

# 广西防城港海上风电示范项目 A 场址 工程海域使用论证报告书

国家海洋信息中心

2022 年 10 月

# 论证报告编制信用信息表

论证报告编号	4506812022001447		
论证报告所属项目名称	广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程		
<b>一、编制单位基本情况</b>			
单位名称	国家海洋信息中心		
统一社会信用代码	121000004013602937		
法定代表人	石绥祥		
联系人	曹英志		
联系人手机	15822221121		
<b>二、编制人员有关情况</b>			
姓名	信用编号	本项论证职责	签字
范诗玥	BH001449	论证项目负责人	范诗玥
郑芳媛	BH002775	1. 概述 5. 海域开发利用协调分析	郑芳媛
沈佳纹	BH001436	2. 项目用海基本情况 6. 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析	沈佳纹
纪大伟	BH001426	3. 项目所在海域概况 4. 项目用海资源环境影响分析	纪大伟
范诗玥	BH001449	7. 项目用海合理性分析 8. 海域使用对策措施 9. 结论与建议	范诗玥
田洪军	BH001649	10. 报告其他内容	田洪军
<p>本单位符合海域使用论证有关管理规定对编制主体的要求，相关信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密，如隐瞒有关情况或者提供虚假材料的，愿意承担相应的法律责任。<b>愿意接受相应的信用监管，如发生相关失信行为，愿意接受相应的失信行为约束措施。</b></p> <p style="text-align: center;">承诺主体(公章): </p> <p style="text-align: right; margin-right: 50px;">2022 年 11 月 2 日</p>			

# 目 录

1	项目概述.....	1
1.1	论证工作来由.....	1
1.2	论证依据.....	3
1.2.1	法律法规.....	3
1.2.2	相关规划和区划.....	4
1.2.3	技术标准和规范.....	5
1.2.4	项目基础资料.....	5
1.3	论证工作等级和范围.....	6
1.3.1	论证工作等级.....	6
1.3.2	论证范围.....	7
1.4	论证重点.....	7
2	项目用海基本情况.....	9
2.1	用海项目建设内容.....	9
2.2	平面布置和主要结构、尺度.....	11
2.2.1	平面布置方案.....	11
2.2.2	建筑物结构形式.....	13
2.2.3	工程相关设计.....	13
2.2.4	主要配套工程.....	16
2.3	项目主要施工工艺和方法.....	18
2.3.1	施工条件.....	18
2.3.2	风机机组基础施工.....	20
2.3.3	风机机组安装.....	20
2.3.4	海上升压站施工.....	22
2.3.5	海缆敷设施工.....	28
2.3.6	施工基地与码头.....	36
2.3.7	施工总进度.....	36
2.4	项目申请用海情况.....	37
2.4.1	申请用海面积.....	37
2.4.2	海岸线利用情况.....	38

2.4.3 申请用海期限.....	38
2.5 项目用海必要性.....	38
2.5.1 项目建设的必要性.....	38
2.5.2 项目用海的必要性.....	40
3 项目所在海域概况.....	42
3.1 自然环境概况.....	42
3.1.1 气象.....	42
3.1.2 水文.....	43
3.1.3 海域水深及冲淤状况.....	57
3.1.4 区域地质构造.....	59
3.1.5 工程地质.....	61
3.1.6 主要自然灾害.....	62
3.1.7 海域环境质量现状.....	66
3.2 海洋生态概况.....	77
3.2.1 海洋生态现状调查.....	77
3.2.2 海洋保护区分布情况.....	81
3.2.3 海洋哺乳动物与龟鳖分布情况.....	83
3.3 自然资源概况.....	87
3.3.1 渔业资源及现状调查.....	87
3.3.2 港口资源.....	90
3.3.3 航道、锚地资源.....	92
3.3.4 风能资源.....	98
3.3.5 鸟类资源.....	99
3.3.6 滨海旅游资源.....	113
3.3.7 滩涂资源.....	114
3.4 海域开发利用现状.....	114
3.4.1 社会经济现状.....	114
3.4.2 海域开发利用现状.....	117
3.4.3 海域使用权属现状.....	124
4 项目用海资源环境影响分析.....	126
4.1 项目用海环境影响分析.....	126

4.1.1 项目用海对水文动力环境的影响分析.....	126
4.1.2 项目用海对地形地貌与冲淤环境影响分析.....	145
4.1.3 项目用海对水质环境影响分析.....	149
4.1.4 项目用海对海洋沉积物环境影响分析.....	154
4.2 项目用海生态影响分析.....	156
4.2.1 施工期生态影响分析.....	156
4.2.2 营运期生态影响分析.....	159
4.2.3 噪声及电磁辐射对海洋生态的影响分析.....	160
4.3 项目用海资源影响分析.....	170
4.3.1 对海岸线资源的影响.....	170
4.3.2 对海洋生物资源的损耗分析.....	173
4.3.3 对鸟类资源的影响分析.....	174
4.3.4 对北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级水产种质资源保护区的影响.....	180
4.3.5 对通航资源的影响分析.....	181
4.4 项目用海风险分析.....	182
4.4.1 项目用海风险事故识别.....	182
4.4.2 溢油风险事故及影响分析.....	182
4.4.3 自然灾害风险分析.....	203
4.4.4 其它风险事故及其影响分析.....	204
5 海域开发利用协调分析.....	206
5.1 项目用海对海域开发活动的影响.....	206
5.1.1 对港口、航路的影响分析.....	206
5.1.2 对锚地的影响分析.....	207
5.1.3 对白须公礁的影响分析.....	207
5.1.4 对渔业生产活动的影响分析.....	208
5.2 利益相关者界定.....	208
5.3 相关利益协调分析.....	211
5.3.1 与周边养殖户的协调.....	211
5.3.2 与当地航道、锚地的协调.....	211
5.3.3 与当地渔业主管部门的协调.....	211
5.3.4 与当地生态环境主管部门的协调.....	212

5.4 项目用海对国防安全 and 国家海洋权益的影响分析 .....	212
6 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析 .....	217
6.1 项目用海与海洋功能区划符合性分析 .....	217
6.1.1 符合性分析 .....	217
6.1.2 项目用海对周边海洋功能区的影响 .....	220
6.1.3 与全国海洋功能区划符合性分析 .....	220
6.2 项目用海与新调整的全国海洋生态红线规划符合性分析 .....	221
6.3 项目用海与主体功能区规划符合性分析 .....	224
6.3.1 与广西壮族自治区海洋主体功能区规划符合性分析 .....	224
6.3.2 与全国海洋主体功能区规划符合性分析 .....	226
6.4 项目用海与相关规划符合性分析 .....	226
6.4.1 与《广西海上风电规划（2021~2030 年）》符合性 .....	226
6.4.2 与《关于进一步规范海上风电用海管理的意见》符合性 .....	227
6.4.3 与《广西战略性新兴产业发展三年行动方案（2021-2023 年）的通知》符合性 .....	228
6.4.4 与《2030 年前碳达峰行动方案》符合性 .....	228
6.4.5 与沿海开发和海洋经济发展符合性分析 .....	229
6.4.6 与《北部湾城市群发展规划》符合性 .....	229
6.4.7 与《防城港市城市总体规划（2008-2025 年）》符合性 .....	230
6.4.8 与海洋环境保护规划符合性分析 .....	230
7 项目用海合理性分析 .....	232
7.1 用海选址合理性分析 .....	232
7.1.1 用海选址与区位条件和社会条件的适宜性分析 .....	232
7.1.2 用海选址与自然环境条件的适宜性分析 .....	233
7.1.3 用海选址与生态环境的适宜性分析 .....	235
7.1.4 项目用海与周边其他用海活动是否存在功能冲突 .....	236
7.1.5 用海选址是否存在潜在的、重大的安全和环境风险 .....	237
7.1.6 项目用海选址是否有利于海洋产业协调发展 .....	237
7.1.7 项目用海选址方案比选 .....	238
7.2 用海方式和平面布置合理性分析 .....	242
7.2.1 平面布置合理性分析 .....	242
7.2.2 用海方式合理性分析 .....	256

7.2.3 上述用海方式与维护海域基本功能的适宜性分析 .....	261
7.2.4 是否减少对水文动力环境的影响 .....	261
7.2.5 用海方式与周围其他用海活动的适宜性 .....	262
7.3 用海面积合理性分析 .....	262
7.3.1 项目用海面积合理性 .....	262
7.3.2 宗海图绘制方法合理性分析 .....	264
7.3.3 用海面积量算的准确性 .....	264
7.4 用海期限合理性分析 .....	270
8 海域使用对策措施与生态建设方案可行性分析 .....	271
8.1 区划实施对策措施 .....	271
8.1.1 海洋功能区划管理 .....	271
8.1.2 主要海洋环境保护措施 .....	272
8.2 开发协调对策措施 .....	273
8.3 风险防范对策措施 .....	273
8.3.1 通航环境风险防范措施 .....	273
8.3.2 溢油事故风险防范 .....	275
8.3.3 自然灾害风险防范对策措施 .....	279
8.3.4 鸟类飞行碰撞风机风险分析防范 .....	280
8.4 监督管理对策措施 .....	283
8.4.1 海域使用面积、用途和用海方式等监控 .....	283
8.4.2 工程施工的监控 .....	283
8.4.3 运营期的监控 .....	286
8.4.4 环境监测 .....	287
8.5 生态修复与补偿 .....	288
8.5.1 增殖放流措施 .....	288
8.5.2 加强渔业资源和生态保护宣传 .....	288
8.5.3 加强珍稀海洋生物生态调查 .....	288
8.6 生态用海对策措施 .....	289
8.6.1 产业准入与区域管控要求符合性 .....	289
8.6.2 项目生态建设需求分析 .....	289
8.6.3 项目用海与自然岸线、围填海总量合理性分析 .....	290

---

9 结论与建议 .....	291
9.1 结论 .....	291
9.1.1 项目用海必要性分析结论 .....	291
9.1.2 项目用海资源环境影响分析结论 .....	291
9.1.3 海域开发利用协调分析结论 .....	293
9.1.4 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析结论 .....	293
9.1.5 项目用海合理性分析结论 .....	294
9.1.6 项目用海可行性结论 .....	294
9.2 建议 .....	295

# 1 项目概述

## 1.1 论证工作来由

广西壮族自治区区内电源装机以火电机组为主，节能减排压力巨大，大力发展核电、风电等新能源产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广西壮族自治区沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。开发利用广西壮族自治区近海风能资源，不仅有利于广西能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，实现经济社会的可持续发展，为广西打造风电产业基地创造良好条件。

2016 年 11 月，国家发展和改革委员会、国家能源局发布的《电力发展“十三五”规划（2016 规划 020 年）》提出，加快中东部及南方等消纳能力较强地区的风电开发力度，积极稳妥推进海上风电开发。目前，全国已投产海上风电场总装机容量超过 600 万千瓦，江苏、浙江、福建、广东等沿海省份正在大力推进海上风电场开发建设。

根据国务院发布的《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030 年前碳达峰行动方案》，要大力发展新能源，全面推进风电、太阳能发电大规模开发和高质量发展，坚持集中式与分布式并举，加快建设风电和光伏发电基地。到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上。

为摸清广西海上风能资源和海上风电开发潜力，协调有序开发海上风电，广西壮族自治区发展和改革委员会（以下简称“广西区发改委”）于 2012 年 5 月委托启动了广西海上风电场规划工作，于 2015 年 6 月编制完成了《广西海上风电场工程规划》（阶段性成果），并通过广西区发改委组织的阶段性成果验收，后因受多重因素影响，广西海上风电前期工作暂缓推进。

近年来，随着海上风电技术的不断进步及广西社会经济发展的需要，为贯彻落实国家能源发展战略，进一步规范海上风电用海管理，规范有序建设海上风电场，推动海上风电装备制造业发展培育向海经济新的增长点，促进广西相关产业转型升级，根据自治区的统筹部署，2021 年 1 月，广西区发改委牵头编制完成《广西海上风电发展规划（2021-2030 年）》（征求意见稿）。根据各相关单位反馈意见，广西院编制完成《广西海上风电场工程规划》（预审稿）。2020 年 6 月，广西壮族自治区能源局委托水电水利规划设计总院对《规划》（预审稿）进行技术预评审，经广西院补充完善后形成《广

西海上风电场工程规划》（送审稿）。2020 年 9 月，水电总院在南宁主持召开了《广西海上风电场工程规划》（送审稿）技术评审会议，并形成规划评审意见，广西院对报告进行了认真修改和完善后形成《广西海上风电场工程规划》（审后修编）及《广西海上风电发展规划》（审后修编）。11 月 1 日，广西海上风电规划正式获得国家能源局批复，标志全区海上风电由规划阶段进入建设实施阶段。据悉，国家能源局先期批复全区海上风电规划装机容量 750 万千瓦，其中自治区管辖海域内全部 4 个场址共 180 万千瓦，要求力争 2025 年前全部建成并网；自治区管辖海域外择优选择 570 万千瓦开展前期工作，要求力争到 2025 年底建成并网 120 万千瓦以上。

2020 年 9 月 21 日，自治区政府办公厅印发的《广西海上风电配套产业发展实施方案的通知》（桂政办发〔2020〕61 号）指出，由广西海上风电平台公司选择装机 200~300 万千瓦范围提前开展前期工作，为落实自治区主要领导的批示精神，贯彻自治区能源发展战略，加快推进广西海上风电产业发展，结合自治区当前海上风电工作进展及规划成果，广西海上风电平台公司拟开展海上风电建设。

开发广西海上风电项目符合可持续发展的原则和国家能源政策方针，对于减少化石资源的消耗、推动可再生开发利用，缓解环境保护压力，推动提高我国大容量海上风电机组的国产化水平，促进当地旅游业、带动地方经济快速发展，提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。

本项目属于广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程，位于广西防城港南部海域，离岸最近距离约 15 公里，海深 15m~18m 之间，涉海面积约 98.8km<sup>2</sup>，规划总装机容量为 700MW，同时建设风电场内 220kV 海上升压站、陆上开关站、送出海缆和集电海缆等工程。

根据《中华人民共和国海域使用管理法》规定，在中华人民共和国内水、领海持续使用特定海域三个月以上的排他性用海活动，在向海洋行政主管部门申请使用海域时，必须出具海域使用论证材料，论证该海域使用是否可行。根据上述规定，建设单位广西广投海上风电开发有限责任公司委托中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司承担项目前期申报与核准工作。经中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司委托，国家海洋信息中心对广西海上风电项目进行海域使用论证工作。

接受委托后，本单位组成了项目组，编制了海域使用论证实施计划，开展现场调查和调访工作，收集相关资料，了解本项目附近区域的自然环境条件，查清工程区附近海洋资源开发利用现状；分析界定利益相关者，并提请业主与利益相关者进行协调；

进行涉海工程综合分析研究，量算工程用海面积等工作。在此基础上编制了本海域使用论证报告书。

## 1.2 论证依据

### 1.2.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国海域使用管理法》，2001；
- (2) 《中华人民共和国海洋环境保护法》，2017年修改；
- (3) 《中华人民共和国渔业法》，2013年修订；
- (4) 《中华人民共和国海上交通安全法》，2016年修订；
- (5) 《中华人民共和国港口法》，2015；
- (6) 《中华人民共和国测绘法》，2017；
- (7) 《中华人民共和国可再生能源法》，2009年修订；
- (8) 《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2017年修正；
- (9) 《中华人民共和国自然保护区条例》，2017年修订；
- (10) 《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》，2013年修订；
- (11) 《海洋自然保护区管理办法》（国海发[1995]251号）；
- (12) 《防治船舶污染海洋环境管理条例》（2010年3月1日起实施）；
- (13) 《国家海洋局关于完善国家海洋局直接受理项目用海审查工作有关问题的通知》，2013年；
- (14) 《关于印发<海域使用论证管理规定>的通知》（国海发[2008]4号）；
- (15) 《海域使用权管理规定》，国家海洋局，2006年；
- (16) 《海岸线保护与利用管理办法》，国家海洋局，2017年；
- (17) 《关于调整海域、无居民海岛使用金征收标准的通知》，财政部/国家海洋局，2018年；
- (18) 《海域使用金征收标准》（财综字[2018]15号）；
- (19) 《国家海洋局关于进一步规范海域使用论证管理工作的意见》（国海规范[2016]10号）；
- (20) 《关于贯彻实施<中华人民共和国物权法>全面落实海域物权制度的通知》

（国海管字[2007]208号）；

（21） 《海域使用测量管理办法》（国海发[2002]22号）；

（22） 《海上风电开发建设管理办法》（国能新能[2016]394 号）；

（23） 《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）

（24） 《国家海洋局关于在海洋领域全面使用2000国家大地坐标系的通知》，国海科字[2014]775 号；

（25） 《风电场工程建设用地和环境保护管理暂行办法》（发改能源[2005]1511号）；

（26） 《近海风电场工程规划报告编制办法（试行）》（FD002-2008）；

（27） 《海底电缆管道保护规定》（国土资源部令第24号，2004年）；

（28） 《铺设海底电缆管道管理规定》（中华人民共和国国务院令（第27 号），1989年）；

（29） 《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》，国家海洋局，1992年；

（30） 《关于铺设海底电缆管道管理有关事项的通知》（国海规范[2017]8号）。

（31） 《广西壮族自治区海域使用管理条例》，2015；

（32） 《广西壮族自治区海洋环境保护条例》，2014；

## 1.2.2 相关规划和区划

（1） 《全国海洋功能区划》（2011-2020年），2012年4月；

（2） 《全国海洋主体功能区规划》，2015年8月；

（3） 《中国海洋渔业水域图（第一批）》（中华人民共和国农业部公告第189号）

（4） 《全国海洋经济发展“十三五”规划》（发改地区[2017]861号）；

（5） 《国家能源局能源发展“十三五”规划》，2016年12月；

（6） 《电力发展“十三五”规划》，2016年11月；

（7） 《可再生能源中长期发展规划》，2007年8月；

（8） 《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020）》，2012年10月；

（9） 《广西壮族自治区海洋生态红线划定方案》；2017年12月

（10） 《广西壮族自治区国民经济和社会发展第十三个五年（2016-2020年）规划

纲要》；

- (11) 《广西壮族自治区能源发展“十三五”规划（2016-2020年）》；
- (12) 《防城港市城市总体规划（2008-2025年）》，2009年；
- (13) 《防城港市海洋环境保护规划（2016-2025年）》，2018年6月；
- (14) 《广西北部湾经济区发展规划（2014年修订）》（桂政办发〔2014〕97号）；

### 1.2.3 技术标准和规范

- (1) 《海域使用论证技术导则》（国海发[2010]22 号）；
- (2) 《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）；
- (3) 《海域使用分类》（HY/T 123-2009）；
- (4) 《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）；
- (5) 《海洋监测规范》（GB 17378-2007）；
- (6) 《海水水质标准》（GB 3097-1997）；
- (7) 《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）；
- (8) 《海洋生物质量》（GB 18421-2001）；
- (9) 《海域使用面积测量技术规范》（HY 070-2003）；
- (10) 《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T 19485-2014）；
- (11) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（2002.4）；
- (12) 《海洋功能区划技术导则》（GB/T 17108-2006）；
- (13) 《海域使用管理技术规范》（国家海洋局，2001.2）；
- (14) 《全球定位系统（GPS）测量规范》（GB/T 18314-2001）；
- (15) 《海底电缆管道路由勘查规范》（GB/T 17502-2009）；
- (16) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）；
- (17) 《宗海图编绘技术规范》（HY/T 251-2018）；
- (18) 《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014年4月17日）。

### 1.2.4 项目基础资料

- (1) 《广西海上风电示范项目可行性研究阶段总说明书（送审稿）》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2022年5月；
- (2) 广西海上风电示范项目总体规划布置图，中国能源建设集团广东省电力设

计研究院有限公司，2022 年 5 月；

(3) 《广西海上风电示范项目 A 场址海底电缆路由选择依据说明材料（初稿）》，广州南科海洋工程有限公司，2021 年 11 月；

(4) 《广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程选址通航安全影响论证报告（送审稿）》，武汉理工大学，2022 年 5 月。

## 1.3 论证工作等级和范围

### 1.3.1 论证工作等级

项目海上建设内容包括 83 台 8.5MW 风力发电机组，通过 12 回 66kV 集电海底电缆连接至 220kV 海上升压站。风场发电能经升压站升压后通过 3 回  $3 \times 630\text{mm}^2$  截面 220kV 海底电缆输送至陆上开关站（与 F 场址共建）。A、F 两个区域在防城港共建一座陆上开关站，整合后通过 3 回架空线路接入 220kV 黄桥站、竹坪站和 500kV 海港站各 1 回，架空线路长度分别约 20km、35km、60km。根据海域使用论证技术导则的海域使用论证工作等级判据表（表 1.3-1），本项目风机基础用海类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），海底电缆用海类型为海底工程用海（一级类）中的电缆管道用海（二级类）；风机基础的用海方式为构筑物用海（一级方式）的透水构筑物用海-其他透水构筑物用海（二级方式），海底电缆的用海方式为其他用海方式（一级类）中的海底电缆管道-海底电（光）缆（二级类），其中发电机组用海面积 102.1569 公顷，升压站用海面积 2.1545 公顷，故透水构筑物总面积为 104.3114 公顷，面积大于 30 公顷，所以论证等级为一级；海底电缆用海属于海底电（光）缆，用海总面积为 418.4964 公顷，论证等级为三级。

根据海域使用论证技术导则的“同一项目用海按不同用海方式、用海规模所判定的等级不一致时，采用就高不就低的原则确定论证等级”。本项目的论证等级为一级。

表 1.3-1 项目海域使用论证等级判定表

用海单元	一级用海方式	二级用海方式		用海规模	所在海域特征	论证等级
风机、海上升压站	构筑物用海	透水构筑物	其他透水构筑物	构筑物总长度大于 2000m； 用海总面积大于等于 30 公顷 (本项目透水构筑物用海面积共 104.3114 公顷)	所有海域	一
海底电缆	其它用海方式	海底电缆管道	海底电(光)缆	所有规模 (本项目用海面积)	所有海域	三

				418.4964 公顷)	
本项目					—

### 1.3.2 论证范围

国家海洋局国海发[2010]22号文件颁布的《海域使用论证技术导则》的规定：论证范围应根据项目用海情况、所在海域特征及周边海域开发利用现状等确定，应覆盖项目用海可能影响到的全部区域。一般情况下，论证范围以项目用海外缘线为起点进行划定，一级论证向外扩展15km，海底管道等线性工程项目用海的论证范围划定依据为一级论证每侧向外扩展5km。结合项目周边用海情况，本项目用海的论证范围从风机组用海外缘线起向外扩展15km。论证范围如表1.3-1和图1.3-1所示，论证范围海域总面积约1400km<sup>2</sup>。

表 1.3-1 论证范围角点坐标

序号	东经	北纬
1	108°22'47.744"	21°16'1.083"
2	108°12'7.042"	21°5'0.144"
3	108°2'47.873"	21°13'13.890"
4	108°1'6.267"	21°20'43.863"
5	108°5'23.391"	21°32'7.515"
6	108°23'30.828"	21°31'45.411"

### 1.4 论证重点

根据工程海域的自然环境条件、海洋资源分布及开发利用现状等特点，结合项目的用海性质、可能造成的环境影响及一级论证的要求，确定论证工作的重点为：（1）项目用海资源环境影响分析；（2）海域开发利用协调分析；（3）项目用海与海洋功能区划的符合性分析；（4）项目选址合理性分析；（5）用海平面布置、用海面积合理性分析。

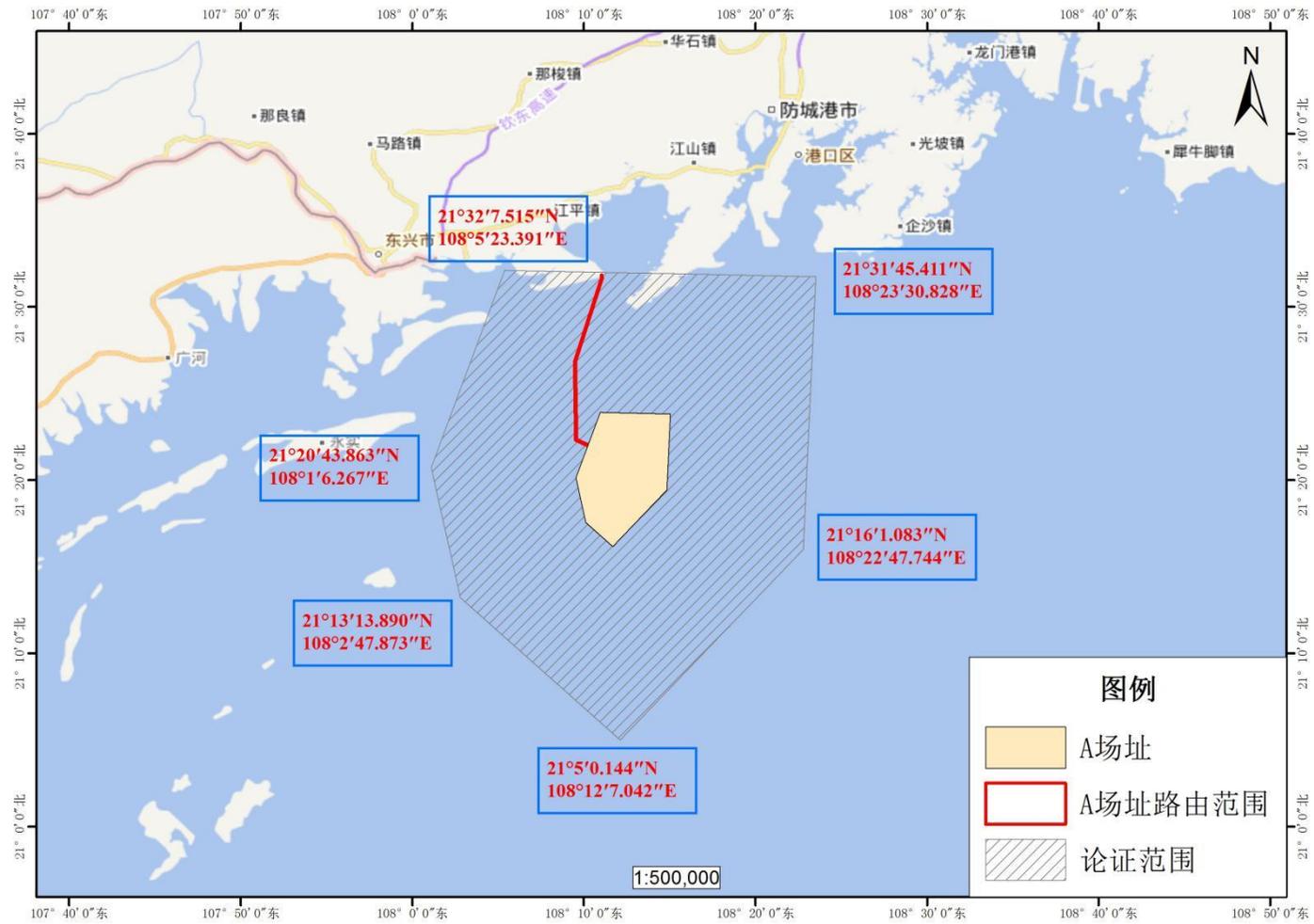


图 1.3-1 论证范围图

## 2 项目用海基本情况

### 2.1 用海项目建设内容

项目名称：广西防城港海上风电示范项目A场址工程

建设地点：广西防城港市海域

建设单位：广西广投北部湾海上风力发电有限公司

项目概况：本工程位于防城港市以南海域，规划装机容量共计700MW。离岸最近距离约15km，海深15m~18m之间，外围风机总包络用海面积约57.29km<sup>2</sup>，主要建设内容包括83台8.5MW 风力发电机组，通过12回66kV集电海底电缆连接至220kV海上升压站。本工程同步建设1座220kV海上升压站和1座220kV陆上开关站（与F场址1100MW共用）。海缆登陆点位于防城港市万尾金滩东端海岸线，陆上开关站拟选站防城港市江平镇潭吉村东南侧约500处，距登陆点距离约为6200m左右。

上述项目的主要工程规模如下：

海上风机：广西海上风电示范项目（场址A）装机规模700MW，拟安装83台单机容量为8.5MW的WTG06风电机组，采用阵列式布置，外围风机包络海域面积约为57.29km<sup>2</sup>，规划容量为700MW。其中61台采用重力式基础，风机轮毂安装高度约为128m；22台采用嵌岩单桩基础，风机轮毂安装高度约为130m。

海上升压站：本工程设置海上升压站1座，海上升压站为整体式结构，基础为导管架基础。

66kV场内集电海缆：风电场场内采用电压等级为66kV的交流海缆，海缆敷设深度3-4m。

220kV送出海缆：本工程陆上开关站位于风电场西侧。海上升压站到登陆点段路由长约32.5km，由海上升压站至陆上开关站采用3根电压等级为220kV的交流海缆，海缆敷设深度暂定为3-4m。送出海底电缆登陆点拟在陆上开关站东南侧选址，登陆后通过电缆沟的形式沿西北向进入陆上开关站。220kV陆上开关站：本工程设置220kV陆上开关站一座，站内设置电气楼、配电楼、办公楼、宿舍、消防水池、消防水泵房、事故油池等建(构)筑物。

施工期：24个月。

投资规模：海上风电场工程静态投资890457万元，单位千瓦静态投资12649元/kW，风电场工程动态投资909009万元，单位千瓦动态投资12912元/kW，其中：建设期贷款利息18552万元。

资金来源与融资方案：本项目投资资本金占动态投资比例为20%，资本金以外的资金通过贷款解决。贷款年利率4.35%。贷款偿还期取20年，宽限期为建设期，采用等额本金的还款方式。

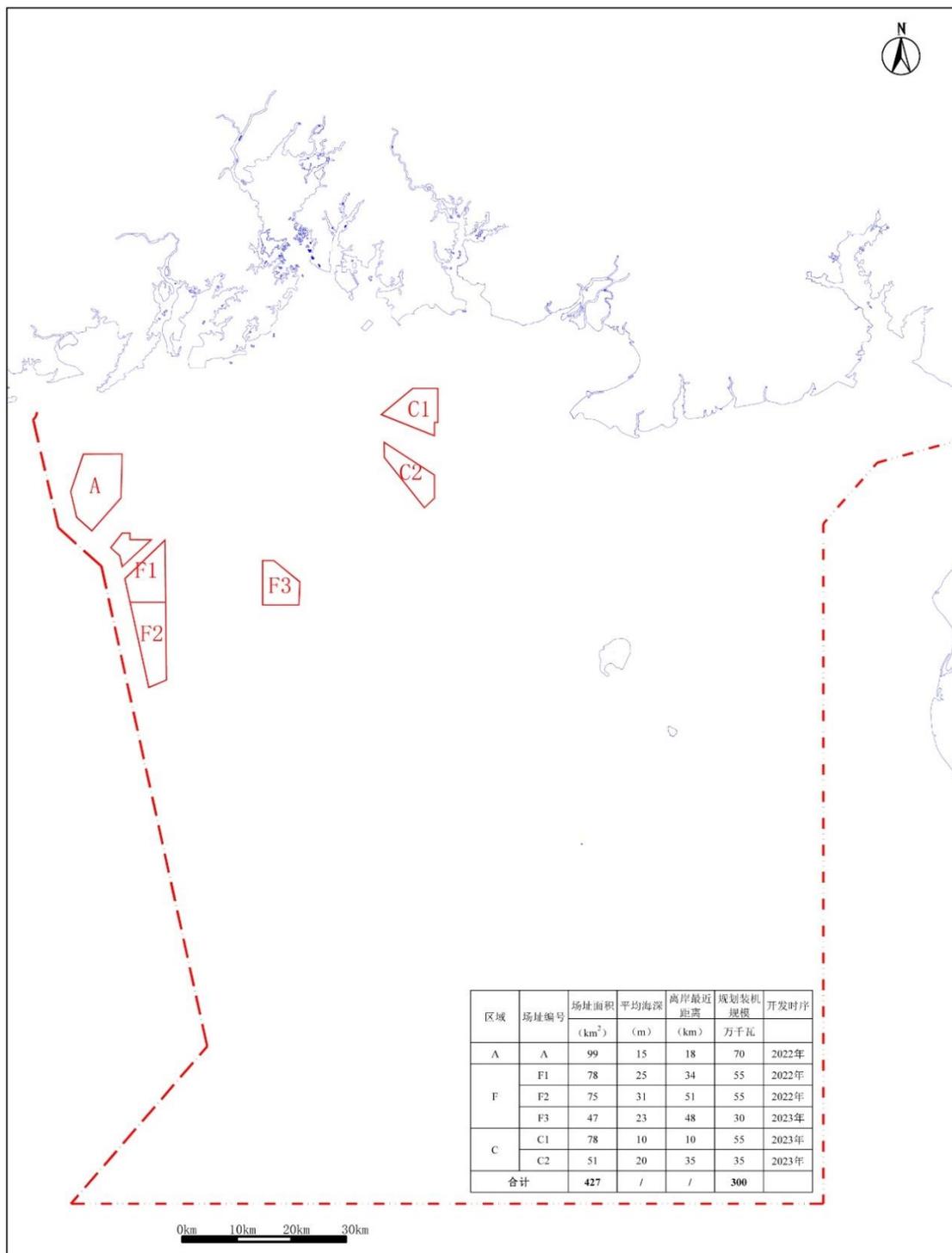


图 2.1-1 项目地理位置示意图

表 2.1-1 项目场址坐标

场址编号	拐点标号	经纬度	
		东经 (E)	北纬 (N)
A	1	108°10'57"	21°23'55"
	2	108°15'03"	21°23'50"
	3	108°14'51"	21°19'27"
	4	108°11'41"	21°16'11"
	5	108°10'07"	21°17'34"
	6	108°09'32"	21°20'09"

## 2.2 平面布置和主要结构、尺度

### 2.2.1 平面布置方案

#### 2.2.1.1 总平面布置

本工程位于防城港市以南海域，规划装机容量共计700MW。本工程同步建设1座220kV海上升压站和1座220kV陆上开关站（与F场址1100MW共用）。海缆登陆点位于防城港市万尾金滩东端海岸线，陆上开关站拟选站防城港市江平镇潭吉村东南侧约500处，距登陆点距离约为6200m左右。

#### 2.2.1.2 风电机组布置

本工程风机布置综合考虑密度、风电机组利用率、湍流、叶片污染、气候影响停机、场用电等因素，在本阶段推荐机型为 WTG06 单机容量为 8.5MW 的风电机组，采用阵列式布置，本工程外围风机包络海域面积约为 57.29km<sup>2</sup>，规划容量为 700MW。风机布置方案的基本单元设定为平行四边形，每个基本单元定义 4 台风机的相对位置与距离，整个风机布置阵列由若干个相同的平行四边形构成，从而呈现出“梅花型”的宏观分布，风机排布以 NNE 为主导风向，并适当旋转调整角度，并对个别风机进行微调优化，如图 2.2-1 所示。

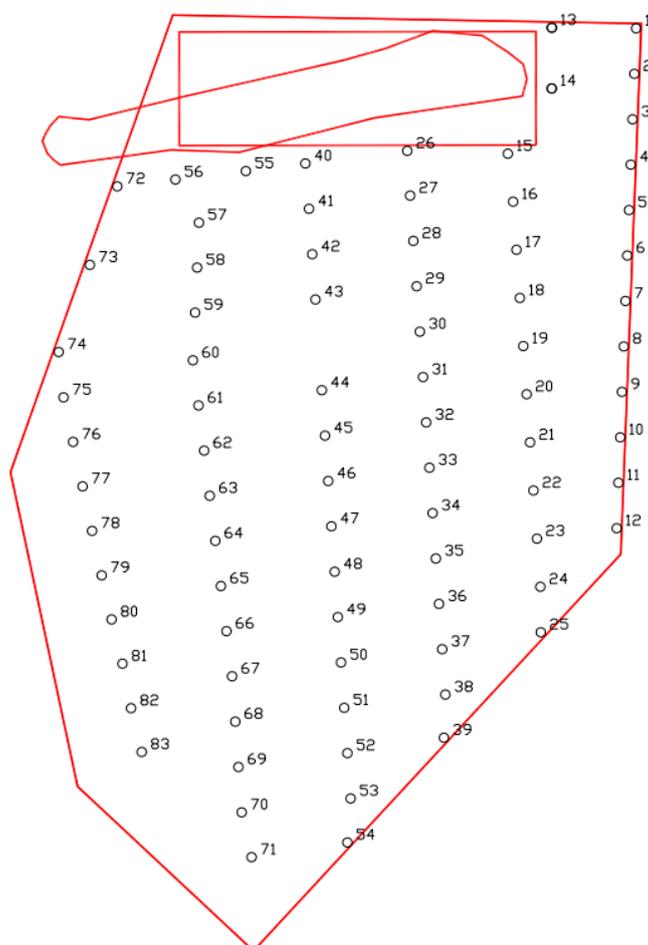


图 2.2-1 优化布置方案

### 2.2.1.3 海上升压站布置

本工程配套建设1座220kV海上升压站。为了使风电机组之间66kV集电海底电缆的短捷，同时便于220kV送出海底电缆送出至陆上开关站，升压站区域水深约15m左右，平台尺寸为40m×38m，升压站共三层。

### 2.2.1.4 海底电缆布置

海上升压站初拟布置在场址西侧中心的位置，220kV高压海底电缆一端为海上升压站，另一端为登陆点处转接井。陆上开关站拟布置在登陆点北侧约6200m处，预选海缆登陆点位于防城港市东兴京岛金滩附近海岸线。

220kV海缆预选路由区工程地质条件和自然环境条件整体良好，同时也避开了岛礁、锚地、倾倒区、沉船、炸弹、海上浮标以及其它复杂地形区域。

66kV集电海底电缆路由的路由与风电场内风机拓扑连接关系有关，后续将随风机布置调整进一步优化集电线路拓扑连线，并结合场址地质情况确定集电海缆路由。

#### 2.2.1.5 生产生活区设施规划

按照工程布置规划，工程施工期间规划1个施工补给基地，初定在防城港附近码头，基地内的办公及生活临建主要采用彩板房结构，考虑到防风防台，建筑层数原则上不超过两层，办公及生活区的地面硬化处理。本工程高峰期施工人数按照340人考虑（未考虑船员），临时建筑面积为3000m<sup>2</sup>，办公生活区占地面积为8000m<sup>2</sup>。

### 2.2.2 建筑物结构形式

根据《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223-2008)及FD002-2007标准，按照建筑物使用功能重要性、地震破坏造成的直接与间接经济损失进行划分，本工程风机基础抗震设防类别为丙类，对应的海上升压站抗震设防类别为乙类（重点设防类）。根据变电站建筑物结构破坏可能产生后果的严重性，本工程海上升压站设计等级为1级，结构安全等级为一级。

### 2.2.3 工程相关设计

#### 2.2.3.1 防腐设计

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

风电场各腐蚀环境分区如下：

大气区：▽8.32m以上区域；

浪溅、水位变动区：▽8.32m~▽-5.5m区域；

水下区及泥下区：▽-5.5m~桩基冲刷面以下3m区域。

泥下区：桩基冲刷面以下3m~桩端区域。

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。

从国内外的海洋工程、船舶工业的实践来看，钢结构防腐最简单的方法是预留钢结构腐蚀裕量。预留腐蚀裕量根据钢结构的设计使用年限和单面平均腐蚀速度计算，单面平均腐蚀速度见表2.2-1。但预留腐蚀裕量方法存在一些缺陷，例如钢材在海洋环境各区域中的腐蚀速度并不一致，并不是平均腐蚀，存在着大量的腐蚀点、腐蚀坑，这些局部腐蚀对于海洋钢结构来说是潜在的巨大隐患；海上风电场海域腐蚀环境恶劣，加之地质条件差，钢管桩设计桩长较长，桩基工程量较大，如单一采用预留钢管桩腐蚀裕量的方法，钢管桩壁厚加大，导致钢材用量大量增加，且加大钢管桩制作难度和沉桩施工难度。因此采用预留腐蚀裕量方法的同时，需考虑物理防护和电化学防护。

表 2.2-1 钢结构的单面平均腐蚀速度

区域	平均腐蚀速度 (mm/a)
大气区	0.05~0.10
浪溅区	0.40~0.50
水位变动区及水下区	0.12
泥下区	0.05

采用涂层或阴极保护时，钢结构不同部位的预留腐蚀裕量有所减少。根据《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》进行计算，并根据相关防腐蚀设计经验，大气区的钢结构单面腐蚀裕量为1.20mm，浪溅区（包含水位变动区）的钢结构单面腐蚀裕量为4.80mm，水下区的钢结构单面腐蚀裕量为1.44mm，泥下区的钢结构单面腐蚀裕量为0.85mm。根据计算结果并考虑建造加工的实际情况，最终确定大气区的钢结构单面腐蚀裕量为1.5mm，浪溅区（包含水位变动区）为5mm，水下区为1.5mm，泥下区为1mm。

根据调研和设计经验，结合海洋工程钢结构防腐蚀相关规范，本工程主体结构的防腐蚀方案汇总如表2.2-2所示。

表 2.2-2 风机基础主体结构防腐蚀方案

防腐蚀区域	配套方案	干膜厚度 DFT ( $\mu\text{m}$ )	总干膜厚度 TDFT ( $\mu\text{m}$ )	单桩涂装面积 ( $\text{m}^2$ )
大气区	环氧富锌底漆	80	780	263
	环氧云铁中间漆	600		
	聚氨酯面漆(氟碳面漆或聚硅氧烷面漆)	100		

浪溅区(包括水位变动区)	环氧玻璃鳞片漆	500	1060	893
	环氧玻璃鳞片漆	500		
	聚硅氧烷面漆	60		
水下区	环氧重防腐涂料	800	800	900
合计				2056

本工程电化学防腐采用牺牲阳极阴极保护方法,牺牲阳极材料选用目前最常用的铝-锌-镉合金材料,不同基础型式的牺牲阳极计算结果见表2.2-3。牺牲阳极布置在水下区,不应安装在钢结构的高应力和高疲劳区域,其顶高程应至少在最低水位以下1.0m,底高程应至少高于泥面以上1.0m。根据本工程基础结构和海洋水文条件,现阶段牺牲阳极的最大顶高程设置为-3.0m,最小底高程设置为-14m。

表 2.2-3 牺牲阳极计算结果

海水中钢结构外表面积 (m <sup>2</sup> )	671
海泥中钢结构外表面积 (m <sup>2</sup> )	1830
总初始电流需求值 (A)	47.90
总维持电流需求值 (A)	52.17
末期保护需求电流 (A)	70.42
牺牲阳极总重量 (t)	6.5
初期保护实际电流 (A)	104.77
末期保护实际电流 (A)	72.93

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

### 2.2.3.2 防冲刷设计

本项目场址水深0.0-22.0m,水深变化较大,海况恶劣。海域动力条件复杂,海床运动较为剧烈。同时,海床表面多为砂性土,单桩基础在海洋水动力环境下容易形成冲刷坑,且自身刚度相对较小,基础冲刷对其刚度的影响较大,对风机基础自振频率和结构安全产生一定影响。本工程在单桩基础设计中采用“预留冲刷深度+冲刷保护”的方式。

预留冲刷深度同时考虑整体冲刷和局部冲刷。整体冲刷的预留深度参考数模计算的成果取2~5m。其中,在场址大范围区域考虑2m的整体冲刷,在场址冲刷较剧烈的区域采用3~5m的预留冲刷深度。

对于多桩基础，采用导管架泥面处预留一定冲刷深度的方法。

单桩基础为防止或减小桩基周围局部冲刷，需采取工程措施，本阶段考虑沿单桩轴线圆周一定范围内进行铺设砂被处理。该方式整体铺设在海床中可防止冲刷，而且便于后期回收。考虑场址区海床运动较为剧烈，在采用砂被防护的同时，设计中预留4m作为冲刷深度，同时在运行中加强冲刷监测。

### 2.2.3.3 靠船和防撞设计

海上风电场风机基础的靠泊防撞系统，主要目标是针对维护船只及可能的小型渔船的正常停靠，并校核可能停靠的小型船只的非正常靠泊。本工程风机基础防撞系统按照正常运行维护船舶停靠设计，对于偏离航道误闯入风电场区的船只，则主要通过警戒标示、航标灯、AIS系统予以导助航，同时注意施工期间船舶的安全运行。本工程升压站基础靠船件设计应以满足250吨位运行维护船舶以0.5m/s的速度正常靠泊，同时考虑500吨位船舶动力失效，以2.0m/s的速度撞击为目标。同时为满足靠泊舒适度要求，靠船钢构件上应设置橡胶护舷吸收船只与靠船件碰撞产生的能量，钢构件间设钢爬梯，该部分可作为一个整体在导管架安装之后直接与导管架进行连接。根据DNV相关规范要求，需要设置两道靠船防撞构件。

根据《风机基础设计设计专题报告》的计算结果：

1) 0.5m/s靠船速度正常撞击下，主体结构及靠船构件未出现影响正常工作的破坏，满足设计要求。

2) 2m/s靠船速度非正常撞击下，风机基础靠船件出现塑性变形或者强度UC超过1.0，但主体结构未出现塑性变形，强度也未超过结构的极限强度。靠船件在非正常撞击下，出现了影响正常使用的破坏，若发生事故撞击事件，则需对靠船件进行快速修复以满足靠泊功能。

## 2.2.4 主要配套工程

### 2.2.4.1 电气

#### (1) 电气一次

设一座220kV海上升压站+一座陆上开关站，风场海上升压站设置在场址西侧偏北位置，升压站布置三台220/66kV容量为280MVA的主变压器，风场升压站

220kV侧采用线变组接线，66kV侧均采用单母线接线。海上升压站采用3回220kV三芯 $3\times 800\text{mm}^2$  XLPE绝缘海底电缆连接至500kV陆上开关站。风机集电线路共15回，电压等级为66kV，采用链形拓扑结构。海上升压站布置三台220/66kV，容量为280MVA的主变压器，风场升压站220kV侧采用桥型加辅助断路器接线，66kV侧均采用单母分段接线。按A、F两个区域在防城港共建一座陆上开关站，整合后通过500kV一级电压、出线1回接入500kV海港站，架空线路长度约57km，导线截面采用 $4\times 400\text{mm}^2$ 。陆上开关站设置2台站用变及一台备用箱变，站用变电源取自35kV母线，备用箱变为外来市电电源，设置2段400V母线，1段母线由1#站用变及备用箱变供电，2段母线由2#站用变及备用箱变供电。新建1回500kV架空线路接至500kV海港站。

## (2) 电气二次

本工程采用计算机监控，海上风电机组及其升压设备、海上升压站、陆上开关站的监控系统作为整体统一规划设计。海上升压站按“无人值守”原则设计，在陆上开关站设置集控室，实现对风电机组及升压设备、海上升压站和陆上开关站主要电气设备的集中监视和控制。

本工程机组最终以220kV等级电压接入广西电网，根据有关调度规程，工程建成后由广西省中调调度，风电场实时远动信息送广西省中调/备调EMS系统和防城港地调/备调SCADA/EMS系统，有关电度量送广西省电能计量中心。风电场关口计量点拟设置陆上开关站220kV变压器高压侧。

### 2.2.4.2 消防

贯彻“预防为主，防消结合”方针，对重要的建筑物及设备，设计安装火灾自动报警装置。对容易发生火灾的部位除上述措施外，还考虑分隔、封堵等阻燃措施，防止火灾向邻近蔓延。

海上升压站根据不同的保护对象采用高压细水雾灭火系统、火探管式自动探火灭火装置、移动式灭火器等灭火措施。风电机组采用悬挂式超细干粉自动灭火系统、移动式灭火器等灭火措施。陆上开关站新建一套独立的消防给水系统，消防设施根据不同的保护对象分别采用水消防系统、气体灭火系统、移动式灭火器等。

施工现场按海上升压站施工区、220kV送出海缆施工区、陆上开关站施工区、

钢结构加工制作区分别设置消防管理区域。海上施工作业区的施工船舶主要配备灭火器、消防水泵等设施。陆上施工基地及施工作业区配置设置灭火器、临时消防给水系统和临时消防应急照明等消防设施。

#### 2.2.4.3 给排水

本项目涉及到的排水主要为海上升压站的给排水。

海上升压站按无人值守设计，平台生活用水采用船运淡水方案，供检修人员日常生活用水。海上升压站给水系统按生活给水、消防给水、回用给水系统分开设置。海上升压站采用船运淡水的供应方案，船舶通过自带的加压泵，将淡水输送至平台顶层的高位生活水箱，通过给水管道自流至各用水点。在平台一层预留国际通岸接头供船舶接口使用，生活给水国际通岸接头Dg50，消防给水国际通岸接头Dg100。生活水箱容积按3~4日考虑，取15m<sup>3</sup>，水箱出口配套水质检测仪及紫外线消毒装置，以抑制细菌滋长，保证饮用水的卫生安全。由于船舶配套的水泵压力不一，因此设计在0m层平台的给水管道设置加压泵1台。

海上升压站排水系统分为雨水排水和含油排水两种。海上升压站各层甲板露天区域设置雨水斗及排水管道，该类水不会对海洋环境造成污染，可直接排海。海上升压站含油废水来源于主变压器的事事故排油，其排水性质呈周期性、间断性。主变压器事故排油时，通过排油管道排至事故集油罐，废油由船舶定期抽走外运。事故油罐容积按高压细水雾灭火系统一次消防用水量与一台主变压全部油量之和来确定，约为70m<sup>3</sup>。事故油罐排油管须做好防盐雾腐蚀处理。

## 2.3 项目主要施工工艺和方法

### 2.3.1 施工条件

#### 2.3.1.1 交通运输条件

广西防城港海上风电示范项目A场址工程位于广西防城港南部海域，离岸最近距离约15km主要通过海路与陆上交通系统连接。

本工程场址附近的主要港区主要有西湾北、南作业区，东湾港区、云约江港区等三大港区。主要的航道有三牙航道、西贤航道、牛头航道和暗埠江航道等。

本风电场场址远离大陆，本工程大型物资的场外交通主要通过海路运输完成；小型物资的场外运输主要依靠公路转海路运输完成，陆运物资拟全部运至施

工补给码头，然后通过海运运至施工现场。通过海路运输的大型物资拟运至施工现场，必要时运至临时中转码头暂存，大件设备的接卸主要利用码头吊机或起重船。海路运输主要依靠场址周边的现有航线。

本工程的场内交通运输包括海上施工项目的场内水上交通运输及陆上开关站的场内陆上交通运输。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，本施工组织初步规划了场内主航道路线，主航线水深不低于5m，可以满足施工船舶通行需要。场内陆上交通运输主要存在于陆上施工项目，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。

### 2.3.1.2 施工物资供应和能力

防城港是中国沿海12个主枢纽港之一，是西部第一大港，是中国大陆重要的铁矿石、建材及煤炭等重要战略物资的中转基地。本工程项目所需的物资材料主要为水泥、钢材、油料等，防城港市具有较大规模的建材市场，供应条件非常好，为本工程的施工提供了非常便利的条件。

**钢材：**本工程用量最大的建筑材料是钢材，广西壮族自治区内拥有多家钢铁企业，例如：广西柳州钢铁、广西防城港钢铁等等，其中广西柳州钢铁集团是我国华南、西南地区乃至泛北部湾经济圈的特大型钢铁联合企业，拥有柳州本部、防城港钢铁基地和玉林中金不锈钢基地三大生产区域，具备年产钢2300万吨综合生产能力。另外，大宗的钢材也可从国内其它省市进行采购。

**油料：**防城港市的油料供应充足，工程施工的船舶机械所耗用的油料可直接从防城港市当地的油料供应公司购买通过陆路或水路运输至施工现场。

**水泥及砂石骨料：**本工程土建工程主要为陆上开关站，水泥及砂石骨料的消耗量不大，水泥可以从当地大型搅拌站采购后使用混凝土搅拌运输车运输至现场施工，防城港市周边有多家大型的砂石骨料场，可直接采购并通过陆运运输至施工现场。

**其它零星材料：**防城港市建材市场多，建材产品类型丰富并供应充足，常规

建筑材料直接在防城港市采购。

总之，防城港市具有非常便利的海运条件，各种建筑材料和物资供应充足，能够满足工程建设需要。

### 2.3.2 风机机组基础施工

本工程项目共有83座风机基础，结合地质资料及初步计算结果，61台推荐重力式基础，东南侧覆盖层大的位置推荐22台嵌岩单桩基础。

本风场大部分覆盖层很薄，覆盖层厚度小于10m，甚至有的为裸露岩层。本风场水深范围为15-18.0m，重力式基础顶标高定位13.5m，岩层埋深暂按照4m估计，混凝土垫层按照0.8m考虑。重力式基础高度约为34.5m。基础底板圆直径为31m，底部箱体直径29m；中心柱外径为8.0m，壁厚为60~80mm，为钢结构构件，该结构与底部配重结构灌浆连接。下部箱体内部用8个隔仓板均匀隔开，上部用斜板封闭。空腔内灌注砂土，参考重力式码头规范，填充物干密度不小于18 KN/m<sup>3</sup>，水下密度不小于10 KN/m<sup>3</sup>增加基础的自重。主结构采用C60混凝土。

嵌岩单桩基础工程桩为直桩，回旋钻机和冲击钻机均可用来成孔。根据不同的岩土形式、基础桩可打入深度以及嵌岩深度，可将单桩嵌岩施工工艺分为I型嵌岩单桩施工流程、II型嵌岩单桩施工流程和III型嵌岩单桩施工流程。为了避免海床冲刷搬运对单桩基础造成不良影响，本工程采用铺设尼龙沙被的方式保护单桩基础，在每座风机基础周边40m×40m的范围内铺设砂被。

### 2.3.3 风机机组安装

本工程共安装83台8.5MW风力发电机组，轮毂高度约为130m。国内海上风机安装主要为整体式安装及分体式安装方式两种。本工程处于近海水域，水深条件变化大，场址内有多处浅滩，海床地形起伏较大；海床表层覆盖层为砂，海床承载能力较强，能够满足自升式平台或者坐底式施工船的作业要求。故本阶段推荐海上风机分体安装方案，对于场址内，水深条件满足自升式平台吃水深度的水域，风机安装推荐采用自升式平台船；水深较浅，不满足自升式平台吃水深度的水域，风机安装推荐采用坐底式施工船或者半潜驳配合履带吊。风机整体式安装在国内多用于高桩承台、导管架等多桩基础的，单桩基础应用该方式存在一定的技术困难，因此，不作为本工程的推荐方案。

### 2.3.3.1 风机吊装工艺

采用海上自升式平台用于风机分体安装,其施工工艺简图及具体施工过程如图2.3-4所示。

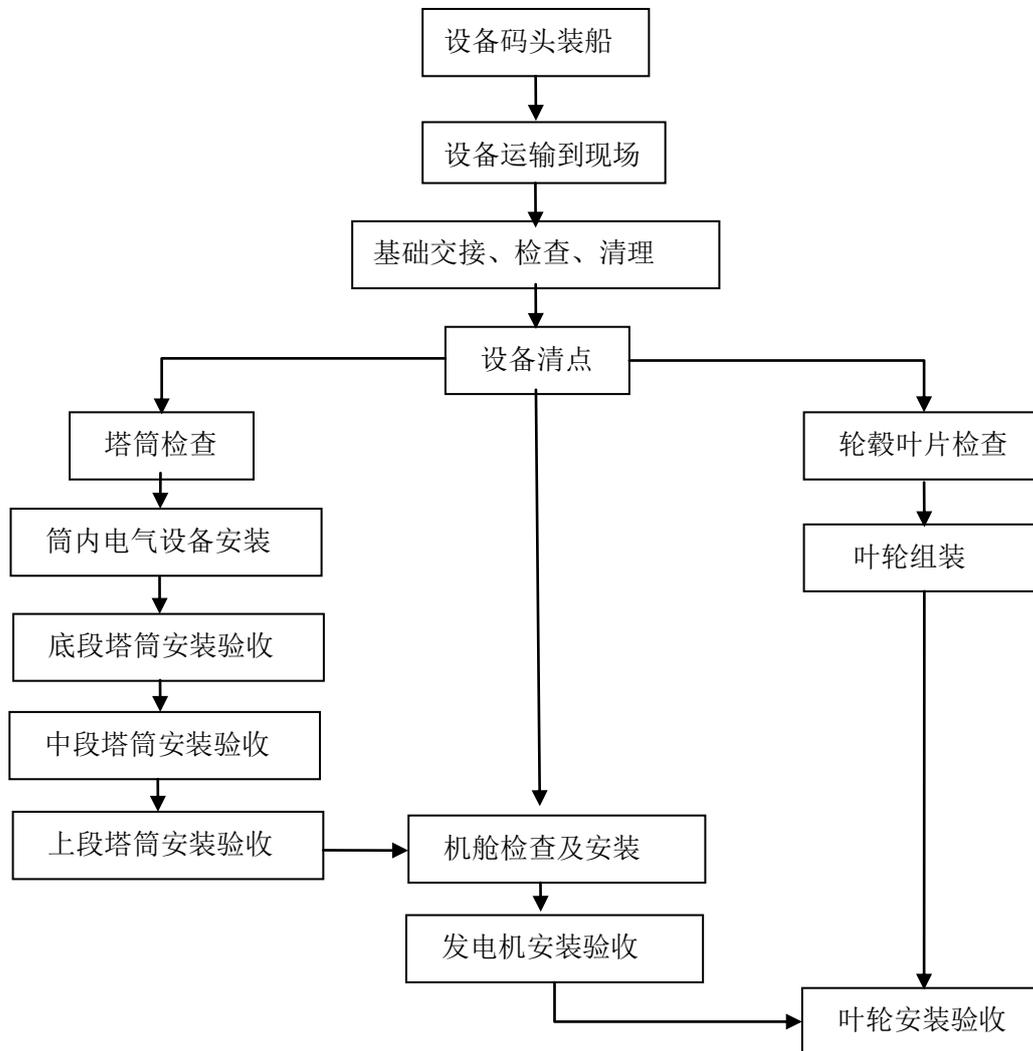


图 2.3-1 风机分体吊装施工工艺流程图

### 2.3.3.2 风机安装设备

海上分体安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。采用液压升降系统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,该方法受风浪、潮汐影响小,吊装定位精确,但对海床地质要求较高,本项目场址地基承载力较好,适合自升式平台船作业。



图 2.3-2 自升式平台船现场照片

按照风机分体式安装方案，本工程需投入的主要设备如下：

表 2.3-1 施工设备投入表

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	800t 及以上主吊，吊高约 110m 以上（距离甲板面）	风机吊装	国内已有
2	履带吊	艘	1	150t 海工吊	配合风机吊装	
3	平板驳	艘	2	10000t 及以上	风机运输	平板驳
4	拖轮	艘	3		起锚艇(拖轮)	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

### 2.3.4 海上升压站施工

海上升压站上部组块采用三层布置，平面尺寸约为39m×55m（不包含局部外挑吊装平台），顶层标高约32.5m（不包括吊机）。上部结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成。上部组块主梁采用焊接H型钢H1200、H1000、H800及热轧H型钢HM600、HM500、HM350，次梁采用热轧H型钢HN300、HN250等。立柱采用φ。立柱采、φ。立柱采钢管，两层主甲板间斜撑采用φ508、φ457、φ406和φ356等钢管，底层甲板之上满铺8mm厚钢板，在立柱、撑杆与主梁交点处管节点用Z

向钢钢材DH36加强。海上升压站上部组块布置见表2.3-4。

表 2.3-2 海上升压站上部组块布置汇总表

项目	钢材总用量	舾装、电气、暖通、消防、排水设备及管道重量	总重
重量 (t)	约 2526	约 2406	4932

上部组块舾装设计参考海上石油平台舾装，依据《海上固定平台安全规则》（国家经贸委2000）等规范设计，舾装所有材料都应提供SOLAS防火等级证书。上部结构在陆上工厂制作，完成焊接、涂装、电气设备安装调试等工序后运输至现场安装。整个上部结构在结构、建筑、暖通、电气设备安装等施工完成并调试结束后整体吊装到升压站基础上。升压站上部组块钢结构重量为2526t，舾装设施和全部电气、暖通、消防、给排水设备重量约2406t，上部组块总重约4932t。

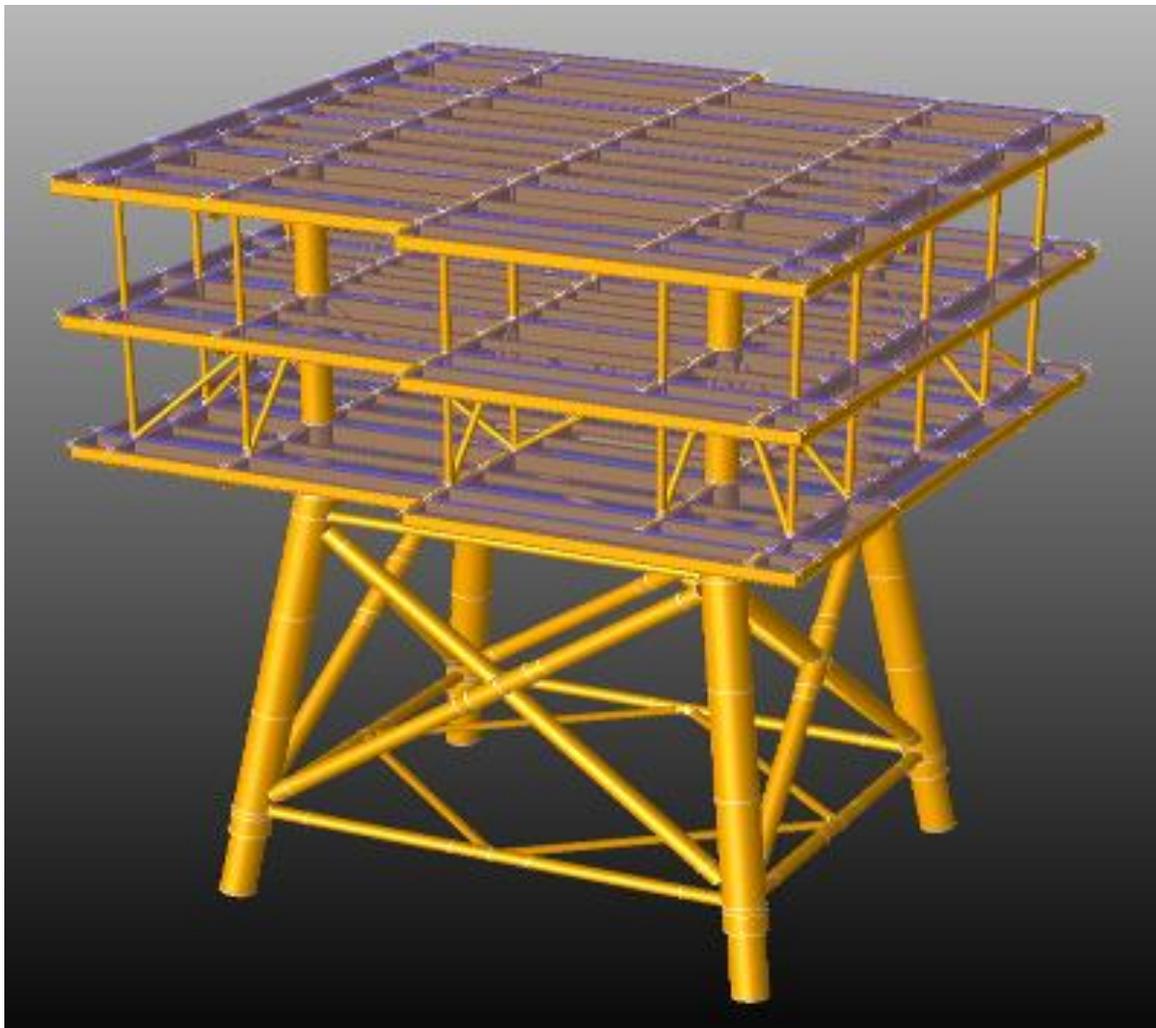


图 2.3-3 海上升压站平面及立面图

导管架采用4腿导管架型式，导管架4个面的斜度均为斜面，斜度1:10。导管架顶标高13.0m，底标高-15.6m。上部根开26.0m×21.0m，底部根开

31.15m×25.15m。主导管采用 $\phi 2600$ 钢管，成矩形布置，在标高-12.2m，12.0m处设水平圆管 $\phi 800\sim\phi 1000$ 钢管，导管架局部节点用钢材DH36—Z35加强。导管架上设靠船构件、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。导管架约重1280t。

海上升压站基础采用 $\phi 2400$ 开口变壁厚钢管桩，共4根，壁厚范围为28~55mm。其中，升压站四根钢管桩长45m，入泥30m，单根桩重110t，总重440t。

海上升压站施工主要包括陆上加工制作及电气安装、整体运输、基础施工、海上升压站安装、护底抛石等。

#### 2.3.4.1 基地整体加工

海上升压站结构属于大型多层钢框架结构，属于集成度非常高的海上整体式变电站。本工程的海上升压站拟考虑在深圳赤湾的大型钢结构加工厂进行加工制作，电气设施安装也全部在陆上基地完成，然后整体运输至施工现场进行整体吊装。海上升压站预制厂应选择在具有较好码头出运条件的厂家，其出运码头结构受力及前沿水深应能够满足海上升压站整体出运要求。



图 2.3-4 海上升压站整体加工制作示意图



图 2.3-5 海上升压站整体加工制作示意图

#### 2.3.4.2 整体运输

海上升压站整体加工制作完成后，通过专业重型运输车及大型驳船出运，升压站装船完毕并固定后直接运输至施工现场进行安装。



图 2.3-6 海上升压站整体运输示意图

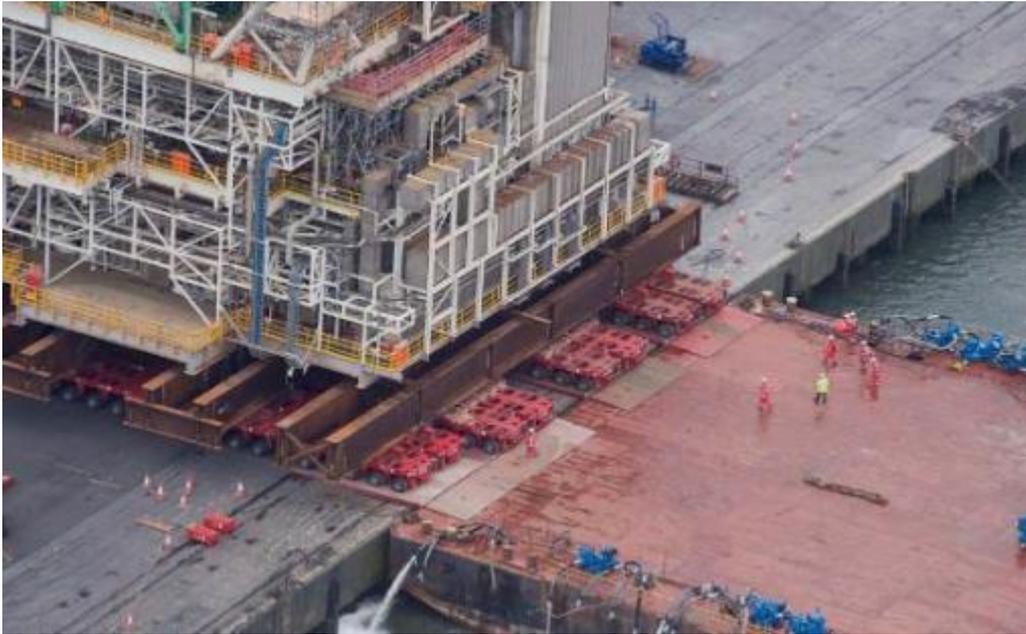


图 2.3-7 海上升压站整体运输示意图



图 2.3-8 海上升压站整体运输示意图

### 2.3.4.3 基础施工

海上升压站基础型式采用导管架结构，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，保证桩与导管架结构的共同工作，海上升压站施工工艺图如下：

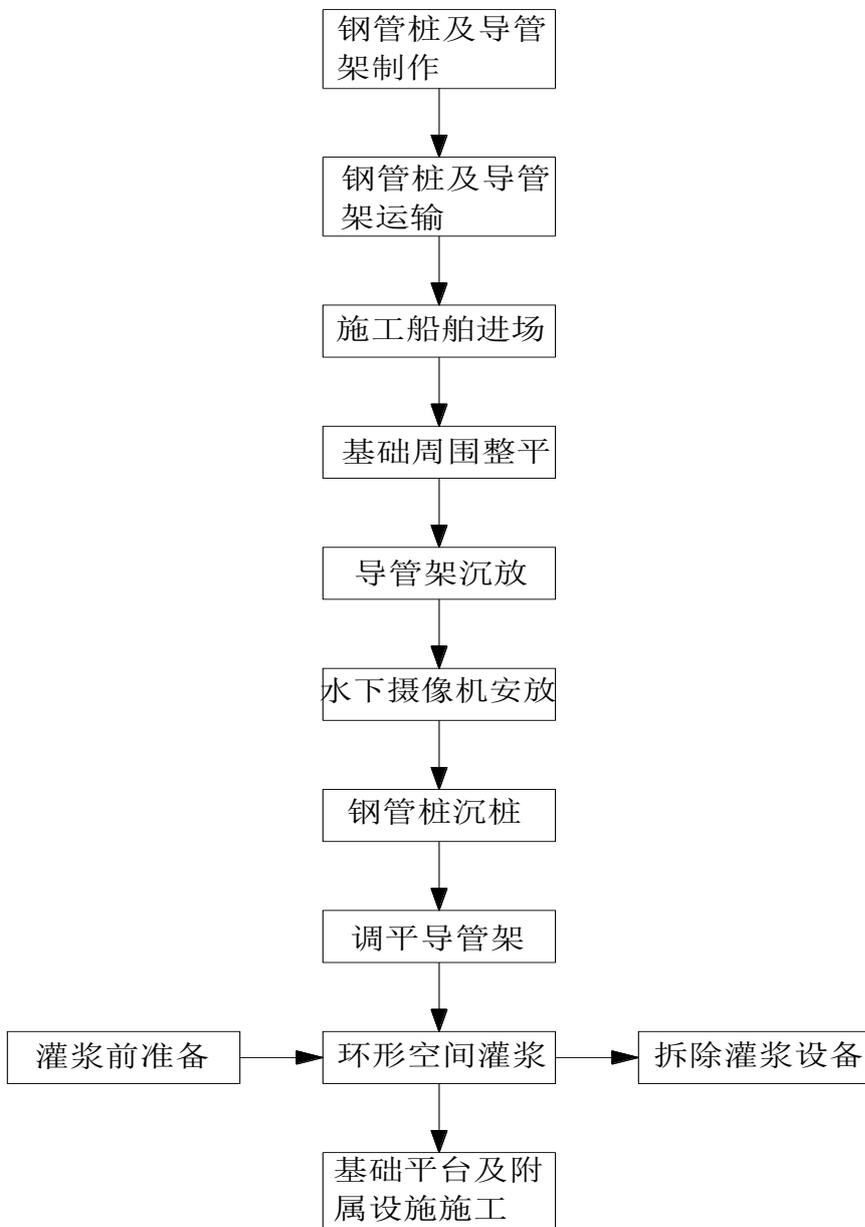


图 2.3-11 海上升压站基础施工工艺图

#### 2.3.4.4 整体安装

海上升压站整体运输至施工现场后，拟采用起吊能力不小于6500t的大型起重船进行安装，升压站吊装应采用专业吊具，确保吊装顺利进行。



图 2.3-9 海上升压站整体吊装示意图片

### 2.3.4.5 主要施工设备

按照升压站整体式安装方案，本工程需投入的主要设备如下：

表 2.3-3 投入的主要设备

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	浮式起重船	2000t级及以上	艘	1	导管架基础施工，配置S-1900型液压打桩锤作为首选桩锤
2	起重船	6500t及以上	艘	1	上部组块装船及现场安装
3	甲板驳船	8000t级	艘	1	钢管桩与导管架运输
4	甲板驳船	10000t级	艘	1	上部组块运输
5	拖轮	3000HP	艘	4	拖运船舶
6	抛锚艇		艘	2	打桩船、起重船等抛锚

备注：本表不包含升压站加工制作所需的设备。

### 2.3.5 海缆敷设施工

本工程海缆项目主要分场内66kV集电海缆、220kV送出海缆等几种电缆型式。国内海缆敷设常采用牵引绞锚、水下冲埋、边敷边埋的敷设方式。另外，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66kV

集电海缆与220kV送出海缆采用两类不同的施工船舶，场内66kV集电海缆优先选用带动态DP定位的施工船舶。常规海缆敷设主要施工工艺如下：

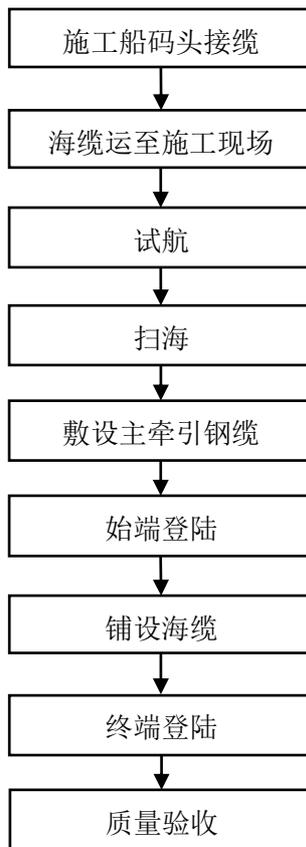


图 2.3-10 海缆敷设施工工艺

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

### 2.3.5.1 施工准备

工程前期，需办理海缆施工专项许可证书，在海洋局理海域使用证书，海底管道施工许可证书等相关施工手续，确保海缆工程合法，有效；还需要得到施工区域港务，航道，渔政等相关部门的配合，在此期间可以先进进行以下准备工作：

#### (1) 现场调查

现场确认登陆点位置和登陆段电缆路由，复查施工区域的水文气象情况，特别是根据流向流速、潮高、潮时等来计算确定施工船施工时就位的最佳位置和最佳时间。

#### (2) 海缆过驳

海底电缆的过缆索作业方式可分为整体吊装和散装过缆。

整体吊装是利用运输船上的起吊机或浮吊，将整盘海缆连同缆盘由运输船吊至施工船甲板上，再将电缆盘与甲板联结固定，并在施工船甲板上搭设其他退扭设施。

散装过缆地点为海缆生产厂家码头或施工现场。海缆在过驳前首先厂家须对海缆进行出厂检验，对装载上船的海缆进行性能检测，待测试符合设计标准后方可进行过驳施工。



图 2.3-11 海缆散装过缆示意

### （3）路由扫海

路由扫海主要是为施工船施工时清除电缆路由上的一切障碍物，如渔网、废缆、绳索等，如遇到不能清除的障碍物，探明情况后，拟定解决方案并由建设单位确认。

### （4）登陆准备及试航

登陆前在两登陆点的路由轴线上挖设绞磨机地坑，在登陆的滩涂上按设计轴线敷设电缆登陆的牵引钢丝，并在电缆登陆路由沿途设置滚轮，以保护电缆免受磨损和减小电缆登陆时的摩擦力。

### （5）敷设主牵引钢缆

由于海缆施工船一般无自航动力，需靠收绞主牵引钢缆沿设计路由埋设施

工。首先施工船根据DGPS定位就位于始端登陆点附近路由轴线上，由锚艇在海缆设计路由上抛设牵引锚，并与主牵引钢缆连接后开始敷设主牵引钢缆，直至将主牵引钢缆和施工船上卷扬机连接，施工时，由锚艇敷设主牵引锚。当施工至终端登陆点附近时，将主牵引钢缆与预先设置在海上升压站(或风机)的地锚相连接。敷设时由DGPS定位，在转向点处，沿海缆路由方向延伸180m处下锚，确保施工时施工船沿设计路由进行海缆的埋设施工(转角处圆弧平缓过渡)。

### 2.3.5.2 海缆敷设

由于船舶有吃水深度，一般不能直接到达陆地登陆点，根据海缆施工的过程，所以海缆敷设过程可分为始端登陆、中间段敷埋、终端登陆。

#### (1) 海缆始端登陆

敷缆船靠近风机基础（或海上升压站），在J型管出口方向锚定，将做好水密措施的海底电缆头与J型管内的钢丝绳连接，将海缆经J型管拖进风机基础（或海上升压站）内部，并与基础上的专用结构锚固。

#### (2) 中间段敷埋

施工过程中，施工船通过专门大锚机来收绞预先抛敷在设计路由上的主牵引钢缆，提供船舶前进动力，使施工船向前移动，同时拖动埋设机进行电缆深埋敷设，如下图所示。而海缆的埋设速度由卷扬机的绞缆速度来决定，其敷埋速度一般控制在0~9m/min。当施工船偏离路由轴线时，采用拖轮及锚艇，在施工船背水侧或背风侧进行顶推，以纠正埋深施工船的航向偏差。

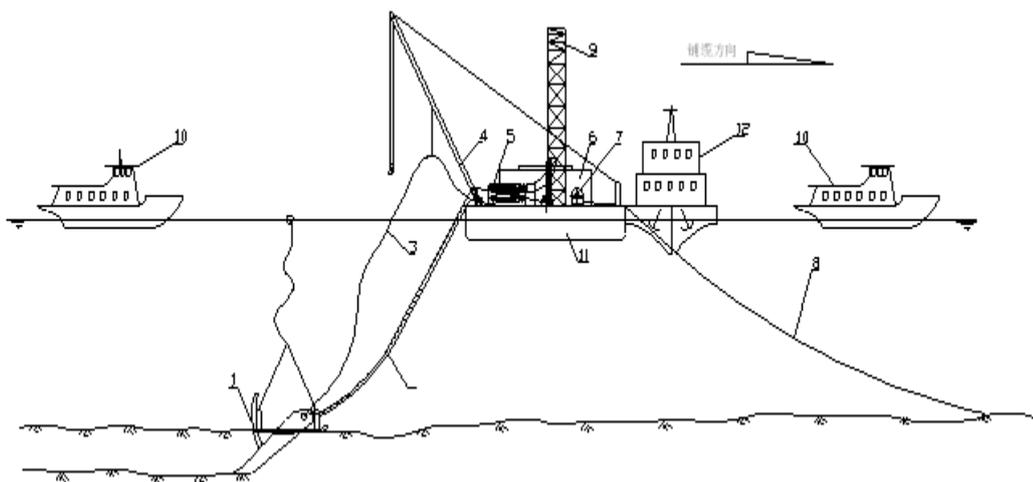


图 2.3-12 中间段海缆敷设示意图

### (3) 终端登陆

电缆始端登陆前，在高潮位时将施工船锚泊就位，以减小登陆距离，并利用DGPS测量系统定位于路由轴线上，抛“八”字开锚锚泊固定。施工时，需根据现场情况设定锚位，确保原有海底缆线的安全。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。准确测量登陆长度后，在施工船上截下余缆。本项目220kV主海缆登陆点拟采用可坐底的海缆敷设船进行作业，针对海缆登陆点较长且可能存在生态保护区的情况，海缆敷设时禁止采用开挖等施工手段，为减少对岸滩的影响，本工程目前拟采用定向钻穿越进行海缆登陆，下阶段视实际情况而定。

#### 2.3.5.3 海缆保护

海底电缆防护主要有两种方式：电缆自身外防护和电缆掩埋。海底电缆自身外防护，通常是在电缆外层增加金属丝编织的防护层（铠装），其优点是增加电缆的抗磨损能力，缺点是减少了电缆的柔韧性，如果电缆的弯曲半径太小，将减少海底电缆的抗弯强度。此外，增加电缆的防护层将增加电缆的制造成本。当海底地质、地貌适合犁耕时，电缆掩埋的成本较电缆铠装要小很多。目前，在各国区域电网跨海域互联工程中海底电缆保护常见的措施为：在海缆近海岸登陆段浅水区采用水泥砂浆袋埋设保护和采用水力喷射冲埋保护。对于局部因覆盖层较薄达不到3m埋深的区域，可增加其他保护措施，如套管保护，或加盖碎石、混凝土件、沙包等保护件。近些年大量采用海底电缆掩埋技术后，海底电缆的事故发生率大大地下降，而且随着海底电缆掩埋技术的进步，海底电缆的事故频率出现了下降的趋势。

本工程海缆敷设主要海上换流站与陆上开关站之间的220kV海底电缆。工程海域海床表层土为新近沉积淤泥土，登陆部分为海涂和浅滩，若采用直埋敷设方式，建议采取以下防护措施进行海缆保护。

(1) 建设单位应按照国家法律法规，维护自己的合法权益，保护海底电缆的安全。根据中华人民共和国国土资源部令第24号《海底电缆管道保护规定》，本工程海底电缆敷设竣工后90日内，建设单位应及时将海底电缆的路线图、位置表等注册登记资料报送当地县级以上人民政府海洋行政主管部门备案，并同时抄报海事管理机构。省级以上人民政府海洋行政主管部门每年会向社会发布海底电

缆管道公告，划定海底电缆管道保护区，禁止在海底电缆保护区内从事挖沙、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆安全的海上作业。

(2) 对于穿越航道区的海缆可加大电缆的埋深，在航道内施工时，需向海事主管机关申请交通管制，同时尽量避免航道封航。国家鼓励海底电缆所有者对海底电缆管道保护区和海底电缆管道的线路等设置标识。划定海底电缆防护区：海港区区内为海底电缆两侧各50m。电缆防护区周围还应设置禁锚标志，以提醒过往船舶不得在防护区内锚泊。考虑到大型船只紧急抛锚的概率极低，海底电缆在航道穿越区加大埋深至3.5~4m，海底电缆可采取全程埋设并采用套管保护、加盖保护件(碎石、混凝土件、沙包等)的保护方式。设置标识时，应向县级以上人民政府海洋行政主管部门备案。同时，可以对海底电缆管道采取定期复查、监视等其他保护措施。对于本工程，在此建议进行航道安全论证专题工作，明确现有航道和远期规划航道对电缆埋深、警示标志，警示灯等装置的要求。

(3) 海缆敷设完成后，建议在海缆J型管出口处采取抛填碎石或水泥压块等措施进行海缆保护。根据最新研究进展，对于在该区域，建议采用海缆弯曲限制器，弯曲限制器最大功能就是对海洋复合软管在外部荷载作用下起到良好的限弯作用，从而确保海洋柔性软管在各种荷载作用下不会过渡弯曲。



图 2.3-13 水泥压块保护示意



图 2.3-14 弯曲限制器示意

(4) 若存在送出海缆段与该国际光缆有交越情况，为保护交越段的原有光缆、电缆安全，需制定合理的交越保护方案。管道和电缆交越处的海床应与已铺管线单位协商确定，本阶段根据工程经验选择电缆铸铁套管+混凝土软体排+土工布的保护方式，以避免管道和电缆铺设中对双方的铺设造成损害。

具体在海缆交越施工中，在跨越布缆施工过程中，潜水员必须水下全程进行监护，确保海缆的安全。考虑到与其他管线影响问题，采用钢筋混凝土预制结构进行防护。具体方案见图：

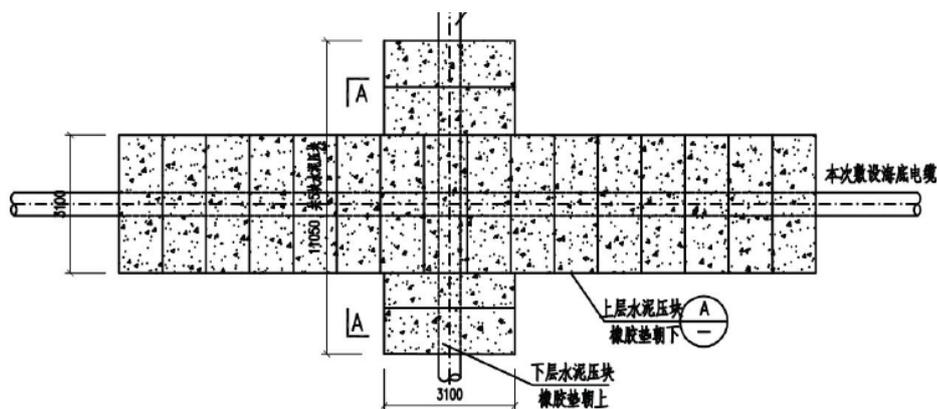


图 2.3-15 交越段电缆保护方案

(5) 登陆段海缆是局部无法完成敷设的路径段，登陆段海缆由于环境及人为活动的影响，出现故障的可能性较高。为了提高登陆段海缆的安全性，海缆敷设

后应按要求进行保护作业。比如登陆点至低潮水位线段的海缆保护，海缆沟槽采用两栖挖掘机及人工开挖结合的方式进行预先开挖，缆沟开挖深度大于2m，按照实际情况放坡，沟底填砂操平后将海缆敷设，并及时进行回填施工。无法开挖的区域，可以采用覆盖石笼或水泥压块保护等方式。海缆登陆段可采用球墨铸铁套管保护，陆上段，海缆敷设在预挖电缆沟内，再回填细沙，盖上盖板，埋设深度取1.0m。

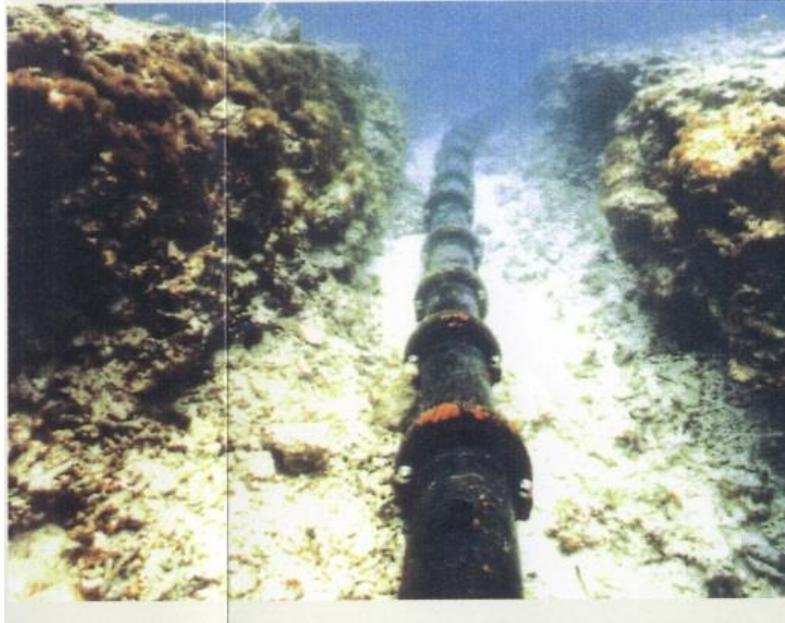


图 2.3-16 海缆保护套管

(6)陆上段，海缆登陆后，在海陆交界的沙滩上设计锚固井，从锚固井到开关站采用电缆沟敷设保护，电缆沟井均采用钢筋混凝土结构。

(7)在工程运行过程中，若因海床整体演变等原因造成海底电缆外露，需根据外露区域的工程地质条件选择合适的后续保护工程，如抛填级配块石，设置预制水泥盖板，布设钢丝铅笼网兜等设施。

#### 2.3.5.4 施工船舶及设备介绍

海缆埋设施工船属于专用船舶，船上除配备了常规的锚泊系统设备外，还配备了针对海底电缆敷埋设施工要求而研制开发的专用设备。

表 2.3-3 主要铺缆设备和机具

名称	说明
海缆转盘	储存电缆，轨道转动，机械手盘放
电缆退扭系统	释放电缆扭应力
布缆机	将电缆从储缆圈经电缆桥拉至甲板

机械计米器	计量敷设海缆长度
入水槽	保证电缆入水角度和弯曲半径

表 2.3-4 主要电缆埋深设备

序号	名称	用途
1	电缆埋设机	海底电缆埋深, 深度 3~4m
2	高压水泵	供水, 扬程 300m 以上
3	高压水管	将高压水输送至埋设机
4	导缆笼	保证埋设机至船舷间电缆的张力和弯曲半径
5	海缆埋深监测系统	监测电缆的张力、埋深、偏差、缆长及水深、流速等
6	拖曳式潜水器综合监控 导航系统	埋设机综合监控与水下导航定位系统

表 2.3-5 锚泊设备

序号	名称	用途
1	牵引绞车	牵引施工船前进
2	锚机	固定船位
3	海军锚	大抓力锚
4	钢丝绳	牵引、锚泊等

### 2.3.5.5 海缆敷设施工进度

电缆敷埋速度由施工船上牵引卷扬机的绞缆线速度决定, 可由与卷扬机连接的变频器来控制与调节, 可在0~16m/min的速度范围内变化。施工过程中, 根据不同土质情况, 敷埋速度一般控制在3~10m/min。

## 2.3.6 施工基地与码头

本工程施工期间规划1个施工补给码头、临时避风锚地(必要时)及4大施工作业区。施工补给码头位于陆上开关站附近陆域, 属于租赁码头, 此补给码头为该项目的补给基地, 其主要承担生产及生活临建布置、交通船停靠等任务, 该码头在施工建设完成后可作为海上风电场运营维护码头。为保障海上风电机组安装作业的连续性, 必要时在防城港设置避风锚地(用于风电机组设备运输船舶的临时停泊及台风期施工船舶避风)。本工程按照施工空间位置主要划分4大施工区, 分别是1#海上风场施工区、2#220kV送出海缆施工区、3#陆上开关站施工区和4#钢结构加工制作区。

## 2.3.7 施工总进度

工程准备期主要报告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。工程准备工作以后, 开展主体工程的施工。各主要施工项目的进度目标见下表。

表 2.3-6 施工总进度表

序号	项目	工期 (月)	计划开工 (月)	计划结束 (月)	备注
1	施工准备	3	T+0	T+3	
2	重力式基础预制	12	T+3	T+14	
3	重力式施工	11	T+6	T+16	
4	嵌岩单桩预制	15	T+3	T+17	
5	嵌岩单桩施工	18	T+6	T+23	
6	风机机组安装	18	T+10	T+27	表示时间跨度
7	66kV 海缆敷设	16	T+13	T+28	表示时间跨度
8	220KV 送出海缆敷设	4	T+13	T+16	
9	海上升压站导管架加工制作	8	T+2	T+9	
8	海上升压站上部组块加工制作	10	T+2	T+11	
10	海上升压站安装调试	2	T+13	T+14	T+11 个月升压站基础施工, T+12 个月上部组块吊装, T+13 个月升压站调试
10	陆上开关站	11	T+2	T+12	
11	首批风机投产发电	8	T+10	T+14	里程碑
12	剩余风机安装并调试投产发电	15	T+14	T+30	里程碑

本工程总工期为计划为30个月，其中工程主体施工总工期为28个月。本工程于T+0月开工后，T+3月后施工准备完成，主体工程开始施工，第T+14个月后首批8台机组发电，第T+30个月场址全部83台风机投产发电。

## 2.4 项目申请用海情况

### 2.4.1 申请用海面积

本项目用海类型属于工业用海中的电力工业用海，83个风机基座、海上升压站的用海方式为透水构筑物用海，220kV送电海底电缆、66kV海底电缆用海方式为海底电缆管道用海。申请用海面积394.1530公顷。透水构筑物用海面积104.3114公顷，其中海上升压站用海面积2.1545公顷，83个风机基座用海总面积102.1569公顷；海底电缆管道用海面积289.8416公顷，其中220kV海底电缆用海面积132.3814公顷，66kV海底电缆用海面积157.4602公顷。

本项目宗海位置图和界址图分别见7.3章节中的图7.3.2-1和图7.3.2-2。

## 2.4.2 海岸线利用情况

本项目风机、海上升压站和集电海缆均位于近海深水区域，不占用大陆岸线和海岛岸线。

## 2.4.3 申请用海期限

本工程风机基础结构、海上升压站结构的设计年限按25年标准设计，风电场设计使用寿命为25年，工程建设期2年。因此，项目申请用海期限27年。

## 2.5 项目用海必要性

开发广西海上风电示范项目（场址A）符合国家可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，适应广西能源规划和海上风电规划，是广西重要的海上风电项目。本项目的开发建设对于推动广西海上风电开发、缓解环境保护压力、促进地方经济绿色发展、拉动地区经济转型升级都有着重要意义。

### 2.5.1 项目建设的必要性

#### 2.5.1.1 是适应新常态下我国能源革命形势、优化能源结构的需要，符合国家能源发展战略的规划要求

我国已成为世界上最大的能源生产国和消费国，传统能源生产和消费模式已难以适应当前形势。在经济增速换挡、资源环境约束趋紧的新常态下，推动能源革命势在必行、刻不容缓。2014年6月，习近平总书记在中央财经领导小组第六次会议上提出了能源革命的总体要求。能源生产革命要求改变我国以煤为主的能源结构，形成煤、油、气、核、新能源、可再生能源多轮驱动的能源供应体系。

2016年12月，国家发展改革委印发的《可再生能源发展“十三五”规划》明确提出，要全面协调推进风电开发，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。到2020年底，全国风电并网装机确保达到2.1亿千瓦以上。

2021年11月1日，《广西海上风电场工程规划》正式获得国家能源局批复，标志全区海上风电由规划阶段进入建设实施阶段。据悉，国家能源局先期批复全区海上风电规划装机容量750万千瓦，其中自治区管辖海域内全部4个场址共180

万千瓦，要求力争2025年前全部建成并网；自治区管辖海域外择优选择570万千瓦开展前期工作，要求力争到2025年底建成并网120万千瓦以上。

因此，建设广西防城港海上风电示范项目A场址工程项目是适应新常态下能源革命形势、符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。

