期主要集中在 4s~6.9s 范围内，占 94.26%；从 Hmax-Tmax 联合分布中可以看出：Hmax 波高主要集中在 0.5m~2.49m 范围内，占 89.97%，Tmax 周期主要集中在 5s~9.9s 范围内，占 69.43%。

从波高-波向联合分布中可以看出：波浪主要来自于 NE~ESE 方向，共占到 56.54%，常浪向为 E 向，频率为 18.06%；次常浪向为 ENE 及 NE，频率分别为 15.63%及 12.25%；强浪向来自于 ENE 和 ESE 向。

表5-34 波浪基本特征

	特征值	H _z (m)	T _z (s)	H _{max} (m)	T _{max} (s)	H _{1/10} (m)	T _{1/10} (s)	H _s (m)	T _s (s)
2008.11	平均值	0.71	5.06	1.78	7.65	1.37	7.08	1.11	6.62
	最大值	1.11	6.50	2.70	13.50	2.10	9.50	1.70	9.00
2008.12	平均值	0.81	5.41	1.97	8.25	1.54	7.62	1.24	7.18
	最大值	1.23	7.00	2.99	19.00	2.24	9.50	1.84	9.00
2009.1	平均值	0.74	5.20	1.83	7.74	1.42	7.30	1.15	6.79
	最大值	1.14	6.50	2.90	14.00	2.22	9.50	1.77	9.00
2009.2	平均值	0.64	4.95	1.54	7.04	1.19	6.70	0.98	6.38
	最大值	1.12	7.00	2.96	13.00	2.05	8.50	1.67	10.50
2009.3	平均值	0.65	4.91	1.57	7.14	1.22	6.60	0.99	6.21
	最大值	1.30	7.00	3.20	19.00	2.30	10.50	1.90	10.50
2009.4	平均值	0.63	4.78	1.54	6.75	1.18	6.23	0.96	5.91
	最大值	1.29	6.00	3.02	19.00	2.36	9.00	1.95	7.50
2009.5	平均值	0.50	4.98	1.36	13.06	0.93	8.47	0.73	6.77
	最大值	1.00	10.50	2.94	25.50	1.75	22.00	1.37	19.00
2009.6	平均值	0.63	5.22	1.63	9.43	1.22	7.35	0.98	6.71
	最大值	2.30	8.00	6.50	24.00	4.20	12.50	3.40	10.00
2009.7	平均值	0.63	5.26	1.59	8.30	1.22	7.08	0.99	6.67
	最大值	2.40	9.00	6.20	24.00	4.80	12.00	3.90	12.00
2009.8	平均值	0.52	4.94	1.28	7.72	0.99	6.73	0.80	6.28
	最大值	1.47	7.00	3.62	20.50	2.87	10.50	2.34	9.00
2009.9	平均值	0.78	5.47	1.91	8.58	1.49	7.92	1.21	7.26
	最大值	4.00	9.00	6.60	17.00	5.00	13.00	4.30	11.50
2009.10	平均值	0.65	5.46	1.64	8.45	1.27	7.92	1.02	7.34
	最大值	1.00	7.50	2.85	17.00	2.10	12.50	1.61	11.00
全年	平均值	0.66	5.14	1.64	8.22	1.26	7.21	1.02	6.67
	最大值	4.00	10.50	6.60	25.50	5.00	22.00	4.30	19.00

表5-35 Hs-Ts 联合分布

Ts(s)	1~	2~	3~	4~	5~	6~	7~	8~	9~	10~	11~	12~	13~	14~	15~	16~	17~	18~	19~	总计
Hs(m)	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	
0~0.49			0.32	1.44	3.56	2.57	1.13	0.25		0.11										9.37
0.50~0.99				1.27	9.65	16.97	7.75	2.18	0.56	0.21	0.04	0.07								38.7
1.00~1.49				0.04	4.05	16.2	15.49	3.8	1.41	0.28									0.04	41.3
1.50~1.99						1.65	3.24	1.58	0.81	0.53	0.11									7.92
2.00~2.49							0.14	0.28	0.28	0.04	0.18									0.92
2.50~2.99								0.32	0.18	0.07	0.14									0.7
3.00~3.49								0.18	0.28	0.18	0.07	0.04								0.74
3.50~3.99									0.11	0.11	0.04									0.25
4.00~4.49										0.07	0.04									0.11
总计			0.32	2.75	17.25	37.39	27.75	8.59	3.63	1.58	0.6	0.11							0.04	100
样本总数:	2840																			

表5-36 H1/10-T1/10 联合分布

T1/10(s)	1~	2~	3~	4~	5~	6~	7~	8~	9~	10~	11~	12~	13~	14~	15~	16~	17~	18~	19~	20~	21~	22~	总计
H1/10(m)	19	29	39	49	59	69	79	89	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	
0~0.49			0.07	0.6	1.62	2.01	0.6	0.53	0.14	0.07	0.04												5.67
0.50~0.99				0.67	3.98	10.04	5.88	2.18	1.06	0.7	0.39	0.07	0.04	0.11	0.04	0.04							25.18
1.00~1.49				0.11	3.35	13.49	1.38	6.37	1.51	0.67	0.07	0.28			0.07		0.04	0.07					39.82
1.50~1.99					0.25	4.26	9.93	5.88	1.06	0.67	0.25	0.07										0.04	22.39
2.00~2.49						0.25	1.41	1.2	1.02	0.18	0.14												4.19
2.50~2.99							0.07	0.21	0.28	0.14	0.14												0.85

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

300-349								0.14	0.32	0.07	0.18												0.7
350-399								0.07	0.28	0.07	0.11	0.04											0.56
400-449									0.18	0.28													0.46
450-499										0.04	0.04	0.07											0.14
500-549										0.04													0.04
总计			0.07	1.37	9.19	30.04	31.69	16.58	5.85	2.92	1.34	0.53	0.04	0.11	0.11	0.04	0.04	0.07				0.04	100
样本总数:	2840																						

表5-37 Hz-Tz 联合分布

Tz(s)	1~	2~	3~	4~	5~	6~	7~	8~	9~	10~	总计
Hz(m)	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	
0~0.49			1.48	11.8	11.44	1.37	0.04	0.04	0		26.16
0.50~0.99			0.04	17.99	37.29	7.25	1.69	0.11	0	0.04	64.4
1.00~1.49				0.11	3.84	2.46	0.85	0.14	0.04		7.43
1.50~1.99					0.04	0.63	0.11	0.18	0.07		1.02
2.00~2.49							0.56	0.28	0.04		0.88
2.50~2.99									0.07		0.07
3.00~3.49											
3.50~3.99											
4.00~4.49					0.04						0.04
总计			1.51	29.89	52.64	11.73	3.24	0.74	0.21	0.04	100
样本总数:	2840										

表5-38 Hmax-Tmax 联合分布

Tmax(°)	1~	2~	3~	4~	5~	6~	7~	8~	9~	10~	11~	12~	13~	14~	15~	16~	17~	18~	19~	20~	21~	22~	23~	24~	25~	总计
Hmax(m)	19	29	39	49	59	69	79	89	99	109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	219	229	239	249	259	
0-0.49			0.14	0.25	0.28	0.21	0.25	0.25	0.14	0.11	0.14	0.11														1.87
0.50-0.99		0.04	0.35	1.16	1.87	3.1	2.57	0.99	0.92	0.49	0.21	0.39	0.35	0.21	0.11	0.07	0.11	0.21	0.07	0.14	0.04	0.04		0.04		13.45
1.00-1.49			0.07	1.37	3.1	6.3	6.65	2.75	2.01	0.67	0.53	0.21	0.46	0.42	0.25	0.32	0.28	0.32	0.35	0.39	0.28	0.14		0.04	0.04	26.94
1.50-1.99				0.7	2.85	6.8	7.78	5.74	3.42	1.41	0.49	0.25	0.28	0.25	0.14	0.18	0.11	0.25	0.21	0.07	0.04			0.04		30.99
2.00-2.49				0.04	0.81	3.94	4.3	3.7	2.54	1.41	0.53	0.25	0.14	0.21	0.11	0.04	0.14	0.07	0.11	0.07	0.04	0.14		0.04		18.59
2.50-2.99					0.07	0.25	1.02	1.3	0.77	0.53	0.28	0.18	0.11	0.07			0	0.04	0.07	0.04	0.07					4.79
3.00-3.49							0.14	0.32	0.28	0.21	0.04	0.07	0.04													1.09
3.50-3.99						0.04	0.04	0.07	0.25	0.18	0.11	0.04	0.07				0.04		0.04							0.85
4.00-4.49							0.07	0.14	0.18	0.04	0.04	0.07														0.53
4.50-4.99							0.04	0.04	0.04	0.07		0.11	0.04													0.32
5.00-5.49								0.04	0.11	0.07	0.04	0.04	0.07				0.04									0.39
5.50-5.99												0.04	0.04			0.04										0.11
6.00-6.49												0.04														0.04
6.50-6.99											0.04										0.04					0.07
总计		0.04	0.56	3.52	8.98	20.63	22.85	15.32	10.63	5.18	2.43	1.76	1.58	1.16	0.6	0.63	0.7	0.88	0.85	0.7	0.49	0.32		0.14	0.04	100
样本总数	840																									

表5-39 Hz-Dir 联合分布

Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	总计
Hz(m)																	
0~0.49	0.28	0.81	1.23	2.11	3.73	3.17	3.06	1.8	4.23	2.71	1.9	0.67	0.07	0.07	0.21	0.11	26.16

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

0.50~0.99	3.24	4.93	9.72	11.44	12.96	6.73	4.47	2.18	2.61	1.83	2.25	0.88	0.21	0.18	0.32	0.46	64.4
1.00~1.49	0.18	0.46	1.13	1.58	1.06	0.46	0.32	0.18	0.32	0.25	0.67	0.35	0.21	0.18		0.11	7.43
1.50~1.99			0.11	0.21	0.11	0.18	0.11	0.18	0.04	0.07	0.04			0			1.02
2.00~2.49		0.07	0.07	0.21	0.21	0.07	0.14		0.04	0.04				0.04			0.88
2.50~2.99				0.04										0.04			0.07
3.00~3.49																	
3.50~3.99																	
4.00~4.49				0.04													0.04
总计	3.7	6.27	12.25	15.63	18.06	10.6	8.1	4.33	7.22	4.89	4.86	1.9	0.49	0.49	0.53	0.67	100
样本总数:	2840																

表5-40 H1/10-Dir 联合分布

Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	总计
H1/10(m)																	
0~0.49		0.18	0.11	0.07	0.42	0.63	0.92	0.28	1.65	1.06	0.25	0.11					5.67
0.50~0.99	0.6	0.74	1.51	2.57	4.3	3.27	2.61	1.76	2.71	1.94	2.08	0.56	0.07	0.07	0.25	0.14	25.18
1.00~1.49	1.94	2.96	4.86	6.97	8.27	4.65	3.03	1.34	2.08	1.23	1.3	0.56	0.11	0.14	0.18	0.21	39.82
1.50~1.99	1.06	2.04	5.07	4.72	4.12	1.44	1.02	0.6	0.46	0.35	0.63	0.35	0.14	0.04	0.11	0.25	22.39
2.00~2.49	0.04	0.25	0.49	0.7	0.49	0.32	0.21	0.14	0.18	0.21	0.49	0.28	0.18	0.14		0.07	4.19
2.50~2.99	0.04		0.04	0.14	0.11	0.04	0.11	0.18	0.07		0.07	0.04		0.04			0.85
3.00~3.49	0.04	0.04		0.18	0.11	0.18	0.07	0.04	0.04	0.04							0.7
3.50~3.99		0.04	0.14	0.11	0.07	0.04	0.07			0.04	0.04			0.04			0.56
4.00~4.49		0.04	0.04	0.11	0.18		0.04		0.04	0.04							0.46
4.50~4.99				0.07			0.04							0.04			0.14

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

5.00~5.49						0.04											0.04
总计	3.7	6.27	12.25	15.63	18.06	10.6	8.1	4.33	7.22	4.89	4.86	1.9	0.49	0.49	0.53	0.67	100
样本总数:	2840																

表5-41 Hs-Dir 联合分布

Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	总计
Hs(m)																	
0~0.49	0.07	0.28	0.28	0.21	0.92	1.09	1.51	0.67	2.18	1.44	0.49	0.14			0.04	0.04	9.37
0.50~0.99	1.13	1.58	2.85	4.47	7.96	5.07	3.7	2.15	3.24	2.25	2.75	0.77	0.18	0.11	0.28	0.21	38.7
1.00~1.49	2.29	3.66	7.54	8.7	7.68	3.7	2.25	1.09	1.34	0.85	0.85	0.56	0.11	0.14	0.21	0.35	41.3
1.50~1.99	0.14	0.63	1.37	1.65	1.06	0.46	0.32	0.21	0.32	0.25	0.67	0.39	0.21	0.18		0.07	7.92
2.00~2.49	0.07	0.04	0.04	0.14	0.14	0.04	0.11	0.18	0.07		0.07	0.04					0.92
2.50~2.99			0.07	0.18	0.07	0.18	0.07	0.04	0.04	0.07							0.7
3.00~3.49		0.07	0.07	0.18	0.18	0.04	0.11		0.04		0.04			0.04			0.74
3.50~3.99			0.04	0.07	0.07		0.04			0.04							0.25
4.00~4.49				0.04		0.04								0.04			0.11
总计	3.7	6.27	12.25	15.63	18.06	10.6	8.1	4.33	7.22	4.89	4.86	1.9	0.49	0.49	0.53	0.67	100
样本总数:	2840																

表5-42 波浪方向分布

	方向															
方位	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
概率	3.7	6.27	12.25	15.63	18.06	10.59	8.13	4.33	7.22	4.89	4.86	1.9	0.49	0.49	0.53	0.67

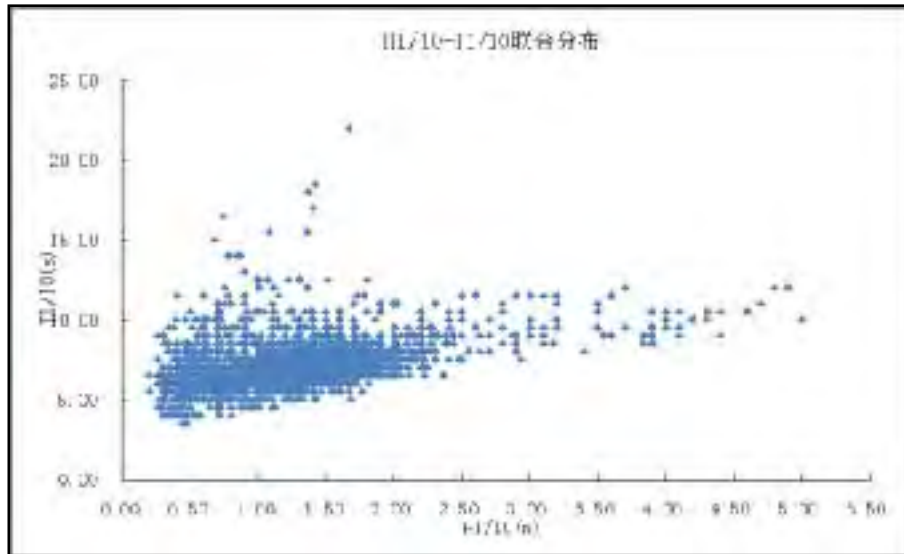


图5-36 $H_{1/10}$ - $T_{1/10}$ 联合分布图

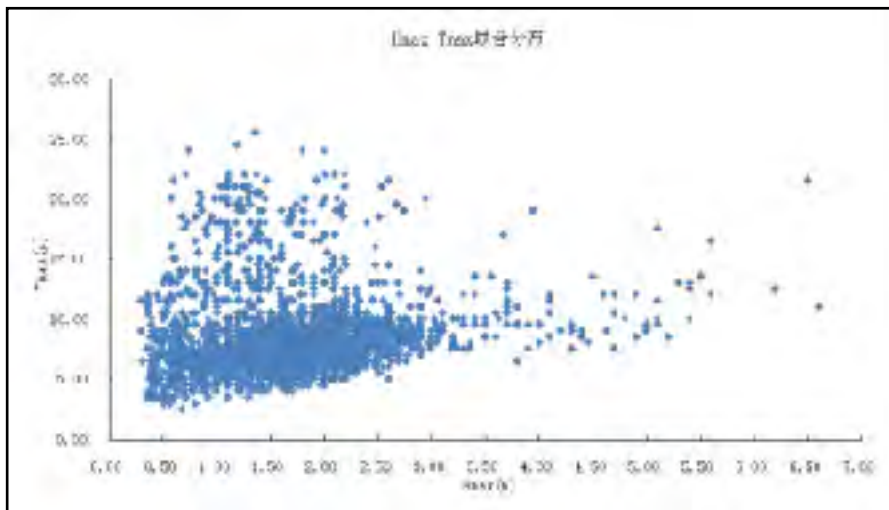


图5-37 H_{max} - T_{max} 联合分布图

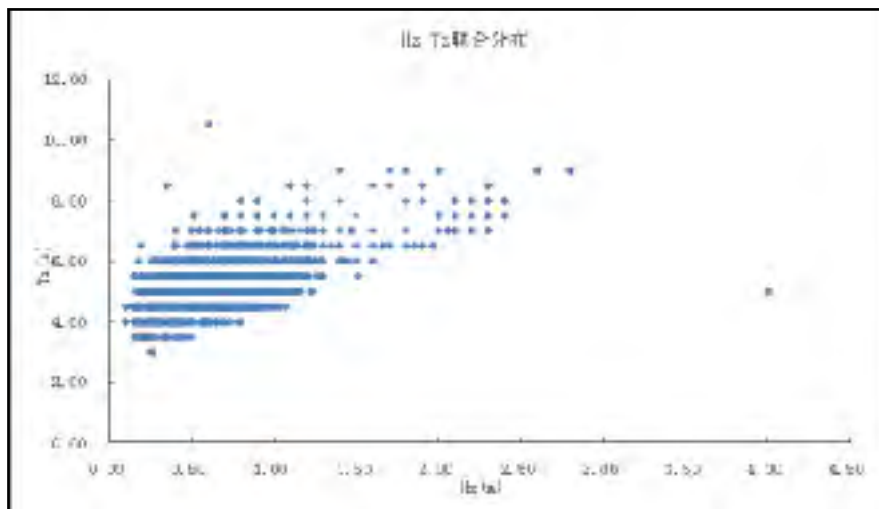


图5-38 H_z - T_z 联合分布图

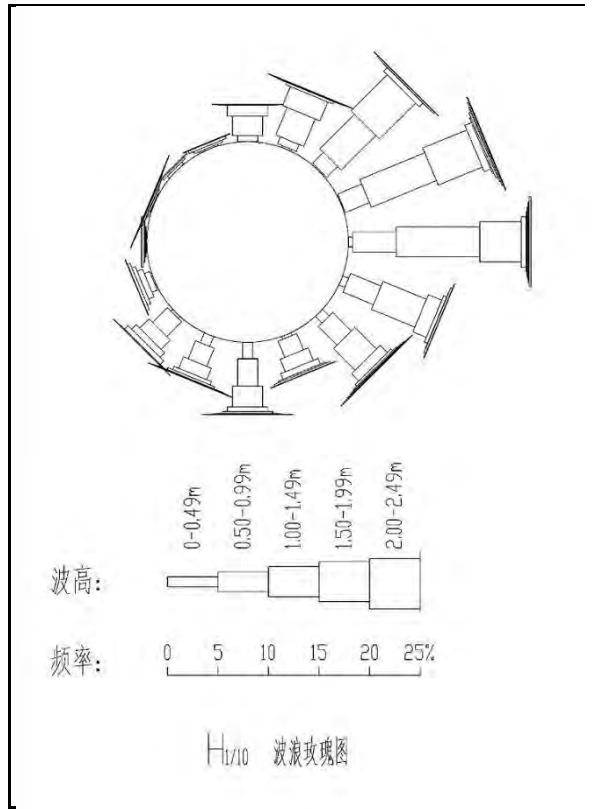


图5-39 $H_{1/10}$ 波浪玫瑰图

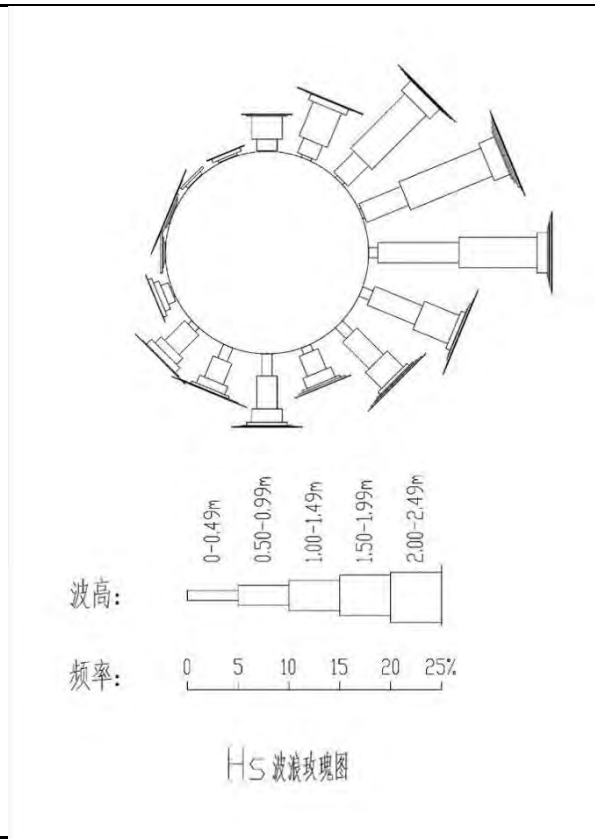


图5-40 H_s 波浪玫瑰图

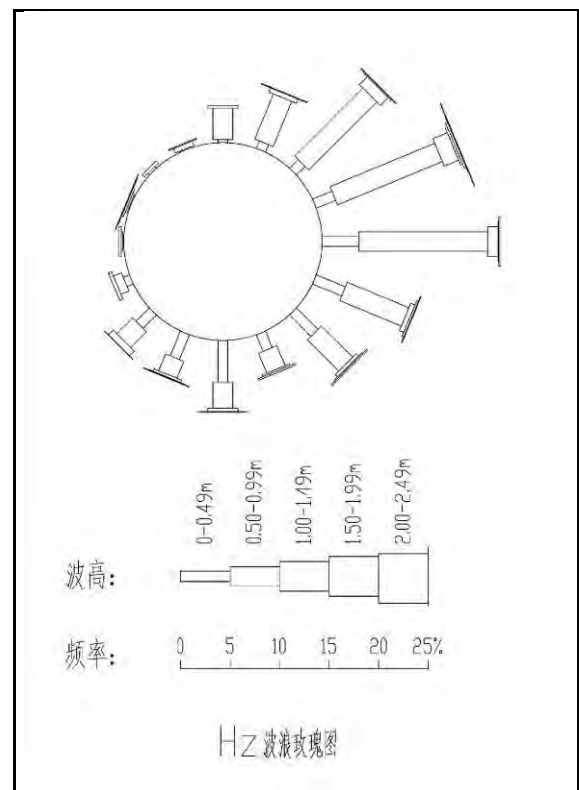


图5-41 Hs 波浪玫瑰图

5.2 地形地貌与冲淤环境现状调查与评价

5.2.1 地质

5.2.1.1 区域地质构造

本区出露地层主要有三叠系上三叠统、侏罗系上侏罗统和第四系等地层单位（表 5-43）。除上述沉积地层相应的沉积岩外，周边的陆地和岛屿或半岛发育有大量的岩浆岩，它们是燕山三期至五期的各期侵入岩、脉岩和喷出岩（图 5-42）。

燕山第三期侵入岩（ $\gamma 52(3)$ ）：一般呈岩株，个别呈岩基产出。主要岩性为黑云母花岗岩，角闪黑云母花岗岩，局部边缘相出现角闪黑云母花岗岩。岩体侵入上侏罗统火山岩，也被燕山四期花岗岩侵入，时代属于晚侏罗世。

燕山第四期侵入岩（ $\gamma 53(1)$ ）：呈岩株或基岩状产出，主要岩性为黑云母花岗岩、细粒斑状黑云母花岗岩组成。时代属于早白垩世。

燕山第五期侵入岩（ $\gamma 53(2)$ ）：呈岩株、岩墙、岩瘤状产出，主要由花岗斑岩和石英正长岩组成，侵入于燕山四期花岗岩，时代属于晚白垩世。

脉岩：以石英脉、花岗岩脉、花岗斑岩脉、石英斑岩脉和辉绿岩脉较为发育。石英斑岩脉主要发育于北东向断裂带内，其余多发育于各期侵入岩内。

喷发岩：本区喷发岩较发育，岩性主要为熔岩、火山碎屑岩，其次为次火山岩。火山活动分两个喷发旋回。分别组成上侏罗统上高基坪群的是、下段。下段的岩石以流纹岩、流纹质凝灰岩类为主，球粒状流纹岩、质凝灰流纹岩为次，夹少量质凝灰岩粉砂岩、质凝灰岩绢云母页岩。上段则以夹少量英安质的熔岩和熔凝灰岩为特征。

表5-43 本区陆域地层划分一览表

系	统	阶	群	代号	主要岩性	备注
第四系	全新统			Q _h	由陆相、海相、海陆混合相第一阶地及现代粘土、砂、粉砂、砾石、海相贝壳组成。厚度在2.0~32.2m	¹⁴ C 年龄值在1390-100345之间。
	更新统			Q _p	二、级河流阶地“老红沙堤”红色砂、砾石夹粉砂、粘土层、海相贝壳组成。厚度在2.5~大于24.5m。	¹⁴ C 年龄值在16450-18610之间。
侏罗系	上侏罗统		高基坪群	J ₃ gj	仅出露上亚群 J ₃ gjn ^b ，分上、下段。上段 (J ₃ gjn ^{b-2})：底部为中酸性熔岩、火山碎屑岩，向上为酸性熔岩、火山碎屑岩夹页岩，厚度1129-大于3935m。 下段 (J ₃ gjn ^{b-1})：以灰色酸性熔岩、酸性火山碎屑岩为主。夹多层页岩、粉砂岩。喷发不整合于下付地层之上，厚度229-3494m。	仅出露上亚群，分上、下段
	上侏罗统		金鸡群	J ₁ jn	为滨海-浅海相碎屑岩。 上亚群 (J ₁ jn ^b)：由黄、灰白色厚层状细粒长石石英岩、夹浅灰-灰白色绢云母泥质页岩组成，厚度大于1174m。 下亚群 (J ₁ jn ^a)：由灰白色厚层状细粒长石石英岩、绢云母页岩、泥质页岩夹粉砂岩、含碳质绢云母泥质页岩组成，与上三叠统连续沉积，厚度524-608m	
三叠系	上三叠统				上三叠统 (T ₃) 为一套滨海相碎屑岩。由灰黄色厚层状坟山岩、灰白色厚层状细粒石英砂岩、长石石英砂岩夹泥质页岩、粉砂岩组成，未见底，厚度大于1024m。	



5.2.1.2 地质构造概况

(1) 断裂

①东西向构造体系

该构造体系对汕尾海陆岩体和第四系展布有控制作用，本区属于高要-惠来东西向构造带的东段（图 5-43）。高要-惠来深断裂带，分布于北纬 22°40'～23°20'之间，经罗定、高要、广州、惠阳、海丰、惠来直插台湾浅滩。广东境内长约 500km，宽 10～30km。该深断裂带主要由潜伏基底断裂及近东西走向的逆冲断层、正断层、不同时代的褶皱和中新代盆地所组成，沿断裂带发育着片理、片麻理、硅化、糜棱岩化，并伴有中、新生代酸性、碱性岩浆的多次喷溢。断裂在近代仍具有多期活动性，这表现在：断裂性质交替变化、断裂两盘垂直差异运动、阶地变形、断层气的异常、温泉分布及地震活动。此构造体系生成于印支运动之后，主要活动与晚侏罗世、白垩纪直至第四纪仍继续活动，控制了汕尾、捷胜、甲子岩体的走向，并控制了海、陆丰一带第四系的展布方向。

②北东向构造体系（新华夏系）

北东向构造体系为汕尾海陆区域的主要构造体系，构造组分以北东 40°-60°斜列式压扭断裂和强大的挤压破碎带为主，兼有褶皱。本体系构造形迹连续、规模大，生成于晚三叠世至晚侏罗世，第四纪仍继续活动。控制了本区自晚三叠世以来的构造发展史、近代地貌特征、以及钨、锡成矿带展布方向。同时，它与北西向构造一起，控制了海岸线的形态。在汕尾区域内，以梅陇断裂带规模最大，长约 32km、宽约 6km。

相邻的北东向断裂带还有：

潮州-普宁深断裂带 该断裂带经潮州、揭阳、普宁至汕尾延伸入海，往北东经饶平延伸到福建境内，与长乐-诏安断裂带西侧断裂相连，总体走向 NE40°～50°，主要倾向 SE，倾角 50°～80°，广东境内陆地长达 210km，路由区域范围属于潮州-汕尾断裂带南西段，断裂连续性较好，区内延长约 37km，由九条大致平行展布的 I、II 级断裂所组成，这些断裂均向南东倾，剖面上组成一个逆冲断裂系。断裂带影响范围较宽，达 4km～5km，沿断裂发育硅化岩、碎裂岩、

压碎花岗岩等。断裂的早期活动控制了岩浆侵入和喷发活动，中侏罗世-晚侏罗世早期火山岩主要分布在断裂带的南东侧；沿着断裂常发育北东向花岗岩墙，断裂两侧地层延伸方向呈大角度相交，并造成地层的大规模重复和缺失。该断裂带形成于侏罗纪晚期的燕山运动第三幕，表现在多期的岩浆侵入与喷发，强烈活动于白垩纪。

汕头-惠来深断裂带该断裂发育于饶平、汕头一带，广东陆地部分长 150km，呈 45°~50° 方向延伸，直至汕尾外海，与路由海域相交集。断裂广泛发育动热变质现象，砂岩硅化，花岗岩压碎、硅化和糜棱岩化形成动热变质带，显示强烈挤压逆冲现象。新构造运动时期以来，断裂活动控制了沿海山地丘陵、台地、滨海平原的分布。断裂北西盘具整体持续上升，而南东盘相对下降。其间又以第四纪早期活动的强度和幅度较大，中更新世以来，南东盘处于长期稳定的剥蚀状态，晚更新世以来在某些地段仍有较强活动。

南澳深断裂带该断裂发端于南澳岛东北部海域，与北西向的饶平大断裂相交错，北东-南西走向，穿越南澳岛东部，大部分在海域，一直延续到汕尾外海。在南澳岛东北部海域，南澳深断裂带与饶平大断裂相交处，发生过 7 级强烈地震。

③北西向构造

由一系列北西向断裂构造组成，主要有饶平大断裂、韩江大断裂、榕江大断裂、普宁大断裂和惠来大断裂等，其中惠来大断裂离路由区域最近。

惠来大断裂位于路由登陆点东北约 30km 处，它的走向为北西 45°~50°，与高要~惠来深断裂带和潮州~普宁深断裂带相交错，并被潮州~普宁深断裂带错开为两段，总长约 50km。

(2) 褶皱

区内主要分布有北东向和北东东向的向斜，分别对应于汕尾、惠东、惠州等盆地（图 5-43）。

(3) 新构造运动

新构造运动是指晚第三纪以来的地壳运动，主要标志有如下几项：

① 活动断裂

断块与断裂运动造成本区山盆、海陆分界明显。继承性断裂活动造成地貌反差强烈：地形变形、变位、山盆界线平直、河道多呈直线、折线状；滑坡、瀑布、洪积扇、温泉、冷泉、地震、重磁异常沿断裂分布。东西向断裂控制了第四系沉积等厚线、海水等深线的展布方向（图 5-44）。对路由所在区域影响较大的活动断裂主要有：北东向的南澳深断裂带、汕头-惠来深断裂带和潮州-普宁深断裂带；东西向的高要-惠来深断裂带；北西向的惠来大断裂。



图5-43 汕尾及其邻近海域构造图

（据《广东省地震构造图集》，魏柏林主编，地震出版社，2000）

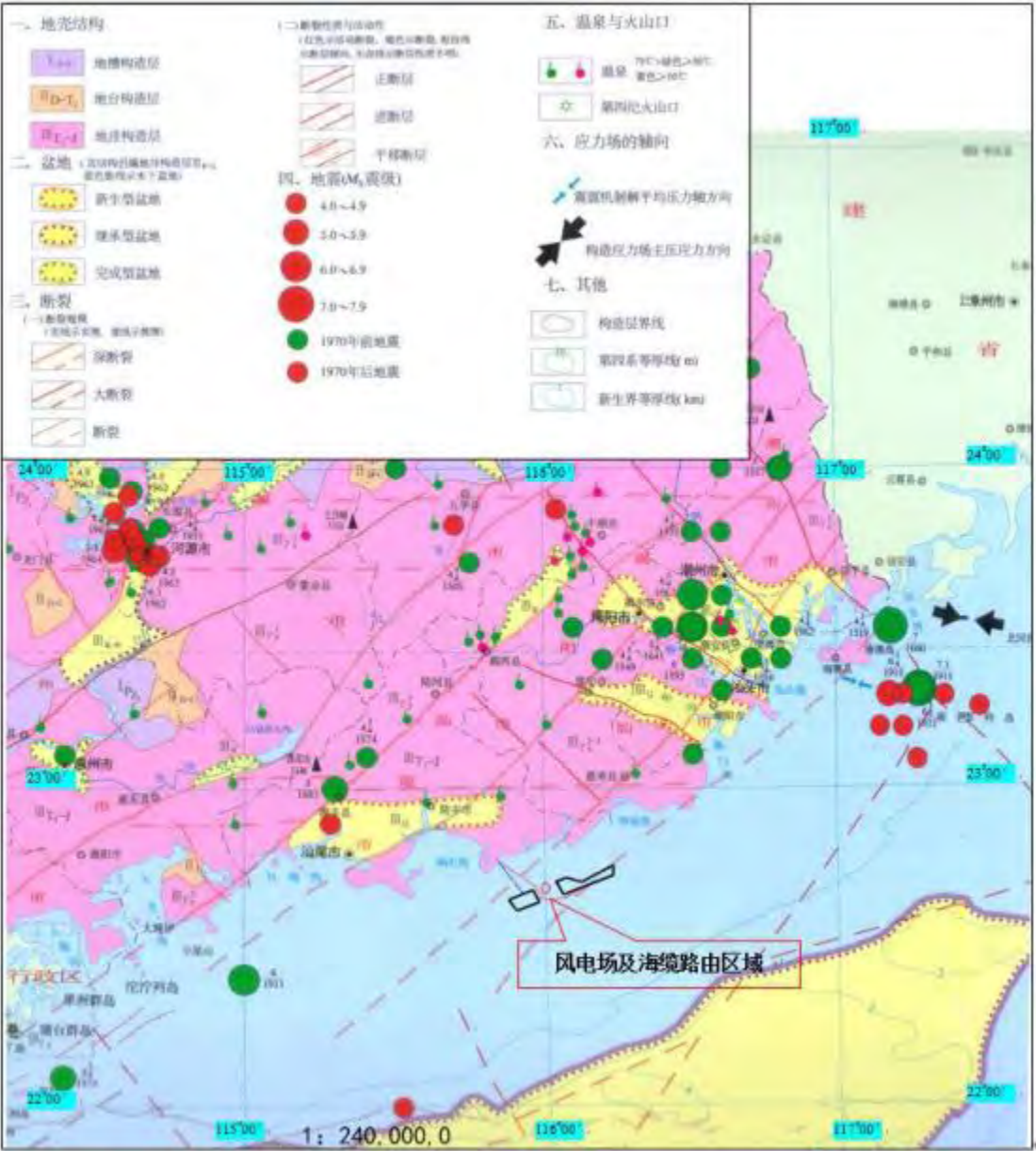


图5-44 汕尾及其邻近海域强震（大于4级）及温泉分布图

（据《广东省地震构造图集》，魏柏林主编，地震出版社，2000）

② 地震与温泉

区内地震频繁（图 5-45），自 1491 至 1981 年间，共发生大于 1.9 级的地震 25 次。其中，梅陇-海丰一带发生过 20 次，特别是在海丰附近曾发生过三次烈度为 V 级的五级地震。其次，在陆丰、惠来附近有 5 次浅源壳内地震发生。2015 年在陆丰也发生过 3.8 级地震。地震多受早期华夏系断裂构造控制；地震密集区主要处于北东向构造、隐伏的东西向、西北向构造交汇部位。而强震主要位于构造凹陷区。

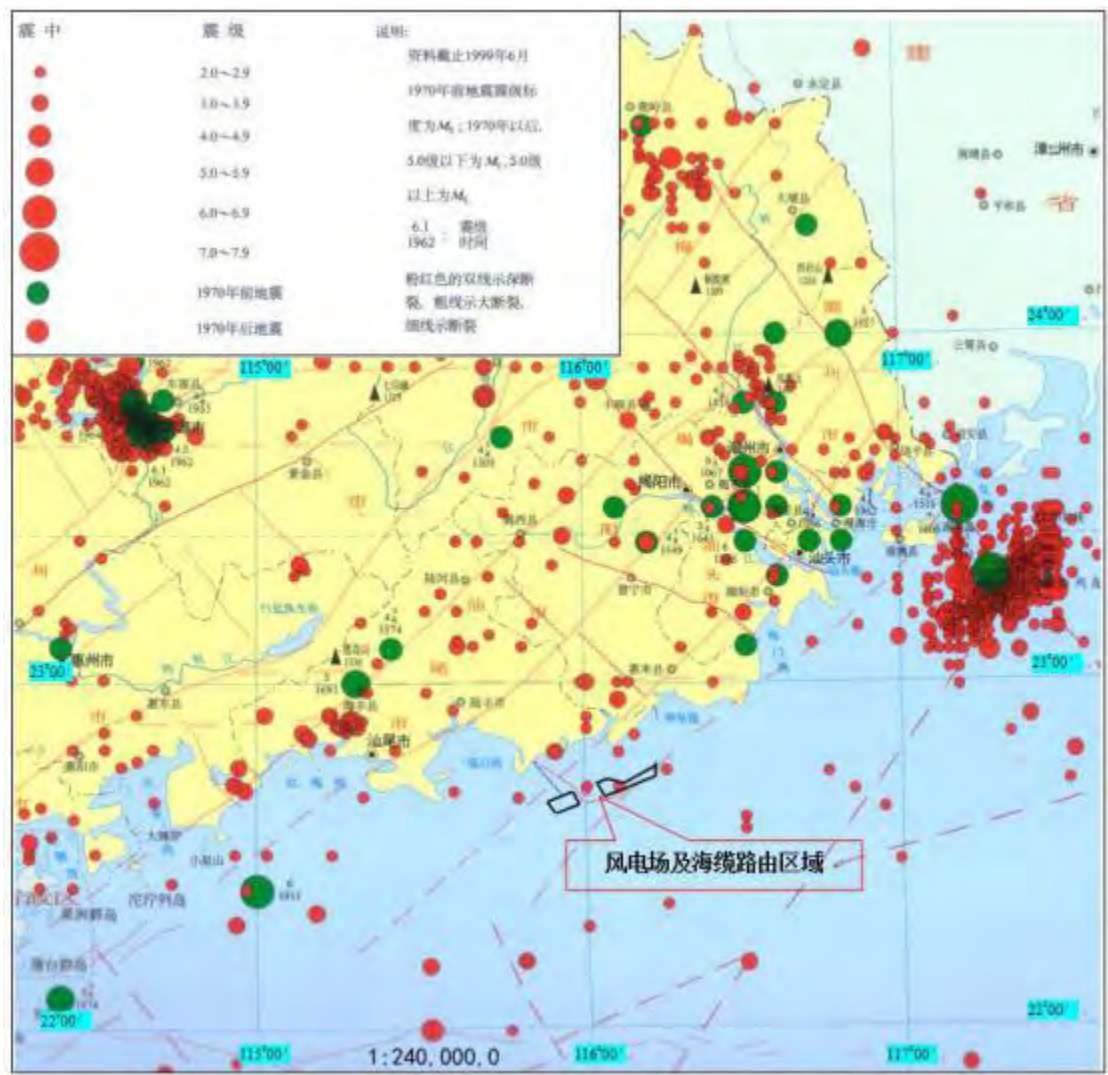


图5-45 汕尾及其邻近海域地震分布图

（据《广东省地震构造图集》，魏柏林主编，地震出版社，2000）
③升降运动

汕尾市区域内地壳作北升南降运动。表现为区内层阶状地形发育，可见两级海积阶地、三级剥蚀（海蚀）台地和一级夷平面；存在北东、东西、北西向三个方向的构造拗陷；梅陇沙堤向陆迁移，遮浪、甲子沙堤受浪蚀；黄江河流阶地自北向南高度降低，时代变新；自全新世以来，北部隆起区以平均 1-2mm/年的速率上升，二南部沉降区则以 1.2-2.7mm/年的速率下降；现代则以 2.0mm/年的速率的隆起。

根据汕尾附近区域内强震分布（图 5-45）和地震烈度区划图（图 5-46），路由所处汕尾市沿海地区，五十年超越概率 10%的地震烈度为七度（Ⅶ），属于地震破坏强度中等的区域。

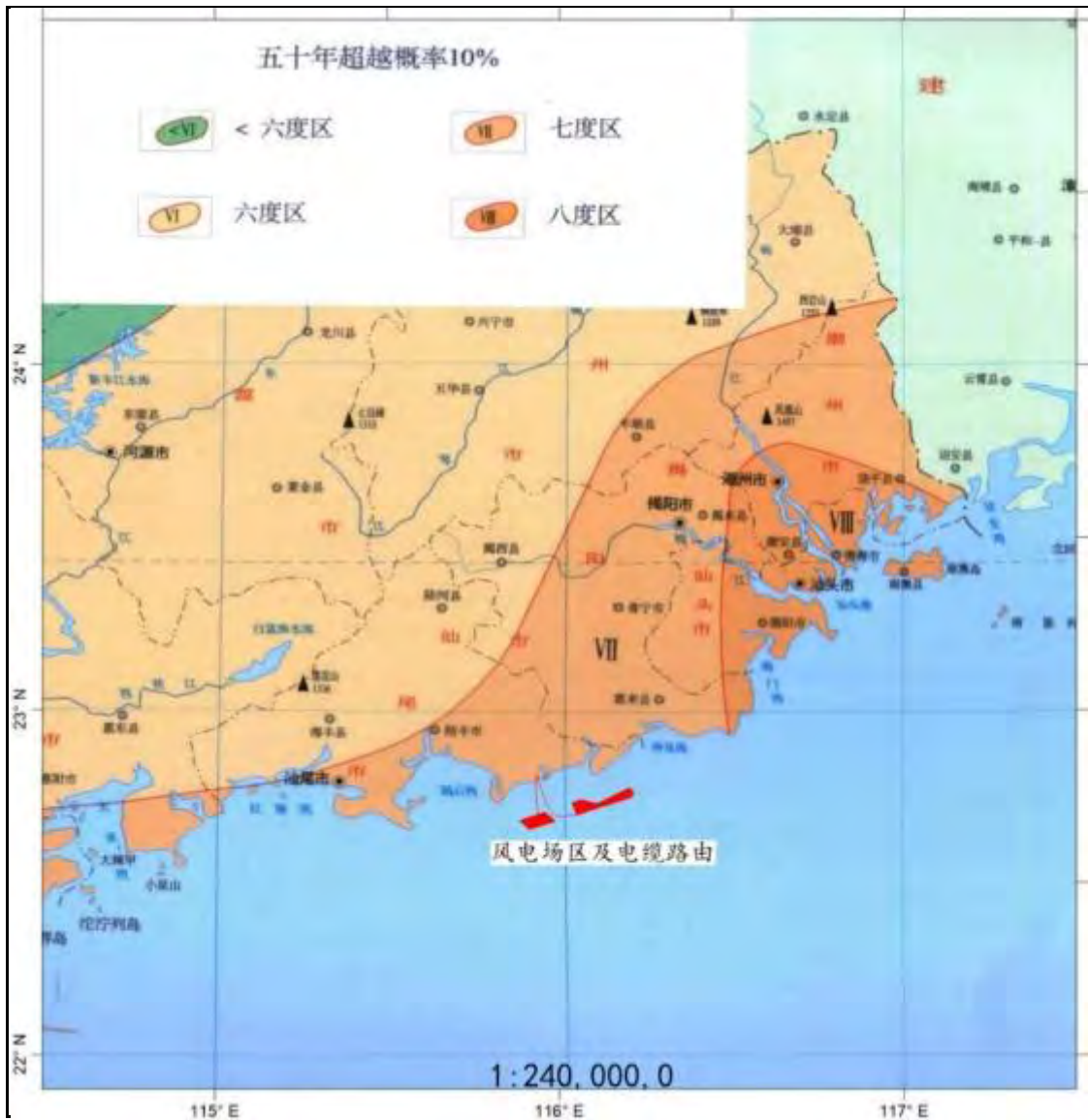


图5-46 汕尾及其邻近海域地震裂度分布图

（据《广东省地震构造图集》，魏柏林主编，地震出版社，2000）

(3) 第四纪地质

本区的第四纪沉积主要受东西向海丰-惠来断裂和北东向汕头-惠来断裂、潮安-普宁断裂（西段）、莲花山断裂的控制。海丰-惠来断裂以北，长期隆起，地形为山地、丘陵，发育残积、坡积物；断裂以南，晚更新世以来相对沉降，有浅薄的第四系沉积。区内河流短小，泥沙来源不丰，陆源碎屑物的堆积，除河流输沙外，主要受沿岸流和波浪作用的影响。

根据钻孔岩心的沉积学和年代学的综合研究，本区只有晚更新世至全新世的一个由陆至海沉积旋回。第四纪沉积浅薄，平均厚度仅 20m 左右，晚更新世以

来的平均沉积速率为 $1.41\text{mm}/\text{年}$ 。晚更新世的沉积速率为 $1.03\text{mm}/\text{年}$ ，其后沉积速率有所增加，晚全新世的沉积速率增加到 $1.96\text{mm}/\text{年}$ 。

第四纪的地层可分为 5 个地层组(图 5-47)，由上到下，分别为东里组(Q43)、澄海组 (Q42-2)、潮州组 (Q42-1)、莲下组 (Q41) 和鮀浦组 (Q33)。

东里组 (Q43)：下部以深灰色粉砂淤泥为主，含海洋藻类和贝类碎屑，偏海相沉积；上部以灰黄色砂质粘土或中细砂为主，含淡水藻类碎屑，为偏河流相沉积， 4C 年龄值在 $1970\pm 80\sim 1390\pm 70$ 年之间。

澄海组 (Q42-2)：岩性为深灰色粉砂淤泥，含咸水和半咸水藻类及贝类碎屑，为偏海相沉积，沉积物 4C 年龄值在 $4720\pm 120\sim 2820\pm 95$ 年之间。

潮州组 (Q42-1)：岩性为深灰色淤泥或粉砂淤泥，含咸水和半咸水藻类及贝类碎屑，沉积物 4C 年龄值在 $6500\pm 100\sim 6120\pm 160$ 年之间，属中全新世前期。

莲下组 (Q41)：主要为灰色粉砂质淤泥或中砂，含咸水藻类及浅海至潮间带贝壳类碎屑，沉积物 4C 年龄值在 $10345\pm 110\sim 8330\pm 170$ 年之间，属早全新世。

鮀浦组 (Q33)：岩性以灰白色砂砾为主，滨岸地区则为褐红色中细砂，沉积物 4C 年龄值在 $18610\pm 620\sim 16450\pm 325$ 年之间，属晚更新世。

本区的地表沉积物成因类型可分为残积、坡积、洪积、冲积-洪积、冲积、冲积-海积、海积和海积-风积等 8 种。

图5-47 路由登陆点及其邻区第四纪地质图

5.2.1.3 工程地质

(1) 工程地质条件

粘性土层和砂土层交互分布状，而下部主要为砂土层。揭示的地层根据时代成因和工程性质差异分为 6 大类（地层序号为②~⑧），各大类又分为若干亚层；其中②层为第四系全新统海相沉积地层，③层为第四系全新统海陆交互沉积地层，④~⑥层为第四系晚更新统海陆交互沉积地层，⑧层为燕山四期形成的花岗岩。

②层基本为软土，局部分布厚度小的可塑粘性土层和松散砂土层，层底埋藏深度在 10.60m~30.50m 之间。本层总体上含水量高、孔隙比大、强度很低、压缩性高的特点。

③层为杂色第四系全新统海陆交互沉积地层，呈粘性土层与砂土层交互分布，以粘性土层为主，底埋藏深度在 27.90m~49.70m 之间。本层强度不均，总体强度较低；其中③1 粘土~粉质粘土和③3 粉细砂层强度低，③2 粘土~粉质粘土和③4 粉细砂层强度较低，③5 粉细砂和③7 中粗砂、砾砂层强度中等，③8 中粗砂层强度较高。

④层为第四系晚更新统海陆交互沉积地层，粘性土层与砂土层交互分布，以中密~密实的砂层为主，间夹硬塑~坚硬粘性土层；层底埋藏深度在 44.00m~55.80m 之间。本层强度不均，总体强度中等；其中④1 中粗砂、④4 粉细砂（混粘性土）层强度较低，④2 中粗砂、④4 粉细砂、④5 粉细砂、④7 粘土~粉质粘土层强度中等~较高，④3 中粗砂、④6 粉细砂和④8 粘土~粉质粘土层强度较高。

⑤层为粘性土层与砂土层交互分布，以硬塑~坚硬粘性土层为主；层底埋藏深度在 54.50m~70.60m 之间。本层强度不均，总体强度中等；其中⑤1 粘土~粉质粘土层强度较低，⑤2 粘土~粉质粘土、⑤3 粉细砂、⑤4 粉细砂层强度中等~较高、⑤5 粉细砂和⑤6 中砂、粗砂、砾砂层强度较高。

⑥层基本为极密实砂土层，局部夹硬塑~坚硬粘性土层，而砂土层又以极密实的⑥1 中砂、粗砂、砾砂层为主，本层为勘探深度范围内的下部地层，埋藏深度大。本层总体强度较高，其中⑥1 中砂、粗砂、砾砂层强度较高，海风风电场场区内连续较分布，厚度大，是区内良好的桩端持力层，⑥3 粉细砂层和⑥6 粘土~粉质粘土强度中等~较高，也可考虑作为桩端持力层。

⑧层为花岗岩，⑧2 强风化花岗岩、⑧3 中风化花岗岩、⑧4 微风化花岗岩

等岩土层岩性稳定、承载力较高，为本区内良好的桩基持力层。

(2) 基础选型建议与岩土参数

根据勘探揭示的地基条件，场区上部地层总体强度低~较低，承载力和变形不能满足风机和海上升压站的荷载要求，拟建风机和海上升压站不宜采用浅基础。综合考虑地基条件、风机的结构特点和所受荷载的特点，风机基础和海上升压站基础宜采用桩基础，桩基础型式和桩的入土深度应根据荷载等因素验算确定。

表5-44 海上风电场场区岩土体分层情况表

序号	地层名称		地层号	地层时代及成因
1	软土	淤泥	②1	第四系全新统海相沉积层 (Q_4^m)
2	砂土	粉细砂(混淤泥)	②2	
3		粉细砂	②3	
4		中粗砂	②4	
5	软土	淤泥质土	②5	
6	粘性土	粘土~粉质粘土	③1	第四系全新统海陆交互沉积层 (Q_4^{m+al})
7		粘土~粉质粘土	③2	
8	砂土	粉细砂	③3	
9		粉细砂	③4	
10		粉细砂	③5	
11		中粗砂	③7	
12		中粗砂	③8	
13	砂土	中粗砂	④1	第四系晚更新统海陆交互沉积层 (Q_3^{m+al})
14		中粗砂	④2	
15		中粗砂	④3	
16		粉细砂(混粘性土)	④4	
17		粉细砂	④5	
18		粉细砂	④6	
19	粘性土	粘土~粉质粘土	④7	
20		粘土~粉质粘土	④8	
21	粘性土	粘土~粉质粘土	⑤1	
22		粘土~粉质粘土	⑤2	
23	砂土	粉细砂	⑤3	
24		粉细砂	⑤4	
25		粉细砂	⑤5	

26		中粗砂	⑤6	
27		中砂,粗砂,砾砂	⑥1	
28		中砂,粗砂,砾砂	⑥2	
29	砂土	粉细砂	⑥3	
30		粉细砂	⑥4	
31	粘性土	粘土~粉质粘土	⑥5	
32		粘土~粉质粘土	⑥6	
33	胶结层	胶结层	⑥7	
34	砂土	碎石土	⑥8	
35		全风化花岗岩	⑧1	
36		强风化花岗岩	⑧2	
37	基岩	中风化花岗岩	⑧3	
38		微风化花岗岩	⑧4	

第四系晚更新统海陆交互沉积层
(Q_3^{mal})

燕山四期形成的花岗岩 ($r_5^{3(l)}$)

(3) 水文地质条件

工程海域的沉积物搬运营力以潮流和近岸流为主,水动力条件偏弱,底质颗粒偏细。海底沉积物分布特征表现为,靠登陆点沉积颗粒略粗,主要分布有细砂、粉砂、局部有黏土质粉砂,其余海域为粉砂质黏土和黏土质粉砂组成(图 5-48)。

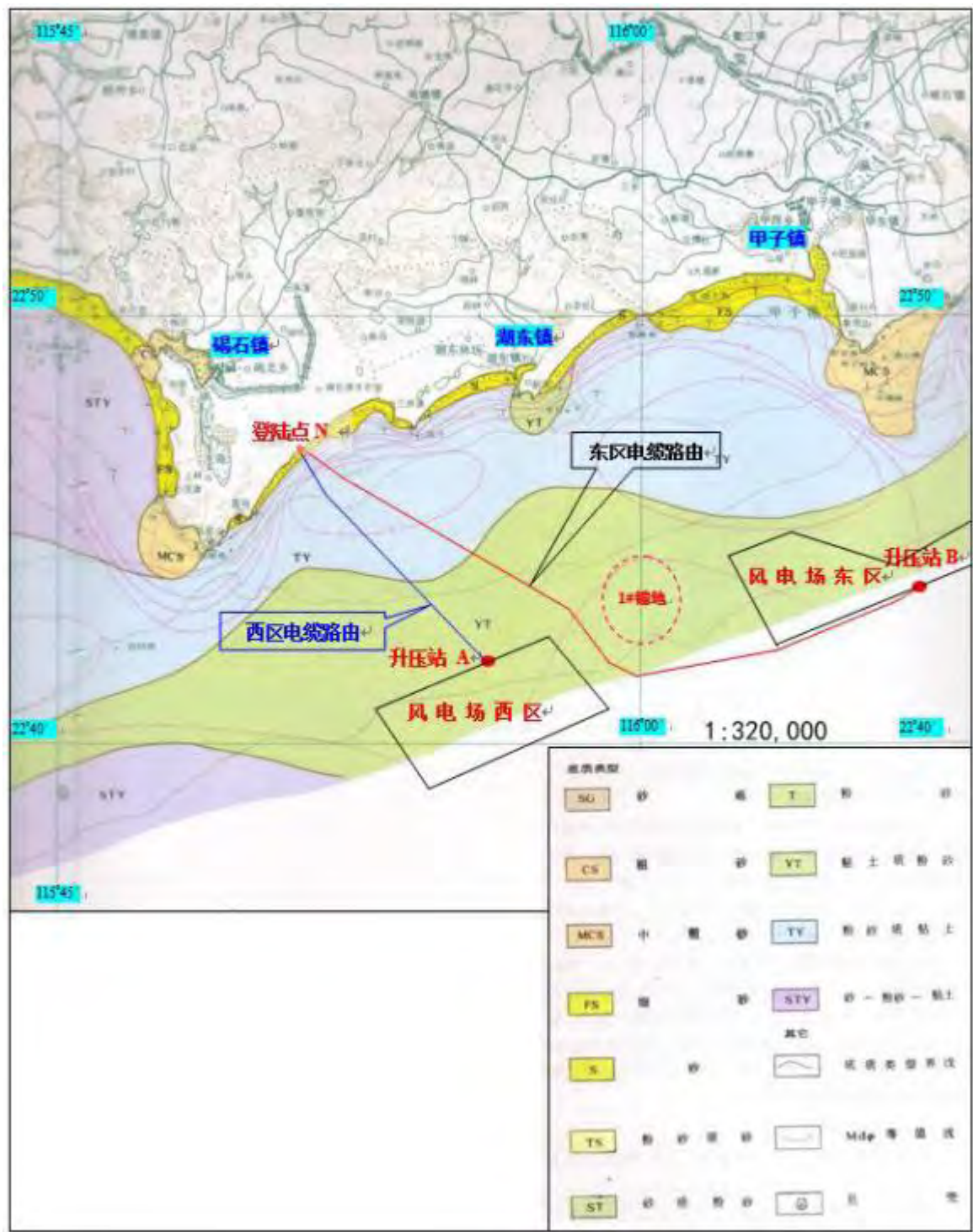


图5-48 路由区底质特征

(据《中国海岸带和海涂资源综合调查图集，广东省粤东分册，碣石湾图幅》，国家海洋局、国家测绘局，1989.)

- 说明:
- 图中尺寸和高程均以米计;
 - 平面坐标系采用WGS84 坐标系。
高程系统采用 1985 国家高程。
 - 本阶段共布置钻孔 17 个,其中ZK04,ZK11,ZK15为控制性钻孔,其余均为一般性钻孔。

图例:

- ZK04 控制性钻孔
○ ZK01 一般性钻孔
1-1' 测线桩号

相关图框 REFERENCE DRAWINGS	
图号 DRG No.	图框名称 DRG TITLE

审核:
校对:
制图:
专业(专业)



中交第四航务工程勘察设计院有限公司
CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd.

钻孔平面位置图

图号: 附图1	版本号
比例: 1:125000	图框比例 PLOT SCALE A3(1:1)

版权所有 COPYRIGHT RESERVED

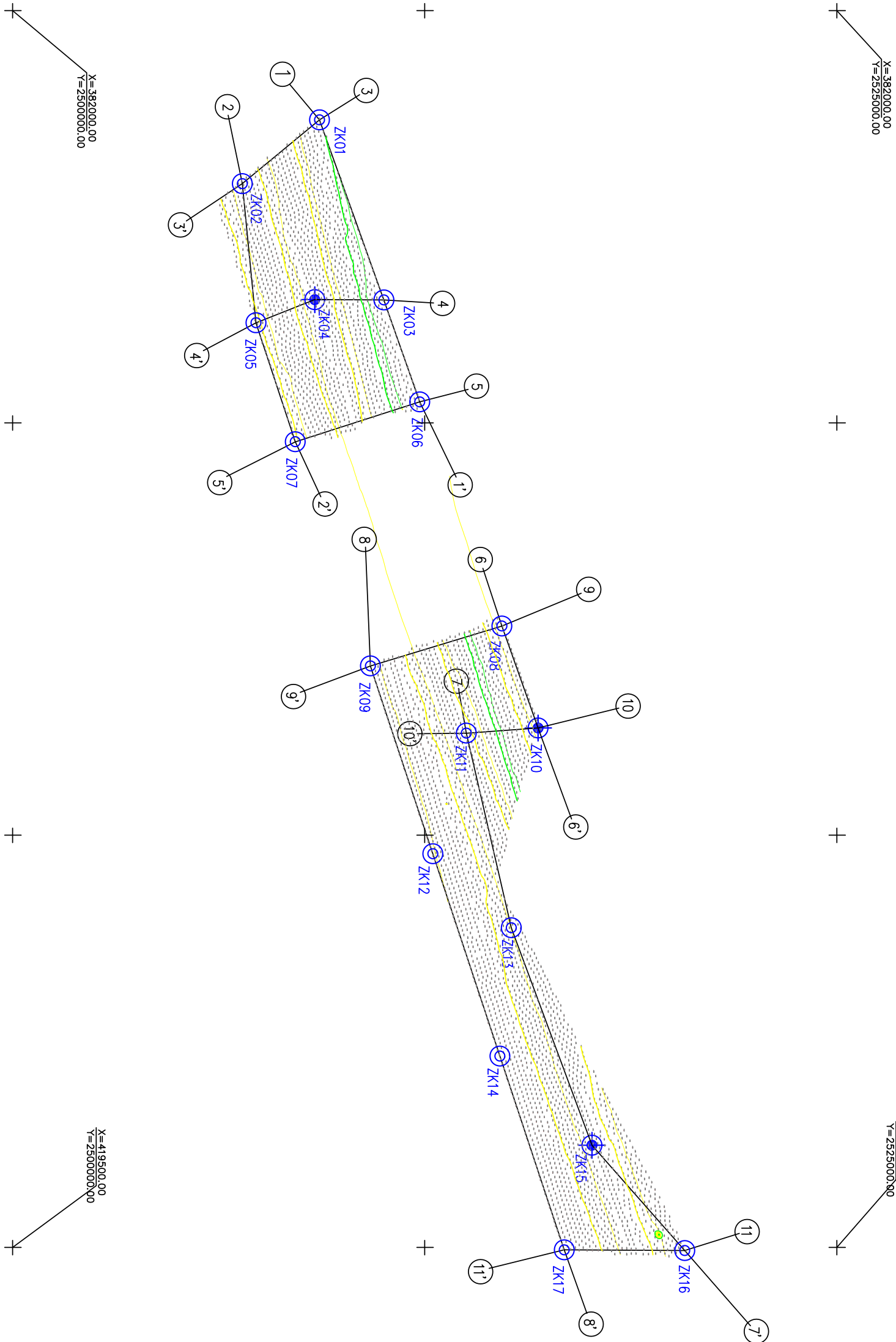
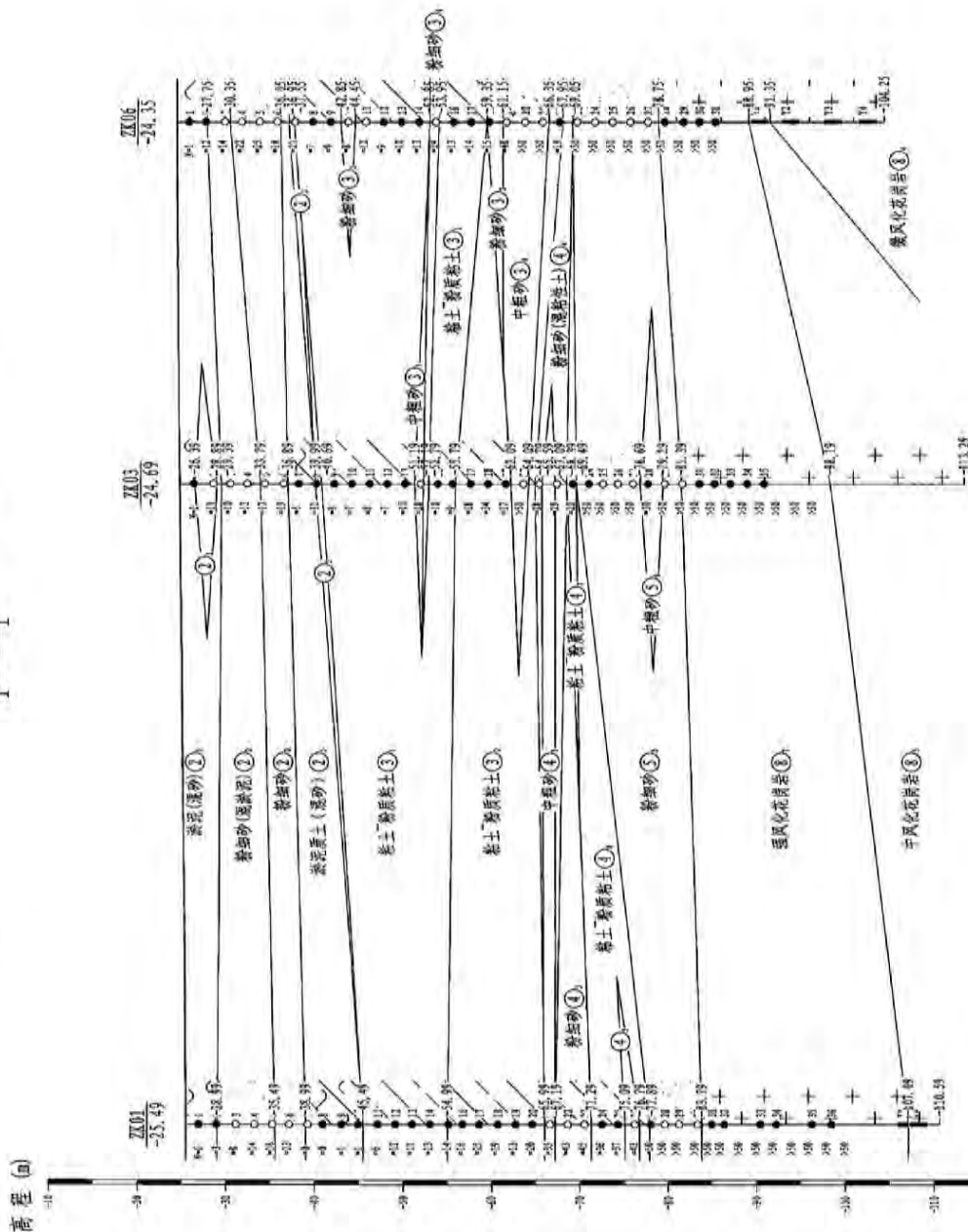


图5-49 工程地质钻孔站位图

工程地质剖面图

1—1'

水平比例: 1:40000
垂直比例: 1:500



钻孔深度 (m)	378.14	378.14
----------	--------	--------

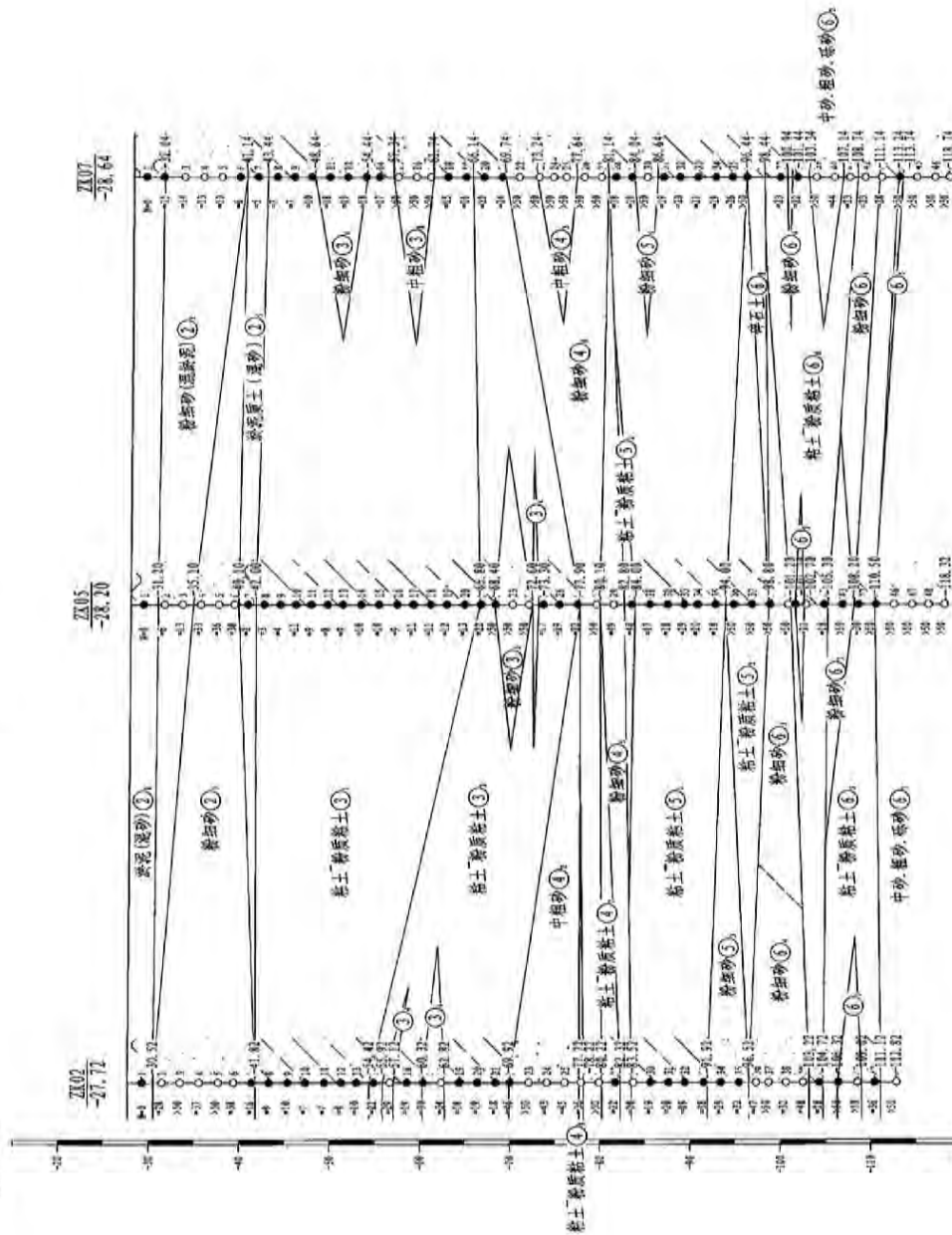
图5-50 工程地质剖面图

工程地质剖面图

水平比例: 1:40000
垂直比例: 1:500

2---2'

高程 (m)



钻孔间距 (m)

4213.59

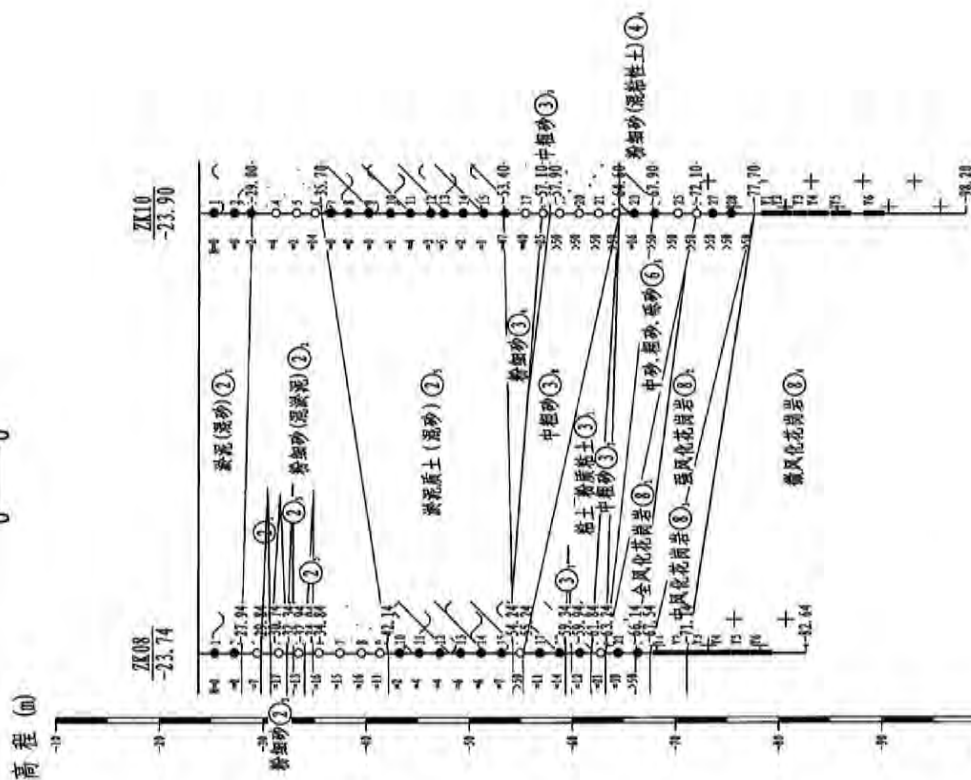
1114.65

图5-51 工程地质剖面图2-2'

工程地质剖面图

6——6'

水平比例: 1:40000
垂直比例: 1:500



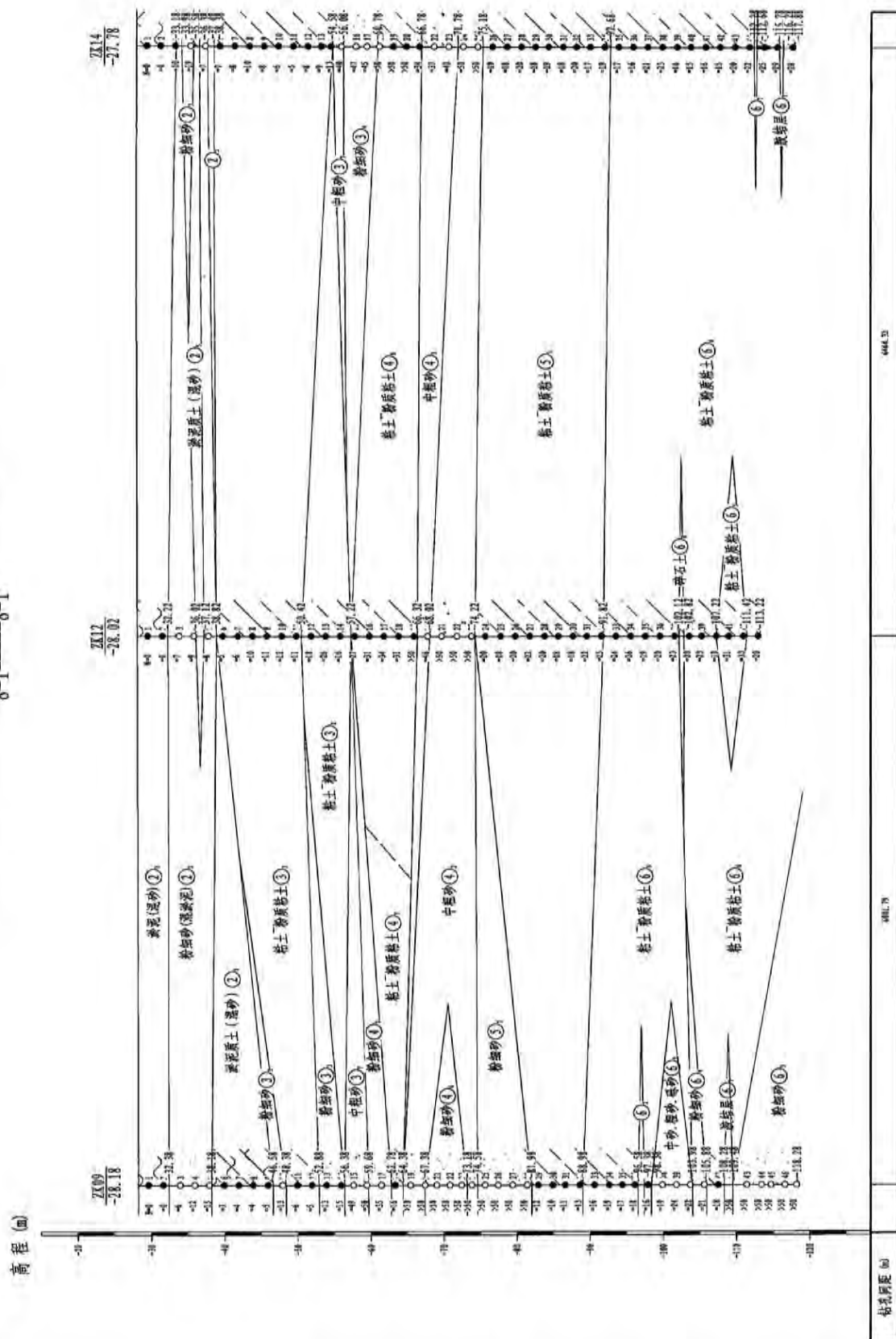
钻孔间距 (m)	200.00
----------	--------

图5-52 工程地质剖面图6-6'

工程地质剖面图

8-1——8-1'

水平比例: 1:40000
垂直比例: 1:500



中交第四航务工程勘察设计院有限公司	工程名称	广东陆丰宝田平海海上风电(1400MW)一期工程后海风电(500MW)工程	工程编号	17K221	编制	刘松	审核	刘松	图号	图号	图号
											图号

图5-53 工程地质剖面图8-1—8-1'

钻孔柱状图

第 1 页 共 6 页

工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程										
工程编号		17K221			钻孔编号		ZK01					
孔口高程(m)		-25.49	坐标 (m)	X = 2509309.87		开工日期		2017.12.07	稳定水位深度(m)			
孔口直径(mm)		127.00		Y = 385311.80		竣工日期		2017.12.09	测量水位日期			
地层 编号	时代成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征			取 样 (m)	标贯 击数 (击)		
② ₁	Q ₄ ^{al}	-26.19	0.70	0.70		淤泥: 灰色, 饱和, 流塑, 滑腻, 具臭味。			1 1.00-1.50			
② ₁						淤泥混砂: 灰色, 饱和, 流塑, 混20%的粉砂, 含少量贝壳碎。				-0.00 1.65-1.95		
		-28.99	3.50	2.80					2 3.00-3.50			
										-3.00 3.65-3.95		
② ₂						粉细砂: 灰色, 饱和, 松散, 含少量粘粒, 颗粒级配差。			3 5.20-5.40			
										-8.00 5.60-5.90		
									4 7.30-7.50			
										-14.00 7.70-8.00		
			-35.49	10.00	6.50					5 9.30-9.50		
											-16.00 9.70-10.00	
② ₃						粉细砂: 灰色, 饱和, 稍密-中密, 砂质较纯。			6 11.20-11.40			
										-23.00 11.60-11.90		
		-38.99	13.50	3.50					7 13.30-13.50			
② ₅						淤泥质土: 灰色, 饱和, 流塑-软塑, 滑腻, 局部含少量粉细砂, 具臭味。			8 15.00-15.50			
										13.70-14.00		
										15.65-15.95		

中交第四航务工程勘察设计院有限公司	编制	沈和	校核	寸城	审核	王世	图号	附图3-1
-------------------	----	----	----	----	----	----	----	-------

中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制 李永成 校核 李永成 审核 李永成 图号 附图3-1

图5-54 钻孔柱状图ZK01-1

钻孔柱状图

第 2 页 共 6 页

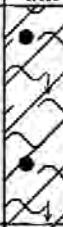
工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程								
工程编号		17K221			钻孔编号		ZK01			
孔口高程(m)		-25.49	坐标 (m)	X = 2509309.87		开工日期	2017.12.07	稳定水位深度(m)		
孔口直径(mm)		127.00		Y = 385311.80		竣工日期	2017.12.09	测量水位日期		
地层 编号	时代 成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征			取 样 (m)	标贯 击数 (击)
② ₅	Q ₄ ^s					淤泥质土: 灰色, 饱和, 流塑-软塑, 稍硬, 局部含少量粉细砂, 具臭味。			9 17.10-17.60	-1.00 17.75-18.05
		-45.49	20.00	6.50					10 19.00-19.50	-1.00 19.65-19.95
③ ₁	Q ₄ ^{mal}	-47.49	22.00	2.00		粉质粘土: 灰黄色, 湿, 可塑, 局部混较多中砂, 切面稍光滑, 粘性较大。			11 21.20-21.40	-6.00 21.65-21.95
③ ₁						粘土: 灰色, 湿, 可塑, 含少量粉细砂, 切面光滑, 粘性大。			12 23.20-23.40	-12.00 23.65-23.95
		-50.89	25.40	3.40					13 25.10-25.30	-11.00 25.55-25.85
③ ₁		-53.79	28.30	2.90		粘土: 灰色, 湿, 可塑, 含少量粉细砂, 切面光滑, 粘性大。			14 27.10-27.30	-13.00 27.55-27.85
③ ₁		-54.99	29.50	1.20		粘土: 灰黄色, 浅灰色, 含少量橘黄色, 湿, 可塑, 含少量粉细砂, 切面光滑, 粘性大。			15 29.20-29.40	-14.00 29.65-29.95
③ ₂						粉质粘土: 灰色, 湿, 可塑-硬塑, 含较多粉细砂, 切面粗糙, 粘性较好。			16 30.80-31.00	-16.00 31.25-31.55
		-58.49	33.00	3.50					17 32.70-32.90	-25.00 33.15-33.45
③ ₂										
中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制 陈永 校核 夏城 审核 王松 图号 附图3-2										

图5-55 钻孔柱状图ZK01-2

钻孔柱状图

第 3 页 共 6 页

工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程										
工程编号		17X221			钻孔编号		ZK01					
孔口高程(m)		-25.49	坐标 (m)	X = 2509309.87		开工日期		2017.12.07	稳定水位深度(m)			
孔口直径(mm)		127.00		Y = 385311.80		竣工日期		2017.12.09	测量水位日期			
地层 编号	时代 成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征			取 样 (m)	标贯 击数 (击)		
③ ₂	Q ₄ ^{msl}	-60.49	35.00	2.00		粉质粘土: 浅灰色含少量灰黄色, 湿, 硬塑, 含较多粉细砂, 局部含较多中砂, 切面粗糙, 粘性较好。			18 34.80-35.00	-19.00 35.15-35.45		
③ ₂		-61.69	36.20	1.20		粘性土混砂: 灰色-浅灰色, 湿, 硬塑, 粘性土为主, 混约15%的细砂。						
③ ₃							粘土: 灰色, 湿, 可塑-硬塑, 切面光滑, 粘性大, 局部夹夹薄层中砂, 39.5-40.5米混较多中粗砂。			19 36.80-37.00	-13.00 37.15-37.45	
		-65.99	40.50	4.30					20 38.70-38.90	-20.00 39.15-39.45		
④ ₁			-67.19	41.70	1.20		粗砂: 浅灰黄色, 饱和, 密实, 颗粒级配良好, 磨圆度差。			21 40.70-40.90	-35.00 41.15-41.45	
④ ₂	Q ₄ ^{msl}					细砂: 浅灰绿色, 饱和, 密实, 砂质较纯, 颗粒级配差。			22 42.70-42.90	-43.00 43.15-43.45		
		-71.29	45.80	4.10					23 44.60-44.80	-45.00 45.05-45.35		
④ ₃						粉质粘土: 灰色, 湿, 坚硬, 切面粗糙, 粘性较好, 局部呈粘性土混砂状。			24 46.60-46.80	-36.00 47.05-47.35		
	-75.09	49.60	3.80					25 48.40-48.60	-37.00 48.85-49.15			
④ ₃						细砂: 灰色, 饱和, 密实, 砂质较纯, 颗粒级配差。						

中交第四航务工程勘察设计院有限公司	编制	校核	审核	图号	附图3-3
-------------------	----	----	----	----	-------

中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制 校核 审核 图号 附图3-3

图5-56 钻孔柱状图ZK01-3

钻孔柱状图

第 4 页 共 6 页

工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程							
工程编号		17K221			钻孔编号	ZK01			
孔口高程(m)		-25.49	坐标 (m)	X = 2509309.87		开工日期	2017.12.07	稳定水位深度(m)	
孔口直径(mm)		127.00		Y = 385311.80		竣工日期	2017.12.09	测量水位日期	
地层 编号	时代成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征		取 样 深度 (m)	标贯 击数 (击)
④ _s	Q ₄ ^{al}	-76.79	51.30	1.70		细砂: 灰色, 饱和, 密实, 砂质较纯, 颗粒级配差。		50.30-50.50	-43.00 50.85-51.15
④ _h		-77.89	52.40	1.10		粉质粘土: 灰色, 湿, 硬塑-坚硬, 切面粗糙, 粘性较好。		52.10-52.30	-50.00 52.55-52.85
⑤ _s						细砂: 灰色, 饱和, 极密实, 含较多贝壳碎, 颗粒级配差。		53.70-53.90	-50.00 54.15-54.30
								55.30-55.50	-50.00 55.70-55.90
								57.40-57.60	-50.00 57.80-58.00
								59.00-59.20	-50.00 59.35-59.45
⑧ ₂					强风化花岗岩: 灰黄色, 灰白色, 软岩, 原岩结构清晰, 粗粒结构, 块状构造, 主要矿物成分除石英外已风化成土状, 岩芯呈砂质粘性土状, 岩芯手捏易散, 遇水易软化崩解。		60.40-60.60	-50.00 60.75-60.85	
							62.85-62.96	-50.00 64.85-64.93	
							64.50-64.70	-50.00 66.65-66.80	
							66.30-66.50	-50.00	

中交第四航务工程勘察设计院有限公司	编制	陈永成	校核	高城	审核	王磊	图号	附图3-4
-------------------	----	-----	----	----	----	----	----	-------

中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制 汪华 校核 高成 审核 王成 图号 附图3-4

图5-57 钻孔柱状图ZK01-4

钻孔柱状图

第 5 页 共 6 页

工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程							
工程编号		17K221			钻孔编号		ZK01		
孔口高程(m)		-25.49	坐标 (m)	X = 2509309.87		开工日期	2017.12.07	稳定水位深度(m)	
孔口直径(mm)		127.00		Y = 385311.80		竣工日期	2017.12.09	测量水位日期	
地层 编号	时代 成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征		取 样 (m)	标贯 击数 (击)
⑧ ₁						强风化花岗岩: 灰黄色, 灰白色, 软岩, 原岩结构清晰, 粗粒结构, 块状构造, 主要矿物成分除石英外已风化或土状, 岩芯呈砂质黏性土状, 岩芯手捏易散, 遇水易软化崩解。			-52.00 68.77-68.90
								35 70.38-70.58	-54.00 70.70-70.85
								36 72.50-72.70	-51.00 72.75-72.85
									-50.00 74.84-74.93
⑧ ₂		-100.49	75.00	16.70		强风化花岗岩: 灰黄色, 灰白色, 软岩, 原岩结构清晰, 粗粒结构, 块状构造, 主要矿物成分除石英外已风化或土状, 岩芯呈半岩半土状, 局部夹较多中风化碎块, 其中80.2-80.8米为中风化花岗岩, 岩芯手折易断, 遇水易软化崩解。			
⑧ ₃		-107.09	81.60	6.60		中风化花岗岩: 灰白色, 灰黑色斑点, 硬质岩, 粗粒结构, 块状构造, 主要矿物成分为石英, 长石, 云母等, 裂隙发育, 裂隙面铁锈渲染, 岩面较新鲜, 岩芯完整性较好, 呈短柱状, 节长10-25cm, 敲击声较轻脆, 较易断, TCR=88%, RQD=46%。			

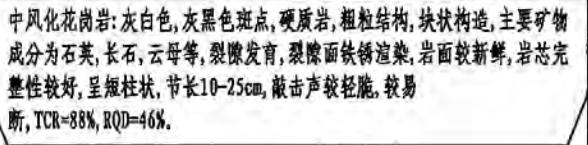
中交第四航务工程勘察设计院有限公司	编制	陈后	校核	高城	审核	王林	图号	附图3-5
-------------------	----	----	----	----	----	----	----	-------

中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制 校核 审核 图号 附图3-5

图5-58 钻孔柱状图ZK01-5

钻孔柱状图

第 6 页 共 6 页

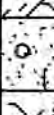
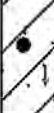
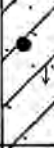
工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程											
工程编号		17K221				钻孔编号		ZK01					
孔口高程 (m)		-25.49		坐标 (m)	X = 2509309.87		开工日期		2017.12.07		稳定水位深度 (m)		
孔口直径 (mm)		127.00			Y = 385311.80		竣工日期		2017.12.09		测量水位日期		
地层编号	时代成因	层底高程 (m)	层底深度 (m)	分层厚度 (m)	柱状图	岩土名称及其特征						取样 (m)	标贯击数 (击)
⑧ ₂		-110.59	85.10	3.50		中风化花岗岩：灰白色，灰黑色斑点，硬质岩，粗粒结构，块状构造，主要矿物成分为石英、长石、云母等，裂隙发育，裂隙面铁锈渲染，岩面较新鲜，岩芯完整性较好，呈短柱状，节长10-25cm，敲击声较清脆，较易断，TCR=88%，RQD=46%。							


 中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制 张磊 校核 李斌 审核 王强 图号 附图3-6

图5-59 钻孔柱状图ZK01-6

钻孔柱状图

第 1 页 共 6 页

工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程							
工程编号		17K221			钻孔编号		ZK14		
孔口高程(m)		-27.78	坐标 (m)	X = 2514780.90		开工日期	2018.03.15	稳定水位深度(m)	
孔口直径(mm)		127.00		Y = 413697.76		竣工日期	2018.03.20	测量水位日期	
地层 编号	时代 成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征		取 样 (m)	标贯 击数 (击)
② ₁	Q ₄ ^{al}	-29.88	2.10	2.10		流泥: 灰色-灰黄色, 饱和, 流动, 滑腻, 含少量贝壳碎, 具臭味。		1 1.00-1.50	-0.00 1.65-1.95
② ₁		-33.18	5.40	3.30		淤泥夹砂: 灰色, 饱和, 流塑, 滑腻, 淤泥为主, 夹较多微薄层细砂或细砂斑, 局部呈淤泥混砂状, 具臭味。		2 2.90-3.40	-0.00 3.55-3.85
② ₂		-33.98	6.20	0.80		砂质淤泥: 灰色, 饱和, 松散, 细砂为主, 混约35%的淤泥。		3 4.90-5.40	-10.00 5.55-5.85
② ₃		-35.58	7.80	1.60		细砂: 灰色, 饱和, 中密, 含少量粘粒, 局部夹微薄层淤泥, 颗粒级配不良。		4 7.00-7.20	-19.00 7.35-7.65
② ₃		-36.38	8.60	0.80		淤泥质土: 灰色, 饱和, 软塑, 含较多粉细砂, 局部夹微薄层细砂, 粘性大。		5 9.00-9.20	-7.00 9.35-9.65
② ₁		-37.48	9.70	1.10		细砂: 灰色, 饱和, 松散, 含少量粘粒, 局部夹微薄层淤泥质土, 颗粒级配不良。		6 11.00-11.20	-7.00 11.40-11.70
② ₃		-38.38	10.60	0.90		淤泥质土夹砂: 灰色, 饱和, 软塑, 淤泥质土为主, 夹较多薄层细砂或细砂斑, 粘性大。表层含少量贝壳碎, 局部呈粉土状。		7 13.00-13.20	-8.00 13.40-13.70
③ ₁	Q ₄ ^{mal}	-44.38	16.60	6.00		粘性土夹砂: 灰色, 饱和, 可塑, 粘性土为主, 单层厚度一般为5-12cm, 夹薄层细砂, 单层厚度一般为2-6cm, 局部呈互层状。		8 15.00-15.20	-10.00 15.40-15.70

中交第四航务工程勘察设计院有限公司	编制	校核	审核	图号	附图3-75
-------------------	----	----	----	----	--------

中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制  校核  审核  图号 附图3-75

图5-60 钻孔柱状图ZK14-1

钻孔柱状图

第 2 页 共 6 页

工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程										
工程编号		17K221			钻孔编号		ZK14					
孔口高程(m)		-27.78	坐标 (m)	X = 2514780.90		开工日期		2018.03.15		稳定水位深度(m)		
孔口直径(mm)		127.00		Y = 413697.76		竣工日期		2018.03.20		测量水位日期		
地层 编号	时代 成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征				取 样 (m)	标贯 击数 (击)	
③ ₁	Q ₄ al	-49.83	22.10	5.50		粉质粘土: 灰色, 饱和, 可塑, 含较多粉细砂, 局部夹薄层细砂或细砂斑, 局部含少量贝壳碎, 21.8-22.1米为粘土, 切面粗糙, 粘性较大。				9 17.00-17.20	-8.00 17.40-17.70	
										10 19.00-19.20	-6.00 19.40-19.70	
										11 21.00-21.20	-5.00 21.40-21.70	
										12 23.00-23.20	-8.00 23.40-23.70	
③ ₂	Q ₄ al	-53.58	25.80	3.70		粘性土夹砂: 灰色, 饱和, 可塑, 粘性土为主, 单层厚度一般为5-6cm, 夹较多薄层细砂, 单层厚度一般为3-4cm。表层呈粘性土混砂状。				13 24.80-25.00	-9.00 25.20-25.50	
14 26.20-26.40										-13.00 26.60-26.90		
15 27.60-27.80										-40.00 27.95-28.25		
16 29.60-29.80										-47.00 29.95-30.25		
③ ₃	Q ₄ al	-54.58	26.80	1.00		粉质粘土: 灰色, 饱和, 可塑, 含较多粉细砂, 局部夹薄层细砂或细砂斑, 切面稍光滑, 粘性较大。				17 31.10-31.30	-45.00 31.45-31.75	
18 32.80-33.00										-50.00 33.15-33.45		
19 34.80-35.00										-58.00 35.15-35.45		
20 36.80-37.00										-66.00 37.15-37.45		
③ ₄	Q ₄ al	-55.18	27.40	0.60		砂混粘性土: 灰色, 饱和, 中密, 粗砾砂为主, 混约25%的粘性土。				21 38.10-38.30	-55.00 38.45-38.75	
22 39.60-39.80										-63.00 39.85-40.15		
23 41.60-41.80										-71.00 41.85-42.15		
24 43.60-43.80										-79.00 43.85-44.15		
③ ₅	Q ₄ al	-56.08	28.30	0.90		粗砂: 灰黄色, 饱和, 密实, 含少量粘粒, 颗粒级配良, 磨圆度一般。				25 45.10-45.30	-63.00 45.35-45.65	
26 46.60-46.80										-71.00 46.85-47.15		
27 48.60-48.80										-79.00 48.85-49.15		
28 50.60-50.80										-87.00 50.85-51.15		
③ ₆	Q ₄ al	-60.78	33.00	4.70		细砂: 灰色, 饱和, 密实, 含少量粘粒, 局部夹微薄层粘性土, 颗粒级配不良。				29 51.10-51.30	-91.00 51.35-51.65	
										30 52.60-52.80	-99.00 52.85-53.15	
④ ₁	Q ₄ al									31 53.80-54.00	-107.00 54.05-54.35	
中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制 王 校核 王 审核 王 图号 附图3-76												

图5-61 钻孔柱状图ZK14-2

钻孔柱状图

第 3 页 共 6 页

工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场(1400MW)一期工程后湖风电场(500MW)工程							
工程编号		17K221			钻孔编号	ZK14			
孔口高程(m)		-27.78	坐标 (m)	X = 2514780.90	开工日期	2018.03.15	稳定水位深度(m)		
孔口直径(mm)		127.00		Y = 413697.76	竣工日期	2018.03.20	测量水位日期		
地层 编号	时代成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征		取 样 (m)	标贯 击数 (击)
④ ₁	Q ^{meol} ₃					粉质粘土: 黄灰色, 少量青灰色, 湿, 坚硬, 含较多粉细砂, 37.4-37.8米呈粘性土混砂状, 切面稍光滑, 粘性较大。	19 34.70-34.90	-39.00 35.10-35.40	
							20 36.50-36.70	-54.00 36.90-37.20	
		-66.78	39.00	6.00			21 38.30-38.50	-34.00 38.70-39.00	
④ ₂						粗砾砂: 灰色, 饱和, 密实, 含少量粘粒, 局部夹微薄层粘性土, 颗粒级配良, 磨圆度好。	22 40.30-40.50	-37.00 40.65-40.95	
		-71.78	44.00	5.00			23 42.30-42.50	-40.00 42.65-42.95	
④ ₃						砾砂: 灰黄色, 饱和, 密实-极密实, 含少量粘粒, 局部夹粘性土团块, 颗粒级配良, 磨圆度好。	24 44.30-44.50	-50.00 44.65-44.95	
		-75.18	47.40	3.40			25 46.30-46.50	-52.00 46.65-46.95	
⑤ ₁						粉质粘土: 灰色, 顶部0.15米呈黄色, 湿, 硬塑, 含较多粉细砂, 局部夹微薄层细砂或细砂斑, 切面粗糙, 粘性一般。	26 48.30-48.50	-19.00 48.70-49.00	
⑤ ₂							粘土: 灰色, 湿, 硬塑, 含少量粉细砂, 局部夹微薄层细砂, 切面光滑, 粘性大。		

中交第四航务工程勘察设计院有限公司	编制	洪	校核	成	审核	王	图号	附图3-77
-------------------	----	---	----	---	----	---	----	--------

中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制 洪 校核 王 审核 图号 附图3-77

图5-62 钻孔柱状图ZK14-3

钻孔柱状图

第 4 页 共 6 页

工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程								
工程编号		17K221			钻孔编号		ZK14			
孔口高程(m)		-27.78	坐标 (m)	X = 2514780.90	开工日期		2018.03.15	稳定水位深度(m)		
孔口直径(mm)		127.00		Y = 413697.76	竣工日期		2018.03.20	测量水位日期		
地层 编号	时代 成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征			取 样 编 号	标贯 击数 (击)
⑤ ₁	Q ₄ ^{meol}	-79.38	51.60	2.60		粘土: 灰色, 湿, 硬塑, 含少量粉细砂, 局部夹微薄层细砂, 切面光滑, 粘性大。			50.30-50.50	~18.00 50.70-51.00
⑤ ₁		-81.68	53.90	2.30		粘性土夹砂: 灰色, 饱和, 硬塑, 粘性土为主, 单层厚度一般为6-12cm, 夹较多微薄层细砂, 单层厚度一般为4-8cm。			28 52.30-52.50	~20.00 52.70-53.00
⑤ ₁		-83.08	55.30	1.40		粘土: 灰色, 湿, 硬塑, 含少量粉细砂, 局部夹微薄层细砂, 切面光滑, 粘性大。			29 54.20-54.40	~18.00 54.60-54.90
⑤ ₁						粉质粘土: 灰色, 湿, 硬塑, 含较多粉细砂, 局部夹微薄层细砂或细砂斑, 切面粗糙, 粘性较大。64.5-64.7米夹泥质或钙质胶结块。			30 56.00-56.20	~19.00 56.40-56.70
									31 58.00-58.20	~18.00 58.40-58.70
									32 59.80-60.00	~20.00 60.20-60.50
									33 61.70-61.90	~17.00 62.00-62.30
⑥ ₁						粘性土夹砂: 灰色, 饱和, 硬塑, 粘性土为主, 单层厚度一般为4-6cm, 夹较多微薄层细砂, 单层厚度一般为2-3cm。底部0.1米夹钙质胶结块。			34 63.70-63.90	~19.00 64.00-64.30
									35 65.60-65.80	~17.00 66.00-66.30

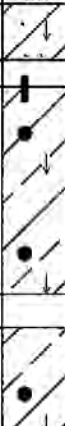
中交第四航务工程勘察设计院有限公司	编制	张松	校核	白成	审核	王	图号	附图3-78
-------------------	----	----	----	----	----	---	----	--------

中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制: 张松 校核: 王成 审核: 王成 图号: 附图3-78

图5-63 钻孔柱状图ZK14-4

钻孔柱状图

第 6 页 共 6 页

工程名称		广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风电场（500MW）工程												
工程编号		17K221				钻孔编号		ZK14						
孔口高程(m)		-27.78		坐标 (m)	X = 2514780.90		开工日期		2018.03.15		稳定水位深度(m)			
孔口直径(mm)		127.00			Y = 413697.76		竣工日期		2018.03.20		测量水位日期			
地层 编号	时代 成因	层底 高程 (m)	层底 深度 (m)	分层 厚度 (m)	柱状图 1:100	岩土名称及其特征						取 样 (m)	标贯 击数 (击)	
⑥ ₆	Q ^{me4} ₁	-112.28	84.50	1.80		粘性土夹砂: 灰色, 湿, 可塑-硬塑, 含较多粉细砂, 局部夹微薄层细砂或细砂斑, 切面稍光滑, 粘性较大。						71 84.73-84.90	-22.00 83.90-84.20	
⑥ ₇		-112.68	84.90	0.40										
⑥ ₆						胶结层: 灰白色, 坚硬, 贝壳碎为主, 钙质胶结, 岩芯呈短柱状, 锤击难断。 粉质粘土: 灰色, 湿, 硬塑, 含较多粉细砂, 局部夹微薄层细砂或细砂斑, 切面稍光滑, 粘性较大。84.5-84.9米夹泥质或钙质胶结块。						45 85.50-85.70	-25.00 85.90-86.20	
⑥ ₇		-115.78	88.00	3.10										
⑥ ₆			-116.28	88.50		0.50	胶结层: 灰白色, 坚硬, 贝壳碎为主, 钙质胶结, 岩芯呈短柱状, 锤击难断。 粉质粘土: 灰色, 湿, 硬塑, 含较多粉细砂, 88.5-88.8米夹较多细砂, 切面稍光滑, 粘性较大。						46 87.30-87.50	-29.00 87.70-88.00
⑥ ₆		-117.88	90.10	1.60										

中交第四航务工程勘察设计院有限公司	编制	校核	审核	图号	附图3-80
-------------------	----	----	----	----	--------

中交第四航务工程勘察设计院有限公司 编制  校核  审核  图号 附图3-80

图5-65 钻孔柱状图ZK14-6

5.2.2 地形地貌与海床冲淤

5.2.2.1 地形地貌

登陆点位于碣石镇东南的小海湾，海岸类型为沉积型沙质海岸，岸线为东北-西南走向，岸线比较稳定，海岸沙滩比较宽缓（图 5-66），海岸沙堤高程 1-2m。沙堤向陆内侧为防护林带。靠近登陆点的近岸段礁石较少，海床平坦宽阔。