#### **2.5.1.2 是广西能源结构调整、提升全省能源生产供应能力的需要**

在一次能源中，广西煤、气、油等资源匮乏，水能资源较丰富，但预计“十四五”期间广西大中型水电站将基本开发完毕。从长远看，广西属能源缺乏省份。为了满足广西经济和社会发展对能源的需求，保证能源安全，广西能源长远发展一方面必须实施能源形式多元化战略，在开发利用水能资源、煤炭资源的同时，积极发展核能、风能和太阳能等新能源。因此，广西防城港海上风电示范项目A场址工程的建设符合广西能源长期发展战略的需要。

#### **2.5.1.3 改善环境质量，促进广西节能环保、可持续发展的需要**

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，我国海上风能资源丰富，近年来呈现发展迅速的趋势。广西防城港海上风电示范项目A场址工程有利于开发广西的海上风电资源，符合国家能源产业发展方向，有效提高风能资源的利用。广西风力资源丰富，风电不仅是广西能源供应的有效补充，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，减少煤炭消费及二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳排放等。

可见，本工程不仅是广西能源供应的有效补充，而且作为绿色能源，有利于缓解电力工业的环境保护压力，促进广西生态环境的可持续发展。

#### **2.5.1.4 有利于提高相关产业水平，推进广西海上风电发展**

目前，广西海上风电尚处于起步阶段，广西防城港海上风电示范项目A场址工程位于防城港市南面海域，具备良好的开发条件。项目的开发建设，有利于加快海上风电技术水平的发展，有利于促进海上风电设备国产化，有利于促进海上风机基础选型与施工技术的创新。本项目的开发将以点带面带动全区海上风电开发，为后续海上风电建设和广西海上风电规模化开发提供宝贵经验和示范。

#### **2.5.1.5 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广西防城港的沿海资源，对于地区相关产业如建

材、交通、设备制造业的发展起到带动作用，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，有利于地区经济社会的全面发展。随着海上风电场的相继开发，海上风电将为沿海地区开辟新的海洋经济增长点，对拉动地方经济的发展起到积极作用。

综上所述，海上风电是可再生能源发展的重要领域，是推动风电技术进步和产业升级的重要力量。广西稳步推进广西防城港海上风电示范项目A场址工程的建设，不仅符合国家可持续、绿色、低碳的能源发展政策，适应广西海上风电发展规划，而且有利于推动可再生能源的开发利用和节能减排，有利于带动风电产业链和第三产业的发展，增加就业机会，促进地方经济的持续发展。

## 2.5.2 项目用海的必要性

### 2.5.2.1 海上风电场相比陆上风电场优势明显

海上风能资源较陆上大，同高度风速海上一般比陆上大20%，发电量高70%，而且海上少有静风期，风电机组利用效率较高。海上风电机组转速一般比陆上高10%，风机利用效率相应提高5%~6%。目前，海上风电机组的平均单机容量在3MW左右，最大已达6MW，风电机组年利用小时数一般在3000小时以上，有的高达4000小时左右。

由于发电机越大，叶片越长，装机容量越大，陆上运输比较困难，而海上运输则不存在运输困难的问题，因此海上风电单机桩基容量大。

海水表面粗糙度低，海平面摩擦力小，因而风切变即风速随高度变化小，不需要很高的塔架，可降低风电机组成本。

海上风的湍流强度低，海面与海上的空气温差比陆上的小，特别是白天。且没有复杂地形对气流的影响，因此作用在风电机组上的疲劳负荷减少，可延长其使用寿命。陆上风电机组一般设计寿命为20年，海上风电机组设计寿命可达25年或以上。

海上风电项目仅占用少量的土地资源，远离城镇及居民生活区，对环境及景观的负面影响小，风电场建设受噪音、景观、鸟类、电磁等问题的限制也少。

### 2.5.2.2 本项目建设内容和性质决定其用海必要性

本项目作为风电项目，根据国外开发风电的经验，风电场场址宜选择在风能

资源条件优良、风力稳定，海流流速低，海床地质条件适宜的海域。离岸越远，受陆地障碍物影响越小、摩擦损失越小、海面越广阔越有利于风速的恢复。

防城港是北部湾城市群的核心城市之一，海上及沿岸具有丰富的风能资源，本项目建设有利于清洁能源的利用。

本项目的建设包括海上风机、海上升压站、海底输电电缆等涉海工程，其中海上风机和海上升压站均位于海中。本项目海上风电场风机基础和海上升压站桩基基础推荐采用导管架基础形式，属于“其他透水构筑物”，桩基插入海床，风机和升压站架设在海面上方，必将占用一定的海域；项目建设多条海底电缆，包括风机间的集电线路、以及风机至海上升压站的电缆，海底电缆埋入海床，属于“海底电（光）缆用海”，必将占用一定的海床及底土。

从项目的建设特点来看，其建设内容和性质决定了其用海的必要性，因此，本项目海上风电场建设及海上升压站、海底电缆铺设将占用一定的海域，项目用海是必要的。

综上，本项目建设对提高可再生能源在能源消费结构比例能起到积极的推动作用，有利于减少土地和岸线资源的占用。同时，本地区具有开发海上风力发电有利条件和资源优势，且社会效益、环保效益显著，具有一定的示范作用。所以无论从海上风电优于陆上风电的特点，还是本项目所处的海域条件及建设特点，本项目用海，且占用该海域都是必要的。因此，本工程项目用海是必需的。

## 3 项目所在海域概况

### 3.1 自然环境概况

#### 3.1.1 气象

项目用海场址位于广西壮族自治区防城港市南部海域。防城港地处北回归线以南低纬度区，属我国南亚热带季风型海洋气候带。由于太阳辐射、季风环流和地理因素的共同作用，具有气温高、雨量大、季风明显、冬暖夏凉和灾害天气多等特点。根据防城港市气象局提供的 1994~2014 年气象统计资料，主要气候特征概况如下。

##### 1、气温

防城港市多年平均气温为 23.0℃；最冷为 1 月，平均气温为 14.7℃；最热为 7 月，平均气温为 29.4℃。月平均气温具有明显的年度变化周期，每年 1 月至 7 月气温逐月回升，8 月至翌年 1 月间，气温逐月下降。防城站历年极端最高气温为 37.7℃（1998 年 7 月 24 日），极端最低气温为 1.2℃（1994 年 12 月 29 日）。

##### 2、气压

防城港市平均气压为 1010.2hPa，12 月至翌年 6 月气压逐渐下降，7 月至 12 月气压逐渐上升。平均最高气压出现在 12 月份，为 1018.9hPa，最低值出现在 6 月份，为 1002.1hPa，气压年变化幅度不大，详见表 3.1.1-1。

表 3.1.1-1 累年各月平均气压、平均降水量及降水日数

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
特征值 平均气压 (hPa)	1018.3	1015.5	1012.5	1009.4	1005.7	1002.1	1002.5	1002.4	1007.4	1010.9	1016.3	1018.9	1010.2
平均降水量 (mm)	33.1	47.2	59.1	87.2	330.1	347.7	372.1	416.0	234.2	107.6	60.8	24.1	2102.2
降水日数 (d)	9	15	13	10	12	19	20	21	11	12	7	6	155

##### 3、降水

常年平均降水量为 2155.5mm，降雨大部分集中在 6-8 月，占全年平均降水约 54.3%，一般 1 月至 8 月降雨量逐月增加，9 月至 12 月逐月递减。防城站 24 小时最大降水量为 365.3mm（2001 年 7 月 23 日）。年最大降雨量为 4147.7mm（2001 年），年最小降雨量为 1701.6mm（2006 年）。

##### 4、风况

防城港年平均风速为 3.1m/s，月平均最大风速出现在 12 月份，为 3.9m/s，其次是 1 月和 2 月，为 3.7m/s；最小平均风速出现在 8 月份，为 2.3m/s。平均风速冬季比夏季大。防城港的常风向为 NNE，频率为 30.9%；次常风向为 SSW，频率为 8.5%；强风向为 E，频率为 4.7%。

### 5、雾、相对湿度及蒸发量

累年平均雾日为 16 天，最多雾日为 23 天（2000 年），最少雾日为 6 天（1999 年）。雾在一年四季中均有出现，以冬春季最多，其雾日数占全年总雾日数的 87.5%。

年平均相对湿度为 81%，最大月平均相对湿度为 88%，每年 2~8 月是本地湿度高值期，其相对湿度在 84% 以上，10 月至翌年 1 月是本地相对湿度低值期，最低为 69%。最小湿度出现在 1999 年 12 月 7 日，其值为 13%。

年平均蒸发量为 1645.2mm，二月是低温阴雨集中月，蒸发量最低，其值为 55.4mm；9 月秋旱蒸发量最大，其值为 197.2mm。

## 3.1.2 水文

中国科学院海洋研究于 2021 年 8 月 8 日~2021 年 8 月 22 日在项目所在海域开展了夏季全潮观测，深入分析本工程海域潮汐、潮流、悬沙、温盐等调查要素的时空分布特征和运动规律；并于 2021 年 9 月 23~24 日、27~28 日、28~29 日开展了小潮、中潮和大潮水文全潮测验。调查站位信息及坐标点见图 3.1.2-1 和表 3.1.2-1。

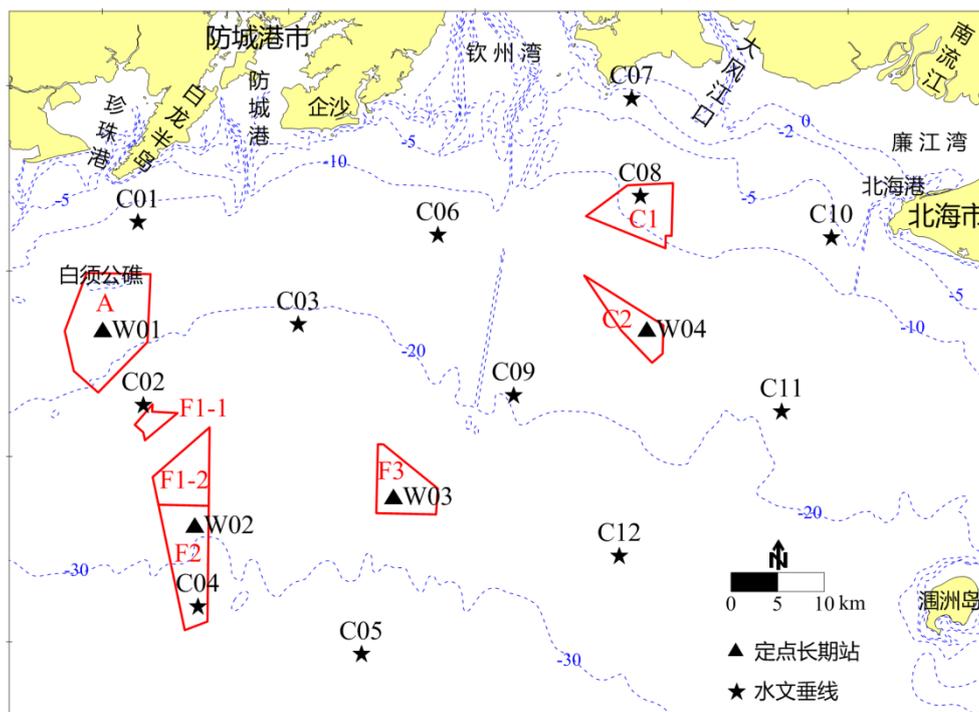


图 3.1.2-1 夏季和秋季海洋水文观测站位图

表 3.1.2-1a 夏季海洋水文观测站位表

站号	经度 E (°)	纬度 N (°)	调查项目
C01	108.2382	21.4522	潮流、含沙量
C02	108.2442	21.2550	潮流、含沙量
C03	108.4103	21.3420	潮流、含沙量
C04	108.3024	21.0378	潮流、含沙量
C05	108.4778	20.9864	潮流、含沙量
C06	108.5600	21.4384	潮流、含沙量
C07	108.7680	21.5856	潮流、含沙量
C08	108.7772	21.4805	潮流、含沙量
C09	108.6414	21.2657	潮流、含沙量
C10	108.9820	21.4359	潮流、含沙量
C11	108.9290	21.2481	潮流、含沙量
C12	108.7547	21.0925	潮流、含沙量
W1			潮位

表 3.1.2-1b 秋季海洋水文观测站位表

站号	经度 E (°)	纬度 N (°)	调查项目
C01	108.2382	21.4522	潮流
C02	108.2442	21.2550	潮流
C03	108.4103	21.3420	潮流
C04	108.3024	21.0378	潮流
C05	108.4778	20.9864	潮流
C06	108.5600	21.4384	潮流
C07	108.7680	21.5856	潮流
C08	108.7772	21.4805	潮流
C09	108.6414	21.2657	潮流
C10	108.9820	21.4359	潮流
C11	108.9290	21.2481	潮流
C12	108.7547	21.0925	潮流
W1			潮位

### 3.1.2.1 潮汐

本工程海区潮汐主要是由太平洋潮波传入南海后，经湾口进入北部湾，受地理条件的影响以及北部湾反射波的干涉形成的。防城港湾以不正规全日潮为主，其特点是：当全日分潮显著时，潮差大，涨潮历时大于落潮历时，憩流时间短；当半日分潮显著时，潮差小，涨、落潮历时大致相等，憩流时间长。

根据国家海洋局防城港海洋环境监测站 1996~2014 年实测潮位资料统计，其潮位特征值如下（以理论深度基准面起算，下同）：

最高潮位：5.34m（2013 年）

最低潮位：-0.33m（2005 年）

平均潮位：2.35m

平均高潮：3.64m

平均低潮：1.24m

最大潮差：5.40m

平均潮差：2.40m

理论深度基准面及其它高程基准的关系见图 3.1.2-2。

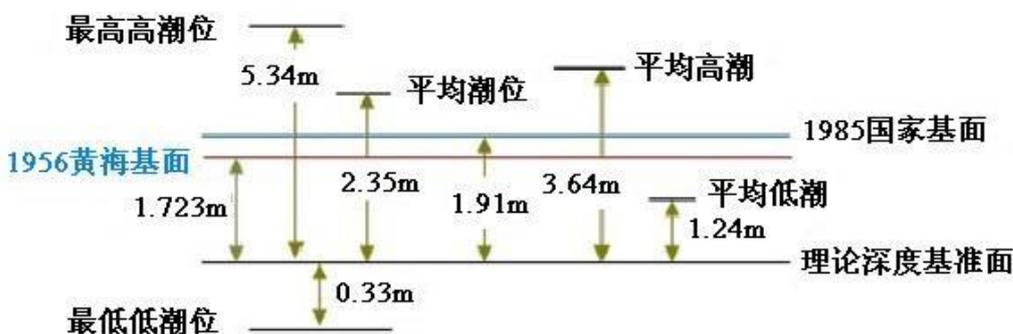


图 3.1.2-2 防城港潮汐特征值及其它高程基准关系

### 3.1.2.2 潮流

#### 1、2021 年 8 月夏季潮流特征

工程海域于 2021 年 8 月 16~17 日、20~21 日、22~23 日开展了小潮、中潮和大潮水文全潮测验（测站位置见图 3.1.2-1），测验期间 W01 站潮位过程线见图 3.1.2-3。各站潮流特征值如表 3.1.2-2~表 3.1.2-4，流速矢量如图 3.1.2-4~图 3.1.2-6。由图表可知：

（1）工程海域潮流为带有一定旋转性质的往复流，涨潮主流向为 NE~NW 向，落潮主流向为 SE~SW 向。

（2）距广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程 C2 站的大潮涨落潮流速明显小于周边各站，且大潮表层流速明显小于底层，与周边各站表层至底层逐渐减小的垂线分布特征明显不同；且 C2 站中小潮流速垂线分布也呈表层至底层逐渐减小规律，由此可见，C2 站大潮潮流资料是比较异常。

（3）工程海域各站涨、落潮平均流速，大潮分别为 0.16 m/s、0.18 m/s，中潮分别为 0.15 m/s、0.16 m/s，小潮分别为 0.12 m/s、0.15 m/s，总体呈现大潮大、中潮次之、小潮最小的变化特征。

(4) 工程海域各站涨、落潮垂线平均最大流速，大潮分别为 0.41 m/s、0.55 m/s，中潮分别为 0.39 m/s、0.45 m/s，小潮分别为 0.53 m/s、0.42 m/s。

(5) 各站流速平面分布，总体趋势是自东向西逐渐减小的分布特点，

总的来看，工程海域潮流为带有旋转特性的往复流，涨潮主流向为偏北向，落潮主流向为偏南向，夏季观测期间的涨、落潮平均流速基本在 0.3 m/s 以下。

图 3.1.2-2~图 3.1.2-4 分别为夏季全潮大、中、小潮期剖面海流矢量图，表 3.1.2-2~表 3.1.2-4 分别为夏季全潮大、中、小潮期平均流速及流向统计一览表。

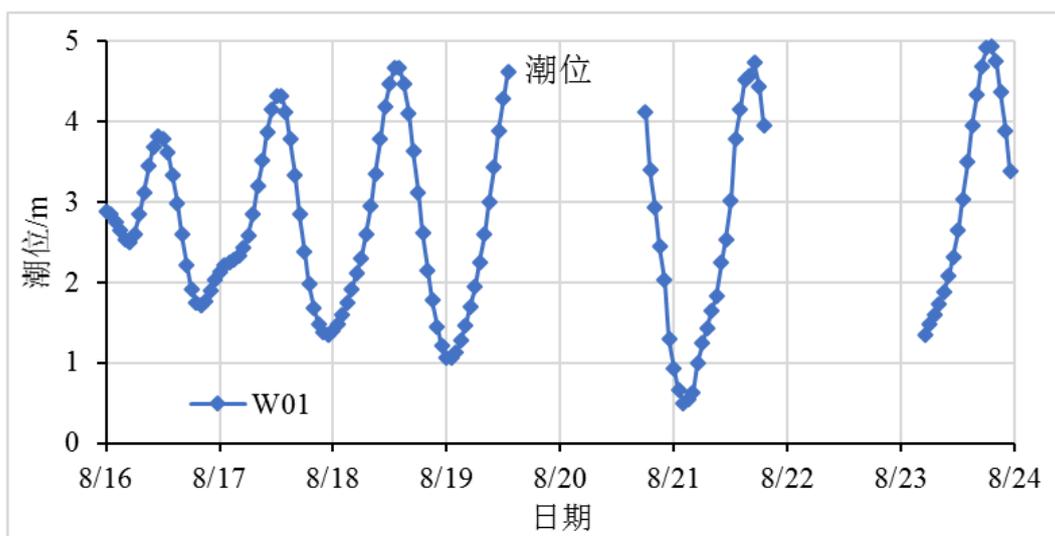


图 3.1.2-3 2021 年 8 月风电场址区域实测潮位过程

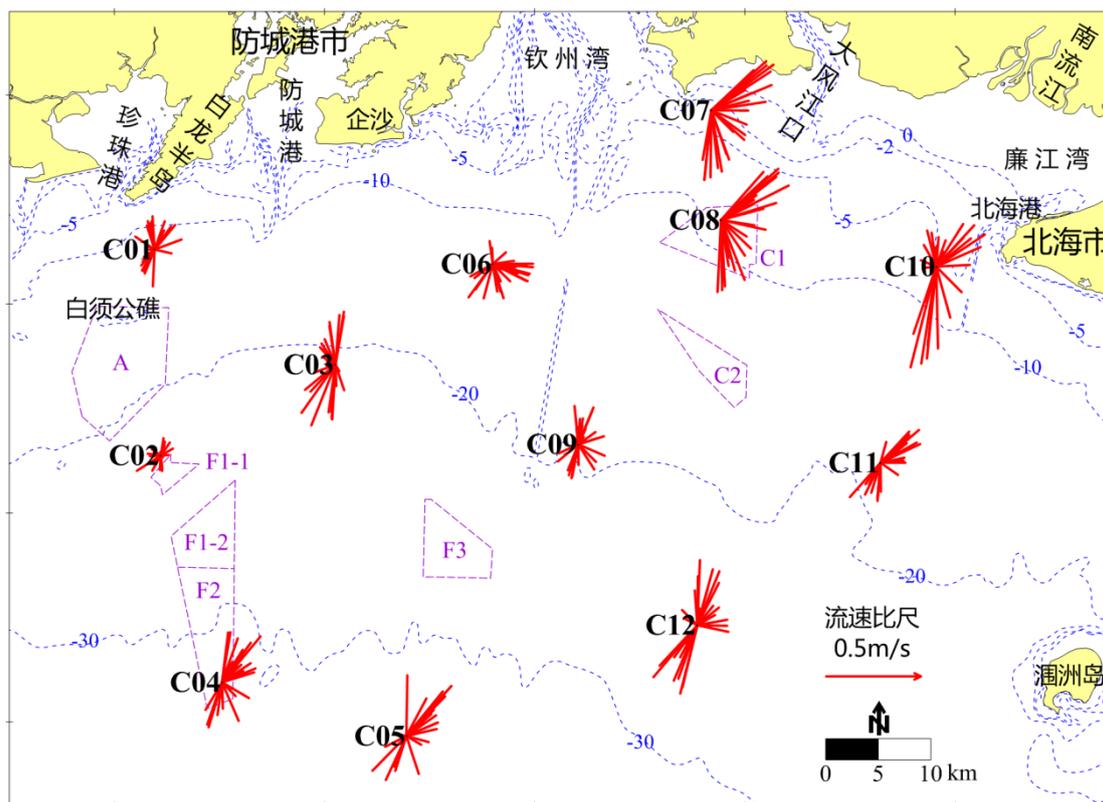


图 3.1.2-4 2021 年 8 月大潮流速矢量

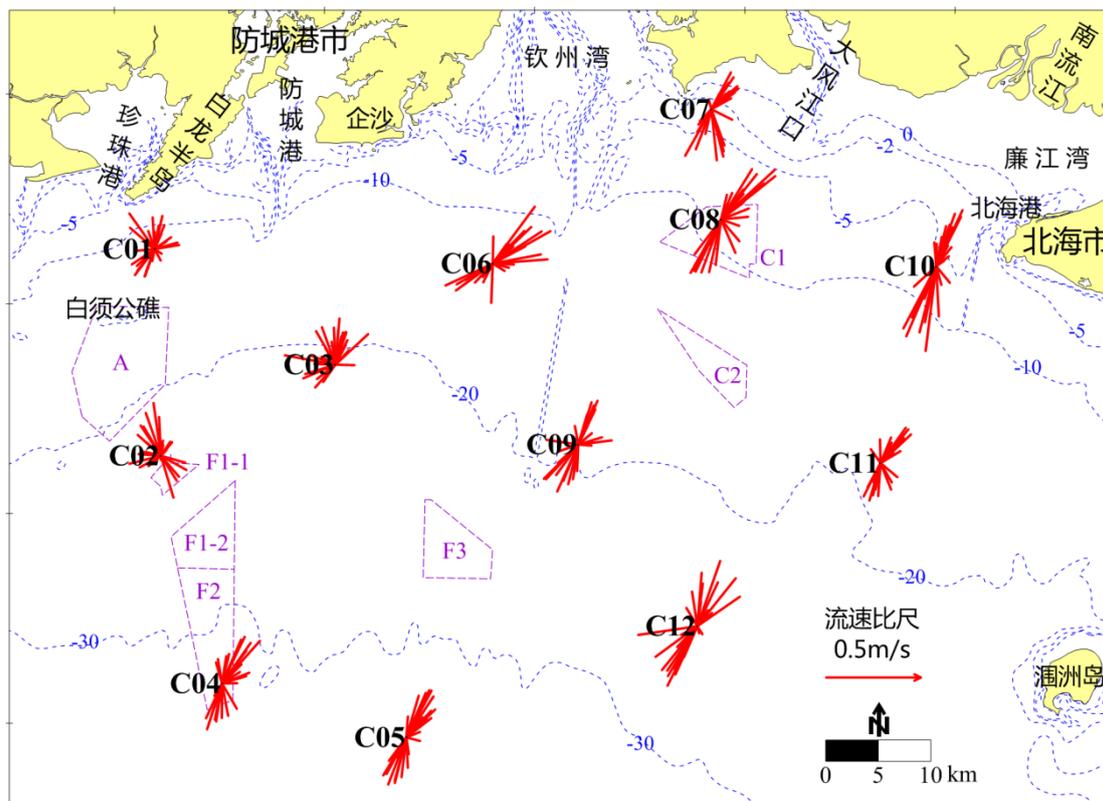


图 3.1.2-5 2021 年 8 月中潮潮流矢量图

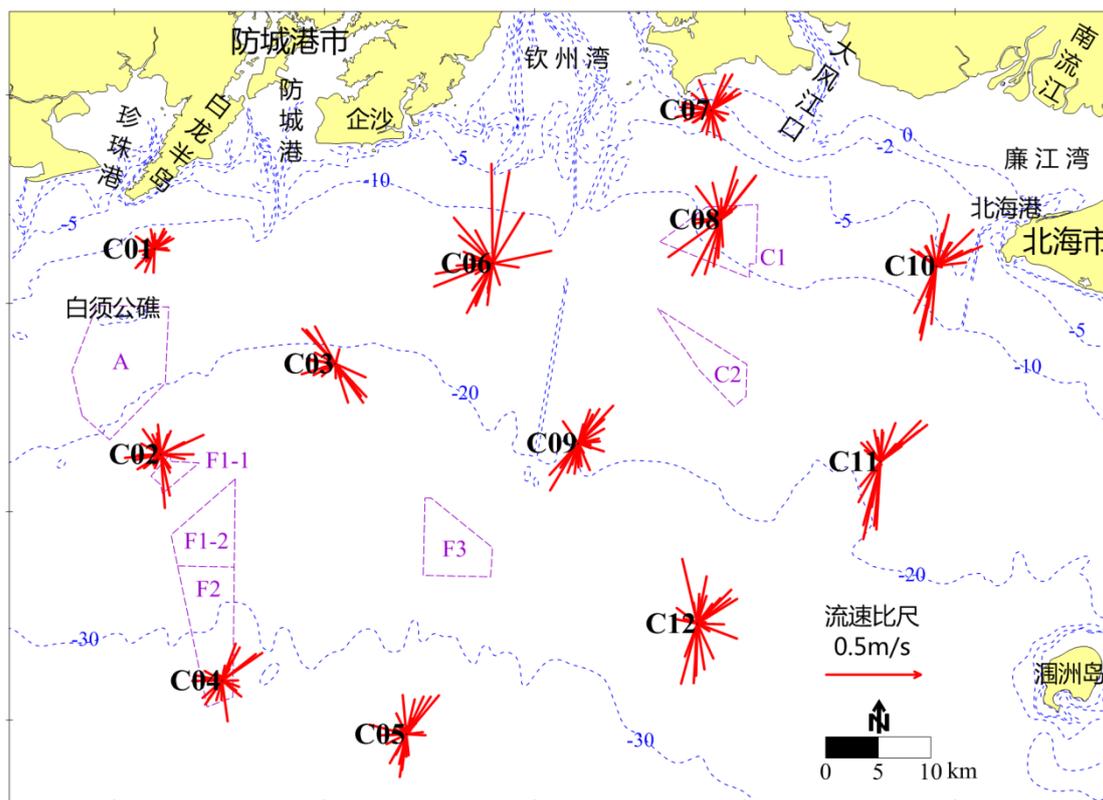


图 3.1.2-6 2021 年 8 月小潮潮流矢量图

表 3.1.2-2 2021 年 8 月潮段平均流速流向统计

单位: 流速 (m/s), 流向 (°)

测站	大潮		中潮		小潮		大潮		中潮		小潮	
	涨		落		涨		落		涨		落	
	流速	流向										
C01	0.12	5	0.09	204	0.10	8	0.10	211	0.06	16	0.07	218
C02	0.04	24	0.05	225	0.12	346	0.06	186	0.09	25	0.10	207
C03	0.15	347	0.20	200	0.15	15	0.13	268	0.12	316	0.08	176
C04	0.18	37	0.15	181	0.16	33	0.15	190	0.08	11	0.11	185
C05	0.18	43	0.14	198	0.18	34	0.16	197	0.08	6	0.14	194
C06	0.13	96	0.13	190	0.19	55	0.15	227	0.19	354	0.17	223
C07	0.28	59	0.27	167	0.14	41	0.18	180	0.11	13	0.07	210
C08	0.29	57	0.27	164	0.21	44	0.22	193	0.12	16	0.20	214
C09	0.10	19	0.13	190	0.12	29	0.18	213	0.13	39	0.12	189
C10	0.17	33	0.31	186	0.18	21	0.25	196	0.13	24	0.26	192
C11	0.14	58	0.16	199	0.12	35	0.14	185	0.13	20	0.28	192
C12	0.16	22	0.24	203	0.19	19	0.21	213	0.13	16	0.20	174
平均	0.16		0.18		0.15		0.16		0.12		0.15	

表 3.1.2-3 2021 年 8 月垂线平均最大流速流向统计

单位: 流速 (m/s), 流向 (°)

测站	大潮				中潮				小潮			
	涨		落		涨		落		涨		落	
	流速	流向										
C01	0.18	356	0.20	183	0.23	325	0.17	217	0.12	304	0.14	224
C02	0.09	9	0.15	237	0.28	352	0.23	163	0.25	65	0.29	176
C03	0.28	9	0.35	202	0.25	5	0.27	280	0.26	317	0.25	145
C04	0.32	40	0.25	197	0.30	42	0.26	198	0.26	55	0.22	172
C05	0.36	42	0.26	205	0.28	28	0.27	201	0.27	40	0.23	189
C06	0.21	95	0.22	216	0.37	36	0.28	245	0.53	359	0.33	248
C07	0.41	54	0.37	186	0.22	28	0.28	209	0.22	30	0.19	258
C08	0.41	48	0.38	183	0.39	47	0.33	210	0.30	38	0.34	234
C09	0.21	22	0.18	191	0.25	24	0.27	204	0.27	43	0.29	211
C10	0.31	56	0.55	194	0.33	25	0.45	187	0.28	14	0.40	192
C11	0.27	49	0.24	222	0.23	40	0.21	196	0.31	52	0.42	192
C12	0.35	2	0.37	194	0.37	19	0.35	207	0.35	347	0.33	195
最大	0.41		0.55		0.39		0.45		0.53		0.42	

表 3.1.2-4 2021 年 8 月分层平均流速 (m/s) 统计

测站	大潮				中潮				小潮			
	表层	0.6H	底层	垂线平均	表层	0.6H	底层	垂线平均	表层	0.6H	底层	垂线平均
C01	0.18	0.13	0.12	0.12	0.13	0.14	0.11	0.12	0.06	0.09	0.10	0.08
C02	0.04	0.10	0.11	0.06	0.24	0.17	0.10	0.13	0.24	0.14	0.15	0.14
C03	0.25	0.24	0.16	0.18	0.19	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.13	0.14
C04	0.28	0.20	0.15	0.18	0.25	0.19	0.13	0.17	0.15	0.15	0.11	0.12
C05	0.27	0.20	0.18	0.18	0.24	0.19	0.16	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14
C06	0.25	0.23	0.11	0.15	0.22	0.22	0.11	0.19	0.24	0.23	0.18	0.23
C07	0.31	0.29	0.23	0.29	0.25	0.15	0.16	0.17	0.15	0.18	0.08	0.13
C08	0.31	0.30	0.23	0.29	0.28	0.23	0.19	0.23	0.19	0.18	0.18	0.18
C09	0.19	0.15	0.05	0.13	0.27	0.16	0.08	0.16	0.22	0.16	0.08	0.14
C10	0.32	0.23	0.21	0.25	0.28	0.22	0.17	0.22	0.21	0.20	0.17	0.20
C11	0.26	0.16	0.08	0.15	0.20	0.16	0.09	0.14	0.20	0.20	0.17	0.20
C12	0.26	0.22	0.12	0.21	0.28	0.21	0.10	0.21	0.21	0.23	0.13	0.19
平均	0.24	0.20	0.14	0.18	0.24	0.19	0.13	0.17	0.18	0.17	0.14	0.16

## 2、2021 年 9 月秋季潮流特征

工程海域于 2021 年 9 月 23~24 日、27~28 日、28~29 日开展了小潮、中潮和大潮水文全潮测验，测验期间 W01 站潮位过程线见图 3.1.2-7。各站潮流特征值如表 3.1.2-5~表 3.1.2-6，流速矢量如图 3.1.2-8~图 3.1.2-10。由图表可知：

(1) 工程海域潮流为带有一定旋转性质的往复流，涨潮主流向为 NE~NW 向，落潮主流向为 SE~SW 向。

(2) 工程海域各站涨、落潮平均流速，大潮分别为 0.11 m/s、0.14 m/s，中潮分别为 0.12 m/s、0.10 m/s，小潮分别为 0.09m/s、0.13 m/s，大中小潮差异不大。

(3) 工程海域各站涨、落潮垂线平均最大流速，大潮分别为 0.32 m/s、0.33 m/s，中潮分别为 0.34 m/s、0.30 m/s，小潮分别为 0.29 m/s、0.35 m/s。

总的来看，工程海域潮流为带有旋转特性的往复流，涨潮主流向为偏北向，落潮主流向为偏南向，秋季观测的涨、落潮平均流速在 0.2 m/s 以下。

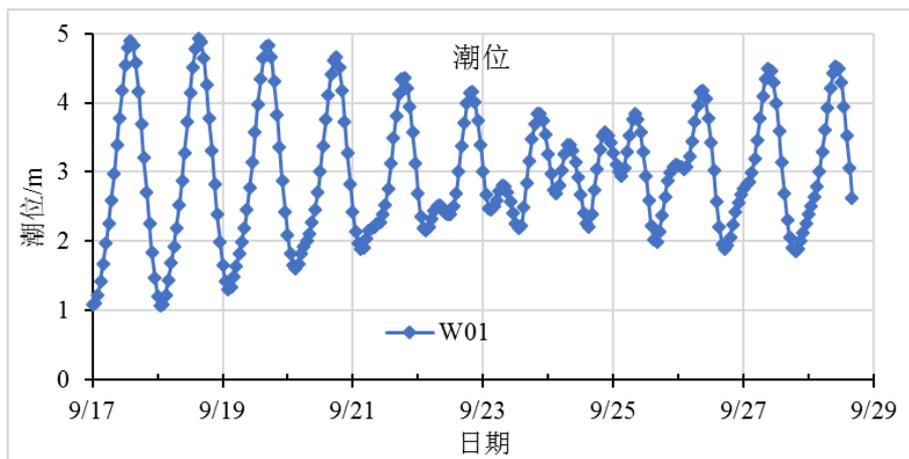


图 3.1.2-7 2021 年 9 月风电厂 A 址区域实测潮位过程

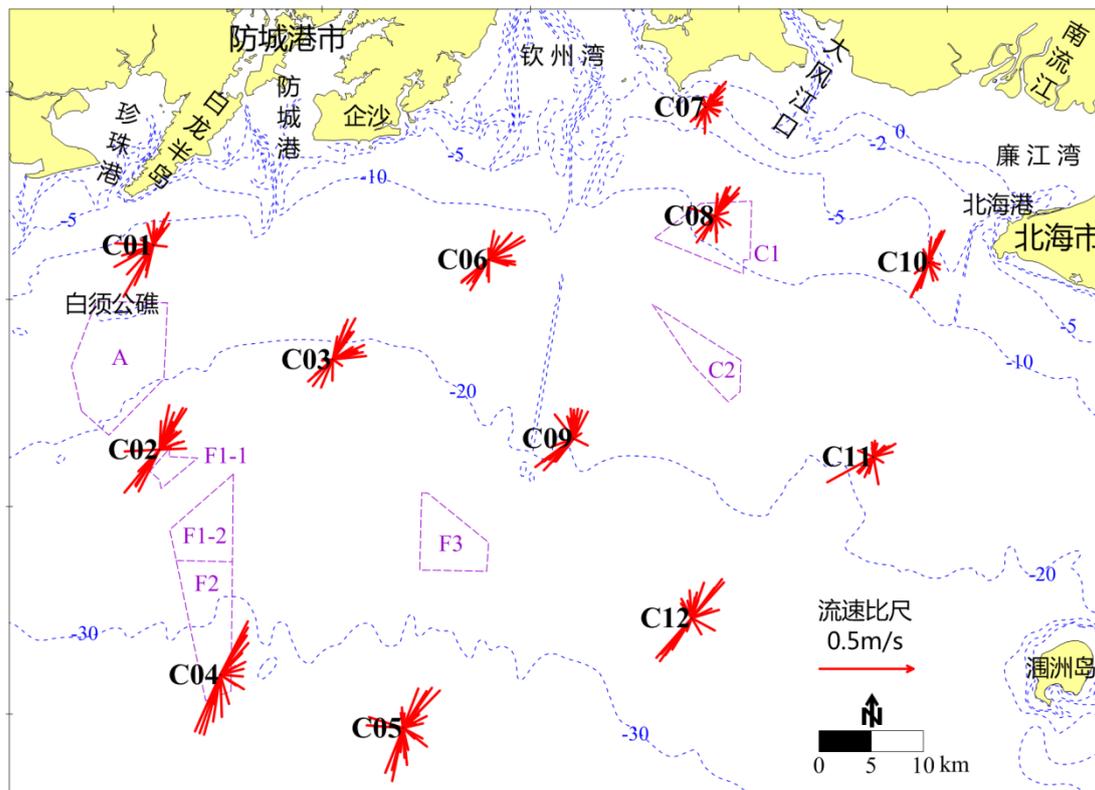


图 3.1.2-8 2021 年 9 月大潮流速矢量

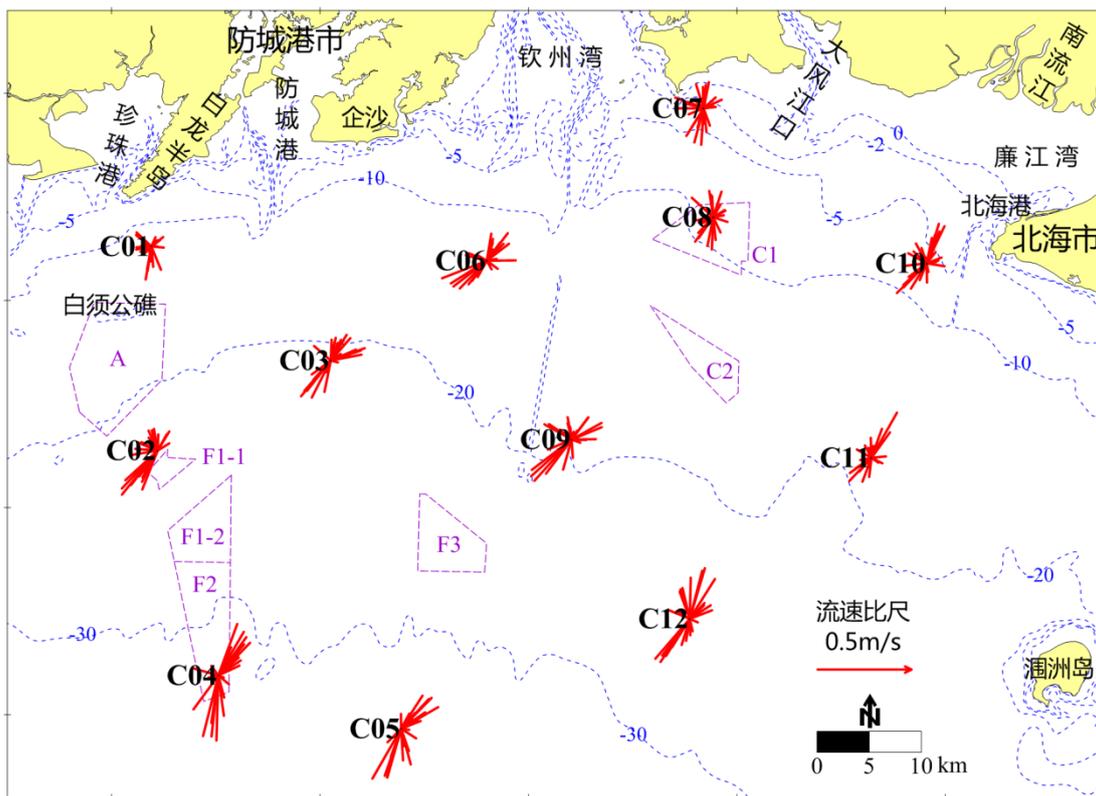


图 3.1.2-9 2021 年 9 月中潮流速矢量

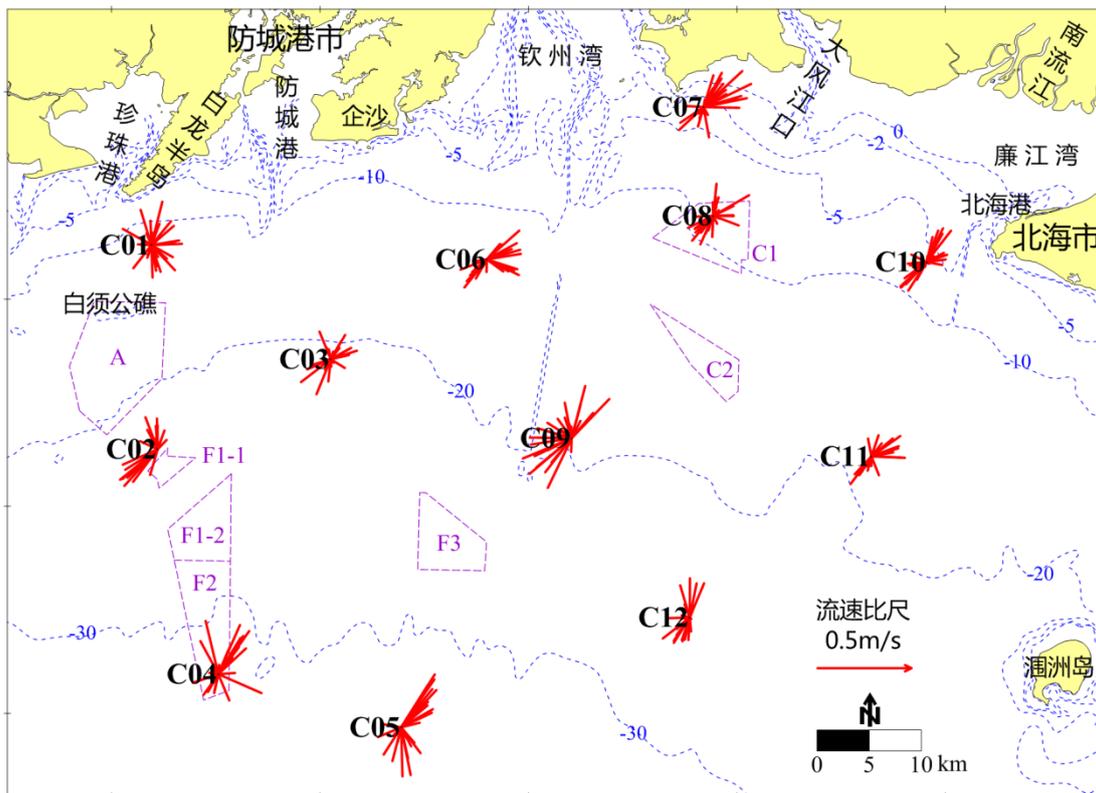


图 3.1.2-10 2021 年 9 月小潮流速矢量

表.3.1.2-5 2021 年 9 月潮段平均流速流向统计

单位：流速 (m/s)，流向 (°)

测站	大潮				中潮				小潮			
	涨		落		涨		落		涨		落	
	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
C01	0.09	20	0.17	222	0.09	51	0.07	204	0.04	11	0.07	203
C02	0.14	34	0.19	221	0.10	356	0.16	231	0.08	347	0.17	223
C03	0.15	41	0.10	214	0.07	46	0.08	221	0.11	42	0.14	214
C04	0.17	43	0.21	187	0.15	30	0.08	214	0.17	38	0.15	194
C05	0.11	26	0.15	174	0.16	52	0.11	196	0.13	48	0.17	190
C06	0.10	61	0.13	215	0.13	83	0.10	220	0.09	37	0.11	234
C07	0.08	48	0.09	190	0.17	53	0.08	215	0.06	346	0.12	195
C08	0.11	28	0.09	195	0.08	52	0.09	219	0.08	16	0.09	205
C09	0.12	2	0.13	227	0.15	17	0.15	245	0.06	22	0.18	219
C10	0.09	17	0.12	195	0.10	44	0.11	234	0.09	15	0.12	220
C11	0.07	41	0.08	214	0.11	65	0.09	205	0.07	19	0.09	213
C12	0.12	23	0.16	208	0.11	5	0.09	214	0.12	14	0.18	208
平均	0.11		0.14		0.12		0.10		0.09		0.13	

表 3.1.2-6 2021 年 9 月垂线平均最大流速流向统计

单位：流速 (m/s)，流向 (°)

测站	大潮				中潮				小潮			
	涨		落		涨		落		涨		落	
	流速	流向										
C01	0.19	25	0.32	210	0.24	14	0.18	300	0.11	314	0.18	190
C02	0.26	33	0.30	219	0.18	339	0.27	222	0.12	31	0.30	219
C03	0.25	29	0.18	217	0.16	338	0.20	202	0.19	70	0.25	220
C04	0.32	27	0.33	195	0.29	347	0.15	157	0.29	20	0.35	182
C05	0.28	44	0.29	192	0.34	32	0.26	178	0.23	44	0.31	210
C06	0.22	56	0.19	211	0.23	48	0.19	218	0.19	37	0.26	248
C07	0.17	39	0.14	182	0.28	47	0.18	227	0.16	291	0.20	184
C08	0.20	41	0.17	215	0.22	60	0.17	220	0.15	312	0.17	182
C09	0.16	322	0.26	233	0.29	44	0.30	205	0.18	61	0.30	222
C10	0.19	27	0.21	207	0.21	38	0.19	225	0.22	17	0.22	225
C11	0.14	59	0.28	241	0.19	55	0.19	217	0.28	29	0.17	223
C12	0.26	38	0.29	216	0.21	0	0.18	232	0.28	17	0.28	221
最大	0.32		0.33		0.34		0.30		0.29		0.35	

### 3.1.2.3 余流

余流一般指实测海流扣除周期性潮流后所剩留部分。从 2021 年 8 月大、中、小潮计算

结果分析（图 3.1.2-11）：各站余流流速，大潮为 0.5~16.7 cm/s，以 V07 和 C08 站最大；中潮为 2.2~8.1 cm/s，以 C03 站最大；小潮为 0.6~6.6 cm/s，以 C06 站最大。各站余流流向，大中潮时除 C01~C03 站为偏北和偏西方向外，其余各站基本为偏东向；小潮时，测区西部为偏西向，测区东部为偏东向。

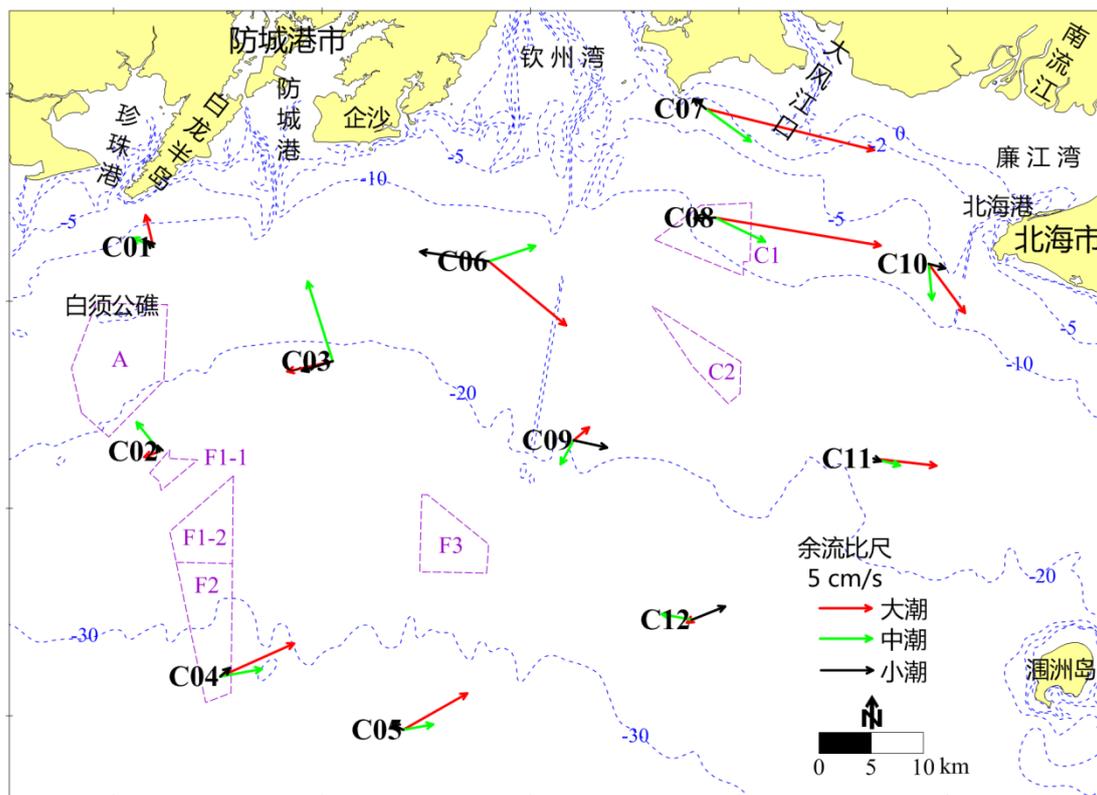


图 3.1.2-11 2021 年 8 月各站垂线平均余流矢量

#### 3.1.2.4 含沙量

本项目场址所在海域的夏季全潮水文观测中悬沙量资料统计分析如下：

(1) 各站大中小潮平均含沙量在  $0.01 \sim 0.041 \text{ kg/m}^3$  之间，平均值为  $0.022 \text{ kg/m}^3$ ，其中大、中、小潮的平均值分别为  $0.024 \text{ kg/m}^3$ 、 $0.02 \text{ kg/m}^3$  和  $0.023 \text{ kg/m}^3$ 。各站大中小潮垂线平均最大含沙量在  $0.011 \sim 0.063 \text{ kg/m}^3$  之间，大、中、小潮的最大值分别为  $0.063 \text{ kg/m}^3$ 、 $0.058 \text{ kg/m}^3$  和  $0.061 \text{ kg/m}^3$ 。

(2) 从平面分布上看，以 C6 站稍大，C5 站稍小，其他各站差异不大。

(3) 从垂向分布来看，呈现表层小、底层大的分布特点，大潮底层含沙量约为表层的 2.6 倍左右，小潮底层含沙量约为表层的 2.3 倍左右。

总的来看，本次夏季实测含沙量不高，垂线平均最大含沙量仅为  $0.06 \text{ kg/m}^3$ 。

表 3.1.2-7 2021 年 8 月全潮平均及最大含沙量统计

测站	全潮平均(kg/m <sup>3</sup> )			垂线平均最大(kg/m <sup>3</sup> )		
	大潮	中潮	小潮	大潮	中潮	小潮
C01	0.027	0.024	0.036	0.040	0.036	0.061
C02	0.025	0.014	0.017	0.038	0.022	0.028
C03	0.022	0.014	0.014	0.034	0.023	0.023
C04	0.026	0.025	0.021	0.043	0.047	0.035
C05	0.010	0.010	0.022	0.011	0.012	0.032
C06	0.041	0.037	0.032	0.056	0.058	0.047
C07	0.029	0.023	0.021	0.063	0.037	0.037
C08	0.022	0.013	0.013	0.030	0.017	0.026
C09	0.023	0.026	0.026	0.040	0.040	0.043
C10	0.027	0.014	0.011	0.041	0.026	0.016
C11	0.012	0.011	0.028	0.019	0.019	0.045
C12	0.025	0.026	0.034	0.041	0.040	0.051
平均/最大	0.024	0.020	0.023	0.063	0.058	0.061

表 3.1.2-8 2021 年 8 月全潮平均含沙量分层统计

测站	大潮(kg/m <sup>3</sup> )				中潮(kg/m <sup>3</sup> )				小潮(kg/m <sup>3</sup> )			
	表	0.6H	底	底/表	表	0.6H	底	底/表	表	0.6H	底	底/表
C01	0.017	0.029	0.020	1.2	0.024	0.024	0.014	0.6	0.027	0.036	0.035	1.3
C02	0.013	0.028	0.040	3.1	0.006	0.014	0.026	4.0	0.009	0.017	0.031	3.4
C03	0.012	0.025	0.036	3.0	0.007	0.015	0.023	3.3	0.009	0.013	0.024	2.8
C04	0.012	0.028	0.040	3.4	0.011	0.034	0.039	3.4	0.012	0.024	0.039	3.3
C05	0.008	0.010	0.017	2.2	0.009	0.009	0.017	2.0	0.012	0.020	0.051	4.3
C06	0.023	0.048	0.048	2.1	0.032	0.029	0.067	2.1	0.030	0.022	0.051	1.7
C07	0.017	0.025	0.055	3.4	0.018	0.020	0.035	1.9	0.016	0.016	0.047	3.0
C08	0.013	0.026	0.030	2.3	0.010	0.011	0.026	2.8	0.011	0.010	0.029	2.6
C09	0.008	0.026	0.033	4.2	0.010	0.033	0.036	3.5	0.011	0.031	0.029	2.8
C10	0.012	0.030	0.043	3.7	0.009	0.013	0.035	4.0	0.005	0.010	0.020	3.6
C11	0.007	0.012	0.025	3.4	0.007	0.010	0.024	3.4	0.008	0.049	0.024	3.1
C12	0.009	0.028	0.034	3.8	0.010	0.033	0.036	3.5	0.014	0.033	0.034	2.3
平均	0.012	0.026	0.035	2.8	0.013	0.020	0.031	2.5	0.014	0.023	0.034	2.5

### 3.1.2.5 波浪

#### 1、长期站波浪分析

本工程波浪周年观测工作正在开展，现阶段参考白龙海洋站 1970~1984 年波浪统计成果（图 3.1.2-12）。

本海区波浪主要由风浪、混合浪和涌浪组成，以风浪为主，出现频率 45.9%，其次为混合浪，出现频率 26.5%。波浪随季节变化、地形影响明显，平均波高为 0.52m，最大波高可达 4.1m，平时波浪在 0~3 级，约占波浪频率的 80%以上，出现 1m 以上浪高的频率小于 18%，出现 2m 以上浪高的大浪频率更少；台风季节偶尔出现 5~6 级波浪，仅占波浪频率的 0.07%，发生时间一般是 3~9 月份。

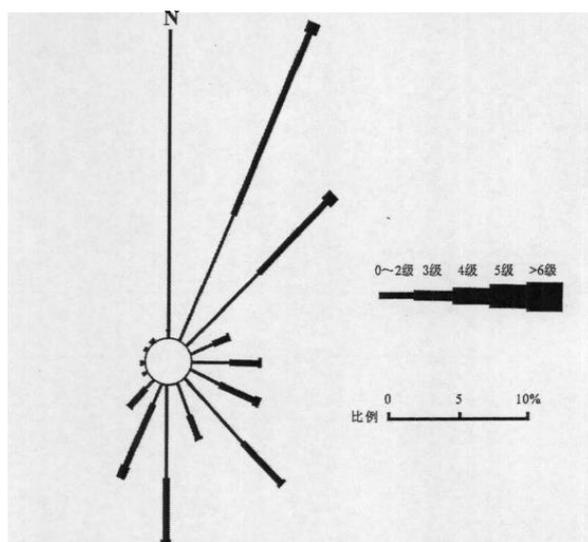


图 3.1.2-12 白龙海洋站波玫瑰

## 2、场址站波浪分析

A 场址站还没有完整的一年波浪资料，目前仅对已有的 W01 测站 2021-7-15~2021-9-27 期间波浪特征进行分析。W01 测站位置见图 3.1.2-13 所示。

W01 站点波高 ( $H_s$ )、波向联合分布分别见表 3.1.2-9，波高玫瑰图分别见图 2-3-3 和图 2-3-4。可见，2021-7-15~2021-9-27 期间以 S 向浪为主，出现频率占 55 以上，且强浪向也发生在 S 向，W01 站最大波高为 2.07m，W02 站最大波高为 2.32m，均出现在 8 月 14 日。

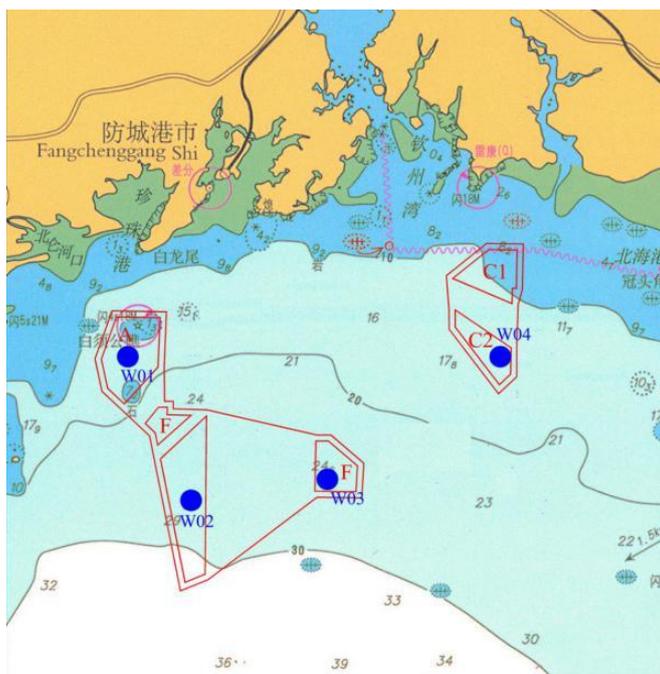


图 3.1.2-13 风电场定点测站位置图

表 3.1.2-9 W01 站点波高 (Hs)、波向联合分布表 (%)

方向\波高(m)	0.0~0.3	0.3~0.6	0.6~0.9	0.9~1.2	1.2~1.5	1.5~1.8	1.8~2.1	>=2.1	小计
N	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0.11
NE	0.06	0.28	0.85	0.06	0.06	0	0	0	1.3
E	0.57	2.83	1.64	1.59	0.51	0	0	0	7.13
SE	2.94	8.95	6.34	3.11	0.06	0	0	0	21.4
S	4.59	19.88	21.29	6.4	2.38	0.68	0.28	0	55.49
SW	1.64	3.68	1.87	1.25	0.4	0.17	0.06	0	9.06
W	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0.11
NW	0.06	0.06	0	0	0	0	0	0	0.11
C									5.27
小计	9.97	35.79	31.99	12.4	3.4	0.85	0.34	0	100

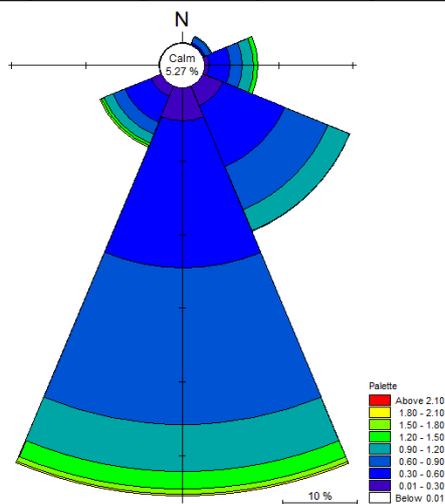


图 3.1.2-14 W01 站点波高 (Hs, m) 玫瑰图

### 3.1.2.6 水温、盐度

据防城港验潮站 1996 至今实测水温资料统计，水温变化范围为 10.1℃~33.1℃，月平均水温最高为 8 月的 29.9℃，年极端最高水温为 33.1℃。

防城港湾海域的盐度分布受径流、降水、外海水及潮流等因素的共同制约，季节变化较大。外湾和企沙半岛南部盐度垂直分布基本均匀，日变化具有潮流型特征，盐度随潮汐涨、落而升、降，最高和最低盐度出现于高、低潮时刻附近。

### 3.1.3 海域水深及冲淤状况

拟建工程风电场址位于 10m 等深线以深区域。搜集了广西北部湾沿岸 1965 年、1996 年及 2018 年的海图地形资料，编绘了工程海域 1965 年~2018 年期间的 5m、10m、20m 和 30m 等深线对比图见图 3.1.3-1~图 3.1.3-2，同时广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程 2021 年最新实测水深数据修正为理基水深后叠加在 2018 年海图上见图 3.1.3-3，由图分析可知：

(1) 1965~1996 年间，工程海域 5m、10m、20m 和 30m 各等深线总体形状、位置基本一致，海床地形保持稳定状态。

(2) 1996~2018 年间，工程海域 5m 等深线除防城港、钦州湾及北海港附近局部区域有所淤积外移外，其他区域变化不大；工程海域 10m 和 20m 等深线，除防城港、钦州湾及北海港附近由于航道开挖形成航槽外，其它区域变化也不大；工程海域 30m 等深线变化不大。这期间，工程海域除防城港、钦州湾及北海港附近局部区域由于航道开发导致海床出现局部变化外，海床地形整体保持稳定状态。

(3) 2018 年海图水深与 2021 年最新实测水深对比可知，海图水深与实测水深基本一致，显示工程海域海床地形基本保持稳定状态。

总的来看，拟建风电场区位于离岸深水区，受陆源来沙影响小，海床地形长期保持基本稳定状态。

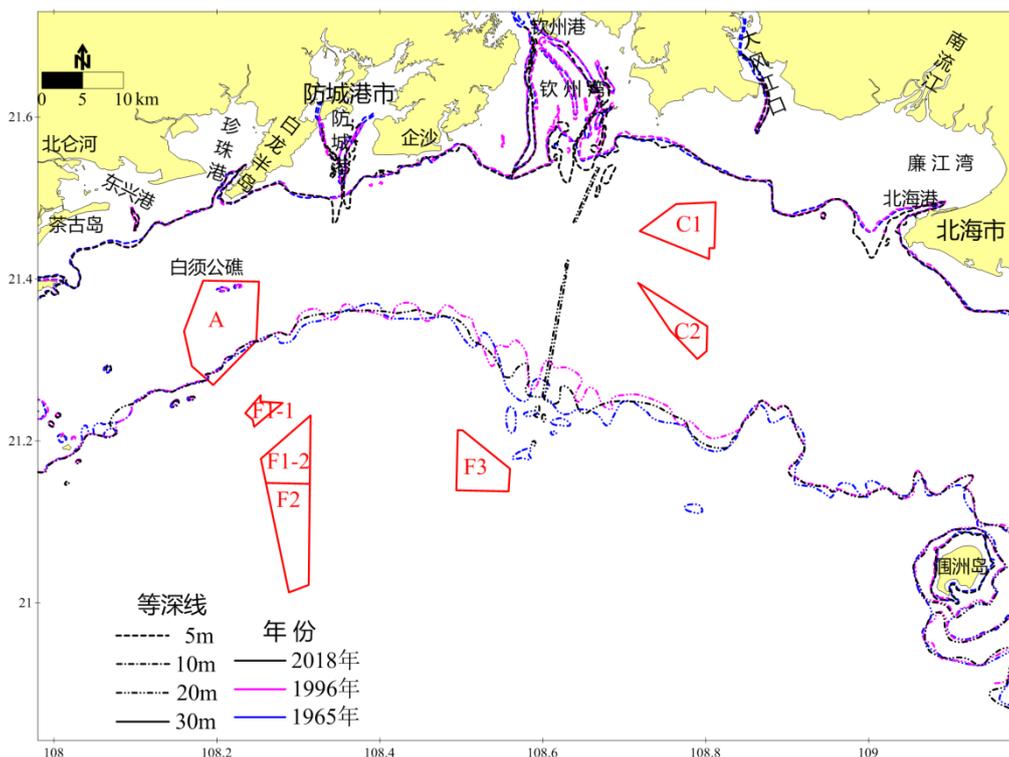


图 3.1.3-1 工程海域海图等深线对比（5m 和 20m）

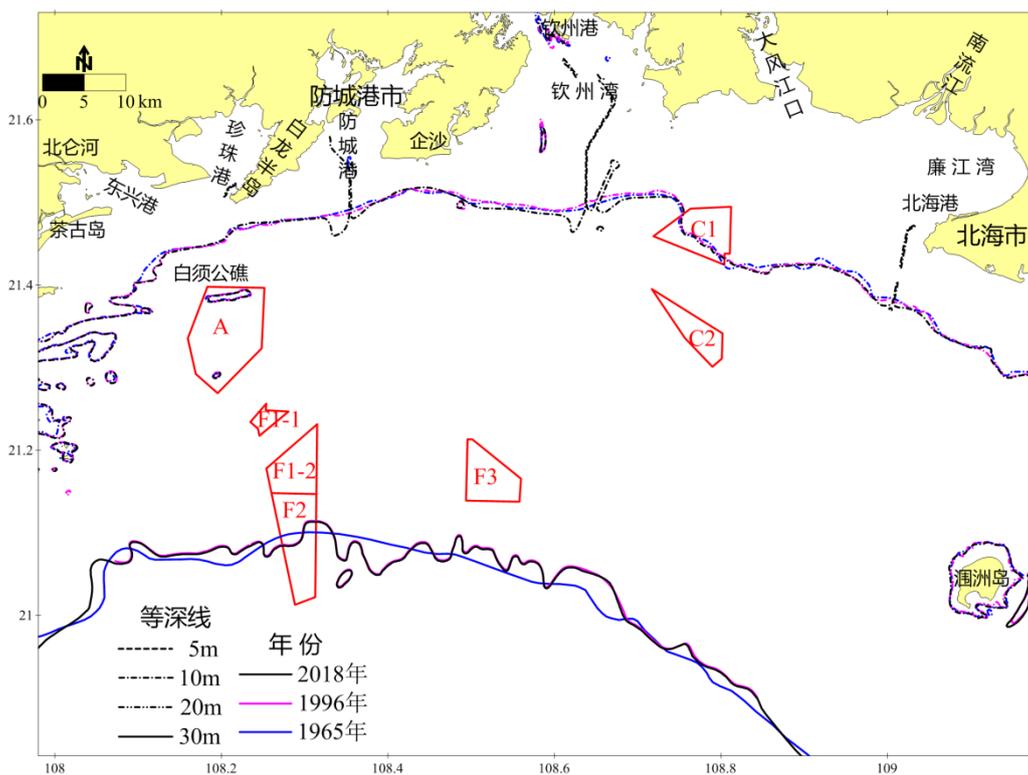


图 2-10-2 工程海域海图等深线对比（10m 和 30m）

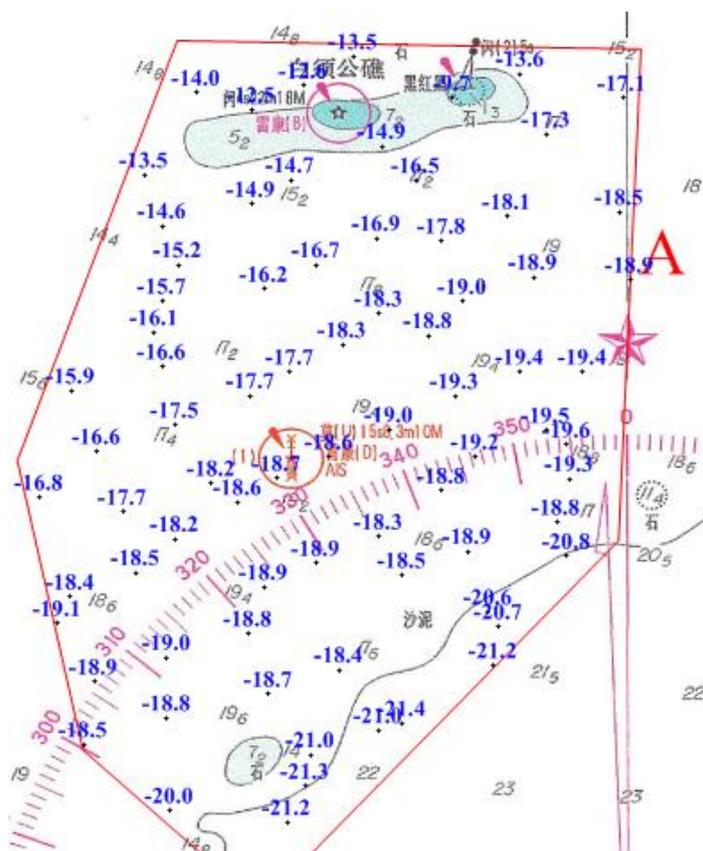


图 3.1.3-3 拟建工程海域 2018 年海图及 2021 年最新实测水深对比

### 3.1.4 区域地质构造

#### 1、区域地质特征

北部湾位于华南准地台华夏褶断带的粤西隆起西南端与右江褶断区越北隆起北缘褶断带东南端的接壤地区。自古生代至新生代，本区各时代均有沉积，但由于构造运动影响，使部分（或局部）地区部分地层缺失，而上下地层平行不整合或角度不整合接触。自加里东期以来，各次构造运动在本区内均有表现，但加里东运动在本区无明显反映，而华力西期东吴运动、中生代印支运动和燕山运动反映十分强烈，波及面较广，因而引起沉积建造、沉积相有显著差异。

根据区域地质资料，距离风电场场址较近的断裂主要有钦州湾断裂（F11）、合浦-博白断裂带（F7）（见图 3.1.4-1）。

##### 1）钦州湾断裂（F11）

该断裂是一条沿钦州深水港线约北西 320°走向的断裂，向南东经涠洲岛、斜阳岛延伸至雷州半岛西部海域一带，往北西向茅岭方向延伸。断裂带走向平直，多倾向北东，倾角陡立，约 50°~80°。断裂总体以左旋走滑运动为主，正断为辅。断裂对地貌控制明显，多沿负地形地貌发育，断裂对其上覆 Q3 地层无错动作用。综上所述该断裂最新活动时代为早更新世，晚更新世以来不活动。

该断裂与拟建场地最近距离约 48km。

## 2) 合浦-博白断裂带 (F7)

本断裂带自合浦经博白、玉林至北流延伸，南西端进入北部湾海域。总体走向呈 NE50~60°，倾向南东，倾角 10~80°。它的南西端进入北部湾海域后，在第四纪地层及前侏罗系基底内部表层断裂极为发育。合浦-博白断裂带分为三支，是由一系列向西南呈喇叭状分布的 NE 向断层组成。合浦-博白断裂带在钦州湾海域的北部断裂带、中部断裂带、南部断裂带之间为断陷型盆地。断层大多朝凹陷的主体部位阶梯状断落，并被一系列北西向张剪性断层所错断和复杂化。合浦-博白断裂带为一组地堑和地垒构造组合，控制该地堑北侧边界的断裂带由多条密集排列的阶梯状正断层组成，该地堑构造形成 NE 向的狭长形断陷盆地，断层的走向大多与局部凹陷构造展布的方向一致。断裂延入前新四系基底，并控制基底的起伏变化。

该断裂的次级断裂延伸至拟建场地处，在拟建场地北缘有揭露。

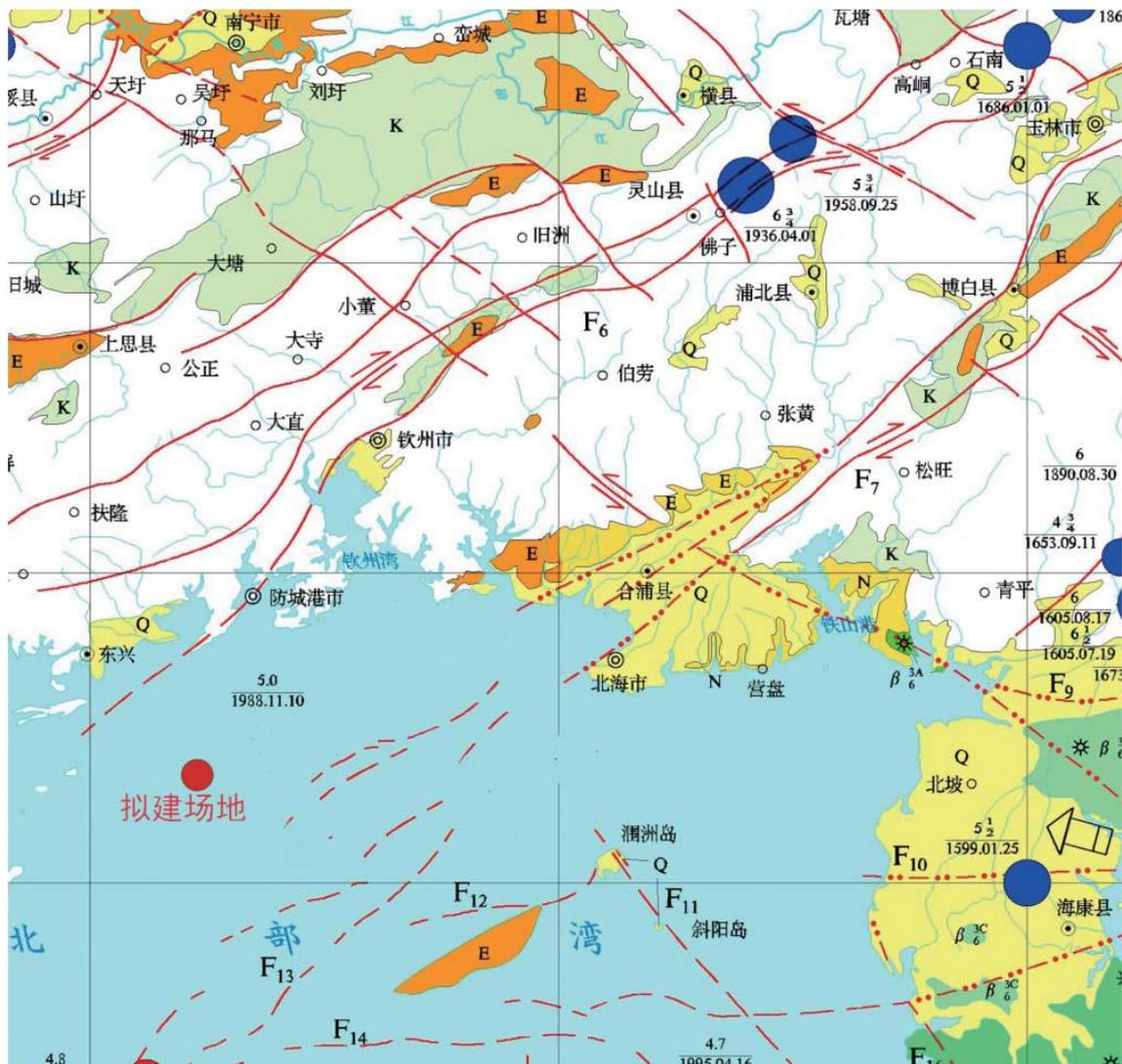


图 3.1.4-1 区域地质构造图 (根据《广西壮族自治区区域地质志》地质构造图)

## 2、地震及地震动参数

根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）附录 A，钦州市港口区和防城区在区域Ⅱ类场地条件下 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度为 0.05g。本工程场地类别为Ⅱ类，对应的地震动峰值加速度为 0.05g，对应的基本烈度均为Ⅵ度，地震动反应谱特征周期为 0.35s。最终的场地抗震设防参数以场地的地震安全性评价报告为准。

## 3、区域构造稳定性评价

拟建工程场区近区域现代构造活动一般，风电场场地北侧有断层通过，但断层非全新世活动断层；且本工程场地Ⅱ类场地地震动峰值加速度为 0.05g；场地地震设防烈度为 6 度，可不考虑活动断裂影响；近场区有记录的最大地震为 1976 年钦州市龙门  $M_L$ 3.5 级地震，根距《海上风力发电场勘测标准》（GB51395-2019），拟建工程场区区域构造稳定性好。

### 3.1.5 工程地质

2021 年 7 月 25 日-8 月 8 日在风电场区开展了工程地质钻探、取样工作。本次勘探工作完成海上钻孔进尺共计 603.32 米/11 孔，海上风电场场区取得岩样 125 件、原状土样 39 件、扰动土样 52 件、海水样 6 组，海上风电场场区施标准贯入试验 70 次，并分别在钻孔 AK02、AK08 和 AK11 中进行波速测试及电阻率测试。

根据区域地质资料及钻探揭示，对场区的工程地质条件及水文地质条件进行了综合的分析与评价，主要结论如下：

(1)场区位于水下浅滩、水下岸坡地貌单元上，水深 0-22.6m 之间，场区北西侧及南侧部分区域有礁石群分布，地势偏高，中部区域地势相对平坦，地形上具有明显 NE-SW 带状特征。场区大部分区域内自上而下地层为第四系全新统海相（①层）、全风化~微风化泥岩（⑤层）、全风化~微风化砂岩（⑥层），局部地层自上而下为第四系全新统海相、海陆过渡相和海陆交互的砂土及黏性土层（①、②、③层）。

(2)依据含水介质类型及埋藏条件，场区地下水主要为孔隙水及基岩裂隙水，赋存于第四系砂土层及基岩裂隙中。

(3)场区海水对混凝土结构在Ⅱ类环境条件下具强腐蚀性，腐蚀介质为  $SO_4^{2-}$ ；对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性，在长期浸水条件下，具弱腐蚀性；在干湿交替条件下，具强腐蚀性。腐蚀介质均为  $Cl^-$ ；对钢结构具中等腐蚀性，腐蚀介质为 pH 值和  $(Cl^-+SO_4^{2-})$  的含量。设计时宜参照水质分析报告并结合具体水工构筑物的防腐要求，采取相应的防腐设计措施。

(4) 根据本次勘察结果，结合已有地质资料分析，场区内未发现海底滑坡、海底坍塌等其它不良地质现象，场区内未发现全新活动断裂等不良地质现象。需要注意的是场区北

缘有不活动的非全新世断层经过，断层为不活动状态。场区主要不良地质现象为基岩裸露、浅埋以及埋藏古河道。

(5) 场区抗震设防烈度为 6 度，本次提高 1 度，按 7 度进行砂土液化判别，判别结果为①<sub>3.3</sub>层在 7 度条件下为可液化土层，液化等级为轻微。

(6) 场区的场地土可划分为 5 种类型，即：岩石、坚硬土或软质岩石、中硬土、中软土和软弱土。建筑的场地类别根据不同区域分为 I<sub>1</sub>、II、III 类。拟建工程场地属对建筑抗震不利地段。

(9) 对于覆盖层厚度较大的地段桩型可采用钢管桩，以晚更新统海陆交互相沉积层(③ 大层)、残积层(④ 大层)或全风化基岩(⑥<sub>1</sub>)作为桩端持力层；当覆盖层较薄或基岩埋藏较浅地段，桩型可采用钢套管护壁冲(钻)孔灌注桩，以强~微风化基岩(⑤<sub>2</sub>~⑤<sub>4</sub>、⑥<sub>2</sub>~⑥<sub>4</sub>)作为桩端持力层。

### 3.1.6 主要自然灾害

根据工程项目所处位置的气候特征、地质状况等资料分析，对本工程项目可能造成影响的自然因素主要有热带气旋（台风）、风暴潮、灾害性海浪、暴雨、地震等。

#### (1) 热带气旋（台风）

热带气旋是夏半年袭击北部湾海洋，对广西沿海地区危害最大的一种海洋灾害。每年 5—11 月属热带气旋影响季节，影响广西沿海地区，以 7~9 月出现频率最高，其中尤以 8 月为最多，约占年台风总数的 26.3%。2000~2014 年，影响或登陆防城港市的台风主要有 2001 年 7 月的第 3 号台风“榴莲”和第 7 号台风“玉兔”、2003 年 8 月的 12 号台风“科罗旺”、2006 年 7 月的 6 号台风“派比安”、2007 年 15 号台风“利奇马”、2008 年 9 号台风“北冕”、第 14 号强台风“黑格比”、2011 年的第 17 号台风“纳沙”、2012 年 13 号台风“启德”、2013 年 8 月的 1309 号台风“飞燕”、1330 号台风“海燕”、1319 号台风“天兔”、2013 年 11 号强台风“尤特”、2014 年于 7 月的 1409 号台风“威马逊”（强台风级）、9 月的 1415 号台风“海鸥”、2015 年第 8 号台风“鲸鱼”、22 号台风“彩虹”等。其中，2003 年第 12 号台风“科罗旺”，最大风速 40.0m/s，日降雨量达 300mm；2008 年第 14 号台风“黑格比”，进入广西境内时最大的风速达 33.0m/s，使得广西区境内 35 个县(区)不同程度受灾，造成直接经济损失 14.12 亿元；2011 年第 17 号台风“纳沙”造广西境内 257.9 千 hm<sup>2</sup> 的农作物受灾，其中成灾 124.33 千 hm<sup>2</sup>，绝收 6.56 千 hm<sup>2</sup>；倒塌居民住房 1388 户 2353 间，损坏房屋 7637 间，直接经济损失 14.35 亿元人民币。2014 年强台风“威马逊”影响广西沿海，最大风力 48m/s，是近几十年最强的台风。台风同时带来强降

雨，对广西沿海造成较大损失。可见，热带气旋（台风）对本工程项目而言属最主要的外部风险之一。

最近两年台风影响情况统计：

2013 年有 3 次台风影响防城港市 1309 号台风“飞燕”于 2 月 2 日登陆海南文昌，受“飞燕”环流影响，2 日 20 时到 4 日 08 时，防城港市大部地区出现了大雨到暴雨，局部大暴雨，雨量超过 100 毫米的站点有 25 个，最大降雨出现在上思县叫安乡松柏村为 249 毫米，近海海域平均风 9-10 级，最大阵风出现在白须公礁为 13 级（37.9m/s）。

据统计，强热带风暴“飞燕”造成防城港市 4 个县（市、区）的 24 个乡镇不同程度的受灾，受灾人口 3.359 万人，转移人口 0.581 万人，倒塌房屋 55 间，没有人员伤亡，总的直接经济损失 1.1981 亿元，其中：农作物受灾面积 26.363 万亩，农业林牧渔业方面损失 0.8692 亿元，工业交通方面损失 0.0895 亿元，水利设施直接经济损失 0.1590 亿元。

1319 号台风“天兔”于 22 日在广东省汕尾市沿海登陆，23 日 8 时“天兔”在广东省肇庆市境内减弱为热带低压。“天兔”低压环流中心于 23 日 12 时前后从贺州附近进入广西，之后经恭城、永福、罗城、东兰、田东、扶绥、钦州、东兴一线穿过广西，于 25 日下午移出广西减弱消失。“天兔”减弱后的环流进入广西后叠加冷空气，给我市带来了一次暴雨，局部特大暴雨过程。全市 3 个县（市、区）共 12 个乡镇受灾，受灾人口 4790 人，倒塌房屋 6 间，转移人口 1050 人，无人员伤亡，直接经济总损失 9660 万元。其中，农作物受灾面积 6970 亩（粮食作物 6180 亩），农林牧渔业直接经济损失 5737 万元；工业交通运输业直接经济损失 870 万元，水利设施直接经济损失 2498 万元。

1330 号台风“海燕”于 8 月 8 日夜间以强台风级别进入南海东南部海域，9 日晚在北部湾南部减弱为台风，11 日早晨 5 时在越南北部广宁省沿海实现二次登陆，11 日 9 时进入广西崇左境内，并穿过宁明、上思，扶绥、邕宁，于 11 日 20 时在邕宁县境内减弱为热带低压。受“海燕”环流影响，11 月 10 日 08 时到 12 日 08 时，我市大部地区出现了暴雨到大暴雨，局部特大暴雨，雨量 100-250 毫米的有 30 个站，雨量超过 250 毫米的站点有 22 个（其中有 4 个站超过 400 毫米），最大降雨出现在防城区板八乡为 457 毫米，近海海域平均风 9-10 级，最大阵风出现在白须公礁为 12 级（37.9m/s）。

据统计，截至 12 日 12 时，超强台风“海燕”共造成全市四个县（市、区）24 个乡镇受灾，受灾人口 7.497 万人，倒塌房屋 54 间，转移安置人口 1.517 万人，无人员因灾死亡，总的直接经济损失 2.54 亿元。其中农作物受灾面积 28.4 万亩，农林牧渔业直接经济损失 1.93 亿元；公路中断 16 条，供电中断 14 条次，工业交通方面损失 0.17 亿元；损坏

堤防 13 条，损坏水闸 30 座，损坏灌溉设施 85 处，水利设施直接经济损失 0.29 亿元。

2014 年有 2 次台风影响防城港市：

(1) 1409 号台风“威马逊”（强台风级）于 7 月 19 日清晨 7 时 10 分在防城港市光坡镇沿海第三次登陆！登陆时中心附近最大风力有 15 级(48 米/秒)，中心最低气压为 950 百帕，是自 1949 年以来登陆广西的最强台风！受“威马逊”影响，7 月 18 日 08 时到 21 日 08 时，防城港市大部出现大暴雨，局部特大暴雨，雨量超过 300 毫米有 16 个自动站(其中有 3 个站超 400 毫米)，雨量在 100 到 300 毫米有 36 个自动站，过程最大雨量出现在防城区扶隆镇那其村，雨量为 486.8 毫米，全市大部出现 12 到 13 级大风，其中茅墩岛最大阵风达 17 级（56.5 米/秒）。

据统计，截止 7 月 20 日 15 时，全市四个县（市、区）24 个乡镇受灾，受灾人口 63.487 万人，倒塌房屋 904 间，临时工棚 1500 多间，转移安置人口 3.561 万人，因灾死亡 2 人，伤 3 人，直接经济损失 23.6318 亿元。其中农作物受灾面 66.195 万亩，其中粮食作物 16.89 万亩，蚝排鱼排损失 10000 亩，甘蔗全倒 3.245 万亩，半倒伏 19.885 万亩，农林牧渔业直接经济损失 13.4497 亿元；公路中断 161 条，供电中断 89 条次，工业交通方面损失 6.8691 亿元；损坏堤防 97 条，损坏水闸 169 座，损坏灌溉设施 430 处，水利设施直接经济损失 1.297 亿元。

1415 号台风“海鸥”于 12 日下午生成，13 日早晨加强为强热带风暴级，13 日 17 时加强为台风级，14 日 19 时前后在菲律宾吕宋岛东北部登陆，15 日早晨已进入南海，9 月 16 日下午进入北部湾，16 日晚上 11 时在越南北部广宁省沿海登陆，“海鸥”登陆后强度快速减弱，17 日下午进入云南省境内。

受“海鸥”影响，9 月 16 日 08 时到 18 日 08 时，防城港市大部出现大暴雨，局部特大暴雨，过程雨量超过 250 毫米有 21 个自动站(其中有 5 个站超 400 毫米)，雨量在 100 到 250 毫米有 29 个自动站，过程最大雨量出现在上思县十万山公园，雨量为 471 毫米，防城港市沿海大部出现阵风 12 到 13 级大风，其中白牛头岭最大阵风达 14 级（46 米/秒）。

截至 9 月 18 日 8 时，全市四个县（市、区）24 个乡镇受灾，受灾人口 40.504 万人，倒塌房屋 380 间，转移安置人口 2.897 万人，直接经济损失 6.7064 亿元。其中农作物受灾面积 38.604 万亩，粮食作物 3.725 万亩，水产养殖损失面积 0.961 万亩，农林牧渔业直接经济损失 3.7378 亿元；停产工矿企业 23 个，公路中断 10 条，供电中断 64 条次，通讯中断 31 条次，工业交通方面损失 0.998 亿元；损坏堤防 41 处 13.95 公里，损坏护

岸 3 处，损坏水闸 46 座，损坏灌溉设施 233 处，水利设施直接经济损失 0.8546 亿元。其中水利设施损坏的主要有：防城、港口、东兴沿海海堤及涵闸，灌溉设施主要有长歧水利灌区、那板水库北干渠灌区、黄淡水库灌区、小陶水库灌区等灌溉设施。

可见，热带气旋（台风）对本工程项目而言属最主要的外部风险之一。

## （2）风暴潮

风暴潮是由强烈的大气扰动而引起的水位异常升降现象，较大风暴潮一般都是由台风引起。防城港市沿海是受台风风暴潮影响较为频繁的地区之一，台风风暴潮灾害常有发生。据近十年（2005-2014 年）资料统计可知：造成防城港市沿海台风风暴增水大于 50 厘米以上的增水过程共 18 次，其中风暴增水大于 100 厘米以上的增水过程有 5 次（1002 号、1309 号、1330 号、1409 号和 1415 号），由于增水加上风大浪高，虽然最高潮位没有超过警戒潮位，但也造成不同程度的灾害，例如 1409 号超强台风“威马逊”风暴潮，受其影响，防城港市沿海水产养殖受灾面积 5330 公顷数量 778610 吨，损坏堤防 91 处 17.78 千米，损坏护岸 27 处，损坏水闸 192 座，损坏灌溉设施 460 处，水利设施直接经济损失 11032 万元。如果风暴增水恰遇天文高潮期，就造成风暴潮漫滩灾害，例如 1305 号热带风暴“贝碧嘉”风暴潮，导致防城港沿岸出现超过当地警戒水位 24 厘米的高潮位，受这场台风风暴潮的袭击，防城港市水产养殖受灾面积 46.7 公顷，受损虾 90 吨，水利直接经济损失 367 万元。

## （3）海浪

在海上引起灾害的海浪叫灾害性海浪。我们这里指的灾害性海浪是指海上波高达 6m 以上的海浪。因为 6m 以上波高的海浪对航行在世界各大洋的绝大多数船只已构成威胁，它常能掀翻船只，摧毁海洋工程和海岸工程，给航海、海上施工、海上军事活动、渔业捕捞带来灾难，正确及时地预报这种海浪对保证海上安全生产尤为重要。它是由台风、温带气旋，寒潮的强风作用下形成的。

根据白龙尾多年波浪资料统计，工程区域波浪平均波高 0.56m，平均周期 3.2s。常浪向为 NNE，频率 20.41%，其次为 SE 向，频率分别为 15.87%。强浪向为 SSE，最大波高  $H=7.0m$ ；次强浪向为 SE 向，最大波高  $H=6.0m$ （均为台风时产生的大浪）。

根据近 2 年的海浪统计资料，广西沿海均无浪高大于 6m 的记录。

## （4）暴雨洪涝灾害

根据防城港市气象台观测资料统计，常年平均降水量为 2102.2mm，大部分集中在 6~8 月，占全年平均降水约 54.0%，1~8 月雨量逐月增加，其中 8 月是高峰期，月雨量达

416.0mm, 9~12 月逐月递减, 其中 12 月份雨量最少, 雨量仅 24.1mm。防城站 24 小时最大降水量为 365.3mm。

#### (5) 地震

根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)附录 A, 钦州市港口区和防城区在区域 II 类场地条件下 50 年超越概率 10% 的地震动峰值加速度为 0.05g。

本工程场地类别为 II 类, 对应的地震动峰值加速度为 0.05g, 对应的基本烈度均为 VI 度, 地震动反应谱特征周期为 0.35s。场地地震设防烈度为 6 度, 可不考虑活动断裂影响。

### 3.1.7 海域环境质量现状

#### (1) 调查时间与站位布设

春季调查数据根据《广西海上风电场示范项目春季海洋环境与渔业资源调查报告—西区》(浙江华东建设工程有限公司, 2021 年 10 月)汇总。建设单位委托浙江华东建设工程有限公司于 2021 年 4 月 27 至-29 日在广西北海、钦州、防城港外海海域进行的现场监测, 调查共布设 25 个水质监测站位、13 个沉积物站位、15 个生物质量和海洋生态调查站位、5 条潮间带断面。

秋季调查站位布设同春季。

调查站位坐标、调查项目见表 3.1.7-1 和图 3.1.7-1。

#### (2) 监测方法

水质、沉积物和海洋生物的调查方法为现场监测法。调查中水质、沉积物和生物样品的采集保存、运输和分析均按照《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB12763-2007)执行。

①水质采样: 根据现场水深决定采样层次, 当水深 <10m 时, 只采取表层样; 当水深 ≥10m, <25m 时, 采表层和底层水样; 当水深 ≥25m, 采表层、中层、底层水样。其中石油类项目只调查表层。