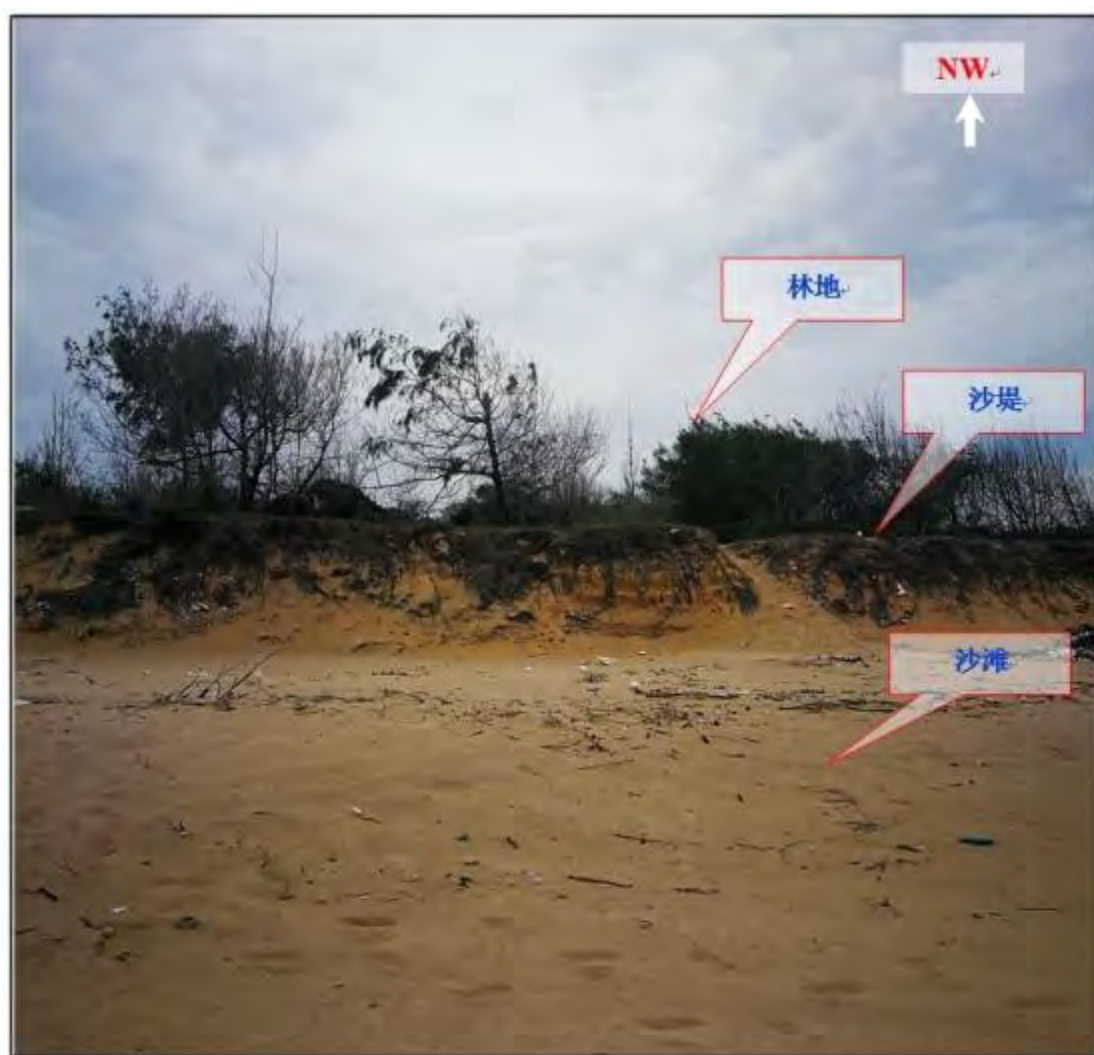


图5-66 登陆点地貌特征

登陆海缆路由大部分区域为水下岸坡，地貌类型包括海岸沙堤、沙滩、近岸水下浅滩和水下岸坡这几种类型（图 5-67）。



（据《中国海岸带和海涂资源综合调查图集，广东省粤东分册，碣石湾图幅》，国家海洋局、国家测绘局，1989.）

风电场区位于湖东镇至甲东镇西南侧海域约 10 公里，水深在 23~28m 之间，海底地貌形态较简单，海底地形相对平缓。

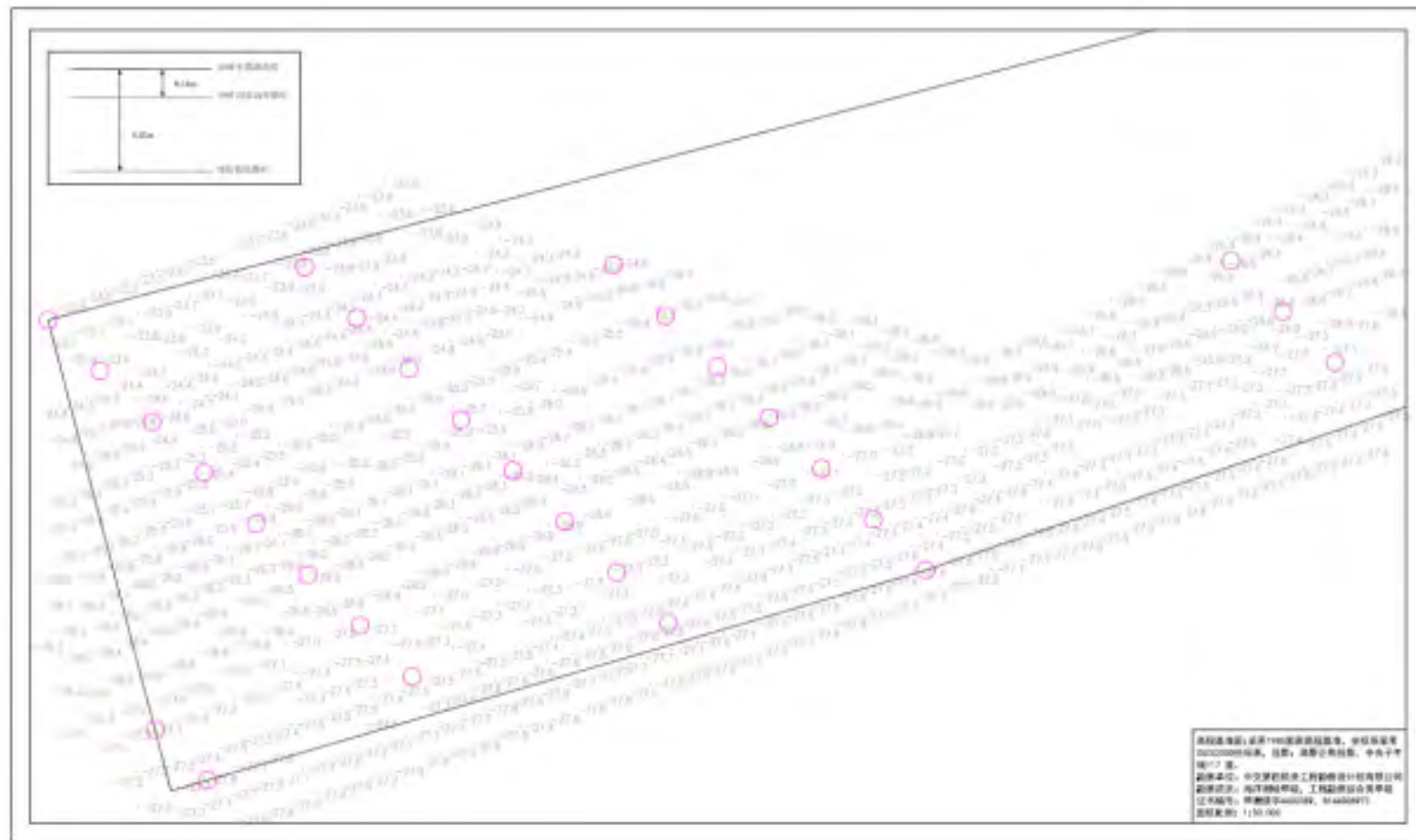


图5-68 实测水深图 3-1

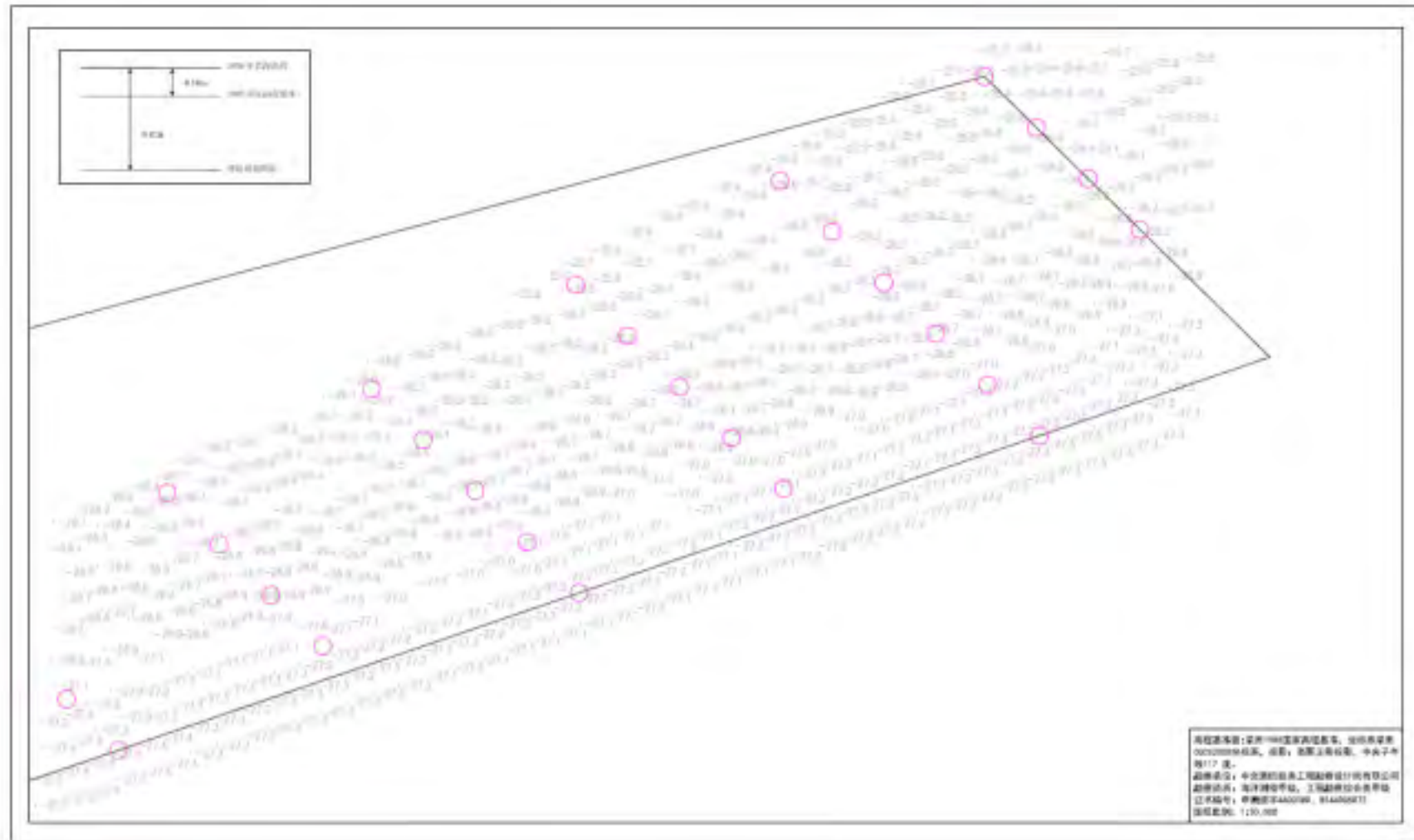


图5-69 实测水深图 3-2

5.2.2.2 海床冲淤变化

(1) 登陆点水陆分界线演变

1) 登陆点附近水陆分界线演变

登陆点 N 的岸线后退现象，近几年来表现明显。采用遥感图（BIGMAP 上下载，分辨率 2.26m），提取其水陆分界线绘制岸线图（图 5-71）可知，在本项目登陆点 N 附近，岸线处于侵蚀后退趋势，有些地区较为严重（如登陆点 N1 西南 600m 处，从 2013 年至 2017 年间有将近 60m 的蚀退）。



图5-71 登陆点 N 邻近海岸 2013-2017 历年岸线变化

在登陆点 N1 处（图 5-72），2013 年 1 月 6 日～2015 年 1 月 19 日，岸线后退约 8.4m；2015 年 1 月 19 日～2016 年 12 月 12 日，岸线后退约 8.8m；从 2016 年 12 月 12 日～2017 年 11 月 10 日，岸线后退约 3.5m；平均每年约 4m。

在登陆点 N2 处，2013 年 1 月 6 日～2015 年 1 月 19 日，岸线后退约 3.1m；2015 年 1 月 19 日～2016 年 12 月 12 日，岸线后退约 5.7m；从 2016 年 12 月 12 日～2017 年 11 月 10 日，岸线后退约 6m；平均每年约 3.2m。

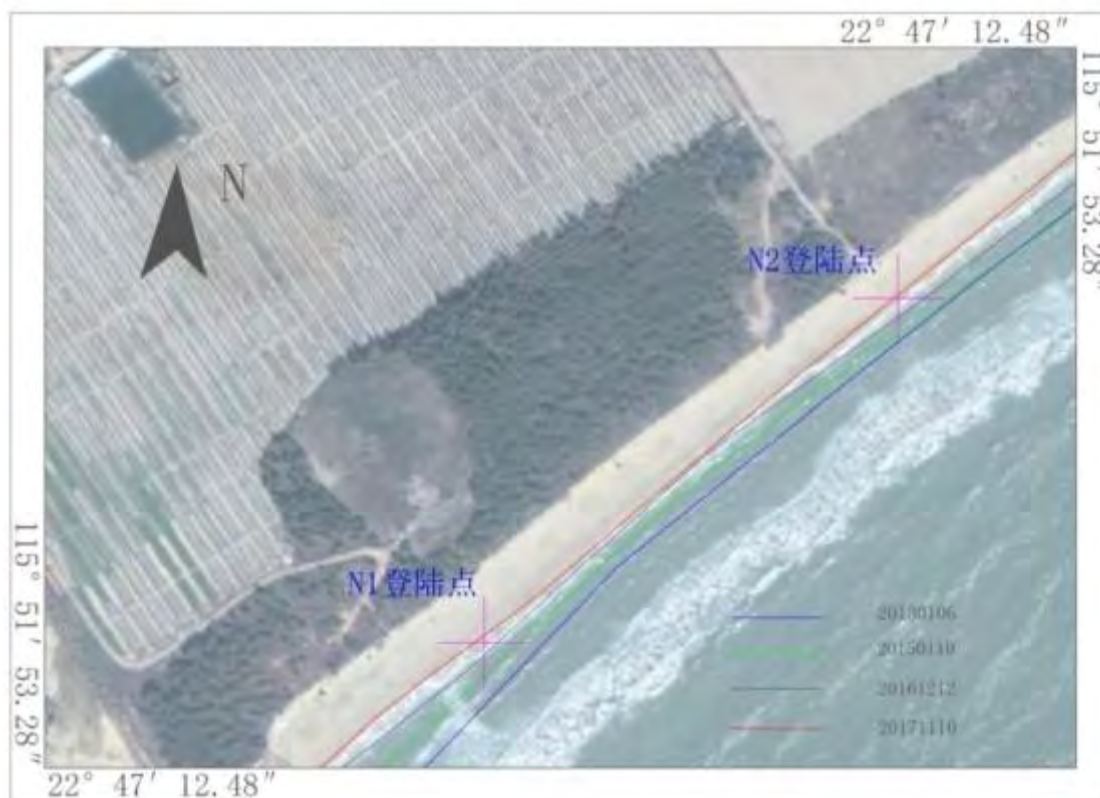


图5-72 登陆点 N 海岸 2013-2017 历年岸线变化

2) 岸线侵蚀后退原因分析

从登陆点附近泥沙来源来看，主要有以下几个来源：①项目附近无直接注入河流，只有少量小河流汇入，而且集水面积小，因此登陆点附近海岸接受河流输沙的量较少；②海上侵蚀来沙：通过对冬季测验各个测站的垂线平均含沙量进行统计，水文测验期间垂线平均最大含沙量，大潮为 0.0368 kg/m^3 ；中潮为 0.0483 kg/m^3 。根据项目附近海域含沙量可知，海上来沙较少；③沿岸来沙：在水动力作用下，泥沙的沿岸运动。不同季节不同浪向作用下，泥沙运动方向不同。

对海岸冲淤变化影响的主要因素是泥沙来源和水动力条件，在两者都不变的情况下，海岸基本处于动态平衡状态。对于本项目登陆点附近，河流来沙和海上来沙有限且变化不大。但是根据历史遥感图（图 5-73），可以发现，在 2016 年和 2017 年有采砂船在登陆点西南侧约 600 附近进行采砂，从而影响了沿岸泥沙运动的平衡状态。当泥沙在偏东向浪的作用下，自东向西运动，登陆点附近岸滩的泥沙会运移至其下游西南侧岸滩。但是，由于人为的采砂，造成岸滩泥沙的减少，在偏西向浪作用时，泥沙不能在水动力的作用下回到登陆点附件，从而造成登陆点附件岸滩的

侵蚀。2017 年由于人工硬护岸的建设，阻断了泥沙继续往西南侧运移，因而侵蚀相对减小。因而推测项目附件岸滩侵蚀的主要原因为人类的采砂活动。



图5-73 登陆点 N 海岸西南侧岸段的人类活动

（2）风电场区冲淤演变

为揭示项目所在海区水下岸滩演变规律，分别对 2002 年和 2018 年工程海域附近测量的海图进行数字化，并将地图投影、坐标系、水深基准面变换统一后，进行叠加分析，获得水下岸滩演变结果，如下图 5-74 所示。其中，水下地形资料来源：（1）2006 年 09 月出版的石碑山角至遮浪角 1:15 万比例尺海图，坐标系统为 WGS-84 坐标系。项目附近水深测量时间 2002 年；深度基准面为理论最低潮面。

（2）2018 年风电场区水下地形测量数据，《汕尾后湖海上风电场（500MW）项目工程测量技术报告》数据，坐标系统为 CGCS2000 坐标系，深度基准为理论最低潮面。

2018 年 4 月对风电场工程区域进行了理论最低潮面高程测量，见图 5-75，两风电场工程区理论最低潮面高程约在 -24m~-28m 之间，大部分区域均在 -26m 以下，等深线基本岸线平行，相对于 2003 年，工程区理论最低潮面高程有较为明显的降低。2003 年~2018 年期间，左侧风电场工程区域表现出整体的冲刷状态，工程区域内冲刷程度较为一致，基本分布在 0~0.08m/a 之间，大部分区域的冲刷速率在 0.04m/a 左右。右侧风电场工程区域也呈现出整体的冲刷状态，整体冲刷速率比左侧工程区域偏大，其中项目左侧位置存在一个冲刷高值区，冲刷速率约为 0.24m/a，除此之外，其他区域冲刷速率基本均在 0.1m/a 以内。

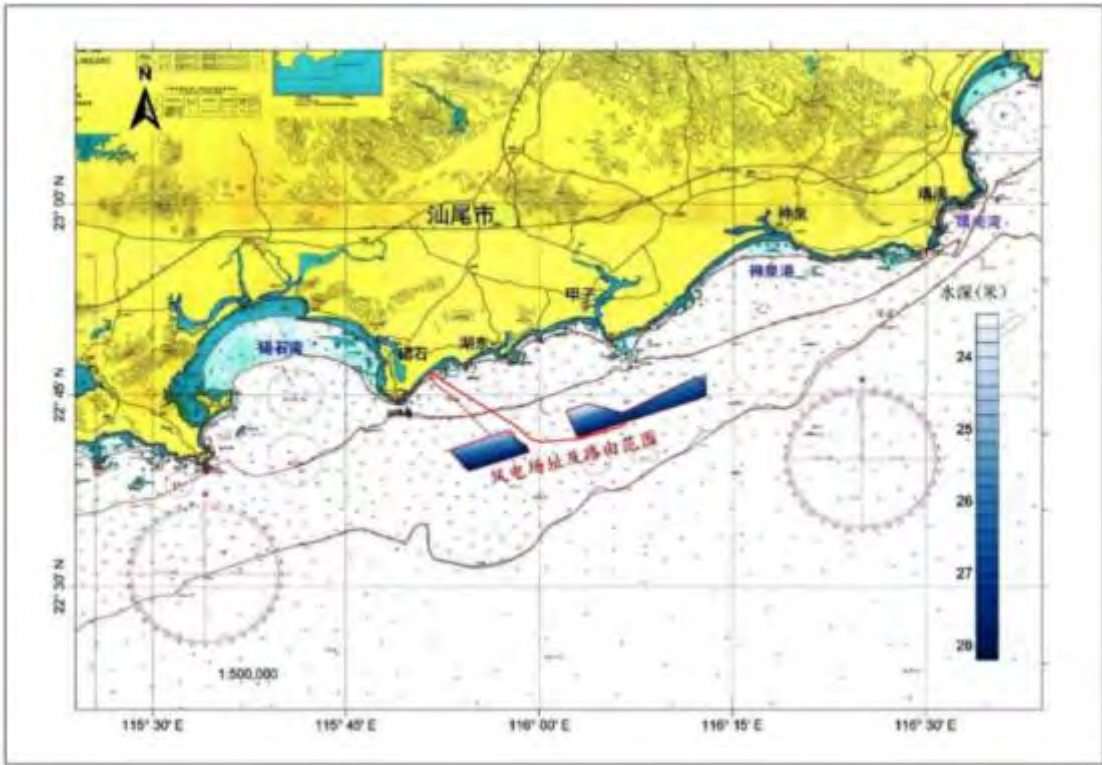


图5-74 风电场区水下地形测量数据

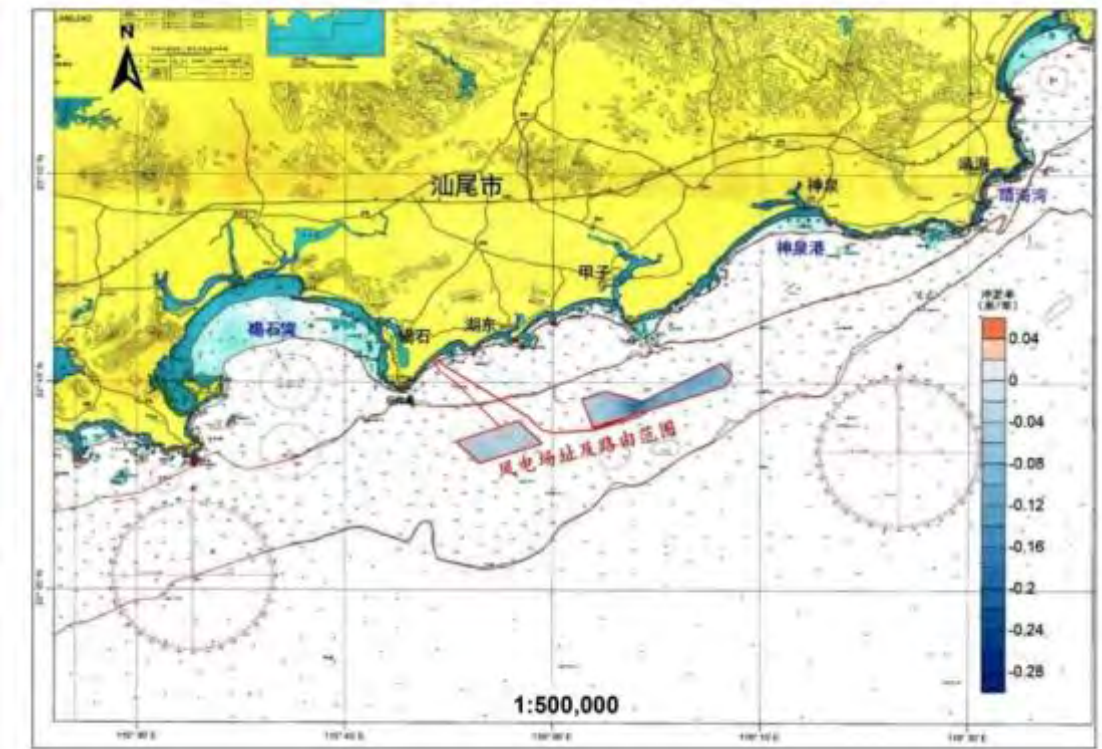


图5-75 水下地形冲淤率变化图（2003-2018）

5.3 海水水质现状调查与评价

5.3.1 调查概况

5.3.1.1 调查站位

(1) 2017 年 11 月在项目附近海域开展了 30 个站水质调查。站位布设信息见表 5-45 和图 5-76。

(1) 2018 年 3 月在项目附近海域开展了 30 个站水质调查。站位布设信息见表 5-45 和图 5-76。

表5-45 水质、沉积物和生态调查站位坐标

站号	经度	纬度	调查内容
1	116°21' 53.48"	22°54' 25.01"	水质
2	116°21' 55.09"	22°44' 41.13"	水质、生态、沉积物
3	116°21' 57.30"	22°31' 42.72"	水质
4	116°12' 58.24"	22°31' 05.67"	水质、生态、沉积物
5	116°12' 59.19"	22°36' 19.28"	水质、生态
6	116°12' 53.91"	22°44' 23.11"	水质、生态、沉积物
7	116°12' 51.88"	22°50' 37.00"	水质
8	116°07' 08.86"	22°46' 42.03"	水质、生态、沉积物
9	116°07' 14.24"	22°43' 41.21"	水质
10	116°07'10.78"	22°38'34.39"	水质、生态、沉积物
11	116°07'05.76"	22°31'09.36"	水质
12	116°02'52.43"	22°31'27.43"	水质
13	116°02'55.17"	22°35'32.82"	水质、生态、沉积物
14	116°02'40.95"	22°40'04.37"	水质
15	116°02'46.17"	22°42'47.97"	水质、生态、沉积物
16	116°02'52.43"	22°45'46.78"	水质、生态
17	116°02'52.43"	22°48'36.56"	水质、生态、沉积物
18	115°58'42.73"	22°46'29.27"	水质、生态、沉积物
19	115°58'35.78"	22°41'43.90"	水质
20	115°58'33.79"	22°39'03.36"	水质、生态、沉积物
21	115°58'31.60"	22°35'21.12"	水质
22	115°58'24.47"	22°31'18.88"	水质、生态、沉积物
23	115°52'45.41"	22°31'19.50"	水质
24	115°52'49.53"	22°35'15.10"	水质、生态
25	115°52'54.50"	22°40'00.08"	水质、生态、沉积物
26	115°52'59.43"	22°44'42.63"	水质
27	115°44'07.98"	22°49'23.41"	水质、生态、沉积物
28	115°44'13.70"	22°39'56.74"	水质、生态
29	115°44'18.91"	22°31' 20.42"	水质、生态、沉积物
30	115°38' 02.22"	22°31' 20.76"	水质、生态、沉积物

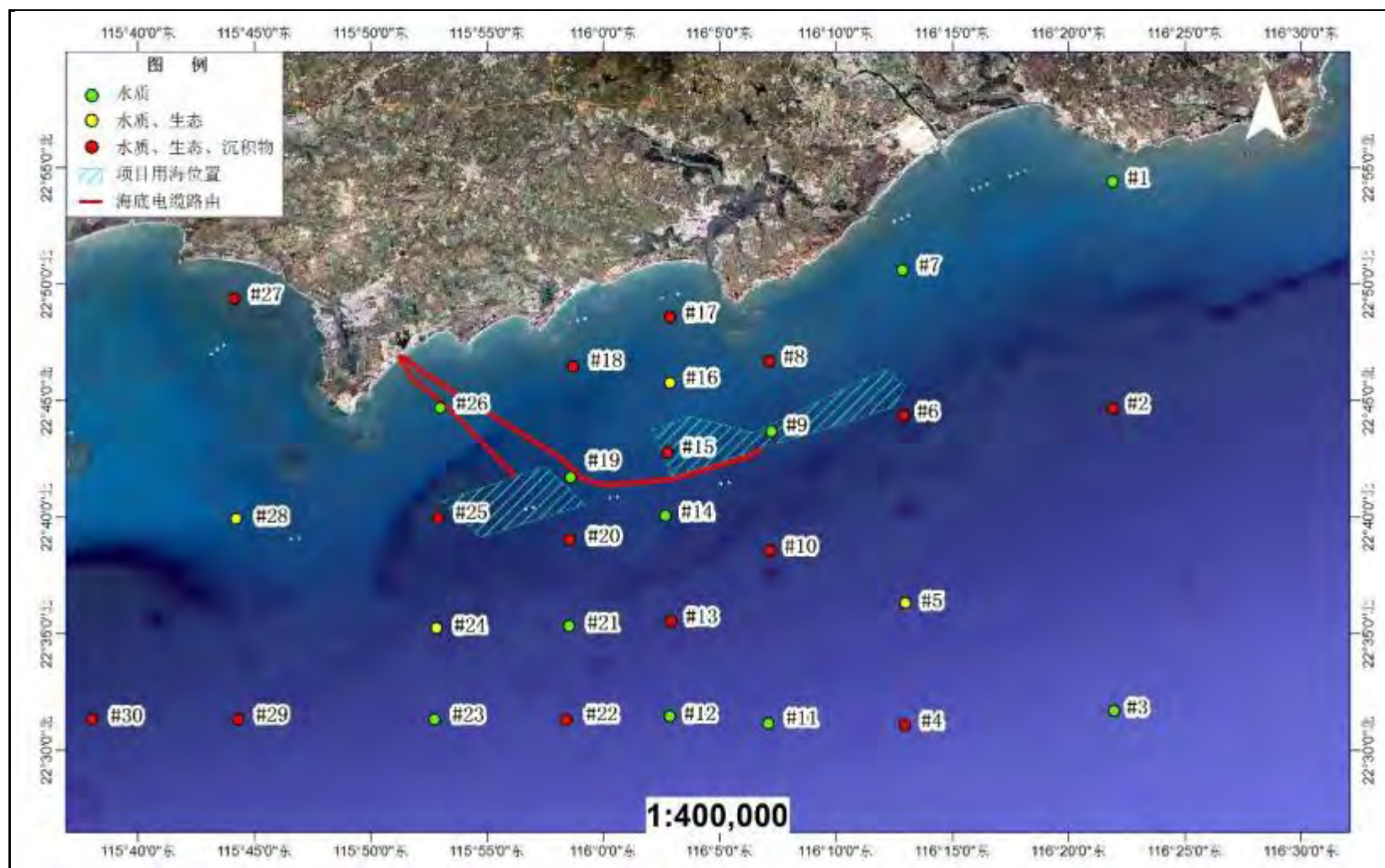


图5-76 水质、沉积物和生态现状调查站位分布图

5.3.1.2 调查项目和调查方法

春、秋两季季海水水质调查项目包括：水深、水温、透明度、pH 值、盐度、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐、活性磷酸盐、硫化物、石油类、汞、砷、铜、铅、锌、镉、铬、叶绿素 a 等 22 项。

样品的采集、保存、运输和分析均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007) 和《海洋监测规范》(GB17378-2007) 中的规定进行。

调查期间分涨、退潮对每个站位表、底层各采样一次。样品的采集、保存、运输和分析均按《海洋监测规范》(GB17378-2007) 和《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007) 的要求进行。各项目分析方法见样品监测报告。根据现场水深调整具体采样层次：①当水深<10m 时，只采取表层样；②当水深≥10m 且<25m 时，采表层和底层水样；③当水深≥25m，采表层、10m 水深以及底层水样。

5.3.2 海水水质现状及评价

5.3.2.1 调查结果

水环境质量调查的结果分别见表 5-46 和表 5-47 所示。

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

表5-46 2017 年 11 月海水水质调查结果

站号	采样层次	水温	透明度	pH 值	盐度	悬浮物	溶解氧	化学需氧量	氨氮	亚硝酸盐	硝酸盐	活性磷酸盐	石油类	砷	总汞	铜	铅	锌	镉	硫化物
		(℃)	(m)		(‰)	(mg/L)								(μg/L)						
1	表	25.6	1.1	8.08	32.396	6.8	8.6	0.44	0.017	0.0045	0.1313	0.0209	0.0287	0.9	0.013	1	0.46	12.1	0.1	1.7
	底	25.3		8.05	32.45	8.5	8	0.77	0.01	0.005	0.1207	0.0234	--	0.8	0.014	0.6	0.4	19.3	0.02	1.6
2	表	26.2	1.3	8.07	32.591	3	8.4	0.68	0.014	0.0047	0.1088	0.0215	0.0153	0.8	0.01	0.8	0.57	10.1	0.03	2
	10m	25.8		8.06	32.949	3.1	7.6	0.53	0.007	0.0049	0.0783	0.0148	--	1	0.01	0.7	0.36	12.8	0.02	1.4
	底	25.3		8.07	32.831	2.6	7.9	0.53	0.01	0.0047	0.0592	0.0184	--	0.9	0.01	0.7	0.42	19.3	0.03	1.6
3	表	26.3	1.7	8.1	33.374	2	7.8	0.29	0.017	0.0079	0.0511	0.0117	0.0161	0.9	ND	1.1	0.42	12.5	0.11	1.4
	10m	25.8		8.07	33.577	2.3	8.1	0.38	0.029	0.0048	0.0193	0.0056	--	1	0.01	0.9	0.47	18.3	0.09	1.7
	底	25.5		8.09	33.701	4.1	7.9	0.37	0.024	0.0067	0.0456	0.0044	--	0.9	0.008	0.7	0.82	12.5	0.04	1.6
4	表	26.1	1.8	8.04	33.082	5.8	7.4	0.2	0.016	0.0045	0.0389	0.012	0.0297	0.8	0.012	0.8	0.55	18.3	0.05	1.9
	10m	25.8		8.07	33.337	4.4	7.3	0.33	0.016	0.0072	0.1057	0.0103	--	1	0.01	0.7	0.89	18.3	0.04	1.7
	底	25.4		8.06	33.334	4.5	8.2	0.3	0.012	0.0069	0.1324	0.0081	--	1	0.01	0.5	0.19	19.8	0.04	1.7
5	表	26.4	1.5	8.06	32.673	5.3	7.5	0.42	0.008	0.0045	0.0467	0.0083	0.0134	0.9	ND	1.2	0.7	17.8	0.18	0.5
	10m	25.9		7.98	32.84	4.2	8	0.23	0.024	0.0062	0.1515	0.0164	--	1.1	0.013	0.7	0.19	13.5	0.11	1.1
	底	25.8		8.08	33.182	5.9	7.4	0.89	0.011	0.0075	0.1216	0.0125	--	0.9	0.009	0.7	0.48	15.2	0.05	1.1
6	表	24.6	1.3	8.05	32.487	7.4	8.2	0.3	0.004	0.0076	0.0878	0.0212	0.0316	0.9	0.008	0.7	0.2	10	0.02	1.6
	10m	24.5		8.06	32.5	7.4	7.7	0.28	0.027	0.0016	0.1453	0.0245	--	1	0.009	1.5	1.04	13.2	0.08	1.7
	底	24.3		8.06	32.606	5.6	7.7	0.3	0.007	0.0055	0.0842	0.0217	--	0.9	0.01	0.8	0.39	8.3	0.02	1.4
7	表	25.1	1.5	7.98	32.45	7.8	8.2	0.29	0.013	0.0026	0.1322	0.0215	0.0148	0.9	ND	0.7	0.28	13.8	0.06	1.6
	10m	25		8.08	32.447	6.1	7.4	0.3	0.007	0.0043	0.1394	0.0251	--	1.1	ND	0.8	0.06	12.5	ND	1.4
	底	24.7		8.05	32.765	9.3	8.1	0.31	0.021	0.0071	0.1151	0.0209	--	1.1	ND	0.9	0.1	11.9	ND	1.6
8	表	24.9	1.2	8.07	32.43	7	8.1	0.21	0.043	0.0099	0.1205	0.0248	0.0184	0.8	ND	1.3	0.17	14	0.02	1.3
	底	24.7		8.01	32.487	7.2	8	0.14	0.011	0.0076	0.1376	0.0234	--	0.8	ND	0.8	0.07	9.1	ND	3.1
9	表	27.6	1.6	8.03	32.522	4	8.1	0.3	0.021	0.0052	0.1192	0.0234	0.0192	0.8	ND	1.5	0.2	10.6	0.01	2.1
	10m	27.4		8.05	32.673	4.4	7.5	0.37	0.01	0.0046	0.104	0.0209	--	0.8	0.01	0.7	0.53	9.7	0.02	1.7
	底	27.1		8.07	32.651	4.8	7.8	0.34	0.009	0.0062	0.1034	0.0203	--	0.9	0.008	0.8	0.27	8.4	0.04	2.5

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

10	表	27.8	2.1	8.1	33.414	4.1	7.3	0.39	0.005	0.0042	0.0035	0.0086	0.0197	0.9	0.008	1	2.34	14	0.02	1.3
	10m	27.5		8.09	33.495	3.5	6.8	0.4	0.015	0.0053	0.0039	0.0072	--	1	0.012	0.5	0.93	16	0.06	1.5
	底	27		8.12	33.492	3.5	6.7	0.48	0.013	0.0051	0.0076	0.0078	--	1	0.016	0.4	2.01	17	0.06	1.3
11	表	27.6	2.8	8.09	34.204	2.8	6.5	0.51	0.013	0	0.0107	0.0019	ND	1	0.008	0.2	1.3	11.4	0.06	1.1
	10m	27.3		8.19	34.132	2.8	6.8	0.26	0.004	0.0001	0.0095	0.0086	--	0.8	0.008	1.1	0.55	14.3	0.02	1.5
	底	26.8		8.18	34.178	1.4	7.7	0.68	0.014	0.0005	0.0067	0.0017	--	0.9	ND	0.2	0.55	9.8	0.02	1.9
12	表	27.2	1.9	8.09	33.707	4.9	7.6	0.33	0.026	0.0097	0.0404	0.0086	0.014	1	0.01	0.6	1.24	16.7	ND	1.6
	10m	27		8.08	33.722	1.8	6.5	0.4	0.012	0.0041	0.0027	0.0075	--	1	ND	0.3	0.89	13	ND	1.5
	底	26.9		8.07	33.742	4.4	7.2	0.4	0.006	0.0071	0.017	0.007	--	1	ND	1	0.66	12	0.05	1.4
13	表	27.1	2	8.08	33.709	3.4	7.6	0.4	0.009	0.0016	0.0613	0.0067	0.0106	1	0.016	1.3	1.44	13.1	0.05	1.1
	10m	26.7		8.1	33.615	4	8.1	0.48	0.019	0.0071	0.0538	0.0058	--	1	0.013	1	0.99	8.2	0.06	1.6
	底	26.4		8.08	33.601	2.6	8.1	0.5	0.005	0.0065	0.0261	0.0075	--	1.1	0.012	0.4	0.27	6	0.1	1.5
14	表	27	1.5	8.07	32.846	6.5	7	0.55	0.03	0.0037	0.0393	0.0072	0.0342	1.1	0.008	1.2	0.56	19.4	0.07	1.5
	10m	26.7		8.07	32.865	6	8	0.58	0.02	0.0036	0.0884	0.0088	--	1	ND	0.4	0.98	16	0.08	1
	底	26.5		8.12	33.211	5.7	8.5	0.57	0.014	0.0034	0.0197	0.0081	--	0.8	0.009	0.4	0.75	16.4	0.03	1.3
15	表	26.8	1.3	8.04	32.651	5	7.3	0.81	0.011	0.0034	0.0517	0.0075	0.0332	1	ND	0.4	0.47	18.6	ND	1.7
	10m	26.7		8.09	32.665	4.6	8.6	0.87	0.013	0.0034	0.0554	0.012	--	1	ND	0.4	0.35	17.6	ND	2
	底	26.4		8.1	32.808	7.8	8.3	0.7	0.009	0.0043	0.1101	0.0125	--	0.9	ND	0.7	0.42	14.2	0.02	1.9
16	表	25.1	0.9	8.06	32.435	9.6	8.1	0.75	0.018	0.0071	0.0871	0.0176	0.018	1	0.01	0.6	0.71	19.1	0.04	1.5
	底	24.7		8.09	32.43	8.7	7.5	0.56	0.004	0.0047	0.0558	0.0181	--	1	0.011	0.4	0.91	12.8	0.11	1.7
17	表	24.9	0.8	8.05	32.19	11	8	1.04	0.008	0.0089	0.1142	0.0086	0.0243	0.9	0.01	0.8	1.32	14.3	0.1	2.1
	底	24.7		8.07	32.323	11.7	8.7	0.94	0.008	0.007	0.1832	0.0184	--	0.8	0.01	0.6	1.4	17.8	0.1	1.7
18	表	23.9	1.6	8.09	32.557	12.5	8.2	0.78	0.046	0.0085	0.0832	0.0242	0.016	0.8	0.009	1	1.54	18.9	0.16	1.2
	底	23.6		8.15	32.512	12.6	8.2	0.56	0.02	0.0018	0.097	0.0251	--	0.9	0.008	0.6	1.1	11.6	0.08	1.4
19	表	27.2	1.6	8.05	32.758	4.9	8.6	0.9	0.014	0.003	0.061	0.0139	0.0199	1	0.009	0.5	1.34	19.3	0.1	1.9
	10m	27.1		8.08	32.759	3.8	8.4	0.56	0.007	0.0029	0.0366	0.0148	--	0.9	0.011	0.4	0.9	15.2	0.08	1.6
	底	26.9		8.04	32.865	6.7	8.5	0.55	0.008	0.0047	0.0846	0.0134	--	0.9	0.01	0.4	0.84	12.6	0.07	1.7
20	表	27.1	1.4	8.04	33.006	4.8	8.4	0.72	0.014	0.0048	0.0877	0.0162	0.025	0.8	0.01	0.5	0.64	10.8	0.05	1.5
	10m	26.9		8.04	33.06	4.6	8.5	0.71	0.017	0.0053	0.0959	0.0131	--	0.8	0.012	0.5	0.7	14.2	0.11	1.9
	底	26.8		8.03	33.069	4	7.2	0.64	0.012	0.0049	0.045	0.0134	--	0.8	0.01	0.3	0.32	14.6	0.07	1.6

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

21	表	26.9	1.7	8.15	33.579	2.4	7.4	0.6	0.01	0.0028	0.0021	0.0036	0.0125	0.9	0.008	0.3	1.59	15.6	0.14	1.6
	10m	26.8		8.09	33.611	4.2	8.7	0.64	0.013	0.0036	0.0091	0.0047	--	0.8	ND	0.4	1.87	10.7	0.04	1.5
	底	26.7		8.08	33.629	6.9	8.3	0.87	0.015	0.0027	0.0108	0.005	--	0.9	ND	0.3	0.94	19.1	0.03	1.3
22	表	27.2	2.1	8.07	33.583	4.2	8.6	0.63	0.005	0.0061	0.0211	0.0043	0.0251	0.9	0.008	0.3	0.16	12.7	0.03	1.6
	10m	27.1		8.09	33.58	1.7	7	0.83	0.01	0.0024	0.0253	0.0039	--	1	0.009	0.3	0.24	14.4	0.03	1.8
	底	27.1		8.14	33.632	2	8	1.02	0.016	0.004	0.0305	0.0053	--	1	0.009	0.2	0.23	16	0.03	1.9
23	表	23.4	2.5	8.19	33.701	5.1	8.4	0.68	0.011	0.0054	0.0272	0.0038	0.0226	0.9	0.01	0.7	0.12	10.8	0.07	1.1
	10m	23.2		8.2	33.781	7.8	8	0.72	0.018	0.0017	0.0256	0.0061	--	1	ND	0.3	0.37	8	0.03	0.8
	底	22.9		8.13	33.776	5.1	8.6	0.25	0.007	0.0008	0.0104	0.0047	--	0.9	ND	0.4	0.71	18.2	0.04	1
24	表	23.7	2.1	8.08	33.249	4.9	7.7	0.97	0.023	0.0026	0.0692	0.0198	0.0178	0.8	0.014	1.8	0.32	12.4	0.04	1
	10m	23.6		8.11	33.473	5.7	7.9	0.74	0.02	0.0034	0.0857	0.0114	--	1	0.021	1.4	0.33	15.8	0.04	1
	底	23.1		8.11	33.265	8.8	7.8	0.33	0.016	0.0103	0.0595	0.0159	--	1	0.016	1.4	0.71	11	0.05	1.6
25	表	24	1.8	8.13	33.044	9.8	7.8	0.62	0.024	0.0015	0.0884	0.0162	0.0133	0.9	0.008	1	1.3	14	0.22	1.2
	底	23.7		8.1	32.984	13.1	8	0.97	0.027	0.0019	0.0454	0.012	--	0.8	0.008	0.7	1.44	17.6	0.18	1.3
26	表	24.1	1.7	8.09	32.602	8.7	7.5	1.04	0.018	0.0026	0.1095	0.0195	0.0114	0.9	ND	0.8	0.73	12.3	0.05	1.4
	底	23.8		8.07	32.57	11.4	7.2	0.95	0.038	0.0022	0.1297	0.0217	--	1	0.008	1	1	18	0.06	1.3
27	表	21.7	1.7	8.2	32.664	12.4	7.5	1.33	0.028	0.0024	0.0109	0.0042	0.0211	0.8	0.008	1.6	0.03	13.5	0.16	1.4
	底	21.2		--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
28	表	22.2	2.1	8.12	32.723	6.5	7.5	1.27	0.03	0.0033	0.1278	0.0189	0.0119	0.8	0.01	0.8	0.3	16.3	0.06	1.2
	底	21.6		8.11	32.687	9	7.6	0.96	0.034	0.0014	0.0301	0.0139	--	0.9	ND	0.5	0.69	15.8	0.04	1.4
29	表	23	2.3	8.18	33.412	5.4	7.4	1.16	0.034	0.0003	0.0208	0.003	0.0247	0.9	0.017	0.4	0.31	18	0.03	1.5
	10m	22.6		8.14	33.39	8.5	7.3	1.19	0.051	0.0002	0.0243	0.0028	--	0.9	0.013	0.4	0.54	13.1	0.04	0.9
	底	22.2		8.12	33.391	3.4	8	1.29	0.062	0.0013	0.0503	0.01	--	1	0.012	0.8	0.78	13.4	0.04	1.2
30	表	22.5	2.2	8.16	32.959	6	8	1.24	0.032	0.0021	0.0796	0.0164	0.0154	0.9	ND	0.8	0.74	14.3	0.05	1.3
	10m	22.3		8.09	32.92	7.9	7.4	1.16	0.059	0.0006	0.0409	0.0178	--	0.9	0.013	1.5	0.31	15.4	0.04	1.1
	底	21.8		8.04	32.997	5.7	7.1	1.12	0.02	0.0032	0.0376	0.0114	--	0.9	0.015	0.6	0.07	10	0.04	1.4

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

表5-47 2018年3月海水水质调查结果

站号	采样层次	水温	透明度	pH值	盐度	悬浮物	溶解氧	化学需氧量	氨氮	亚硝酸盐	硝酸盐	活性磷酸盐	石油类	砷	总汞	铜	铅	锌	镉	铬	硫化物
		(℃)	(cm)		(‰)	(mg/L)															
1	表	16.8	108	8.22	33.06	16.5	8.4	0.4	0.0714	0.0262	0.105	0.0138	0.0103	0.0013	<0.000007	0.003	0.00236	0.026	0.00007	0.0019	0.0027
	底	16.4		8.22	33.08	15.2	8.3	0.33	0.0545	0.0293	0.094	0.0153	—	0.0017	<0.000007	0.0028	0.00305	0.026	0.00008	0.0023	0.0023
2	表	16.8	110	8.19	33.06	20.8	8	0.69	0.0489	0.035	0.1	0.0141	<0.0035	0.0014	<0.000007	0.0015	0.00312	0.026	0.00009	0.0036	0.0027
	底	16.4		8.24	33.09	19.9	8.4	0.5	0.0434	0.0306	0.101	0.0179	—	0.0011	<0.000007	0.0013	0.00101	0.026	0.00007	0.0035	0.0022
3	表	17	102	8.19	33.08	18.7	8.3	0.42	0.0389	0.0316	0.032	0.0167	0.0039	0.0013	<0.000007	0.0033	0.00226	0.026	0.00016	0.0008	0.0034
	底	16.8		8.22	33.08	17.2	8.4	0.5	0.0558	0.0488	0.076	0.0153	—	0.0011	<0.000007	0.0028	0.00148	0.026	0.00014	0.0016	0.003
4	表	17	102	8.23	33.06	20.1	8.6	0.45	0.0614	0.0212	0.24	0.0156	0.0068	0.001	<0.000007	0.0031	0.00167	0.026	0.00021	0.0009	0.0031
	10m	16.8		8.22	33.08	17.6	8.5	0.53	0.0639	0.0367	0.263	0.0167	—	0.0011	<0.000007	0.0028	0.00299	0.019	0.0001	0.0022	0.0034
	底	16.6		8.22	33.08	17.6	8.5	0.41	0.071	0.0316	0.278	0.0173	—	0.0013	<0.000007	0.0028	0.00199	0.02	0.00006	0.0018	0.0036
5	表	16.8	106	8.19	33.08	18.7	8.2	0.65	0.0452	0.0231	0.144	0.015	<0.0035	0.0014	<0.000007	0.0012	0.00226	0.026	0.00012	0.0016	0.0022
	底	16.6		8.23	33.08	17.6	8.1	0.49	0.0304	0.0357	0.154	0.0144	—	0.0013	<0.000007	0.0012	0.00239	0.026	0.0001	0.001	0.0021
6	表	16.8	105	8.23	33.06	19.8	8.1	0.37	0.018	0.021	0.078	0.0208	<0.0035	0.001	<0.000007	0.002	0.00161	0.026	0.00009	0.0012	0.0044
	底	16.4		8.2	33.08	18.9	7.7	1.01	0.0347	0.0357	0.095	0.0202	—	0.0009	<0.000007	0.0011	0.00202	0.026	0.00008	0.0015	0.0043
7	表	16.4	109	8.23	33.06	19.7	8.3	0.59	0.0882	0.0229	0.1	0.015	<0.0035	0.0017	<0.000007	0.0033	0.00279	0.026	0.00009	0.002	0.003
	底	16		8.25	33.07	19.7	8.3	0.57	0.0572	0.0408	0.085	0.0133	—	0.0014	<0.000007	0.0031	0.00257	0.026	0.00006	0.0023	0.0025
8	表	16.2	116	8.25	33.04	19.4	8.1	0.46	0.0529	0.019	0.081	0.0144	0.004	0.0012	<0.000007	0.003	0.00268	0.026	0.00016	0.002	0.0024
	底	16		8.21	33.06	17.2	8	1	0.0675	0.0266	0.136	0.0167	—	0.002	<0.000007	0.0027	0.00338	0.026	0.00016	0.0006	0.0034
9	表	17.2	102	8.28	32.65	19.8	8.5	0.93	0.0752	0.0054	0.056	0.0216	0.0101	0.0009	<0.000007	0.0028	0.00121	0.026	0.00005	0.0019	0.0047
	底	16.8		8.27	32.65	19.2	7.9	0.76	0.0625	0.0091	0.038	0.0221	—	0.0013	<0.000007	0.0016	0.00229	0.026	0.00008	0.0012	0.0051
10	表	17	104	8.22	33.09	20.8	8	0.35	0.0797	0.0179	0.033	0.0144	<0.0035	0.0015	<0.000007	0.0026	0.00226	0.026	0.00012	0.001	0.0028
	10m	16.6		8.27	33.1	19.5	8.2	0.97	0.0783	0.0163	0.027	0.0153	—	0.0017	<0.000007	0.0032	0.00281	0.026	0.00007	0.0014	0.003

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

	底	16.4		8.25	33.09	17.5	8.2	0.67	0.0458	0.0295	0.084	0.013	—	0.0015	<0.000007	0.0035	0.00098	0.026	0.00019	0.0012	0.0025
11	表	17	103	8.23	33.07	18.7	8.3	0.49	0.0974	0.0379	0.062	0.0153	0.0325	0.0012	<0.000007	0.0022	0.00081	0.021	0.00015	0.0024	0.003
	底	16.8		8.22	33.09	17.8	8.3	0.58	0.0466	0.0369	0.074	0.0141	—	0.0021	<0.000007	0.0013	0.00092	0.022	0.00007	0.0021	0.0027
12	表	17	105	8.29	32.86	20.2	8.9	0.74	0.0487	0.0098	0.066	0.0214	0.0096	0.0011	<0.000007	0.0016	0.00157	0.027	0.00007	0.0014	0.002
	10m	17		8.28	32.88	19.4	8.7	0.46	0.0834	0.0158	0.124	0.0199	—	0.0011	<0.000007	0.0022	0.00138	0.027	0.00021	0.0022	0.0016
	底	16.8		8.29	32.88	18.7	8.2	0.62	0.0985	0.0087	0.052	0.0211	—	0.0011	<0.000007	0.0021	0.00088	0.03	0.0001	0.002	0.0018
13	表	17.2	110	8.3	32.73	18.7	8.5	0.46	0.1213	0.0032	0.072	0.017	0.005	0.0014	<0.000007	0.0012	0.0017	0.026	0.0001	0.0018	0.0025
	10m	17		8.31	32.75	18.2	8.6	0.45	0.0306	0.0081	0.073	0.0147	—	0.0016	<0.000007	0.0012	0.00122	0.026	0.00008	0.0016	0.003
	底	16.8		8.29	32.75	16.8	8.7	0.74	0.0754	0.0056	0.057	0.0179	—	0.0015	<0.000007	0.0029	0.00101	0.026	0.00012	0.0018	0.0028
14	表	17.2	101	8.29	32.7	16.4	8.7	0.6	0.0687	0.0134	0.045	0.0144	<0.0035	0.0013	<0.000007	0.0028	0.00226	0.026	0.00005	0.0017	0.0023
	底	17		8.29	32.72	16.2	8.7	0.46	0.0578	0.0112	0.056	0.0138	—	0.0013	<0.000007	0.0021	0.00233	0.026	0.00007	0.0017	0.0022
15	表	17.2	100	8.24	32.66	17.6	8.5	0.72	0.0566	0.0126	0.083	0.0152	0.0076	0.0012	<0.000007	0.0015	0.00134	0.026	0.00009	0.0014	0.0024
	底	17		8.25	32.66	16.3	8	0.77	0.0758	0.0124	0.106	0.02	—	0.001	<0.000007	0.0011	0.00142	0.026	0.00017	0.0011	0.0018
16	表	16.8	115	7.19	33.08	18.9	8.2	0.4	0.0285	0.0172	0.092	0.015	0.0286	0.0011	<0.000007	0.0028	0.00121	0.026	0.00015	0.0017	0.002
	底	16.4		8.22	33.08	17.6	7.8	0.37	0.0726	0.0195	0.117	0.0133	—	0.0009	<0.000007	0.0012	0.00178	0.026	0.00006	0.0015	0.0025
17	表	16.8	118	8.16	33.1	20.1	8.3	0.46	0.0462	0.0146	0.128	0.0185	0.0354	0.0011	<0.000007	0.0028	0.00159	0.026	0.00006	0.0018	0.0038
	底	16.6		8.25	33.08	19.8	8.2	0.57	0.0428	0.013	0.122	0.0242	—	0.0012	<0.000007	0.0028	0.00103	0.026	0.00016	0.0011	0.0053
18	表	16.8	116	8.24	33.12	17.7	8.5	0.45	0.0606	0.0122	0.083	0.0141	0.0311	0.001	<0.000007	0.0022	0.00329	0.026	0.00021	0.0017	0.0027
	底	16.6		8.24	33.14	16.8	8.7	0.63	0.0438	0.0179	0.081	0.013	—	0.0011	<0.000007	0.0028	0.00224	0.026	0.00018	0.0024	0.0025
19	表	17.6	109	8.2	33.1	17.5	8.4	0.41	0.0488	0.016	0.184	0.0173	0.004	0.0014	<0.000007	0.003	0.00201	0.027	0.00015	0.0016	0.0017
	底	17.2		8.11	33.12	16.1	8.2	0.54	0.0446	0.0343	0.212	0.015	—	0.0013	<0.000007	0.0022	0.00096	0.028	0.0001	0.0013	0.002
20	表	17.6	105	8.21	33.13	18.7	7.7	0.46	0.0716	0.017	0.046	0.017	0.0136	0.0014	<0.000007	0.0016	0.00168	0.02	0.00012	0.002	0.0019
	底	17.4		8.21	33.15	17.1	7.3	0.38	0.0263	0.0166	0.083	0.0153	—	0.0016	<0.000007	0.003	0.00083	0.021	0.00008	0.0016	0.0021
21	表	17.4	101	8.22	33.18	20.6	8.2	0.45	0.0424	0.0169	0.083	0.015	0.0073	0.0014	<0.000007	0.0022	0.00075	0.02	0.0001	0.002	0.0025
	10m	17.2		8.22	33.18	17.4	7.8	0.51	0.0468	0.0353	0.083	0.0185	—	0.0014	<0.000007	0.0011	0.00123	0.019	0.00011	0.0015	0.0022
	底	17		8.2	33.19	16.2	7.3	0.5	0.0454	0.0309	0.105	0.017	—	0.0014	<0.000007	0.0016	0.00115	0.02	0.00006	0.0018	0.0023

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

22	表	17.2	100	8.27	32.95	19.5	9.2	0.45	0.0647	0.0086	0.062	0.0182	0.0094	0.0012	<0.000007	0.0014	0.00134	0.019	0.00012	0.0012	0.0022
	10m	17.2		8.27	32.97	18.1	8.3	0.5	0.0627	0.0134	0.128	0.0199	—	0.001	<0.000007	0.0013	0.00148	0.024	0.00022	0.0019	0.0026
	底	17		8.24	32.97	17.6	8.3	0.54	0.0649	0.0233	0.086	0.017	—	0.0016	<0.000007	0.0016	0.00192	0.025	0.00017	0.0018	0.0025
23	表	17.4	102	8.25	33.09	19.8	8.8	0.36	0.071	0.0108	0.054	0.0182	0.0043	0.0013	<0.000007	0.0029	0.00164	0.026	0.0001	0.0021	0.0025
	10m	17.2		8.25	33.1	18.6	8.7	0.44	0.0598	0.0119	0.115	0.0172	—	0.0013	<0.000007	0.003	0.00217	0.026	0.00017	0.0022	0.002
	底	17		8.25	33.12	17.4	8.3	0.4	0.0255	0.0131	0.19	0.0153	—	0.0014	<0.000007	0.0021	0.00068	0.026	0.00016	0.0024	0.0017
24	表	17.4	102	8.21	33.12	20	8.2	0.4	0.0689	0.0183	0.045	0.0136	<0.0035	0.0011	<0.000007	0.0029	0.00171	0.027	0.00017	0.0016	0.0013
	10m	17.2		8.21	33.15	18.9	8.1	0.37	0.0588	0.0268	0.087	0.0162	—	0.0013	<0.000007	0.0012	0.00097	0.026	0.00008	0.0017	0.001
	底	17		8.23	33.15	17.3	8.3	0.28	0.0411	0.0193	0.056	0.0173	—	0.0011	<0.000007	0.0021	0.00152	0.026	0.00007	0.0021	0.002
25	表	17.4	108	8.16	33.12	19.8	7.4	0.22	0.0517	0.0152	0.121	0.0147	0.0037	0.0014	<0.000007	0.003	0.0012	0.029	0.00007	<0.0004	0.0023
	底	17.2		8.2	33.13	18.7	8	0.28	0.0651	0.0214	0.079	0.017	—	0.0015	<0.000007	0.0012	0.00158	0.029	0.00018	<0.0004	0.0019
26	表	17	118	8.19	33.12	18.4	8.7	0.29	0.0558	0.0305	0.092	0.015	0.0051	0.0017	<0.000007	0.0022	0.00247	0.028	0.00009	0.0027	0.0022
	底	16.8		8.21	33.14	16.2	8.5	0.35	0.0466	0.0162	0.094	0.0141	—	0.001	<0.000007	0.0006	0.00231	0.025	0.0001	0.0023	0.002
27	表	17	120	8.24	33.13	20.2	8.3	0.34	0.0359	0.0187	0.133	0.0422	0.0238	0.0016	<0.000007	0.0029	0.00353	0.025	0.00008	0.0016	0.0035
	底	16.6		8.24	33.14	19.5	8.3	0.48	0.056	0.0163	0.113	0.0454	—	0.0016	<0.000007	0.0031	0.00256	0.029	0.00012	0.0021	0.0032
28	表	17.8	109	8.22	33.1	18.4	8.5	0.27	0.0292	0.0159	0.117	0.0176	<0.0035	0.001	<0.000007	0.0022	0.00098	0.029	0.00018	0.002	0.0017
	底	17.4		8.23	33.13	16.3	8.4	0.23	0.0299	0.032	0.032	0.0144	—	0.0013	<0.000007	0.0016	0.00205	0.029	0.0001	0.0018	0.0016
29	表	17.4	101	8.22	33.07	17.7	8.1	0.34	0.0371	0.019	0.078	0.0173	0.0079	0.001	<0.000007	0.0038	0.00137	0.026	0.00015	0.0023	0.0022
	10m	17.2		8.22	33.09	16.8	8.3	0.28	0.03	0.0238	0.068	0.0176	—	0.0014	<0.000007	0.0021	0.00127	0.025	0.00018	0.002	0.0038
	底	17		8.23	33.1	15.2	8.3	0.26	0.0509	0.0248	0.068	0.0173	—	0.0011	<0.000007	0.0017	0.0023	0.025	0.00014	0.0023	0.0008
30	表	17.4	105	8.21	33.09	19.9	8.5	0.22	0.034	0.039	0.075	0.0141	0.0075	0.0013	<0.000007	0.0029	0.00226	0.025	0.00006	0.0018	0.0016
	10m	17.4		8.21	33.11	18.3	8.1	0.34	0.0174	0.027	0.103	0.0144	0.0061	0.0009	<0.000007	0.0014	0.0014	0.027	0.00017	0.0016	0.0015
	底	17.2		8.22	33.12	17.1	7.9	0.3	0.0388	0.0222	0.077	0.013	0.0069	0.001	<0.000007	0.0013	0.00077	0.026	0.00008	0.0019	0.0012

备注：溶解性无机氮为亚硝酸盐氮、氨氮和硝酸盐氮的氮之和；汞的检出限为 0.001μg/L，总铬的检出限为 0.4μg/L，铜的检出限为 0.2μg/L，铅的检出限为 0.03μg/L，锌的检出限为 3.1μg/L，镉的检出限为 0.01μg/L。

。

5.3.2.2 评价标准

根据《广东省海洋功能区划（2011~2020 年）》要求，27 号站位于碣石湾农渔业区，1 号、7 号、8 号、16 号、17 号、18 号和 26 号站位于田尾山 - 石碑山农渔业区，要求执行海水水质二类标准；其余站位于珠海 - 潮州近海农渔业区和附近的海洋保护区，要求执行海水水质一类标准。

5.3.2.3 评价方法

根据监测结果，以各水质参数的监测值直接对照《海水水质标准》(GB3097-1997)，采用《环境影响评价导则》(HJ/T2.3-93)所推荐的单项水质参数法进行评价。

①单项水质参数 i 在第 j 点的标准指数

$$S_{i,j} = C_{i,j} / C_{s,i}$$

式中： $S_{i,j}$ — i 污染物在 j 点的污染指数；

$C_{i,j}$ — i 污染物在 j 点的实测浓度，mg/L；

$C_{s,j}$ — i 污染物的评价标准，mg/L。

③ DO 的标准指数为：

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

$$S_{DO,j} = 10 - 9 \frac{DO_j}{DO_s} \quad DO_f < DO_s$$

$$DO_f = 468 / (31.6 + T)$$

式中： DO_s —溶解氧的地表水质标准，mg/L；

DO_j — j 点的溶解氧，mg/L；

DO_f —饱和溶解氧浓度，mg/L；

③pH 的标准指数为：

$$SpH = \frac{|pH - pH_{sm}|}{DS}$$

$$\text{其中: } pH_{sm} = \frac{pH_{su} + pH_{sd}}{2}, \quad DS = \frac{pH_{su} - pH_{sd}}{2}$$

式中：SpH — 评价因子的质量指数；

pH — 测站评价因子的实测值；

pH_{su} — pH 评价标准的上限值；

pH_{sd} — pH 评价标准的下限值；

水质参数的标准指数 > 1，表明该水质参数超过了规定的水质标准。

5.3.2.4 评价结果

(1) 2017 年 11 月水质评价结果表明，无机氮、活性磷酸盐、铅和锌出现超标，超标率分别为 17%、57%、67% 和 71%，最大超标倍数分别为 0.9 倍、0.51 倍、2.38 倍和 0.5 倍。

(2) 2018 年 3 月水质评价结果表明，活性磷酸盐和铅出现超标，超标率分别为 43% 和 16%，最大超标倍数分别为 0.673 倍和 1.34 倍。

从春、秋两季调查结果看，项目海域受到无机氮、活性磷酸盐、重金属铅和锌的污染。

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

表5-48 2017 年 11 月水质现状调查结果标准指数

站号	采样	pH	溶解氧	化学需氧量	无机氮	镉	铜	汞	铅	锌	砷	硫化物	石油类	活性磷酸盐	评价标准
1	表	0.720	0.131	0.147	0.509	0.020	0.100	0.065	0.092	0.242	0.030	0.034	0.287	1.393	二类
	底	0.700	0.070	0.257	0.452	0.004	0.060	0.070	0.080	0.386	0.027	0.032	-	1.560	二类
2	表	0.713	0.145	0.340	0.638	0.030	0.160	0.200	0.570	0.505	0.040	0.100	0.306	1.433	一类
	10m	0.707	0.257	0.265	0.451	0.020	0.140	0.200	0.360	0.640	0.050	0.070	-	0.987	一类
	底	0.713	0.146	0.265	0.370	0.030	0.140	0.200	0.420	0.965	0.045	0.080	-	1.227	一类
3	表	0.733	0.136	0.145	0.380	0.110	0.220	ND	0.420	0.625	0.045	0.070	0.322	0.780	一类
	10m	0.713	0.025	0.190	0.266	0.090	0.180	0.200	0.470	0.915	0.050	0.085	-	0.373	一类
	底	0.727	0.135	0.185	0.382	0.040	0.140	0.160	0.820	0.625	0.045	0.080	-	0.293	一类
4	表	0.693	0.337	0.100	0.297	0.050	0.160	0.240	0.550	0.915	0.040	0.095	0.594	0.800	一类
	10m	0.713	0.396	0.165	0.645	0.040	0.140	0.200	0.890	0.915	0.050	0.085	-	0.687	一类
	底	0.707	0.005	0.150	0.757	0.040	0.100	0.200	0.190	0.990	0.050	0.085	-	0.540	一类
5	表	0.707	0.275	0.210	0.296	0.180	0.240	ND	0.700	0.890	0.045	0.025	0.268	0.553	一类
	10m	0.653	0.065	0.115	0.909	0.110	0.140	0.260	0.190	0.675	0.055	0.055	-	1.093	一类
	底	0.720	0.350	0.445	0.701	0.050	0.140	0.180	0.480	0.760	0.045	0.055	-	0.833	一类
6	表	0.700	0.055	0.150	0.497	0.020	0.140	0.160	0.200	0.500	0.045	0.080	0.632	1.413	一类
	10m	0.707	0.274	0.140	0.870	0.080	0.300	0.180	1.040	0.660	0.050	0.085	-	1.633	一类
	底	0.707	0.283	0.150	0.484	0.020	0.160	0.200	0.390	0.415	0.045	0.070	-	1.447	一类
7	表	0.653	0.017	0.097	0.493	0.012	0.070	ND	0.056	0.276	0.030	0.032	0.148	1.433	二类
	10m	0.720	0.266	0.100	0.502	ND	0.080	ND	0.012	0.250	0.037	0.028	-	1.673	二类
	底	0.700	0.064	0.103	0.477	ND	0.090	ND	0.020	0.238	0.037	0.032	-	1.393	二类

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

8	表	0.713	0.056	0.070	0.578	0.004	0.130	ND	0.034	0.280	0.027	0.026	0.184	1.653	二类
	底	0.673	0.094	0.047	0.521	ND	0.080	ND	0.014	0.182	0.027	0.062	-	1.560	二类
9	表	0.687	0.102	0.150	0.727	0.010	0.300	ND	0.200	0.530	0.040	0.105	0.384	1.560	一类
	10m	0.700	0.224	0.185	0.593	0.020	0.140	0.200	0.530	0.485	0.040	0.085	-	1.393	一类
	底	0.713	0.088	0.170	0.593	0.040	0.160	0.160	0.270	0.420	0.045	0.125	-	1.353	一类
10	表	0.733	0.308	0.195	0.064	0.020	0.200	0.160	2.340	0.700	0.045	0.065	0.394	0.573	一类
	10m	0.727	0.583	0.200	0.121	0.060	0.100	0.240	0.930	0.800	0.050	0.075	-	0.480	一类
	底	0.747	0.648	0.240	0.129	0.060	0.080	0.320	2.010	0.850	0.050	0.065	-	0.520	一类
11	表	0.727	0.738	0.255	0.119	0.060	0.040	0.160	1.300	0.570	0.050	0.055	-	0.127	一类
	10m	0.793	0.589	0.130	0.068	0.020	0.220	0.160	0.550	0.715	0.040	0.075	-	0.573	一类
	底	0.787	0.156	0.340	0.106	0.020	0.040	ND	0.550	0.490	0.045	0.095	-	0.113	一类
12	表	0.727	0.183	0.165	0.381	ND	0.120	0.200	1.240	0.835	0.050	0.080	0.280	0.573	一类
	10m	0.720	0.748	0.200	0.094	ND	0.060	ND	0.890	0.650	0.050	0.075	-	0.500	一类
	底	0.713	0.400	0.200	0.151	0.050	0.200	ND	0.660	0.600	0.050	0.070	-	0.467	一类
13	表	0.720	0.189	0.200	0.360	0.050	0.260	0.320	1.440	0.655	0.050	0.055	0.212	0.447	一类
	10m	0.733	0.036	0.240	0.400	0.060	0.200	0.260	0.990	0.410	0.050	0.080	-	0.387	一类
	底	0.720	0.015	0.250	0.188	0.100	0.080	0.240	0.270	0.300	0.055	0.075	-	0.500	一类
14	表	0.713	0.497	0.275	0.365	0.070	0.240	0.160	0.560	0.970	0.055	0.075	0.684	0.480	一类
	10m	0.713	0.014	0.290	0.560	0.080	0.080	ND	0.980	0.800	0.050	0.050	-	0.587	一类
	底	0.747	0.216	0.285	0.186	0.030	0.080	0.180	0.750	0.820	0.040	0.065	-	0.540	一类
15	表	0.693	0.354	0.405	0.331	ND	0.080	ND	0.470	0.930	0.050	0.085	0.664	0.500	一类
	10m	0.727	0.282	0.435	0.359	ND	0.080	ND	0.350	0.880	0.050	0.100	-	0.800	一类

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

	底	0.733	0.112	0.350	0.617	0.020	0.140	ND	0.420	0.710	0.045	0.095	-	0.833	一类
16	表	0.707	0.047	0.250	0.374	0.008	0.060	0.050	0.142	0.382	0.033	0.030	0.180	1.173	二类
	底	0.727	0.245	0.187	0.215	0.022	0.040	0.055	0.182	0.256	0.033	0.034	-	1.207	二类
17	表	0.700	0.086	0.347	0.437	0.020	0.080	0.050	0.264	0.286	0.030	0.042	0.243	0.573	二类
	底	0.713	0.117	0.313	0.661	0.020	0.060	0.050	0.280	0.356	0.027	0.034	-	1.227	二类
18	表	0.727	0.068	0.260	0.459	0.032	0.100	0.045	0.308	0.378	0.027	0.024	0.160	1.613	二类
	底	0.767	0.080	0.187	0.396	0.016	0.060	0.040	0.220	0.232	0.030	0.028	-	1.673	二类
19	表	0.700	0.327	0.450	0.390	0.100	0.100	0.180	1.340	0.965	0.050	0.095	0.398	0.927	一类
	10m	0.720	0.217	0.280	0.233	0.080	0.080	0.220	0.900	0.760	0.045	0.080	-	0.987	一类
	底	0.693	0.250	0.275	0.487	0.070	0.080	0.200	0.840	0.630	0.045	0.085	-	0.893	一类
20	表	0.693	0.217	0.360	0.533	0.050	0.100	0.200	0.640	0.540	0.040	0.075	0.500	1.080	一类
	10m	0.693	0.250	0.355	0.591	0.110	0.100	0.240	0.700	0.710	0.040	0.095	-	0.873	一类
	底	0.687	0.404	0.320	0.310	0.070	0.060	0.200	0.320	0.730	0.040	0.080	-	0.893	一类
21	表	0.767	0.300	0.300	0.075	0.140	0.060	0.160	1.590	0.780	0.045	0.080	0.250	0.240	一类
	10m	0.727	0.341	0.320	0.129	0.040	0.080	ND	1.870	0.535	0.040	0.075	-	0.313	一类
	底	0.720	0.134	0.435	0.143	0.030	0.060	ND	0.940	0.955	0.045	0.065	-	0.333	一类
22	表	0.713	0.327	0.315	0.161	0.030	0.060	0.160	0.160	0.635	0.045	0.080	0.502	0.287	一类
	10m	0.727	0.493	0.415	0.189	0.030	0.060	0.180	0.240	0.720	0.050	0.090	-	0.260	一类
	底	0.760	0.014	0.510	0.253	0.030	0.040	0.180	0.230	0.800	0.050	0.095	-	0.353	一类
23	表	0.793	0.043	0.340	0.218	0.070	0.140	0.200	0.120	0.540	0.045	0.055	0.452	0.253	一类
	10m	0.800	0.213	0.360	0.227	0.030	0.060	ND	0.370	0.400	0.050	0.040	-	0.407	一类
	底	0.753	0.005	0.125	0.091	0.040	0.080	ND	0.710	0.910	0.045	0.050	-	0.313	一类

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

24	表	0.720	0.310	0.485	0.474	0.040	0.360	0.280	0.320	0.620	0.040	0.050	0.356	1.320	一类
	10m	0.740	0.233	0.370	0.546	0.040	0.280	0.420	0.330	0.790	0.050	0.050	-	0.760	一类
	底	0.740	0.296	0.165	0.429	0.050	0.280	0.320	0.710	0.550	0.050	0.080	-	1.060	一类
25	表	0.753	0.255	0.310	0.570	0.220	0.200	0.160	1.300	0.700	0.045	0.060	0.266	1.080	一类
	底	0.733	0.188	0.485	0.372	0.180	0.140	0.160	1.440	0.880	0.040	0.065	-	0.800	一类
26	表	0.727	0.265	0.347	0.434	0.010	0.080	ND	0.146	0.246	0.030	0.028	0.114	1.300	二类
	底	0.713	0.362	0.317	0.566	0.012	0.100	0.040	0.200	0.360	0.033	0.026	-	1.447	二类
27	表	0.800	0.339	0.443	0.138	0.032	0.160	0.040	0.006	0.270	0.027	0.028	0.211	0.280	二类
28	表	0.747	0.444	0.635	0.806	0.060	0.160	0.200	0.300	0.815	0.040	0.060	0.238	1.260	一类
	底	0.740	0.428	0.480	0.328	0.040	0.100	ND	0.690	0.790	0.045	0.070	-	0.927	一类
29	表	0.787	0.456	0.580	0.276	0.030	0.080	0.340	0.310	0.900	0.045	0.075	0.494	0.200	一类
	10m	0.760	0.507	0.595	0.378	0.040	0.080	0.260	0.540	0.655	0.045	0.045	-	0.187	一类
	底	0.747	0.259	0.645	0.568	0.040	0.160	0.240	0.780	0.670	0.050	0.060	-	0.667	一类
30	表	0.773	0.245	0.620	0.569	0.050	0.160	ND	0.740	0.715	0.045	0.065	0.308	1.093	一类
	10m	0.727	0.478	0.580	0.503	0.040	0.300	0.260	0.310	0.770	0.045	0.055	-	1.187	一类
	底	0.693	0.602	0.560	0.304	0.040	0.120	0.300	0.070	0.500	0.045	0.070	-	0.760	一类
最大值		0.800	0.748	0.645	0.909	0.220	0.360	0.420	2.340	0.990	0.055	0.125	0.684	1.673	
最小值		0.653	0.005	0.047	0.064	0.004	0.040	0.040	0.006	0.182	0.027	0.024	0.114	0.113	
超标率		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	0%	0%	0%	0%	43%	

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

表5-49 2018年3月调查结果标准指数

站号	采样	pH	溶解氧	化学需氧量	无机氮	镉	铜	汞	铅	锌	砷	硫化物	石油类	活性磷酸盐	评价标准
1	表	0.81	0.27	0.13	0.68	0.01	0.3	<0.14	0.47	0.52	0.04	0.05	0.21	0.46	二类
	底	0.81	0.31	0.11	0.59	0.02	0.28	<0.14	0.61	0.52	0.06	0.05	-	0.51	二类
2	表	0.79	0.45	0.35	0.92	0.09	0.3	<0.14	3.12	1.3	0.07	0.14	<0.07	0.94	一类
	底	0.83	0.36	0.25	0.88	0.07	0.26	<0.14	1.01	1.3	0.06	0.11	-	1.19	一类
3	表	0.79	0.37	0.21	0.51	0.16	0.66	<0.14	2.26	1.3	0.07	0.17	0.08	1.11	一类
	底	0.81	0.35	0.25	0.9	0.14	0.56	<0.14	1.48	1.3	0.06	0.15	-	1.02	一类
4	表	0.82	0.28	0.23	1.61	0.21	0.62	<0.14	1.67	0.95	0.05	0.16	0.14	1.04	一类
	10m	0.81	0.32	0.27	1.82	0.1	0.56	<0.14	2.99	1	0.06	0.17	-	1.11	一类
	底	0.81	0.33	0.21	1.9	0.06	0.56	<0.14	1.99	1.3	0.07	0.18	-	1.15	一类
5	表	0.79	0.4	0.33	1.06	0.12	0.24	<0.14	2.26	1.3	0.07	0.11	<0.07	1	一类
	底	0.82	0.43	0.25	1.1	0.1	0.24	<0.14	2.39	1.3	0.07	0.11	-	0.96	一类
6	表	0.82	0.43	0.19	0.59	0.09	0.4	<0.14	1.61	1.3	0.05	0.22	<0.07	1.39	一类
	底	0.8	0.55	0.51	0.83	0.08	0.22	<0.14	2.02	1.3	0.05	0.22	-	1.35	一类
7	表	0.82	0.31	0.2	0.7	0.02	0.33	<0.14	0.56	0.52	0.06	0.06	<0.07	0.5	二类
	底	0.83	0.32	0.19	0.61	0.01	0.31	<0.14	0.51	0.52	0.05	0.05	-	0.44	二类
8	表	0.83	0.45	0.23	0.76	0.16	0.6	<0.14	2.68	1.3	0.06	0.12	0.08	0.96	一类
	底	0.81	0.48	0.5	1.15	0.16	0.54	<0.14	3.38	1.3	0.1	0.17	-	1.11	一类
9	表	0.85	0.3	0.47	0.68	0.05	0.56	<0.14	1.21	1.3	0.05	0.24	0.2	1.44	一类
	底	0.85	0.48	0.38	0.55	0.08	0.32	<0.14	2.29	1.3	0.07	0.26	-	1.47	一类
10	表	0.81	0.45	0.18	0.65	0.12	0.52	<0.14	2.26	1.3	0.08	0.14	<0.07	0.96	一类

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

11	10m	0.85	0.41	0.49	0.61	0.07	0.64	<0.14	2.81	1.3	0.09	0.15	-	1.02	一类
	底	0.83	0.41	0.34	0.8	0.19	0.7	<0.14	0.98	1.05	0.08	0.13	-	0.87	一类
	表	0.82	0.37	0.25	0.99	0.15	0.44	<0.14	0.81	1.1	0.06	0.15	0.65	1.02	一类
	底	0.81	0.37	0.29	0.79	0.07	0.26	<0.14	0.92	1.35	0.11	0.14	-	0.94	一类
12	表	0.86	0.2	0.37	0.62	0.07	0.32	<0.14	1.57	1.35	0.06	0.1	0.19	1.43	一类
	10m	0.85	0.26	0.23	1.12	0.21	0.44	<0.14	1.38	1.5	0.06	0.08	-	1.33	一类
	底	0.86	0.4	0.31	0.8	0.1	0.42	<0.14	0.88	1.3	0.06	0.09	-	1.41	一类
13	表	0.87	0.3	0.23	0.98	0.1	0.24	<0.14	1.7	1.3	0.07	0.13	0.1	1.13	一类
	10m	0.87	0.28	0.23	0.56	0.08	0.24	<0.14	1.22	1.3	0.08	0.15	-	0.98	一类
	底	0.86	0.26	0.37	0.69	0.12	0.58	<0.14	1.01	1.3	0.08	0.14	-	1.19	一类
14	表	0.86	0.25	0.3	0.64	0.05	0.56	<0.14	2.26	1.3	0.07	0.12	<0.07	0.96	一类
	底	0.86	0.26	0.23	0.63	0.07	0.42	<0.14	2.33	1.3	0.07	0.11	-	0.92	一类
15	表	0.83	0.3	0.36	0.76	0.09	0.3	<0.14	1.34	1.3	0.06	0.12	0.15	1.01	一类
	底	0.83	0.45	0.39	0.97	0.17	0.22	<0.14	1.42	1.3	0.05	0.09	-	1.33	一类
16	表	0.13	0.4	0.2	0.69	0.15	0.56	<0.14	1.21	1.3	0.06	0.1	0.57	1	一类
	底	0.81	0.52	0.19	1.05	0.06	0.24	<0.14	1.78	1.3	0.05	0.13	-	0.89	一类
17	表	0.77	0.29	0.15	0.63	0.01	0.28	<0.14	0.32	0.52	0.04	0.08	0.71	0.62	二类
	底	0.83	0.32	0.19	0.59	0.03	0.28	<0.14	0.21	0.52	0.04	0.11	-	0.81	二类
18	表	0.83	0.25	0.15	0.52	0.04	0.22	<0.14	0.66	0.52	0.03	0.05	0.62	0.47	二类
	底	0.83	0.21	0.21	0.48	0.04	0.28	<0.14	0.45	0.54	0.04	0.05	-	0.43	二类
19	表	0.8	0.32	0.21	1.24	0.15	0.6	<0.14	2.01	1.4	0.07	0.09	0.08	1.15	一类
	底	0.74	0.39	0.27	1.45	0.1	0.44	<0.14	0.96	1	0.07	0.1	-	1	一类

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

20	表	0.81	0.52	0.23	0.67	0.12	0.32	<0.14	1.68	1.05	0.07	0.1	0.27	1.13	一类
	底	0.81	0.63	0.19	0.63	0.08	0.6	<0.14	0.83	1	0.08	0.11	-	1.02	一类
21	表	0.81	0.38	0.23	0.71	0.1	0.44	<0.14	0.75	0.95	0.07	0.13	0.15	1	一类
	10m	0.81	0.5	0.26	0.83	0.11	0.22	<0.14	1.23	1	0.07	0.11	-	1.23	一类
	底	0.8	0.64	0.25	0.91	0.06	0.32	<0.14	1.15	0.95	0.07	0.12	-	1.13	一类
22	表	0.85	0.11	0.23	0.68	0.12	0.28	<0.14	1.34	1.2	0.06	0.11	0.19	1.21	一类
	10m	0.85	0.36	0.25	1.02	0.22	0.26	<0.14	1.48	1.25	0.05	0.13	-	1.33	一类
	底	0.83	0.37	0.27	0.87	0.17	0.32	<0.14	1.92	1.3	0.08	0.13	-	1.13	一类
23	表	0.83	0.21	0.18	0.68	0.1	0.58	<0.14	1.64	1.3	0.07	0.13	0.09	1.21	一类
	10m	0.83	0.25	0.22	0.93	0.17	0.6	<0.14	2.17	1.3	0.07	0.1	-	1.15	一类
	底	0.83	0.37	0.2	1.14	0.16	0.42	<0.14	0.68	1.35	0.07	0.09	-	1.02	一类
24	表	0.81	0.38	0.2	0.66	0.17	0.58	<0.14	1.71	1.3	0.06	0.07	<0.07	0.91	一类
	10m	0.81	0.42	0.19	0.86	0.08	0.24	<0.14	0.97	1.3	0.07	0.05	-	1.08	一类
	底	0.82	0.37	0.14	0.58	0.07	0.42	<0.14	1.52	1.45	0.06	0.1	-	1.15	一类
25	表	0.77	0.61	0.11	0.94	0.07	0.6	<0.14	1.2	1.45	0.07	0.12	0.07	0.98	一类
	底	0.8	0.44	0.14	0.83	0.18	0.24	<0.14	1.58	1.4	0.08	0.1	-	1.13	一类
26	表	0.79	0.2	0.1	0.59	0.02	0.22	<0.14	0.49	0.5	0.06	0.04	0.1	0.5	二类
	底	0.81	0.25	0.12	0.52	0.02	0.06	<0.14	0.46	0.5	0.03	0.04	-	0.47	二类
27	表	0.83	0.29	0.11	0.63	0.02	0.29	<0.14	0.71	0.58	0.05	0.07	0.48	1.41	二类
	底	0.83	0.3	0.16	0.62	0.02	0.31	<0.14	0.51	0.58	0.05	0.06	-	1.51	二类
28	表	0.81	0.28	0.14	0.81	0.18	0.44	<0.14	0.98	1.45	0.05	0.09	<0.07	1.17	一类
	底	0.82	0.32	0.12	0.47	0.1	0.32	<0.14	2.05	1.3	0.07	0.08	-	0.96	一类

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

29	表	0.81	0.41	0.17	0.67	0.15	0.76	<0.14	1.37	1.25	0.05	0.11	0.16	1.15	一类
	10m	0.81	0.36	0.14	0.61	0.18	0.42	<0.14	1.27	1.25	0.07	0.19	-	1.17	一类
	底	0.82	0.37	0.13	0.72	0.14	0.34	<0.14	2.3	1.25	0.06	0.04	-	1.15	一类
30	表	0.81	0.3	0.11	0.74	0.06	0.58	<0.14	2.26	1.35	0.07	0.08	0.15	0.94	一类
	10m	0.81	0.41	0.17	0.74	0.17	0.28	<0.14	1.4	1.3	0.05	0.08	0.12	0.96	一类
	底	0.81	0.47	0.15	0.69	0.08	0.26	<0.14	0.77	0	0.05	0.06	0.14	0.87	一类
	最大值	0.87	0.64	0.51	1.9	0.22	0.76	<0.14	3.38	1.5	0.11	0.26	0.71	1.51	
	最小值	0.13	0.11	0.1	0.47	0.01	0.06	<0.14	0.21	0	0.03	0.04	0.07	0.43	
	超标率	0%	0%	0%	17%	0%	0%	0%	67%	71%	0%	0%	0%	57%	

5.4 海洋沉积物环境质量现状调查与评价

5.4.1 调查概况

5.4.1.1 调查站位

(1) 2017 年 11 月在项目附近海域开展了 15 个站海洋沉积物质量调查，站位布设信息见表 5-45 和图 5-76。

(2) 2018 年 3 月在项目附近海域开展了 15 个站海洋沉积物质量调查，站位布设信息见表 5-45 和图 5-76。

5.4.1.2 调查项目

(1) 2017 年 11 月调查项目包括：含水率、有机碳、石油类、硫化物、汞、铜、锌、铅、铬、镉和砷等共 11 项。

(2) 2018 年 3 月调查项目包括：含水率、有机碳、石油类、硫化物、汞、铜、锌、铅、铬、镉和砷等共 11 项。

5.4.1.3 调查方法

各调查项目的采样、分析方法和技术要求按《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB12763/T-2007)的规定进行。各项目分析方法见样品监测报告。

5.4.2 海洋沉积物质量现状及评价

5.4.2.1 调查结果

海洋沉积物质量调查的结果分别见表 5-50 和表 5-51 所示。

表5-50 2017年11月沉积物质量现状调查结果

站号	采样	检测结果										
	层次	含水率	有机碳	硫化物	总汞	砷	铜	铅	锌	镉	铬	油类
		(%)										
2	表层	30	0.79	16.6	0.224	15.1	41.5	35	81.2	0.16	30.2	24.6
4	表层	23.9	0.44	1.2	0.239	10.4	22	27.8	57.8	0.11	34.6	9.3
6	表层	33	0.5	24.1	0.35	14.2	35.2	48.6	44.1	0.12	44.2	34.5
8	表层	18.1	0.94	18.1	0.35	30.6	27.5	20.3	51.7	0.18	24.5	69.3
10	表层	24.2	0.63	1.5	0.308	8.7	46.8	19	85.7	0.31	52.5	10.6
13	表层	24.9	0.44	3	0.229	12.3	11.7	18	33.5	0.15	21.2	8.2
15	表层	32.6	0.69	20.4	0.343	16.6	27.2	72.1	55.8	0.18	34.9	5.8
17	表层	40.3	0.67	47.6	0.341	14.3	39	51.3	60.5	0.19	43.7	29.3
18	表层	46.7	0.47	15.4	0.571	26.8	25.8	69.5	106	0.21	37.1	13.4
20	表层	48.2	0.88	48.9	0.677	11.1	25.1	38	40.2	0.12	28.6	77.2
22	表层	24.3	0.44	0.8	0.052	9.8	21.6	30.9	18.9	0.18	38.4	4.2
25	表层	35.1	0.77	18.7	0.114	13.4	15.7	37	42	0.16	34.4	41.3
27	表层	54	0.99	63.4	0.057	18.3	34.1	58.9	83.2	0.18	36.6	204
29	表层	38.6	0.65	26.3	0.137	8.1	25.8	35.9	62.9	0.21	28	16.5
30	表层	35.1	0.7	42.2	0.252	16.1	19.2	36.3	61.2	0.25	41.9	39.6

表5-51 2018 年 3 月沉积物质量现状调查结果

站号	采样	检测结果									
	层次	有机碳	硫化物	总汞	砷	铜	铅	锌	镉	铬	油类
		(%)	$(\times 10^{-6})$								
2	表层	0.93	25.1	0.045	9.08	16	41.5	80.8	<0.04	50.1	182
4	表层	0.77	24.4	0.044	8.57	15.9	36.6	77.8	<0.04	49.9	91
6	表层	0.96	6.42	0.052	9.14	18.9	45.7	92.1	<0.04	58.2	113
8	表层	0.97	12.1	0.061	9.58	19.2	48.8	93.1	<0.04	55.2	141
10	表层	0.61	23.3	0.396	7.85	13	34.9	71.9	<0.04	48.5	54.1
13	表层	1.12	172	0.177	8.82	18.8	47.1	92.6	<0.04	53.7	31.3
15	表层	0.91	27.9	0.051	8.8	16.5	44.8	85.8	<0.04	59	205
17	表层	0.49	8.4	0.037	5.74	10.6	33.9	59.2	<0.04	37.6	93.2
18	表层	0.28	6.83	0.02	4.39	6.2	24.6	44.1	<0.04	27	32.4
20	表层	0.17	0.72	0.085	3.61	5.1	24.6	38.4	<0.04	28.4	4.2
22	表层	0.83	54.5	0.06	8.6	14.4	38.6	77.5	<0.04	46.3	158
25	表层	0.63	43.4	0.038	8.56	11.7	34.2	66.8	<0.04	41.7	110
27	表层	0.66	27.6	0.189	7.38	12.5	33.3	67.9	<0.04	44.6	97.8
29	表层	0.76	52.7	0.039	7.48	13.4	37.9	70.6	<0.04	41.4	105
30	表层	0.84	39.4	0.037	8.71	15.1	37.4	78.2	<0.04	40.5	150

5.4.2.2 评价标准

沉积物质量评价执行《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)中的第一类标准。

5.4.2.3 评价方法

采用单点单因子标准指数法进行评价。

5.4.2.4 评价结果

(1) 2017 年 11 月海洋沉积物质量评价结果表明, 重金属汞、铜、铅和砷出现超标, 超标率分别为 73%、27%、13%和 13%, 最大超标倍数分别为 2.39 倍、0.34 倍、0.20 倍和 0.53 倍。

(2) 2018 年 3 月海洋沉积物质量评价结果表明, 重金属汞出现超标, 超标率为 7%, 最大超标倍数为 0.98 倍。

总体来看, 评价海域沉积物受到重金属汞等的污染。

表5-52 2017 年 11 月海洋沉积物质量监测结果标准指数

站号	硫化物	总汞	铜	铅	砷	锌	镉	总铬	石油类	有机碳	评价标准
2	0.06	1.12	1.19	0.58	0.76	0.54	0.32	0.38	0.05	0.40	一类
4	0.00	1.20	0.00	0.46	0.52	0.39	0.22	0.43	0.02	0.22	一类
6	0.08	1.75	0.63	0.81	0.71	0.29	0.24	0.55	0.07	0.25	一类
8	0.06	1.75	0.00	0.34	1.53	0.34	0.36	0.31	0.14	0.47	一类
10	0.01	1.54	1.01	0.32	0.44	0.57	0.62	0.66	0.02	0.32	一类
13	0.01	1.15	0.00	0.30	0.62	0.22	0.30	0.27	0.02	0.22	一类
15	0.07	1.72	0.79	1.20	0.83	0.37	0.36	0.44	0.01	0.35	一类
17	0.16	1.71	0.00	0.86	0.72	0.40	0.38	0.55	0.06	0.34	一类
18	0.05	2.86	1.34	1.16	1.34	0.71	0.42	0.46	0.03	0.24	一类
20	0.16	3.39	0.00	0.63	0.56	0.27	0.24	0.36	0.15	0.44	一类
22	0.00	0.26	0.33	0.52	0.49	0.13	0.36	0.48	0.01	0.22	一类
25	0.06	0.57	0.00	0.62	0.67	0.28	0.32	0.43	0.08	0.39	一类

27	0.21	0.29	0.78	0.98	0.92	0.55	0.36	0.46	0.41	0.50	一类
29	0.09	0.69	0.00	0.60	0.41	0.42	0.42	0.35	0.03	0.33	一类
30	0.14	1.26	1.11	0.61	0.81	0.41	0.50	0.52	0.08	0.35	一类
最大值	0.21	3.39	1.34	1.20	1.53	0.71	0.62	0.66	0.41	0.50	
最小值	0.00	0.26	0.00	0.30	0.41	0.13	0.22	0.27	0.01	0.22	
超标率	0%	73%	27%	13%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	

表5-53 2018年3月海洋沉积物质量监测结果标准指数

站号	硫化物	总汞	铜	铅	砷	锌	镉	总铬	油类	有机碳	评价标准
2#	0.08	0.23	0.46	0.69	0.45	0.54	<0.08	0.63	0.36	0.47	一类
4#	0.08	0.22	0.45	0.61	0.43	0.52	<0.08	0.62	0.18	0.39	一类
6#	0.02	0.26	0.54	0.76	0.46	0.61	<0.08	0.73	0.23	0.48	一类
8#	0.04	0.31	0.55	0.81	0.48	0.62	<0.08	0.69	0.28	0.49	一类
10#	0.08	1.98	0.37	0.58	0.39	0.48	<0.08	0.61	0.11	0.31	一类
17#	0.57	0.89	0.54	0.79	0.44	0.62	<0.08	0.67	0.06	0.56	一类
18#	0.09	0.26	0.47	0.75	0.44	0.57	<0.08	0.74	0.41	0.46	一类
27#	0.03	0.19	0.30	0.57	0.29	0.39	<0.08	0.47	0.19	0.25	一类
13#	0.02	0.10	0.18	0.41	0.22	0.29	<0.08	0.34	0.06	0.14	一类
15#	0.0024	0.43	0.15	0.41	0.18	0.26	<0.08	0.36	0.01	0.09	一类
20#	0.18	0.30	0.41	0.64	0.43	0.52	<0.08	0.58	0.32	0.42	一类
22#	0.14	0.19	0.33	0.57	0.43	0.45	<0.08	0.52	0.22	0.32	一类
25#	0.09	0.95	0.36	0.56	0.37	0.45	<0.08	0.56	0.20	0.33	一类
29#	0.18	0.20	0.38	0.63	0.37	0.47	<0.08	0.52	0.21	0.38	一类
30#	0.13	0.19	0.43	0.62	0.44	0.52	<0.08	0.51	0.30	0.42	一类
最大值	0.57	1.98	0.55	0.81	0.48	0.62	<0.08	0.74	0.41	0.56	
最小值	0.0024	0.10	0.15	0.41	0.18	0.26	<0.08	0.34	0.01	0.09	
超标率	0	7%	0	0	0	0	0	0	0	0	

5.5 海洋生物体质量现状调查与评价

5.5.1 调查概况

5.5.1.1 调查站位

(1) 从 2017 年 11 月渔业资源调查采集的海洋生物中,采集了 47 个生物样品进行生物体质量检测。

(2) 从 2018 年 3 月渔业资源调查采集的海洋生物中,采集了 36 个生物样品进行生物体质量检测。

5.5.1.2 调查项目

(1) 2017 年 11 月调查项目包括:含水率、石油烃、汞、铜、锌、铅、铬、镉和砷等共 9 项。

(2) 2018 年 3 月调查项目包括:含水率、石油烃、汞、铜、锌、铅、铬、镉和砷等共 9 项。

5.5.1.3 调查方法

各调查项目的采样、分析方法和技术要求按《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB12763/T-2007)的规定进行。各项目分析方法见样品监测报告。

5.5.2 海洋生物质量现状及评价

5.5.2.1 调查结果

海洋生物调查结果见表 5-54 和表 5-55 所示。

表5-54 2017 年 11 月各类生物体内重金属平均含量

断面名称	序号	样品名称	Hg	As	Cu	Pb	Cd	Zn	Cr	石油烃
			检测结果 (mg/kg) ($\times 10^{-6}$)							
1	1	皮氏叫姑鱼	0.061	2.22	1.6	0.02	0.007	5.8	0.77	0.20
	2	鹤海鳗	0.098	4.01	0.5	0.01	0.045	5.2	1.25	0.55
	3	红星梭子蟹	0.059	4.44	2.3	0.03	0.043	15.0	0.61	1.11
	4	银鲳	0.031	3.09	0.3	--	0.004	3.2	0.45	0.94
2	5	红星梭子蟹	0.197	4.00	1.8	0.03	0.048	2.6	0.48	0.40
	6	白叫姑鱼	0.029	0.58	2.8	--	0.006	4.3	0.38	1.13
	7	黄鳍鲷	0.128	3.54	4.2	--	0.005	3.2	0.43	--
3	8	黄鳍鲷	0.077	4.38	3.2	0.09	0.018	7.6	1.16	0.78
	9	口虾蛄	0.034	5.67	0.8	0.02	0.039	14.0	0.74	5.26
	10	食蟹豆齿鳗	0.097	1.25	0.3	0.07	0.033	8.8	0.88	--
	11	银鲳	0.013	1.42	0.2	--	0.002	1.9	0.10	0.19
	12	皮氏叫姑鱼	0.042	1.50	0.4	--	0.003	2.8	0.56	0.46
4	13	银鲳	0.022	3.62	2.1	--	0.003	7.8	0.46	0.71
	14	红星梭子蟹	0.031	3.83	1.8	0.02	0.062	13.4	0.35	1.44
	15	中国枪乌贼	0.031	7.49	1.3	0.02	0.078	7.2	0.58	0.06
5	16	长蛸	0.017	0.99	7.6	0.06	0.085	12.7	1.02	2.41
	17	猛虾蛄	0.009	2.44	1.3	0.01	0.058	11.9	0.54	1.51
	18	银鲳	0.020	3.06	0.3	0.01	0.003	2.7	0.53	--
6	19	中国枪乌贼	0.062	8.76	2.4	0.02	0.105	7.4	0.68	0.10
	20	皮氏叫姑鱼	0.027	1.71	0.5	0.02	0.004	3.4	0.60	--
	21	长蛸	0.045	2.19	8.6	0.07	0.351	26.7	2.06	4.78
	22	青鳞沙丁鱼	0.015	2.44	0.8	0.05	0.011	5.8	0.30	0.39
	23	黄鳍鲷	0.059	4.32	0.4	0.06	0.003	4.6	0.54	0.06
7	24	猛虾蛄	0.029	6.22	2.1	0.03	0.096	12.7	0.88	2.45
	25	中国枪乌贼	0.019	6.53	1.0	0.02	0.085	6.5	0.48	1.66
	26	白叫姑鱼	0.050	1.27	0.4	0.03	0.010	2.2	0.55	--
	27	鹤海鳗	0.050	4.89	0.2	0.02	0.032	4.5	1.19	0.07
8	28	食蟹豆齿鳗	0.172	0.92	0.2	0.06	0.045	12.0	1.36	--
	29	红星梭子蟹	0.025	4.37	1.6	0.01	0.043	2.2	0.62	0.90
	30	黄鳍鲷	0.100	4.38	0.6	0.04	0.015	16.8	0.71	0.22

	31	猛虾蛄	0.020	5.46	1.8	0.10	0.014	1.8	0.47	3.05
9	32	皮氏叫姑鱼	0.049	1.81	0.9	0.03	0.015	6.3	0.42	--
	33	黄鳍鲷	0.220	4.17	1.2	0.04	0.012	8.2	0.90	1.30
	34	中国枪乌贼	0.029	5.22	0.9	0.02	0.092	6.5	0.51	1.48
10	35	中国枪乌贼	0.043	8.53	1.3	0.02	0.102	20.0	0.53	1.61
	36	红星梭子蟹	0.016	6.00	1.8	0.02	0.029	2.3	0.60	0.74
	37	鹤海鳗	0.077	4.79	0.3	0.02	0.036	3.3	1.00	1.44
	38	贡氏红娘鱼	0.093	3.21	0.2	0.10	0.041	3.3	0.48	--
11	39	油鲚	0.054	1.91	0.4	0.05	0.018	4.0	0.58	--
	40	中国枪乌贼	0.037	6.79	0.8	0.02	0.089	10.3	0.60	1.12
	41	蓝圆鲹	0.047	4.65	1.6	0.12	0.024	13.7	0.44	1.23
	42	皮氏叫姑鱼	0.069	1.31	2.1	--	0.019	6.9	0.92	--
12	43	黄鳍鲷	0.085	3.65	1.4	0.06	0.015	4.0	0.81	0.13
	44	中国枪乌贼	0.017	8.05	1.1	0.01	0.085	4.7	0.51	2.73
	45	南美白对虾	0.023	3.01	2.0	0.02	0.015	6.7	0.73	0.30
	46	皮氏叫姑鱼	0.059	1.83	0.7	0.02	0.013	6.4	0.69	--
---	47	带鹑螺	0.170	1.76	1.3	0.12	0.073	27.5	1.43	0.18

表5-55 2017年11月各类生物体内重金属平均含量

样品标识	检测结果 (mg/kg) ($\times 10^{-6}$)								
	含水 (%)	石油烃	锌	镉	铅	铜	铬	砷	汞
1-1 带鱼	76.2	23.9	26.7	0.048	0.82	1.7	0.79	1.28	0.043
2-8 带鱼	78.4	35.7	34.6	0.016	0.16	2.0	0.47	0.92	0.045
3-1 龙头鱼	88.5	97.7	39.3	0.106	0.27	14.6	0.69	1.74	0.037
4-8 龙头鱼	87.7	55.9	8.4	0.006	0.30	20.2	1.27	2.41	0.026
5-1 黑斑口虾蛄	82.7	66.8	18.9	2.20	0.30	230	1.49	15.0	0.036
6-8 黑斑口虾蛄	83.9	18.2	92.4	1.83	0.42	64.5	0.67	14.1	<0.002
7-9 口虾蛄	82.0	44.7	101	1.69	0.15	40.7	0.55	13.4	<0.002
8-2 口虾蛄	79.0	122	57.7	2.52	1.33	154	1.58	17.7	0.003
9-9 隆线强蟹	85.2	52.2	155	0.191	0.37	31.2	0.40	14.9	0.036
10-2 隆线强蟹	83.3	43.2	126	0.169	0.51	26.9	1.51	118	0.021
11-9 矛尾鰕虎鱼	84.1	64.8	54.4	0.046	0.24	2.0	1.32	2.02	0.048
12-3 拟矛尾鰕虎鱼	82.6	14.9	41.7	0.096	1.00	2.7	0.48	1.35	<0.002
13-2 西格织纹螺	82.1	59.8	69.5	0.079	1.07	17.8	2.88	33.4	<0.002