②沉积物采样: 以抓斗式采泥器采集表层沉积物样品。表层沉积物的分析样品一般取上部 0 cm~2 cm 的沉积物。

③海洋生物采样: 样品采集依据《海洋调查规范》(GB12763-2007)。

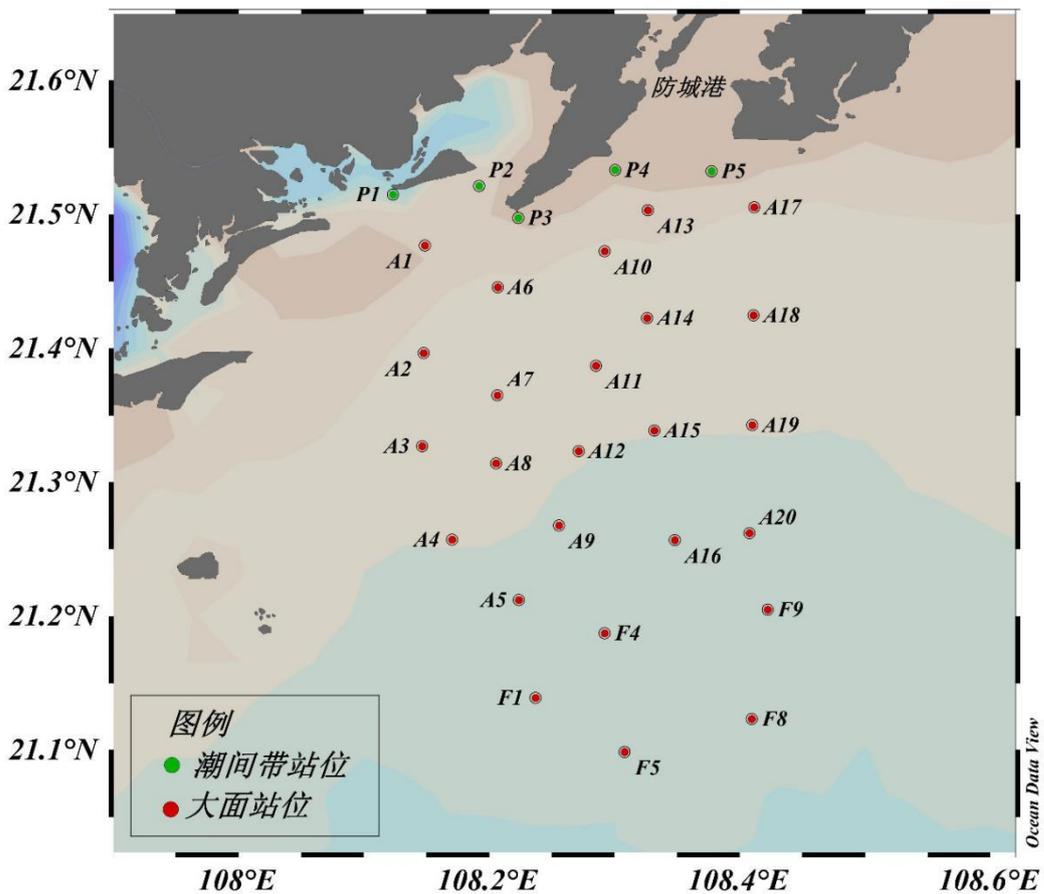


图 3.1.7-1 春季海洋环境现状调查站位分布图

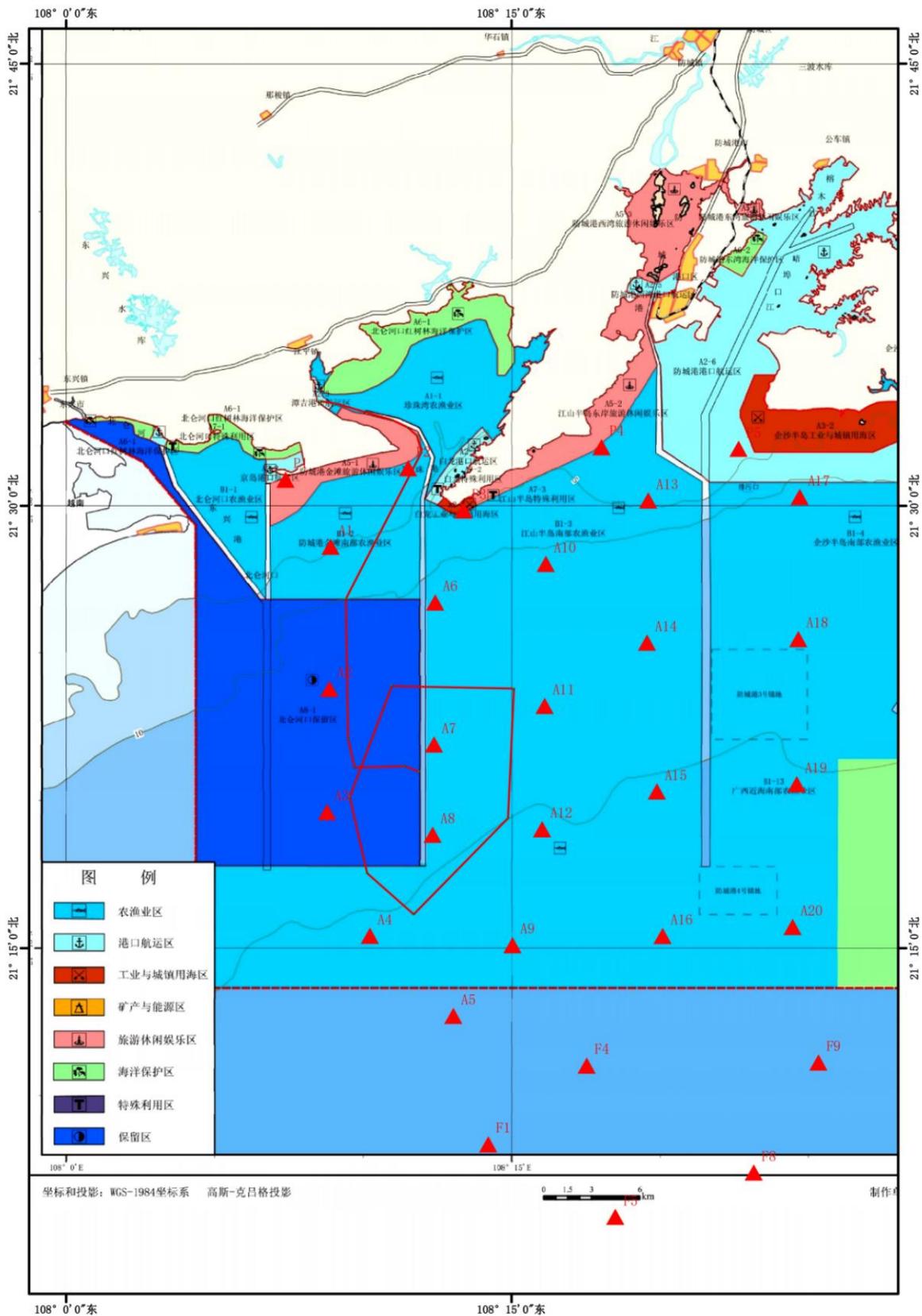


图 3.1.7-2 现状调查站位与区域海洋功能区划叠置图

表 3.1.7-1 调查站位与调查项目一览表

站位	北纬	东经	调查内容	所在功能区	水质执行等级	沉积物执行等级	生物体质量执行等级
A1	21°28.6177'	108°08.9062'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A2	21°23.7994'	108°08.8685'	水质	北仑河口保留区	-	-	-
A3	21°19.6216'	108°08.7879'	水质、沉积物、生态渔业	北仑河口保留区	-	-	-
A4	21°15.4212'	108°10.2312'	水质	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A5	21°12.7102'	108°13.0421'	水质、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A6	21°26.7298'	108°12.4308'	水质	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A7	21°21.9114'	108°12.3911'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A8	21°18.8485'	108°12.3411'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A9	21°15.1067'	108°15.0338'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A10	21°28.0357'	108°16.1533'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A11	21°23.2174'	108°16.1116'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A12	21°19.0397'	108°16.0276'	水质	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A13	21°30.1843'	108°19.6037'	水质	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A14	21°25.3661'	108°19.5601'	水质、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A15	21°20.3165'	108°19.8902'	水质、沉积	浓渔区	不劣于二	一类	一类

			物、生态渔业		类		
A16	21°15.4197'	108°20.0888'	水质	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A17	21°30.3049'	108°24.7001'	水质	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A18	21°25.4867'	108°24.6537'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A19	21°20.5642'	108°24.6032'	水质	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
A20	21°15.7208'	108°24.4608'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
F1	21°08.3511'	108°14.2144'	水质	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
F4	21°11.0215'	108°17.5304'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
F5	21°05.8918'	108°18.4914'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
F8	21°07.3945'	108°23.1565'	水质、沉积物、生态渔业	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
F9	21°11.1271'	108°25.3311'	水质	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
P1	21°30.893'	108°07.389'	潮间带	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
P2	21°31.286'	108°11.519'	潮间带	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
P3	21°29.849'	108°13.394'	潮间带	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
P4	21°31.995'	108°18.029'	潮间带	浓渔区	不劣于二类	一类	一类
P5	21°31.938'	108°22.643'	潮间带	浓渔区	不劣于二类	一类	一类

### 3.1.7.1 海水环境质量现状调查与评价

### (1) 调查因子

选取水温、pH 值、盐度、悬浮物、化学耗氧量 (COD<sub>Mn</sub>)、溶解氧、铵盐、亚硝酸盐、硝酸盐、活性磷酸盐、铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷、石油类、挥发酚进行监测分析，和分析方法见表 3.1.7-2。

**表 3.1.7-2 海水水质监测项目和分析方法**

分析项目	分析方法	检出限	规范性引用文件
水温	表层水温表法	0.01°C	GB/T 12763.2-2007
盐度	实验室盐度计法	0.01	GB/T 12763.2-2007
pH 值	pH 计法	0.01pH	GB/T 12763.2-2007
悬浮物	重量法	0.1 mg/L	GB 17378.4—2007
DO	电化学探头法	0.01 mg/L	HJ 506-2009
COD <sub>Mn</sub>	碱性高锰酸钾法	0.15 mg/L	GB 17378.4—2007
石油类	紫外分光光度法	3.5 µg/L	GB 17378.4—2007
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	铈镉还原法	0.05 µmol/L	GB 17378.4—2007
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	萘乙二胺分光光度法	0.02 µmol/L	GB 17378.4—2007
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	次溴酸盐氧化法	0.03 µmol/L	GB 17378.4—2007
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	磷钼蓝分光光度法	0.02 µmol/L	GB 17378.4—2007
砷	原子荧光法	0.5 µg/L	GB 17378.4—2007
汞	原子荧光法	0.007 µg/L	GB 17378.4—2007
铜	无火焰原子吸收分光光度法	0.2 µg/L	GB 17378.4—2007
铅	无火焰原子吸收分光光度法	0.03 µg/L	GB 17378.4—2007
镉	无火焰原子吸收分光光度法	0.01 µg/L	GB 17378.4—2007
锌	火焰原子吸收分光光度法	3.1 µg/L	GB 17378.4—2007
总铬	无火焰原子吸收分光光度法	0.4 µg/L	GB 17378.4—2007
挥发酚	4-氨基安替比林分光光度法	0.001 mg/L	GB 17378.4—2007

### (2) 评价标准

调查站位水质项目按《海水水质标准》(GB3097-1997) 中标准评价。详见表 3.1.7-3。

**表 3.1.7-3 海水水质标准 (GB3097-1997) 节录**

项目	第一类	第二类	第三类	第四类
pH	7.8~8.5	7.8~8.5	6.8~8.8	6.8~8.8
溶解氧 (mg/L) >	6	5	4	3
化学需氧量 (mg/L) ≤	2	3	4	5
无机氮 (mg/L) ≤ (以 N 计)	20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐 (mg/L) ≤	0.015	0.030	0.030	0.045
铅 (mg/L) ≤	0.001	0.005	0.010	0.050
铜 (mg/L) ≤	0.005	0.010	0.050	0.050

汞 (mg/L) ≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
砷 (mg/L) ≤	0.020	0.030	0.050	0.050
锌 (mg/L) ≤	0.020	0.050	0.100	0.500
镉 (mg/L) ≤	0.001	0.005	0.010	0.010
总铬 (mg/L) ≤	0.050	0.100	0.200	0.500
石油类 (mg/L) ≤	0.050	0.050	0.300	0.500
挥发性酚 (mg/L) ≤	0.005	0.005	0.010	0.050

### (3) 评价方法

本报告采用单因子标准指数评价法对水质、沉积物和生物质量各项指标进行评价。

①单项水质评价因子  $i$  在第  $j$  取样点的标准指数:

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

式中  $S_{i,j}$  为评价因子  $i$  在第  $j$  取样点的标准指数;  $C_{i,j}$  为评价因子  $i$  在  $j$  取样点水样评价因子所有实测浓度的均值;  $C_{si}$  为评价因子  $i$  的评价标准值。

②DO 的标准指数为:

$$S_{DO,j} = |DO_f - DO_j| / |DO_f - DO_s|, \text{ 当 } DO_j \geq DO_s \text{ 时};$$

$$S_{DO,j} = |10 - 9DO_j| / DO_s, \text{ 当 } DO_j < DO_s \text{ 时};$$

$S_{DO,j}$  为溶解氧在第  $j$  取样点的标准指数;  $DO_f$  为饱和溶解氧浓度;  $DO_j$  为  $j$  取样点水样溶解氧所有实测浓度的均值;  $DO_s$  为溶解氧的评价标准。

③pH 的标准指数为:

$$S_{pH,j} = |pH_j - (pH_{sd} + pH_{su}) / 2| / ((pH_{su} - pH_{sd}) / 2);$$

式中  $S_{pH,j}$  为 pH 在第  $j$  取样点的标准指数;  $pH_j$  为  $j$  取样点水样 pH 实测值的均值;  $pH_{sd}$  为评价标准规定的下限值;  $pH_{su}$  为评价标准规定的上限值。

### (4) 水质监测结果

#### 1) 春季海水水质调查结果

春季水质环境现状调查结果详见附表 1。

##### ① 盐度

盐度的变化范围 29.1~34.2, 区域内均值 32.1, 最小值位于 A13 站位表层, 最大值位于 F8 站位底层, 水平方向上总体北部沿岸较低, 东南部外海较高; 垂直方向上总体表层低于中层低于底层。

##### ② 悬浮物

悬浮物浓度 2.7 mg/L~9.5 mg/L, 区域内均值 4.7 mg/L, 最小值位于 F8 站位底层, 最大

值位于 A1 站位表层，水平方向上总体北部沿岸较高，南部外海较低；垂直方向上总体表层高于中层高于底层。

### ③ pH 值

各站位 pH 值浓度变化范围为 8.07~8.2，区域内均值 8.13，最小值位于 A6 站位底层，最大值位于 A15 站位底层，水平方向上总体北部沿岸和南部外海较底，中东部外海较高；垂直方向上总体表层低于中层低于底层。

### ④ 化学需氧量

评价海域在各个站位的化学需氧量（ $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ）浓度变化范围为 0.09 mg/L ~1.04 mg/L，区域内均值 0.64 mg/L，最小值位于 F8 站位中层，最大值位于 A17 站位表层，水平方向上总体东北部沿岸较高，南部外海较低；垂直方向上总体表层高于中层高于底层。

### ⑤ 溶解氧

调查数据表明，评价海域在各个站位的 DO 含量 7.24 mg/L ~9.25 mg/L，区域内均值 7.73 mg/L，最小值位于 A6 站位底层，最大值位于 A13 站位表层，水平方向上总体东北部沿岸较高，南部外海较低；垂直方向上总体表层高于中层高于底层。

### ⑥ 无机氮

无机氮浓度变化范围为 0.0266 mg/L ~0.1997 mg/L，区域内均值 0.1195 mg/L，最小值位于 A5 站位中层，最大值位于 A6 站位表层，水平方向上总体北部沿岸较高，南部外海较低；垂直方向上总体表层低于中层低于底层。

### ⑦ 活性磷酸盐

评价海域活性磷酸盐浓度变化范围为 0.0022 mg/L ~0.0161 mg/L，区域内均值 0.0111 mg/L，最小值位于 A5 站位中层，最大值位于 A10 站位底层，水平方向上总体北部沿岸较高，南部外海较低；垂直方向上总体表层低于中层低于底层。

### ⑧ 石油类

评价海域表层石油类浓度变化范围为未检出（ $<0.0092$ ） mg/L~0.0206 mg/L，区域内均值 0.0055 mg/L，最大值位于 A13 站位表层，水平方向上总体北部沿岸较高，南部外海较低。

### ⑨ 重金属（铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷）

重金属水平方向上总体北部沿岸较高，南部外海较低；垂直方向上总体表层低于中层低于底层。所有站位均符合第一类海水水质标准。

重金属铜的浓度范围为未检出（ $<0.7$   $\mu\text{g/L}$ ）~1.49  $\mu\text{g/L}$ ，区域内均值 0.263 mg/L。

重金属铅的浓度范围为未检出 ( $<0.1 \mu\text{g/L}$ )  $\sim 0.88 \mu\text{g/L}$ , 区域内均值  $0.22 \text{ mg/L}$ 。

重金属镉的浓度范围为未检出 ( $<0.014 \mu\text{g/L}$ )  $\sim 0.104 \mu\text{g/L}$ , 区域内均值  $0.024 \text{ mg/L}$ 。

重金属锌的浓度范围为未检出 ( $<4 \mu\text{g/L}$ )  $\sim 18.89 \mu\text{g/L}$ , 区域内均值  $5.29 \text{ mg/L}$ 。

重金属铬的浓度范围为未检出 ( $<0.45 \mu\text{g/L}$ )  $\sim 1.35 \mu\text{g/L}$ , 区域内均值  $0.2308 \text{ mg/L}$ 。

重金属砷的浓度范围为未检出 ( $<0.33 \mu\text{g/L}$ )  $\sim 1.556 \mu\text{g/L}$ , 区域内均值  $0.422 \text{ mg/L}$ 。

重金属汞的浓度范围为未检出 ( $<0.0043 \mu\text{g/L}$ )  $\sim 0.0234 \mu\text{g/L}$ , 区域内均值  $0.0063 \text{ mg/L}$ 。

#### ⑩ 挥发性酚

评价海域挥发性酚含量较低, 均满足第一类海水水质标准。各样品均低于方法检出限 ( $4.8 \mu\text{g/L}$ )。

### (5) 水质评价结果

春季水质现状评价指数表见附表 2。由上述分析可知, 监测海域 pH 值、石油类、溶解氧、无机氮、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、挥发性酚、重金属 (铜、铅、镉、铬、汞、砷) 均满足一类海水水质标准; 活性磷酸盐除 A10 站位底层样品满足二类海水水质标准外, 所有样品均满足一类海水水质标准。主要污染物为活性磷酸盐。即 A10 站位满足二类海水水质标准, 其余站位均满足一类海水水质标准。

根据广西壮族自治区人民政府 2012 年关于《广西壮族自治区海洋功能区划 (2011—2020 年)》的要求, 所有样品均满足功能区划要求。

### 3.1.7.2 沉积物环境质量现状调查与评价

#### (1) 调查因子

选取有机碳、硫化物、铜 (Cu)、铅 (Pb)、锌 (Zn)、镉 (Cd)、铬 (Cr)、总汞 (Hg)、砷 (As)、石油类进行监测分析, 监测方法和分析方法见表 3.1.7-4。

表 3.1.7-4 沉积物监测项目和分析方法

分析项目	分析方法	检出限	规范性引用文件
铜	无火焰原子吸收分光光度法	$0.5 \times 10^{-6}$	GB 17378.5-2007
铅	无火焰原子吸收分光光度法	$1 \times 10^{-6}$	GB 17378.5-2007
铬	无火焰原子吸收分光光度法	$2 \times 10^{-6}$	GB 17378.5-2007
镉	火焰原子吸收分光光度法	$0.05 \times 10^{-6}$	GB 17378.5-2007
锌	火焰原子吸收分光光度法	$6 \times 10^{-6}$	GB 17378.5-2007
砷	原子荧光法	$0.06 \times 10^{-6}$	GB 17378.5-2007
汞	原子荧光法	$5 \times 10^{-9}$	GB 17378.5-2007

石油类	紫外分光光度法	$1 \times 10^{-6}$	GB 17378.5-2007
有机碳	重铬酸钾氧化还原容量法	-	GB 17378.5-2007
硫化物	亚甲基蓝分光光度法	$0.3 \times 10^{-6}$	GB 17378.5-2007

### (2) 评价标准

沉积物评价标准采用《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)中的一类标准。评价方法采用标准指数法。

### (3) 调查结果

2021年春季海洋环境沉积物现状调查要素结果统计表见表 3.1.7-5。

表 3.1.7-5 2021年春季海洋沉积物调查结果

站位	有机碳	硫化物	石油类	铜	铅	镉	锌	汞	砷	总铬
	%	$\mu\text{g/g}$								
A1	0.54	32.7	19.3	7.4	5.1	0.13	21.7	0.0241	3.59	10.8
A3	0.36	18.4	9.9	4.8	2.3	0.08	15.1	0.0660	2.53	7.9
A7	0.32	15.3	8.1	4.1	2.8	0.07	13.0	0.0143	2.19	7.0
A8	0.08	<0.3	<3	<0.5	<1	<0.04	<3	<0.005	<1.5	<1
A9	0.35	20.6	11.2	5.3	3.7	0.09	14.6	0.0182	2.45	7.7
A10	0.52	28.7	16.5	7.3	4.6	0.12	22.5	0.0247	3.62	11.3
A11	0.41	12.3	6.3	3.4	3.3	0.06	11.2	0.0120	1.90	6.1
A15	0.38	8.2	3.9	2.5	2.7	0.05	8.3	0.0091	<1.5	4.8
A18	0.37	10.9	5.4	3.1	2.5	0.06	10.1	0.0112	1.72	5.6
A20	0.33	5.3	<3	2.1	1.6	0.04	7.2	0.0078	<1.5	4.3
F4	0.31	7.6	5.4	3.1	2.1	0.06	8.1	0.0091	<1.5	4.7
F5	0.28	11.4	7.6	3.9	2.7	0.07	10.5	0.0116	1.79	5.8
F8	0.26	3.1	<3	1.6	1.5	<0.04	3.7	<0.005	<1.5	2.7
最大值	0.54	32.7	19.3	7.4	5.1	0.13	22.5	0.066	3.62	11.3
最小值	0.08	<0.3	<3	<0.5	<1	<0.04	<3	<0.005	<1.5	<1
平均值	0.34	13.8	7.9	3.8	2.7	0.07	11.4	0.0188	1.86	6.1

### (4) 评价结果

2021年春季海域沉积物中重金属（铜、铅、镉、锌、铬、汞、砷）、有机碳、石油类、硫化物均满足第一类海洋沉积物标准。符合广西壮族自治区人民政府 2012 年关于《广西壮族自治区海洋功能区划（2011—2020 年）》的要求。

表 3.1.7-6 2021年春季海洋沉积物评价结果

站位	有机碳	硫化物	石油类	铜	铅	镉	锌	汞	砷	总铬
A1	0.27	0.11	0.04	0.21	0.09	0.26	0.14	0.12	0.18	0.14
A3	0.18	0.06	0.02	0.14	0.04	0.16	0.10	0.33	0.13	0.10
A7	0.16	0.05	0.02	0.12	0.05	0.14	0.09	0.07	0.11	0.09

A8	0.04	<0.15	<0.006	<0.01	<0.02	<0.08	<0.02	<0.0250	<0.08	<0.01
A9	0.18	0.07	0.02	0.15	0.06	0.18	0.10	0.09	0.12	0.10
A10	0.26	0.10	0.03	0.21	0.08	0.24	0.15	0.12	0.18	0.14
A11	0.21	0.04	0.01	0.10	0.06	0.12	0.07	0.06	0.10	0.08
A15	0.19	0.03	0.01	0.07	0.05	0.10	0.06	0.05	<0.08	0.06
A18	0.19	0.04	0.01	0.09	0.04	0.12	0.07	0.06	0.09	0.07
A20	0.17	0.02	<0.01	0.06	0.03	0.08	0.05	0.04	<0.08	0.05
F4	0.16	0.03	0.01	0.09	0.04	0.12	0.05	0.05	<0.08	0.06
F5	0.14	0.04	0.02	0.11	0.05	0.14	0.07	0.06	0.09	0.07
F8	0.13	0.01	<0.01	0.05	0.03	<0.08	0.02	<0.0250	<0.08	0.03
最大值	0.27	0.11	0.04	0.21	0.09	0.26	0.15	0.33	0.18	0.14
最小值	0.04	<0.15	<0.006	<0.01	<0.02	<0.08	<0.02	<0.0250	<0.08	<0.01
平均值	0.17	0.05	0.02	0.11	0.05	0.14	0.08	0.09	0.09	0.08
超标率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 3.1.7.3 海洋生物质量现状调查与评价

#### (1) 分析项目和分析方法

生物体样品采集完成后放入冰箱中冷冻保存（-10℃~-20℃），后运回实验室测定。

样品实验室检测方法见表 3.1.7-7。

表 3.1.7-7 海洋生物质量分析项目和分析方法

分析项目	分析方法	检出限	规范性引用文件
铜	无火焰原子吸收分光光度法	$0.4 \times 10^{-6}$	GB 17378.6—2007
铅	无火焰原子吸收分光光度法	$0.04 \times 10^{-6}$	GB 17378.6—2007
镉	无火焰原子吸收分光光度法	$0.005 \times 10^{-6}$	GB 17378.6—2007
锌	火焰原子吸收分光光度法	$0.4 \times 10^{-6}$	GB 17378.6—2007
砷	原子荧光法	$0.2 \times 10^{-6}$	GB 17378.6—2007
汞	原子荧光法	$0.002 \times 10^{-6}$	GB 17378.6—2007
镉	火焰原子吸收分光光度法	$0.04 \times 10^{-6}$	GB 17378.6—2007
石油烃	荧光分光光度法	$0.2 \times 10^{-6}$	GB 17378.6—2007

#### (2) 生物质量评价标准和方法

海洋生物质量（双壳贝类）评价标准按《海洋生物质量》（GB18421-2001）执行。海洋鱼类和甲壳类生物质量评价，目前国家尚未颁布统一的评价标准，本报告中铜、锌、铅、镉、汞评价标准采用《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规范》中的“海洋生物质量评价标准”进行评价。

评价方法采用单项污染指数加超标率法，即第  $i$  项污染指数  $S_i=C_i/C$ 。式中  $C_i$  为第  $i$  项调查值， $C$  为生物体标准值。其他没有国家标准的要素不做评价。

### (3) 监测和评价结果

2021 年春季海洋生物质量现状调查结果和评价结果见附表 3 和附表 4。

生物体调查结果表明：鱼类均符合《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准；双壳类种铜、铬、砷、汞、石油类均符合《海洋生物质量》第一类标准，铅、镉、锌均符合《海洋生物质量》第二类标准；甲壳类除总铬外均符合《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准。其中 A3、A8、A9、A11、A14、A18、A20、F8 站位双壳类中锌、铅、镉含量，F5 站位双壳类中铅、镉含量不符合广西壮族自治区人民政府 2012 年关于《广西壮族自治区海洋功能区划（2011 广西壮族自年）》的要求。

## 3.2 海洋生态概况

### 3.2.1 海洋生态现状调查

#### 3.2.1.1 调查站位与时间频次

海洋生态现状调查与水质调查同期开展，共布设 15 个站位，具体站位布置详见 3.1.7 节。

#### 3.2.1.2 调查项目

海洋生态调查内容包括：叶绿素 a（表底层）、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物。

#### 3.2.1.3 调查和分析方法

叶绿素 a：用普通塑料桶在各测站采表层水 1 L，经 0.45  $\mu\text{m}$  微孔滤膜抽滤，用 90% 丙酮萃取其叶绿素，离心后，根据叶绿素 a、b、c 的丙酮萃取液在红光波段各有一吸收峰，用分光光度计测定其吸光值，根据 Jefferoy-Humphreg 方程式，计算海水中叶绿素 a 的浓度。

浮游植物：以浅水 III 型浮游生物网（网口直径为 37 cm，网全长 1.5 m，筛绢孔径 0.076 mm）自海底至表层垂直拖网，样品经 5% 福尔马林溶液固定保存。室内分析鉴定按《海洋调查规范》中规定的方法进行，最后浮游植物出现的个体数换算成 cells/m<sup>3</sup> 作为调查水域的现存量指标。

浮游动物：以浅水 II 型浮游生物网自海底至表层垂直拖网，样品用 5% 福尔马林溶液固

定保存，采样结束后在实验室内进行镜检分析，室内分析鉴定按《海洋调查规范》中规定的方法进行，最后浮游动物出现的个体数换算成个/m<sup>3</sup>，浮游动物生物量换算成 mg/m<sup>3</sup> 作为调查水域的现存量指标。

底栖生物（定量样品）：以抓斗式表面采泥器采集海底泥样，将生物样品经 1 mm 套筛淘洗后，挑拣全部生物个体作为 1 个定量样品，以 75% 酒精液固定保存，采样结束后在实验室内进行镜检分析。

潮间带生物：滩涂底质为泥滩，取样用定量框，每站 4~8 个，观察表面生物及数量，视底质分层情况确定分层取样。可采用 25cm×25cm 的定量框。先计数易碎生物，优势种的覆盖面积，将框内所有生物刮净。生物栖息密度很低时，可采用大面积计数。每站定量取样时，采定性样品、分装。

### 3.2.1.4 调查数据处理方法

根据各站浮游生物和底栖生物所获样品的生物密度，分别对样品的多样性指数、均匀度、丰度、优势度等进行统计学评价分析，计算公式为：

(1) 香农—韦弗（Shannon—Weaver）多样性指数：

$$H' = - \sum_{i=1}^n Pi \log_2 Pi$$

式中： $H'$ ——种类多样性指数； $n$ ——样品中的种类总数； $Pi$ ——第  $i$  种的个体数 ( $n_i$ )

与总个体数 ( $N$ ) 的比值 ( $\frac{n_i}{N}$  或  $\frac{w_i}{W}$ )。

(2) 均匀度（Pielou 指数）

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

式中： $J$ ——表示均匀度； $H'$ ——种类多样性指数值； $H_{\max}$ ——为  $\log_2 S$ ，表示多样性指数的最大值， $S$  为样品中总种类数。

(3) 优势度：

$$D = \frac{N_1 + N_2}{NT}$$

式中： $D$ ——优势度； $N_1$ ——样品中第一优势种的个体数； $N_2$ ——样品中第二优势种

的个体数； $NT$ ——样品中的总个体数。

(4) 丰度 (Margalef 计算公式) :

$$d = \frac{S-1}{\log_2 N}$$

式中： $d$ ——表示丰度； $S$ ——样品中的种类总数； $N$ ——样品中的生物个体数。

### 3.2.1.5 春季海洋生态调查结果

#### (1) 叶绿素 a 和初级生产力

2021 年春季调查中，叶绿素  $a$  含量在  $0.46 \text{ mg/m}^3 \sim 2.48 \text{ mg/m}^3$  之间，叶绿素  $a$  平均值为  $1.22 \text{ mg/m}^3$ 。每日初级生产力范围在  $10.4 \text{ mgC/m}^3 \text{ d} \sim 56.05 \text{ mgC/m}^3 \text{ d}$  之间，初级生产力平均值为  $27.51 \text{ mgC/m}^3 \text{ d}$ 。

#### (2) 浮游植物

##### ① 种类组成与分布

2021 年春季调查中，调查获得浮游植物 31 种，其中硅藻门 26 种，占浮游植物种类组成的 83.9%；甲藻门 5 种，占浮游植物种类组成的 16.1%。

##### ② 现存量

2021 年春季调查海域浮游植物数量数量变动于  $(5.74 \sim 208.05) \times 10^4 \text{ 个/m}^3$ ，最高值为 A1 站位，最低值为 F5 站位。平均为  $87.97 \times 10^4 \text{ 个/m}^3$ 。

##### ③ 群落特征

2021 年春季浮游植物的香农-韦弗 (Shannon) 生物多样性指数的变化范围为 2.14~3.74，平均 2.97；丰度指数为 0.87~1.52，平均为 1.18；均匀度为 0.51~0.82，平均为 0.65；优势度为 0.38~0.78，平均为 0.54。根据《近岸海域环境监测技术规范》(HJ 442-2020) 中提供的生物多样性指数评价标准，浮游植物分布均匀，总体生物多样性一般。

#### (3) 浮游动物

##### ① 种类组成与分布

2021 年春季调查共计获得浮游动物 78 种，其中桡足类 32 种，占 41.0%；枝角类、尾索动物各 4 种，占 5.1%；十足类、轮虫各 2 种，占 2.6%；糠虾类、磷虾类、腹足类各 1 种，占 1.3%；刺胞动物 11 种，占 14.1%；毛颚动物 3 种，占 3.8%；浮游幼虫 17 种，占 21.8%。本次调查所获浮游动物种类中，桡足类为调查海域浮游动物的优势种类，广泛分布于调查海域。

## ② 现存量

2021 年春季调查海域的浮游动物密度平均值为  $10125.38 \text{ 个/m}^3$ ，变动范围在  $(4269.1\sim33383.0)$   $\text{个/m}^3$ ；生物量平均值为  $1.99 \text{ g/m}^3$ ，变动范围在  $(0.62\sim6.86)$   $\text{g/m}^3$ 。

## ③ 群落特征

2021 年春季调查海域的浮游动物香农-韦弗 (Shannon) 生物多样性指数的变化范围为  $1.88\sim3.88$ ，平均为  $2.53$ ；丰度指数为  $2.19\sim3.23$ ，平均为  $2.66$ ；均匀度为  $0.38\sim0.73$ ，平均为  $0.49$ ；优势度为  $0.44\sim0.78$ ，平均为  $0.70$ 。根据《近岸海域环境监测技术规范》(HJ 442-2020) 中提供的生物多样性指数评价标准，该调查海域浮游动物分布较均匀，生物多样性一般。

## (4) 底栖生物

### ① 种类组成和密度

2021 年春季调查共采集到 23 种底栖动物，其中多毛类 12 种，占  $52.2\%$ ；双壳类、纽形动物各 1 种，占  $4.3\%$ ；甲壳类 3 种，占  $13.0\%$ ；腹足类 4 种，占  $17.4\%$ ；棘皮类 2 种，占  $8.7\%$ 。

### ② 生物量

2021 年春季调查海区底栖生物密度变化范围在  $140 \text{ ind/m}^2\sim240 \text{ ind/m}^2$ ，总平均密度为  $190.67 \text{ ind/m}^2$ 。生物量变化范围在  $13.4 \text{ g/m}^2\sim1491.6 \text{ g/m}^2$ ，总平均生物量为  $130.49 \text{ g/m}^2$ 。

### ③ 群落特征

2021 年春季调查海域底栖生物的生物多样性指数的变化范围为  $2.11\sim3.12$ ，均值为  $2.64$ ，均匀度变化范围为  $0.89\sim1.00$ ，均值为  $0.95$ ，优势度变化范围为  $0.25\sim0.67$ ，均值为  $0.46$ ，丰度变化范围为  $0.53\sim1.14$ ，均值为  $0.80$ 。根据《近岸海域环境监测技术规范》(HJ 442-2020) 中提供的生物多样性指数评价标准，该调查海域底栖生物分布较均匀，生物多样整体一般。

## (5) 潮间带生物

### ① 种类组成与分布

2021 年春季调查 5 个潮间带站位，分为高、中、低三个潮带。采集到 24 种潮间带底栖生物，其中多毛类 7 种，占  $29.2\%$ ；甲壳类 4 种，占  $16.7\%$ ；腹足类 9 种，占  $37.5\%$ ；双壳类、脊索动物各 2 种，在  $8.3\%$ 。

### ② 生物量

2021 年春季潮间带生物量变化范围在  $6 \text{ g/m}^2\sim646.24 \text{ g/m}^2$ ，总平均生物量为  $212.62 \text{ g/m}^2$ 。调查海区潮间带生物密度变化范围在  $32 \text{ ind/m}^2\sim200 \text{ ind/m}^2$ ，总平均密度为  $106.86 \text{ ind/m}^2$ 。

### ③ 群落特征

2021 年春季调查海域潮间带生物的生物多样性指数的变化范围为 0.59~3.32，均值为 2.15；均匀度变化范围为 0.59~0.97，均值为 0.85；丰度指数变化范围为 0.17~1.59，均值为 0.80；优势度化范围为 0.33~1.00，均值为 0.63。根据《近岸海域环境监测技术规范》（HJ 442-2020）中提供的生物多样性指数评价标准，该调查海域潮间带生物分布较均匀，生物多样性整体较一般。

## 3.2.2 海洋保护区分布情况

### 1、广西北仑河口国家级自然保护区

广西北仑河口国家级自然保护区于 2000 年 4 月经国务院批准晋升为国家级自然保护区，位于防城港市的防城区、东兴市境内，地理坐标为 21°31'00"~21°37'30"N，108°00'30"~108°16'30"E，由东到西跨越珍珠港湾、江平三岛和北仑河口。保护区面积 3000.0 hm<sup>2</sup>，其中核心区面积 1406.7 hm<sup>2</sup>，实验区面积 333.3 hm<sup>2</sup>，缓冲区面积 1260.0 hm<sup>2</sup>，主要保护对象为红树林生态系统及其生物多样性。保护区分布如图 3.2.2-1 所示。海缆路由（方案一）与保护区的距离较近，距离保护区缓冲区最近距离约 320m（图 3.2.2-2）。

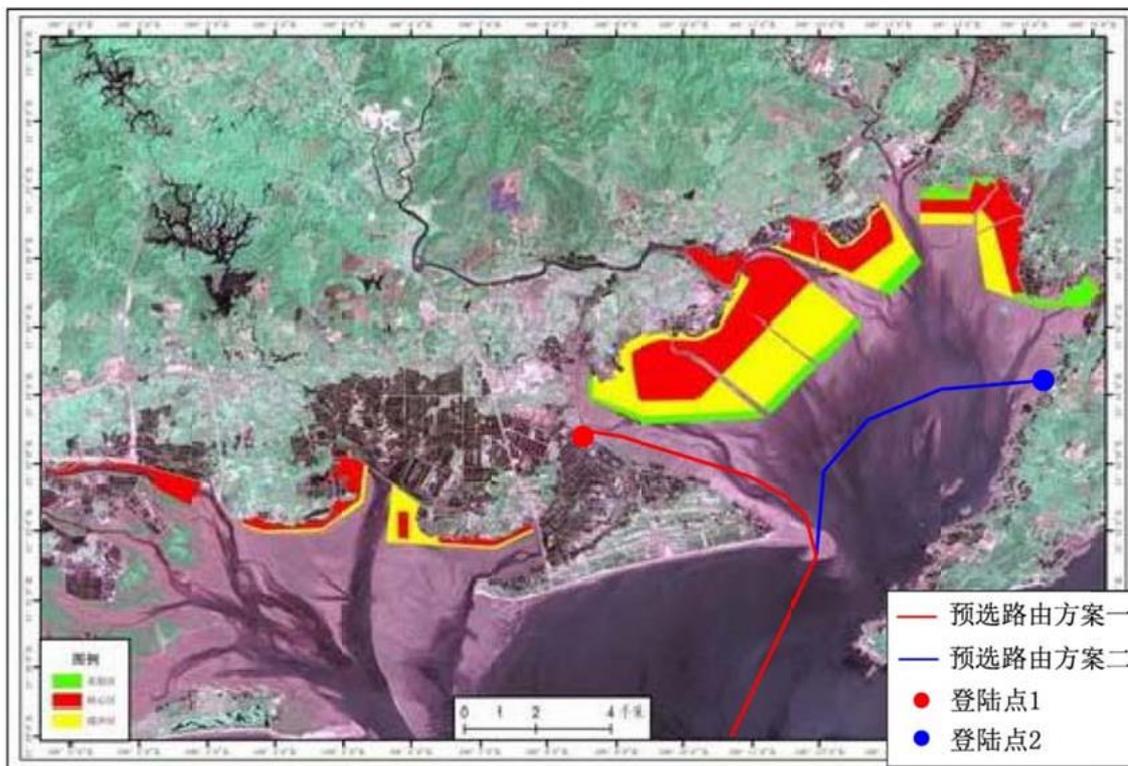


图 3.2.2-1 广西北仑河口国家级自然保护区功能区划图

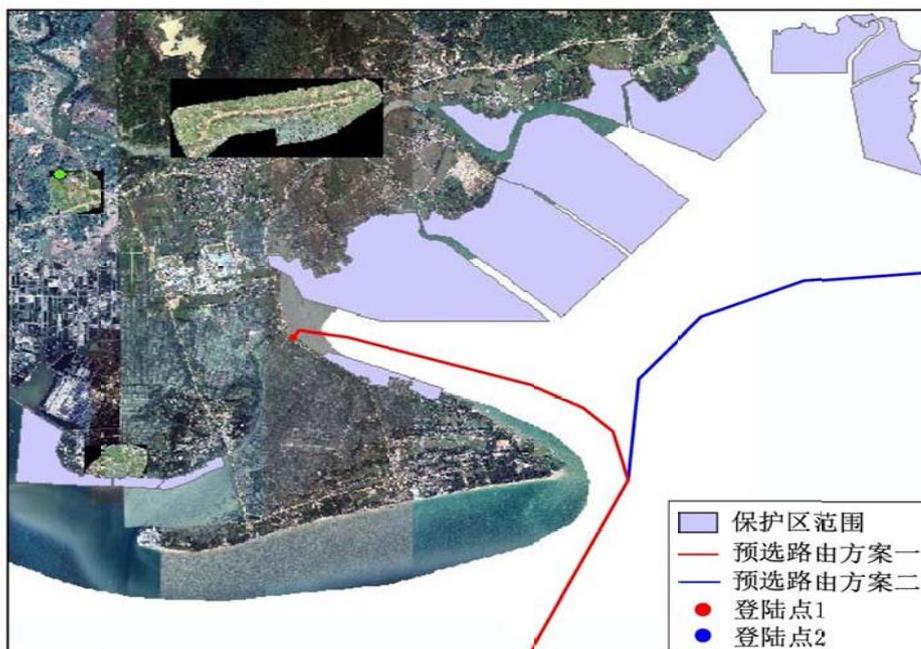


图 3.2.2-2 广西北仑河口国家级自然保护区功能区划图

## 2、北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级种质资源保护区

根据《国家级水产种质资源保护区名单》（农业部公告第 1130 号 2008 年 12 月 22 日），北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级种质资源保护区被农业部列为 63 个国家级水产种质资源保护区之一。保护区总面积 1142158.03 公顷，其中核心区面积 808771.36 公顷，试验区面积 333386.67 公顷。核心区特别保护期为 1 月 15 日至 3 月 1 日。主要保护对象为二长棘鲷和长毛对虾，其他保护物种包括金线鱼、蓝圆鲀、黄带鲱鲤、长尾大眼鲷、蛇鲭类、日本金线鱼、墨吉对虾、长足鹰爪虾、中华管鞭虾、锈斑螭、逍遥馒头蟹、日本螭、马氏珠母贝、方格星虫等。

北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级种质资源保护区位于北部湾东北部沿岸区域，由六个拐点连线及广西北海市海岸线组成，拐点坐标分别为（109 二长棘鲷长，219 二长棘鲷；108 二长棘鲷长，218 二长棘鲷；108 二长棘鲷长，218 二长棘鲷；109 长棘鲷长毛，2009 长棘鲷；1099 长棘鲷长，2099 长棘鲷；1099 长棘鲷长，2199 长棘鲷）。核心区由五个拐点

连线组成，拐点坐标分别为（108 心区由五个，218 心区由五个；108 心区由五个，218 心区由五个；109 心区由五个，20 心区由五个；109 心区由五个，209 心区由五个拐；109 心区由五个，219 心区由五）。实验区由五个拐点连线及广西壮族自治区北海市海岸线组成，拐点坐标分别为（109 验区由五个，219 验区由五；108 区由五个拐，2108 区由五个；1088 区由五个，2188 区由五个拐；1098 区由五个，2198 区由五；1098 区由五个，2198 区由五）。

保护区与本项目路由的相对位置如图 3.2.2-1 所示，海缆路由穿越保护区的实验区，路由距离保护区的核心区较远。

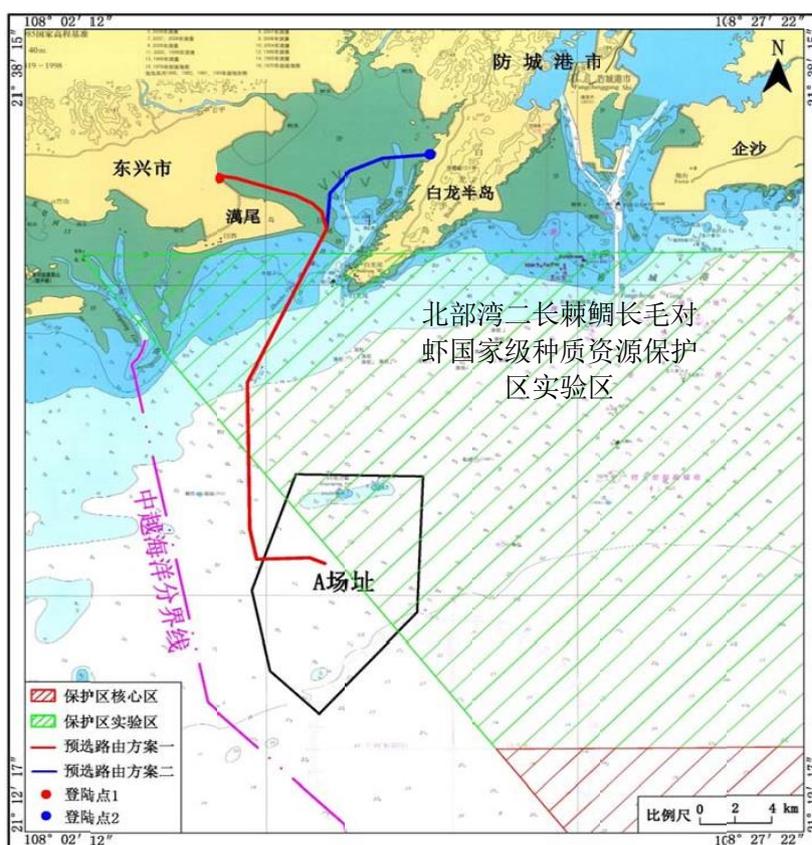


图 3.2.3-1 北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级种质资源保护区与路由的相对位置示意图

### 3.2.3 海洋哺乳动物与龟鳖分布情况

为了解工程区域海洋哺乳动物与龟鳖类的现状情况，广西科学院受委托开展了海洋哺乳动物与龟鳖类的现状调查工作，于 2021 年 10 月 19~20 日、25~27 日对工程海域进行了调查，并收集该区域的历史调查资料。

#### 1、调查方法

##### ① 现场调查法

现场调查采用截线法，从防城港出发，穿过风电场选址区域，通白天轮流瞭望观察，采用人眼与远镜相结合办法开展调查。在进行截线调查的同时，放置水下声学设备进行声学考察。声学考察的目的是采用业内已经成熟被动声学考察技术，接收海洋哺乳动物发射的声呐信息，通过分析声呐信判断海洋哺乳动物的种类。

## ② 问卷调查法

在海洋哺乳动物调查时也会以目测的办法开展海龟的观测，但是由于海龟较少游出水面，在海上不易于对海龟的观察。因此，根据常规的海龟调查方法，以渔民问卷调查为主。海龟类调查拟向防城港、钦州、北海市的当地渔民开展问卷调查，以了解在海域内目击或误捕海龟的时间和区域。

## 2、调查区域

海洋哺乳动物与龟鳖类调查区域如图 3.2.3-1 所示。



图 3.2.3-1 海洋哺乳动物调查路线图

## 3、现场调查结果

2021 年 10 月的目击调查结果显示，本次现场调查的过程中，在调查线路上共有 3 次目击海洋哺乳动物的记录，均为成年江豚个体，没有目击到龟鳖类海洋动物。海洋哺乳动物目击记录见表 3.2.3-1。3 次目击记录中，在 F3 场址的正南方向约 8.2km 的位置目击到江豚 2 头，在 C1 场址正东方向约 7.5km 处目击到江豚 3 头，在 F3 场址东南方向 36km 处目击到江豚个体 2 头；目击海洋哺乳动物平均数量为 2.33 头。在 A 区、F1-1 和 F1-2 和 F2

片区周围没有目击海洋哺乳动物记录。位置分布见图 3.2.3-2 所示。

表 3.2.3-1 海洋哺乳动物目击记录

序号	时间	种类	数量	行为	与船距离
1	10月19日 16:33	江豚	2	巡游	100m
2	10月25日 18:05	江豚	2	巡游	150m
3	10月26日 14:17	江豚	3	捕食、追逐	50m

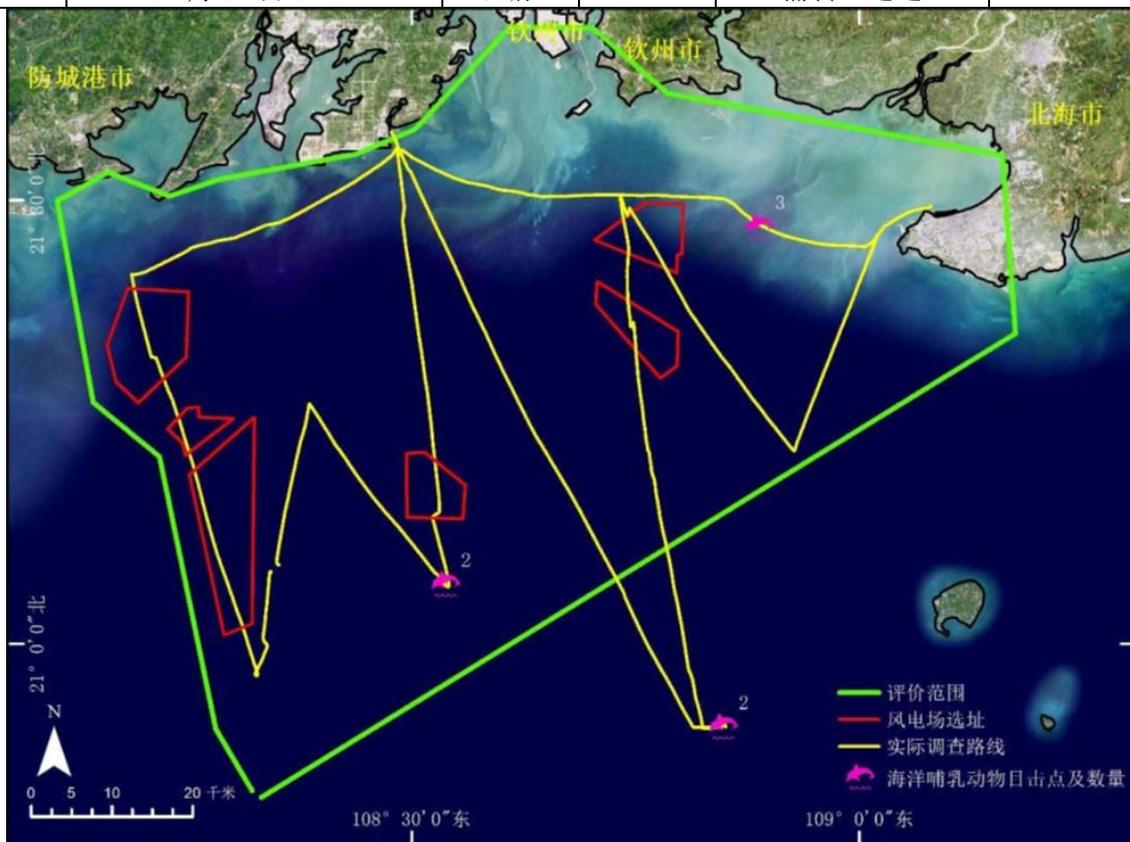


图 3.2.3-2 海洋哺乳动物现场目击位置分布图

本次现场调查目击到的海洋哺乳动物行为主要包括捕食、巡游、追逐等，其中捕食行为发生在 C1 场址正东 7.5km。根据相关文献记载，该区域附近是海洋哺乳动物，特别是中华白海豚的主要觅食和生长的海域；本次调查中，也正是该区域附近目击到海洋哺乳动物的觅食行为，说明该海域咸淡水交汇的特点，能够提供稳定的可捕食的鱼群给中华白海豚和江豚等海洋哺乳动物捕食。

#### 4、问卷调查结果

2021 年 10 月 21 日-24 日，在防城港市企沙镇和北海市共发放海洋哺乳动物和龟鳖类调查问卷 23 份，回收问卷 23 份，有效问卷 23 份。根据渔民船只所属地级市划分，共有 7 位渔民是北海市渔民，1 人来自钦州市，15 人来自防城港市，捕鱼年限在 10 年以上的渔民占 26.09%，渔船尺寸在 12m 以下的渔民站 60.87%，使用的捕鱼工具主要是灯光诱捕船、钓具和刺网等。

根据渔民问卷调查的结果，共有 13 位渔民在出海捕捞的过程中见到过龟鳖类海洋生物，其中 10 人见到的范围在本次调查的北部湾范围海域内，其他 3 人见到的海域在更远的海南岛附近海域。经过照片和图片识别，有 5 人见到过绿海龟，3 人见到过玳瑁，另有 2 人分不出种类。渔民见到的龟鳖类动物的数量主要在 1-2 头的个体，数量较少。在本项目评价范围内的相关海域，均仅有 1-2 位渔民见到龟鳖类动物的调查记录，但是数量相对海洋哺乳动物少很多。

## 5、历史资料分析结果

### ① 中华白海豚

中华白海豚，国家一级保护野生动物。在分类上属于哺乳动物纲、鲸目、海豚科、驼背豚属，体色随年龄而变化，幼体背部灰黑，腹部白色；背部有灰斑，背鳍、鳍肢及尾鳍棕灰色，眼黑色。中华白海豚是近岸海洋生态系统的旗舰物种和指示物种，位于近岸海域食物链的顶端。

根据北部湾大学 Peng 等人 2013~2016 年在钦州市钦州湾、三娘湾、大风江口海域开展中华白海豚调查，结果显示钦州市三娘湾和大风江口附近海域是中华白海豚集中出现的区域，向西延伸至钦州港中华白海豚的数量逐渐减少，通过模型预测中华白海豚数量在 353-430 头。中华白海豚的数量和迁徙有明显的季节性，可能与海洋洋流等特征或是捕食鱼类的变化有关。科研调查目击到的中华白海豚重点活动区域与广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程最近距离约 64km 左右。

### ② 儒艮

据记载，广西北部湾海域的儒艮主要分布于合浦县英罗港到防城港市竹山港一带，并在 1986 年经广西壮族自治区人民政府批准建立自治区级儒艮自然保护区，1992 年晋升为国家级自然保护区，该保护区不在本项目的评价范围之内。儒艮的最近一次发现记录是 2006 年 4 月 3 日，此后再无公开文献发表观察到儒艮的记录。合浦儒艮国家级自然保护区近年来也未观察到儒艮出现或是在海草床留下的吃草痕迹及排泄的粪便，表明广西北部湾海域已不再是儒艮的主要栖息地。

### ③ 印太江豚

印太江豚为国家二级保护野生动物，广泛分布在台湾海峡以南的海域，在广西北部湾海域常见，根据调查资料，合浦沙田镇乌坭村、合浦沙田镇铁山港营盘镇、北海市西背岭、钦州市三娘湾、钦州市龙门港、东兴市珍珠墩等地近年来都有发现过印太江豚。2021 年 2 月，广西科学院在涠洲岛附近海域进行布氏鲸调查的时候，拍摄到成群的印太江豚集体捕

食的画面，数量达到 20-30 头，但该区域距离本项目在 85km 以上。北部湾海域的较大面积范围是江豚常年活动和捕食的海域，同时也有可能是繁殖海域。

#### ④ 布氏鲸

布氏鲸于 2021 年 1 月被列为国家一级保护野生动物。广东惠州、广西北海和广东大亚湾海域曾是有记录的大型须鲸的摄食场所和繁育场所。广西科学院通过 2 年的岛民问卷调查和野外调查，确定了涠洲岛附近海域是我国现已知近海唯一有大型须鲸常年稳定活动记录的海域，涠洲岛海域也是大型须鲸的稳定栖息地。布氏鲸主要集中在涠洲岛及斜阳岛附近海域，布氏鲸的主要栖息地不在本项目的的评价范围内，距离本项目在 95km 以上，且布氏鲸成年体型在 10~12m，属于大型须鲸，对栖息的海域水深有一定的要求，在项目评价范围的近岸海域活动的可能性较低。

#### ⑤ 其他鲸类

自然资源部第三海洋研究所 Zhao 等人对一头 2019 年 1 月搁浅在防城港北仑河口自然保护区的大型须鲸进行解剖，通过分子生物学鉴定，确定这头大型须鲸是另一种须鲸目的海洋哺乳动物——大村鲸 (*Balaenoptera omurai*)，这也是北部湾海域第一次的大村鲸的搁浅记录。

#### ⑥ 龟鳖类

根据王静等通过收集整理 1994~2018 年我国卫星追踪的 59 只绿海龟和 1 只红海龟的洄游路径和活动区域相关资料，发现海龟的活动重点区域和人类活动的范围高度重合。海龟的洄游路径也显示，北部湾海域也是海龟的洄游重要路径。研究学者通过对龟鳖类的问卷调查发现，广西北部湾海域分布的几种龟类，在 20 世纪 90 年代后就已很少发现，各调查地点渔民均表示在作业时常可捕捞到小个体海龟。红海龟、丽龟、棱皮龟在野外已无成熟个体的发现记录，也鲜有研究报道。

### 3.3 自然资源概况

#### 3.3.1 渔业资源及现状调查

北部湾资源丰富，饵料盛产鲷鱼、金鱼、沙丁鱼、竹荚鱼、蓝圆鲹、金枪鱼、比目鱼、鲳鱼、鲭鱼等 50 余种有经济价值的鱼类，及虾、蟹、贝类等，是我国优良的渔场之一。沿岸浅海和滩涂广阔，是发展海水养殖的优良场所，贝类有牡蛎、珍珠贝、日月贝、泥蚶、文蛤等，驰名中外的南珠就产自于此。

沿海 10m 等深线以内的浅海面积 81.2 万亩，滩涂面积 36.7 万亩。港湾和浅海水域水质好，自然饵料丰富，是各种海洋生物养殖的理想场所。目前，人工养殖的有对虾、珍珠、大蚝（近江牡蛎）、青蟹、石斑鱼等海洋生物。还有大量浅海水域未被开发利用。20m 等深线以内的浅海范围内，有浮游植物 104 种、浮游动物 132 种，各类海洋生物达 1155 种，其中，虾类 35 种，蟹类 191 种，螺类 143 种，贝类 178 种，头足类 17 种，鱼类 326 种。经济生物中，有 20 多种主要经济鱼类，资源量有 6000 吨，有 10 多种经济虾类，资源量有 6000 吨，有 3 种经济头足类，资源量约 700 吨。

另外，北部湾有昂贵药用价值的海洋生物资源较为丰富。其中：鲎 4 种，资源量有数万吨，年产量约 20 万对；河豚 8 种，仅棕斑兔头鲀年可捕量可达 1.1 万吨；海蛇 9 种，沿海的海蛇年产量约 75 吨。

防城港市沿海水域项目邻近海域分布有一定数量的天然海藻，主要种类有江蓠类、马尾藻类、麒麟菜类等。海洋生物种质资源丰富。全市沿海有石斑鱼、红鳍笛鲷、紫红笛鲷、石鲈等名优鱼类和方格星虫、沙蚕、可口革囊星虫（泥丁）等经济价值较高的海洋动物，这些海洋生物的养殖目前还处于小规模的状态，苗种来源于自然海区。

浙江华东建设工程有限公司于 2021 年 4 月 27 至-29 日在工程所在海域进行春季渔业资源调查，共进行 15 个站位的调查，调查站位详见表 3.1.7-1 和图 3.1.7-1。

### 3.3.1.1 调查内容及方法

调查项目包括鱼卵仔稚鱼和游泳生物。

**游泳动物：**游泳动物调查采用底层单拖作业大面定点调查方法，调查按照 GB/T 12763.6-2007《海洋调查规范 海洋生物调查》方法进行。拖网速度 3 节，曳网宽度 2.8 m，拖网时间 30 ~60 min。通过拖网速度、有效作业时间和网口宽度等计算单位面积资源密度。

**鱼卵和仔稚鱼：**以浅水 I 型浮游生物网自海底至表层垂直拖网，样品经 5% 福尔马林溶液固定保存。室内分析鉴定按《海洋调查规范》中规定的方法进行，最后浮游植物出现的个体数换算成个/m<sup>3</sup> 作为调查水域的现存量指标。

### 3.3.1.2 数据处理方法

本次调查采用宽 2.8m 的底层单拖作业大面定点调查方法，拖网时间 60 min，船速 3 节。按照 GB/T 12763.6-2007《海洋调查规范 海洋生物调查》方法进行，通过拖网速度、有效作业时间和网口宽度等计算单位面积资源密度。

计算游泳动物资源密度，其中潮流平均船速为 5.556km/h，捕捞效率取值 0.5，作业时间为 1h，拖网为 2.8m。

$$V = C / (v \cdot t \cdot a \cdot q)$$

其中潮流平均船速为  $v$ ，

式中  $V$  为资源密度[质量密度 ( $\text{kg}/\text{km}^2$ )，尾数密度 ( $\text{尾}/\text{km}^2$ )]； $C$  为渔获量[质量 ( $\text{kg}$ )，尾数 ( $\text{尾}$ )]； $v$  为拖网平均速度 ( $\text{km}/\text{h}$ )； $t$  为有效作业时间 ( $\text{h}$ )； $a$  为拖网宽度 ( $\text{km}$ )； $q$  为捕捞效率，取值为 0.3~0.7，在此取值 0.5。

根据相对重要性指数 (IRI) 公式计算评价调查海域内鱼类的相对重要性指标 (IRI)，并以 IRI 大于 100 作为优势渔获物的判断指标。

$$\text{IRI} = (N + W) \cdot F$$

式中 IRI 为相对重要性指数； $N$  为某物种数量占总数量的百分比 (%)； $W$  为某物种质量占总质量的百分比 (%)； $F$  为某物种出现率 (%)。

### 3.3.1.3 春季调查结果

#### 1、鱼卵、仔鱼

##### (1) 种类组成与分布

2021 年春季调查获得鱼卵 6 种共 77 粒，仔鱼 5 种 61 尾，未发现稚鱼。

##### (2) 密度平面分布

2021 年春季调查海域鱼卵和仔稚鱼数量变动于个体密度变化范围为：0.78 ind/ $\text{m}^3$ ~9.48 ind/ $\text{m}^3$ ，总平均密度为 3.56 ind/ $\text{m}^3$ ，其中鱼卵平均密度为 1.98 ind/ $\text{m}^3$ ，仔鱼平均密度为 1.58 ind/ $\text{m}^3$ 。

#### 2、游泳动物调查结果

##### (1) 种类组成与分布

2021 年春季调查共出现游泳动物 (渔获物) 种类 85 种，鱼类 39 种，占总种类数的 45.9%；甲壳动物 24 种，占总种类数的 28.2%；软体动物 20 种，占总种类数的 23.5%；刺胞动物、棘皮动物各 1 种，占总种类数的 1.2%。

##### (2) 现存量

2021 年春季调查海域的游泳动物重量变化范围为 61  $\text{kg}/\text{km}^2$ ~1143  $\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均重量为 381.07  $\text{kg}/\text{km}^2$ ；尾数变化范围为 4114 ind/ $\text{km}^2$ ~83693 ind/ $\text{km}^2$ ，平均尾数为 27974.8 ind/ $\text{km}^2$ 。

##### (3) 群落特征

调查海域游泳动物的生物多样性指数变化范围为 2.19~4.17, 平均值为 3.42; 均匀度变化范围为 0.49~0.95, 平均值为 0.75。优势度的变化范围为 0.18~0.78, 平均值为 0.43。丰度的变化范围为 0.92~2.63, 平均值为 1.6。

根据《近岸海域环境检测技术规范》(HJ 442-2020)中提供的生物多样性指数评价标准, 该海域的游泳动物种类分布均匀, 生物多样性优良。

本次调查的优势渔获物鱼类共有 7 种。其中, 矛尾虾虎鱼和短吻鲷的 IRI 最高, 为 423.77 和 342.45; 其它优势种依次为二长棘鲷(210.08)、褐菖鲉(184.47)、长蛇鲻(134.34)、短吻红舌鲷(108.43)、拟矛尾虾虎鱼(101.68)。

有 4 种软体动物的 IRI 值大于 100, 毛蚶和强肋锥螺的 IRI 值最高, 分别为 939.48 和 737.87, 其余分别为: 华南骨螺(146.88)、中国枪乌贼(142.24)。

有 11 种节肢动物的 IRI 值大于 100 其中直额蟹、隆线强蟹的 IRI 值最高分别为 2817.70 和 1030.53。其余分别为: 口虾蛄(763.12)、霍氏三强蟹(467.19)、锈斑蟹(392.33)、矛形梭子蟹(368.91)、鲜明鼓虾(189.45)、远海梭子蟹(182.68)、脊腹褐虾(147.93)、长毛明对虾(138.37)和鹰爪虾(117.83)。

### 3.3.2 港口资源

防城港市位于北部湾沿岸, 海岸线长达 584.13 公里, 拥有 284 个岛屿, 岸线曲折, 港湾众多。防城港市因港得名, 防城港湾东有企沙半岛, 西有江山半岛作为天然保护屏障, 群山环抱, 港口水域掩护条件好, 航道水深稳定, 而且潮差较大, 便于船舶乘潮进港, 因此, 整个港区避风、浪小、淤积少, 具有良好的建港条件。目前, 防城港已成为广西第一大港和全国 24 个枢纽港之一, 并与世界 100 多个国家和地区港口有贸易往来。

根据《防城港港口总体规划（2016-2030）》，防城港的主港区包括渔漓港区、企沙港区等，另外有白龙港点、榕木江港点等，如图 3.3.2-1 所示。



图3.3.2-1 防城港总体布局规划（方案一为工程推荐路由方案）

**渔漓港区：**以矿石、煤炭、粮食等大宗干散货和集装箱、杂货、液体散货转运为主的大型综合性港区；根据港城和谐发展的需要，污染较大的干散货逐步从渔漓港区调整到企沙南作业区转运，港区重点发展粮食 集装箱等清洁货类运输，兼顾为旅游客运服务。渔漓港区由第一作业区至第六作业区、以及马鞍山作业区组成。港区规划岸线 26992.6m，其中深水岸线 21651.6m 布置 84 个 100~200000吨级泊位，其中深水泊位 73 个；陆域面积 2691.2 hm<sup>2</sup>；年货物通过能力 23768万吨、年旅客通过能力 260 万人次。

**企沙港区：**以大宗干散货和杂货、液体化工品转运为主的大型综合性港区， 兼顾为临港工业服务。其中，企沙港区内规划的企沙南作业区主要承接污染较大的大宗干散货中转运输，潭油作业区、云约江作业区和赤沙作业区主要服务于其邻近的临港工业企业。企沙港区自北向南由潭油作业区、云约江作业区、赤沙作业区和企沙南作业区组成。港区规划岸线 55951.3m，其中深水岸线 48908.3m； 布置213 个1000~400000吨级泊位，其中深水

泊位183个；陆域面积5360.2 hm<sup>2</sup>；年通过能力 74180 万吨。

**其他港口：**主要服务地方生产生活物资运输和旅游客运。其中白龙港口位于珍珠湾口东岸、白龙半岛西岸南部，规划发展旅游客运及建设港口支持系统。规划岸线 2183m，其中深水岸线 517m，布置 9 个 3000~50000 总吨泊位，陆域面积 24.3hm<sup>2</sup>，码头面高程 6.5m，年旅客通过能力约 180 万人次。

推荐的海缆路由（方案一）穿越珍珠湾口路由段位于白龙港口的西侧，与规划港区的最近距离约 1.4km。

### 3.3.3 航道、锚地资源

#### 3.3.3.1 主要航道

根据《防城港港口总体规划（2016-2030）》，防城港规划的航道有三牙航道、新西贤航道、企沙南航道和白龙航道等，如图3.3.2-1 所示。

##### （1）三牙航道（湾外主航道）

由防城湾外海至渔湾港区现有20万吨级矿石码头处的进港航道为三牙航道。规划外海至企沙南作业区西南约3km 处为 40 万吨级单向航道，通航宽度 302m，设计底高程 -23.4m；规划外海至现有 20 万吨级矿石码头处为 20万吨级双向航道，通航宽度 395m，设计底高程-17.9m。

##### （2）企沙南航道

企沙南航道包括南、北两段：从三牙航道往东进入企沙南作业区 2 号港池的南段航道规划为 20 万吨级单向航道，通航宽度 230m，设计底高程-17.9m；从三牙航道往东进入企沙南作业区 1 号港池的北段航道规划为 10 万吨级单向航道，通航宽度 190m，设计底高程-13.8m。

##### （3）西湾航道

规划在渔湾港区第六作业区南侧约3.7km 处开辟新西贤航道，新西贤航道以及第三作业区 19号泊位以南的牛头航道规划为15万吨级单向航道，并满足7万吨级船舶双向通航，通航宽度 265~285m，设计底高程-17.3m。6号~18号泊位段牛头航道为7万吨级单向航道，通航宽度 140m，设计底高程-13.4m。0号~ 5号泊位段牛头航道为1~5万吨级单向航道，通航宽度 125~140m，设计底高程-8.0~-12.0m。

##### （4）白龙航道

白龙航道为白龙港口的进港航道。由外海向北进入珍珠湾后向东北至珍珠墩南侧规划

为 5 万吨级单向航道，通航宽度155m，设计底高程-10.2m；珍珠墩向东北至小双石南侧规划为5000 吨级单向航道，通航宽度85m，设计底高程-6.9m。本项目海缆路由与白龙航道的距离较近但与其没有交越，预选路由推荐与白龙航道的最近距离约1.0km。

### 3.3.3.2 习惯航路

#### (1) 白龙港至越南海防以北港口航路

本项目海缆路由方案在离岸海域穿越的习惯航路为白龙港至越南海防以北港口航路，如图3.3.3-1 所示，主要为白龙港点出入的船舶，白龙港点规划泊位为 3000~50000 吨级。航路宽度 2-4 海里，最小水深 6.4 米，开阔海域水深 12 米以上，航路穿越中越两国传统渔场，作业的渔船、渔网和渔栅较多，船舶航行中必须注意了望避让，谨慎驾驶。

具体航路范围由以下坐标围成（广西沿海段）：

A: 21°29'10"N, 108°13'00"E;

B: 21°28'48"N, 108°11'15"E;

C: 21°19'16"N, 108°07'06"E;

D: 21°16'42"N, 108°08'15"E。



图3.3.3-1 习惯航路

#### (2) 企沙港至越南海防以北港口航路

本项目风电场址东南侧紧邻企沙港至越南海防以北港口航路，如图 3.3.3-1 所示。

企沙港出港船舶到达防城港外锚地灯浮，改向 220 港，将白须公礁放在船舶右舷，保证正横距离 2nm 以上，正横后即可向右改向 225 横后航行，南下至达航路点（20，南下至达航路点（向，保证正横距离向以北）处转至越南海防以北港口。航路宽度 3-5 海里，最小水深 6.4 米，开阔海域水深 10 米以上，航路穿越中越两国传统渔场，作业的渔船、渔网和渔栅较多，船舶航行必须注意了望避让，谨慎驾驶。

具体航路范围由以下坐标围成（广西沿海段）：

A: 21°33'30"N, 108°29'20"E;

B: 21°33'20"N, 108°28'41"E;

C: 21°14'36"N, 108°10'15"E;

D: 21°12'45"N, 108°12'15"E。

### （3）白龙港至琼州海峡西口航路

本项目风电场址东北侧分布有白龙港至琼州海峡西口航路，如图 3.3.3-1 所示。

白龙港出港船舶在过白龙尾灯塔后，采取航向 110°；经防城港外锚地后，衔接防城港至琼州海峡西口航线即可。此航路水深在 8 米到 20 米之间，航路宽度为 2-5 海里，此航路主要是 3000 总吨以下中小型船舶航行。500 总吨以下船舶有时因风浪过大，采取沿岸航行，即靠近钦州、北海海域，过涠洲岛、斜阳岛东北后转东南下琼州海峡。具体航路规划范围由以下坐标围成：

A: 21°29'20.9"N, 108°13'9"E;

B: 21°28'48"N, 108°11'34"E;

C: 20°08'00"N, 109°49'48"E;

D: 20°10'00"N, 109°51'48"E;

E: 20°50'00"N, 109°14'06"E。

白龙尾灯塔前沿海域浅滩较多，白龙港出港船舶时刻注意调整船位及岸距，注意航经防城港进出港航道前，加强与 VTS 的联系，注意避让大型船舶进出港。

### 3.3.3.3 锚地

#### （1）0 号锚地（引航、检疫锚地）

0 号浮标引航锚地：位于航道入口处的正南面，以 0 号浮标 21°27'52"N、108°21'14"E 为中心，半径 1000m 的圆形水域，水深 14~ 14.5m。

特大型船舶引航锚地（1#引航锚地）：位于 B 锚地以南，即以 21°23'35"N、108°22'41"E

为中心，半径 1.5 海里的圆形水域，水深 17~19m，泥底，供特大型船舶引航使用。

### (2) 1 号锚地

该锚地为大型船舶装卸或等待泊位及避风锚地，位于三牙航道入口处的两侧，西侧设 B1 和 B2 共 2 个锚位，东侧设 B3~B10 共 8 个锚位，其中 B9 和 B10 为危险品船舶锚位。每个锚位半径为 450m，水深 10m 以上，可锚泊 2.5 万吨级船舶。各锚位中心位置：

B1: 21°28'59"N /108°20'28"E B2: 21°28'29"N /108°20'28"E B3: 21°28'59"N/108°22'18"E  
 B4: 21°28'29"N/108°22'11"E  
 B5: 21°28'59"N/108°22'49"E  
 B6: 21°28'29"N/108°22'49"E  
 B7: 21°28'59"N/108°23'22"E  
 B8: 21°28'29"N/108°23'22"E  
 B9: 21°29'01"N/108°23'56"E B10: 21°28'44"N/108°24'14"E

### (3) 2-1#锚地

锚地范围为 BM1、BM2、BM3、BM4 依次连线包围成水域。其中：BM2、BM3、BM4、BM5、BM6、BM7 所围水域为 5 万吨级散货船舶锚位区，BM1、BM5、BM6、BM7 所围水域为 7 万吨级散货船舶锚位区。控制点坐标分别为：

BM1: 21°21'26"N /108°25'47"E BM2: 21°23'30"N /108°25'48"E BM3: 21°23'29"N /108°30'22"E BM4: 21°21'26"N /108°30'21"E BM5: 21°21'58"N /108°25'47"E BM6: 21°21'58"N /108°28'06"E BM7: 21°21'26"N /108°28'06"E

### (4) 2-2#锚地

锚地范围为 SH1、SH2、SH3、SH4 四点连线围成水域。其中 SH3、SH5、SH7、SH8 所围水域为 5 万吨级散货及集装箱船舶锚位区，SH7、SH8、SH9、SH10 所围水域为 7 万吨级散货船舶锚位，SH4、SH6、SH9、SH10 所围水域为 10 万吨级散货及集装箱船舶锚位。

控制点坐标分别为：SH1: 21°20'59"N /108°21'06"E SH2: 21°23'56"N /108°21'06"E SH3: 21°23'56"N /108°24'20"E SH4: 21°21'N /108°24'19"E

SH5: 21°23'56"N/108°22'01"E SH6: 21°20'59"N/ 108°22'00"E SH7: 21°22'20"N /108°22'01"E SH8: 21°22'20"N /108°24'20"E

### (5) 3 号锚地

3 号锚地为 3 万吨级以上大型船舶引航、检疫锚地，面积为 31.81km<sup>2</sup>，共有 15 个锚

位，锚地边界点坐标：

SH1: 21°22'05.93"N /108°21'39.71"E

SH2: 21°23'42.18"N /108°21'22.15"E

SH3: 21°25'09.96"N /108°24'35.36"E

SH4: 21°25'05.96"N/108°24'35.35"E

(6) 4#锚地

4#锚地为 LNG 船及危险品船引航、待泊及检疫锚地，面积 36 (6.0×6.0) 平方公里，锚地水深 21.0m~25.4m，为 A1、B1、C1、D1 依次连线所包围的水域：

A1: 108°16'05.65"E, 21°15'40.41"N;

B1: 108°16'17.91"E, 21°18'55.16"N;

C1: 108°19'45.73"E, 21°18'43.62"N;

D1: 108°19'33.39"E, 21°15'28.88"N。

设计代表船型为 3000 吨级、1 万吨级、5 万吨级化学品船以及 10 万吨级油船和 10 万吨级 LNG 船，锚地底质为淤泥及淤泥质土。

(7) 5#锚地

5#锚地为 15 万吨级船舶引航、待泊及检疫锚地，面积 91 (13×7.0) 平方公里，锚地水深为 23.3m~28.6m，为 A2、B2、C2、D2 依次连线所包围的水域：

A2: 108°21'18.40"E, 21°07'50.87"N;

B2: 108°21'18.95"E, 21°11'38.46"N;

C2: 108°28'49.64"E, 21°11'37.35"N;

D2: 108°28'48.91"E, 21°07'49.76"N。

(8) 6#锚地

6# 锚地为 20 万吨级船舶引航、待泊及检疫锚地，水深 27.0m~33.2m，划分为 6-1 和 6-2 两个锚地。

6-1 锚地面积 84.96 (11.8×7.2) 平方公里，为 A3、B3、C3、D3 依次连线所包围的水域：A3: 108°21'03.19"E, 21°01'20.73"N; B3: 108°21'03.74"E, 21°05'15.75"N; C3: 108°27'53.11"E, 21°05'14.76"N; D3: 108°27'51.69"E, 21°01'19.75"N。

设计代表船型为 20 万吨级散货船，锚地底质为淤泥及淤泥质土。

6-2 锚地面积 56.16 (7.8×7.2) 平方公里，为 A4、B4、C4、D4 依次连线所包围的水域：A4: 108°27'52.71"E, 21°03'03.29"N; B4: 108°27'53.50"E, 21°07'17.40"N;

C4: 108°32'02.42"E, 21°07'16.67"N; D4: 108°32'01.51"E, 21°03'02.56"N。

设计代表船型为 20 万吨级散货船和 20 万吨级集装箱船, 锚地底质为淤泥及淤泥质土。

#### (9) 7#锚地

7#锚地为 30 万吨级船舶引航、待泊及检疫锚地, 面积 20 (4×5) 平方公里, 锚地水深为 31.9m~34.6m, 为 A5、B5、C5、D5 依次连线所包围的水域:

A5: 108°21'29.37"E, 20°58'18.82"N;

B5: 108°21'29.68"E, 21°00'28.88"N;

C5: 108°24'22.81"E, 21°00'28.49"N;

D5: 108°24'22.46"E, 20°58'18.43"N。

设计代表船型为 30 万吨级散货船, 锚地底质为淤泥及淤泥质土。

防城港规划锚地如下表所示:

表3.3.3-1 防城港规划锚地控制点坐标表

锚地编号	控制点	大地坐标		水域面积 (平方米)	功能
		东经	北纬		
0#锚地 (万吨级)	中心点	108°23'25.49"	21°26'59.42"	3.1	引航、检疫
1#锚地 (1~10 万吨级)	FM11	108°22'50.29"	21°23'56.49"	72	待泊、检疫
	FM12	108°22'50.96"	21°28'16.59"		
	FM13	108°28'03.57"	21°28'15.80"		
	FM14	108°28'02.74"	21°23'55.70"		
2#锚地 (1~10 万吨级)	FM21	108°18'17.20"	21°25'02.07"	84	引航、待泊、检疫
	FM2	108°18'17.60"2	21°28'17.15"		
	FM23	108°20'36.54"	21°28'16.88"		
	FM24	108°20'36.08"	21°25'01.81"		
3#锚地(10 万吨级)	FM31	108°15'08.66"	21°19'44.69"	54	引航、待泊、检疫
	FM32	108°15'20.91"	21°22'59.43"		
	FM33	108°20'32.78"	21°22'42.13"		
	FM32	108°20'20.41"	21°19'27.39"		
4#锚地 (危险品船)	FM41	108°16'05.65"	21°15'40.41"	36	引航、待泊、检疫
	FM42	108°16'17.91"	21°18'55.16"		
	FM43	108°19'45.73"	21°18'43.62"		
	FM44	108°19'33.39"	21°15'28.88"		

5#锚地(15万吨级)	FM51	108°21'18.40"	21°07'50.87"	91	引航、待泊、检疫
	FM52	108°21'18.95"	21°11'38.46"		
	FM53	108°28'49.64"	21°11'37.35"		
	FM54	108°28'48.91"	21°07'49.76"		
6#锚地(20万吨级)	FM61	108°21'03.19"	21°01'20.73"	209	引航、待泊、检疫
	FM62	108°21'04.03"	21°07'18.39"		
	FM63	108°32'02.42"	21°07'16.67"		
	FM64	108°32'01.14"	21°01'19.02"		
7#锚地(30万吨级)	FM71	108°21'29.37"	21°58'18.82"	20	引航、待泊、检疫
	FM72	108°21'29.68"	21°00'28.88"		
	FM73	108°24'22.81"	21°00'28.49"		
	FM74	108°24'22.46"	21°58'18.43"		

### 3.3.4 风能资源

本工程场址海域内建有一座 120m 高度的海上专用测风塔，位于 108.20033 E，21.33520 N，大致处于场址中心处。该测风塔采用两套设备，分别计作 203092#和 203093#，风速计安装层高度分别为 30m、50m、60m、70m、80m、90m、100m、120m，并在 30m、50m、60m、80m、100m、120m 高度层安装风向仪，测风传感器采用德国进口的 Thies Anemometer First Class 风向风速仪，数据采集器采用 Anemometer 装置，在 22m、50m 和 120m 高度处装有气温、气压、湿度传感器。

将本工程场址测风塔测风数据作为风资源评估对象能较好地反映风电场场址区域内的风资源状况，其评估结论如下：

#### (1) 风电场风能资源较丰富

风电场预装轮毂高度 128m 高度平均风速 6.95m/s，平均风功率密度 426W/m<sup>2</sup>。根据《风电场风能资源评估方法》(GB/T18710-2002)风功率密度等级评判标准，风功率等级为 II 级，风资源较为丰富。

#### (2) 风电场有效风速利用小时高

风电场预装轮毂高度风速的有效小时数(3m/s<小时平均风速<25m/s)均大于 7144h，占全年时间的 81.6%，这表明测风塔所代表风电场区域的可利用有效风速小时数较高。

#### (3) 风向较为稳定

主风向和主风能方向的主导方向一致，都集中在 NNE 方向。风向和风能相对集中，有利于风电场机组的总体布置。

#### (4) 风速和风能分布较为集中

轮毂高度处风速中频率最大风速约为 4m/s，最大风能频率相应的风速为 16m/s。轮毂高度的风速风能分布比较集中，在机组选择时在充分考虑机组安全性的同时应选择风能利用效率较高的风力发电机组，实现风能资源的充分利用。

#### (5) 风功率密度年内变化较大，日变化幅度较小

年内分布不均，在年内 10 月至翌年 1 月风速相对较大，其中 10 月平均风速最大，2 月风速最小。风速日内变化不大，平均风功率密度日内变化不大，但较风速日变化略大。在一日内一般下午 13 时~凌晨 1 点风速相对较小，4~12 时风速和风功率相对较大。

#### (6) 湍流强度和风切变指数均较小

测风塔各测风高度平均湍流强度 0.08~0.09 之间；各测风高度风速  $V=15.0\text{m/s}$  时湍流强度在 0.056~0.079 之间。湍流强度随高度的增加而减小，随着风速增大而呈现减少的趋势。风速垂直切变指数较小，平均切变指数约为 0.085。考虑到风机之间尾流的影响，建议选择 C 类以上风机。

#### (7) 空气密度

本工程场址轮毂高度处的空气密度为  $1.168\text{kg/m}^3$ 。

#### (8) 设计风速

基于防城港气象站和白须公礁自动站风速数据计算，本风电场标准空气密度状况下 128m 处 50 年一遇 10min 平均风速采用 45.1m/s，50 年一遇 3s 极大风速采用 61.4m/s。鉴于风机安全，建议本工程风机选型宜选择极端载荷满足本项目场址极端风况条件，至少为 IEC I 类风机或者 S 级风机。

### 3.3.5 鸟类资源

为了了解工程场址及路由周边海域鸟类资源的分布情况，2020 年 8 月 25 至 31 日广西大学动物科学研究团队对项目区域进行了夏季鸟类监测调查。

#### 1、调查方法

根据鸟类活动规律及鸟类监测要求，采用样线、样点法对项目区不同类型生境的鸟类多样性进行调查。

##### (1) 陆上调查方法

监测人员 4 人，携带 8\*42mm 双筒望远镜、GPS 记录仪、长焦镜头相机、20-60\*85mm 单筒望远镜等仪器设备，沿监测样线行进调查。样带的选择设计要尽量兼顾各种生境，使

监测结果具有代表性，同时兼顾监测交通便利性。监测时行进速度为 1-1.5km/h。行走时记录样线内出现的鸟类种类、数量、集群行为、觅食行为等信息。

## (2) 海上调查方法

租用海船，沿海上样线路径巡航监测，在样线航线上以 1 节航速进行巡航调查。考虑到海上实际情况，也在非样线海域进行调查和数据采集。监测人员 3 人，携带 8\*42mm 双筒望远镜、GPS 记录仪、长焦镜头相机、20-60\*85mm 单筒望远镜等仪器设备，沿监测样线行进调查。记录样线内出现的鸟类种类、数量、集群行为、觅食行为等信息。

## 2、调查样线

### (1) 鸟类监测样线

根据项目要求及鸟类的生态学特征，在项目区设置了 21 条监测样线进行鸟类监测。其中陆上样线布设 7 条，每条样线 2km；海上样线布设 15 条，每条样线 5km；样点布设 6 个（图 3.3.5-1）。

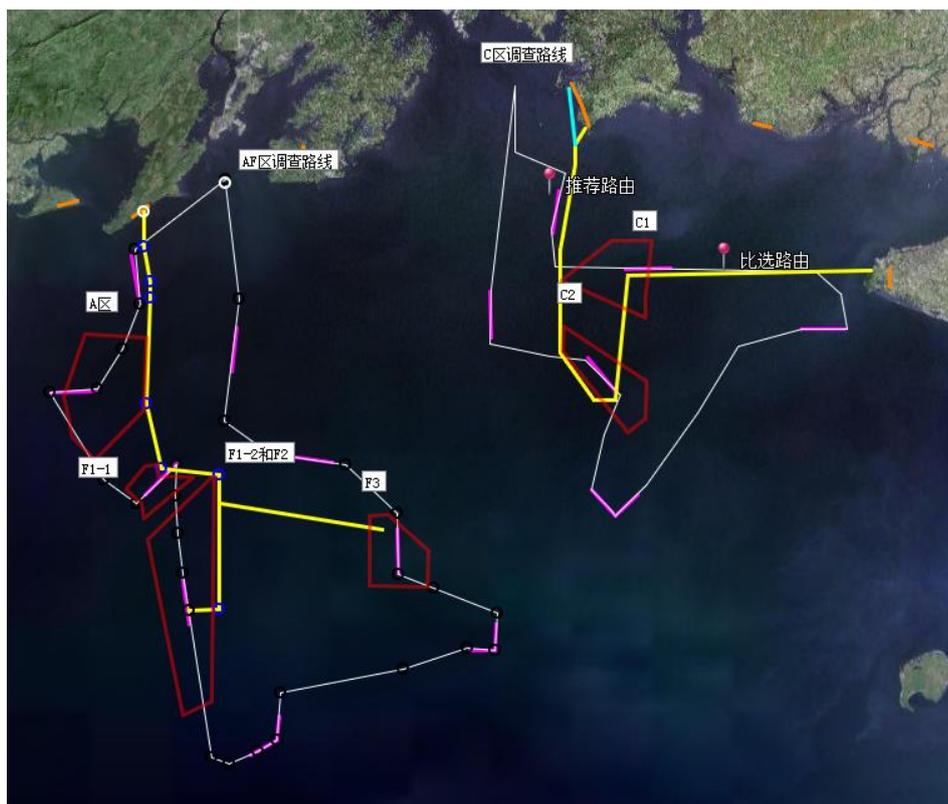


图 3.3.5-1 项目区鸟类监测样线图

### (2) 陆上样线概况

#### 1) 金滩样线

金滩样线位于江平镇金滩，东西走向，样线长度为 2km。监测样线沿海滩布设。竹山鸟类监测样线向海一侧为沙质滩涂生境，样线向陆地一侧主要为灌草丛、木麻黄树林、旅

游设施等生境（图 3.3.5-2）。



图 3.3.5-2 金滩样线生境图

#### 2) 江山半岛样线

江山半岛样线位于防城江山半岛怪石滩区域，东西走向，长度为 2km。主要生境为虾塘、农田、灌草丛及人工林等（图 3.3.5-3）。



图 3.3.5-3 江山半岛样线生境图

#### 3) 企沙样线

企沙样线位于防城企沙镇工业园区，南北走向，长度为 2km。样线西侧为灌草丛、乔木林、农田；东侧为农田、沼泽湿地、建筑工地及厂区等（图 3.3.5-4）。



图 3.3.5-4 企沙样线生境图

#### 4) 三娘湾样线

三娘湾样线样线位于钦州三娘湾景区外围，长度为 2km。样线西侧中段为滩涂，两端为灌草丛、乔木林；东侧为农田、废弃农田形成的沼泽湿地、少数居民建筑及乔木林等（图

3.3.5-5)。



图 3.3.5-5 三娘湾样线生境图

#### 5) 西场镇样线

西场镇样线位于合浦西场镇沿海海堤，东西走向，长度为 2km。该区域生境较复杂，包括人工养殖塘、水田、废弃农田沼泽、红树林、泥质滩涂、海草床等多种生境类型（图 3.3.5-6）。



图 3.3.5-6 西场镇样线生境图

#### 6) 党江样线

西场镇样线位于合浦党江镇沿海红树林区，南北走向，长度为 2km。生境类型包括养殖塘、红树林、泥质滩涂、水田、次生杂木林等多种类型（图 3.3.5-7）。



图 3.3.5-7 党江样线生境图

#### 7) 冠头岭样线

冠头岭样线位于北海冠头岭，南北走向，样线长度 2km。生境类型包括红树林、泥质

滩涂、次生林、公园建筑等（图 3.3.5-8）。



图 3.3.5-8 冠头岭样线生境图

### （3）海上样线概况

海上调查区域离岸最近 3 公里，最远离岸 60 公里，视野宽阔，天气晴朗时能见度高，海上船只稀少，人为干扰程度低（图 3.3.5-9）。



图 3.3.5-9 海上样线生境图

### （4）样点概况

分别 6 个场区设置 6 个样点，考虑到监测的连续性，样点设置在巡航路线上。

## 3、夏季鸟类现状调查结果与评价

### （1）夏季鸟类组成

在夏季鸟类监测过程中，在项目区中共记录鸟类 87 种，隶属于 12 目 37 科。在记录到的 87 种鸟类中，非雀形目占到了 59.77%，为 52 种，雀形目鸟类 35 种，占鸟种总数的 40.23%。水鸟 29 种，占鸟种总数的 33.33%，非水鸟 58 种，占鸟种总数的 66.67%。这表明项目区夏季鸟类群落主要以非水鸟占优势。

这 87 种鸟类中，留鸟 70 种，占鸟类总数 80.46%；夏候鸟 13 种，占鸟类总数 14.94%；旅鸟 4 种，占鸟类 4.60%。夏季鸟类中以留鸟所占的优势最为明显。

### （2）国家重点保护与珍稀濒危鸟类

在本次监测记录到的 83 种鸟类中，被列入国家二级重点保护鸟类有 12 种，分别为凤

头蜂鹰 *Pernis ptilorhynchus*、黑翅鸢 *Elanus caeruleus*、黑鸢 *Milvus migrans*、白腹鹞 *Circus spilonotus*、普通鵟 *Buteo buteo*、领角鸮 *Otus bakkamoena*、草鸮 *Tyto longimembris*、红隼 *Falco tinnunculus*、游隼 *Falco peregrinus*、白胸翡翠 *Halcyon smyrnensis*、褐翅鸦鹃 *Centropus sinensis*、小鸦鹃 *Centropus toulou*。其中褐翅鸦鹃、小鸦鹃、黑翅鸢、红隼、白胸翡翠在项目区内相对常见，种群数量较多，其他鸟类数量较少（表 3.3.5-1）。

表 3.3.5-1 项目区国家重点保护与珍稀濒危鸟类记录表

鸟类名称	保护/濒危等级	记录地点
凤头蜂鹰 <i>Pernis ptilorhynchus</i>	II	江山半岛样线
黑翅鸢 <i>Elanus caeruleus</i>	II	冠头岭样线
黑鸢 <i>Milvus migrans</i>	II	党江样线
白腹鹞 <i>Circus spilonotus</i>	II	金滩样线
普通鵟 <i>Buteo buteo</i>	II	西场镇样线
领角鸮 <i>Otus bakkamoena</i>	II	党江样线
草鸮 <i>Tyto longimembris</i>	II	金滩样线
红隼 <i>Falco tinnunculus</i>	II	三娘湾样线
游隼 <i>Falco peregrinus</i>	II	冠头岭样线
白胸翡翠 <i>Halcyon smyrnensis</i>	II	江山半岛样线、三娘湾样线
褐翅鸦鹃 <i>Centropus sinensis</i>	II	江山半岛样线、企沙样线、党江样线、西场镇样线、三娘湾样线
小鸦鹃 <i>Centropus toulou</i>	II	党江样线、西场镇样线

### （3）项目区鸟类分布格局

项目区内各个生境所记录的鸟种数各不同，其中以红树林生境的鸟种类最多，共 29 种；其次是农田生境，共 19 种，而滩涂生境的鸟种数最少，仅有 6 种（表 2）。池鹭（*Ardeola bacchus*）、绿鹭（*Butorides striatus*）、夜鹭（*Nycticorax nycticorax*）、珠颈斑鸠、小白腰雨燕（*Apus nipalensis*）、家燕（*Hirundo rustica*）、白鹡鸰（*Motacilla alba*）、白头鹎（*Pycnonotus sinensis*）、白喉红臀鹎（*Pycnonotus aurigaster*）、暗绿绣眼鸟（*Zosterops japonicus*）、棕背伯劳（*Lanius schach*）、黑卷尾（*Dicrurus macrocercus*）、麻雀（*Passer montanus*）等鸟类广泛分布在项目区的大部分生境中，为普遍共有种。

表 3.3.5-2 项目区各生境夏季鸟类群落结构特征

参数 生境类型	季节	物种数	密度 (只/hm <sup>2</sup> )	H'	J'	D
红树林	夏季	29	12.98	2.68	0.8	0.1
盐田与虾塘	夏季	17	11.87	2.18	0.77	0.16
农田	夏季	19	7.10	2.61	0.89	0.09
陆岸树林	夏季	18	12.59	2.36	0.82	0.13
滩涂	夏季	6	0.8	1.53	0.85	0.24