14-3 赤鼻棱鳀	74.2	31.9	47.8	0.019	0.16	10.6	1.27	3.75	<0.002
15-3 哈氏仿对虾	80.1	14.9	80.9	0.024	0.20	26.6	1.25	5.98	0.013
16-4 鲜明鼓虾	82.5	62.2	57.5	0.036	0.56	47.5	0.52	7.85	<0.002
17-4 龙头鱼	87.8	39.0	31.9	0.032	1.06	1.4	0.57	1.50	0.012
18-4 中华管鞭虾	82.7	47.9	56.2	0.101	0.72	18.0	0.56	8.05	0.024
19-5 皮氏叫姑鱼	80.0	14.4	39.9	0.014	0.44	2.3	0.55	1.30	0.006
20-5 前肛鳗	71.7	20.9	74.0	0.105	1.15	19.6	0.58	14.0	0.096
21-6 艾氏蛇鳗	79.6	29.2	102	0.364	0.28	2.8	0.66	13.2	0.005
22-5 变态螭	72.0	1.15×10 ³	46.0	2.18	0.23	191	0.53	37.4	0.090
23-6 红狼牙鰕虎鱼	80.7	68.3	43.3	2.14	0.19	258	0.54	34.2	0.003
24-6 短吻鲷	74.2	29.4	65.3	0.063	1.55	27.9	0.75	2.81	0.047
25-7 短吻鲷	71.7	71.3	69.4	<0.005	0.08	35.2	1.32	2.31	0.013
26-7 习见蛙螺	82.8	30.6	39.6	0.078	0.42	7.2	1.28	14.0	0.007
27-11 习见蛙螺	75.8	28.3	27.6	0.295	0.32	8.7	1.53	16.7	0.008
28-7 中华舌鳎	77.7	35.5	45.5	0.012	0.54	6.5	1.31	6.52	0.062
29-11 龙头鱼	90.1	36.4	28.4	0.064	0.12	4.9	1.39	0.51	0.009
30-10 龙头鱼	89.2	44.6	28.9	0.052	0.96	9.7	1.55	0.39	0.058
31-11 龙头鱼	86.1	50.8	84.9	0.046	0.70	2.0	1.59	0.51	0.054
32-10 魁蚶	82.1	73.7	20.8	14.1	2.32	20.4	1.79	4.31	0.059
33-10 带鱼	73.3	90.4	45.2	0.026	0.33	68.1	1.46	1.02	0.029
34-12 中国枪乌贼	77.6	184	70.1	0.123	0.31	38.7	1.66	1.74	0.013
35-12 日本关公蟹	84.1	93.1	47.9	---	---	---	---	---	0.151
36-12 曼氏无针乌贼	83.9	95.0	77.1	8.25	0.34	131	1.69	1.75	0.098

注：“---”表示低于检出限

5.5.2.2 评价方法

海洋生物质量评价方法采用单因子指数法。

5.5.2.3 评价标准

海洋生物中贝类质量评价执行《海洋生物质量》（GB18421-2001）中的第一类标准，海洋生物中的鱼类、甲壳类和软体类生物质量评价采用《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中的标准，其中的石油烃采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中的标准要求。

5.5.2.4 评价结果

2017 年 11 月调查结果显示（表 5-56），带鹌螺的 Hg、As、Pb、Zn、Cr 含量超标，超标倍数分别为 2.39、0.76、0.18、0.37 和 1.86，其他生物的各项生物残毒含量均达标。

2018 年 3 月调查结果显示（表 5-57），5 种生物体内的石油烃的出现超标，超标率为 8.33%，最大超标倍数为变态螯体内石油烃超标倍数为 15.1；个别生物体内的 Cd、Cu 和 As 也出现了超标，最大超标倍数为 1.49；其他生物的各项生物残毒含量均达标。

表5-56 2017 年 11 月各类生物体内重金属质量指数

断面	样品名称	种类	总汞	砷	铜	铅	镉	锌	铬	石油烃
1	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.20	0.44	0.08	0.01	0.01	0.14	0.51	0.01
	鹤海鳗	鱼类	0.33	0.80	0.03	0.01	0.07	0.13	0.83	0.03
	红星梭子蟹	甲壳类	0.29	0.55	0.02	0.02	0.02	0.10	0.41	0.06
	银鲳	鱼类	0.10	0.62	0.02	ND	0.01	0.08	0.30	0.05
2	红星梭子蟹	甲壳类	0.98	0.50	0.02	0.01	0.02	0.02	0.32	0.02
	白叫姑鱼	鱼类	0.10	0.12	0.14	ND	0.01	0.11	0.25	0.06
	黄鳍鲷	鱼类	0.43	0.71	0.21	ND	0.01	0.08	0.29	ND
3	黄鳍鲷	鱼类	0.26	0.88	0.16	0.04	0.03	0.19	0.78	0.04
	口虾蛄	甲壳类	0.17	0.71	0.01	0.01	0.02	0.09	0.49	0.26
	食蟹豆齿鳗	鱼类	0.32	0.25	0.01	0.04	0.05	0.22	0.58	ND
	银鲳	鱼类	0.04	0.28	0.01	ND	0.00	0.05	0.06	0.01
	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.14	0.30	0.02	ND	0.01	0.07	0.37	0.02
4	银鲳	鱼类	0.07	0.72	0.10	ND	0.00	0.19	0.30	0.04
	红星梭子蟹	甲壳类	0.15	0.48	0.02	0.01	0.03	0.09	0.24	0.07
	中国枪乌贼	软体类	0.10	0.75	0.01	0.00	0.01	0.03	0.10	0.00
5	长蛸	软体类	0.06	0.10	0.08	0.01	0.02	0.05	0.18	0.12
	镘虾蛄	甲壳类	0.05	0.30	0.01	0.01	0.03	0.08	0.36	0.08
	银鲳	鱼类	0.07	0.61	0.01	0.00	0.00	0.07	0.35	ND
6	中国枪乌贼	软体类	0.21	0.88	0.02	0.00	0.02	0.03	0.12	0.00
	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.09	0.34	0.02	0.01	0.01	0.08	0.40	ND
	长蛸	软体类	0.15	0.22	0.09	0.01	0.06	0.11	0.37	0.24

	青鳞沙丁鱼	鱼类	0.05	0.49	0.04	0.02	0.02	0.14	0.20	0.02
	黄鳍鲷	鱼类	0.20	0.86	0.02	0.03	0.01	0.11	0.36	0.00
7	锰虾蛄	甲壳类	0.15	0.78	0.02	0.01	0.05	0.08	0.58	0.12
	中国枪乌贼	软体类	0.06	0.65	0.01	0.00	0.02	0.03	0.09	0.08
	白叫姑鱼	鱼类	0.17	0.25	0.02	0.01	0.02	0.06	0.37	ND
	鹤海鳗	鱼类	0.17	0.98	0.01	0.01	0.05	0.11	0.80	0.00
8	食蟹豆齿鳗	鱼类	0.57	0.18	0.01	0.03	0.08	0.30	0.91	ND
	红星梭子蟹	甲壳类	0.12	0.55	0.02	0.01	0.02	0.01	0.41	0.04
	黄鳍鲷	鱼类	0.33	0.88	0.03	0.02	0.03	0.42	0.47	0.01
	猛虾蛄	甲壳类	0.10	0.68	0.02	0.05	0.01	0.01	0.31	0.15
9	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.16	0.36	0.04	0.02	0.03	0.16	0.28	ND
	黄鳍鲷	鱼类	0.73	0.83	0.06	0.02	0.02	0.20	0.60	0.06
	中国枪乌贼	软体类	0.10	0.52	0.01	0.002	0.02	0.03	0.09	0.07
10	中国枪乌贼	软体类	0.14	0.85	0.01	0.002	0.02	0.08	0.10	0.08
	红星梭子蟹	甲壳类	0.08	0.75	0.02	0.01	0.01	0.02	0.40	0.04
	鹤海鳗	鱼类	0.26	0.96	0.01	0.01	0.06	0.08	0.67	0.07
	贡氏红娘鱼	鱼类	0.31	0.64	0.01	0.05	0.07	0.08	0.32	ND
11	油鲷	鱼类	0.18	0.38	0.02	0.03	0.03	0.10	0.39	ND
	中国枪乌贼	软体类	0.12	0.68	0.01	0.00	0.02	0.04	0.11	0.06
	蓝圆鲹	鱼类	0.16	0.93	0.08	0.06	0.04	0.34	0.29	0.06
	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.23	0.26	0.11	ND	0.03	0.17	0.61	ND
12	黄鳍鲷	鱼类	0.28	0.73	0.07	0.03	0.02	0.10	0.54	0.01
	中国枪乌贼	软体类	0.06	0.81	0.01	0.001	0.02	0.02	0.09	0.14
	南美白对虾	甲壳类	0.12	0.38	0.02	0.01	0.01	0.04	0.49	0.02
	皮氏叫姑鱼	鱼类	0.20	0.37	0.03	0.01	0.02	0.16	0.46	ND
13	带鹌螺	贝类	3.39	1.76	0.13	1.18	0.37	1.37	2.86	0.01
最大值			3.39	1.76	0.21	1.18	0.37	1.37	2.86	0.26
最小值			0.04	0.10	0.01	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00
超标率			2.1%	2.1%	0%	2.1%	0.0%	2.1%	2.1%	0%

表5-57 2017 年 11 月各类生物体内重金属质量指数

样品标识	生物类别	检测结果							
		石油 烃	锌	镉	铅	铜	铬	砷	汞
1-1 带鱼	鱼类	0.284	0.159	0.019	0.098	0.020	0.125	0.061	0.034
2-8 带鱼	鱼类	0.386	0.187	0.006	0.017	0.022	0.068	0.040	0.032
3-1 龙头鱼	鱼类	0.562	0.113	0.020	0.016	0.084	0.053	0.040	0.014
4-8 龙头鱼	鱼类	0.344	0.026	0.001	0.018	0.124	0.104	0.059	0.011
5-1 黑斑口虾蛄	甲壳类	0.578	0.022	0.190	0.026	0.398	0.172	0.324	0.031
6-8 黑斑口虾蛄	甲壳类	0.147	0.099	0.147	0.034	0.104	0.072	0.284	<0.002
7-9 口虾蛄	甲壳类	0.402	0.121	0.152	0.014	0.073	0.066	0.302	<0.002
8-2 口虾蛄	甲壳类	1.281	0.081	0.265	0.140	0.323	0.221	0.465	0.003
9-9 隆线强蟹	甲壳类	0.386	0.153	0.014	0.027	0.046	0.039	0.276	0.027
10-2 隆线强蟹	甲壳类	0.361	0.140	0.014	0.043	0.045	0.168	0.246	0.018
11-9 矛尾鰕虎鱼	鱼类	0.515	0.216	0.012	0.019	0.016	0.140	0.064	0.025
12-3 拟矛尾鰕虎鱼	鱼类	0.130	0.181	0.028	0.087	0.023	0.056	0.047	<0.001
13-2 西格织纹螺	甲壳类	0.535	0.083	0.007	0.096	0.032	0.344	0.747	<0.002
14-3 赤鼻棱鳀	鱼类	0.412	0.308	0.008	0.021	0.137	0.218	0.194	<0.001
15-3 哈氏仿对虾	甲壳类	0.148	0.107	0.002	0.020	0.053	0.166	0.149	0.013
16-4 鲜明鼓虾	甲壳类	0.544	0.067	0.003	0.049	0.083	0.061	0.172	<0.002
17-4 龙头鱼	鱼类	0.238	0.097	0.007	0.065	0.009	0.046	0.037	0.005
18-4 中华管鞭虾	甲壳类	0.414	0.065	0.009	0.062	0.031	0.065	0.174	0.021
19-5 皮氏叫姑鱼	鱼类	0.144	0.200	0.005	0.044	0.023	0.073	0.052	0.004
20-5 前肛鳗	鱼类	0.296	0.524	0.050	0.163	0.277	0.109	0.792	0.091
21-6 艾氏蛇鳗	鱼类	0.298	0.520	0.124	0.029	0.029	0.090	0.539	0.003
22-5 变态螯	甲壳类	16.100	0.086	0.305	0.032	0.535	0.099	1.309	0.126
23-6 红狼牙鰕虎鱼	鱼类	0.659	0.209	0.688	0.018	2.490	0.069	1.320	0.002
24-6 短吻鲷	鱼类	0.379	0.421	0.027	0.200	0.360	0.129	0.145	0.040
25-7 短吻鲷	鱼类	1.009	0.491	<0.002	0.011	0.498	0.249	0.131	0.012
26-7 习见蛙螺	甲壳类	0.263	0.045	0.007	0.036	0.012	0.147	0.301	0.006
27-11 习见蛙螺	甲壳类	0.342	0.045	0.036	0.039	0.021	0.247	0.505	0.010
28-7 中华舌鳎	鱼类	0.396	0.254	0.004	0.060	0.072	0.195	0.291	0.046
29-11 龙头鱼	鱼类	0.180	0.070	0.011	0.006	0.024	0.092	0.010	0.003
30-10 龙头鱼	鱼类	0.241	0.078	0.009	0.052	0.052	0.112	0.008	0.021

31-11 龙头鱼	鱼类	0.353	0.295	0.011	0.049	0.014	0.147	0.014	0.025
32-10 魁蚶	甲壳类	0.660	0.025	1.262	0.208	0.037	0.214	0.096	0.053
33-10 带鱼	鱼类	1.207	0.302	0.012	0.044	0.909	0.260	0.054	0.026
34-12 中国枪乌贼	软体类	2.061	0.063	0.005	0.007	0.087	0.068	0.039	0.010
35-12 日本关公蟹	甲壳类	0.740	0.051	—	—	—	—	—	0.120
36-12 曼氏无针乌贼	软体类	0.765	0.050	0.242	0.005	0.211	0.049	0.028	0.053
最大值		16.100	0.524	1.262	0.208	2.490	0.344	1.320	0.126
最小值		0.130	0.022	0.001	0.005	0.009	0.039	0.008	0.002
超标率		8.33%	0%	2.78%	0%	2.78%	0%	5.56%	0%

5.6 海洋生态环境现状调查与评价

5.6.1 调查概况

5.6.1.1 调查站位和调查项目

2017 年 11 月, 委托广东宇南检测技术有限公司开展本项目秋冬季海洋生态调查。共布设海洋生态调查站位 18 个, 潮间带生物调查断面 3 条, 游泳动物调查断面 12 条。海洋生态调查内容包括: 浮游植物、浮游动物、低栖生物和鱼卵仔鱼。

2018 年 3 月, 中国科学院南海海洋研究所开展本项目春季海洋生态调查。共布设海洋生态调查站位 18 个, 潮间带生物调查断面 3 条, 游泳动物调查断面 12 条。海洋生态调查内容包括: 浮游植物、浮游动物、低栖生物和鱼卵仔鱼。海洋生态和潮间带调查站位布设信息见表 5-58、图 5-77, 渔业资源调查站位布设信息见表 5-59 和图 5-78。

表5-58 2017 年 11 月海洋生态和潮间带调查站位坐标表

站位	经度 (E)	纬度 (N)	调查内容
2	116°21' 55.09"	22°44' 41.13"	海洋生态
4	116°12' 58.24"	22°31' 05.67"	海洋生态
6	116°12' 53.91"	22°44' 23.11"	海洋生态
8	116°07' 08.86"	22°46' 42.03"	海洋生态
10	116°07' 10.78"	22°38' 34.39"	海洋生态
13	116°02' 55.17"	22°35' 32.82"	海洋生态

15	116°02' 46.17"	22°42' 47.97"	海洋生态
16	116°02' 52.43"	22°45' 46.78"	海洋生态
17	116°02' 52.43"	22°48' 36.56"	海洋生态
18	115°58' 42.73"	22°46' 29.27"	海洋生态
20	115°58' 33.79"	22°39' 03.36"	海洋生态
22	115°58' 24.47"	22°31' 18.88"	海洋生态
24	115°52' 49.53"	22°35' 15.10"	海洋生态
25	115°52' 54.50"	22°40' 00.08"	海洋生态
27	115°44' 07.98"	22°49' 23.41"	海洋生态
28	115°44' 13.70"	22°39' 56.74"	海洋生态
29	115°44' 18.91"	22°31' 20.42"	海洋生态
30	115°38' 02.22"	22°31' 20.76"	海洋生态
I	115°49' 47.41"	22°45' 18.89"	潮间带
II	115°53' 30.11"	22°47' 56.30"	潮间带
III	115°55' 40.96"	22°48' 29.88"	潮间带

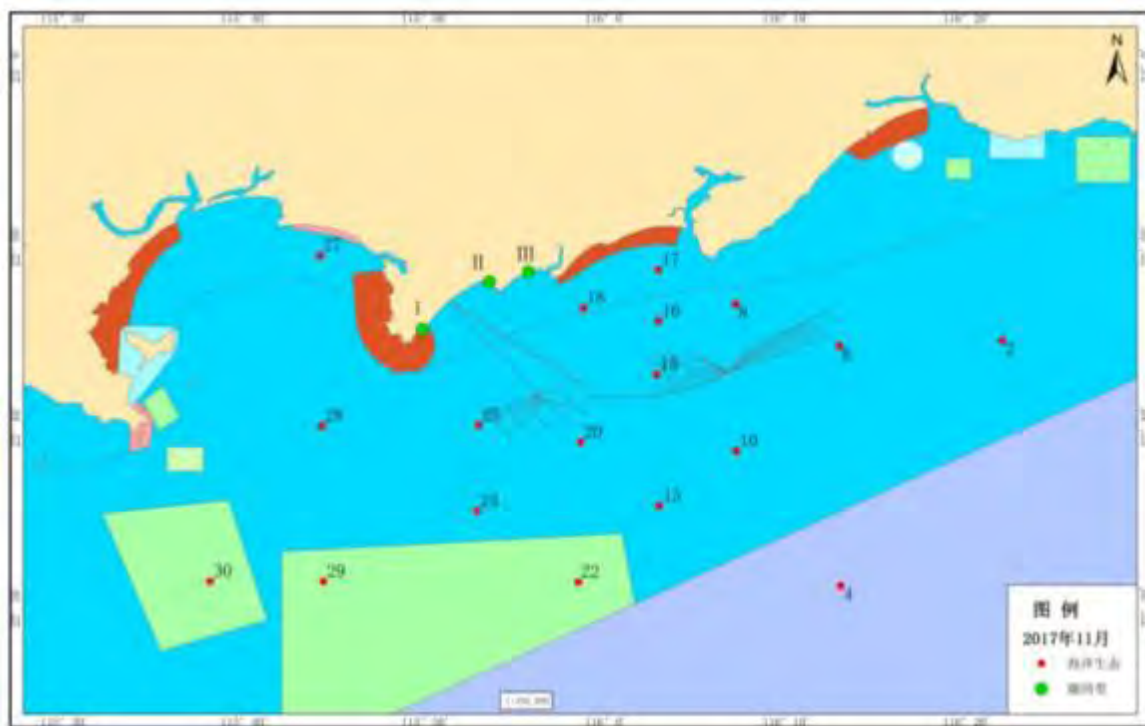


图5-77 2017 年 11 月海洋生态调查站位图

表5-59 渔业资源调查断面

断面号	断面起点		断面终点	
	经度 (E)	纬度 (N)	经度 (E)	纬度 (N)
1	116°18' 30.06"	22°49' 02.12"	116°23' 16.65"	22°51' 12.19"
2	116°10' 52.57"	22°44' 57.54"	116°12' 39.28"	22°47' 11.76"
3	116°00' 58.18"	22°45' 23.42"	115°58' 06.86"	22°41' 38.66"
4	115°48' 17.06"	22°40' 45.60"	115°43' 49.96"	22°39' 17.68"
5	115°44' 02.26"	22°38' 09.06"	115°44' 59.10"	22°35' 30.25"
6	115°57' 33.23"	22°40' 36.78"	115°53' 14.87"	22°39' 06.60"
7	116°04' 55.27"	22°43' 40.48"	116°02' 32.41"	22°42' 30.00"
8	116°16' 27.30"	22°48' 14.93"	116°13' 40.38"	22°48' 17.92"
9	116°18' 47.31"	22°41' 39.80"	116°18' 07.62"	22°46' 15.95"
10	116°12' 02.21"	22°41' 50.65"	116°17' 30.07"	22°41' 19.50"
11	115°55' 20.30"	22°34' 04.50"	116°01' 59.24"	22°34' 26.80"
12	115°45' 15.16"	22°33' 28.82"	115°45' 13.80"	22°30' 48.86"

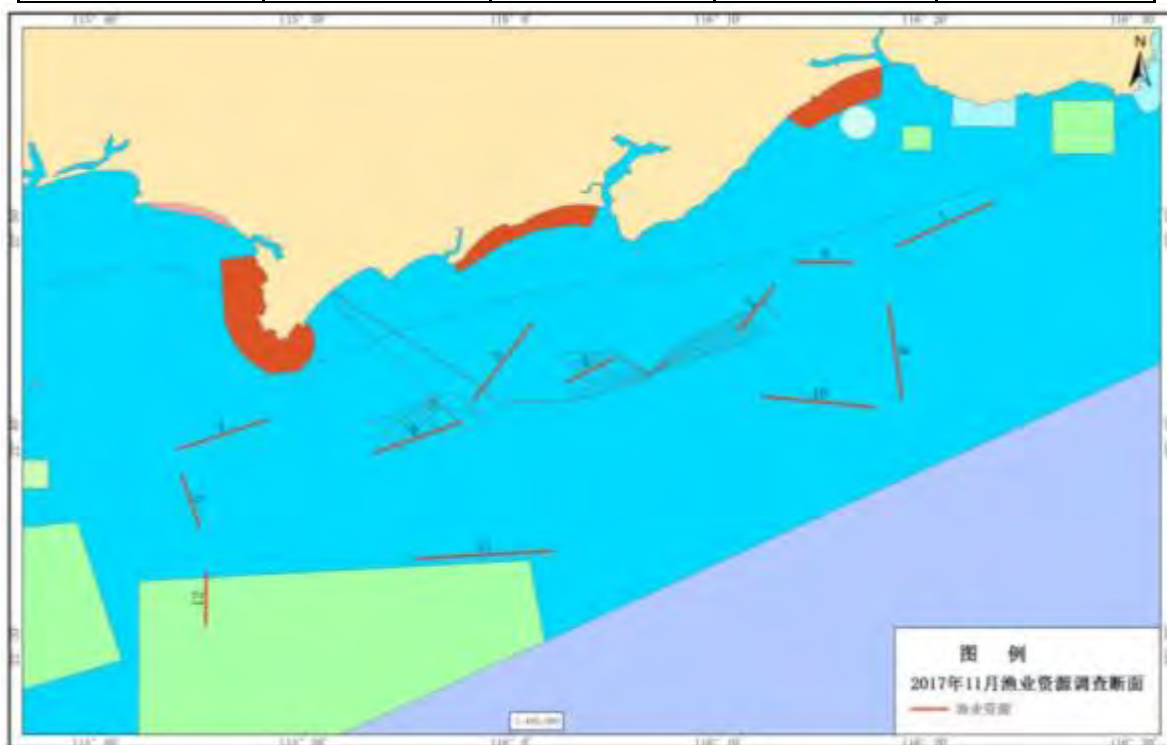


图5-78 渔业资源调查站位布设图

5.6.1.2 调查方法

各调查项目的采样、分析方法和技术要求按《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB12763/T-2007)的规定进行。各项目分析方法见样品监测报告。

5.6.1.3 评价方法

(1) 优势度(Y):

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

(2) Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

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

(3) Pielou 均匀度指数(J):

$$J = H' / H_{\max}$$

式中: $P_i = n_i/N$; $H_{\max} = \log_2 S$, 为最大多样性指数; n_i : 第 i 种的个体数量(ind./m³); N : 某站总生物数量(ind./m³); f_i : 某种生物的出现频率(%); S : 出现生物总种数。

(4) 渔业资源密度采用底拖网扫海面积法(Shindo, 1973 转引自 Aoyama, 1973)估算, 单位为 kg/km²。计算公式为:

$$d = \frac{y}{vl} \cdot \frac{1}{(1-E)}$$

式中: d 为资源密度; y 为拖网渔获率; v 为平均拖速; l 为网口宽度; E 为逃逸率(这里取 0.5)。

根据渔获物中个体大小悬殊的特点, 优势渔获物分析通过 Pinkas 等提出的相对重要性指标(IRI)来确定:

$$IRI = (N+W) \times F \times 10^4$$

N 为某种类的尾数占总渔获尾数的百分比;

W 为某种类的质量占总渔获质量的百分比;

F 为某种类在调查中被捕获的站位数与总调查站位数之比。

5.6.1.4 评价标准

生物多样性指数评价指标见表 5-60。

表5-60 生物多样性指数评价指标

指数 H'	$H' \geq 3.0$	$2 \leq H' < 3.0$	$1 \leq H' < 2.0$	$H' < 1.0$
生境质量等级	优良	一般	差	极差

5.6.2 海洋生态 2017 年 11 月调查结果

5.6.2.1 叶绿素 a 和初级生产力

(1) 叶绿素 a

该海域 18 个调查站位表层水体叶绿素 a 平均含量为 $3.00\text{mg}/\text{m}^3$, 变化范围在 $0.56 \sim 7.61\text{mg}/\text{m}^3$, 最高值出现在 30 号站, 最低值出现在 13 号站。调查海域的叶绿素含量整体水平一般。影响水体叶绿素 a 分布的因子较多, 如非生物因子(潮汐、透明度、浊度、水深、盐度、无机营养盐等)和生物因子(浮游植物密度、浮游动物的摄食和海洋病毒的侵染等)只有深入测定各因子的参数, 才能探讨其与叶绿素 a 含量分布状况之间的相关关系。

(2) 初级生产力

对初级生产力进行估算统计, 根据水体透明度和表层叶绿素 a 含量估算得到的海区表层水体初级生产力范围在 $68.50 \sim 1068.56\text{mgC}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 之间, 平均值为 $315.26\text{mgC}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, 其中以 30 号站最高, 为 $1068.56\text{mgC}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$, 13 站最低, 为 $68.50\text{mgC}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。初级生产力反映出单位时间和单位面积内浮游植物的生产水平, 受到光、温度、辐射、营养盐、浮游植物等多种生态因子的综合影响。

表5-61 调查海域叶绿素 a 和初级生产力分布情况

调查站位	叶绿素浓度 (mg/m ³)	透明度	初级生产力 (mg C/m ² ·d)
2	1.02	1.3	80.95
4	1.12	1.0	68.38
6	1.46	0.9	80.22
8	1.82	1.2	133.33
10	1.12	2.1	143.59
13	0.56	2.0	68.50
15	2.75	1.3	218.25
16	1.90	0.9	104.40
17	6.02	0.8	294.02
18	0.97	1.6	94.65
20	1.23	1.4	105.13
22	1.68	2.1	215.38
24	1.33	2.1	170.51
25	2.16	1.8	237.36
27	6.79	1.7	704.70
28	7.08	2.1	907.69
29	7.29	2.2	979.12
30	7.61	2.3	1068.56
平均值	3.00	1.60	315.26

5.6.2.2 浮游植物

(1) 种类组成

本次生态调查在调查海域共鉴定出浮游植物 78 种，隶属于 5 门（附录 I），其中以硅藻门为主，共 53 种，占总种数的 67.95%；其次是甲藻门，有 21 种，占总种数的 26.92%；隐藻门有 2 种，占总种数的 2.56%；金藻门和蓝藻门均只有 1 种，分别占总种数的 1.28%。

本次调查浮游植物种类数空间分布如图 5-79 总体看来，浮游植物各站位空间分布比较均匀，种类数量相当。22 号站浮游植物种类最多，为 38 种；27 号站浮游植物种类次之，为 35 种；25 号站浮游植物种类最少，仅为 18 种；其他各站浮游植物种类数均处于 19~33 种之间。

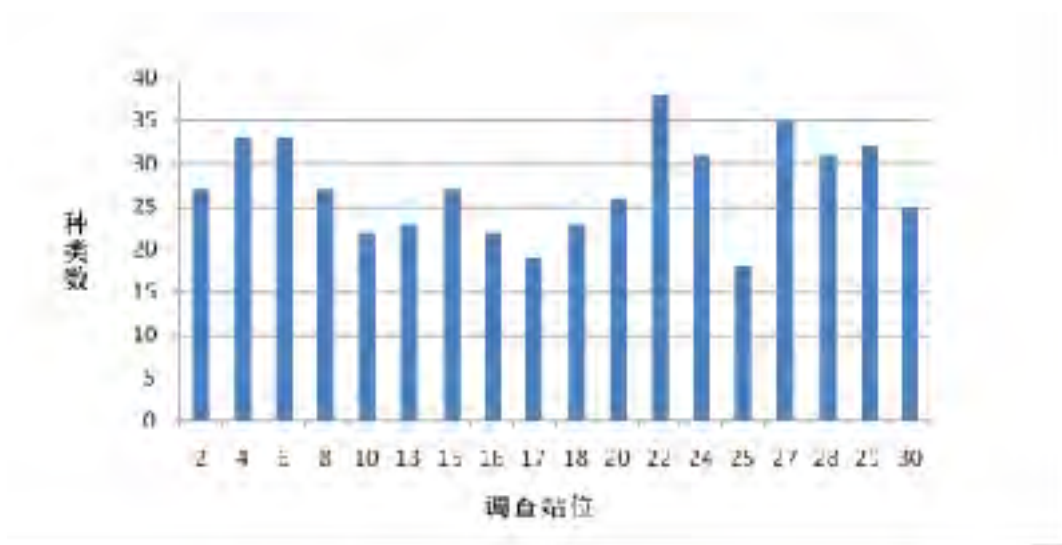


图5-79 调查海域浮游植物种类数空间分布

(2) 数量分布

本次调查浮游植物密度空间分布如图 5-80，调查海域的浮游植物平均密度为 $1148.72 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ ，各站位浮游植物密度处于 $29.18 \sim 18898.65 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ 之间。其中 27 号站浮游植物的密度水平明显大于其他站位，高达 $18898.65 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ ，远高出平均水平；其他的站位浮游植物密度处于 $29.18 \sim 366.09 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ 之间，各站位分布较为均匀；浮游植物密度最少的是 4 号站，仅为 $29.18 \times 10^3 \text{ cell/m}^3$ 。

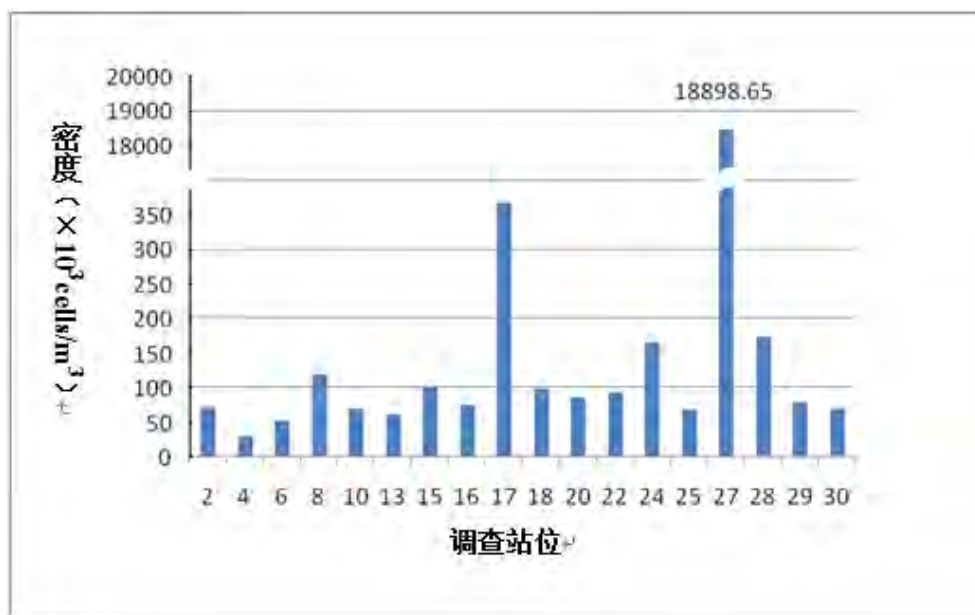


图5-80 调查海域浮游植物密度分布图

(3) 优势种及栖息密度分布

按照优势度 $Y \geq 0.02$ 来确定本次调查海域浮游植物优势种有 6 个, 分别是: 佛氏海毛藻 *Thalassiothrix frauenfeldii*、骨条藻 *Skeletonema* sp.、角毛藻 *Chaetoceros* sp.、菱形海线藻 *Thalassionema nitzschioides*、束毛藻 *Trichodesmium* sp.、圆海链藻 *Thalassiosira rotula*。

表5-62 调查海域浮游植物优势种及栖息密度分布 ($\times 10^3 \text{ cell/m}^3$)

调查站位	佛氏海毛藻	骨条藻	角毛藻	菱形海线藻	束毛藻	圆海链藻
2	1.58	2.05	1.74	12.30	15.30	0.00
4	0.66	0.00	0.80	1.46	6.76	0.00
6	2.07	4.89	1.78	8.44	6.22	0.00
8	7.06	0.00	1.70	34.46	15.25	0.00
10	1.97	0.00	0.00	1.31	8.36	0.00
13	2.54	0.00	0.00	3.02	4.92	0.00
15	2.35	5.88	2.35	1.96	20.59	0.00
16	4.43	0.00	0.00	4.17	21.35	0.00
17	22.61	0.00	0.00	33.91	114.35	0.00
18	1.35	0.00	1.35	2.70	14.19	0.00
20	4.16	0.00	0.00	6.73	41.64	0.00
22	0.89	0.00	0.00	6.71	48.43	0.00
24	1.44	0.00	0.72	4.33	113.72	0.00
25	2.54	0.00	0.00	0.00	42.63	0.69
27	445.95	4155.41	1013.51	6351.35	40.54	3175.68
28	3.92	0.00	0.00	12.26	93.63	0.00
29	0.86	0.00	0.00	5.65	35.10	3.77
30	3.57	0.00	0.00	9.91	23.39	0.00
优势度	0.025	0.045	0.022	0.297	0.032	0.026

(4) 多样性水平

调查海域浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 分布较均匀, 多样性指数范围处于 2.13~4.08 之间, 平均值为 3.35, 多样性指数最高出现在 6 号站, 值为 4.08; 最低值为 24 号站的 2.13; Pielou 均匀度指数 (J) 变化范围在 0.43~0.85, 平均值为 0.71; 最高的出现在 13 号站值为 0.85; 最低值为 24 号站的 0.43。

该海域浮游植物多样性指数处于很高水平，均匀度指数较一般。表明本海域浮游植物的生态状况优良，种类分布比较均匀。

表5-63 调查海域浮游植物多样性水平

调查站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)
2	27	4.00	0.84
4	33	4.06	0.81
6	33	4.08	0.81
8	27	3.44	0.72
10	22	3.62	0.81
13	23	3.86	0.85
15	27	3.88	0.82
16	22	3.75	0.84
17	19	2.90	0.68
18	23	3.76	0.83
20	26	3.02	0.64
22	38	3.10	0.59
24	31	2.13	0.43
25	18	2.14	0.51
27	35	3.10	0.60
28	31	2.93	0.59
29	32	3.20	0.64
30	25	3.32	0.71
平均值	27.33	3.35	0.71

5.6.2.3 浮游动物

(1) 种类组成

经鉴定，本次调查海域发现浮游动物由 13 大类群组成，如图 5-81，共计 84 种(附录 II)。其中桡足类的种数最多，有 33 种，占浮游动物总种数的 39.29%；浮游幼体次之，有 16 种，占浮游动物总种数的 19.05%；腔肠动物有 10 种，占浮游动物总种数的 11.90%；毛颚类的种数为 6 种，占浮游动物总种数的 7.14%；被囊类的种数为 6 种，占浮游动物总种数的 5.95%、十足类的种数为 4 种，占浮游动物总种数的 4.76%；糠虾类的种数为 3 种，占浮游动物总种数的 3.57%；、介型类的种数为 2 种，占浮游动物总种数的 2.38%；磷虾类，异足类、

翼足类、原生动物、栉水母动物均只有一种，各占总种数的 1.19%。

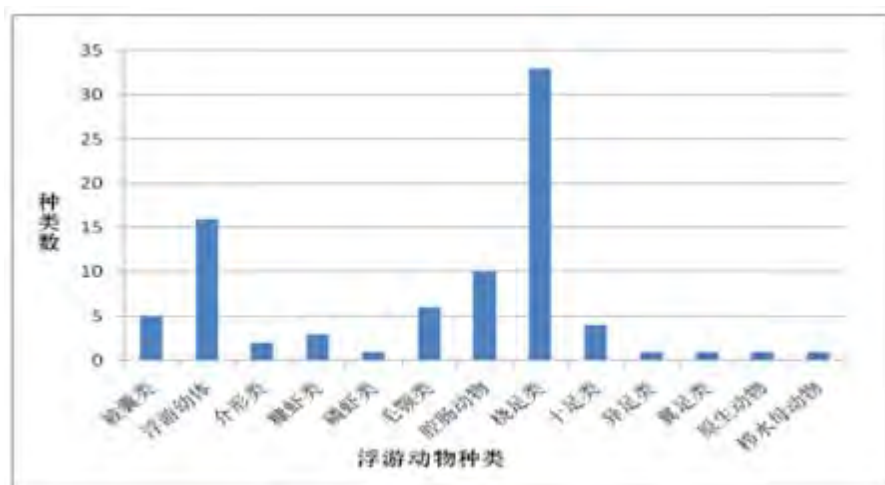


图5-81 调查海域浮游动物类群组成情况

浮游动物种类的空间分布如图 5-82 所示。其中 4 号站种类最多，有 48 种；其次是 24 号站，有 40 种；2 号站的种类数最少，仅有 16 种；其他站位种类数处于 17~32 之间。

从图中可以看出，所有调查站位的浮游动物均以浮游幼体、桡足类、毛颚类为主要构成类群，出现率均为 100%；介形类出现率为 88.89%；腔肠动物出现率为 83.33%；十足类出现率为 72.22%；被囊类和磷虾类出现率均为 55.56%；翼足类、糠虾类、异足类出现率分别为 33.33%、27.78%、11.11%；原生动物和栉水母动物出现率最小，均仅为 5.56%。

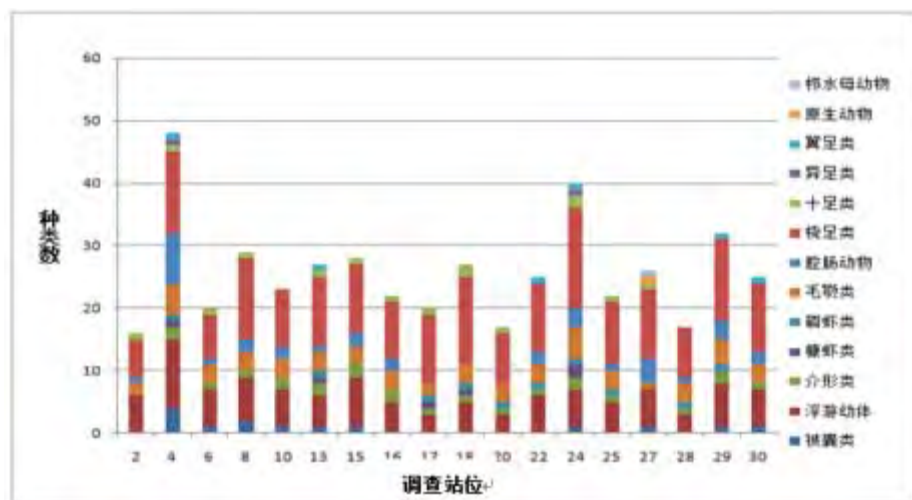


图5-82 调查海域浮游动物各类群种类数的空间分布

(2) 数量分布

本次调查海域范围各站点浮游动物密度数据，各站位浮游动物平均密度为 184.30 ind./m^3 ，最大浮游动物密度出现在 24 号站，为 784.48 ind./m^3 ，最小的出现在 6 号站，为 24.01 ind./m^3 ，可见各站点间浮游动物密度差距较大；其它站位中平均浮游动物密度大于 200.00 ind./m^3 的有 4 号站、27 号站和 13 号站，分别为 565.12 ind./m^3 、 475.00 ind./m^3 、 362.22 ind./m^3 ；其他站位浮游动物密度均在 $36.28 \sim 143.32 \text{ ind./m}^3$ 之间。

本次调查浮游动物平均密度为 184.30 ind./m^3 ，其中桡足类密度达到 92.86 ind./m^3 ，占浮游动物平均密度的 50.39%；其次是毛颚类密度为 41.55 ind./m^3 ，占浮游动物平均密度的 22.54%；浮游幼体的密度也有 24.56 ind./m^3 ，占平均浮游动物平均密度的 13.33%；腔肠动物密度为 15.37 ind./m^3 ，占浮游动物平均密度的 8.34%；其余 5.40% 由被囊类、介形类、糠虾类、磷虾类、十足类、异足类、翼足类、原生动物、栉水母动物等 9 类组成；其中密度最低的为异足类浮游动物，仅为 0.02 ind./m^3 ，占浮游动物平均密度的 0.01%。

表5-64 调查海域浮游动物各类群栖息密度的空间分布 (单位: ind./m³)

调查站位	被囊类	浮游幼体	介形类	糠虾类	磷虾类	毛颚类	腔肠动物	桡足类	十足类	异足类	翼足类	原生动物	栉水母动物	总计
2	0.00	5.21	0.00	0.00	0.00	5.52	1.26	24.13	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	36.28
4	36.34	44.69	0.40	0.13	5.31	152.52	50.13	267.90	6.63	0.27	0.80	0.00	0.00	565.12
6	0.33	4.61	0.16	0.00	0.00	3.13	0.49	14.97	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	24.01
8	2.26	5.93	1.41	0.00	0.00	5.93	18.64	36.16	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00	72.03
10	0.66	7.38	0.33	0.00	0.00	12.46	2.30	24.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.38
13	2.22	46.83	1.90	1.75	10.48	75.08	14.92	203.49	4.76	0.00	0.79	0.00	0.00	362.22
15	0.20	5.69	0.59	0.00	0.00	4.51	6.47	22.55	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00	40.59
16	0.00	9.11	0.52	0.00	0.00	14.58	8.33	55.99	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	89.84
17	0.00	30.43	2.61	3.48	2.17	3.48	0.00	50.00	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	93.04
18	0.00	18.58	0.68	0.34	1.01	3.72	0.00	27.36	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	52.36
20	0.00	5.34	0.71	0.00	3.20	66.73	0.00	23.31	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
22	0.00	11.75	0.33	0.00	1.32	37.42	8.11	58.77	0.00	0.00	1.66	0.00	0.00	119.37
24	7.22	76.35	0.90	2.53	12.64	146.57	19.86	510.83	3.79	0.18	3.61	0.00	0.00	784.48
25	0.00	17.28	0.46	0.00	1.61	65.44	0.92	54.61	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	143.32
27	17.57	102.70	0.00	0.00	0.00	37.84	133.78	170.27	2.03	0.00	0.00	2.70	8.11	475.00
28	0.00	24.26	0.25	0.00	3.68	43.14	3.92	33.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	109.07
29	0.34	11.82	1.71	0.00	1.71	20.21	2.74	53.60	0.00	0.00	1.03	0.00	0.00	93.15
30	0.18	14.08	0.36	0.00	0.00	49.64	4.69	39.53	0.00	0.00	1.62	0.00	0.00	110.11
平均值	3.74	24.56	0.74	0.46	2.40	41.55	15.37	92.86	1.47	0.02	0.53	0.15	0.45	184.30

浮游动物生物量分布，全部 18 个站位平均生物量为 $80.09\text{mg}/\text{m}^3$ ，变化范围为 $9.87\sim 404.51\text{mg}/\text{m}^3$ ，各站位间生物量差别较大。2 号站位生物量最高为 $404.51\text{mg}/\text{m}^3$ ；其次是 13 号站和 24 号站，生物量分别是 $198.47\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $166.06\text{mg}/\text{m}^3$ ，其他站位生物量均小于 $100.00\text{mg}/\text{m}^3$ ，其中 6 号站生物量最少，为 $9.87\text{mg}/\text{m}^3$ 。

表5-65 调查海域浮游动物生物量的空间分布（单位： mg/m^3 ）

调查站 位	2	4	6	8	10	13	15	16	17	18
生物量	16.486	404.509	9.87	27.87	20.243	198.471	17.865	48.612	36.196	16.909
调查站 位	20	22	24	25	27	28	29	30	平均值	
生物量	58.73	76.036	166.065	76.037	87.838	63.324	65.068	51.543	80.093	

（3）优势种类及其数量分布

按照优势度 $Y \geq 0.02$ 来确定本次调查的浮游动物优势种类，共得出 7 个种类：肥胖箭虫 *Sagitta enflata*、精致真刺水蚤 *Euchaeta concinna*、桡足类幼体 *Copepoda-larvae*、双生水母 *Diphyes chamissonis*、微刺哲水蚤 *Canthocalanus pauper*、亚强次真哲水蚤 *Subeucalanus subcrassus*、长尾类幼体 *Macrura larvae*。其中肥胖箭虫优势度最高，为 0.191，其次是亚强次真哲水蚤和精致真刺水蚤，优势度分别为 0.160 和 0.113。

表5-66 调查海域浮游动物优势种类及数量的空间分布（单位： $\text{ind.}/\text{m}^3$ ）

调查站 位	肥胖箭虫	精致真刺 水蚤	桡足类幼 体	双生水母	微刺哲水 蚤	亚强次真哲水 蚤	长尾类幼 体
2	3.94	18.30	1.42	1.26	0.00	0.63	2.52
4	107.43	42.44	2.65	9.28	54.38	95.49	22.55
6	1.81	9.38	0.82	0.49	1.97	1.15	1.15
8	3.95	21.47	1.13	15.82	1.98	0.85	0.85
10	7.38	18.69	1.31	1.97	1.15	1.48	0.66
13	72.22	38.10	23.49	14.92	17.14	98.41	13.49
15	3.73	14.51	2.55	5.69	2.94	1.37	0.39
16	12.50	40.36	5.21	5.73	2.60	1.04	1.04
17	1.74	6.09	22.61	0.00	0.43	0.43	5.22
18	3.04	2.70	13.18	0.00	0.68	0.68	3.04
20	62.28	5.34	3.56	0.00	4.45	5.87	0.00

22	34.77	30.79	4.30	7.62	3.48	17.22	4.64
24	131.77	93.86	23.47	12.64	74.01	227.44	19.86
25	59.45	8.29	10.83	0.92	19.12	17.51	3.00
27	37.84	0.00	24.32	4.05	22.97	35.14	17.57
28	31.86	5.39	16.67	3.92	6.13	9.80	6.86
29	14.73	26.37	3.08	2.05	7.19	12.33	1.71
30	42.42	15.52	6.14	3.61	2.89	4.51	3.25
总计	632.85	397.60	166.74	89.98	223.51	531.35	107.79
平均值	35.16	22.09	9.26	5.00	12.42	29.52	5.99
优势度	0.191	0.113	0.050	0.023	0.069	0.160	0.030

(4) 多样性水平

该海域浮游动物种类多样性水平计算结果，显示出各站位之间 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 和 Pielou 均匀度指数 (J) 分布比较均匀。其中 Shannon-Wiener 多样性指数变化范围在 2.34~4.13 之间，平均值为 3.35，以 27 号站最高，其多样性指数为 4.13，20 号站最低，其多样性指数为 2.34。Pielou 均匀度 J 范围在 0.67~0.88，平均值为 0.72，27 号站均匀度最高，为 0.88，最低点出现在 2 和 22 号站，为 0.67。总的来说，本海区浮游动物多样性指数 H' 属于较高水平，均匀度 J 处于一般水平。该海域浮游动物的多样性指数处于较高水平，均匀度指数一般，表明本海域浮游动物的生态状况优良，物种分布比较均匀。

表5-67 调查海域浮游动物多样性水平

调查站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)
2	16	2.67	0.67
4	48	4.12	0.74
6	20	3.29	0.76
8	29	3.65	0.75
10	23	3.24	0.72
13	27	3.51	0.74
15	28	3.45	0.72
16	22	3.05	0.69
17	20	3.05	0.71
18	27	3.76	0.79
20	17	2.34	0.57

22	25	3.10	0.67
24	40	3.65	0.69
25	22	2.98	0.67
27	26	4.13	0.88
28	17	3.36	0.82
29	32	3.62	0.72
30	25	3.41	0.74
平均值	25.78	3.35	0.72

5.6.2.4 大型底栖生物

本次调查对范围海域内大型底栖生物做了定性和定量调查，定性结果显示在 6、10、15、17、17、20、22 号站均发现一定数量的大型底栖生物日本毛虾和口虾蛄幼体等。本次调查对范围海域内大型底栖生物定量结果分析如下：

(1) 种类组成

本次调查出现大型底栖生物有 5 大类群 17 种（附录Ⅲ），环节动物类群种数最多，有 10 种，是构成底栖生物的主要部分；其次是节肢动物 3 种，棘皮动物 2 种，脊索动物和软体动物物种数最少，均只有 1 种。环节动物物种数占总物种数的 58.82%，节肢动物和棘皮动物分别占总物种数的 17.65%和 11.76%；而脊索动物和软体动物均只占总物种数的 5.88%。

本次调查海域内大型底栖生物物种数及空间分布如图 5-83 所示，24 号站位物种数最多，达到 7 种；其次是 8 号站位为 6 种；2、6、13、15、22、29、30 号站位均为 5 种；2、10 和 20 号站位为 4 种；16、17 号站位为 3 种；28、18、25 号站位分别为 2 种、1 种、1 种；最少的是 27 号站位，没有发现大型底栖生物，只发现少量贝壳残片。其中环节动物在本次调查种出现率最高为 88.89%；其次是棘皮动物和脊索动物分别为 55.56%和 38.89%；节肢动物和软体动物均只出现一次，出现率为 5.56%。

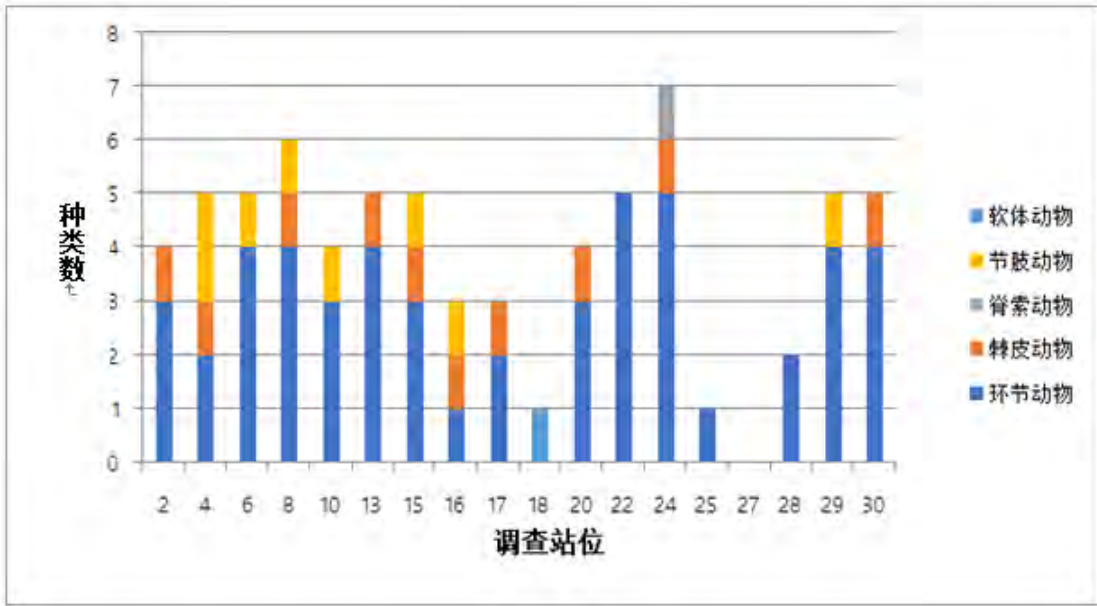


图5-83 调查海域底栖生种类数组成的空间分布

(2) 数量分布

本次调查海域内大型底栖生物栖息密度范围为 $0\sim76.19\text{ind./m}^2$ ，平均栖息密度为 34.39ind./m^2 ，其最大和最小栖息密度差距较大；其中以 4 号站位底栖生物栖息密度最大，为 76.19ind./m^2 ；其次是 8 号站位，其栖息密度为 47.62ind./m^2 ；13、20、24、30 号站位栖息密度均为 42.86ind./m^2 ；2、6、10、15、28、22 号站位栖息密度均为 33.33ind./m^2 ；16、25、17、18、27 栖息密度均在 30ind./m^2 以下，最小的为 18 号站点，其栖息密度为 14.29ind./m^2 ；其中 27 号站位未发现大型底栖生物。

在大型底栖生物各类群的数量组成中，各调查站位中以环节动物数量最大，平均密度为 25.66ind./m^2 ，占海区大型底栖生物平均密度的 74.62% ，变化范围介于 $0\sim52.38\text{ind./m}^2$ 之间；棘皮动物数量居第二位，平均密度为 5.03ind./m^2 ，占比 14.62% ，变化范围为 $0\sim14.29\text{ind./m}^2$ ；其次是节肢动物的平均密度为 2.65ind./m^2 ，占比 2.31% ，变化范围为 $0\sim9.52\text{ind./m}^2$ ；软体动物平均密度是 0.79ind./m^2 ，占比 2.31% ；脊索动物平均密度最小，平均密度均为 0.26ind./m^2 ，仅占 0.77% ；可见大型底栖生物各大类群栖息密度差异较大。

表5-68 调查海域大型底栖生物不同类群数量的空间分布 (单位: ind./m²)

调查站位	环节动物	棘皮动物	脊索动物	节肢动物	软体动物	总计
2	23.81	9.52	0.00	0.00	0.00	33.33
4	52.38	14.29	0.00	9.52	0.00	76.19
6	28.57	0.00	0.00	4.76	0.00	33.33
8	28.57	14.29	0.00	4.76	0.00	47.62
10	23.81	0.00	0.00	9.52	0.00	33.33
13	38.10	4.76	0.00	0.00	0.00	42.86
15	19.05	4.76	0.00	9.52	0.00	33.33
16	9.52	14.29	0.00	4.76	0.00	28.57
17	14.29	4.76	0.00	0.00	0.00	19.05
18	0.00	0.00	0.00	0.00	14.29	14.29
20	28.57	14.29	0.00	0.00	0.00	42.86
22	33.33	0.00	0.00	0.00	0.00	33.33
24	33.33	4.76	4.76	0.00	0.00	42.86
25	23.81	0.00	0.00	0.00	0.00	23.81
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	33.33	0.00	0.00	0.00	0.00	33.33
29	33.33	0.00	0.00	4.76	0.00	38.10
30	38.10	4.76	0.00	0.00	0.00	42.86
平均值	25.66	5.03	0.26	2.65	0.79	34.39

本次调查海域内大型底栖生物中,变化范围为 $0 \sim 45.495 \text{g/m}^2$, 平均生物量为 7.914g/m^2 , 个别站位生物量较高, 其中 4 号站位生物量最高, 为 45.495g/m^2 ; 其他大于平均生物量的站位有 2、30、24、25, 其生物量分别为 28.657g/m^2 、 14.086g/m^2 、 9.886g/m^2 、 8.062g/m^2 ; 其他站位生物量低于平均值, 生物量最低的是 18 号站, 仅为 0.105g/m^2 ; 27 号站位未发现底栖生物。

在本次调查中, 棘皮动物平均生物量最高, 为 4.819g/m^2 ; 其次是环节动物, 其平均生物量为 2.463g/m^2 ; 这两个类群生物量远高于其他类群生物量; 脊索动物和节肢动物平均生物量均较低, 分别为 0.366g/m^2 和 0.261g/m^2 ; 平均生物量最少的是软体动物, 仅为 0.006g/m^2 。

表5-69 调查海域大型底栖生物不同类群生物量的空间分布 (单位: g/m²)

调查站位	环节动物	棘皮动物	脊索动物	节肢动物	软体动物	总计
2	0.743	27.914	0.000	0.000	0.000	28.657
4	0.733	43.462	0.000	1.300	0.000	45.495
6	2.724	0.000	0.000	0.829	0.000	3.552
8	2.338	0.152	0.000	0.262	0.000	2.752
10	3.943	0.000	0.000	1.362	0.000	5.305
13	3.143	0.133	0.000	0.000	0.000	3.276
15	3.095	0.424	0.000	0.619	0.000	4.138
16	0.143	1.110	0.000	0.286	0.000	1.538
17	0.471	0.490	0.000	0.000	0.000	0.962
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105	0.105
20	3.467	0.648	0.000	0.000	0.000	4.114
22	1.552	0.000	0.000	0.000	0.000	1.552
24	3.105	0.186	6.595	0.000	0.000	9.886
25	8.062	0.000	0.000	0.000	0.000	8.062
27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
28	7.367	0.000	0.000	0.000	0.000	7.367
29	1.571	0.000	0.000	0.033	0.000	1.605
30	1.871	12.214	0.000	0.000	0.000	14.086
平均值	2.463	4.819	0.366	0.261	0.006	7.914

(3) 主要种类及其分布

调查海域底栖生物类群以优势度 ≥ 0.02 为判断依据,本次调查的优势种有 5 种,分别是:棘皮动物的光辉倍棘蛇尾 *Amphioplus lucidus*,优势度为 0.039;节肢动物的日本鼓虾 *Alpheus japonicas*,优势度为 0.021;环节动物的后指虫 *Laonice cirrata*、丝异蚓虫 *Heteromastus filiformis* 和真鳞虫 *Eulepethus hamifera*,优势度分别为 0.174、0.042 和 0.107。

表5-70 大型底栖生物优势种数量的空间分布 (单位: ind./m²)

调查站位	棘皮动物	节肢动物	环节动物		
	光辉倍棘蛇尾	日本鼓虾	后指虫	丝异蚓虫	真鳞虫
2	0.00	0.00	4.76	14.29	0.00
4	0.00	4.76	38.10	0.00	0.00
6	0.00	4.76	9.52	9.52	4.76
8	14.29	4.76	4.76	14.29	0.00

10	0.00	9.52	9.52	4.76	9.52
13	4.76	0.00	9.52	0.00	9.52
15	4.76	9.52	4.76	9.52	0.00
16	14.29	4.76	0.00	9.52	0.00
17	4.76	0.00	9.52	4.76	0.00
20	14.29	0.00	9.52	0.00	14.29
22	0.00	0.00	4.76	0.00	4.76
24	4.76	0.00	4.76	0.00	9.52
25	0.00	0.00	0.00	0.00	23.81
28	0.00	0.00	14.29	0.00	19.05
29	0.00	0.00	4.76	0.00	14.29
30	0.00	0.00	9.52	0.00	9.52
平均值	3.44	2.12	7.67	3.70	6.61
优势度	0.039	0.021	0.174	0.042	0.107

(4) 多样性水平

本次调查的大型底栖生物 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 范围在 0~2.73 之间, 平均为 1.67, 最高值出现在 24 号站, 为 2.73, 最低值为 0, 出现在 18、25、27 号站。Pielou 均匀度指数 (J) 变化范围在 0.99~0.92, 平均为 0.94, 以 28 号站最高, 为 0.98; 13 号站次之, 为 0.98; 4 号站最低, 为 0.821; 18、25、27 号站无均匀度指数。总体来说, 该调查海域大型底栖生物多样性指数属偏低水平, 均匀度指数处于较高水平。表明本海域大型底栖生物的生态状况较差, 但种类分布均匀。

表5-71 调查海域大型底栖生物多样性水平

调查站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)
2	4	1.84	0.92
4	5	1.91	0.82
6	5	2.24	0.96
8	6	2.37	0.92
10	4	1.95	0.98
13	5	2.28	0.98
15	5	2.24	0.96
16	3	1.46	0.92
17	3	1.50	0.95
18	1	0.00	---

20	4	1.89	0.95
22	5	2.24	0.96
24	7	2.73	0.97
25	1	0.00	---
27	1	0.00	---
28	2	0.99	0.99
29	5	2.16	0.93
30	5	2.20	0.95
平均值	3.94	1.67	0.94

5.6.2.5 潮间带生物

本次潮间带调查共设置 3 条断面，在各断面的高中低潮带各设 3 个站点进行定量及定性样品采集。

(1) 定性潮间带生物的种类组成和空间分布

调查断面采集到的潮间带生物经鉴定共有 2 大门类 5 种。经鉴定，软体动物种类数最多，为 3 种，占总种数的 60.00%；最低的是节肢动物，仅为 2 种，总种数的 40.00%。

断面 I 中，高潮带、中潮带和低潮带生物种类保持一致，均为 1 种。断面 II 中，高潮带生物种类有 2 种，中潮带生物种类有 1 种，低潮带未发现生物；断面 III 中，中潮带生物种类有 1 种，高潮带和低潮带均未发现生物。

表5-72 定性潮间带生物种类名录

序号	种名	拉丁文名
	节肢动物	
1	角眼沙蟹	<i>Ocypode ceratophthalmus</i>
2	痕掌沙蟹	<i>Ocypode stimpsoni</i>
	软体动物	
3	山猫眼宝贝	<i>Cypraea lymx</i>
4	塔结节滨螺	<i>Nodilittorina trochoides</i>
5	平轴螺	<i>Planaxis sulcatus</i>

(2) 定量潮间带生物的种类组成和空间分布

调查断面采集到的潮间带生物经鉴定共有两大门类 4 种，节肢动物和软体动

物种类数相同，均为 2 种，各占总种类的 50.00%。

断面 I 中，高潮带、中潮带、低潮带生物种类一致，均为 1 种。断面 II 中，高潮带为 1 种，中潮带、低潮带均未采集到生物。断面 III 中，高潮带、中潮带、低潮带均未采集到生物。

表5-73 定量潮间带生物种类名录

序号	种名	拉丁文名
	节肢动物	
1	角眼沙蟹	<i>Ocypode ceratophthalmus</i>
2	痕掌沙蟹	<i>Ocypode stimpsoni</i>
	软体动物	
3	塔结节滨螺	<i>Nodilittorina trochoides</i>
4	平轴螺	<i>Planaxis sulcatus</i>

(3) 定量潮间带生物量及栖息密度

a、生物量及栖息密度的组成

调查断面的潮间带生物，在生物量方面，以节肢动物居首位，为 $13.146\text{g}/\text{m}^2$ ，远高于软体动物的 $4.292\text{g}/\text{m}^2$ ，潮间带生物栖息密度的组成情况与生物量不同，软体动物为 $16.00\text{ind.}/\text{m}^2$ ，高于节肢动物的 $0.89\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

表5-74 调查海域潮间带生物量及栖息密度的组成

项目	节肢动物	软体动物
栖息密度 ($\text{ind.}/\text{m}^2$)	0.89	16.00
生物量 (g/m^2)	13.146	4.292

b、生物量及栖息密度的水平分布

三条断面的潮间带生物生物量平均为 $17.438\text{g}/\text{m}^2$ ，栖息密度平均为 $16.89\text{ind.}/\text{m}^2$ 。潮间带生物量大小顺序为：断面 II > 断面 I > 断面 III。在调查断面的水平分布方面，断面 II 的生物量最高，达到 $37.388\text{g}/\text{m}^2$ ；其次为断面 I，生物量为 $14.925\text{g}/\text{m}^2$ ；断面 III 未采集到生物。潮间带生物栖息密度的分布情况与生物量分布不一致，为断面 I > 断面 II > 断面 III。断面 I 的生物栖息密度最高，达到了 $49.33\text{ind.}/\text{m}^2$ ；其次为断面 II，生物栖息密度为 $1.33\text{ind.}/\text{m}^2$ ；断面 III 未采集到生物。

表5-75 调查断面潮间带生物量及栖息密度的水平分布

断面名称	项目	合计	节肢动物	软体动物
I	栖息密度 (ind/m ²)	49.33	1.33	48.00
	生物量 (g/m ²)	14.925	2.049	12.876
II	栖息密度 (ind/m ²)	1.33	1.33	0.00
	生物量 (g/m ²)	37.388	37.388	0.000
III	栖息密度 (ind/m ²)	0.00	0.00	0.00
	生物量 (g/m ²)	0.000	0.000	0.000
平均值	栖息密度 (ind/m ²)	16.89	0.89	16.00
	生物量 (g/m ²)	17.438	13.146	4.292

c、生物量及栖息密度的垂直分布

在垂直分布上, 潮间带生物的生物量表现为高潮带生物量最高, 高于低潮带和中潮带, 即中潮带<低潮带<高潮带; 栖息密度的分布与生物量有差异, 中潮带数量最多, 高于低潮带与高潮带, 即高潮带<低潮带<中潮带, 其中高潮带以节肢动物为主, 中潮带和低潮带的生物量均以软体动物为主。

表5-76 调查断面潮间带生物量及栖息密度的垂直分布

潮带名称	项目	合计	节肢动物	软体动物
高潮带	栖息密度 (ind/m ²)	2.67	2.67	0.00
	生物量 (g/m ²)	39.437	39.437	0.000
中潮带	栖息密度 (ind/m ²)	34.67	0.00	34.67
	生物量 (g/m ²)	1.047	0.000	1.047
低潮带	栖息密度 (ind/m ²)	13.33	0.00	13.33
	生物量 (g/m ²)	11.829	0.000	11.829
平均值	栖息密度 (ind/m ²)	16.89	0.89	16.00
	生物量 (g/m ²)	17.438	13.146	4.292

(4) 定量潮间带生物多样性指数

采用 Shannon-Wiener 指数法测定潮间带生物的多样性指数, 一般认为, 正常海域环境该指数值高, 污染环境该指数低。

计算结果显示, 调查断面潮间带多样性指数 (H') 及均匀度 (J) 均属于一般水平, 三条断面多样性指数平均为 0.51, 均匀度指数平均为 0.64。该海域潮间带生物的多样性指数与均匀度指数均较低。表明本海域潮间带生态环境较差,

种类分布不均匀。

表5-77 调查海区潮间带生物多样性指数及均匀度

断面名称	样方内出现的种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)
I	3	1.01	0.64
II	1	0.00	--
III	0	--	--
平均值	2.00	0.51	0.64

5.6.2.6 鱼卵与仔稚鱼定性调查

(1) 定性种类组成

鱼卵和仔稚鱼水平拖网调查共捕获鱼卵 1658 粒, 仔稚鱼 16 尾。初步鉴定出 9 种(附录VI), 鉴定到科的有 4 种, 鉴定到属的有 1 种, 鉴定到种的有 4 种。所鉴定出的 9 种类中, 鲈形目最多, 有 4 种, 占总种数的 44.4%; 鲱形目、鲷形目、鲹形目、银汉鱼目、鲈形目各有 1 种, 各占总类数的 11.1%; 各调查站位所出现的鱼卵种类数及仔稚鱼种类数较为均匀, 其中鱼卵出现种类为 4~6 种, 仔稚鱼出现种类数为 0~2 种。

表5-78 定性鱼卵仔鱼种类名录

序号	种名	拉丁文名
	鱼卵	
1	古鲷科	Cynoglossidae
2	鲷科	Leiognathidae
3	鲷科	Mugilidae
4	鲷科	Sparidae
5	小公鱼属	<i>Stolephorus</i> sp.
6	带鱼	<i>Trichiurus haumela</i>
	仔稚鱼	
7	白氏银汉鱼	<i>Allanetta bleekeri</i>
8	李氏鲷	<i>Callionymus richardsoni</i>
9	鲷科	Mugilidae
10	鲷	<i>Platycephalus indicus</i>
11	鲷科	Sparidae
12	小公鱼属	<i>Stolephorus</i> sp.

(2) 数量分布

调查海域共捕获鱼卵数量 1658 粒, 密度分布范围在 $0.275 \sim 1.037$ 粒/ m^3 之间, 平均为 0.497 粒/ m^3 。其中以 4 号站最高, 为 1.037 粒/ m^3 , 该站有大量小公鱼属鱼卵出现; 密度相对较高的站位还有 6 号站, 为 0.729 粒/ m^3 ; 18 号站捕获的鱼卵数量最低, 仅为 0.275 粒/ m^3 。

本次调查所捕获的仔稚鱼数量共 16 尾, 在多个站位中有出现, 调查海域的平均密度, 为 0.005 尾/ m^3 , 其密度最高出现在 4 号站、10 号站, 为 0.011 尾/ m^3 ; 其中 2 号站、号 6 站、16 号站、17 号站、18 号站、22 号站、24 号站、25 号站、27 号站、28 号站、29 号站、30 号站、密度均为 0.005 尾/ m^3 ; 8 号站、13 号站、15 号站、20 号站均无仔稚鱼出现。

表5-79 调查海域鱼卵和仔稚鱼的分布情况

调查 站位	鱼卵			仔稚鱼		
	种类数	数量 (粒)	密度 (粒/ m^3)	种类数	数量 (尾)	密度 (尾/ m^3)
2	4	91	0.491	1	1	0.005
4	6	193	1.037	2	2	0.011
6	5	108	0.583	1	1	0.005
8	5	66	0.356	0	0	0.000
10	5	60	0.324	2	2	0.011
13	6	116	0.626	0	0	0.000
15	4	53	0.286	0	0	0.000
16	4	73	0.394	1	1	0.005
17	4	81	0.437	1	1	0.005
18	4	51	0.275	1	1	0.005
20	5	95	0.513	0	0	0.000
22	6	135	0.729	1	1	0.005
24	6	113	0.61	1	1	0.005
25	5	82	0.443	1	1	0.005
27	5	88	0.475	1	1	0.005
28	5	101	0.545	1	1	0.005
29	4	64	0.346	1	1	0.005
30	4	89	0.481	1	1	0.005
平均值	4.83	92.17	0.497	0.89	0.89	0.005

(3) 鱼卵主要种类及其数量分布

调查鱼卵中数量占优势的种类有鲷科鱼卵 *Leiognathidae*、鲷科鱼卵、舌鲷科鱼卵、小公鱼属鱼卵。其中鲷科鱼卵占鱼卵总密度的 27.80%，在本次调查中出现率达 100.00%，其密度变化范围为 0.016~0.297 粒/m³，平均为 0.183 粒/m³，在 2 号站最多，为 0.297 粒/m³；鲷科鱼卵占鱼卵总密度的 22.50%，在本次调查中出现率达 100.00%，其密度变化范围为 0.027~0.227 粒/m³，平均为 0.112 粒/m³，在 20 号站最多，为 0.227 粒/m³；舌鲷科鱼卵占鱼卵总密度的 10.92%，在本次调查中出现率达 100.00%，其密度变化范围为 0.016~0.119 粒/m³，平均为 0.054 粒/m³，在 22 号站最多，为 0.119 粒/m³；小公鱼属鱼卵占鱼卵总密度的 24.19%，在本次调查中出现率达 100.00%，其密度变化范围为 0.049~0.335 粒/m³，平均为 0.120 粒/m³，在 4 号站最多，为 0.335 粒/m³。

表5-80 调查海域鱼卵主要种类及其数量分布

调查站位	鱼卵			
	鲷科 (粒/m ³)	鲷科 (粒/m ³)	舌鲷科 (粒/m ³)	小公鱼属 (粒/m ³)
2	0.297	0.065	0.016	0.054
4	0.248	0.184	0.086	0.335
6	0.205	0.119	0.07	0.086
8	0.086	0.027	0.022	0.162
10	0.016	0.097	0.049	0.119
13	0.238	0.113	0.027	0.173
15	0.059	0.065	0.027	0.103
16	0.081	0.097	0.054	0.135
17	0.189	0.119	0.049	0.049
18	0.065	0.086	0.043	0.032
20	0.059	0.227	0.065	0.108
22	0.151	0.108	0.119	0.232
24	0.194	0.157	0.043	0.130
25	0.097	0.113	0.086	0.065
27	0.086	0.130	0.065	0.113
28	0.178	0.130	0.097	0.049
29	0.086	0.098	0.038	0.081
30	0.151	0.081	0.022	0.140
平均值	0.138	0.112	0.054	0.120
优势度	0.278	0.225	0.109	0.242

(4) 仔稚鱼主要种类及其数量分布

调查仔稚鱼中数量占优势的种类有鲷科仔稚鱼、小公鱼属仔稚鱼。其中鲷科鱼仔稚鱼占仔稚鱼总密度的 37.04%，在本次调查中出现率达 33.33%，其密度变化范围为 0~0.005 尾/m³，平均为 0.002 尾/m³，4 号站、10 号站、16 号站、17 号站、25 号站、30 号站数目相同，均为 0.005 尾/m³；小公鱼属仔稚鱼占小公鱼属总密度的 37.04%，在本次调查中出现率达 33.33%，其密度变化范围为 0~0.005 尾/m³，平均为 0.002 尾/m³，2 号站、10 号站、18 号站、22 号站、24 号站、27 号站、28 号站数目相同，为 0.005 尾/m³。

表5-81 调查海域仔稚鱼主要种类及其数量分布

调查站位	仔稚鱼	
	鲷科	小公鱼属
	(尾/m ³)	(尾/m ³)
2	0.000	0.005
4	0.005	0.000
6	0.000	0.000
8	0.000	0.000
10	0.005	0.005
13	0.000	0.000
15	0.000	0.000
16	0.005	0.000
17	0.005	0.000
18	0.000	0.005
20	0.000	0.000
22	0.000	0.005
24	0.000	0.005
25	0.005	0.000
27	0.000	0.005
28	0.000	0.005
29	0.000	0.000
30	0.005	0.000
平均值	0.002	0.002
优势度	0.123	0.123

5.6.2.7 鱼卵与仔稚鱼定量调查

(1) 定量种类组成

鱼卵和仔稚鱼垂直拖网调查共获得鱼卵 1251 粒，仔稚鱼 17 尾。初步鉴定出 8 种（附录Ⅶ），鉴定到科的有 4 种，鉴定到属的有 1 种，鉴定到种的有 3 种，存在部分无法确定种属。所鉴定出的 8 种类中，鲈形目最多，有 4 种，占总种数的 50.0%；其种鲷形目、鲹形目、鲱形目、鲈形目各有 1 种，占总种数的 50.0%，各调查站位所出现的鱼卵种类数与仔稚鱼种类数较为均匀，其中鱼卵出现种类为 4~6 种，仔稚鱼出现种类数为 0~2 种。

表5-82 定量鱼卵仔鱼种类名录

序号	种名	拉丁文名
鱼卵		
1	古鲷科	Cynoglossidae
2	鲷科	Leiognathidae
3	鲷科	Mugilidae
4	鲷科	Sparidae
5	小公鱼属	Stolephorus sp.
6	带鱼	Trichiurus haumela
仔稚鱼		
7	李氏鲷	Callionymus richardsoni
8	鲷	Platycephalus indicus
9	鲷科	Sparidae
10	小公鱼属	Stolephorus sp.

表5-83 调查海域鱼卵和仔稚鱼定量的分布情况

调查 站位	鱼卵			仔稚鱼		
	种类数	数量（粒）	密度（粒/m ³ ）	种类数	数量（尾）	密度（尾/m ³ ）
2	5	56	8.833	0	0	0.000
4	6	134	17.772	2	2	0.265
6	5	93	15.296	1	1	0.164
8	6	68	19.209	0	0	0.000
10	5	54	8.852	1	1	0.164
13	5	79	12.540	1	1	0.159
15	5	65	12.745	1	1	0.196

16	4	66	17.188	1	1	0.260
17	4	64	27.826	2	2	0.870
18	5	45	15.203	1	1	0.338
20	5	67	11.922	1	1	0.178
22	6	95	15.728	1	1	0.166
24	5	73	13.177	0	0	0.000
25	5	59	13.594	1	1	0.230
27	4	61	41.216	0	0	0.000
28	5	57	13.971	1	1	0.245
29	5	54	9.247	1	1	0.171
30	4	61	11.011	2	2	0.361
平均值	4.94	69.50	15.852	0.94	0.94	0.209

(2) 数量分布

本次调查共捕获鱼卵数量 1251 粒，其各站位的密度分布范围在 8.833～41.216 粒/m³之间，平均为 15.852 粒/m³。其中以 27 号站最高，为 41.216 粒/m³，该站有较多鳊科和鲮科鱼卵出现；密度相对较高的站位还有 17 号站，为 27.826 粒/m³；2 号站出现鱼卵数量最低，仅为 8.833 粒/m³。

本次调查所捕获的仔稚鱼数量共 17 尾，在多个站位中有出现，海域密度平均为 0.209 尾/m³，其数量最高出现在 30 号站为 0.361 尾/m³；其次是 18 号站，密度为 0.338 尾/m³；13 号站仔稚鱼数量最低，仅为 0.159 尾/m³；2 号站、8 号站、24 号站、27 号站无仔稚鱼出现。

(3) 鱼卵主要种类及其数量分布

调查鱼卵中数量占优势的种类有鳊科鱼卵、鲮科鱼卵、舌鳎科鱼卵、小公鱼属鱼卵。其中鳊科鱼卵占鱼卵总密度的 27.42%，在本次调查中出现率达 100.00%，其密度变化范围为 1.967～12.162 粒/m³，平均为 4.346 粒/m³，在 27 号站最多，为 12.162 粒/m³；鲮科鱼卵占鱼卵总密度的 23.09%，在本次调查中出现率达 100.00%，其密度变化范围为 0.987～13.514 粒/m³，平均为 3.660 粒/m³，在 27 号站最多，为 13.514 粒/m³；舌鳎科鱼卵占鱼卵总密度的 9.68%，在本次调查中出现率达 100.00%，其密度变化范围为 0.435～3.646 粒/m³，平均为 1.537 粒/m³，在 16 号站最多，为 3.646 粒/m³；小

公鱼属鱼卵占鱼卵总密度的 21.43%，在本次调查中出现率达 100.00%，其密度变化范围为 1.027~8.108 粒/m³，平均为 3.397 粒/m³，在 27 号站最多，为 8.108 粒/m³。

表5-84 调查海域鱼卵主要种类及其数量分布

调查站位	鱼卵			
	鲷科 (粒/m ³)	鲷科 (粒/m ³)	舌鲷科 (粒/m ³)	小公鱼属 (粒/m ³)
2	3.628	1.577	0.946	1.104
4	4.244	3.183	1.592	5.570
6	7.401	0.987	2.467	1.480
8	5.65	3.107	1.977	2.260
10	1.967	1.803	0.656	2.623
13	2.857	1.587	0.952	5.397
15	2.745	2.353	1.765	3.529
16	2.083	3.906	3.646	5.208
17	9.13	10.435	0.435	4.348
18	3.378	3.716	2.027	2.703
20	4.982	1.779	0.534	2.491
22	3.311	2.483	2.318	3.642
24	3.61	2.708	0.772	3.249
25	3.226	4.608	1.843	1.843
27	12.162	13.514	1.351	8.108
28	2.941	2.451	1.961	3.676
29	2.74	1.712	1.884	1.027
30	2.166	3.971	0.542	2.888
平均值	4.346	3.660	1.537	3.397
优势度	0.274	0.231	0.097	0.214

(4) 仔稚鱼主要种类及其数量分布

调查仔稚鱼中数量占优势的种类有鲷科仔稚鱼、小公鱼属仔稚鱼、鲷仔稚鱼。其中鲷科仔稚鱼占仔稚鱼总密度的 31.71%，在本次调查中出现率达 27.78%，其密度变化范围为 0~0.435 尾/m³，平均为 0.066 尾/m³，在 17 号站最多，为 0.056 尾/m³；小公鱼属仔稚鱼占仔稚鱼总密度的 48.28%，在本次调查中出现率达 44.44%，其密度变化范围为 0~0.435 尾/m³，平均为 0.101 尾/m³，

在 17 号站最多，为 0.435 尾/m³；鲷仔稚鱼占仔稚鱼总密度的 16.48%，在本次调查中出现率达 16.67%，其密度变化范围为 0~0.260 尾/m³，平均为 0.034 尾/m³，在 16 号站最多，为 0.260 尾/m³。

表5-85 调查海域仔稚鱼主要种类及其数量分布

调查站位	仔稚鱼		
	鲷科	小公鱼属	鲷
	(尾/m ³)	(尾/m ³)	(尾/m ³)
2	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.133	0.000
6	0.000	0.000	0.164
8	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.164	0.000
13	0.000	0.159	0.000
15	0.000	0.000	0.196
16	0.000	0.000	0.260
17	0.435	0.435	0.000
18	0.000	0.338	0.000
20	0.178	0.000	0.000
22	0.000	0.166	0.000
24	0.000	0.000	0.000
25	0.230	0.000	0.000
27	0.000	0.000	0.000
28	0.000	0.245	0.000
29	0.171	0.000	0.000
30	0.181	0.181	0.000
平均值	0.066	0.101	0.034
优势度	0.088	0.215	0.027

5.6.2.8 渔业资源状况

租用渔船在项目周边海域进行了渔业资源调查，调查均按照《海洋调查规范》及中华人民共和国农业部 2008 年 3 月颁布的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》进行。

本次调查共捕获游泳动物 80 种（附录Ⅷ）。其中：甲壳类 14 种；鱼类 63 种；头足类 3 种。

表5-86 各站位出现种类统计结果

调查站位	类群			
	甲壳类	头足类	鱼类	总计
1	9	2	18	29
2	10	3	28	41
3	10	1	20	31
4	8	1	22	31
5	11	2	16	29
6	8	2	19	29
7	11	2	22	35
8	9	2	12	23
9	6	3	17	26
10	4	2	18	24
11	10	1	14	25
12	3	1	15	19

(1) 游泳动物渔获率

本次调查各站位的游泳动物平均个体渔获率和重量渔获率分别为 567.50 ind./h 和 18.38 kg/h，其中游泳动物的甲壳类动物平均个体渔获率和重量渔获率分别为 235.75 ind./h 和 6.29 kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 41.54% 和总平均重量渔获率的 34.21%；头足类动物的平均个体渔获率和重量渔获率分别为 67.25 ind./h 和 2.21 kg/h，占游泳动物总平均个体渔获率的 11.85% 和总平均重量渔获率的 12.05%；鱼类平均个体渔获率为 264.50 ind./h，占总平均个体渔获率的 46.61%，平均重量渔获率则为 9.88 kg/h，占总平均重量渔获率的 53.74%。

鱼类的平均个体渔获率和平均重量渔获率均最大，其次是甲壳类，最少的是头足类。在空间分布上看，各站位个体渔获率从大到小为 2>4>3>5>11>12>8>9>6>7>1>10；各站位重量渔获率从大到小为 3>2>6>4>12>8>9>1>5>10>7>11。

表5-87 各站位的重量渔获率 (kg/h) 和个体渔获率 (ind./h)

类群	甲壳类		头足类		鱼类		总计	
项目	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率	个体渔获率	重量渔获率
1	178.00	7.93	25.00	0.80	103.00	8.29	306.00	17.01
2	516.00	10.13	182.00	2.08	418.00	11.19	1116.00	23.40
3	263.00	6.65	114.00	4.12	312.00	16.34	689.00	27.11
4	204.00	6.92	43.00	0.95	497.00	12.68	744.00	20.56
5	410.00	8.56	53.00	1.01	204.00	6.59	667.00	16.16
6	134.00	4.34	63.00	4.40	253.00	12.63	450.00	21.37
7	227.00	5.05	33.00	1.23	178.00	5.57	438.00	11.84
8	420.00	10.12	44.00	1.17	83.00	7.78	547.00	19.07
9	211.00	5.05	60.00	2.06	183.00	10.41	454.00	17.53
10	50.00	5.26	33.00	2.76	86.00	7.56	169.00	15.58
11	157.00	4.16	37.00	0.98	455.00	5.91	649.00	11.05
12	59.00	1.29	120.00	5.01	402.00	13.55	581.00	19.85
平均值	235.75	6.29	67.25	2.21	264.50	9.88	567.50	18.38

(2) 游泳动物密度

本次调查中范围海域内游泳动物平均个体密度和重量密度分别为 43780.14 ind./km² 和 1417.73 kg/km²；其中游泳动物的甲壳类动物平均个体密度和平均重量密度为 18187.08 ind./km² 和 485.03 kg/km²；头足类动物平均个体密度和平均重量密度为 5188.04 ind./km² 和 170.87 kg/km²；鱼类的平均个体密度和平均重量密度分别为 20405.01 ind./km² 和 761.83 kg/km²。鱼类的平均个体密度和重量密度均最大，其次是甲壳类，最小的是头足类；空间分布上看，各站位间平均个体密度从大到小排列为 2>4>3>5>11>12>8>9>6>7>1>10；各站位间平均重量密度从大到小排列为 3>2>6>4>12>8>9>1>5>10>7>11。

表5-88 各站位的重量密度 (kg/km²) 和个体密度 (ind./km²)

类群	甲壳类		头足类		鱼类		总计	
项目	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度	个体密度	重量密度
1	13731.92	611.47	1928.64	61.64	7946.00	639.30	23606.56	1312.41
2	39807.14	781.48	14040.50	160.56	32246.87	863.24	86094.50	1805.28
3	20289.30	512.87	8794.60	318.15	24069.43	1260.25	53153.33	2091.27
4	15737.70	534.17	3317.26	73.29	38341.37	978.49	57396.34	1585.95

5	31629.70	66036	4088.72	77.53	15737.70	50866	51456.12	1246.55
6	10337.51	33468	4860.17	339.36	19517.84	97447	34715.53	1648.51
7	17512.05	38925	2545.81	94.66	13731.92	42981	33789.78	913.71
8	32401.16	78047	3394.41	90.61	6403.09	60034	42198.65	1471.42
9	16277.72	38968	4628.74	159.23	14117.65	80331	35024.11	1352.21
10	3857.28	40594	2545.81	212.92	6634.52	58328	13037.61	1202.14
11	12111.86	32082	2854.39	75.70	35101.25	45581	50067.50	852.33
12	4551.59	99.18	9257.47	386.81	31012.54	1044.99	44821.60	1530.97
平均值	18187.08	48503	5188.04	170.87	20405.01	76183	43780.14	1417.73

(3) 游泳动物的优势种

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, 来分析渔获物数量组成中其生态优势种的成分, 依此确定优势种。IRI 计算公式为 $IRI = (N+W) F$ 。式中: N—某一种类的尾数占渔获总尾数的百分比, W—某一种类的重量占渔获总重量的百分比, F—某一种类出现的站位数占调查总断面数的百分比。

根据选用 Pinkas 等提出的相对重要性指数 IRI 大于 500 为优势种, 本次调查中 IRI 大于 500 的物种有 8 个, 分别为: 中国枪乌贼 *Loligo chinensis*、皮氏叫姑鱼 *Johnius belengeri*、红星梭子蟹 *Portunus sanguinolentus*、口虾蛄 *Oratosquilla oratoria*、条纹鲷 *Leiognathus fasciatus*、南美白对虾 *Penaeus vannamei* Boone、赤鼻棱鳀 *Thryssa kammalensis*、日本蟳 *Charybdis japonica*。

表5-89 游泳动物优势种的渔获重量、尾数及 IRI 指数

种类	出现率	渔获尾数		渔获重量		IRI
		(ind.)	(%)	(kg)	(%)	
中国枪乌贼	100.00%	78800	11.57	25.00	11.34	2290
皮氏叫姑鱼	91.67%	56100	8.24	26.49	12.01	1856
红星梭子蟹	100.00%	40800	5.99	23.12	10.48	1647
口虾蛄	83.33%	68500	10.06	20.01	9.08	1594
条纹鲷	66.67%	73600	10.81	5.32	2.41	881
南美白对虾	100.00%	35100	5.15	7.64	3.46	861
赤鼻棱鳀	75.00%	45100	6.62	5.09	2.31	669
日本蟳	66.67%	44600	6.55	3.73	1.69	549

5.6.2.9 生态环境健康综合评价

采用Shannon-Wiener生物多样性指数法，定量和定性评价近岸海域生物（包括浮游生物和底栖生物）的生态健康状况，样品采集、贮存、预处理和分析，均符合GB 17378和HJ 442中的有关规定。

多样性指数计算公式如下：

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

式中：S 代表样品中的种类总数；

N 代表样品中的总个体数；

n_i 代表样品中第 i 种的个体数。

生态健康指数分级标准如表5-90所示，区域生态健康分级标准如表5-91所示，调查海域生物多样性水平综合评价表格如表5-92所示。

表5-90 生态健康指数分级标准

指数 H'	$H' \geq 3.0$	$2.0 \leq H' < 3.0$	$1.0 \leq H' < 2.0$	$H' < 1.0$
等级	优良	一般	差	极差

表5-91 区域生态健康分级标准

分级标准	级别
优和良的站位比例 $\geq 85\%$	优，健康
优和良的站位比例 $< 85\%$ ，且优和良的站位比例 $\geq 60\%$	良，较健康
优和良的站位比例 $< 60\%$ ，且优、良和一般的站位比例 $\geq 85\%$	一般，不健康
优、良和一般的站位比例 $< 85\%$ ，且优、良、一般和差的站位比例 $\geq 85\%$	差，很不健康
极差的站位比例 $> 15\%$	极差，极不健康

表5-92 调查海域生物多样性水平

站位	浮游植物	浮游动物	底栖生物	综合评级
2	3.9969（优良）	2.671（一般）	1.842（较差）	一般
4	4.059（优良）	4.118（优良）	1.906（较差）	良
6	4.078（优良）	3.293（优良）	2.236（一般）	优
8	3.436（优良）	3.646（优良）	2.371（一般）	优
10	3.619（优良）	3.241（优良）	1.950（较差）	良

13	3.861 (优良)	3.509 (优良)	2.281 (一般)	优
15	3.878 (优良)	3.453 (优良)	2.236 (一般)	优
16	3.749 (优良)	3.054 (优良)	1.459 (较差)	良
17	2.903 (一般)	3.05 (优良)	1.500 (较差)	一般
18	3.761 (优良)	3.76 (优良)	0.000 (极差)	良
20	3.021 (优良)	2.339 (一般)	1.891 (较差)	一般
22	3.102 (优良)	3.104 (优良)	2.236 (一般)	优
24	2.128 (一般)	3.646 (优良)	2.725 (一般)	良
25	2.142 (一般)	2.9789 (一般)	0.000 (极差)	一般
27	3.096 (优良)	4.128 (优良)	0.000 (极差)	良
28	2.926 (一般)	3.357 (优良)	0.985 (极差)	一般
29	3.195 (优良)	3.618 (优良)	2.156 (一般)	优
30	3.316 (优良)	3.412 (优良)	2.197 (一般)	优

根据中华人民共和国国家环境保护标准《近岸海域生态环境质量评价技术导则》，参考其区域生态健康标准，评价调查海域中 18 个生态站位，其综合评级达到良和优的站位有 13 个(比例达到 72.2%，符合“优和良的站位比例<85%，且优和良的站位比例 $\geq$ 60%”的标准)，因此该海域的生态健康分级处于良（较健康）水平，说明该海域生态环境质量状况处于中等偏上水平。

5.6.3 海洋生态 2018 年 3 月调查结果

5.6.3.1 叶绿素 a 和初级生产力

本次调查海区表层水体叶绿素 a 含量的变化范围为 $0.86\text{mg}/\text{m}^3 \sim 3.45\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 $1.62\text{mg}/\text{m}^3$ ，其中 17 站叶绿素含量最高，22 站叶绿素 a 含量最低。

调查海域初级生产力的变化范围为 $90.85\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d}) \sim 403.26\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，平均值为 $188.46\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，其中 17 号站初级生产力水平最高，20 号站最低。

表5-93 叶绿素 a 和初级生产力测定结果

调查站位	叶绿素 a (mg/m^3)	初级生产力($\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$)
2	1.08	109.02
4	1.25	139.47
6	1.54	147.28

8	1.65	192.86
10	2.05	228.72
13	1.35	114.76
15	1.85	196.58
16	2.53	322.61
17	3.45	403.26
18	1.89	190.79
20	1.14	90.85
22	0.86	105.09
24	1.07	108.01
25	1.25	159.39
27	2.23	343.59
28	1.58	201.47
29	1.36	187.87
30	1.05	150.62
范围	0.86~3.45	90.85~403.26
平均值	1.62	188.46

5.6.3.2 浮游植物

(1) 种类组成和优势种

本次调查共记录浮游植物 2 门 31 属 84 种 (含 24 个变种及变型)。其中以硅藻门出现的种类为最多, 为 23 属 51 种, 占总种数的 60.71%; 甲藻门出现 8 属 33 种, 占总种数的 39.29%。甲藻类的角毛藻出现种类数最多 (20 种), 其次是硅藻类的角毛藻 (10 种), 再次为硅藻类的圆筛藻, 为 7 种, 其它属出现的种类较少 (附录 I)。

表5-94 浮游植物种类组成

类群	属数	种类数	种类组成比例 (%)
硅藻	23	51	60.71
甲藻	8	33	39.29
合计	31	84	100.00

(2) 生物量

本次调查结果表明, 调查海区浮游植物丰度变化范围为 2.44×10^4 cells/m³~ 43.86×10^4 cells/m³, 平均为 12.16×10^4 cells/m³。不同站位的丰度差异较大, 最高丰度出现在 27 号站; 17 号站次之, 其丰度为 32.77

$\times 10^4$ cells/m³；再次为 28 号站，其丰度为 20.70×10^4 cells/m³；最低丰度则出现在 2 号站。

浮游植物丰度组成以硅藻占优势，其丰度占各站总丰度的 66.58%~98.26%，平均为 84.91%，硅藻在 18 个测站均有出现；甲藻居第二位，在各站丰度中的所占比例为 1.74%~33.42%，平均为 15.09%，出现频率为 100%。

表5-95 浮游植物丰度 ($\times 10^4$ cells/m³) 及其百分比 (%)

站位	总丰度	硅藻		甲藻	
		丰度	百分比	丰度	百分比
2	2.44	1.69	69.54	0.74	30.46
4	7.16	6.38	89.06	0.78	10.94
6	6.46	4.30	66.58	2.16	33.42
8	6.97	6.31	90.44	0.67	9.56
10	6.13	4.67	76.09	1.47	23.91
13	8.32	7.03	84.50	1.29	15.50
15	11.53	8.80	76.28	2.73	23.72
16	7.64	5.83	76.36	1.81	23.64
17	32.77	30.14	91.96	2.64	8.04
18	11.69	7.79	66.67	3.90	33.33
20	4.26	4.19	98.26	0.07	1.74
22	7.38	6.52	88.32	0.86	11.68
24	6.51	6.09	93.58	0.42	6.42
25	12.16	10.24	84.28	1.91	15.72
27	43.86	42.07	95.93	1.79	4.07
28	20.70	20.28	97.95	0.43	2.05
29	8.10	6.90	85.11	1.21	14.89
30	14.82	14.46	97.51	0.37	2.49
平均	12.16	10.76	84.91	1.40	15.09
范围	2.44 ~43.86	1.69 ~42.07	66.58 ~8.26	0.07 ~3.90	1.74 ~33.42

(3) 优势种

以优势度 Y 大于 0.02 为判断标准，本次调查的浮游植物优势种共出现 4 种，分别为菱形海线藻、短齿角毛藻、锤状中鼓藻和劳氏角毛藻。这 4 种优势种的丰度占调查海区总丰度的 49.2% (4.6%~22.5%)。其中菱形海线藻的优势度最高，

为 0.149，占调查海区总丰度的 22.5%，为本次调查的第一优势种；短齿角毛藻的优势度也较高，为 0.081，占总丰度的 11.8%，居第二位。锤状中鼓藻和劳氏角毛藻的优势度分别为 0.057 和 0.029，其丰度分别占调查海域总丰度的 10.4%和 4.6%。这 4 种优势种在整个调查区域分布广泛。

表5-96 浮游植物优势种及优势度

种名	出现率 (%)	优势度	丰度	占总丰度百分比 (%)
菱形海线藻	75.00	0.149	2.73	22.5
短齿角毛藻	66.67	0.081	1.43	11.8
锤状中鼓藻	61.11	0.057	1.26	10.4
劳氏角毛藻	55.56	0.029	0.55	4.6

(4) 群落结构

本次调查，各站位浮游植物种数变化范围在 25~39 种之间。Shannon-wiener 多样性指数范围为 2.73~4.32，平均为 3.57，多样性指数以 18 号站最高，22 号站最低。Pielou 均匀度指数范围为 0.53~0.83，平均为 0.70，各站位生物种间分布不均匀，其中 20 号站均匀度指数最高，22 号站最低。

表5-97 浮游植物的多样性及均匀度指数

调查站位	种类数	多样性指数	均匀度指数
2	26	3.54	0.75
4	36	3.27	0.63
6	39	4.21	0.80
8	28	3.06	0.64
10	38	4.00	0.76
13	37	4.10	0.79
15	38	3.80	0.72
16	36	4.09	0.79
17	31	3.39	0.69
18	39	4.32	0.82
20	29	4.05	0.83
22	35	2.73	0.53
24	30	3.43	0.70
25	32	3.81	0.76
27	35	2.83	0.55

28	25	2.75	0.59
29	37	3.70	0.71
30	36	3.13	0.61
平均值	34	3.57	0.70
范围	25~39	2.73~4.32	0.53~0.83

5.6.3.3 浮游动物

(1) 种类组成

本次调查共记录浮游动物 13 个生物类群 74 种 (见附录 II—浮游动物种类名录)，其中水螅水母类 14 种，毛颚类和被囊类各 4 种，栉水母类 2 种，桡足类 33 种，糠虾类、端足类、十足类、浮游螺类、浮游环节动物、磷虾类和介形类各 1 种，浮游幼虫类 9 种 (类)。

(2) 浮游动物生物量、密度及其分布

本次调查结果显示，各采样站浮游动物湿重生物量变化幅度为 53.39 mg/m³~347.86mg/m³，平均生物量为 121.80mg/m³。在整个调查区中，生物量最高出现在 27 号采样站，其次出现在 17 号采样站，为 239.55mg/m³，最低出现在 2 号采样站，为 53.39mg/m³。在个体数量分布方面，浮游动物密度变化幅度为 72.97ind/m³~485.71ind/m³，平均密度为 158.35ind/m³。浮游生物最高密度出现在 27 号采样站，其次为 318.18ind/m³，出现在 17 号采样站，最低密度则出现在 4 号采样站。

表5-98 浮游动物生物量及密度

站位	生物量 (mg/m ³)	密度 (ind/m ³)
2	53.39	75.81
4	59.73	72.97
6	83.33	105.26
8	202.82	266.67
10	59.17	88.33
13	95.65	117.74
15	83.06	120.41
16	180.56	227.78
17	239.55	318.18
18	146.55	165.52

20	100.19	111.11
22	67.76	86.21
24	92.91	105.45
25	64.89	88.89
27	347.86	485.71
28	135.00	185.00
29	102.24	134.48
30	77.72	94.74
平均值	121.80	158.35
范围	53.39~347.86	72.97~485.71

(3) 生物多样性指数及均匀度

本次调查海域各测站的浮游动物出现种类数在 16~27 种之间；种类多样性指数范围为 3.07~4.10 之间，平均为 3.79，多样性指数最高出现在 18 号采样站，其次为 27 号采样站，最低则出现在 6 号采样站；种类均匀度的分布趋势与多样性指数相似，其变化范围在 0.75~0.92 之间，平均为 0.86，最高出现在 15 号采样站，最低出现在 8 号采样站。

表5-99 浮游动物的多样性指数及均匀度

站位	总种数	多样性指数 H'	均匀度 J
2	20	3.95	0.91
4	17	3.53	0.86
6	16	3.07	0.77
8	21	3.30	0.75
10	22	3.83	0.86
13	27	3.87	0.81
15	20	3.99	0.92
16	26	4.01	0.85
17	22	4.05	0.91
18	23	4.10	0.91
20	21	3.70	0.84
22	18	3.76	0.90
24	20	3.82	0.88
25	16	3.68	0.92
27	24	4.06	0.89
28	23	4.03	0.89

29	24	3.78	0.82
30	20	3.66	0.85
平均值	21	3.79	0.86
范围	16~27	3.07~4.10	0.75~0.92

(4) 优势种及其分布

以优势度 ≥ 0.02 为判断标准,本调查海域在调查期间浮游动物的优势种是由毛颚类的肥胖软箭虫、桡足类的近缘大眼剑水蚤、小拟哲水蚤和中华哲水蚤等组成,其优势度指数分别为0.050、0.027、0.025和0.157。本调查海域浮游动物的优势种分布较为广泛,第一优势种是中华哲水蚤,其平均密度为 20.66ind./m^3 ,占浮游动物总密度的14.12%。主要分布在本海域的6号和13号采样站,其密度分别为 43.86ind./m^3 和 35.48ind./m^3 。毛颚类的肥胖软箭虫为本次调查浮游动物优势种中居第二位的种类,其平均分布密度为 11.07ind./m^3 ,占浮游动物总密度的7.56%,主要分布在16号站,其分布密度为 33.33ind./m^3 ,其它站位分布密度较低($<30\text{ ind/m}^3$)。近缘大眼剑水蚤和小拟哲水蚤的平均密度分别为 12.19ind/m^3 和 10.89ind/m^3 ,分别占调查海域浮游动物总密度的8.33%和7.44%。

表5-100 浮游动物的优势种及优势度

种名	出现率 (%)	优势度 (Y)	平均密度 (ind/m^3)	占总丰度的百分比 (%)
中华哲水蚤	100.00	0.157	20.66	14.12
肥胖软箭虫	94.44	0.050	11.07	7.56
近缘大眼剑水蚤	66.67	0.027	12.19	8.33
小拟哲水蚤	83.33	0.025	10.89	7.44

5.6.3.4 大型底栖生物

(1) 种类组成

本次调查共记录大型底栖动物46种,其中环节动物19种、软体动物9种、节肢动物10种、棘皮动物6种和其它动物2种(附录III-潮下带大型底栖生物种类名录)。环节动物、软体动物和甲壳动物分别占总种数的41.3%、19.6%和21.7%,是构成本次调查海区大型底栖生物群落的主要类群。

(2) 底栖生物栖息密度和生物量

调查海区大型底栖动物平均栖息密度为 121 ind/m^2 ，以节肢动物密度最高，为 37 ind./m^2 ，占总密度的 30.88% ；环节动物次之， 28 ind./m^2 ，占 23.04% ；软体动物和棘皮动物分别占总密度的 13.59% 和占 21.89% 。

本次调查结果表明，各监测站位的底栖生物栖息密度分布不均匀，其中 22 号站密度较高，为 330 ind./m^2 ，该站密度较高的原因在于该站位记录到数量较多的棘皮动物的细腕阳遂足，其密度为 225 ind/m^2 。分布密度高于 200 ind/m^2 的站位有 18 和 27 号站，其它站位的分布密度均低于 200 ind/m^2 。

表5-101 底栖生物栖息密度 (ind/m^2)

站位	合 计	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其 它
2	40	15	20	5	0	0
4	55	35	10	5	0	5
6	30	10	5	15	0	0
8	55	5	5	5	5	35
10	55	15	5	0	5	30
13	80	5	5	0	5	65
15	110	30	40	0	0	40
16	80	10	0	20	45	5
17	55	20	0	5	15	15
18	320	35	5	275	5	0
20	150	95	30	15	10	0
22	330	20	10	25	250	25
24	125	30	40	30	25	0
25	115	80	10	0	15	10
27	230	35	10	150	35	0
28	160	5	75	30	50	0
29	80	50	5	15	10	0
30	100	5	20	75	0	0
平均值	121	28	16	37	26	13
范围	30~330	5~95	0~75	0~275	0~250	0~65

底栖生物平均生物量为 23.13 g/m^2 ，以其它类动物居首位，生物量为 12.48 g/m^2 ，占总生物量的 53.96% ；其次软体动物，为 5.98 g/m^2 ，占总生物量的 25.86% ；棘皮动物居第三位，为 2.58 g/m^2 ，占 11.15% ；环节动物和甲壳动物分别占总生物量的 2.97% 和 6.07% 。

本次调查海域的底栖动物生物量平面分布也不均匀，变化范围从 $0.70 \text{ g/m}^2 \sim 64.40 \text{ g/m}^2$ ，在 18 个监测站位中有 2 个站生物量 $>50.00 \text{ g/m}^2$ （13 和 22 号站），构成高生物量的原因在于短吻铲蕨蛭种类的出现，其中 13 和 22 号站的短吻铲蕨蛭生物量分别为 62.95 g/m^2 和 38.20 g/m^2 。生物量最低站位为 2 号站，仅为 0.70 g/m^2 。

表5-102 底栖动物生物量 (g/m^2)

站位	合 计	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其 它
2	0.70	0.15	0.25	0.30	0.00	0.00
4	15.10	0.15	13.65	0.05	0.00	1.25
6	0.75	0.10	0.55	0.10	0.00	0.00
8	36.40	0.05	0.45	0.45	0.15	35.30
10	39.40	0.15	3.25	0.00	0.05	35.95
13	64.40	0.05	1.30	0.00	0.10	62.95
15	43.35	2.90	8.20	0.00	0.00	32.25
16	13.15	0.10	0.00	4.90	2.40	5.75
17	4.70	1.25	0.00	2.90	0.50	0.05
18	8.55	0.30	2.80	5.40	0.05	0.00
20	16.70	0.30	13.25	0.15	3.00	0.00
22	64.30	0.10	0.45	0.25	25.30	38.20
24	10.20	0.15	6.25	0.35	3.45	0.00
25	24.65	1.45	10.20	0.00	0.10	12.90
27	28.10	2.85	10.85	9.00	5.40	0.00
28	13.50	1.75	6.00	0.45	5.30	0.00
29	4.70	0.50	3.45	0.15	0.60	0.00
30	27.60	0.05	26.75	0.80	0.00	0.00
平均值	23.13	0.69	5.98	1.40	2.58	12.48
范围	0.70~64.40	0.05~2.90	0.00~26.75	0.05~9.00	0.00~25.30	0.00~62.95

环节动物在调查海区所有站位都有出现，平均密度为 28 ind/m^2 ，密度分布范围为 $5 \text{ ind/m}^2 \sim 95 \text{ ind/m}^2$ ；平均生物量为 0.69 g/m^2 ，生物量分布范围为 $0.05 \text{ g/m}^2 \sim 2.90 \text{ g/m}^2$ 。

软体动物的平均密度为 16 ind/m^2 ，密度分布范围为 $0 \text{ ind/m}^2 \sim 75 \text{ ind/m}^2$ 。18 个站位中有 16 个站位记录到该类动物，出现率为 88.89%，平均生物量为

5.98g/m²，生物量分布范围为 0.00g/m²~26.75g/m²。

节肢动物平均密度为 37ind/m²，高于环节动物和软体动物等其他类动物。密度分布范围为 0ind./m²~275 ind./m²。平均生物量为 1.40g/m²，生物量分布范围为 0.00 g/m²~9.00g/m²。

棘皮动物平均生物量为 2.58g/m²，平均栖息密度为 26ind/m²。生物量和栖息密度变化范围分别为 0.00g/m²~25.30g/m²和 0ind/m²~250ind/m²。

(3) 底栖生物优势种

底栖动物种类若按其优势度 $Y \geq 0.02$ 时即被认定为优势种，那么本次调查水域的底栖生物有 3 种优势种，分别为蠕虫动物的短吻铲荚蛭、棘皮动物的细腕阳遂足和节肢动物的塞切尔泥钩虾，其优势度分别为 0.041、0.028 和 0.025。细腕阳遂足在 18 个测站中有 4 个站出现，其平均分布密度为 23ind./m²，占底栖生物平均栖息密度的 19.01%。短吻铲荚蛭在 18 个测站中有 8 个站出现，其平均分布密度为 11ind./m²，占调查海区底栖生物平均密度的 9.22%。塞切尔泥钩虾在 18 个测站中有 4 个站出现，其平均分布密度为 20nd./m²，占调查海区底栖生物平均密度的 16.94%。

表5-103 底栖动物优势种及优势度

优势种	优势度 (Y)	平均密度 (ind/m ²)	占总生物栖息密度的百分比(%)	出现率 (%)
短吻铲荚蛭	0.041	11	9.22	44.44
细腕阳遂足	0.028	23	19.01	22.22
塞切尔泥钩虾	0.025	20	16.94	22.22

(4) 底栖生物群落结构

调查海域的各定量采样站位大型底栖生物出现种数变化范围在 4~11 种/站。多样性指数 (H') 变化范围在 1.63~3.24 之间，平均值为 2.27。多样性指数最高出现在 25 号站；最低则出现在 13 号站。均匀度指数范围在 0.57~0.98 之间，平均为 0.81。

表5-104 各调查站位底栖生物出现种数与物种多样性指数

站位	出现的种类数	多样性指数(H')	均匀度 (J)
2	5	2.00	0.86
4	7	2.40	0.86
6	4	1.79	0.90
8	5	1.67	0.72
10	6	2.05	0.79
13	5	1.63	0.70
15	8	2.48	0.83
16	6	2.27	0.88
17	6	2.41	0.93
18	11	1.96	0.57
20	10	2.80	0.84
22	8	1.72	0.57
24	9	2.94	0.93
25	10	3.24	0.98
27	9	2.20	0.70
28	5	1.95	0.84
29	8	2.78	0.93
30	9	2.56	0.81
平均值	7	2.27	0.81
范围	4~11	1.63~3.24	0.57~0.98

5.6.3.5 潮间带生物

(1) 种类组成及生境生态特征

调查断面采集到的潮间带生物共有 3 大门类 12 种，以节肢动物种类最多，为 6 种，占总种数的 50.00%；其次是环节动物，4 种，占总种数的 33.33%，软体动物 2 种。

本次调查的 3 个潮间带断面均为软相砂质断面，受风浪和潮流的作用强度大，其断面长度长，沉积物分选较好，沉积环境很不稳定，有机质含量很低，导致生物种类相当贫乏。

高潮区种类极少，仅记录到角眼沙蟹和痕掌沙蟹的分布。中潮区与高潮区

干燥贫瘠的生境相比，本区在波浪和潮流的作用下，随着沉积物含水率和有机质含量的增加，中潮区已出现砂滩习见的斧蛤和等边浅蛤等种类。中潮区出现的种类在低潮区也有分布，如斧蛤和等边浅蛤等。常见的有肢突跳钩虾、腹沟虫和半足沙蚕等种类。

表5-105 潮间带生物种类名录

序号	中文学名	拉丁学名
	环节动物门	Annelida
1	尖锥虫	<i>Scolecopsis armiger</i>
2	索沙蚕	<i>Lumbrineris</i> sp.
3	腹沟虫	<i>Scolecopsis</i> sp.
4	半足沙蚕	<i>Hemipodus</i> sp.
	软体动物门	Mollusca
5	狄氏斧蛤 <i>Chion dysoni</i>	<i>Donax cuneatus</i>
6	等边浅蛤	<i>Gomphina aequilatera</i>
	节肢动物门	Arthropoda
7	日本异浪漂水虱	<i>Excirolana japonica</i>
8	肢突跳钩虾 <i>Talor</i>	<i>chestia brito</i>
9	细螯寄居蟹	<i>Clibanarius</i> sp.
10	角眼沙蟹	<i>Ocypode ceratophthalmus</i>
11	痕掌沙蟹	<i>Ocypode stimpsoni</i>
12	玻璃钩虾	<i>Hyale</i> sp.

(2) 潮间带生物量及栖息密度

1) 生物量及栖息密度的组成

调查断面潮间带生物平均生物量为 9.00 g/m²，平均栖息密度为 10.64ind/m²。

在潮间带生物量的组成中，以软体动物居首位，为 7.62g/m²，占总生物量的 84.67%；其次为节肢动物，其生物量为 1.30g/m²，占 14.42%；环节动物占总生物量的 0.91%。

在栖息密度方面，其组成情况与生物量相同，栖息密度最高类群为软体动物，为 4.78ind./m²，其次节肢动物，为 4.09ind./m²。

表5-106 潮间带生物量及栖息密度的组成

类 别	合 计	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其它
生物量 (g/m^2)	9.00	0.08	7.62	1.30	0.00	0.00
栖息密度 (ind/m^2)	10.64	1.78	4.78	4.09	0.00	0.00

2) 生物量及栖息密度的水平分布

调查断面的底栖生物生物量和栖息密度的水平分布方面, 生物量表现为 I 断面 > II 断面 > III 断面, 而栖息密度则表现为 I 断面 > III 断面 > II 断面。

表5-107 间带生物量及栖息密度的水平分布

断面名称	项 目	合 计	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其 他
I	生物量 (g/m^2)	19.23	0.17	18.65	0.41	0.00	0.00
	栖息密度 (ind/m^2)	15.40	0.67	12.67	2.07	0.00	0.00
II	生物量 (g/m^2)	7.66	0.03	4.22	3.42	0.00	0.00
	栖息密度 (ind/m^2)	5.87	2.67	1.67	1.53	0.00	0.00
III	生物量 (g/m^2)	0.12	0.05	0.00	0.07	0.00	0.00
	栖息密度 (ind/m^2)	10.67	2.00	0.00	8.67	0.00	0.00

3) 生物量及栖息密度的垂直分布

在垂直分布上, 潮间带生物的生物量表现为中潮区最高, 高潮区最低, 即中潮区 > 低潮区 > 高潮区。栖息密度的垂直分布则表现为低潮区高于中潮区, 中潮区高于高潮区。

表5-108 潮间带生物量及栖息密度的垂直分布

潮带	项 目	合 计	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其 它
高	生物量 (g/m^2)	0.35	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00
	栖息密度 (ind/m^2)	0.27	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00
中	生物量 (g/m^2)	14.28	0.03	10.84	3.41	0.00	0.00
	栖息密度 (ind/m^2)	11.00	2.67	7.00	1.33	0.00	0.00
低	生物量 (g/m^2)	12.38	0.22	12.03	0.13	0.00	0.00
	栖息密度 (ind/m^2)	20.67	2.67	7.33	10.67	0.00	0.00

(3) 潮间带生物多样性指数

计算结果显示, 调查断面潮间带多样性指数 (H') 和均匀度 (J) 均属中等偏低

水平，3 条断面多样性指数平均为 1.54。均匀度指数平均为 0.73。

表5-109 调查海区潮间带生物多样性指数及均匀度

断面名称	样方内出现的种类数	多样性指数(H')	均匀度(J)
I	5	1.64	0.71
II	4	1.79	0.89
III	4	1.19	0.59
平均	4	1.54	0.73

5.6.3.6 鱼类浮游生物

(1) 种类组成

在采集的定量样品中，经鉴定，至少共出现了鱼卵仔鱼 9 种，其中鲱形目 2 种，鲈形目鉴定出 3 科 1 属 2 种。

鱼卵的种类仅记录小公鱼（*Stolephorus* sp.）、小沙丁鱼（*Sardinella* sp.）、鲳属（*Leiognathus* sp.）、多鳞鱚（*Sillago sihama*）、鲷科（*Sparidae*）、李氏（鱼衔）（*Callionymus richardsoni*）和未定种等 7 种，而仔鱼则记录到小公鱼、小沙丁鱼、鰕虎鱼科（*Gobiidae*）、鲳属、多鳞鱚、鲷科、李氏（鱼衔）和石首鱼科等 8 种。

表5-110 调查海区鱼卵、仔鱼种类组成

种类		拉文种名	鱼卵	仔稚鱼
鲱形目	1. 小公鱼	<i>Stolephorus</i> sp.	+	+
	2. 小沙丁鱼	<i>Sardinella</i> sp.	+	+
鲈形目	3. 鰕虎鱼科	<i>Gobiidae</i>		+
	4. 鲳属	<i>Leiognathus</i> sp.	+	+
	5. 多鳞鱚	<i>Sillago sihama</i>	+	+
	6. 鲷科	<i>Sparidae</i>	+	+
	7. 李氏（鱼衔）	<i>Callionymus richardsoni</i>	+	+
	8. 石首鱼科	<i>Sciaenidae</i>		+
未定	9. 未定种		+	

(2) 数量分布

本次调查共采到鱼卵 65 个，仔鱼 15 尾。调查海区的鱼卵平均密度为 951 个/1000m³。捕获鱼卵数量密度最高为 28 号站，为 6500 个/1000m³，调查期

间 18 个测站有 14 个均采到鱼卵，鱼卵出现率为 77.8%。鱼卵密度变化范围在 0 个/1000m³~6500 个/1000m³。

仔鱼在 18 个监测站中有 8 个站出现，出现率 44.4%，仔鱼的平均密度为 271 尾/1000m³。

表5-111 鱼类浮游生物密度及其分布

站位	鱼卵发育期		站位	鱼卵发育期	
	鱼卵 (个/1000m ³)	仔鱼 (尾/1000m ³)		鱼卵 (个/1000m ³)	仔鱼 (尾/1000m ³)
2	0	0	18	690	0
4	0	135	20	185	556
6	1053	351	22	517	0
8	513	0	24	727	0
10	167	333	25	0	0
13	0	161	27	2143	2857
15	204	204	28	6500	0
16	1389	278	29	690	0
17	1818	0	30	526	0
平均	951	271			

(3) 主要种类及数量分布

鳊属的鱼卵是本次调查数量居首位的种类，鳊鱼类是一种个体小的集群性中上层鱼类，以浮游动植物为食，是甚为常见且个体数量较大的小型鱼类，本次调查鱼卵和仔鱼均有出现，鱼卵的密度在 0 个/1000m³~2143 个/1000m³之间，平均密度 419 个/1000m³，占本次调查鱼卵总数的 30.76%，主要出现在 16、17、28 和 29 号站海域。

鲮科是近岸和港湾重要经济鱼类，经济价值较高，主要是在冬季产卵，11 月份是产卵初期，共采到鲮科鱼卵 12 粒，仔鱼 3 尾，平均密度为 137 粒/1000 m³，占该季鱼卵总数的 18.46%。仔鱼平均密度为 31 尾/1000 m³，占仔鱼总数的 20.0%。

5.6.3.7 游泳生物

(1) 种类组成

本次调查，共捕获游泳生物 79 种，其中：鱼类 44 种，头足类 5 种，甲壳类中 30 种（附录 V）。

本次调查，断面 2 种类数最多，为 30 种，断面 8 种数最少，为 19 种。

表5-112 各站位出现种类统计结果

断面	类群			合计
	鱼类	甲壳类	头足类	
1	19	6	2	27
2	14	14	2	30
3	13	12	2	27
4	12	10	2	24
5	16	9	2	27
6	13	10	2	25
7	13	8	0	21
8	12	7	0	19
9	12	11	0	23
10	12	10	0	22
11	13	9	0	21
12	9	10	2	21

(2) 渔获率

调查海区的游泳生物总重量渔获率和总个体渔获率分别为 5.94kg/h 和 454 ind/h，其中：鱼类重量渔获率和个体渔获率分别为 3.23kg/h 和 169ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率分别为 54.36%和 37.10%；甲壳类重量渔获率和个体渔获率分别为 2.33kg/h 和 280 ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率分别为 39.28%和 61.58%；头足类重量渔获率和个体渔获率分别为 0.38 kg/h 和 6 ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率分别为 6.35%和 1.32%。

表5-113 各断面重量渔获率及各类群百分比

断面	总重量渔获率 (kg/h)	重量渔获率(kg/h)			重量渔获比例(%)		
		鱼类	甲壳类	头足类	鱼类	甲壳类	头足类
1	6.49	2.70	2.14	1.65	41.61	32.97	25.42
2	4.68	2.33	1.85	0.50	49.87	39.48	10.65
3	6.99	2.86	4.08	0.05	40.94	58.41	0.65
4	5.63	2.24	3.39	0.00	39.74	60.26	0.00
5	9.75	8.01	1.21	0.52	82.20	12.41	5.39
6	4.23	2.37	1.00	0.87	56.01	23.56	20.43
7	5.31	2.74	2.56	0.00	51.67	48.33	0.00
8	5.98	3.13	2.85	0.00	52.31	47.69	0.00
9	4.63	2.13	2.50	0.00	45.97	54.03	0.00
10	4.30	2.42	1.88	0.00	56.22	43.78	0.00
11	6.22	4.44	1.78	0.00	71.41	28.59	0.00
12	7.12	3.40	2.77	0.95	47.77	38.93	13.30
平均	5.94	3.23	2.33	0.38	54.36	39.28	6.35

表5-114 各断面个体渔获率及各类群百分比

断面	总个体渔获率 (ind/h)	个体渔获率(ind/h)			个体渔获比例(%)		
		鱼类	甲壳类	头足类	鱼类	甲壳类	头足类
1	338	162	156	20	47.93	46.15	5.92
2	328	106	210	12	32.32	64.02	3.66
3	1468	226	1236	6	15.40	84.20	0.41
4	428	62	366	0	14.49	85.51	0.00
5	474	336	132	6	70.89	27.85	1.27
6	328	142	182	4	43.29	55.49	1.22
7	356	154	202	0	43.26	56.74	0.00
8	318	154	164	0	48.43	51.57	0.00
9	386	172	214	0	44.56	55.44	0.00
10	282	134	148	0	47.52	52.48	0.00
11	334	210	124	0	62.87	37.13	0.00
12	410	164	222	24	40.00	54.15	5.85
平均	454	169	280	6	37.10	61.58	1.32

(3) 资源密度

渔业资源平均重量密度为 309.58 kg/km^2 ，从断面分布来看，重量密度最高为断面 5，为 507.77 kg/km^2 ，最低为断面 6，为 220 kg/km^2 ；从类群来

看,重量密度最高为鱼类(168.31kg/km²),其次为甲壳类(121.61kg/km²),最低为头足类,仅19.67kg/km²。

表5-115 调查断面的渔业资源重量密度(kg/km²)

断面	鱼类	甲壳类	头足类	合计
1	140.70	111.47	85.94	338.11
2	121.51	96.18	25.96	243.65
3	149.00	212.55	2.37	363.92
4	116.45	176.61	0.00	293.06
5	417.39	63.04	27.35	507.77
6	123.54	51.96	45.06	220.56
7	142.81	133.59	0.00	276.40
8	162.96	148.54	0.00	311.50
9	110.91	130.33	0.00	241.23
10	125.88	98.03	0.00	223.91
11	231.27	92.60	0.00	323.87
12	177.24	144.43	49.34	371.02
平均	168.31	121.61	19.67	309.58

渔业资源平均个体密度为23659ind/km²,个体密度分布最高出现在断面3,为76474ind/km²,最低出现在断面10,为14691ind/km²。个体资源密度最高为甲壳类(14569ind/km²),其次为鱼类(8778ind/km²),最低为头足类(313ind/km²)。

表5-116 调查断面的渔业资源个体密度(ind/km²)

断面	鱼类	甲壳类	头足类	合计
1	8439	8127	1042	17608
2	5522	10940	625	17087
3	11773	64388	313	76474
4	3230	19066	0	22296
5	17504	6876	313	24693
6	7397	9481	208	17087
7	8023	10523	0	18546
8	8023	8543	0	16566
9	8960	11148	0	20108
10	6981	7710	0	14691
11	10940	6460	0	17399
12	8543	11565	1250	21359
平均	8778	14569	313	23659

(4) 幼体群体占有游泳生物群体的比例

所谓幼体是指其长度（体长、叉长、肛长、胴长、体盘宽、头胸甲长、盔甲宽）小于最小性成熟长度（体长、叉长、肛长、胴长、体盘宽、头胸甲长、盔甲宽）的个体。本次调查幼体群体占有游泳生物群体的平均比例为 **70.29%**，幼体平均个体渔获率为 **313ind/h**；其中幼体比例最高为 7 号断面，幼体比例为 **75.84%**，幼体个体渔获率为 **270ind/h**；最低为 3 号断面，幼体比例为 **62.40%**，幼体个体渔获率为 **916ind/h**。

表5-117 各断面幼体渔获率及所占比例

断面	幼体个体渔获率(ind/h)	总生物个体渔获率(ind/h)	幼体比例(%)
1	232	338	68.64
2	230	328	70.12
3	916	1468	62.40
4	318	428	74.30
5	348	474	73.42
6	240	328	73.17
7	270	356	75.84
8	240	318	75.47
9	248	386	64.25
10	188	282	66.67
11	214	334	64.07
12	308	410	75.12
平均	313	454	70.29

(5) 优势种

根据相对重要性指数（IRI）公式计算评价调查海域内游泳生物的相对重要性指标（IRI），并以 IRI 大于 500 作为优势渔获物的判断指标，本次调查的优势渔获物共有 11 种。其中，带鱼的 IRI 最高，为 **3043**；其他种类的 IRI 依次为口虾蛄（**2054**）、哈氏仿对虾（**1239**）、龙头鱼（**1096**）、黑斑口虾蛄（**919**）、短吻鲷（**756**）、隆线强蟹（**547**），其它种类的相对重要性指数小于 500。

表5-118 调查海域游泳生物优势种

种名	占渔获物总重量 百分比 (%)	占渔获物总尾数 百分比 (%)	IRI
带鱼	19.16	11.27	3043
口虾蛄	5.67	18.97	2054
哈氏仿对虾	9.21	7.30	1239
龙头鱼	9.66	3.49	1096
黑斑口虾蛄	7.81	5.98	919
短吻鲷	4.27	4.81	756
隆线强蟹	1.41	6.79	547

5.6.3.8 生态环境健康综合评价

采用Shannon-Wiener生物多样性指数法，定量和定性评价近岸海域生物（包括浮游生物和底栖生物）的生态健康状况，样品采集、贮存、预处理和分析，均符合GB 17378和HJ 442中的有关规定。

多样性指数计算公式如下：

$$H' = -\sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right)$$

式中：S 代表样品中的种类总数；

N 代表样品中的总个体数；

n_i 代表样品中第 i 种的个体数。

生态健康指数分级标准如表5-119所示，区域生态健康分级标准如表5-120所示，调查海域生物多样性水平综合评价表格如表5-121所示。

表5-119 生态健康指数分级标准

指数 H'	$H' \geq 3.0$	$2.0 \leq H' < 3.0$	$1.0 \leq H' < 2.0$	$H' < 1.0$
等级	优良	一般	差	极差

表5-120 区域生态健康分级标准

分级标准	级别
优和良的站位比例 $\geq 85\%$	优，健康
优和良的站位比例 $< 85\%$ ，且优和良的站位比例 $\geq 60\%$	良，较健康

优和良的站位比例<60%，且优、良和一般的站位比例≥85%	一般，不健康
优、良和一般的站位比例<85%，且优、良、一般和差的站位比例≥85%	差，很不健康
极差的站位比例>15%	极差，极不健康

表5-121 调查海域生物多样性水平

调查站位	浮游植物	浮游动物	低栖生物	综合评价
2	3.54 (优良)	3.95 (优良)	3.50 (优良)	优
4	3.27 (优良)	3.53 (优良)	3.13 (优良)	优
6	4.21 (优良)	3.07 (优良)	2.52 (一般)	优
8	3.06 (优良)	3.30 (优良)	2.59 (一般)	优
10	4.00 (优良)	3.83 (优良)	2.73 (一般)	优
13	4.10 (优良)	3.87 (优良)	3.10 (优良)	优
15	3.80 (优良)	3.99 (优良)	3.90 (优良)	优
16	4.09 (优良)	4.01 (优良)	3.05 (优良)	优
17	3.39 (优良)	4.05 (优良)	3.66 (优良)	优
18	4.32 (优良)	4.10 (优良)	2.82 (一般)	优
20	4.05 (优良)	3.70 (优良)	3.85 (优良)	优
22	2.73 (一般)	3.76 (优良)	3.05 (优良)	优
24	3.43 (优良)	3.82 (优良)	3.81 (优良)	优
25	3.81 (优良)	3.68 (优良)	4.06 (优良)	优
27	2.83 (一般)	4.06 (优良)	3.03 (优良)	优
28	2.75 (一般)	4.03 (优良)	2.77 (一般)	一般
29	3.70 (优良)	3.78 (优良)	3.41 (优良)	优
30	3.13 (优良)	3.66 (优良)	3.19 (优良)	优

根据中华人民共和国国家环境保护标准《近岸海域生态环境质量评价技术导则》，参考其区域生态健康标准，评价调查海域中 18 个生态站位，其综合评级达到优的站位有 17 个，比例达到 94%，符合“优和良的站位比例≥85%”的标准，因此该海域的生态健康分级处于健康水平，说明该海域生态环境质量状况处于优良水平。

5.7 主要经济鱼种“三场一通”分布

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

5.7.1 南海鱼类产卵场

南海中上层鱼类产卵场分布见图 5-84，本项目不在产卵场内。项目附近海域产卵场有：鲐鱼产卵场，位于珠江口近海区，东经 $113^{\circ} 15' \sim 116^{\circ} 20'$ ，北纬 $21^{\circ} \sim 22^{\circ} 25'$ ，水深 30~80 米，产卵期 1 月~3 月。

南海底层、近底层鱼类产卵场分布见图 5-85，本项目不在产卵场内。项目附近海域产卵场有：金钱鱼产卵场，由海南岛东岸一直延伸到汕尾附近，东经 $111^{\circ} 45' \sim 115^{\circ} 45'$ ，水深为 25~107 米，主要是 40~80 米，产卵期 3 月~8 月；绯鲤类产卵场，位于珠江口近海，东经 $112^{\circ} 55' \sim 115^{\circ} 40'$ ，北纬 $21^{\circ} 30' \sim 22^{\circ} 15'$ ，水深为 20 米~87 米，产卵期 3 月~6 月。长尾大眼鲷产卵场，位于万山列岛的东南部，东经 $113^{\circ} 20' \sim 115^{\circ} 45'$ ，北纬 $20^{\circ} 35' \sim 22^{\circ} 20'$ ，水深为 26 米~80 米，产卵期 5 月~7 月。

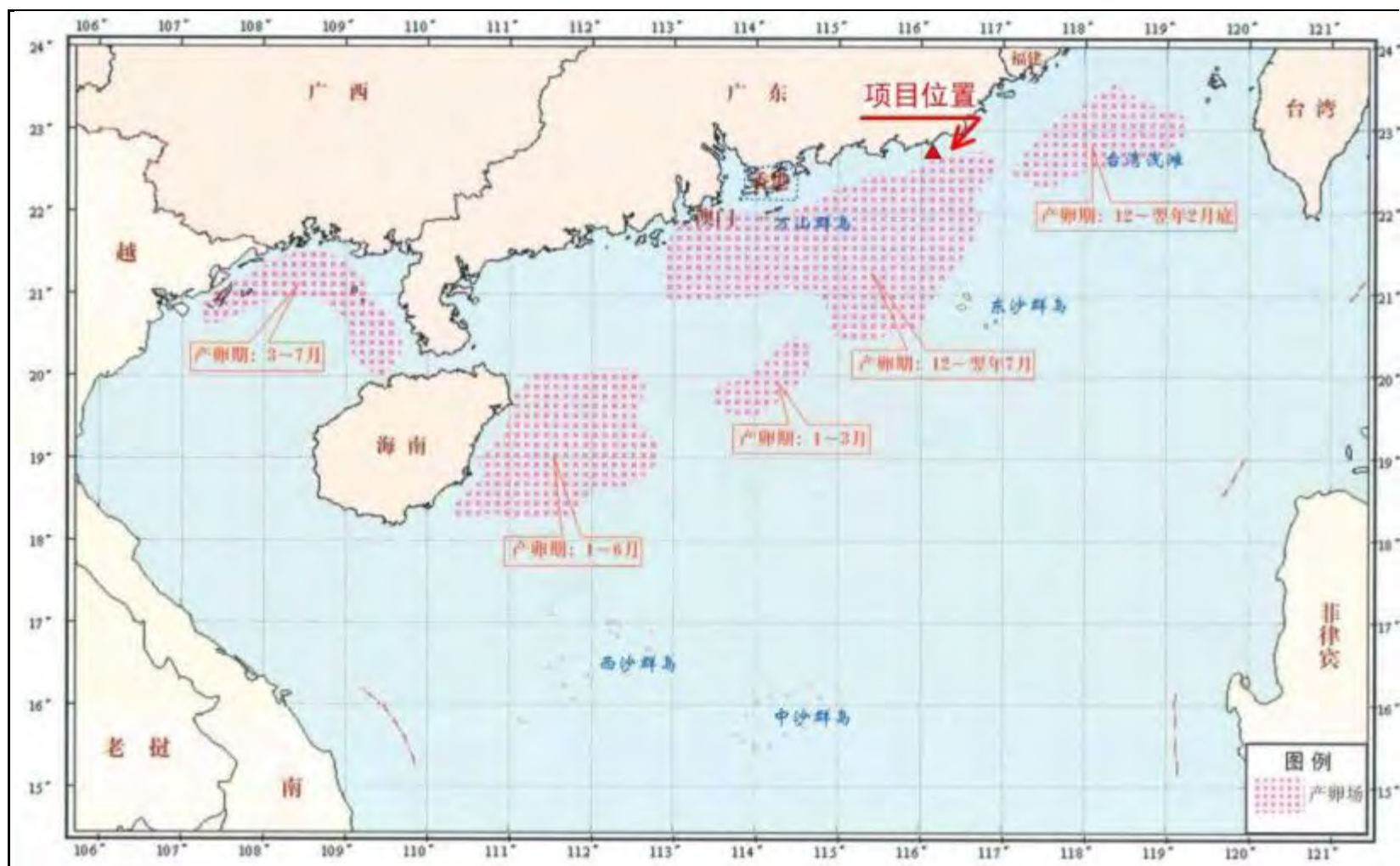


图5-84 南海中上层鱼类产卵场示意图

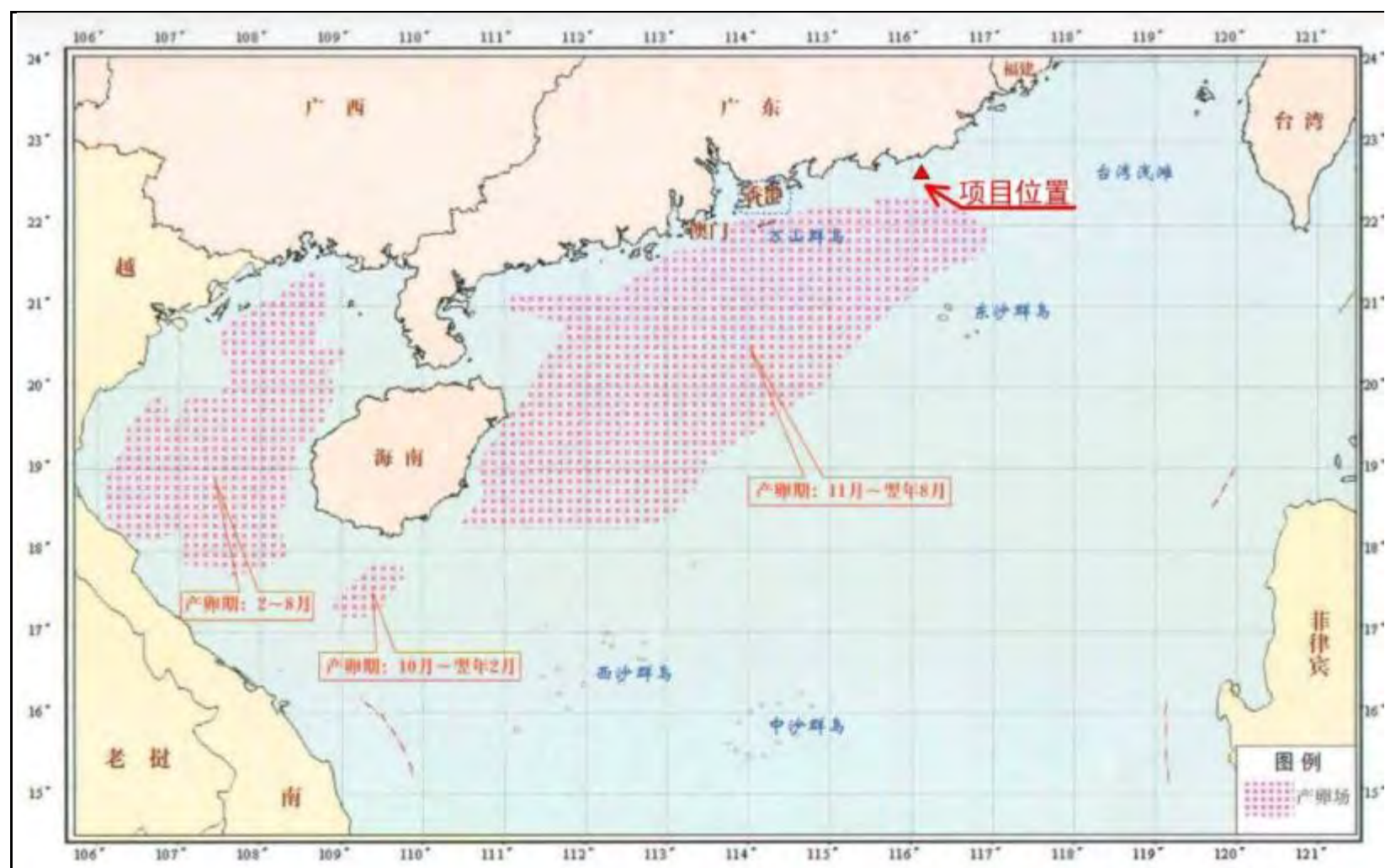


图5-85 南海底层、近底层鱼类产卵场示意图

5.7.2 南海北部幼鱼繁育场保护区

南海北部幼鱼繁育场保护区分布见图 5-86。南海北部幼鱼繁育场保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40 m 等深线水域，保护期为 1-12 月，管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内。

5.7.3 渔业品种保护区

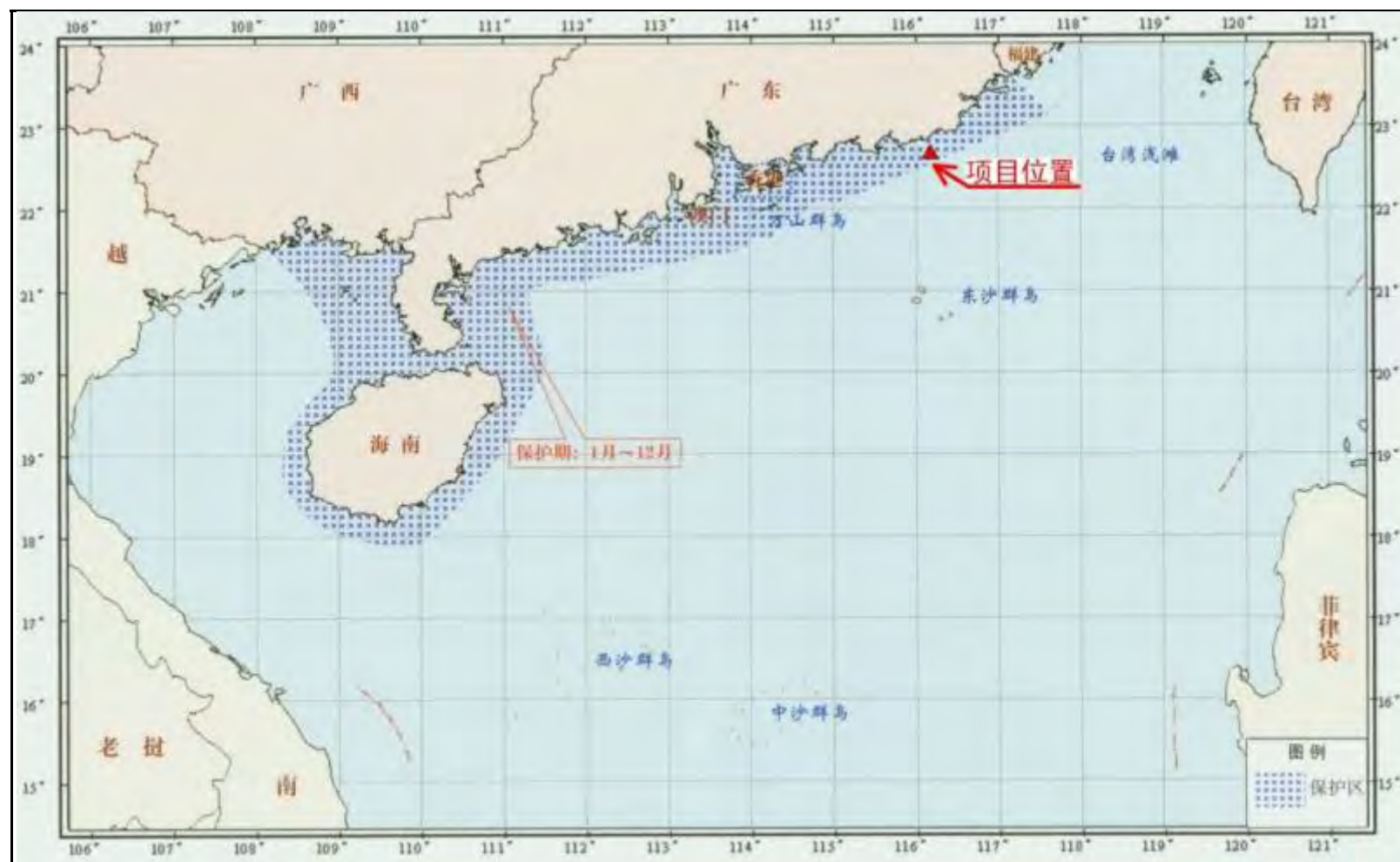
南海国家级及省级渔业品种保护区分布见图 5-87。

5.7.3.1 南海区幼鱼、幼虾保护区

广东省沿岸由粤东的南澳岛至粤西的雷州半岛徐闻县外罗港沿海 20 米水深以内的海域均为南海区幼鱼、幼虾保护区，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日。本项目位于南海区幼鱼、幼虾保护区内。

5.7.3.2 经济鱼类繁育场保护区

如图 5-87，项目海域不在经济鱼类繁育场保护区内。



5.8 珍稀保护动物

5.8.1 海马

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

生活习性：海马因其拟态适应特性，习性也较特殊，喜栖于藻丛或海韭菜繁生的潮下带海区。性甚懒惰，常以卷曲的尾部缠附于海藻的茎枝之上，有时也倒挂于漂浮着的海藻或其他物体上，随波逐流。即使为了摄食或其他原因暂时离开缠附物，游泳一段距离之后，又找到其他物体附着之上。海马的游泳姿势十分优美，鱼体直立水中，完全赖以背鳍和胸鳍高频率地作波状摆动（每秒钟 10 次）而作缓慢的游动（每分钟仅达 1~3m）。海马的活动一般多在白天（上午和下午），晚上则呈静止状态。海马在水质变劣、氧气不足或受敌害侵袭时，往往因咽肌收缩而发出咯咯的响声，这给养殖者发出“求救”的信号，但在摄食水面上的饵料时也会发声，应加以区别。

食性：海马是靠鳃盖和吻的伸张活动吞食食物，饵料的大小以不超过吻径为度。对饵料的种类和鲜度有一定选择性。海马的觅食视距仅为 1m 左右，所以饵料要投在经常群集处。自然海区海马主要摄食小型甲壳动物，主要有挠足类、蔓足类的藤壶幼体、虾类的幼体及成体、莹虾、糠虾和钩虾等。在人工饲养条件下，以摄食糠虾和樱虾效果最好，其次为足类和端足类。淡水枝角类等也可为食，但要注意避免因在海水中迅速死亡以污染水质。

海马的摄食量与水温、水质密切相关。在适温范围内，水温高，则摄食量大，消化快。水质不良时，摄食量减少，甚至停食。在正常条件下，海马的日摄食量约占体重的 10%海马一次摄食量很大，同时耐饥性也很强，从初生苗到成鱼耐饥时间可达 4~132 天。

运动方式：海马尾部的构造和功能与其他鱼类迥异。栖止时的海马，利用尾

部具有卷曲的能力，使尾端得以缠附在海藻的茎枝上。故海马多栖息在深海藻类繁茂之外。游泳的姿态也很特别，头部向上，体稍斜直立于水中，完全依靠背鳍和胸鳍来进行运动，扇形的背鳍起着波动推进的作用。

生活环境：在自然海域中，海马通常喜欢生活在珊瑚礁的缓流中，因为它们不善于游水，故而经常用它那适宜抓握的尾部紧紧勾勒住珊瑚的枝节、海藻的叶片上，将身体固定，以使不被激流冲走。

生育：海马的雌雄鉴别很简单，就是雄鱼有腹囊（俗称：育儿袋），而雌鱼没有腹囊。海马并不是雌雄同体，海马只是雄性孵化。

每年的 5 月～8 月是海马的繁殖期，这期间海马妈妈把卵产在海马爸爸腹部的育儿袋中，卵经过 50~60 天，幼鱼就会从海马爸爸的育儿袋中生出，所以说是海马爸爸负责育儿，而不是真的由爸爸生小孩，爸爸的育儿袋只是起到了孵化器的作用，卵还是来源于妈妈。8~9 月为盛产期，渔民常于此时用张网捕捉。

5.8.2 海龟

海龟 *Chelonia mydas* 是我国第二类重点保护的野生濒危动物，我国主要分布于西沙群岛、海南岛、广东、广西、台湾、福建、浙江、江苏和山东沿海地区。根据《广东省海洋环境保护规划》研究成果，以及南海水产研究所调查资料，海龟在广东省的主要活动地区为大亚湾、红海湾、汕头。我国已于 1985 年在广东惠东县港口镇海龟湾建立了国家级海龟自然保护区。惠来县曾有海龟的分布。

大多数的海龟生存在比较浅的沿海水域、海湾、泻湖、珊瑚礁和流入大海的河口。不同种类和同一种类内部不同群体的海龟有着各自的迁徙习惯。

海龟生活于近海上层。以鱼类、头足纲动物、甲壳动物以及海藻等为食。每年 4~10 月为繁殖季节，常在礁盘附近水面交尾，需 3~4 小时。雌性在夜间爬到岸边沙滩上，先用前肢挖一深度与体高相当的大坑，伏在坑内，再以后肢交替挖一口径 20cm、深 50cm 左右的“卵坑”，在坑内产卵。产毕以砂覆盖，然后回到海中。每年产卵多次，每产 91~157 枚。卵白色，圆形，径 41~43mm，壳革质，韧软。孵化期 50~100 天。

5.8.3 鲎

鲎 *Tachypleus tridentatus* 属于广东省第一批重点保护水生野生动物，具有重要的学术研究价值，有“活化石”之称，同时还具有较高的药用价值。我国主要分布于浙江、福建、台湾、广东、广西沿海。惠来海区有鲎分布的记录。

鲎栖息于沙质海底，昼伏夜出，大部分时间营底栖潜居生活，通常小个体生活在岸边沙滩中，随着年龄的增长，个体大的逐渐移向浅海。鲎不作长距离洄游，每年 11 月随着水温下降由浅海游向较深水域越冬，翌年 4~5 月又从深水区游向浅海，繁衍后代，繁殖期 5~8 月。春夏之交繁殖，雄体爬在雌体上游泳，被称为“海底鸳鸯”。

鲎为雌雄异体，雌体比雄体大，成年雌体重约 4kg，雄体重约 1.8kg。雌体背负雄体，成对栖息、爬行、游动，称为海中鸳鸯。受精卵经过 5~6 周孵化成为幼虫，初孵幼虫长 7~8cm，称为三叶幼虫，幼虫经第一次蜕皮后长成幼鲎，从幼鲎到达性成熟，约需 4~5 年，蜕皮 13~14 次。

中国鲎：体呈瓢状，由头胸部、腹部和尾剑三部分组成，头胸甲长 30~40 厘米，甲面凹凸，青褐色。尾刺能自由运动，当背部贴地时常用此尾使身体翻转。头胸甲隆起线的中央突起外侧各有一个复眼。头胸甲与体后部背甲交接处有关节，可使腹部向前屈曲。头胸甲腹面有 6 对胸肢，雌性前 5 对肢端为钳状，雄性的第二、三对为钩爪形。腹部腹面有 6 对腹肢。我国沿岸均有分布。浙江以南的近岸浅海中较多。生活在近海多藻类的砂质海底。尤其在舟山海域繁殖季节(5~8 月)常呈双结对雌雄两个体爬行于沿岸沙滩上，极易捕捉。

南方鲎：是国家二级海洋保护动物，它是一种节肢动物，全身褐色，外形像个瓢，尾部长有一条细长的剑状尾巴，一般雌体身长约 43cm，雄体 33cm，头胸甲隆起较低，呈圆弧形，背面平滑无小刺，缘刺和东方鲎相似，不同的是雌体的第四、五、六缘刺并无明显退化。生活在海底。产卵期是 6 月下旬起到 8 月下旬，大涨潮前后几天的满潮时。小潮原则上不产卵。卵产在砂中。大多数鲎在最高满潮前一个小时到砂地开始产卵行动。先是雌鲎用足挖穴，在深约 10 至 15cm 的地方产卵，这时背上的雄鲎排精。第一次产卵后，它们前进 10 至 15cm，重复前面的动作，这样产卵几次至十几次。雌鲎前进时挖的沙，刚好埋上身后的

洞穴。满潮一小时后，大多数鲎夫妇停止产卵游归大海。砂中的卵 6 至 8 周后孵化，孵出后留在原地过冬，第二年初夏，由砂中走出，经脱皮，变为第二龄。南方鲎在医学上有药用功能，以尾状刺及其腹内鲎珠入药。

根据南海水产研究所调查资料，中国鲎分布于长江口以南的东海和南海海域，南方鲎分布于广东湛江东海岛以南的南海海域。中国鲎的活动区域较为分散，实地走访的当地渔民和调查问卷表明在沿海和海岛沙滩上很少观察到有中国鲎出现，由于沿海地区的逐渐工业化，及人们对海洋的开发利用，沙滩面积逐渐减少，沙质退化，且仅剩下不多的沙滩也受到严重污染，使鲎的生殖繁衍后代的场所受到严重污染，直接威胁着鲎的生存。相比上世纪，中国鲎在沙滩上发现以及产卵的频率明显下降，目前主要在等深线 3~10m 近海海域多有发现。

5.8.4 龙虾

锦绣龙虾和中国龙虾均属于广东省第一批重点保护水生野生动物，具有较高的经济价值。在礁区周围有分布，主要产于惠来县靖海镇。

龙虾（学名：*Palinuridae*）是节肢动物门甲壳纲十足目龙虾科 4 个属 19 种龙虾的通称。又名大虾、龙头虾、虾魁、海虾等。它头胸部较粗大，外壳坚硬，色彩斑斓，腹部短小，体长一般在 20cm~40cm 之间，重 0.5kg 上下，是虾类中最大的一类。最重的能达到 5kg 以上，人称龙虾虎。体呈粗圆筒状，背腹稍平扁，头胸甲发达，坚厚多棘，前缘中央有一对强大的眼上棘，具封闭的鳃室。主要分布于热带海域，是名贵海产品。中国已发现 8 种，以中国龙虾产量较大。

中国龙虾，呈橄榄色，产于广东沿海一带，体形较大，产量也较大；锦绣龙虾，有美丽五彩花纹，最大可达 4kg~5kg，产于浙江舟山群岛一带，产量不大。龙虾主要生活于热带沿岸浅海的礁岩间，白昼潜伏于岩缝间或石下，夜间觅食活动，行动缓慢，多为杂食性。龙虾有很强的趋水流性，喜新水活水，逆水上溯，且喜集群生活。龙虾生长适宜水温为 24℃~30℃ 当温度低于 20℃或高于 32℃时，生长率下降，水温 15℃以下时幼体成活率极低。龙虾适宜 PH 值范围为 5.8~9，但在繁殖孵化期要求 PH 值为 7.0 左右，溶氧量 3mg/L 以上。

5.9 鸟类环境现状调查与评价

鸟类环境现状调查工作委托广东森霖造绿有限公司联合广东省生物资源应用研究所开展。

5.9.1 鸟类多样性调查

调查时间为2017年11月、2018年2月、3月、5月（补充调查）和7月。

调查采用样线法进行（如图5-88），记录在船上看到的鸟类物种、数量、距离以及行为等。调查范围为周边8 km海域，另在海岸海滨范围选取3条具有代表性的样线进行调查作为补充。



图5-88 样线分布示意图

鸟类的鉴定参照《中国鸟类野外手册》，鸟类分类系统见郑光美(2005)《中国鸟类分类与分布名录》。

5.9.1.1 生态现状

风电场场址所在位置属于海洋环境，海上调查的范围区域内并无外海岛屿，

海上分布红嘴鸥 *Chroicocephalus ridibundus* 数量最多，其次为普通燕鸥 *Sterna hirundo*、褐翅燕鸥 *Sterna anaethetus*、黑尾鸥 *Larus crassirostris*、普通鸬鹚 *Phalacrocorax carbo* 和黑枕燕鸥 *Sterna sumatrana*；海滨陆上多为鱼塘、农田、灌丛生境，其中白鹭 *Egretta garzetta*、大白鹭 *Ardea alba*、家燕 *Hirundo rustica*、普通鸬鹚和红嘴鸥、池鹭 *Adeola bacchus* 和家燕 *Hirundo rustica* 数量较多。

5.9.1.2 鸟类多样性

(1) 鸟类多样性

共调查到鸟类 12 目 27 科 55 种（见附录），特殊的地理位置和环境，调查区域内的鸟类大部分为海鸟和水鸟，因此非雀形目 37 种，占 67.27%，鸻形目和鸽形目种类较多分别有 10 种和 15 种，而雀形目 18 种，占 32.73%。

(2) 珍稀保护物种

在调查到的 40 种鸟类中，有国家二级保护鸟类 2 种、列入中国濒危动物红皮书的 2 种，均为岩鹭 *Egretta sacra* 和黑翅鸢 *Elanus caeruleus*，广东省保护鸟类 17 种，如白鹭、苍鹭 *Ardea cinerea*、黑水鸡 *Gallinula chloropus*、黑翅长脚鹬 *Himantopus himantopus* 等，“3 有”保护鸟类 49 种，如普通鸬鹚、珠颈斑鸠 *Streptopilia chinensis*、白骨顶 *Fulica atra*、泽鹬 *Tringa stagnatilis*、普通翠鸟 *Alcedo atthis* 和鸛鹬 *Copsychus saularis* 等。

区域水鸟总数 1%水鸟共有 11 种，分别是普通鸬鹚、白鹭、池鹭、大白鹭、苍鹭、黑尾鸥、红嘴鸥、褐翅燕鸥、黑枕燕鸥、普通燕鸥和家燕。由于海上风电场主要活动鸟类为海鸟，因此可选取种群数量较大的红嘴鸥、普通燕鸥、褐翅燕鸥、黑枕燕鸥和黑尾鸥作为指示物种，长期监测海上鸟类动态。

(3) 居留型和区系

在居留型方面，在调查到的 55 种鸟类种，留鸟 28 种，占 50.91%，冬候鸟 14 种，占 25.45%，夏候鸟 9 种，占 16.36%（见图 5-89），旅鸟或迷鸟 4 种，占 7.27%。迁徙鸟类共 27 种，其中 24 种为非雀形目鸟类，冬候鸟多为鹭鸟和鸻鹬。

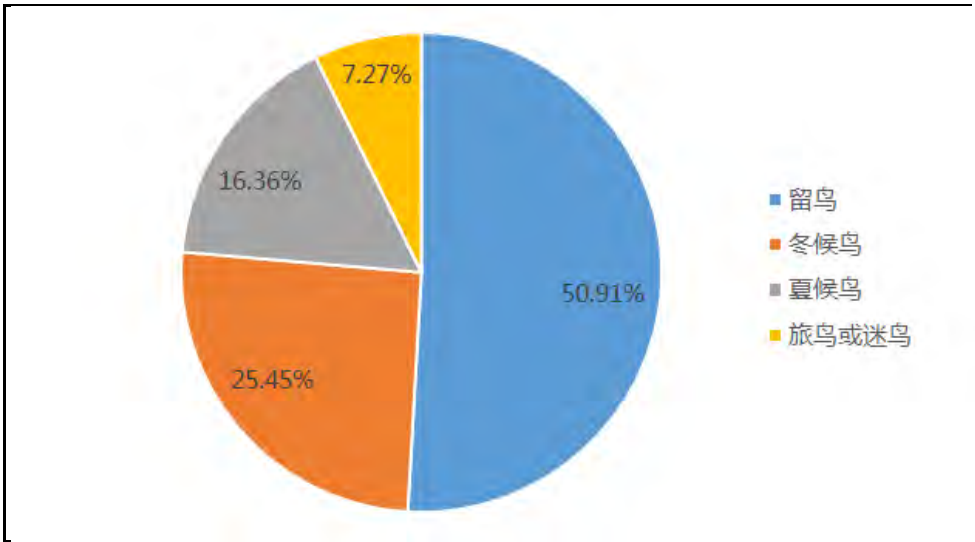


图5-89 居留型

在区系方面，在调查到的 55 种鸟类中，东洋界 31 种占 56.36%，其次广布种 18 种，占 32.73%，古北界最少 6 种占 10.91%（见图 5-90）。

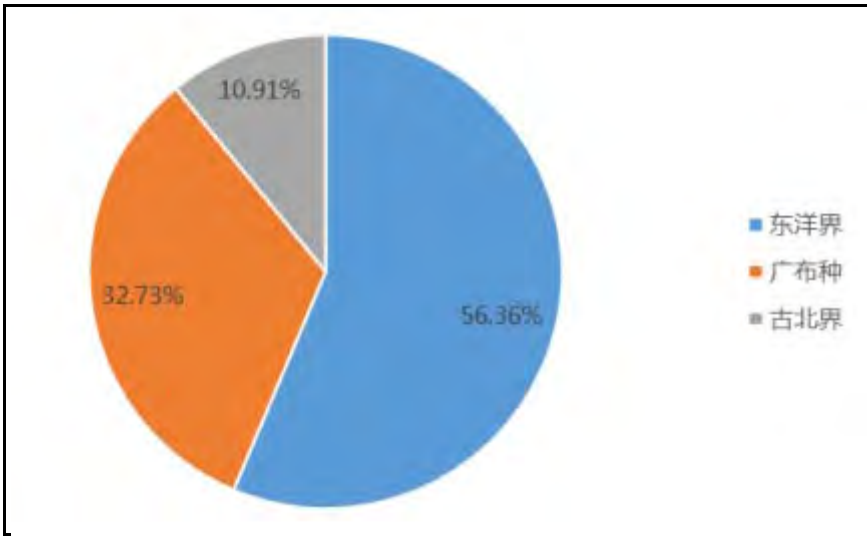


图5-90 区系

（4）季节动态

通过 4 个季度的物种数和个体数调查结果显示，在夏季调查到的鸟类物种最多，而冬季的鸟类个体数量最多。冬候鸟在冬季的数量达到高峰，优势种为，在春季逐渐往北迁飞，数量上有明显的降低，而 3 月正是鸟类北迁高峰，许多鸟类途径此地，因此调查到的物种数量较多；夏季海上是燕鸥活跃的区域，因此夏季记录到物种数也有所增加。

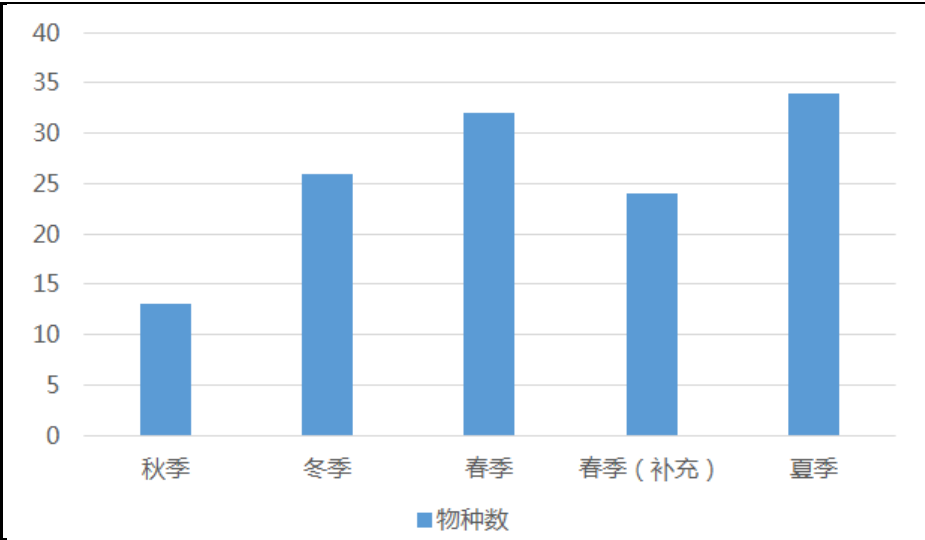


图5-91 季度物种数动态图

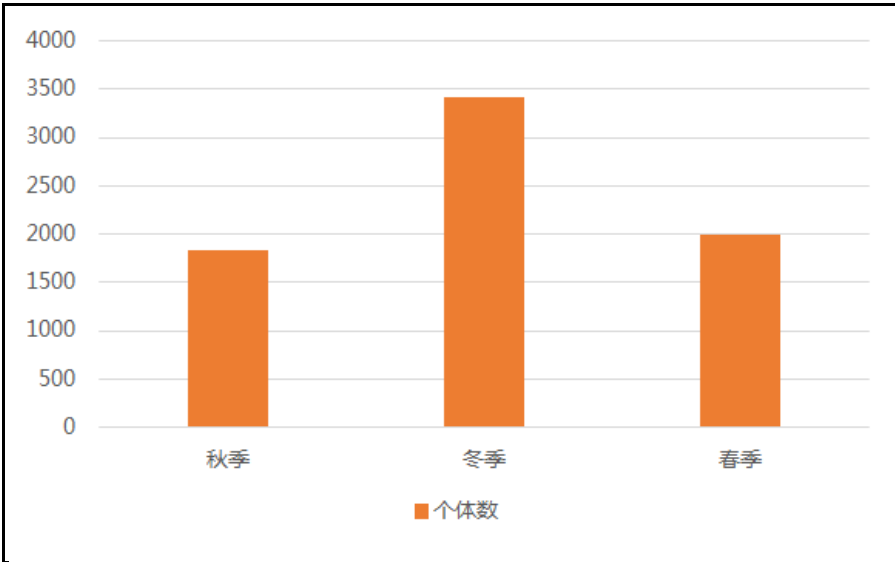


图5-92 季度个体数动态图

(5) 鸟类分布概况

如下图 5-93 图 5-94，本次调查的 4 条样线物种数分别为 20 种、28 种、25 种和 6 种。其中陆上调查 3 条样线，海上调查 1 条样线，海上样线只有 6 种，但其数量最多。调查中数量最多的 5 种鸟类分别为：红嘴鸥、黑尾鸥、白鹭、大白鹭和普通鸬鹚。各样线情况如下：

1) 陆丰

本样线主要生境为河口和鱼塘。相对其他两条样线生境较单一，鸟类种类较少只有 26 种，但由于河口是水鸟集中活动区域，因此鸟类数量较多，其中白鹭、

红嘴鸥和普通鸬鹚数量最多。

2) 陆丰 1

本样线主要生境为鱼塘，但也贯穿了部分河流、灌丛、农田和居民点，因此生境较为丰富多样，记录到的物种数也最多，但大多数为雀形目伴人物种，因此数量较少，优势种有红嘴鸥、白鹭、泽鹞、家燕和小鸬鹚。

3) 陆丰 2

本样线主要生境与样线陆丰 1 相似，但居民点比例更多，人为干扰更强，因此鸟类种类和数量均比陆丰 1 要少，其中白鹭、八哥、麻雀的数量较多。

4) 海上样线

海上样线均为海域，没有外海岛屿，鸟类大部分集中靠近海岸西中部，海上是海鸥集中觅食和活动的区域，其中红嘴鸥数量最大，总计超过 4000 只次。此外夏季时候记录到的褐翅鸦鹃和普通燕鸥较多，数量超过 500 只，而黑尾鸥和普通鸬鹚数量也相对较多，普通鸬鹚是在秋季和夏季都有记录到，而黑尾鸥则是在冬季时发现，到春季时的种群数量更大且记录范围更广。

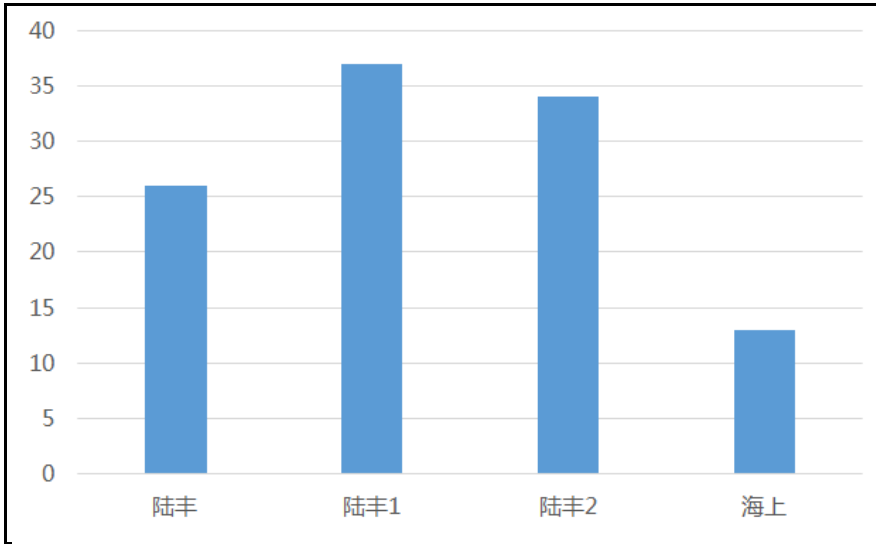


图5-93 各样线物种数

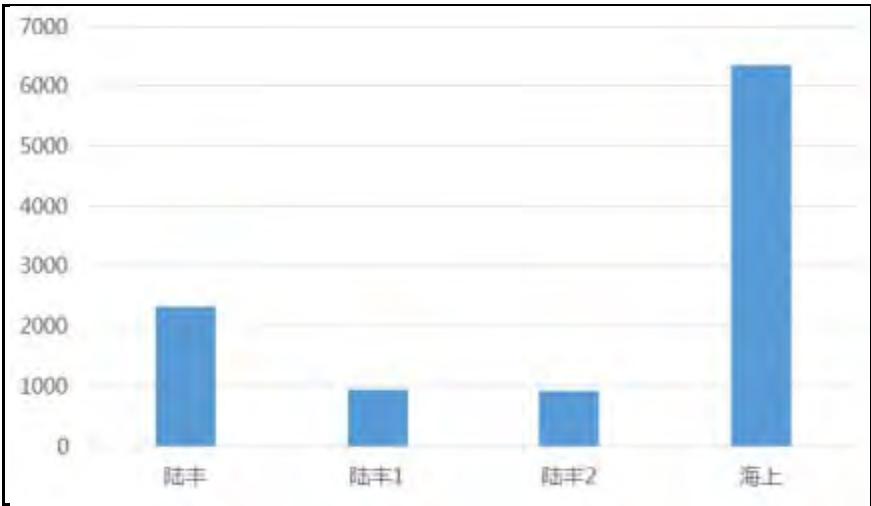


图5-94 各样线个体数

5.10 水上水下噪声环境现场调查

5.10.1 调查概况

中国水产科学研究院南海水产研究所于 2018 年 3 月对本项目风电场场址海域的声环境质量进行了现场调查。在工程海域共设置 9 个噪声调查站点，各站点均开展水下声测量，各站点经纬度坐标见表 5-122，站位分布见图 5-95。

表5-122 水下噪声环境现场调查站位及坐标

监测站点	水深/m	水听器深度/m	测噪声时间段	备注
SWHH1	31	2	13:59-14:02	听见附近作业渔船发动机工作声音
N22° 45' 24.0"				
E116° 12' 59.2"				
SWHH2	30	2	12:46-12:49	1 艘集装箱货船经过，最近 100 m，听见发动机工作声音
N22° 46' 47.9"				
E116° 12' 59.2"				
SWHH3	30	2	11:35-11:38	听见附近作业渔船发动机工作声音
N 22° 43' 36.3"				
E116° 06' 28.7"				
SWHH4	31	2	11:01-11:04	听见附近作业渔船发动机工作声音
N 22° 44' 19.8"				
E116° 03' 43.9"				
SWHH5	28	2	8:40-8:45	听见附近作业渔船发动机工作轻微声音
N 22° 40' 38.1"				
E115° 52' 59.9"				
SWHH6	28	2	9:03-9:08	

N22° 39' 21.2"				
E115° 54' 14.4"				
SWHH7	30	2	9:30-9:35	听见附近作业渔船 发动机工作声音
N22° 41' 20.5"				
E115° 57' 44.3"				
SWHH8	30	2	10:40-10:43	听见附近作业渔船 发动机工作声音
N22° 42' 58.5"				
E116° 02' 51.0"				
SWHH9	31	2	12:16-12:19	1 艘货船，最近 500 m; 听见发动机工作 声音
N22° 45' 03.6"				
E116° 10' 28.2"				

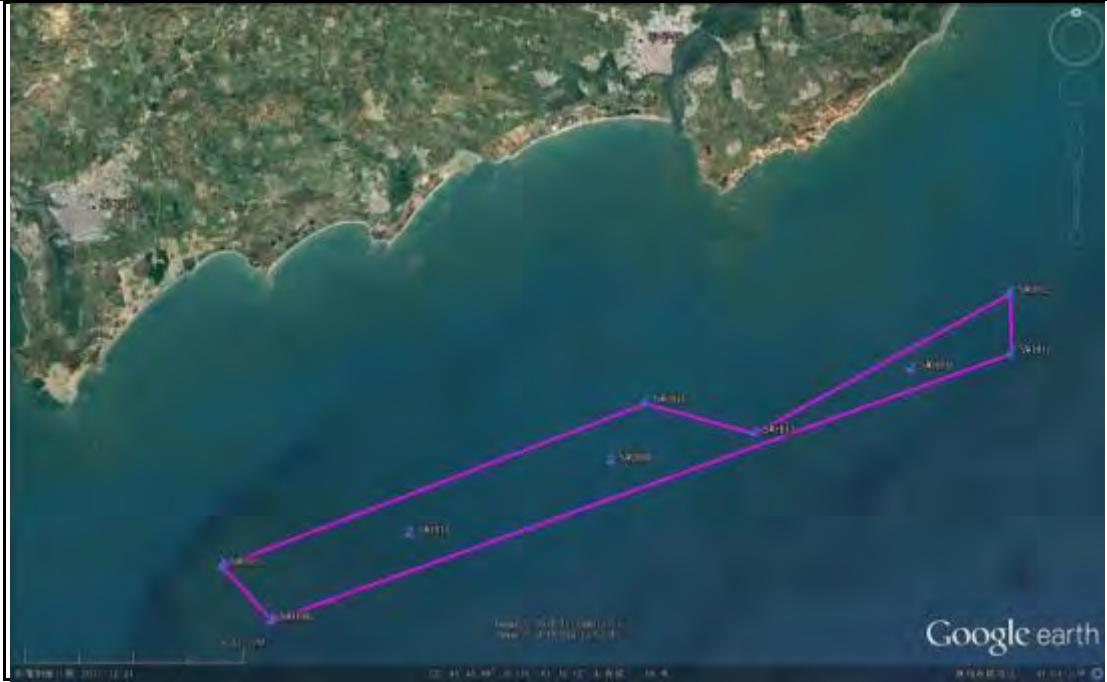


图5-95 水上水下噪声环境现场调查站位分布图

5.10.2 水上噪声调查

5.10.2.1 调查结果

调查海域水温 17.4-18.4 °C，盐度 32.23-32.49。海况二级，有大雾，能见度 300~1000 m，能见度很差。租用调查船的 AIS 系统界面显示每个调查站点周围有 1~3 艘作业渔船。

1、2、3、6、9 号调查站点的时域波形（图 5-96）、语谱图（图 5-97）、功率谱密度（图 5-98）相似，其他调查站点的波形（图 5-96）、语谱图（图 5-97）、功率谱密度（图 5-98）相似。表明 1、2、3、6、9 号调查站点的水下噪声监测结果相似相近，其他调查站点水下噪声调查结果相似相近；1、2、3、6、9 号调查站点的水下噪声监测结果与剩下其他监测站点水下噪声监测结果是有差异的。

1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声能量集中在 0~15 kHz，其他调查站点水下噪声能量集中在 0~1 kHz、15~20 kHz；1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声能量在 1~15 kHz 明显高于其他调查站点，1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声能量在 15~20 kHz 明显低于其他调查站点。

1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声全频带累积声压级为 30~41dB，其他调查站点水下噪声的总声压级为 67~83 dB（表 5-123）。1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声的频带声压级为 10~48 dB，声压谱级为 -25~9 dB；其他调查站点水下噪声的频带声压级为 17~69 dB，声压谱级为 1~28 dB（表 2、表 3）。海域水下声环境各调查站点的频带声压级（表 5-124~表 5-126）。

表5-123 各调查站点频带声压级及声压谱级特征值

站点	全频带累积声压级/dB	声压级范围/dB	声压级低频段主峰频率中心/Hz	声压级高频段主峰频率中心/Hz	声压谱级范围/dB	声压谱级低频段主峰频率中心/Hz	声压谱级高频段主峰频率中心/Hz
SWHH1	34	14~40	无	12500	-22~3	31.5	5000
SWHH2	34	15~40	无	12500	-22~4	125	5000
SWHH3	33	14~40	无	12500	-22~5	250	8000
SWHH4	79	27~65	20	无	13~25	40	8000
SWHH5	83	31~69	80	无	13~28	40	10000
SWHH6	40	21~48	无	12500	-15~9	63	8000
SWHH7	71	22~60	80	无	9~20	500	10000
SWHH8	67	17~53	125	无	1~12	40	10000
SWHH9	30	10~36	无	12500	-25~0	500	6300

表5-124 海域水下声环境各调查站点-频带声压级 单位: dB/1 μ Pa

站点	1/3oct 倍频程带声压级									
	20Hz	25Hz	31.5 Hz	40Hz	50Hz	63Hz	80Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz
SWHH1	14	14	16	16	17	19	19	20	21	22
SWHH2	15	15	16	17	18	19	20	20	22	22
SWHH3	16	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SWHH4	30	28	27	28	29	30	31	32	33	34
SWHH5	31	32	34	42	38	41	45	40	39	42
SWHH6	21	21	22	22	24	25	25	26	27	28
SWHH7	22	22	23	24	25	26	27	28	29	29
SWHH8	19	17	18	20	21	21	21	22	22	22
SWHH9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

表5-125 海域水下声环境各调查站点-频带声压级 单位: dB/1 μ Pa

站点	1/3oct 倍频程带声压级									
	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz
SWHH1	23	24	25	25	27	28	29	29	30	31
SWHH2	24	24	26	27	27	28	28	29	30	31
SWHH3	23	24	24	26	27	27	28	29	30	31
SWHH4	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
SWHH5	42	43	42	43	43	44	45	46	47	48
SWHH6	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
SWHH7	30	31	32	33	35	36	37	37	38	39
SWHH8	23	24	25	26	26	27	28	29	30	31
SWHH9	20	20	21	22	23	24	25	26	27	28

表5-126 海域水下声环境各调查站点-频带声压级 单位: dB/1 μ Pa

站点	1/3oct 倍频程带声压级									
	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	6300 Hz	8000 Hz	10000 Hz	12500 Hz	16000 Hz
SWHH1	32	33	34	35	37	37	38	39	40	19
SWHH2	32	33	34	35	36	37	38	39	40	19
SWHH3	32	33	34	35	36	37	38	39	40	19
SWHH4	45	45	46	47	48	50	53	54	54	65
SWHH5	49	50	51	52	53	54	57	58	58	69
SWHH6	39	40	41	42	43	44	45	46	48	26
SWHH7	40	41	42	43	44	46	48	49	49	60
SWHH8	32	33	34	35	36	38	40	41	42	53
SWHH9	29	30	31	32	33	34	34	35	36	16

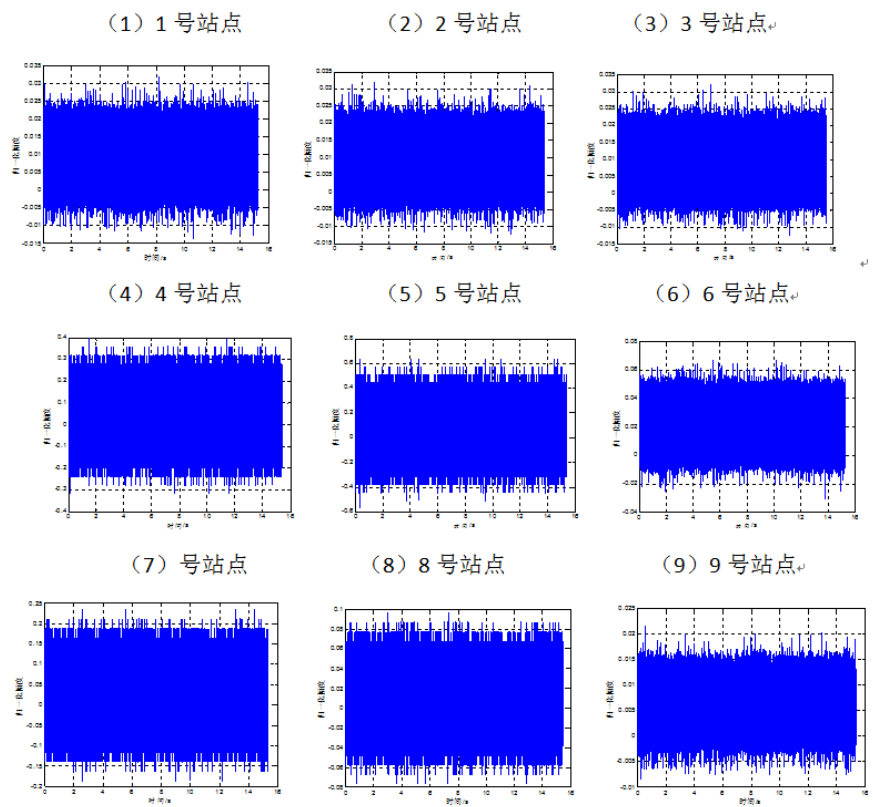


图5-96 各站点水下噪声波形图

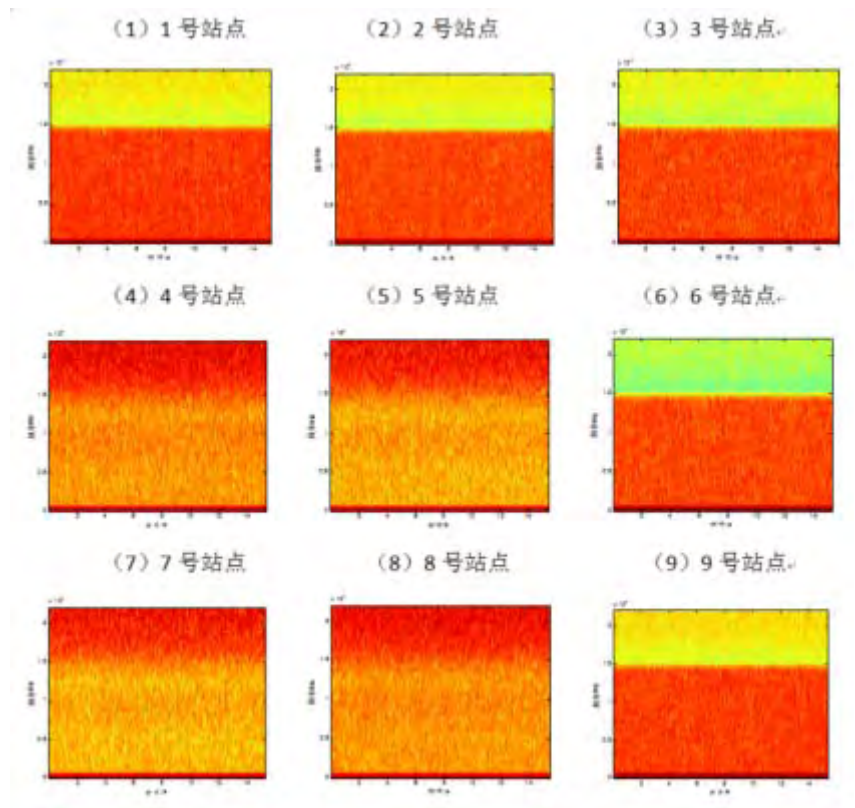


图5-97 各站点水下噪声语谱图

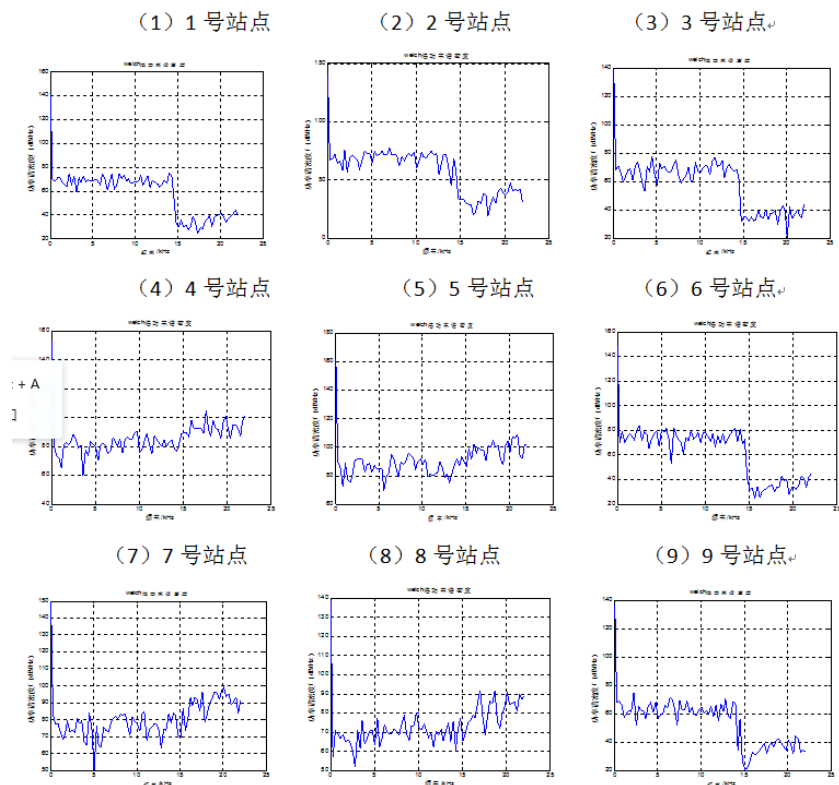


图5-98 各站点水下噪声功率谱密度

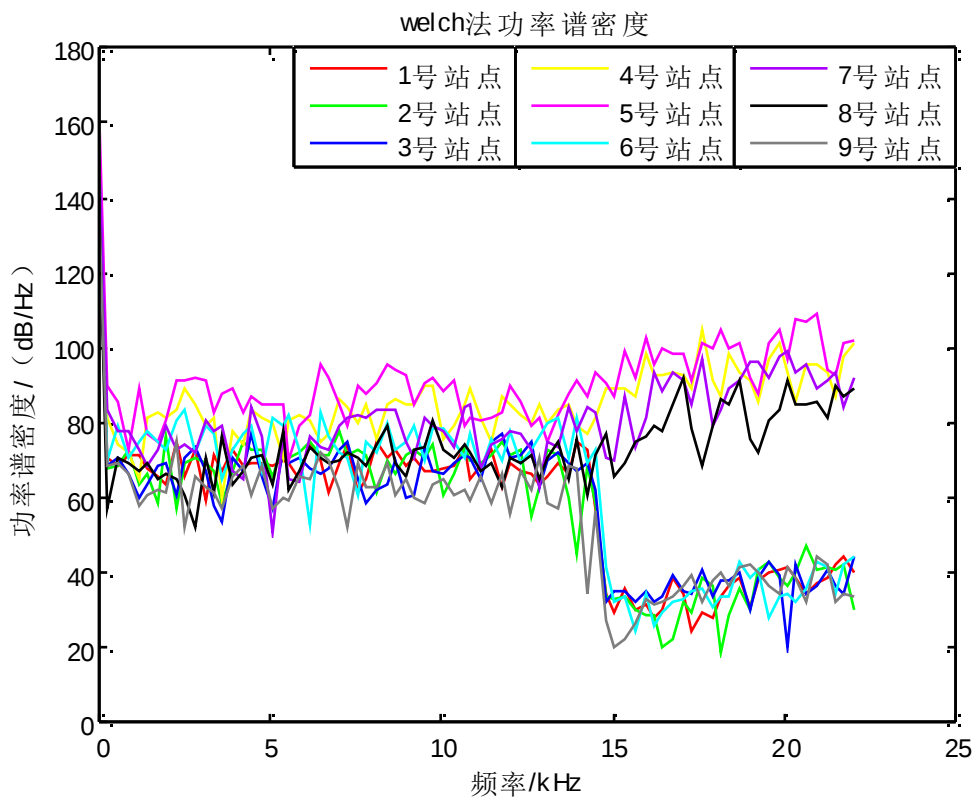


图5-99 各站点水下噪声功率谱密度级合图

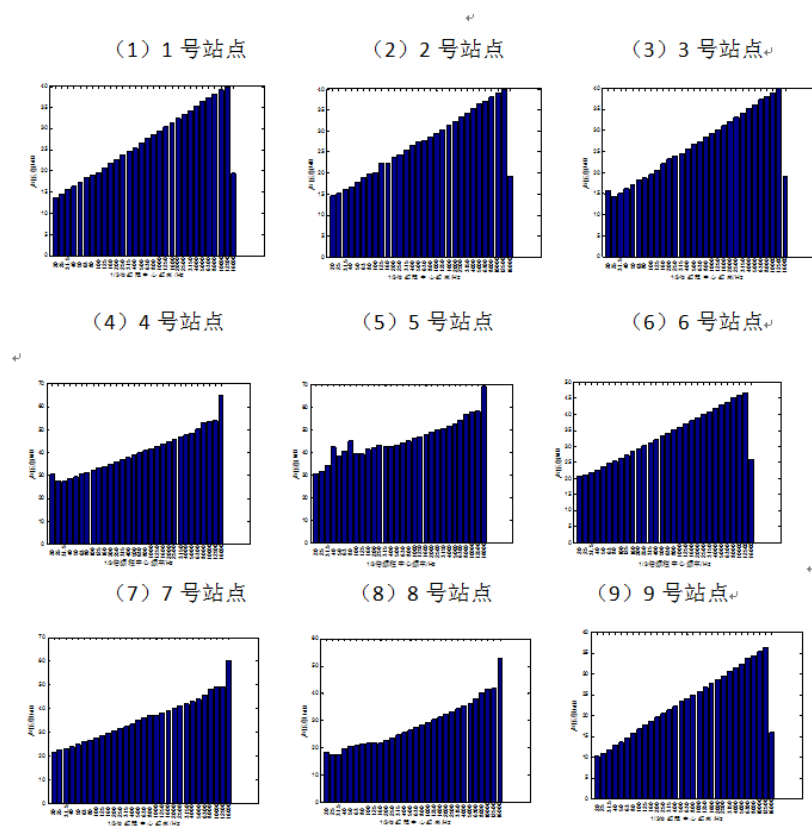


图5-100 各站点水下噪声频带声压级

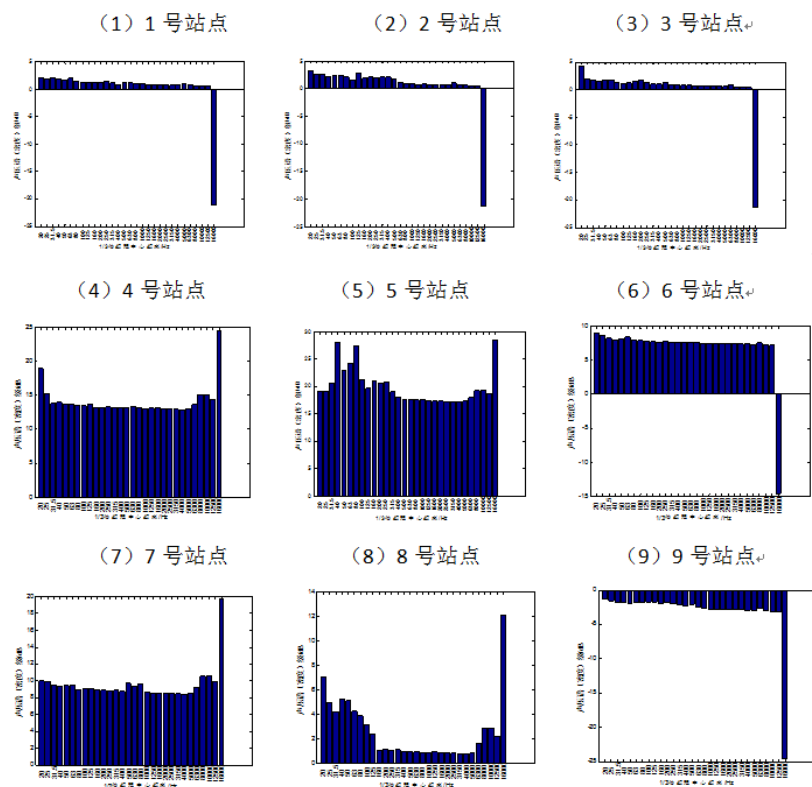


图5-101 各站点水下噪声声压谱级

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 潮流数学模型

根据《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规范》的要求。建立工程海域二维潮流模型。用有限体积元方法对二维潮流运动基本方程组(如下)进行离散,得到离散方程组,从而得出流速、流向、潮位。考虑滩地随涨、落潮或淹没或露出,采用活动边界技术,以保证计算的精度和连续性。

6.1.1.1 控制方程

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

式中: A_h 水平方向扩散系数, 取值为 $1.15 \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}$, η 为平均海面起算的海面高度, u 、 v 为垂向平均流的东、北分量, $H=\eta+h$ 总水深, h 为平均海面起算的水深, f 为体现地球自转效应的科氏参数, R_b 为海底摩擦系数, 取值为 0.0025, g 为重力加速度, 取值为 9.81; t_{sx} , t_{sy} 为风对自由水面的剪切力在 X、Y 方向的分量; 其中:

$$t_{sx} = f_s r_a u_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}$$

$$t_{sy} = f_s r_a v_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}$$

f_s 为风阻力系数, 取值为 0.25; ρ_a 为空气密度, 取值为 1.205 kg/m^3 ; u_w, v_w 风速在 X、Y 方向的分量。

6.1.1.2 边界条件和初始条件

(1) 边界条件

在本工程项目研究采用的数值模式中, 需给定两种边界条件, 即闭边界条件和开边界条件。

所谓开边界条件即水域边界条件, 可以给定水位、流量或调和常数。对于本次

数值模拟方案，计算域外海大网格开边界条件给定潮汐调和常数。潮汐现象可视为许多不同周期振动的叠加，分潮振幅(H)和专有迟角(g)只与地点有关，称潮汐调和常数。本次计算域外海开边界选取 8 个主要分潮(M₂、S₂、N₂、K₂、K₁、O₁、P₁、Q₁)叠加，其值根据历史调查资料计算的调和常数和有关文献提供，根据部分水文观测站的实测潮位结果进行调整，并且在模型计算和调试过程中根据部分水文观测站的实测潮位结果进行实时调整，以尽可能拟合潮位过程线。

所谓闭边界条件即水陆交界条件，计算水域与陆地交界的固边界上 Γ_2 有：

$$\vec{U} \cdot \vec{n} \Big|_{\Gamma_2} = 0$$

式中： $\vec{n}$ 为固边界法向； $\zeta^*(x, y, t)$ 、 $u^*(x, y, t)$ 和 $v^*(x, y, t)$ 为已知值(实测或准实测或分析值)。式(3-6)中的 $\vec{U}$ 为流速矢量($|\vec{U}| = \sqrt{u^2 + v^2}$)，其物理意义为流速矢量沿固边界的法向分量为零。

(2) 初始条件

$$\left. \begin{aligned} \zeta(x, y, t) \Big|_{t=t_0} &= \zeta_0(x, y, t_0) \\ u(x, y, t) \Big|_{t=t_0} &= u_0(x, y, t_0) \\ v(x, y, t) \Big|_{t=t_0} &= v_0(x, y, t_0) \end{aligned} \right\}$$

式中： $\zeta_0(x, y, t_0)$ 、 $u_0(x, y, t_0)$ 和 $v_0(x, y, t_0)$ 为初始时刻 t_0 的已知值。

(3) 活动边界处理

本模型采用干湿点判断法处理潮滩活动边界，在岸边界处，将邻近计算点的水位等值外推，根据潮滩“淹没”与“干出”过程同潮位变化的相关关系，当水深 $h \leq 0$ 时，潮滩露出，当水深 $h > 0$ 时，潮滩淹没。如果在某一时刻一节点干出，那么将此格点从有效计算域中去掉，同时，对流速做瞬时垂直壁处理，将与此水位点相邻的流速点设置为零流速；如果某个水位点判断为淹没，则将此点归入计算域。为了确保潮流方程不失去物理意义，选取一个最小水深 $h_{\min}$ 作为判断值，若 $h \leq h_{\min}$ ，则认为格点干出。

6.1.1.3 大海域潮流模型

数学模型的网格剖分与本工程方案尺度相适应，对本工程方案进行合理概化，对潮流运动进行详细的模拟。模型计算区域选择由 $22^{\circ} 7.8' N \sim 23^{\circ} 13.6' N$ ， $115^{\circ} 27.2' E \sim 116^{\circ} 59.3' E$ 为外海开边界构成的区域。

模型采用三角形网格剖分计算区域，工程前三角形网格节点数为 21752 个，三角形网格数为 35136 个，由于工程后不存在岸线变化，工程后与工程前采用相同的网格，最大网格长 2.0km，位于外海边界处；最小网格长 5m，位于风电桩基处。大范围网格剖分见图 6-1，工程区局部网格剖分见图 6-2。

模型水深和岸线由以下海图确定：2006 年福州至广州 1:1000000 海图（海图编号：10015）；1998 年碣石湾至珠江口 1:250000 海图（海图编号：15300）；2000 年田尾角至大星山 1:100000 海图（海图编号：15310）；2007 年大亚湾 1:60000 海图（海图编号：15369）。并采用项目区域实测地形进行局部调整，所有水深都经过绘图水深和平均海平面的转化。模型的计算水深见图 6-3。

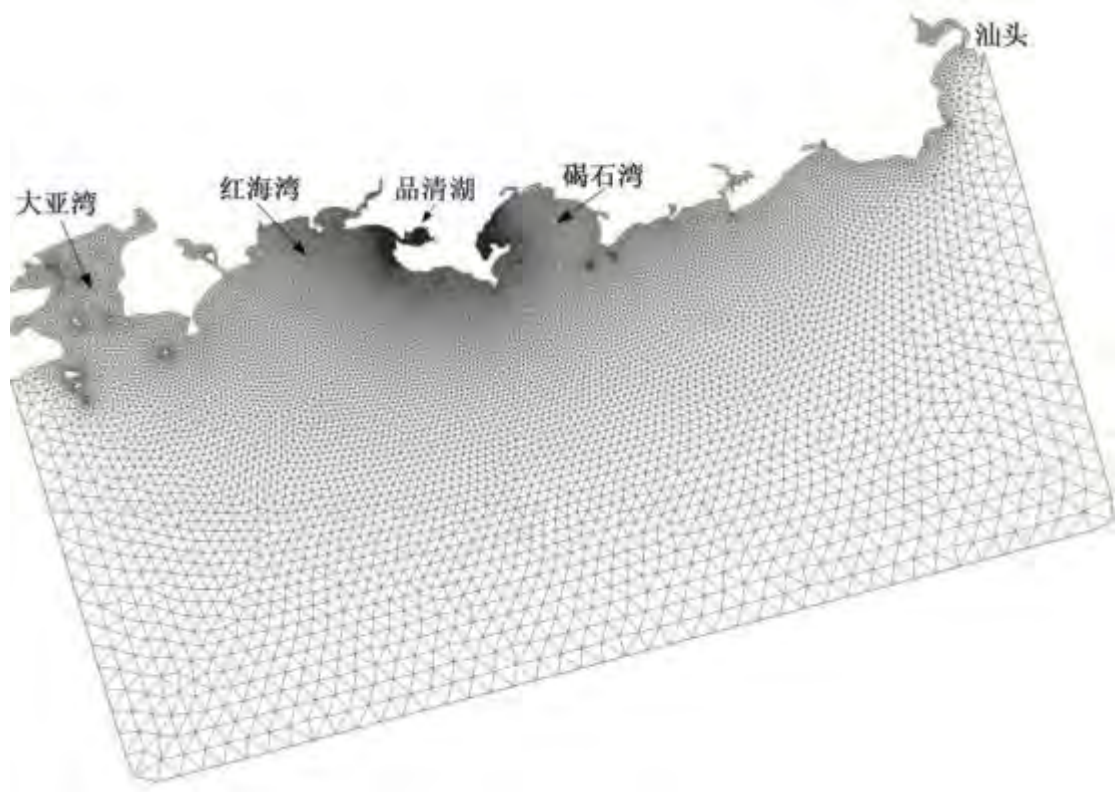


图6-1 模型计算网格

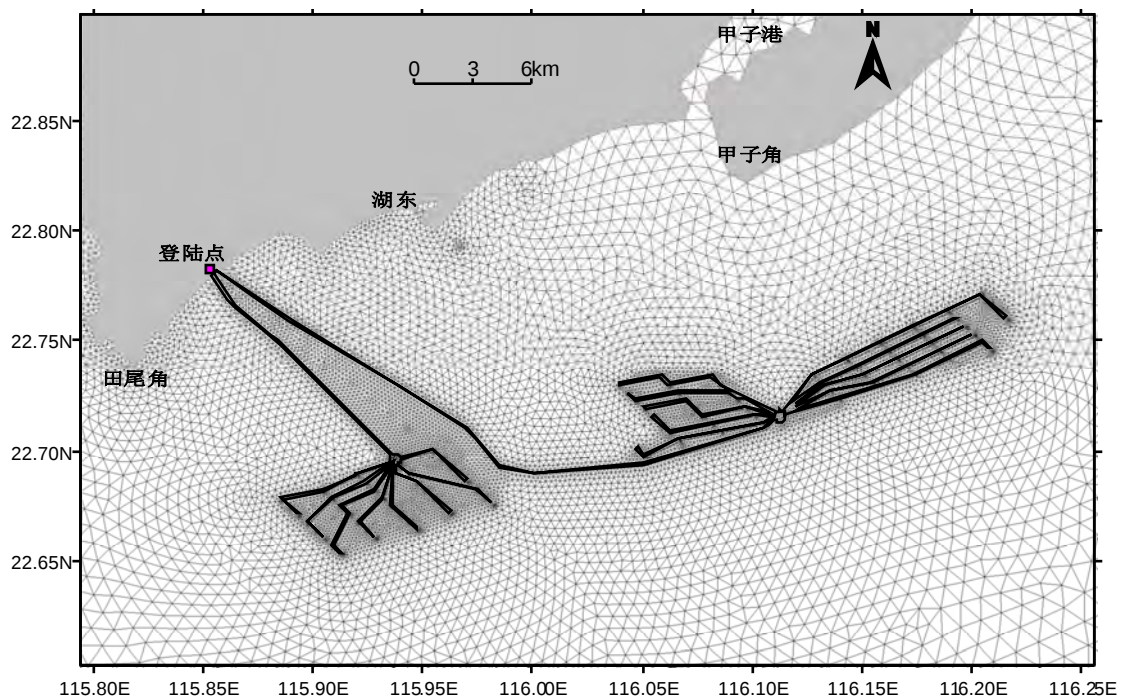


图6-2 工程后模型计算网格（局部放大）

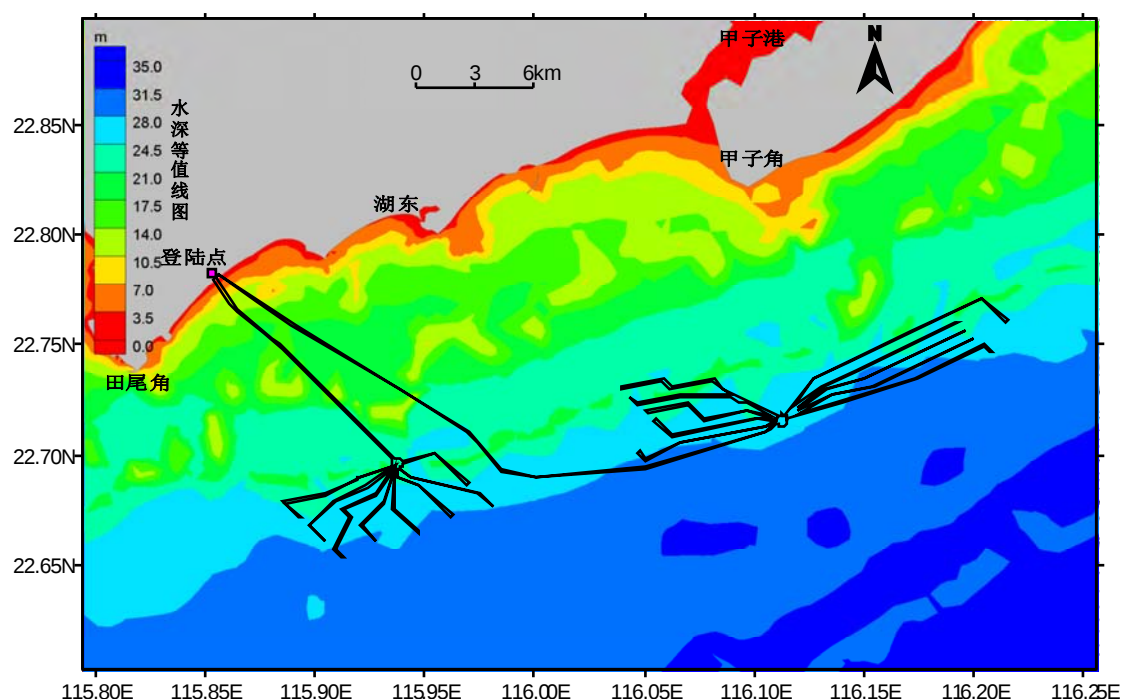


图6-3 模型计算水深

6.1.2 模型的验证和潮流场结果分析

6.1.2.1 模型的验证

模型的验证有两部分,包括用项目区域附近 2017 年 12 月 6~12 月 7 日的 9 个站点(站位编号为 B1~B9)的潮流资料和 3 个站(神泉 T1 站、甲子 T2 站和遮浪 T3 站,观测站位见图 6-4)的潮位资料与计算结果比较,绘制潮位曲线图 6-5 至图 6-6,流向、流速曲线如图 6-8 至图 6-25。由于实测流速为表、中、底三层,因此验证时采用垂向平均实测流速、流向资料。

由潮位和潮流的计算数据和实测数据的对比情况分析,潮位验证的平均绝对误差为 6.7cm,最大潮位误差为 9.3cm,流速和流向的验证也基本上与实测资料一致。从潮位过程(图 6-5 和图 6-6)和流速、流向验证曲线图(图 6-7 至图 6-25)对照可以看出,模拟结果与实测数据基本吻合,各测站的潮流为不正规半日潮流,即在一个太阴日内有两次涨潮和两次落潮,潮汐不对称效应比较明显,两个大潮中间为中小潮,在纯潮流作用下,潮流表现为旋转流,转流时为顺时针旋转;迭加风应力作用后表现为风海流,流向受潮流与风应力共同作用。根据潮位和潮流流速、流向的验证效果可知本模型可以用于本项目工程的动力场和物质输运分析。

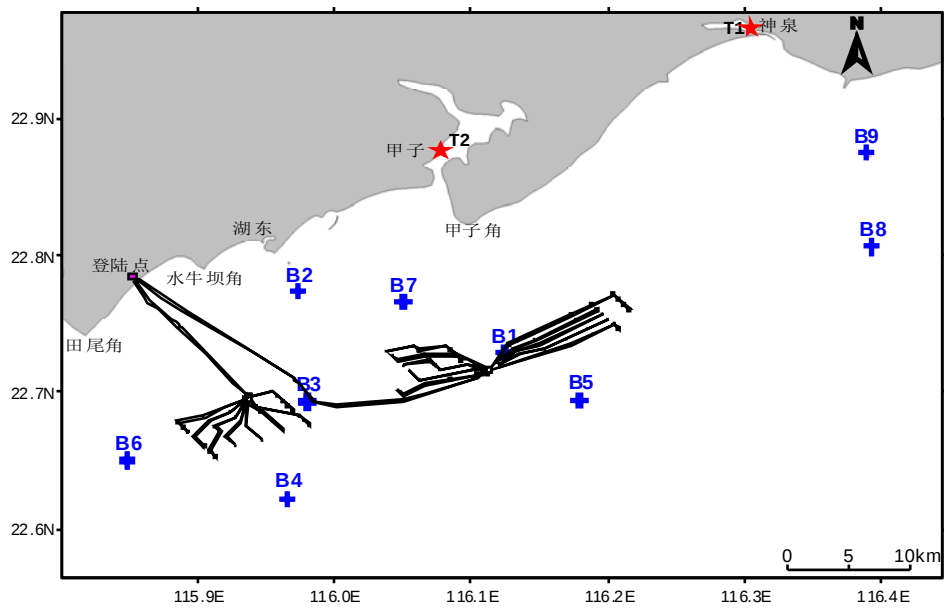


图6-4 测流站点图

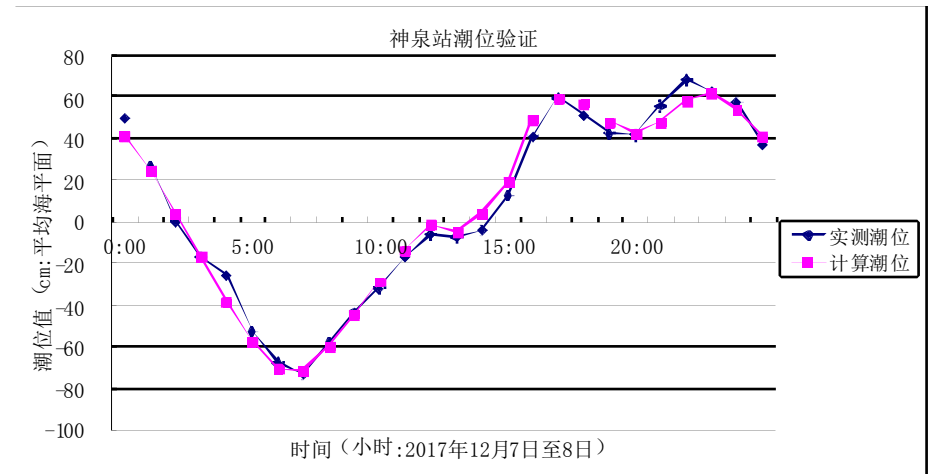


图6-5 神泉 T1 站潮位过程验证

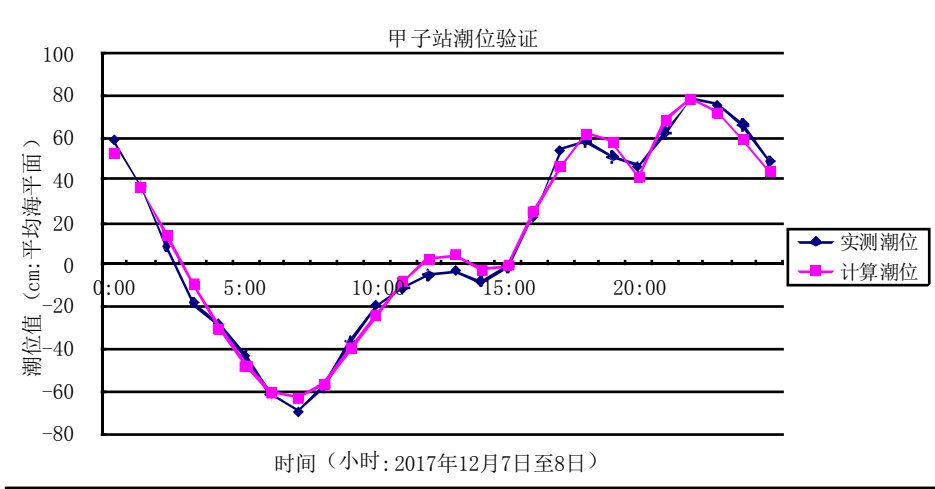


图6-6 甲子 T2 站潮位过程验证

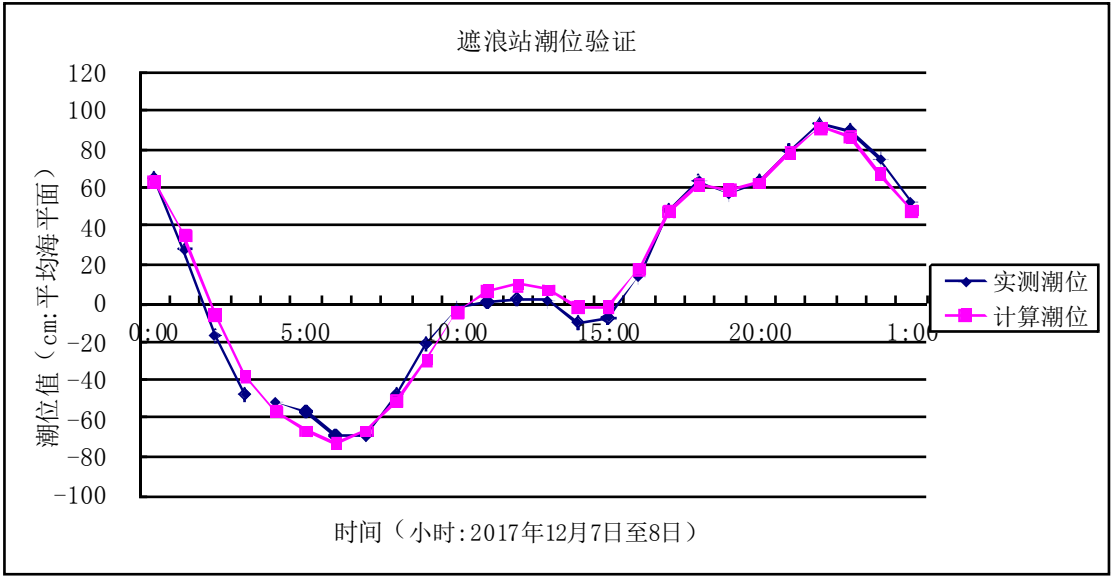


图6-7 遮浪 T3 站潮位过程验证

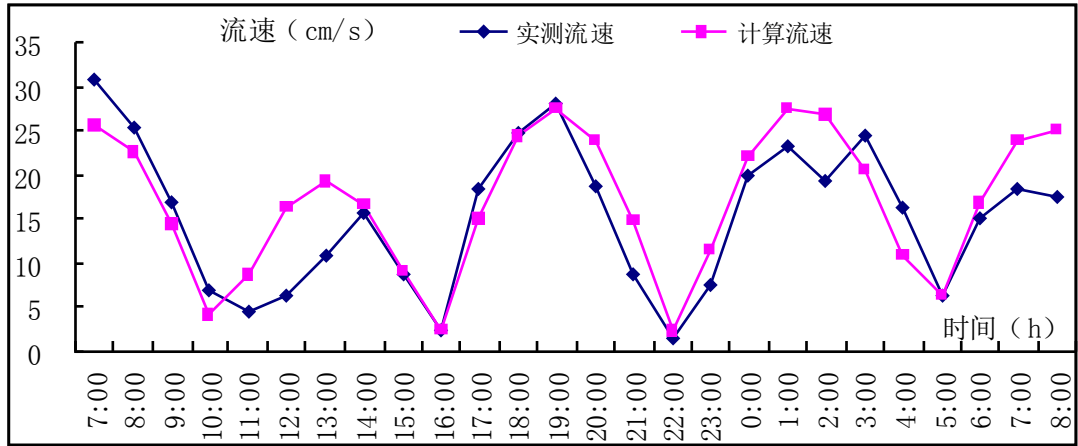


图6-8 B1 站实测流速与计算结果比较(2017年 12月 7~8 日, 大潮期)