夏季红树林生境中仅黑卷尾、池鹭为优势种，池鹭与暗绿绣眼鸟 2 种为常见种，而绿鹭、黄斑苇鳉 (*Ixobrychus sinensis*)、珠颈斑鸠、普通翠鸟 (*Alcedo atthis*)、白头鹎、白喉红臀鹎、鹊鸂 (*Copsychus saularis*) 7 种为该生境的少见种。

农田生境的鸟类组成以少见种类为主，共 5 种，分别是家燕、黑卷尾、白鹡鸰、池鹭、小白腰雨燕。

盐田与虾塘生境的优势种有麻雀、家燕 2 种，仅白鹭 (*Egretta garzetta*) 1 种为常见种，白喉红臀鹎、池鹭、棕背伯劳、环颈鸻 (*Charadrius alexandrinus*)、黑卷尾、小白腰雨燕 6 种为该生境的少见种。

陆岸树林生境仅白喉红臀鹎 1 种为常见种，褐翅鸦鹃、小白腰雨燕、家燕、黑卷尾、棕背伯劳 5 种为该生境的少见种。

滩涂生境以绿鹭 1 种为常见种，池鹭、白鹭、环颈鸻 3 种为该生境的少见种。

各个生境的鸟种数、鸟类个体数量为红树林生境>农田生境>陆岸树林生境>盐田与虾塘生境>滩涂生境。主要原因是由于红树林生境与农田生境、陆岸树林生境相邻，红树林的鸟类经常到这几个生境中活动，使得农田、陆岸树林的鸟种数、个体数量都比较高，而盐田与虾塘生境与红树林生境的距离相对比较远，且植被结构单一，食物资源也不太丰富，限制了鸟种的分布从而个体数量也受到限制。另外，虾塘，人为活动较为严重，因此在该生境所能记录到的鸟种数、个体数量就不如在红树林生境中所记录到的多。

留鸟在各个生境中所占的比例都比其他季节性生态类型高，旅鸟所占的比例最低，主要原因是夏季是鸟类的繁殖季节而不是鸟类的迁徙季节，因此所能记录到的旅鸟种类有限 (表 3.3.5-3)。

北部湾沿海地区鸟类群落具有很强的季节性，夏季记录到的鸟种数以及统计到的鸟类个体数量见表 3.3.5-4。

表 3.3.5-3 夏季鸟类的季节性生态类型分布

类 型 \ 物 种	种 数			占该季节鸟类总种数的百分比%		
	留鸟	夏候鸟	旅鸟	留鸟	夏候鸟	旅鸟
红树林	23	6	2	59.0	15.4	2.6
盐田与虾塘	13	4	0	33.3	10.3	0
农田	16	3	0	41.0	7.7	0
滩涂	4	2	0	10.3	5.1	0
陆岸树林	13	5	0	33.3	12.8	0

表 3.3.5-4 项目区鸟类夏季监测记录数量

季节		夏候鸟	留鸟	旅鸟	陆鸟	水鸟	总计
夏季	种类 (种)	8	30	1	30	9	78
	数量 (只)	519	2398	1	1509	1409	6836

#### (4) 夏季鸟类聚类

##### 1) 取食地生态位聚类

将项目区内各个生境的鸟类频度指数在 1 以上的种类作为划分该区夏季鸟类集团的聚种类，记录到的有效统计数据分别为池鹭、黑卷尾、家燕、树麻雀、白喉红臀鹎、白鹭、鹊鸂、绿鹭、暗绿绣眼鸟、黄苇鹑、环颈鸪、珠颈斑鸠、普通翠鸟、斑鱼狗、白头鹎、白鹡鸰、棕背伯劳、小白腰雨燕等 18 种。

根据这些聚类种在各个生境中的取食偏好与选择所出现的频率进行聚类分析，可得到其取食地生态位的分布。将这些聚类种鸟在各个生境中出现的频率列成 18×6 维原始数据矩阵，见表 3.3.5-5。

表 3.3.5-5 夏季聚类鸟种的觅食生境出现频率统计表

物种	觅 食 生 境 出 现 频 率 (%)				
	红树林	盐田与虾塘	农田	滩涂	陆岸树林
Eg	16.7	0	0	50.0	0
Ab	94.4	50.0	60.0	100	0
Bs	72.2	50.0	60	100	0
Is	66.7	0	60	0	0
Ca	0	50.0	0	100	0
Sc	0	0	40.0	0	40.0
An	5.5	50.0	40.0	0	40.0
Aa	94.4	0	0	0	0

物种	觅食生境出现频率(%)				
	红树林	盐田与虾塘	农田	滩涂	陆岸树林
Cr	0	0	0	0	0
Hr	22.2	100	80.0	0	70.0
Ma	55.6	50.0	80.0	0	0
Ps	61.1	0	0	0	20.0
Pa	77.8	0	0	0	100
Cs	77.8	0	0	0	60.0
Zj	72.2	0	0	0	20.0
Ls	66.7	0	60.0	0	80.0
Dm	94.4	0	80.0	80.0	0
Pm	0	100	40.0	0	10.0

根据聚类的结果所作出的聚类树状图可知，在欧式距离的平方值为 7.5 左右的水平上，可将这些聚类种鸟的取食地生态位划分为 7 个类群（图 3.3.5-10）。

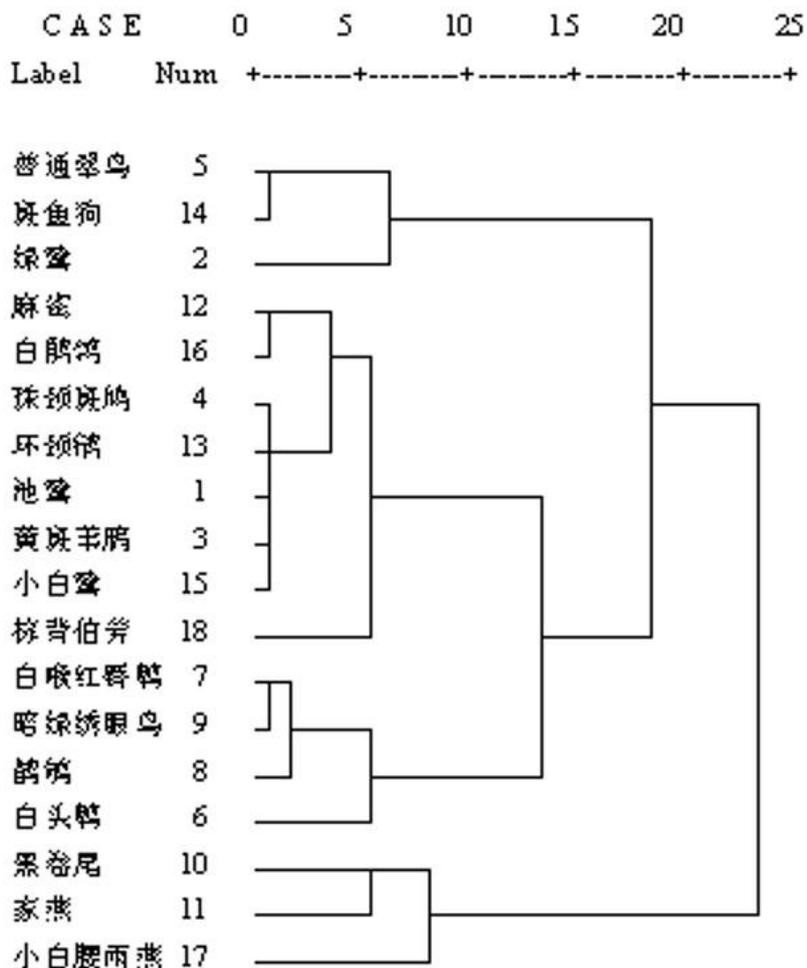


图 3.3.5-10 夏季鸟类取食行为聚类图

第 1 类群主要出现在红树林生境、陆岸树林生境中取食。

第 2 类群主要出现在红树林生境、农田生境中取食。

第 3 类群一般出现在红树林生境、滩涂生境、盐田与虾塘生境、农田生境中取食，为生态位较宽的类群。

第 4 类群一般出现在红树林生境、陆岸树林生境、农田生境中取食。

第 5 类群主要在红树林生境、盐田与虾塘生境、陆岸树林生境、农田生境中取食，也是生态位较宽的类群。

第 6 类群主要在陆岸树林生境与农田生境中取食。

第 7 类群一般在红树林生境、滩涂生境、盐田与虾塘生境中取食，且它们在滩涂生境中取食的概率偏高。

## (2) 取食行为聚类

通过对这些聚类种的取食行为进行观察，将聚类种鸟的 17 项取食行为参数的百分比数据列成  $18 \times 17$  维原始数据矩阵。在欧氏距离的平方值为 7.5 左右的水平上，根据主要取食高度位置、主要取食方式，可相对地把这 18 种鸟划分为 7 个集团：

- 1) 水面出击集团：主要是通过水面出击的方式获取食物。
- 2) 水中探取集团：主要是在红树林的潮沟中或水田处、虾塘中探取食物。
- 3) 地面拾取集团：主要是在地面取食。
- 4) 地面探取集团：主要在田地、滩涂、潮沟处取食。
- 5) 地面追捕集团：主要通过追捕的方式在地上获取食物，有时会到中层林木的粗枝上取食。
- 6) 中层拾取集团：主要在 1m~5m 高度的中层林木的小枝、叶、树干上取食。
- 7) 空中追捕集团：主要在空中取食。

夏季是鸟类的繁殖季节，这时鸟类的活动主要是围绕繁殖而开展，领域性行为明显，且多单个或成对零星活动，分布和活动区域比较稳定。在不同生境中的鸟类对空间利用不同，所形成的集团格局也不同。

## (5) 取食活动情况

鸟类取食活动情况因生境有所不同，各类群动物根据各自的取食行为和食性以及潮汐变化而有所不同。

潮水的涨落是影响其鸟类活动规律的重要因素。随着潮水的涨落，在其中活动的鸟类也会相应的改变活动场所。

### 1) 海面带

在海面带活动取食主要有小鸕鷀(*Tachybaptus ruficollis*)、灰翅浮鸥、白骨顶(*Fulica atra*)等水鸟。主要取食游泳动物和部分海草，以鱼类为多。在涨潮时，他们也会顺着潮沟进入红树林中，有时也会到养殖塘区活动。

### 2) 滩涂带

低潮位的时候，对水鸟来说是非常重要的觅食地和停歇地。大量的涉禽和游禽如鹭类、鸕鷀类等常常集群在滩涂上捕捉潮水带来的小鱼虾以及各种底栖生物。一些其他类群的鸟类也经常光顾滩涂，如常在附近农田虾塘里活动的白鹡鸰和鸕鷀等雀形目鸟类也会在退潮的时候到滩涂上觅食。当潮水上涨淹没滩涂的时候，它们就会转移到陆侧相邻的农田、盐田或者虾塘里栖息觅食。

### 3) 红树林带

红树林是鸟类觅食地重要场所，有鹭类、鸕鷀类，此外许多秧鸡科、杜鹃科、雨燕科、翠鸟科和雀形目鸟类以及鹰隼类猛禽等也在红树林觅食。到了退潮的时候，许多在陆岸活动的鸟类会到红树林下的滩涂觅食，如黑水鸡(*Gallinula chloropus*)、白胸苦恶鸟(*Amaurornis phoenicurus*)、各种噪鹛、地鹛和鸦鹛、鸕鷀等。雨燕和卷尾虽然不直接在红树林中取食，但却频繁在红树林上空和林冠层捕食飞虫和其他空中的节肢动物。黑翅鸢(*Elanus caeruleus*)、红隼(*Falco tinnunculus*)等鹰隼类猛禽常在红树林上空盘旋飞行寻找猎物，捕食蛙类、蜥蜴、小型鸟类、鼠类等动物性食物。

### 4) 洼地灌丛带

洼地灌丛带的基围鱼塘和虾塘是许多沿海水鸟在潮水高潮位时期的缓冲带。高潮时，滩涂被海水淹没，很多原来在滩涂活动的水鸟，如鹭类、鸕鷀类也会到这一地带活动，这就成为其重要的觅食地和停歇地。

### 5) 农田旱地

这一生境比较复杂，有不少灌丛，也有一些低丘林地，其中镶嵌分布着一些水田和旱耕地。高潮时，很多在滩涂上活动的水鸟，如鹭类的牛背鹭、白鹭、池鹭等，鸕鷀类、秧鸡类的灰胸秧鸡(*Gallirallus striatus*)、白胸苦恶鸟等，经常在农田里觅食。黑翅鸢、红隼等鹰隼类猛禽也会在农田中出现。

### (6) 优势种及重要水鸟数量

在夏季的各生境中，红树林景观鸟类群落的优势种为白鹭、暗绿绣眼鸟、池鹭；农田景观鸟类群落的优势种为白鹭、牛背鹭、池鹭、黑卷尾；林地景观鸟类群落的优势种为白

头鹳、白喉红臀鹳、暗绿绣眼鸟、珠颈斑鸠；居民区景观鸟类群落的优势种为红耳鹎、白头鹎、家燕、白鹡鸰。

1) 白鹭

夏季监测过程中，白鹭的种群数量较大，监测期间观察到 375 只。

2) 大白鹭

夏季监测期间大白鹭观察到 58 只。

3) 中白鹭

夏季监测期间中白鹭种群数量较少，观察到 36 只。

4) 池鹭

夏季监测过程中，白鹭的种群数量较大，监测期间观察到 335 只。

5) 牛背鹭

牛背鹭的种群数量较大，监测期间观察到 268 只。

6) 鹮鸻类

环颈鸻、黑翅长脚鸻是夏季是为数不多的遇见频率较多的鸟类，但总体上呈分散状态，极少集群。分别观察到 66 只和 37 只。

7) 鸥类

普通燕鸥、白额燕鸥、褐翅燕鸥、黑枕燕鸥和大风头燕鸥是夏季监测期间发现的为数不多的鸥类，其中普通燕鸥和白额燕鸥为旅鸟；褐翅燕鸥、黑枕燕鸥和大风头燕鸥为夏候鸟。这几种鸥类是本次夏季海上样线、样点调查中，也是在远离海岸线能够观察到的水鸟，零散发布于海面。低空飞行或栖停于水面漂浮物上，偶有取食水面鱼类或其它动物。5 种鸥类中，普通燕鸥 18 只，白额燕鸥 2 只，黑枕燕鸥和大风头燕鸥各 1 只。



红隼



黑翅鸢



褐翅鸦鹃



小鸊鷉



白骨顶



白鹭

图 3.3.5-11 部分鸟类照片

### 3.3.6 滨海旅游资源

防城港的滨海旅游景点众多，滨海旅游资源主要有：

地文景观类：京岛金滩，白浪滩，月亮湾，怪石滩，白沙湾，天堂滩。

水文景观类：市内主要的风景河段有北仑河、防城江、茅岭江、江平江、罗浮江，；江山半岛洲顶瀑布群；东、西海湾。

气候、生物景观类：江山新基一带面积达 16000 亩的“海底森林”——红树林自然保护区，北仑河口红树林自然保护区，江山万鹤山自然保护区和巫头白鹤山自然保护区，光坡南亚松保护区等。

历史遗产类：竹山大清国 1 号界碑等。

现代人文吸引物：现代港口风貌、京族三岛等。

根据防城港市旅游规划，在空间上将防城港市划分七大旅游区：防城港市城市观光休闲旅游区、东兴边城跨国旅游区、中越边境探秘旅游区、十万大山山地休闲旅游区、京族三岛风情旅游区、江山半岛滨海旅游度假区、南山生态休闲旅游区。

截止 2018 年，防城港市 4A 级景区主要有上思十万大山国家森林公园景区、东兴市京岛风景名胜区、东兴市屏峰雨林景区、江山半岛白浪滩旅游景区、防城港西湾旅游区、上思百鸟乐园景区，3A 级旅游景区有东兴陈公馆景区、防城港市北仑河源头景区、东兴市意景园旅游景区、东兴市百业东兴.红木社区旅游购物景区、东兴市北仑河口景区；其他 A 级景区有防城港火山岛景区等。2018 年国务院还同意设立广西防城港边境旅游试验区，

这也为防城港旅游业带了新的机遇。

在本项目周边滨海旅游区主要有江山半岛旅游度假区和万尾金滩旅游区。

江山半岛状似龙头，旧名白龙半岛，位于北部湾畔的防城港市，是广西最大的半岛，总面积 208 km<sup>2</sup>，其中规划为省级旅游度假区的面积 96 km<sup>2</sup>。江山半岛 78 km 长的海岸线蜿蜒绮丽，原始而纯朴，被誉为“北部湾最美海岸”。江山半岛旅游度假区的主要景点有白浪滩、怪石滩、白沙湾、月亮湾、珍珠湾等，海水洁净，沙质细软，仅沙子就有黄、白、黑三种颜色，是国家 4A 级滨海旅游区。

京岛风景名胜区位于东兴市江平镇京族三岛，地处北部湾沿岸，其西南面与越南万柱旅游区隔海相望。是我国少数民族京族主要聚居的地方，是民族风光旅游点，核心景区面积 13.7 平方公里。海岸线长 10 公里，各种旅游资源极其丰富。

金滩位于京族三岛中的漓尾岛南侧，海岸线长 7.5 公里，沙细、水清、坡缓、浪平，且无海藻、无鲨鱼、无污染，沙滩由海岸缓缓斜入海中，大海沙滩珠联璧合浑然天成，是广西沿海不可多得的集阳光、沙滩、海水于一体的天然海滨浴场。

### 3.3.7 滩涂资源

防城港湾沿海滩涂资源十分丰富，该湾及其附近沿岸滩涂面积达 17700hm<sup>2</sup>。其中沙滩面积 9400hm<sup>2</sup>，沙泥滩面积 4400hm<sup>2</sup>，红树林滩面积 2200hm<sup>2</sup>，淤泥滩面积 1230hm<sup>2</sup>，岩滩面积 470hm<sup>2</sup>。

## 3.4 海域开发利用现状

### 3.4.1 社会经济现状

#### 3.4.1.1 防城港市社会经济概况

防城港是广西壮族自治区下辖的地级市，是一座滨海城市、边关城市、港口城市，位于中国大陆海岸线的最西南端，是北部湾畔唯一的全海景生态海湾城市。防城港市依港而建，因港得名，先建港，后建市。防城港是中国的深水良港，是中国 25 个沿海主要港口之一，中国西部地区第一大港，西南地区走向世界的海上主门户，是链接中国--东盟、服务西部的物流大平台。作为广西北部湾经济区的核心城市之一、国家重点布局的钢铁能源基地和东兴国家重点开发开放试验区、云南广西沿边金融综合改革试验区的组成部分，防城港市在中国-东盟自由贸易区、泛北部湾区域合作中具有特殊重要的战略地位。

防城港市坚持以港立市、以开放兴市、以工贸强市、以文化旅游旺市的发展战略，全

面推进东兴国家重点开发开放试验区建设，加快打造现代化钢铁基地、有色金属基地、能源化工基地、粮油食品基地、商贸物流基地、滨海旅游胜地，成为广西北部湾经济区生态友好、开放度高、活力迸发的新兴港口工业城市、重要门户城市和海洋文化名市。

根据《2020年防城港市国民经济和社会发展统计公报》，初步核算全年实现生产总值732.81亿元，比上年增长5.1%。从产业看，第一产业增加值111.08亿元，增长3.9%；第二产业增加值348.07亿元，增长6.8%；第三产业增加值273.66亿元，增长3.2%。三次产业对经济增长的贡献率分别为11.4%、64.9%、23.6%，其中，工业对经济增长的贡献率为50.5%。从产业结构看，三次产业结构由上年的15.6：47.1：37.3调整为5.2：47.5：37.3，第一产业比重回落0.4个百分点，第二产业比重提高0.4个百分点，第三产业比重与上年持平。全年财政收入82.54亿元，下降6.1%。其中，税收收入65.8亿元，下降9.9%。公共财政预算收入53.69亿元，增长13.3%。公共财政预算支出155.16亿元，增长11.2%。其中，民生重点领域支出117.93亿元，增长9.7%。

全年港口货物吞吐量12182万吨，增长20.1%。集装箱吞吐量完成60.11万标准箱，增长42.8%。从全年各季度来看，一季度完成2736万吨，增长17.7%；二季度完成3036万吨，增长18.8%；三季度完成3404万吨，增长32.7%；四季度完成3006万吨，增长11.6%。从货物贸易方式看，外贸货物吞吐量8089万吨，增长5.2%；内贸货物吞吐量4073万吨，增长66.0%。从吞吐方式看，出口2278万吨，增长55.2%；进口9904万吨，增长14.2%。从港区来看，渔湾港完成货物吞吐量10764万吨，增长15.8%，总量占全市吞吐量的88.4%；企沙港完成吞吐量1418万吨，增长67.0%，总量占全市吞吐量11.6%。

### 3.4.1.2 能源资源和电力发展状况

#### 1、广西电源结构概况

广西煤、油、气等一次能源匮乏，水电资源已深度开发。截至2020年底，广西境内（含龙滩）电源装机容量为5146.9万千瓦，同比增长11.5%；其中，水电装机容量为1756万千瓦，占34.1%，同比增长4.5%；火电装机容量为2340.8万千瓦（含生物质能、气电），占45.5%，同比增长2.0%；核电装机容量为217.2万千瓦，占4.2%，同比无增长；风电装机642.7万千瓦，占12.5%，同比增长124%；光伏装机容量190.2万千瓦，占3.7%，同比增长40.5%。此外，广西接受天生桥一、二级水电站广西份额84.1万千瓦以及金中直流300万千瓦、乌东德直流300万千瓦，并向广东送电245万千瓦（龙滩电站份额）。广西电源结构逐步由传统水、火电结构向水、火、核、风、光伏等多种结构转变，电源多元化格局

开始呈现。

根据《广西能源发展“十三五”规划》，广西今后将深度开发水电，优化提升发展煤电，安全稳妥发展核电，大力发展可再生能源，积极发展天然气分布式能源，打造“两通道三基地”新格局。

## 2、电力系统概况

### (1) 广西电网电力系统概况

#### 1) 电网现状

广西电网处于南方电网中部，是南方电网的重要组成部分，截止至 2020 年底，广西境内有 500kV 变电站 24 座，变压器 49 台，总变电容量 3750 万千伏安；500kV 交流线路 91 条，总长度约 9417km。220kV 公用变电站 176 座，220kV 变压器 299 台，变电容量 4829.3 万千伏安；220kV 线路 668 条，总长度约 19419km。

#### 2) 负荷现状

2020 年，广西全社会用电量达到 2025 亿千瓦时，同比增长 6.18%，全社会最大负荷 3520 万千瓦，同比增长 9.7%，其中统调最高负荷为 2949.7 万千瓦，同比增长 21.2%。

2020 年，广西境内电源发电量 1935.10 亿千瓦时，同比增长 5.9%。其中水电发电 614.5 亿千瓦时，占 31.8%，同比增长 3.5%；火电发电 1029.1 亿千瓦时，占 53.2%，同比增长 4.2%；核电发电 168.4 亿千瓦时，占 8.7%，同比降低 1.8%；风力发电 106.2 亿千瓦时，占 5.5%，同比增长 73.2%；光伏发电 16.9 亿千瓦时，占 0.9%，同比增长 24.5%。

### (2) 防城港电网电力系统概况

防城港电网主要供电范围是防城港市及所辖的上思县和东兴市。截至 2020 年底，防城港电网最高电压等级为 500kV，通过红沙核电~南宁双回、久隆~海港、邕州~海港 4 回 500kV 线路与广西电网相连。220kV 电网基本上形成以 500kV 海港站、防城港电厂为主要电源，新兴、竹坪、黄桥、中路、潭松 5 座 220kV 站及相关线路构成的 220kV 环网，并通过海港~高沙双回、新兴~茅岭牵~高沙、仙鹤~琴中 4 回 220kV 线路与相邻网区连接。

截至 2020 年底，防城港电网拥有 500kV 海港变电站 1 座，主变 2 台，总容量 175 万千伏安，500kV 线路 7 回，总长约 255km；拥有 220kV 公用变电站 5 座，主变 9 台，总容量 141 万千伏安，220kV 线路 18 回，总长约 431km。2021 年防城港网区目前在建的共 3 项 220kV 送变电工程，分别是：220kV 防城港电厂~潭松 III 线路工程，计划 2021 年建成投产；220kV 茶花送变电工程，计划 2021 年建成投产；防城港至东兴铁路牵引站外部电源

送电工程，计划 2021 年投产。

截至 2020 年底，防城港网区拥有 4 座统调电厂，其中防城港电厂装机容量为（ $2 \times 66 + 2 \times 63$ ）万千瓦，防城港核电装机容量为（ $2 \times 108.6$ ）万千瓦；栏沙光伏电站（4.5 万千瓦）、惠金光伏电站（4 万千瓦）。此外，还拥有地方电源 99.78 万千瓦，其中糖厂自备机 4.35 万千瓦，企业自备机 82.8 万千瓦，生物质装机 3.4 万千瓦，光伏装机 1.73 万千瓦，地方小水电 7.5 万千瓦。

2020 年防城港电网全社会用电量约 104.9 亿千瓦时，同比增长 16.6%，最大负荷约 188 万千瓦。因广西钢铁集团和华昇新材料的投产，而且盛隆全年用电量和去年同期相比增长 33.7% 等影响，以及商业用电及居民生活用电量同比上一年大幅增加，带动全社会用电量快速增长。

### 3.4.2 海域开发利用现状

经过现场调研、管理部门调访、海域使用动态监管系统查询，项目周边海域开发利用活动见表 3.4.2-1，项目所在海域总体开发利用现状见图 3.4.2-1。

表 3.4.2-1 项目周边海域使用现状统计表

序号	用海类型	项目名称	距离本项目方位和距离
1	养殖区	广西洋之洋水产养殖有限公司开放式养殖	N, 2.5km
		广西鱼贝盛海水养殖有限公司开放式养殖	重叠
		广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖	N, 相邻
2	航道	白龙港至越南海防以北港口航路	西北, 相邻
		企沙港至越南海防以北港口航路	东南, 0.1km
3	锚地	防城港 4#锚地	东南, 2.6km
		防城港 3#锚地	E, 0.5km
4	海洋牧场	白须公礁海洋牧场渔业旅游综合体项目	重叠

## 1、渔业养殖活动

路由海域内有北部湾渔场，渔业资源丰富，渔业活动频繁，同时该海域也是幼鱼、幼虾索饵的活动场所，是鱼虾的天然繁殖场。

路由区附近海域的有权属养殖活动的分布情况如图 3.4.2-2 所示，与本项目的海缆路由均有一定距离，埋设于海床底土以下的海底电缆对养殖活动的影响不大，反之，养殖活动在其权属范围内进行经营，对本项目的海底电缆亦无影响。

珍珠湾内海域分布有大量鱼排，其中路由方案一穿越漓尾半岛东部近岸海域，最后到达金滩东，如图 3.4.2-3 所示，路由方案一将穿越部分鱼排布设海域。路由方案二穿越珍珠湾中部海域，最后到达江山半岛西部，路由方案二布设的海域分布有大量鱼排（图 3.4.2-4），包括有用海权属和无权属养殖。

对于珍珠湾内的渔排，海缆路由在施工前应与渔排经营者进行协商，获得协调同意后并制订合理有效协调方案后方可进行施工。

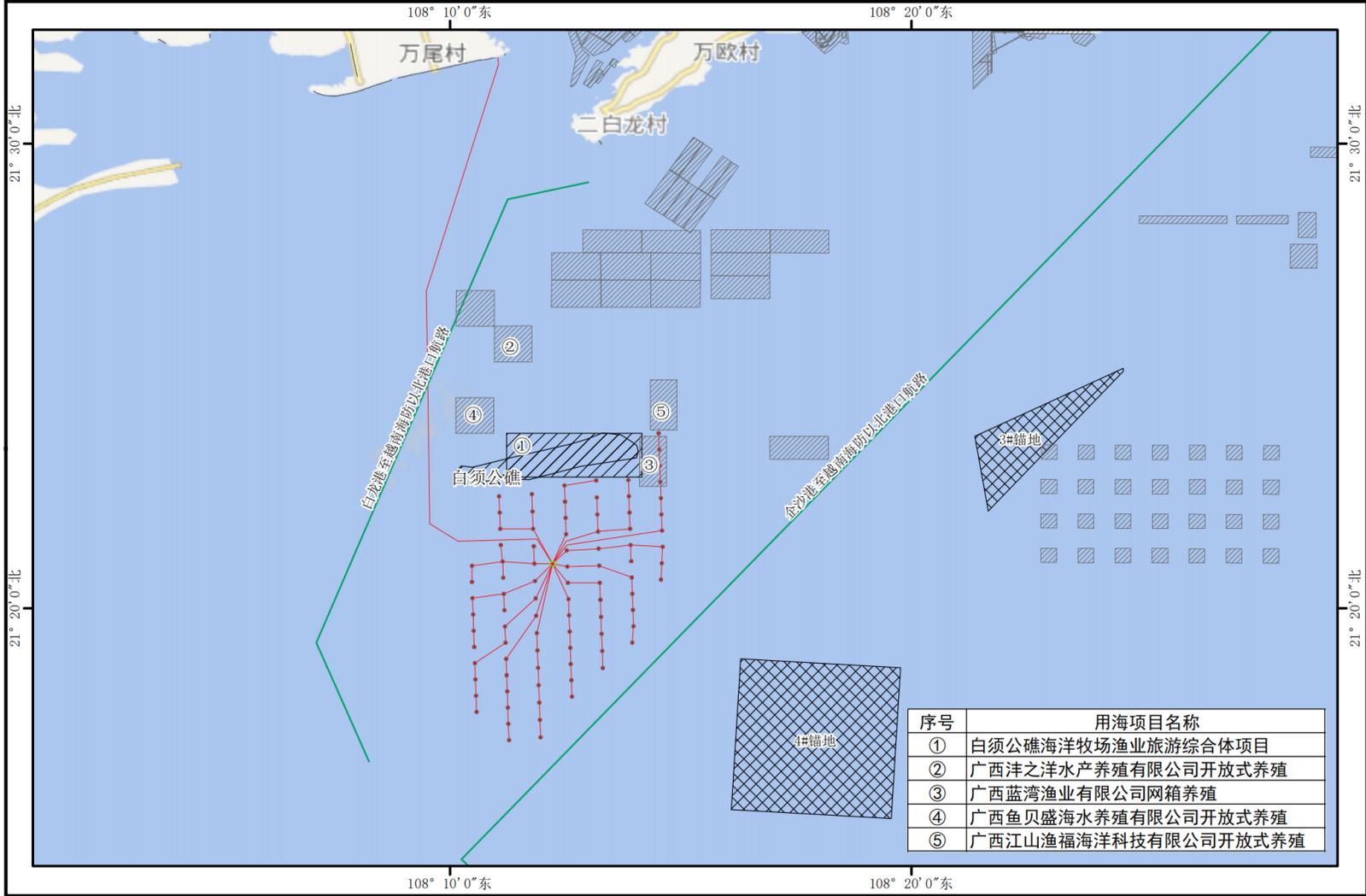


图 3.4.2-1 项目周边海域开发使用现状分布图

## 2、人工渔礁

防城港市是我国最早开展人工鱼礁建设投放研究的沿海城市，早在 1979 年就于防城港外海开展了人工鱼礁建设的试验。2012 年白龙珍珠湾海域海洋牧场示范区人工鱼礁项目开始规划建设，人工鱼礁区位于白龙半岛以南海域，截至 2019 年，在白须公礁北侧海域共建成人工鱼礁 1040 公顷，位置见图 3.4.2-5。项目路由与人工鱼礁区的最近距离约 6km，相对较远，路由的施工不会对人工鱼礁区造成影响。



图 3.4.2-5 人工鱼礁位置

## 3、渔业捕捞活动

防城港市沿岸水域的海洋捕捞业的主要捕捞方式有拖、围、刺、钓及定置等五大类。全市登记在册海洋捕捞船舶 2607 艘，总功率 75553 千瓦。常见的捕捞方式介绍如下：

### (1) 延绳钓

渔具由干线、支线、钓钩、浮子、沉子和浮标等组成。干线上附加有许多短的支线，支线末尾装有钓钩。渔民一般采用小船或者小舢板在被掩护的水域进行延绳钓作业。作业方式可分为浮延绳钓、底延绳钓和定置延绳钓三种。这种作业方式是：由 80-100 个钓钩组成的多个鱼线连在一条主线上，作业时 20-60 条鱼线借助于石块或者金属块一起沉入海底。假如是大型渔船作业，则会配备有多条小船用力拖这些鱼线，然后将捕获物送入母船。

## (2) 刺网

将长带形的网列敷设于水域中，使鱼刺入网目或被网衣缠络后加以捕捞的作业方式。多重网刺在单片刺网的一面或两面，以及同一浮、沉子网上装配大网目网衣而成。网列由若干矩形网具连接而成，其长度可根据水域条件、渔船大小等因素确定，短则几十米，最长可达数千米。刺网渔具种类繁多，广泛应用于各国的捕捞业。主要捕获分散或集中于各水层的鱼类，其特点是对鱼体大小的选择性强，有利于保护资源。

## (3) 围网

是用围网捕捞集群鱼类的一种作业方式，往往在晚间进行（即灯光围网作业）。常常由 1 艘大型机动船（网船）和 1 只带网舢板合成一个作业船组，用大船上的发电机组发电，供水中的灯泡发光诱鱼集群。围网由网衣、纲索和属具组成。小舢板的作用是收紧渔网尾端以包围鱼群，并将渔网的末端扎紧将之送上大船。

## (4) 拖网

拖网是一种移动的过滤性渔具。依靠渔船动力拖曳囊袋形渔具，在其经过的水域将鱼、虾、蟹、贝或软体动物强行拖捕入网，达到捕捞生产的目的。拖网这种高效率的捕捞给海洋渔业资源造成了巨大压力，20 世纪 70 年代以来，很大程度上由于现代拖网渔业造成了海洋渔业资源的衰退，以至在世界范围内提出了负责任捕捞概念，一致要求限制和减少工业化拖网捕捞。

由于海底电缆一般埋藏于海床底土之下约 2m 处，上述的海洋渔业捕捞方式对海底电缆的安全没有直接威胁，但是会给海缆的敷设施工带来一些不便。

## 4、水利工程

备选的登陆点 1（金滩东）北部为海岸防护林，再往北为海堤路，路面为混凝土，路面以北为海岸防护林（图 3.4.2-6）；西侧约 150 有一处斜坡式无障碍通道；西侧约 430m 处为金滩旅游区的三级台地式防护堤东端起点，含海水通道、三级台地式防护堤和无障

碍通道；东北部约 150m 处有围海形成的高位养殖塘。海缆拟以定向钻的方式从海堤底部穿越，不破坏堤身，施工前将对海堤稳定性进行论证，以不影响海堤的稳定性为原则。

推荐路由方案一的海上部分及附近海域未见其它的水利工程。



图 3.4.2-6 登陆点周边建设现状

### 5、登陆点周边现状

广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程备选登陆点 1 位于东兴市漓尾金滩东端。登陆点所在位置为砂质岸线，沙滩坡度在 1.1%~3.0% 之间，地形较平坦，涨潮时沙滩全部被淹没。滩前 0m 等深线（白龙尾理论量低潮面）与岸线走向几乎平行，距岸约 270m 左右。岸滩平滑，无礁石分布。

备选的登陆点 1（金滩东）北部为海岸防护林，再往北为海堤路，路面为混凝土，路面以北为海岸防护林；西侧约 150 有一处斜坡式无障碍通道；西侧约 430m 处为金滩旅游区的三级台地式防护堤东端起点，含海水通道、三级台地式防护堤和无障碍通道；东北部约 150m 处有围海形成的高位养殖塘。登陆点 1 所在及其周边的自然环境情况如图 3.4.2-7 所示。

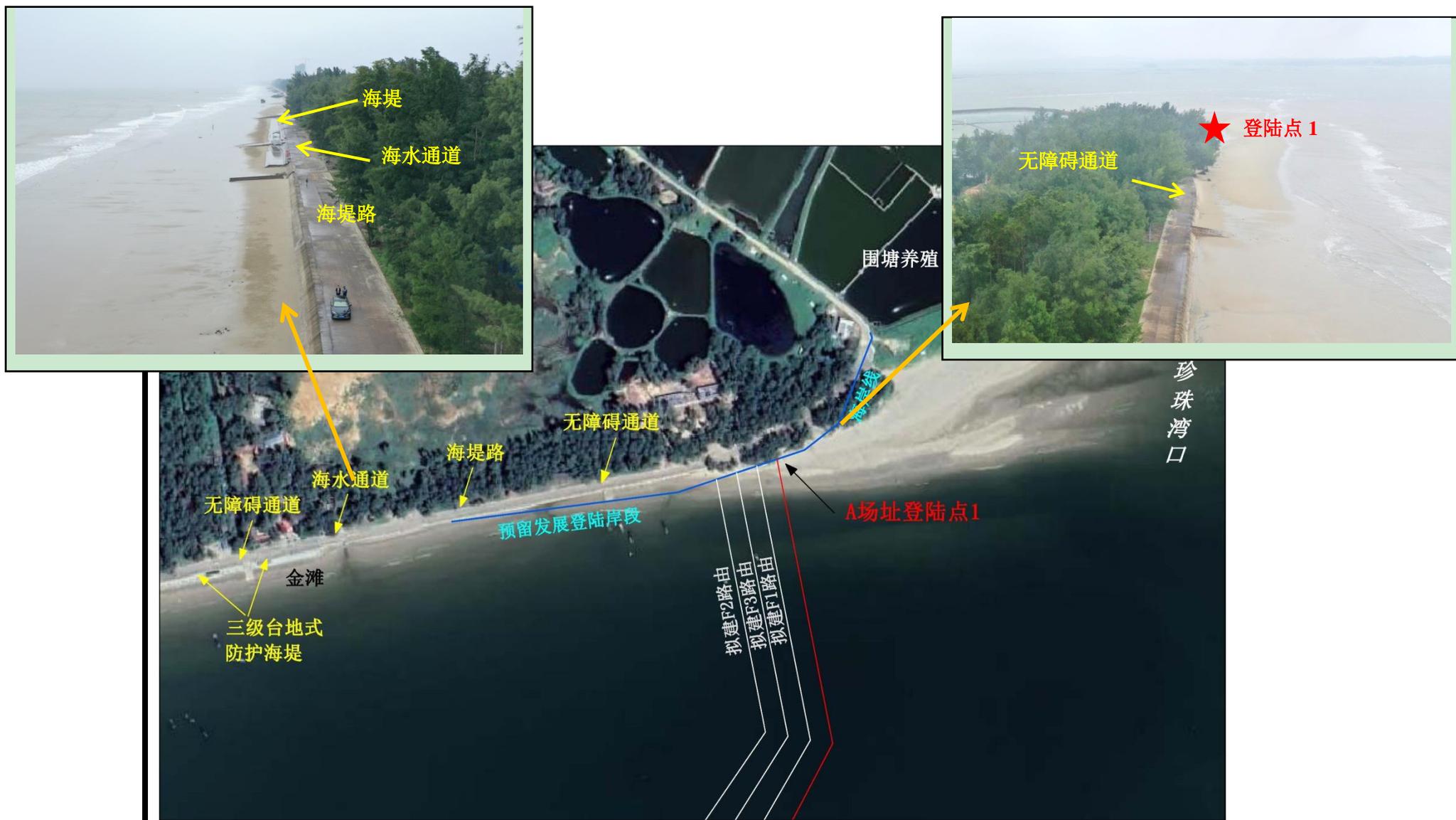


图 3.4.2-7 备选登陆点 1（金滩东）周边自然环境示意图

## 6、航道、锚地开发利用

根据《防城港港口总体规划（2016-2030）》，防城港规划的航道有三牙航道、新西贤航道、企沙南航道和白龙航道等，具体现状及分布详见3.3.3.1节。

### 3.4.3 海域使用权属现状

根据收集到的资料，与本项目用海相邻的已确权用海项目见表 3.4.3-1，分布见图 3.4.2-1。

表 3.4.3-1 项目周围海域使用权属现状

序号	项目名称	海域使用权人	地理位置	确权面积 (公顷)	用海期限	用海类型	用海方式
1	防城港市第八期海域使用权出让项目(宗海编号: FHG2020008-C1)	广西泮之洋水产养殖有限公司	位于防城港市防城区江山半岛南部 4.5 公里处海域	201.2748	5 年	开放式养殖用海	开放式养殖
2	防城港市 2021 年第三期海域使用权出让项目 (FHG2021003-M2 宗海)	广西鱼贝盛海水养殖有限公司	位于防城港市防城区江山半岛南部 6-10 公里处海域	200.6591	15 年 (至 2036-04-21)	开放式养殖用海	开放式养殖
3	防城港市江山半岛南部养殖用海项目(宗海编号: FHG2020006-D)	广西江山渔福海洋科技有限公司	位于防城港市防城区江山半岛南部 4.5 公里处海域	197.3422	5 年	开放式养殖用海	开放式养殖

## 4 项目用海资源环境影响分析

### 4.1 项目用海环境影响分析

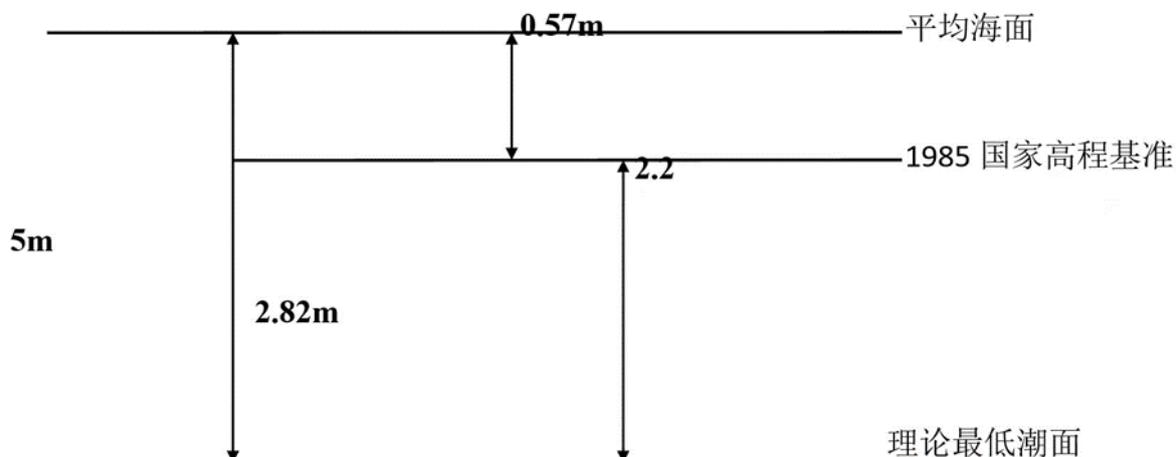
拟建风电场海域水深在 15m~18m，风电场建设及海底电缆铺设建设对海域环境影响主要体现在风机、升压站桩柱建设引起的局部水动力环境的变化，海床底层动力环境的变化引起的海床侵蚀与淤积，以及电缆铺缆施工过程中海床上冲射式挖沟机产生的悬沙扩散对水质和沉积环境的影响。

本项目委托中国电建集团华东院开展了用海对水动力环境、地形地貌与冲淤环境、水质环境、沉积环境影响及溢油风险数值模拟。该数值模拟采用《CJK3D 水环境数值模拟系统》(CJK3D-WEM) 于 2014 年取得国家软件著作权登记。该软件系统的编制符合《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》(JTS 国家软件著作权登记。该软) 及相关现行行业标准的规定，2012 年取得国家软件著作权登记(软著登字第 0433442 号)，2013 年通过中国工程建设标准化协会水运专业委员会组织的软件鉴定，并纳入“水运工程计算机软件登记”(目录号: KY-2013-01)。

#### 4.1.1 项目用海对水文动力环境的影响分析

##### 4.1.1.1 模型建立

数学模型以风电所在的海域为核心水域，北侧边界至广西壮族自治区钦州市，南侧边界至北部湾口附近，东侧边界至海口，外海边界采用潮位控制，近岸地区采用我国最新海图水深数据，工程区地形采用最新实测地形进行修正，高程统一到理论最低潮面。



模型网格总数为 227246 个，模型范围及模型网格分别见图 4.1.1-1~4.1-2，工程水

域网格加密，最大边长 8681m，最小网格边长约 4.2m，表 4.1.1-1 为数学模型计算参数。

本报告所研究的风电群桩基为单根直径 6.5m~10m 钢管桩，在数学模型模拟中，采用模型网格进行直接模拟。

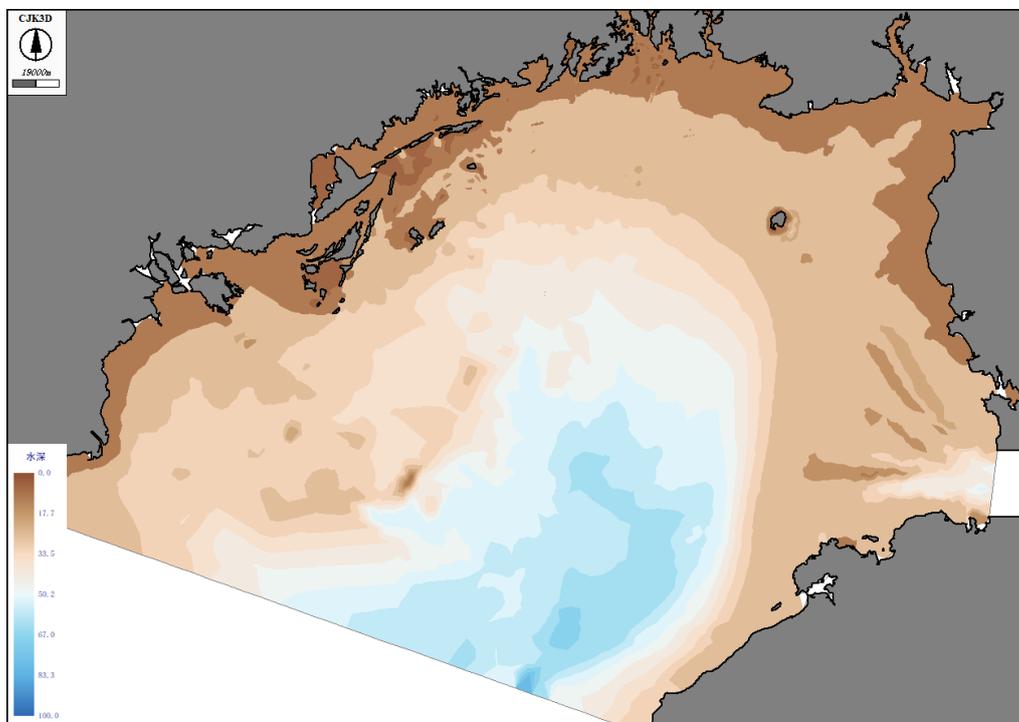


图 4.1.1-1 模型范围及地形示意图

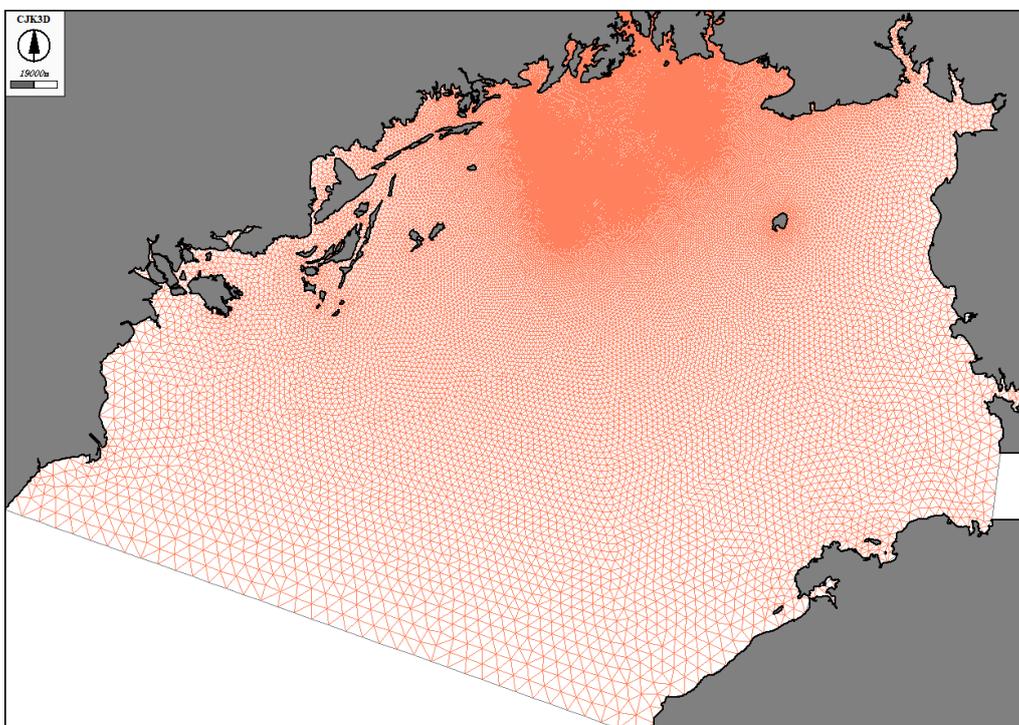


图 4.1.1-2a 模型网格示意图

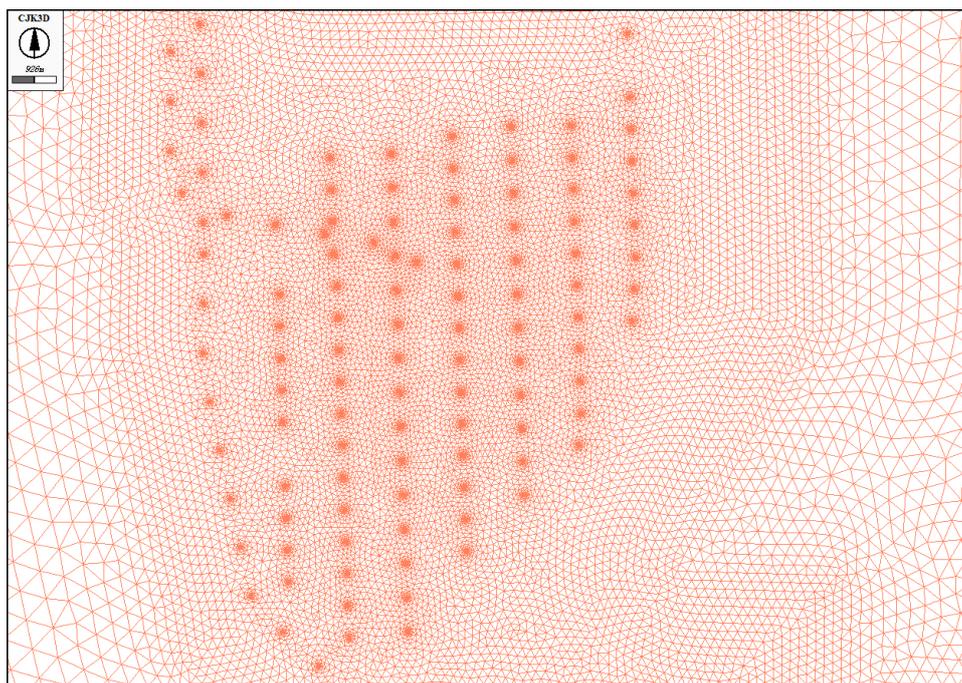


图 4.1.1-2b 模型网格示意图（局部）

表 4.1.1-1 模型计算参数一览表

名称	参数值
高程系统	国家 85 高程
最小网格边长	4.2m
最大网格边长	8681m
单元总数	227246 个
时间步长	0.1s
柯氏力系数	$f = 2 \cdot \omega \cdot \sin \phi$ $\omega = 2\pi / (24 \times 3600)$ 工程区附近 $\phi = 28.8^\circ$
谢才系数	$c = \frac{1}{n}(h+z)^{\frac{1}{6}}, \quad n = \begin{cases} 0.025 & h+z \leq 1.0m \\ 0.013 + \frac{0.012}{h+z} & h+z > 1.0m \end{cases}$
水流紊动粘性系数	$\varepsilon_x = \varepsilon_y = khU^*$
动边界控制水深	$H_a = 0.01m$
悬沙中值粒径	0.009mm

泥沙沉降速度	$w = -4 \frac{k_2}{k_1} \frac{v}{D} + \sqrt{\left(4 \frac{k_2}{k_1} \frac{v}{D}\right)^2 + \frac{4}{3k_1} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} gD}$ $k_1=1.22, k_2=4.27$ 由于存在絮凝作用，泥沙粒径按絮团粒径考虑
起动流速公式	$V_c = \frac{m}{m+1} \left(\frac{h}{D_L}\right)^{1/m} \sqrt{3.2 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} gD_L + \left(\frac{\gamma'}{\gamma'_0}\right)^{10} \frac{C}{\rho D_L}}$ $m=6, C=2.9 \times 10^{-4} \text{ g/cm}, \rho = 1.02 \times 10^{-3} \text{ gs}^2/\text{cm}^4$ $\gamma'_0 \text{ 为泥沙的稳定湿容重，一般取为 } 1.6 \text{ g/cm}^3$
挟沙力公式	$S_t^* = \alpha_0 \frac{\gamma \gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \frac{v^3}{C^2 h w}$ $\alpha_0=0.025$
泥沙源汇函数	$F_s = \alpha w (S_* - S) \quad \alpha=0.5$

#### 4.1.1.2 模型验证

##### 1、验证资料

采用 2021 年 8 月大中小潮同步水文测验资料进行验证。验证内容包括潮位、潮流和含沙量，潮位验证点位置如图 4.1.1-3 所示的 1#、2#、3#和 4#，潮流和含沙量验证点位置如图 4.1.1-3 所示的 C2、C4、C6、C8、C10、C12。

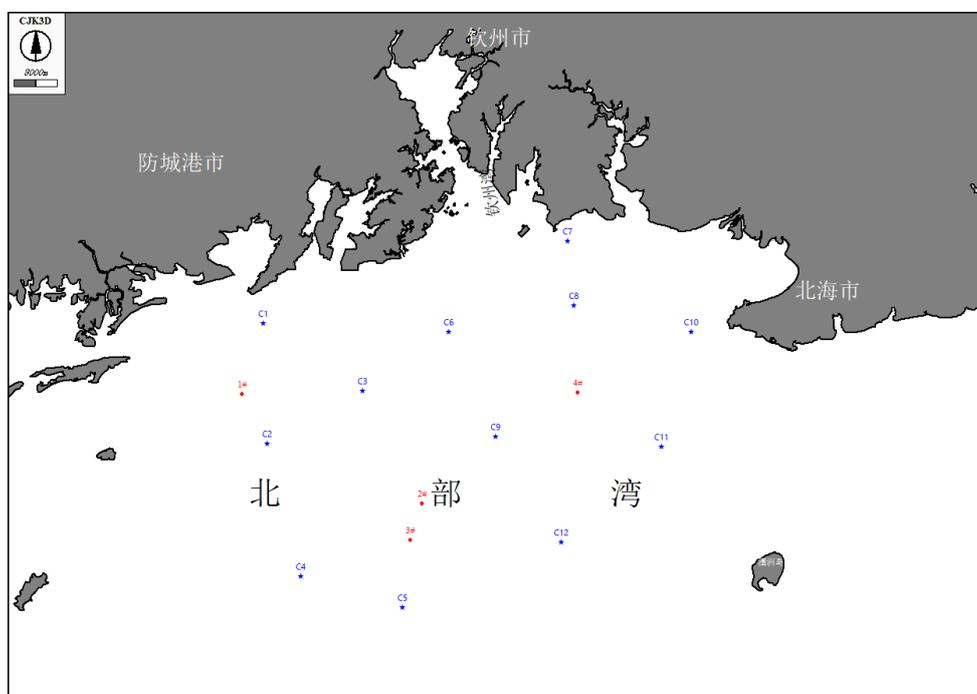


图 4.1.1-3 2021 年水文测验站点位置图

##### 2、验证结果

图 4.1.1-4 为小潮潮位验证图，图 4.1.1-5 为小潮潮流流速流向验证图，图 4.1.1-6 为大潮潮位验证图，图 4.1.1-7 为大潮潮流流速流向验证图，图 4.1.1-8 为大潮垂线平均含沙量验证图。由潮位验证图知，数学模型计算潮位值与实测值吻合程度较高，高低潮位偏差总体在 0.1m 之内；由潮流流速验证图知，大潮和小潮时，潮流流速与实测值吻合较好，中潮时，数学模型计算值略小于实测值，长期站大中小潮潮流流速数学模型计算值与实测值吻合较好；由潮流流向验证图知，除个别点外，数学模型各采样点潮流流向与实测值基本一致，差别较小。由含沙量验证图知，工程海域大潮含沙量明显较大，其次为中潮，中潮和小潮含沙量差别相对较小，数学模型计算值能够较好的反应工程海域的含沙量变化特征，基本能够满足规程要求。

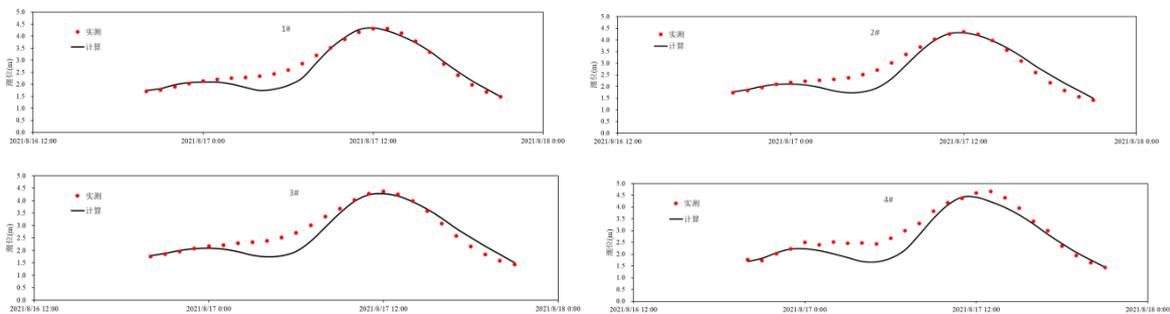
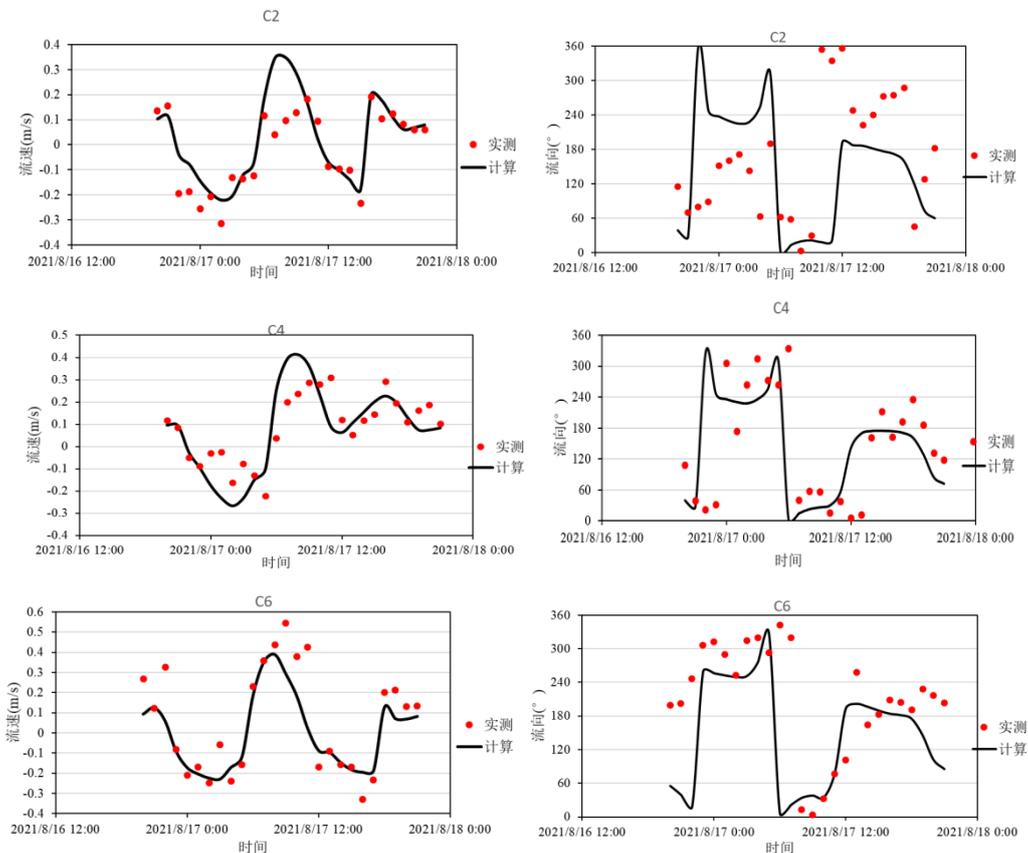


图 4.1.1-4 2021 年 8 月小潮潮位验证图



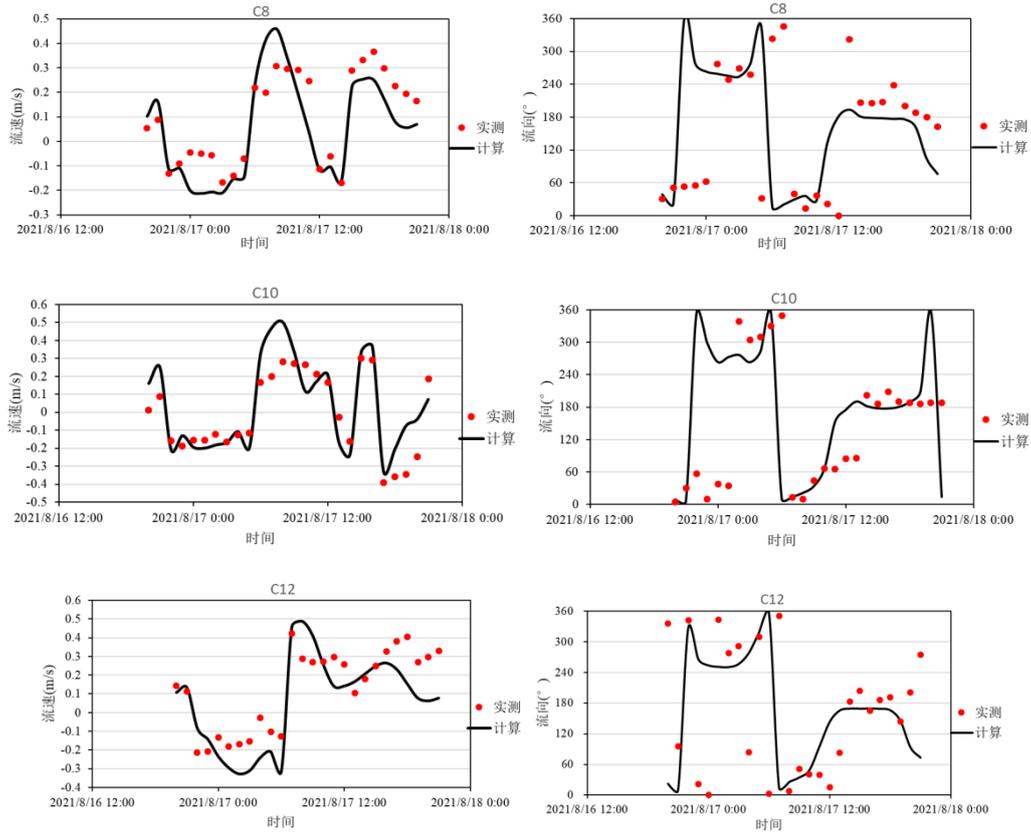


图 4.1.1-5 2021 年 8 月小潮潮流验证图

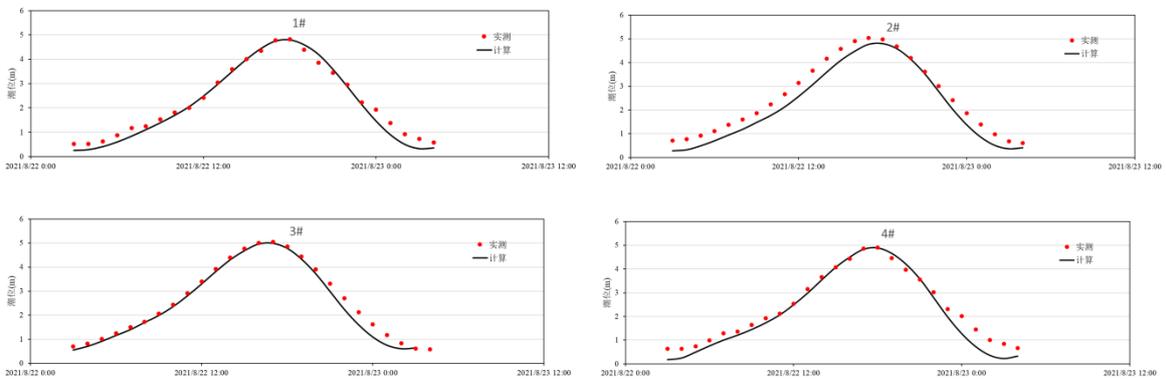
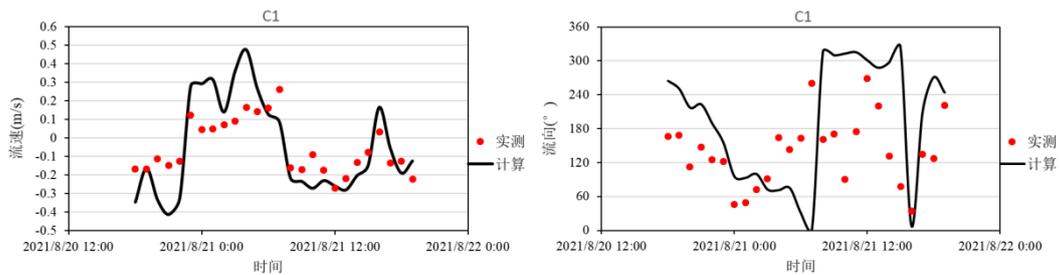


图 4.1.1-6 2021 年 8 月大潮潮位验证图



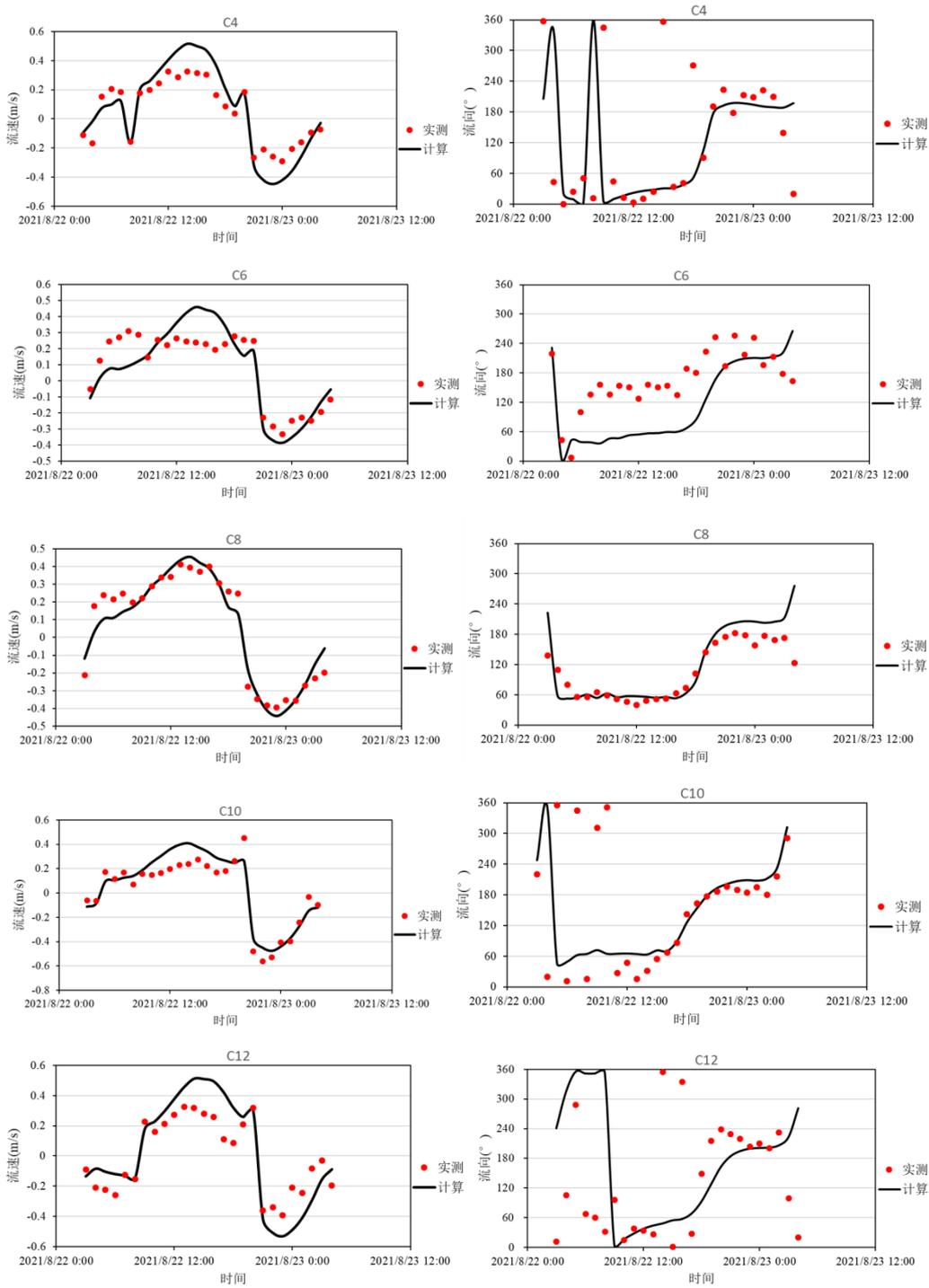
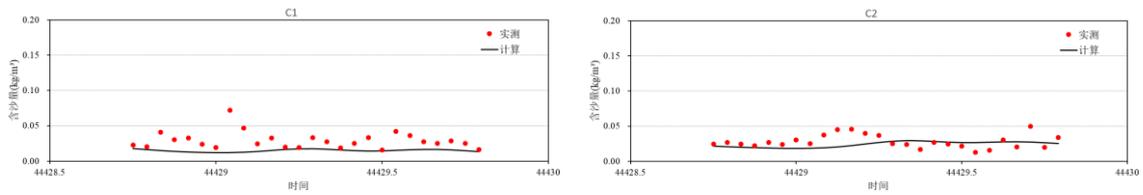


图 4.1.1-7 2021 年 8 月大潮潮流验证图



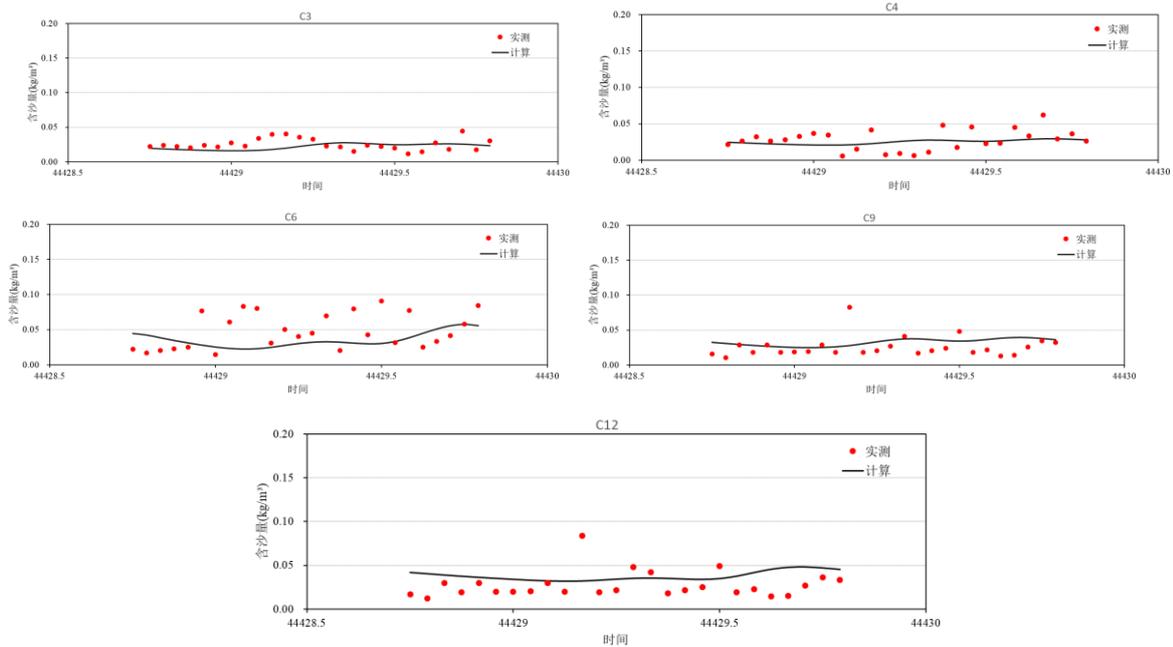


图 4.1.1-8 2021 年 8 月大潮含沙量验证图

### 4.1.1.3 水动力影响预测结果与分析

#### 1、工程建设前的潮流场

图 4.1.1-9~4.1-10 为大潮涨急流态与流速强度分布。由图知，大潮涨急时，潮流流向自西南向东北，工程附近海域除近岸及海岛周边水域受边界影响外，其他水域流向总体一致。北部湾附近海域涨急流速强度基本在 0.6-0.9m/s 之间，近岸区受地形及边界的影响，流速强度基本小于 0.40m/s。

图 4.1.1-11~4.1-12 为大潮落急流态与流速强度分布。由图知，大潮落急时，潮流流向自东北向西南，与涨急相反，工程附近海域流向总体一致。北部湾水域落急流速强度基本在 0.9m/s 以内，近岸区受地形及边界的影响，流速强度基本小于 0.40m/s。

图 4.1.1-13 为工程海域大潮流矢量分布，由图可以看到，工程海域潮流以西南-东北往复流为主，旋转流特性不强。

图 4.1.1-14 为工程海域的大潮平均含沙量分布，由图知，近岸含沙量明显大于深水区，北部湾海域平均含沙量在 0.1kg/m<sup>3</sup> 以内。

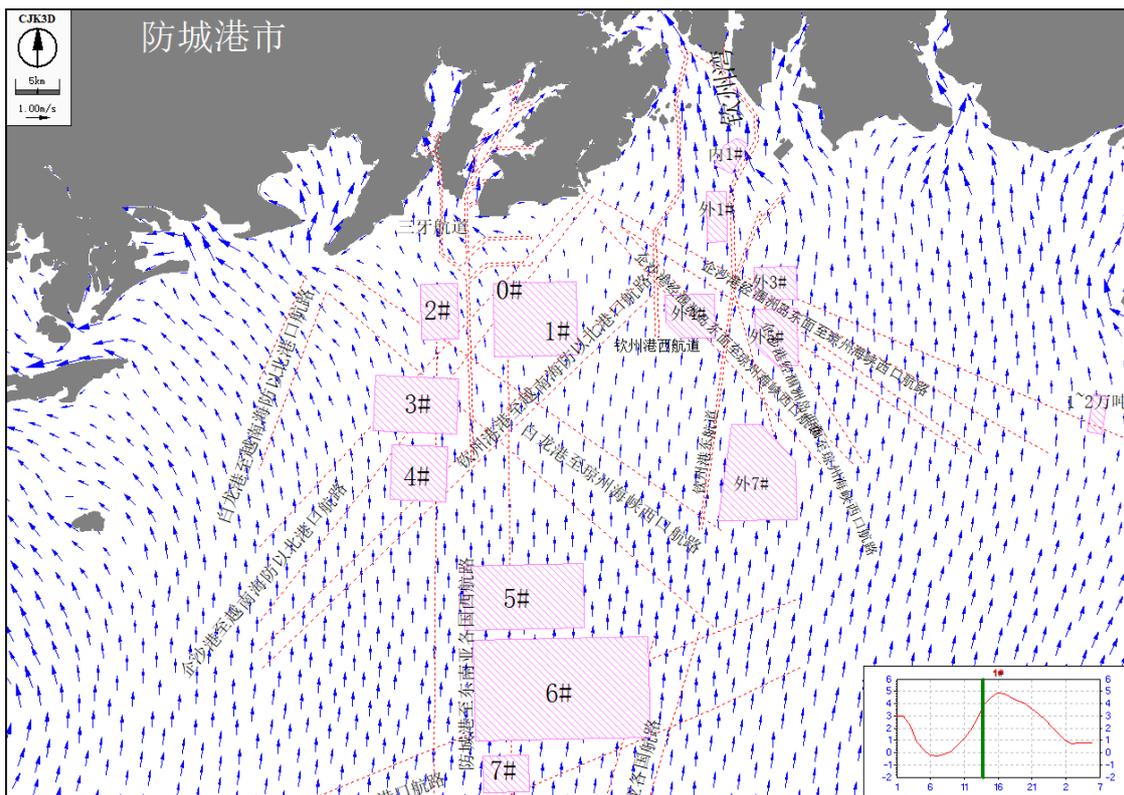


图 4.1.1-9 2021 年 8 月大潮涨急流场图

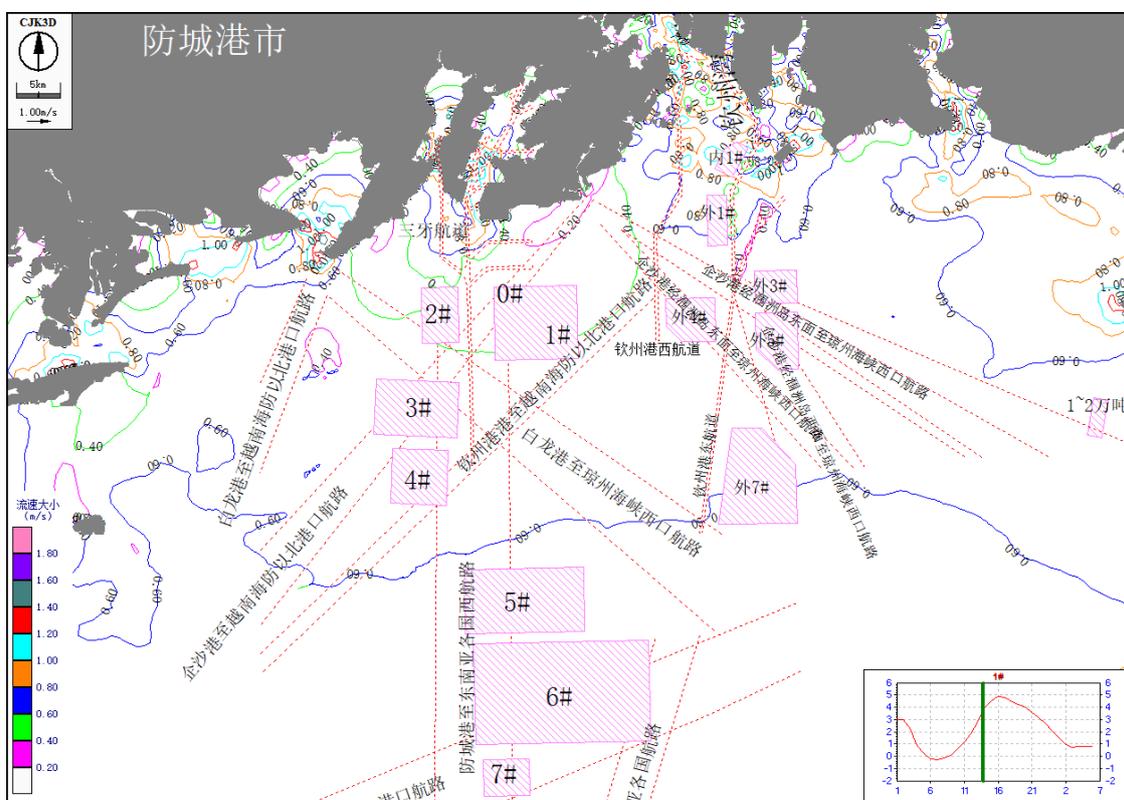


图 4.1.1-10 2021 年 8 月大潮涨急流速强度分布图

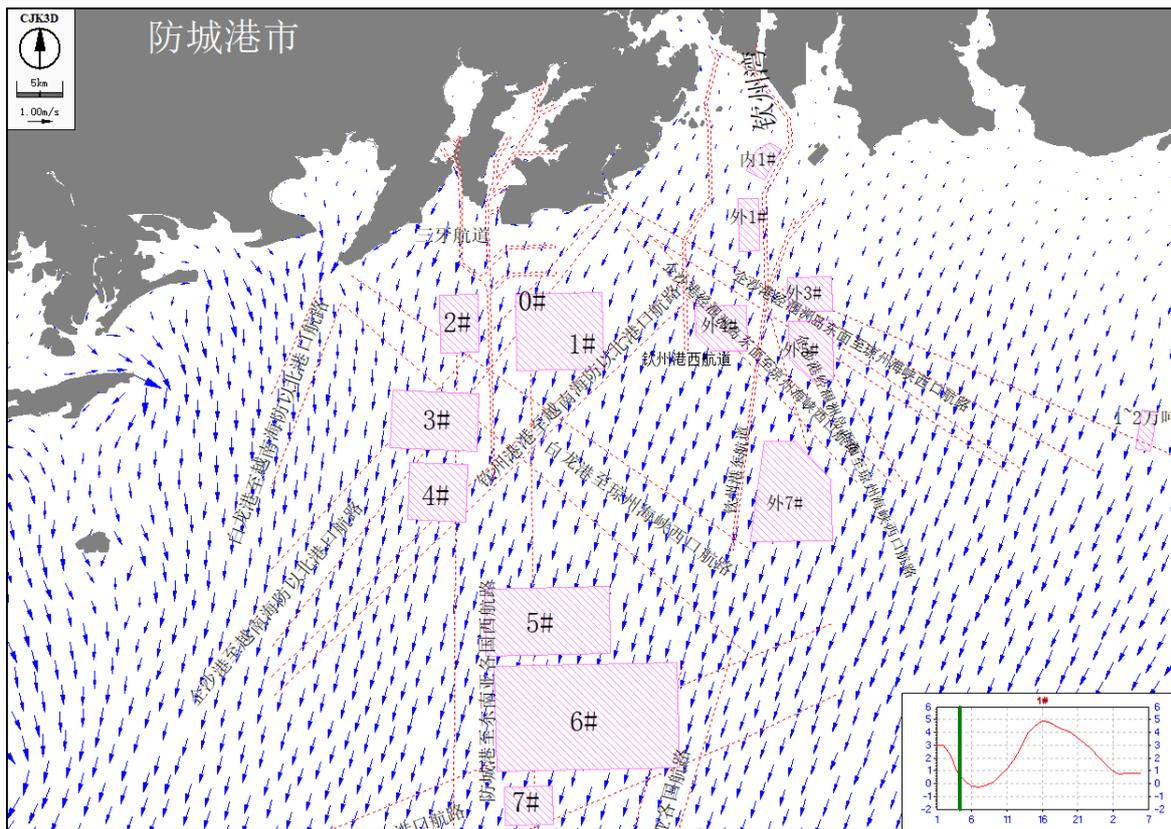


图 4.1.1-11 2021 年 8 月大潮落急流场图

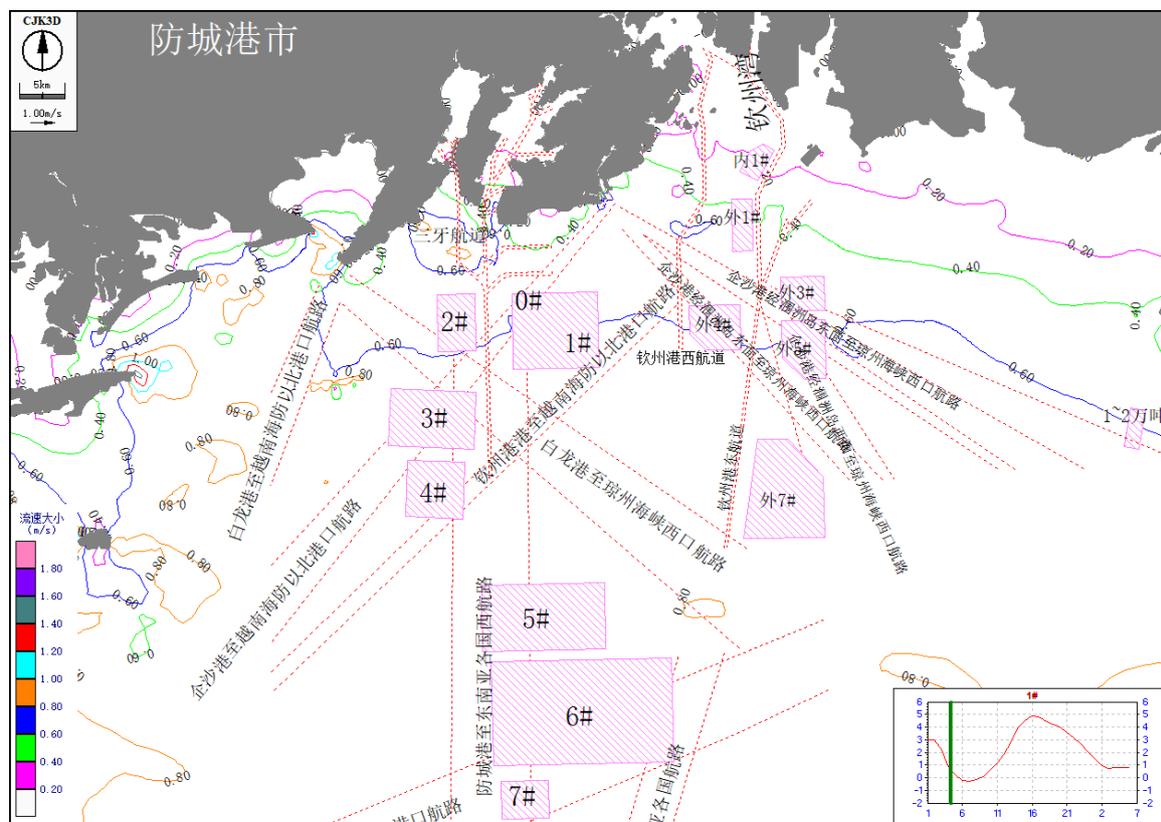


图 4.1.1-12 2021 年 8 月大潮落急流速强度分布图

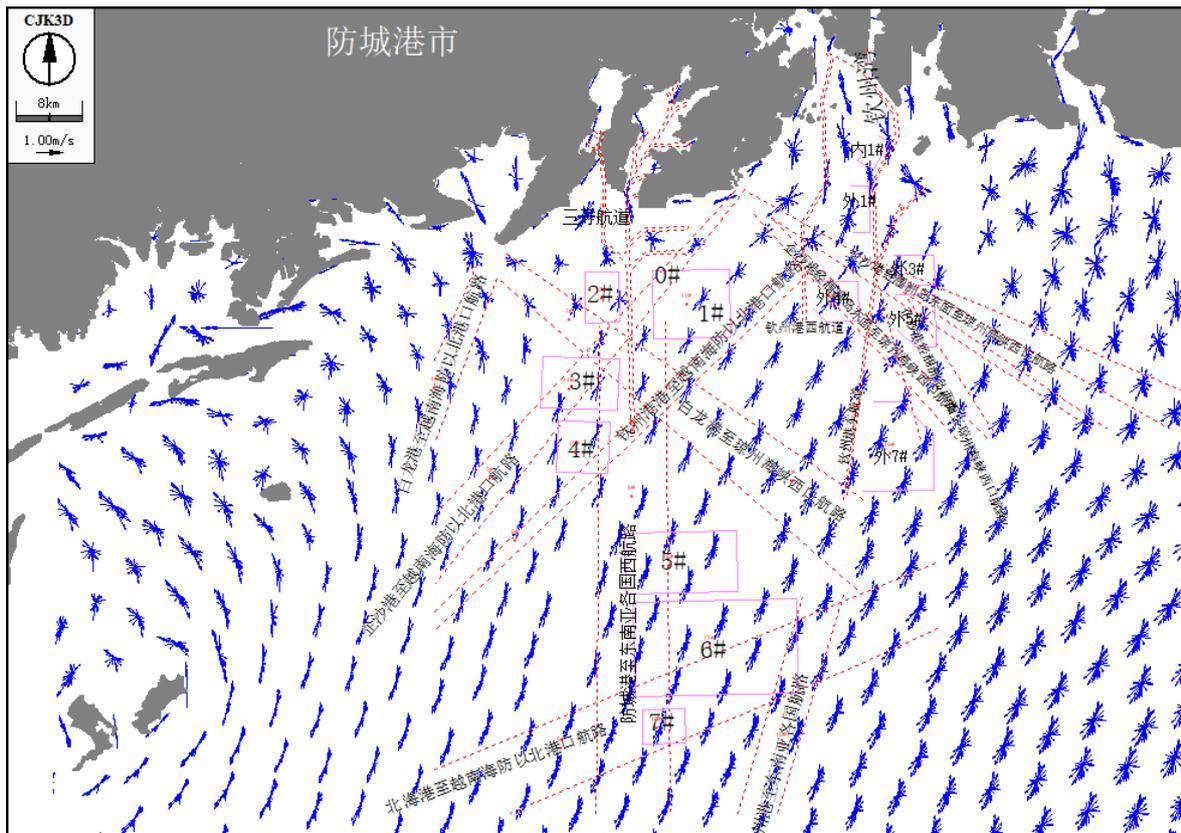


图 4.1.1-13 2021 年 8 月大潮流矢量分布图

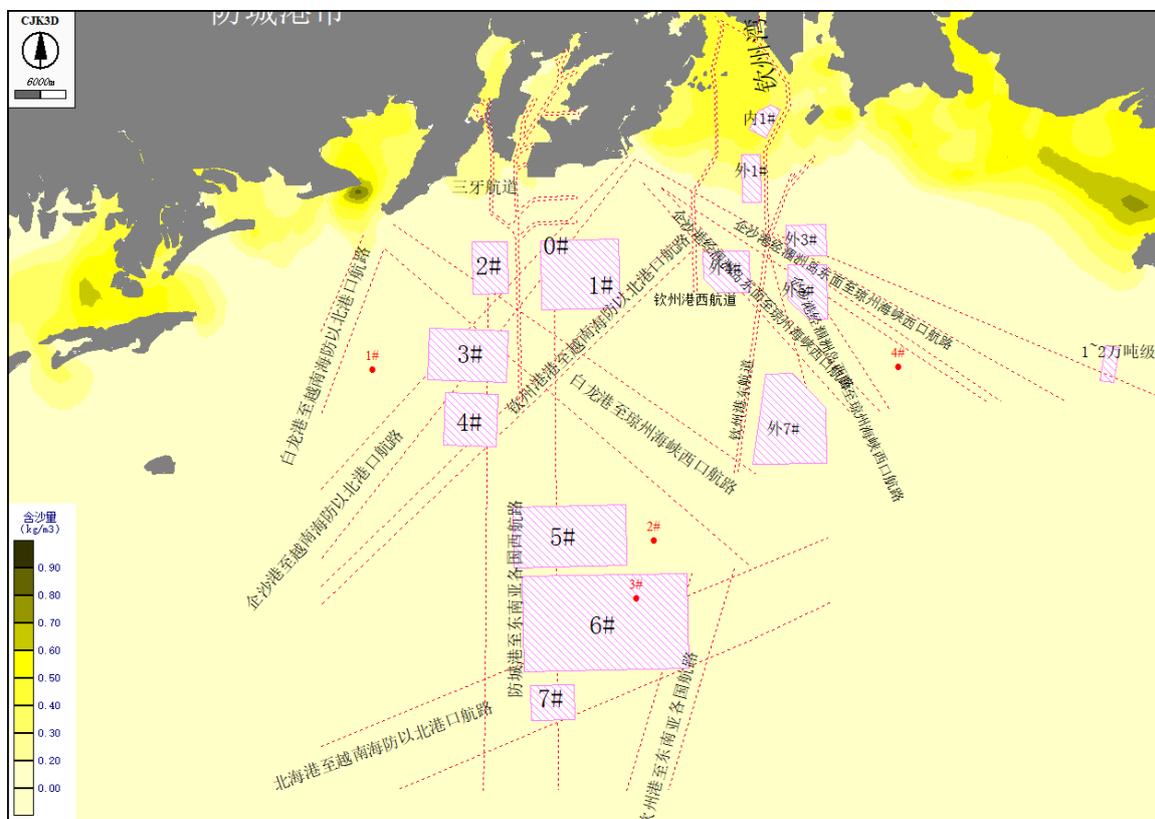


图 4.1.1-14 2021 年 8 月大潮平均含沙量分布图

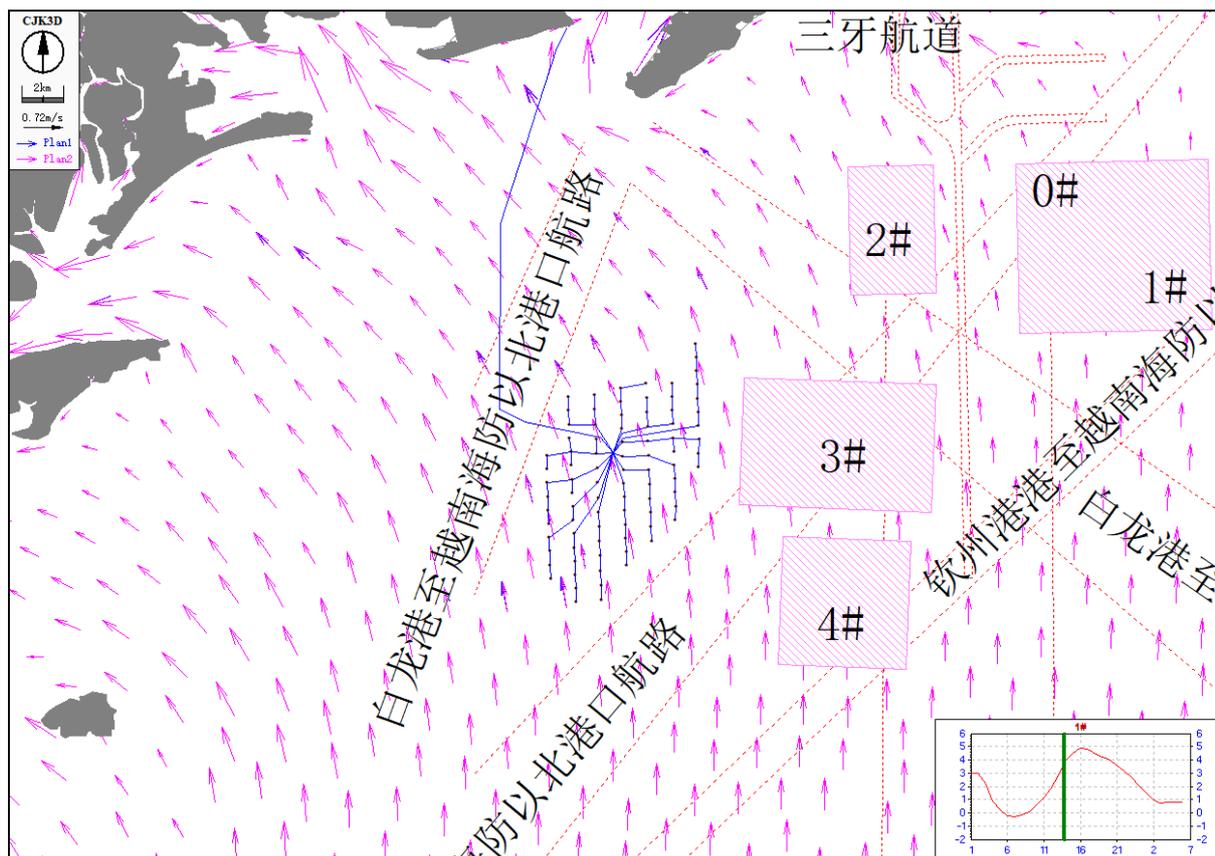
## 2、工程建设后对海域流场的影响

### (1) 流态对比

图 4.1.1-15 项目建设前后不同尺度的大潮涨急流态对比。从大范围流场对比看，项目的实施对流场影响不大，从风电桩基附近的流场看，由于风电桩基的阻水作用，潮流从桩基两侧运动，并在桩基的上下游区域形成缓流区，流速减弱明显。