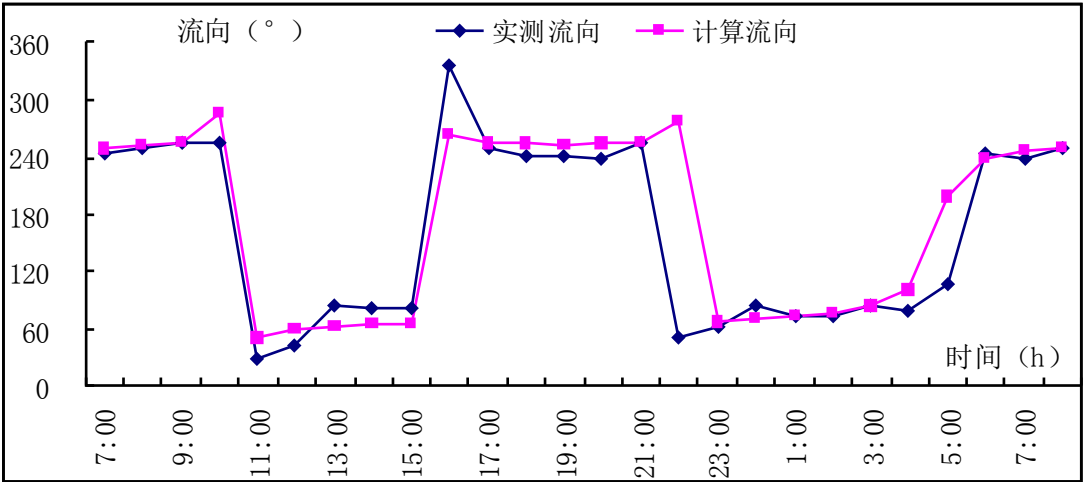


图6-9 B1 站实测流向与计算结果比较(2017年 12月 7~8 日, 大潮期)

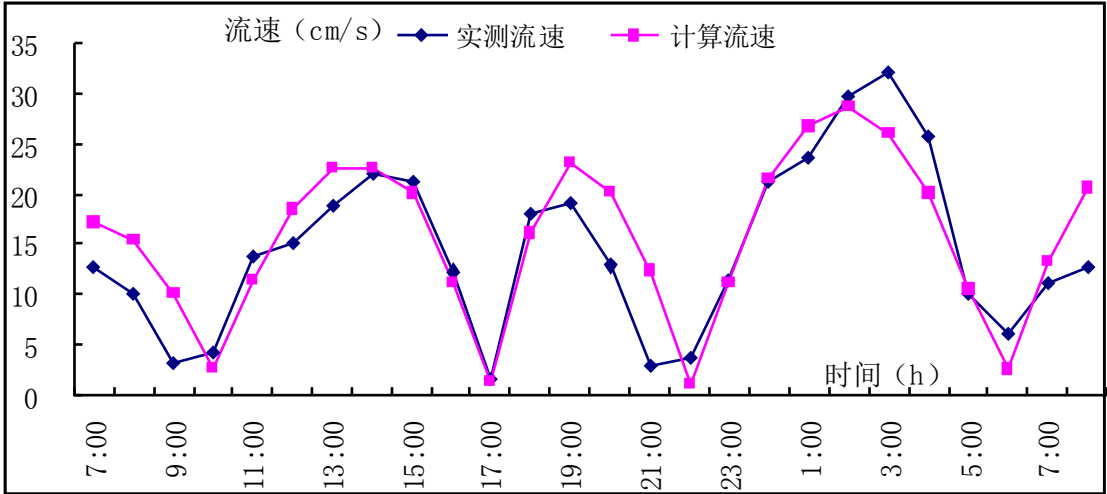


图6-10 B2站实测流速与计算结果比较(2017年 12月 7~8日, 大潮期)

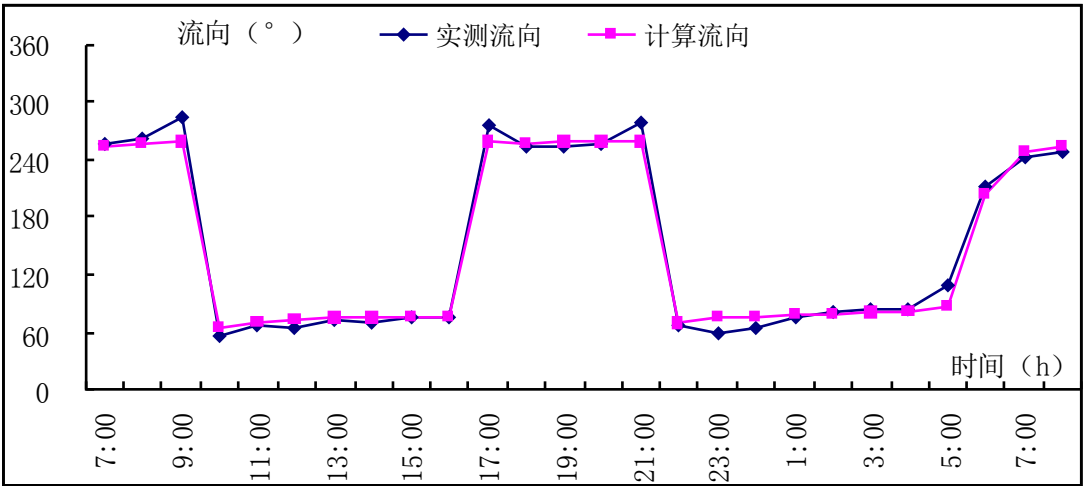


图6-11 B2站实测流向与计算结果比较(2017年 12月 7~8日, 大潮期)

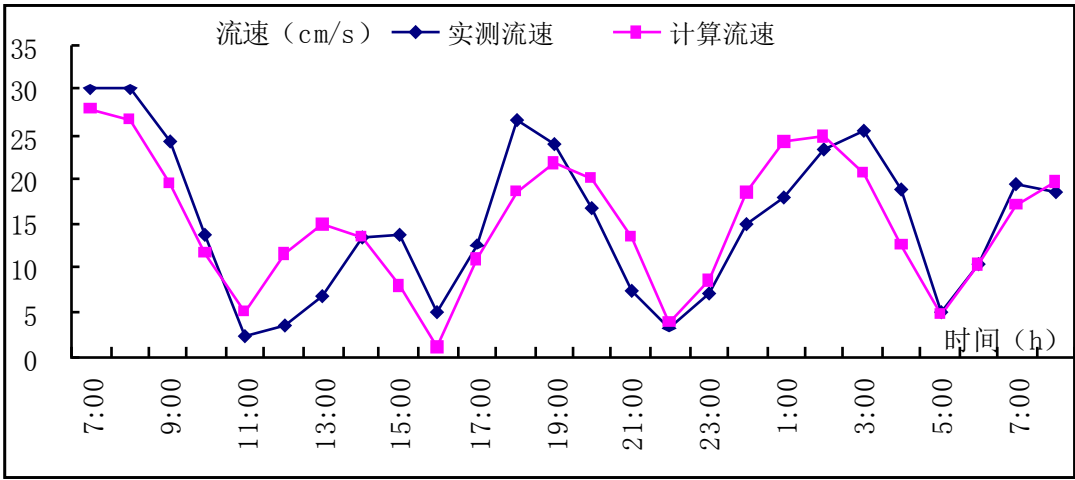


图6-12 B3站实测流速与计算结果比较(2017年 12月 7~8日, 大潮期)

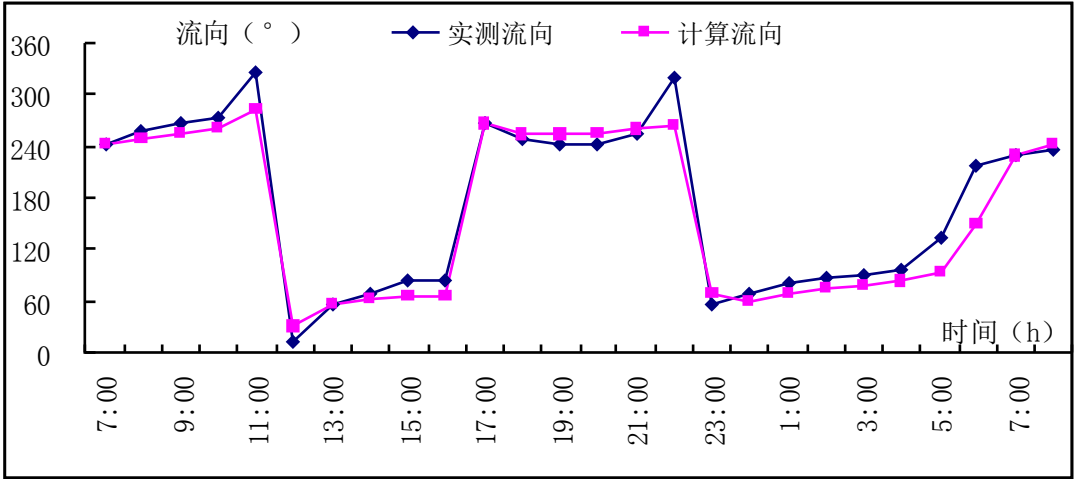


图6-13 B3站实测流向与计算结果比较(2017年12月7~8日,大潮期)

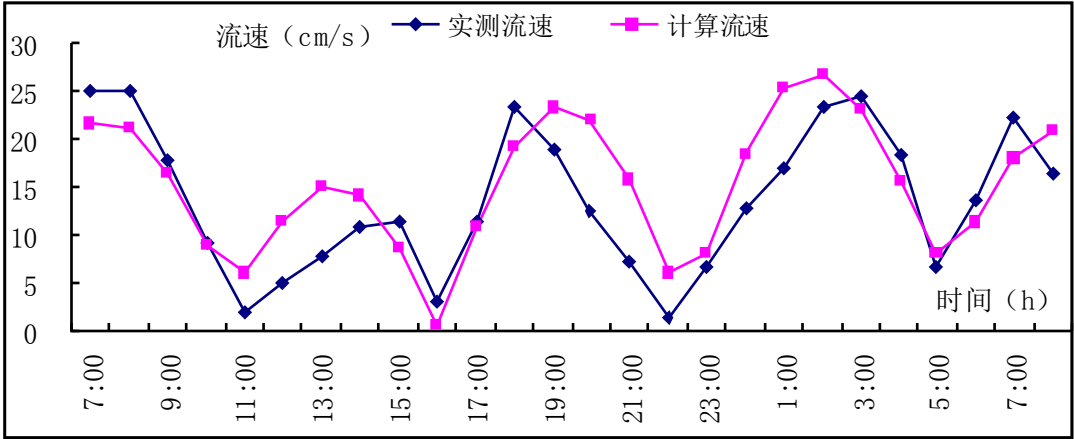


图6-14 B4站实测流速与计算结果比较(2017年12月7~8日,大潮期)

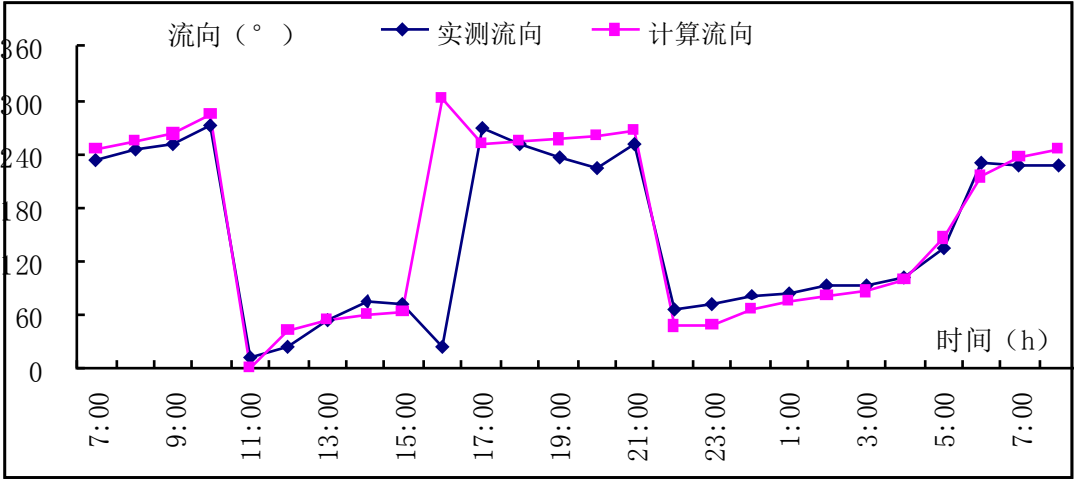


图6-15 B4站实测流向与计算结果比较(2017年12月7~8日,大潮期)

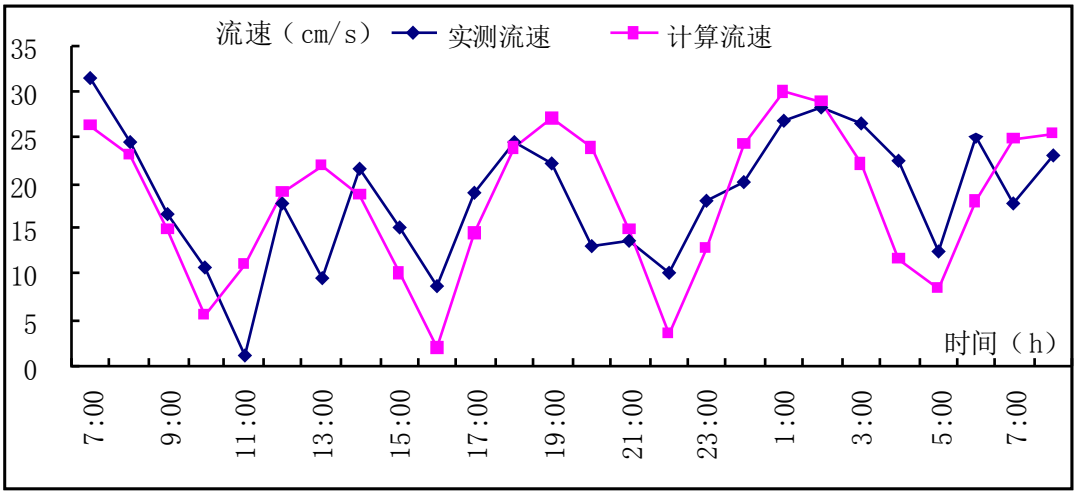


图6-16 B5站实测流速与计算结果比较(2017年 12月 7~8日, 大潮期)

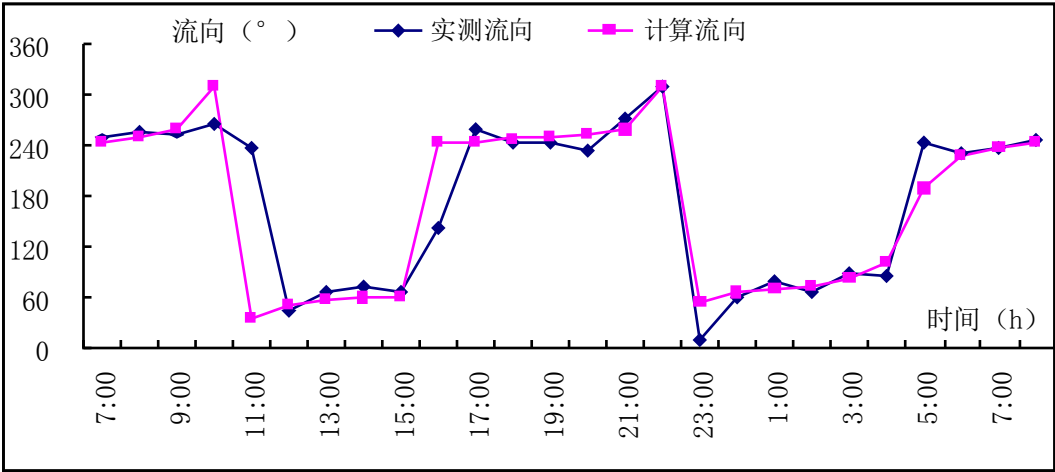


图6-17 B5站实测流向与计算结果比较(2017年 12月 7~8日, 大潮期)

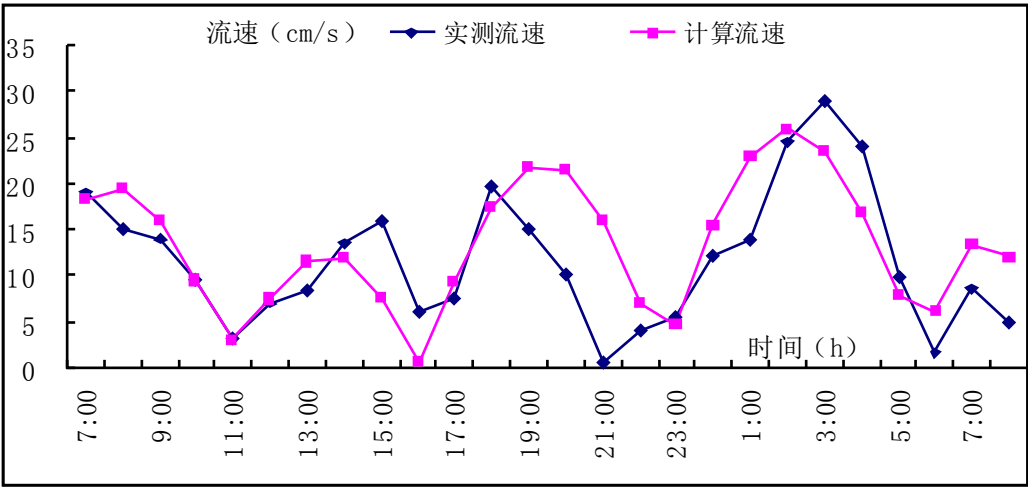


图6-18 B6站实测流速与计算结果比较(2017年 12月 7~8日, 大潮期)

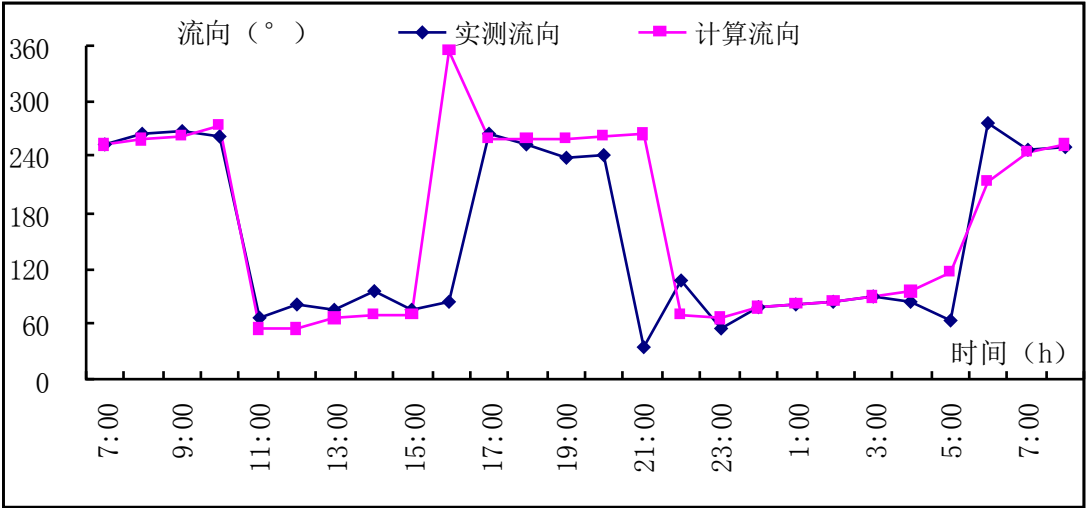


图6-19 B6站实测流向与计算结果比较(2017年 12月 7~8日,大潮期)

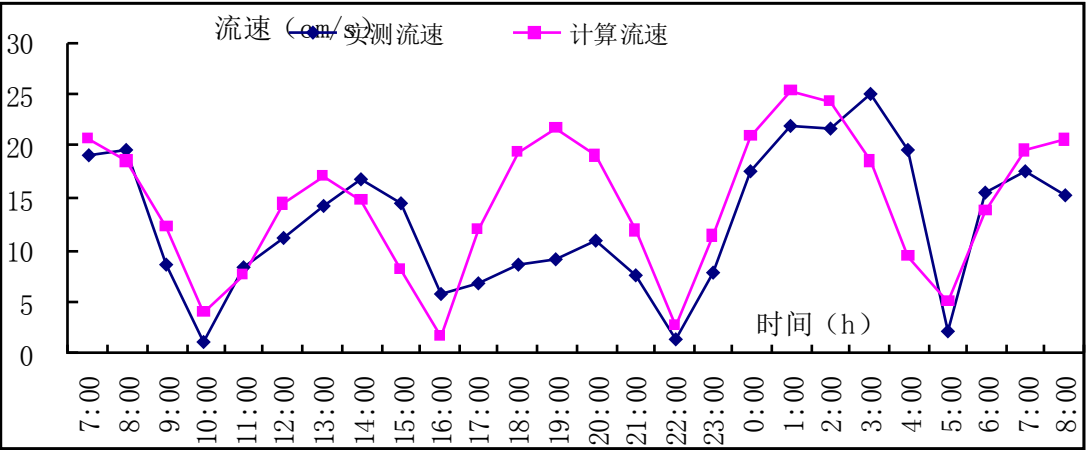


图6-20 B7站实测流速与计算结果比较(2017年 12月 7~8日,大潮期)

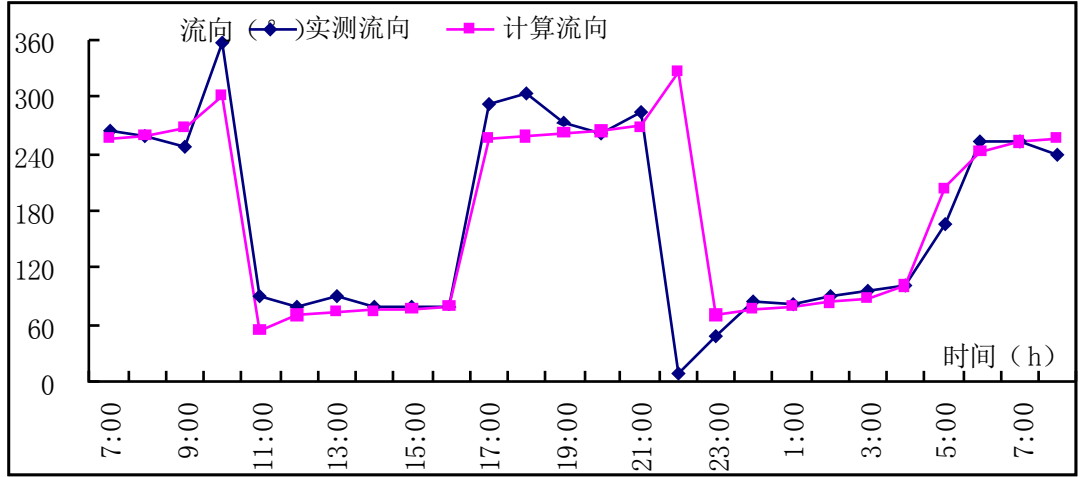


图6-21 B7站实测流向与计算结果比较(2017年 12月 7~8日,大潮期)

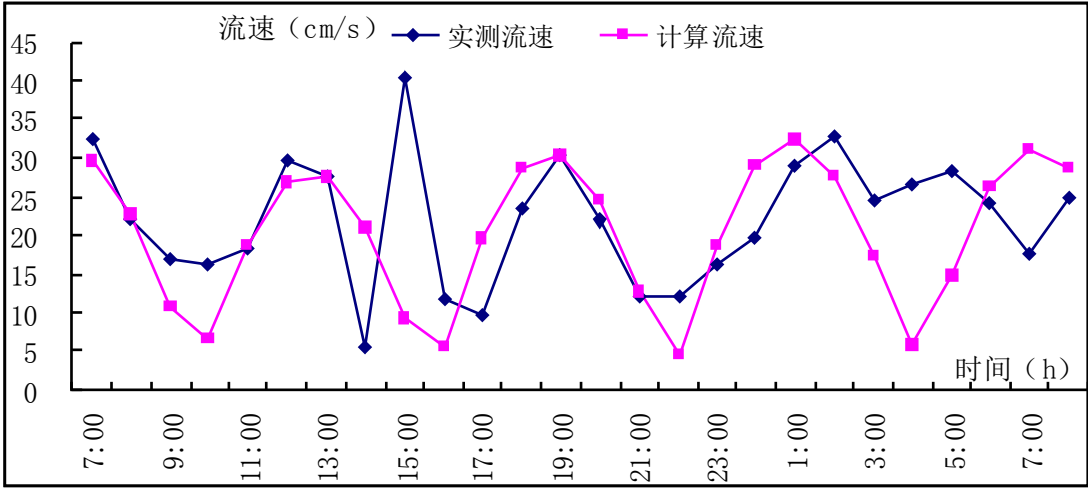


图6-22 B8站实测流速与计算结果比较(2017年 12月 7~8日, 大潮期)

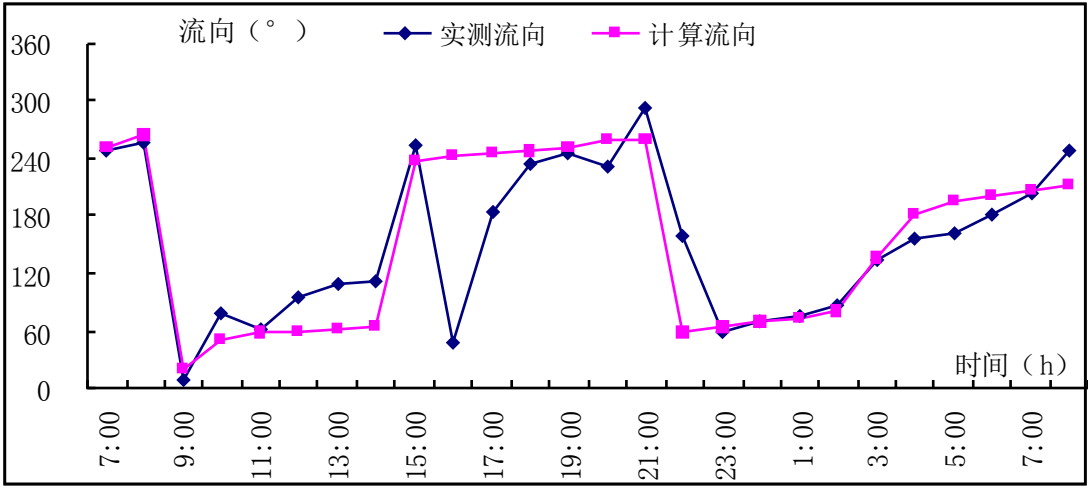


图6-23 B8站实测流向与计算结果比较(2017年 12月 7~8日, 大潮期)

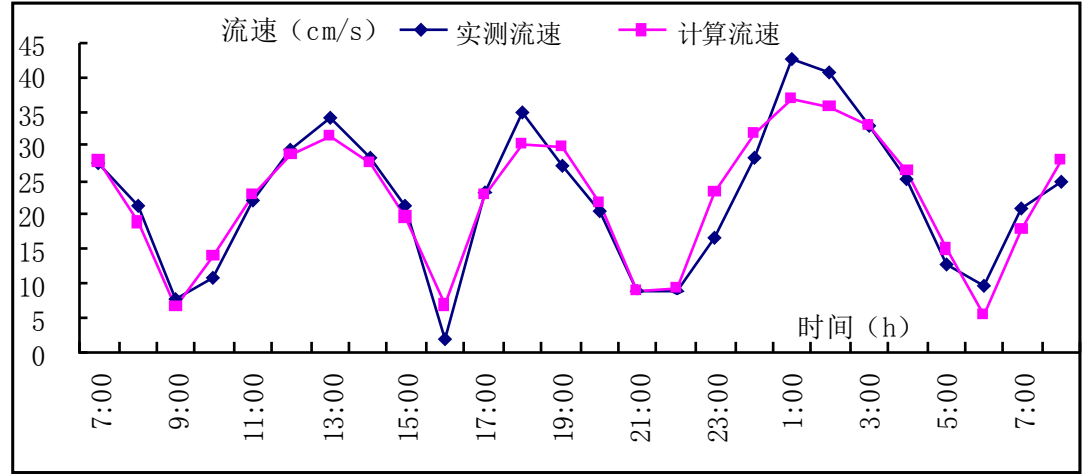


图6-24 B9站实测流速与计算结果比较(2017年 12月 7~8日, 大潮期)

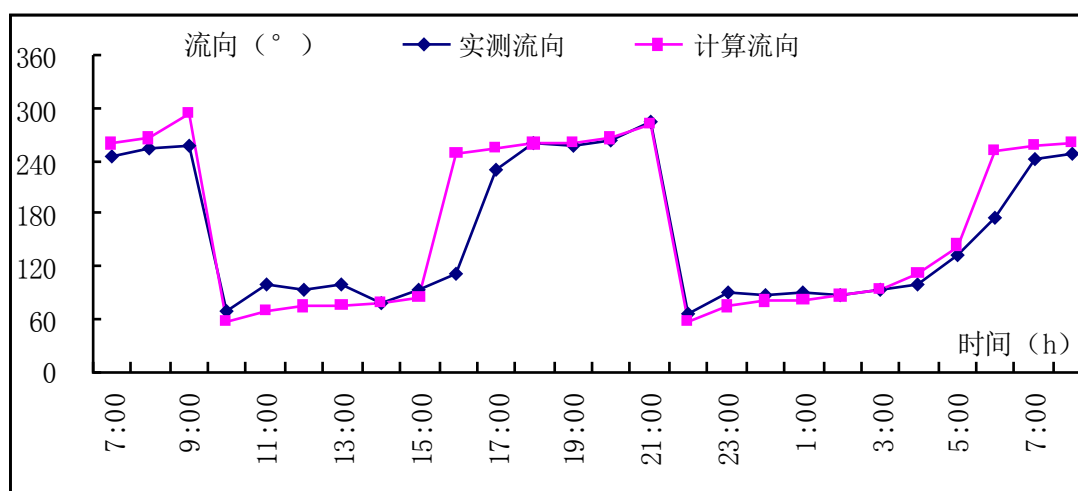


图6-25 B9站实测流向与计算结果比较(2017年12月7~8日,大潮期)

6.1.2.2 潮流流场模拟结果

为了分析项目所在区域工程实施前后的动力场变化情况,现绘出项目附近海区落急、落平、涨急、涨平四个典型时刻的流场见图6-26至图6-29。项目附近海域的潮流为不正规半日潮,在一个潮周期内有两次涨潮和两次落潮过程,潮汐不对称性明显。在近岸海域受陆地边界的影响,落潮流流向基本为平行海岸线,即落潮流为东北向西南,涨潮流为由西南向东北上溯,在近岸区会受到局地岸线的影响而发生偏转。

(1) 项目附近海域的潮差较小,潮流较弱,涨潮流最大只有 35cm/s 左右;落潮流最大可达到 40cm/s 左右,桩基距离陆地的最近距离在 12km 左右,流向基本为平行于海岸线,转流时间较短,不超过 1 个小时。转流时潮流流向顺时针旋转。

(2) 涨急、落急时刻,在局部岬角处,最大流速可达到 50cm/s 左右,如甲子角、水牛坝角、本项目登陆点附近的岬角以及甲子港口门处。

(3) 涨平、落平时刻,流速微弱,流速小于 20cm/s。

整体分析,通常条件下,本项目所在海区为弱潮海区,潮差小,潮流弱。但由于潮流较弱,海流容易受到其他驱动力的影响,如风应力、波浪应力和温盐斜压力等。因此实测海流的规律性一般,如本次实测海流中,小潮期流速与大潮期接近即体现了这一点。

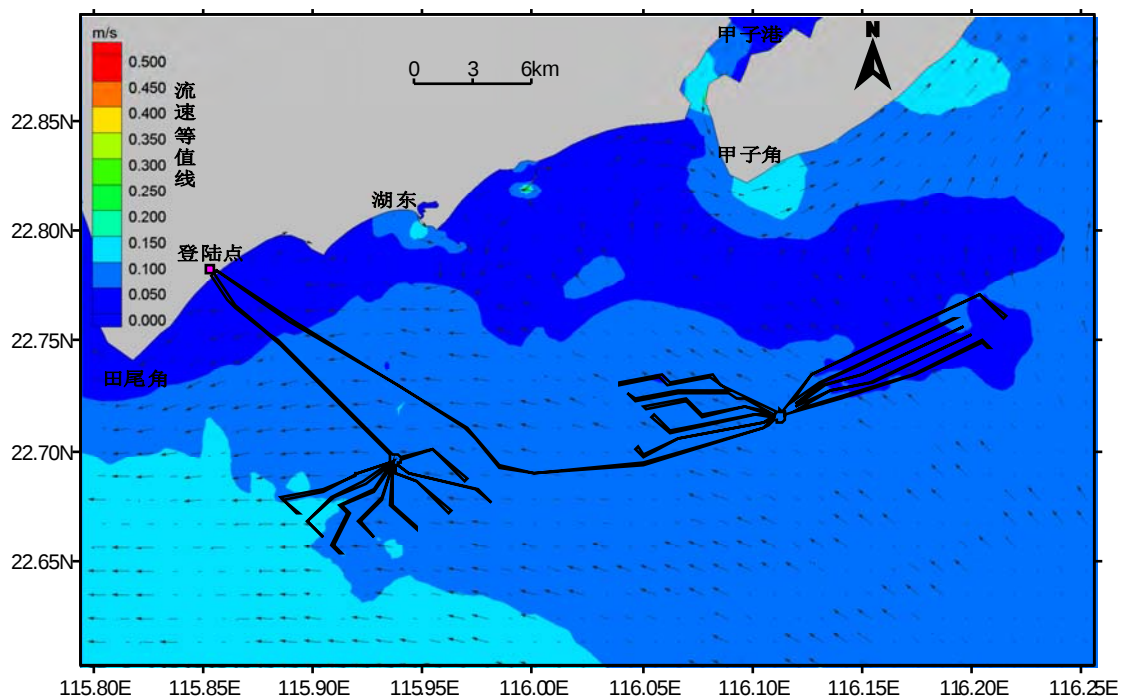


图6-26 现状落平(低潮)时刻潮流场

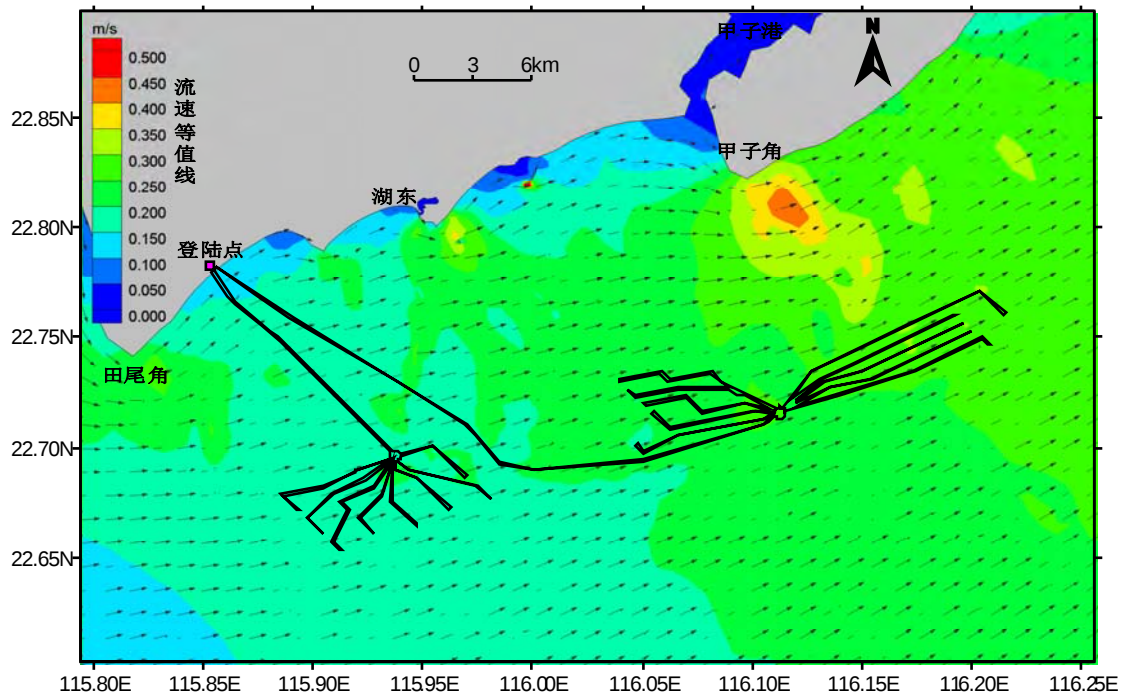


图6-27 现状涨急时刻潮流场

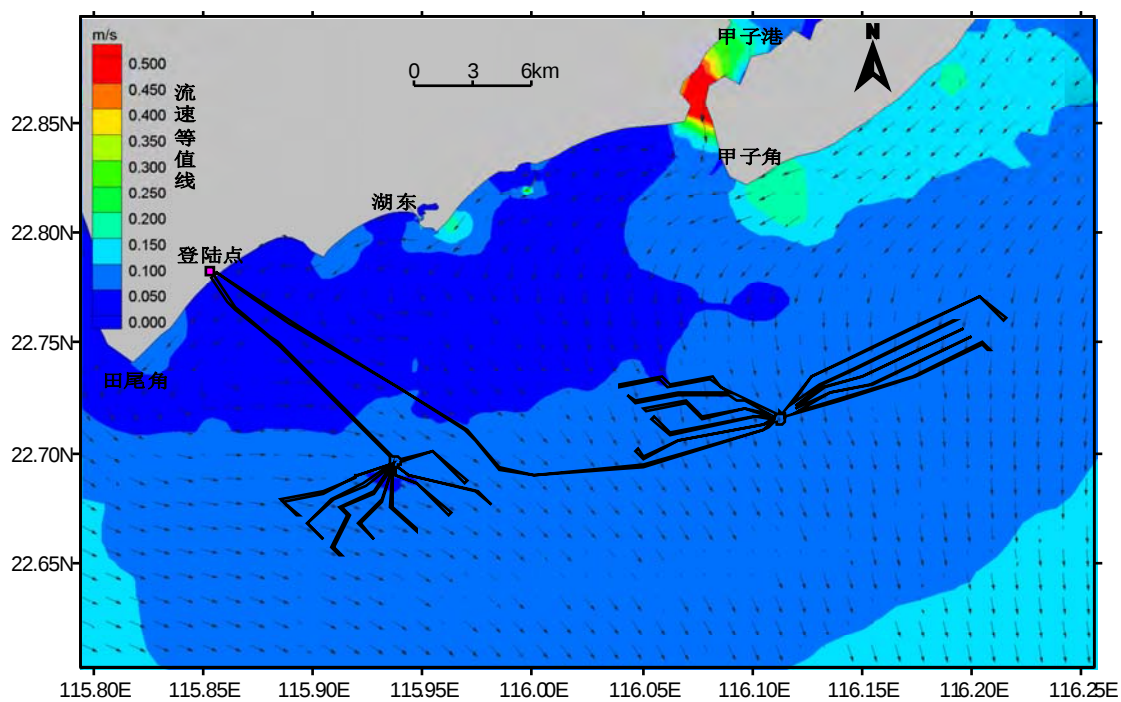


图6-28 现状涨平(高潮)时刻潮流场

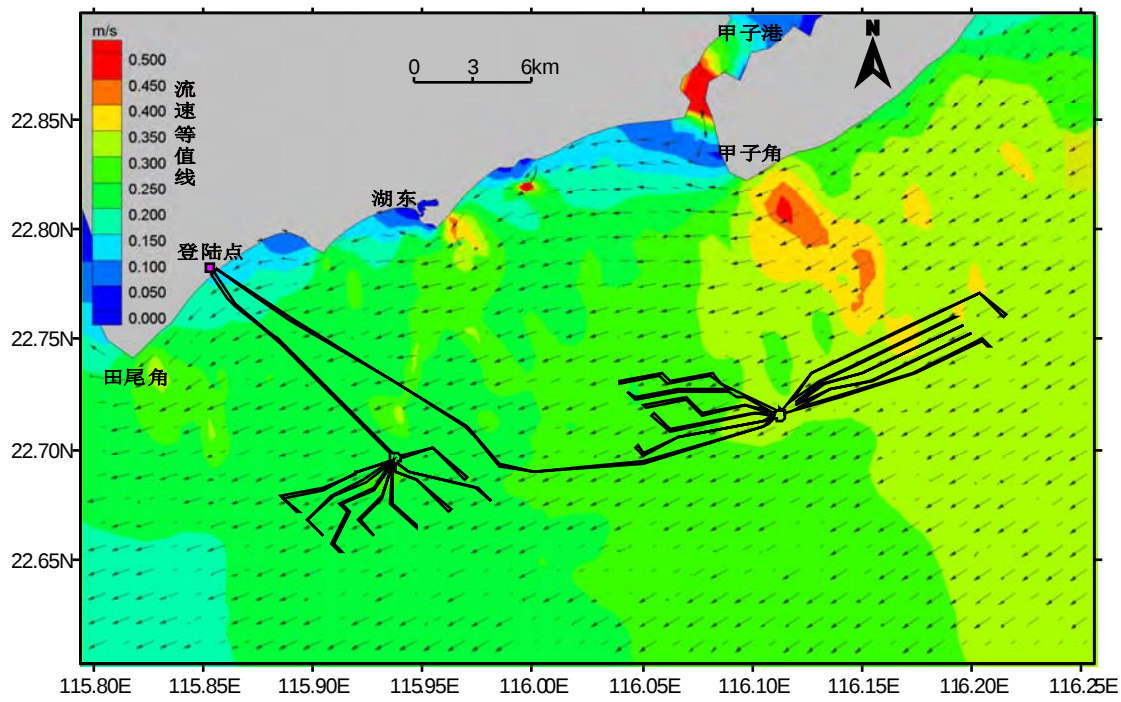


图6-29 现状落急时刻潮流场

6.1.2.3 风电桩基附近流场模拟结果

为了比较工程前后风电桩基引起的流场改变，在此绘制工程前后涨急、落急时刻的流速改变图进行分析。由于风电桩基的最大直径只有 9m，因此，对于大范围的流场基本没有影响，大范围的流场图也不能清晰地反映风电桩基局部区

域的流场，需要将风电桩基附近的小范围流场放大进行比较。

在此选取风电桩基区小范围的流场进行分析。

由图 6-30 至图 6-37 可以看出，在风电桩基的东西侧，由于桩基的阻挡，形成了缓流区，流速最大减小幅度为 21cm/s 左右，流速减小幅度大于 4cm/s 的范围向东西延伸的最远距离为 1.6km 左右，流速减小的范围呈长条形，为顺流方向。而在桩基的南北两侧，涨急时刻流速增大，最大增幅为 16cm/s，出现在海上升压站的北侧；桩基群的整体阻挡效应使水动力场变弱，流速增大幅度大于 4cm/s 的范围向南北延伸的最远距离为 2.7km 左右。在落急时刻，相邻的两个桩基之间呈现出流速略有增强，最大增幅为 12cm/s 左右；而桩基的南北侧则表现为流速减小，其中海上升压站的南北侧减小幅度最大，最大减幅为 21cm/s 左右。

通过以上的分析可知，桩基引起的流速改变的幅度和范围较小，流速最大改变幅度为 21cm/s 左右，流速改变幅度大于 4cm/s 的范围向东西两侧延伸 1.6km 左右，向南北两侧延伸 2.7km 左右，流速增大的区域出现在桩基群的南北两侧和桩基之间，流速减小的区域出现在桩基和桩基群的东北-西南侧。桩基周边的流速改变在涨潮时以顺流方向减小为主，落潮时桩基东北-西南两侧流速减小，相邻桩基之间的涨急和落急流速略有增强。

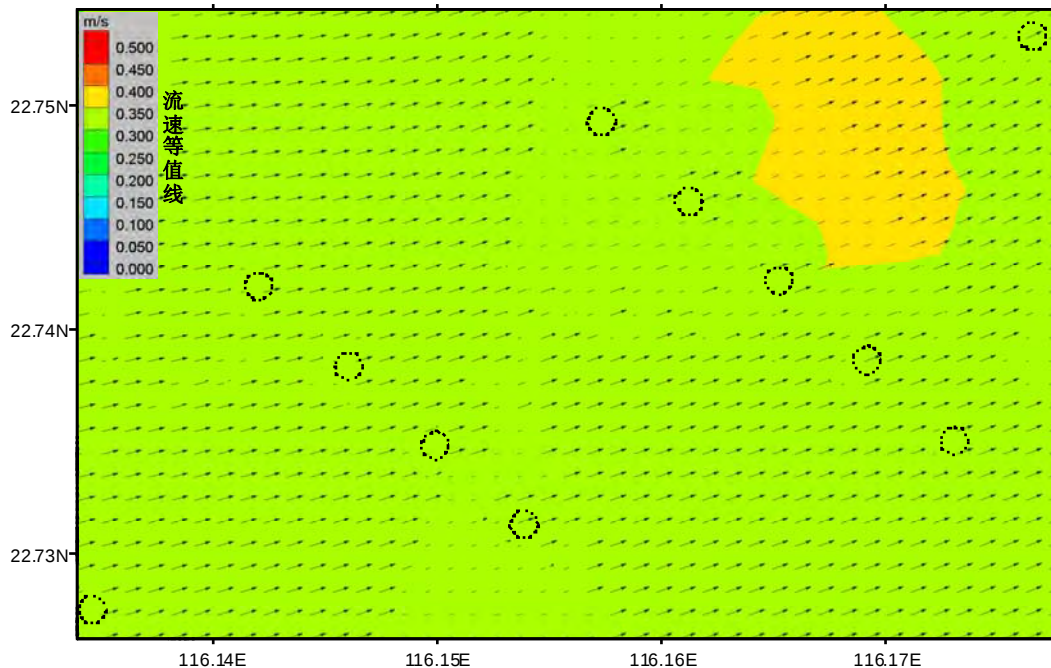


图6-30 工程前桩基附近涨急图

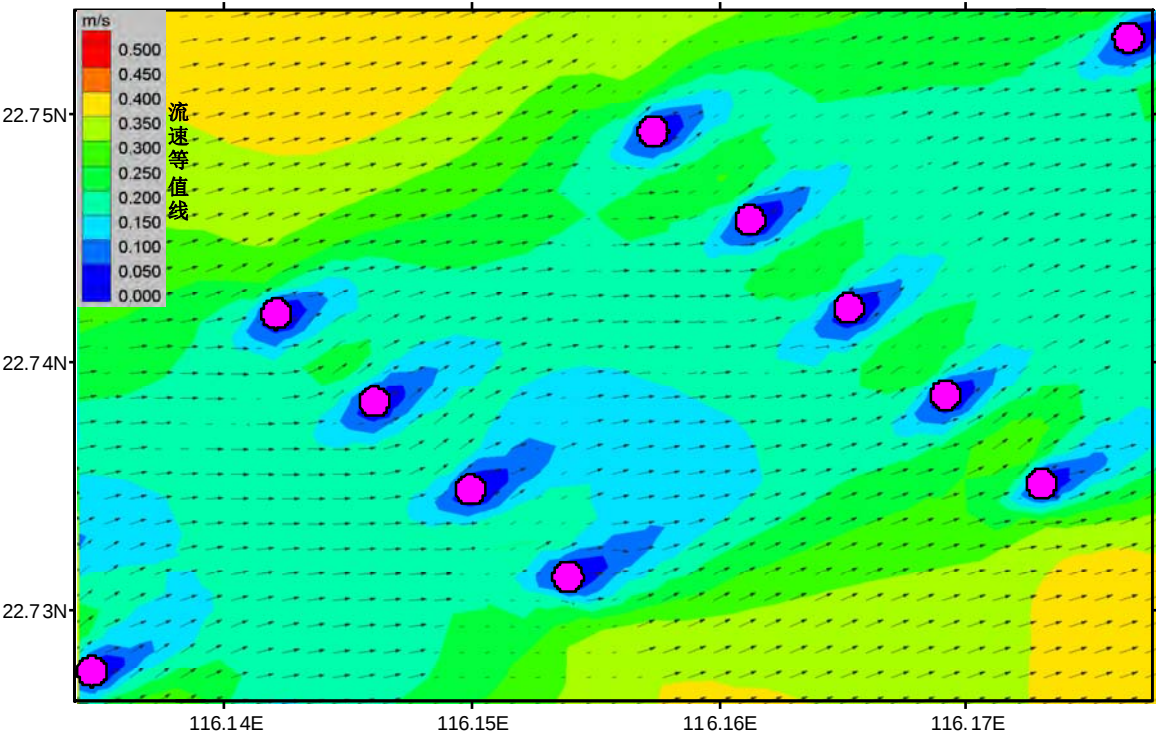


图6-31 工程后桩基附近涨急图

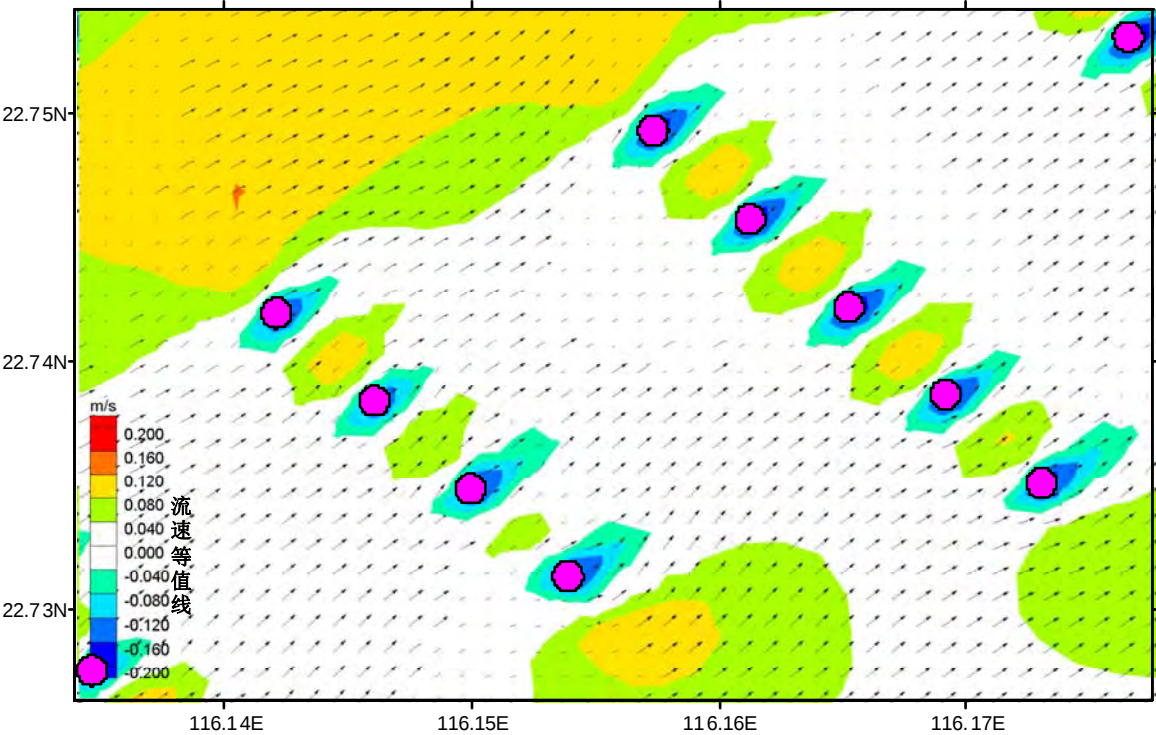


图6-32 桩基附近涨急流速改变图

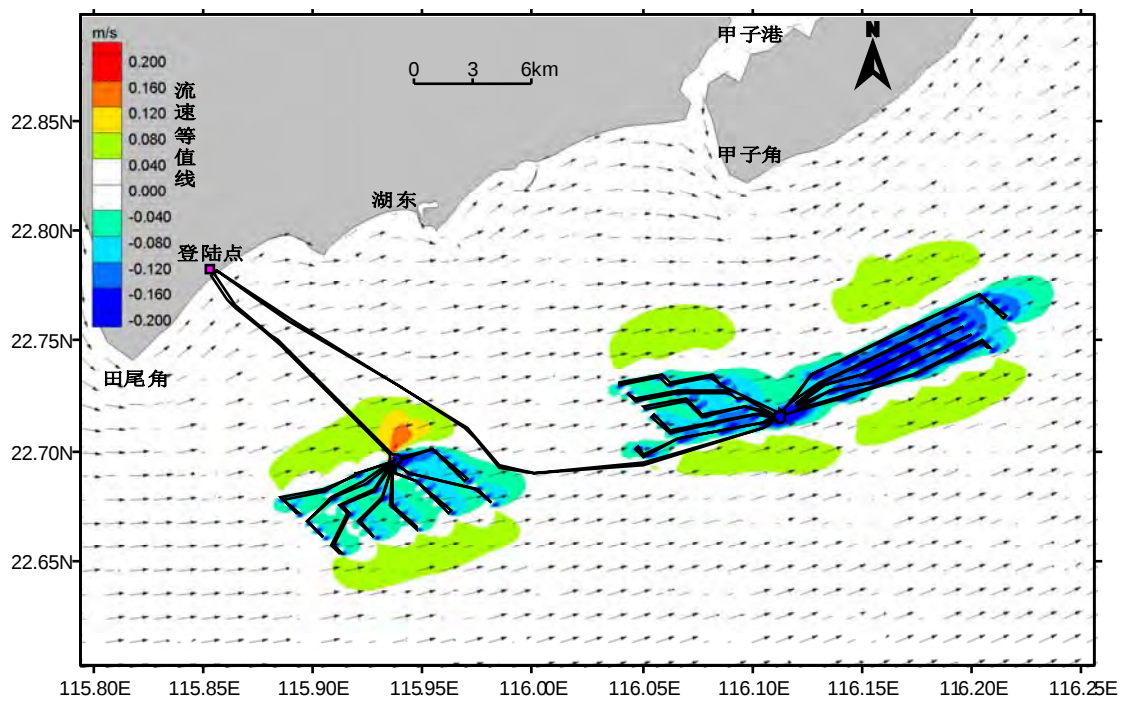


图6-33 大范围涨急流速改变图

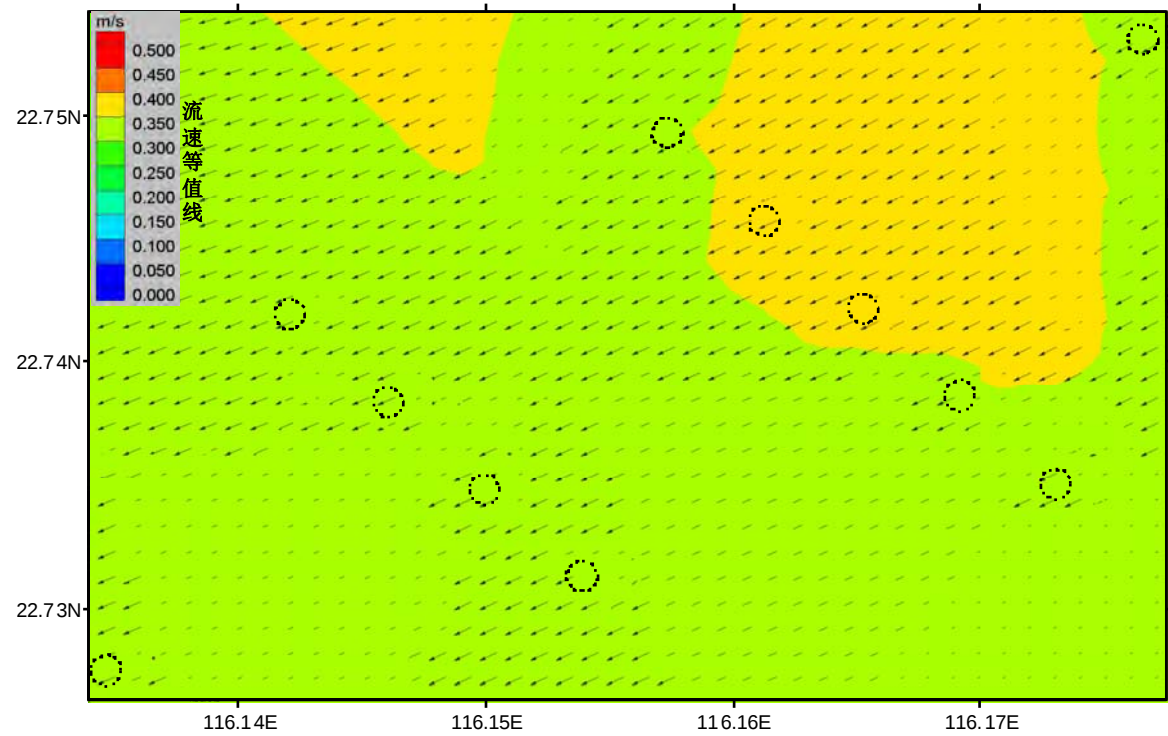


图6-34 工程前桩基附近落急图

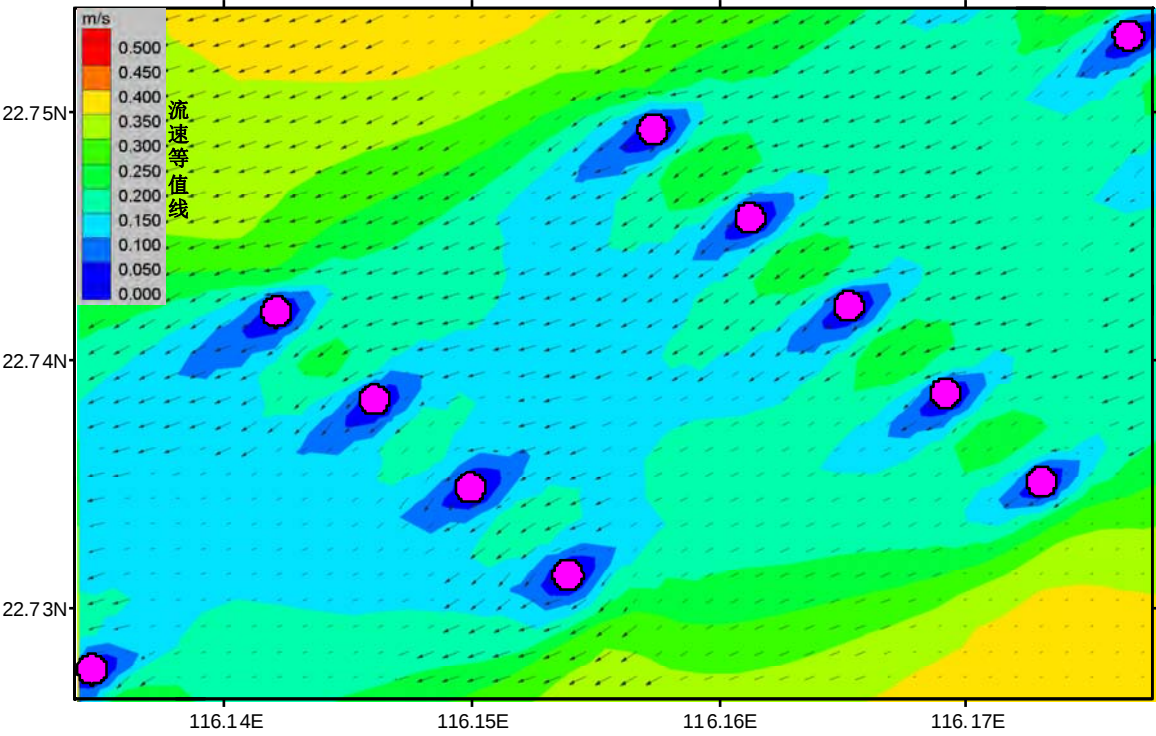


图6-35 工程后桩基附近落急图

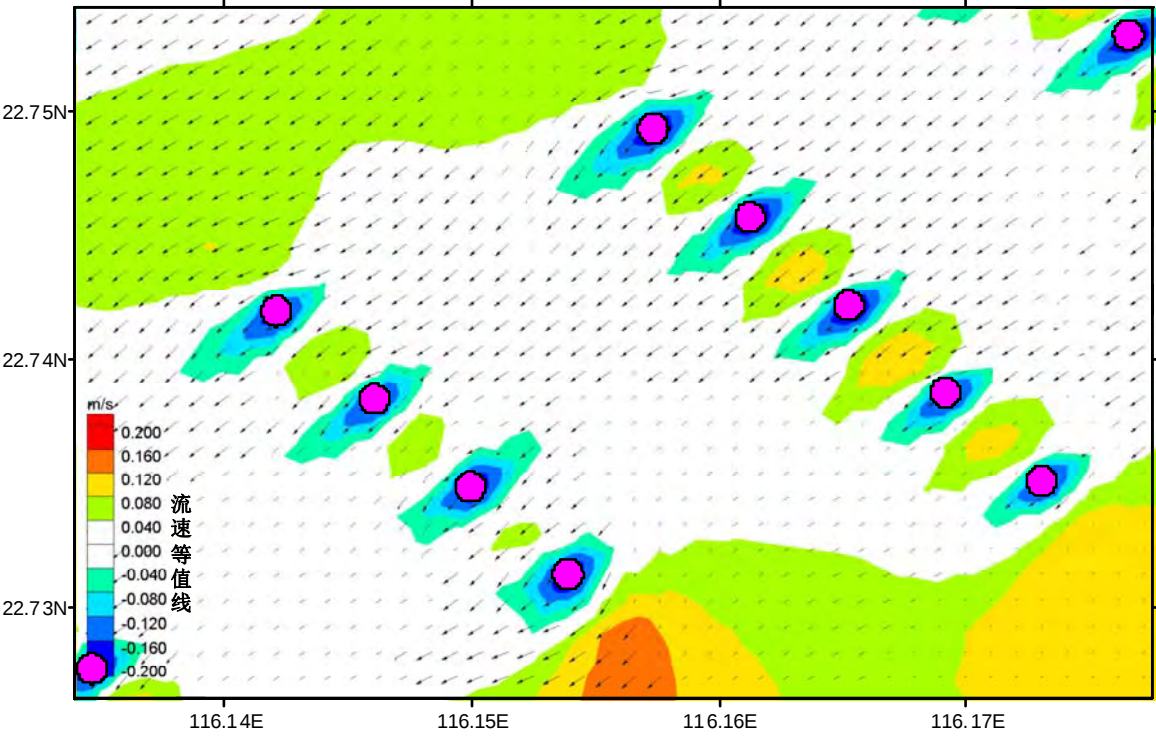


图6-36 桩基附近落急流速改变图

 文件中找不到关系 ID 为 rId260 的图像部件。

图6-37 大范围落急流速改变图

6.2 工程前后项目区域冲淤变化分析

为了定量地研究本项目工程完成以后周边近岸区的泥沙回淤情况,在完成潮流数值计算以后,对于泥沙的淤积影响进行计算分析。回淤强度的计算采用以下公式进行计算:

$$p = \frac{\alpha \omega t}{\gamma_d} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{2m} \right]$$

式中, ω 为泥沙沉速, 单位 m/s, 根据相关粒度分析资料, 本项目拟建工程周边海区所含悬沙为粘土质粉砂和粉砂, 在此取粘土质粉砂的沉速为 0.05cm/s。

6.2.1 计算参数的确定

α 为沉降几率, 取 0.67;

t 为年淤积历时, 单位取秒 (S), 一年即为 31557600 秒;

S 为水体平均悬沙含量, 单位: kg/m^3 , 根据 2017 年 12 月同步的实测悬沙含量资料, 桩基附近海区的平均含沙量为 $0.011\text{kg}/\text{m}^3$;

γ_d 为泥沙干容重, 按照公式 $\gamma_d = 1750 \times D_{50}^{0.183}$ 计算, 单位为 kg/m^3 , D_{50}

为泥沙中值粒径；

V1, V2 分别为数值计算工程前、工程后全潮平均流速，单位为 m/s，全潮平均流速的取值采用流速大小绝对值的平均值；

M 根据当地的流速与含沙量的关系近似取作 1。

根据以上的设定和潮流数值模拟计算的结果，计算得到工程后每年回淤强度情况，绘制出工程后达到冲淤平衡时的冲淤强度等值线图(图 6-38) (+表示淤积，-表示冲刷)。

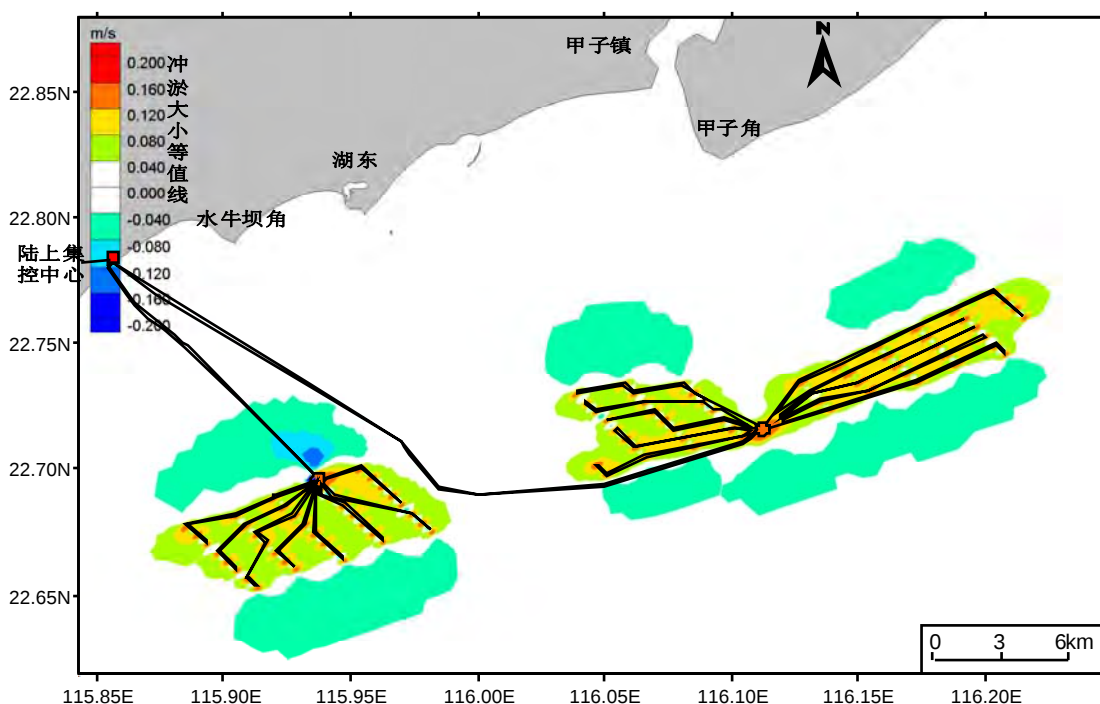


图6-38 工程后拟建工程附近海区冲淤图

6.2.2 计算结果分析

由图 6-38 可以看出，风电桩基完成以后，桩基群对水流的整体阻挡效应明显，由于涨落潮流的主流向以东北-西南向为主，因此在风电桩基东北-西南向的流速减小，导致在桩基群的附近和东北-西南两侧产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.19m/a 左右，而在两排东西向桩基群的中间，由于水动力的增强，则表现出略有冲刷，最大冲刷幅度为 0.15m/a 左右；海上升压站的东北和西南岬角处可能出现最大 0.23m/a 的冲刷。

整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 4cm/a

的范围不超过桩基区 3.9km。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

6.2.3 风电桩基局部冲刷深度预测

对于桩墩局部冲刷计算公式,据不完全统计,目前尚未有理论推导公式,国内外学者撰写发表的计算公式均为经验性或半经验性公式,大多数采用试验资料建立局部冲刷深度的计算式,然后用野外实际观测资料修正系数和指数得到冲刷深度计算式。

桥墩局部冲刷一般区分为大直径和小直径桥墩,大、小直径的界定一般用墩宽波长比 (D/L),其值大于 0.15 为大直径,反之为小直径,两者冲刷机理有着本质的不同。大直径墩柱局部冲刷与波浪反射密切相关,而小直径墩柱主要与柱前下降水流和马蹄涡强度有关。风机桩径较小,通常属于小直径的情况。本研究对象为圆柱型基础,直径最大为 5.5m,五十年一遇的波长约 53m,墩宽波长比远小于 0.15,为小直径桩柱局部冲刷问题。目前已有部分相关研究成果,给出了小直径局部冲刷深度的计算公式。但是,桩柱局部冲刷涉及水动力、底质、桩径等多种因素,问题较为复杂,现有的研究成果多为根据试验数据整理的经验公式,使用条件受到一定的限制。主要表现在:1) 目前河流动力(单向水流)作用下的桩柱局部冲刷研究成果较多,但对于沿海海洋动力(潮流及波浪)作用下的桩柱局部冲刷研究成果较少;2) 有些研究只考虑了潮流对桩柱局部冲刷深度的影响,忽略了波浪的作用,遇到波浪作用不可忽略时,计算结果与实测值相差较多。因此,经验公式在使用前要利用实测资料进行验证。

结合本次拟建风电工程,收集与其海洋动力、地质条件等相似地区的现场实测资料,利用公认度较好的局部冲刷经验公式进行计算,并与实测资料进行比较,进而选择适用于本工程的经验公式。

参阅大量文献,桩基局部冲刷的经验公式中,以韩海骞公式和王汝凯公式的计算条件较为符合本工程的实际情况,而韩海骞公式在考虑了波浪水质点的流速后和王汝凯公式都可以考虑波流共同作用下小直径圆柱周围的局部冲刷。公式简介如下:

(1) 韩海骞公式

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 为潮流作用下桥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， $F_r = u/(gh)^{0.5}$ ， 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。

对于上面的公式来说，必须考虑波浪对于局部冲刷的作用，否则结果偏小。根据《海港水文规范》，可采用以下公式计算波浪水质点的平均流速：

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

式中： V_2 为波浪水质点的平均流速(m/s)； H 为波高(m)； C 为波速， $C = (gT/2\pi) \tanh(kd)$ ， k 为波数， $k = 2\pi/L$ ， L 为波长(m)， T 为波周期(s)。

(2) 王汝凯公式

国内外大量研究表明，在波浪、水流共同作用下，桩墩等孤立建筑物周围的冲刷比单纯水流或单纯波浪作用下要严重的多。王汝凯 1982 年在美国 Texas A&M 大学海洋工程试验室做了这类试验研究，在波浪水流槽中做了十九组波流作用下的普遍冲刷试验和三十九组孤立桩周围沙基冲刷试验。试验中采用了两种粒径的泥沙和三种管径的孤立桩。通过量纲分析得到了相对冲刷深度 的经验关系：

$$\log \frac{h_b}{h_p} = -1.2935 + 0.1917 \log \beta$$

$$\beta = \frac{V^3 H^2 L \left(V + \left(\frac{1}{T} - \frac{V}{L} \right) \frac{HL}{2h_p} \right)^2 D}{\frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} g^2 v d_m h_p^4}$$

式中： h_b 为不计普遍冲刷深度的最终冲刷深度； β 为反映波流动力因素和泥沙、管径的综合参数。 V 为流速； T 为波周期； C 为波速。

王汝凯公式是波、流共同作用下的孤立桩周围沙基冲刷深度试验研究成果中考虑因素较全的一个。适用于无粘性的细沙和中粗沙。

表6-1 桩径 1.8m 工程桩基最大可能局部冲刷深度

水位 (m)	波高 (m)	周期 (S)	波长 (m)	流速 (cm/s)	中值粒径 (mm)	韩海筹公式		王汝凯公式		建议取值	
						局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)	局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)	局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	2.53	9.98	2.55	10.03	2.55	10.03
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	2.57	10.09	2.54	10.01	2.57	10.09
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	2.60	10.21	2.54	9.99	2.60	10.21
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	2.44	9.68	2.66	10.39	2.66	10.39
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	2.48	9.79	2.65	10.37	2.65	10.37
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	2.51	9.90	2.65	10.35	2.65	10.35
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	2.33	9.31	2.81	10.88	2.81	10.88
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	2.36	9.42	2.80	10.85	2.80	10.85
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	2.39	9.52	2.80	10.83	2.80	10.83
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	2.26	9.08	2.91	11.20	2.91	11.20
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	2.29	9.19	2.90	11.17	2.90	11.17
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	2.32	9.29	2.9	11.15	2.9	11.15

表6-2 桩径 2.4m 工程桩基最大可能局部冲刷深度

水位 (m)	波高 (m)	周期 (S)	波长 (m)	流速 (cm/s)	中值粒径 (mm)	韩海筹公式		王汝凯公式		建议取值	
						局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)	局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)	局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	2.78	11.38	2.70	11.10	2.78	11.38
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	2.82	11.51	2.69	11.07	2.82	11.51
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	2.86	11.63	2.68	11.05	2.86	11.63
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	2.68	11.05	2.81	11.48	2.81	11.48

28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	2.72	11.18	2.80	11.45	2.80	11.45
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	2.76	11.29	2.80	11.43	2.80	11.43
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	2.55	10.65	2.97	12.00	2.97	12.00
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	2.59	10.76	2.96	11.97	2.96	11.97
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	2.63	10.88	2.96	11.94	2.96	11.94
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	2.48	10.40	3.08	12.34	3.08	12.34
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	2.51	10.51	3.07	12.31	3.07	12.31
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	2.55	10.62	3.06	12.28	3.06	12.28

表6-3 桩径 3.5m 工程桩基最大可能局部冲刷深度

水位 (m)	波高 (m)	周期 (S)	波长 (m)	流速 (cm/s)	中值粒径 (mm)	韩海骞公式		王汝凯公式		建议取值	
						局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)	局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)	局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	3.15	13.66	2.90	12.85	3.15	13.66
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	3.19	13.80	2.89	12.82	3.19	13.80
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	3.23	13.94	2.88	12.80	3.23	13.94
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	3.03	13.28	3.02	13.26	3.03	13.28
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	3.07	13.43	3.01	13.23	3.07	13.43
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	3.12	13.56	3.01	13.21	3.12	13.56
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	2.89	12.83	3.20	13.81	3.20	13.81
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	2.93	12.96	3.19	13.78	3.19	13.78
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	2.97	13.09	3.18	13.76	3.18	13.76
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	2.80	12.55	3.31	14.18	3.31	14.18
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	2.84	12.68	3.30	14.15	3.30	14.15
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	2.88	12.80	3.29	14.12	3.29	14.12

表6-4 桩径 9m工程桩基最大可能局部冲刷深度

水位 (m)	波高 (m)	周期 (S)	波长 (m)	流速 (cm/s)	中值粒径 (mm)	韩海筹公式		王汝凯公式		建议取值	
						局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)	局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)	局部冲刷深度 (m)	局部冲刷直径 (m)
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	4.28	22.82	3.47	20.21	4.28	22.82
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	4.34	23.02	3.46	20.18	4.34	23.02
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.02	4.40	23.20	3.45	20.15	4.40	23.20
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	4.12	22.31	3.62	20.70	4.12	22.31
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	4.18	22.50	3.61	20.66	4.18	22.50
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.016	4.24	22.68	3.60	20.64	4.24	22.68
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	3.93	21.69	3.83	21.36	3.93	21.69
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	3.99	21.87	3.82	21.32	3.99	21.87
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.012	4.04	22.04	3.81	21.30	4.04	22.04
26	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	3.81	21.31	3.97	21.80	3.97	21.80
28	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	3.87	21.48	3.95	21.76	3.95	21.76
30	6.88	11.7	168.9	0.7	0.01	3.92	21.65	3.94	21.73	3.94	21.73

6.3 工程项目对水质环境的预测分析

项目用海对于资源、生态的损耗主要在于海底电缆铺设施工过程中产生的悬浮泥沙的影响,因此主要研究海底电缆铺设工程施工过程中悬浮物的扩散包络范围和强度。

6.3.1 水环境的影响因子

本项目工程对海域环境产生影响的决定因素,主要是悬浮泥沙的产生量和该海域的自净能力。通常,悬浮泥沙产生量越大,水质越混浊,对环境的影响也就越大。再则,其影响程度还取决于海域的环境容量(负荷限度),即海域的地理条件和水体的活跃程度。后者主要是指海流的输运、扩散能力和海水的更新率。一般来说,海域越封闭,水域容积越小,海水交换能力越弱,稀释能力越低,环境负荷能力也就越低。

环境影响预测的目的,在于将上述原则与系统工程的方法联系起来,预测项目施工过程中所形成的悬浮物影响浓度场和定量地描述项目施工作业可能产生的环境后果,为采取防范措施提供科学依据。

6.3.2 三维潮流泥沙输运扩散方程

采用数值模拟对铺缆工程施工造成的悬沙影响进行计算。

Sigma 坐标系下三维泥沙平流扩散、沉降控制方程为:

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

其中: C 为水体悬沙含量, Sc 为输入源强, wf 为泥沙有效沉速, wf = w - ws, ws 为泥沙静水中沉速。KM 为水平扩散系数, 采用欧拉公式

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

Cz 为 chezy 系数, Kv 为垂直扩散系数。

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

侧开边界的边界条件:

$$\text{入流时} \quad C|_{\Gamma} = p_0 ;$$

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

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

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

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

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。

泥沙沉速 w_s 采用武汉水利电力学院静水泥沙沉速公式计算,

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

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 (mm); α 为重率系数, 取 1.7。

泥沙起动用窦国仁的泥沙起动公式:

$$\text{悬扬临界流速:} \quad V_e = k (\ln 11 \frac{h}{\Delta}) (\frac{d'}{d_*})^{1/3} \sqrt{3.6 \frac{r_s - r}{r} g D + (\frac{r_0}{r_*})^{5/2} \frac{\varepsilon + g \delta h (\delta/D)^{1/2}}{D}}$$

$$\text{落淤的临界流速:} \quad V_d = k (\ln 11 \frac{h}{\Delta}) (\frac{d'}{d_*})^{1/3} \sqrt{3.6 \frac{r_s - r}{r} g D}$$

泥沙起动公式中各参数取值为, $k=0.41$, $g=981 \text{ cm/s}^2$, 当泥沙粒径 $D < 0.05 \text{ cm}$, 床面糙率 $\Delta = 0.1 \text{ cm}$, $d' = 0.05 \text{ cm}$, $d_* = 1.0 \text{ cm}$, 泥沙粘结系数 $\varepsilon = 1.75 \text{ cm}^3/\text{s}^2$, 薄膜水厚度参数 $\delta = 2.31 \times 10^{-5} \text{ cm}$, h 水深 (cm), r_0 床面泥沙干容重 (g/cm^3), r^* 床面泥沙稳定干容重 (g/cm^3), 泥沙容重 $r_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$, 海水容重 $r_s = 1.025 \text{ g/cm}^3$ 。

初始条件:

模拟施工期本底值均置为 0，仅考虑悬沙增量。

悬浮泥沙源强度

(1) 钢管桩施工

钢管桩基础施工过程中会有少量海底泥沙再悬浮。本工程的打桩船配置 IHCS-800 液压打桩锤。根据同类工程实际施工经验，打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加 ($>10\text{mg/L}$) 范围一般在半径 100m 内。

(2) 海底电缆敷设

1) 定向钻登陆段

220kV 电缆潮间带段选择采用定向钻穿越施工，基本无悬浮泥沙产生。

2) 铺缆船施工段

海底电缆敷设在泥面下约 3m 深处，海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，正常铺设速度约 4m/min，单条海底电缆铺设正常施工土方量 = $(0.3\text{m} + 0.5\text{m}) \times 3\text{m} \times 0.5 \times 4\text{ m/min} = 4.8\text{m}^3/\text{min}$ 计，折合 $288\text{m}^3/\text{h}$ 。根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 20% 计算 = $288\text{m}^3/\text{h} \times 20\% = 57.6\text{m}^3$ 。

根据 5.1.5 节工程海域表层沉积物粒度调查结果，本次计算将路由分为 2 个区段（近岸段、离岸段），中值粒径分别为 0.011mm 和 0.028mm，沉积物干容重按照公式 $\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$ 计算， D_{50} 为泥沙中值粒径。则近岸段和离岸段的泥沙干容重分别为 776kg/m^3 和 910kg/m^3 ，由此计算得到单条电缆施工的悬浮物源强分别为近岸段 12.4kg/s 和离岸段 14.6kg/s 。

模拟计算过程中仅仅考虑工程施工产生的悬浮泥沙增量的影响，潮流对海底床作用产生的泥沙将不计算。选择桩基周围的 430 个源点进行模拟计算 (图 6-39)，除此之外，还选择海上升压站与陆上集控中心的连线上的 40 个源点，总共 470 个源点，预测施工产生的悬浮泥沙对水质环境的影响范围与程度。

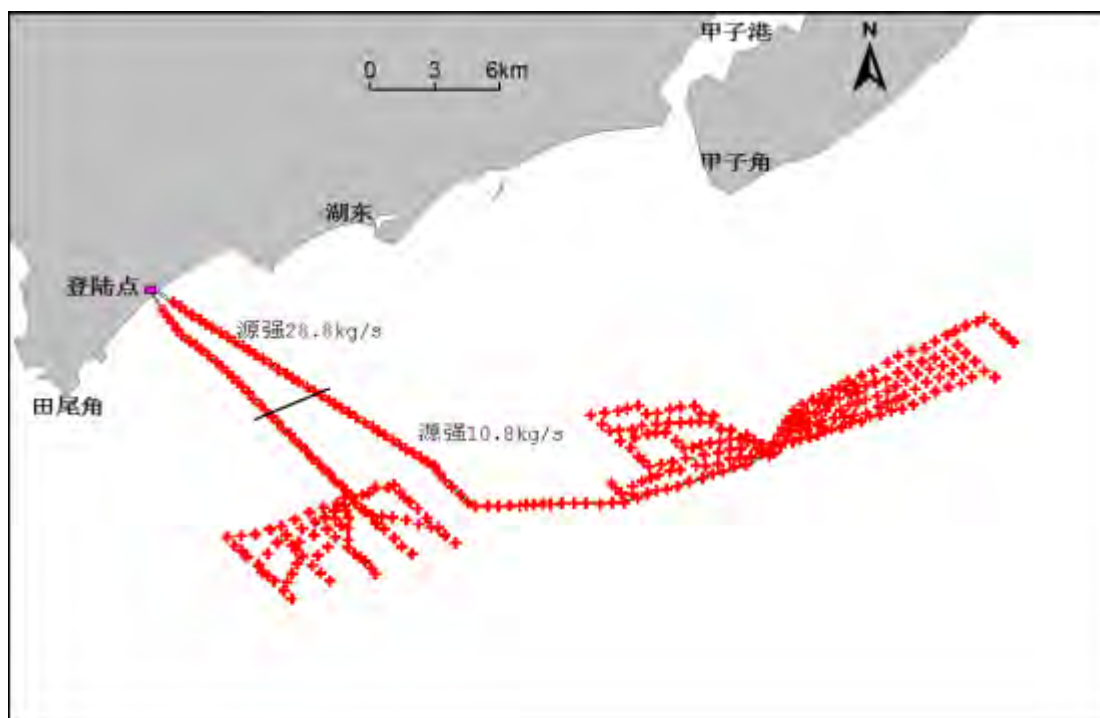


图6-39 模拟铺设源点位置示意图

6.3.3 悬浮物分布的计算结果及分析

自电缆铺设施工作业的初始时刻起，源点附近由于沉降、掺混过程所形成的悬浮物混浊云团，在海流作用下扩散迁移形成“污染区”。由于不停作业，云团核心浓度(中心含沙量)随着时间的推移而不断升高，云团面积不断扩大。在初始阶段，这一过程演变很快，但经过一定时间后，浓度随时间的变化变缓，指某一时间不再升高，即达到所谓“平衡态”。它表征了各种因素(源强、自净能力)对环境水质的影响程度。潮混合使核心浓度达到平衡态的时间，决定于水域的地形特征和流场的强弱以及流态。通常，水域小，流场强，达到平衡态的时间就短。

云团核心浓度在电缆铺设施工作业开始后，很快达到平衡态，由于施工所在海域的水深较大，虽然源强较大，但在二维水深平均后单位水体的浓度并不大；此后，随着电缆铺设施工的继续，核心浓度在潮流和潮汐的共同作用下发生波动式振荡；作业停止后，挖泥点的核心浓度(含沙量)将迅速(3小时内)下降为零。

图 6-40 为电缆铺设施工过程中悬沙扩散的包络范围。泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流输运作用影响，因此泥沙的扩散方向与潮流的方向相同。从图中可以看出，项目施工过程中引起的悬浮泥沙对水质的影响较小，除了近岸

区的 8 个源点引起的悬浮泥沙扩散范围顺潮流方向延伸的距离约为 2.0km，其它源点引起的悬沙扩散范围顺潮流方向的延伸距离都小于 1.0km。因此，近岸区的悬浮物扩散影响较大，高浓度的水体也主要分布在近岸区，而风电桩基所在海区的影响较小，仅分布在管线和桩基附近的小范围内。

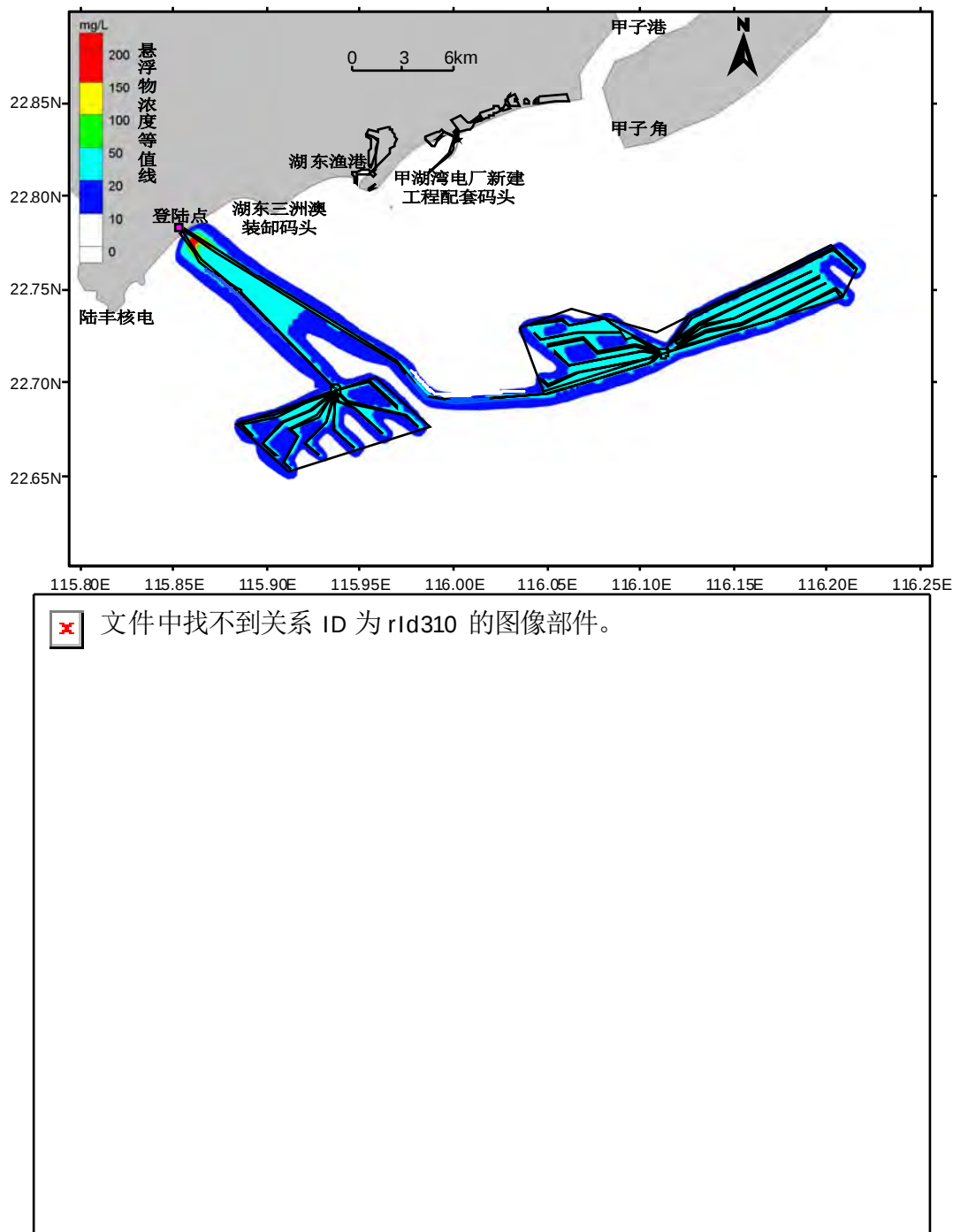


图6-40 8个潮周期内底层悬浮泥沙浓度最大分布范围(单位: mg/L)

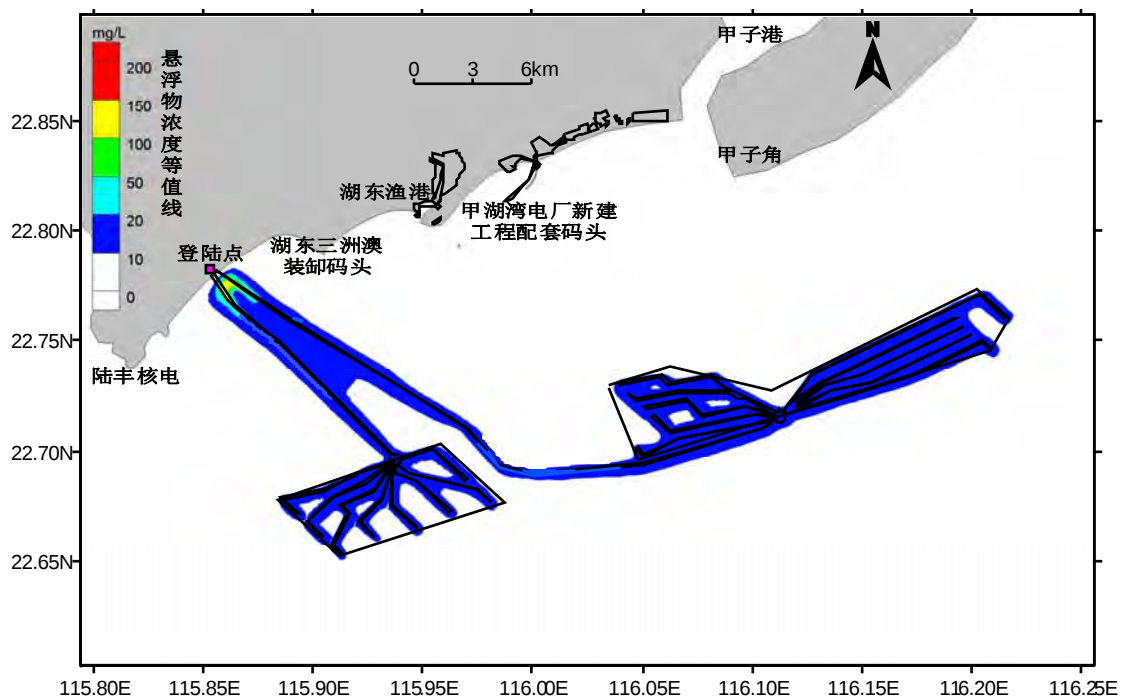


图6-41 8个潮周期内中层悬浮泥沙浓度最大分布范围(单位: mg/L)

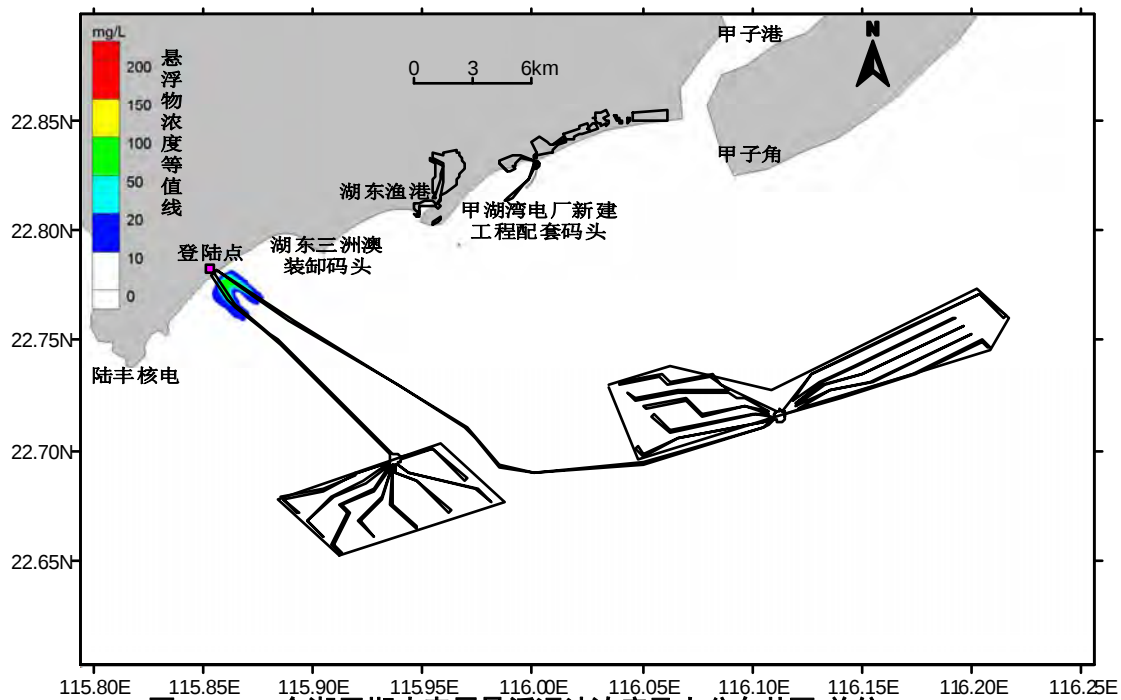


图6-42 8个潮周期内表层悬浮泥沙浓度最大分布范围(单位: mg/L)

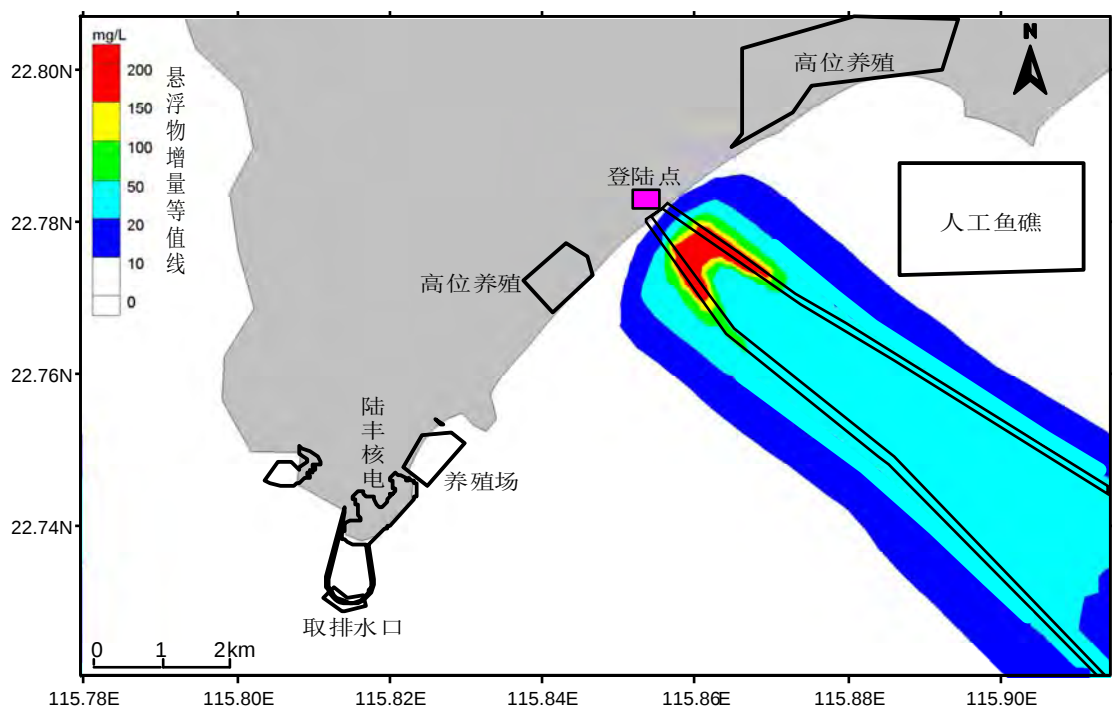


图6-43 登陆点附近底悬浮泥沙浓度局部放大图(单位: mg/L)

6.3.4 悬浮物的影响范围

在此对海底电缆铺设引起的悬沙影响进行估计。为了估计悬浮泥沙的影响大小,根据模型的计算结果,分别计算了不同浓度的覆盖面积,并列入下表 6-5:

表6-5 海底电缆铺设悬浮泥沙各浓度的最大影响范围面积(km²)

浓度	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	>150mg/L
面积	(超 I、II 类水质)			(超 III 类水质)	(超 IV 类水质)
底层	146.509	4.502	1.604	0.915	0.526
中层	78.517	2.635	1.042	0.469	0.0
表层	3.365	1.502	0.645	0.0	0.0

由表 6-5 和图 6-40 可以看到,从悬浮物最大浓度增量包络线分布分析可知,底层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 146.509km²;增量浓度>20mg/L 的面积为 4.502 km²;增量浓度>50mg/L 的面积为 1.604 km²、超 III 类海水水质(>100mg/L)的面积为 0.915 km²、超 IV 类海水水质(>150mg/L)的面积为 0.526 km²。

中层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 78.517km²;增量浓度>20mg/L 的面积为 2.635 km²;增量浓度>50mg/L 的面积为 0.337 km²、超 III 类(>100mg/L)

的面积为 0.002 km²。

表层超 I、II 类海水水质 (>10mg/L) 的面积为 3.365km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 1.502 km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 0.645 km²、超 III 类(>100mg/L) 的面积为 0.0 km²。

悬浮泥沙增量最远扩散距离统计分别见表 6-6。从表 6-6 可见，底层悬浮泥沙 (SS) 增量>10mg/L 等值线边缘在不同方向距风电桩基或管线的最远距离分别为：东向 1.72km、南向 0.78km、西向 1.69km、北向 0.63km。

表6-6 底层悬浮泥沙 (SS) 增量扩散距离统计

扩散方向	>10mg/L 等值线距桩基或管线的最远距离
东向	1.72 km
南向	0.78 km
西向	1.69 km
北向	0.63 km

表6-7 环境敏感区和环境保护目标悬沙增量最大值

环境敏感区/目标		图中序号/范围	方位/距离 (km)	保护目标	悬沙增量最大值 (mg/L)
围塘养殖	湖东林场对虾养殖	1	登陆点东北/4.74	海水水质	5.3
	滴水村虾苗和成虾围塘养殖	2	登陆点东北/1.50		8.6
	陆丰鹏晟种养有限公司虾苗和成虾围塘养殖	3	登陆点西南/1.03		9.4
浅海养殖	陆丰市碣石鸿腾海产种苗养殖有限公司鲍鱼种苗及成品浅海养殖场	4	登陆点西南/4.11		5.1
航道	粤东沿海小船航行的习惯航路	9/沿岸	风电场北侧沿海, 登陆海缆穿越	水深、通航海缆安全	33.2
	中小型船舶推荐航路	10	风电场南侧/1.1		0.8
	大星角甲子航道	11	风电场北侧/3.1, 登陆海缆穿越		42.3
锚地	甲湖电厂 1#锚地	12	风电场区之间/2.3	水深和锚泊风机安全	9.1
	甲湖电厂 2#锚地	13	风电场区之间/2.2		5.7
其他	湖东三洲澳人工鱼礁区	14	登陆海缆东/1.14	生态环境	9.5
	碣石湾海马资源市级保护区	8	风电场南侧/10	三斑海马、日本海马等及其栖息地	0.2