图 4.1.1-16 项目建设前后不同尺度的大潮落急流态对比。从大范围流场对比看，项目的实施对落急流场影响不大，从风电桩基附近的流场看，由于风电桩基的阻水作用，潮流从桩基两侧运动，并在桩基的上下游区域形成缓流区，流速减弱明显，与涨急流速相反。

总体来说，风电桩基群的实施，对周边大范围海域流态影响不大，仅对桩基附近海域流态有一定的影响。



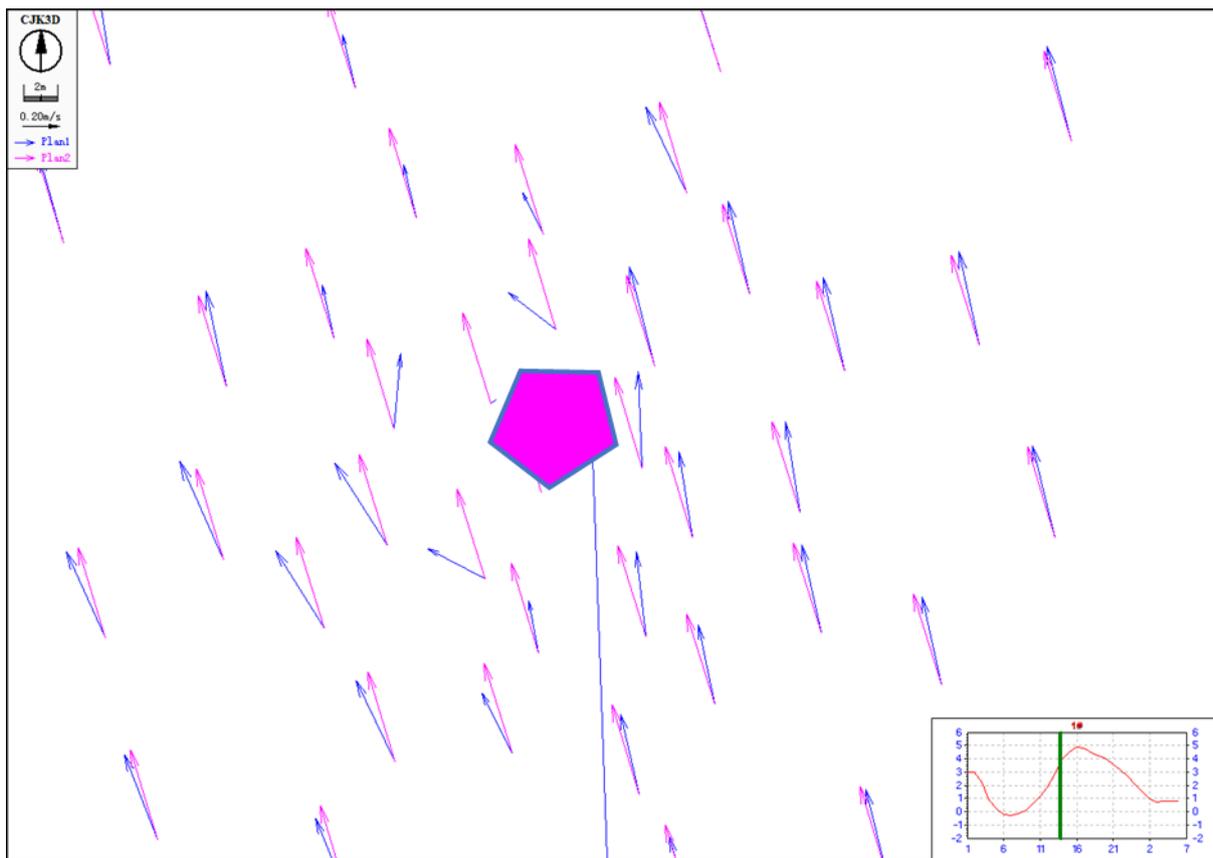
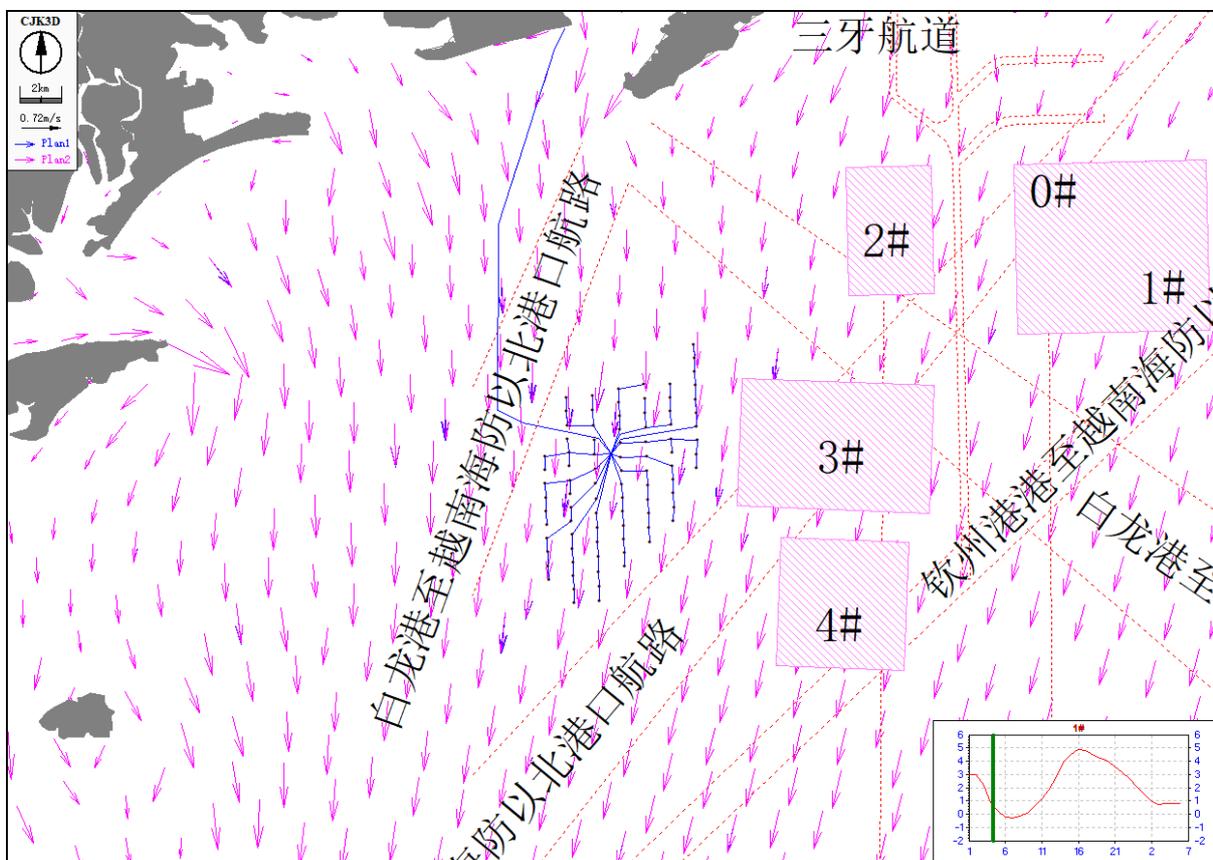


图 4.1.1-15 大潮涨急流态对比



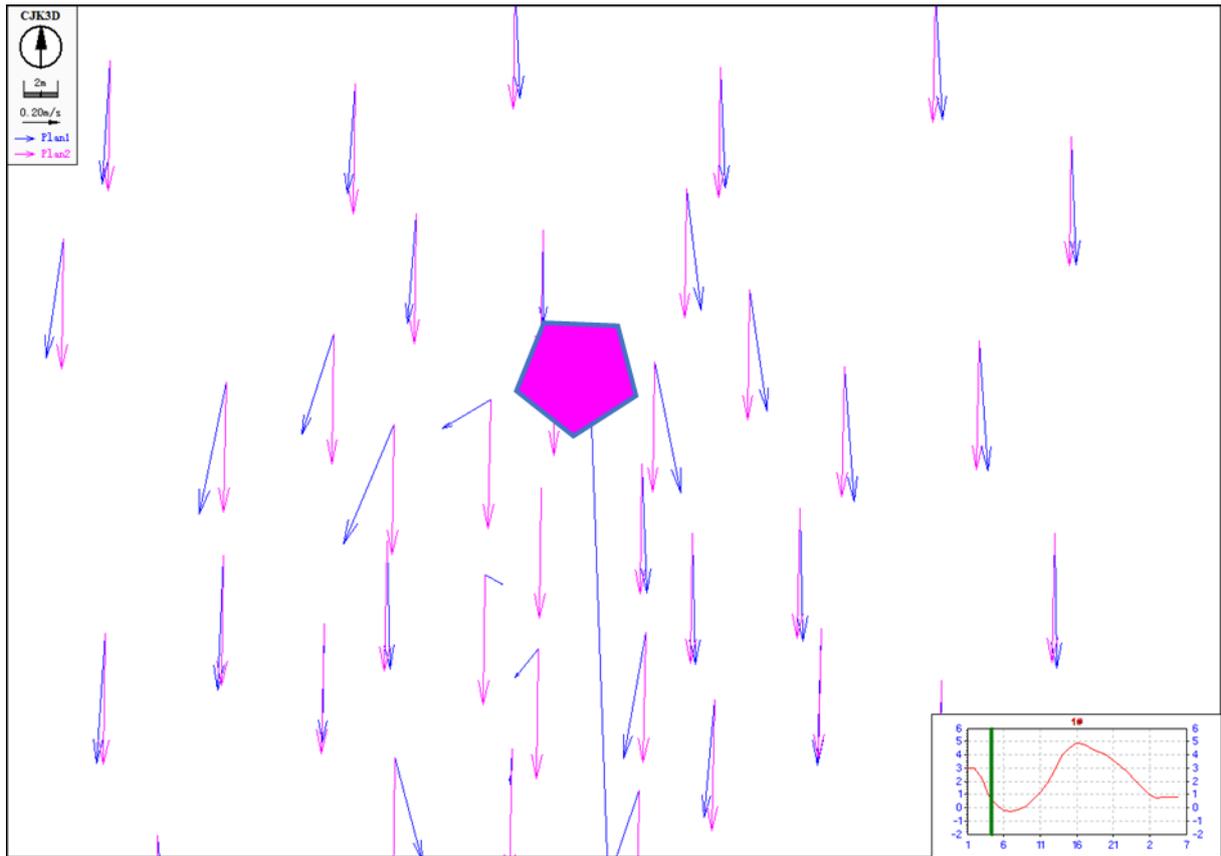


图 4.1.1-16 流态对比

## (2) 大范围流速变化

图 4.1.1-17 为大潮的涨急流速变化，图 4.1.1-18 为大潮的落急流速变化。落急时，项目实施后，风电桩基南侧流速整体呈减小趋势，越靠近桩基，流速减小幅度越大，局部水域最大流速减小幅度在  $0.20\text{m/s}$  之间，大部分水域流速减小幅度在  $0.02\text{-}0.05\text{m/s}$  之间，从平面分布看，风电群西南侧部分流速减小幅度和范围相对较大，对于单个桩基来说，南侧装机流速影响较大，范围约为  $500\text{m}$  左右，而北侧桩基影响范围在  $200\text{-}300\text{m}$  左右；涨急时，项目实施后，桩基的西南及南侧流速整体呈减小趋势，与落急相反，这与潮流的运动状态有关，风电群北侧的桩基影响范围明显较大，部分桩基的流速影响范围超过  $500\text{m}$ ，大部分水域落急流速减小在  $0.02\text{-}0.05\text{m/s}$  之间，个别区域流速减小程度超过  $0.20\text{m/s}$ 。

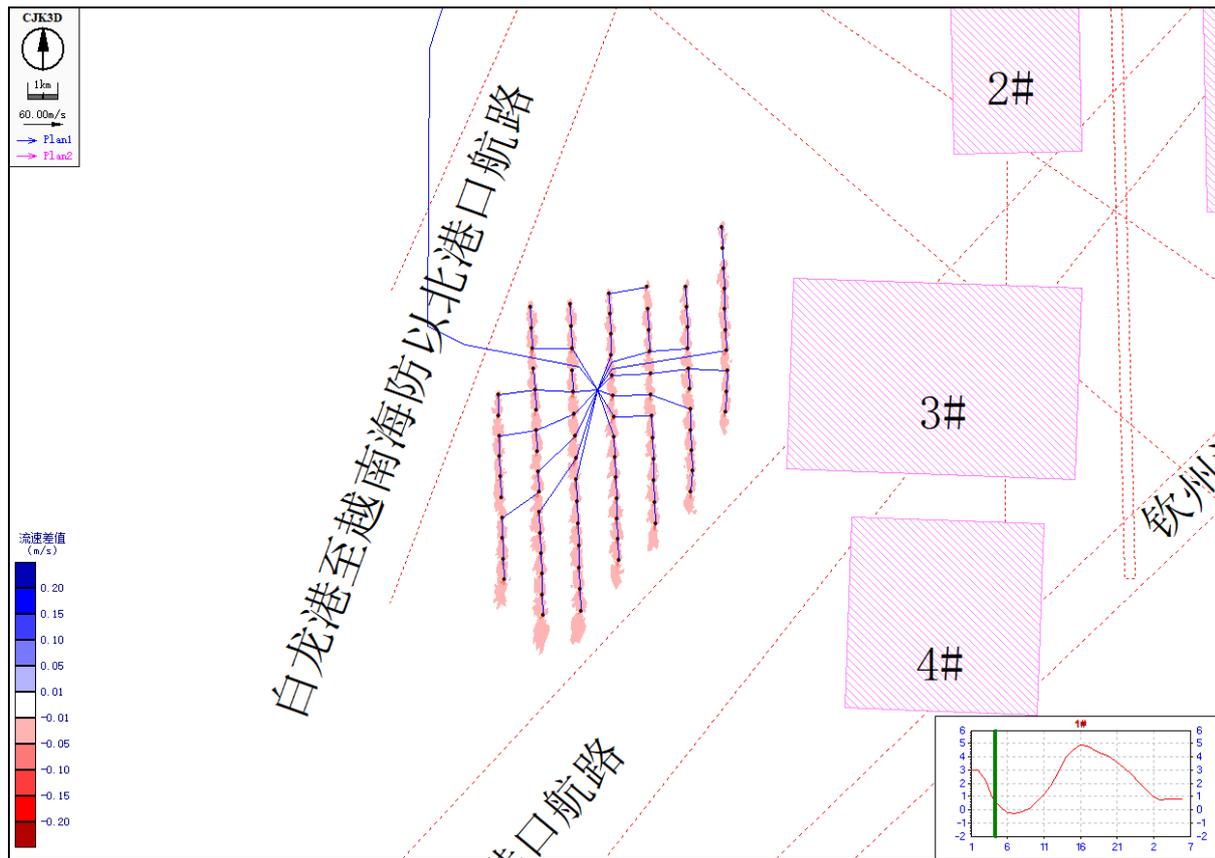


图 4.1.1-17 大潮落急流速变化

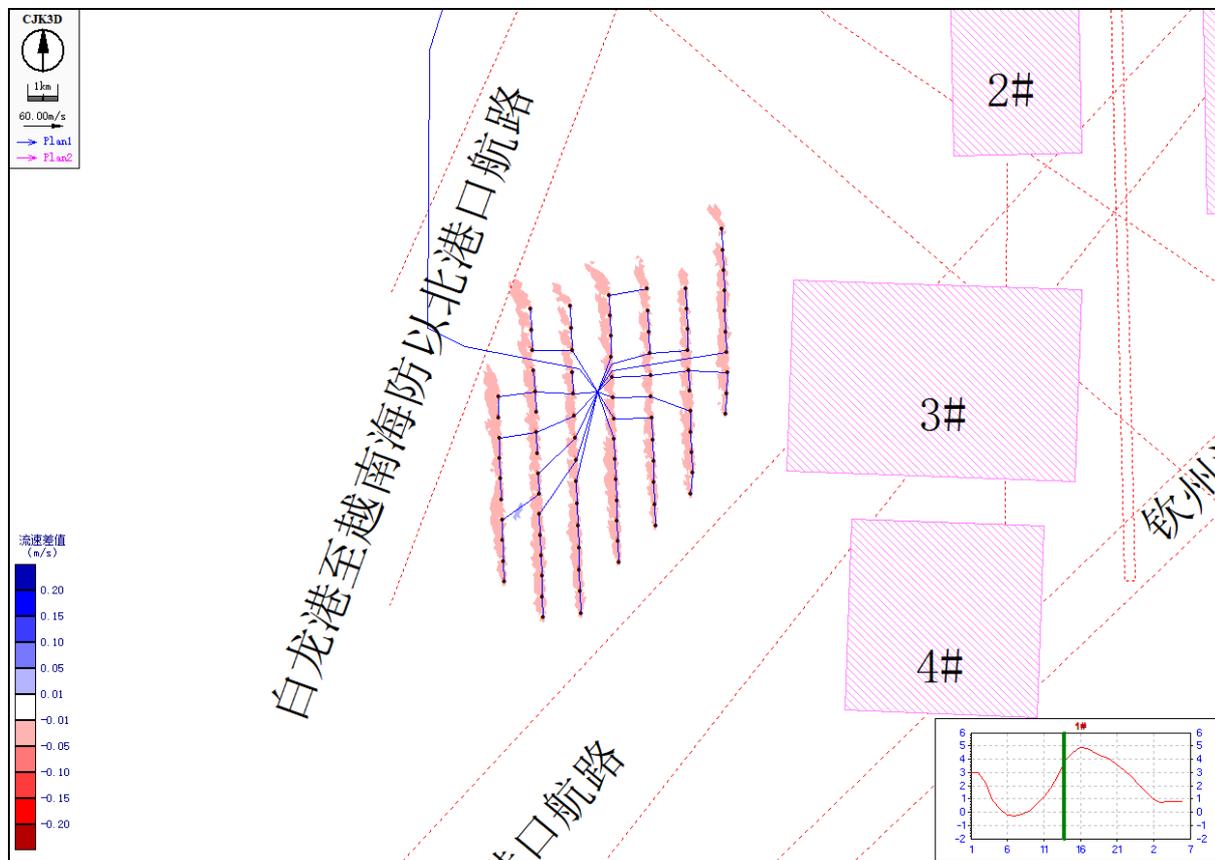


图 4.1.1-18 大潮涨急流速变化

### (3) 风电桩基附近流速变化

以风电群的 34#、38#、43#、47#桩基为代表,分析桩基附近的流速变化见图 4.1.1-19a。采样点沿潮流方向及垂直潮流方向 100m、200m 和 300m 设置,见图 4.1.1-19b。

表 4.1.1-2 统计了各采样点的流速变化。由表知,对于 34#风点桩基,顺水流涨急方向的采样点,涨落急,仅在落急时刻的靠近装机的 34-4#采样点流速减小了约 0.01m/s。顺水流落急方向的采样点,落落急时刻流速减小,越靠近装机流速减小越大,其中 34-10#采样点落急时刻流速减小约 0.04m/s。而在垂直与水流方向上的采样点涨落急流速变化均较小,流速变化幅度均在 0.01m/s 以内。对于 38#风点桩基,顺水流涨潮方向的采样点,涨落急流速均有所减小,越靠近装机流速减小幅度越大,其中落急时刻流速减小约 0.03m/s,涨急时刻流速减小在 0.02m/s 以内;顺水流落急方向的采样点,落落急时刻流速减小,越靠近装机流速减小越大,其中 38-10#采样点落急时刻流速减小约 0.07m/s。而在垂直与水流方向上的采样点涨落急流速变化均较小,流速变化幅度均在 0.01m/s 以内。对于 43#风点桩基,顺水流涨潮方向的采样点,涨落急流速均有所减小,越靠近装机流速减小幅度越大,其中落急时刻流速减小约 0.03m/s,涨急时刻流速减小在 0.02m/s 以内;顺水流落急方向的采样点,落落急时刻流速减小,越靠近装机流速减小越大,其中 43-10#采样点落急时刻流速减小约 0.09m/s。而在垂直与水流方向上的采样点涨落急流速变化均较小,流速变化幅度均在 0.01m/s 以内。对于 48#风点桩基,顺水流涨潮方向的采样点,涨落急流速均有所减小,越靠近装机流速减小幅度越大,其中落急时刻流速减小约 0.03m/s,涨急时刻流速减小在 0.02m/s 以内;顺水流落急方向的采样点,落落急时刻流速减小,越靠近装机流速减小越大,其中 47-10#采样点落急时刻流速减小约 0.08m/s。而在垂直与水流方向上的采样点涨落急流速变化均较小,流速变化幅度均在 0.01m/s 以内。

从流速采样点也可以明显看到,桩基顺水流方向流速变化幅度明显较大,而垂直水流方向的区域流速变化相对较小,北侧桩基附近采样点流速变化幅度相对较小,南侧相对较大。

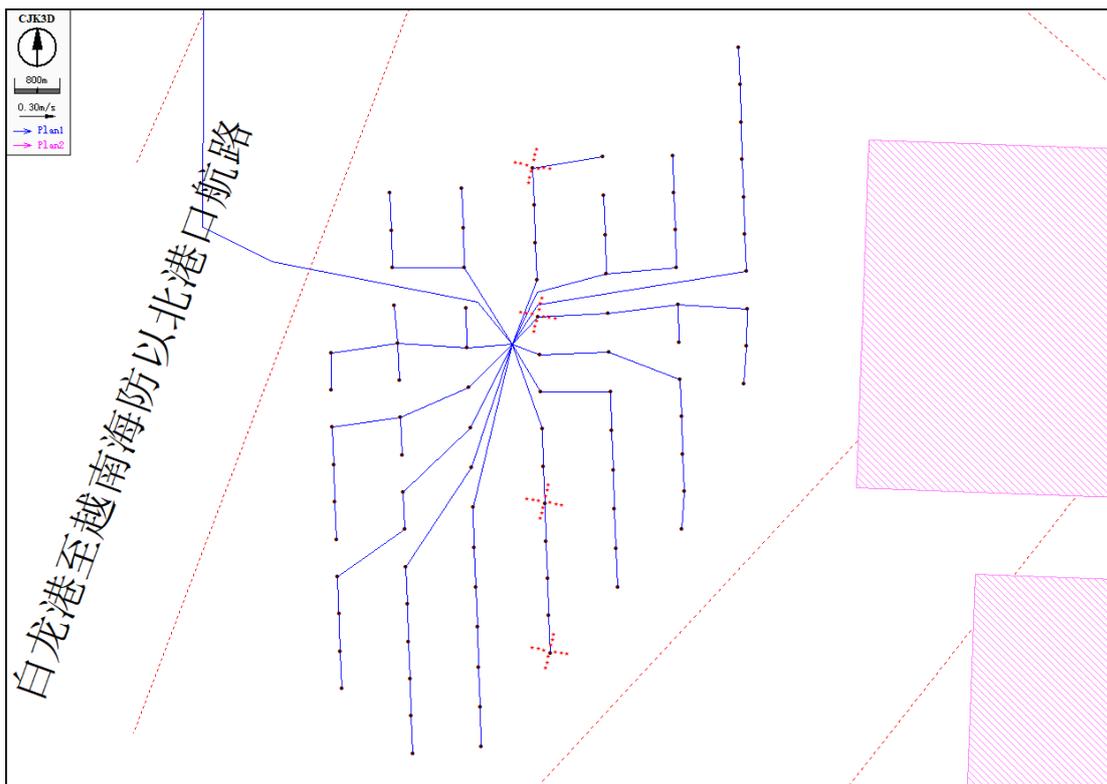


图 4.1.1-19a 风电桩基附近采样点布置

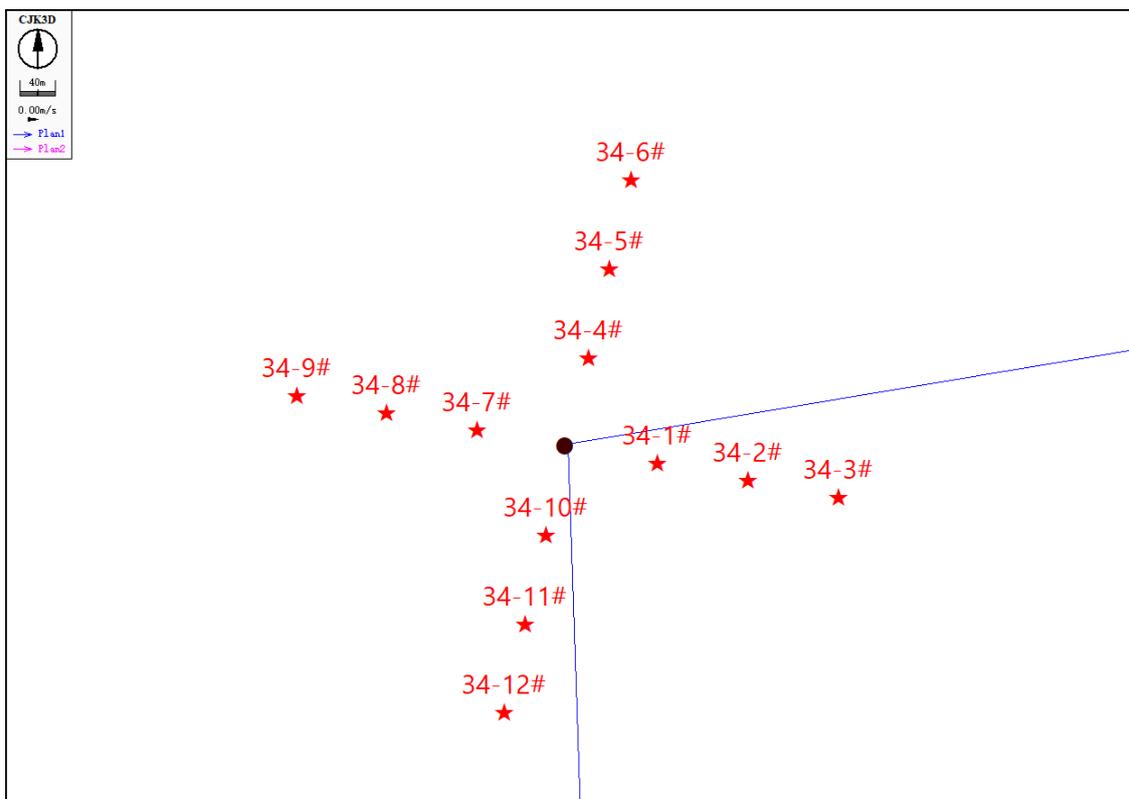


图 4.1.1-19b 采样点沿潮流方向及垂直潮流方向布置示意图（以 34#为例）

表 4.1.1-2 风电桩基附近代表点位流速变化

名称		落急时刻				涨急时刻				
		工程前	工程后	变幅	变率 (%)	工程前	工程后	变幅	变率 (%)	
34# 风机	沿 流 方 向	34-4#	0.47	0.46	0.01	2.15	-0.44	-0.44	0.00	0.47
		34-5#	0.45	0.44	0.00	0.89	-0.43	-0.44	0.00	0.45
		34-6#	0.44	0.44	0.00	0.76	-0.43	-0.43	0.00	0.44
		34-10#	0.51	0.47	0.04	7.22	-0.45	-0.44	-0.01	0.51
		34-11#	0.52	0.51	0.01	1.78	-0.45	-0.44	-0.01	0.52
		34-12#	0.54	0.53	0.01	1.82	-0.45	-0.44	-0.01	0.54
	垂 直 方 向	34-1#	0.47	0.48	0.00	-0.83	-0.44	-0.44	0.00	0.47
		34-2#	0.54	0.54	0.00	-0.34	-0.44	-0.44	0.00	0.54
		34-3#	0.56	0.56	0.00	-0.30	-0.44	-0.44	0.00	0.56
		34-7#	0.47	0.48	0.00	-1.02	-0.45	-0.45	0.00	0.47
		34-8#	0.50	0.50	0.00	-0.11	-0.46	-0.45	-0.01	0.50
		34-9#	0.54	0.54	0.00	0.13	-0.47	-0.46	-0.01	0.54
38# 风机	沿 流 方 向	38-4#	0.74	0.71	0.03	4.45	-0.57	-0.56	-0.02	0.74
		38-5#	0.75	0.72	0.03	3.42	-0.58	-0.57	-0.01	0.75
		38-6#	0.74	0.72	0.03	3.49	-0.58	-0.56	-0.01	0.74
		38-10#	0.73	0.66	0.07	9.49	-0.55	-0.54	-0.01	0.73
		38-11#	0.73	0.69	0.04	5.04	-0.56	-0.55	0.00	0.73
		38-12#	0.73	0.69	0.03	4.29	-0.55	-0.55	0.00	0.73
	垂 直 方 向	38-1#	0.73	0.73	0.01	0.85	-0.56	-0.56	0.00	0.73
		38-2#	0.73	0.73	0.00	-0.56	-0.56	-0.56	0.00	0.73
		38-3#	0.73	0.73	0.00	-0.61	-0.55	-0.55	0.00	0.73
		38-7#	0.74	0.73	0.01	1.52	-0.57	-0.57	0.00	0.74
		38-8#	0.73	0.72	0.01	1.23	-0.58	-0.58	0.00	0.73
		38-9#	0.73	0.73	0.00	0.65	-0.58	-0.58	0.00	0.73
43# 风机	沿 流 方 向	43-4#	0.65	0.62	0.03	4.36	-0.46	-0.44	-0.02	0.65
		43-5#	0.65	0.64	0.02	2.68	-0.46	-0.45	0.00	0.65
		43-6#	0.65	0.64	0.02	2.52	-0.46	-0.45	-0.01	0.65
		43-10#	0.66	0.57	0.09	13.45	-0.46	-0.44	-0.02	0.66
		43-11#	0.66	0.62	0.04	5.83	-0.46	-0.44	-0.02	0.66
		43-12#	0.66	0.64	0.02	2.99	-0.46	-0.44	-0.03	0.66
	垂 直 方 向	43-1#	0.65	0.65	0.00	0.07	-0.46	-0.45	-0.01	0.65
		43-2#	0.65	0.66	0.00	-0.77	-0.46	-0.46	0.00	0.65
		43-3#	0.65	0.66	0.00	-0.65	-0.46	-0.46	0.00	0.65
		43-7#	0.66	0.65	0.01	1.53	-0.46	-0.45	-0.01	0.66
		43-8#	0.66	0.65	0.00	0.71	-0.46	-0.45	-0.01	0.66
		43-9#	0.66	0.66	0.00	0.05	-0.46	-0.46	-0.01	0.66

47# 风机	沿 流 方 向	47-4#	0.71	0.68	0.03	3.98	-0.52	-0.50	-0.03	0.71
		47-5#	0.71	0.69	0.02	2.70	-0.52	-0.51	-0.01	0.71
		47-6#	0.71	0.69	0.02	2.70	-0.52	-0.50	-0.02	0.71
		47-10#	0.72	0.64	0.08	11.45	-0.53	-0.50	-0.03	0.72
		47-11#	0.72	0.68	0.03	4.70	-0.53	-0.50	-0.03	0.72
		47-12#	0.72	0.69	0.03	3.79	-0.53	-0.50	-0.03	0.72
	垂 直 方 向	47-1#	0.72	0.71	0.00	0.13	-0.53	-0.53	0.00	0.72
		47-2#	0.72	0.72	0.00	-0.68	-0.53	-0.53	0.01	0.72
		47-3#	0.72	0.72	0.00	-0.54	-0.53	-0.54	0.01	0.72
		47-7#	0.71	0.70	0.02	2.42	-0.52	-0.51	-0.01	0.71
		47-8#	0.71	0.70	0.01	1.84	-0.52	-0.50	-0.01	0.71
		47-9#	0.71	0.71	0.00	0.56	-0.51	-0.50	-0.01	0.71

### 3、对周边用海活动流速影响分析

工程海域分布有白龙港至越南海防以北港口航路、白龙港至琼州海峡西口航路、企沙港至越南海防以北港口航路、企沙港至越南海防以北港口航路、三牙航道、0#和 1# 锚地、2#锚地、3#锚地、4#锚地、5#锚地等，在各敏感区域设置采样点，分析风电群实施后的涨落急流速变化。采样点位置见图 4.1.1-20，流速变化见表 4.1.1-3，由表可见，项目实施后，海域周边航道、锚地水域的涨落急流速基本不变。

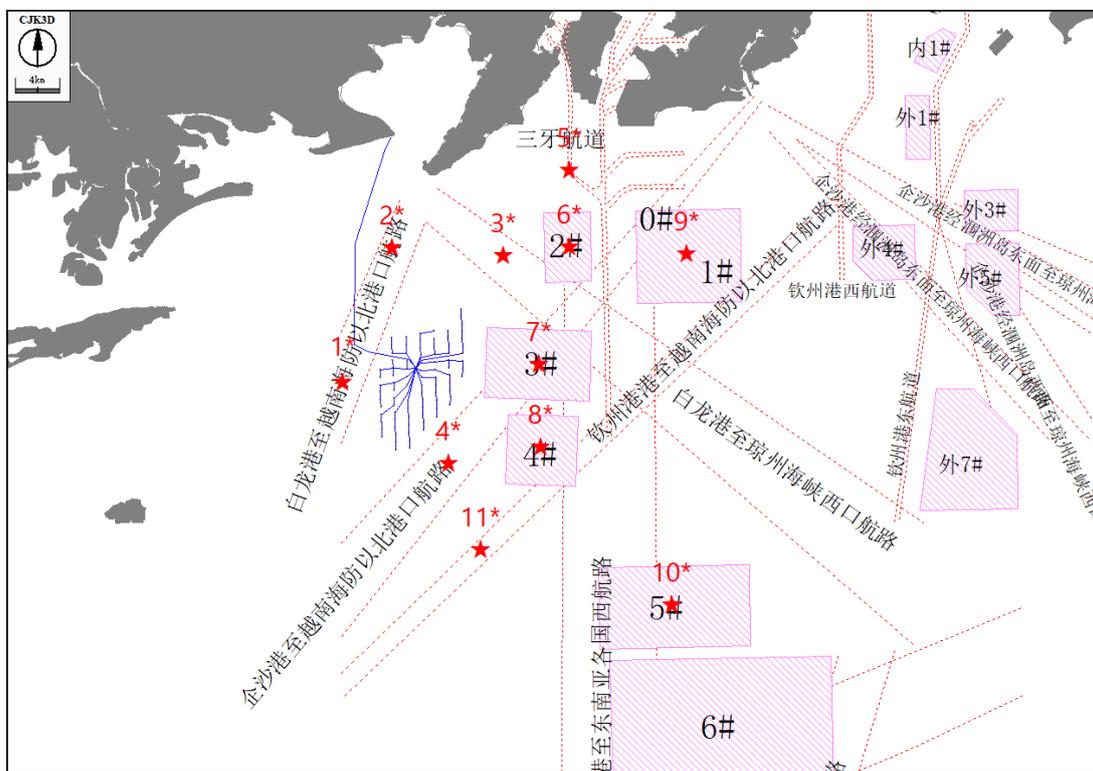


图 4.1.1-20 周边海域采样点位置示意图

表 4.1.1-3 周边用海项目采样点流速变化统计 (单位: m/s)

名称		涨急			落急		
		工程前	工程后	变幅	工程前	工程后	变幅
白龙港至越南海防以北港口航路	1#	-0.56	-0.56	0.00	0.79	0.79	0.00
	2#	-0.45	-0.45	0.00	0.61	0.61	0.00
白龙港至琼州海峡西口航路	3#	-0.41	-0.41	0.00	0.57	0.57	0.00
企沙港至越南海防以北港口航路	4#	-0.54	-0.54	0.00	0.71	0.71	0.00
三牙航道	5#	-0.56	-0.56	0.00	0.75	0.75	0.00
2#锚地	6#	-0.39	-0.39	0.00	0.56	0.56	0.00
3#锚地	7#	-0.47	-0.48	0.00	0.67	0.67	0.00
4#锚地	8#	-0.52	-0.52	0.00	0.69	0.69	0.00
0#和 1#锚地	9#	-0.37	-0.37	0.00	0.60	0.60	0.00
5#锚地	10#	-0.62	-0.62	0.00	0.74	0.74	0.00
企沙港至越南海防以北港口航路	11#	-0.58	-0.58	0.00	0.72	0.72	0.00

#### 4.1.1.4 小结

总体来说,风电桩基群的实施,对周边大范围海域流态影响不大,仅对桩基附近海域流态有一定的影响。落急时,工程建成后风电桩基南侧流速整体呈减小趋势,越靠近桩基,流速减小幅度越大,局部水域最大流速减小幅度在 0.20m/s 之间,大部分水域流速减小幅度在 0.02-0.05m/s 之间,从平面分布看,风电群西南侧部分流速减小幅度和范围相对较大,对于单个桩基来说,南侧装机流速影响较大,范围约为 500m 左右,而北侧桩基影响范围在 200-300m 左右;涨急时,工程建成后桩基的西南及南侧流速整体呈减小趋势,与落急相反,这与潮流的运动状态有关,风电群北侧的桩基影响范围明显较大,部分桩基的流速影响范围超过 500m,大部分水域落急流速减小在 0.02-0.05m/s 之间,个别区域流速减小程度超过 0.20m/s。工程建成后基本不会对海域周边航道、锚地水域的潮流场产生影响。

### 4.1.2 项目用海对地形地貌与冲淤环境影响分析

#### 4.1.2.1 大范围海域冲淤预测分析

##### 1、预测结果及分析

图 4.1.2-1 为项目实施 1 年后的海床地形变化。由图知,项目实施 1 年后,风电桩基顺水流方向水域总体呈淤积趋势,垂直水流方向部分区域略有冲刷趋势。从海床淤积平面形态看,风电群东北桩基附近海床冲淤变化范围和幅度相对较小,单个桩基顺水流

方向 100m 范围内海床呈淤积趋势，幅度基本在 0.1-0.3m 以内，风电群西南侧的桩基附近水域淤积幅度和范围相对较大，桩基之间的水域以及西南部分水域海床整体呈淤积趋势，淤积幅度大部分水域在 0.1m 以内，部分水域在 0.2m 左右。总体来说，风电群实施后，工程海域海床变化局限在桩基附近，对其他海域影响相对较小。

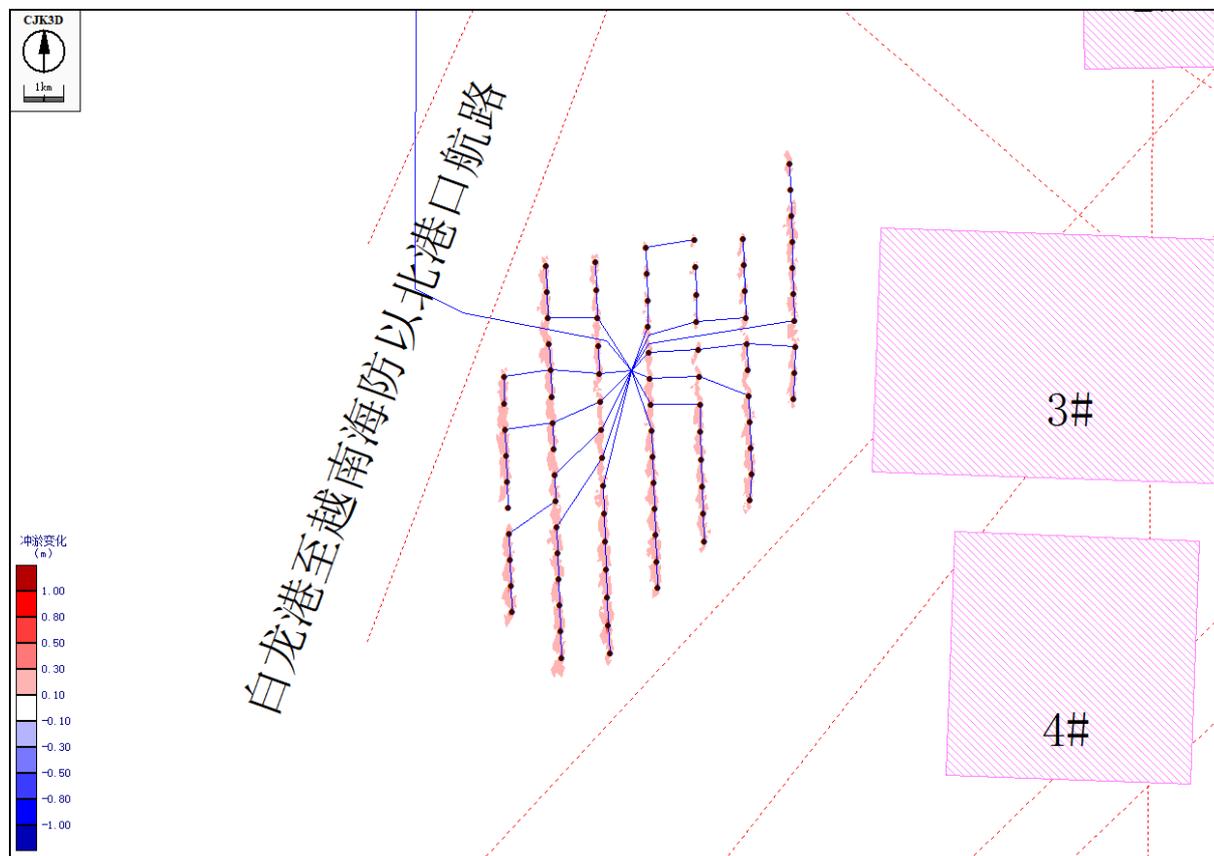


图 4.1.2-1 海床地形变化（项目建设 1 年后）

## 2、对周边用海活动冲淤影响分析

表 4.1.2-1 统计了工程附近航道、锚地水域采样点的海床冲淤变化，表中冲淤数值为工程引起的海床冲淤变化增量。由表知，项目实施后，对周边航道、锚地水域的海床冲淤基本没有影响。

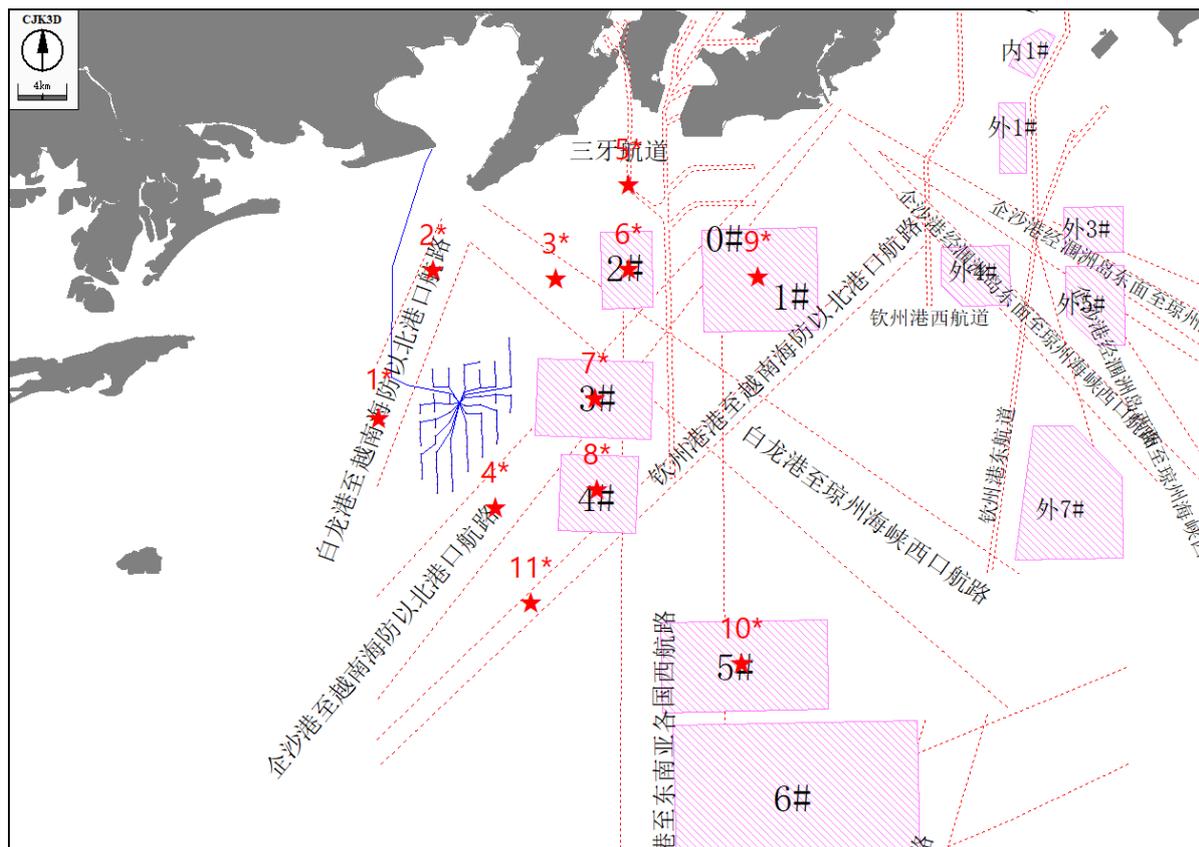


图 4.1.2-2 敏感水域采样点位置示意图

表 4.1.2-1 周边用海项目采样点海床冲淤变化统计 (单位: m)

用海项目名称	预测点位	5 年冲淤
白龙港至越南海防以北港口航路	1#	0
浙江华岙国家级海洋公园	2#	0
白龙港至琼州海峡西口航路	3#	0
企沙港至越南海防以北港口航路	4#	0
三牙航道	5#	0
2#锚地	6#	0
3#锚地	7#	0
4#锚地	8#	0
0#和 1#锚地	9#	0
5#锚地	10#	0
企沙港至越南海防以北港口航路	11#	0

#### 4.1.2.2 局部冲刷估算

##### 1、研究方法

海上风电工程建设后, 风机桩基将使其周围的水流条件发生改变, 对海床引起局部冲刷, 从而影响结构的稳定。桩基周围的水流结构是一种包括桩前向下水流、桩前冲击

波和桩周围水流场的漩涡水流体系。水流流经桩基时，桩前缘会出现绕桩内侧的马蹄形漩涡，桩两侧由于流速梯度形成立轴漩涡，流过桩基的尾流漩涡会在桩基后侧形成卡门涡街，且不断地从桩基两侧释放摆动的漩涡，每个漩涡的低压中心会牵动马蹄涡发生摆动，促进桩基迎流面周围床面泥沙的冲刷，形成局部冲刷坑。桩基附近的水流结构如图 4.1.2-3 所示。

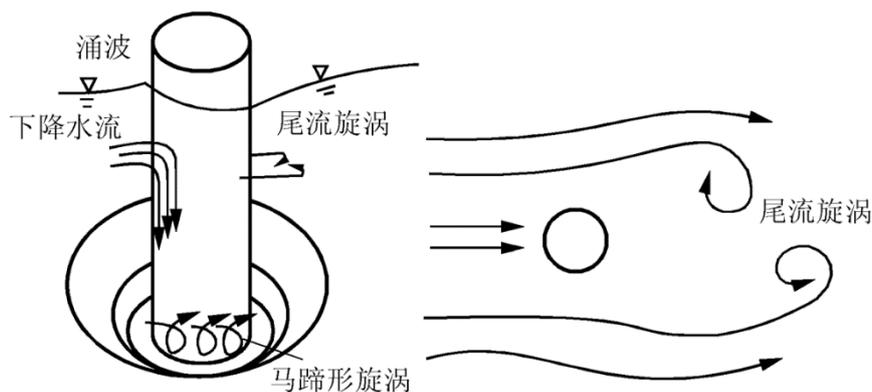


图 4.1.2-3 桩基附近的水流结构图

由于桩基复杂的边界条件及周围三维水流、泥沙运动测量的困难，难以从理论上建立桩基局部冲刷模型，现阶段多结合半经验半理论的方法对桩基周围的水流、床沙运动进行描述。根据海上风电场桩基的特点，结合该工程场区底质主要为粉砂的特性，现利用韩海骞公式进行桩基附近海床的局部冲刷计算。

$$\frac{h_{\max}}{h} = 17.4k_1k_2 \left(\frac{B}{h}\right)^{0.326} \left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{0.167} F_r^{0.628} \quad (4.2-1)$$

式 (4.2-1) 中： $h_{\max}$  为潮流作用下桥墩最大冲刷深度； $k_1$ ， $k_2$  为桩基平面、垂直布置系数，根据风电场桩基设计均取 1； $B$  为全潮最大水深下平均阻水宽度； $h$  为全潮最大水深； $d_{50}$  为河床泥沙中值粒径； $F_r$  为水流弗汝德数， $F_r = u/\sqrt{gh}$ ， $u$  为全潮最大流速， $g$  为重力加速度。

## 2、参数选取及估算结果

风机桩基直径按 10m 计算，局部冲刷计算结果见表 4.1.2-2，由表可知，单桩 10m 直径的桩基局部冲刷深度范围在 9.2~13.2m，由于局部冲刷计算尚无成熟、完善的数学模型，上述经验公式计算结果仅供设计参考。建议在工程建设期间及工程建成后，对风机基础局部冲刷情况加强监测。

表 4.1.2-2 局部冲刷计算结果 (单位: m)

序号	冲深	序号	冲深	序号	冲深	序号	冲深
1#	12.37	23#	11.25	45#	12.43	67#	12.21
2#	12.17	24#	11.33	46#	12.57	68#	12.09
3#	11.95	25#	11.94	47#	13.11	69#	12.25
4#	11.54	26#	11.95	48#	12.09	70#	12.53
5#	11.63	27#	12.51	49#	11.53	71#	12.17
6#	11.57	28#	12.04	50#	10.31	72#	12.84
7#	12.27	29#	12.09	51#	11.76	73#	12.26
8#	11.84	30#	12.24	52#	12.35	74#	12.50
9#	11.89	31#	12.32	53#	11.96	75#	12.56
10#	11.76	32#	12.55	54#	9.16	76#	12.47
11#	11.28	33#	13.18	55#	10.55	77#	12.71
12#	11.52	34#	10.39	56#	11.40	78#	13.02
13#	11.62	35#	10.81	57#	12.49	79#	12.60
14#	12.06	36#	11.38	58#	12.38	80#	12.19
15#	11.63	37#	11.58	59#	12.45	81#	12.50
16#	12.24	38#	11.96	60#	12.14	82#	12.25
17#	11.99	39#	12.10	61#	13.24	83#	12.22
18#	12.12	40#	12.40	62#	13.24	84#	12.32
19#	12.48	41#	12.17	63#	12.57	85#	12.39
20#	12.59	42#	12.26	64#	11.92	86#	12.38
21#	12.13	43#	12.46	65#	11.54	87#	12.24
22#	12.32	44#	12.50	66#	11.92	88#	13.15

### 4.1.2.3 小结

项目实施 1 年后, 风电桩基顺水流方向水域总体呈淤积趋势, 垂直水流方向部分区域略有冲刷趋势。从海床淤积平面形态看, 风电群东北桩基附近海床冲淤变化范围和幅度相对较小, 单个桩基顺水流方向 100m 范围内海床呈淤积趋势, 幅度基本在 0.1-0.3m 以内, 风电群西南侧的桩基附近水域淤积幅度和范围相对较大, 桩基之间的水域以及西南部分水域海床整体呈淤积趋势, 淤积幅度大部分水域在 0.1m 以内, 部分水域在 0.2m 左右。总体来说, 风电群实施后, 工程海域海床变化局限在桩基附近, 对其他海域影响相对较小。项目实施后对周边航道、锚地水域的海床冲淤基本没有影响。

## 4.1.3 项目用海对水质环境影响分析

### 4.1.3.1 施工悬浮物扩散影响分析

#### 1、预测模式

泥沙在海水中的沉降、迁移、扩散过程，由平面二维对流、扩散方程表示：

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (DK_x \frac{\partial S}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (DK_y \frac{\partial S}{\partial y}) - \alpha\omega_s S + F_s \quad (4.3-1)$$

式中：

为悬浮泥沙浓度；

为泥沙扩散系数；

为泥沙平均沉降速度；

代表泥沙沉降几率；

为泥沙源强度。

边界条件处理如下：

(1) 闭边界上法向物质通量为 0，即  $\frac{\partial S}{\partial n} = 0$ ；

(2) 开边界考虑悬浮浓度为 0，即  $S(x, y, t) = 0$ 。

## 2、源强概化

悬浮泥沙预测工况主要计算电缆敷设引起的悬浮泥沙。电缆敷设深度不小于 2.0m，开挖沟剖面为倒梯形，沟槽底宽 0.5~1m，沟上顶宽 1~1.5m，本次取开挖宽度 1m；本次计算横截面积取 2m<sup>2</sup>；正常铺设速度为 3m/min；泥沙容重取值为 750kg/m<sup>3</sup>；根据同类项目类比，起沙率取保守值 15%。本工程电缆敷设悬浮沙源强约为 2.0 程电缆敷设悬浮沙源强约为守值起的悬浮泥沙。电缆敷设。

针对电缆的敷设速度，对电缆所在的水域进行源强点概化，每 2km 设置一个源强点，由于电缆正常铺设速度为 3m/min，因此 2km 长度电缆铺设约需时间 12h，即源强释放时间为 12h，计算潮型考虑大潮和小潮两种工况。

## 3、预测结果

计算工况考虑大潮、小潮期，预测在不同潮期电缆敷设施工产生悬浮物的扩散范围和浓度，统计分析悬浮物的最大影响范围。

图 4.1.3-1~4.3-2 分别为小潮、大潮工况下悬浮物扩散范围图。悬浮物强度以及分布范围主要受地形以及潮流水动力条件控制。根据预测结果分析得到，小潮期电缆敷设悬浮物浓度大于 10mg/L 最大影响范围约 74.05km<sup>2</sup>，大于 20mg/L 最大影响范围约为 39.82km<sup>2</sup>，大于 50mg/L 最大影响范围约为 10.02km<sup>2</sup>，大于 100mg/L 最大影响范围约为

2.72km<sup>2</sup>；大潮期电缆敷设悬浮物浓度大于 10mg/L 最大影响范围约 82.28km<sup>2</sup>，大于 20mg/L 最大影响范围约为 43.37km<sup>2</sup>，大于 50mg/L 最大影响范围约为 14.15km<sup>2</sup>，大于 100mg/L 最大影响范围约为 5.84km<sup>2</sup>。

综合大小潮过程影响扩散，电缆敷设悬浮物浓度增量超 I、II 类海水水质 (>10mg/L) 的面积为 83.24km<sup>2</sup>；增量浓度 >20mg/L 的面积为 45.39km<sup>2</sup>；增量浓度 >50mg/L 的面积为 17.52km<sup>2</sup>、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 6.71km<sup>2</sup>。

根据风电工程施工规划，正常海缆敷设速度为 3m/min，敷设海缆完毕的区域，悬浮物浓度增量可以在较短时间内降低至 10 mg/L 以内。所以，海缆敷设引起悬浮物扩散是暂时的，随着海缆敷设施工结束，悬浮物对滨海附近海域的影响也将消失。

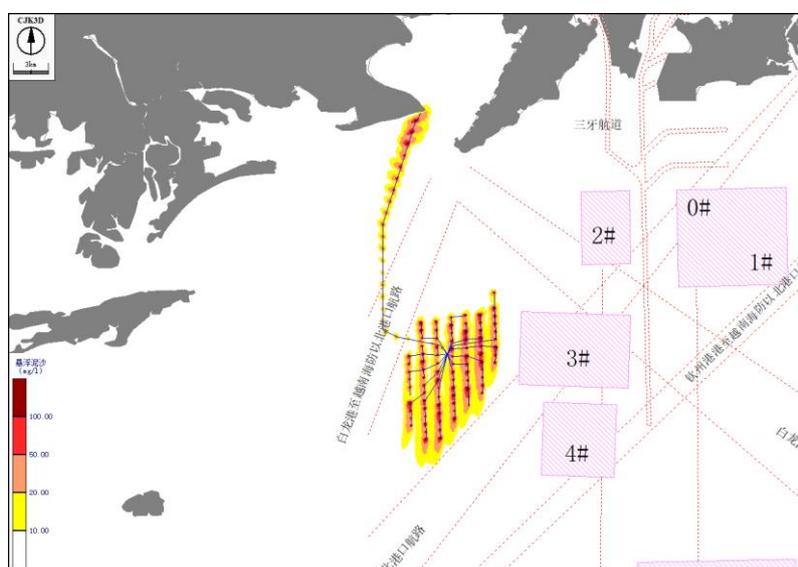


图 4.1.3-1 小潮期施工悬浮泥沙扩散影响范围图

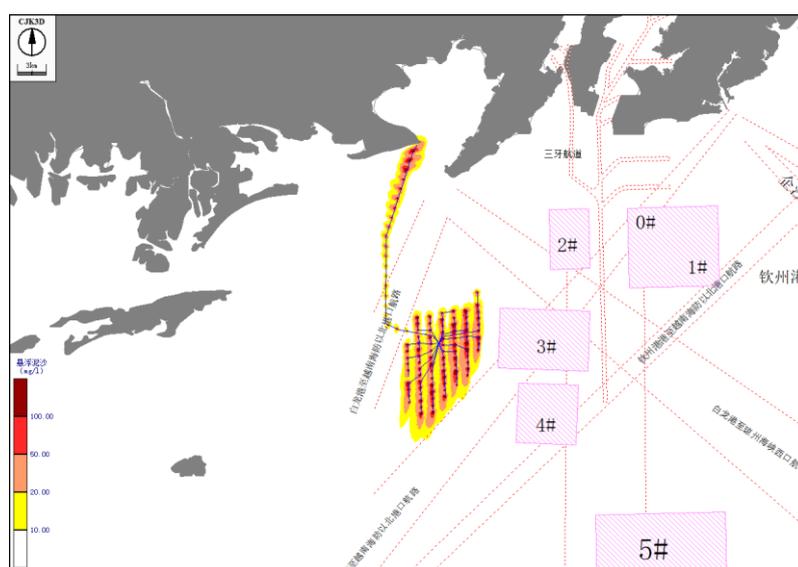


图 4.1.3-2 大潮期施工悬浮泥沙扩散影响范围图

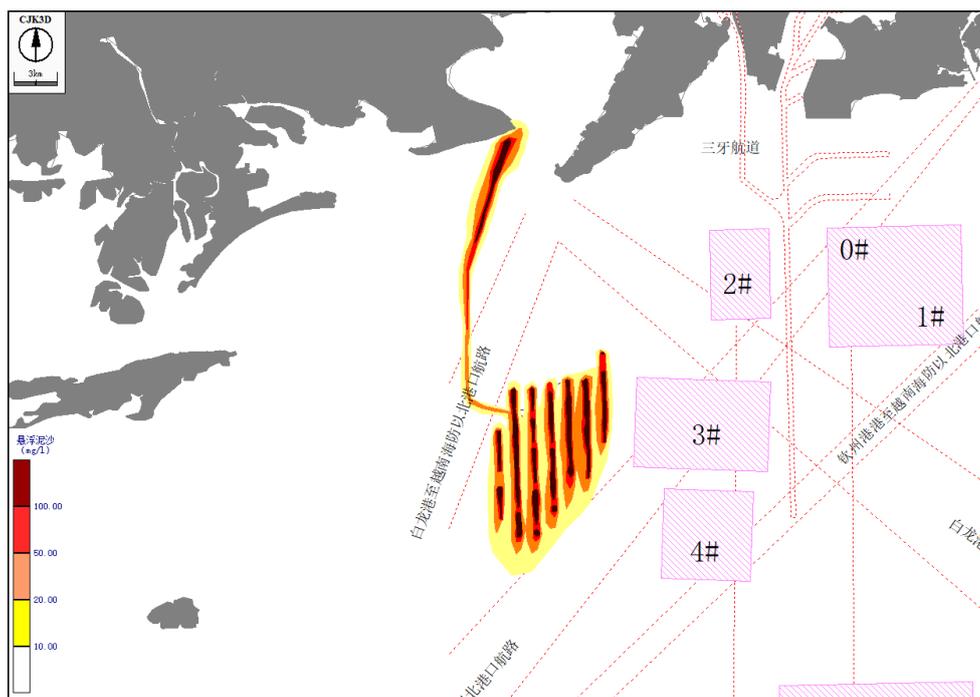


图 4.1.3-3 施工悬浮泥沙扩散最大包络线范围图

表 4.1.3-1 施工悬浮物叠加影响范围 (单位:  $\text{km}^2$ )

浓度范围	$\geq 10\text{mg/L}$	$\geq 20\text{mg/L}$	$\geq 50\text{mg/L}$	$\geq 100\text{mg/L}$
扩散面积				
小潮期扩散面积	74.05	39.82	10.02	2.72
大潮期扩散面积	82.28	43.37	14.15	5.84
最大包络线面积	83.24	45.39	15.06	6.71

#### 4.1.3.2 污废水影响分析

##### 1、施工期

本工程污废水主要为海上和陆上两部分，其中海上污废水主要包括海上施工人员生活污水、施工船舶机械油污水，陆上污废水主要包括陆上施工区施工人员生活污水、施工机修含油废水。

##### (1) 海域施工生活和生产废水

工程海上施工人员平均约 150 人，生活用水量按  $50\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$  计，污水量取用水量的 80%，则生活污水产生量为  $6.0\text{m}^3/\text{d}$ ，海上施工人员生活污水运至岸上后，经罐车运至陆上开关站施工区污水处理系统处理后回用。

船舶含油废水主要是施工机械油污水，其主要污染因子为石油类。根据《水运工程环境保护设计规范》(JTS 149-2018)，施工期船舶含油污水产生量平均  $71.43\text{t}/\text{d}$ ，高峰

约 114.95t/d，收集后委托有资质公司接收处理。

因此，施工期间，船舶含油废水收集后委托有资质公司接收处理，生活污水收集后运至岸上处理，不会对附近海域水质造成影响，也满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）中的要求。

## （2）陆域施工生活污水

工程施工补给码头施工人员平均约 4 人，生活用水量按 180L/人·d 计，污水量取用水量的 80%，则生活污水产生量 0.32m<sup>3</sup>/d。施工人员租用当地民房，生活污水纳入当地生活污水处理系统处理。

## 2、营运期

营运期间污废水主要为海上升压站检修或事故时产生的油污水和运行维护生活污水。风电机组等设备检修、定期更换润滑油机油，平均残废油产量为 2m<sup>3</sup>/a。风机日常维护涉及的油类物质委托有资质公司回收。海上升压站运行期正常情况下，无漏油及油污水产生，当主变压器、高压电抗器检修或发生事故时产生主变油泄漏，主要污染物为石油类。营运期每 6 个月进行一次风机维护，风机维护船舶每次维护产生的生活污水量约为 6m<sup>3</sup>，船舶生活污水收集后运至岸上，纳入陆上开关站生活污水处理系统处理，对周围环境影响很小。

### 4.1.3.3 牺牲阳极锌释放对海水水质影响

根据工程分析结果，A21-I 型 Al-Zn-In-Mg-Ti 合金牺牲阳极除金属锌外，还有铝、镉、镁、钛金属及杂质元素。其中镉、钛含量均低于 0.08%，含量很低，释放影响很小；由于海水 pH 一般大于 7，为碱性，铝、镁释放后大部分形成 Mg(OH)<sub>2</sub>、Al(OH)<sub>3</sub> 沉淀，而不是以离子形式存在于海水和沉积物中，在强酸性海水中才会以离子形式大量存在。所以，牺牲阳极主要考虑锌释放影响。

牺牲阳极附着在升压站桩基的钢管桩上，均浸泡在水中，根据王恕昌等的研究成果，海水中的无机锌以 Zn<sup>2+</sup>、Zn(OH)<sup>+</sup>及 Zn(CO<sub>3</sub>)的形式存在，近岸及河口区含量相对较高，其存在形式有颗粒态、不稳定态、弱结合态和结合态。较大的颗粒态锌会较快沉降下来。由于锌的形态转化、与沉积物、生物物的交换较为复杂，目前尚缺乏系统的研究。根据工程设计及工程分析，风机采用重力式基础，无牺牲阳极影响；海上升压站每年释放牺牲阳极量约 253kg（40 块），释放的锌约 17.697kg（锌限值 4%~7%，按 7%计）。释放的锌按 87%进入海水中随潮流扩散，则海上升压站释放速度约合 0.488mg/s。在工程海域最

小流速（最不利工况）扩散条件情况下，其扩散至不同距离时每年增加的锌浓度见表 4.1.3-3。

表 4.1.3-3 风电场区域单台海上升压站周边海水锌浓度每年增量一览表

距离(m)	海上升压站锌的年浓度增量( $\mu\text{g/L}$ )
10	0.0036
20	0.0018
30	0.0012
50	0.0007
100	0.0004
150	0.0002
200	0.0002

由表可知，在最不利工况条件下，海上升压站牺牲阳极释放的锌浓度增量 10m 处最大为  $0.0036\mu\text{g/L}$ ，相比于海水锌现状监测最大值  $20.53\mu\text{g/L}$  增量很小。由于风电场所在海域潮流动力较强，实际运行中牺牲阳极释放的锌将随海水输移扩散，且风电场寿命为 25 年，风电场退役后牺牲阳极影响随之消失。因此，牺牲阳极锌释放不会对区域海水水质造成显著影响。

#### 4.1.3.4 小结

施工期电缆铺设产生的悬浮泥沙扩散大于  $10\text{mg/L}$  最大包络线范围约  $83.24\text{km}^2$ ，大于  $20\text{mg/L}$  最大包络线范围约为  $45.39\text{km}^2$ ，大于  $50\text{mg/L}$  最大包络线范围约为  $15.06\text{km}^2$ ，大于  $100\text{mg/L}$  最大包络线范围约为  $6.71\text{km}^2$ 。海缆敷设引起悬浮物扩散是暂时的，随着海缆敷设施工结束，悬浮物对滨海附近海域的影响也将消失。

项目施工和运营期间产生的船舶含油废水、风机日常维护涉及的油类物质收集后委托有资质公司接收处理，船舶生活污水收集后运至岸上处理，不会对附近海域水质造成影响。

### 4.1.4 项目用海对海洋沉积物环境影响分析

工程建设对海洋沉积物的影响主要表现为风机基础施工、电缆铺设对表层沉积物的影响，施工悬浮物扩散和沉降对沉积物的影响，施工期产施工船舶产生的污废水及固体废弃物不妥善处置对沉积物的影响；运行期对沉积物的影响主要表现为少量牺牲阳极保护装置中锌释放对沉积物的影响。

#### 4.1.4.1 施工期影响

#### (1) 风机基础施工对沉积物的影响

风机基础施工时会对桩基附近海域沉积物环境产生扰动影响，使桩基附近表层沉积物以悬浮物形式扩散至周边，底层沉积物裸露出来，由于风机基础打桩施工对附近海域沉积物的影响范围和影响深度很有限，不会造成区域沉积物环境组分明显改变，对附近海域沉积物环境影响不大。

#### (2) 电缆铺设对沉积物的影响

海缆铺设施工时，开沟机作业会引起工程区附近海域沉积物环境的扰动，海缆埋设挖深约为 3.0m，海缆开挖会造成沉积物底部淤泥裸露，但仍属海域既有的沉积物；另一方面，海缆开挖出的表层淤泥在潮流作用下仍有部分覆盖回开挖沟内。因此，海缆铺设仅会使海缆附近海域沉积物造成一定的扰动，对该海域整体沉积物质量和沉积物环境不会产生恶化影响。

#### (3) 施工悬浮物扩散和沉降对沉积物环境的影响

施工悬浮物泥沙进入水体中，其中颗粒较大的悬浮物泥沙会直接沉降在工程区附近海域，形成新的表层沉积物环境，颗粒较小的悬浮物泥沙会随海流漂移扩散，并最终沉积在工程区周围的海底，将原有表层沉积物覆盖，引起局部海域表层沉积物环境的变化。由于施工期间产生悬浮泥沙来源于附近海域表层沉积物，一般情况下对工程周围沉积物的改变大多是物理性质的改变，对沉积物的化学性质改变不大，对工程区既有的沉积物环境产生的影响甚微，不会引起海域总体沉积物环境质量的变化。

#### (4) 施工船舶污废水及固废不妥善处置对沉积物的影响

施工期由于大型施工船舶在工程海域集结，施工船舶将产生生产废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶含油的机舱水和污染严重的压舱水、生活污水等废水未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油、钻渣等直接弃入海中，将直接污染区域海水水质，进而可能影响区域海域沉积物质量，造成沉积物理化性质改变，大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。工程施工船舶污废水及固废均经收集至岸上后统一处理，不排放至海域，对工程海域海洋沉积物影响很小。

#### 4.1.4.2 营运期影响

工程运营期间，根据 4.3.3 分析可知，风机采用重力式基础，无牺牲阳极影响；海上升压站每年释放牺牲阳极量约 253kg（40 块），释放的锌约 17.697kg（锌限值 4%~7%，按 7%计）。按 13%的锌量扩散后沉降进入距离海上升压站不同距离的沉积物中，按沉积

于表层 1m 内且单次距离计算时按距离之内均匀分布、距离之外不分布考虑，25 年沉积累积锌增量和叠加锌现状监测最大值后锌含量见表 4.1.4-1。

另外，根据可研报告，海上升压站基础仅在水下区和水位变动区布置牺牲阳极，泥下区采用防腐涂料保护措施，因此泥下区无牺牲阳极锌释放的影响。

表 4.1.4-1 距离海上升压站不同距离的沉积物锌含量最大值

距离海上升压站桩基距离	海上升压站	
	25 年累积锌增量	叠加锌现状监测最大值后
100m	$1.83 \times 10^{-6}$	$30.73 \times 10^{-6}$
200m	$4.57 \times 10^{-7}$	$29.36 \times 10^{-6}$
500m	$7.32 \times 10^{-7}$	$28.97 \times 10^{-6}$

由上表可知，在最不利工况条件下，100m 处单桩基础升压站的牺牲阳极释放的锌含量最大值为  $1.83 \times 10^{-7}$ ，与工程所在区域海洋沉积物锌含量最大值  $28.9 \times 10^{-6}$  叠加后，含量分别为  $30.73 \times 10^{-6}$ ，牺牲阳极释放的锌含量均低于海洋沉积物第一类标准值  $150.0 \times 10^{-6}$ 。由于风电场所在海域潮流动力较强，实际运行中牺牲阳极释放的锌将随海水输移扩散，且风电场寿命为 25 年，风电场退役后牺牲阳极影响随之消失。因此，不会对区域沉积物环境造成显著影响。

## 4.2 项目用海生态影响分析

### 4.2.1 施工期生态影响分析

在风电场建设过程中，海缆沟开挖、风机桩基基础施工是影响海洋生态的主要施工环节，桩基占海将直接对底栖生物造成损害。由于施工是逐步进行的，因此，当生物的栖息环境遭受外来影响时，一些活动能力较弱的贝类等生物将会在施工过程中而损失掉。

生态影响途径可以包括直接影响和间接影响两个方面。项目风电场桩基施工直接占用并减少海域，完全破坏底栖生物生境，掩埋底栖生物栖息地；海底电缆沿线内底栖生物和活动能力弱的生物遭受损失，但施工结束后可恢复。间接影响是由于施工使得局部水域悬浮物增加，对附近海域水生生物造成毒害等。项目施工活动直接、间接生态影响判定表见表 4.2.1-1。

表 4.2.1-1 施工活动直接、间接影响判定表

类型	影响区域	影响原因	恢复可能性	生物表现
----	------	------	-------	------

直接影响	风电场	桩基占海	不可恢复	减少海域，海洋生物全部消失
	海底电缆区	施工影响	可以恢复	原有底栖生物受破坏，可恢复
间接影响	施工悬浮物浓度影响区	透明度降低	可以恢复	海洋生物部分受损

#### 4.2.1.1 底栖生境破坏

风电机组桩基将对其用海范围内的海域产生永久性的占用，在该范围内的底栖生物将全部被掩埋、覆盖而灭亡，同时还将长期占用该海域底栖生物的生存空间，导致一定区域范围内底栖生物资源的永久损失，这种对底栖生境的破坏是不可逆的。

本项目海底电缆铺设等海上作业施工，改变了底栖生物原有的栖息环境，局部施工海域将彻底改变其底质环境，使得少量活动能力强的底栖动物逃往他处，而大部分底栖种类将被掩埋、覆盖，除少量能够存活外，绝大部分种类诸如贝类、多毛类、线虫类等都难以存活。

本项目风机基础 61 台采用重力式基础结构，重力式基础底部直径 31m，22 台采用嵌岩单桩基础，单桩基础底部直径 8m，83 台风机永久占用海域面积共计 4.7147hm<sup>2</sup>；海上升压站桩基础采用直径 2.4m 的钢管桩，共布置 4 根钢管桩，升压站基础永久占用海域面积 0.0018hm<sup>2</sup>。工程永久设施合计影响底栖生物面积为 0.6189hm<sup>2</sup>，在该范围内的底栖生态环境全部被破坏，栖息于这一范围内的底栖生物将全部丧失。

#### 4.2.1.2 悬浮泥沙扩散对生态影响

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由沿线较大范围海域的含沙量暂时上升，进而降低海洋中浮游植物生产力，对海洋生态系统带来影响；同时悬浮泥沙的扩散影响会对鱼卵、仔稚鱼的生境产生影响，进而对鱼卵仔鱼资源量造成影响。

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，在钢管柱施打会引起周围 100m 半径范围内悬浮泥沙增加 (>10mg/L)，则桩基础悬浮泥沙扩散影响范围约为 3.14hm<sup>2</sup>；100 台风机和 1 台海上升压站将造成累计约 80.13hm<sup>2</sup> 的悬浮扩散影响。根据 4.1.3.1 节分析可知，电缆敷设产生的悬浮物浓度大于 10mg/L 最大包络线范围约 83.24km<sup>2</sup>。

##### (1) 对浮游植物的影响分析

项目施工过程中造成悬浮物浓度增加，水体透光性减弱，从而使溶解氧降低，对水

生生物产生诸多的负面影响。最直接的影响是削弱了水体的真光层厚度，对浮游植物的光合作用产生不利影响，进而妨碍浮游植物的细胞分裂和生长，降低单位水体中浮游植物数量，导致局部水域内初级生产力水平降低，使浮游植物生物量降低。

一般而言，悬浮物的浓度增加在 10mg/L 以下时，水体中的浮游植物不会受到影响，而当悬浮物浓度增加 50mg/L 以上时，浮游植物会受到较大的影响，特别是中心区域，悬浮物含量极高，海水透光性极差，浮游植物基本上无法生存。当悬浮物的浓度增加量在 10~50mg/L 时，浮游植物将会受到轻微的影响。

在海洋食物链中，除了初级生产者—浮游藻类以外，其他营养级上的生物既是消费者，也是上一营养级生物的饵料。因此，浮游植物生物量的减少，会使以浮游植物为饵料的浮游动物在单位水体中拥有的生物量也相应地减少，致使这些浮游生物为食的一些鱼类等由于饵料的贫乏而导致资源量下降。而且，以捕食鱼类为生的一些高级消费者，也会由于低营养级生物数量的减少而难以觅食。可见，水体中悬浮物质含量的增加，对整个海洋生态食物链的影响是多环节的。

### (2) 对浮游动物的影响分析

悬浮物对浮游动物的影响与悬浮物的粒径、浓度等有关。由于悬浮颗粒物的浓度增加，造成以滤食性为主的浮游动物摄入粒径合适的泥沙，从而使浮游动物因内部系统紊乱，因饥饿而死亡。某些桡足类动物，具有依据光线强弱变化而进行昼夜垂直迁移的习性，水体的透明度降低，会引起这些动物生活习性的混乱，破坏其生理功能。具体影响反映在浮游动物的生长率、存活率、摄食率、密度、生产量及群落结构等方面。浮游动物受影响程度和范围与浮游植物的相似。

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

### (3) 对游泳生物的影响分析

鱼类等水生生物都比较容易适应水环境的缓慢变化，但对骤变的环境，它们反应则是敏感的。施工作业引起悬浮物质含量变化，并由此造成水体混浊度的变化，其过程呈跳跃式和脉冲式，这必然引起鱼类等其他游泳生物行动的改变，鱼类将避开这一点源混浊区，产生“驱散效应”。然而，这种效应会对渔业资源产生两方面的影响：一是由于产

卵场环境发生骤变，在鱼类产卵季节，从外海洄游到该区域产卵的群体，因受到干扰而改变其正常的洄游路线；二是在该区域栖息、生长的一些种类，也会改变其分布和洄游规律。

悬浮物对鱼类的影响主要表现为直接杀死鱼类个体；降低其生长率及其对疾病的抵抗力；干扰其产卵、降低孵化率和仔鱼成活率；改变其洄游习性；降低其饵料生物的密度；降低其捕食效率等。但悬浮泥沙对渔业的影响不是永久性的，而是可逆的，会随着施工结束而逐渐恢复。

悬浮物含量增高，对游泳生物的分布也有一定影响。室内生态实验表明，悬浮物含量为 300mg/L 水平，而且每天做短时间的搅拌，鱼类仅能存活 3~4 周，悬浮物含量在 200mg/L 以下水平的短期影响，鱼类不会直接致死。工程不会产生的悬浮物含量高浓度区，不会造成成体鱼类死亡，且鱼、虾、蟹等游泳能力较强的海洋生物将主动逃避，游泳生物的回避效应使得该海域的生物量有所下降，从而影响使该区域内的生物群落的种类组成和数量分布。至于经济鱼类等，由于移动性较强，更不至于造成明显影响。随着施工结束，游泳生物的种类和数量会逐渐得到恢复。

根据预测，超 I、II 类海水水质 ( $>10\text{mg/L}$ ) 的面积为  $83.24\text{km}^2$ ；增量浓度  $>20\text{mg/L}$  的面积为  $45.39\text{km}^2$ ；增量浓度  $>50\text{mg/L}$  的面积为  $17.52\text{km}^2$ 、超 III 类 ( $>100\text{mg/L}$ ) 的面积为  $6.71\text{km}^2$ ，该范围内的浮游生物及游泳生物将受到影响。

施工结束运营一段时间后，浮游生物和游泳生物种群数量、群落结构会逐步恢复，生物量也会趋于增加，因此在项目运营期内一定时间对部分水域采取增殖和禁捕等保护性措施，尽快恢复对渔业生产的不利影响。

#### (4) 对底栖生物的影响

施工悬浮物的增加将降低海水透明度，透明度降低会使底栖生物正常的生理过程受到影响，一些敏感种会受损、甚至消失，由于悬浮物影响程度及范围均较小，且施工停止后，可以恢复到接近正常水平。

### 4.2.2 运营期生态影响分析

本项目运营期产生的污染物主要有风机、海上升压站检修产生的少量变压器油污水和固体废物，本工程运营中的油污水如果直接排海，对该海域的海洋水质造成严重污染，危害海洋生态环境。

石油类污染是目前海洋环境污染中的几大问题之一，它对海洋水生生物的影响是多

方面的：①石油类对浮游植物的致死浓度范围为 0.1~10mg/L，对浮游动物的急性中毒致死浓度范围为 0.1~15mg/L，致死的主要原因为浮游植物会因细胞溶化、藻体分解而死亡，浮游动物也会在石油的毒性和缺氧条件下大量死亡；②石油块（粒）覆盖生物体表后会影响动物的呼吸和进水系统；③石油随悬浮物沉降在潮间带和浅水区后，会使底栖生物的幼虫与孢子失去合适的固着基质，甚至发生严重的化学毒性效应。

在一定的海域范围内过量的排放含油污水或直接排放未经处理的高浓度含油污水，将会给海洋生态环境造成极大的危害。尤其是石油组分中的芳香烃类会对海洋生物构成威胁和危害，其特点是不论高、低沸点的组份对一切生物均有毒性。实验证明石油烃会破坏浮游植物细胞，油膜会阻碍海—气交换，影响光合作用。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为 0.1~10mg/L，一般约为 1.0mg/L。对于更加敏感的种类，石油浓度低于 0.1mg/L 时，同样会影响细胞的分裂与生长速率。即使是达标排海的含油污水，在大量集中排放时仍然会对排放口周边水体中的浮游生物构成影响。

浮游动物的石油急性中毒致死浓度一般在 0.1~15mg/L 之间，当水体中的油含量为 0.05mg/L，小型拟哲水蚤 *Paracalanussp.* 的半致死时间为 4d。一般情况下，浮游动物的幼体对油污染的敏感程度要大于成体。

底栖生物的种类和体积不同对石油浓度的适应程度有差异，多数底栖生物的石油烃急性中毒致死浓度范围约在 2.0~15mg/L 之间（幼体的致死浓度范围更接近其下限）。例如：0.01mg/L 的石油可以使牡蛎产生明显的油味，甚至可以使耐油污性很差的海胆、海盘车等底栖生物死亡。当海水中石油浓度在 0.01~0.1mg/L 时，对藤壶幼体和蟹幼体就有明显的毒效。

长期处于低浓度含油废水中可影响鱼类的摄食和繁殖，使渔获物产生油臭味而影响其食用价值。据相关报导，20 号燃料油对黑鲷的 20 天生长试验结果，其最低影响浓度和无影响浓度分别为 0.096mg/L 和 0.032mg/L。例如 20 号燃料油的浓度为 0.004mg/L 时，5d 就能使对虾产生油味，14d 使文蛤产生异味。

风电场在日常检修中少量的油污水和固废通过收集带回陆上处理，升压站变压器已设计了事故油池，主变事故排油进入事故池，正常工况下基本不会对海洋环境产生影响。

## 4.2.3 噪声及电磁辐射对海洋生态的影响分析

### 4.2.3.1 水下噪声对海洋生物的影响

## 1、打桩施工水下噪声预测结果

根据工程分析的情况，本项目风机、海上升压站打桩源强分别以 236dB、216dB 来计算，估算其打桩施工时的影响范围。通过公式可算出在保护阈值为 190 dB（对鳍足目，如斑海豹，听力保护范围）、180 dB（对鲸豚目，如江豚，听力保护范围）和 160dB（对海洋哺乳动物行为干扰）时，单个风机、海上升压站桩基在撞击式施工时所对应的影响距离。预测结果见表 4.2.3-1。由于施工打桩作业中产生的水下噪声具有不连续，持续时间较短，无多声源叠加等特点。风机单桩基础打桩施工确立在距离桩基最大 2849m 范围内为警告区域（对海洋哺乳动物行为产生干扰）。当海域中有石首鱼科大黄鱼幼鱼时，根据实际海域环境鱼类可以游开远离噪声干扰区，以 150dB 将对大黄鱼幼鱼产生伤害影响为阈值，可算出单桩基础打桩下，与施工风机的相应最大距离为 8112m。

表 4.2.3-1 海洋生物安全距离

声源级保护阈值	风机单桩基础施工 (236dB)	海上升压站和生活平台基础 施工 (216 dB)
190dB (对鳍足目, 如斑海豹, 听力保护范围)	124m	16m
180dB (对鲸豚目, 如江豚, 听力保护范围)	352m	44m
160dB (对海洋哺乳动物行为干扰)	2849m	352m
150dB (石首鱼科幼鱼)	8112m	1000m

同时根据施工安排，风电场区打桩施工基本都是每次打一桩，不会几根桩同时进行，因此风机基础打桩产生的水下噪声不会存在叠加问题。

## 2、施工期水下噪声对海洋动物的影响

### (1) 施工期对石首鱼科影响分析

大黄鱼幼苗的敏感频率在 800Hz，声压级约 140dB 时仔稚幼鱼对声波即有明显反应；大黄鱼小鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声强达到 150dB 以上小鱼有主动避开声源的行为，当声压级达到 187dB，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，当声压级达到 192dB 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（刘贞文等，2014）。

根据大黄鱼的类比影响分析结果，本工程风机基础打桩在离桩基 169m 距离内，打桩所产生的水下脉冲噪声将超过 187dB；在离桩基 257m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 183dB，长时间暴露于此噪声下可能会使得石首鱼科听力受到损害，受到致死致伤的影响，或受噪声影响后不摄食而死亡。

因此，本工程基础打桩作业采取“软启动（10-15min）”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，即前几桩使用小强度的打桩措施，能驱使鱼类离开施工水域，可达到减小水下噪声导致渔业资源的损失，避免造成大范围石首鱼科死亡。

### （2）对非石首鱼科影响分析

当海洋中人为噪声足够大并且鱼类相对靠近声源时，会造成鱼类内脏破裂导致其死亡或者破坏内耳毛细胞导致暂时（暂时性阈移，TTS）或永久（永久性阈移，PTS）的听力丧失。与许多其他动物不同，鱼类在一生中都可以产生毛细胞，Smith 等(2006)对金鱼的观察表明毛细胞在被声音破坏后可以再生。如果听力丧失是暂时的，那么鱼类在几小时或几天内就可恢复听力，恢复的时间取决于噪声的持续时间以及频率。然而，在听力暂时丧失阶段，鱼类会暴露在一个较高的被捕食风险环境中，并且一些具有重要生物学意义的行为可能会受到抑制。虽然对打桩噪音对鱼类行为影响的研究较少，但其他针对高强度噪声的研究也具有一定参考意义。Skalski 等（1992）发现空气枪暴露后岩鱼（*Sebastespp.*）的捕获量减少。声呐暴露后，鳕鱼及黑线鳕（*Melanogrammus aeglefinus*）捕获率也明显下降，并会一直持续几天。Person 等（1992）的研究发现岩鱼在听到空气枪噪声后会改变游动深度及速度，且行为反应阈值为 180dB。厦门大学在如东沿海现场实验，在发射不同强度噪声强度（147~178dB/1 $\mu$ Pa）、不同频率（100~900Hz）的脉冲式噪声下，总体上花鲈、鲮、矛尾复鰕虎，鲮鱼等实验鱼种没有出现明显的“逃逸”行为，但在脉冲式频率（频率小于 500Hz）水下噪声有效声压级为 166dB 时，观测到实验海域鲮鱼、鲮鱼出现明显游动的现象。对于本工程基础打桩施工噪声影响预测计算，风机基础水下打桩噪声在离桩基中心 1520m 的距离范围内将对鲮鱼、鲮鱼等海洋响生物行为产生某些影响。

### （3）对哺乳动物影响分析

本次海洋哺乳动物的现状调查说明，风电场周围的存在有一定数量的海洋哺乳动物活动，且存在捕食行为和活动。根据目击结果均为成年江豚个体，没有目击到龟鳖类海滩动物。根据渔民间卷调查结果，共有 13 位渔民在出海捕捞过程中见到过龟鳖类海洋生物，但是数量相对海洋哺乳动物少很多。

根据分析结果表明，当江豚听觉系统所接收到水下噪声的有效声压级超过 180dB 时，其听觉系统有可能会暂时性听力损失（TTS）。钢管桩在用单桩打设时水下噪声的声源级为 236dB，根据预测，在风机 352m 处，打桩声压级为 180dB，对江豚影响较小；本工程的船舶噪声声源级可达到 176dB，可能对江豚的行为产生一定干扰，经调查

工程附近海域背景噪声峰值声压级，船舶噪声略高于背景噪声峰值声压级，叠加背景噪声后对海域中的江豚等哺乳动物影响较小。

### 3、运营期水下噪声对海洋生物的影响

风机运行中向水下辐射噪声的主要途径是风机运行的噪声源从空气中直接通过海面折射到水下、通过风机塔架传导到水中、从风机塔架到海底再辐射到水中三条声传播路径组成。

根据德国 Klaus Betke 等(2004)对不同风机、对应不同风速下的噪声谱级的研究结果，以及丹麦 Jakob Tougaard 等(2009)对海上风电场在两种不同风速下的噪声谱级分布研究结果，风机在水中不同风速下产生的声压级变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在 125Hz 频点上风机在高风速（13m/s）比低风速(6m/s)下在水中辐射的水下噪声谱级高 10dB 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

根据中国船舶重工集团公司第七〇二研究所于 2017 年 6 月对已经运行的滨海北区 H1#海上风电场水下噪声进行了类比监测。在相同深度不同水平距离监测点上监测表明：7 个监测点在 3m 水深处的噪声谱级变化不大，基本上与原有的环境背景噪声级相当，频率 100Hz 以上的噪声谱级均在 106dB 以下。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。

Diederichs 等同样在 Horns Rev 海上风电场的东、西、南方向分别部署 3 排声学阵列以监测记录鲸豚的信号，通过这些参数可以间接地反映目标海域鲸豚的数量和发声行为。结果表明，在该风电场场内和场外海脑的数量没有区别，从而表明风机水下营运噪声不会对海豚造成影响。

厦门大学分别取距风机 15m, 80m, 200m 的两个深 1.5m, 3m 的风机运营期水下噪声数据，共 6 段，每段 30s。将该 6 段噪声信号模拟中华白海豚听阈特性的数字滤波器，得到海上风机运营期水下噪声中华白海豚的噪声剂量分贝值。

结果表明，在相同深度处，随着距离的增加，风机运营期水下噪声对中华白海豚噪声剂量分贝值呈逐渐递减的趋势；相同距离，3m 水深噪声剂量分贝值高于 1.5m 水深，不同深度的噪声剂量分贝值的差别随距离增加而不断减小，到最远距离 200m，两个深度噪声剂量分贝值仅相差 1.3，总体来说，各个点的噪声剂量分贝值均不超过 90，认为

即使在距离运营风机的距离，中华白海豚也不会因风机水下噪声的存在而迅速躲避，风机运营期水下噪声对中华白海豚的影响是很微弱的。

本项目风机运行过程中产生的噪声主要由机械及结构噪声和空气动力噪声组成，声波传入水体中将进一步衰减。因此，风机运行产生的噪声不会引起桩基周围的海洋哺乳动物、龟鳖类和鱼类晕厥、死亡等现象，且当风机噪声影响鱼类正常栖息和生存时，不适应的鱼类将游离该处，寻找适合生存的栖息地。

综上所述，虽然测试结果反映出风机运转中在水下产生了一些噪声，但是监测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。因此运营期水下噪声对海洋哺乳动物、龟鳖类的影响较小，是可以接受的。

#### 4.2.3.2 水上噪声对海洋生物的影响

##### 1、施工期水上噪声影响

工程施工期水上噪声对海洋动物的影响源主要是施工期船舶运输噪声。船舶航行引起的水下声环境变化预测，根据厦门大学在厦门五缘湾海域对海洋环境噪声与船舶噪声进行的监测。厦门西海域为厦门港的主要航道，监测的船舶渔船经过时的海洋环境噪声变化情况。一艘渔船由远到近，之后又远离时所（最近距离 20m）监测到的船舶噪声，其监测结果表明：一般货运船舶噪声的均方根声压级平均值约为 125.5dB，比海洋环境噪声提高了约 10~15dB。部分航速较快、吨位较大、航行中仍在施工或其他增大水下噪声的原因的船舶其峰值声压级可以达到 150dB 以上。由于风电场周边 500m 范围内无声环境敏感目标，因此，施工船舶运输噪声对水上声环境影响不大。

##### 2、风机运行噪声影响分析

工程运行期主要为风机运行空气动力学噪声。

根据实测结果与点声源衰减模式预测结果的拟合，在距风力发电机组较近情况下，声源为一面源，同时受机械噪声等高频噪声的影响，其噪声不符合点声源的衰减规律；在风力发电机组较远情况下，计算点大于风力发电机组几何体 1 倍距离后，其噪声衰减规律与点声源模式的衰减规律基本一致。甚至在距离风力发电机组水平 50m 以外，噪声计算值与实测值衰减趋势就基本一致。

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》附录 C 推荐的预测模式进行预测。经预测单台风力发电机组衰减趋势见图 4.2.3-1，采用最大声功率 110dB(A)计算，可知在距风力发电机组直线距离在 250m 处，噪声已衰减至低于 55dB(A)，即国家规定的《声

环境质量标准》(GB3096-2008)中 3 类标准夜间限值。

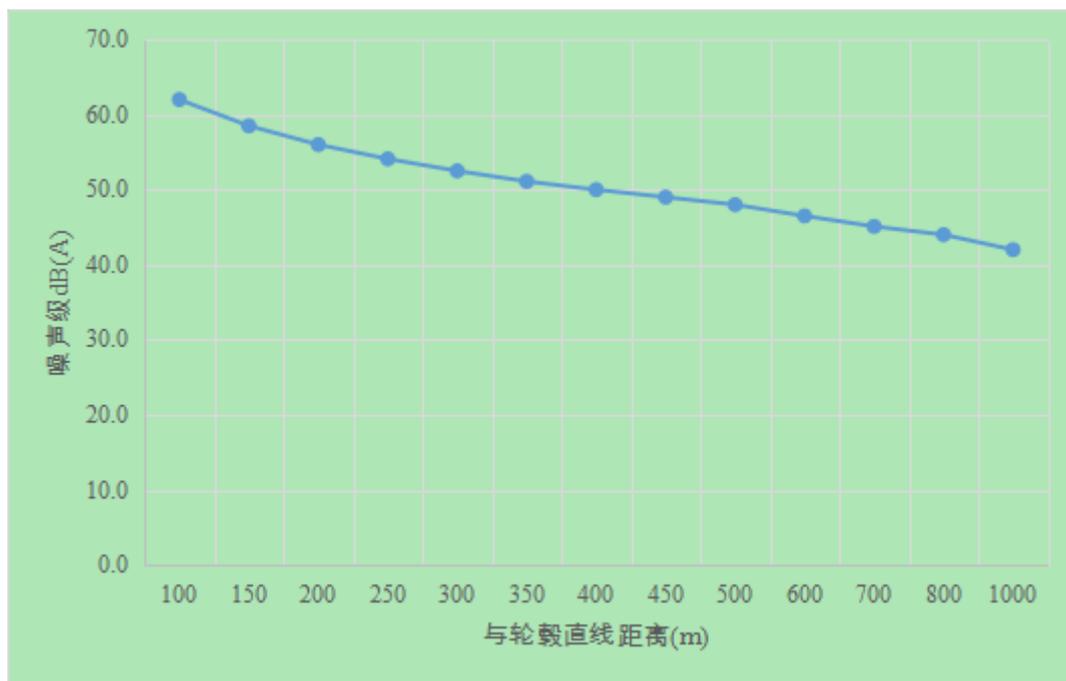


图 4.2.3-1 风力发电机组噪声衰减模拟计算结果

海上风电场区域预测风机机群的噪声情况见图 4.2.3-2。叠加影响后在单排风机外 150m 处，风机噪声可衰减至 53.5dB(A)。由于背景值海上风声和海浪声较大，风电场运行噪声对海上声环境影响仅限于风机附近。

根据风力发电机组的特性，风力发电机组噪声具有指向性，即在顺风向的风机两侧噪声较大，垂直风向的风机叶片两侧噪声较小；而风机布置时为尽可能减小风机之间的尾流影响，控制湍流发生，一般在垂直于主风向上布置风机较多且间距较窄，而在主风向上布置的排数少且排距大，因此风力发电机组间噪声叠加影响非常小，多台风机间仅是影响范围的扩大，基本不增加影响程度。

根据预测结果，本工程风机噪声在 600m 处衰减至 40 dB(A)，相对于整个风电场区来说影响范围较小。由于海面上没有海洋动物等水上敏感目标，不存在水上噪声对海洋动物的影响，根据 4.2.3.1 节水上噪声辐射至水下产生的对海洋动物的影响分析结果，与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在 125Hz 频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高 10dB/re 1 $\mu$ Pa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

本工程风机采用单桩基础结构型，单根直径 6.51m~7.8m 钢管桩定位于海底，承受

波浪、海流荷载及风机塔架传递的风荷载，钢管桩平均桩长约 79.0m，平均入土深度约 65m，桩端进入新近系沉积岩地层作为持力层。入土深度比较深，风机叶片转动引起的机械噪声和结构噪声较小。根据同类型工程类比监测结果，在相同深度不同水平距离监测点在相同水深处的噪声谱级变化不大，由此可见海上风电场运行噪声主要受海风、海浪声影响较大，受风机转动影响较小。

因此营运期水下噪声对海洋动物的影响较小，是可以接受的。

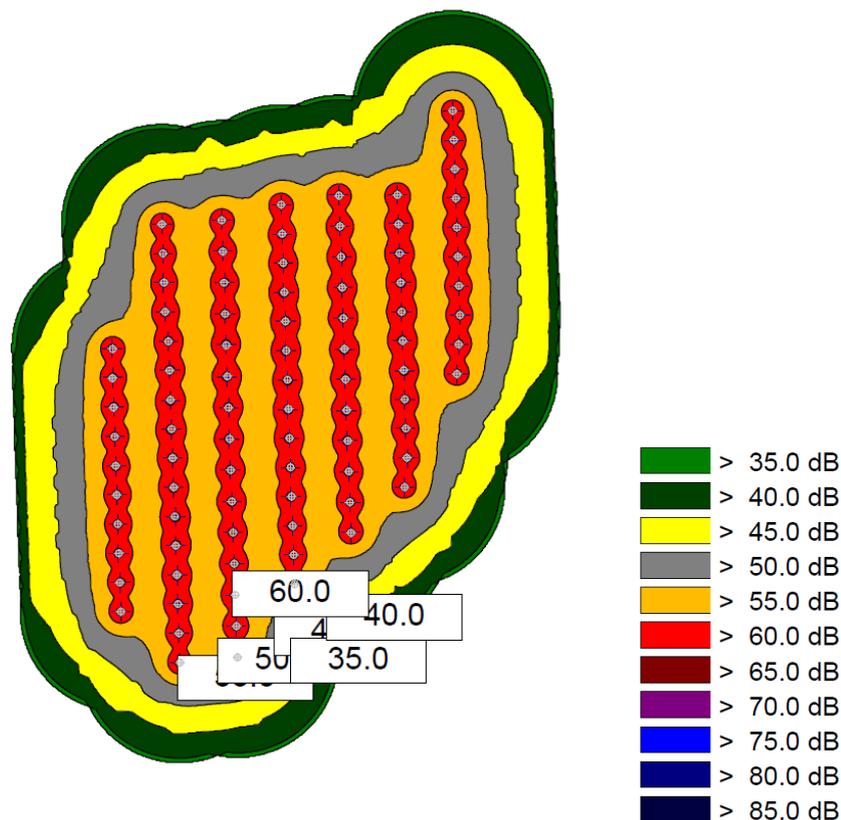


图 4.2.3-2(a) 风电场区风机噪声影响叠加预测图

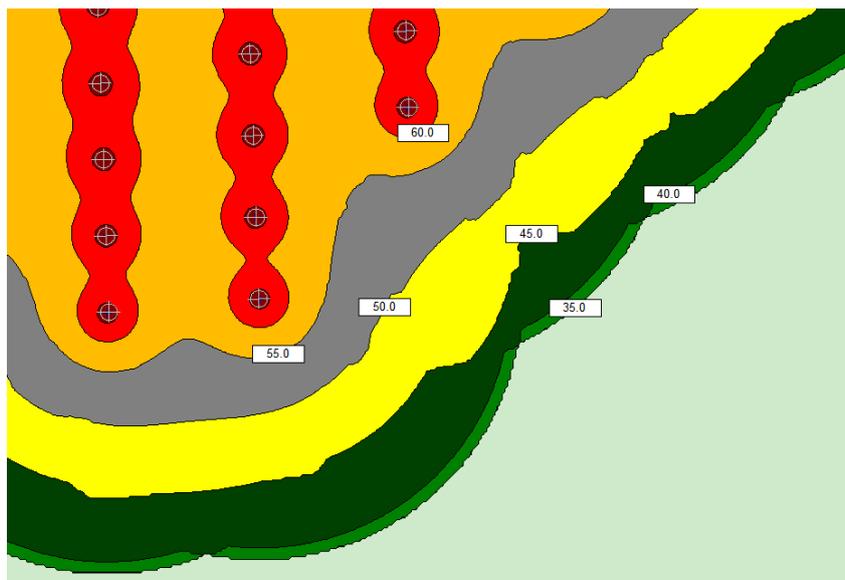


图 4.2.3-2(b) 风电场区部分风机噪声影响叠加预测图（局部放大图）

### 3、海上升压站噪声影响分析

升压站运行后，工频电磁噪声主要来自室内的主变压器，电抗器和屋外配电装置等电器设备所产生的电磁设备噪声。本次评价采用与本工程电压等级、容量、设备和规模等方面相似的湖州220kV昆仑变电站的环境噪声监测进行类比分析（详见表4.2.3-2）。

表 4.2.3-2 升压站可比性分析

变电站		220kV 昆仑变电站(类比变电站)	本工程 海上升压站
电压等级		220kV	220kV
主变 压器	台数	类比监测期 3 台	3 台
	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	户外 GIS 布置	户内 GIS 布置
站区地形		地形平坦	海面平坦

类比监测结果表明，昆仑变电站四周厂界环境噪声排放监测值昼间为 54.2~54.8dB (A) 之间，夜间噪声在 44.0~44.9dB (A)。

本工程 220kV 海上升压站主变电压等级和数量与昆仑变均相同，昆仑变的主变采用户外式布置，工程采用户内式布置，更为有利。因此，根据类比分析，工程 220kV 海上升压站厂界噪声将小于类比对象。因此升压站营运期产生的噪声对周围环境影响很小。

#### 4.2.3.3 电磁辐射对海洋生物的影响分析

本工程海底电缆敷设位于近岸海域。有研究认为，磁场能够影响鱼类，因为有些鱼的体内具有磁性物质，可用于识别地理磁场，从而协助它们进行空间定位。但是，这些研究都是以淡水鱼类为研究对象，因此与海水鱼类相比磁场反应有可能不同。目前很少有现场研究对鱼类如何受到电缆及其所产生磁场的影响进行观测。

理论上而言，对于三相电缆输配电线路，在其敷设位置上方的磁场水平，取决于电缆埋设深度、3 条相线之间的距离、导线的相对排列方式以及电缆中的工作电流。将三相 3 根电缆的间距减小，由于不同相位的三相磁场互相抵消的作用，可明显降低地面的磁场；采用 3 芯电缆或将三相单芯电缆布置成三角形也可有效降低地面磁场。

工程产生工频电场和工频磁场的设备主要为海底电缆、海上升压站，其中海上升压站位于水上且为室内布置，影响范围相对较小，而海底电缆累计长度达到 241.16km，主要在海底敷设，对海洋生物存在电磁环境影响的主要为海底电缆运行过程中产生的工频电磁场。

McCleave, Rommel, Catchart 等(1971,1973)在对美洲鳗鲡进行的磁场变化条件测试时所得出的结果却不很明确。幼体鳕鱼 (*Plathichthys flesus*) 在受到强度为 3.7mT 的静电磁场影响几个星期时并未受到影响 (Bochert, R ea at.,2004)。Westerberg(1994)还从研究的角度直接考虑近岸风力发电场电磁强度情况，测试了南波罗的海一座风力发电机附近的欧洲鳗鲡的洄游形式。遥测跟踪监测并未显示洄游形式发生任何改变。

袁健美、张虎等选取江苏近海常见 12 种海洋生物 (袁健美、张虎、刘培廷等, 海上风电电磁场对 12 种海洋生物存活率与行为的影响。生态学杂志, 2016, 35(11): 3051-3056), 通过实验方法研究不同磁场强度 (试验 I: 1.0mT; 试验 II: 0.1mT、(0.045±0.01) mT、(0.2±0.01) mT、(0.9±0.01) mT、(4.05±0.01) mT 对照 (自然地磁场) 下, 风电电磁场对鱼、虾、蟹和贝类的存活、行为等方面的影响。结果表明:

#### (1) 对鱼类影响

1.0mT 强度磁场暴露对黑鲷的存活率和行为有一定影响, 撤销磁场后, 影响消失。1.0mT 电磁场作用下, 黑鲷幼鱼集中分布在水体中上层, 有集体浮出水面的意向, 动作频率幅度大; 少数鱼冲撞鱼缸底玻璃, 区别于正常的觅食行为; 撤销磁场 10min 后, 受试生物行为恢复正常。

随着电磁场强度增强 (0~4.05mT), 黑鲷、半滑舌鳎的存活率受磁场影响加剧 (呈现降低的趋势); 0.2mT (距离海底电缆 1.2m 外) 是黑鲷、半滑舌鳎能耐受的磁场。该范围主要是营底栖游泳生物的生活区域, 从实验结果可初步判断黑鲷、半滑舌鳎存活率

的磁场耐受范围。并推测栖息在该范围（即距离海底电缆 1.2m 外）的海洋鱼类受风电磁场影响不明显。

#### (2) 对海洋底栖贝类影响

纵肋织纹螺回避行为受磁场影响明显。24h 之内，4.05 和 0.9 mT 暴露条件下的纵肋织纹螺分别有 8.3% 和 3.3% 逃离了试验缸，剩余部分均分布于试验缸边缘。其余梯度试验缸的生物分布较为均匀，未发生逃离现象。

文蛤对磁场的耐受性较好。试验结果显示其磁场耐受范围为 0.9mT(电缆自身磁场)，文蛤存活率仅在梯度 V（4.05mT）受一定影响，呈现降低的趋势，说明事故状态模拟磁场会造成文蛤存活率下降，而风电场在正常运行中海底电缆产生的磁场对文蛤的存活率不存在影响。长期暴露于静电磁场的海洋底栖动物可以在 3.7mT 的静电磁场中生存 28d 以上，而且其生殖腺和繁殖期指数和对照并无显著差异。

#### (3) 对海洋底栖虾蟹类影响

磁场暴露下黑褐新糠虾的存活率有所降低，梯度 V（4.05mT）表现尤为明显，与对照相比，其存活率显著降低（降低了 10.53%）。脊尾白虾、口虾蛄、三疣梭子蟹、寄居蟹等其他 4 种虾蟹类存活率未受磁场影响。

由上述研究结果可知，鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类的磁场影响范围主要为 0.2 mT~4.05mT，在 0~0.2mT 之内电磁场对鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类行为无明显差异，影响较小，因此电磁场控制在《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）公众暴露控制限值 0.1mT 之内，电磁场对鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类影响较小。

另外根据国内外现有电磁场对海洋鱼类的影响研究资料分析，风电场运营期间，海底电缆经保护层及沉积物屏蔽后，产生的工频电磁场不会改变鱼类的洄游路线及洄游形式。

#### 4.2.3.4 小结

(1) 本工程单桩基础打桩在离桩基 257m 处，长时间暴露于此噪声下可能会使得大黄鱼听力受到损害，受到致死致伤的影响，或受噪声影响后不摄食而死亡；在离桩基 8112m 处，对大黄鱼幼鱼听力影响不明显。

(2) 本工程风机基础水下打桩噪声在离桩基中心 1520m 的距离范围内将对鲷鱼、鲹鱼等海洋生物行为产生某些影响。

(3) 运行期测试结果反映出风机运转中在水下产生了些噪声，但是监测结果中风机

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。因此营运期水下噪声对海洋动物的影响较小，是可以接受的。

(4) 风电场运行期间，海底电缆经保护层及沉积物屏蔽后，产生的工频电磁场不会改变鱼类的洄游路线及洄游形式，对鱼类的影响有限。

(5) 非正常工况下高强度电场主要集中与电缆附近，可能对电缆附近的海洋生物主要是底栖生物产生一定影响，但影响时间较短。

## 4.3 项目用海资源影响分析

### 4.3.1 对海岸线资源的影响

备选的登陆点 1 位于东兴市漚尾半岛南部金滩最东端海岸。综合考虑广西海上风电规划以及广西海上风电示范项目四个场址的海缆布设情况，为避免几个风电场的海缆登陆交叉，拟将 A、F1、F2、F3 四个风电场址的登陆点顺势布置，具体的顺序按路由及登陆点走向确定。广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程备选的登陆点 1（金滩东）的具体坐标为  $21^{\circ}31'52.80''$ ， $108^{\circ}11'08.79''$ ，备选的登陆点 2（潭吉）的坐标为  $21^{\circ}33'28.49''$ ， $108^{\circ}08'30.59''$ ，备选的登陆点 1（金滩东）和登陆点 2（潭吉）的地理位置见图 4.3-1。

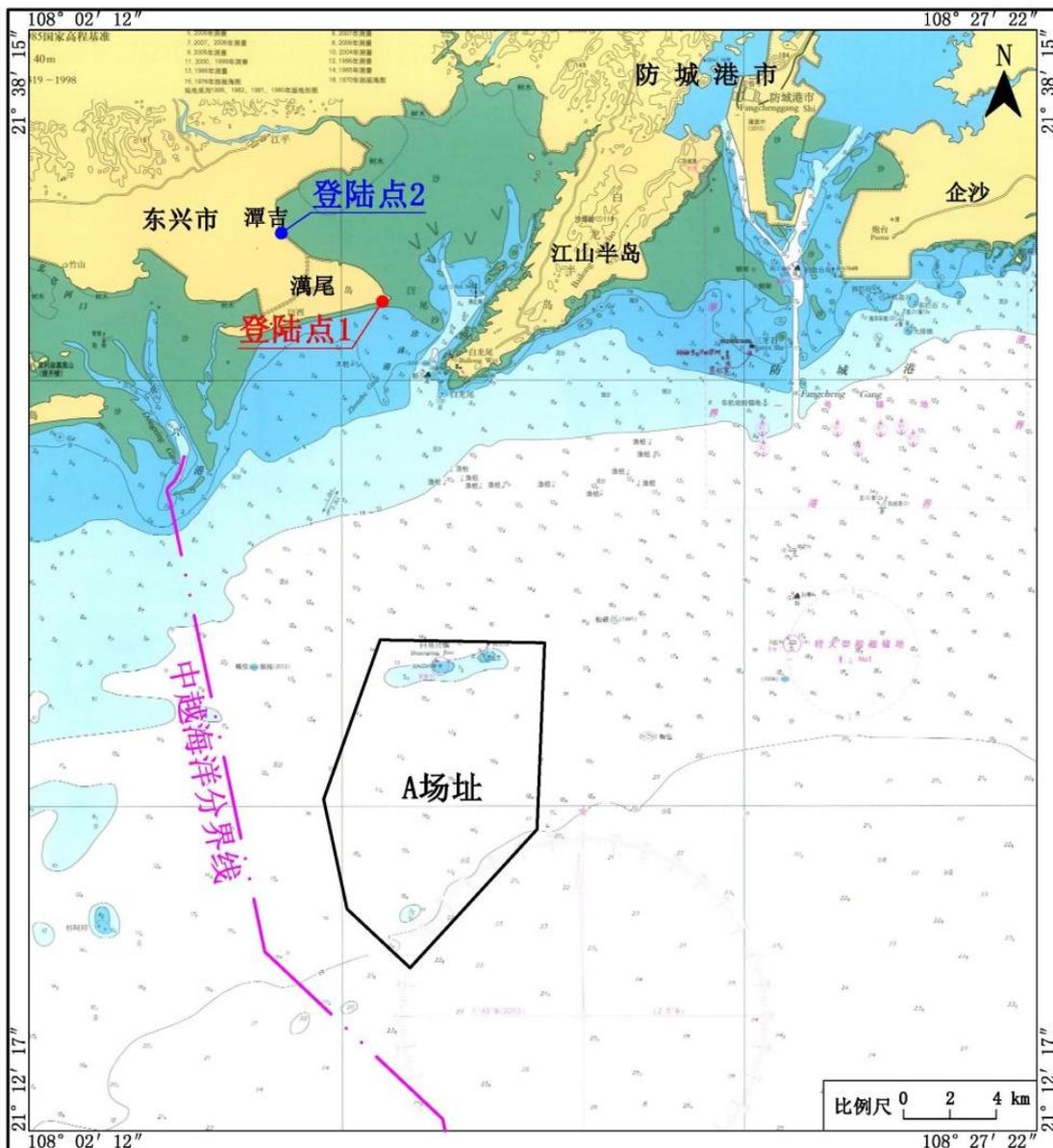


图 4.3-1 登陆点地理位置示意图

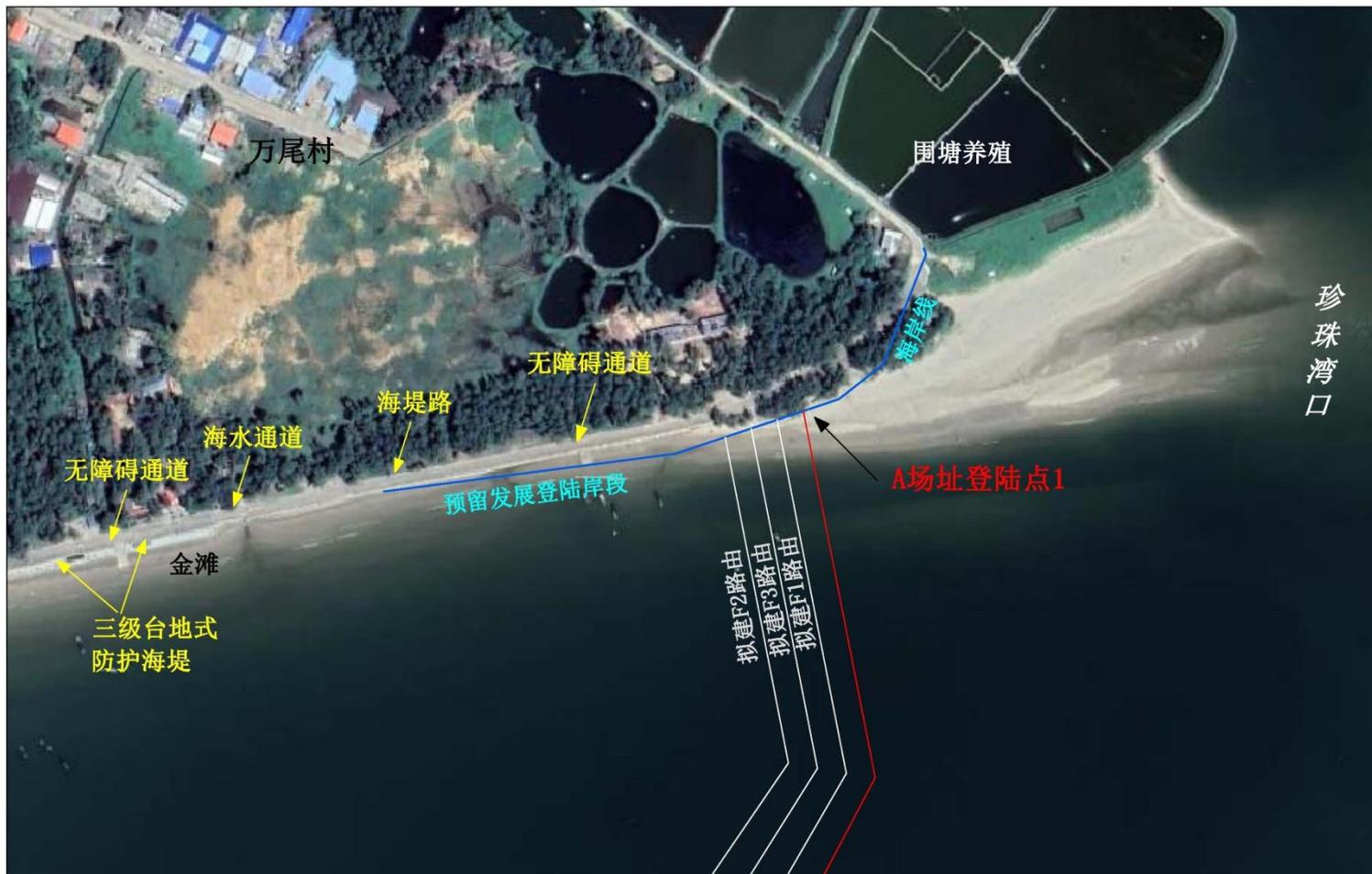


图 4.3-2 登陆点1（金滩东）周边环境照片

根据《广西海洋生态红线划定方案（2017 年）》，本项目海缆路由方案一穿越的海洋生态红线区包括：防城港南部海域重要渔业海域限制类红线区、防城港金滩自然景观与文化历史遗迹限制类红线区和防城港金滩重要砂质岸线和沙源保护海域限制类红线区。与海缆路由较近的海洋生态红线区为珍珠湾重要渔业海域限制类红线区。备选登陆点 1（金滩东）所在的海洋生态红线保护大陆岸线为防城港江平镇金滩风景旅游区岸段。

登陆点 1 拟选址于金滩最东端，登陆海岸是金滩游客较少到达的地点，且海缆登陆时将埋设于沙滩之下，对金滩的整体滨海景观和沙滩的冲淤稳定性没有影响。

根据《广西海洋生态红线划定方案（2017 年）》，登陆点 1（金滩东）所在位置为砂质岸段，禁止实施可能改变自然岸线（滩）生态功能的围填海开发建设活动、毁林挖塘、矿产资源开发及其他可能毁坏红树林资源的各类开发活动。禁止实施可能改变或影响沙滩自然属性的开发建设活动。在砂质海岸向海一侧 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。加强对受损砂质岸线的修复。

根据报告水质环境的数学模型影响分析结论和悬沙扩散模型的影响范围分析可知，登陆点施工的悬浮物扩散范围对周边水质会造成一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着海缆施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减背景浓度值，影响即消除。

根据《海底电缆管道保护规定》的要求划定保护范围，并按照规定设立显著标志，海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业，是对岸线资源的有序利用，也能禁止其他破坏行为破坏此处岸段。

### 4.3.2 对海洋生物资源的损耗分析

#### 1、构筑物永久性占地对底栖生物的损失量估算

工程风机桩基、升压站等永久设施占地周围区的底栖生物的生境遭到永久的破坏。

本项目风机基础 61 台采用重力式基础结构，重力式基础底部直径 31m，22 台采用嵌岩单桩基础，单桩基础底部直径 8m，83 台风机永久占用海域面积共计 4.7147hm<sup>2</sup>；海上升压站桩基础采用直径 2.4m 的钢管桩，共布置 4 根钢管桩，升压站基础永久占用海域面积 0.0018hm<sup>2</sup>。工程永久设施合计影响底栖生物面积为 0.6189hm<sup>2</sup>，在该范围内的底栖生态环境全部被破坏，栖息于这一范围内的底栖生物将全部丧失。

根据规范，永久影响以 20 年计，工程周边海域底栖生物量按工程周边海域两季调查生物量平均值 84.80g/m<sup>2</sup> 计，则工程将引起底栖生物的受损量约为 4.5942t。生物资源

价值取单价为 1.29 万元/t 进行估算，则工程运行期永久占压底栖生物的经济损失为 118.530 万元。

表 4.3.2-1 运行期底栖生物损失估算表

破坏性质	项目	影响面积 (hm <sup>2</sup> )	平均生物量 (g/m <sup>2</sup> )	生物损失量 (t)	影响年限 (a)	累计经济损失(万元)
永久影响	风机基础	5.4159	84.80	4.5927	20	118.490
	海上升压站	0.0018		0.0015		0.040
合计		5.4177		4.5942		118.530

### 4.3.3 对鸟类资源的影响分析

#### 4.3.3.1 施工期影响

##### (1) 施工对鸟类栖息和觅食影响分析

对于陆上工地如陆上开关站及电缆布设的施工，会使得鸟类栖息地及小生境发生改变；人员活动；施工噪声等对鸟类栖息和觅食都会产生影响。相对于建设工地而言，工地往外扩散的周边区域有大量可选的栖息活动及觅食生境。由于鸟类善于飞行的特性，林鸟在施工期间，会通过主动规避来选择其他适合生境；水鸟亦会另觅他地选择觅食活动地点。在实际调查观测中，很多水鸟实际上是沿着海岸线滩涂来回短距离活动的方式进行觅食。随着各地潮位的不同变化及天气等因素，大多数水鸟并非固定在一个地点觅食，而是来回距离迁飞的方式在多个地点活动及觅食。另外，随着施工期的结束，部分对生境变化适应性较强的鸟类，如珠颈斑鸠、褐翅鸦鹃、八声杜鹃、四声杜鹃、白胸苦恶鸟、白鹭、牛背鹭、池鹭、普通翠鸟、黑卷尾、棕背伯劳、黄腹山鹪莺、纯色山鹪莺、长尾缝叶莺、家燕、金腰燕、红耳鹎、白头鹎、强脚树莺、暗绿绣眼鸟、八哥、鹊鸂、乌鸂、朱背啄花鸟、白腰文鸟、斑文鸟、树麻雀和白鹡鸰等鸟类会对新环境逐渐适应。据项目规划的陆上开关站建设工地位于金滩风景区，该区域是海滩景区，常年游人众多，旅游设施及各种酒店餐馆林立，该区域的鸟类对这些人为了干扰因素具有较强的适应能力。因此，陆上施工对这些鸟类的觅食、活动有一定的负面影响，减少了一些觅食、活动地域，但相对而言，受影响的物种及其数量比较有限，项目区周边可以容纳其继续生存，能有效缓解这些负面影响，其影响在一定程度上也是可以接受的。

根据调查，风电场及周边主要为海域，在海域实地调查中记录的主要是鸥类。对风电场，施工期作业期间，对临近鸟类会产生驱赶作用；海底电缆铺设会破坏项目区的海

洋底栖生物和鱼类的生境，使项目区的底栖生物和鱼类的种类和生物量减少，进而影响在该区域活动觅食的鸟类。但相对于广阔的海域面积，施工区域占用海域面积相对较少，同时施工作业属短期行为，施工结束后，底栖生物和鱼类可在一定时间内得以恢复，同时施工影响范围仅限于风机周边，施工作业对水域的扰动影响有限，仅局部影响周围水域内水生生物的种类和数量。因此总体来看，施工期对该区域的鸟类觅食影响较小。

### (2) 施工对鸟类繁殖影响分析

项目调查区域鸟类集中繁殖的区域主要在岸上陆地，如农田、虾塘周边树林和灌丛；废弃盐田；潮水线以上的滩涂等生境。繁殖鸟主要是留鸟和夏候鸟。对鸟类繁殖有影响的主要是陆上开关站及电缆布设建设工地，即施工占地、人员活动及工程产生的噪音、灯光等会对施工场地周边的鸟类造成影响。受此影响，在鸟类繁殖季节，鸟类一般会迁往他处另觅合适地点进行繁殖。根据项目规划的陆上开关站建设工地位于金滩区域（陆上样线 1）。附近周边的繁殖鸟类主要有小鹈鹕、珠颈斑鸠、褐翅鸦鹃、八声杜鹃、四声杜鹃、绿嘴地鸫、噪鸫、白胸苦恶鸟、金眶鸻、白鹭、牛背鹭、池鹭、普通翠鸟、黑卷尾、发冠卷尾、棕背伯劳、黄腹山鹪莺、纯色山鹪莺、长尾缝叶莺、家燕、金腰燕、红耳鹎、白头鹎、强脚树莺、暗绿绣眼鸟、八哥、丝光椋鸟、鹊鸚、灰林鴝、乌鸫、朱背啄花鸟、白腰文鸟、斑文鸟、树麻雀和白鹡鸰等。这些繁殖鸟类的繁殖生境主要为树林、灌丛及水域，工地往外扩散的周边区域有大量可选的繁殖生境，因而施工期对其影响较小。施工对这些鸟类的觅食、活动产生的负面影响也较小。项目区周边可以容纳其继续生存，其影响在一定程度上是可以接受的。另外，从调查结果来看，繁殖鸟类主要在陆生及海岸滩涂等区域繁殖，海上风机及升压站等建设施工对鸟类繁殖的影响较小。

### (3) 施工对鸟类迁徙影响分析

陆上工地如陆上开关站及电缆布设的施工对于迁徙鸟类的影响主要在栖息与觅食方面。施工占地、人员活动及工程产生的噪音、灯光等会对施工场地周边的鸟类造成影响。这些鸟类会避开该施工地从而选择其他地方栖息觅食。迁徙鸟类主要是水鸟，这些鸟类会另觅他地选择觅食活动地点。在实际调查观测中，很多水鸟实际上是沿着海岸线滩涂来回短距离活动的方式进行觅食。随着各地潮位的不同变化及天气等因素，大多数水鸟并非固定在一个地点觅食，而是来回距离迁飞的方式在多个地点活动及觅食。因此，施工期对这些迁徙鸟类的觅食、活动有一定的负面影响，减少了一些觅食、活动地域，但相对而言，受影响的物种及其数量比较有限，项目区周边可以容纳其继续生存，能有

效缓解这些负面影响，其影响在一定程度上是可以接受的。

风电场中心离岸大于 20km，从海上施工特点分析，风机、海上升压站及电缆布设等施工具有时间短和间断施工的特点，同时风机安装施工均在白天进行。从施工阶段分析，在风机基础施工、升压站施工期间，由于均为近海面作业，施工设备的高度一般在 20m 以下。在风机安装阶段，根据风机的轮毂高度和叶片半径，机组高度约 220m，在这一阶段，鸟类正常迁飞一般不会受影响。在白天，鸟类视觉灵敏，基本上能够避开这些施工区域。只有在云雾或强劲的逆风等不利天气下，有个别鸟类会飞至工程风机总高度甚至以下。

目前国内外研究表明，海上风电施工期，鸟类会产生趋避行为，但是随着时间的推移，鸟类对风电场内的环境会产生适应性，只要海上风电选址避开鸟类栖息地，海上风电对鸟类栖息和觅食的影响相对较小，鸟类与风机碰撞导致的死亡率与鸟的种类、年龄、飞行经验、天气状况及风力发电场本身的特性有关。大量统计数据表明，海上风电施工期不会引起鸟类的严重碰撞(Pettersson, 2005)。

在施工期间，由于有施工噪声，安装好的风机也比较大，容易被迁飞鸟类注意到。Tjaerebor 等通过雷达对迁徙鸟类的研究发现，不管是在白天或黑夜，鸟类能够在 200m 外发现 2MW 叶片直径 60m 的风电机组从而提前改变飞行路径，并且飞行在高于风力机的安全高度。

综上所述，工程施工期对迁徙鸟类影响较小。

#### 4.3.3.2 营运期影响

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

##### (1) 永久占地影响

工程永久占地(包括场内道路修建占地和工程塔基占地)会导致鸟类原有栖息地面积的缩小，风电设施运转、维护人员的活动等也会干扰影响部分鸟类的活动栖息地、觅食地。工程导致的鸟类栖息地质量下降会对鸟类数量造成一定的影响，运营初期有一段时间鸟类数量有可能下降，但随着生境的逐渐恢复，鸟类数量可逐渐上升，恢复到原来水平附近或仅略低于原来水平。目前鸟类大部分是一些分布广泛、适应能力强或者本身就是已经适应人类干扰环境的种类，不存在对环境变化极端敏感的物种，因此，鸟类栖息地质量下降不会导致有物种消失。

夏季鸟类留鸟占绝大多数 (80.46%)，这些留鸟大多数为非水鸟类，活动栖息都在陆地，基本不会远离海岸线，因此，仅从夏季监测情况看，海上风电场机组对于这部分鸟类没有影响。但是，随着迁徙季节到来，大量迁徙鸟类有可能由于风电场的建成而发生取食地、栖停地的变化，有可能间接地对留鸟产生影响。具体情况尚待后后继调查监测。另外夏候鸟 (14.94%) 在整个夏季基本在内陆活动，亦不会远离海岸线，所以海上风电机组对于这夏候鸟没有影响。夏季旅鸟有 4 种 (4.60%)，其中中白鹭也基本在内陆水域或海岸线区域活动，基本不会远离海岸线，风头蜂鹰也基本在内陆树林、农田、山丘或海岸线区域活动，也基本不会远离海岸线，所以风电机组对于这 2 种鸟没有影响。在夏季调查监测期间，海上监测发现远离海岸线的鸟类为普通燕鸥、白额燕鸥、褐翅燕鸥、黑枕燕鸥和大风头燕鸥。从监测观察看，这些鸟类种群数量较少，监测期间共观察到 22 只。这些鸟类零散发布于海面。低空飞行或栖停于水面漂浮物上，偶有取食水面鱼类或其它动物。鸟类视觉敏锐，在白天可避开障碍物，但在夜间活动有触碰风机的可能，但其飞行高度极少超过 100 米，相对来说风电机组对其影响较少。

## (2) 风机噪声影响

由于大多数鸟类对噪声具有较高的敏感性，在噪声环境条件下，大多数鸟类会选择回避，减少活动范围。本项目运行期噪声主要为风机运转噪声和 220kV 升压站主变噪声。文献研究显示鸟类在开阔范围对噪声的忍受阈值为 47dB (Hirvonen, 2001)，因此每个风机因噪声而对鸟类的产生影响范围噪声衰减至 47dB 以下所需半径的圆形范围，该范围与视觉影响范围有重叠。受影响种类主要为在该区域活动的留鸟和中途停歇觅食的候鸟。对飞行迁徙经过的候鸟因从高空经过时，与风电机的垂直距离超过 200m (按飞行高度 400m 算)，受到噪声影响较小。

本项目根据推选机型的主要特性，风机最高转速 10rpm，按每个风机产生噪声衰减至背景值以下所需半径的圆形范围推算，单个风机的影响半径约为 300 m，风机之间影响范围不重叠。且噪声影响范围与视觉影响范围有重叠，鸟类因靠近风机而受到噪声干扰的机会较低。

此外，从风机噪声频率角度评价，噪声对主要依靠鸣声进行通讯的鸣禽影响较为严重 (Slabbekoorn and Ripmeester, 2008)，如吸引配偶、防卫领域、预警、乞食和求救、躲避天敌等。噪声干扰鸟类寻找觅食适合区和追赶猎物并辨别天敌位置的能力，使鸟类的捕食效率和生存力大大下降。在噪声环境中，鸟类可选用特定音节或鸣唱句型传递信息 (Kennedy et al, 2009)。当环境噪声水平提高时，声信号发出者改变频率和振幅，增

大信噪比，降低噪声对声信号的干扰。近年的研究还发现，鸟类还会调节鸣唱时间避开噪声干扰（Hardouin et al, 2008）。有研究表明风机噪声频率以低频噪声为主，一般风电场所采用的风机噪声峰值频率出现在 1300~1600Hz。而鸟类鸣声频率主要分布在 2~9 kHz，环境噪声常会影响鸟类鸣声的低频部分。鸟类应对噪声频率干扰的主要方法是提高鸣唱最低频率和主频。一般地，当风速为 8m/s 时，兆瓦级以下的风电机组声功率级在 98~104dB(A)之间，其噪声呈现明显的低频特性。随着风电机组输出功率的增大，其产生的噪声增大，并向更低频移动。

以菲尔德斯半岛黑背海鸥为例，幼海鸥“吱”声是由脉冲列与正弦调制波构成的连续波。波形重复频率变化很大，从 0.12~3.3kHz，频率范围为 200 Hz~4.8kHz，分别在 1.7kHz、2.5kHz 和 2.9kHz 处出现谱峰；成体海鸥“咯”声波形具有明显的连续调制特征。波形重复周期约为 0.5ms，谱峰在 1.1kHz、2kHz 和 3kHz 处，频率范围为 1~4kHz；群体黑背海鸥“哦”和“哦啊”声系由多个波叠加而成的连续波，波形的周期变化较为复杂，谱峰分别出现在 1.2kHz、1.5kHz、1.7kHz 和 3kHz 处，频率范围为 1~4kHz。可以看出海鸥鸣声主要频率高于风力发电机组的主要噪声频率。其他如白头鹎等鸣禽，其鸣声各音节的主频范围在 1.6~3.6kHz，也高于发电机组的主要噪声范围。

以上数据表明，风电场低频噪声基本低于鸟类最低频率鸣声，鸟类间的互相沟通及交流基本不会受风电场低频噪声的影响。

### （3）光影响

日间风机叶片反射阳光可能会刺伤雀鸟的眼睛，使候鸟迷途，改变迁徙方向。而晚上风电场区域的照明是影响夜间迁徙鸟类安全的一个非常重要的因素，特别在遇上大雾、降雨、强逆风或无月的夜晚，鸟容易被光源吸引，向着光源飞行，这种趋光性极易造成鸟撞上光源附近的障碍物。北美 Virginia 西部山区风电场在 2003 年 5 月底某天大雾的夜晚发生 27 只夜间迁徙鸟死亡，变电站的钠蒸气灯是吸引鸟与风电机相撞的主要原因（Kerlinger, 2003），该风电场的鸟死亡情况的研究结果表明，夜间迁徙的鸟经常死于风电场内的灯下。目前有研究波长较长的光线，如红光和黄光不易吸引候鸟。因此，在工程区域可能受光影响的主要是夜间迁徙的鸟，需采取防护措施尽可能减少光对其产生的干扰。

### （4）碰撞效应

有研究发现鸟在飞近风电场区域时，能够成功改变迁徙路线以避免塔柱和旋转的叶片，并且白天比夜晚更能精确地改变飞行方向。雷达对丹麦 Nysted 海上风电场鸟类迁

徙监测说明，白天鸟类在 3000m 外，夜间鸟类在 1000m 外绕开风力发电场飞行，改变飞行方向 (Desholm and Kahlert, 2005)。还有研究统计发现，和风电机碰撞的鸟类多为大中体型的鸛形目、隼形目和鸮形目鸟类。根据本项目的鸟类现状调查，本风电场发生碰撞效应的受影响对象主要是夜行性的隼形目鸟类。

由于海上风机远离岸边，对迁徙鸟类的影响主要体现在水鸟类，鸬鹚类和鸥类水鸟为本项目风电场区鸟类的优势种，也是主要的迁徙鸟类，此外还有一些雁鸭鸟类。鸬鹚类、鸥类和雁鸭类的迁飞主要在高空中依靠气流来带动飞行，鸬鹚类、鸥类迁徙大多是高空迁飞，这些候鸟迁飞高度基本上超过 300m，本工程的风机轮毂高度 120m，风轮直径 200m，总高度 220m。从相对高度来说，风电机组对这些高空飞行的鸟类影响较小。

鸟类飞行高度一般在 300m 左右，小型鸟类不超过 300m，大型鸟类通常飞行高度为 300-3600m，如燕类飞行高度通常为 450m，鹤类为 500m，而雁类可达 900 米 (MRPerrow 等, 2011)。对于长距离迁徙的候鸟而言碰撞几率不大。另外，本海上风电项目的电缆采用海底铺设方式，对迁飞的鸟类影响很小。

#### (5) 对鸟类的间接影响

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

##### ① 栖息地损失和破碎化

风电机直接占风电场的面积很小，大约 2%~5%，但风机可能会让候鸟不敢在附近海域降落生活，影响生活在当地和附近的海鸟繁殖、筑巢和觅食，导致这些海鸟不得不离开栖息地。丹麦的 Horns Rev 风力发电场建于沿海，对迁徙鸟类的行为观察发现，鸟类对风电场有避让行为 (Noer et al, 2000)，因此，如果场址选择在鸟类适宜栖息地内，将可能使鸟类失去整个风电场大的栖息地，这一点在近海湿地、内地草原修建的风电场十分突出。丹麦 Nysted 风力发电场建在沿海湿地，通过雷达监测鸟类的行为，风电场修建后，白天活动的雁鸭类进入风电场内原来适宜栖息地的次数显著减少 (Drewitt and Langston, 2006)。原来的栖息地不能再利用，这些鸟类完全丧失了这块栖息地，这一过程也是鸟类栖息地破碎化的过程。

##### ② 生境质量下降

风电场建立在适宜栖息地处导致栖息地破碎化，更导致栖息地质量下降，风机的桩基和叶片的转动噪音将严重影响海洋生物的活动规律和分布，从而降低了以海洋生物为

食的鸟类的栖息地质量。虽然鸟类可能对风电场习惯化，但是由于食物匮乏它们也可能永远放弃这些栖息地。风机叶片的旋转干扰，迫使鸟类避开原有之飞行路径，使得风机的排列很有可能产生栖息地切割之效应（Drewitt and Langston, 2006）。

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

#### 4.3.3.3 对国家重点保护鸟类影响分析

监测记录到的国家重点保护鸟类有 12 种，分别为凤头蜂鹰、黑翅鸢、黑鸢、白腹鹞、普通鵟、领角鸮、草鸮、红隼、游隼、白胸翡翠、褐翅鸦鹃、小鸦鹃。这些鸟类基本在内陆树林、农田、山丘或海岸线区域活动，也基本不会远离海岸线，所以风电机组对于这些重点保护鸟类影响很小。

总体上，海上风电项目对于鸟类资源的影响很小。

### 4.3.4 对北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级水产种质资源保护区的影响

#### 4.3.4.1 施工期污染物排放影响

##### （1）海水水质影响

项目施工对北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级水产种质资源保护区将产生悬浮物影响，悬浮物将对周围海水产生一定的影响。由于施工是暂时的，施工结束后，悬浮物可在较短时间内沉降，总体上，项目施工对保护区海水水质影响有限。

施工期的污废水主要为船舶生活污水和船舶油污水，船舶生活污水收集后运至岸上处理，不排海，对海水水质和海洋生态环境影响较小。船舶含油污水交由有资质单位接收，不排海，船舶含油污水不会对工程海域造成影响。

##### （2）海洋沉积物影响

工程施工会对附近海域沉积物造成一定的扰动，对该海域整体沉积物质量和沉积物环境不会产生恶化影响。施工期间产生悬浮泥沙来源于附近海域表层沉积物，一般情况下对工程周围沉积物的改变大多是物理性质的改变，对沉积物的化学性质改变不大，对工程区既有的沉积物环境产生的影响甚微，不会引起海域总体沉积物环境质量的变化。工程施工船舶污废水及固废均经收集至岸上后统一处理，不排放至海域，对工程海域海

洋沉积物影响很小。

### (3) 噪声影响

北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级水产种质资源保护区主要保护对象为二长棘鲷和长毛对虾，施工期间主要为打桩施工噪声影响，详细影响情况见 6.7.1 节。

### (4) 固体废物影响

工程施工活动无弃渣。海上施工人员生活垃圾产生量较少，海上生活垃圾由施工船舶收集后运至陆域，与陆域生活垃圾一并纳入当地垃圾处理系统处理，不排海，对周围海域环境影响很小。

### (5) 溢油风险

工程主要环境风险主要为施工期施工船舶碰撞溢油事故。针对可能发生的环境事故，本报告提出了相应的事故防范措施，采取上述措施后，上述环境事故的发生概率可明显降低，事故发生对环境的影响可明显减小。

#### 4.3.4.2 营运期污染物影响

根据 4.1.3 节和 4.1.4 节分析内容，运行期牺牲阳极对周围海水水质、海洋沉积物环境不会造成显著影响，因此，对保护区海水水质、海洋沉积物环境也不会造成显著影响。

根据 4.2.3 节分析结果，运行期风机噪声进入水体后接近海域的海洋水体噪声背景值，风机的机械结构噪声源强较小，传入水体后不会对周边声环境造成显著影响，因此，运行期风机噪声对保护区水下声环境不会造成显著影响，对保护区保护对象也不会产生明显影响。

本工程 2 根 220kV 三芯电缆运行期产生的工频电场强度不高于 1.949 V/m，工频磁感应强度在不高于 0.2851  $\mu\text{T}$ ，产生的电磁场强度非常小。因此，运行期保护区内海缆产生的电磁场不会对二长棘鲷、长毛对虾的生长造成明显不利影响。

本项目风电场场区及海缆位于保护区实验区内，施工期扰动及悬浮物将造成一定的浮游植物、浮游动物、底栖生物损失。施工期的扰动和悬浮物对保护区的影响是暂时的，施工结束后该影响将消失，工程建成后也将采取增殖放流措施缓解对保护区的影响。

#### 4.3.5 对通航资源的影响分析

工程海域分布有白龙港至越南海防以北港口航路、白龙港至琼州海峡西口航路、企沙港至越南海防以北港口航路、企沙港至越南海防以北港口航路、三牙航道、0#和 1#

锚地、2#锚地、3#锚地、4#锚地、5#锚地，根据 4.1.1 节和 4.1.2 节的预测结果分析，项目实施后海域周边航道、锚地水域的涨落急流速、冲淤环境基本不变。因此项目实施后，对周边航道、锚地水域的水动力环境和海床冲淤基本没有影响。

## 4.4 项目用海风险分析

### 4.4.1 项目用海风险事故识别

根据本工程规模、建设特点及周边环境特征，工程施工期和运行期存在潜在的环境事故风险。本工程施工期主要环境及事故风险包括：

- (1) 施工期施工船舶碰撞溢油事故；
- (2) 运营期船舶与风机碰撞溢油风险、风机桩基失稳内部油料泄漏事故；
- (3) 海上升压站事故溢油风险；
- (4) 海底线缆及风机基础泥沙冲刷掏空风险；
- (5) 台风与风暴潮风险

### 4.4.2 溢油风险事故及影响分析

#### 4.4.2.1 溢油事故风险识别

##### 1、船舶溢油风险事故

根据交通部海事部门有关统计资料，我国 1990 年~2010 年各类等级的溢油事故分档统计见表 4.4.2-1。由于船舶溢油事故 50t 以下的的数据不够完整，该表对一般船舶污染事故不做统计。

表 4.4.2-1 我国 1990 年~2010 年船舶、码头溢泊事故分档统计表

年份	较大船舶污染事故		重大船舶污染事故		特别重大船舶污染事故	
	事故次数	溢油总量/t	事故次数	溢油总量/t	事故次数	溢油总量/t
1990	1	100	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0
1992	2	430	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0
1994	3	300	0	0	0	0
1995	5	1367	1	700	0	0
1996	3	785	2	1532	0	0
1997	3	490	0	0	1	1000
1998	2	392	0	0	0	0

1999	0	0	2	1089	0	0
2000	1	230	0	0	0	0
2001	1	200	0	0	1	2000
2002	4	825	1	900	0	0
2003	2	650	1	670	0	0
2004	1	100	0	0	2	3268
2005	2	571	1	950	0	0
2006	2	664	0	0	0	0
2007	2	350	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0
2009	2	532	1	500	0	0
2010	0	0	0	0	0	0
总计	36	7986	9	6341	4	6268

1990~2010 年期间，共发生船舶溢油事故（溢油量 $\geq$ 期间，）71 起，其中我国海域发生较大船舶溢油污染事故 36 起，发生频率为 1.71 次/a，所占比例 50.7%；发生重大船舶溢油事故 9 起，发生频率为 0.43 次/a，所占比例为 12.7%；发生特别重大船舶溢油污染事故 4 起，发生频率为 0.19 次/a，所占比例为 5.6%。根据分析结果可知，发生较大船舶溢油污染事故的频率较高，应引起重视。

船舶溢油事故按事故原因可分为操作性事故和海损性事故。操作性事故一般指在装/卸货油、加燃油、其他作业期间发生的事故，包括违章故意排放。海损性事故一般指由于碰撞、触礁/搁浅、船体损坏、火灾爆炸等引起的船舶事故。根据《我国沿海港口船舶溢油事故分析及对策研究 [J]》，对于溢油量在 1t 以下的船舶溢油事故，其原因主要是操作性事故。对于溢油量在 7t 以上的船舶溢油事故，原因则主要是海损性事故。从图 4.4.2-1 对船舶溢油事故原因分析可以看出，7 种事故原因所引起的船舶溢油事故次数和溢油总量的变化规律基本一致。即碰撞是船舶溢油事故的最主要原因，共发生溢油事件 42 起，其发生次数占总溢油次数的 59.15%，其导致的溢油总量也最高，占有所有溢油事故溢油总量的 44.35%；其次是触礁 / 搁浅而引起的船舶溢油事故，共发生溢油事件 14 起，占总船舶溢油事件次数的 19.72%，其溢油总量为 6564t，占有所有溢油事故溢油总量的 29.79%。由操作性原因和船体倾覆所导致的船舶事故次数最低，都为 2 起，占总船舶溢油事故的 2.82%。因此，碰撞、触礁 / 搁浅是我国溢油量在 50t 以上船舶溢油事故发生的主要原因。

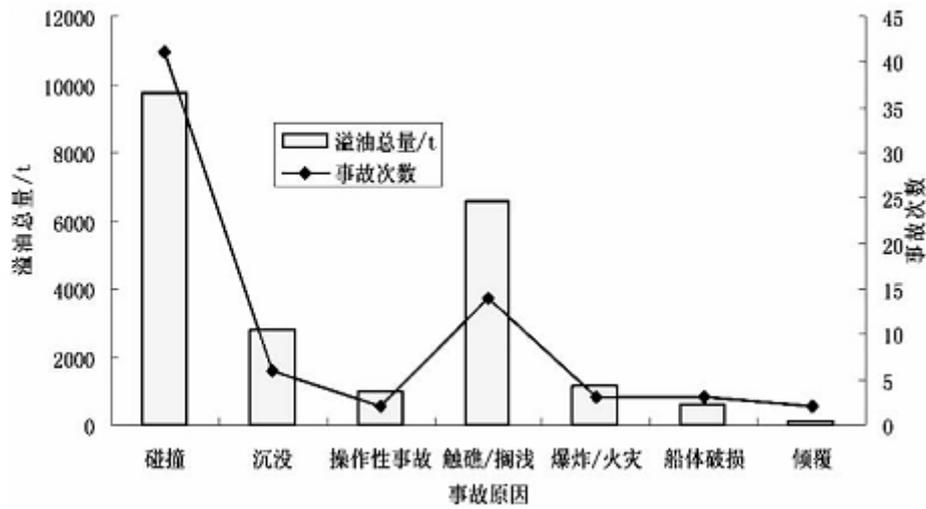


图 4.4.2-1 我国船舶溢油事故原因分析

## 2、风机损坏风险事故分析

兆瓦级新型风电机组产品投入规模化生产运行后，质量和运行可靠性还未在海上得到充分检验。同时，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。

## 3、海上升压站溢油分析

海上升压站主变与采油机房溢油将进入事故油罐中，因此海上升压站溢油事故发生概率较小。

### 4.4.2.2 溢油源项分析

#### (1) 施工期

工程施工期各类船舶数量较多，存在施工船舶之间以及施工船舶与渔船可能发生碰撞溢油事故风险。非油轮船舶燃油最大携带量可用船舶总吨推算，一般可取船舶总吨的 8%~12（本评价按照 10% 计）。本工程具有动力船舶载重 500~6500t，为考虑最大风险，船舶载重按 6500t 计。参考《船舶工业统计报表制度》附录三载重吨与总吨转换系数表和方法，5000~10000t 级散货船的转换系数为 0.68。实际载油率取 90%，则 6500t 级施工船舶实际载油量约为 398t，按拥有 4 个油舱考虑，单舱载油量为 99.5t。因此本工程施工船舶发生事故溢油量以 100t 考虑。

#### (2) 营运期

海上升压站主要带油设备有主变和柴油机。每台主变本体油量约 50t，共 3 台主变；柴油机一台，其本体不带油，仅设置储油罐，容量约为 10m<sup>3</sup>。工程海上升压站设置事故油罐约 70m<sup>3</sup>。因此，本工程运营期按一台主变漏油 50t 考虑。

#### 4.4.2.3 溢油事故影响预测

##### 1、预测方法

采用油“粒子”追踪方法来模拟溢油在海洋环境中的时空行为，这样可以避免由数值离散引起的与物理扩散无关的伪扩散效应，有时这种数值扩散效应会相当大，以至于完全掩盖了物理扩散，不能描述真正的物理过程。用粒子追踪方法可以将环境动力作用引起的被动扩展与油自身特性的扩展融为一体，较好地解决油膜的扩展和破裂问题。

##### (1) 粒子追踪概念

“粒子追踪”（拉格朗日）概念就是在一个溢出点释放许多油“粒子”，用小粒子的大量集合来描述污染物，即把溢油分成许多离散的小油滴（油块），代替连续的油体，并通过物理—化学过程影响每个小油滴的运动。

物理过程是指由于平流运动和紊流波动引起的粒子运动。平流运动指每个粒子在特定的流场条件下发生的平移，适宜用拉格朗日法模拟，紊流波动是指由于剪流和湍流引起的扩散运动，可以用随机游动法模拟。湍流可视为随机流场，而每个模型粒子在湍流场中的运动则类似于流体分子的布朗运动。由于每个粒子的随机运动而导致整个云团在水体中的扩散过程。这种方法实际上是确定性方法和随机方法的结合，即采用确定性方法模拟平流运动，采用随机性方法模拟扩散过程。

##### (2) 动力学过程

动力学过程分为两个主要部分，平流过程和扩散过程，溢油在每一个瞬时的三维空间位置和分布状态则是各种运动过程的综合作用结果。油粒子的输移包括扩展、漂移、扩散等过程，这些过程是油粒子位置发生变化的主要原因，而油粒子的组分在这些过程中不发生变化。

Fay（1969 年）首次研究了油膜在平静海面上的扩展过程，他认为扩展过程主要受到惯性力、重力、粘性力和表面张力的控制，采用修正的 Fay 理论基础上的重力—粘力公式计算油膜扩展：

$$\left[ \frac{dA_{oil}}{dt} \right] = K_a \cdot A_{oil}^{\frac{1}{3}} \cdot \left[ \frac{V_{oil}}{A_{oil}} \right]^{\frac{4}{3}} \quad (4.4.2-1)$$

式中： $A_{oil}$  为油膜面积， $A_{oil} = \pi R_{oil}^2$ ； $R_{oil}$  为油膜直径； $K_{\alpha}$  为系数（率定为 0.6）； $t$  为时间； $V_{oil}$  为油膜体积， $V_{oil} = R_{oil}^2 \cdot \pi \cdot h_s$ ； $h_s$  为油膜初始厚度。

油粒子漂移的作用力是水流和风拽力，油粒子总漂移速度由以下权重公式计算：

$$U_{tot} = c_w(z) \cdot U_w + U_s \quad (4.4.2-2)$$

式中： $U_w$  为海面上 10m 处的风速； $U_s$  为表面流速； $c_w$  为风应力系数。

流场数据由二维水动力模型计算获得。

### (3) 非动力学过程

油粒子的非动力学过程包括蒸发、溶解和形成乳化物等过程，在这些过程中油粒子的组分发生改变，但其水平位置没有发生变化。

油膜蒸发受油分、气温和水温、溢油面积、风速、太阳辐射和油膜厚度等因素的影响。假定在油膜内部扩散不受限制（气温高于 0 度以及油膜厚度低于 10cm 时基本如此），油膜完全混合，油组分在大气中的分压与蒸气压相比可忽略不计。

蒸发率可由下式表示：

$$N_i^e = k_{ei} \cdot \frac{P_i^{SAT}}{RT} \cdot \frac{M_i}{\rho_i} \cdot X \quad (4.4.2-3)$$

式中： $N^e$  为蒸发率； $k_{ei}$  为物质输移系数； $P^{sat}$  为蒸汽压； $R$  为气体常数； $T$  为温度； $M$  为分子量； $\rho$  为油组分的密度； $X$  为摩尔分数； $i$  代表各种油组分。 $k_{ei}$  由下式估算：

$$k_{ei} = k \cdot A_{oil}^{0.045} \cdot Sc_i^{-\frac{2}{3}} \cdot U_w^{0.78} \quad (4.4.2-4)$$

式中： $k$  为蒸发系数（通过率定设为 0.029）； $Sc_i$  为组分  $i$  的蒸气 Schmidt 数。

油在水中的溶解率用下式表示：

$$\frac{dV_{oil}}{dt} = K_{si} \cdot C_i^{SAT} \cdot X_{mol_i} \cdot \frac{M_i}{\rho_i} \cdot A_{oil} \quad (4.4.2-5)$$

式中： $V_{oil}$  为油膜体积； $C_i^{SAT}$  为组分  $i$  的溶解度； $X_{mol_i}$  为组分  $i$  的摩尔分数； $M_i$  为组分  $i$  的摩尔质量； $K_{si}$  为溶解传质系数（ $K_{si} = 2.36 \cdot 10^{-6} e_i$ ）。

乳化是一种液体以微小液滴均匀地分散在互不相溶的另一种液体中的作用。油向水体中的运动包括扩散、溶解和沉淀等。

从油膜扩散到水体中的油分损失量  $D$  为：

$$D = D_a \cdot D_b$$

$$D_a = \frac{0.11(1+U_w)^2}{3600}$$

$$D_b = \frac{1}{1+50\mu_{oil}h_s\gamma_{ow}}$$

式中： $D_a$  是进入到水体的分量； $D_b$  是进入到水体后没有返回的分量； $U_w$  为风速； $\mu_{oil}$  为油粘度， $h_s$  为油膜厚度， $\gamma_{ow}$  为油-水界面张力。

油滴返回油膜的速率为：

$$\frac{dV_{oil}}{dt} = D_a \cdot (1 - D_b)$$

油中含水率变化可由下式平衡方程表示：

$$\frac{dy_w}{dt} = R_1 - R_2$$

$$R_1 = K_1 \frac{(1+U_w)^2}{\mu_{oil}} (y_w^{\max} - y_w)$$

$$R_2 = K_2 \frac{1}{As \cdot Wax \cdot \mu_{oil}} y_w$$

式中： $y_w$  为实际含水率； $R_1$  和  $R_2$  分别为水的吸收速率和释出速率； $As$  为油中沥青含量； $Wax$  为油中石蜡含量； $K_1$ ， $K_2$  分别为吸收系数和释放系数。

## 2、计算工况

施工期溢油风险主要为船舶碰撞事故溢油，根据分析，本工程施工期船舶可能最大水上溢油事故溢油量为 100 吨，溢油位置在风电场施工区靠近航道的区域；营运期升压站事故溢油最大水上溢油事故为 50t，溢油位置在风电场升压站位置。

对不同海况条件下溢油事故进行预测分析，选择大潮汛期作为溢油影响计算水动力条件。本次预测考虑静风、夏季、冬季主导风向及不利风四种风况。场区季风性气候显著，风向随季节变化明显：夏季大陆为热低压盘踞，风从海上吹向大陆，盛行风向为 SSW，平均风速约为 3.9m/s。冬季场区主导风向为 NNE，平均风速约为 4.2m/s；在本工程场区北侧有北仑河口保护红树林保护区、西南方向有广西近海南部海洋保护区及北部湾二长棘鲷和长毛对虾国家级种质资源保护区核心区，为考虑到溢油对保护区及岸线可

能造成的环境影响，不利风向设置为 SSE、S 及 WNW，不利风选六级大风，风速为 10.8m/s。

表 4.4.2-2 溢油计算工况表

溢油点位	溢油类型	污染物	溢油规模	典型风向	风速 (m/s)	潮型
1#点 (近航道处)	施工期船舶碰撞溢油事故 (持续泄漏 1h)	燃料油	100t	静风	0	涨潮/落潮
				夏季主导风 SSW	3.9	
				冬季主导风 NNE	4.2	
				不利风向 SSE		
				不利风向 S	10.8	
2#点 (海上 升压站)	营运期升压站溢油事故 (持续泄漏 1h)	燃料油	50t	静风	0	涨潮/落潮
				夏季主导风 SSW	3.9	
				冬季主导风 NNE	4.2	
				不利风向 WNW	10.8	

### 3、溢油事故预测结果与分析

#### (1) 1#溢油点位事故溢油预测

##### ① 不同组合工况下溢油面积及残油量的统计分析

根据 72 小时事故溢油预测结果，静风情况下，涨潮溢油扫海面积从 17.26km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 146.02km<sup>2</sup>；落潮溢油扫海面积从 22.60km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 132.16km<sup>2</sup>。夏季主导风情况下，涨潮溢油扫海面积从 17.23km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 112.76km<sup>2</sup>；落潮溢油扫海面积从 24.59km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 276.74km<sup>2</sup>。冬季主导风 NNE 情况下，涨潮溢油扫海面积从 16.00km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 271.15km<sup>2</sup>；落潮溢油扫海面积从 32.87km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 168.87km<sup>2</sup>。不利风向 SSE 情况下，涨潮溢油扫海面积从 24.12km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 96.94km<sup>2</sup>；落潮溢油扫海面积从 19.47km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 69.24km<sup>2</sup>。不利风向 S 情况下，涨潮溢油扫海面积从 20.08km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 96.94km<sup>2</sup>；落潮溢油扫海面积从 94.29km<sup>2</sup>，逐渐扩大至 105.32km<sup>2</sup>。

表 4.4.2-3 A 区 1#溢油点位不同组合工况下溢油面积及残油量的统计

溢油时间		3h	6h	12h	24h	36h	48h	60h	72h
静风	涨潮 扫海面积 (km <sup>2</sup> )	17.26	19.91	32.64	85.89	105.75	126.73	133.66	146.02

		残油量(%)	96%	93%	87%	76%	67%	58%	49%	41%
	落潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	22.60	41.36	50.93	57.41	100.73	109.21	132.16	132.16
		残油量(%)	98%	95%	89%	78%	68%	59%	51%	42%
夏季 主导 风 SSW	涨潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	17.23	24.89	47.30	86.56	111.32	112.76	112.76	112.76
		残油量(%)	94%	88%	76%	58%	45%	35%	27%	21%
	落潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	24.59	40.23	47.00	83.12	132.20	217.73	231.99	276.74
		残油量(%)	88%	82%	71%	54%	41%	32%	24%	18%
冬季 主导 风 NNE	涨潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	16.00	24.43	41.79	109.11	138.96	205.20	220.46	271.15
		残油量(%)	88%	82%	71%	55%	43%	34%	26%	20%
	落潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	32.87	55.74	68.14	88.26	90.77	153.91	168.87	168.87
		残油量(%)	94%	87%	76%	60%	47%	37%	29%	23%
不利 风向 SSE	涨潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	24.12	39.70	76.54	96.94	96.94	96.94	96.94	96.94
		残油量(%)	81%	74%	63%	46%	33%	23%	15%	9%
	落潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	19.47	25.40	36.08	96.50	96.50	105.32	105.32	105.32
		残油量(%)	78%	72%	61%	44%	32%	22%	14%	8%
不利 风向 S	涨潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	21.28	35.36	68.22	69.24	69.24	69.24	69.24	69.24
		残油量(%)	90%	82%	69%	50%	36%	26%	17%	10%
	落潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	20.08	22.22	25.67	94.29	94.29	94.29	94.29	94.29
		残油量(%)	87%	80%	67%	48%	35%	24%	16%	9%

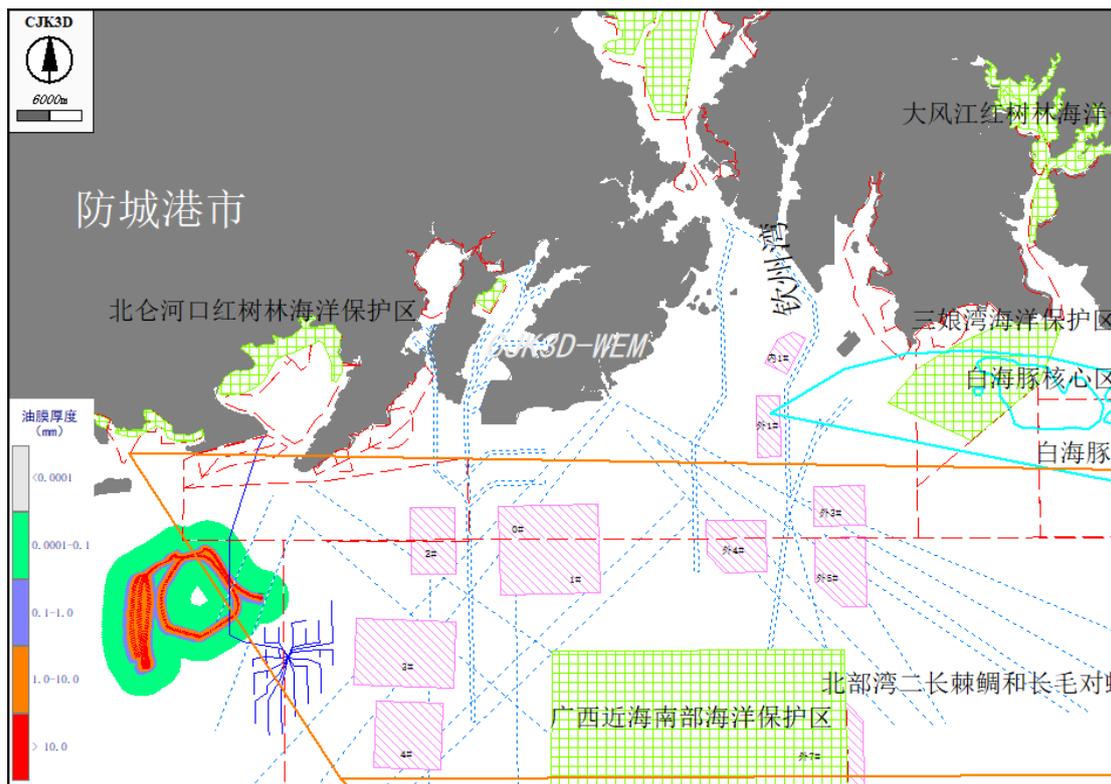


图 4.4.2-2 A 区 1#溢油点静风工况下涨潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

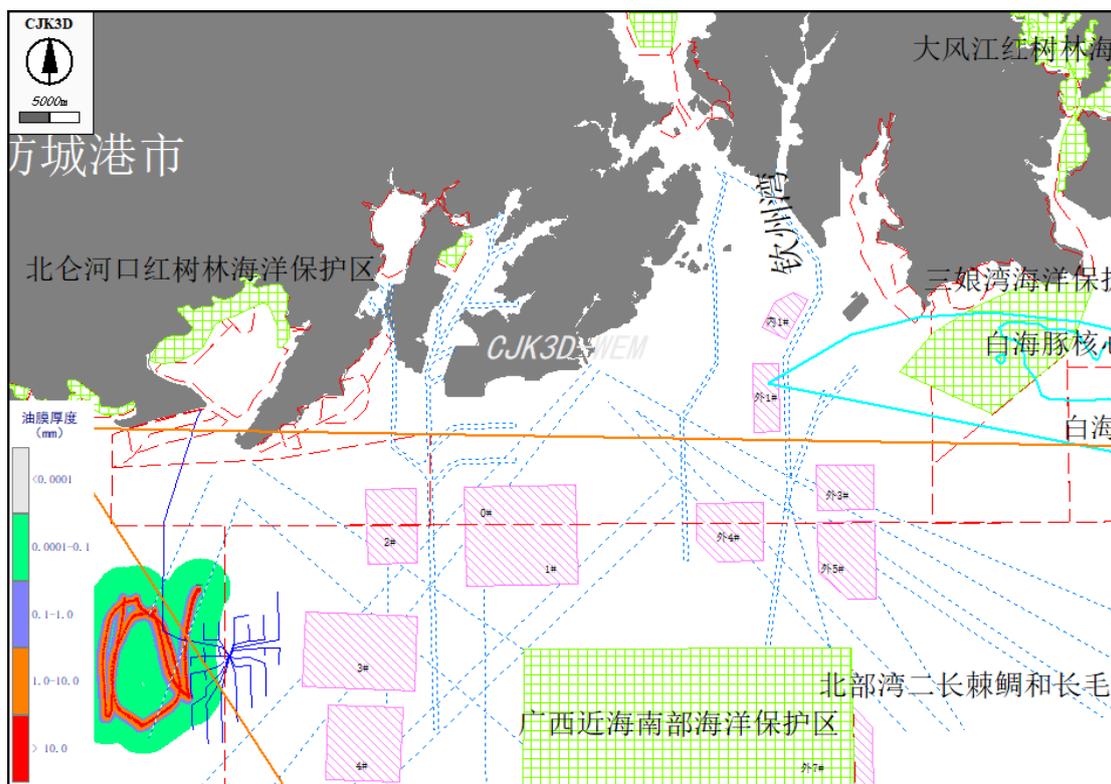


图 4.4.2-3 A 区 1#溢油点静风工况下落潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

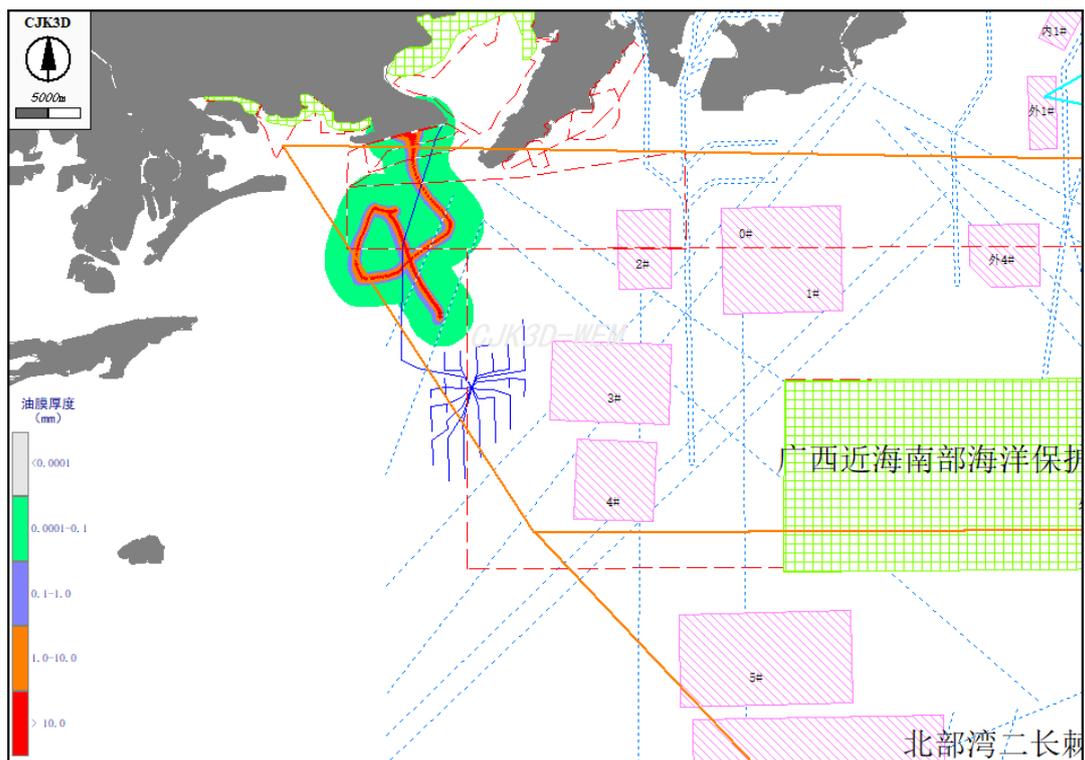


图 4.4.2-4 A 区 1#溢油点夏季主导风 SSW 工况下涨潮不同时间段溢油情况（72h 扫海面积）

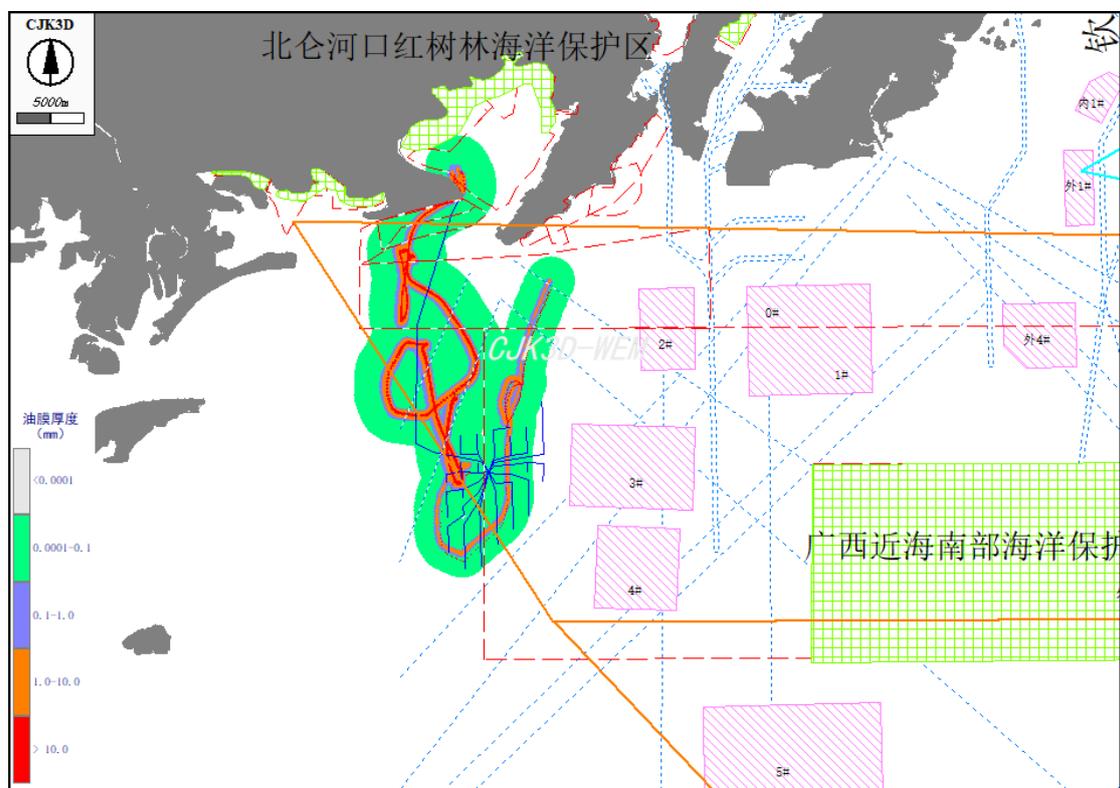


图 4.4.2-5 A 区 1#溢油点夏季主导风 SSW 工况下落潮不同时间段溢油情况（72h 扫海面积）

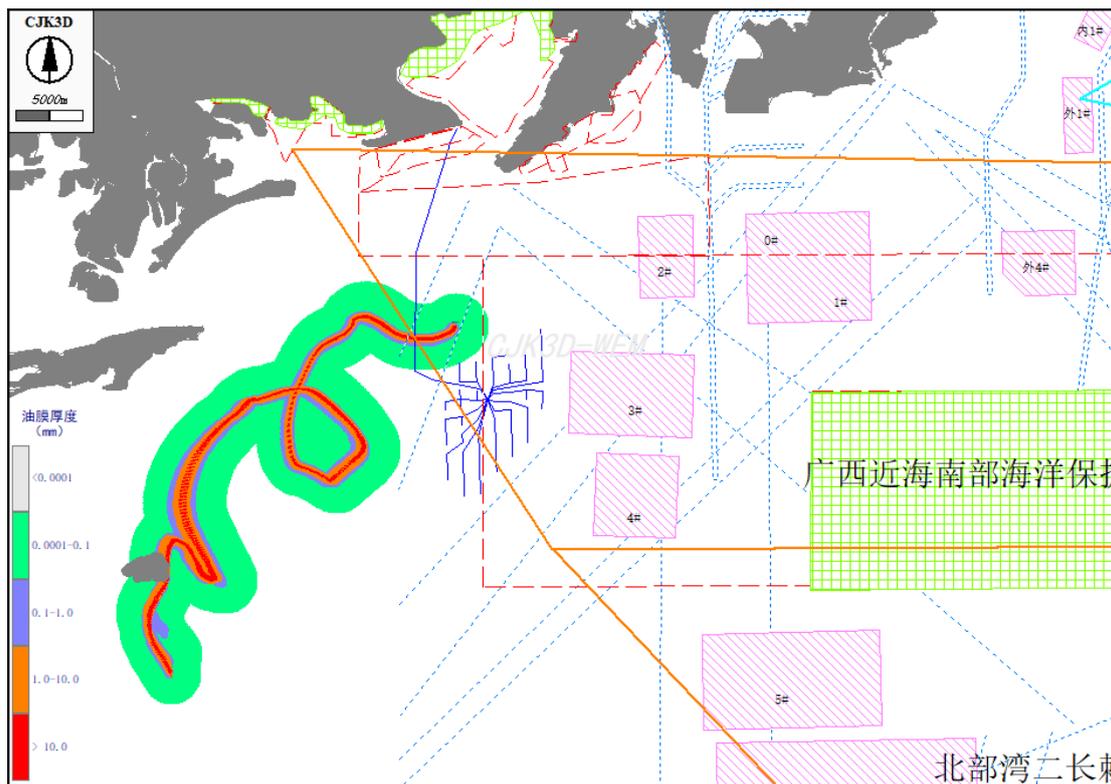


图 4.4.2-6 A 区 1#溢油点冬季主导风 NNE 工况下涨潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

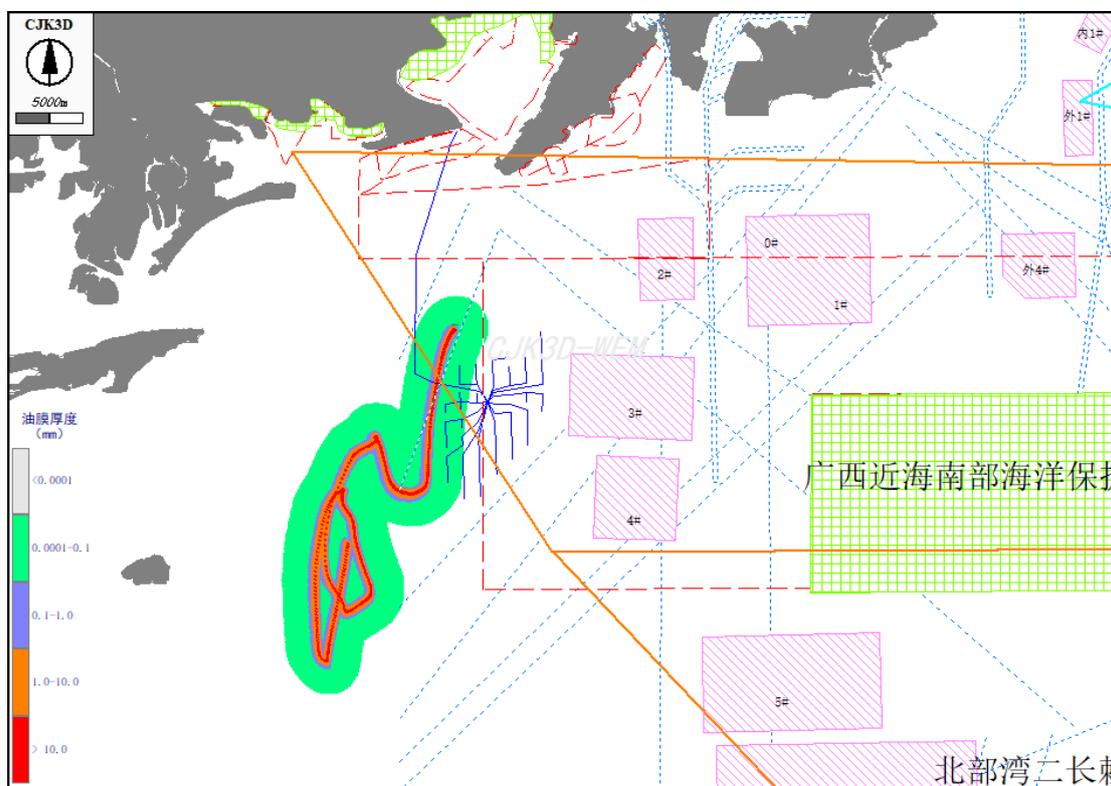


图 4.4.2-7 A 区 1#溢油点冬季主导风 NNE 工况下落潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

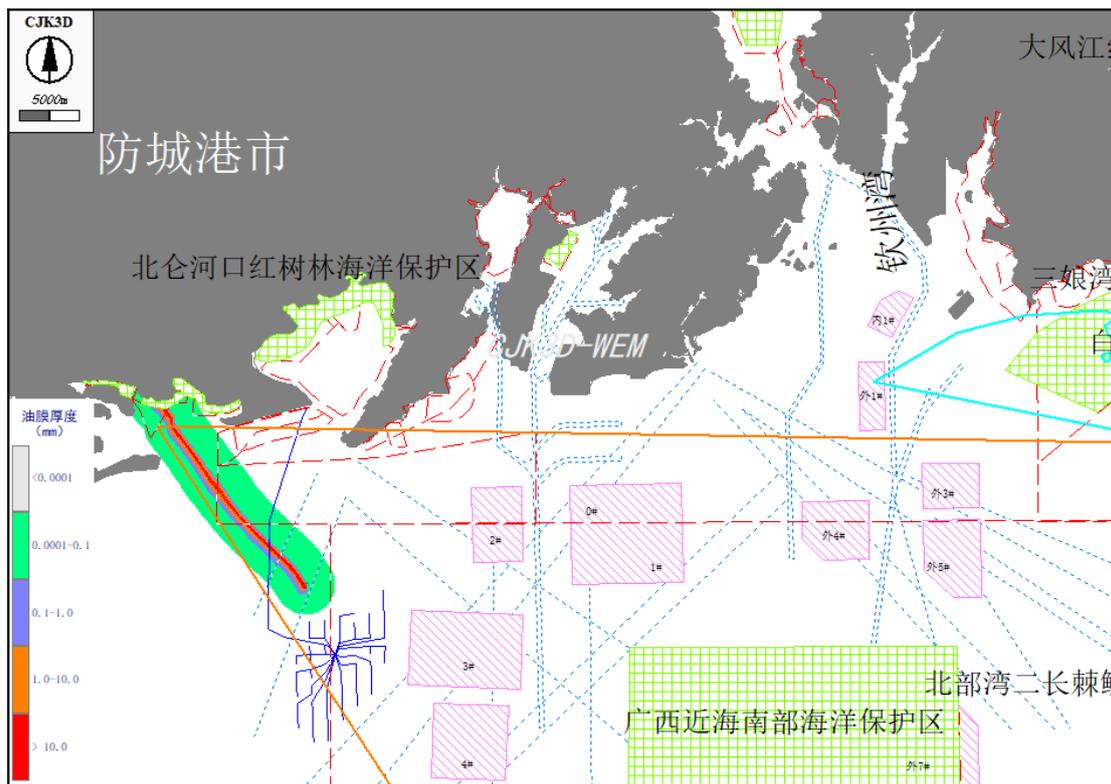


图 4.4.2-8 A 区 1#溢油点不利风向 SSE 工况下涨潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

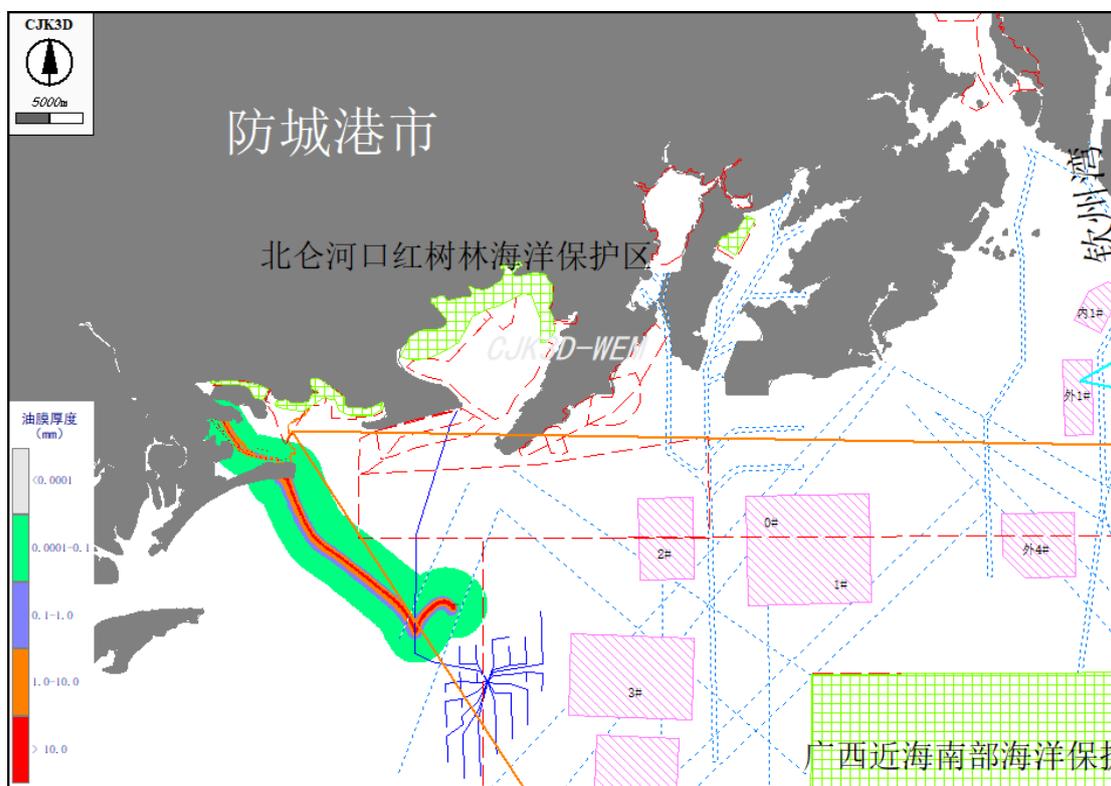


图 4.4.2-9 A 区 1#溢油点不利风向 SSE 工况下落潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

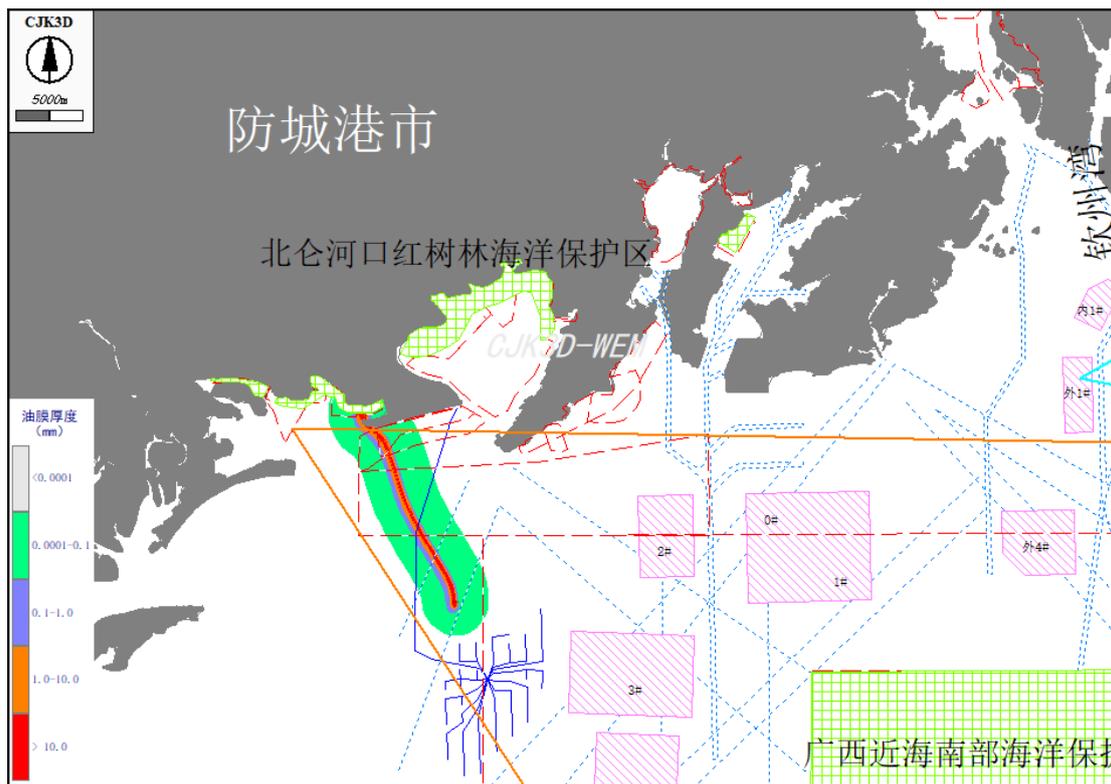


图 4.4.2-10 A 区 1#溢油点不利风向 S 工况下涨潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