6.4 海洋沉积物环境影响预测与评价

6.4.1 风机基础施工对沉积物环境的影响分析

根据本次沉积物环境现状调查的结果，风机桩基基础附近沉积物环境质量状况良好，符合评价海域目标沉积物质量要求。风机桩基基础施工建设没有疏浚物产生，有少量施工悬沙扩散属于清洁沉积物。不会对附近海域沉积物环境质量造成不利影响。

施工期众多大型施工船舶在工程海域集结，施工船舶将产生一定数量的含油废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶污水未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油等直接弃置入海，将直接污染区域海水水质，进而可能影响工程区域海域沉积物环境质量，造成沉积物中废弃物、大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。

6.4.2 电缆铺设施工对沉积物环境的影响分析

海底电缆埋设期间搅起来的海底沉积物被堆积在缆沟两侧，在冲埋结束后，在海水运动作用下将回填于缆沟。海底电缆的施工对底质的直接影响就是冲起和覆盖，不会对沉积物性质产生明显影响。

海底电缆铺设时产生的悬浮沙将沉降覆盖在海底电缆两侧，使原海底沉积物受到一定程度的覆盖和破坏。工程施工除对海底局部沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，并没有混入其它污染物，不会影响海底沉积物质量。

6.4.3 风电场运行期对沉积物环境的影响分析

运行期，本工程对沉积物环境的不利影响主要来自风机基础防腐措施中用到的牺牲阳极装置中的重金属污染物释放。本工程采用高效铝合金牺牲阳极，其主要成分为 Al、Zn、In，溶解后将随海水扩散进入大范围的海水中，部分沉积于桩基附近沉积物中。据设计单位提供资料，单机使用牺牲阳极材料为 10t，按照牺牲阳极释放的锌有 10%进入沉积物中计算，桩径 2.4m 的桩柱周围 10m 范围，沉积物中重金属锌的浓度为 15.8×10^{-6} ，叠加现状调查的锌平均背景值 29.6×10^{-6} ，沉积物中锌含量最大约为 45.4×10^{-6} ，仍然能够满足一类海洋沉积物质量标准

150×10^{-6} 要求。因此工程实际运行中对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。

6.5 噪声环境影响预测与评价

6.5.1 海洋生物受水下噪声影响的声压阈值

表 6-8 为美国国家海洋渔业局现行采用的（过渡性）保护门限值。

表6-8 美国对海洋哺乳动物和鱼类的水下噪声（过渡性）门限值

海洋哺乳动物类		
门限等级	门限定义	门限值
A 级 (>180dB 危险级)	基于暂时性听力阈值提升(TTS)和保守估计的永久性听力阈值提升(PTS)伤害门限	鳍足类: 190dB RMS 鲸豚类: 180dB RMS
B 级 (120~180dB, 警告级)	脉冲式噪声(如冲击打桩)可对动物产生行为妨害的门限	160dB RMS
B 级 (<120dB, 安全级)	非脉冲式噪声(如钻孔)可对动物产生行为妨害的门限	120dB RMS
鱼类		
伤害门限值	声压峰值(适用于所有鱼): 206dB	累积暴露级(Cumulative SEL): 对质量大于等于 2 克的鱼体: 187dB 对质量小于 2 克的鱼体: 183dB

目前在水下噪声对海洋哺乳动物和鱼类影响相关阈值判断中, 根据水下工程噪声对海洋生物影响的危害性程度进行分级。其中声源级高于 180 dB 的水下噪声为危险级, 可能会对海豚的听觉系统造成伤害, 主要有打桩噪声和水下爆破噪声; 声源级在 120~180 dB 范围的水下噪声为警告级, 可能会对海豚行为产生影响, 主要有施工船舶噪声以及钻孔噪声和疏浚噪声; 声源级低于 120 dB 的水下噪声强度基本接近海洋环境噪声, 因此评定为安全级。

由于美国没有大黄鱼等对声音较为敏感的石首科鱼类, 噪声对鱼类伤害的门限值定的比较松(如表 6-8 中的声压峰值 206 dB)。根据对声音最为敏感的石首科鱼类一大黄鱼的相关研究: 大黄鱼幼苗的敏感频率在 800Hz, 声压级约 140dB/re 1 μ Pa 时幼苗对声波即有明显反应, 当声压级达到 172dB/re 1 μ

Pa 时有些幼苗直接死亡；大黄鱼小鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声强达到 150dB/re 1 μ Pa 以上小鱼有主动避开声源的行为，当声源强度达到 187dB/re 1 μ Pa，在声源正上方的小鱼开始变得十分迟钝进而死亡；大黄鱼成鱼的声敏感频率也在 600Hz 附近，当声源达到 192dB/re 1 μ Pa 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，虽未产生直接死亡，但在其后行为发生明显变化，出现不进食等现象，并在后续的半个月时间中出现 90% 的死亡。

研究表明强噪声对鱼类的影响程度有：（1）改变鱼的行为模式，包括：摄食、捕获，规避和离开某个区域；遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。（2）损害物种的耳朵听觉细胞。（3）大黄鱼的发声强度分别为（大鱼：140dB、中鱼 130dB、小鱼 110dB）。施工期水下噪声当超过这些强度后，也将会影响大黄鱼之间的交流。

6.5.2 施工噪声影响预测与评价

6.5.2.1 对石首鱼类的影响

当海域中有石首科鱼类时，考虑鱼群在海域中游动性，以 155dB 作为对石首鱼如鳊鱼、棘头梅童鱼、叫姑鱼等产生影响为阈值，可算出对应桩径 2.4m 的四桩导管架风机基础打桩施工，与施工风机的对应距离为 2.9km。因此，当施工海域有石首鱼科的仔鱼和产卵场时，针对四桩导管架风机基础施工，在离桩基 2.9 km 的距离范围外为石首鱼科鱼类的安全距离。

6.5.2.2 对中华白海豚、江豚的影响

本工程规划风电场场址有中华白海豚和江豚活动。钢管桩施工时在 1km 处所产生的水下噪声还在 160dB/uPa 以上，边缘点的钢管桩施工期打桩水下噪声会对中华白海豚和江豚的行为产生影响。对于四桩导管架风机基础水下打桩施工时，在 190m 范围为危险区域（暂时或永久听力损伤）；在 1.52km 范围内为警告区域（行为干扰）。在这些施工海域中对中华白海豚的活动需要进行观测、驱赶等工作。

6.5.2.3 其他施工活动的影响

重力式风机基础挤密砂桩施工时产生的声源级为 180dB/uPa, 可能对打桩近距离 (20m 以内) 的石首鱼类等有一定的影响, 但在距离砂桩 66m 处的噪声声压级约为 140 dB/uPa. 对海洋鱼类和距离风电场一定距离 (1km) 外的中华白海豚、江豚和海龟等影响程度不明显。

工程的其他水下施工噪声, 如船舶、钻孔, 噪声声源级可达到 150 dB, 可能对该海域中的鱼类行为产生某些干扰; 而一般的水下噪声, 如抛沙等噪声, 噪声声压级基本上已低于 120dB, 和海洋环境噪声相当, 不会对鱼类和海豚、海龟等的行为产生影响。

6.5.2.4 施工噪声对经济鱼类“三场一通道”和敏感目标的影响

工程施工海域位于南海区幼鱼幼虾保护区和南海北部幼鱼繁育场保护的范围内, 鲐鱼和金线鱼等南海鱼类产卵场、经济鱼类繁育场保护区边缘带上, 施工水下噪声对石首鱼类幼鱼将产生一定影响, 在项目建设过程中必须高度重视幼鱼、幼虾的保护。

6.5.2.5 施工期水下噪声对海洋生物的累加影响

虽然相关测量数据及研究表明中小幅度的撞击式桩基施工不会对一定距离外(如 200m 左右)的鲸豚类动物及海洋鱼类造成直接致死或致伤, 但长时间较高声压水平的桩基施工对海洋鱼类的累积效应可能造成慢性影响。研究表明: 长时间水下噪声对鲸豚类动物可能造成的慢性威胁包括: 遮蔽效应和听力损失; 行为模式改变; 紧张等。施工期噪声可能会对鱼类的交流、行为、觅食和避敌产生短期的有害影响, 如可造成成年海豹与幼崽的隔离 (David Kastak et al. 1999)。施工船将会对在这一带水域活动的鱼类、特别是石首科鱼类造成滋扰, 受影响的鱼类将因回避而离开施工区。但像许多其它哺乳动物一样, 环境滋扰消失或较少时会恢复其原来的生活状态, 当航道施工作业完成或滋扰减少时, 部分海洋生物, 如斑海豹等会恢复其原来的活动范围, 迁移到较远水域的个体一般还会回迁。

丹麦国家环境研究所在研究海上风电场是否对活动于该海域中的斑海豹和灰海豹的影响研究 (Svend Tougaard, et al, 2006), 研究跟踪了从 1999~2005 年

间风电场在施工期和营运期水下噪声对海豹的影响。结论是：在风电场施工建设期，斑海豹的数量减少，但建设期结束，斑海豹恢复原来数量，甚至增加；在该风电场施工打桩期，斑海豹的数量明显减少，在另一斑海豹繁殖地施工打桩期没有见到斑海豹；风车的运转没有对斑海豹产生影响。

6.5.3 营运期噪声影响预测与评价

6.5.3.1 营运期水下噪声环境影响预测

(1) 运营期水下噪声环境类比分析

1) 江苏如东海上风电场（一期）营运期水下噪声监测

厦门大学对正在营运的江苏如东风电场（一期）场区的水下噪声进行了现场测量。测量中记录了风速、风向、海况、水深。

水下共设 7 个监测点位，其中风电场场区 2 个监测点位，选择受其他风机影响较小的边缘的单个风机，在距其水平距离 105m、215m、320m、513m 处分别设 1 个监测点位，并考虑风机在正常运行和停机状态下的噪声监测，同时在距离风电场外界 3210 mm 处进行背景噪声测量。

测量结果表明：在 20Hz~20kHz 的频带范围内，营运期在风电场场区中心区的 2 个点（水深 3~4m），所测到的水下噪声谱级均在 110dB 以下。

2) 国外海上风电场营运期水下噪声类比分析

由于拥有丰富的浅海域风资源，目前海上风力发电开发主要集中在欧洲，丹麦、瑞典、荷兰、英国是最早进行海上风电开发的国家，海上风力发电研究始于上世纪 80 年代，对海上风电场所引起的水下噪声研究也进行了较早、较多的研究。图 6-44 为英国 2003 年建成的 North Hoyle 海上风电场营运期水下噪声监测结果（J.R. Nedwell et al, 2007）。图中的 9 条不同颜色曲线分别为从风场外到内，在不同距离上的水下噪声监测结果，在离风机最近 227m 距离上，测出的风机营运水下噪声在 300Hz 左右声压谱级达到最大值，为 100dB，随后强度随频率增加而减少。

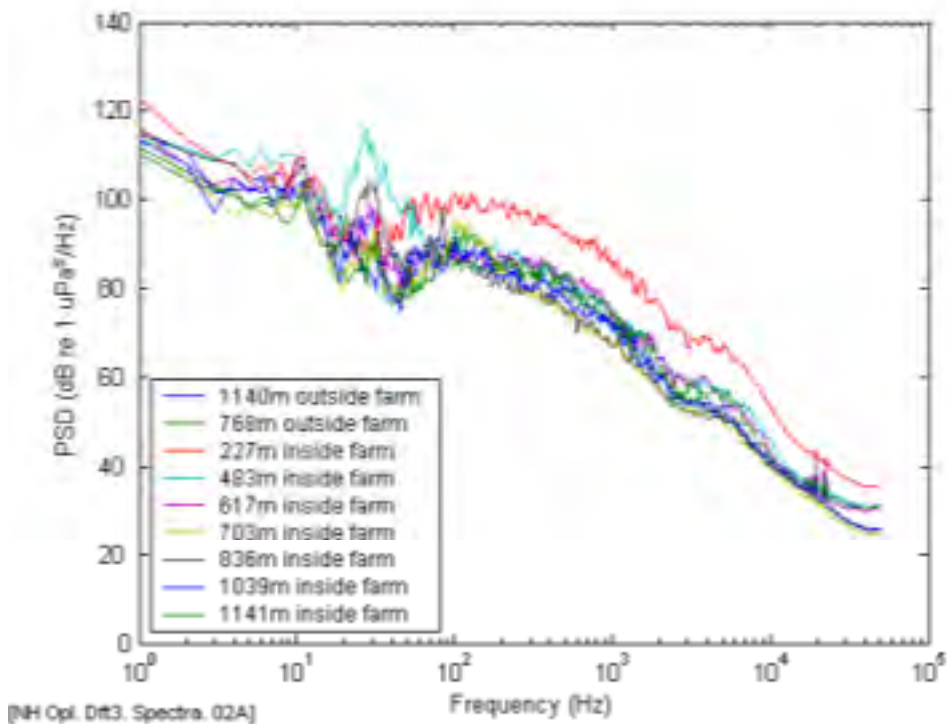


图6-44 英国 North Hoyle 海上风电场营运期水下噪声声压谱级分布

图 6-45 为英国 2004 年建成的 Scroby Sands 海上风电场营运期水下噪声监测水下噪声时域图，在整个测量时间内风电场内外的声压级是 122-147dB。Scroby Sands 海上风电场机组总容量 60MW，风机台数 30，水深约 21m，单桩基础类型。

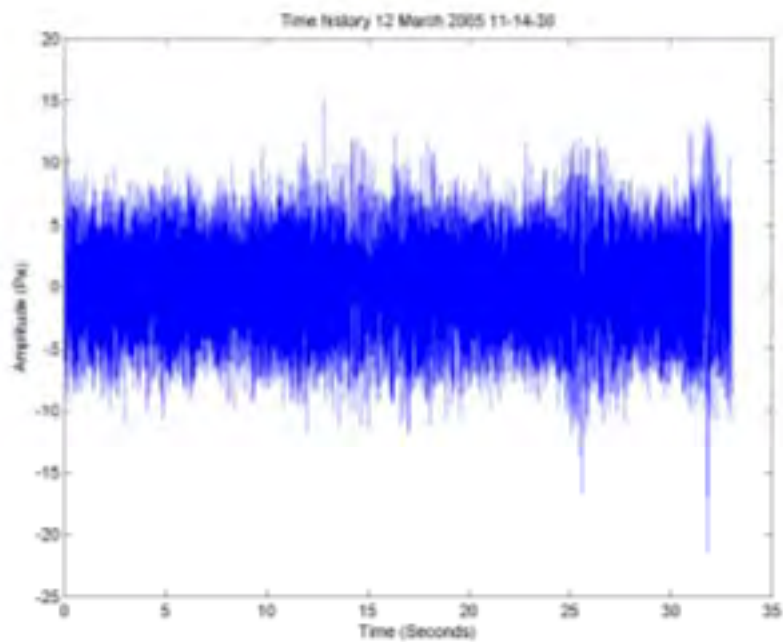


图6-45 英国 Scroby Sands 海上风电场营运期水下噪声声压时域分布

图 6-46 为 Scroby Sands 海上风电场营运期水下噪声监测声压谱级 (J.R. Nedwell et al, 2007)。他们共进行了 5 次测量, 距离风电场 3 次为半海里, 2 次为一海里。测点的水深都是 20m, 5 次噪声测量的声压谱级见图 6-46 中各颜色曲线表示 (并给出了平均的噪声谱)。

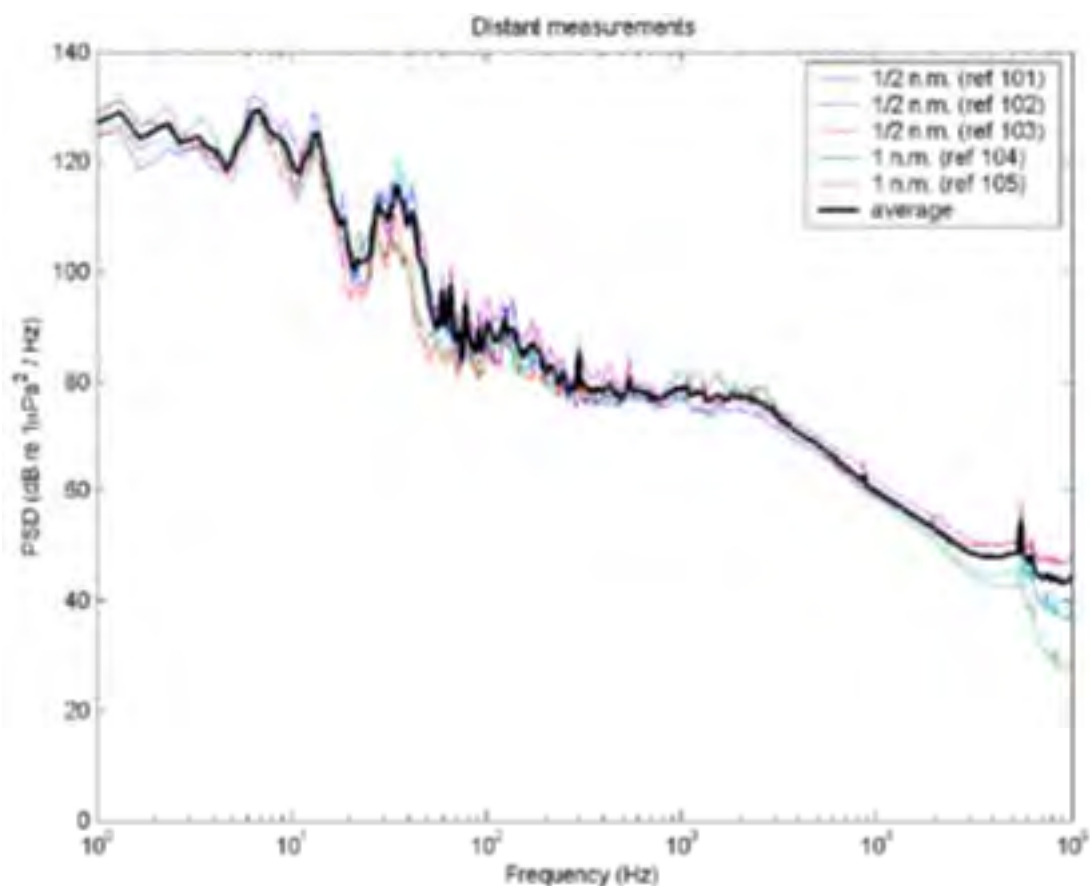


图6-46 英国 Scroby Sands 海上风电场营运期水下噪声声压谱级

图 6-47 为对英国的 Kentish Flats 海上风电场营运期的水下噪声测量结果。Kentish Flats 海上风电场于 2005 年建成, 机组容量为 90MW, 风机台数为 30 台, 水深较浅 (5m), 风机类型 3MW, 单桩。测量时从离 A3 风机处漂流向外, 最近距离 105m, 最远 2km。从噪声声压谱级可见在 10-300Hz 有些明显的线谱信号, 300Hz 至 10kHz 有宽带噪声, 但强度基本上已与背景噪声相当。

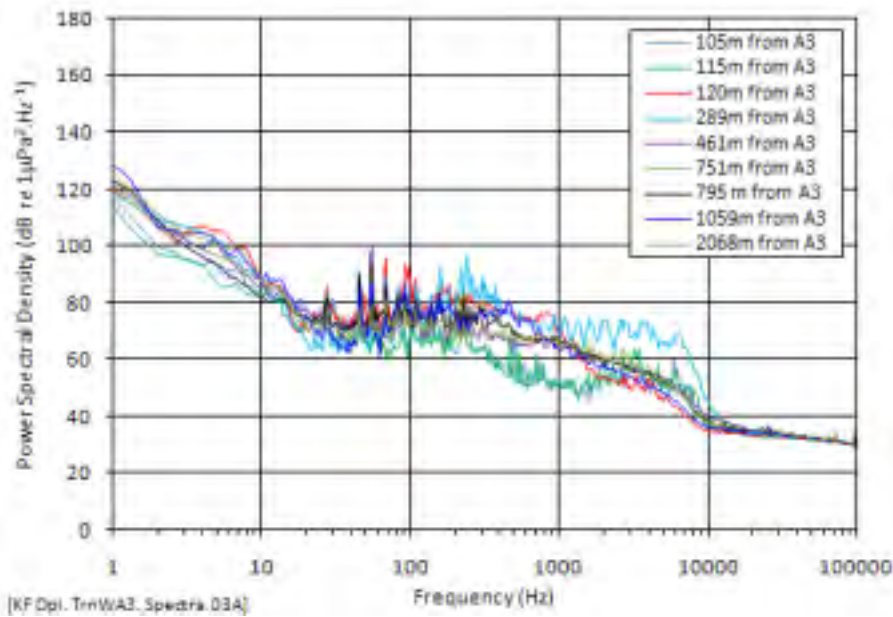


图6-47 英国的 Kentish Flats 海上风电场运营期的水下噪声声压谱级

R. Nedwell 等 (J.R. Nedwell et al, 2007) 在 2003 年总结了约 500 次单独测量的浅水风电场运营期水下噪声, 在频率 10Hz-120kHz 上 North Hoyle 的水下噪声平均值约为 116 dB re 1μPa, 变化范围为 90-158dB; 而对于 Scroby Sands 所测结果是水下噪声平均值为 120dB, 变化范围为 100-135dB。这结果与两个项目在建设前期所测量的海洋背景噪声级相符。同时还注意到, 即使是十分靠近一个正在运行的风机, 其噪声也没有比背景噪声高出 20dB。虽然测试结果反映出风机营运中在水下产生了些噪声, 但是测试结果中风机噪声的特征并不明显, 也没有对较远处的背景噪声产生影响。频谱分析结果未显示有机械或电机式的噪声特征成分存在。

(2) 空气和水中不同风速下风机的运行噪声分析

1) 风机在不同风速下空气中的噪声

风机涡轮的噪声声功率级与风速的关系可参考文献[G.P. van den berg, 2004], 其主要结论是在风机的切入风速到额定风速范围上, 随着风速的增加噪声将增强, 风速每增加 1m/s, 噪声级约增加 1dB (A) /re 20μPa。噪声功率级随风速的变化见表 6-9。

表6-9 噪声功率级随风速的变化

风速 m/s	5	6	7	8	9	10
声功率级 dB(A)	94	96	98	101	102	103

风机轮轴转动的速度与声功率级 的关系，风机转动速度 N（1min 内风机转动的圈数，rpm）与声功率级 拟合的公式如下[G.P. van den berg, 2004]：

$$L_w=67.1\log(N)+15.4dB(A)$$

江苏如东海上风电场（一期）风电场风机额定风速为 10.1m，当风速达到额定风速时，而风机噪声源强（主要为空气动力噪声）亦达到最高。当环境风速进一步升高时风机噪声并不会进一步增强。

2）风机在不同风速下水中的噪声

图 6-48 为德国[Klaus Betke 等，2004] 研究的不同风机、对应不同风速下的噪声谱级，同时画出了海豹和鼠海豚的听阈曲线，图 6-49 为丹麦[Jakob Tougaard 等，2009] 研究的海上风电场在两种不同风速下的噪声谱级分布图。风电场为丹麦 Middelgrunden 海上风电场，风机类型为 2MW。（图中，灰色为海洋背景噪声，蓝色为风机产生噪声；红色（正方形）为港海豹在该频段上的听阈曲线；红色（圆点）为鼠海豚在该频段上的听阈曲线）。

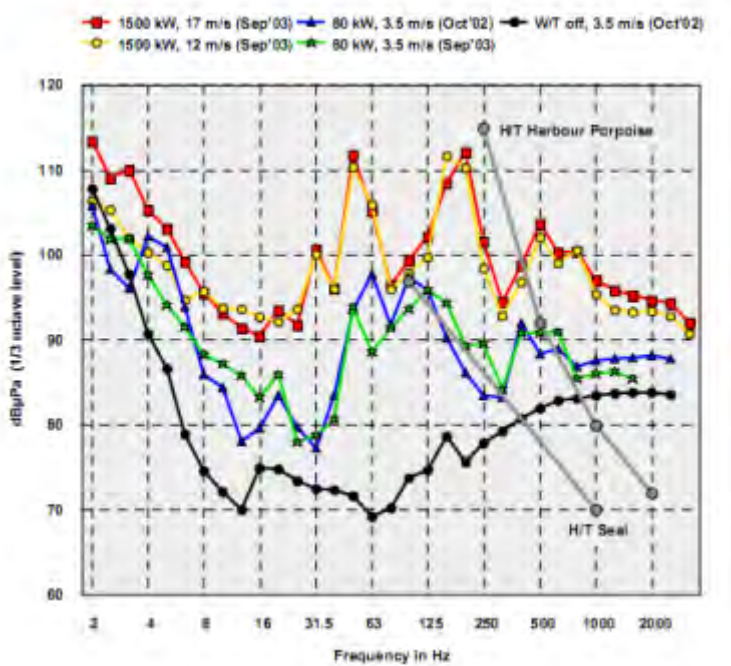


图6-48 不同风机在不同风速下的水下噪声

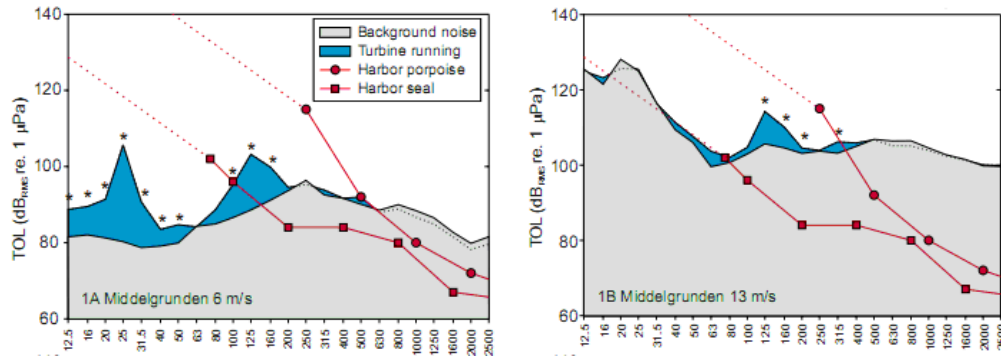


图6-49 丹麦一风电场在两风速下种不同的谱级

3) 结论

风机在水中不同风速下产生的噪声强度变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段（63Hz 以下）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。

（3）营运期水下噪声增加值结论

对江苏如东海上风电场（一期）、福建福清嘉儒风电场近海风机、莆田平海湾一期海上风电场和上海东海大桥海上风电场（一期、二期）等 5 个海上风电场在运营期水下噪声的类比监测结果表明：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减小，在 1~20kHz 中功率谱级分布在 140dB/re 1μPa 到 65dB/re 1μPa 之间，在 120Hz 到 1.5kHz 有一较宽的裙带状谱，强度增加为 10~20dB/re 1μPa。在离 3 号风机 200m 靠近桥梁及航道上，100Hz 频点上的功率谱级达到最大为 128dB/re 1μPa，比同样深度不同距离的功率谱提高 10~20dB/re 1μPa。由于水下噪声的时间-空间-频率等随时变化的特性，测量船只在远离风电场近 4km 处也测量到裙带状的低频背景噪声分布，因此总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。

评估英国的 4 个海上风电场在运营期的监测结果，它们分别是英国 North Hoyle 海上风电场(2003 年建成，机组容量 60MW，30 台 2MW，水深 12m，单桩基础类型)；英国 Scroby Sands 海上风电场（2004 建成，机组容量 60MW，30

台 2MW，水深 21m，单桩）；英国 Kentish Flats 海上风电场（2005 建成，机组容量 90MW，30 台 3MW，水深 5m，单桩）；英国 Barrow 海上风电场（30 台）。江苏如东海上风电场（一期）营运期水下噪声监测与英国 4 个海上风电场的结论基本上相吻合。

根据江苏如东海上风电场（一期）、福建福清嘉儒风电场近海风机、莆田平海湾一期海上风电场和上海东海大桥海上风电场（一期、二期）等 5 个海上风电场在运营期水下噪声的类比监测结果，风机运行水下噪声的频谱级没有明显变化，在 120Hz 到 1.5kHz 间的功率谱级比同样深度不同距离的功率谱提高 10~20dB/re 1 μ Pa。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，因此风电场营运所带来的轻微的噪声增加对鱼类等海洋生物影响不大，即鱼类等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。但不同海洋生物种群间由于声学特性差异较大，对不同性质声音的反应也不一样，仍需要对海洋生物本身的声学特性进行深入的研究。

6.5.3.2 营运期水下噪声对海洋生物的影响

（1）对成鱼的影响

结合海上风电场营运期水下噪声测量结果，在综合分析对声音最为敏感的大黄鱼声学特性后，可以得出风电场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相当，风电场营运所带来的轻微的噪声增加对鱼类的影响不大。

（2）对鱼卵、仔鱼影响

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。

（3）对中华白海豚、江豚和“三场一通道”的影响

根据风电场水下噪声监测结果和国外数据分析，风电场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、江豚影响程度有限。营运期水下噪声对产卵场、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工程周边海域中大黄鱼、白姑鱼、叫姑鱼等产卵场的影响还有待进一步深入的研究。

(4) 对其它海洋生物的影响

营运期水下噪声对虾蟹及贝壳等其它海洋生物的初步的实验结果分析, 营运期水下噪声对其他的甲壳类、贝类等海洋生物的影响不明显。但由于实验时间有限, 长期影响的数据分析还有待进一步研究。

6.5.4 水下噪声对海洋生物影响的安全距离要求

海上风电工程水下噪声对海洋生物的影响主要在施工期间, 尤其是施工打桩作业产生的水下噪声将对临近的海洋生物资源造成明显的影响。因此, 对于四桩导管架基础的钢管桩打桩施工, 应确立在 190m 范围内为危险区域, 在这些区域范围, 噪声可能对海洋动物产生直接的伤害效果; 1520m 范围内为警告区域, 在这个区域范围内对鱼类的行为有所影响。因此, 施工期间需对影响范围内出现的中华白海豚、江豚及鱼类要进行可能的驱赶, 以减小对海洋生物的不利影响。

6.6 电磁辐射环境影响分析与评价

目前陆上埋地电缆运用较多, 陆上电缆电磁场传播介质为空气, 海底电缆电磁场传播介质为海水, 但海底电缆与陆上电缆均埋设于地下, 土壤和海底沉积物对电磁场均有一定的屏蔽作用, 因此类比陆上电缆线路有较好的可比性。

6.6.1 220kV 海底电缆电磁环境类比分析

工程送电线路均采用海底电缆形式进行电力输送, 由于电缆线经过电缆外层遮蔽后产生的工频电磁场强度水平较小, 通过类比监测已运行的广东 220kV 双回中宝电缆线路进行分析, 220kV 双回中宝电缆线路工频电磁场监测结果见表 6-10, 变化趋势图见图 6-50。

表6-10 220kV 双回中宝电缆线路工频电磁场监测结果一览表

序号	监测点位		工频电场强度	工频磁感应强度
			V/m	μT
D1	线路中心线正上方		1.87	14.79
D2	线路中心线外	5m	1.85	5.05
D3		10m	1.95	1.95
D4		15m	1.99	0.96
D5		20m	2.03	0.52
D6		25m	1.83	0.32
D7		30m	1.88	0.22
D8		35m	1.84	0.16
D9		40m	1.85	0.12
D10		45m	1.76	0.85
D11		50m	1.66	0.06

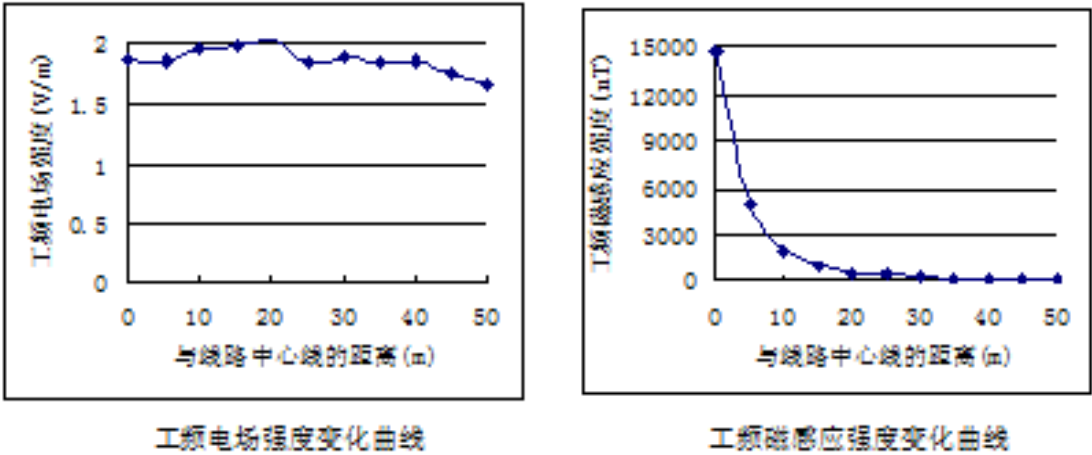


图6-50 220kV 双回中宝电缆工频电磁场变化趋势图（离地 1.5m）

从上表中可以看出，220kV 双回中宝电缆输电线路正常运行的情况下，监测断面各点工频电场强度在 1.66~2.03V/m 之间，由于受屏蔽影响，接近背景值，最大值出现在中心线外 20m 处为 2.03V/m；工频磁感应强度在 0.06~14.79 μ T 之间，最大值出现在中心线外 0m 处为 14.79 μ T。测量值均远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014 ）中频率为 0.05kHz 的公众暴露控制限值要求，即电场强度 4000V/m、磁感应强度 100 μ T。

从上图中可以看出，监测断面各点工频电场强度由于受屏蔽影响，基本相同，

接近背景值；工频磁感应强度总体呈现衰减趋势，即随着与线路中心线距离的增加，强度均逐渐趋小。

220kV 电线空间磁感应强度的预测计算。由于海水和空气介质的非磁属性，同时也考虑了电磁波在海水中传播的能量衰减速率较空气环境中更大，磁场强度在相同距离上空气中还会略大些的基本思路，预测 220kV 海底电缆所辐射的磁场强度。根据公式可以进行预测计算 220kV 导线上方 A 点处的磁场强度：

$$H = \frac{I}{2\pi\sqrt{h^2 + L^2}}$$

- 式中：I --- 导线 i 中的电流值；
- h --- 计算 A 点距导线的垂直高度；
- L --- 计算 A 点距导线的水平距离。

将磁场强度转换为磁感应强度，转换公式如下：

- $B = \mu_0 H$
- B：磁感应强度
- H：磁场强度

μ_0 ：真空中相对磁导率（ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ ）。图 6-51 给出 220kV 电缆磁感应强度的总体分布情况。

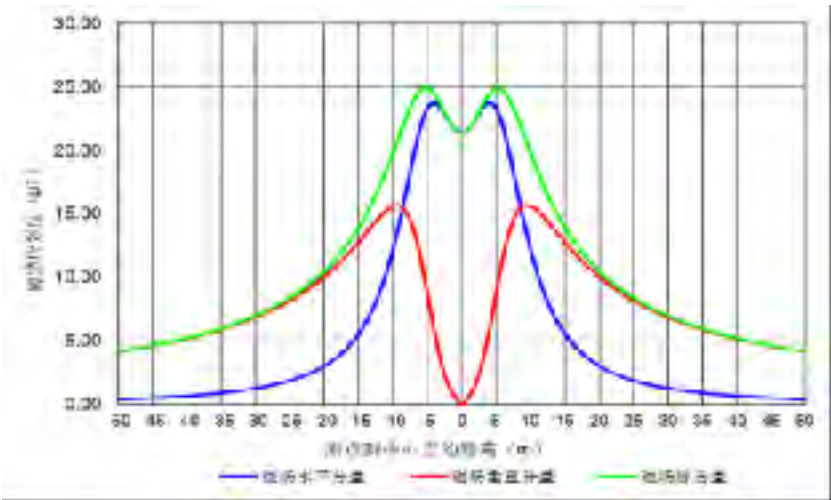


图6-51 220kV 电缆磁感应强度的总体分布情况

由图中可见,在电缆线中心距离上的磁感应强度为 $22 \mu\text{T}$, 综合量最大值出现在距电缆中心线投影 5m 处, 其值为 $24.91 \mu\text{T}$, 之后随与此点距离的增加, 其值逐步降低。

到目前为止,英国利物浦大学对于风力发电机电缆产生的磁场进行了最精确的分析。在他们的研究案例中, 对一个各芯电流强度为 350A 、置于三层媒介中的三芯电缆进行了测定, 调查由于改变护铠和护板传导性而产生的磁场减弱效应, 最终的结论是: 掩埋电缆能最高效地减小磁场峰值。对于埋设于浅水区的海底电缆, 电磁波在海水中的传播的能量衰减速率较空气环境中更大。电磁波在海水中传播时激起的传导电流, 致使电磁波的能量急剧衰减, 频率愈高, 衰减愈快。电磁波的振幅衰减为原来的 $1/e$ 时的传播距离, 称为穿透深度 D 。根据电磁学麦克斯韦方程组, 兆赫级以上的电磁波在海水中的穿透深度 D 小于 25cm , 因此海水对交流海底电缆产生的 0.5MHz 磁场的屏蔽作用较空气中更强, 浅水区下电缆输电释放的磁场能量会迅速衰减。

英国利物浦大学通过工业标准模拟了在 132kV 电缆工作在最大负载和掩埋在海底下 1m 的海底电缆辐射电磁感应强度 EMF 。计算出交流磁场为 $1.6\mu\text{T}$ (在海床面上), E 电场为 $91\mu\text{V/m}$ (CMACS, 2003), 他们认为通过 8m 深的海水后其幅度将衰减 10 倍 (比空气中衰减快得多)。

表 6-11 为美国所列的 138kV 交流电在不同距离上的交流磁场平均值, 图 6-52 为示意图。

表6-11 在海床交界处交流磁场平均值 (假设电缆埋深 1m , 电压 138kV)

垂直距离(m)	磁场强度 (μT), 水平距离 (离开电缆) (m)		
	0 m	4 m	10m
0	7.85	1.47	0.22
5	0.35	0.29	0.14
10	0.13	0.12	0.08

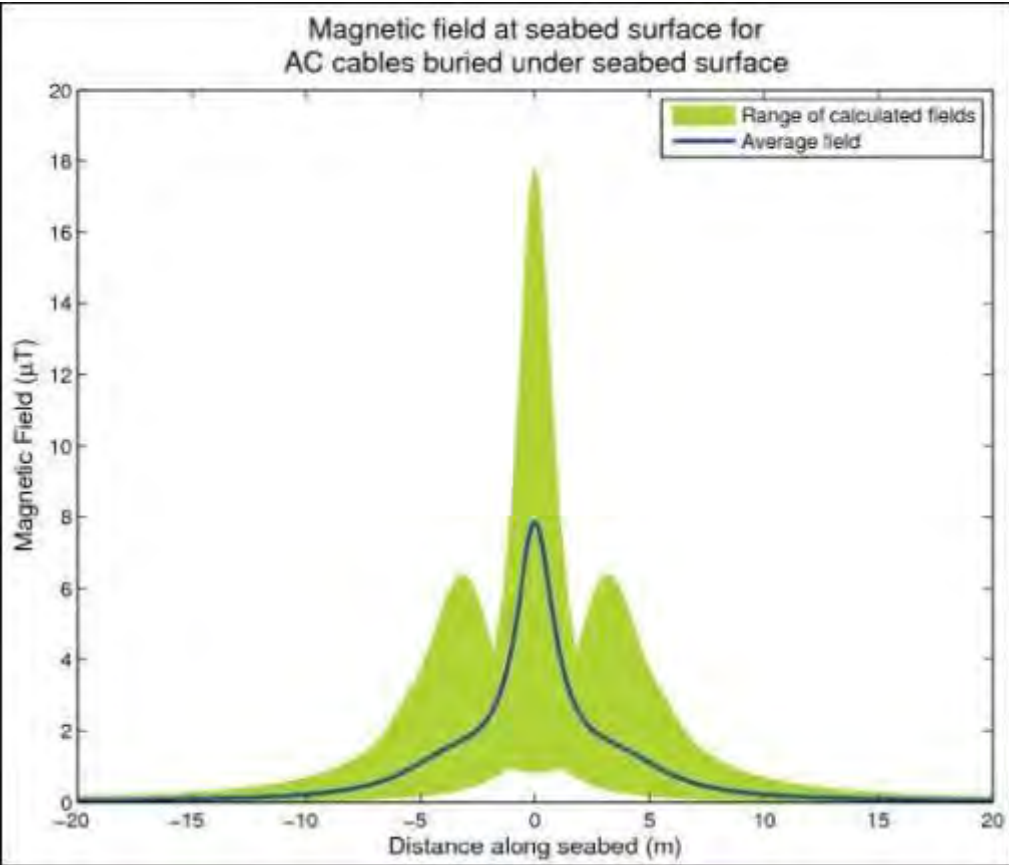


图6-52 138 kV 电压在海床面处所辐射的交流磁场及平均值（蓝线）

表 6-12 表示分开布放的单芯电缆（产生更强的电磁场）与单芯三角法和三芯电缆在不同距离上的磁场强度。

表6-12 单芯电缆与单芯三角法和三芯电缆在不同距离上的磁场强度

三芯电缆								单芯 三角形法	单芯 分开
磁场 B(μT)	33kV		75kV	132kV		220kV		275kV	275kV
	海床上	10m	1.47	海床上	8m	海床上	10m	-	-
	0.015 ~0.54	0.0015 ~0.05	0.29	1.6	0.18	<10	<1	稍增大	明显增大
iE (uV/m)	2.5	0.25	0.12	91	10	小几百	小几十	稍增大	明显增大

由上述分析可知，在电缆电压为 220kV 时，三芯电缆所辐射的电磁感应强度在海床面上很小，小于 10 μ T，单芯分开铺设的电缆在 275kV 时，所辐射的电磁感应强度将明显增大，但一般不超过 5 倍。保守估计 220kV 单芯电缆在分开 20m 铺设时，在埋深 2m 情况下，所辐射的电磁感应强度不会超过 100 μ T。

6.6.2 35kV 海底电缆场内叠加效应分析

对于 35kV 风电场场内海底电缆，由本工程风机机群分布可知，最密集的布放方式为 5 根 35kV 海底电缆并行排列，所获得的叠加效应最明显。选择 5 根平行排列的海底电缆进行分析。采用 Ansoft Maxwell 2D 软件的交流传导场进行求解。

图 6-53 和图 6-54 分别为 35kV 海底电缆在不同相位下的电场强度。由图可知，电场严格限制在每个核内部，这是由于假设理想条件下的电缆金属护套完全接地。仿真结果与理论分析相吻合。

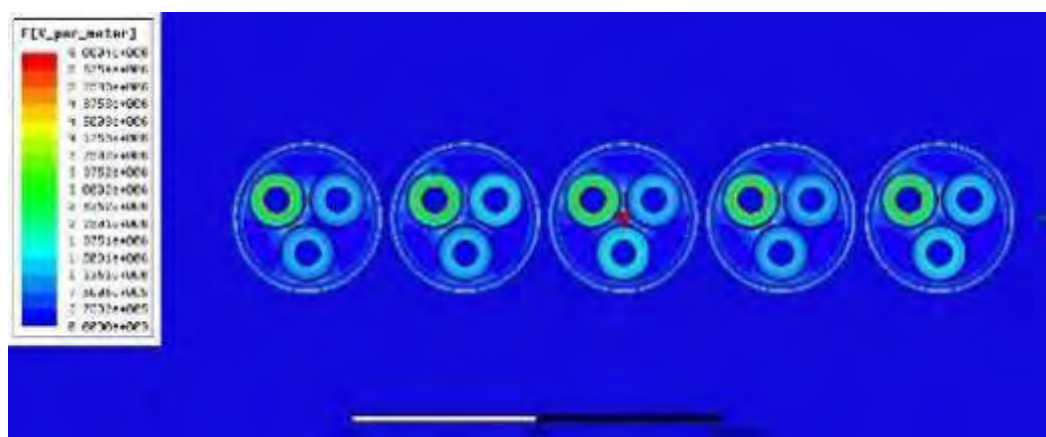


图6-53 相位为 0° 的电场强度 E (不同颜色表示的范围为 0 到 106 V/m)

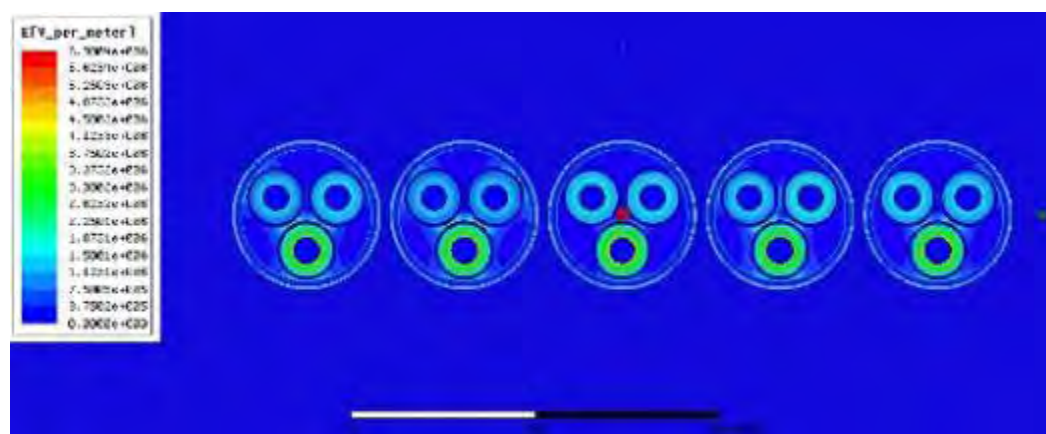


图6-54 相位为 120° 的电场强度 E (不同颜色表示的范围为 0 到 106 V/m)

由麦克斯韦方程组可知，变化的电场将产生磁场，并且通过交流电存在于每一相导线，这些时变的磁场使得周围媒质感应出电场，并且导体中存在涡流，下面采用涡流场求解器仿真磁场强度和磁感应强度。

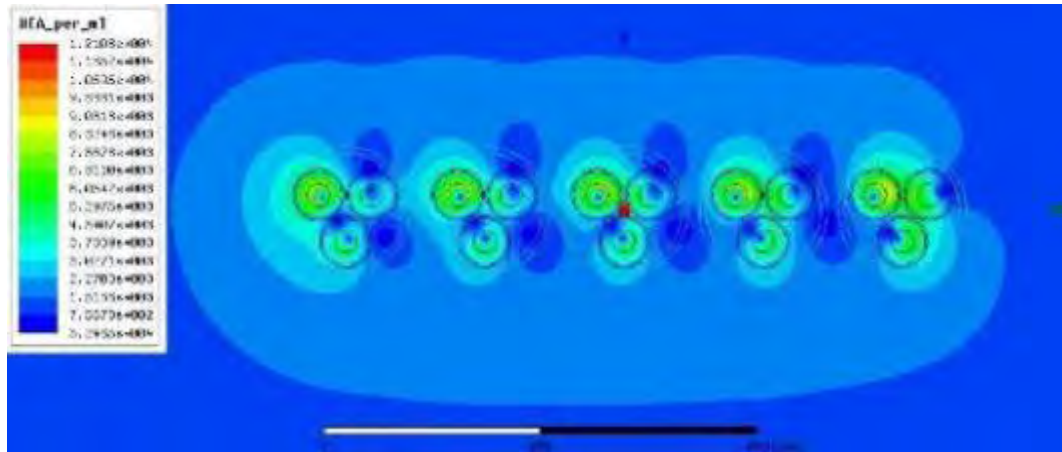


图6-55 海底电缆相位为 0° 的磁场强度 H (不同颜色表示范围 10^{-4} 到 10^4 A/m)

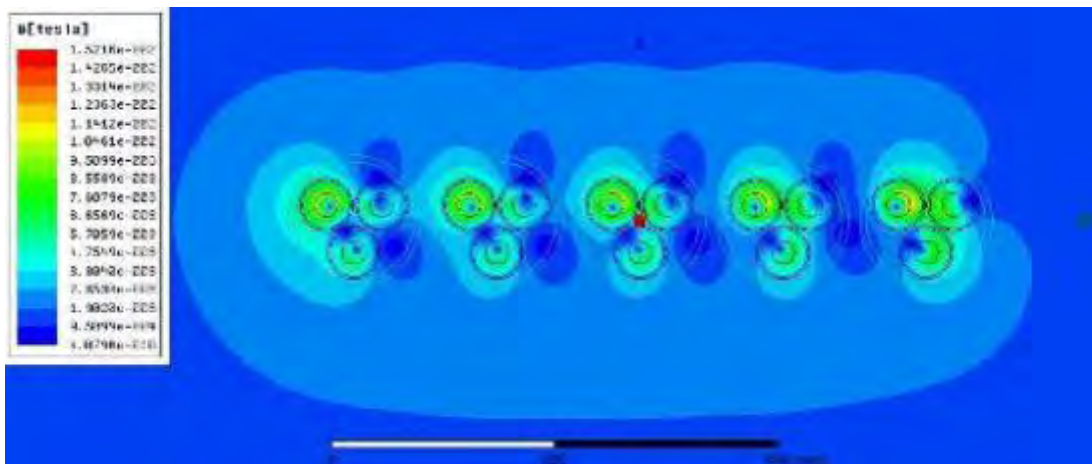


图6-56 海底电缆相位为 0° 的磁感应强度 B 场) (不同颜色表示范围 10^{-10} 到 10^{-2} T)

图 6-55 和图 6-56 分别给出了不同相位下 10 根电缆并行排列时的磁场强度和磁感应强度。由图可见, 并行排列的 10 根电缆磁感应强度的叠加效应将使衰落呈椭圆分布, 但总体强度随着距离的增加而减少, 而且衰减越来越严重, 在离电缆中心点 1m 外的区域中磁感应强度已经降到 10^{-6} T 以下。

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核内部。对于 35kV 的集群海底电缆, 由于磁场在海域介质中的衰减特性, 在离机群中心距离 1m 外, 磁感应强度已降在 10^{-6} T 以下; 对于 220kV 海底电缆, 磁感应强度已降在 10^{-5} 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 (大黄鱼、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎; 虾类和贝类有对虾, 口虾蛄; 菲律宾蛤仔等) 基本上没有影响。

6.6.3 海上升压站电磁环境类比分析

海上升压站运行后，电磁环境影响类比分析采用陆地上相似的 220kV 菊城变电站的电磁辐射监测进行类比分析。

表6-13 变电站可比性分析

变电站		220kV 菊城变电站 (类比变点站)	本项目海上升压站
电压等级		220kV	220kV
主变 压器	容量	本期 2×240MVA 终期 3×240MVA	本期 2×210MVA
	形式	三相有载调压变压器	三相有载调压变压器
电气布 置形式	220kV 电气布置	户内 GIS 布置	户内 GIS 布置
站区地形		东、南侧为池塘；西、北 侧为农田，地形开阔	海上

变电站产生的电磁场大小与电压等级、设备性能、平面布置、地形条件等均密切相关。从表 6-13 可见，菊城变电站主变容量、总平面布置、地形等方面均与本项目海上升压站较为相似。根据变电站工频电场强度产生的原理，其强度仅与电压等级有关，主变容量对工频电场强度基本无影响；工频磁感应强度与主变容量有关，其强度与主变电流大小成正比，可通过外推法进行类比预测。因此，可选用 220kV 菊城变电站作为类比对象。

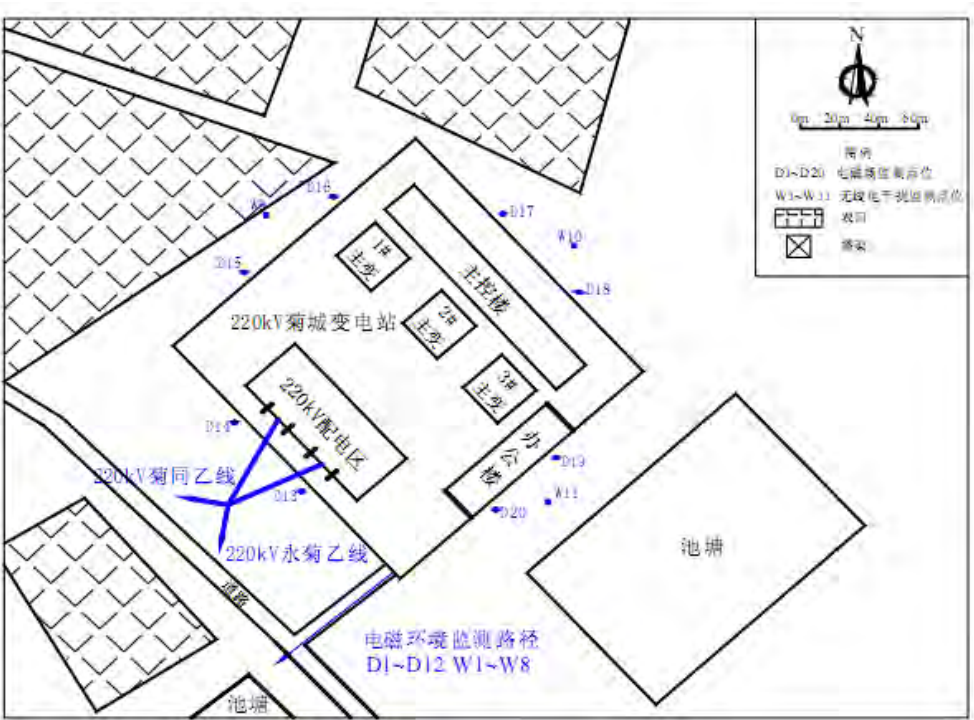


图6-57 220kV 菊城变电站平面布置及监测点位图

监测点布放在 220kV 菊城变电站四周厂界，以及在靠近最高电压等级配电装置一侧垂直与围墙外 5m 10m 15m 20m …，依次测至 60m 处止。工频电磁场监测布点见图 6-57。

类比监测结果表明：菊城变电站四周厂界的工频电场强度在 9.36V/m ~ 460.28V/m 之间，其中南侧围墙外 5m 处（220kV 配电装置区侧）电场强度值最高，达到 460.28V/m ；磁感应强度在 31.35nT ~ 361.5nT 之间，均低于导则推荐的居民区评价标准（工频电场强度 $\leq 4000\text{V/m}$ ，工频磁感应强度 $\leq 100\mu\text{T}$ ）。由于受 220kV 出线影响，菊城变围墙工频电场强度随着距离的增加呈先减少后增大再减少的趋势，工频磁感应强度随着围墙距离的增加总体呈衰减趋势。

根据类比分析，菊城变的站外电场强度最大值 460.28V/m 。因此，可以预测，本工程 220kV 海上升压站主变 $2\times 210\text{MVA}$ 所产生的电场强度与菊城变电站类比监测结果相类似，能满足评价标准的要求。

6.6.4 电磁辐射对海洋生物影响

6.6.4.1 海底电缆产生的电场和磁场对海洋生物的影响理论

目前学术界对于海底电缆电磁场对海洋生物产生的影响还没有科学的定论。

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

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

行为学研究显示鱼类是能够感觉到电场的，但是目前所知这种影响是较小的。

Formicki 等人对很多种鱼进行研究发现，如鲈鱼、白斑狗鱼、拟鲤、红眼

鱼、鲷科鱼东方欧鳊和鲈科鱼梅花鲈等都趋于选择镶有磁铁的长袋网。但这些研究都是以淡水鱼类为研究对象，因此与海水鱼类相比磁场反应有可能不同。在 Nishi 等的研究中发现，无论是在海水中、淡水中还是在养殖区域的日本鳗鲡均会对 $12663\text{nT} \sim 192473\text{nT}$ 的磁场变化产生反应。以上科研成果为实验研究的结论，仅能说明特定鱼类可能对磁场产生反应。

厦门大学开展的工频电磁辐射对海洋生物短期影响实验研究显示，海洋生物能够感知强度为 1.0mT 以上交流电磁场的存在，并做出不同生理反应，这种生理反应的持久性未进行进一步评估。强度在 0.3mT 以下的交流电磁场对海洋生物作用 48h 后，其体内的碱性磷酸酶，酸性磷酸酶以及超氧化物歧化酶的比活力变化不显著。

6.6.4.2 该项目海底电缆对海洋生物的影响分析

本项目 35kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 10^{-6}T 以下； 220kV 海底电缆，磁感应强度已降在 10^{-5}T 以下。目前学术界研究的磁场需在 $10^{-5}\text{T} \sim 10^{-3}\text{T}$ 数量级才发现海洋生物产生反应，因此，在目前的理论构架下，可以不考虑该项目海底电缆对海洋生物产生的影响。

6.6.5 电磁环境影响评价结论

(1) 类比分析结果表明，本工程 220kV 海上升压站主变 $2 \times 210\text{MVA}$ 所产生的电场强度与菊城变电站类比监测结果相类似，能满足评价标准的要求。

(2) 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核内部。对于 35kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降为 10^{-6}T 以下，对于 220kV 海底电缆，磁感应强度已降在 10^{-5}T 以下，对海洋生物影响不明显。

6.7 海洋生态环境影响分析与评价

6.7.1 施工期影响分析

6.7.1.1 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及潮间带生境造成直接破坏，进而引起底栖生物和潮间带生物量的损失。

风机基础桩基直径 2.4m，每台风机 4 个桩，共 91 台风机和 2 个升压站，计算风机和升压站基础压占面积为 1682m²。

本项目 35kV 海缆总长度为 140.54km，220kV 海缆总长度为 73.15km，海底电缆铺设造成底质破坏范围按照两侧各外扩 5m 计算，35KV 海缆施工占用海域面积 140.54 公顷，220KV 海缆施工占用海域面积 73.15 公顷，计算海底电缆铺设一次性破坏底栖生物底质生境面积为 2136900m²。

6.7.1.2 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。

钢管柱打桩产生悬浮泥沙对海洋生物将产生一定的影响，根据分析，钢管柱施打会引起周围 100m 半径范围内悬浮泥沙增加 (>10mg/L)，则单台风机悬浮泥沙扩散影响范围约为 3.14 公顷，91 台风机和 2 台海上升压站将造成累计约 292.02 公顷的悬浮扩散影响。

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 II 类海水水质标准）的最大影响在施工区域附近 53.51km^2 范围内，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。

6.7.2 营运期影响分析

营运期影响主要是风机基础占压影响。在风机桩基群占用海域范围内，原有泥质型的底栖生物类群在很长一段时间内不可恢复。

6.7.3 海洋生物资源损失估算

6.7.3.1 海洋生物资源损失量

（1）底栖生物损失

风机基础长期占压海域底质，对底栖生物及生态系统造成了长久的影响。海底电缆的铺设造成底栖生物一次性破坏。参照《建设项目对海洋生物资源影响评

价技术规程（SC/T 9110-2007）》（以下简称《规程》），底栖生物资源损失按以下公式进行计算：

$$Wi = Di \times Si$$

式中：

Wi 为第 i 种生物资源受损量，此处为底栖生物资源受损量；

Di 为评估区域内第 i 种生物资源密度，此处为底栖生物平均生物量；

Si 为第 i 种生物占用的水域面积，此处为破坏面积。

计算结果见表 6-14。

表6-14 底栖生物直接损失量估算表

工程	破坏性质	破坏面积（m ² ）	底栖生物平均生物量（g/m ² ）	低栖生物损失量（t）
风机基础压占	长久占用底栖生物生境	1682	15.52	0.03
海底电缆铺设	一次性破坏低栖生物生境	2136900	15.52	33.16

（2）浮游生物及游泳生物

海底电缆铺设造成海域悬浮泥沙超标，对浮游生物和游泳生物产生影响。按照《规程》，施工作业在悬浮物扩散范围内对海洋生物产生的持续性损害，按以下公式计算：

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

式中：

W_i 为第 i 种生物资源一次性平均损失量；

D_{ij} 为某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源密度；

S_i 为某一污染物第 j 类浓度增量区面积；

K_{ij} 为某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源损失率；

n 为某一污染物浓度增量分区总数。

表6-15 悬浮物对各类生物损失率

分区	浓度增量范围 (mg/L)	超标倍数 (Bi)	各类生物损失率 (%)			
			鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
I 区	10~20	$B_i \leq 1$ 倍	5	1	5	5
II 区	20~50	$1 < B_i \leq 4$ 倍	17	5	15	15
III 区	50~100	$4 < B_i \leq 9$ 倍	40	15	40	40
IV 区	≥ 100	$B_i \geq 9$ 倍	50	20	50	50

本项目施工悬沙造成的浮游生物及游泳生物损失估算结果见表 6-16。

表6-16 悬浮物对浮游生物和游泳生物直接损失量估算表

悬浮物扩散浓度	影响面积 (km ²)	平均水深 (m)	海洋生物资源种类	海洋生物资源密度	损失率 (%)	直接损失量
10~20 mg/L	73.251	18	浮游植物 (cells/m ³)	635160	5	4.1873×10^{13} cells
		18	浮游动物 (mg/m ³)	100.95	5	6.66t
		18	鱼卵 (粒/m ³)	8.40	5	5.3004×10^8 粒
		18	仔鱼 (尾/m ³)	0.24	5	0.1582×10^8 尾
		18	游泳生物 (kg/km ²)	863.66	1	0.63t
20~50 mg/L	1.783	16	浮游植物 (cells/m ³)	635160	15	2.7175×10^{12} cells
		16	浮游动物 (mg/m ³)	100.95	15	0.43t
		16	鱼卵 (粒/m ³)	8.40	17	0.3898×10^8 粒
		16	仔鱼 (尾/m ³)	0.24	17	1.1637×10^6 尾
		16	游泳生物 (kg/km ²)	863.66	5	0.08t
50~100 mg/L	0.636	10	浮游植物 (cells/m ³)	635160	40	1.6150×10^{12} cells
		10	浮游动物 (mg/m ³)	100.95	40	0.26t
		10	鱼卵 (粒/m ³)	8.40	40	0.2044×10^8 粒
		10	仔鱼 (尾/m ³)	0.24	40	0.5441×10^6 尾
		10	游泳生物 (kg/km ²)	863.66	15	0.08t
>100 mg/L	0.461	5	浮游植物 (cells/m ³)	635160	50	7.3202×10^{11} cells
		5	浮游动物 (mg/m ³)	100.95	50	0.12t
		5	鱼卵 (粒/m ³)	8.40	50	9.2661×10^6 粒
		5	仔鱼 (尾/m ³)	0.24	50	0.2766×10^6 尾
		5	游泳生物 (kg/km ²)	863.66	20	0.08t

表6-17 悬浮物对浮游生物和游泳生物直接损失量估算表

工程	海洋生物种类	直接损失量
施工悬沙扩散	浮游植物 (cells)	4.6938×10^{13} cells
	浮游动物 (t)	7.46t
	鱼卵 (粒)	5.9874×10^8 粒
	仔鱼 (尾)	1.7807×10^6 尾
	游泳生物 (t)	0.87t

6.7.3.2 海洋生物资源经济补偿额

(1) 直接经济损失计算方法

根据《规程》的要求，考虑到海洋生物资源调查的内容，各类生物资源的经济损失额的计算方法如下：

底栖生物和游泳生物：

底栖生物和游泳生物均按成体生物处理，计算公式为：

$$M = W \times E$$

式中：M 为经济损失额，元；

W 为生物资源一次性损失总量，千克（kg）；

E 为生物资源的价格，元/kg；

游泳生物的商品价格按市场平均海鱼价格计算（15 元/kg）。底栖生物的价值商品价格按市场经济贝类市场平均价格计算（10 元/kg）。

鱼卵和仔稚鱼：

鱼卵和仔稚鱼的经济价值应折算成鱼苗进行计算，计算公式为：

$$M = W \times P \times V$$

式中：M 为鱼卵和仔稚鱼的经济损失金额，元；

W 为鱼卵和仔稚鱼损失量，尾或个；

P 为鱼卵和仔稚鱼拆算为鱼苗的换算比例，鱼卵生长到商品鱼苗按 1%成活率计算，仔稚鱼生长到商品鱼苗按 5%成活率计算，%；

V 为鱼苗的商品价格，按当地主要鱼类苗种的平均价格计算，元/尾。

参考市场主要鱼类苗种价格，鱼卵和仔稚鱼折算为鱼苗的价格取 0.5 元/尾。

(2) 直接经济损失量

根据以上方法和参数计算各类海洋生物资源的直接经济损失见表。

表6-18 海洋生物资源直接经济损失估算表

工程	海洋生物种类	直接损失量	成活率	平均市场价	直接经济损失额（万元）
风机基础压占	低栖生物（t）	0.03	——	10 元/kg	0.03
海底电缆铺设	低栖生物（t）	33.16	——	10 元/kg	33.16
悬浮物扩散	鱼卵（粒）	5.9874×10^8	1%	0.5 元/粒	29937
	仔鱼（尾）	1.7807×10^7	5%	0.5 元/尾	44.52
	游泳生物（t）	0.87	——	15 元/kg	1.31
合计					37838

6.7.3.3 海洋生物资源损害赔偿额

根据《规程》，进行生物资源损害赔偿时，应根据补偿年限对直接经济损失总额度进行校正。各类生物资源的损害赔偿计算如下：

根据《导则》，占用年限低于 3 年的，按 3 年补偿；占用年限 3-20 年的，按照实际占用年限补偿；占用 20 年以上的，按不低于 20 年计算。一次性生物资源损害补偿为一次性损害额的 3 倍。因此，本项目鱼卵和仔稚鱼资源损害、游泳生物资源损害和海底电缆铺设所导致的底栖生物资源损害皆为一次性损害，应按损害额的 3 倍进行补偿；风机基础压占所造成的生物资源损害则按照实际使用年限 28 年进行补偿。计算本项目海洋生物资源补偿额 1136 万元。

表6-19 海洋生物资源补偿额估算表

工程	海洋生物种类	直接损失量	直接经济损失额（万元）	补偿年限（年）	补偿额（万元）
风机基础压占	低栖生物（t）	0.03	0.03	28	0.84
海底电缆铺设	低栖生物（t）	33.16	33.16	3	99.49
悬浮物扩散	鱼卵（粒）	5.9874×10^8	29937	3	898.10
	仔鱼（尾）	1.7807×10^7	44.52	3	133.55
	游泳生物（t）	0.87	1.31	3	3.92
合计			447.16		1135.90

6.7.4 海洋生态系统服务功能影响

根据《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T28058-2011)，海上风电场工程建设对海洋生态系统服务功能主要包括海洋供给服务、海洋调节服务、海洋文

化服务、海洋支持服务共 4 个部分,下面评估本项目对上述服务功能造成的损失。

6.7.4.1 海洋供给服务价值

根据《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T 28058-2011),海洋供给服务评估指标主要考虑渔业供给(养殖生产、捕捞生产)和氧气生产。本项目管线经过部分经过一处西施舌养殖区,因此,针对本项目,海洋供给服务价值对养殖生产和氧气生产进行估算。

(1) 养殖生产损失评估

本项目对养殖生产的影响主要体现在对登陆点附近高位养殖塘取水的影响。考虑到本项目管线施工期造成的悬沙污染影响仅数天,而高位养殖塘一般周期性取水,可通过协调避开施工期取水,避免对养殖的影响。因此,认为本项目不会造成养殖生产损失。

(2) 氧气生产损失评估

氧气生产的物质质量采用海洋植物通过光合作用过程生产氧气的数量进行评估,包括浮游植物初级生产力提供的氧气和大型藻类初级生产提供的氧气,氧气生产的物质质量计算公式为:

$$Q_{O_2} = Q'_{O_2} \times S \times N \times 10^{-3} + Q''_{O_2}$$

式中:

Q_{O_2} ——氧气生产的物质质量,单位为吨(t);

Q'_{O_2} ——单位时间单位面积水域浮游植物产生的氧气量,单位为毫克每平方米每天($\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$);

S——评估海域的水域面积,单位为平方千米(km^2);

N——时间天数,取(d);

Q''_{O_2} ——大型藻类产生的氧气量,单位为吨每年(t);

本项目生态调查未调查到大型海藻,本次损失评估仅计算浮游植物初级生产提供氧气量。计算公式为:

$$Q_{O_2} = 2.67 \times Q_{PP}$$

式中：

Q_{PP} ——浮游植物的初级生产力，单位为毫克每平方米天（ $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ）。

根据环境质量现状调查结果，2017 年 11 月秋季初级生产力调查结果位 $315.26 \text{ mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ，2018 年 3 月春季初级生产力调查结果位 $188.46 \text{ mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ，本次计算取两次调查的均值，即 $251.86 \text{ mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。评估海域面积按照施工期超 $10 \text{ mg}/\text{L}$ 面积计算，即 83.472 km^2 。类比同类型项目，停止铺设电缆施工，水质恢复时间最大 13.3 h ，则项目施工期间产生的氧气生产损失量 $= 2.67 \times 251.86 \text{ mg} \cdot \text{C}/\text{m}^2 \cdot \text{d} \times 83.472 \text{ km}^2 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{km}^2 \times (13.3/24) \text{ d} \times 10^{-9} \text{ t}/\text{mg} = 31.107 \text{ t}$ 。

根据王燕等人的研究，工业制氧平均价格为 $400 \text{ 元}/\text{t}$ ，则本项目影响氧气生产价值 $= 31.107 \times 400 \text{ 元}/\text{t} = 1.24 \text{ 万元}$ 。

6.7.4.2 海洋调节服务价值

根据《海洋生态资本评估技术导则》（GB/T 28058-2011），海洋调节服务评估主要考虑气候调节和废弃物处理。本项目生产垃圾和生活垃圾运回陆地处理，营运期无污染物排放。因此，这里仅考虑气候调节功能损失。

气候调节物质量评估采用的方法是基于海洋植物（浮游植物和大型藻类）固定二氧化碳的原理计算，物质量等于评价海域的水域面积乘于单位面积水域浮游植物和大型藻类固定二氧化碳的量。气候调节的物质量计算公式为

$$Q_{CO_2} = Q_{CO_2} \times S \times N \times 10^{-3} + Q_{CO_2}$$

式中：

Q_{CO_2} ——气候调节的物质量，单位为吨每年（t）；

Q_{CO_2} ——单位时间单位面积水域浮游植物固定的二氧化碳量每平方米每天（ $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ）；

S ——评估海域的水域面积，单位为平方千米（ km^2 ）；

N ——时间天数，（d）；

Q_{CO_2} —大型藻类固定的二氧化碳量，单位为吨每年（t）；

本项目生态调查未调查到大型海藻，本次损失评估仅计算浮游植物固定二氧化碳的量。计算公式为：

$$Q_{CO_2}' = 3.67 \times Q_{PP}$$

式中 QPP——浮游植物的初级生产力，单位为毫克每平方米每天（mg/m²·d）。

根据环境质量现状调查结果，2017 年 11 月秋季初级生产力调查结果位 315.26 mg·C/m²·d，2018 年 3 月春季初级生产力调查结果位 188.46 mg·C/m²·d，本次计算取两次调查的均值，即 251.86mg·C/m²·d。评估海域面积按照施工期超 10mg/L 面积计算，即 83.472km²。类比同类型项目，停止铺设电缆施工，水质恢复时间最大 13.3h，则项目施工期间减少 CO₂ 固定量损失=3.67×251.86 mg·C/m²·d×83.472 km²×10⁶m²/km²×(13.3/24) d×10⁻⁹t/mg=42.757t。

二氧化碳吸收价值用碳税法计算，锐减的碳税率在国际上被普遍认可，这里采用这一税率，即 150 美元/t，约合人民币 1000 元/t。因此本项目造成的气候调节损失=42.757t×1000 元/t=4.28 万元。

6.7.4.3 海洋文化服务价值

根据《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T 28058-2011)，海洋文化服务评估内容主要考虑休闲娱乐、科研服务。

(1) 休闲娱乐服务评估

根据 Costanaz 等的研究成果，近海的娱乐文化价值为 144 美元/(公顷·a)，即 908 元/(公顷·a)。采用成果参照法，取 908 元/(公顷·a)。则本项目占用海域（风机和海上升压站）面积 131.0925 公顷，造成的海洋休闲娱乐服务功能损失价值=131.0925 公顷×908 元/(公顷·a)×29 年=345.19 万元。即本项目风电场占用海域面积 131.0925 公顷，占用期限 29 年，造成的海洋科研文化服务功能损失价值为 345.19 万元。

(2) 科研服务评估

陈仲新等根据中国生态系统的实际现状计算出中国各类生态系统单位面积的平均科研文化价值约为 3.55 万元/(平方公里·年)。采用成果参照法,取 3.55 万元/(平方公里·年)。则本项目占用海域面积 131.0925 公顷,造成的海洋科研文化服务功能损失价值=131.0925 公顷 $\times 10^{-2}$ (平方公里/公顷) $\times 3.55$ 万元/(平方公里·年) $\times 29$ 年=134.96 万元。即本项目风电场占用海域面积 131.0925 公顷,占用期限 29 年,造成的海洋科研文化服务功能损失价值为 134.96 万元。

6.7.4.4 海洋支持服务价值

根据《海洋生态资本评估技术导则》(GB/T28058-2011),海洋支持服务评估内容主要考虑物种多样性维持、生态系统多样性维持。

根据谢高地等对我国生态系统各项生态服务价值的研究结果,我国水域生态系统单位面积的生物多样性维持价值为 8686 元/(公顷·a),铺设海底电缆对海洋生态系统服务功能影响面积 83.472km²,停止铺设施工,水质恢复时间最大 13.3h;进入营运期无污染物产生。因此造成生物多样性维持功能价值损失=83.472km² $\times 10^2$ 公顷/km² $\times 13.3\text{h} \div 24\text{h/a} \div 365\text{d/a} \times 8686$ 元/(公顷·a) $\times 10^{-4}$ =11.01 万元。

6.7.4.5 小结

综合上述 4 个小节的计算结果,本项目造成海洋生态系统服务功能价值损失共计 497 万元,如下表所示。

表6-20 本项目海洋生态功能损失评估结果

海洋生态服务功能类型	损失类别	损失额(万元)
海洋供给服务功能	养殖生产	0
	氧气生产	1.24
海洋调节服务功能	气候调节	4.28
海洋文化服务功能	休闲娱乐	345.19
	科研服务	134.96
海洋支持服务功能	生物多样性	11.01
海洋生态服务功能损失总额		496.68

6.8 鸟类及其生境影响分析与评价

鸟类环境影响评价工作委托广东森霖造绿有限公司联合广东省生物资源应用研究所开展。

6.8.1 对鸟类栖息地的影响

国际上已建有的海上风电场对鸟类产生的最大影响范围为 800 m，繁殖鸟是 300 m（Pettersson, J.等, 2003）（表 6-21）。风电场调查范围内并未发现鸟类的夜栖地，而鸟类觅食地则距离风电场最近距离为 3000 m，远远大于国际上 800 m 的最大影响范围。此外，海上风电场风机、输电线路、变电站产生的噪音和电磁干扰随着距离的增加而逐渐消弱，因对栖息地和觅食地的影响均非常有限。

表6-21 不同地区风电场运行对鸟类分布的干扰影响

区域	生境	鸟类别	风场规模	显著受影响种类	影响距离
丹麦, Tjaereborg	海岸草地	水鸟	S	金鸻, 鸥类	大 800m, 繁殖凤头麦鸡为 300m
荷兰, Oosterbierum	海堤上	水鸟	M	涉禽、鸥类、雁鸭类	最大 500m, 对繁殖涉禽没有影响
荷兰, Urk	海堤上	水鸟	M	天鹅、潜鸭、白颊鸭	最大 300m
苏格兰, Bugar Hill	海岸沼地	潜鸟和猛禽	S	红喉潜鸭	在建设初期有一定人为干扰影响
英格兰, Haverigg	海岸草地	金鸻, 鸥类	S	无	
英格兰, Blyth	海岸岸线	鸬鹚、矶鹬、鸥类	S	无	
瑞典, Nasudden	海岸沼泽和耕地	水鸟	L	无	
英格兰, Haverigg	海岸草地	金鸻, 鸥类	S	无	
丹麦, Tuno Knob	海上	海鸭、黑海番鸭	M		除了飞行路线改变, 基本无影响
比利时, Zeebrugge	海岸岸线	水鸟	M	大部分水鸟	大约 300m
Utgrunden	海上	针尾鸭	S	无	Utgrunden

注：L-大，50~200 台风机；M-中等，10~50 台风机；S-小，<10 台风机（引自陆忠民，张志宏，徐凌云，等 2014）

6.8.2 对长距离迁徙、短距离迁飞通道影响

调查到的鸟类中有候鸟 23 种，这些候鸟迁徙季节的迁飞高度超过 300 m (苏文斌, 等, 2002), 而风电场风机叶片高度小于 150 m, 所以, 风机的高度对鸟类的影响甚微。此外, 风电场的选址位置不在候鸟长距离迁徙和短距离迁飞的主方向上, 不会对迁徙和迁飞产生阻碍作用 (图 6-58)。

风电场建成一段时间之后, 在迁徙季节, 部分鸟类会对风电场内的环境产生适应性 (Bech M. 等, 2005), 而风电场形成的鱼礁效应, 会吸引更多的鱼类来此, 为鸟类提供丰富的食物资源。

综上所述, 海上风电场运营阶段对候鸟迁徙影响可以忽略, 还可能会形成鸟类的觅食地。

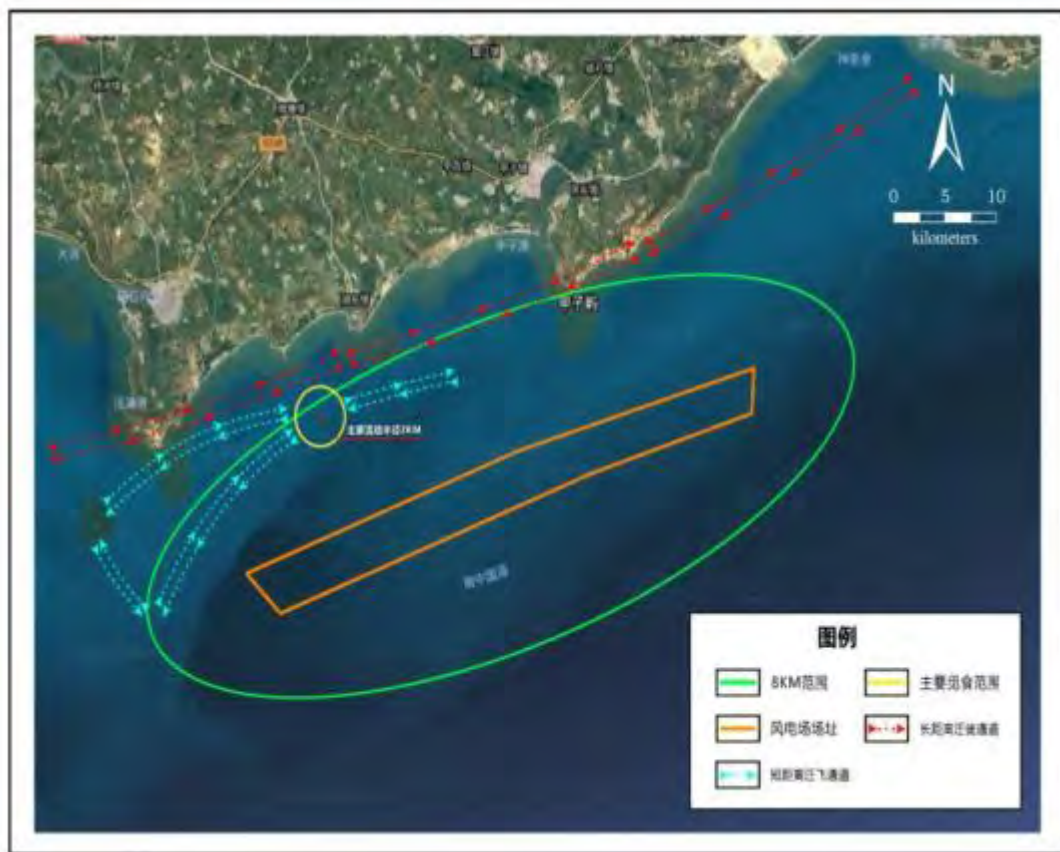


图6-58 汕尾后湖风电场鸟类觅食范围、长短距离迁飞路线示意图

6.8.3 对候鸟和重点保护鸟类影响

有国家二级保护鸟类 2 种、列入中国濒危动物红皮书的 2 种, 均为岩鹭

Egretta sacra 和黑翅鸢 *Elanus caeruleus*, 其分布如图 6-59。广东省保护鸟类 17 种, 如白鹭、苍鹭 *Ardea cinerea*、黑水鸡 *Gallinula chloropus*、黑翅长脚鹬 *Himantopus himantopus* 等, “3 有” 保护鸟类 49 种, 如普通鸬鹚、珠颈斑鸠 *Streptopilia chinensis*、白骨顶 *Fulica atra*、泽鹬 *Tringa stagnatilis*、普通翠鸟 *Alcedo atthis* 和鹊鸂 *Copsychus saularis* 等。这些鸟类大部分分布在海上样线, 部分靠近海滨, 最近距离风电场超过 3000 m, 只有少量鸥类和鹬类在风电场场址飞行穿过该区域。所以风电场的运营对这些保护鸟类的个别个体产生有限影响, 不会造成种群数量不可逆的损伤。

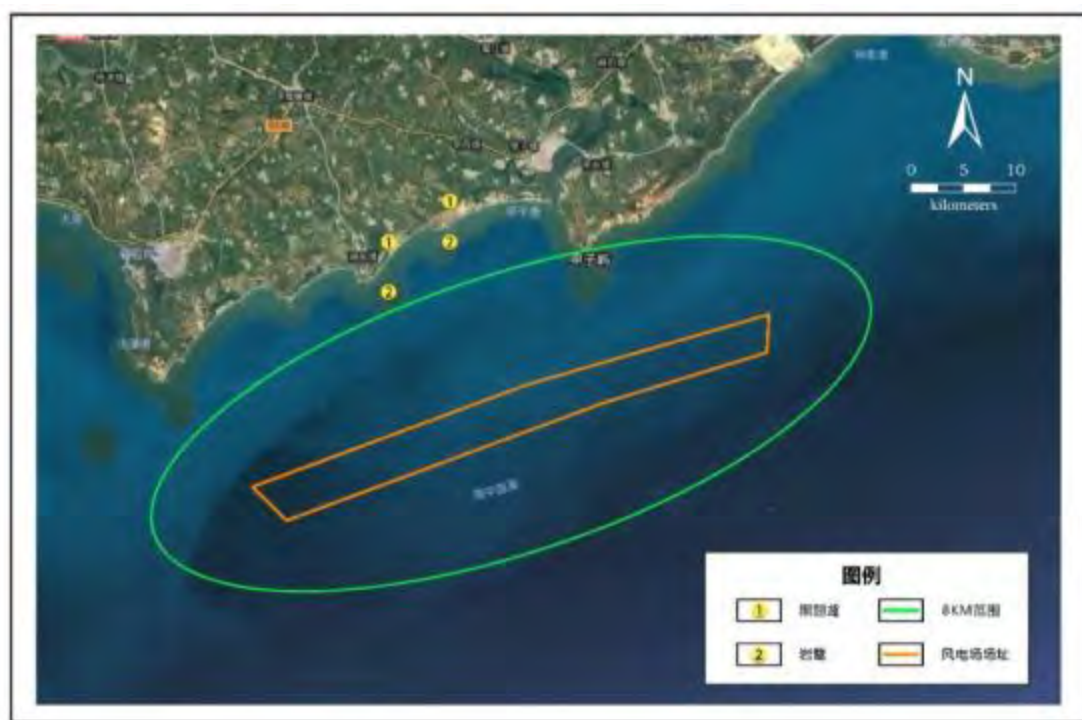


图 6-59 陆丰宝丽华甲湖湾后湖风电场重点保护物种分布示意图

6.8.4 鸟机相撞风险

6.8.4.1 长距离迁徙鸟机相撞风险

鸟类与风机相撞的风险在很大程度上取决于鸟类的飞行高度。鸟类在直接的长距离迁徙飞行过程中飞行高度通常较高, 绝大部分鸟类的飞行高度在 150 m 以上, 其中大型鸬鹚类在 150~400 m 之间, 鹭类在 150~600 m 之间, 鸭类在 150~500 m 之间, 雁类 (包括天鹅) 在 350~12000 m 之间。风机叶片通常高度为 30~130m (陆忠民, 等. 2014)。

根据多年鸟类观测统计结果，鸟类在直接的长距离迁徙飞行高度约为 300~500 m，而风电场风机叶片高度小于 150 m，因此，风机运行对其长距离迁徙的碰撞风险不大。

此外，风电场选址避开了鸟类长距离迁徙通道（图 6-60），而该区域不是鸟类的栖息地和觅食地，偶有少数鸟类飞过，但个体数量较少，发生鸟击相撞的风险不大。

综上所述，风电场场址对长距离迁徙鸟机相撞风险较小。

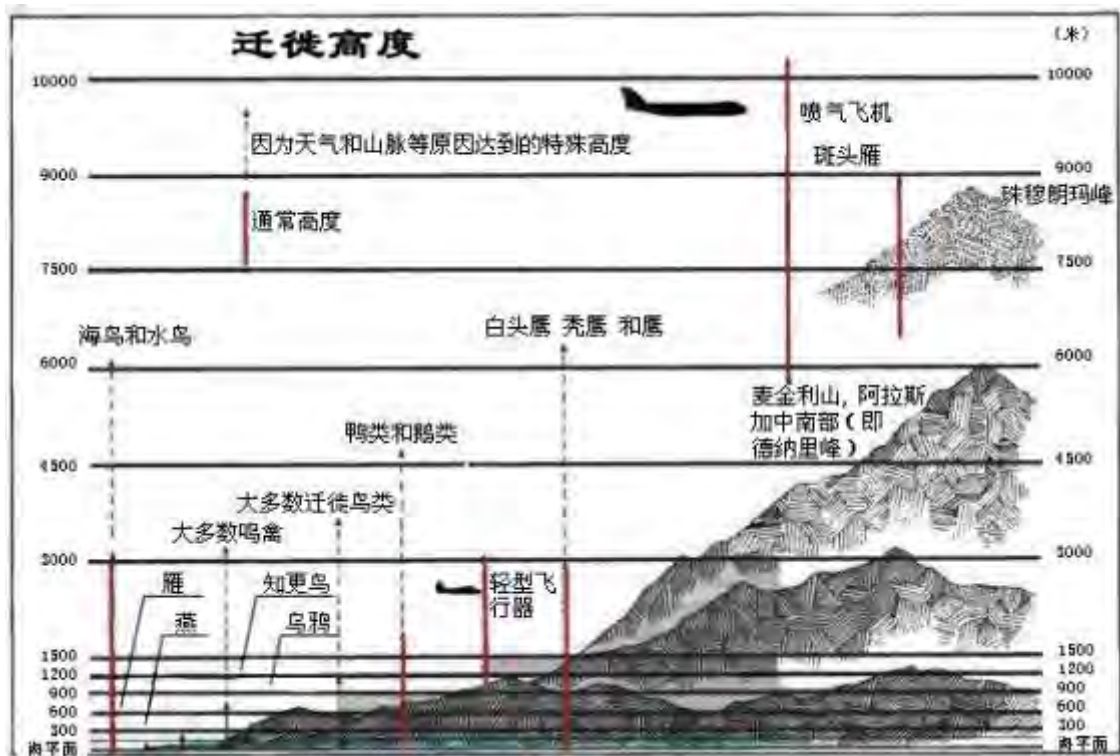


图6-60 鸟类迁徙高度示意图

6.8.4.2 短距离迁飞鸟机相撞风险

通常鸟机相撞的风险可能发生在鸟类的当地迁徙活动中，鸟类由于觅食的需要，通常会在觅食地和栖息地之间往返迁飞，这种迁飞由于飞行距离一般较短，其飞行高度通常要低于 100 m，因而增加了与风机相撞的风险概率。当然随着海上风机容量的增加，风机扫掠面积和高度都会增加和增高，鸟类撞击到风机上而死亡的风险也会随之增加。国外海上风电场研究发现，鸟类与风机相撞概率会因不同区域、不同生境以及风电场建设规模、分布鸟类的不同而存在明显差异。

Pettersson 在 Utgrunden 的海上风电场，观察到有 500000 只海鸭穿过

风电场，却没有发生一起撞击事件；Kahlert 在丹麦的 Nysted 海上风电场用雷达进行的研究表明白天大部分鸟类在距风电场 3 km 以外就开始改变飞行路线，而晚上在 1km 左右改变方向，在风机群周边飞行时表现出明显的躲避行为；同样的，Pettersson 在瑞典的 Kalmar Sound 目视观察绒鸭的移动对两个近岸风机的反应，在 150 万只迁徙水鸟中，只有 1 次撞击事件。

此外，研究发现撞击死亡率通常与风机的转速呈一定的相关关系，一般变速的风机对鸟类的影响较大。但即使如此，在许多情况下仍然有 80% 以上的鸟类可以穿过变速的风机而不受丝毫损伤。同样研究监测还发现鸟撞风机也与环境因素有关。在天气晴好的情况下，即使在鸟类数量非常多的海岸带区域，鸟类与风机撞击的机率基本为零。而大风、雨天、起雾天气和漆黑的夜晚会降低鸟类对飞行的操控能力，在这些条件下迁徙鸟的飞行高度会降低，促使鸟类与风机的撞击的风险增加，而且在恶劣天气条件下，风机上的灯光对鸟类的吸引会增强，变成影响夜间迁徙鸟类安全的一个非常重要的因素，增加了鸟机相撞的风险。

鸟类的短距离迁飞通道位于风电场北侧沿岸海域，海上偶有鸟类飞入风电场区域，但个体数量较少，因而，发生鸟机相撞的概率较低。

鸟类一般具有较好的视力，它们很容易发现并躲避障碍物，在飞行途中遇到障碍物都会在大约 100~200m 的距离下避开。因此，在天气晴好的情况下，鸟类误撞风电机的几率极小。

在鸟类迁徙遇到不良天气时，或在夜间，在有雾、烟、密云和蒙蒙雨、透视力很低的白天，鸟类飞行的高度会有所降低，发生误撞几率也会有所提高。但多数时候，在沿海迁徙的鸟类遇到不良天气通常会向沿海或内陆躲避，在外海逗留的候鸟数量较少，因此与风机相撞的几率也会降低。

经过运营一段时间后，产生的鱼礁效应，可能会吸引较多的鸥类来此觅食，从而增加鸟机相撞的风险，可能造成少量个体死亡，但这种概率不会超过 1%，这种影响是可接受的。但这种影响涉及到两个方面，一是鸥类数量的增加，另一个是相撞导致死亡，由于相关研究相对较少，具体影响还需长期监测。

6.8.5 光污染影响

风电机组设备高度较高，在日光照射下会产生较长阴影，在机组转动时，不仅会产生光影晃动，而且还将反射光线，鸟类的视觉将受到影响。但在风电场区域，鸟类个体数量不到总量的0.5%，不会影响鸟类群落及物种种群的正常发展。

6.8.5.1 综合评价

风电场运营避开了长距离迁徙和短距离迁飞通道，对候鸟迁徙影响可以忽略。风机会使鸟类产生趋避行为，在一定程度上减少鸟类的活动范围，但是随着时间的推移，部分鸟类会对风电场内的环境会产生适应性。鸟类在长距离迁徙时飞行高度较高，通常不会发生碰撞。对短距离迁飞，偶有鸟类飞入风电场区域，但个体数量较少，因而，发生鸟击相撞的概率较低。

综上所述，海上风电场不会导致海上鸟类数量的急剧下降和不可逆的损伤，对海上鸟类的影响非常有限。

6.9 环境敏感区影响分析与评价

6.9.1 碣石湾海马资源市级野生动物自然保护区

碣石湾海马资源市级野生动物自然保护区位于本项目风电场南侧10km海域，由于距离较远，本项目施工期和营运期造成的环境影响不会影响到该保护区。

6.9.2 “三场一通道”

本项目位于南海区幼鱼幼虾保护区和南海北部幼鱼繁育场保护区的范围内，金钱鱼产卵场的边缘。

本项目桩基施工和海底电缆铺设都会对水体产生扰动，进而对鱼类的洄游产卵活动产生影响，施工噪声也会惊扰鱼类产卵。另外，施工期产生的悬浮泥沙其扩散亦会对鱼卵和仔稚鱼的存活产生一定的影响。因此，本工程项目建设期间对上述幼鱼幼虾保护区和鱼类产卵场会有一些负面影响，但是每台风机基础施工持续时间皆较短，海底电缆铺设也是在不停移动，不会在某一地点持续太长时间，各种影响只是暂时的，可以认为本工程项目施工期对南海区幼鱼幼虾保护区、南

海北部幼鱼繁育场保护区和附近产卵场的影响在可接受范围内。

另外一方面，本风电场项目建成后，风机基础可起到人工渔礁的作用，对鱼类产卵和仔稚鱼、幼鱼、幼虾的生长繁育可起到保护作用。

6.9.3 养殖区

项目建设不占用养殖区。

本项目评价海域开发利用现状资料显示，海底电缆登陆点沿岸养殖有：滴水村虾苗和成虾围塘养殖，位于登陆点东北 1.50km；陆丰鹏晟种养有限公司虾苗和成虾围塘养殖，位于登陆点西南 1.03km；陆丰市碣石鸿腾海产种苗养殖有限公司鲍鱼种苗及成品浅海养殖场，位于登陆点西南 4.11km。

项目附近海域养殖区可能受到本项目施工悬沙影响。悬沙影响预测结果表明，受施工悬沙影响的只有陆丰鹏晟种养有限公司。根据现场走访了解，沿岸养殖场采取打井过滤地下水的方式取水，并且，本项目海底电缆铺设仅数天，因此，施工悬沙不会影响到附近养殖场取水。

6.9.4 人工鱼礁

登陆点东北侧有湖东三洲澳人工鱼礁区，距离项目 220kV 海缆最近距离为 2.21km。该人工鱼礁区目前并未投放人工渔礁块体，不会受到项目施工建设的影响。

6.9.5 渔民捕捞

项目拟选海区南侧海域为甲子渔场的传统捕捞作业区。该海域捕捞多采用拖网、围网的作业方式，也结合钓和刺等手段。甲子港有许多渔船，出海捕捞作业需经过拟建风电场水域，或在风电场水域进行捕捞作业，风电场建设完成后，将严格控制船舶进入风电场场区，出海渔船在风电场场区严禁拖网、抛锚等可能对电力安全造成影响的作业，风电场的建设对甲子港渔船有一定影响。

6.10 通航安全影响分析

本章节结合了武汉理工大学航运学院 2018 年 3 月编制的《汕尾后湖海上风

电场（500MW）通航安全及船舶操纵模拟试验研究（备案稿）》进行分析。

6.10.1 工程海域通航环境现状

6.10.1.1 航道和锚地分布

（1）本项目附近港口有汕尾港，本项目位于汕尾港湖东作业区外海，北侧岸边建有甲湖湾电厂码头、进港航道和锚地，以及甲子港，其中电厂进出航道位于风电场北侧 7.7km。

（2）本项目附近的航道有：中小型船舶推荐航路，位于风电场南侧 1.1km；大型船舶推荐航路，位于风电场南侧 18.9km；粤东沿岸小船习惯性航路，位于项目风电场北侧沿岸。

（3）项目北侧沿岸习惯性航路包括：风电场北侧海甲航道，位于风电场北侧沿岸，与本项目海缆交越；风电场北侧大星角甲子航道，距离风电场 3.1km，与本项目海缆交越；风电场西北侧碣石湾与海甲航道相连的航行通道，距离风电场 5.2km；风电场东北侧神泉港连港航道，距离风电场 16.4km。

（4）甲湖电厂 1#锚地位于风电场东西区之间，与风电场最近距离 2.3km；甲湖电厂 1#锚地位于风电场东西区之间靠北侧，与风电场最近距离 2.2km。

6.10.1.2 风电场区交通流量统计

根据海事局 AIS 中心提供的拟建工程附近田尾角和石碑山角 2017 年第一、第二季度船舶流量数据，单点流量最大的区域在沿岸 2-3 海里水域范围，属于沿海小船航路，在该航路上行驶的大多为小船。主要是货船、非运输船及油船，船舶交通流量 4944 艘次。船长大于 150m 的船舶仅 30 艘次，占船舶交通流数量的 0.6%，船长 90-150m 的船舶 1461 艘次，占船舶交通流总量的 29.6%，船长 90m 以下的船舶约占 69.8%。

通过对工程水域船讯网实时船舶动态截图的交通流量统计分析，时间 1600 在工程水域航行的船舶共有 5 艘，1800 在工程水域航行的船舶共有 7 艘，2000 在工程水域航行的船舶共有 8 艘。有一些较小的船舶没有配备 AIS，在 AIS 截图上没有显示，总的来说工程水域的交通流密度较大。

6.10.2 项目建设对航道通航影响分析

6.10.2.1 对粤东沿海小船航行的习惯航路影响分析

粤东沿海小船航行的习惯航路主要为来往粤东沿海各港口之间小型船舶的习惯航路，该航路小型船舶吨位较小，吃水较小，抗风浪能力较弱，船舶航行基本在近岸航行。

风电场场址接近小型船舶的习惯航路，风电场的建设对粤东沿该航路航行的船舶有影响。但风电场北边线与岸边有 10km 的距离，水深条件好（风电场水深在 23.5m~28.1m 以深），能够满足上述船舶安全通航的要求。

6.10.2.2 对中小型船舶推荐航路影响分析

该航路位于拟建风电场南侧，来往船舶数量众多，风电场南边线距离该航路北边线较近，风电场的建设对沿该航路航行的船舶有影响。但船舶只要了解风电场的存在，并与其保持一定的安全距离（保持在推荐航路上），其影响是可控的。

6.10.2.3 对沿大型船舶推荐航路影响分析

全国沿海大型船舶推荐航路位于拟建风电场南侧约 17.5 海里处，来往船舶吨位较大，数量众多，风电场南边线距离该航路北边线较远，风电场的建设对沿该航路航行的船舶影响较小。

6.10.2.4 对风电场周边其他航线影响分析

项目风场北侧有海甲航线和大星角甲子航线，项目 220kV 海缆路由北部近岸段与大星角甲子航线和海甲航线相交越，在路由勘察和电缆铺设时都应与海事部门充分沟通，发出通行公告，以策安全。

此外项目 220kV 海缆与大星角甲子航线和海甲航线交越处，水深分别为 18.0~19.0m 和 21.0~22.0m，路由跨越航道段的埋深和铺设工艺要充分考虑该航道未来升级和疏浚的影响，要有足够的埋深并加以保护。

6.10.2.5 对进出甲子港船舶的影响分析

进出甲子港的船舶吨级较小（300 吨以下），进出甲子港的船舶一般为来往

粤东各港口间船舶，抗风浪能力较弱，基本沿岸航行，拟建风电场与岸之间水域较为宽阔（10km），水深条件较好，能够满足上述船舶的安全通航，风电场的建设对这些船舶影响较小。

甲子港有许多渔船，出海捕捞作业需经过拟建风电场水域，或在风电场水域进行捕捞作业，风电场建设完成后，将禁止任何船舶进入风电场场区，出海渔船必须避开风电场场区，风电场的建设对甲子港渔船有影响。但风电场外围水域对渔船而言，可航水域开阔，可满足其通航安全要求。

6.10.2.6 对进出甲湖湾电厂码头船舶的影响分析

甲湖湾电厂有 2 个 10 万吨级煤炭码头和 1 个 3000 吨级重件码头，码头东西两侧分别建有防波堤形成港池，风电场与岸边之间水域有甲湖湾电厂码头配套的进港航道及锚地。进港航道轴线方位角 $008^{\circ} / 188^{\circ}$ ，长度 3326.78m，底宽 185m，底高程 -16.0m（需乘潮），为 10 万吨级散货船单向通航航道，码头设计代表船型设计水深 16.92m。

风电场北边线与甲湖湾电厂码头进港航道南端距离约 7.7km，进靠甲湖湾电厂码头的船舶，吨位较大，吃水较大。在没有风电场时，船舶进出该码头习惯航法需经过拟建风电场水域。风电场布置过程中，将中间的 1#锚地空出来，并在锚地东、西两侧留有足够距离，能够满足风甲湖湾电厂码头进出港通航要求。

6.10.3 对锚地影响分析

甲湖湾电厂码头配套的 1#锚地，直径为 2 海里，设计锚泊 10 万吨级轮船。甲湖湾电厂码头配套的 2#锚地直径为 1 海里，与 1#锚地相邻，两锚地外边界之间的距离为 1.4km。两个锚地的存在，限制了东区电缆路由的走向选择。

两个锚地与风电场的最近距离分别为 2.3km 和 2.2km，与海底电缆最近距离 0.9km。根据《海底电缆管道保护规定》，海湾等狭窄海域为海底电缆管道两侧各 100 米为保护范围，拟建风电场海缆与锚地间的距离，有足够的水域划定海缆保护区。考虑到锚地附近船舶的进出抛锚，锚地附近电缆埋深将在 3m 的设计埋深基础上增加 0.5~1m 埋深，确保电缆安全。

甲湖湾电厂码头配套的 1#锚地和 2#锚地用于大型船舶进靠甲湖湾电厂码头。由于进靠甲湖湾电厂码头的船舶，吨位较大，吃水较大，在没有风电场时，船舶进出该码头习惯航法需经过拟建风电场水域。风电场的建设，进出该码头的船舶必须改由风电场两端进出。风电场的建设对进出甲湖湾电厂船舶的习惯航法影响较大。但风电场建设已考虑上述情况，在风电场两端通道至进港航道处水深达 17m 的水域宽度最窄处约 2.3 海里，正常情况下能够满足甲湖湾电厂码头的 10 万吨级煤船安全进出的需求。甲湖湾电厂码头配套的 1#锚地和 2#锚地属于引航待泊锚地，通常锚泊最大风力不超过 8 级，在台风等恶劣天气下，当风力超过运输船舶的抗风等级时，运输船舶会停止运输，不会威胁到附近风机的安全。

6.10.4 对海上通讯信号的影响分析

船舶航行重要手段就是无线电通信（包括测距和定位），包括甚高频（Very High Frequency, VHF）、航海雷达与 ARPA（雷达包括船载雷达和岸基雷达）、全球定位系统（Global Positioning System, GPS）、船舶自动识别系统（Automatic Identification System, AIS）等设备。

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。另外，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。

6.10.5 附近船舶抛锚对项目海缆埋深的影响分析

路由区海上交通比较繁忙，一些随意抛锚的较大型渔船可能对埋深小于 2m 的海底电缆造成伤害。这就需要对海缆的深埋要严格要求，真正达到设计标准。电缆铺设后也需树立警示标志、发布相关海域管理通告。

7 环境风险分析与评价

参考国内外相关资料，海上风电工程施工期和运行期存在的环境风险包括：

(1) 施工期及营运期船舶事故溢油环境风险；(2) 风机桩基失稳内部油料泄漏风险；(3) 升压站倒塌内部油料泄漏风险。油料是由各种烷烃、环烷烃和芳香烃组成的混合物，大部分为液态烃，伴有气态烃和固态烃，所含基本元素是碳和氢，两种元素的总含量平均为 97%~98%，同时含有少量硫、氧、氮等，化学组分因产地不同有所差异。这些环境事故风险可能由设备自身问题、人为影响或是自然灾害如台风、海啸、地震等情况导致。

7.1 船舶事故溢油危害识别与事故频率估算

7.1.1 船舶事故溢油危害识别

本项目施工期大量施工船来往和定点作业，对通航环境造成一定影响，增加水上交通事故发生的概率；运营期，周围通航船舶存在与风机碰撞而发生交通事事故的可能。一旦发生船舶碰撞事故，就存在船舶燃料油及油船油品泄露的可能，从而给海洋环境造成巨大的破坏和打击。

根据《汕尾后湖海上风电场(500MW)通航安全及船舶操纵模拟试验研究(备案稿)》对船舶事故风险的识别结果，本项目所在海域自然环境包括能见度、风、流、浪对通航环境的影响程度为较低到一般；本项目所在海域通航环境条件对通航环境的影响包括：其他风电场对通航环境的影响程度较低，附近航线对通航环境的影响程度一般，附近锚地对通航环境的影响程度为一般。

7.1.2 事故概率估算

7.1.2.1 船舶事故溢油频率估算

(1) 最大可信事故分析

船舶碰撞引发燃料油泄漏时，采取堵漏、截留等应急措施困难，造成海洋环境污染的可能性更大。因此，最大可信事故确定为船舶碰撞引发的燃油泄漏事故。

(2) 事故溢油概率分析

1) 粤东海域交通事故发生情况

近十年来, 粤东海区共发生水上交通事故 224 宗, 沉船 44 艘, 造成直接经济损失约 2.61 亿元。其中发生在海上的事故 175 宗, 占事故总量的 78.1%; 发生在港区水域的事故 49 宗, 占事故总量的 21.9%。

224 宗事故中, 碰撞事故 125 宗, 占事故总量的 55%; 触礁事故 13 宗, 占事故总量的 6%; 触损事故 29 宗, 占事故总量的 13%; 搁浅事故 15 宗, 占事故总量的 7%; 其他事故(包括自沉、风灾、火灾等) 42 宗, 占事故总量的 19%。

2) 工程海域交通事故发生情况

近 3 年本项目所在海域没有发生上报等级水上交通事故, 临近的甲子对开水域有过船舶险情发生, 也有一些渔船的险情, 但总体来看, 水域交通安全状况良好。

7.1.2.2 风机损坏溢油事故概率

台风、风暴潮等恶劣天气会对风机产生较大危害, 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, 轻则引起部件机械磨损, 缩短风力发电机组的寿命, 严重的使叶片损坏及塔架倾覆。

本海上风机及支撑结构设计时, 考虑 50 年一遇最大风速情况下, 风机发生上述故障无法偏航, 叶片正面迎风情况下风机极端荷载, 并将其与 50 年一遇极端高潮位下累计平率 H1%波浪联合作用, 以确保风机、基础结构安全可靠。风机结构在多种作用力的同时作用下其结构才可能发生损坏, 发生事故的概率较小。

7.1.2.3 海上升压站溢油事故概率

本工程海上升压站采用导管架结构, 结构设计以极端风暴工况和地震工况为控制性工况验算单桩承载力, 极端风暴重现期取值为 100 年一遇。根据验算结果海上升压站结构稳定。升压站结构只有在多种作用力共同作用下才会出现结构损坏, 发生事故的概率较小。

7.2 环境风险影响评价

7.2.1 船舶事故溢油环境影响预测

根据本项目的的设计,可能发生溢油事故的方式在施工期主要为施工船舶发生碰撞事故产生,在运营期的渔船停泊或者其它作业过程中,也可能导致船舶碰撞而发生溢油污染事故发生。在本模型计算中,模拟最大吨位船舶的溢油事故,根据《船舶污染海洋环境风险评价技术规范(试行)》中的规定,作业船舶按 5000 吨级,对应的操作性船舶污染事故溢油量对应为 50 吨,因此,模型计算的溢油量定为 50 吨,油品为燃料油。

假设船舶燃油仓中 50 吨柴油在 6 小时内全部溢出,则溢油强度为 $Q=50000\text{kg}/6/3600\text{s}=2.31\text{kg/s}$ 。为方便预测计算,假设 300 个油粒子代表 50 吨的油料,即每个油粒子代表 167kg 的油量。由于溢油发生在不同地点时扩散范围差异较大,每个油粒子代表的溢油油膜面积和影响范围跟溢油点、溢油发生时间(涨潮、落潮)、风速、流速、波浪等因素有关,所以,每个油粒子代表的溢油油膜面积是一个受多因素影响的、不断变化的值。溢油模拟的情况只是一个大概的范围,具体的油膜范围受多种环境影响因子控制。

不可溶泄漏物多为油状液体,密度比水轻,在空气的蒸发或挥发以及在水中溶解性都很小。因此,当石油类物质溢散到水层表面时,就会发生各种变化,产生各种现象,反应出溢油的特征。首先发生的变化是快速扩散,同时产生挥发现象,挥发速度的快慢决定于石油的性质、天气状况和地形位置。溢油在自然界还可发生各种反应,如氧化反应、乳化作用、溶解作用、微生物降解等。各种反应之间都是相互关联的,这些现象和反应会造成溢油性质的改变,或者影响到水面除油的方法。因此,不可溶泄漏物溢出到海面以后,存在以下几种运动形态:

(1) 扩展由于油品比水轻,将漂浮于水面。在初期阶段由于受重力和表面张力的作用而在水面上向四周散开,范围越扩越大。这个过程称为油的扩展。

(2) 漂移是指油膜在海流、风、波浪、潮汐等因素的作用下引起的漂移。

(3) 分散油品在海面形成油膜以后,受到破碎波的作用使一部分油品以油滴形式进入水中形成分散油。一部分油滴重新上升到水面,也有部分油滴从海面

逸出而挥发到大气中。

(4) 乳化由于机械动力,如涡旋、破碎浪花、湍流等因素,使油品和水激烈混合,形成油包水乳化物和水包油乳化物。

(5) 吸附沉淀部分油品粘附在海水中的悬浮颗粒上,并随之沉到海底。

(6) 生物降解海洋环境中的微生物对水中的油品有降解作用。

油品在海洋环境中的归宿问题是个复杂的问题,由于受到各种环境条件(温度、盐度、风、波浪、悬浮物、地理位置和本身的化学组成等)的影响,每一次事故溢出物的归宿也不尽相同。其主要的影响因素有乳化、吸附沉淀和生物降解等。

溢油在水体中的运动主要表现为两种过程:在平流作用下的整体位移和在剪流与湍流作用下的扩散。溢油自身的表面扩展过程持续时间很短,而持续时间较长的运动形式主要表现为平流输运和湍流扩散。平流和湍流两种运动模式同时存在,通常称为“平流—扩散”问题。以往多数的研究方法都是基于各种类型的平流扩散方程的数值求解,这类数值方法的困难在于数值扩散问题,即数值离散引进的一种与物理扩散无关的伪扩散效应,可能存在数值扩散完全掩盖物理扩散的现象,使所得到的数值结果完全失真,不能描述真实的物理过程。

本次模拟采用“油粒子”方法来模拟溢油在海洋环境中的形成,即把溢油分成许多离散的小油滴(或小斑块)来模拟溢油在水体中的输运扩散过程。采用“粒子—扩散”概念的方法可以真实地重现许多实际观测到的溢油扩散特征。例如潮流和风将油膜拉长,波浪导致油膜的破裂等特征。

“粒子扩散”的概念,是把浓度场模拟为由大量的粒子组成的“云团”,其每一个粒子携带一定数据的示踪物质,采用拉格朗日法模拟油粒子在特定的流场条件下发生平移和位移的过程。再迭加油粒子在湍流场中的随机运动,即采用同时考虑到平流和湍流的扩散模式。

7.2.1.1 计算方程

本报告采用溢油粒子漂移模型进行预测，溢油模型采用的动力是根据潮流模型计算的结果和风场叠加后的动力，边界条件等设置见潮流模型。

油粒子模式为：假设油膜由油粒子为代表，所有油粒子在海流和风作用下作拉格朗日运动，某一油粒子其运动遵循下列运动方程控制：

原坐标为 (X_0, Y_0) 油粒子在 Δt 时间后漂移到坐标 (X, Y) 则

$$X = X_0 + u_i \times \Delta t + R_x$$

$$Y = Y_0 + v_i \times \Delta t + R_y$$

$$u_i = u_{ci} + \alpha w_{xi}$$

$$v_i = v_{ci} + \alpha w_{yi}$$

u_{ci} 和 v_{ci} 分布是坐标 (X_i, Y_i) 的海流东、北分量； w_{xi} 、 w_{yi} 为风速东、北分量， α 为风对油膜拖曳系数，采用 ECOMSI 公式， R 为随机扩散位移，同流速、流向、时间有关。

$$R_x = \beta u_{ci} \times (\alpha + 1 / e^t)$$

$$R_y = \beta v_{ci} \times (\alpha + 1 / e^t)$$

跟踪每一油粒子 (X, Y) 的位置，统计油粒子扫过的网格面积，可得油膜在各区域的面积。

7.2.1.2 计算组合方案

在本报告中分别对大潮涨潮期和落潮期发生溢油泄漏事故的情况进行计算，并选取常风向下的上风风速情况进行预测分析。

根据潮流状况与盛行风况的条件确定预测组合。潮流分涨初时刻、涨潮初始时刻发生溢油的状况；根据风玫瑰图，项目所在海区冬季的常风向为东北东向风（ENE 向），风速取最大可作业风速为 13.8m/s；夏季常风向为南南西向风（SSW 向），风速取最大可作业风速 13.8m/s；另外，为了模拟不利风向情况下的溢油扩散，选取对岸吹的风向 S 向风。模拟工况组合情况如表 7-1 和表 7-2。溢油源点见图 7-1，位于海上升压站处。

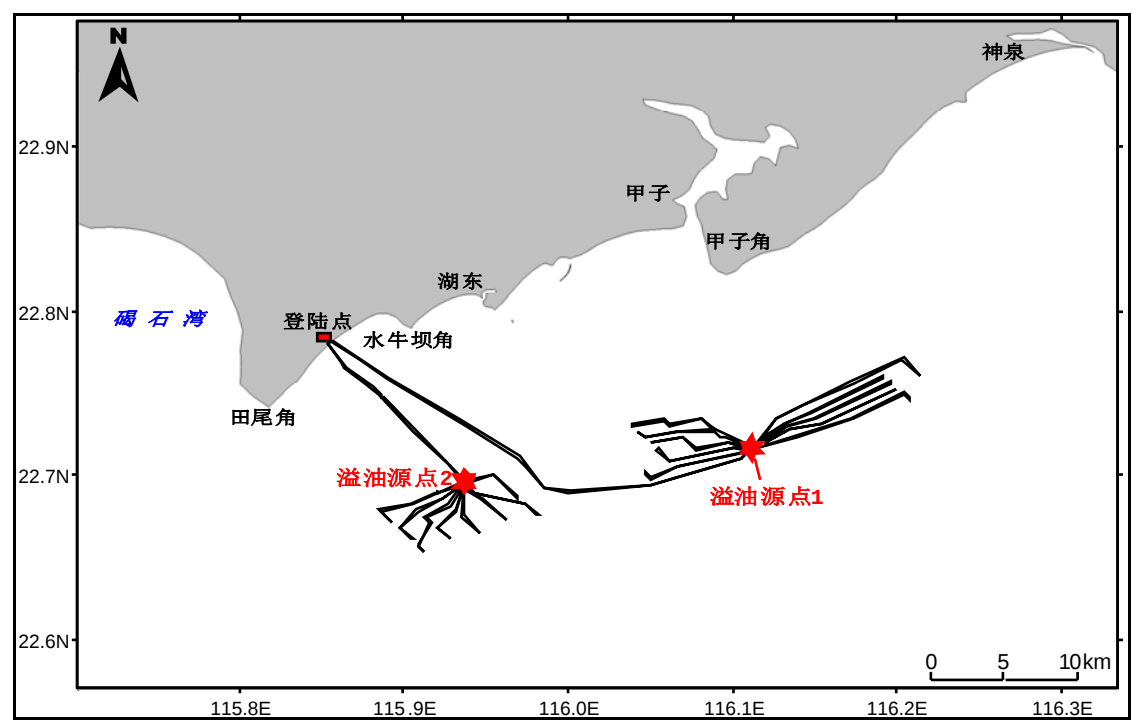


图7-1 溢油源点位置示意图

表7-1 预测风险组合 1（施工期）

方案组合	事故点	溢油量（t）	风向	风速	选择原因	溢油开始潮流状况
1	海上升压站附近源点 1	50	SSW	13.8	夏季最大可作业风	落潮
2			SSW	13.8	夏季最大可作业风	涨潮
3			ENE	13.8	冬季最大可作业风	落潮
4			ENE	13.8	冬季最大可作业风	涨潮
5			S	13.8	对岸的不利风向	落潮
6			S	13.8	对岸的不利风向	涨潮

表7-2 预测风险组合 2（施工期）

方案组合	事故点	溢油量（t）	风向	风速	选择原因	溢油开始潮流状况
1	海上升压站附近源点 2	50	SSW	13.8	夏季最大可作业风	落潮
2			SSW	13.8	夏季最大可作业风	涨潮
3			ENE	13.8	冬季最大可作业风	落潮
4			ENE	13.8	冬季最大可作业风	涨潮
5			S	13.8	对岸的不利风向	落潮
6			S	13.8	对岸的不利风向	涨潮

7.2.1.3 计算结果

(1) 预测风险组合 1 模拟结果（施工期）

根据模型预测，预测风险组合 6 种情况下溢油事故发生后的油膜漂移轨迹及其扩散范围见图 7-2 和图 7-7，各风况下的油膜的扫海面积、抵达敏感区时间见表 7-3。

从计算结果可见，不同组合情况下油膜漂移轨迹有差异，油膜漂移主要取决于风况与潮流的共同作用。

工况 1 至工况 6，由于本海区的潮流较弱，风速为 13.8m/s 时，风应力的作用占主导，溢油扩散的方向基本为顺风的方向。工况 1 和工况 2，SSW 向风作用时，油粒子向东北方向扩散，主要影响的岸段为甲子角至神泉港，溢油发生后大约 11 个小时左右即抵岸。工况 3 和工况 4，在 ENE 向风的作用下，油粒子向外海西南方向扩散，扩散的范围和距离都较大，但对近岸海域的影响较小。工况 5 和工况 6，溢油发生在落平时，油粒子主要向甲子港内扩散，对甲子港的影响大；溢油发生在涨平时，油粒子抵岸处为甲子角并向神泉港方向扩散。

由于本模型中油粒子靠近岸边即视为停止扩散运动，因此与现实中油粒子靠岸不一定即停止运动有所差异。

表7-3 各风况下的油膜的扫海面积、抵达敏感区时间（源点 1）

典型风向	风速 m/s	初始溢油时刻	扫海面积(km ²)	抵达敏感点的时间(h)(地点)	油膜是否破碎
夏季风向 SSW	13.8	落潮	42.29	11(东海重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区)	破碎
		涨潮	39.67	12(甲子角至神泉港沿岸)、6(东海重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区)	破碎
冬季风向 ENE	13.8	落潮	65.12	9(碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区)	破碎
		涨潮	63.85	10(碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区)	破碎
不利风向 S	13.8	落潮	37.12	14(甲子港)、12(东海重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区)、17(鳌江重要河口生态系统限制类红线区)	破碎
		涨潮	30.47	11(甲子港)、6(东海重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区)	破碎

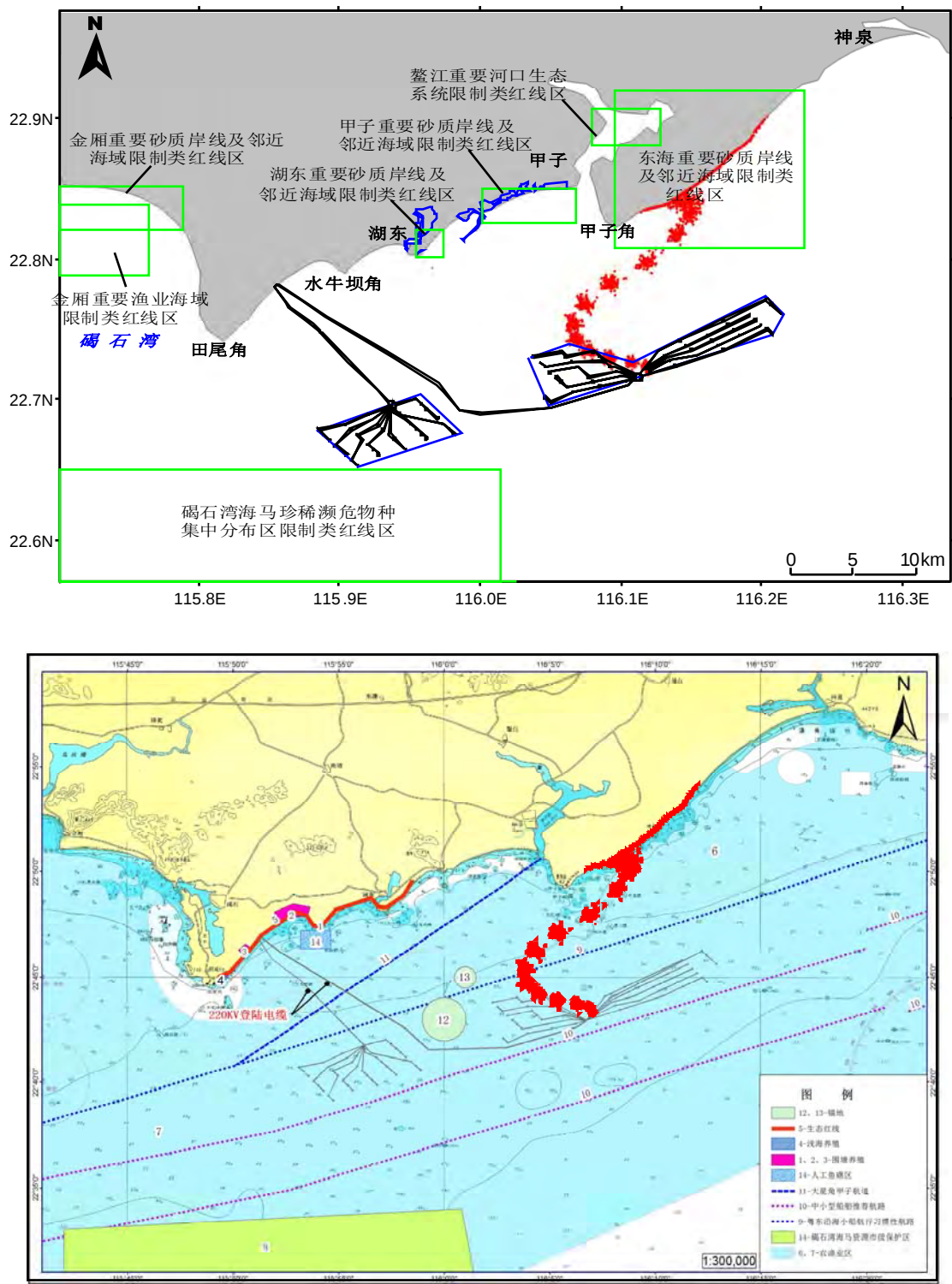


图7-2 工况1，夏季风落潮时溢油漂移路径及扩散范围（SSW，风速13.8m/s）

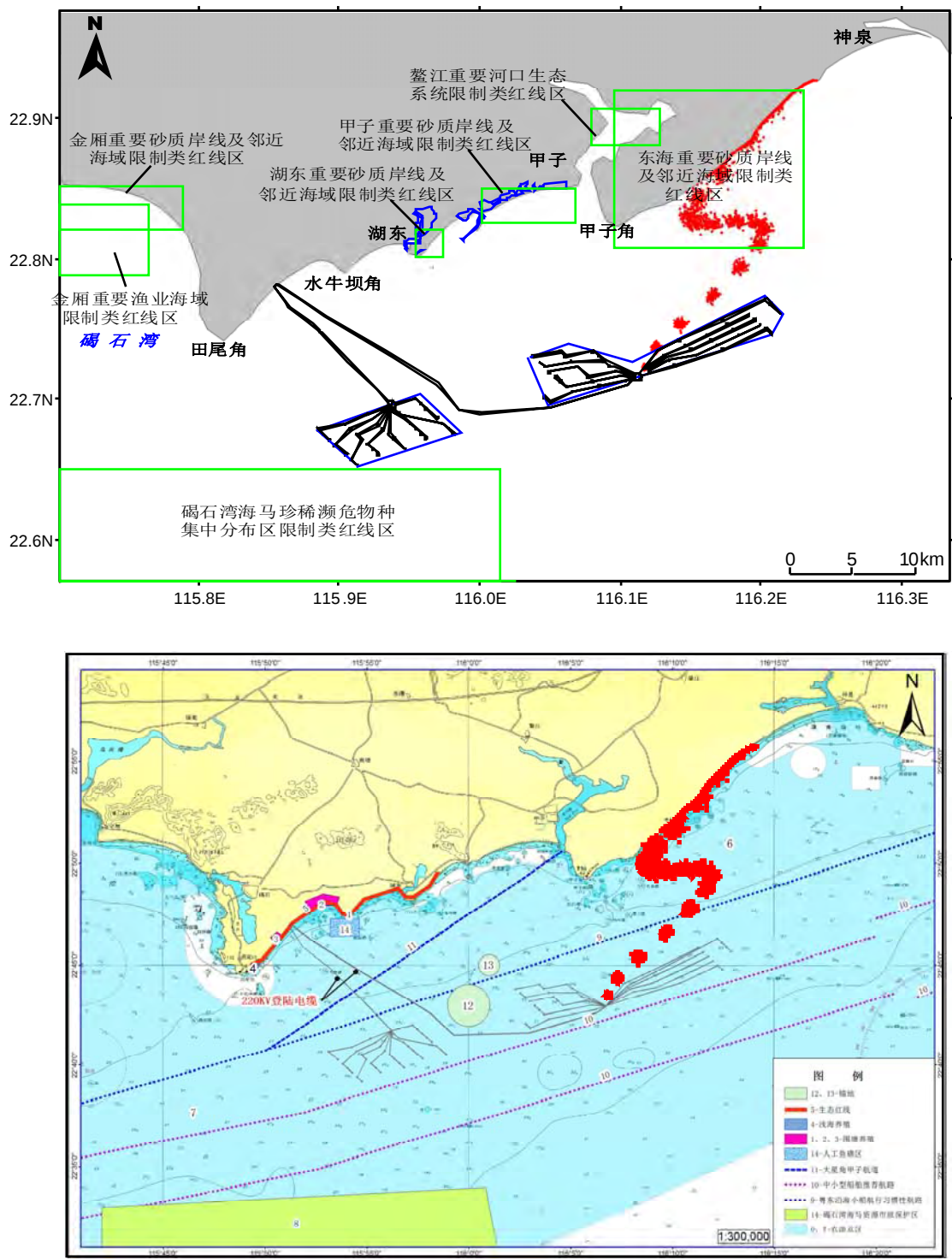


图7-3 工况2，夏季风涨潮时溢油漂移路径及扩散范围（SSW，风速13.8m/s）

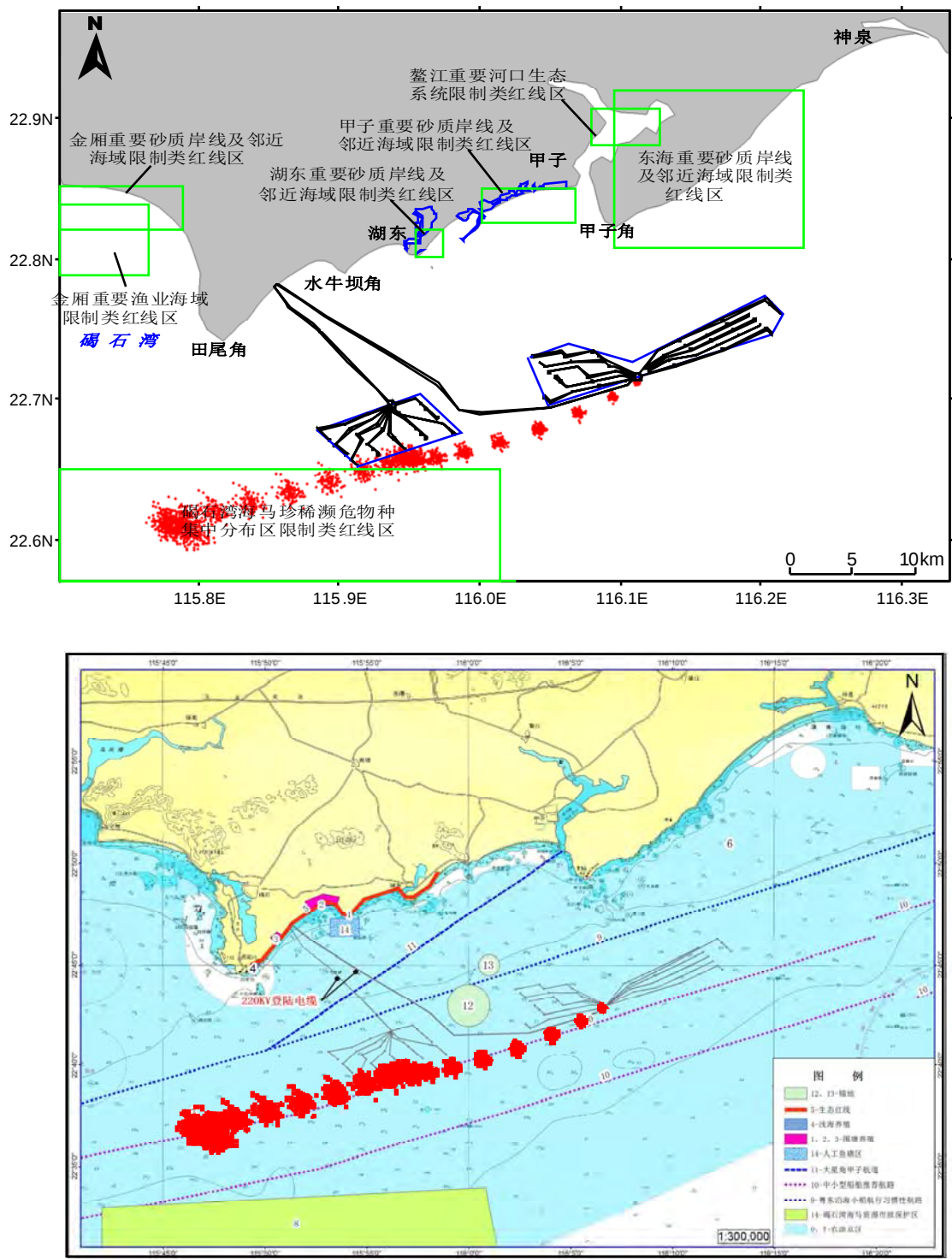


图7-4 工况3，冬季风落潮时溢油漂移路径及扩散范围（ENE，风速13.8m/s）

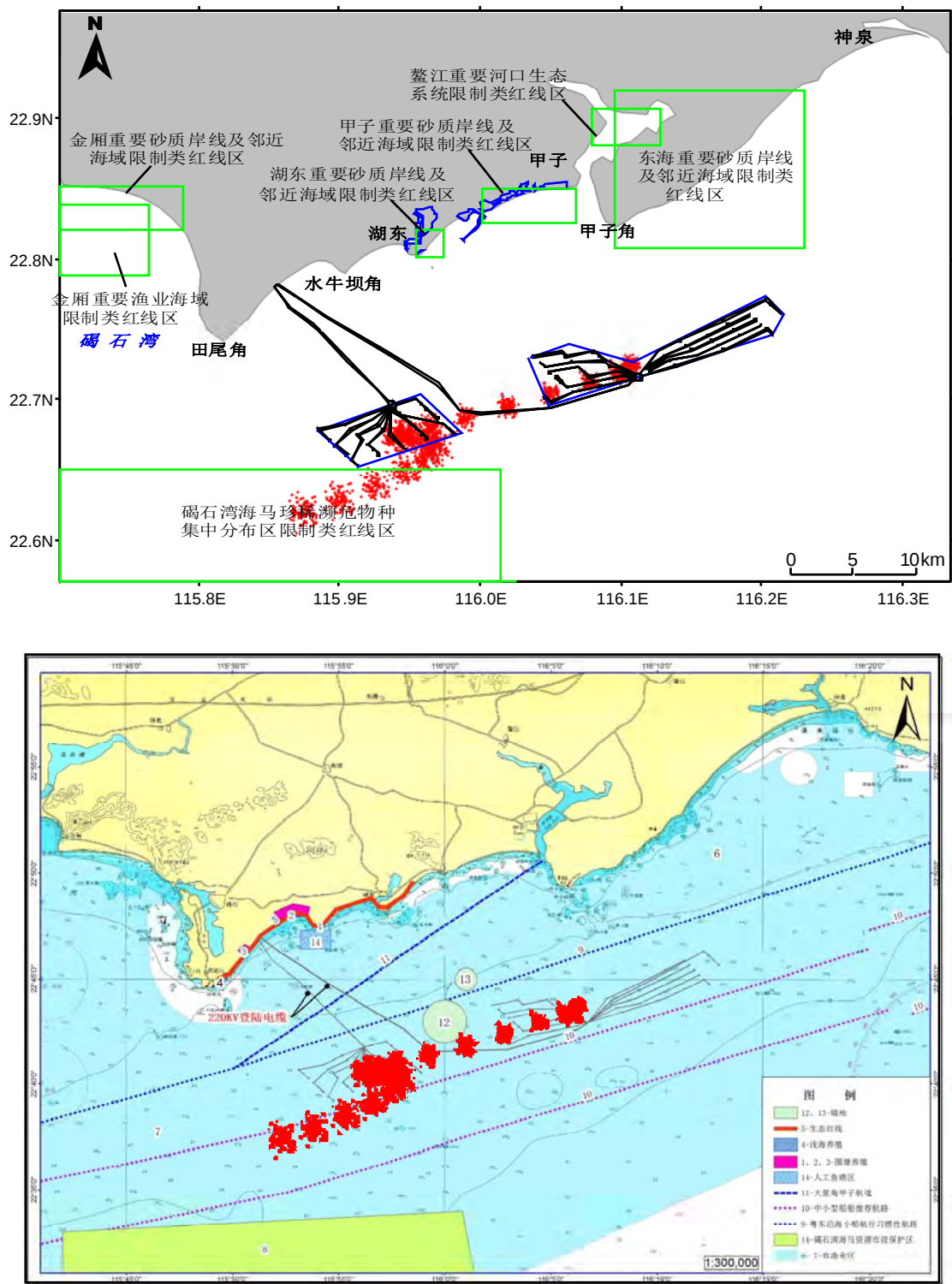


图7-5 工况4，冬季风涨潮时溢油漂移路径及扩散范围（ENE，风速13.8m/s）

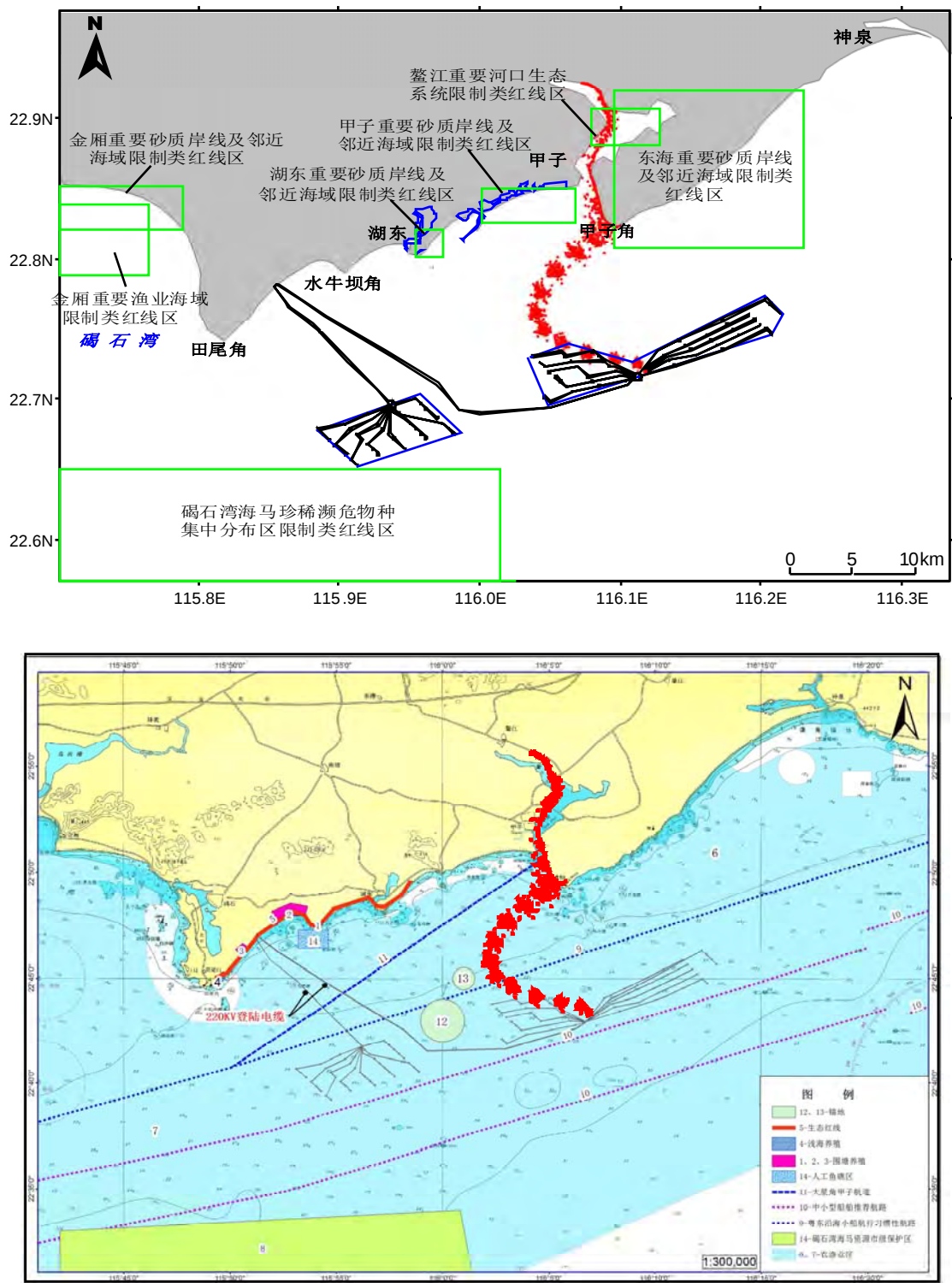


图7-6 工况5，不利风落潮时溢油漂移路径及扩散范围（S，风速 13.8m/s）

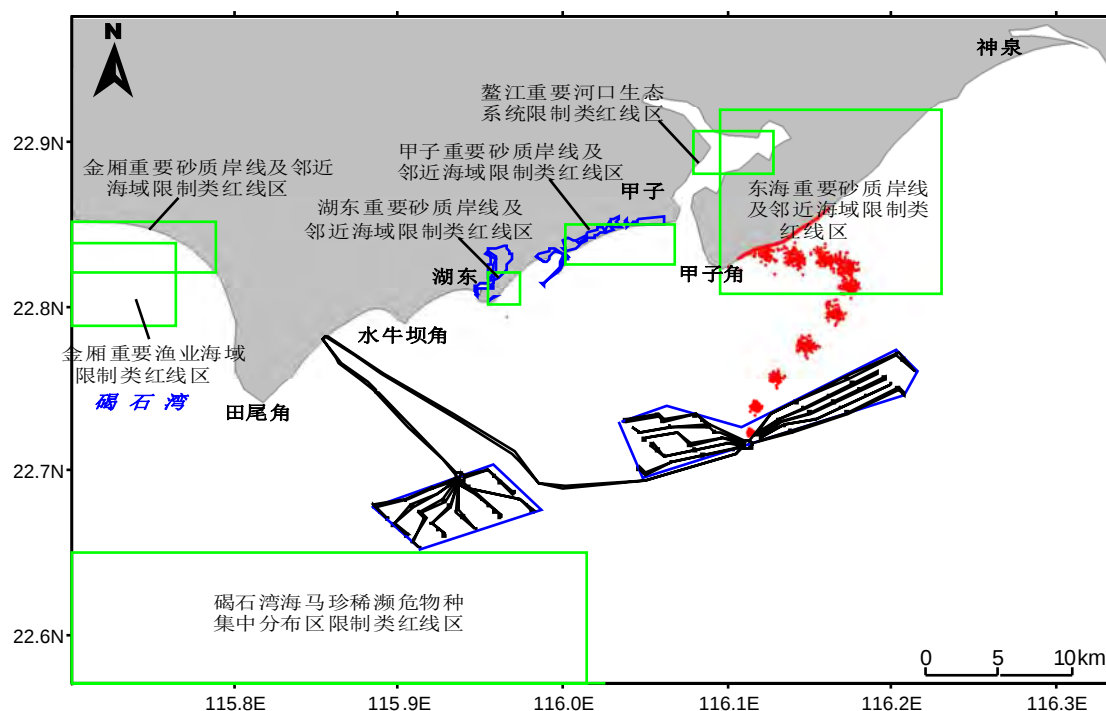


图7-7 工况6, 不利风涨潮时溢油漂移路径及扩散范围 (S, 风速 13.8m/s)

(2) 预测风险组合 2 模拟结果 (源点 2)

根据模型预测, 预测风险组合 6 种情况下溢油事故发生后的油膜漂移轨迹及其扩散范围见图 7-8 和图 7-13, 各风况下的油膜的扫海面积、抵达敏感区时间见表 7-4。

从计算结果可见, 不同组合情况下油膜漂移轨迹有差异, 油膜漂移主要取决于风况与潮流的共同作用。

工况 7 至工况 12, 由于本海区的潮流较弱, 风速为 13.8m/s 时, 风应力的作用占主导, 溢油扩散的方向基本为顺风的方向。工况 7 和工况 8, SSW 向风作用时, 油粒子向东北方向扩散, 溢油发生在落平时部分油粒子进入了湖东渔港, 大多数油粒子扩散至湖东渔港东侧海域, 将会影响到附近海岸带养殖的取水。工况 9 和工况 10, 在 ENE 向风的作用下, 油粒子向外海西南方向扩散, 扩散的范围和距离都较大, 但对近岸海域的影响较小。工况 11 和工况 12, 油粒子主要扩散范围为水牛坝角至湖东渔港海域, 其中溢油发生在涨潮初期时, 大部分油粒子都进入了湖东渔港水域。

由于本模型中油粒子靠近岸边即视为停止扩散运动, 因此与现实中油粒子靠岸不一定即停止运动有所差异。

表7-4 各风况下的油膜的扫海面积、抵达敏感区时间 (源点 2)

典型风向	风速 m/s	初始溢油时刻	扫海面积 (km ²)	抵达敏感点的时间 (h) (地点)	油膜是否破碎
夏季风向 SSW	13.8	落潮	42.26	14 (湖东渔港)、16 (养殖区域)、12 (湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区)	破碎
		涨潮	44.53	12 (湖东渔港)、14 (养殖区域)、11 (湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区)	破碎
冬季风向 ENE	13.8	落潮	65.38	6 (碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区)	破碎
		涨潮	62.51	10 (碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区)	破碎
不利风向 S	13.8	落潮	32.72	16 (湖东渔港)、	破碎
		涨潮	36.93	11 (湖东渔港)、9 (湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区)	破碎

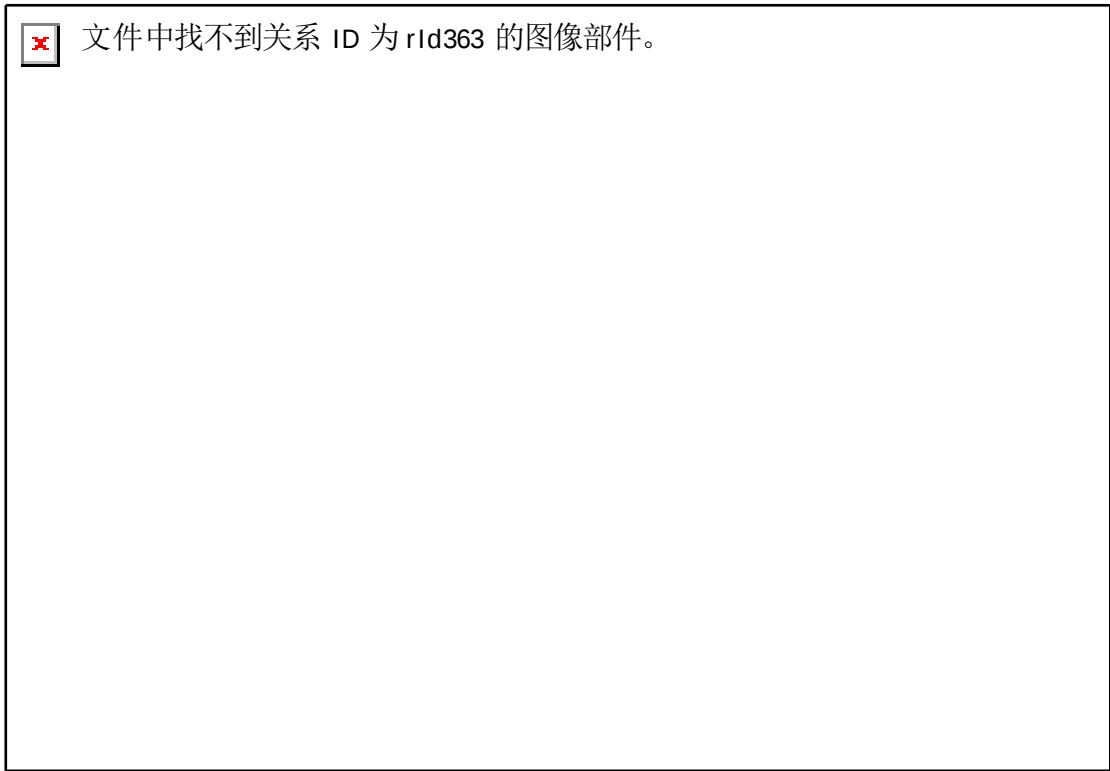
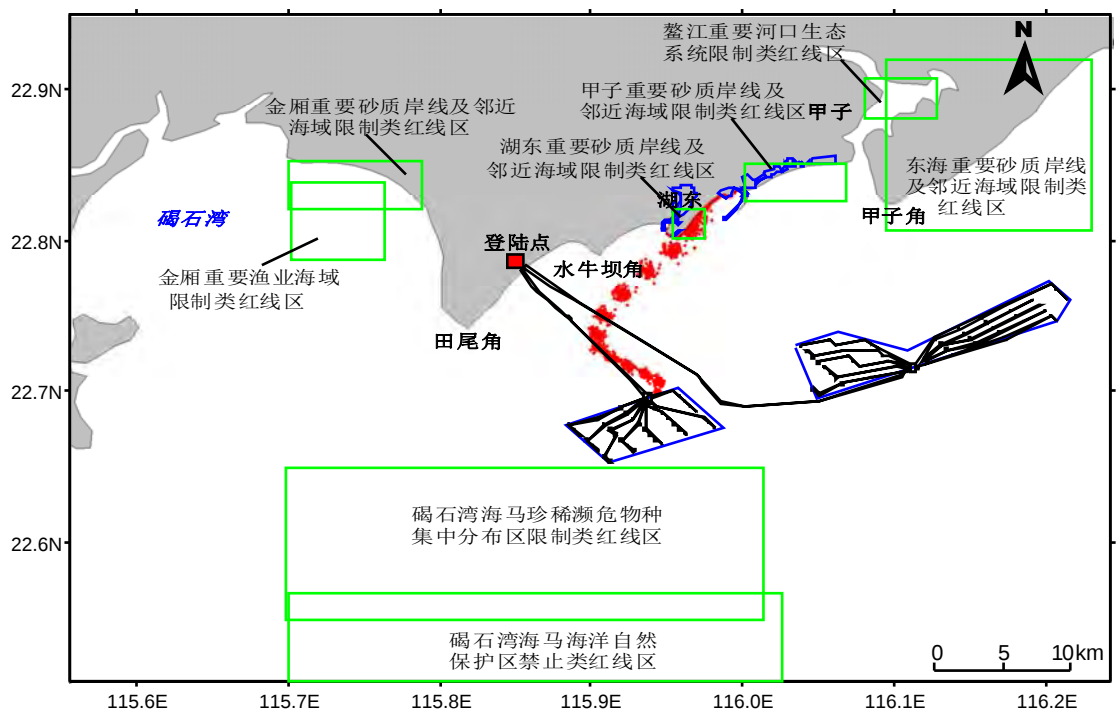


图7-8 工况 1，夏季风落潮时溢油漂移路径及扩散范围（SSW，风速 13.8m/s）

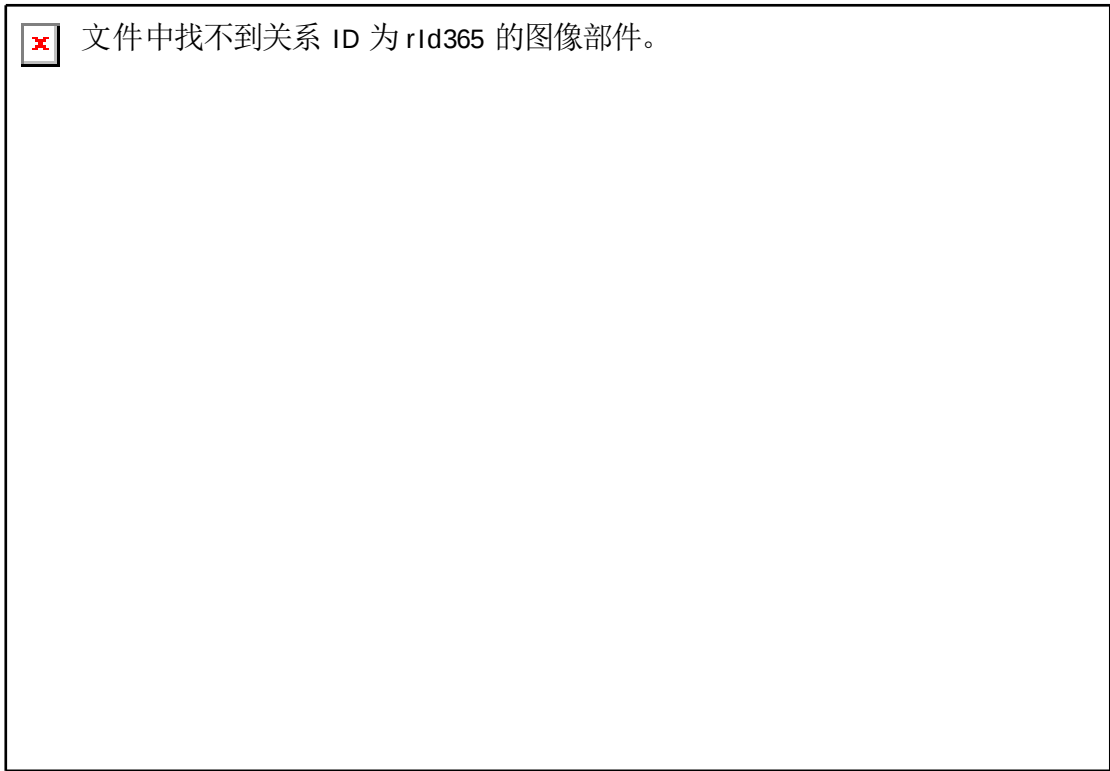
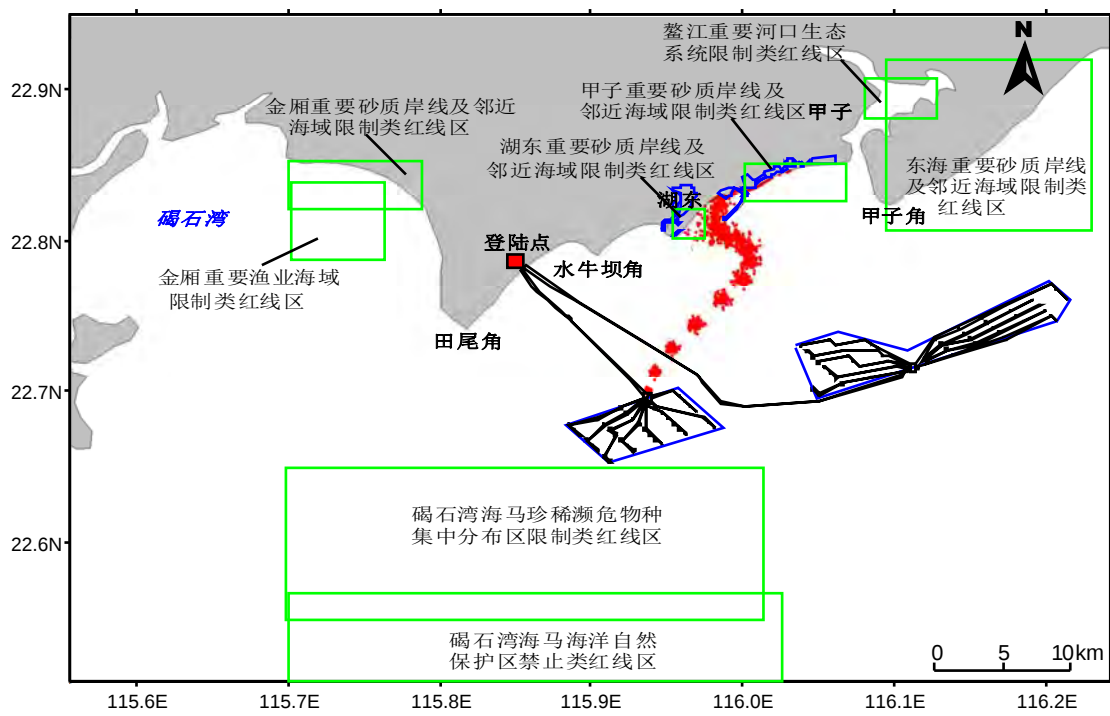


图7-9 工况2，夏季风涨潮时溢油漂移路径及扩散范围（SSW，风速13.8m/s）

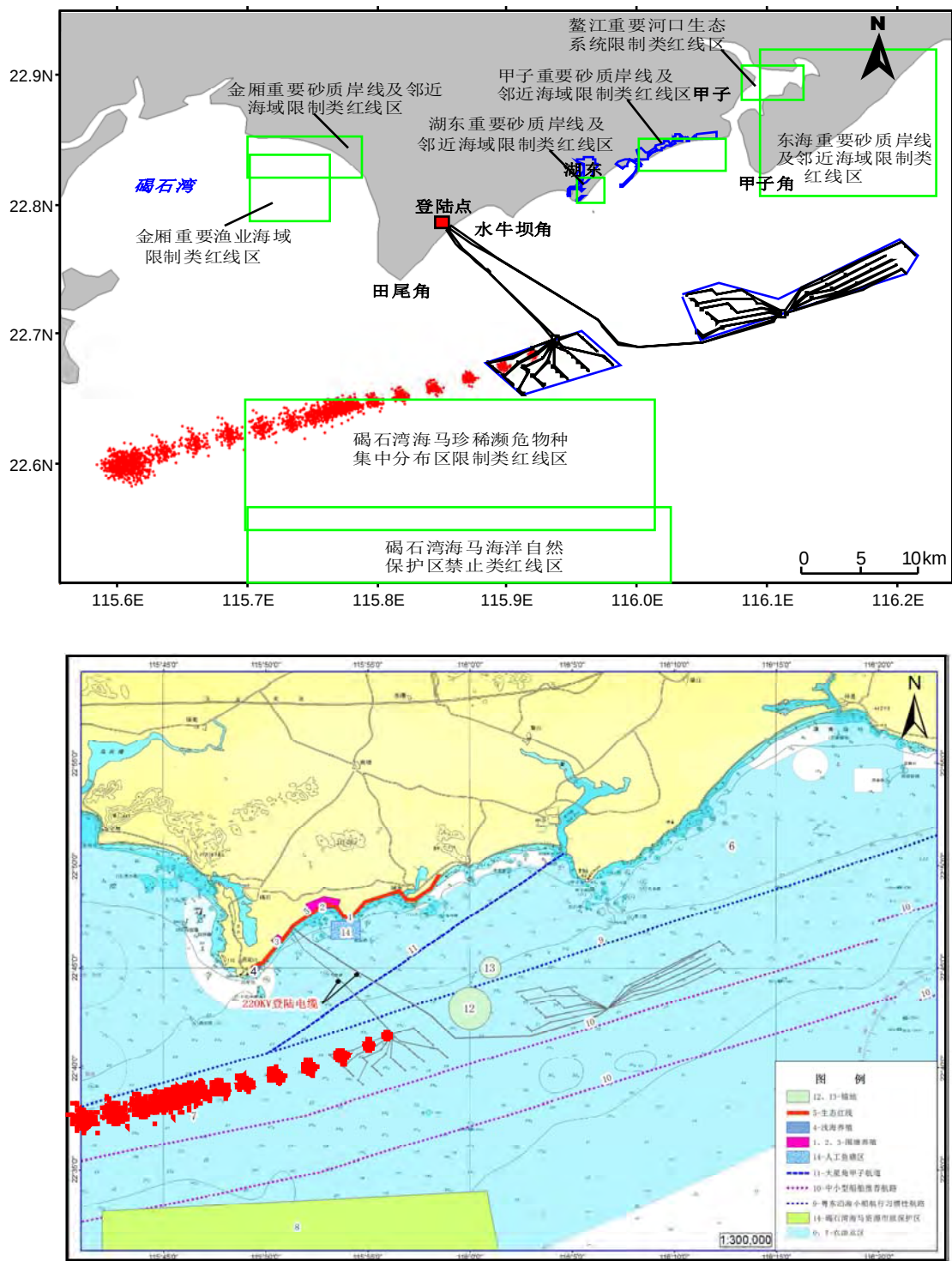


图7-10 工况3，冬季风落潮时溢油漂移路径及扩散范围（ENE，风速13.8m/s）

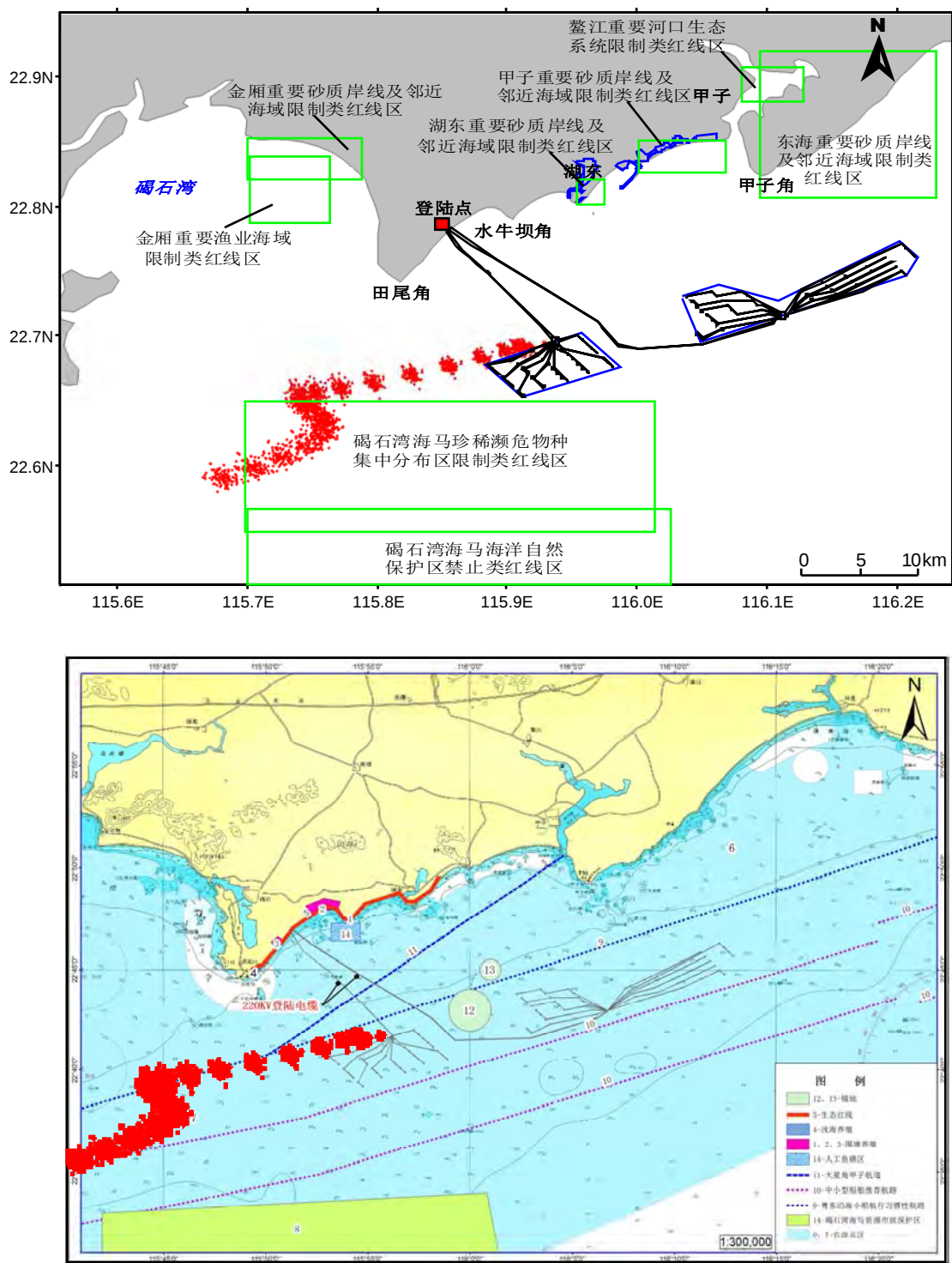


图7-11 工况4，冬季风涨潮时溢油漂移路径及扩散范围（ENE，风速13.8m/s）

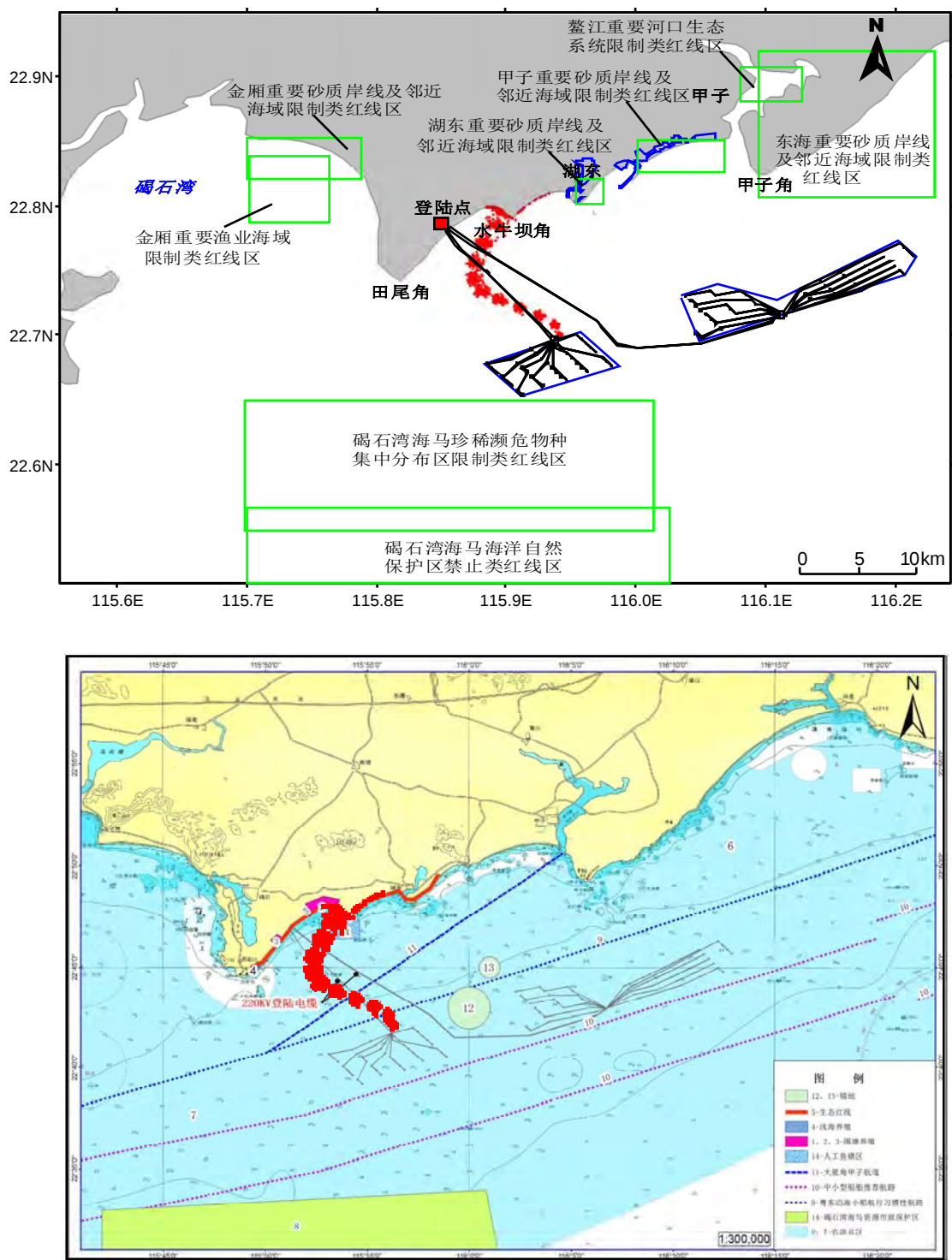


图7-12 工况 5，不利风落潮时溢油漂移路径及扩散范围（S，风速 13.8m/s）

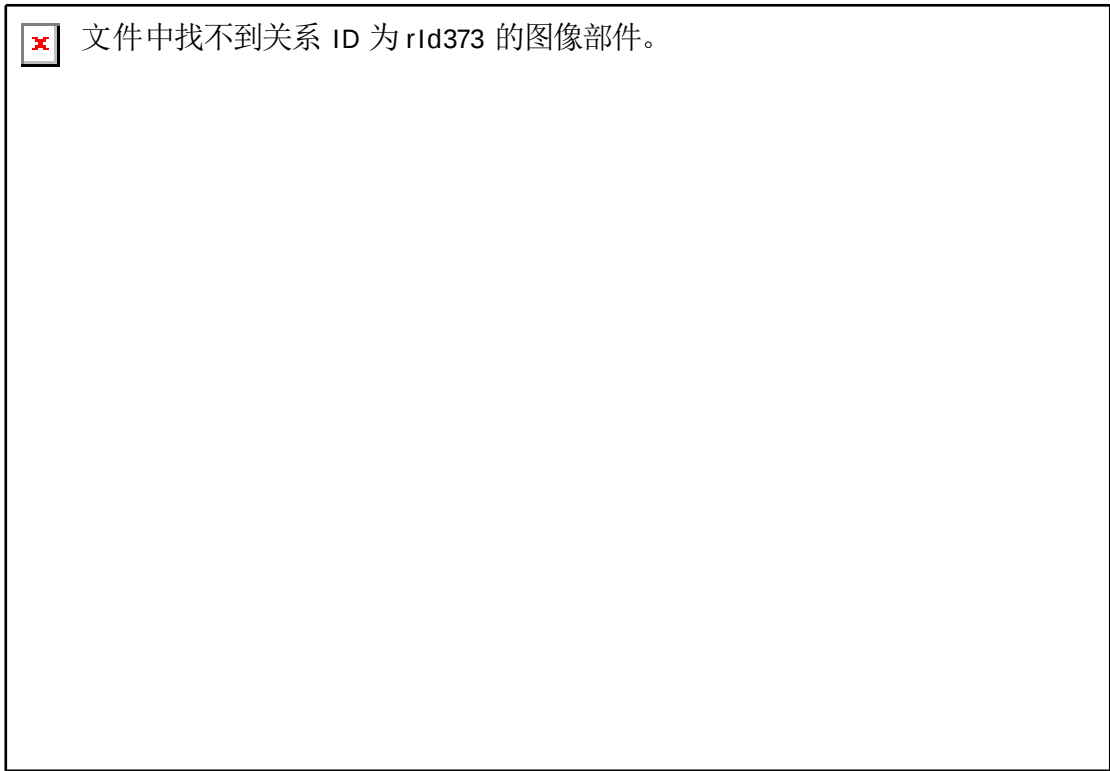
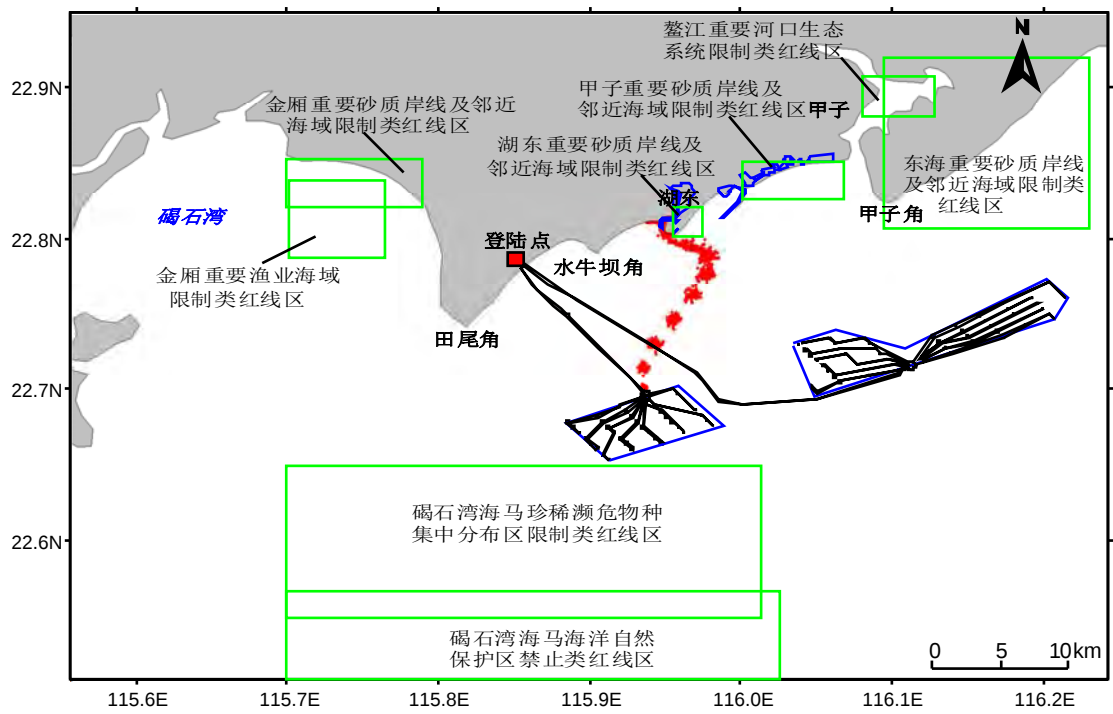


图7-13 工况 6，不利风涨潮时溢油漂移路径及扩散范围（S，风速 13.8m/s）

7.2.2 船舶事故溢油环境风险影响后果

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。

7.2.2.1 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 1mg/L 。对于更敏感的种类，油浓度低于 0.1mg/L 时，也会妨碍细胞的分裂和生长的速率。

7.2.2.2 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 $0.1\sim 15\text{mg/L}$ ，Mironov 等曾将黑海某些桡足类、和枝角类暴露于 0.1ppm 的石油海水中，当天浮游动物全部死亡。当石油含量降至 0.05ppm ，小型拟哲水蚤 *Paracalanus sp.* 的半致死时间为 4 天，而胸刺镖蚤 *CentroPages*、鸟缘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。

7.2.2.3 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 $2.0\sim 15\text{mg/L}$ ，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含量很低的石油，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，即使海水中石油含量只有 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 $0.1\sim 0.01\text{ppm}$ 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。

7.2.2.4 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鲮鱼仔鱼 *Mugilcephalus* 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鲮鱼的 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 *Paralichthy olovaceus* 的 96h-LC50 值分别为 1.0mg/L 和 1.6mg/L。20 号燃料油对黑鲷 *Spares macrocephaius* 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。

7.2.2.5 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。

7.2.3 风机和海上升压站倒塌溢油环境风险影响评价

7.2.3.1 风机和海上升压站倒塌的可能

(1) 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) 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。

7.2.3.2 风机和海上升压站倒塌溢油环境风险影响

风机带油设备为变压器，每台变压器带油量在 5t 内。海上升压站带油设备有主变和柴油机，两台主变带油量在 100t 内，柴油机带油量在 10t 内。基础倒塌将引起的海上升压站和风机落入海中，其本身带有的油类进入海水中造成环境污染。

7.2.4 变压器油泄漏风险分析

变压器油是天然石油中经过蒸馏、精炼而获得的一种矿物油，是石油中的润滑油馏份经酸碱精制处理得到纯净稳定、粘度小、绝缘性好、冷却性好的液体天然碳氢化合物的混合物。俗称方棚油，浅黄色透明液体，相对密度 0.895。凝固点<-45℃，比热容约为 0.5（卡/克*度）主要由三种烃类组成，主要成分为环烷烃（约占 80%），其它的为芳香烃和烷烃。变压器油的泄漏会导致周围海洋环境受到污染，处理不当甚至可能发生火灾等事故。

一般事故情况下，海上升压站主变与采油机房溢油将进入事故油罐中，风机和海上升压站倒塌事故概率较小，因此升压站溢油事故概率很小。

7.3 环境风险防范对策措施和应急方法

本风电场评价区域范围内环境敏感目标较多，施工期间在工程海域发生溢油事故后，油膜在较短的时间内即可到达周边环境敏感目标，溢油事故的应急处置工作难度较大。因此，应严格加强施工期施工船舶的安全管理，杜绝事故的发生。同时要加强突发事件的风险防范和应急处置能力建设，一旦发生溢油事故，应尽快采取阻拦措施，并组织人员进行油品的回收工作，尽量减小或降低污染范围和程度。

7.3.1 施工期船舶事故溢油防范措施

- (1) 制订切实有效的安全管理措施和一旦发生突发性事故的应急预案。
- (2) 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，并认真落实安全管理措施和发生突发情况的应急措施。
- (3) 根据工程施工方案，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，应于明显易见处，显示港口规定信号（白天显示旗号、夜间显示灯号）。
- (6) 施工船舶应配置有效的通讯工具并指派专人守听，应指派专人值班瞭望，密切注视周围船舶动态。
- (7) 白天在艏悬挂经旗，夜间用探照灯向开锚锚位处水面照射，避免施工船舶所开锚对过往船舶造成危害影响。
- (8) 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。
- (9) 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。

(10) 施工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。

(11) 施工单位应拟定水上交通安全维护方案, 并通过宣传使有关航运单位、航行船舶及从事捕捞作业的渔民了解工程内容、施工范围和工期等。

(12) 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。

7.3.2 营运期船舶事故溢油防范措施

(1) 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。在风电场场界连线外侧 300m 考虑设置一排黄色航行警示标, 以警示船舶有效避让。

(2) 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, 与海事主管机构随时保持通讯联系, 以便在发生突发事件能及时获得海事主管机构的应急救援。

(3) 向海事主管机关申请发布航行通告和航行警告, 提出协助进行水上安全维护申请。并在以后出版的有关海图上进行标记。

(4) 对风机周围加装防撞保护, 避免渔船碰撞引发事故。

(5) 建议船舶尽量远离风电场水域航行, 减少船载雷达阴影区, 船舶过往需要加强了望, 谨慎驾驶, 通过调整雷达增益改善显示效果。

(6) 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、设备的安全状况及导助航设施等的工作状况, 减少影响通航安全的因素发生。

7.3.3 船舶事故溢油环境风险应急措施

根据国家环保局(90)环管字 057 号 8 文要求, 通过对污染事故的风险评价, 制定防止重大环境污染事故发生的工作计划, 消除事故隐患的措施及突发性事故应急处理办法等, 一旦出现重大事故, 能有效的组织救援, 及时控制污染、

减少污染损失。

风险事故发生后，能否迅速而有效地作出应急反应，对于控制污染，减少污染损失以及消除污染等都起着关键性的作用。为使本工程施工和运行期对于一旦发生的溢油事故能快速作出反应，最大限度地减少事故污染对工程海域的灾害性损失。

建立应付突发性事故的抢险指挥系统，组织制定一份可操作的风险应急行动计划，定期进行演习是非常必要的。此外，建设单位应委托有资质的单位编制应急预案。

7.3.3.1 溢油风险事故的应急计划

建设单位应在工程开工前制定一份可操作的溢油应急行动计划，应急计划主要包括如下几个方面：

①溢油应急指挥组织和溢油处置联络机构；

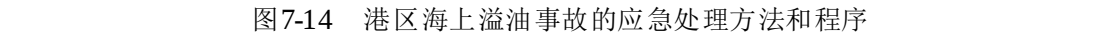
②溢油处置作业队伍的建设；

③溢油应急设施的配备；

④溢油应急反应及油污处置方法；

⑤有关回收油和油污废弃物处置的方案，具体处置方法和技术可参照《南海海区溢油应急计划附件 G》执行。

港区海上溢油事故的应急处理方法和程序如图 7-14。



7.3.3.2 应急响应通知程序

中国科学院南海海洋研究所 (SCSIO) - 428 -

安、消防部门、环保部门和港监部门。

7.3.3.3 应急措施程序

1) 一旦船舶发生碰撞造成燃油泄漏时,要及时在泄漏点四周布设围油栏,用最快的办法将船舱内的油品用泵输送、转移到另一艘油船中去;

2) 当溢油发生后,应根据溢出量的大小、油的扩散方向、气象以及海况条件,迅速估算出围油方向和面积,缩小围圈,用吸油船最大限度地回收流失的油,然后加消油剂进行分散乳化处理,破坏油膜,减轻其对海域的污染;

3) 组织抢险队和救护队迅速奔赴现场。抢救伤员,同时采取防止事故蔓延或扩大的措施;

4) 在现场领导小组的统一组织指挥下,按照制定的抢修方案和安全技术措施,周密组织,分工负责,在确保安全的前提下进行抢修。

7.3.3.4 应急计划区

本工程应急计划区主要为风电场区、电缆敷设线路附近。应急事件包括船舶碰撞、倾翻、海上升压站油品泄漏等突发性海上溢油事故。

7.3.3.5 应急指挥组织

项目公司成立船舶污染预防及事故应急指挥部(以下简称应急指挥部),下设运行监督办公室,负责风电场日常运行安全监管及船舶污染事故上报、应急响应、支持保障和善后处理等工作。运行监督办公室设在项目公司中控室,应急指挥部应服从汕尾海事局。

应急指挥部按各自职责设立溢油应急处置小组:通信组、工艺组、溢油清理组、现场救护组、警戒组、后勤保障组、防火组、油污处理组。各小组主要职责包括: 通信组:负责应急指挥与事故现场的通信联络,确保应急救援指令的下达和现场各种信息的反馈及通信的畅通。

工艺组:及时关闭相关阀门,控制溢油源,防止事故进一步扩大。

溢油清理组:做好溢油堵截围控工作,回收泄漏油品,对溢油现场进行清理。

现场救护组：做好伤病员的接受和医疗，提供现场进行救护等。

警戒组：保持交通畅通，注意现场警戒，实行隔离，注意溢油漂移动向，并及时向指挥部报告。

后勤保障组：提供应急所需的器材、材料及生活用品，保障应急电力供给，负责应急设备的维修。

防火组：防止火灾发生，一旦发生火灾立即实施灭火应急计划。

油污处理组：负责处置油污物的工作，防止二次污染。

7.3.3.6 应急器材设备

本项目船舶带油量小，建设单位可在施工船舶上储备少量的污染防治物资、设备和器材，如围油栏、活性炭等，应对跑冒滴漏等小范围的溢油。对于大范围的漏油，发生的可能性较低，一旦发生严重的溢油事故，应充分利用现有的和区域可协调的应急设备能力。建设单位应与周边地区具有船舶泄漏和救援队伍的单位、地方海监和海事等相关部门建立联动机制。表 7-5 是风电场北侧汕尾甲湖湾电厂配备的溢油应急设备。

表7-5 汕尾甲湖湾电厂溢油防范应急设施配备一览表

序号	应急设备名称	规格	数量	单位
1	围油栏	PVC 1100 型	1200	m
2	小型收油机	ZSPS10	1	台
3	收油网	SW3	1	套
4	环保型消油剂	GM2	0.5	t
5	便携式消油剂喷洒装置	PS40	1	套
6	吸油毡	PP-2	1	吨
7	轻便式储油罐	FN10	1	m ³
8	人员防护器材	每套包括安全帽、口罩、防化服、靴子、手套、安全鞋等	5	套
9	围油栏布放船	船长≥10m	1	艘

7.3.3.7 应急通讯系统

项目所具备的现代化通讯设备，能够满足溢油应急通讯的需要，无须另行设置新的专门通讯系统。

7.3.3.8 事故溢油应急预案的区域联动

本项目事故溢油应急预案的区域联动和应急组织机构图见图 7-15。

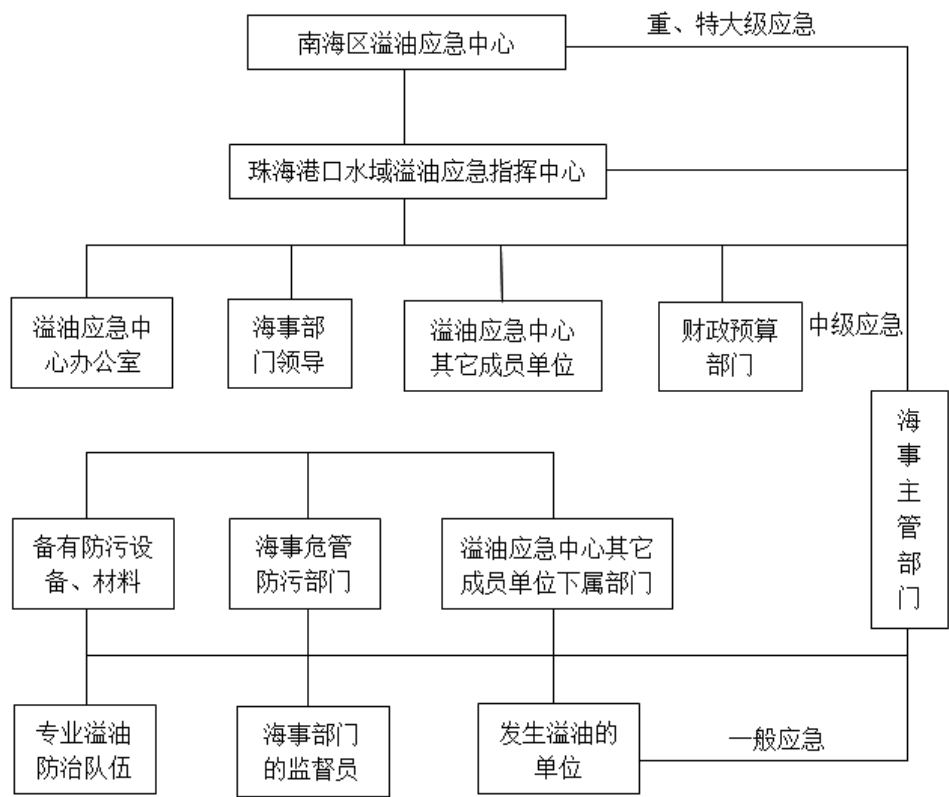


图7-15 应急预案区域联动和应急组织机构图

7.3.3.9 预警和报告

(1) 信息收集与预警

运行监督办公室应通过监视系统及时收集掌握在风电场海域发生的船舶污染事故信息，发现或接报污染事故后立即向应急指挥中心报告，通知应急指挥部的成员到达事故现场。总指挥到达事故现场后，立即成立现场指挥部，总指挥根据现场情况预测可能造成的后果和污染危害程度、紧急程度、发展事态，判断环境污染事件危险性，将预警信息向汕尾海事局水上安全指挥中心逐级上报，由安全指挥中心确定预警等级。

预警信息包括突发事故的类别、起始时间、可能影响范围、警示事项、应采取的措施和发布机关。预警信息的发布、调整和接触可通过广播、电视、报刊、通信、信息网络、警报器、宣传车或组织人员逐户通知等方式进行，对老幼病残

孕等特殊人群以及特殊场所和警报盲区应当采取有针对性的公告方式。

特别重大或者重大突发事故发生后，要立即报告，通报有关地区和部门，应急处置过程中，要及时续报有关情况。

(2) 上报程序

运行监督办公室在中控室监视发现污染事故发生后应立即向应急指挥部报告，由应急指挥部向汕尾海事局水上安全指挥分中心报告，最多不超过 5 分钟。报告内容应包括：发现污染事故的时间、地点，船名，污染物品名，污染范围，当时海况等。

同时应急指挥部通知项目周边的企业单位进行应急准备，调配其应急设施。

7.3.3.10 应急响应及行动

船舶溢油污染事故发生后，应急处置中心应在第一时间获取事故的相关信息，并立即向海事局水上安全指挥中心、海上搜救中心或防汛指挥中心报告，应急决策部门根据事件信息和监测数据，开展应急评估，进行综合分析，确定应急等级。根据海上船舶污染事故专项应急预案及海上管理相关文件确定应急响应等级。

应急决策部门在确定应急响应等级后，立即实施相应的应急计划，迅速开展具体的应急行动，包括人员组织和应急处置资源调配、现场的控制和清理、水上交通管制、应急监测、信息公开发布等。风险事故应急反应程序如图 7-16。

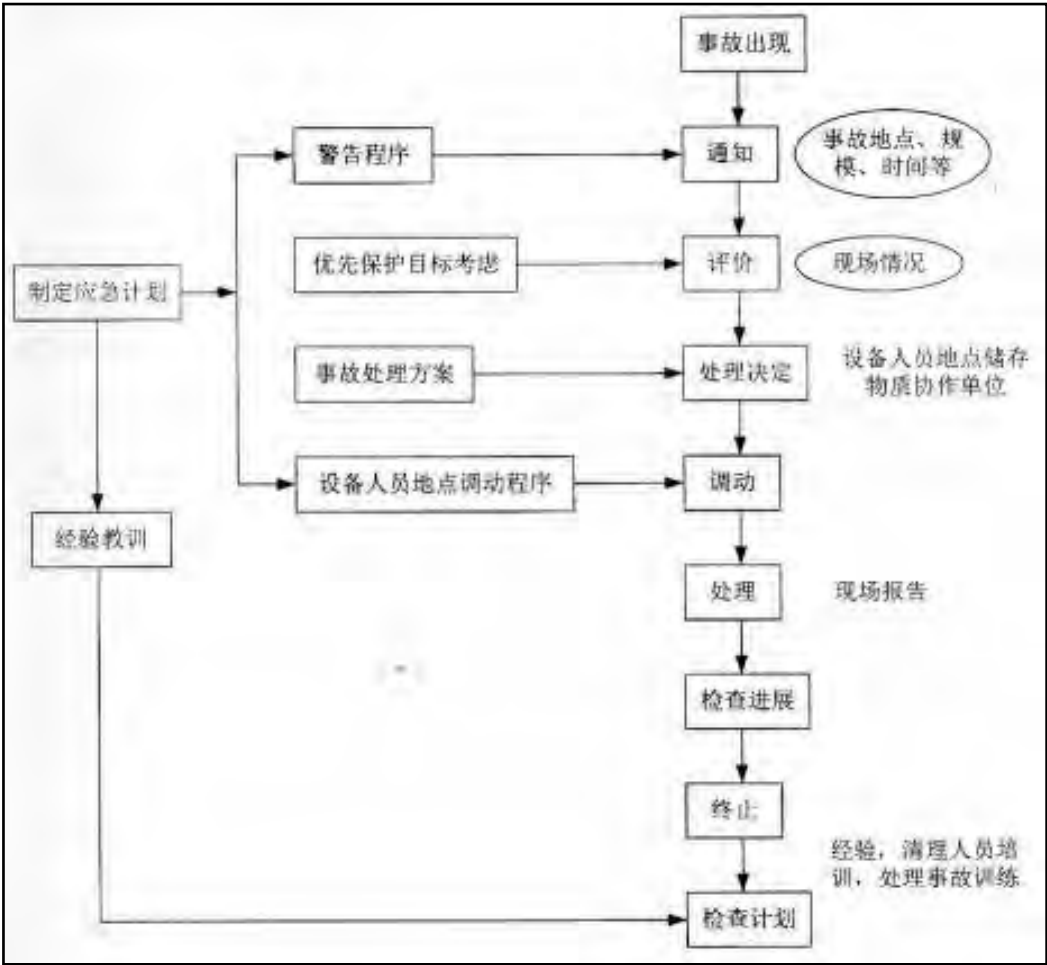


图7-16 风险事故应急反应程序

7.3.3.11 应急保障

本项目位于汕尾市近海海域，目前包括汕尾港在内的广东海事局管辖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汕尾海事局等单位、企业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。

7.3.4 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，将及时上报海事部门，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，立即上报海事部门，调配周边的溢油处置设备对落入海洋的油污进行处理。

8 清洁生产与污染防治对策措施

8.1 清洁生产水平分析

8.1.1 清洁能源利用

清洁能源，也称非碳能源，它在生产时不生成 CO_2 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 8-1 对目前常见的几种发电能源的环境影响进行了比较。

表8-1 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	备注
土地 占用	原始能源	0	5	2	4	3	5	5	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
	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	

从表 8-1 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。

8.1.2 节约能源

本项目总装机 500MW, 年上网电量约 1352GWh。根据中国电监会统计资料, 2012 年, 我国火电供电煤耗平均为 324g/kWh。据此计算, 本项目运行期可节约火电燃煤资源消耗 43.81 万 t/a。

8.1.3 污染物减排

风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 SO_2 、 NO_x 和烟尘在内的有害气体; 根据国家统计局、中国环境科学研究院统计和国家发改委能源研究所, 目前国内燃煤发电主要大气污染物排放水平见表 8-2。

风力发电对 CO_2 等温室气体减排水平, 本报告参照联合国《Revision to the approved consolidated baseline methodology ACM0002 “Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources”》【经批准的可再生能源发电并网项目整合的基准线方法学 (2006 年修正版)】中有关计算方法, 风力发电温室气体排放视为 0 或碳中性, 其排放基准线 (Baseline) 以本风电场并入的华东电网排放水平构建。根据国家发展改革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 t CO_2 /MWh。

表8-2 中国化石燃料燃烧大气污染物排放系数

大气污染物	排放系数 (t/tce)
SO_2	0.0165
NO_x	0.0156
烟尘	0.0096

根据上述数据, 在考虑火电行业 90%脱硫率, 50%脱硝率和 99%除尘效率后, 与火力发电相比, 本项目运行每年可减少排放二氧化硫 (SO_2) 722.86t/a, 氮氧化物 (NO_x) 3417.18t/a, 烟尘 42.06t/a, 减少排放温室效应气体二

氧化碳（CO₂）119.31 万 t/a。

综上所述，本项目利用风能这一清洁能源进行发电，比较传统的火电技术，本项目具有节约能源，降低污染物排放等明显的优点。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。

8.1.4 风机选型

首先，从单机容量角度评价，本工程推荐的 5.5MW 单机容量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。国外已建、在建海上风电场见表 8-3，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较大规模，充分代表了海上风电场大型化、集约化的发展方向。因此，本工程设备选型符合海上风电机组技术发展方向，也适应工程所在海域的自然环境特点。

表8-3 国内外海上风电场建设情况

国家/地区	风场名	风机商/风机型号	风机数量/装机容量
比利时	Thomtonbank	Repower 5M	6urbines30 MW
中国	Liaodong	Goldwind	1 turbine 1.5 MW
	Shanghai East China Sea Bridge	Sinove SL 3MW/90l	34turbines 102 MW
丹麦	Avedøre	Siemens SWT-3.6MW-120	3 turbines 12 MW
	Frederikshavn	Vestas V90/3MW	1 turbine 3 MW
	Horns	Vestas V80/2MW	80 turbines 160MW
芬兰	Kemi	Winwind WWD-3MW-100	10 turbines 30 MW
德国	Emden	Enercon E112/4.5MW	2 turbines 9 MW
	Hooksiel	Bard 5MW	1 turbine 5MW
爱尔兰	Arklow	GE 3.6sl-3.6MW	7 turbines 25.2 MW
日本	Choshi	Repower MM70-2MW	1 turbine 2 MW
	Kamitsu	Subaru Subaru 80/2.0	7 turbines 14 MW
	Sakata	Vestas V90/2000	5 turbines 10 MW
荷兰	Noordzeewind	Vestas V90/3MW	36 turbines 108 MW
	Prinses	Vestas V80/2MW	60 turbines 120 MW
挪威		Siemens SWT-2.3MW-93	1 turbine 2.3 MW
西班牙	Puerto	Gamesa G87/2MW	5 turbines 10 MW
瑞典	Gässlingegrund	Winwind WWD-3MW-100	10 turbines 30 MW
	Lillgrund	Siemens SWT-2.3MW-93	48 turbines 110.4 MW
	Yttre	Neg Micon NM72/2MW	5 turbines 10 MW
	Yttre	Neg Micon 500kW	4 turbines 8 MW
英国	Barrow	Vestas V90/3MW	30 turbines 90 MW
	Burbo	Siemens SWT-3.6MW-107	25 turbines 90 MW

8.2 环境保护与污染防治对策措施

8.2.1 施工期环境保护与污染防治对策措施

表8-4 施工期污染防治对策措施一览表

影响要素	污染物	污染源	环 保 措 施	预期效果
水	悬浮泥沙	海底电缆铺设	合理安排施工工序，准确定位，减小开挖面和开挖时间。	减少悬浮泥沙入海
	泥浆水	定向钻施工	调 pH 后自然干化填埋	所有污染物均不排海，不影响该海域水质和生态环境
	地表径流和冲洗废水	定向钻施工场地	经过沉砂、除渣和隔油等预处理后可回用于场地喷洒抑尘和道路清扫	
	含油污水	船舶机舱含油污水	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《防治船舶污染海洋环境管理条例》，不在海域排放，交由有资质的单位接收到岸上集中达标处理。	
		船舶及其它施工机器作业期间漏油或者维修产生的油污	交有危险品处理资质的单位安全处理。	
		船舶、机器等清洗	必要时可考虑使用备用的溢油回收设施。	
	生活污水	船舶生活污水	定期上岸请有资质的单位清洗并检修。	
		陆域生活污水	与船舶含油污水一起接收至岸上，交船舶污染物接收单位处置。	
固废	生活垃圾	船舶生活垃圾	集中收集运送附近污水处理厂处理	固体废弃物均送到指定地点处理，不会影响该海域水质和生态环境
		陆域生活垃圾	与船舶污水一起接收至岸上，交船舶污染物接收单位处置。	
	生产垃圾	扫海清障固废	集中收集送环卫部门处理	
		嵌岩施工钻渣	在施工船舶上设置专门的装置统一收集并运回陆上统一处理。	
		定向钻成孔产生的弃土	经甲湖湾电厂码头上岸陆运至陆上集控中心回填利用	
		风机安装产生的废弃焊头和包装等	集中收集，回用于集控中心陆域回填。	
		机械设备作业产生的残油、废油等危险废物	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。	
其他	废气	施工船舶废气	统一交由有危险废物处理资质的单位将其安全处置。	将空气和噪声污染控制到最小
	噪声	施工船舶噪声	施工船舶废气排放按照《MARPOL 73/78 附则 VI—防止船舶造成空气污染规则》规定实施。	
			施工船舶应采取有效措施控制主辅机噪声排放。	
			避免不必要的船舶汽笛声。	
			加强施工船只管理，避免施工区域船舶拥堵	

8.2.2 营运期环境保护与污染防治对策措施

表8-5 营运期污染防治对策措施一览表

污染物	污染源	环 保 措 施	预期效果
噪声	机械和结构噪声	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。	降低风机噪声对水下生态环境的影响
		为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声。	
	空气动力噪声以及通风设备噪声	风电机组的主要部件安装于机舱内部，这些部件产生的振动直接传递给机舱，引起机舱振动并辐射产生噪声。为降低风机噪声源强建议可以在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪声向外传播。	
固废	风机维修	防止风机维护过程油类的跑、冒、漏、滴；	不在项目海域排放，不会影响项目海域海水水质和生态环境。
		废油及其他含油废物（揩布、废滤网）统一收集含油废物交由有资质的单位处理。	

8.2.3 海洋生态环境保护对策措施

表8-6 生态环境保护和修复对策措施一览表

	环保措施	预期效果	备 注
渔业资源和渔业生产	在渔业资源繁殖季节尽量降低施工强度	减缓对渔业资源繁殖影响	农历4月20日至7月20日为渔业资源繁殖高峰期
	采用软启动的打桩作业方式，即先轻轻打几下桩，以驱赶周围鱼类	减缓打桩产生的水下噪声和悬浮物对鱼类的影响	
	对施工海域设置警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围和时间	减缓对渔业捕捞作业的干扰	
	对附近水域开展海洋环境及渔业资源跟踪监测	及时了解工程施工对海洋环境及渔业资源的实际影响	
	对在该海域从事捕捞或养殖生产的渔民造成捕捞或养殖收入减少的，落实对渔民的补偿	减缓对渔民的影响	与海洋渔业主管部门协商补偿
	选择适合本海域生长的鱼类进行放流	增加渔业资源量	与海洋渔业主管部门协商相关生态补偿的办法
底栖生物	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	减少对项目所在海域底质扰动的强度	
	严格限制施工区域和用海范围		
海豚等海洋哺乳动物	尽量减缓在海豚等海洋哺乳动物繁殖高峰期打桩作业施工强度	减少对海豚繁殖和幼豚成长的滋扰	即4月至8月
	开工前对桩基1.52km半径范围内的海洋哺乳动物尽可能地驱赶。	减缓对海豚等海洋哺乳动物的影响	
	采用先进环保型油压式打桩机替代柴油打桩机，并且采用软启动的作业方		

	式。		
	控制每日打桩数量和打桩的持续时间，一次一桩。		
	限定施工船舶航行路线和航行速度。		
其它	加强环境管理和环境监理工作，做好环境跟踪监测工作。	减轻项目建设对海洋环境的影响	
	登陆海缆潮间带施工采用定向钻穿越施工。	减轻项目建设对岸滩的影响	
	定向钻岸基施工区不得设置在海域自然岸线、沙滩、保护区或其他环境敏感区内。	避免对自然岸线、滩涂及其他敏感区造成影响	
	泥浆池位置应保证不能让泥浆进入海域，泥浆池应利用防渗布对池底和池壁采取临时防渗措施，池子容积留有一定富裕量，防止泥浆随意溢流。	防止泥浆污染海域和地下水	
	定向钻施工结束后，施工场地、泥浆收集池及时覆土，并恢复植被。	减轻项目建设对施工场地生态环境的影响	
	工作坑开挖土分层堆放、回填时反序分层回填，回填后及时恢复植被。		

8.2.4 鸟类及其生态保护措施

- (1) 合理安排施工时间，避开鸟类迁徙季节，同时合理布置施工路线，减少施工期对鸟类的影响。
- (2) 采取积极措施减少对候鸟迁徙的影响，如风机叶片呈警示色。据研究，鸟类通常以视觉判断飞行路线中的障碍物，为减少鸟类与风机叶片碰撞的风险，根据日本等地的成功经验，风机的叶片应当选用橙红与白色相间的警示色，使鸟类在飞行中能及时分辨出安全路线，及时规避风机，以减少鸟只撞机的几率。由于灯光会增强对鸟类的吸引，增加夜间鸟机相撞的风险，应尽量避免使用灯光，如果要设置警示灯，应选择使用红色闪烁灯，避免使用蓝色灯光和蓝色涂装。此外，为减少反射阳光对雀鸟的影响，风力发电机的机件应使用非反光涂料。
- (3) 加强鸟类监测。协同保护区管理处组织专业人员，开展风电场区域鸟种类和数量监测。在鸟类繁殖季，特别是燕鸥繁殖期间（4月30日至6月15日）降低施工强度，并在候鸟大规模迁徙季节（春季3月20日~5月30日、秋季8月1日~10月30日、冬季11月10日~次年3月5日）要密切观测候鸟动向，做好观测记录。风电场建成后，应进行鸟类死亡率监测研究，一旦发现与夜间迁徙候鸟或白天集群迁徙、觅食的鸟类撞击率较高的风机应立即移走或拆除。在夜间会增加鸟类的监测难度，可在风电场安装24小时电子监控摄像头，密切

观察夜间鸟类活动状况，及时采取对应的保护措施。

(4) 要对风电场的管理人员进行鸟类知识的宣传和相关指导，使该风电场的运行对鸟类的干扰降到最低程度。发现珍稀保护鸟类受伤时，应尽快通知相关管理部门救治。

8.2.5 输电电缆保护措施

(1) 为保护风电场的输电电缆，海底路由区两侧 500m 海域范围内，应严禁各类船舶抛锚、底拖网等作业活动。

(2) 在海底电缆铺设线路两侧设立明显标识，加强对渔民的管理，避免渔业捕捞对电缆产生危害；

(3) 在电缆登陆点和沿线设立电缆保护区，保护范围内设立明显的警告设施，避免各种人为活动影响电缆的正常运行。

8.2.6 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，减少悬浮泥沙发生量和悬浮泥沙扩散；施工期间产生的钻泥、含油废水、生活污水和生活垃圾统一收集处理。这在技术上都是可行的，在经济方面没有较大投入。

运营期，应及时进行风电机组的维护和检修，保证风电机组的正常运转。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，运营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。

具体环保对策措施及其监督管理一览表见表 8-7。

表8-7 环保对策措施及其监督管理一览表

环境要素	具体措施	实施地点部位	实施责任单位	监督管理	监督方式
一、施工期					
1、水污染防治措施	1. 施工船舶上的生活污水和含油污水上岸送有资质单位处理; 2. 施工船舶定期上岸清洗并检修; 3. 潮间带电缆铺设后及时回填夯实, 防止沙土随潮流入海。	风电场区 海缆铺设区	施工单位	建设单位 环境监理 环境主管部门	检查
2、固体废物处置措施	1. 施工船舶生活垃圾与含油污水上岸送有资质单位处理; 2. 扫海清障固废上岸处理; 3. 嵌岩施工钻渣上岸送集控中心回填利用; 4. 废弃焊头和包装等上产固废上岸处理; 5. 机械设备作业产生的残油和废油等危险废物上岸安全处置。	风电场区 海缆铺设区	施工单位	建设单位 环境监理 环境主管部门	检查
3、海洋生态保护措施	1. 优化施工方案, 尽可能减少施工作业时间和范围; 2. 打桩和电缆铺设尽可能避开鱼类繁殖高峰期 (农历 4 月 40 日至 7 月 20 日); 3. 施工海域设置明显警示标志, 告知施工周期, 明示禁止捕捞的范围和时间; 4. 做好施工期海洋环境和渔业资源跟踪监测与环境监理工作; 5. 建议对受影响捕捞和养殖户采取适当的经济补偿; 6. 建设单位将本建设项目造成的生态损失价值等额或差额投入渔业资源建设与保护资金, 也可通过增殖放流或人工鱼礁建设进行异地补偿。	海上施工区	施工单位 建设单位	建设单位 环境监理 环境主管部门	监测 检查
4、鸟类保护措施	1. 合理规划施工时间, 在鸟类繁殖期 (4 月 30 日至 6 月 15 日) 降低施工强度; 2. 加强鸟类监测。	海上施工区	施工单位	建设单位 环境监理 环境主管部门	监测 检查
5、噪声保护措施	1. 施工船舶应有效控制辅机噪声。	海上施工区	建设单位、 施工单位	建设单位 环境监理 环境主管部门	检查
6、环境空气保护措施	1. 加强施工船只管理, 避免施工区域船舶拥堵, 加强对施工机械、运输船舶的维修保养。	海上施工区	施工单位	建设单位 环境监理	检查

中广核汕尾后湖海上风电场项目海洋环境影响报告书

				环境主管部门	
7、通航安全保障措施	1. VTS 海事监管范围应覆盖本工程水域，并加强海事监管； 2. 通过发布航海通告等手段及时公布本工程所在的位置和相应的标志，提醒过往船舶、锚泊船舶注意避让本风电场； 3. 对施工船舶严格管理，加强施工和运输船舶人员的安全培训，确保施工船和航行于风电场工程附近的船只都要严格遵守《中华人民共和国水上水下施工作业通航安全管理规定》。	海上施工期	建设单位、施工单位	建设单位 环境监理 环境主管部门	检查
二、运营期					
1、海洋生态保护措施	1. 加强风电场运营管理，建议开展 ISO14000 的认证，以提高环境管理水平，杜绝海洋环境事故； 2. 设立海洋生态环境跟踪监测系统，在风电场附近内设立长期的监测站点； 3. 建设单位应在当地渔业主管部门的指导下，在工程建成后立即采取以底栖和潮间带生物增殖及渔业资源生物增殖放流为主的生态修复补偿措施。	风电场区	建设单位	环境主管部门	验收 监测 检查
2、鸟类保护措施	1. 风机叶片呈警示色，促使鸟类产生趋避行为，降低撞击风险； 2. 加强鸟类监测； 3. 风电场建成后，建议进行 1 a~3 a 的鸟类死亡率监测研究； 4. 对风电场的管理人员进行鸟类知识的宣传和相关指导； 5. 建议结合海上升压站或测风塔建设简易观鸟站，观测区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况。	风电场区	建设单位	环境主管部门	监测 检查
3、污废水处理措施	1. 海上升压站当主变压器事故漏油和油污水上岸安全处置； 2. 风机及相关设备维护中产生的废油和含油废物等收集后上岸达标处理。	风电机组 升压站	建设单位	环境主管部门	验收 检查
4、噪声防治措施	1. 保持风电机组内良好的润滑状态，可在机舱内表面贴附阻尼材料，减少噪声； 2. 220kV 升压站选用低噪声变压器； 3. 建议主变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设吸音板。	升压站 风电机组	建设单位	环境主管部门	检查

5、固体废物 处置措施	1. 运行过程中产生的废旧蓄电池（HW31）等，可由厂家回收处理； 2. 主变压器、事故或机组检修时产生的诸如油渣（HW08）、油垢（HW08）、废油（HW08）等 WHC3 深度污染物质，由事故油罐收集外运处置； 3. 风机维护产生的少量废油（通常是润滑油）及含油棉纱等废物收集外运处置。	升压站 风电机组	建设单位	环境主管部门	检查
6、电磁影响 防治措施	1. 220kV 升压站内所有高压设备、建筑物保证钢铁件均接地良好，所有设备导电元件间接触部位均应连接紧密； 2. 选用带有金属罩壳的电气设备； 3. 主变压器室应采用钢筋混凝土框架结构，钢筋应良好独立接地，并保证电器设备房间的墙壁厚度。	升压站	建设单位	环境主管部门	检查
7、安全运营	1. 定期检查风电场桩基的安全状况防止影响通航安全的因素发生； 2. 发现存在影响通航安全的情况及时通知海事主管部门，申请发布航行警告； 3. 发现存在安全隐患时及时处理，并向海事主管机关报告； 4. 对风电机组桩基周围加装防撞保护圈，在近海面塔筒上采用红色等警示色，避免渔船碰撞引发事故； 5. 应对风机桩基冲刷状况实施观测。	风电场区	建设单位	环境主管部门	检查