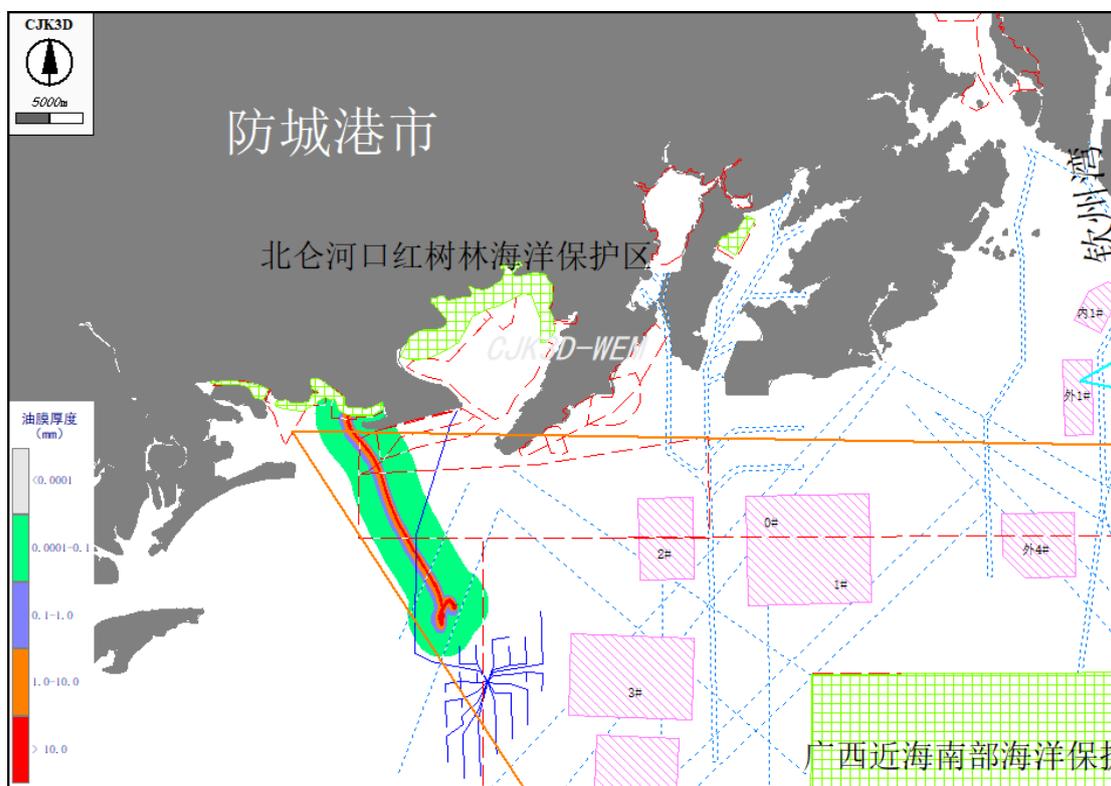


图 4.4.2-11 A 区 1#溢油点不利风向 S 工况下落潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

## ② 不同组合工况下溢油到达敏感目标的时间统计

当溢油发生时，根据表 4.4.2-4 可见，在夏季主导风 SSW、不利风向 SSE、不利风向 S 作用下，溢油将抵达近岸北仑河口红树林海洋保护区，对保护区生态环境产生影响，最短抵达时间为 11.2h。

表 4.4.2-4 A 区 1#溢油点位溢油到达敏感目标的时间统计

敏感目标名称	静风		夏季主导风 SSW		冬季主导风 NNE		不利风向 SSE		不利风向 S	
	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮
茅尾海红树林海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
茅尾海中部海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
防城港东湾海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
北仑河口红树林海洋保护区	/	/	36.7h	71.6h	/	/	12.7h	/	11.2h	20.7h
大风江红树林海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
三娘湾海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
广西近海南部海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
山口红树林海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
北海珍珠贝海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
合浦儒艮海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
白海豚保护区核心分布区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
白海豚保护区分布区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
北部湾二长棘鲷和长毛对虾国家级种质资源保护区试验区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
北部湾二长棘鲷和长毛对虾国家级种质资源保护区核心区	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

## (2) 2#溢油点位事故溢油预测

根据 72 小时事故溢油预测结果, 静风情况下, 涨潮溢油扫海面积从 11.50km<sup>2</sup>, 逐渐扩大至 104.17km<sup>2</sup>; 落潮溢油扫海面积从 14.22km<sup>2</sup>, 逐渐扩大至 118.65km<sup>2</sup>。夏季主导风情况下, 涨潮溢油扫海面积从 15.64km<sup>2</sup>, 逐渐扩大至 137.67 km<sup>2</sup>; 落潮溢油扫海面积从 15.66km<sup>2</sup>, 逐渐扩大至 154.09km<sup>2</sup>。冬季主导风情况下, 涨潮溢油扫海面积从 9.21km<sup>2</sup>, 逐渐扩大至 158.79km<sup>2</sup>; 落潮溢油扫海面积从 19.87km<sup>2</sup>, 逐渐扩大至 125.82km<sup>2</sup>。不利风向 SSE 情况下, 涨潮溢油扫海面积从 16.09km<sup>2</sup>, 逐渐扩大至 311.71km<sup>2</sup>; 落潮溢油扫海面积从 22.51km<sup>2</sup>, 逐渐扩大至 323.58km<sup>2</sup>。

表 4.4.2-5 A 区 2#溢油点位不同组合工况下溢油面积及残油量的统计

溢油时间			3h	6h	12h	24h	36h	48h	60h	72h
静风	涨潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	11.50	18.25	35.41	73.59	77.24	102.52	104.17	104.17
		残油量(%)	95%	90%	83%	69%	57%	46%	35%	25%
	落潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	14.22	33.30	39.45	58.01	94.54	108.98	108.98	118.65
		残油量(%)	95%	90%	83%	69%	57%	46%	35%	25%
夏季主导风 SSW	涨潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	15.64	22.23	37.72	69.13	100.25	111.92	123.16	137.67
		残油量(%)	93%	85%	72%	53%	39%	28%	19%	13%
	落潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	15.66	24.31	31.74	44.48	75.50	118.24	122.27	154.09
		残油量(%)	91%	83%	70%	51%	37%	26%	18%	12%
冬季主导风 NNE	涨潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	9.21	14.45	23.75	71.95	92.76	130.01	134.63	158.79
		残油量(%)	82%	76%	65%	47%	35%	25%	17%	11%
	落潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	19.87	34.24	49.34	59.48	104.46	110.13	119.39	125.82
		残油量(%)	85%	78%	67%	49%	36%	26%	18%	12%
不利风向 WNW	涨潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	16.09	20.11	34.28	78.55	133.66	187.78	255.77	311.71
		残油量(%)	81%	76%	66%	43%	29%	18%	8%	1.5%
	落潮	扫海面积 (km <sup>2</sup> )	22.51	40.58	62.90	93.87	153.43	202.39	265.32	323.58
		残油量(%)	78%	70%	58%	40%	27%	16%	8%	1%

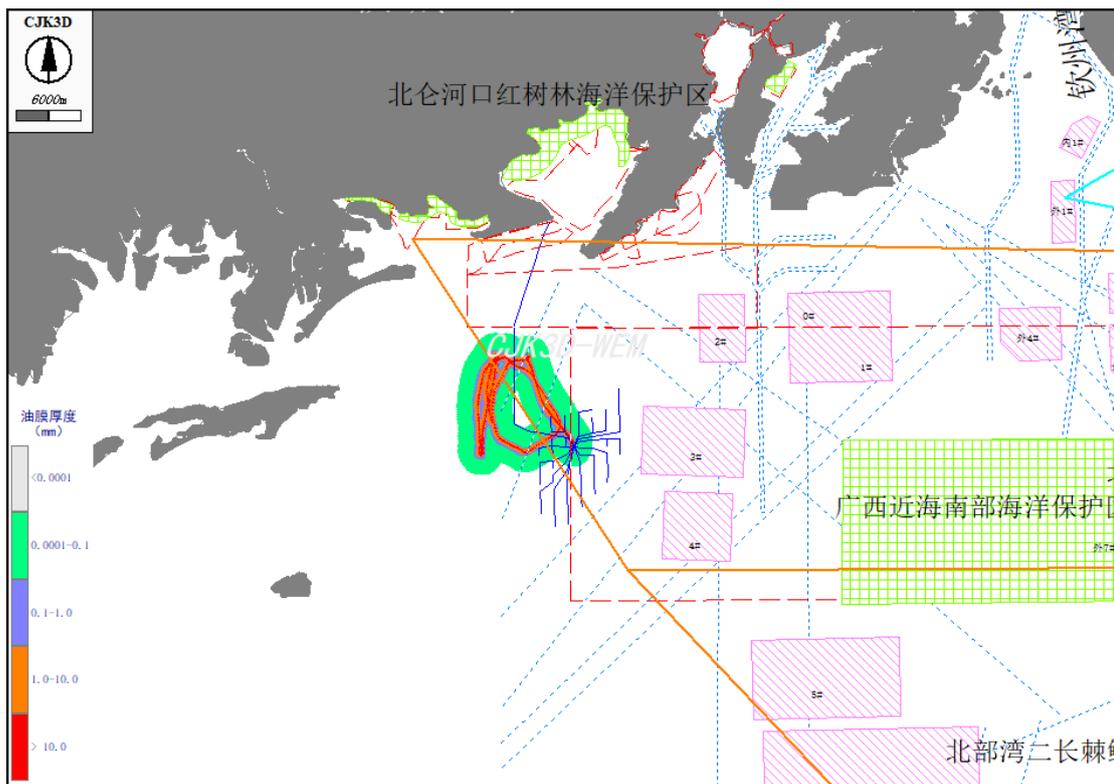


图 4.4.2-12 A 区 2#溢油点静风工况下涨潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

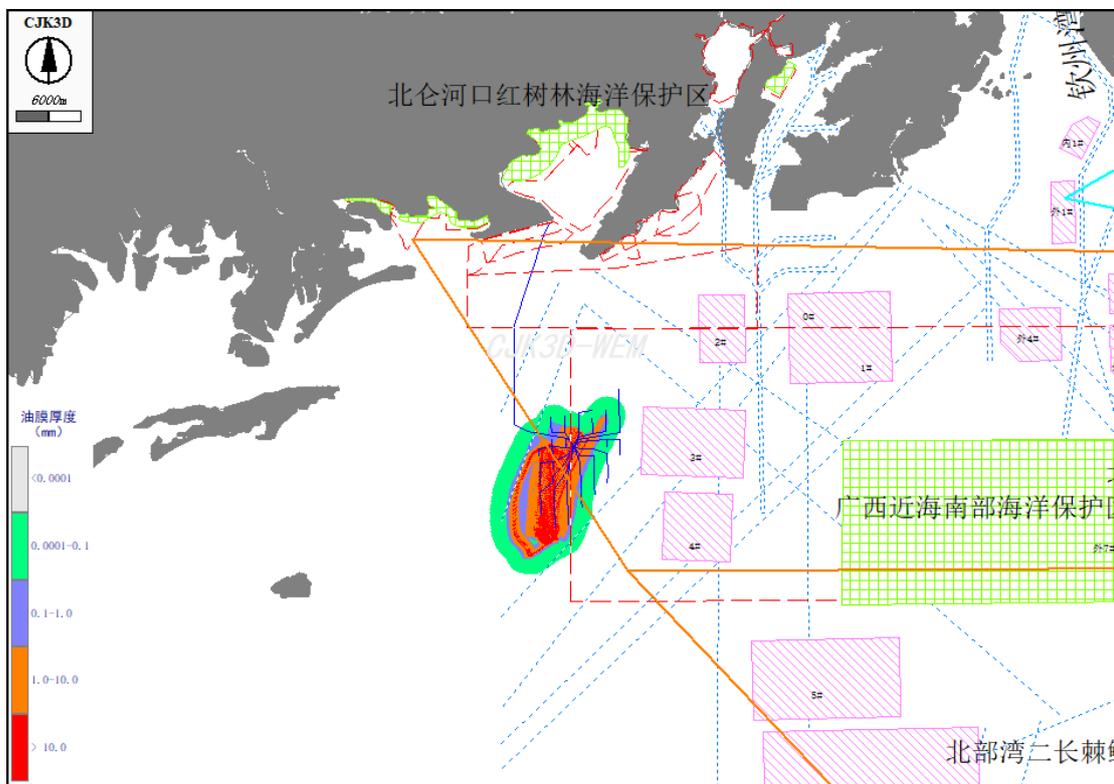


图 4.4.2-13 A 区 2#溢油点静风工况下落潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

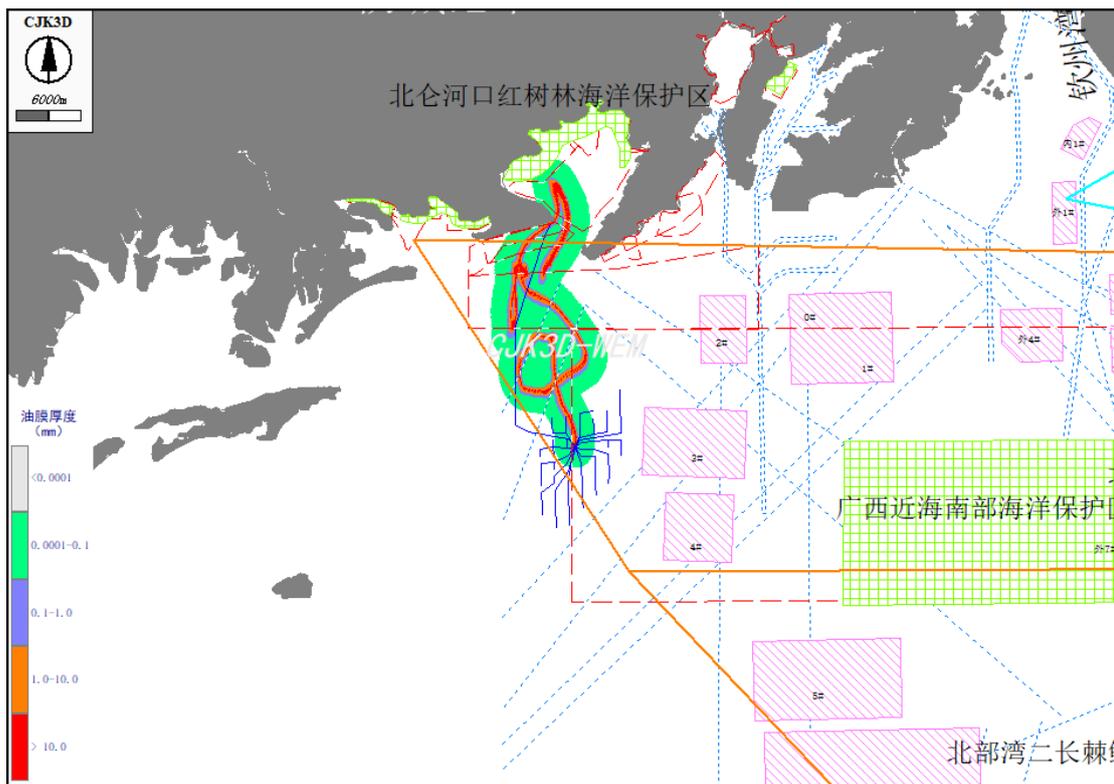


图 4.4.2-14 A 区 2#溢油点夏季主导风 SSW 工况下涨潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

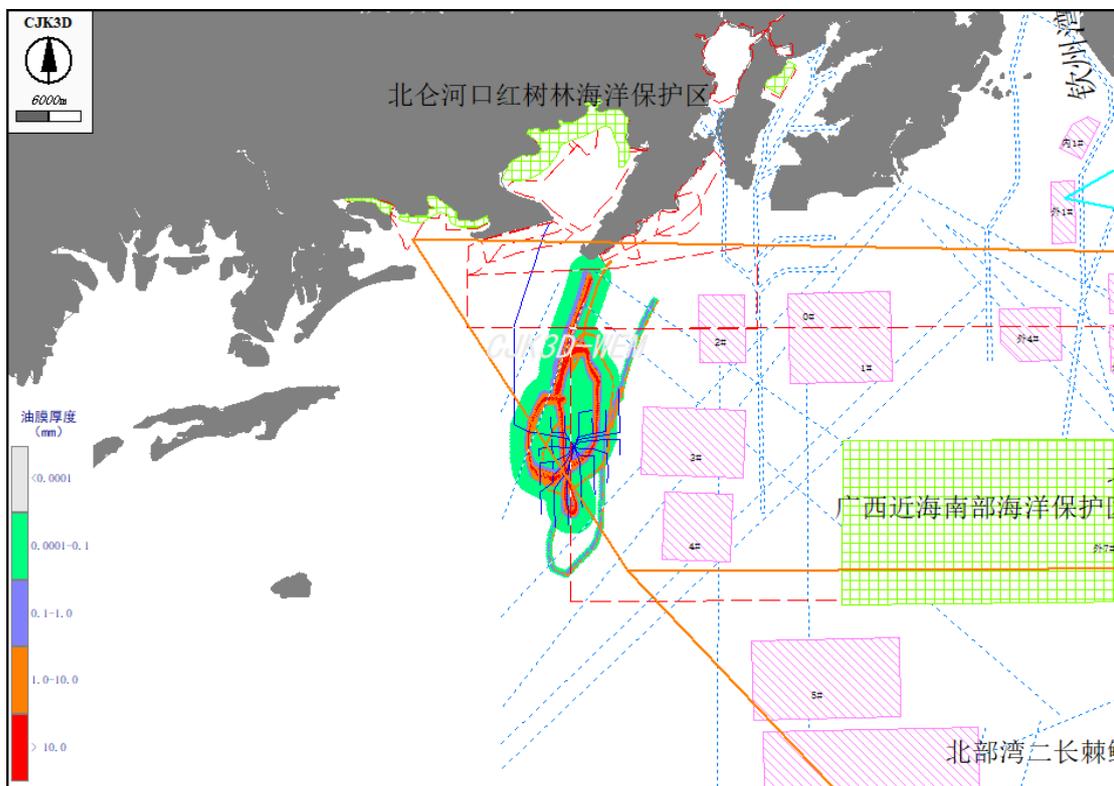


图 4.4.2-15 A 区 2#溢油点夏季主导风 SSW 工况下落潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

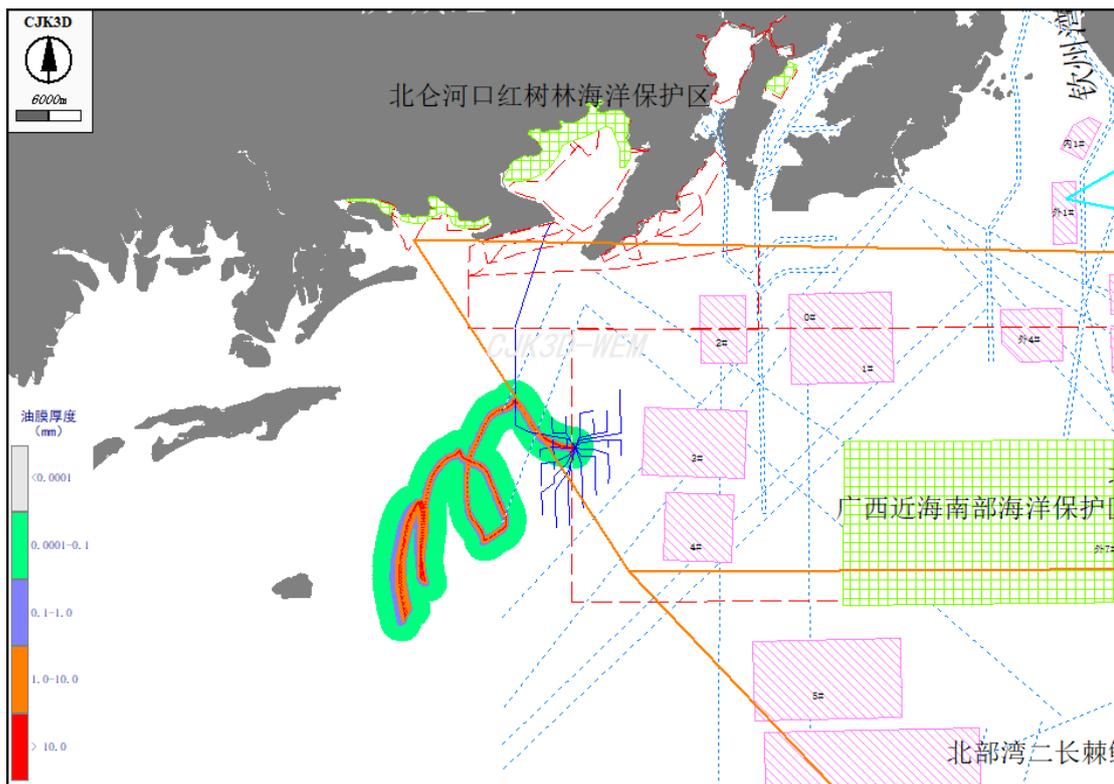


图 4.4.2-16 A 区 2#溢油点冬季主导风 NNE 工况下涨潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

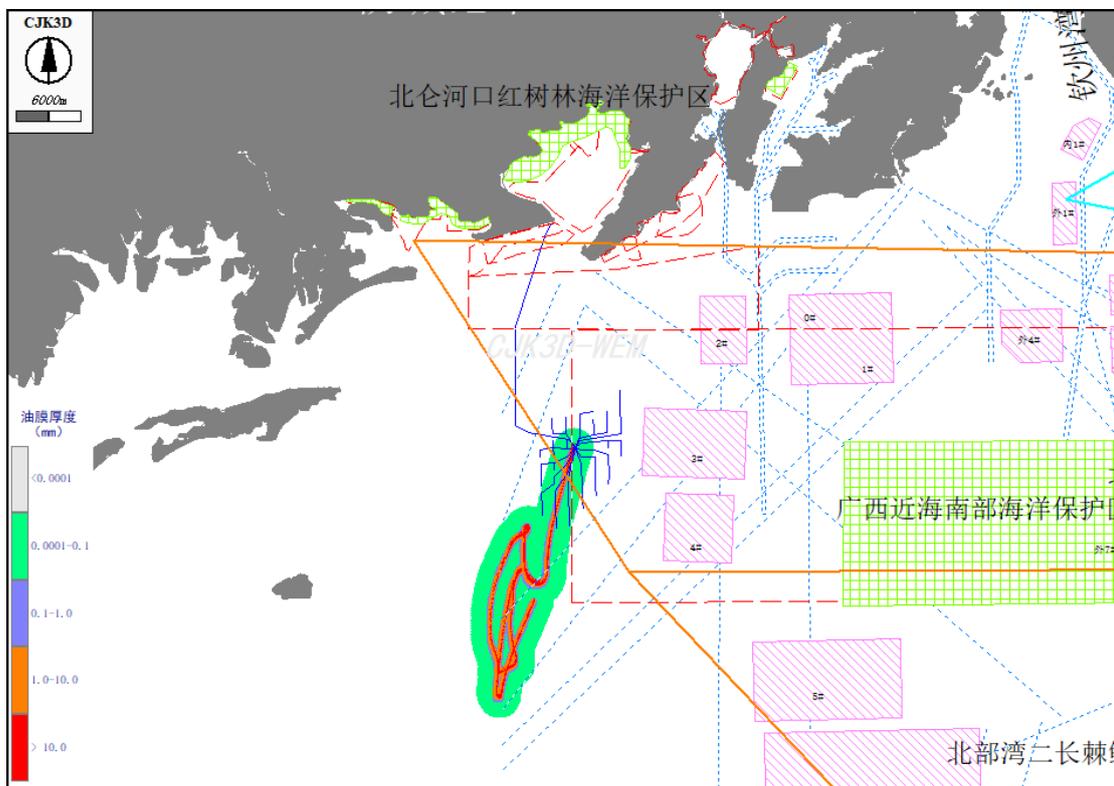


图 4.4.2-17 A 区 2#溢油点冬季主导风 NNE 工况下落潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

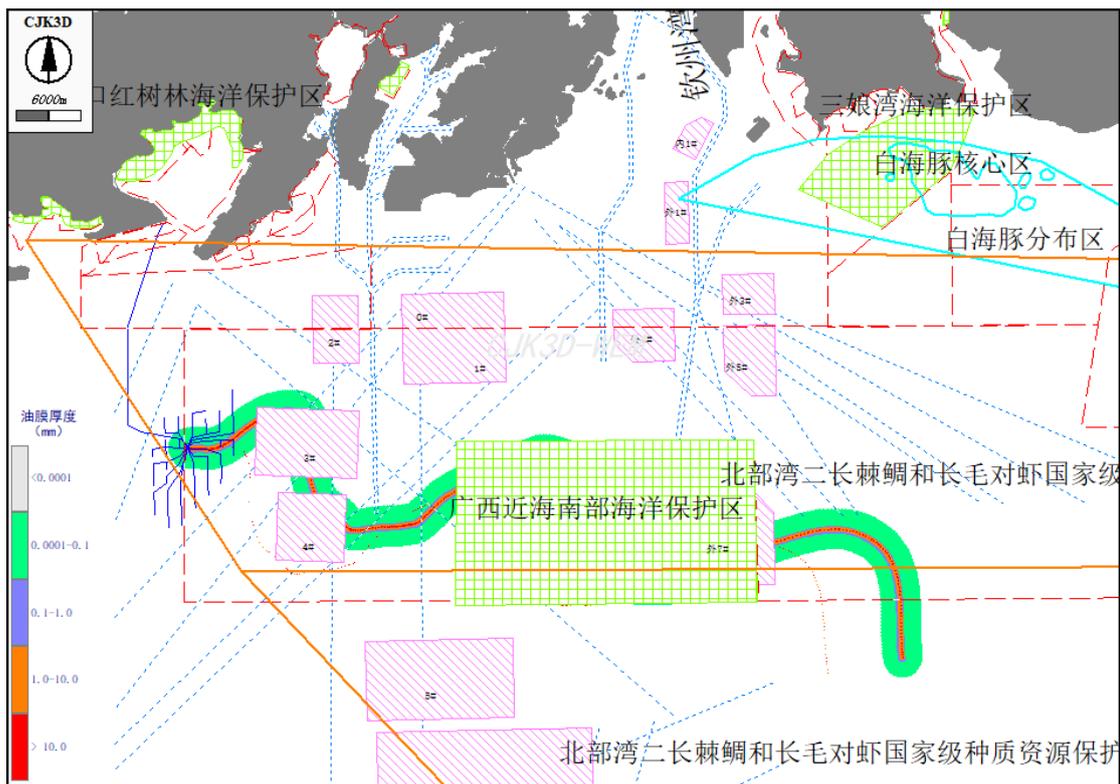


图 4.4.2-18 A 区 2#溢油点不利风向 WNW 工况下涨潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

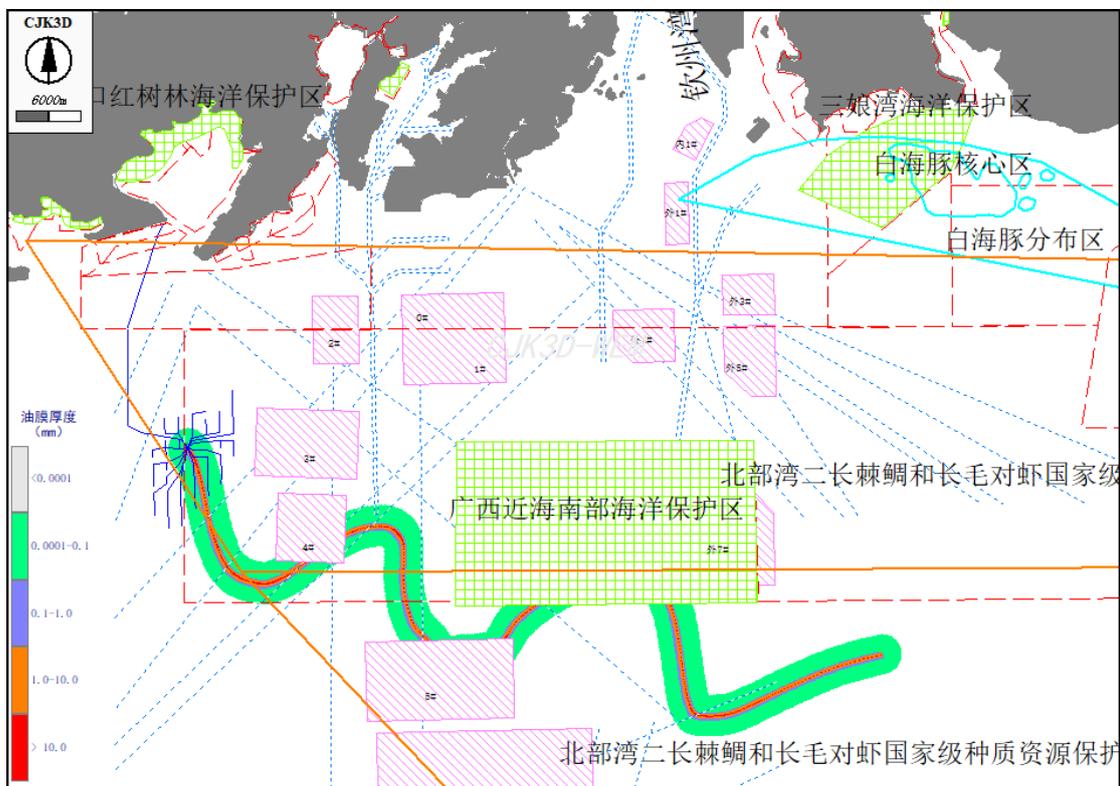


图 4.4.2-19 A 区 2#溢油点不利风向 WNW 工况下落潮不同时间段溢油情况 (72h 扫海面积)

## ② 不同组合工况下溢油到达敏感目标的时间统计

当溢油发生时，根据表 4.4.2-6 可见，在夏季主导风 SSW 作用下，溢油将抵达北仑河口红树林海洋保护区；在不利风向 WNW 作用下，溢油将抵达广西近海南部海洋保护区，对保护区生态环境产生影响，最短抵达时间为 32h。

表 4.4.2-6 A 区 2#溢油点位溢油到达敏感目标的时间统计

敏感目标名称	静风		夏季主导风 SSW		冬季主导风 NNE		不利风向 WNW	
	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮
茅尾海红树林海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/
茅尾海中部海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/
防城港东湾海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/
北仑河口红树林海洋保护区	/	/	62.5h	/	/	/	/	/
大风江红树林海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/
三娘湾海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/
广西近海南部海洋保护区	/	/	/	/	/	/	32h	41.3h
山口红树林海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/
北海珍珠贝海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/
合浦儒艮海洋保护区	/	/	/	/	/	/	/	/
白海豚保护区核心分布区	/	/	/	/	/	/	/	/
白海豚保护区分布区	/	/	/	/	/	/	/	/
北部湾二长棘鲷和长毛对虾国家级种质资源保护区试验区	/	/	/	/	/	/	/	/
北部湾二长棘鲷和长毛对虾国家级种质资源保护区核心区	/	/	/	/	/	/	/	/

#### 4.4.2.4 溢油风险对海洋生物的影响分析

船舶溢油事故发生后，将对海洋生物和渔业资源造成很大影响。

##### 1、对浮游生物的影响

浮游植物是海洋生物的初级生产者，最容易受到油污染的影响。0.1mg/L 的油浓度就会影响其正常生长，对于以其为食的浮游动物也随之而受到影响。完全性浮游动物、动物幼体、卵、一些动物的某一个生长期等对油污染更为敏感。表 4.4.2-7 和表 4.4.2-8 列举了油污染对一些海洋生物的影响情况。

表 4.4.2-7 石油产品对海洋生物的致死浓度(1)

生物种类	2 号燃料油或煤油	废油(ppm)
海洋植物	<100 $\mu$ L/L	10
鲭鱼	50 $\mu$ L/L	1700
幼体和卵	0.1 $\mu$ L/L	1.25
浮游甲壳动物	5~50PPm	15~20
底栖甲壳动物	0.56mg/L	

表 4.4.2-8 石油产品对海洋生物的致死浓度(2)

种类	石油产品种类	浓度(ppm)	亚致死反应
普通小球藻	精制萘	1	抑制生长
硅藻、双鞭毛藻	油	0.1~0.0001	抑制或减缓细胞分裂
日本星杆藻	煤油	3~38	降低生长速度
海胆幼体	船用燃油的萃取物	0.1~1	影响受精卵发育
大西洋鳕鱼幼体	BP1002	0~10	破坏捕食行为
大 虾	原油、煤油	10	影响化学感受捕食行为
贻贝	原油	1	加快呼吸、减少捕食
滨螺	BP1002	30	明显抑制生长

##### 2、对游泳生物的影响

鱼类是海洋中主要的游泳生物，它们对油污染的抵抗能力比其他生物较强，但是，1mg/L 的油浓度也会引起鱼类的中毒反应，而对于幼小的鱼苗，它们的敏感程度比成熟的鱼高 100 倍，而且它们不能象成体那样避开被油污染的水域。

##### 3、对其它海洋生物的影响

对于哺乳动物类、鸟类等这样大型的海洋脊椎动物，它们虽能逃离污染区，但是如果是在生殖季节，油类污染了正在栖息生殖的海滩，他们将极易受到伤害，

它们的幼体有被窒息的危险，溢油还会污染它们的皮毛，甚至眼睛、鼻孔和嘴，造成不同程度的伤害，威胁其生命。此外，油类中的石油烃在某些不敏感的有机物的同化作用下，能以各种不同方式富集于它们的食物链中，尤其在鱼类、软体类动物体内的富集，使这些动物受到污染。渔业生产也会受到油污染的影响。一方面可能降低渔业产量，另一方面因造成肉质带有油味而降低其商业价值，因而造成较大的经济损失。

综上所述，一旦发生大规模溢油事故，受污染区域内的海洋生物将会受到较严重的破坏。因此，杜绝溢油事故发生，或者是当发生溢油事故后，及时采取应急抢险措施，最大限度降低溢油事故对生态环境的影响。

### 4.4.3 自然灾害风险分析

风电场易受的自然灾害风险来自雷击、台风袭击和风暴潮。

#### 4.4.3.1 雷击风险

空中的尘埃、冰晶等物质在大气运动中剧烈摩擦生电以及云块切割磁力线，在云层上下层分别形成了带正负电荷的带电中心，运动过程中当异性带电中心之间的空气被其强大的电场击穿时，就形成放电。对风电场运行带来危害的主要是云地放电，带负电荷的云层向下靠近地面时，地面的凸出物、金属等会被感应出正电荷，随着电场的逐步增强，雷云向下形成下行先导，地面的物体形成向上闪流，云和大地之间的电位差达到一定程度时，即发生猛烈对地放电。

雷电一般具有：冲击电流大；持续时间短；雷电流变化梯度大和冲击电压高等特点。通常雷击有三种形式，直击雷、感应雷、球形雷。

风机设备遭受雷击受损通常有下列 4 种情况：

- (1) 风机直接遭受雷击而损坏，主要指叶片件遭感应雷和球形雷破坏叶尖甚至整个叶片；
- (2) 雷电脉冲沿与设备相连的信号线、电源线或其他金属管线侵入使设备受损；
- (3) 设备接地体在雷击时产生瞬间高电位形成地电位“反击”而损坏；
- (4) 设备安装的方法或安装位置不当，受雷电在空间分布的电场、磁场影响而损坏。

#### 4.4.3.2 台风（热带气旋）风险

台风是强烈的热带气旋，是发生在热带海洋上的中心附近最大风力达到 12 级以上的暖性低压强烈天气系统。台风蕴涵的巨大自然能量将给风电机组造成破坏，其破坏机理主要是对设备结构施加静载荷和动载荷叠加效应。

台风对风电场的可能造成的损害包括：

（1）台风夹带的细小沙砾造成破坏叶片表面，轻则影响叶片气动性能，产生噪音，严重的将破坏叶片表面强韧性由此降低叶片整体强度。

（2）台风带来的狂风暴雨对输电线路的破坏。

（3）台风破坏测风装置，使风力发电机组不能正确偏航避风，设备不能降低受风面积，超过设计载荷极限，使设备遭到破坏。

（4）台风施加在设备上的静力效应和动力效应共同作用下不断施加疲劳载荷，最后达到或者超过叶片和塔架的设计载荷极限，导致引起部件机械磨损，缩短风力发电机组的寿命，严重的使叶片损坏及塔架倾覆。

#### 4.4.3.3 风暴潮风险

受长期泥沙冲刷的影响，在风电场海底电缆和海床之间有形成淘空的可能。考虑工程海域可能遭受风暴潮、热带气旋的影响，风暴潮带、热带气旋来的强劲潮流和风能共同作用也可能造成海缆及基础处的局部冲刷，威胁基础稳定和海缆安全。为避免海缆掏空风险，在施工过程中应避免在电缆和海床之间形成空间，以防止海区内较为强劲的潮流和风量作用造成局部冲刷现象。对于基础局部冲刷的保护则应在基础承载设计中预留必要的冲刷余量，并在运行期必要时采取基础抛石回填等措施。

项目建成运行后应开展定期的巡查观测潮滩冲刷变化情况，在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查，如发生局部冲刷及时进行回填保护。

### 4.4.4 其它风险事故及其影响分析

#### 4.4.4.1 风机倒塌风险分析

（1）风机基础缺陷

单个风机的位置的地质情况存在差别,有的甚至可能和岩土勘察报告的结论相去甚远,若未对单个风机选址进行详勘,未针对选址点采取有针对性的措施,可能造成风机基础腐蚀、塌陷,风机倾覆等事故。

#### (2) 风机塔架缺陷

风力发电机组选型未按照风场发电机组最大风速及湍强等选型,塔架地基基础地质勘测不清楚,塔架的荷载条件设计不合理,塔架制造和装配存在材料和质量缺陷,均可能导致风机塔架坍塌事故。

#### (3) 外力影响

受船舶撞击或者强台风袭击导致风机倒塌。由于风机倒塌引起的海上升压站、风机机舱、风机塔筒落入海中,本身形成障碍物,将对船舶通航产生障碍。其本身电机机械表面带有的少量润滑油落入海中对海水水质造成影响。

#### 4.4.4.2 电气设备风险分析

风力发电机组:风机故障、风机叶片损坏、风机火灾、齿轮箱损坏、偏航机构损坏、风机飞车、液压系统缺陷等。风机维护、维修时产生的润滑油的跑冒滴漏落入海中对海水水质造成影响。

海缆如果布线不合理,机械强度不够,埋深不够,施工质量差,海缆敷设线路未设置标志,未向海洋管理部门申报,有可能造成海缆损坏。

#### 4.4.4.3 运营期升压站变压器油泄漏风险分析

本工程升压站扩建运行后,需对升压站内变压器及相关配套设施进行管理维护,需用到一定数量的变压器油。变压器运行及检修维护时,可能会导致变压器油泄漏、渗漏以及跑冒滴漏等。

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 $<-45^{\circ}\text{C}$ ,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土壤、海洋环境受到污染,理不当甚至可能发生火灾等事故。

## 5 海域开发利用协调分析

### 5.1 项目用海对海域开发活动的影响

根据 3.4 节开发利用现状的分析，本项目所在附近海域及近岸的主要开发活动有：白龙港至越南海防以北港口航路、企沙港至越南海防以北港口航路、防城港 4#锚地、防城港 3#锚地、白须公礁、广西鱼贝盛海水养殖有限公司开放式养殖、广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖、广西洋之洋水产养殖有限公司开放式养殖、广西江生龙辉海水养殖有限公司开放式养殖和广西和盛渔业发展有限公司开放式养殖等。结合项目建设和运营情况，项目用海对海域开发活动影响分析如下：

#### 5.1.1 对港口、航路的影响分析

本项目位置远离周边港口附近海域船舶出没密集的主要港口，与港口的距离较远，距离最近的是风电场所处海域东北处的防城港港口区，相距约 18.5km，项目对防城港港口区设施和功能的影响较小。

项目西北侧边界距离白龙港至越南海防以北港口航路中心线约 4.8km，东侧边界距离北部湾至东南亚航路至三牙航道支线中心线约 10.9km，东南侧边界距离防城港、钦州港至越南海防以北航路中心线约 13.5km。项目场址与航道的距离均较远，满足所需安全距离的要求。但是项目海缆路由穿越白龙港至越南海防以北港口航路，工程施工过程中，来往船只的增多将给这一区域的船舶航行安全带来一定的影响。各种工程船舶在运输过程中会与在这些过往船舶形成交叉会遇局面，可能会增加其他船舶的航行、避让困难。

1) 工程施工期间，施工作业船舶和施工作业机具将占用一定的通航水域，对于通过该水域的船舶正常航行有一定的影响；

2) 施工船舶频繁进出该水域客观上增加了船舶交通流量和密度，船舶在该水域中会遇局面增多并变得复杂；

3) 施工作业期间，若发生施工船舶火灾、爆炸、沉船、主机、舵机故障、船舶失控漂航等事故，对施工水域附近船舶航行安全会有很大的影响。

4) 另外，来往渔港和航线上的船只如果抛锚不准和航线运行不准，也可能

对电缆或者风机基础造成破坏。

虽然施工会对其周围的通航环境会造成一定的影响，但通过严密、科学的施工组织合理的生产调度；把工程安全、施工安全和通航安全放在首位，做好施工作业的安全管理工作；施工船运用良好船艺，谨慎驾驶的驾驶员，可以最大限度地减少施工期对通航环境和船舶通航的影响。

### 5.1.2 对锚地的影响分析

本项目周边海域区内有两个锚地：现有的防城港 4#锚地和规划中的防城港 3#锚地，分别位于风电机组的东南侧和东侧。其中防城港 4#锚地与风电机组的最短距离约 2.8km；防城港 3#锚地与风电机组的最短距离约 0.5km。根据船舶习惯航路截面所截取的最长船舶尺寸计算，本项目与锚地的安全距离至少为 1km。防城港 4#锚地与本项目场址距离较远，本项目建设对其本身不会造成明显影响。而规划中的防城港 3#锚地距本项目距离小于安全距离，因此风电场的建设对锚地安全会造成一定的影响。

### 5.1.3 对白须公礁的影响分析

本项目风电机组北部与白须公礁保护范围重叠。另外，根据防城港市农业农村局关于对《防城港市发展和改革委员会征求防城港海上风电场址与已确权海域兼容发展意见的函》的复函意见，本项目涵盖防城港市“白须公礁海洋牧场渔业旅游综合体项目”海域（坐标：东南点，E 108°14.130，N 21°22.81；东北点，E 108°14.130，N 21°23.744；西南点，E 108°11.027，N 21°22.81；西北点，E 108°11.027，N 21°23.744）。本项目不涉及围填海、水下爆破行为，可以确保维持海域自然属性，不改变近岸水动力环境，不会破坏珊瑚礁的生态环境。风场建设期间风机基础的开挖、打桩、场内电缆敷设形成小范围的悬浮物高浓度区，施工过程中采取有效的水污染防治措施，控制悬浮泥沙扩散范围，不会对区内防城港白须公礁珊瑚礁红线区所在海域海洋环境状况产生影响。运营期间产生少量污染物，采用了有效的污水处理措施，对海水水质及沉积物质量影响极小，从长远而言，对场址范围内的防城港白须公礁珊瑚礁红线区和周边红线区影响甚微。

### 5.1.4 对渔业生产活动的影响分析

本项目风电机组周边现主要有 5 个现行有效的有证养殖，分别是广西鱼贝盛海水养殖有限公司开放式养殖、广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖、广西沔之洋水产养殖有限公司开放式养殖、广西江生龙辉海水养殖有限公司开放式养殖和广西和盛渔业发展有限公司开放式养殖，其中广西鱼贝盛海水养殖有限公司开放式养殖和广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖与本项目存在用海重叠，重叠面积分别为 1.3476 公顷和 0.2712 公顷。广西沔之洋水产养殖有限公司开放式养殖、广西江生龙辉海水养殖有限公司开放式养殖和广西和盛渔业发展有限公司开放式养殖距离本项目较远，距离分别为约 2.5km、3.3km 和 4.0km。

根据项目建设对水质环境的影响分析可知，悬沙 10 mg/L 的扩散距离与广西沔之洋水产养殖有限公司开放式养殖、广西江生龙辉海水养殖有限公司开放式养殖和广西和盛渔业发展有限公司开放式养殖用海区仍有一段距离，影响较小。但 10 mg/L 悬沙会扩散至广西鱼贝盛海水养殖有限公司开放式养殖和广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖用海区，对其水质会有一定影响。并且，本项目用海占用广西鱼贝盛海水养殖有限公司和广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖用海区域，施工方应提前与养殖方沟通，积极协商，适当赔偿养殖方经济损失。施工时应做好悬浮物扩散防护措施，尽量使施工影响降至最低。

项目所在的北部湾海域是传统的捕鱼区，存在大量的渔船。渔船无固定的航路，航行随意性大，渔船可能会进入风电场区内穿越或捕鱼。渔船的某些特殊的作业方式，如底拖网、耙网等，可能会拖挂海底管线并导致管线损伤，且在工程附近大规模的捕鱼容易造成渔船碰撞风机的事故；渔船还有可能发生在风机桩柱系缆等情况，因此风电场的建设对渔船通航、作业都会造成一定的影响。但风电场外围水域对渔船而言，可航水域开阔，可满足其通航安全要求。

项目施工期产生的悬浮泥沙、桩基和海缆占用生境等，会对渔业资源造成一定的损失；项目营运期风场场址和海缆保护范围内禁止渔业底拖捕捞、张网、养殖作业等，也会造成在该海域从事渔业捕捞生产的渔民的捕捞空间减少。

## 5.2 利益相关者界定

利益相关者指与项目用海有直接或间接连带关系或者受到项目用海影响的

开发、利用者，界定的利益相关者应该是与用海项目存在利害关系的个人、企事业单位或其他组织或团体。

通过对本项目周围用海现状的调查，分析规划用海对周边开发活动的影响情况，按照利益相关者的界定原则，本工程用海利益相关者为广西鱼贝盛海水养殖有限公司和广西江山渔福海洋科技有限公司，协调责任部门为当地生态环境主管部门、渔业主管部门和航道海事主管部门。

表 5.2-1 项目用海的利益相关者分析表

序号	项目名称	距离本项目方位和距离	利益相关者或协调责任人	可能影响因素	是否为利益相关者或协调责任部门
1	白龙港至越南海防以北港口航路	西北, 路由穿越	航道、海事主管部门	通航影响	是
2	北部湾至东南亚航路至三牙航道支线	E, 10.9km	航道、海事主管部门	通航影响	否
3	防城港、钦州港至越南海防以北航路	东南, 13.5km	航道、海事主管部门	通航影响	否
4	防城港 4#锚地	东南, 2.8km	航道、海事主管部门	锚地安全影响	否
5	防城港规划 3#锚地	E, 0.5km	航道、海事主管部门	锚地安全影响	是
6	白须公礁	重叠	生态环境主管部门	施工和营运影响	是
7	白须公礁海洋牧场渔业旅游综合体项目	重叠	渔业主管部门	施工和营运影响	是
8	广西洋之洋水产养殖有限公司开放式养殖	N, 2.5km	广西洋之洋水产养殖有限公司	施工安全影响	否
9	广西江生龙辉海水养殖有限公司开放式养殖	E, 3.3km	广西江生龙辉海水养殖有限公司	施工安全影响	否
10	广西和盛渔业发展有限公司开放式养殖	N, 4.0km	广西和盛渔业发展有限公司	施工安全影响	否
11	广西鱼贝盛海水养殖有限公司开放式养殖	重叠	广西鱼贝盛海水养殖有限公司	施工和营运影响	是
12	广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖	重叠	广西江山渔福海洋科技有限公司	施工和营运影响	是
13	渔业生产活动	风场可能存在渔业生产活动	渔业主管部门	施工和营运影响	是

## 5.3 相关利益协调分析

### 5.3.1 与周边养殖户的协调

根据项目建设对水质环境影响分析可知, 10 mg/L 悬沙会扩散至广西鱼贝盛海水养殖有限公司和广西江山渔福海洋科技有限公司的养殖区。并且, 项目与广西鱼贝盛海水养殖有限公司开放式养殖和广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖存在用海重叠。因此, 建设单位需与 2 家公司进行协商, 避免产生用海矛盾。施工时需尽量减弱施工强度, 尽量缩短施工周期, 以减轻悬浮物的扩散, 并做好悬浮物污染的管控措施。保障当地养殖户利益, 减轻或避免用海纠纷。另外, 海上施工时工程船只与出入养殖区船只可能形成交汇, 需要双方提前沟通, 谨慎驾驶, 协调避让。

此外, 建设单位应在当地政府的协助下做好施工宣传工作, 发布施工通告, 在施工期间做好警戒, 限制捕捞渔民。同时, 建设单位仍然需要在人民政府的组织下与养殖户或者村委会协商解决用海影响问题。

### 5.3.2 与当地航道、锚地的协调

海上风电场和海底电缆的建设过程中, 将会有较多的施工船舶参与, 工程海域的船舶流量会有所增加, 特别是海底电缆建设期间, 对该航道航行的过往船舶影响较大。建设单位应该建立安全有效的联系机制, 施工前应 与航道管理部门进行充分沟通协调, 做好船舶的进出安排, 确保船舶的通航安全。此外, 海上风电场划定的范围较大, 与周边航道、锚地距离较近。因此, 工程建设前, 应在风电场水域边界设置相应的界限标和警示标志, 告诫过往船舶谨慎驾驶, 避免误入施工水域。

### 5.3.3 与当地渔业主管部门的协调

项目附近存在捕捞渔场, 渔船交通流较大, 为提醒渔船注意, 避免渔船进入风电场区域, 业主应重视海缆埋深和保护工作, 桩柱防撞设施的安 装, 并在风电场外围设置航标灯, 引导过往船舶航行, 风电场附近也设计醒目标示, 避免渔船误入风电场区域, 在近海面塔桶上采用红色灯警示色, 避免渔船碰撞引发事故。休渔期, 业主也应联系渔业管理部门到附近渔港加强宣传, 提高渔民在风电场附

近航行的安全意识。同时，项目涵盖了“白须公礁海洋牧场渔业旅游综合体项目”海域，为保护北部湾渔业生态环境与水产种质资源，建议单位应与渔业主管部门充分沟通，配合调整项目用海范围。另外，建议建设单位设立渔民捕捞赔偿基金，由当地政府和渔业主管部门统一组织，补偿渔民捕捞损失，还可采用海上风电结合深水养殖等方式为渔民转岗转业提供新的岗位。

#### **5.3.4 与当地生态环境主管部门的协调**

本项目与白须公礁保护范围存在重叠，建设单位应与生态环境主管部门沟通，施工和运营期间应采取有效的水污染防治措施，控制悬浮泥沙扩散范围，并密切关注白须公礁的生态环境和生物资源状况等，降低施工风险，尽量减小对白须公礁的环境影响。

### **5.4 项目用海对国防安全 and 国家海洋权益的影响分析**

本工程不存在损害国家权益的问题，项目实施不会涉及领海基点，也不会涉及国家机密，对国家海洋权益没有影响。海域属国家所有，单位和个人经营性使用海域，必须按规定交纳海域使用金。本项目用海属经营性用海，按国家有关规定交纳海域使用金，不损害国家权益。

## 6 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析

### 6.1 项目用海与海洋功能区划符合性分析

#### 6.1.1 符合性分析

根据《自然资源部办公厅关于开展省级海岸带综合保护与利用规划编制工作的通知（自然资办发〔2021〕50号）》“多规合一”的国土空间规划出台前，用海用岛项目应按照当前严控围填海和严格管控无居民海岛的有关政策要求，依据原海洋功能区划和海岛保护规划进行审批。《广西壮族自治区海洋功能区划》（2011-2020）于2012年经国务院批复，本海洋功能区划仍是本项目使用海域的主要论证依据。

按照《广西壮族自治区海洋功能区划(2011-2020年)》，拟建的广西防城港海上风电示范项目A场址工程项目用海属于“北仑河口保留区（A8-1）”和“广西近海南部农渔业区（B1-13）”范围内，项目所在海域海洋功能区详见表6.1-1、6.1-2及图6.1-1。

表 6.1-1 工程海洋功能区划符合性分析（B1-7）

项目	北仑河口保留区	影响分析	是否符合
代码	A8-1	所在	符合
地区	防城港市东兴市	所在	符合
功能区类型	保留区	所在	符合
面积(hm <sup>2</sup> )	23754	3515.3601	符合
岸段长度(m)	1280	不占用	符合
用途管制	海岸基本功能为保留区	项目用海类型为电力工业用海，用海方式为透水构筑物用海和海底电缆管道用海；海上风电场风机基础采用桩基础型式，项目不影响其他后备功能，不会对河口生态环境造成破坏。	符合
用海方式控制	除在严格科学论证的基础上，为保护和修复河口海域地形地貌的活动外，禁止其	项目的用海方式为透水构筑物和海底电缆管道用海，不改变海域自然属性，不会造成	符合

	他改变海域自然属性的开发利用方式。	海域地形地貌发生改变。	
海岸整治	开展河口海域综合整治。	项目的开工建设有利于对违法违规养殖和清理影响生态环境和航行安全的养殖清理，在施工结束后将会对可能造成影响的砂质岸线、珊瑚礁、典型河口生态系统进行修复和补偿，促进河口海域综合整治。	符合
生态保护重点目标	保障地形地貌稳定。	项目的用海方式和施工工艺不会造成海底地形地貌的破坏	符合
环境保护要求	海域开发前基本保持所在海域环境质量现状水平。	项目施工期悬浮泥沙扩散区水质可能短暂超标，但持续期较短，施工结束后水质恢复至原态；施工期生活垃圾、生活污水及船舶含油污水将由协议单位接收处理，禁止直接排放入海；采取有效环境污染治理措施，保证生产废水、生活污水达标排放，能够基本保持所在海域环境质量现状水平。	符合

表 6.1-2 工程海洋功能区划符合性分析 (B1-13)

项目	广西近海南部农渔业区	影响分析	是否符合
代码	B1-13	所在	符合
地区	广西近海	所在	符合
功能区类型	农渔业区	所在	符合
面积(hm <sup>2</sup> )	177038	5972.943 公顷	符合
岸段长度(m)	0	不占用	符合
用途管制	海域基本功能为渔业用海；允许在论证基础上，安排与渔业相兼容的开发活动。锚地、倾废区和人工鱼礁建设应征求相关部门的意见。	项目用海类型为电力工业用海，用海方式为透水构筑物用海和海底电缆管道用海；海上风电场风机基础采用桩基础型式，项目不涉及敏感因素、不妨碍养殖生产活动和海上运输安全，施工期会增加邻近航道的通航密度，会在海事部门协调下开展，确保通航安全。	符合
用海方式控制	除人工鱼礁建设、航道改扩建、锚地和倾废区的选划外，不得改变海域自然属性；禁渔期间，禁止底拖网渔船和拖虾渔船及捕捞二长棘鲷幼鱼和幼虾为主的其它作业	项目的用海方式为透水构筑物和海底电缆管道用海，不改变海域自然属性。	符合

	渔船进入生产。		
海域整治	调整与清理影响生态环境和航行安全的养殖方式。	项目的开工建设有利于对违法违规养殖和清理影响生态环境和航行安全的养殖清理，促进生态环境整治和航行安全维护。	符合
生态保护重点目标	1~7 月为蓝圆鲹或二长棘鲷产卵期，加强对蓝圆鲹和二长棘鲷产卵场的保护。	项目不占用及影响重要渔业品种的“三场一通道”；蓝圆鲹或二长棘鲷产卵期应降低施工强度，减轻施工对重要渔业品种产卵繁殖的影响。	符合
环境保护要求	捕捞区、水产种质资源保护区执行不劣于一类海水水质标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量执行一类标准。其他航道、锚地和倾倒区执行相关法律法规规定的水质标准。	项目施工期悬浮泥沙扩散区水质可能短暂超标，但持续期较短，施工结束后水质恢复至原态；施工期生活垃圾、生活污水及船舶含油污水将由协议单位接收处理，禁止直接排放入海；采取有效环境污染治理措施，保证生产废水、生活污水达标排放，对海洋环境影响较小。	符合

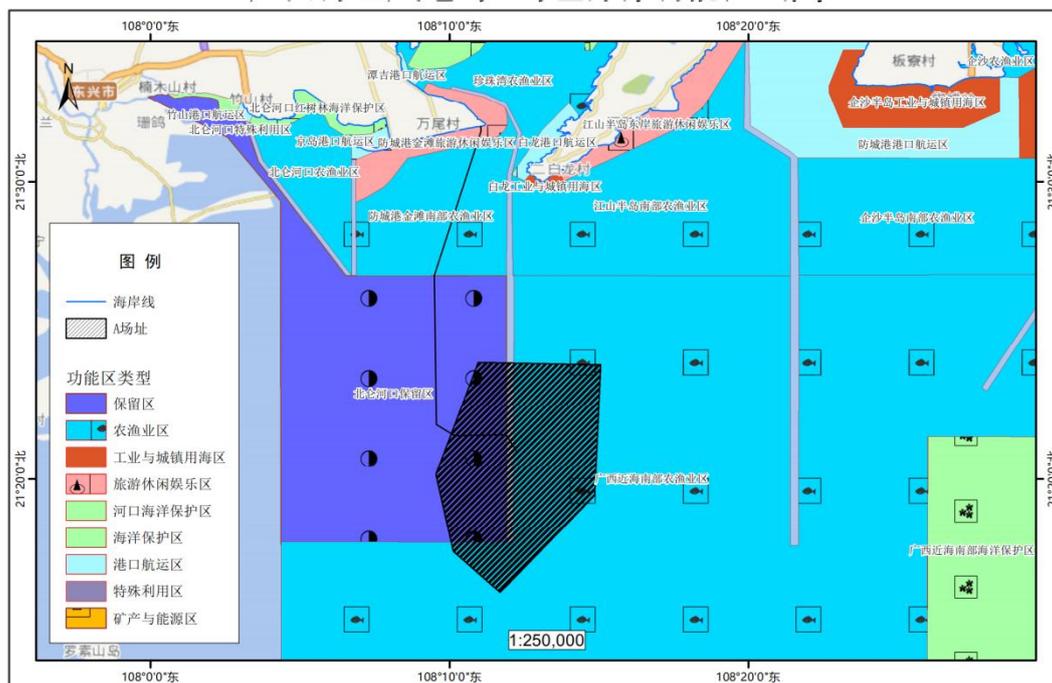


图 6.1-1 项目场址所在广西壮族自治区海洋功能区划 (2011-2020)

本工程用海区在《广西壮族自治区海洋功能区划》(2011-2020)划定的“大北仑河口保留区 (A8-1)”和“广西近海南部农渔业区 (B1-13)”范围内，项目用海符合所在功能区的用途管制、用海方式控制和海洋环境保护要求，不占用自然岸线及影响重要渔业品种的“三场一通道”，不会造成海底地形地貌改变，不会对北仑河口生态系统造成破坏，对渔业生产影响较小，施工结束后海域环境质量可以

恢复到现状水平。海缆路由穿越海洋功能区为北仑河口保留区、防城港金滩南部农渔业区、防城港金滩旅游休闲娱乐区、珍珠湾农渔业区和潭吉港口航运区。海底电缆埋设于海床底土以下，不改变海域的自然属性，不影响海域的基本功能，不会对海域地形地貌的稳定造成不利影响。在严格执行施工环保管理的前提下，海缆铺设施工和运营不会产生新增污染物，海缆从沙滩底部穿越海岸线，不影响沙滩的整治与修复。可保持所在海域的环境质量现状水平。因此，项目建设符合《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020年）》。

### 6.1.2 项目用海对周边海洋功能区的影响

根据《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020年）》，项目周边20km范围的海洋功能区为江山半岛东岸旅游休闲娱乐区（旅游休闲娱乐区）[127.8498公顷]，广西近海南部农渔业区（农渔业区）[61001.9678公顷]，北仑河口农渔业区（农渔业区）[606.6276公顷]，白龙工业与城镇用海区（工业与城镇用海区）[127.6856公顷]，江山半岛南部农渔业区（农渔业区）[7496.2369公顷]，珍珠湾农渔业区（农渔业区）[29.6484公顷]，防城港金滩旅游休闲娱乐区（旅游休闲娱乐区）[86.6213公顷]，白龙港口航运区（港口航运区）[123.4247公顷]，北仑河口保留区（保留区）[26036.3339公顷]，防城港金滩南部农渔业区（农渔业区）[5724.1211公顷]。本项目拟选址位置位于“北仑河口保留区（A8-1）”和“广西近海南部农渔业区（B1-13）”，适合进行海上风电项目建设。本项目建设广西防城港海上风电示范项目A场址工程，用海类型为工业用海，其用海与海洋功能区划的要求基本一致，是不影响功能区主导功能的前提下，对海域海洋功能的充分利用。项目用海对环境影响较小，施工产生的悬浮泥沙局限于本项目工程区周边，未扩散至周边海洋功能区，基本不会对附近海域水质和沉积物质量产生影响。项目选址周边没有保护区，离保留区和旅游休闲娱乐区较远，噪声也不会对旅游娱乐和海洋生物资源保护区造成影响。因此，本项目用海不会对相邻海洋功能区造成不利影响。

### 6.1.3 与全国海洋功能区划符合性分析

根据《全国海洋功能区划（2011-2020年）》总体布局，项目所在的桂西海域主要功能为海洋保护、渔业、工业与城镇用海。其中工业与城镇用海应做好与

土地利用总体规划、城乡规划、河口防洪与综合整治规划等的衔接，突出节约集约用海原则，合理控制规模，优化空间布局，提高海域空间资源的整体使用效能。优先安排国家区域发展战略确定的建设用海，重点支持国家级综合配套改革试验区、经济技术开发区、高新技术产业开发区、循环经济示范区、保税港区等的用海需求。重点安排国家产业政策鼓励类产业用海，鼓励海水综合利用，严格限制高耗能、高污染和资源消耗型工业项目用海。在适宜的海域，采取离岸、人工岛式围填海，减少对海洋水动力环境、岸滩及海底地形地貌的影响，防止海岸侵蚀。工业用海区应落实环境保护措施，严格实行污水达标排放，避免工业生产造成海洋环境污染，新建核电站、石化等危险化学品项目应远离人口密集的城镇。本项目为促进广西能源转型和绿色高效的海上风电项目，落实深水远岸的布局，不占用自然岸线、滨海湿地和海洋生物资源“三场一通道”，风机选择和平面布局突出节约集约用海，合理控制用海规模，空间布局合理，海域空间资源的整体使用效能高，采用以透水构筑物用海为主的用海方式，对海域自然属性改变影响较小，对海洋水动力环境、岸滩及海底地形地貌的影响小，不会造成海岸侵蚀，不占用自然岸线。经过论证，项目与区划的导向基本契合，符合《全国海洋主体功能区规划》。

## 6.2 项目用海与新调整的全国海洋生态红线规划符合性分析

场址位于重要渔业海域限制类红线区域，但不涉及《广西海洋生态保护红线划定方案》（2017.12）中的禁止红线区。

表 6.2-1 广西壮族自治区生态红线区管控要求（2017.12）

行政区	代码	类型	名称	管控类别	地理位置	面积 (km <sup>2</sup> )	岸线长度 (km)	生态目标	管控措施	符合性
防城港、钦州、北海	45-Xe07	重要渔业海域	广西近海南部重要渔	限制开发区	108°04'21"~109°02'25"~110°13'39"	1685.585	0.000	二长棘鲷、长毛对虾等渔业种质资源	管控措施：按照《水产种质资源保护区管理暂行办法》进行管理。加强渔业资源养护，控制捕捞强度。环境保护要求：加强海域污染防治和监测，避免污染，保护海洋生物资源的生存环境不受破坏。海水水质、海洋沉积物质量和	符合

			业 限 制 区	21° 26' 52"				海洋生物质量均不劣于一类标准。
--	--	--	------------------	-------------------	--	--	--	-----------------

本项目不涉及围填海、水下爆破等行为，不对渔业资源造成破坏，符合渔业限制区的管控要求。风场建设期间风机基础的开挖、打桩、场内电缆敷设形成小范围的悬浮物高浓度区，施工过程中采取有效的水污染防治措施，控制悬浮泥沙扩散范围，不会影响海水水质、沉积物和生物质量。

根据新调整的全国海洋生态红线，本项目场址选址范围包含防城港白须公礁珊瑚礁生态红线区，但风机的布局和海底电缆管线辐射绕开了白须公礁生态红线区，用海范围不涉及生态红线区。

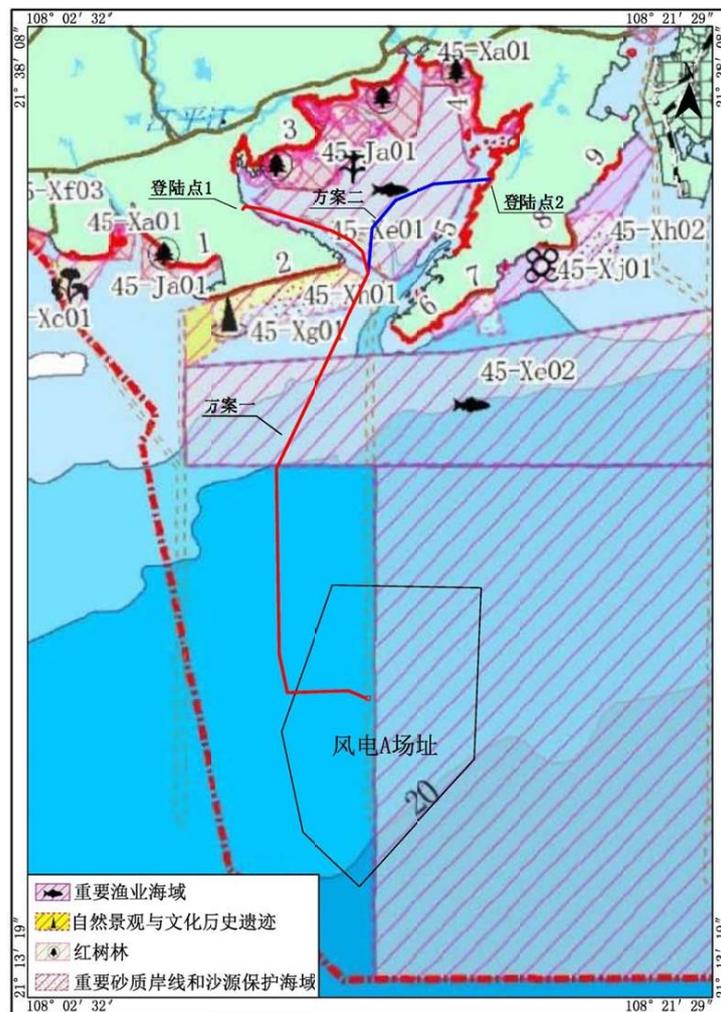


图 6.2.1-2 场址及海缆路由所在海域及周边生态红线区分布示意图

采用透水构筑物为主的用海方式可以确保维持场址范围内海域自然属性，不改变近岸水动力环境，不会破坏附近礁珊瑚礁的生态环境。风场建设期间风机基础的开挖、打桩、场内电缆敷设形成小范围的悬浮物高浓度区，施工过程中采取

有效的水污染防治措施，控制悬浮泥沙扩散范围，不会对附近防城港白须公礁珊瑚礁红线区所在海域海洋环境状况产生影响，且距离其他海洋生态红线区较远。运营期间产生少量污染物，采用了有效的污水处理措施，对海水水质及沉积物质量影响极小，从长远而言，对附近的防城港白须公礁珊瑚礁红线区影响甚微。

本项目场址范围距离其他生态红线区较远，周边的生态红线区有防城港市近海南部重要渔业资源产卵场红线区和防城港市金滩沙源流失极脆弱区红线区，距离均在10km以上。

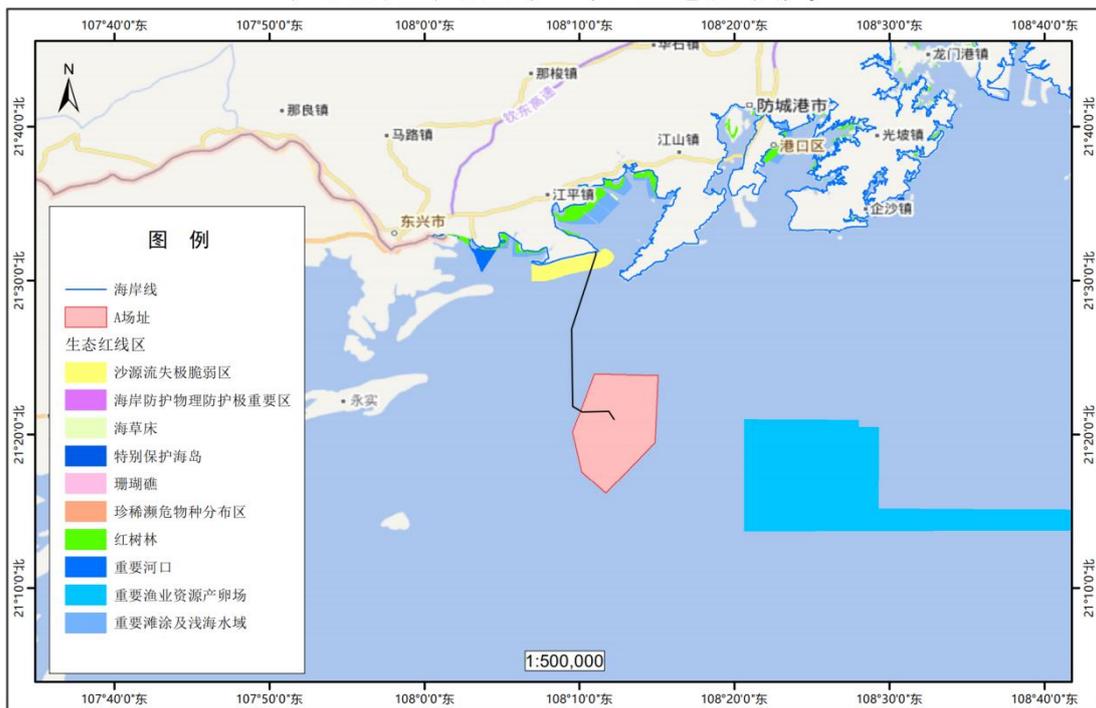


图 6.2-1 项目所在海域及周边生态红线区分布示意图

表 6.2-2 项目与海洋生态红线区及主体岸线相对位置关系

序号	生态红线区	与本项目最近距离、相对位置	类型
1	防城港白须公礁珊瑚礁红线区	相邻	珊瑚礁
2	防城港市金滩沙源流失极脆弱区红线区	风电场北侧约 13km	沙源流失极脆弱区
3	防城港近海南部重要渔业资源产卵场红线区	风电场东侧约 10km	重要渔业资源产卵场

推荐选用的海缆路由方案一穿越防城港南部海域重要渔业海域限制类红线区、防城港金滩自然景观与文化历史遗迹限制类红线区、防城港金滩重要砂质岸线和沙源保护海域限制类红线区和珍珠湾重要渔业海域限制类红线区，本项目海底管线施工穿越区域不涉及围填海行为，不改变近岸水动力环境。海底管线登陆于本区域沙滩，备选登陆点1（金滩东）未占用保护大陆岸线。

施工及运营期间不存在温排水行为。只有小段海底管线穿越该红线区，海底及陆地施工时导致的悬浮物的扩散和泥浆溢流，对该区域造成短暂环境影响，但这种影响随施工结束自然消失。建议施工期间妥善处理产生的污水及生活垃圾，应采取有效的水污染防治措施，控制悬浮泥沙扩散范围。本项目施工前后及运营期间，场址范围和海底管线穿越区域都按照环境保护要求对区域内海水水质，沉积物质量及生物质量严格进行动态监测，确保由于项目在该区产生影响及问题得以及时发现，并提出解决方案，符合环境保护要求。因此，本项目符合新调整的全国海洋生态红线管控的要求。

## 6.3 项目用海与主体功能区规划符合性分析

### 6.3.1 与广西壮族自治区海洋主体功能区规划符合性分析

根据《广西壮族自治区海洋主体功能区规划》，海洋主体功能区按开发内容可分为产业与城镇建设、农渔业生产、生态环境服务三种功能。依据主体功能，广西海洋空间划分为优化开发区域、重点开发区域、限制开发区域、禁止开发区域。

广西区内主体功能区分区指标见表6.3-1，规划图见图6.3-1。

表 6.3-1 广西海洋主体功能区规划指标

序号	指标名称及单位	2015 年现状值	2020 年目标值
1	海洋开发强度（%）	1.2	≤1.6
2	优化开发区域海洋开发强度（%）	0.2	≤0.5
3	重点开发区域海洋开发强度（%）	4.6	≤6.4
4	限制开发区域海洋开发强度（%）	0.06	≤0.07
5	大陆自然岸线保有率（%）	21.4	≤35
6	禁止开发区域占管理海域面积比重（%）	7.3	8
7	禁止开发区域内还倒数（个）	64	64
8	一类、二类水质面积占比（%）*	86	≥91%

\*9一类、二类水质面积占比”是指国控站位的监测结果

广西壮族自治区海洋主体功能区规划分区图

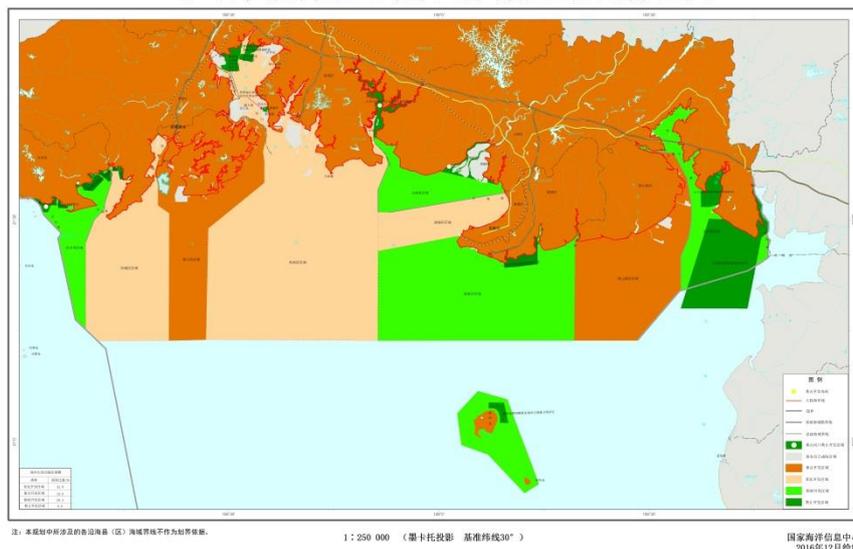


图 6.3-1 广西海洋主体功能区规划分区图

本项目位于防城港市港口区和防城港市东兴市，规划类型分别为重点开发区和限制开发区。场址主要位于防城港市港口区管理海域，港口区海域面积 $917\text{km}^2$ ，规划定位为依托优良深水岸线资源，发展多功能港口，做好与城市发展、区域综合交通运输的衔接。科学引导临海工业集中布局，建设特色支柱产业集群，形成以工业港为主的多功能现代化工业区。加快发展临海能源工业，高质量开展核电建设。因地制宜发展休闲渔业和旅游业。加强红树林及其海洋自然生态系统保护，提高红树林生态系统的生物多样性，保护自然景观。场址部分在防城港市东兴市管理海域范围内，该区为生物多样性保护型限制开发区域，面积 $178.2\text{km}^2$ ，规划定位强化海洋生态系统的保护，科学合理发展旅游业及农渔业。金滩南部近海加强海水养殖与近岸旅游协调发展，按照养殖容量控制养殖规模和养殖密度，发展健康、生态养殖方式，减少海水养殖对红树林等生态系统的影响，加强对蓝圆鲀和二长棘鲷产卵场及候鸟栖息地的保护。维护海洋生物多样性，恢复受损生态系统，保持海洋生态系统完整性，增强海洋生态系统自我调节能力。开展北仑河口东北岸的综合整治。

本项目场址范围大部分位于防城港市港口区海域范围，与主体功能定位相一致。通过建设广西防城港海上风电示范项目A场址工程，有助于推进防城港市现代化工业区建设，发展临海能源工业，推进能源供给转型升级。部分场址在东兴市海域范围内，但场址离岸较远，施工过程中注意生态环境保护，不会对当地海域地形地貌、重要水产种质

资源和特别是北仑河口重要生态系统造成破坏，在施工结束后会对海缆登录沙滩、白须公礁珊瑚礁生态系统进行修复和补偿，施工造成悬浮泥沙等影响会在施工结束后停止，全过程对海洋环境状况进行监测，确保海域环境恢复到现状。因此，本项目工程建设符合《广西壮族自治区海洋主体功能区规划》的要求。

### 6.3.2 与全国海洋主体功能区规划符合性分析

《全国海洋主体功能区规划》提出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。根据规划总体布局，项目所在的北部湾海域区域主体功能为优化开发，优化开发区的发展方向与开发原则是，优化近岸海域空间布局，合理调整海域开发规模和时序，控制开发强度，严格实施围填海总量控制制度；推动海洋传统产业技术改造和优化升级，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；严格控制陆源污染物排放，加强重点河口海湾污染整治和生态修复，规范入海排污口设置；有效保护自然岸线和典型海洋生态系统，提高海洋生态服务功能。其中，北部湾海域的主体功能为构建西南现代化港口群，积极推广生态养殖，严格控制近海捕捞强度，合理开发渔业资源。依托民俗文化特色，发展具有热带气候、沙滩海岛、边关风貌和民族风情的特色旅游。推动近岸海域污染防治，强化船舶污染治理。加强珍稀濒危物种、水产种质资源及沿海红树林、海草床、河口、海湾、滨海湿地等保护。本项目是《规划》中所支持的海上风电项目，属于海洋能开发利用项目，通过海上风电项目建设，能够更好地保障北部湾地区工业产业的能源供应，且不对港口建设、养殖生产造成影响。经过论证，项目与主体功能的导向基本契合，项目符合《全国海洋主体功能区规划》。

## 6.4 项目用海与相关规划符合性分析

### 6.4.1 与《广西海上风电规划（2021~2030年）》符合性

根据《广西海上风电规划（2021~2030年）》（报批稿），广西海上风电发展总体目标为：加快推进海上风电开发建设工作，到2025年底，力争建成海上风电装机容量300万千瓦，在建海上风电装机容量500万千瓦；到2030年底，建成海上风电装机容量1500万千瓦，具体容量由国家和广西“十四五”能源发展规划及电力发展规划等进一步明确。

根据广西海域及滩涂区域风能资源、建设条件、接入系统条件、通航条件等并结合

敏感因素排查成果，广西海上风电共规划A~R共18个海上风电区域、A1~R3共118个海上风电场，规划总装机容量3300万千瓦。本项目位于《广西海上风电规划（2021~2030年）》在规划风电场，位于北仑河口保留区和广西近海南部农渔业区A场址区域。

A场址建设条件及财务指标相对较好，属于区内海上风电规划中优先开发的场址之一，全区首批海上风电项目，建成后将促进广西海上风电发展，带动广西海上风电产业落地，打造海上风电产业链。项目是落实全区海上风电前期工作的重要举措，对于保障我区能源供应安全，推动全区经济社会高质量发展，助力实现国家“双碳”战略目标贡献“广西海上风电力量”，本工程的选址符合《广西海上风电发展规划（2021~2030年）》的要求。

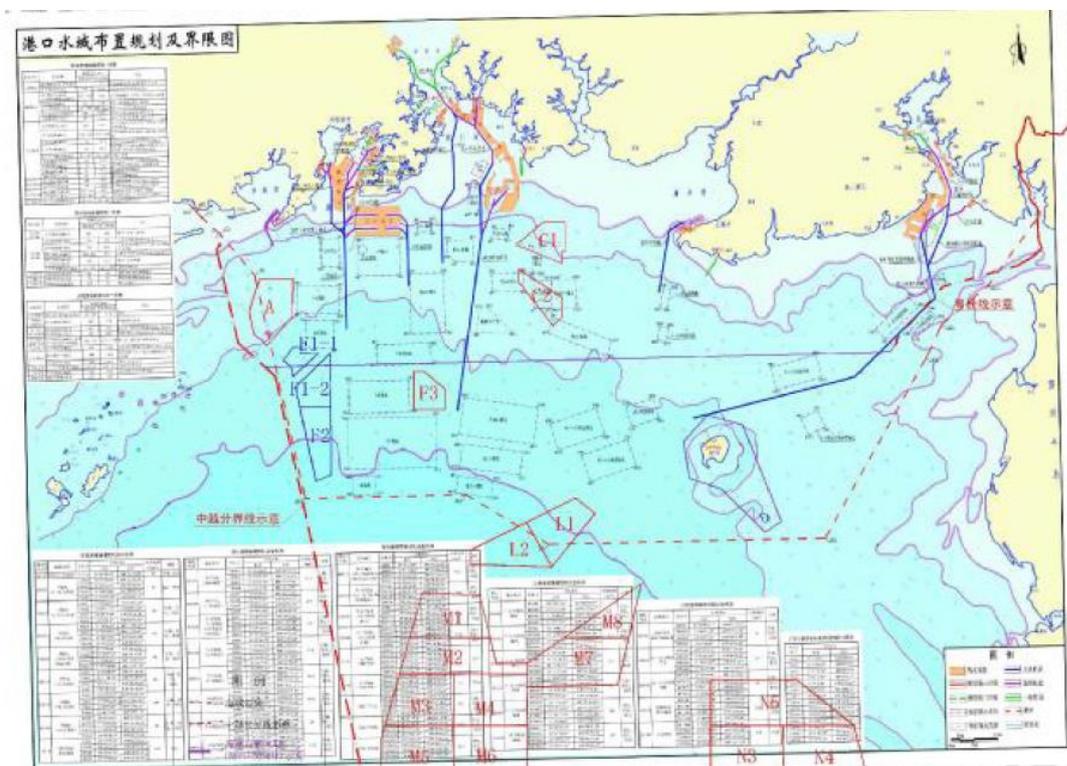


图 6.4.1-1 广西海洋主体功能区规划分区

## 6.4.2 与《关于进一步规范海上风电用海管理的意见》符合性

2016年，原国家海洋局印发《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》（以下简称“意见”），提出“海上应风电深水区远岸布局，在当前和未来开发强度低的海域选址建设，原则上应在离岸距离不少于10公里、滩涂宽度超过10公里时海域水深不得少于10米的海域布局”。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。坚持集约节约用海，严格控制用海面积。充分考虑地区差异，科学论证，单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每10万千瓦控制在16km<sup>2</sup>左右，除因避让航道等情形以外，应当集中布置，不得随意分块。规划建设海上风电项目较多的地区，风电场应集中布局，统一规划海上送出工程输电电缆通道和登陆点，集约节约利用海域和海岸线资源。

本场址离岸最近距离约15km，场址水深10-22.6m，水深变化较大，其中海上升压站水深15m，场址与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，以及新划定的生态红线区没有重叠。风电场集中布置，由《广西海上风电规划》统一规划、共用海上送出工程输电管道和登陆点，风电场内平面布置严格控制用海面积，不占用自然岸线，落实了集约节约和生态环境保护的理念，符合意见的管控要求。

### 6.4.3 与《广西战略性新兴产业发展三年行动方案（2021-2023年）的通知》符合性

2021年，广西壮族自治区人民政府印发了《广西战略性新兴产业发展三年行动方案（2021-2023年）的通知》，通知中提出大力发展能源产业。以安全、高效、清洁为发展方向。重点发展海上风电、先进核能、生物质能等产业，推动产业向价值链高端发展。到2023年，力争新能源产业产值达到340亿元。增加值达到110亿元。打造风电产业链。加快构建集风电装备研发设计、关键装备制造、总装集成和海上安装施工及全寿命周期运维等全要素于一体的产业链，积极推进广西北部湾海上风电场建设。

本项目作为全区首批海上风电项目，建成后将促进广西海上风电发展，提升风电产业产值，打造海上风电产业链，本工程的选址符合《广西战略性新兴产业发展三年行动方案（2021-2023年）的通知》的要求。

### 6.4.4 与《2030年前碳达峰行动方案》符合性

2021年10月，国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》（以下简称《方案》）。《方案》提出坚持“全国统筹、节约优先、双轮驱动、内外畅通、防范风险”的总方针，有力有序有效做好碳达峰工作，明确各地区、各领域、各行业目标任务，加快实现生产生活方式绿色变革。大力发展新能源。全面推进风电、太阳能发电大规模开发和高质量发展，坚持集中式与分布式并举，加快建设风电和光伏发电基地。重点实施“碳达峰”十大行动，坚持安全降碳，在保障能源安全的前提下，大力实施可再生能源替代，加快构建清洁低

碳安全高效的能源体系。加快智能光伏产业创新升级和特色应用，创新“光伏+储模式，推进光伏发电多元布局。坚持陆海并重，推动风电协调快速发展，完善海上风电产业链，鼓励建设海上风电基地。积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏发电、风电互补调节的风光热综合可再生能源发电基地。因地制宜发展生物质发电、生物质能清洁供暖和生物天然气。探索深化地热能以及波浪能、潮流能、温差能等海洋新能源开发利用。进一步完善可再生能源电力消纳保障机制。到2030年，风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上。本项目是广西首批海上风电的示范性项目建设，对于加快构建清洁低碳安全高效的能源体系，推动传统能源消费替代和转型升级具有重大意义。

本项目为全区首批海上风电项目，是落实全区海上风电前期工作的重要举措，对于加快我区海上风电建设，推进海上风电按市场化模式建设，保障我区能源安全供应，完成建设目标具有重要意义，也是实现《2030年前碳达峰行动方案》的重大举措，符合国家对于“碳达峰”工作的有关要求。

#### 6.4.5 与沿海开发和海洋经济发展符合性分析

《中共广西壮族自治区委员会广西壮族自治区人民政府关于加快发展向海经济推动海洋强区建设的意见》（桂发〔2019〕38号）中明确提出扶持发展海洋能源及环保产业，大力发展清洁能源，支持北部湾海域发展海上风力发电。《广西壮族自治区人民政府办公厅关于印发广西加快发展向海经济推动海洋强区建设三年行动计划的通知》（桂政办发〔2020〕63号）中重点行动之一：培育海上风电产业。规模化、集约化、可持续开发海上风电资源。培育特色鲜明、布局合理、立足广西、面向东盟的海上风电产业，以风电开发和配套产业链建设为重点，以海上风电产业集群和海上风电产业园为核心，带动风电装备制造业及海上风电服务业集群发展，逐步形成“双园三中心”发展布局。重点推进北部湾海上风电示范项目、海上风电和海上牧场试点项目、广西北部湾海上风电基地、广西海上风电产业园南宁风电科技园等骨干项目建设。到2022年，海上风电装备产业园初步构建，力争年产风电装备装机容量100万千瓦以上，初步建成海上风电装机容量50万千瓦以上。

规划海上风电场位于北部湾海域，符合广西壮族自治区经济社会发展的要求。

#### 6.4.6 与《北部湾城市群发展规划》符合性

2017年，国务院批复《北部湾城市群发展规划》（以下简称《规划》），规划期为

2017院批复《北年，展望到2030年。规划范围包括广西壮族自治区南宁市、北海市、钦州市、防城港市等地区。《规划》给北部湾城市群的总体定位是发挥地缘优势，挖掘区域特质，建设面向东盟、服务“三南”（西南中南华南）、宜居宜业的蓝色海湾城市群。

规划中提出优化能源供应结构，打造北海、防城港、钦州、阳江新能源基地。加快打造绿色低碳、保障安全的沿海电源基地。大力发展可再生能源，加快推动陆上和海上风电资源开发，推进海洋能工程化应用与示范，因地制宜推进农光互补、渔光互补等分布式光伏建设，积极发展天然气分布式能源和天然气车船，推进生物质能源发展。严格控制火电规模，新建燃煤发电机组大气污染物排放浓度达到燃气轮机组排放限值。在新能源主导产业方面，稳妥发展核能，有序发展风能、生物质能、海洋能、太阳能等清洁能源，建设智能电网和分布式能源，鼓励发展热电联产。

本项目与《北部湾城市群发展规划》中城市定位一致，是打造绿色低碳、保障安全的广西发展海上风电海上风电市场化模式建设的示范性项目，符合《规划》的总体要求。

#### **6.4.7 与《防城港市城市总体规划（2008-2025年）》符合性**

2009年，《防城港市城市总体规划（2008-2025）》获自治区人民政府批准实施的，规划有效指导了防城港市的经济社会发展和城市建设。根据《防城港市城市总体规划（2008-2025）》，防城港市的城市产业发展目标：依托临海、临港及临边的区位优势，以及深水港和企沙重工业基地，继续下大力气发展大工业，加速推进新型工业化进程，加快培育粮油加工、钢铁、电力和化工等。四大支柱产业，着力构建食品、冶金、石化、能源、建材、电子、制药、农特产品加工等八大工业体系，带动经济快速增长。

本项目与《防城港市城市总体规划（2008-2025）》中的城市产业发展目标一致，作为新能源和电力工业的新发展导向，广西防城港海上风电示范项目A场址工程的建设是构建工业体系，带动经济快速增长的保障性纪检项目，符合《规划》的总体要求。

#### **6.4.8 与海洋环境保护规划符合性分析**

依据《广西壮族自治区海洋环境保护条例》和《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020）》等法规、规划，自治区海洋与渔业局会同自治区环境保护厅开展《广西壮族自治区海洋环境保护规划（2016-2025）》编制工作，并于2017年正式印发（桂海渔发〔2017〕6号）。关于规划目标中的近期目标（2016-2020）提出了四项要求，本

报告与四项要求分别进行对比分析。

表 6.4-1 项目海洋环境保护规划目标符合性分析

目标类型	目标内容	影响分析	符合性
污染控制目标	全面落实近岸海域环境保护目标责任制，入海污染源得到有效控制。	本项目污水系统包括雨水排水系统、含油废水收集系统和生活污水系统。含油废水在主变压器事故排油时，通过排油管道排至事故集油罐，废油由船舶定期抽走外运。生活污水有成套污水处理设备，处理达标后水排入大海。	符合
环境质量目标	强化水环境整治，局部海域环境质量得到进一步改善。	根据监测数据，本项目所在海域各监测点水质可以满足《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020）》规定的水质标准。开工建设期产生的悬浮泥沙对海水水质产生一定影响，但施工结束后即可恢复现状，项目运营期自身不会产生污染。	符合
生态保护目标	严格实施海洋生态红线控制管理，重点生态功能区等得到有效保护。加强海洋生态保护，海洋生物多样性与渔业资源衰退趋势基本得到遏制。	本项目场址范围不涉及占用海洋生态红线和自然岸线，施工不涉及围填海、水下爆破行为，不破坏海域的自然属性，不改变近岸水动力环境。风场建设期间风机基础的开挖、打桩、场内电缆敷设形成小范围的悬浮物高浓度区，施工过程中应采取有效的水污染防治措施，控制悬浮泥沙扩散范围，不会扩散至周边的海洋生态红线区。运营期间产生少量污染物，采用了有效的污水处理措施，对海水水质及沉积物质量影响极小，符合生态保护目标的要求。	符合
管理目标	推进海洋生态文明建设制度体系建设，规范海域开发管理，海域海岛资源实现节约集约利用。增强海洋环境监测、预警、综合执法能力建设。	本项目施工前后及运营期间，场址范围和海底管线穿越区域都按照环境保护要求对区域内海水水质，沉积物质量及生物质量严格进行动态监测，确保由于项目在该区产生影响及问题得以及时发现，并提出解决方案，符合管理目标要求。	符合

根据分析，本项目在污染控制目标、环境质量目标、生态保护目标和管理目标方面均符合《广西壮族自治区海洋环境保护规划（2016-2025）》的有关要求，因此本项目建设符合《广西壮族自治区海洋环境保护规划（2016-2025）》。

## 7 项目用海合理性分析

### 7.1 用海选址合理性分析

#### 7.1.1 用海选址与区位条件和社会条件的适宜性分析

##### 7.1.1.1 交通运输条件分析

本工程位于广西防城港南部海域，离岸最近距离约 15 公里，海深 15m~18m 之间，防城港市的交通系统网络较为完善，公路铁路等陆运交通十分通达便利。风电场场址离大陆较远，与附近航路、保护区等均有一定的距离，场址周边不存在不存在海岛等大型地物遮挡以及相关水上、水下建筑物等设施。场外交通主要通过陆路转海路完成物资及设备的运输。风电场址内交通运输的主要有风机基础构件、海上风机主要部件或整机、各种施工设备、零星材料及构配件的运输。

因此，本项目选址的交通运输条件是适宜的，可满足工程建设的需要。

##### 7.1.1.2 社会经济条件分析

2020 年广西保持了经济社会发展总体稳定、稳中提质、稳中增效的良好势头。2020 年广西生产总值（GDP）达到 22156.69 亿元，按可比价格计算，比上年增长 3.7%。

国家重点实施“一带一路”开放战略、支持中西部地区基础设施建设，宏观经济政策进一步优化，改革开放的红利、活力进一步释放。广西打造“一带一路”有机衔接重要门户、构建西南中南地区开放发展新的战略支点，全面实施“双核驱动”战略，一系列稳增长措施的政策效应将进一步显现，这些都将给广西发展增添更大的动力。

“十四五”期间，广西将继续坚持稳中求进工作总基调，坚持以提高经济发展质量和效益为中心，坚持总量提质、分量提速，紧紧围绕实现“两个建成”目标，深入实施“双核驱动”战略、构建“三区统筹”格局，主动适应经济发展新常态，把转方式调结构放到更加重要位置，突出创新驱动，全面深化改革，扩大开放合作，切实保障和改善民生，加快建设法治政府，促进经济平稳健康发展与社会和谐稳定。

项目可开发防城港近海海域的海上风电资源，可实现海洋风能资源的综合利用，可提供清洁的可再生能源，解决区域稳定低碳供电问题，促进社会经济可持续发展。因此，本项目的建设和本工程的选址与广西省、防城港市的社会经济发展相适应。

##### 7.1.1.3 与功能区划和相关规划的符合性

根据《广西壮族自治区海洋功能区划(2011-2020 年)》，广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程所在的海洋功能区为北仑河口保留区和广西近海南部农渔业区，项目用海符合所在功能区的用途管制、用海方式控制和海洋环境保护要求，不占用自然岸线及影响重要渔业品种的“三场一通道”，不会造成海底地形地貌改变，不会对北仑河口生态系统造成破坏，对渔业生产影响较小，施工结束后海域环境质量可以恢复到现状水平。因此，项目建设符合《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020 年）》。