8.3 工程生态用海方案

8.3.1 用海布局优化

本项目在前期规划、可行性研究阶段以及工程设计阶段已综合考虑了风资源、特殊环境及气候条件适应性、使用海域的周边环境限制条件,协调与军事、港口、航道、海底管线和生态红线等之间的关系,严格执行国家海洋局《关于进一步规范海上风电场用海管理的意见》(国海规范(2016)6号)文件中关于海上风电场用海面积的限定标准和要求,本着集约用海和充分利用场址风能资源的出发点寻求最佳技术路线。从设备选型、电缆走线、海洋环境保护等几个方面对风机布置进行了优化调整。

8.3.1.1 风机平面布置方案优化

国海规范(2016)6号文要求“坚持集约节约用海,严格控制用海面积,科学论证,单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每10万千瓦控制在16平方公里左右”。本着节约用海的原则,对风机排布方案进行优化调整。风机的布置以发电效益作为衡量风能资源利用的标准,从风机外缘面积、风机尾流影响以及风机对周边环境限制条件角度出发,经过对5MW、5.5MW和6MW三种机型的6种排布方案比选,确定目前推荐的91台单机容量5.5MW海上风力发电机组的平面布置方案,推荐方案在用海外缘面积最小的前提下达到了风电场最好的发电效益,同时将风机对船舶航行影响最小化。该方案较大幅度的压缩了用海面积,控制了大量风机桩基础及配套海缆施工对海域水质及生态环境的不利影响,提高了项目的环境合理性。

8.3.1.2 海底电缆路由优化

在满足工程建设需要的前提下,本着安全用海和集约节约用海的原则,经过工程地质条件、水文气象要素、海底腐蚀性环境等自然环境条件,并登陆点情况件、海洋功能区划、海洋开发活动、海洋行政管理以及陆管情况等方面,通过对多个登陆点众多海底电缆路由方案的优化,推荐从田尾山陆丰核电项目东北侧约4.5km处登陆点,本项目海缆路由避开了海洋生态红线区,并且登陆点海域开阔,为后续建设的甲子和深海风电场海底电缆预留足够的铺设空间。

8.3.2 污染排放与控制

施工期，通过进行严格的环境管理和系统的环保知识培训，采用合理的施工方案设计和施工设备选型，设立必要的环境保护措施来控制和减少污染排放，项目施工对海洋环境各方面的影响可降至最低，且环境可接受。通过采取本报告中的环境保护与污染控制措施，施工期污染物排放可控。

运行期，设备检修期间产生少量废油、废蓄电池人员生活污水和生活垃圾，委托有资质单位统一收集外运处置，不会增加海域污染负荷。因此，项目建设可满足《国家海洋局关于进一步加强海洋工程建设项目和区域建设用海规划环境保护有关工作的通知》中项目零污染、增产不增污的要求。

8.3.3 生态修复方案

项目建设将永久占用一定面积的底栖和潮间带生境，项目建设过程中，产生的悬浮物影响也会减弱浮游植物光合作用能力，在一定程度上影响水域的初级生产能力，并导致海域中浮游动物数量的减少，以及造成渔业资源的损失。参照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程（SC/T 9110-2007）》，计算本项目海洋生物资源经济损失 1136 万元。需要对本项目建设造成的海洋生物资源的损害进行生态修复。

8.3.3.1 人工鱼礁建设

建设人工鱼礁渔场，能有效地改善和修复海洋生态环境、增殖和养护渔业资源、提高水产品质量，这已被发达国家的建设实践所证实。建设人工鱼礁，可以有效地修复工程建设期和营运期给周围海域渔业资源和海洋生态环境带来的损害，此外，人工鱼礁可以阻止底拖网作业，防止海底出现“荒漠化”、有效地修复海洋生态环境。人工鱼礁的建设是保护珍稀濒危生物、保护物种多样性的有效途径。人工鱼礁的建设与旅游业相结合，不仅渔业产值获得可观的增加值，使部份被调整的渔船改装为垂钓游艇，缓解渔船出路和渔民就业问题，同时在礁区作业主要是垂钓和刺网，捕大留小，促进渔业资源良性循环；建礁后礁体被附着生物所覆盖，诱集和聚集鱼类等在礁区觅食、繁殖和栖息，初级生产力和次级生产力大大增加，成为海上人工牧场和近海渔场，使原来的“沙漠”变为“绿洲”，

提高渔业产量和质量,促进海洋生态环境良性循环,结合人工鱼礁建设进行渔业资源增殖放流,形成礁区“海洋牧场”,能更好地发挥人工鱼礁生态系统的作用。

投放人工鱼礁,可以有效保护缺乏保护能力的幼鱼幼虾,提高其成活率,提高人工增殖放流效果,为鱼类提供良好的栖息环境和索饵场,有助于渔业资源成倍或数十倍的增加。建设单位应配合当地海洋渔业主管部门,在人工鱼礁建设规划中列出的人工鱼礁区,在施工期间根据实际情况安排人工鱼礁建设,作为本工程项目海洋生境恢复和保护的措施。人工鱼礁建设可选用钢筋混凝土、废旧渔船等礁体材料,可结合大型海藻吊养等浮式人工鱼礁建设方式。

8.3.3.2 增殖放流

国内外长期从事渔业资源研究的专家研究证实,在渔业资源衰退或受损的情况下,除了降低捕捞强度和减少海洋环境污染及生境破坏之外,从根本上恢复渔业资源、改良资源结构、增加渔业生产,进行渔业资源的人工增殖放流是重要、快捷的有效措施。通过增殖放流,可以迅速弥补本项目施工和营运等因素对海洋渔业资源造成的损失。

(1) 增殖放流品种选择原则

本地原种或子一代的苗种或亲体;能大批量人工育苗;品质优良(属优质经济鱼、虾类、贝类);适应工程附近海域生态环境且生势良好;工程附近海域自然生态状况中曾经拥有的种类,确需放流其他苗种的,应当通过省级以上渔业行政主管部门组织的专家论证;鱼类品种以恋礁性鱼类、适合转产转业和发展游钓休闲渔业品种为主,或在资源结构中明显低于自然生态状况中的比例,资源衰退难以自然恢复;禁止使用外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合生态要求的水生生物物种进行增殖放流。

(2) 增殖放流备选品种

适宜粤东海区增殖放流的备选品种包括:花鲈、青石斑鱼、斜带石斑鱼、赤点石斑鱼、卵形鲳鲹、军曹鱼、大黄鱼、紫红笛鲷、黑鲷、黄鳍鲷、斜带髯鲷、断斑石鲈、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、杂色鲍。

（3）增殖放流苗种规格质量

鱼苗体长应在 5cm 以上；虾苗体长应在 2.5cm 以上；贝苗壳长应在 0.5cm 以上。放流苗种应当来自有资质的生产单位、检验机构认可。

（4）增殖放流计划

在施工期间根据实际情况开始实施海洋生物增殖放流，增殖放流的期限为 5 年，每年 1 次。每年的增殖放流工作安排在南海区伏季休渔期间内的 5 月下旬至 7 月上旬，以避免高强度捕捞压力时间，提高增殖放流效果。

（5）增殖放流前后的管理

放流前后的现场管理主要由渔政管理部门承担。放流前清理放流区域的作业，并划出一定范围的临时保护区，放流后加强巡逻管理。

8.3.3.3 海洋牧场

建议建设单位针对本项目风电场开展海洋牧场建设相关研究和设计，利用风电场海域和风机基础构建大型海洋牧场，使风电场产出清洁电能的同时，为海洋生物提供营养、健康、安全的生存环境。关于海上风电建设与海洋牧场的融合发展，中国科学院海洋研究所杨红生等对其可行性进行了展望，结果如下：

海洋牧场与海上风电融合发展是节约集约用海的重要新型产业模式与未来发展方向。目前，以德国、荷兰、比利时、挪威等为代表的欧洲国家已于 2000 年实施了海上风电和海水增养殖结合的试点研究，以达到集约用海的目标。我国尚未有海洋牧场与海上风电融合发展的先例。

海洋牧场与海上风电均是国家高度重视的产业。海洋牧场是当前实现海洋环境保护和渔业资源高效产出的新业态，是推动渔业开发、海洋生态保护、海洋生境修复与海洋生物资源可持续利用协调发展的重要举措。但其发展存在供电不足限制大型现代化牧场增养殖设备和资源环境监测设施使用的问题。海上风电是清洁能源发展的重要方向，但是海上风电产业因其占海面积大、电力输送和设备运维困难而造成其发电成本过高。

海上风电场与海洋牧场通过海域使用空间、基础结构建设和生产功能三个方

面的充分融合，能够最大化发挥各自的功能和效益。

有效利用海域空间。利用海上风机的稳固性，将牧场平台、休闲垂钓载体、海上救助平台、智能化网箱、贝类筏架、藻类筏架、海珍品礁、集鱼礁、产卵礁等与风机基础相融合，从而降低牧场运维成本、提高经济生物养殖容量，实现海域空间资源的集约高效利用的海洋开发新模式。

充分利用风机基础结构。通过开发增殖型风机基础，实现风电基础底桩与人工鱼礁的构型有机融合，以单桩式风机底桩为基础，结合生态型牡蛎壳海珍品礁、多层板式集鱼礁、抗风浪藻类绳式礁等，打造新型海上风电-人工鱼礁融合构型，提高海上风电场建设区域初级生产力，实现底播型海珍品与恋礁性鱼类生态增殖，且进一步保障建设区域关键生态种繁殖、产卵、仔稚鱼发育，维护建设区域食物网稳定，从而实现生境养护、高值海珍品增殖、关键生态种保护与清洁能源产出的多元目标。

功能融合。通过建立海上智能微网，保障海洋牧场电力长久持续供应，在季节性渔业生产高峰期，将海上风电直接用于海洋牧场平台、增养殖设施、资源环境监测设施、捕捞设施等，提高牧场生产效率，提高海洋牧场对赤潮、绿潮、高温、低氧以及台风等环境灾害的抵御能力，保障牧场生态与生产安全；在风力发电高峰期，将清洁风电并入建设区域电网，缓解火电压力、减小环境污染、保障居民生产生活，进而实现兼顾清洁能源产出与渔业资源持续开发的周年绿色生产新模式。

8.3.3.4 岸线修复

根据《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》（2017）加强自然岸线保护管理规定，建立自然岸线占补平衡制度。本项目海缆从泥面以下穿越自然岸线，没有破坏和影响岸线的自然风貌和生态功能，并且占用长度很短，不考虑占补平衡。针对本项目施工过程中对岸线的临时占用和破坏，建设单位应在施工结束后及时进行海岸带修复整治。

8.3.4 跟踪监测及监测能力建设

本工程拟对工程施工期及运行期进行跟踪监测，并根据跟踪监测的结果进一

步采取相应的保护措施。施工期跟踪监测的内容包括：海水水质、海洋沉积物质量、海洋生物及渔业资源监测、施工场所噪声监测等内容。营运期跟踪监测的内容包括：噪声监测、电磁环境、海洋生物及渔业资源监测、鸟类监测、水文动力环境监测、水下地形监测等内容。在工程施工及运行期间，建设单位应委托有相应资质的监测单位，按照本报告相关要求，开展上述跟踪监测工作，并编制跟踪监测报告，及时掌握工程施工及运行期所在海域的环境变化。

8.4 污染物总量控制分析

8.4.1 总量控制原则

污染物排放总量控制是我国环境保护管理的一项重要内容，是考核各级政府和企事业单位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。其原则是将污染物排放总量控制在某一限度之内。总量控制方案的确定，应在考虑区域总量控制目标及当地环境质量、环境功能和环境管理要求的基础上，结合项目的实际条件和污染控制措施的经济技术可行性进行。目前，国家实施污染物总量控制的基本程序是：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状况和污染防治规划情况，给企业分解、下达具体控制指标。

“十三五”期间污染排放总量控制指标有：化学需氧量、氨氮、二氧化硫、氮氧化物。“十三五”时期是遏制污染物排放增量、实现总量减排及环境质量改善的关键时期，对减排体系设计、减排技术、环境监管的有效性及各类政策工具的应用都提出了更高的要求。

8.4.2 污染物排放总量控制

8.4.2.1 施工期污染物排放

本项目施工期间排放污染物主要为 COD 和氨氮，主要来自生活污水。生活污水产生总量为 10080t/a（一年按 360 天计），污水中 COD 年排放量为 4.536t/a，氨氮的年排放量为 0.3024t/a，施工期 30 个月考虑，则 COD 和氨氮的排放总量分别为 11.35t、0.76t，施工期生活污水由港区生活污水处理设施进行处理，海上施工人员产生的生活污水由施工船舶收集并带回至陆域处理，

施工场地生活污水由生活营地收集处理达标后回用，所有生活污水都不允许直接排放，对环境无影响。

8.4.2.2 运营期污染物排放

运营期海上升压站采用无人管理，仅巡视和检修时有人员进站，产生的少量生活污水收集至工作船舶并运回陆域处理，对海水水质无影响。

综上分析，本项目施工期和运营期产生的主要污染物 COD 和氨氮都不直接排放，对周边环境无影响，因此，本项目不需要申请总量控制指标。

9 环境经济损益分析

9.1 环境保护设施和措施投入

本报告拟采取的环境保护和污染防治措施见表9-1。

表9-1 环保投资估算表

序号	项目和费用名称	投资（万元）
一	环境保护措施	1151
1	海洋生物资源修复补偿	1136
2	鸟类栖息地修复（含宣传费）	15
二	环境监测措施	645
1	施工期	290
(1)	施工期卫生防疫监测费	8
(2)	渔业资源调查	50
(3)	水质、沉积物、生态环境监测	115
(4)	鸟情及其栖息地观测研究	42
(5)	水下噪声监测及生态影响	75
2	运行期	355
(1)	生态监测	100
(2)	声环境监测	80
(3)	渔业资源调查监测	80
(4)	电磁环境监测	35
(5)	鸟类观测	60
三	环境保护设备	280
1	运营期生活污水收集和处理	50
2	溢油风险防范和设施配备	230
四	环境保护临时措施	235
1	施工生产、生活污水收集和处理	110
2	空气影响减免措施	25
3	噪声影响减免措施	25
4	固体废弃物处理	45
5	其他临时工程	30
五	独立费用	1003
1	工程环境管理费	163
2	工程环境监理费	125
3	科研勘察设计咨询费	215
4	环境影响评价、监测及相关费用	500
合计		3314

经计算，项目各项环境保护与污染防治措施的实施费用约为 3314 万元，项目总投资约 842185 万元，占总投资的 0.39%。从经济角度论证，该环境保护措施投资对业主也是可接受的。

9.2 节能减排效益

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。本项目建成后，每年可为电网提供清洁能源电能 1352GWh，与燃煤电厂相比，按替代标准煤耗 324g/kWh 计算，每年可节省标煤约 43.81 万 t。相应地每年可以减少温室气体二氧化碳（CO₂）的排放量约 119.31 万 t、烟尘 42.06t、二氧化硫（SO₂）722.86t、氮氧化物（NO_x）3417.18t、灰渣 2.47 万 t。

可见，本风电场的建设可以减少化石资源消耗，有利于缓解环境保护压力，实现经济与环境的协调发展，项目的节能和环保效益显著。

9.3 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，本项目符合可持续发展的原则，可减少化石资源消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，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。

9.4 环境经济损益分析

风力发电是一种清洁的可再生能源，项目的建设可以减少化石资源消耗，有利于缓解环境保护压力，节能和环保效益显著。项目的建设促进当地相关产业和地方经济快速发展，社会效益显著。项目建设环境投入相比社会和环境效益而言相对较小，可以接受。因此，本项目建设环境经济效益可行。

10 海洋工程环境可行性

10.1 海洋功能区划和海洋环境保护规划的符合性

10.1.1 《全国海洋主体功能区规划》(2015)

《全国海洋主体功能区规划》将我国空间划分为以下四类区域：(1) 优化开发区域，是指现有开发利用强度较高，资源环境约束较强，产业结构亟需调整和优化的海域。(2) 重点开发区域，是指在沿海经济社会发展中具有重要地位，发展潜力较大，资源环境承载能力较强，可以进行高强度集中开发的海域。(3) 限制开发区域，是指以提供海洋水产品为主要功能的海域，包括用于保护海洋渔业资源和海洋生态功能的海域。(4) 禁止开发区域，是指对维护海洋生物多样性，保护典型海洋生态系统具有重要作用的海域，包括海洋自然保护区、领海基点所在岛屿等。

本项目位于汕尾陆丰湖东镇后湖南侧海域，属于珠江口及其两翼优化开发区域。在优化开发区域的规划原则中提及：“大力发展海洋高技术产业，积极发展现代海洋服务业，推动海洋产业结构向高端、高效、高附加值转变；推进海洋经济绿色发展，提高产业准入门槛，积极开发利用海洋可再生能源，增强海洋碳汇功能”；对于海洋工程和资源开发区开发要求，“海洋工程建设和资源勘探开发应认真做好海域使用论证和环境影响评价，减少对周围海域生态系统的影响，避免发生重大环境污染事件。支持海洋可再生能源开发与建设，因地制宜科学开发海上风能”。

本项目充分利用风能资源，属于海洋高技术产业，积极开发利用了海洋可再生能源，符合规划原则。用海方式没有改变拟选址海区的海域自然属性，不会对海域的生态环境造成不可逆的改变，项目的建设符合该区域的海洋工程和资源开发区开发要求。因此，本项目符合《全国海洋主体功能区规划》(2015)。

10.1.2 《广东省海洋功能区划(2011-2020年)》(2012年)

依据《广东省海洋功能区划(2011-2020年)》，项目风电场区、部分 220KV 海底电缆位于珠海-潮州近海农渔业区，部分 220KV 海底电缆穿越田尾山-石碑

山农渔业区登陆。项目附近海域其他海洋功能区有：碣石湾农渔业区、田尾山工业与城镇用海区、遮浪南海洋保护区、碣石湾近海海洋保护区。项目所在及附近海洋功能区具体见表 10-1 和图 10-1。

10.1.2.1 项目建设与所在海洋功能区符合性分析

本项目建设符合珠海-潮州近海农渔业区保障海洋能和海底电缆管道用海需求定位，符合田尾山-石碑山农渔业区保障符合保障海上风电用海需求定位，项目的选址和布置经过严格论证，项目建设符合该功能区海域使用管理要求和海洋环境保护要求。项目建设与海洋功能区划符合性分析见表 10-2。

10.1.2.2 项目建设与周边海洋功能区协调性分析

由于项目周边其他功能区距离本项目较远，而本项目建设造成的海洋环境影响范围集中分布在项目邻近海域，不会影响到其他海洋功能区。因此，本项目建设与周边海洋功能区协调。

综上所述，本项目建设和用海符合《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》（2012 年）。

表10-1 广东省海洋功能区划信息登记表——评价海域

序号	代码	功能区名称	功能区类型	位置关系	管理要求	
					海域使用管理	海洋环境保护
127	A1-16	碣石湾农渔业区	农渔业区	西北16.8km	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海； 2. 保障金厢渔港、碣石渔港、人工鱼礁用海需求； 3. 保留海马洲旅游区、乌坎港区、金厢港区的用海； 4. 经过严格论证，保障核电等工业发展的用海需求； 5. 严格控制螺河河口海域、乌坎港、碣石渔港的围填海； 6. 合理控制养殖规模和密度； 7. 维护河口海域防洪纳潮功能，维持航道畅通。	1. 保护碣石湾生态环境； 2. 保护鲍、海马等重要渔业品种； 3. 严格控制养殖自身污染和水体富营养化，防止外来物种入侵； 4. 加强渔港环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 5. 执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。
129	A3-26	田尾山工业与城镇用海区	工业与城镇用海区	西北7.5km	1. 相适宜的海域使用类型为造地工程用海、工业用海； 2. 保障核电用海需求，在基本功能未利用前，保留浅海增殖养殖等渔业用海； 3. 适当保障港口航运用海需求； 4. 围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源； 5. 工程建设及营运期间采取有效措施降低对周边功能区的影响； 6. 加强对围填海、温排水的动态监测和监管。	1. 加强海洋环境监测，建立完善的应急体系； 2. 基本功能未利用前，执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准； 3. 工程建设期间及建设完成后，执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。
130	A1-17	田尾山-石碑山农渔业区	农渔业区	海底电缆穿越并在此登陆	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海； 2. 严格保护石碑山角领海基点； 3. 保障神泉渔港、澳角渔港、甲子渔港、湖东渔港、深水网箱养殖、人工鱼礁用海需求，保障防灾减灾体系建设用海需求； 4. 适当保障后湖、石碑山角等旅游娱乐用海需求； 5. 适当保障港口航运用海需求； 6. 经严格论证后，适当保障海上风电用海需求； 7. 严禁在曲清河、瀛江、隆江等河口海域围填海，维护防洪纳潮功能，维持航道畅通； 8. 合理控制养殖规模和密度；	1. 保护甲子屿、港寮湾礁盘生态系统，保护龙虾、鲍、鲎、海龟、海胆等重要渔业品种； 2. 严格控制养殖自身污染和水体富营养化，防止外来物种入侵； 3. 加强渔港环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 4. 执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

					9. 保障国防安全用海需求。	
131	A3-27	湖东-甲子工业与城镇用海区	工业与城镇用海区	北侧 11.5km	1. 相适宜的海域使用类型为造地工程用海、工业用海； 2. 在基本功能未利用前，保留增殖养殖等渔业用海； 3. 适当保障港口航运用海需求； 4. 保护砂质海岸； 5. 围填海须严格论证，严禁在曲清河、瀛江等河口海域围填海，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源； 6. 工程建设期间采取有效措施降低对周边功能区的影响； 7. 加强对围填海的动态监测和监管。	1. 保护近岸海域生态环境； 2. 基本功能未利用前，执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准； 3. 工程建设期间及建设完成后，执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。
220	B1-2	珠海-潮州近海农渔业区	农渔业区	风电场和部分海底电缆位于该区域	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海； 2. 禁止炸岛等破坏性活动； 3. 40 米等深线向岸一侧实行凭证捕捞制度，维持渔业生产秩序； 4. 经过严格论证，保障交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求； 5. 优先保障军事用海需求。	1. 保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道； 2. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。
228	B6-30	遮浪南海洋保护区	海洋保护区	西南 24.5km	1. 相适宜的海域使用类型为特殊用海； 2. 按照国家关于海洋环境保护以及自然保护区管理的法律、法规和标准进行管理。	1. 严格保护遮浪上升流海洋生态系统； 2. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。
231	B6-32	碣石湾近海海洋保护区	海洋保护区	西南 8.0km	1. 相适宜的海域使用类型为特殊用海； 2. 严格按照国家关于海洋环境保护以及自然保护区管理的法律、法规和标准进行管理。	1. 保护海马及其生境； 2. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

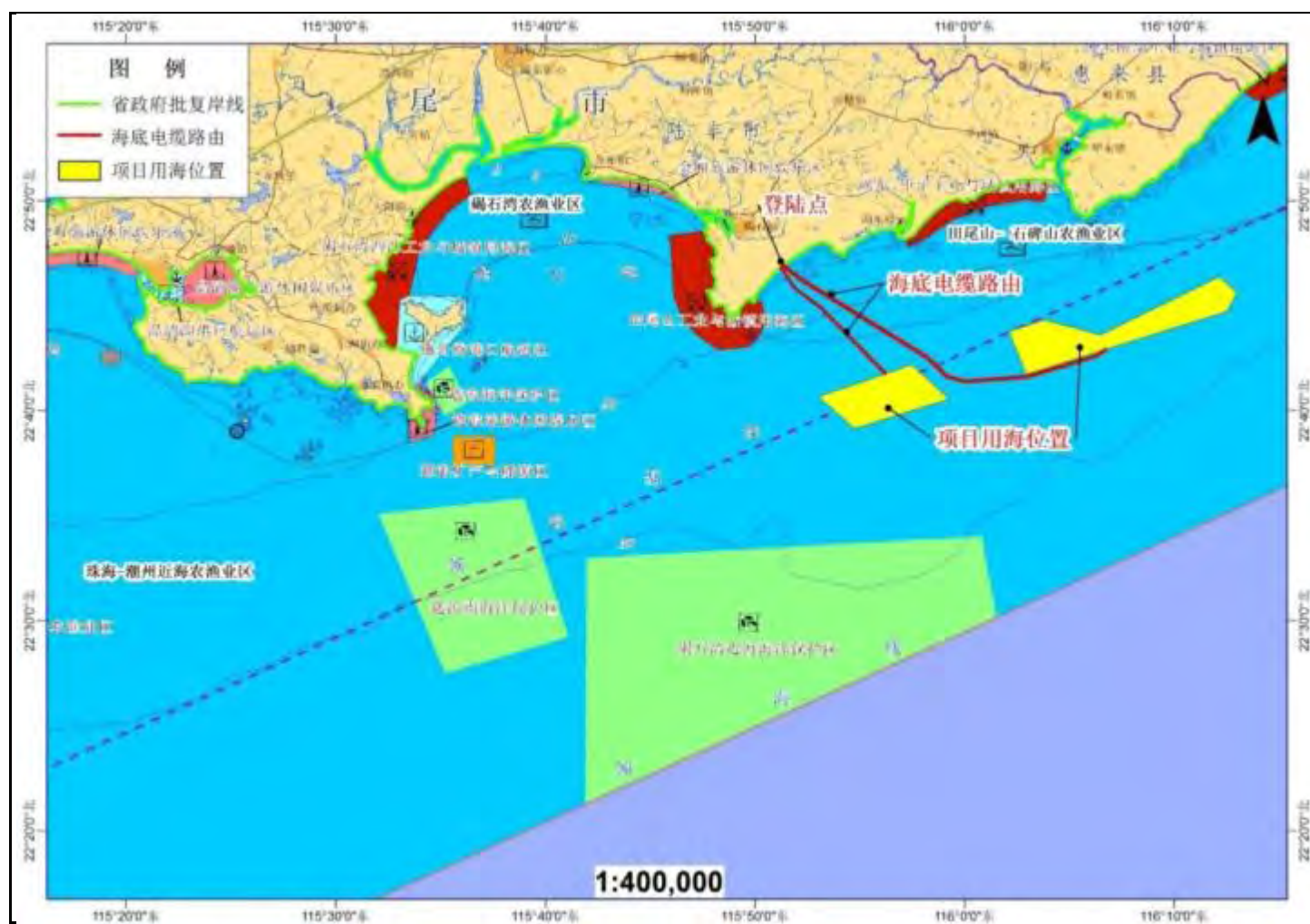


图10-1 《广东省海洋功能区划 (2011-2020 年)》——评价海域

表10-2 本项目建设与海洋功能区划符合性分析表

功能区名称	与本项目关系	海域使用管理要求	符合性分析
田尾山-石碑山农渔业区	海底电缆穿越	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海;	用海方式为海底电缆管道用海,可兼顾渔业用海
		2. 严格保护石碑山角领海基点;	无影响
		3. 保障神泉渔港、澳角渔港、甲子渔港、湖东渔港、深水网箱养殖、人工鱼礁用海需求,保障防灾减灾体系建设用海需求;	对渔港无影响,用海区无深水网箱和人工鱼礁用海
		4. 适当保障后湖、石碑山角等旅游娱乐用海需求;	距离后湖和石碑山角较远
		5. 适当保障港口航运用海需求;	能够保障港口航运用海需求
		6. 经严格论证后,适当保障海上风电用海需求;	符合保障海上风电用海需求定位
		7. 严禁在曲清河、瀛江、隆江等河口海域围填海,维护防洪纳潮功能,维持航道畅通;	距离河口较远
		8. 合理控制养殖规模和密度;	不属于养殖用海
		9. 保障国防安全用海需求。	项目用海取得部队许可
珠海-潮州近海农渔业区	风电场占用和海底电缆穿越	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海;	用海方式为透水构筑物 and 海底电缆管道用海,可兼顾渔业用海
		2. 禁止炸岛等破坏性活动;	无炸岛活动
		3. 40 米等深线向岸一侧实行凭证捕捞制度,维持渔业生产秩序;	不涉及捕捞
		4. 经过严格论证,保障交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求;	符合保障海洋能和海底电缆管道用海需求定位
		5. 优先保障军事用海需求。	项目用海取得部队许可
功能区名称	与本项目关系	海洋环境保护管理要求	符合性分析
田尾山-石碑山农渔业区	海底电缆穿越	1. 保护甲子屿、港寮湾礁盘生态系统,保护龙虾、鲍、鲎、海龟、海胆等重要渔业品种;	距离该生态系统较远,用海区无海洋保护区,风电项目营运期环境影响较小,对重要渔业品种影响有限
		2. 严格控制养殖自身污染和水体富营养化,防止外来物种入侵;	不属于养殖用海
		3. 加强渔港环境污染治理,生产废水、生活污水须达标排海;	不属于渔港建设项目
		4. 执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。	项目营运期无无污染物排放,不会影响海洋环境质量
珠海-潮州近海农渔业区	风电场占用和海底电缆穿越	1. 保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道;	对重要渔业品种“三场一通”的影响有限并且可以恢复
		2. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。	项目营运期无无污染物排放,不会影响海洋环境质量

10.1.3 《广东省海洋生态红线》(2017)

10.1.3.1 广东省海洋生态红线区

根据《广东省海洋生态红线(2016-2020年)》，距离项目较近的生态红线区有：碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区、碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区、湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区、甲子重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区、鳌江重要河口生态系统限制类红线区。

本项目用海区不在广东省海洋生态红线区管控范围内。

10.1.3.2 广东省大陆自然岸线保有

根据《广东省海洋生态红线》(2017)，220kV海缆在大陆自然岸线——湖东港砂质岸线(185)登陆；项目周边大陆自然岸线有：长湖村砂质岸线(186)、海甲村砂质岸线(187)。

广东省海洋生态红线对大陆自然岸线总体管控措施如下：维持岸线自然属性，禁止实施可能改变大陆自然岸线(滩)生态功能的开发建设活动，严格控制围填海，禁止非法侵占岸线和采挖海砂。针对部分可以修复为自然岸线的受损岸段实施整治修复工程，逐步恢复自然形态或进行海岸线的自然生态化改造，使其恢复自然岸线(滩)生态功能。需要利用自然岸线进行渔业基础设施、交通、能源、海底管线、旅游娱乐等公益或公共基础设施工程建设的，在符合海洋功能区划和海洋环境保护规划情况下，要经科学论证和环境影响评价，经有权机关审批后实施。

湖东港砂质岸线管理要求为：维持岸线自然属性，向海一侧3.5海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动，保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。保障不改变自然岸线属性的核电基础设施建设。

本项目220kV海缆采用定向钻穿越岸线，表层自然沙滩不开挖并且海缆埋设有一定深度，登陆点定向钻施工区选择在岸线向陆一侧防护林以内，避开了自然岸线和沙滩，海缆敷设施工不改变沙滩自然属性，不影响岸线原有生态功能；项目登陆点选址为深圳中广核工程设计有限公司推荐登陆点，不影响陆丰核电基础设施建

设。项目用海及施工过程符合湖东港砂质岸线管理要求。

综上所述，本项目风场场址避开了重要生态红线区，海缆登陆不改变登陆点砂岸线自然属性和生态功能，项目建设符合《广东省海洋生态红线》（2017）的管理要求。

表10-3 广东省海洋生态红线区登记表——评价海域

序号	代码	管控类别	类型	名称	生态保护目标	管控措施	方位距离(km)
201	44-Xk05	限制类	珍稀濒危物种集中分布区	碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区	海马生物资源及海域生态环境	管控措施:禁止围填海,维持促进珍稀濒危物种栖息和索饵的渔业资源,维持海域自然属性,严格保护海马资源及其生境,禁止排放有害有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物和其他废弃物,防止船舶污水、溢油及化学品泄漏等对渔业水域水质造成不利影响,改善海洋环境质量。 环境保护要求:执行海水水质第一类标准、海洋沉积物质量第一类标准和海洋生物质量第一类标准。	南, 5.40
202	44-Ja25	禁止类	海洋自然保护区	碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区	海马生物资源及海域生态环境	管控措施:执行《中华人民共和国自然保护区条例》、《海洋特别保护区管理办法》和《海洋自然保护区管理办法》等相关法律法规,重点保护海洋生物资源和海岛景观。禁止实施各种与保护无关的工程建设活动,禁止实施改变区内自然生态条件的生产活动和工程建设活动。鼓励采取适当的人工生态整治与修复措施,恢复海洋生物资源与关键生境。 环境保护要求:按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理,禁止直接向海域排放污染物,改善海洋环境质量。	南, 10.16
203	44-Xh20	限制类	重要砂质岸线及邻近海域	湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	沙滩	管控措施:禁止从事可能改变或影响砂质岸线自然属性的开发建设活动。设立砂质海岸退缩线,禁止在高潮线向陆一侧 500 米或第一个永久性构筑物或防护林以内构建永久性建筑。在砂质海岸向海一侧禁止采挖海砂、围填海等可能诱发沙滩蚀退的开发活动。加强对受损砂质岸线的修复。 环境保护要求:海水水质、海洋生物质量、沉积物等维持现状,对沙滩资源破坏较严重的区域进行整治修复,保持海洋水文动力维持原状。	登陆点东, 10.38
204	44-Xh21	限制类	重要砂质岸线及邻近海域	甲子重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	沙滩	管控措施:禁止从事可能改变或影响砂质岸线自然属性的开发建设活动。设立砂质海岸退缩线,禁止在高潮线向陆一侧 500 米或第一个永久性构筑物或防护林以内构建永久性建筑。在砂质海岸向海一侧禁止采挖海砂、围填海等可能诱发沙滩蚀退的开发活动。加强对受损砂质岸线的修复。 环境保护要求:海水水质、海洋生物质量、沉积物等维持现状,对沙滩资源破坏较严重的区域进行整治修复,保持海洋水文动力维持原状。	北, 11.04
205	44-Xc18	限制类	重要河口生态系统	鳌江重要河口生态系统限制类红线	河口生态系统	管控措施:禁止围填海、采挖海沙、设置直排排污口及其他可能破坏河口生态系统的开发活动,保护河口生态系统、保持河口基本形态稳定,维护海域防洪纳潮功能,保障渔业资源自然繁衍空间,兼容道路交通等民生基础设施。	北, 15.97

				区		环境保护要求:保护河口生态环境,加强对陆源污染物及船舶排污的监控,按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理,维持、恢复、改善海洋生态环境和生物多样性,保护自然景观,并加强对重要河口生态系统的整治与生态修复,海水水质、海洋沉积物和海洋生物质量维持现状。	
206	44-Xh22	限制类	重要砂质岸线及邻近海域	东海重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	沙滩	管控措施:禁止从事可能改变或影响砂质岸线自然属性的开发建设活动。设立砂质海岸退缩线,禁止在高潮线向陆一侧 500 米或第一个永久性构筑物或防护林以内构建永久性建筑。在砂质海岸向海一侧内禁止采挖海砂、围填海等可能诱发沙滩蚀退的开发活动。加强对受损砂质岸线的修复。 环境保护要求:海水水质、海洋生物质量、沉积物等维持现状,对沙滩资源破坏较严重的区域进行整治修复,保持海洋水文动力维持原状。	南, 5.64

表10-4 广东省大陆自然岸线保有登记表——评价海域

序号	主体岸线代码	主体岸线类型	名称	生态保护目标	管控措施
185	44-o057	砂质岸线	湖东港	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性,向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动,保持自然岸线形态,保护岸线原有生态功能,加强对受损自然岸线的整治与修复。保障不改变自然岸线属性的核电基础设施建设。
186	44-o058	砂质岸线	长湖村	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性,向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动,保持自然岸线形态,保护岸线原有生态功能,加强对受损自然岸线的整治与修复。
187	44-o059	砂质岸线	海甲村	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性,向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动,保持自然岸线形态,保护岸线原有生态功能,加强对受损自然岸线的整治与修复。



图10-2 广东省海洋生态红线区——汕尾

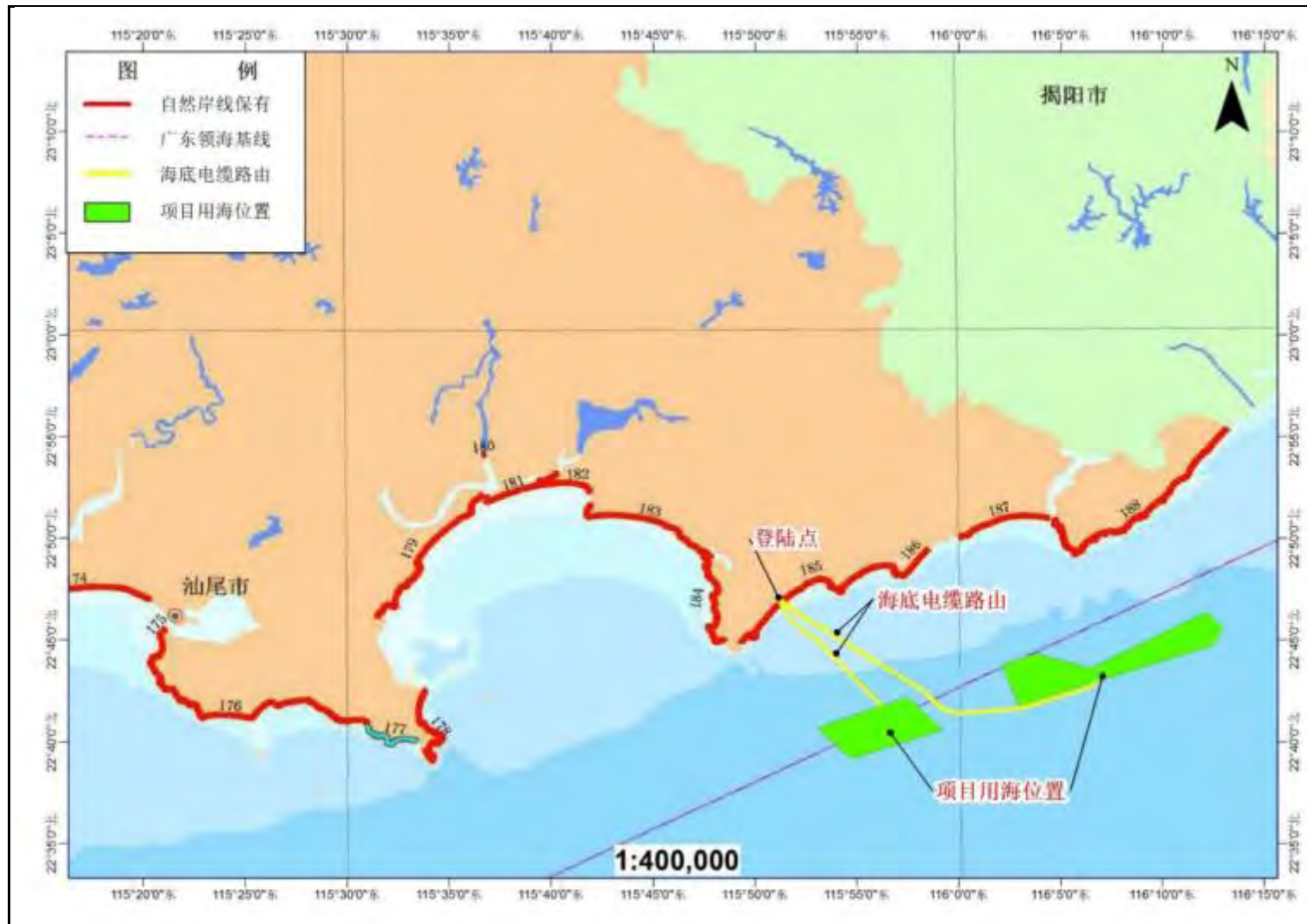


图10-3 广东省海洋生态红线自然岸线保有区——汕尾

10.1.4 《广东省海洋主体功能区划》

根据《广东省海洋主体功能区划》，项目选址位于优化开发区域。对于优化开发区域，其发展方向和布局要求之一为加快发展海洋风电产业。在风能资源和地质条件较好地区，坚持“三个 10”原则，强化与海洋生态红线协调，科学布局海上风电场址，推进海上风电规模化、集约化开发。有序推进珠三角海域的金湾、桂山，粤东海域的海门、勒门等近海浅水区海上风电建设，到 2020 年规划建设装机容量 145 万千瓦，优先保障 232 平方公里海域使用需求。以海上风电规模化开发带动风电装备及服务业发展，推动风电全产业链发展，推动中山海上风电机组研发中心建设。

根据《广东省海洋主体功能区划》附表 1 对风电布局，本项目规划风电场 80km²，拟建容量 500MW，符合本区划要求。

10.1.5 《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020 年）》

根据《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020 年）》，广东海洋生态环境保护以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的十八大、十九大精神，围绕统筹推进“五位一体”总体布局和协调推进“四个全面”战略布局，贯彻国家生态安全观，牢固树立和贯彻落实创新、协调、绿色、开放、共享发展理念，以十九大提出的“加大生态系统保护力度，实施重要生态系统保护和修复重大工程，优化生态安全屏障体系，构建生态廊道和生物多样性保护网络，提升生态系统质量和稳定性”为总要求，以“四个坚持、三个支撑、两个走在前列”为统领，以省第十二次党代会提出的“建设海洋经济强省，打造沿海经济带，拓展蓝色经济空间”为总体目标，以海洋生态环境保护和资源节约利用为主线，以改善和提高海洋生态环境质量为核心，以综合治理和管控能力建设为重点，坚持海陆统筹，实施以海定陆污染防治，加强海洋生态保护和修复，严密防控生态环境风险，创新和完善环境保护管理机制，提升环境保护基础保障能力。

本项目作为海上风电建设项目，是我国“十三五”规划中重点发展的新能源领域项目，该项目将会大大推进广东省风电技术的革新和进步，也是符合广东省能源结构调整时期发展要求的。海上风电本身为清洁能源项目，同时本报告对建

设过程中及营运过程对海洋生态环境如海域水质、海洋生物、渔业生产等可能产生的影响进行深入分析，进而提出改善海洋生态环境的可行性方案、用海可行性方案。项目用海与《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020 年）》。

10.1.6 《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》（2017）

（1）风场布置符合规划产业布局

根据《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》（2017）对红海湾区的产业布局：优先发展先进制造业和电子信息产业，提升发展传统优势产业和旅游业，优化发展现代农业，重点发展能源工业和以马宫海洋渔业科技产业园为载体大型深加工渔业，推动汕尾临海能源工业基地建设；在甲子、后湖海域布局海上风电。本项目用海符合该规划对项目所在海域产业布局规划。

（2）海缆用海符合规划管理要求

根据《海岸线保护与利用管理办法》，自然岸线是指由海陆相互作用形成的海岸线，包括砂质岸线、淤泥质岸线、基岩岸线、生物岸线等原生岸线。本项目利用《广东省海洋生态红线（2016-2020 年）》中湖东港砂质岸线（185）43m，应按照自然岸线管理。《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》（2017）中对自然岸线管理要求为：严格保护岸线要按照生态保护红线有关要求管理，确保生态功能不降低、长度不减少、性质不改变。禁止在严格保护岸线范围内开展任何损害海岸地形地貌和生态环境的活动。

针对本项目所在自然岸线的管理要求，项目在设计阶段主要考虑从海缆优化登陆端布置、优化海缆敷设施工方式两方面出发。

1) 优化登陆端海缆布置，自然岸线利用最小化

对于自然岸线原则上不得占用原有自然岸线，确需占用的，应对开发利用可行性进行科学论证，维持拟占用岸线的自然状态，或采取“占多少恢复多少”的原则，选择已利用岸段开展整治修复工程，保障同样长度的已利用岸线恢复成自然状态。本项目东区 2 回路 220kV 海底电缆在接近登陆点时，2 回路电缆间距逐渐缩小，至登陆点位置改为并行无间距，利用自然岸线长度 22m；西区 1 回路与岸线斜交，利用自然砂质岸线 21m。

2) 优化海缆穿越方式, 避免对自然显现破坏

220kV 送出海缆距离登陆点向海侧直线距离 200m 左右开始由敷设船改为定向钻穿越岸线, 登陆后通过水平定向钻方式敷设电缆沟接入陆上集控中心。登陆段海缆敷设方式在设计阶段就两栖船开挖和定向钻穿越两种施工方式进行比选, 最终确定选用定向钻穿越, 不会对自然沙滩风貌造成破坏。海缆登陆段采用球墨铸铁套管保护, 陆上段, 海缆敷设在预制混凝土槽内, 再回填细沙, 盖上盖板, 埋设深度取 1.0m。因此, 海缆登陆段虽然穿过海岸线, 但埋设有一定深度, 不会改变沙滩自然属性。

综上, 220kV 海缆在设计上考虑并行无间距排布两回路电缆, 利用岸线最小化; 施工方式比选采用对沙滩自然属性无影响的定向钻穿越施工。因此, 本项目利用岸线的长度和方式基本能实现《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》(2017)“确保生态功能不降低、长度不减少、性质不改变”的管理要求。

(3) 开展必要的岸滩修复工作

考虑到田尾山东北侧岸段有较明显侵蚀现象, 建议建设单位今后与管理部门积极沟通, 开展必要的海岸修复工作。

10.2 区域和行业规划的符合性

10.2.1 《能源发展“十三五”规划》(2016)

根据《能源发展“十三五”规划》(以下简称《规划》), “十三五”时期, 我国能源消费增长换挡减速, 保供压力明显缓解, 供需相对宽松, 能源发展进入新阶段。在供求关系缓和的同时, 结构性、体制机制性等深层次矛盾进一步凸显, 成为制约能源可持续发展的重要因素。面向未来, 我国能源发展既面临厚植发展优势、调整优化结构、加快转型升级的战略机遇期, 也面临诸多矛盾交织、风险隐患增多的严峻挑战。

目前我国能源发展主要问题包括: 传统能源产能结构性过剩问题突出, 煤炭产能过剩, 供求关系严重失衡; 可再生能源发展面临多重瓶颈, 可再生能源全额保障性收购政策尚未得到有效落实, 电力系统调峰能力不足, 调度运行和调峰成

本补偿机制不健全，难以适应可再生能源大规模并网消纳的要求，部分地区弃风、弃水、弃光问题严重；能源系统整体效率较低：电力、热力、燃气等不同供能系统集成互补、梯级利用程度不高，风电和太阳能发电主要集中在西北部地区，长距离大规模外送需配套大量煤电用以调峰，输送清洁能源比例偏低，系统利用效率不高。

未来我国能源发展将更加注重能源结构调整，加快双重更替，推进能源绿色低碳发展。超前谋划水电、核电发展，适度加大开工规模，稳步推进风电、太阳能等可再生能源发展，为实现 2030 年非化石能源发展目标奠定基础。针对风电，《规划》提出：坚持统筹规划、集散并举、陆海齐进、有效利用。调整优化风电开发布局，逐步由“三北”地区为主转向中东部地区为主，大力发展分散式风电，稳步建设风电基地，积极开发海上风电。加大中东部地区和南方地区资源勘探开发，优先发展分散式风电，实现低压侧并网就近消纳。稳步推进“三北”地区风电基地建设，统筹本地市场消纳和跨区输送能力，控制开发节奏，将弃风率控制在合理水平。加快完善风电产业服务体系，切实提高产业发展质量和市场竞争力。2020 年风电装机规模达到 2.1 亿千瓦以上，风电与煤电上网电价基本相当。

本项目海上风电场建设符合国家可持续发展政策和国家新能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减轻因燃煤等排放有害气体对环境的污染，带动风电产业链和第三产业的发展，增加就业机会，对地方经济快速发展将起到积极作用。因此，本风电场的建设符合《国家能源局能源发展十三五规划》。

10.2.2 《可再生能源中长期发展规划》（2006-2020）

根据国家发改委 2007 年 9 月提出的《可再生能源中长期发展规划》（2006-2020 年），我国将大力发展可再生能源，优化能源消费结构，力争到 2020 年使可再生能源消费量达到能源消费总量的 15%。从目前可再生能源的资源状况和技术发展水平看，今后发展较快的可再生能源除水能外，主要是生物质能、风能和太阳能。风力发电技术已基本成熟，经济性已接近常规能源，在今后相当长时间内将会保持较快发展。

我国风能资源主要分布在“三北地区”和东部沿海陆地、岛屿及近岸海域，据初步估算，全国可利用风能资源达 10 亿千瓦。作为重点发展领域之一的风电，

其目标是通过大规模的风电开发和建设，促进风电技术进步和产业发展，实现风电设备制造自主化，尽快使风电具有市场竞争力。到 2015 年，全国风电总装机容量计划达到 5000 万千瓦。在广东、福建、江苏、山东、河北、内蒙古、辽宁和吉林等具备规模化开发条件的地区，进行集中连片开发，建成若干个总装机容量 200 万千瓦以上的风电大省。

拟建项目位于广东省，属于国家风电重点发展区域之一，因此，项目建设符合《可再生能源中长期发展规划》（2006-2020）。

10.2.3 《可再生能源发展“十三五”规划》（2016）

国家发改委 2016 年 12 月发布的《可再生能源发展“十三五”规划》，“十三五”期间，按照“统筹规划、集散并举、陆海齐进、有效利用”的原则，严格开发建设与市场消纳相统筹，着力推进风电的就地开发和高效利用，积极支持中东部分散风能资源的开发，在消纳市场、送出条件有保障的前提下，有序推进大型风电基地建设，积极稳妥开展海上风电开发建设，完善产业服务体系。开展海上风能资源勘测和评价，完善沿海各省（区、市）海上风电发展规划。加快推进已开工海上风电项目建设进度，积极推动后续海上风电项目开工建设，鼓励沿海各省（区、市）和主要开发企业建设海上风电示范项目，带动海上风电产业化进程。完善海上风电开发建设管理政策，加强部门间的协调，规范和精简项目核准手续，完善海上风电价格政策。健全海上风电配套产业服务体系，加强海上风电技术标准、规程规范、设备检测认证、信息监测工作，形成覆盖全产业链的设备制造和开发建设能力。到 2020 年，海上风电开工建设 1000 万千瓦，确保建成 500 万千瓦。

综上所述，拟建工程的符合国家发改委制定的《可再生能源发展“十三五”规划》。

10.2.4 《广东省能源发展“十三五”规划》

根据广东省发展改革委印发《广东省能源发展“十三五”规划》，“十三五”期间重点布局建设电力生产、原油加工、能源接收和储运、能源装备产业四大基地，进一步完善电网、天然气主干管网、成品油主干管网三大能源

输送网络，打造沿海清洁能源带，形成“四基三网一带”的能源发展格局。打造沿海清洁能源带发展布局为：推进沿海核电建设，大力发展海上风电，加快建设沿海 LNG 接收储运设施，打造形成以核电、风电、天然气为主的沿海清洁能源产业带。

本项目已列入广东省“十三五”时期全省能源发展重点项目，因此项目的建设符合《广东省能源发展“十三五”规划》。

10.2.5 《广东省国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》

根据《广东省国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》，十三五期间全省要建设现代能源体系，转变能源发展方式，调整优化能源结构和布局，推动能源科技进步和技术创新，提高能源效率，创新能源发展体制机制，建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系。到 2020 年，非化石能源占能源消费比重达到 25 %，省内电源装机容量达到约 1.3 亿千瓦，天然气主干管道通达全省 21 个地级以上市。推进能源可持续发展，以核电、天然气、风电、太阳能等为重点，大力发展绿色低碳能源。加快可再生能源利用，有序开发陆上风能资源，加快开发海上风能资源，大力发展太阳能光伏发电，因地制宜推进生物质能、地热能等其他新能源利用，建设新能源示范城市、示范园区和绿色能源示范县。大力推进煤炭清洁高效利用，实行煤炭消费总量中长期控制目标责任管理，实现全省煤炭消费总量基本达到峰值。

“十三五”时期我省现代能源体系重点建设工程指明打造绿色低碳能源工程：建设滇西北至广东 800 千伏特高压直流输电工程。大力发展可再生能源，建设风电约 500 万千瓦，建设太阳能光伏发电约 300 万千瓦。建设智能电网示范工程，建设绿色能源示范县、新能源示范城市、示范园区，实施“新城镇、新能源、新生活”行动计划。

因此，本项目建设符合《广东省国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》的相应目标要求。

10.2.6 《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）》

《广东省海上风电发展规划》（2017-2030）提出了对广东省海上风电工程一次规划，分期开发的实施方案，本项目是《广东省海上风电工程规划》中 2018 年重点推进的海上风电开发项目。

本项目在规划场址的基础上，对风电场用海范围进行了进一步的调整。为避开风电场中部的甲湖湾电厂码头配套的 1#锚地，将规划风电场中间空出 7.4km（约 4 海里）的锚地及其缓冲区域，将风电场分为东西两个场址；同时为了保证达到规划的建设规模，将风电场南侧边界外扩约 1km，最终形成目前的用海方案。

本项目风电场范围经过调整后，与规划场址有一定差别，但总体用海范围控制在 80km² 以内，满足《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》（国海规范[2016]6 号）中“单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 km² 左右”的要求，也符合《广东省海上风电发展规划》（2017-2030）中“风能资源条件良好，满足“双十”要求，集约节约用海、避开重要、敏感、脆弱生态区域以及划定的海洋生态红线限制区域，规模化开发，并网条件较好”五项风场场址布局原则。

综上所述，本项目建设符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）》。

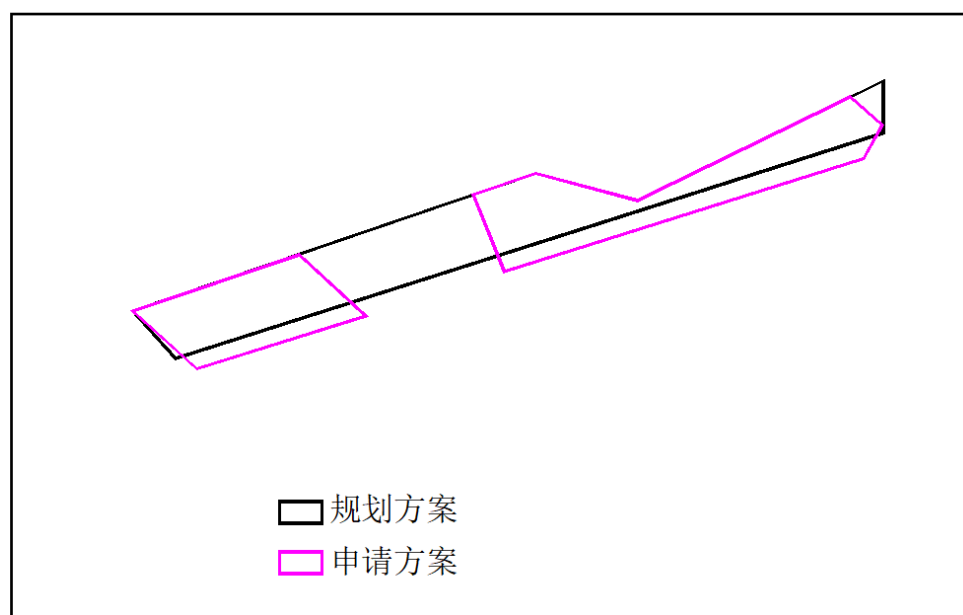


图10-4 项目风电场规划范围与实际申请方案对比图

10.2.7 《汕尾市国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》

根据《汕尾市国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》文件精神，“十三五”期间，加快能源基地建设。大力推进火电、核电、风电、光伏发电和抽水蓄能等能源项目建设，至2020年，全市电力装机容量达到1500万千瓦左右。以智能电网控制设备项目为突破，推进电力能源节能技术及设备等高效节能设备业发展，推动形成产业集群。优化整合小水电资源，推进生物质能等其他可再生能源开发和综合利用。因此，本项目建设符合《汕尾市国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》的相应目标要求。

10.2.8 《汕尾港口总体规划》

根据《汕尾港口总体规划》，本项目风电场区不在规划的航道和锚地区；本项目登陆点不占用规划的港口岸线。因此，项目建设不会影响《汕尾港口总体规划》的实施。



图 10-5 汕尾港岸线利用规划



图10-6 汕尾港总体规划图

10.3 工程选址与布置合理性

10.3.1 工程选址合理性

根据《风电场场址选择技术规定》，海上风电场场址选择应满足以下条件：

- （1）优先考虑风能资源丰富区和较丰富区场址资源；
- （2）规划场址具备规模开发的场地条件；
- （3）兼顾岸线和海域利用、城市建设规划和生态保护要求；
- （4）不影响机场、航道的正常运行；
- （5）海上风电场宜选择在近海海域，水域条件为水深约 5m~15m。

本风电场轮毂高度长年代年平均风速约为 7.51m/s，平均风功率密度约为 422.4 W/m²。轮毂高度风速有效小时数（3m/s<小时平均风速<25m/s）为 7986h，占全年时间的 91.2%以上。依据风电场开发价值标准（见表 10-5），从风资源角度评价，本工程风电场区具有极高的开发价值，属优秀风电场。

表10-5 风电场开发价值 标准

年利用小时数	开发价值
2000h	经济开发价值
2500h	良好开发价值
3000h	优秀风电场

本工程选址是在《广东省海上风电场工程规划》成果基础上的进一步细化。该场址在上层规划中已充分考虑了项目建设对港口航运、渔业生产、国防军事及生态环境等的影响，在规划中得到了地方海洋、海事、部队、农业等部门的认可。因此，评价认为项目选址总体满足国家对海上风电开发建设管理的要求。

2016 年 12 月 29 日，国家能源局与国家海洋局联合颁布《海上风电开发建设管理办法》，海上风电场“原则上应在离岸距离不少于 10km、滩涂宽度超过 10km，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。”本工程装机容量为 500MW，风电场区水深在 23~28 m 之间，西侧风电场距离岸边最近距离约 10.2 km，东侧风电场距离岸边最近距离约 11km。风电场的海洋水文、地质、接入系统、交通运输等建设条件较适宜；风电场选址避开了自然保护区、生态红线区、航道、锚地、军事活动范围及其他环境敏感区。因此，在选址上总体满足《海上风电开发建设管理办法》要求。

10.3.2 工程平面布置合理性

10.3.2.1 风机平面布置合理性

国海规范（2016）6 号文要求“坚持集约节约用海，严格控制用海面积，科学论证，单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 平方公里左右”。本着节约用海的原则，对风机排布方案进行优化调整。风机的布置以发电效益作为衡量风能资源利用的标准，从风机外缘面积、风机尾流影响以及风机对周边环境限制条件角度出发，经过对 5MW、5.5MW 和 6MW 三种机型的 4 种排布方案比选，确定目前推荐的 91 台单机容量 5.5MW 海上风力发电机组的平面布置方案，推荐方案在用海外缘面积最小的前提下达到了风电场最好的发电效益，同时将风机对船舶航行影响最小化。该方案较大幅度的压缩了用

海面积,控制了大量风机桩基础及配套海缆施工对海域水质及生态环境的不利影响,提高了项目的环境合理性。

风机平面布置推荐方案风机之间列距 1787.9m、行距 512.7m, 19 个回路,各个回路考虑功率分布平衡,连接 4~5 台风机,风机连接电缆不交叉重叠。以 E 为主导风向,推算风电场的年上网电量 1352GWh,年等效满负荷小时数(满发小时数)为 7986 h,容量系数 30.62%,是最为经济合理的方案。

《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》(国海规范[2016]6 号)中规定“单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 km²左右”。本项目风电场外包络面积 77.73km²,平均用海面积为 15.546 km²/10 万 kW。因此,项目的平面布置符合国家政策规定。

10.3.2.2 海缆路由平面布置合理性

在满足工程建设需要的前提下,本着安全用海和集约节约用海的原则,经过工程地质条件、水文气象要素、海底腐蚀性环境等自然环境条件,并登陆点情况件、海洋功能区划、海洋开发活动、海洋行政管理以及陆管情况等方面,通过对 2 个登陆点 2 个海底电缆路由方案的优化,确定从田尾山陆丰核电项目东北侧约 4.5km 处登陆,本项目海缆路由避开了海洋生态红线区,并且登陆点海域开阔,为后续建设的甲子和深海风电场海底电缆预留足够的铺设空间。

10.4 建设项目环境影响可接受性

项目建设造成项目所在及附近海域水动力和冲淤环境产生一定变化,但变化强度及范围较小,不会影响周围海域环境及开发利用活动。项目建设产生施工悬沙扩散对周围海域产生一定影响,影响范围集中分布在施工点附近,不会影响到周边的养殖取水,不会影响到周边的保护区。工程建设不会影响海底沉积物质量。项目建设造成海洋生态及生物资源损害,可采取人工鱼礁、增殖放流等方式进行生态资源补偿。项目选址避开了避开了鸟类的栖息地和鸟类长距离迁徙短距离迁飞的线路,对鸟类的影响有限。施工期噪声对 1.5km 内的海豚类哺乳动物和 2.9km 范围内的石首鱼科有一定影响,通过本报告提供的措施划定安全距离,可极大的降低影响。营运期水下噪声和电磁辐射影响不明显。项目选址避开甲湖

湾电厂码头配套的 1#和 2#锚地，与附近推荐航路距离较近，但是风电场区周边海域开阔，有足够的避让空间，能够保障附近海域的通航畅通。项目选址选线时充分考虑了生态环境敏感目标的分布，对周边生态环境影响较小。

项目在采取本报告提出的环境保护和污染防治措施的前提下，工程建设对周边海域环境影响可以接受。

11 环境管理与环境监测

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，确定环境保护管理机构，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的损害；根据项目的特点，提出相关的环境监理计划与建议，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。

11.1 环境保护管理计划

11.1.1 施工单位环境管理机构设置

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）及时向环境保护主管机构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。

11.1.2 建设单位环境管理机构设置

为了有效保护项目拟建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，并在选择施工单位前，将主要环境保护措施列入招标文件中，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，将需落实的环保措施列入与施工中标单位签署的合同中，聘请有资质的施工监理机构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）宣传并执行国家有关环保法规、条例、标准，并监督有关部门执行；
- （2）负责本项目施工期与运营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）在施工地点，应由工程环境监理人员在施工现场跟踪监控管理，监察环保设施设置与实施情况；
- （4）工程环境监理纳入工程监理，接受环保主管部门的指导和监督，以便更好地履行职责；
- （5）按环保部门地规定和要求填报各种环境管理报表；
- （6）配合环保部门进行环保设施竣工验收；
- （7）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；
- （8）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协助进行。

11.1.3 环境监理的主要工作内容

11.1.3.1 施工前期环境监理

(1) 污染防治方案的审核

环境监理根据具体项目的工艺设计，审核施工工艺中的“三废”排放环节，排放的主要污染物及设计中采用的治理技术是否先进，治理措施是否可行。污染物的最终处置方法和去向，应在工程前期按有关文件规定和处理要求，做好计划，审核整个工艺是否具有清洁生产的特点，并提出合理建议。

(2) 审核施工承包合同中的环境保护专项条款

施工期承包单位必须遵循的环境保护有关要求应以专项条款的方式在施工承包合同中体现，并在施工过程中据此加强监督管理、检查、监测、减少施工期对环境的污染影响，同时应对施工单位的文明施工素质及施工环境管理水平进行审核。

11.1.3.2 施工期环境监理

(1) 水污染源的监理

环境监理工程师应重点是对水上施工进行监理，对施工人员生活污水的收集与排放、生产废水和悬浮泥沙排放处理情况进行监测结果评定，如超标，环境监理工程师要及时通知承包方，采取必要的措施，保证上述污水的排放不对受纳水体的水质造成污染。

(2) 固体废物的监理

监督检查建筑垃圾和生活垃圾是否按规定进行妥善处理处置。固体废物处理包括生产和生活垃圾和生产废渣的处理要保证工程所在现场清洁整齐的要求。

(3) 其它方面

施工期间对施工人员做好环境保护方面的培训工作，培养大家爱护环境、防止污染的意识，参与调查处理施工期的环境污染事故和环境污染纠纷。

11.1.3.3 施工后期环境监理

监督管理环境恢复监测和环境恢复计划的落实情况及环保处理设施运行情况。检查生态恢复和污染防治措施的落实情况。参与环境工程验收活动，协助建设单位组织人员的环境保护培训，负责工程环境监理工作计划和总结。

11.2 环境监测计划

11.2.1 施工期监测计划

通过环境监测可以及时掌握工程施工过程中产生的污染物的排放情况及对施工现场周围区域环境质量的影响程度，并反映和掌握运营期防治污染措施的有效程度和治理污染设施的运行治理效果，为环境管理工作提供科学依据。因此，必须做好本工程项目的环境影响跟踪监测工作。

11.2.1.1 海水水质监测

监测项目：悬浮物、油类、化学需氧量、无机氮（为亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和氨氮三项之和）、活性磷酸盐、重金属铜、铅、锌和镉等。

监测站位：在海上根据风机位置和海缆路线等设置 10 个监测站位。

监测时间：施工期。

监测频率：一年四次（或三个月一次）。

11.2.1.2 海洋沉积物监测

沉积物：有机碳、油类、重金属铜、铅、锌、镉和铬等。

监测站位：在海上根据风机位置和海缆路线等设置 5 个监测站位。

监测时间：施工期。

监测频率：一年两次（每半年一次）。

11.2.1.3 海洋生态环境监测

监测项目：叶绿素 a 和初级生产力，浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮

间带生物、鱼卵仔鱼和渔业资源等。

监测站位：设置水生生态站位 6 个，潮间带断面 2 条，渔业资源站位 6 个，分别布设于工程场区、海缆路线以及登陆点附近。

监测时间：施工期。

监测频率：一年两次（春、秋季实施）。

11.2.1.4 噪声监测

（1）水上噪声监测

监测项目： L_{eq} [dB(A)]

监测位置：在运维码头、风电场东、西两个施工区各设置 1 个噪声监测点。

监测频率：施工前监测 1 次，施工期高峰期监测一次。昼间噪声监测时段为晨 6:00~晚 10:00，夜间噪声监测时段为晚 10:00~晨 6:00，分别监测 15min。

（2）水下噪声监测

监测时间：风机基础施工期间（特别是在施工期的第 1 个月），至少对各类基础进行一次完整的水下噪声测量。

监测位置：在距离风机基础结构 300-1000m 处、不同的水层深度处（水听器离海面 1-3m，垂直阵一般应布设到近海底）实时监测风机桩基打桩时产生的水下噪声。

监测内容：打桩施工所产生的最大声压级 L_{peak} (dB re $1\mu Pa$)、噪声频带有效声压级 (dB re $1\mu Pa$)；噪声声压谱（密度）级；分析水下噪声时-频特性。

11.2.1.5 监测数据的管理

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海洋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。

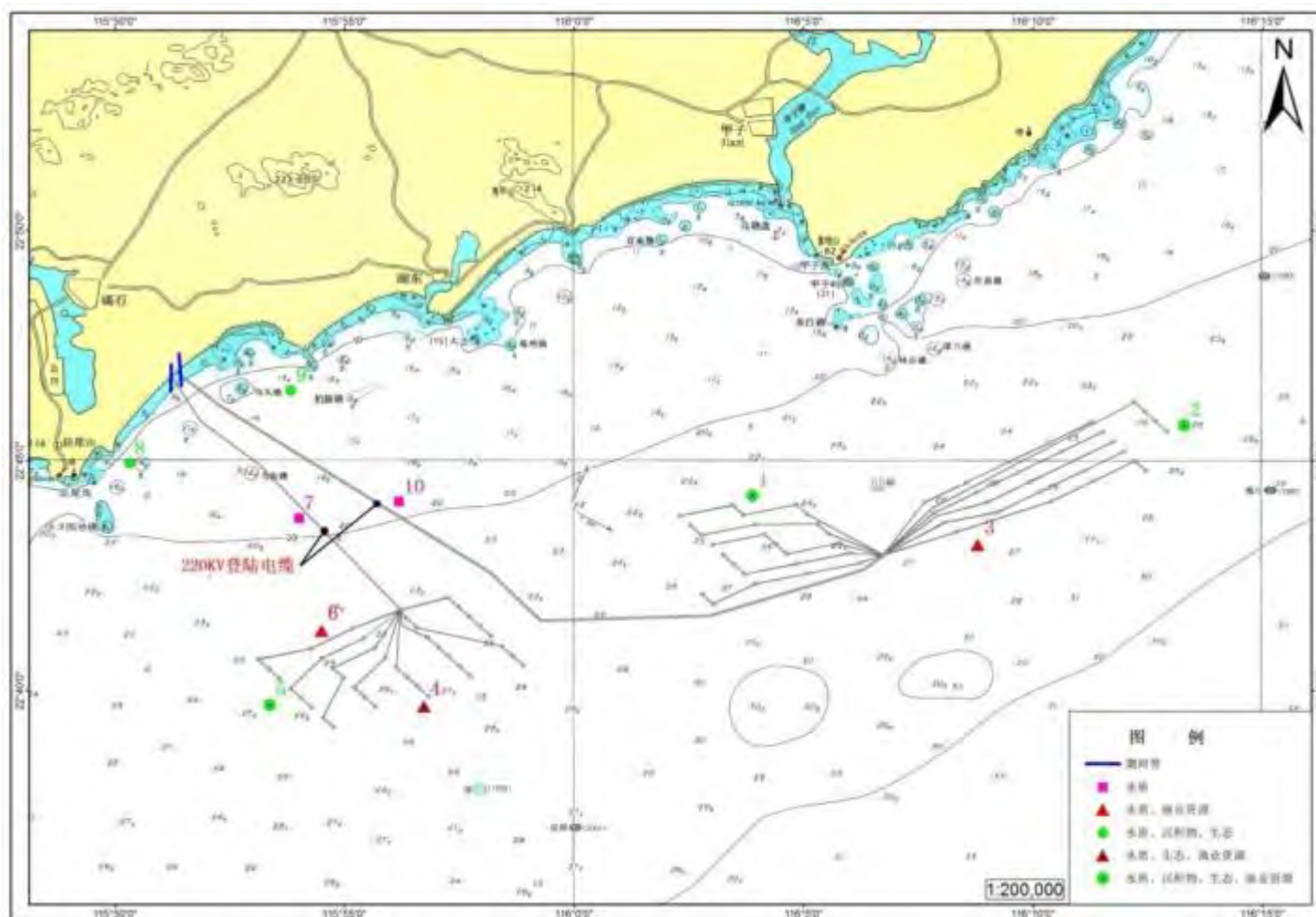


图11-1 施工期海洋环境监测站位图

11.2.2 运营期监测计划

运营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。

11.2.2.1 声环境监测计划

(1) 水上噪声监测

监测点布设：选择海上升压站外侧和典型风机外缘，以 50m 为间隔顺序布置监测点，直至达到环境背景噪声。

监测项目：Leq [dB(A)]

监测频率：每年春、秋季各 1 次，每次监测包括昼间和夜间。

(2) 水下噪声监测

监测时间：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。

监测位置：在距离风电场单个风机约 100m 处监测水下辐射噪声。同时应在距离风电场外部界限 3-4km 处进行水下背景噪声和风电噪声的综合测量。

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。

必须在风电投入运行后的 12 个月内向相关部门提交工程海域水下噪声监测报告，在项目营运初期，进行石首鱼科鱼种的调查。

11.2.2.2 电磁环境监测计划

1) 监测点布设

A、海底电缆

在相关技术水平达到要求时，可考虑在工程运行阶段适时开展海底电缆电磁

环境影响的监测。

工频电磁场：以海底电缆的边缘线为测试原点，沿垂直于线路方向为测量路径，按测点间距 10m 顺序布点，确认某测点工频电场测值已为环境背景值时，可不再向远处测点继续测量。

无线电干扰：测点的分布按工频电磁场测量路径，顺序测量各测点在 0.5（1±10%）MHz 频率的量值。在测量中确认某测点的无线电干扰测值已为环境背景值时，可不再向远处测点继续测量。

B、海上升压站

工频电磁场：以海上升压站外缘线的垂直方向作为测试路径，距离外缘线 5m 位置为起点，以 10m 间隔布置测点，直至环境背景处为止。

无线电干扰：以海上升压站外缘线的垂直方向作为测试路径，外缘线为起点，顺序布点测量直至环境背景处为止。

2) 监测项目：工频电场强度、工频磁感应强度。

3) 监测频率：每年 1 次。

11.2.2.3 水文动力

监测位置：选择风场区及其周边海域 10 处位置。

监测时间及频次：运营期前 2 年每年监测 1 次。

监测项目：流速、流向、悬浮泥沙等。

11.2.2.4 地形

监测位置：选择若干个冲刷比较严重区域的风机进行水下地形的监测，监测范围为风机周边 500m 内；选择若干段冲刷比较严重的海区的海缆进行水下地形的监测，监测范围为海缆两侧各 10m 范围内。如发现冲刷严重，威胁桩基和海缆安全，应及时维护，并应加大对风机和海缆进行监测的范围，确保风机和海缆安全。

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。

监测项目：水深和海底地形。

11.2.2.5 海洋生态

监测位置：在风场区附近设置 4 个断面共 12 个站位，在登陆点设施 2 个潮间带断面。

监测时间：运营期前 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。

监测项目：叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物。

11.2.2.6 鸟类

1) 监测位置：在风电场区及附近 8km 范围内进行监测，共设置 6 监测点。

2) 监测时间及频率：自施工期开始，连续监测 5 年；每年春、夏、秋、冬四季观测。

3) 监测项目：鸟类种类和数量，迁徙活动情况，栖息觅食情况，鸟类撞机情况等；分析候鸟物种变化情况、鸥类及保护物种种群数量的动态变化，主要候鸟迁徙期。

11.2.2.7 渔业资源

监测位置：风场区附近海域设 3 个监测站位，在风机桩基周边 500m 范围内选择 3 个站位。

监测时间及频次：运营期开始 2 年内应开展跟踪监测，每年选择春、秋节进行监测取样，运行 2 年之后根据前期监测分析结果，监测频次可调整为 2 年监测一次，监测时间可选择春季。

监测项目：海上风电项目对海洋生物的影响主要来自风机噪声及电磁辐射，由于国内风电项目关于噪声和电磁辐射对海洋渔业资源的影响并无相关研究，无前期工作方法可以参照，建议在工程前后选择不同时间节点进行取样分析。

监测对象：鱼类、头足类、甲壳类及鱼卵仔鱼。

分析要素：种群结构、生物量、生物密度、多样性指数、优势种、优势度等。

建议建设单位委托相关专业单位开展实验室生物行为学研究，对噪声和电磁辐射进行实验室模拟，开展在不同噪声级及电磁辐射强度下海洋生物反应的敏感性测试及阈值测定。

11.2.3 其它有关事项

（1）在执行监测任务过程，建议多争取地方环境保护监测站指导，特别是协助进行实验室的监测质量控制。必要时可委托进行监测任务。

（2）做好监测资料的保管与建档，应有监测分析原始记录，符合环境监测记录的规范和要求；及时做好监测资料的分析、反馈、通报和归档。

（3）监测计划的实施应接受环保主管部门、海洋主管部门的监督、检查和指导。

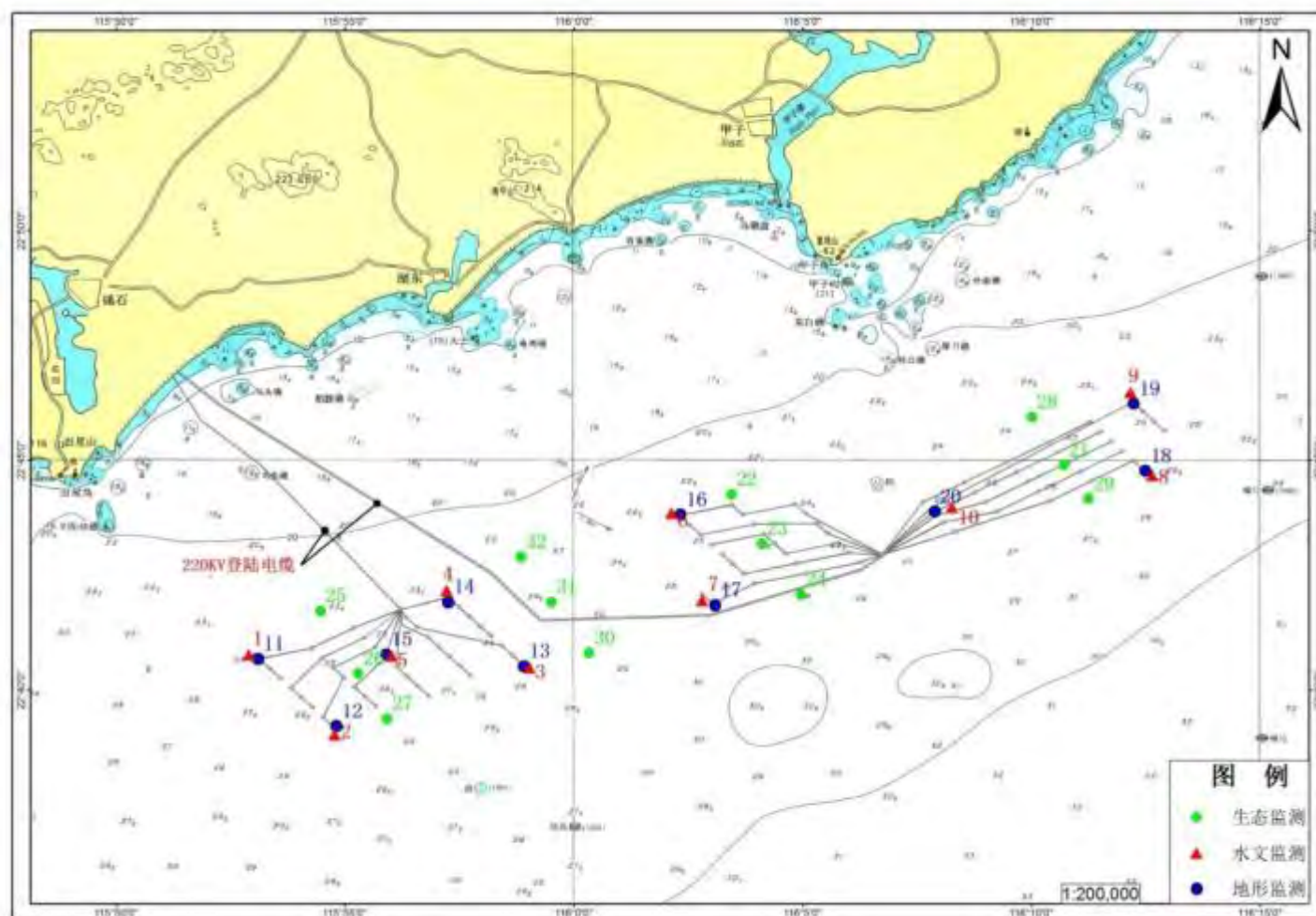


图11-2 运营期海洋环境监测站位图

11.3 环境保护规章制度及监督实施

11.3.1 施工期主要环境保护规章制度

- (1) 环保设备订货验收及环保设施施工和竣工验收办法；
- (2) 施工现场环境保护管理办法。

11.3.2 运营期主要环境保护规章制度

- (1) 风电场环境保护管理办法；
- (2) 污水处理设施操作规程；
- (3) 固体废物收集处置规定。

11.3.3 环境保护设施的实施和监督

本工程施工期和运营期环境保护管理和防治污染设施由建设单位环保部门负责实施，政府监督部门为广东省海洋与渔业局有关部门。

11.4 环保验收清单

根据本项目建设与运行的环境影响及污染物排放特征，该风电场项目竣工后，环保验收的主要内容列于表 11-1，供环保部门竣工验收时参考。

表11-1 环境保护“三同时”验收一览表

项目内容	环境要素	验收主要内容	参考要求或执行标准
风电场	1.海洋水质	施工期船舶污染物收集交由第三方有资质的单位处理； 营运期升压站设置污水收集设施。	《广东省水污染物排放限值》(DB 44/26-2001) 中一级标准
	2.海洋生态保护	落实本报告中的各项海洋生态环境保护措施； 落实海洋生态及渔业资源、渔业生产补偿。	
	3.鸟类	落实本报告中的各项鸟类影响对策措施	
	4.风电场降噪	采用先进发电机组，机舱内表面贴附阻尼材料。	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准
	5.通航安全措施	按通航报告要求落实风机基础设置防撞设施等	通航安全报告
升压站	1.电磁防护	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。	满足《电磁环境控制限制》(GB8702-2014) 和《高压交流架空送电线无线电干扰限值》(GB15707-1995) 中的相关限值要求
	2.声环境保护	选用低噪声变压器，噪声小于 70dB；主变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板。	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准
	3.生活污水处理	海上升压站生活污水运回大陆处理	
	4.生活垃圾收集处置	设置生活垃圾收集系统，交由市政垃圾收运船外运。	
环境风险事故预防	1.应急预案	将本工程应急体系纳入海事局应急体系中	
	2.事故应急设施	设置升压站事故油池	确保升压站事故含油污水不外排
	3.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	1.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	
	2.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	

12 环境影响评价结论及建议

12.1 工程分析结论

拟建中广核汕尾后湖海上风电场项目位于广东省汕尾市陆丰市湖东镇至揭阳市惠来神泉镇之间、汕尾陆丰湖东镇后湖南侧海域。项目总装机容量 500MW，规划海域范围 77.73km²，风机外包络范围 65.29km²，安装单机容量为 5.5MW 的风力发电机组 91 台，220kV 海上升压站 2 座。风电场分为东、西两个区域，西侧区域风电机组通过 8 回路 35kV 集电海底电缆，连接到西侧区域规模为 200MW 的 220kV 海上升压站，经过 1 回路 220kV 海底电缆线路送到沿岸登陆；东侧区域风电机组通过 11 回路 35kV 集电海底电缆，连接到东侧区域规模为 300MW 的 220kV 海上升压站，经过 2 回路 220kV 海底电缆线路送到沿岸登陆；登陆点位于碣石镇东南田尾山陆丰核电项目东北侧约 4.5km 处，登陆点附近新建陆上集控中心，海底电缆登陆后经新建陆上集控中心，就近送至变电网系统。风机基础采用四桩导管架基础，其中 31 台嵌岩机，60 台非嵌岩机；海上升压站采用四桩导管架和钢管桩基础；35kV 集电海底电缆总长 140.54km，220kV 送出海底电缆长 73.15km。

项目总申请用海面积为 624.4846 公顷。其中，西区宗海 154.4489 公顷：35kV 集电线路申请用海面积为 73.7778 公顷，220kV 路由申请用海面积 25.7106 公顷，风机申请用海面积 53.2000 公顷，海上升压站申请用海面积 1.7605 公顷；东区宗海 470.0357 公顷：35kV 集电线路申请用海面积为 185.0391 公顷，220kV 路由申请用海面积 208.8646 公顷，风机申请用海面积 74.2000 公顷，海上升压站申请用海面积 1.9320 公顷。项目申请用海期限为 28 年。项目登陆点利用岸线 43m。

本项目施工期的主要环境影响为风机桩基施工和电缆沟开挖导致海底泥沙再悬浮影响局部海域海水水质和海洋沉积物环境，并由此可能对工程海域海洋生态环境和渔业资源等造成一定的损害，海上施工作业也可能会对工程海域渔业生产产生一定的影响。同时，施工活动的侵扰会对邻近的鸟类栖息地和觅食的鸟类产生一定影响。施工过程中产生的施工污废水、废气、扬尘、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。

本项目为风力发电项目，生产过程中无废气、废水和灰渣等污染排放源，对海水水质环境不会产生负面影响。可能对海洋环境产生影响的因素主要有：（1）风机基础桩基对局部海域潮流场的影响；（2）海流在钢管桩周围产生涡流，将海底泥沙搅动，可能会产生冲淤、冲刷方面的影响，改变海底地形；（3）风机运转存在与觅食、迁徙飞行鸟类发生碰撞的可能性；（4）风电场建设造成渔业捕捞海域面积的减小，对渔业生产会产生一定的影响；（5）风机运行水下噪声对海洋哺乳动物和部分游泳动物的影响；（6）对通航环境的影响；（7）高压输变电产生的工频电磁场可能会对海洋生物资源产生一定的影响。

12.2 环境现状分析与评价结论

12.2.1 海水水质环境

2017 年 11 月水质评价结果表明，无机氮、活性磷酸盐、铅和锌出现超标，超标率分别为 17%、57%、67%和 71%，最大超标倍数分别为 0.9 倍、0.51 倍、2.38 倍和 0.5 倍。2018 年 3 月水质评价结果表明，活性磷酸盐和铅出现超标，超标率分别为 43%和 16%，最大超标倍数分别为 0.673 倍和 1.34 倍。从春、秋两季调查结果看，项目海域受到无机氮、活性磷酸盐、重金属铅和锌的污染。

12.2.2 海洋沉积物环境

2017 年 11 月海洋沉积物质量评价结果表明，重金属汞、铜、铅和砷出现超标，超标率分别为 73%、27%、13%和 13%，最大超标倍数分别为 2.39 倍、0.34 倍、0.20 倍和 0.53 倍。2018 年 3 月海洋沉积物质量评价结果表明，重金属汞出现超标，超标率为 7%，最大超标倍数为 0.98 倍。总体来看，评价海域沉积物受到重金属汞等的污染。

12.2.3 海洋生物质量

2017 年 11 月调查结果显示，带鹑螺的 Hg、As、Pb、Zn、Cr 含量超标，超标倍数分别为 2.39、0.76、0.18、0.37 和 1.86，其他生物的各项生物残毒含量均达标。

2018 年 3 月调查结果显示（表），5 种生物体内的石油烃的出现超标，超标率为 8.33%，最大超标倍数为变态蜉体内石油烃超标倍数为 15.1；个别生物体内的 Cd、Cu 和 As 也出现了超标，最大超标倍数为 1.49；其他生物的各项生物残毒含量均达标。

12.2.4 海洋生态环境质量

2017 年 11 月评价海域的 16 个生态站位，其综合评级达到良和优的站位有 13 个，该海域的生态健康分级处于良（较健康）水平，说明该海域生态环境质量状况处于中等偏上水平。

2018 年 3 月评价海域的 18 个生态站位，其综合评级达到优的站位有 17 个，因此该海域的生态健康分级处于健康水平，说明该海域生态环境质量状况处于优良水平。

12.2.5 鸟类现状调查结果

风电场场址所在海上分布红嘴鸥 *Chroicocephalus ridibundus* 数量最多，其次为普通燕鸥 *Sterna hirundo*、褐翅燕鸥 *Sterna anaethetus*、黑尾鸥 *Larus crassirostris*、普通鸬鹚 *Phalacrocorax carbo* 和黑枕燕鸥 *Sterna sumatrana*；海滨陆上多为鱼塘、农田、灌丛生境，其中白鹭 *Egretta garzetta*、大白鹭 *Ardea alba*、家燕 *Hirundo rustica*、普通鸬鹚和红嘴鸥、池鹭 *Adeola bacchus* 和家燕 *Hirundo rustica* 数量较多。

共调查到鸟类 12 目 27 科 55 种，特殊的地理位置和环境，调查区域内的鸟类大部分为海鸟和水鸟，因此非雀形目 37 种，占 67.27%，鸻形目和鸽形目种类较多分别有 10 种和 15 种，而雀形目 18 种，占 32.73%。

在调查到的 40 种鸟类中，国家二级保护鸟类 2 种，列入中国鸟类濒危红皮书鸟类 2 种；广东省保护鸟类 17 种。

12.2.6 噪声现状调查结果

1、2、3、6、9 号调查站点的水下噪声监测结果与剩下其他监测站点水下噪声监测结果是有差异的。1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声能量集中在 0~15 kHz，

其他调查站点水下噪声能量集中在 0~1 kHz、15~20 kHz；1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声能量在 1~15 kHz 明显高于其他调查站点，1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声能量在 15~20 kHz 明显低于其他调查站点。

1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声全频带累积声压级为 30~41dB，其他调查站点水下噪声的总声压级为 67~83 dB。1、2、3、6、9 号调查站点水下噪声的频带声压级为 10~48 dB，声压谱级为 -25~9 dB；其他调查站点水下噪声的频带声压级为 17~69 dB，声压谱级为 1~28 dB。

12.3 环境影响预测分析与评价结论

12.3.1 水文动力环境影响预测与评价

12.3.1.1 潮流流场模拟结果

项目附近海域的潮差较小，潮流较弱，涨潮流最大只有 35cm/s 左右；落潮流最大可达到 40cm/s 左右，流向基本为平行于海岸线，转流时间较短，不超过 1 个小时。转流时潮流流向顺时针旋转。涨急、落急时刻，在局部岬角处，最大流速可达到 50cm/s 左右，如甲子角、水牛坝角、本项目登陆点附近的岬角以及甲子港口门处。涨平、落平时刻，流速微弱，流速小于 20cm/s。由于潮流较弱，海流容易受到其他驱动力的影响，如风应力、波浪应力和温盐斜压力等。因此，实测海流的规律性一般。

12.3.1.2 桩基附近流场模拟结果

由于风电桩基直径较小，因此，对于大范围的流场基本没有影响。

对风电桩基区小范围的流场进行分析，桩基引起的流速改变的幅度和范围较小，流速最大改变幅度为 21cm/s 左右，流速改变幅度大于 4cm/s 的范围向东西两侧延伸 1.6km 左右，向南北两侧延伸 2.7km 左右，流速增大的区域出现在桩基群的南北两侧和桩基之间，流速减小的区域出现在桩基和桩基群的东北-西南侧。桩基周边的流速改变在涨潮时以顺流方向减小为主，落潮时桩基东北-西南两侧流速减小，相邻桩基之间的涨急和落急流速略有增强。

12.3.2 冲淤环境影响预测与评价

风电桩基群对水流的整体阻挡效应明显，导致在桩基群的附近和东北-西南两侧产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.19m/a 左右，而在两排东西向桩基群的中间，则表现出略有冲刷，最大冲刷幅度为 0.15m/a 左右；海上升压站的东北和西南岬角处可能出现最大 0.23m/a 的冲刷。整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 4cm/a 的范围不超过桩基区 3.9km 。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

风机桩基局部冲刷计算结果表明，针对本项目风机基础 2.4m 桩基，局部冲刷深度在 2.78m – 3.06m ，局部冲刷直径在 11.38m – 12.28m 。

12.3.3 施工期悬浮泥沙扩散影响预测与评价

施工期悬浮泥沙扩散计算结果表明，施工悬沙影响范围集中分布在施工点附近，不会影响到周边海域的环境敏感区。施工期悬浮泥沙增量超一、二类海水水质标准的影响面积为 146.509km^2 ，超过三类水质标准的影响面积为 0.915km^2 。悬沙扩散范围顺潮流方向的延伸最大距离 1.72km 。工悬沙对海水水质的影响时间是短暂的，这种影响随着施工的完毕而在数天内逐渐消失。

12.3.4 沉积物环境影响分析与评价

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。

风机基础施工打桩和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，应不会影响海底沉积物质量。

本工程水下防腐采用高效铝合金牺牲阳极，其主要成分为 Al 、 Zn 、 In ，溶解后将随海水扩散进入大范围的海水中，初步估算沉积物中锌含量最大约为 45.4×10^{-6} ，仍然能够满足一类海洋沉积物质量标准要求，不会对工程海域沉积物造

成明显不利影响。

12.3.5 海洋生态环境影响分析与评价

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,本项目建设期间浮游植物受损总量为 4.6938×10^{13} cells,浮游动物受损量约为 7.46t,鱼卵受损量为 5.9874×10^8 粒,仔稚鱼受损量为 1.7807×10^7 尾,游泳生物受损量为 0.87t。海底电缆铺设造成的底栖生物资源损失量估算结果为 33.16t,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 0.03t。初步估算,本项目建设造成的海洋生物资源损害经济补偿额为 1136 万元。

海上风电场工程建设造成海洋生态系统服务功能损失包括:海洋供给服务、海洋调节服务、海洋文化服务、海洋支持服务共 4 个部分,本项目对上述服务功能造成的损失为 497 万元。

12.3.6 鸟类影响分析与评价

分析结果表明,风电场的选址不会影响到鸟类的栖息地和觅食场所,也不在候鸟长距离迁徙和短距离迁飞的主方向上,因此,风电场的建设不会造成鸟类栖息和觅食场所的减少,也不会对迁徙和迁飞产生阻碍作用。

鸟类现状调查结果表明,该区域有国家二级保护鸟类并被列入中国濒危动物红皮书的 1 种,广东省保护鸟类 10 种。这些鸟类主要活动场所最近距离风电场超过 3000 m,风电场的建设不会造成种群数量不可逆的损伤。

风电场产生的鱼礁效应,会吸引鸥类来此觅食,提供更丰富的食物资源的同时,增加鸟机相撞的风险,概率不会超过 1%,这种影响是可接受的。

12.3.7 水下噪声对海洋生物资源影响预测与评价

12.3.7.1 施工期水下噪声影响预测与评价

海上风电场采用的四桩导管架风机基础钢管桩撞击施工所产生的水下冲击

波噪声将对周围海域的海洋渔业资源带来一定影响。对于冲击式的非连续性水下脉冲噪声，目前国际导则要求对海洋哺乳动物的声压阈值超过 $180\text{dB}/\mu\text{Pa}$ 为危险级。对于本工程 2.4m 管径的钢管桩撞击施工，水下打桩噪声在离桩基中心 190m 的距离范围内为危险级（噪声将损伤海洋哺乳动物的听觉，引起听阈改变）；在离桩中心 1.52km 左右距离范围内为警告级（噪声将干扰海洋生物行为等）。在这些距离内，施工打桩等水下噪声将对海洋生物造成一定影响。

导管架风机基础打桩作业对石首鱼科等渔业资源将产生一定的影响。工程附近海域主要经济物种有叫姑鱼和大黄鱼等石首鱼，由于石首科鱼类对声音特别敏感，因此打桩施工将对这些鱼类产生较大的影响。当离桩基施工距离小于 190m 范围内，打桩噪声将可能致石首鱼科（如大黄鱼、白姑鱼）的直接伤亡。因此，有石首科鱼类存在、产卵及洄游期应该暂停打桩作业。当施工海域有石首鱼科的仔鱼和产卵场时，本报告以 155dB 作为影响石首鱼科类的噪声阈值，应确立在离桩基 2.9km 的距离范围外为安全距离。

根据目前国际上对连续存在的水下噪声可能对海洋生物的行为干扰的安全级阈值设定 120dB 的导则要求，本工程所采用的一般水下施工等活动基本上不会对海洋生物带来影响。

由于施工期相对时间较短，同时某些鱼类可以采用游离避开噪声源等方法远离施工区，在施工结束后再返回该区域。

12.3.7.2 营运期水下噪声影响预测与评价

类比监测结果表明，营运期风机运转在水中辐射的水下噪声总体都不高，与海洋背景噪声相当。现有研究表明，风电场营运所带来的轻微的噪声增加对鱼类等海洋生物影响不大。但不同海洋生物种群间由于声学特性差异较大，对不同性质声音的反应也不一样，仍需要对海洋生物本身的声学特性进行深入的研究。

12.3.8 电磁环境影响分析与评价

类比分析结果表明，本工程 220kV 海上升压站主变 $2\times 210\text{MVA}$ 所产生的电场强度与菊城变电站类比监测结果相类似，能满足评价标准的要求。

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核内部。对于 35kV 的集群海底电缆,由于磁场在海域介质中的衰减特性,在离机群中心距离 1m 外,磁感应强度已降为 10^{-6}T 以下,对于 220kV 海底电缆,磁感应强度已降在 10^{-5}T 以下,对海洋生物影响不明显。

12.3.9 敏感区和保护目标影响分析与评价

12.3.9.1 广东省汕尾市碣石湾海马资源市级野生动物自然保护区

广东省汕尾市碣石湾海马资源市级野生动物自然保护区距离风电场较远,本项目施工期和营运期造成的环境影响不会影响到该保护区。

12.3.9.2 “三场一通道”

本项目位于南海区幼鱼幼虾保护区和南海北部幼鱼繁育场保护区的范围内,金钱鱼产卵场的边缘。桩基施工和海底电缆铺设都会对水体产生扰动,进而对鱼类的洄游产卵活动产生影响,施工噪声也会惊扰鱼类产卵。另外,施工期产生的悬浮泥沙其扩散亦会对鱼卵和仔稚鱼的存活产生一定的影响。由于影响持续时间较短,造成的影响有限。

12.3.9.3 养殖区

项目建设不会占用养殖区。项目附近养殖以沿岸的围塘养殖为主,养殖场采取打井过滤地下水的方式取水,并且项目施工悬沙影响时间仅数天,因此,项目建设不会对附近养殖造成影响。

12.3.9.4 人工鱼礁

湖东三洲澳人工鱼礁区目前并未投放人工渔礁块体,不会受到项目施工建设的影响。

12.3.9.5 渔民捕捞

项目用海区南侧海域为甲子渔场的传统捕捞作业区。风电场建设直接占用部分渔业捕捞作业区,并影响甲子港的渔船出海,缩小了渔业生产作业范围,增加渔船出海绕行的成本,也增加了渔船碰撞风机的风险和渔船走锚对海底管线造成

破坏的风险。

另一方面，海上风电场风机基础具备人工鱼礁的属性，起到了保护渔业资源的作用。通过良好的管理，可以达到开发利用可再生能源与渔业捕捞生产建设的和谐共存。

12.3.10 通航环境影响分析与评价

12.3.10.1 对风电场周边航道的影响分析

项目附近可能受到本项目建设影响的航道有中小型船舶推荐航路和粤东沿岸小船习惯性航路。工程水域实时船舶交通流量统计分析也显示，工程水域的交通流密度较大。

风电场北侧接近小型船舶的习惯航路，风电场的建设对粤东沿该航路航行的船舶有影响。但风电场北边线与岸边有 10km 的距离，水深条件良好，能够满足上述船舶安全通航的要求。

风电场南边线距离中小型船舶推荐航路北边线较近，风电场的建设对沿该航路航行的船舶有影响。但风电场南侧海域开阔，船舶只要了解风电场的存在，并与其保持一定的安全距离，其影响是可控的。

项目 220kV 海缆路由与北侧习惯性航路海甲航线和大星角甲子航线有交越，水深为分别为 18.0~19.0m 和 21.0~22.0m，路由跨越航道段的埋深和铺设工艺要充分考虑该航道未来升级和疏浚的影响，要有足够的埋深并加以保护。

12.3.10.2 对进出甲子港船舶的影响分析

甲子港的船舶一般为来往粤东各港口间船舶，拟建风电场与岸之间水域较为宽阔，水深条件较好，能够满足上述船舶的安全通航。

甲子港还有许多渔船，出海捕捞作业需经过拟建风电场水域，或在风电场水域进行捕捞作业，风电场外围可航水域开阔，可满足其通航安全要求。

12.3.10.3 对进出甲湖湾电厂码头船舶的影响分析

风电场北边线与甲湖湾电厂码头进港航道南端距离约 7.5km，进靠甲湖湾电

厂码头的船舶，吨位较大，吃水较大。风电场布置过程中，将中间的 1#锚地空出来，并在锚地东、西两侧留有足够距离，能够满足风甲湖湾电厂码头船舶进出港通航要求。

12.3.10.4 对锚地影响分析

东西两个风电场区之间有甲湖电厂 1#锚地和甲湖电厂 2#锚地，两个锚地与风电场的距离有足够的水域划定海缆保护区。两个锚地与风电场之间的距离经过通航安全评估论证，能够满足甲湖湾电厂码头船舶在此锚泊的安全。

12.3.10.5 对海上通讯信号的影响分析

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。另外，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，可能影响到小船的海上搜救。

12.3.10.6 附近船舶抛锚对项目海缆埋深的影响分析

路由区海上交通比较繁忙，一些随意抛锚的较大型渔船可能对埋深小于 2m 的海底电缆造成伤害。这就需要对海缆的深埋要严格要求，真正达到设计标准。电缆铺设后也需树立警示标志、发布相关海域管理通告。

12.4 环境风险分析与评价结论

本项目施工建设存在船舶事故溢油污染环境的风险。溢油扩散预测结果表明，东侧风电场区发生船舶碰撞溢油事故，主要影响甲子角至神泉港岸段，事故发生后最快 11 个小时后即可抵达岸边。西侧风电场区发生船舶碰撞溢油事故，主要影响湖东渔港及水牛坝角至湖东渔港沿岸养殖区，事故发生后最快 11 个小时后即可抵达岸边。针对各种可能发生的环境事故，本报告提出了相应的事故防范措施，将事故的发生概率和事故发生后对环境的影响控制到最低。

12.5 区域环境影响、社会经济环境影响综合分析与评价结论

中广核汕尾后湖海上风电场项目风电场区位于汕尾市陆丰市湖东镇至揭阳

市惠来神泉镇之间、汕尾陆丰湖东镇后湖南侧海域，该海域风能资源丰富，且是可再生能源。本项目建成后，每年可为当地电网提供清洁能源电能 1352GWh，按替代标准煤耗 324g/kWh 计算，每年可节省标煤约 43.81 万 t，相应地每年可以减少温室气体二氧化碳(CO₂)的排放量约 119.31 万 t、烟尘 42.06t、二氧化硫(SO₂) 722.86t、氮氧化物(NO_x) 3417.18t、灰渣 2.47 万 t。可见，本风电场项目的建设可以减少相当数量的化石资源消耗，有利于缓解环境保护压力，项目的节能和环保效益显著。尽管如此，本项目建设过程中亦会造成一定数量的海洋生物生态资源损失，据估算损失的海洋生物资源和渔业资源折合人民币亦达 1136 万元之多，因此，建设单位应根据有关规定给予相应的生态补偿。

本风电场工程的建设可作为汕尾市电网的补充电源，直接向当地电网供电，有助于满足区域电力负荷发展的需要，并能减轻主网的潮流输送，进而相应地减少线损。另外，本风电场建设，亦会带动当地相关产业的发展，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积极的作用，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，风电项目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。

12.6 建设项目环境可行性结论

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。根据国家《产业结构调整指导目录（2011 年本）》和《可再生能源产业发展指导目录》（发改能源[2005] 2517 号），本项目属于产业政策鼓励类项目，符合国家产业政策的要求。工程建设对于降低煤炭消耗、减轻环境污染，缓解环境保护压力、改善地区电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，是广东省能源发展战略的重要组成部分。

本项目符合《全国海洋经济发展“十三五”规划》和《广东省海洋经济发展“十三五”规划》中关于“因地制宜、合理布局海上风电产业，鼓励在深远海建设离岸式海上风电场”的要求，亦符合《汕尾市国民经济“十三五”规划》（2016-2020 年）的要求。项目选址和用海符合《广东省海洋功能区划》

（2011-2020 年）和《广东省海上风电场工程规划》的要求，与《广东省海洋生态红线》（2016-2020 年）的规定和要求亦不冲突。

工程区域目前环境质量状况良好，但工程建设可能会对工程海域的海洋生态环境产生一定的影响，在认真落实本报告书所提出的各项环境保护对策和措施的前提下，工程建设所造成的环境影响和生物资源损失应在可接受的范围内，从环境影响和环境保护的角度考虑，本工程项目总体可行。

12.7 其他意见和建议

（1）建设单位应认真落实本报告书提出的各项环保措施和污染防治措施，认真执行环保措施“三同时”制度，力争将项目建设对环境造成的不利影响降至最低。

（2）认真执行施工期的环境监理制度，确保各项环境保护措施和污染防治措施有效运行。

（3）认真执行建设项目环境影响跟踪监测制度和后评估制度，发现问题，及时采取补救措施，并上报有关管理部门，必要时应停止施工和运营。

（4）鉴于本项目建设运营过程中皆存在船舶溢油的风险，建设单位应按照国家有关的法律、法规和规程尽快设立溢油应急组织机构，编制溢油应急预案，并配备相应的溢油应急器械和设备。

（5）利用风电场海域和风机基础构建大型海洋牧场，使风电场产出清洁能源的同时，为海洋生物提供营养、健康、安全的生存环境。建议建设单位针对本项目风电场开展相关研究和设计。