本项目也符合《“十四五”现代能源体系规划》《可再生能源中长期发展规划》《海上风电开发建设管理办法》《广西海上风电规划（2021~2030 年）》等能源行业规划，以及《2030 年前碳达峰行动方案》《广西战略性新兴产业发展三年行动方案（2021-2023 年）的通知》《北部湾城市群发展规划》《防城港市城市总体规划（2008-2025）》《广西壮族自治区海洋环境保护条例》等各级相关规划的相关要求。

## 7.1.2 用海选址与自然环境条件的适宜性分析

### 7.1.2.1 风资源条件

风能资源是风电场选址首要考虑的因素，平均风速、风频及主要风向分布、风功率密度、年风能可利用时间是风电场选址中一定要考虑的几个风能评估参数。平均风速是最能反映当地风能资源的参数，一般来说，只有年平均风速大于 6m/s 的地区才适合建设风电场。风频特性是描述风电场风能资源情况的重要指标之一，风向及其变化范围决定风力发电机组在风电场中的排列方式，排列方式很大程度上决定各台风力发电机组的出力，从而决定风电场的发电效率，一般认为，主导风向的频率在 30% 以上是稳定的。风功率密度越高，则该地区风能资源越好。年风能可利用时间是指一年中风力发电机组在有效风速范围（一般为 3~25m/s）内运行的时间。一般年风能可利用小时数大于 2000h 的地区为风能可利用区。

本项目风电场位于广西壮族自治区防城港市南部海域，全年平均气温 22.7°C，全年平均气压为 1008.1hPa，季风活动明显，风能资源较为丰富。将本工程场址测风塔测风数据作为风资源评估对象能较好地反映风电场场址区域内的风资源状况，评估发现本风电场区域的可利用有效风速小时数较高，风向和风能相对集中，有利于风电场机组的总体布置。基于防城港气象站和白须公礁自动站风速数据计算，本风电场标准空气密度状况下 120m 处 50 年一遇 10min 平均风速采用 44.9m/s，50 年一遇 3s 极大风速采用 61.1m/s。鉴于风机安全，建议本工程风机选型宜选择极端载荷满足本项目场址极端风况条件，至

少为 IEC I 类风机或者 S 级风机。

因此，根据风能资源分析，本风电场选址风能资源较为丰富，风向较为稳定，品质较高，具有较好的开发前景。

### 7.1.2.2 气候条件适宜性分析

本项目风电场位于广西壮族自治区防城港市南部海域，防城港地处北回归线以南低纬度区，属我国南亚热带季风型海洋气候带，具有气温高、雨量大、季风明显、冬暖夏凉和灾害天气多等特点。冬季盛行干冷偏北风，夏季盛行潮湿、高温的偏南风，常有阵雨、雷电、暴雨、台风等天气出现。工程位置气象条件适宜，可作业天数多，不会影响风电项目的建设。但该区域海域在夏季可能有雷电、暴雨、台风等恶劣天气，在工程建设施工和后期的维护过程中，应做好相应的防护工作。

### 7.1.2.3 地质条件适宜性分析

拟建工程场区附近区域现代构造活动一般，风电场场地北侧有断层通过，但断层非全新世活动断层；且本工程场地 II 类场地地震动峰值加速度为  $0.05g$ ；场地地震设防烈度为 6 度，可不考虑活动断裂影响；近场区有记录的最大地震为 1976 年钦州市龙门 ML3.5 级地震，根据《海上风力发电场勘测标准》（GB51395-2019），拟建工程场区区域构造稳定性好。

场区位于水下浅滩、水下岸坡地貌单元上，水深 0-22.6m 之间，场区北西侧及南侧部分区域有礁石群分布，地势偏高，中部区域地势相对平坦，地形上具有明显 NE-SW 带状特征。场区大部分区域内自上而下地层为第四系全新统海相、全风化~微风化泥岩、全风化~微风化砂岩，局部地层自上而下为第四系全新统海相、海陆过渡相和海陆交互相的砂土及黏性土层。

场区海水对混凝土结构在 II 类环境条件下具强腐蚀性，腐蚀介质为  $SO_4^{2-}$ ；对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀性，在长期浸水条件下，具弱腐蚀性；在干湿交替条件下，具强腐蚀性。设计时宜参照水质分析报告并结合具体水工构筑物的防腐要求，采取相应的防腐设计措施。

根据勘察结果，结合已有地质资料分析，场区内未发现海底滑坡、海底坍塌等其它不良地质现象，场区内未发现全新活动断裂等不良地质现象。需要注意的是场区北缘有不活动的非全新世断层经过，断层为不活动状态。场区主要不良地质现象为基岩裸露、浅埋以及埋藏古河道。

对于覆盖层厚度较大的地段桩型可采用钢管桩，以晚更新统海陆交互相沉积层、残积层或全风化基岩作为桩端持力层；当覆盖层较薄或基岩埋藏较浅地段，桩型可采用钢套管护壁冲（钻）孔灌注桩，以强~微风化基岩作为桩端持力层。桩径及桩长需根据竖向及水平方向受力情况确定，具体的桩基设计参数应以试桩报告为准。若采用钢管桩时，桩身需进入或穿越密实~极密实砂土层，沉桩阻力大，需要选择合适的沉桩设备和沉桩工艺。若采用灌注桩，应采取合适的施工工艺，严格控制成桩质量。

#### 7.1.2.4 地形条件适宜性分析

场区位于水下浅滩、水下岸坡地貌单元上，水深 0-22.6m 之间，场区北西侧及南侧部分区域有礁石群分布，地势偏高、起伏较大，中部区域地势相对平坦，地形总体上具有明显 NE-SW 带状特征。项目附近的水深条件和地形地貌条件适合项目建设，可满足本工程的使用需求。

#### 7.1.2.5 水动力条件适宜性分析

本工程冬夏季全潮观测及波浪、潮位、海流周年观测尚未完成，本阶段暂时参考附近相关工程的成果，待本工程全潮观测及周年观测结束后，对相应成果进行复核。

工程海域潮汐性质为规则全日潮。平均海面 0.54m，百年一遇高潮位 4.26m，五十年一遇高潮位 4.01m。本工程海域的潮流类型以不规则全日潮流为主。广西近海实测最大涨潮流速一般在 40cm/s 以上，实测最大落潮流速约在 50cm/s 以上，相对而言，大部分站点实测最大落潮流速一般比涨潮流速大，差值在 10-30cm/s 左右。

本海区波浪主要由风浪、混合浪和涌浪组成，以风浪为主，出现频率 45.9%，其次为混合浪，出现频率 26.5%。

悬沙随上层水流向海输移，底沙在底层水流强大的剪应力作用下，以跃移或滚动形式向海运动。沉积物运动的基本形式为不对称摆动，其中一部分物质由于水体紊动作用而形成悬移质，另一部分物质则在底部沙波上运动，它们在斜向波浪作用下，具有斜向分量，造成泥沙转移。

总体来说，项目周边海域水文动力条件较好，对布置海上风电机组的不利影响较少。

### 7.1.3 用海选址与生态环境的适宜性分析

项目所在的海洋功能区为北仑河口保留区和广西近海南部农渔业区，路由穿越防城港金滩南部农渔业区、北仑河口保留区，根据新调整的全国海洋生态红线，本项目场址

选址范围包含防城港白须公礁珊瑚礁生态红线区，但风机的布局和海底电缆管线辐射绕开了白须公礁生态红线区，用海范围不涉及生态红线区。目前研究尚未明确风电场建设会对鱼类的产卵场、索饵场和洄游通道产生明显影响。从现已经建成的海上风电场可知，由于风电设施的存在，使得风电场区域的捕捞活动减少。

工程在建设期和运营期不可避免的对工程周边海域的海洋环境质量、沉积物、海洋生态环境带来一定负面影响，造成一定的渔业资源及底栖生物损失。因此在工程设计、施工和运营时，必须将环境保护措施落实到施工和运营期的每个环节，确保工程建设对海域环境和海洋资源造成的影响降低到最低程度。根据环境影响预测结果，工程施工对周边水生生态环境的影响较小；施工期的生活垃圾、生活污水及船舶含油污水将由协议单位接收处理，禁止直接排放入海；另外，海上风电场风机开工前对桩基 1km 保护范围内的海洋哺乳动物尽可能地驱赶。在进行风机桩基打桩前派遣巡逻船只巡查，确认施工保护范围有无海洋哺乳动物活动。水上桩基础施工采用环保型液压式打桩机，并采用软启动的作业方式，让潜在的水生动物有时间逃离回避，再逐步增强施工强度。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。严格限制工程方的施工区域和用海范围，在划定的施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

因此，项目在做好施工渔业保护措施的情况下，本项目选址与区域海洋生态系统相适宜。

#### 7.1.4 项目用海与周边其他用海活动是否存在功能冲突

本项目周边海域开发利用现状主要有航路、锚地、海上风电场项目、人工鱼礁等。根据第 5.2 节分析，按照利益相关者的界定原则，本工程用海利益相关者为广西鱼贝盛海水养殖有限公司和广西江山渔福海洋科技有限公司，协调责任部门为当地生态环境主管部门、渔业主管部门和航道海事主管部门。工程建设与上述相关协调责任部门和利益相关者具有可协调性。

项目海缆路由穿越白龙港至越南海防以北港口航路，工程施工期间，施工作业船舶和施工作业机具将占用一定的通航水域，对于通过该水域的船舶正常航行有一定的影响，但通过严密、科学的施工组织和合理的生产调度；把工程安全、施工安全和通航安全放在首位，做好施工作业的安全管理工作；施工船运用良好船艺，谨慎驾驶的驾驶员，可以最大限度地减少施工期对通航环境和船舶通航的影响。

防城港 4#锚地与本项目场址距离较远，本项目建设对其本身不会造成明显影响。而规划中的防城港 3#锚地距本项目距离小于安全距离，因此风电场的建设对锚地安全会造成一定的影响。

本项目风电机组北部与白须公礁保护范围重叠。风场建设期间风机基础的开挖、打桩、场内电缆敷设形成小范围的悬浮物高浓度区，施工过程中采取有效的水污染防治措施，控制悬浮泥沙扩散范围，不会对区内防城港白须公礁珊瑚礁红线区所在海域海洋环境状况产生影响。运营期间产生少量污染物，采用了有效的污水处理措施，对海水水质及沉积物质量影响极小，从长远而言，对场址范围内的防城港白须公礁珊瑚礁红线区和周边红线区影响甚微。

根据项目建设对水质环境的影响分析可知，悬沙 10 mg/L 的扩散距离与广西洋之洋水产养殖有限公司开放式养殖、广西江生龙辉海水养殖有限公司开放式养殖和广西和盛渔业发展有限公司开放式养殖用海区仍有一段距离，影响较小。但 10 mg/L 悬沙会扩散至广西鱼贝盛海水养殖有限公司开放式养殖和广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖用海区，对其水质会有一定影响。并且，本项目用海占用广西鱼贝盛海水养殖有限公司和广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖用海区域，施工方应提前与养殖方沟通，积极协商，适当赔偿养殖方经济损失，保障当地养殖户利益，减轻或避免用海纠纷。施工时应做好悬浮物扩散防护措施，尽量使施工影响降至最低。

因此，本项目用海选址与周边其他用海活动具有较好的可协调性，与周边其他用海活动不存在功能冲突。

### 7.1.5 用海选址是否存在潜在的、重大的安全和环境风险

本项目在施工过程中严格按照施工规范操作，重大的安全事故和环境污染事故可能性较低。本工程与周边的社会经济条件、自然资源和生态环境相适应，工程用海不存在潜在的、重大的安全和环境风险，且与周边的用海活动不存在发生重大利益冲突的可能。

### 7.1.6 项目用海选址是否有利于海洋产业协调发展

广西壮族自治区沿海风能资源较为丰富，具备海上风电开发的条件，潜力较大。根据《广西海上风电示范项目可行性研究报告》，防城港市 A 区域的装机容量为 70 万千瓦。广西防城港海上风电示范项目 A 场址工程位于广西防城港南部海域，离岸最近距离约 15 公里，海深 15m~18m 之间，涉海面积约 98.8km<sup>2</sup>，规划总装机容量为 700MW，同

时建设风电场内 220kV 海上升压站、陆上开关站、送出海缆和集电海缆等工程。项目可开发防城港近海海域的海上风电资源，可实现海洋风能资源的综合利用，可提供清洁的可再生能源，解决区域稳定低碳供电问题，促进社会经济可持续发展。

因此，本项目用海选址有利于防城港海域海洋产业协调发展。

## 7.1.7 项目用海选址方案比选

### 7.1.7.1 风电场选址唯一性说明

根据《广西海上风电规划（2021~2030 年）》（报批稿），基于广西海域及滩涂区域风能资源、建设条件、接入系统条件、通航条件等并结合敏感因素排查成果，广西海上风电共规划 A~R 共 18 个海上风电区域、A1~R3 共 118 个海上风电场，规划总装机容量 3300 万千瓦。本项目位于《广西海上风电规划（2021~2030 年）》在规划风电场，位于北仑河口保留区和广西近海南部农渔业区 A 场址区域。因此，本项目风电场选址范围（表 7.1-1）已限定在规划场址范围内，现阶段不存在比选调整的空间，本项目风电场选址具有唯一性。

表 7.1-1 海上风电场范围表

场址编号	拐点标号	经纬度	
		东经（E）	北纬（N）
A	1	108°10'57"	21°23'55"
	2	108°15'03"	21°23'50"
	3	108°14'51"	21°19'27"
	4	108°11'41"	21°16'11"
	5	108°10'07"	21°17'34"
	6	108°09'32"	21°20'09"

根据国家能源局、国家海洋局印发的关于《海上风电开发建设管理办法》的通知（国能新能[2016] 394 号），海上风电场应当按照生态文明建设要求，统筹考虑开发强度和资源环境承载能力，原则上应在离岸距离不少于 10 公里、滩涂宽度超过 10 公里时海域水深不得少于 10 米的海域布局。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。

本工程位于广西防城港南部海域，离岸最近距离约 15 公里，海深 15m~18m 之间，风电场选址与附近航路、保护区等均有一定的距离，风电场附近不存在相关水上、水下建筑物等设施，也不存在军事设施，工程风机组、海缆路由方案均避开通信、电力、油气等海底管线的保护范围；工程选址符合相关规划的要求，从通航安全的角度上来看，本工程选址是可行的。因此，本项目选址总体与《海上风电开发建设管理办法》相符合。

本风电场选址风能资源较丰富，且风电品质也较高，可用于并网型风力发电，具有较好的开发前景。且本工程选址位于近海，参考《风电场场址选择技术规定》，推荐的电气线路输电容量和距离，本风电场海缆登陆后可就近接入电网消纳，具有方便的电网接入条件。

另外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不大。建议工程建设单位在施工和运营中严格落实好各种环保措施，尽量减少工程建设对周边海洋环境的影响，同时可采取鱼类增殖放流等方式进行生态资源补偿。根据风险分析，一旦发生溢油事故，将威胁、到该水域的渔业资源和生产，对溢油事故必须严加防范杜绝发生，避免造成经济损失和环境污染。项目在采取一定补偿措施以及环保措施的前提下，工程建设对周边海域的生态环境影响程度较小。

总体上，项目附近海域总体生态环境较好，工程选址符合环境和生态保护要求，因此，本工程风电场选址合理。

#### 7.1.7.2 登陆点选址比选分析

广西海上示范项目中的 A 和 F 风电场场址均位于防城港南部海域，按照《海上风电开发建设管理办法》和《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》，“风电场应集中布局，统一规划海上送出工程输电电缆通道和登陆点，集约节约利用海域和海岸线资源”，上述风电场的海缆通道将进行统一规划布局，登陆点也将统一设置到一处，实现集约节约用海。

在项目前期登陆点选址的工作中，按照地理位置、地形特点和开发利用情况，将防城港的海岸线大致划分为三段，即港区和企沙岸段、江山半岛岸段、东兴岸段，如图 7.1-1 所示。通过对北部湾、广西自治区和防城港市分布的涉海类政策的解读，结合卫星图片查看和实地踏勘成果，对上述三段海岸线设置本项目海缆登陆点的适宜性进行了分析，结论如下：



图 7.1-1 防城港海岸线分段示意图

### 1、港区和企沙岸段的适宜性分析

企沙半岛的东南侧海岸线，是与示范项目海上风电场场址距离最远的岸段，若在此岸段设置登陆点，海缆需穿过进出防城港的主要航路，同时为避开港区南部海域的数个锚地，需进行几次绕行，经计算，海缆长度相较于其它岸段是最长的。因此，无论在安全性还是在经济可行性上，在企沙半岛东南侧海岸线设置登陆点均是不适宜的。

综合以上分析，港区和企沙岸段不适宜设置海缆登陆点。

### 2、江山半岛岸段的适宜性分析

广西海上风电示范项目的海缆如在江山半岛登陆，首先，项目需在陆域设置专用管廊带建设输出工程，由于江山半岛狭长的地形特点，管廊带将切割规划区域，对江山半岛的开发建设造成不利影响。其次，广西第二个核电站拟选址于江山半岛南部的白龙尾附近，将占用一定面积的海域及一定长度的海岸线，且有规划限制区的预留，本项目海缆近岸段、登陆点及陆域送出工程均会受到其限制。第三，江山半岛西侧海域为珍珠湾，湾顶沿岸为红树林，湾内有海草床分布，是重要的蓝碳生态系统，从生态环境保护的角度考虑，不宜设置海缆登陆点。因此，海缆的登陆及电力送出工程，与江山半岛开发规划及拟建白龙核电之间的利益关系协调难度较大。



鉴于金滩是东兴市最大的滨海旅游区，本项目在选址时充分考虑了海缆登陆对旅游区的影响因素，以尽量减少甚至不影响金滩旅游区的基本功能和滨海景观为前提，本项目从选址、设计、施工等各方面均将采用适宜的方案和先进的技术，同时与当地政府工作部门进行深度协商，确定了广西海上风电示范项目海缆登陆选址应避开金滩的旅游中心区域，登陆方式应不影响沙滩自然景观。

按照上述原则，广西海上风电示范项目在防城港市的海缆登陆点拟设置于金滩东端海岸线，且该登陆点的选址具唯一性。

## 7.2 用海方式和平面布置合理性分析

### 7.2.1 平面布置合理性分析

#### 7.2.1.1 风机平面布置合理性分析

##### (1) 风机布置原则

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主要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、锚地、海缆路由、油气管道等之间的关系。场址周边环境限制条件详见图 7.2-1。

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) 由于本项目升压站计划布置在场址内, 考虑在场址北侧预留升压站位置。

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, 且与用海及环保要求不冲突。

8) 本风电场轮毂高度处主导风向为 NNE, 主导风向频率为 28.2%; 风能主导方向为 NNE, 频率为 59.4%。风向、风能分布相对集中。风机布置时按平行主导风向 6~12 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。



图 7.2-1 场址机组布置限制条件

## (2) 风机排布技术路线

根据上述风机布置原则, 为了在集约用海和充分利用场址风能资源中寻求最佳平衡点, 本阶段风机布置与优化采用的技术路线如下:

1) 在场址区域内剔除特殊地质区或其他预留区域，形成风电场风机布置的候选区域；

2) 风电场风机按照阵列布置，即风机机位呈现规则化的几何分布；

3) 风机布置方案的基本单元设定为平行四边形，每个基本单元定义 4 台风机的相对位置与距离，整个风机布置阵列由若干个相同的平行四边形构成，从而呈现出“梅花型”的宏观分布，见图 7.2-2；

4) 对 3) 中提及的平行四边形基本单元进行旋转和伸缩变形，从而构建任意朝向和任意内部间距的潜在布置方案集合；

5) 结合 2.5 节风况参数分析的相关成果(风速频率分布和风向频率分布)，利用 PARK 尾流模型，对 4) 中所有潜在布置方案进行理论发电量和尾流损失试算，并从中筛选出平均尾流损失较小且全场发电量较优的 10 个候选布置方案；

6) 进一步考虑测风数据不确定性，尤其风频、风向的不确定性对风机布置的影响，将 5) 中风能资源分析成果进行主导风向和风频调整，主导风向左/右偏  $22.5^\circ$ ；主导风速频率上/下浮 30%，对 5) 候选排布方案进行重新试算，从中筛选出各比选机型理论发电量和尾流损失变幅最小的方案作为推荐比选方案。

在实际工作中，利用中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司自主开发的海上风电场风机阵列自动排布优化软件（Guangdong Offshore windfarm Layout Designer, GOLD v2.0）实现上述技术路线。

整个技术路线的流程图如图 7.2-3 所示。

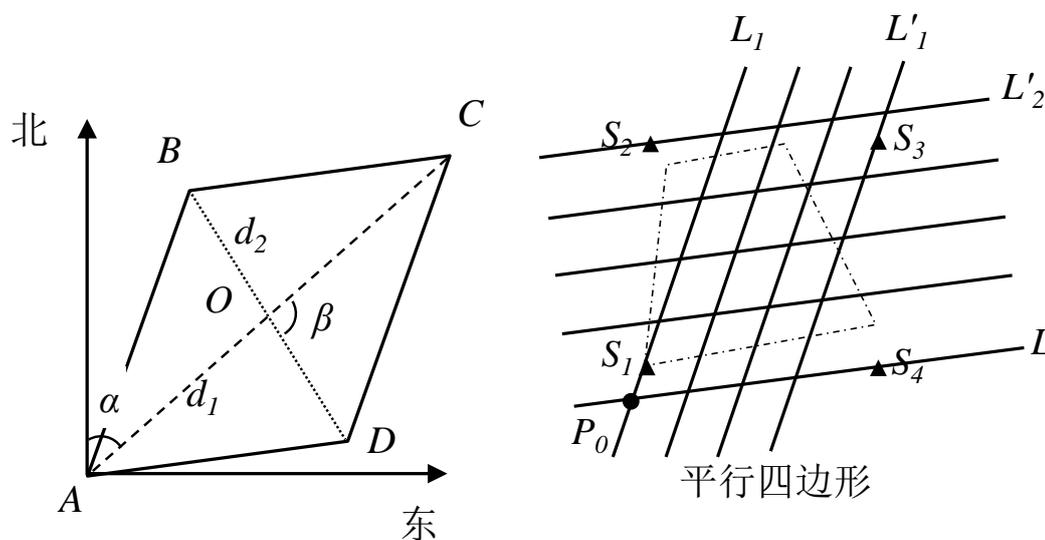


图 7.2-2 平行四边形基本单元示意图

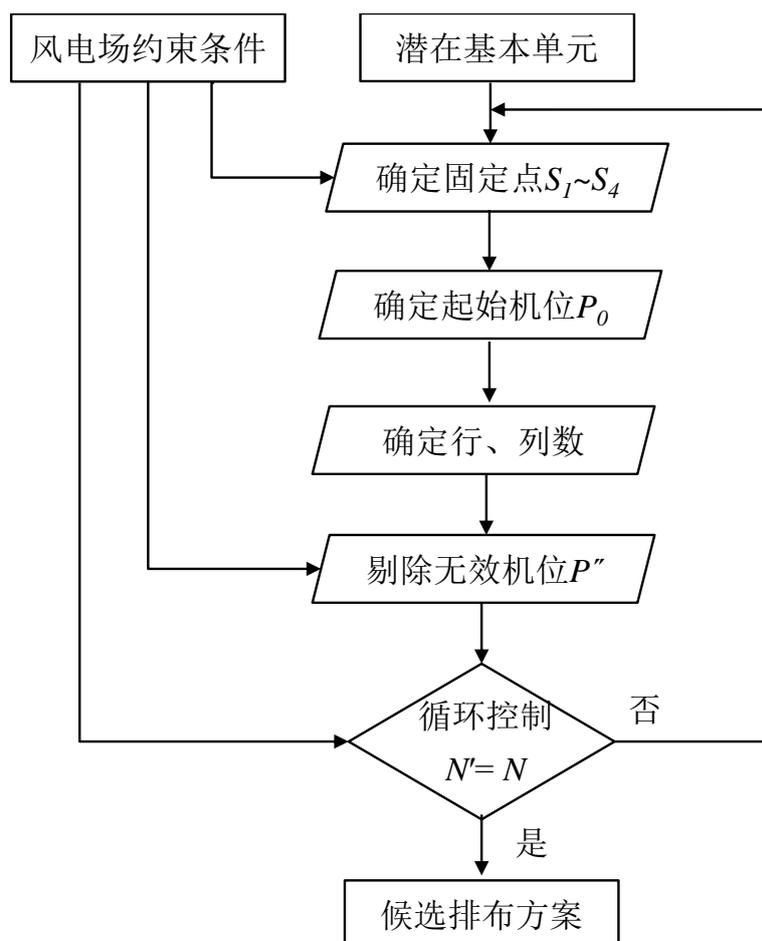


图 7.2-3 规则化风机排布方法流程图

最终按照场址规划容量，对各比选机型自动筛选出能够满足 1) 候选区域面积限制且全场平均尾流损失最低的基准布置方案。在此基础上，适当调整个别机位，更改后排风机间距，形成最终的推荐布置方案。

### (3) 风机布置方案

根据规划要求，本工程装机容量为 700MW，根据以上风机布置原则，分别对 7MW、8MW、8.5MW 共 3 种方案进行布置，各布置方案见图 7.2-4~7.2-6 所示。各方案行间距按 6~11 倍 RD，列间距按 3~5 倍 RD 试算，个别机位进行调整。

利用中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司自主开发的海上风电场风机阵列自动排布优化软件(Guangdong Offshore windfarm Layout Designer, GOLD v2.0)实现上述原则对风机排布进行优化布置，各比选机型发电量计算成果见表 7.2-1。

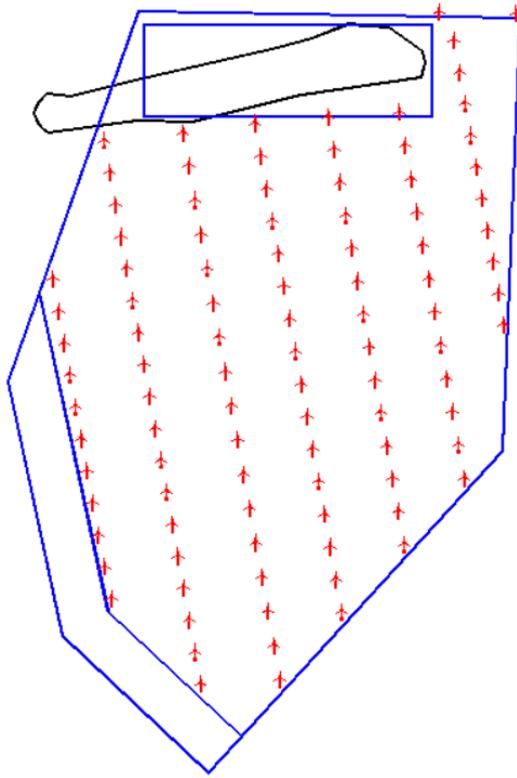


图 7.2-4 7MW 风机机位布置示意图

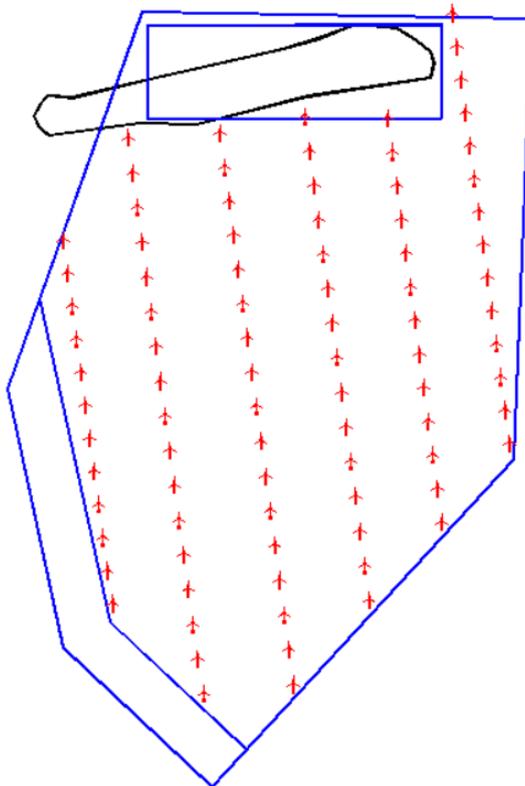


图 7.2-5 8MW 风机机位布置示意图

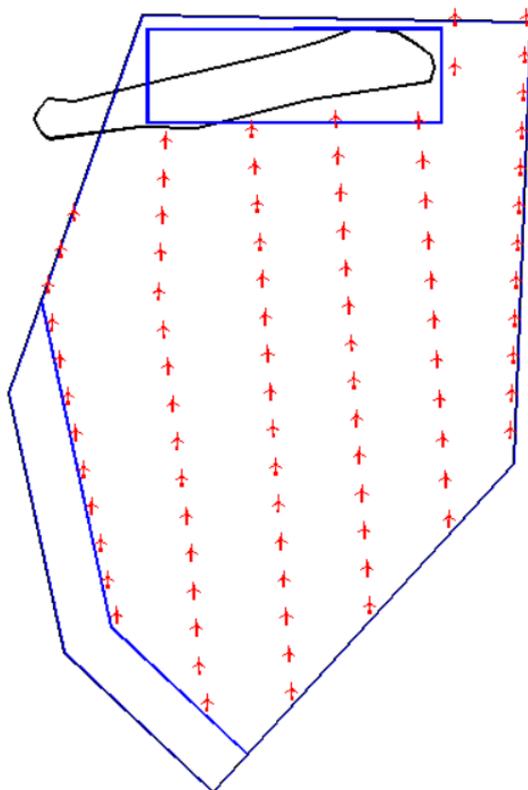


图 7.2-6 8.5MW 风机机位布置示意图

以上 7 种机型按照发电效益由高到低排序依次为 WTG06、WTG07、WTG04、WTG01、WTG03、WTG05、WTG02 见表 7.2-1。

对以上各机型做进一步技术经济比选，主要包括投资比较和经济效益比较。结合各机型比选方案的土建、电气、施工组织设计，以及设备、材料询价情况，对设备及安装费用、施工辅助工程费用、建筑工程费用、其他工程费用及基本预备费共 5 个部分。

按照同一计算原则、取费标准及价格水平计算各比选机型的投资。各比选机型投资差异主要体现在风机设备费、塔筒设备费、机组安装费、集电海缆线路投资、风机基础投资等方面。投资和经济性对比情况见表 7.2-2。由此可以看出：

比选机型的投资从高到低排序为：WTG06、WTG07、WTG04、WTG03、WTG05、WTG02、WTG01。

比选机型的经济性从高到低排序为：WTG06、WTG07、WTG04、WTG03、WTG01、WTG05、WTG02。

表 7.2-1 各机型及排布方案发电量计算结果对比表

机型	WTG01	WTG02	WTG03	WTG04	WTG05	WTG06	WTG07
额定功率 (kW)	7000	8000	8000	8000	8500	8500	8500
台数 (台)	100	88	88	88	83	83	83
设计容量 (MW)	700	704	704	704	705.5	705.5	705.5
预装轮毂高度(m)	120	120	128	128	130	135	134
叶轮直径 (m)	200	208	220	215	221	230	226
理论年发电量(GWh)	2648.714	2588.952	2710.848	2757.793	2614.281	2796.824	2770.960
净发电量 (GWh)	2309.553	2230.870	2319.424	2406.139	2276.286	2433.480	2423.658
平均尾流损失率 (%)	12.80	13.83	14.44	12.75	12.93	12.99	12.53
其他折减率 (%)	85	85	85	85	85	85	85
年上网电量 (GWh)	1963.120	1896.240	1971.510	2045.218	1934.843	2068.458	2060.109
满发小时数 (h)	2804	2694	2800	2905	2743	2932	2920
容量系数(%)	32.01	30.75	31.97	33.16	31.31	33.47	33.33

表 7.2-2 各机型投资比选对比表 单位：万元

编号	工程或费用名称	WTG01	WTG02	WTG03	WTG04	WTG05	WTG06	WTG07
一	施工辅助工程	11455.9	11271.36	11271.36	11271.36	11196.1	11105.24	11105.24
1	施工交通工程	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2	大型船舶（机械）进出场费	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00	2500.00
3	其他施工辅助工程	270.00	270.00	270.00	270.00	270.00	270.00	270.00
4	其它	277.90	277.90	277.90	277.90	277.90	277.90	277.90
5	安全文明施工措施费	7208.00	7023.46	7023.46	7023.46	6857.34	6857.34	6857.34
二	设备及安装工程	584988.64	588286.05	573055.64	563396.87	587433.13	537219.33	550989.01
1	发电场设备及安装工程	495423.38	498720.79	483490.38	473831.61	497867.87	447654.08	461423.75
2	海上升压站设备及安装工程	11963.92	11963.92	11963.92	11963.92	11963.92	11963.92	11963.92
3	登陆电缆工程	62049.92	62049.92	62049.92	62049.92	62049.92	62049.92	62049.92
4	陆上集控中心工程	7408.18	7408.18	7408.18	7408.18	7408.18	7408.18	7408.18
5	其他设备及安装工程	8143.24	8143.24	8143.24	8143.24	8143.24	8143.24	8143.24
三	建筑工程	277411.88	274641.55	274641.55	274641.55	265158.45	265158.45	265158.45
1	发电场工程	257094.56	254324.23	254324.23	254324.23	244841.14	244841.14	244841.14
2	海上升压站工程	15646.30	15646.30	15646.30	15646.30	15646.30	15646.30	15646.30
3	登陆电缆工程	37.56	37.56	37.56	37.56	37.56	37.56	37.56
4	陆上集控中心工程	2565.18	2565.18	2565.18	2565.18	2565.18	2565.18	2565.18
5	交通工程							
6	其他工程	2068.28	2068.28	2068.28	2068.28	2068.28	2068.28	2068.28
四	其他费用	39887.02	39569.81	39415.98	37428.85	39420.55	38639.99	39222.52
1	项目建设用海（地）费	3240.02	3240.02	3240.02	3240.02	3240.02	3240.02	3240.02
2	工程前期费	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00	2000.00
3	项目建设管理费	20453.79	20146.35	20047.35	18049.26	20008.93	19293.58	19871.36
4	生产准备费	1693.21	1683.44	1628.61	1639.57	1671.60	1606.39	1611.14
5	科研勘察设计费	12500.00	12500.00	12500.00	12500.00	12500.00	12500.00	12500.00
6	其他税费							

编号	工程或费用名称	WTG01	WTG02	WTG03	WTG04	WTG05	WTG06	WTG07
	一至四部分投资合计	913743.44	913768.77	898384.53	886738.63	903117.37	852123.02	866475.22
五	基本预备费	18274.87	18275.38	17967.69	17734.77	18062.35	17042.46	17329.50
	工程静态投资（一~五）部分合计	932018.31	932044.15	916352.22	904473.40	921179.72	869165.48	883804.72
六	价差预备费							
	建设投资	932018.31	932044.15	916352.22	904473.40	921179.72	869165.48	883804.72
七	建设期利息	19902.99	19903.55	19568.45	19314.78	19671.54	18560.79	18873.41
八	工程总投资（一~七）部分合计	951921.30	951947.69	935920.67	923788.18	940851.26	887726.27	902678.13
	单位千瓦的静态投资（元/千瓦）	13315	13239	13016	12848	13057	12320	12527
	单位千瓦的动态投资（元/千瓦）	13599	13522	13294	13122	13336	12583	12795
	单位度电投资（元/kWh）	0.3038	0.3146	0.2975	0.2830	0.3047	0.2689	0.2746
	<b>机型排序</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

\*注：本表格测算结果仅作各方案经济性对比使用，测算边界条件不作为本项目经济性评价的依据

根据计算的经济性排序，本阶段推荐采用 WTG06 单机容量为 8.5MW 的风电机组。

#### (4) 推荐机型的布置优化方案

对推荐的单机容量 8.5MW 的 WTG06 机型,按通过如下思路进行优化布置:一是基本垂直主导风向上进行风机行列间距调整形成优化布置方案一,如图 7.2-7 所示;二是规则化的风机排布方案按照以上技术路线,以 NNE 为主导风向,并适当旋转调整角度,并对个别风机进行微调优化形成优化布置方案一~四,如图 7.2-7~7.2-10 所示。

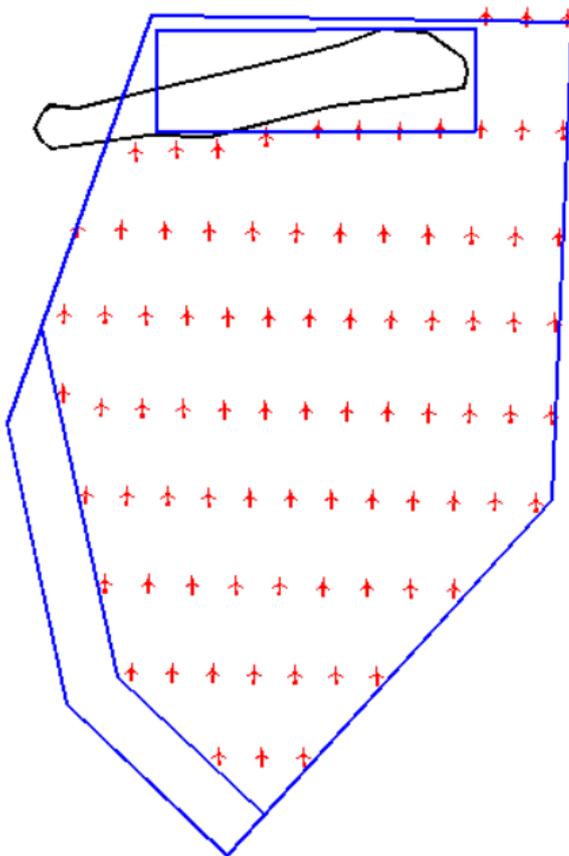


图 7.2-7 优化布置方案一

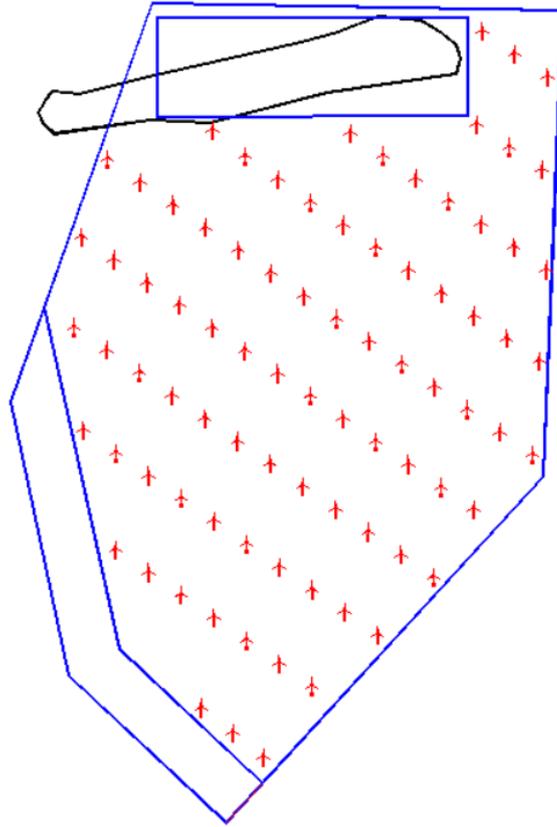


图 7.2-8 优化布置方案二

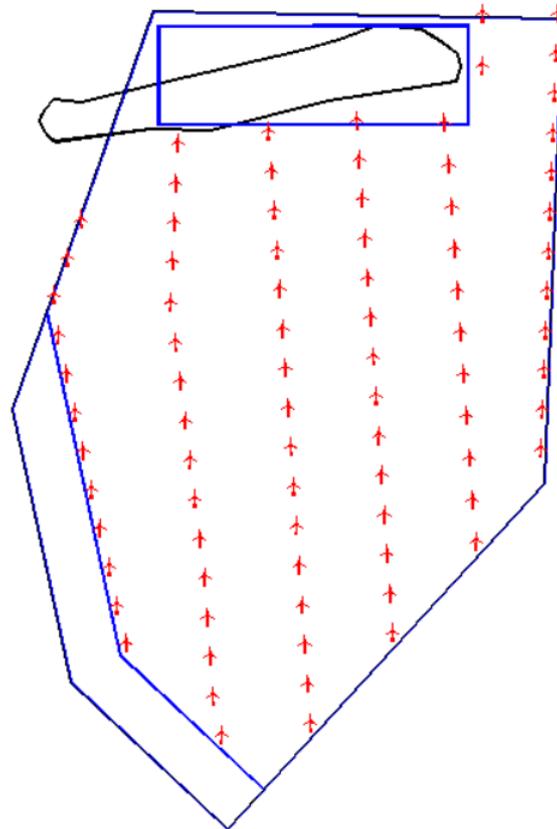


图 7.2-9 优化布置方案三

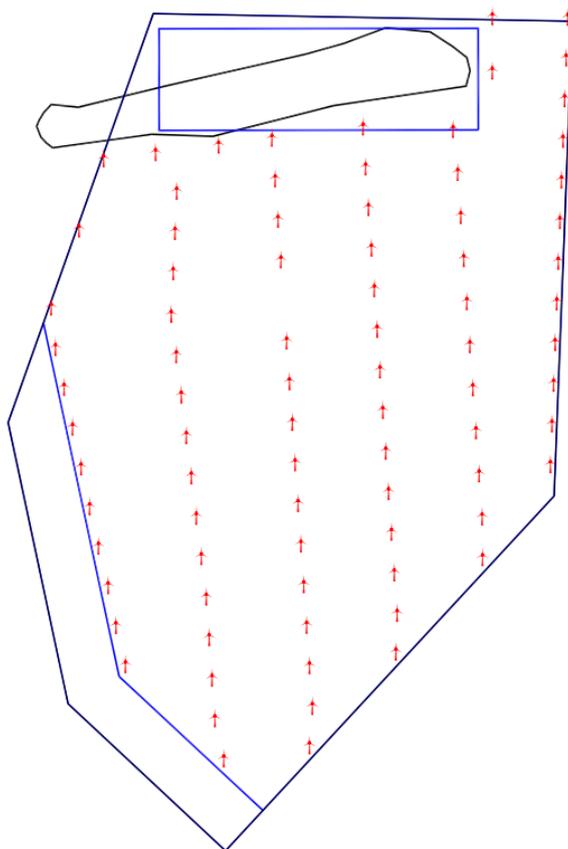


图 7.2-10 优化布置方案四

上述优化布置方案计算结果见表 7.2-3:

表 7.2-3 优化布置方案比较表

方 案	方案一	方案二	方案三	方案四
理论年发电量(GWh)	2796.820	2796.818	2796.825	2796.824
净发电量(GWh)	2381.618	2381.618	2433.480	2436.506
平均尾流损失率(%)	14.85	16.48	12.99	12.88
其他折减率(%)	85	85	85	85
年上网电量(GWh)	2024.375	2024.375	2068.458	2071.030
满发小时数(h)	2869	2869	2932	2936

由表 7.2-3 可知, 方案四在发电量、平均尾流损失、满发小时数方面较方案一优, 因此本阶段推荐机型风机布置方案采用方案四。风机最终布置方案如图 7.2-11 所示。

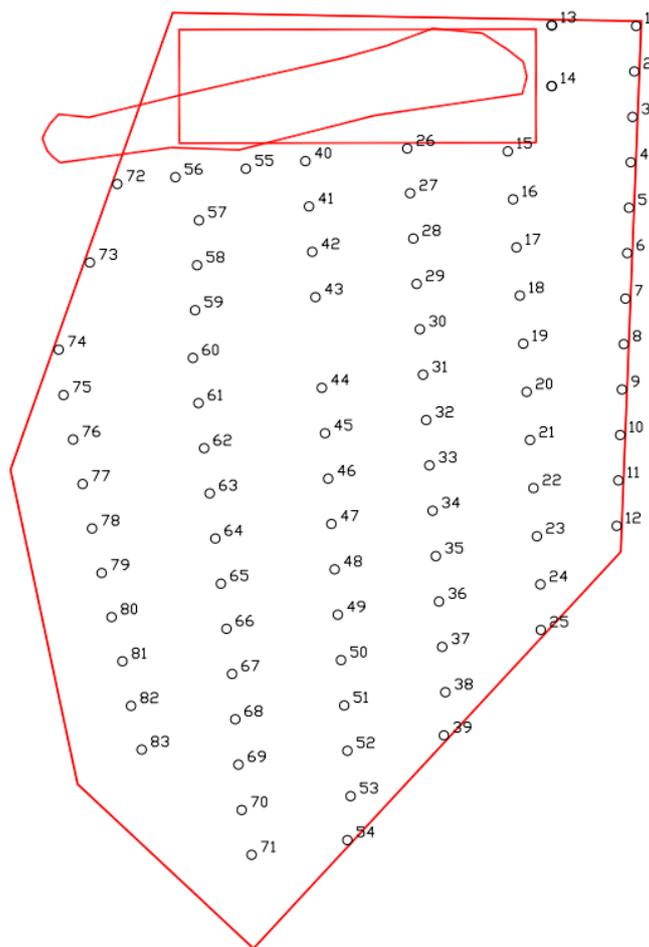


图 7.2-11 推荐风机布置方案

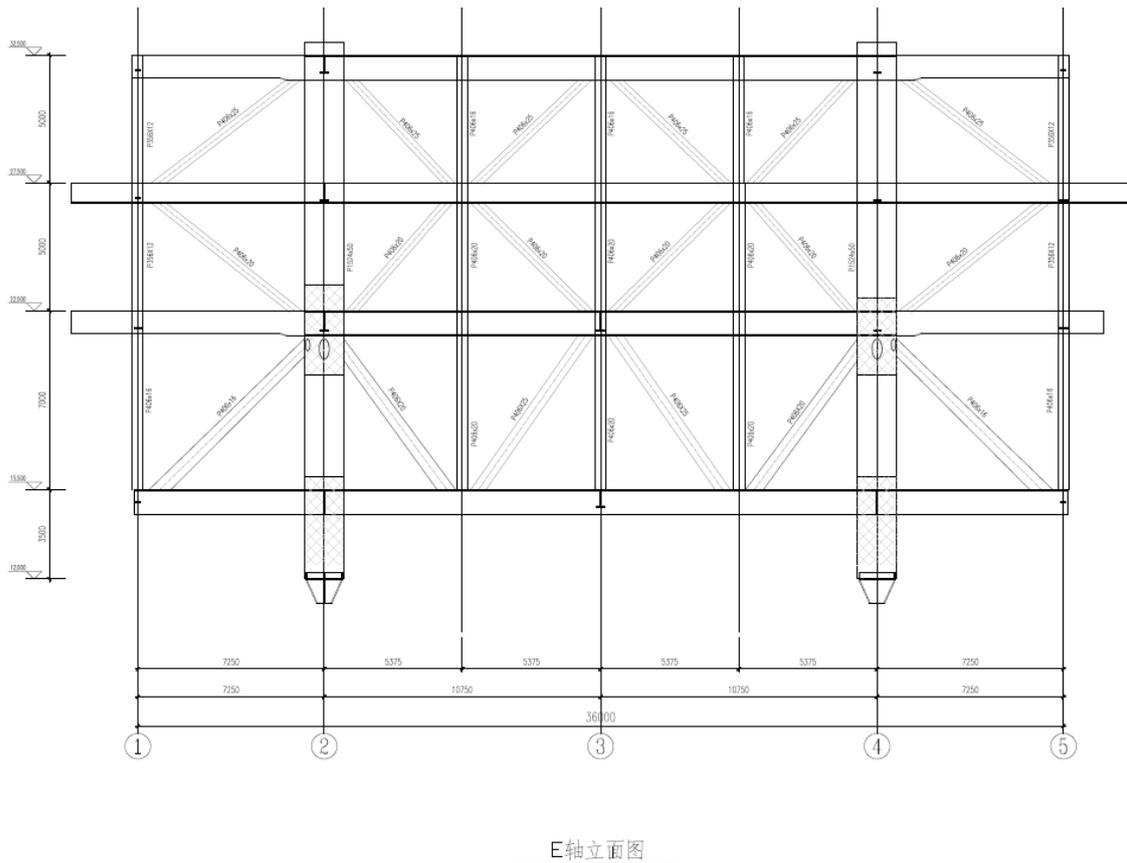
### 7.2.1.2 海上升压站布置合理性分析

本工程配套建设 1 座 220kV 海上升压站。

为了使风电机组之间 66kV 集电海底电缆的短捷，同时便于 220kV 送出海底电缆送出至陆上开关站，升压站区域水深约 15m 左右，平台尺寸为 40m×38m，升压站共三层。

海上升压站采用整体式布置，包括上部结构和下部结构。下部结构采用导管架型式，并设置了 4 根钢管桩。上部结构拟整体安装，即整个升压站包括其内部的电气设备在陆上建造、组装后整体运输和安装，本工程升压站暂不考虑布置直升机平台。

海上升压站结构示意图如图 7.2-12 所示。



E轴立面图

图 7.2-12 海上升压站结构示意图

### 7.2.1.3 海底电缆布置合理性分析

海上升压站初拟布置在场址西侧中心的位置，220kV 高压海底电缆一端为海上升压站，另一端为登陆点处转接井。陆上开关站拟布置在登陆点北侧约 6200m 处，预选海缆登陆点位于防城港市东兴京岛金滩附近海岸线。

#### 1) 220kV 送出海底电缆

本工程陆上开关站位于风电场西侧。送出海底电缆登陆点拟在陆上开关站东南侧选址，登陆后通过电缆沟的形式沿西北向进入陆上开关站。

220kV 海缆预选路由区工程地质条件和自然环境条件整体良好，同时也避开了岛礁、锚地、倾倒区、沉船、炸弹、海上浮标以及其它复杂地形区域。

#### 2) 集电海底电缆

集电海底电缆采用 66kV 三芯电缆，根据风电机组布置及考虑每个 66kV 母线段所带风电机组数量尽量平衡。风电场共设置 15 回 66kV 集电海底电缆。

66kV 集电海底电缆路的路由与风电场内风机拓扑连接关系有关，后续将随风机布置调整进一步优化集电线路拓扑连线，并结合场址地质情况确定集电海缆

路由。

## 7.2.2 用海方式合理性分析

本项目主要水工建筑物是风机基础、海底电缆和升压站，用海方式分别是透水构筑物 and 海底电缆管道。

### 7.2.2.1 风机用海方式合理性分析

本阶段从结构、施工、工程量等因素综合考虑，对风机基础采用单桩、高桩承台基础、水下三桩基础、三桩导管架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，桩径 8 米以上，风电场存在大面积嵌岩桩施工，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，故在嵌岩场址区域，大直径单桩不具备经济性；由于本风电场在 AK10 钻孔位置没有揭露岩层，该区域大直径单桩无论从工程量还是海上施工都具备明显优势。高桩承台基础、水上三桩基础、三桩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，本场址应用会存在大面积斜桩嵌岩施工的情况，具有较大难度。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；从工程量角度分析，单桩基础的工程量较小，具有经济性，水上三桩和导管架基础的工程量相差不大，水下三桩和高桩承台基础的工程量相对较高。

#### 1) 结构安全性评估

本工程场址海域水深为 0.0-22.0m，水深中等，海况恶劣，海床表层为厚度不均的淤泥，岩面较浅且起伏较大，工程地质条件不均匀。经过计算分析，各个风机基础型式均存在大面积嵌岩桩的情况。各个风机基础方案均能满足承载能力、变形和极限强度的安全要求，因此从结构安全角度来看，各个风机基础方案均是基本可行的。

通过对每种基础进行力学分析，所有的基础形式都能满足桩基承载力要求，结构安全等结构评估指标。

## 2) 施工分析

7 米以上的超大直径单桩已经在海外海上风电场中应用，在国内也大规模影响，在非嵌岩风场，其施工效率高，周期短。本风电场的工程地质条件较复杂，需要较大比例的嵌岩桩施工，采用超大直径单桩存在一定风险，下一步还需要对施工可行性和安全性进行更详细的研究。

三桩导管架基础国内日益增多，尤其是深水区域，导管架的应用越来越广泛。目前国内外的应用日渐增多，采用先桩法设计，导管架基础的施工技术相对比较成熟，但是导管架基础的节点数量众多，建造工作量大，需要进行水下灌浆施工，基础调平也是一个关键环节，需要通过基础设计和施工工艺来提高施工可靠性和效率。

水上三桩基础在国外已经有实际工程应用，施工技术相对成熟，基础采用了水上灌浆连接，能够在较大程度上保证施工质量和效率，在采用嵌岩桩的区域，也不用水下截桩，施工上具有一定优势。虽然在国内施工经验不多，但其仍属于桩基形式，国内施工条件满足其施工要求。

高桩承台基础在国内几个海上风电场中已有应用，工艺成熟、可靠，风险较小且施工难度小，但是施工工序较多，工期较长。由于本工程需采用大比例的嵌岩桩，高桩承台的钢管桩为倾斜式，给嵌岩桩施工带来了一定困难。

## 3) 经济性分析

根据现阶段工程地质和海洋水文资料，结合结构计算分析成果和设计经验，经分析，嵌岩高桩承台基础与水上三桩嵌岩机位经济性最差，其次三桩导管架嵌岩成本较高，但嵌岩基础中，嵌岩单桩基础形式相对经济。由于重力式基础主体结构为钢+混凝土结构，海上施工无嵌岩施工环节，故在该场址其综合成本最具有经济优势。

表 7.2-4 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
单桩基础	水深 0~35m	制造简单，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

基础型式	适用条件	优点	缺点
			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。
水上三桩基础 (Tripile)	水深 0~30m	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; 对冲刷较敏感, 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 0~30m	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。
水下三桩基础 (Tripod)	水深 20~50m	较大的底盘提供了较大的抗倾覆弯矩能力, 可用于较深海域, 具备单桩基础的优点, 但几乎不需要冲刷防护。	主要受力节点非常复杂, 应力集中现象明显, 对结构的抗疲劳性能不利。 受海底地质条件约束较大; 在较浅海域, 安装或维修船有可能会与水下导管架结构发生碰撞; 建造与安装成本高。
导管架基础	水深 0~60m	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。
重力式基础	通常应用在水	结构简单, 采用相对便宜的混凝土材料, 抗风暴和风浪袭击	需要预先做海床准备; 体积、重量均大, 安装起来不方便; 适

基础型式	适用条件	优点	缺点
	深小于 25 m、海床较为坚硬的海域	性能好,稳定性和可靠性是所有基础中最好的。	用水深范围太过狭窄,水深增加,经济性得不到体现,造价反高于其它基础。
吸力筒基础	海床为砂性土或软粘土的 25 米水深以内海域	节省钢用量,节约成本;负压施工,速度快,便于在海上恶劣天气的间隙进行施工;可事先安装好,便于运输和安装;由于桶基插入较浅,只须勘察海床浅部地质;风电场寿命终止即可拔出,进行二次利用。	在负压作用下,桶内外的水压差将引起土体渗流,虽然渗流能大大降低下沉阻力,但是过大的渗流将导致桶内土体渗流大变形,形成土塞,甚至有可能使桶内土体液化而发生流动,使吸力桶在下沉过程中容易产生倾斜,需频繁矫正。
浮式基础	水深大于 50m 的深海域	安装与维护成本低;在其寿命终止时,拆除费用也低;对水深不敏感,安装深度可达 50 m 以上;波浪荷载较小。	稳定性差,平台与锚固系统的设计有一定难度。

综上所述,结合本风场水文条件,风机运行要求以及地勘环境,对比五种常见的基础形式进行详细对比分析。通过分析,所有结构形式均满足结构的安全要求;在现有的船机设备要求下,所有基础形式都具备施工条件;在经济性分析中,重力式基础由于没有嵌岩施工,其综合工程造价最低。故现阶段在该风场主推重力式基础作为该风场的风机基础形式。根据国内的施工资源的调研结果,大直径单桩嵌岩施工也相对成熟,市场上有 5 套满足 8m 直径单桩的施工要求,现阶段嵌岩单桩要比重力式基础相当,根据场址特性,结合目前可研钻孔揭露情况,全场 83 台风机基础中,现阶段 61 台推荐重力式基础,东南侧覆盖层大的位置推荐 22 台嵌岩单桩基础。因此,本项目风机用海方式是合理的。

### 7.2.2.2 升压站用海方式合理性分析

#### (1) 上部组块结构型式

海上升压站设备重量大、尺寸大，电缆繁多，结合既有国内外建设经验和项目功能特点，上部组块结构型式可选用单层平台+设备舱室、多层平台+设备舱室、平台与设备舱室结构独立或结合成整体等多种型式。单层平台一般为空间钢桁架，单层平台+设备舱室，平面尺寸增加，重心容易偏移使吊装难度加大，且对基础结构产生一定的不利影响，多层平台多采用带支撑的钢框架，设备舱室为钢板或带肋钢板结构，顶部屋面设置坡度用于排水。本项目采用带支撑的钢框架多层平台结构方案。

#### (2) 基础结构型式

海洋平台结构基础一般有单桩、重力式、导管架、高桩平台、吸力式、浮式、移动自升式等基础型式。

单桩基础目前在已建成的海上风电场中得到了最广泛的应用，单桩基础特别适于浅水及中等水深水域。单桩基础的优点是施工简便、快捷，基础费用较小，并且基础的适应性强。目前国内中广核如东海上升压站采用的是单桩式海上升压站，但是其为 110KV 海上升压站，其上部结构尺寸相对较小，本项目水深 0.0-22.0m 之间，地质情况较差，表层土存在淤泥及淤泥质土，若采用单桩，本工程上部结构平面尺寸较大，且上部结构组块质量较大，超过 3000t，单桩布置平台悬臂过大不经济，同时也无法保证升压站容许水平变形，故不宜采用单桩基础。

重力式海上升压站包含预制混凝土基础和钢结构上部组块。重力式基础为预制混凝土基础，基础重一般一千余吨，在陆上预制。预制基础养护完成后，用驳船运至现场，用大型起吊船将基础起吊就位。重力式基础是适用于浅海且海床表面地质较好的一种基础类型，靠其自身重量来平稳风荷载、浪荷载等水平荷载。这种基础安装简便，基础投资较省，但对水深有一定要求，一般不适合水深超过 10m 的风电场，并对海床表面地质条件也有一定限制，不适合淤泥质海床。本工程海底表层土存在淤泥质土，地基承载力较低，且升压站上部组块达 3000 t 以上，不宜采用重力式海上升压站。

导管式海上升压站包含导管架，桩基础和钢结构上部组块。导管架基础用 4

根或 4 根以上的钢管桩，并用导管架相连，一般采用四桩导管架基础。导管架与海上升压站上部结构支腿之间相连。导管架基础适用性强，适合与各种水深与地质条件，广泛应用于石油平台行业，工程经验较多。根据地质情况，本工程可以采用导管架式海上升压站。

高桩承台结构在港工码头设计中较常用，需施打桩数较多，几根到几百根不等，承台采用现浇钢筋混凝土。对于海上升压站来说，采用高桩承台结构的桩与桩之间没有相互连接，桩的悬臂长度过长，结构侧向刚度小，并且在水深较深区域，且施工费用高因此本工程不宜采用。

综上所述，本工程本阶段推荐采用常四桩导管架结构，桩基采用植入性嵌岩桩。桩基础采用钢管桩基础，用海方式为透水构筑物用海，用海方式是合理的。

#### 7.2.2.3 集电海缆、送出海缆用海方式合理性分析

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆和海上升压站与陆上开关站之间的 220kV 海底电缆。工程海域海床表层土为新近沉积淤泥土，登陆部分为海涂和浅滩，推荐的海缆敷设方式为直埋方式，相比架空电缆的方式，电缆埋设于海床以下对海洋资源环境及开发现状的影响更小。从海底电缆的建设特征和用途考虑，用海方式为海底电缆管道用海是合理的。

### 7.2.3 上述用海方式与维护海域基本功能的适宜性分析

本项目主要建设设施是风机基础、海上升压站基础和海底电缆，用海方式分别为透水构筑物和海底电缆用海。虽然风电场占用一定的海域，但透水构筑物和海底电缆用海均不改变海域的自然属性，能够保持水体的流通交换，对海域的使用不属于不可恢复，不涉及炸岛和围填海等，项目实施虽然会对农渔业区的渔业资源造成一定的影响，但通过一系列生态补偿措施，不影响海域的主导功能的实现，能够维护海域的基本功能。

#### 7.2.4 是否减少对水文动力环境的影响

本项目风电场透水构筑物和海底电缆用海能够保证水流的通畅，因此虽占用一定海域面积，但对整个水文动力环境的影响并不大。

从数模计算结果来看，项目对水动力、泥沙冲淤环境影响均不大，因此从对水文动力环境、冲淤环境的影响来看，本项目的用海方式合理。

## 7.2.5 用海方式与周围其他用海活动的适宜性

根据前面相关章节的分析，在充分沟通及有效落实协调方案的前提下，项目建设采用目前的用海方式，从工程施工方案、对周边海域开发活动的环境影响来看，具有一定的适宜性。

## 7.3 用海面积合理性分析

### 7.3.1 项目用海面积合理性

根据最新的海域使用分类体系，港口风电项目的用海类型为“工业用海”（一级类）中的“电力工业用海”（二级类）；用海方式包括构筑物（一级方式）的透水构筑物（二级方式）、其他方式（一级方式）的海底电缆管道（二级方式）。项目申请用海总面积 394.1530 公顷：其中透水构筑物用海总面积 104.3114 公顷，包括风机用海 102.1569 公顷、海上升压站用海 2.1545 公顷；海底电缆管道用海总面积 289.8416 公顷。

表 7.3-1 项目用海面积统计表

用海方式	用途	面积（公顷）
透水构筑物	83个风机基座	102.1569
透水构筑物	海上升压站	2.1545
海底电缆管道	220KV海底电缆	132.3814
	66KV海底电缆	157.4602
宗海面积		394.1530

#### 7.3.1.1 是否满足项目用海需求

开发广西海上风电示范项目（场址 A）符合国家可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，适应广西能源规划和海上风电规划，是广西重要的海上风电项目。本项目的开发建设对于推动广西海上风电开发、缓解环境保护压力、促进地方经济绿色发展、拉动地区经济转型升级都有着重要意义。

本阶段推荐 83 台单机装机容量为 8.5MW 的海上风机，61 台采用重力式基

础，风机轮毂安装高度约为 128m；22 台采用嵌岩单桩基础，风机轮毂安装高度约为 130m。风机用海面积根据采用的风机基础尺寸，按照海籍调查规范量算，因此，风电机组的用海满足项目用海需求。

海底电缆设计综合考虑风电场的功能、布设及周边环境、功能区种种因素，电缆设计合理。海底电缆的面积量算根据海籍调查规范进行，并按照海域使用金管理要求，减去与风电机组的用海面积重叠部分。由此可见，海底电缆的用海满足项目用海需求。

海上升压站的设计综合考虑了风电场的发电效益、风机布设优化方案、海底地形地质特征等因素，采用整体式布置，包括上部结构和下部结构。下部结构采用导管架型式，并设置了 4 根钢管桩，设计合理。面积量算按照海籍调查规范执行，面积量算正确。因此，海上升压站的用海满足项目用海需求。

综上所述，本项目的用海设施风机基础、海上升压站、海底电缆的申请用海面积可以满足项目用海需求，是合理的。

#### **7.3.1.2 是否符合用海控制指标要求**

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），海上风电的规划、开发和建设，应坚持集约节约的原则，提高海域资源利用效率。充分考虑地区差异，科学论证，单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 平方公里左右。本项目风电场总容量 70 万千瓦，外围风机总包络用海面积约 98.8 km<sup>2</sup>，每 10 万千瓦包络海域面积约 14.1 平方公里，符合国家规定的用海控制要求。

#### **7.3.1.3 是否符合行业的设计标准和规范**

工程陆上用地按水规总院发布的《电力工程项目建设用地指标（风电场部分）》（建标[2011]209号）的规定执行；海域征用按《海籍调查规范》HYT124-2016 的规定执行。

本工程用海包括如下部分：风力发电机用海、海底电缆用海、220kV 海上升压站用海三部分。风力发电机、220kV 海上升压站用海按电力工业用海性质考虑，海底电缆用海按海底电缆管道用海性质考虑。根据《海籍调查规范》的规定：“发电设施的征地界线为发电设施外缘线外扩 50m 形成的边线”，“海底电缆采用两侧各外扩 10m 形成的边线来计算”。

#### 7.3.1.4 减少用海面积的可能性分析

本项目的设计在满足该风电工程规划总装机容量和项目安全性等需求的基础上,已经按照集约节约的用海原则,对本项目的平面布置做了多次优化,合理避开了本工程周边海域的航道、锚地、保护区、礁石等(详见第 7.2.1.1 节论证内容),因此,目前已无可再减少用海面积的可能性。但后期海底电缆和风电场区经路由勘察和地质勘察后,若路由或风机机位产生微调,申请用海面积再作略微调整。

### 7.3.2 宗海图绘制方法合理性分析

#### (1) 宗海界址图的绘制方法

利用委托方提供的项目平面布置图、当地海图、天地图作为宗海平面图的基础数据,采用 Arcmap 软件矢量化地形图作为宗海界址图的底图,根据《海域使用分类》、《海籍调查规范》、《宗海图编绘技术规范》对宗海和宗海内部单元的界定原则,形成不同用海单元的界址范围。

#### (3) 宗海位置图的绘制方法

按照《宗海图编绘技术规范》要求,采用 2000 国家大地坐标系(CGCS2000),采用当地理论最低潮面,采用 1985 国家高程基准。地图投影采用高斯-克吕格投影,中央经线为宗海中心相近的 0.5 投整数倍经线,即 108 经为中央经线。比例尺为 1:150000。将上述图件作为宗海位置图的底图,经过相应的地图整饰,形成宗海位置图。

综上所述,宗海图绘制方法是科学合理的。

### 7.3.3 用海面积量算的准确性

本工程用海包括如下部分:风机用海、海上升压站用海、海底电缆用海三部分。根据《海籍调查规范》,结合收集的资料进行分析,界定风机用海、海上升压站用海以及海底电缆用海的界址。

#### 1、风机界址界定

全场83台风机基础中,现阶段61台推荐重力式基础,东南侧覆盖层大的位置推荐22台嵌岩单桩基础。

重力式基础风机基座塔架直径取值31000mm,即31米。按照《海籍调查规范》

“塔架中心点为圆心，半径为塔架中心点与塔架基础最外缘点连线外扩50m。”所以，A场址工程的风电基座部分的用海半径取值为 $31/2+50=65.5$ (米)。利用ArcGIS 10.6软件进行点缓冲分析生成风机用海范围，在高斯克吕格投影下，以此计算的圆面积约为1.3451公顷。61个风机用海总面积为82.0511公顷。

单桩基础风机基座塔架直径取值8000mm，即8米。按照《海籍调查规范》“塔架中心点为圆心，半径为塔架中心点与塔架基础最外缘点连线外扩50m。”所以，A场址工程的风电基座部分的用海半径取值为 $8/2+50=54$ (米)。利用ArcGIS 10.6软件进行点缓冲分析生成风机用海范围，在高斯克吕格投影下，以此计算的圆面积约为0.9139公顷。22个风机用海总面积为20.1058公顷。

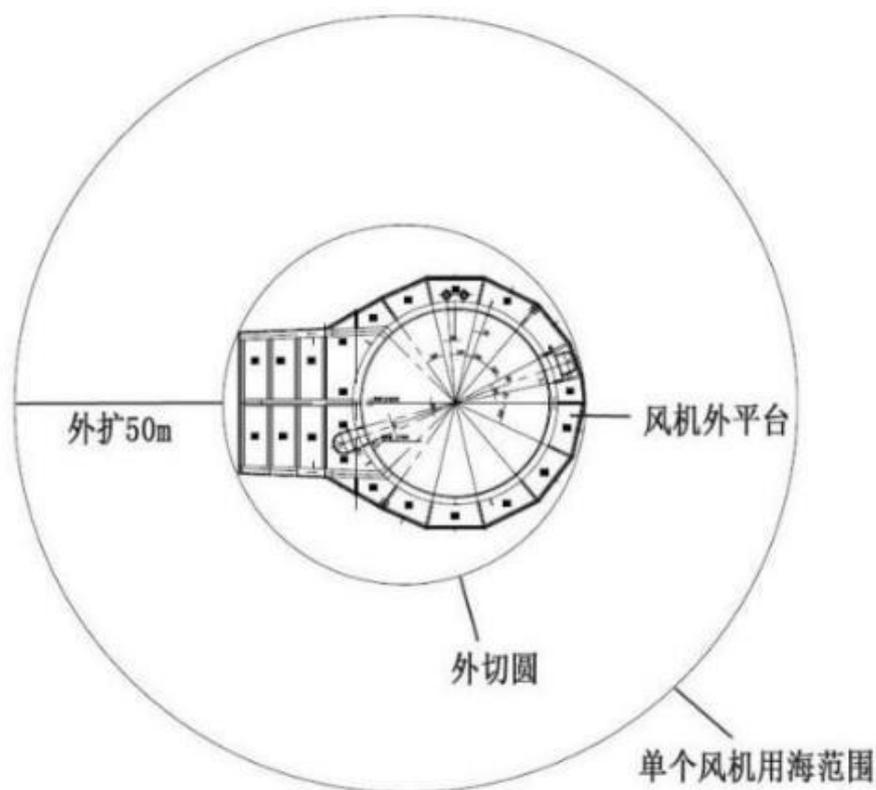


图 7.3-1 单个风机用海范围界定示意图

83个风机用海总面积为102.1569公顷。

## 2、海上升压站界址界定

根据提供资料，广西防城港海上风电示范项目A场址工程的升压站平面设计长宽为52m×36m，参照《海籍调查规范》C.26 发电设施和C.29 石油平台的界址界定方法。在设计上再外扩50m，即界定152m的界址界定的用海界址，根据与甲

方沟通，该升压站方位不定，根据设计图用正北方进行坐标确定，根据提供的中心点坐标（108界址，根据与甲方沟通，，218界址，根据与甲方沟通）推算四至及四点界址坐标（见坐标表中的点89、98、102、110）。GIS软件经投影计算面积约为2.1545公顷。

### 3.海底电缆界址界定

#### （1）220KV 海底电缆

参照《海籍调查规范》C.33 电缆管道和海底隧道用海的界址界定方法，在设计上向两侧平行外扩 10m 进行海底电缆用海界址界定。根据提供的路由坐标点进行顺序连线，利用 ArcGIS 10.6 软件进行线缓冲面生成，删除与海上升压站用海范围的重叠部分，并利用广西大陆修测岸线对登陆点部分进行裁剪，形成 220KV 海底电缆用海范围以及生成该用海单元界址点。

#### （2）66KV 海底电缆

参照《海籍调查规范》C.33 电缆管道和海底隧道用海的界址界定方法，在设计上向两侧平行外扩 10m 进行海底电缆用海界址界定。根据提供的工程设计图，对风机进行顺序连线，利用提供两个拐点坐标进行路由修正，再利用 ArcGIS 10.6 软件进行线缓冲面生成，删除与海上升压站用海的重叠部分，删除与 83 个风机用海的重叠部分，删除与 220KV 海底电缆用海的重叠部分。

GIS 软件经投影计算海底电缆管道用海面积合计约为 289.8416 公顷。

综上，本项目总用海面积为394.1530公顷，其中风机基座申请用海面积102.1569公顷，升压站申请用海面积为2.1545公顷，海底电缆管道申请用海面积289.8416公顷。本项目宗海界址的确定和面积量算是符合相关规范并合理准确的。

综上所述，本项目用海设施风机基础、海底电缆、海上升压站的用海面积量算合理。

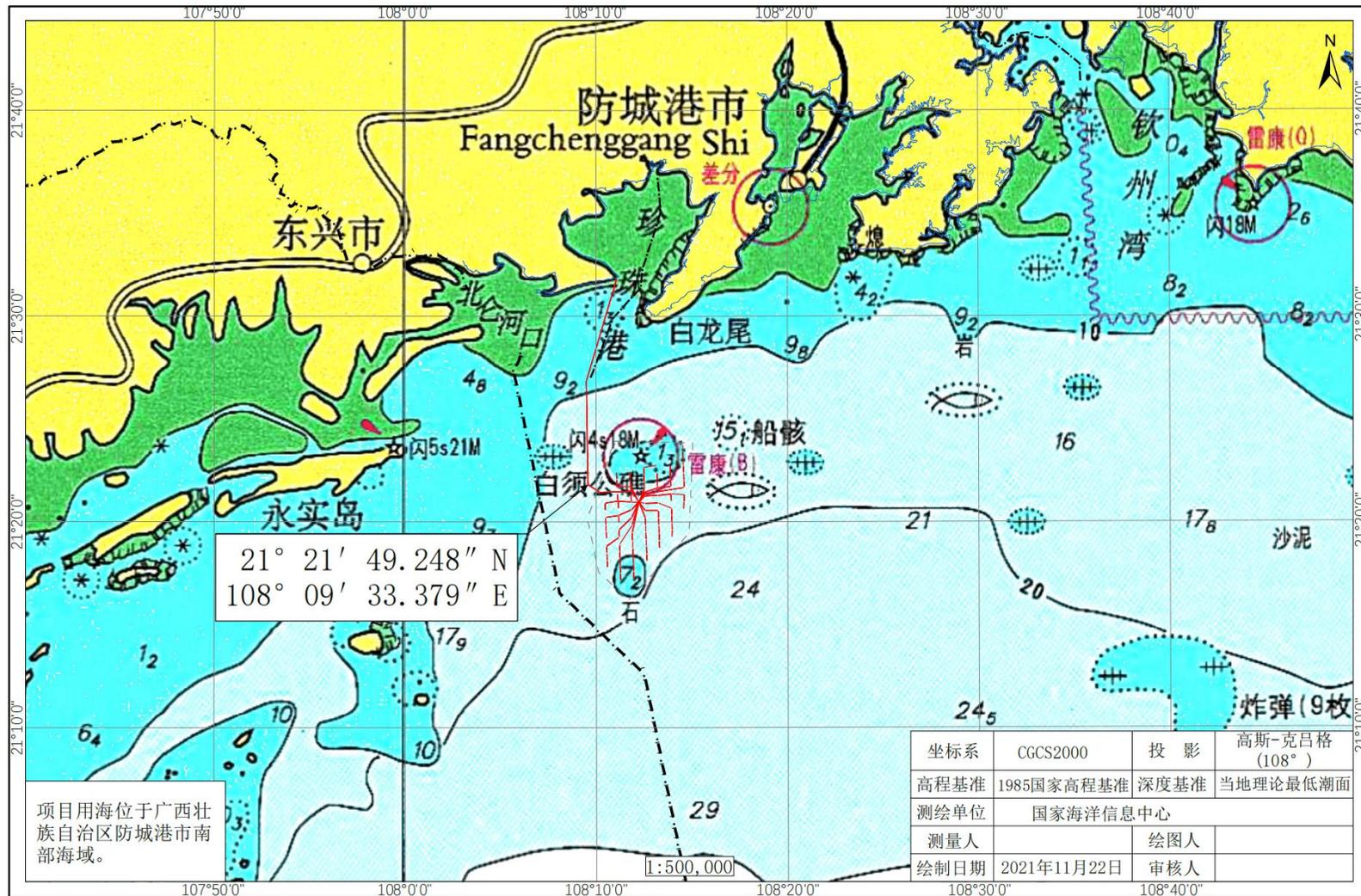


图 7.3-2 宗海位置图 (待完善)

广西防城港海上风电示范项目A场址工程宗海界址图

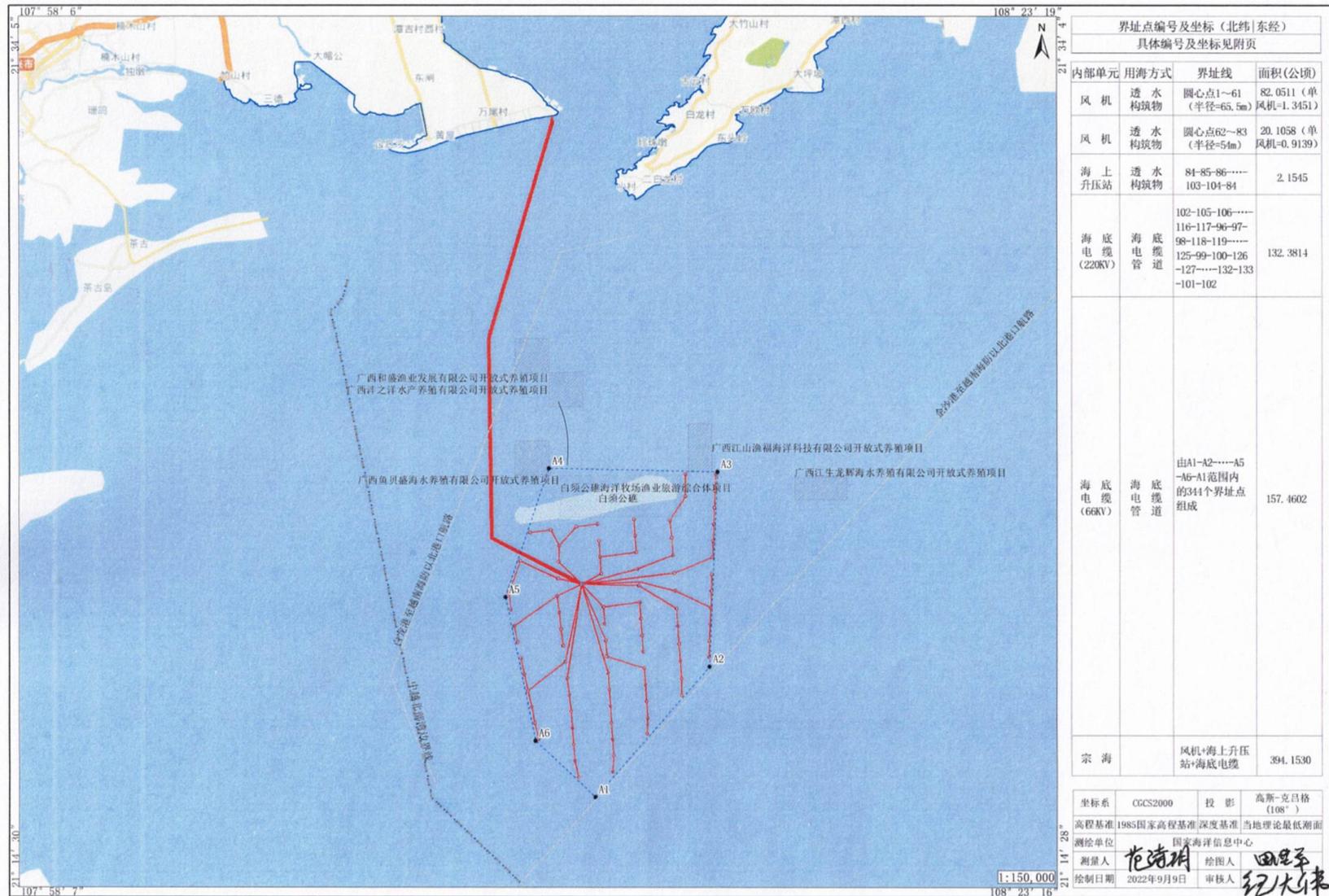


图 7.3-3 宗海界址图 (待完善)

表 7.3-2 本项目调整后的宗海界址点及界址连线（待完善）

## 附页 广西海上风电示范项目 A 场址用海项目宗海界址点（续）

界址点编号及坐标（北纬 东经）					
1	21° 16' 57.475"	108° 11' 38.850"	35	21° 22' 31.829"	108° 10' 59.542"
2	21° 17' 19.594"	108° 11' 33.709"	36	21° 19' 11.258"	108° 11' 23.028"
3	21° 17' 41.964"	108° 11' 32.071"	37	21° 19' 33.532"	108° 11' 20.141"
4	21° 18' 4.334"	108° 11' 30.437"	38	21° 19' 55.808"	108° 11' 17.254"
5	21° 18' 26.708"	108° 11' 28.799"	39	21° 20' 18.082"	108° 11' 14.370"
6	21° 18' 48.982"	108° 11' 25.915"	40	21° 20' 40.358"	108° 11' 11.447"
7	21° 17' 4.668"	108° 12' 28.847"	41	21° 21' 2.635"	108° 11' 8.560"
8	21° 17' 26.351"	108° 12' 30.542"	42	21° 21' 26.172"	108° 11' 9.733"
9	21° 17' 48.725"	108° 12' 28.912"	43	21° 21' 48.377"	108° 11' 10.802"
10	21° 18' 11.095"	108° 12' 27.277"	44	21° 22' 10.520"	108° 11' 11.803"
11	21° 18' 33.469"	108° 12' 25.643"	45	21° 22' 35.951"	108° 11' 36.308"
12	21° 18' 55.872"	108° 12' 24.008"	46	21° 19' 40.649"	108° 12' 20.704"
13	21° 19' 18.242"	108° 12' 22.374"	47	21° 20' 3.019"	108° 12' 19.069"
14	21° 17' 56.267"	108° 13' 19.261"	48	21° 20' 25.390"	108° 12' 17.435"
15	21° 18' 17.564"	108° 13' 20.057"	49	21° 20' 47.796"	108° 12' 15.800"
16	21° 18' 39.935"	108° 13' 18.426"	50	21° 21' 32.569"	108° 12' 12.532"
17	21° 19' 2.309"	108° 13' 16.795"	51	21° 21' 54.907"	108° 12' 10.897"
18	21° 19' 24.712"	108° 13' 15.161"	52	21° 22' 17.314"	108° 12' 9.259"
19	21° 18' 48.222"	108° 14' 9.895"	53	21° 22' 39.684"	108° 12' 7.380"
20	21° 19' 10.690"	108° 14' 9.690"	54	21° 19' 47.082"	108° 13' 13.530"
21	21° 19' 34.428"	108° 14' 7.958"	55	21° 20' 9.488"	108° 13' 11.899"
22	21° 19' 39.504"	108° 14' 49.571"	56	21° 20' 31.859"	108° 13' 10.265"
23	21° 17' 49.434"	108° 10' 41.603"	57	21° 20' 54.229"	108° 13' 8.634"
24	21° 18' 11.027"	108° 10' 36.077"	58	21° 21' 16.636"	108° 13' 7.000"
25	21° 18' 33.012"	108° 10' 31.591"	59	21° 21' 39.006"	108° 13' 5.365"
26	21° 18' 54.835"	108° 10' 25.961"	60	21° 22' 1.409"	108° 13' 3.666"
27	21° 19' 16.590"	108° 10' 20.816"	61	21° 22' 23.750"	108° 13' 2.032"
28	21° 19' 38.543"	108° 10' 15.845"	62	21° 22' 45.829"	108° 13' 0.570"
29	21° 20' 0.496"	108° 10' 10.909"	63	21° 19' 58.195"	108° 14' 6.191"
30	21° 20' 22.448"	108° 10' 5.970"	64	21° 20' 21.934"	108° 14' 4.423"
31	21° 20' 44.401"	108° 10' 0.998"	65	21° 20' 45.672"	108° 14' 2.692"
32	21° 21' 6.804"	108° 9' 58.525"	66	21° 21' 9.443"	108° 14' 0.960"
33	21° 21' 49.770"	108° 10' 14.819"	67	21° 21' 33.178"	108° 13' 59.225"
34	21° 22' 28.481"	108° 10' 29.201"	68	21° 21' 56.948"	108° 13' 57.493"
69	21° 22' 20.687"	108° 13' 55.762"	102	21° 21' 18.743"	108° 11' 41.562"
70	21° 22' 44.360"	108° 13' 53.054"	103	21° 21' 17.673"	108° 11' 41.560"
71	21° 23' 16.516"	108° 14' 16.019"	104	21° 21' 16.964"	108° 11' 41.559"
72	21° 23' 46.493"	108° 14' 16.102"	105	21° 21' 19.613"	108° 11' 37.355"
73	21° 20' 1.936"	108° 14' 50.510"	106	21° 21' 19.802"	108° 11' 36.958"

## 附页 广西海上风电示范项目 A 场址用海项目宗海界址点（续）

界址点编号及坐标（北纬 东经）					
74	21° 20' 24.338"	108° 14' 51.486"	107	21° 21' 21.043"	108° 11' 34.352"
75	21° 20' 46.770"	108° 14' 52.426"	108	21° 22' 19.715"	108° 9' 31.160"
76	21° 21' 9.173"	108° 14' 53.401"	109	21° 26' 50.787"	108° 9' 27.067"
77	21° 21' 31.604"	108° 14' 54.341"	110	21° 31' 42.886"	108° 11' 0.999"
78	21° 21' 54.036"	108° 14' 55.316"	111	21° 31' 51.413"	108° 11' 1.871"
79	21° 22' 16.439"	108° 14' 56.256"	112	21° 31' 51.494"	108° 11' 2.549"
80	21° 22' 38.870"	108° 14' 57.232"	113	21° 31' 42.493"	108° 11' 5.228"
81	21° 23' 1.237"	108° 14' 58.171"	114	21° 26' 50.240"	108° 9' 31.243"
82	21° 23' 23.672"	108° 14' 59.147"	115	21° 22' 22.126"	108° 9' 35.290"
83	21° 23' 46.104"	108° 15' 0.122"	116	21° 21' 23.706"	108° 11' 37.952"
84	21° 21' 16.259"	108° 11' 41.558"	117	21° 21' 23.090"	108° 11' 39.243"
85	21° 21' 16.257"	108° 11' 43.400"	118	21° 21' 22.548"	108° 11' 38.850"
86	21° 21' 16.256"	108° 11' 44.202"	119	21° 22' 21.724"	108° 9' 34.601"
87	21° 21' 16.256"	108° 11' 44.628"	120	21° 26' 50.331"	108° 9' 30.547"
88	21° 21' 16.255"	108° 11' 45.651"	121	21° 31' 42.500"	108° 11' 4.504"
89	21° 21' 16.254"	108° 11' 46.110"	122	21° 31' 47.774"	108° 11' 2.934"
90	21° 21' 16.253"	108° 11' 46.938"	123	21° 31' 42.627"	108° 11' 3.456"
91	21° 21' 16.351"	108° 11' 46.938"	124	21° 26' 50.468"	108° 9' 29.503"
92	21° 21' 18.131"	108° 11' 46.940"	125	21° 22' 21.121"	108° 9' 33.569"
93	21° 21' 20.215"	108° 11' 46.943"	126	21° 22' 20.720"	108° 9' 32.881"
94	21° 21' 20.772"	108° 11' 46.944"	127	21° 26' 50.559"	108° 9' 28.807"
95	21° 21' 20.778"	108° 11' 42.203"	128	21° 31' 42.692"	108° 11' 2.752"
96	21° 21' 20.778"	108° 11' 42.040"	129	21° 31' 47.964"	108° 11' 2.217"
97	21° 21' 20.779"	108° 11' 41.564"	130	21° 31' 42.760"	108° 11' 1.685"
98	21° 21' 20.305"	108° 11' 41.564"	131	21° 26' 50.696"	108° 9' 27.763"
99	21° 21' 20.161"	108° 11' 41.563"	132	21° 22' 20.117"	108° 9' 31.848"
100	21° 21' 19.432"	108° 11' 41.562"	133	21° 21' 20.230"	108° 11' 37.592"
101	21° 21' 19.406"	108° 11' 41.562"			

后续海缆坐标待增补

## 7.4 用海期限合理性分析

本项目用海属于《中华人民共和国海域使用管理法》中的建设工程用海，本工程风机基础及海上升压站设计使用寿命为 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。因此，项目用海部分申请的用海期限为 27 年。

根据《中华人民共和国海域使用管理法》第二十五条规定，建设工程用海的海域使用权最高期限按照用途确定，其中工程建设用海最高期限为五十年。

结合国家对特许权项目用海年限的规定，本项目拟申请使用海域 27 年，符

合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定。期满后，如有需要将再行申请续期。

因此，项目用海期限是合理的。

## 8 海域使用对策措施与生态建设方案可行性分析

### 8.1 区划实施对策措施

#### 8.1.1 海洋功能区划管理

《中华人民共和国海域使用管理法》第四条规定：“国家实行海洋功能区划制度。海域使用必须符合海洋功能区划。”第十五条规定：“养殖、盐业、交通、旅游等行业规划涉及海域使用的，应当符合海洋功能区划。沿海土地利用总体规划、城市规划、港口规划涉及海域使用的，应当与海洋功能区划相衔接。”

根据《广西壮族自治区海洋功能区划》（2011-2020年），本项目所在的海洋功能区为广西近海南部农渔业区和北仑河口保留区，项目周边的海洋功能区有防城港金滩南部农渔业区、白龙工业与城镇用海区、防城港金滩旅游休闲娱乐区，主要功能为农渔业、工业与城镇用海、旅游休闲娱乐用海、海洋保护等。

本项目建设除施工期对农渔业区、保留区的水质和小部分底栖生物有短时期影响外，对农渔业区和保留区的主导功能没有明显影响。对保留区的物种、生态系统、水文动力和地形冲淤的影响较小。

本项目用海与周边海洋功能区的主导功能兼容，不会对主导功能产生重要影响，与《广西壮族自治区海洋功能区划》（2011-2020年）相符合。

应严格执行和实施广西壮族自治区海洋功能区划，坚持把海洋功能区划作为工程海域使用管理的依据。海洋功能区划范围内的一切用海活动，都应当依据批准的区划。坚持把海洋功能区划作为开发利用海洋资源、引导海洋生产力合理布局及工程海洋生态环境保护的依据。依据广西壮族自治区海洋功能区划管理的具体要求，为保证工程的安全，在工程用海区域范围内禁止进行打桩、挖掘、钻孔等危害工程安全的活动，禁止各类船舶抛锚、底拖网、捕捞等作业活动，以保障风机基础和海底电缆安全。

## 8.1.2 主要海洋环境保护措施

(1) 风电场选址要科学合理，不能在海洋哺乳动物的重要栖息地和龟鳖类洄游通道上建设海上风电场，风电场建设应根据保护物种的栖息分布和生态习性，选择合适的区域，避免对这些物种的干扰。

(2) 项目施工期内，电缆铺设、水下打桩等的施工时间，尽量避免在 4-8 月份进行海上施工。应尽量选择在白天能见度较好的天气条件下进行施工，及时发现海洋哺乳动物和龟鳖类进入到影响其行为的区域，并进行驱赶。

(3) 在条件允许的情况下，项目建设和运营单位可以成立海洋哺乳动物和龟鳖类动物的管理组织机构，根据广西海上风电项目的建设方案，要制定施工期的海洋哺乳动物和龟鳖类动物保护监测实施方案，加强项目施工期的生态环境监测和海洋哺乳动物调查监测。

(4) 项目建设期间，建设单位应该使用最好的材料、安装方法和技术来减少水下噪音对海洋哺乳动物和龟鳖类的影响。水上桩基础施工应避免采用撞击式的打桩作业方式，通过降低打桩施工声源处的噪声强度来缓解其对海洋哺乳动物和龟鳖类动物的影响，采用声学驱赶的方式驱赶海洋哺乳动物。

(5) 本风电项目桩基周围可以利用气泡帷幕降噪的方式保护海洋哺乳动物和龟鳖类。

(6) 在施工期间，对所有途径海洋哺乳动物重要栖息地和进出风电场的船舶进行环保审查，限制进入施工区域的船只数量和航行速度。

(7) 根据施工对海洋哺乳动物和龟鳖类动物的影响分析，开展施工海域水下噪声监测评估，通过定期现场巡查和不定期联合现场监管，确保打桩、挖泥、抛石等施工对动物保护的安全距离。

(8) 加强海洋哺乳动物的宣传、管理力度。在施工现场及海上施工船舶张贴海洋哺乳动物保护的宣传方案，使所有参与建设的工作人员熟悉保护海洋生物的重要性。

(9) 项目营运期，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。减小机械部件的振动，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，以降低机械噪声和结构噪声。

(10) 项目建设单位和运营单位应积极配合海洋哺乳动物领域的专家定期开

展海洋哺乳动物的调查和监测，项目完成后持续开展跟踪监测。

(11) 项目建设单位应落实对海洋生态环境造成损害的生态补偿。

## 8.2 开发协调对策措施

本项目场址范围重点规避了防城港的进港航道、锚地和习惯性航路，但预留安全距离有限，项目论证范围内的主要海域开发利用现状有养殖用海项目，具体为防城港市大型抗风浪深水网箱养殖。根据现场调查和项目用海对所在海域开发活动的影响分析，可知本项目建设主要会影响到渔业资源，要协调的主管部门为渔业主管部门等。

## 8.3 风险防范对策措施

本项目为海上风电场，由海上风电机组、海上升压站、海底电缆和陆上集控中心等部分组成。参考国内外海上风电项目相关资料，上述项目组成部分在建设期和运行期均有发生突发环境事故的可能，主要包括项目通航环境风险、船舶碰撞导致的溢油事故风险、海域内雷电、台风等自然灾害风险、鸟类飞行碰撞风机风险等。

### 8.3.1 通航环境风险防范措施

#### 8.3.1.1 针对习惯航路上过往船舶的安全保障措施

1、风电场选址位置周边水域覆盖大量的船舶习惯航路、锚地、航道、钻井平台等水工设施，考虑到北部湾海域海上交通环境较为复杂，参考相关文献以及国内其他沿海海事局的做法，建议风电场区域与船舶习惯航路最小距离不能低于 0.5 海里；同时，必须落实各项安全保障措施。

2、鉴于北部湾海域海上风电周边海域复杂的交通环境，建议设置电子围栏系统。通过电子围栏系统对附近通航船舶航行态势(航速、航向等)进行判断，有效捕捉、预警、呼叫、驱离所有误入船舶，有效保障周围船舶通航安全及风电场营运安全。

3、为防止船舶误闯风电场海域，建议在风电场周边水域布设相应的警戒标志，并可采取在风电场外侧风机上安装警示航标灯、雷达应答器、AIS，将风机

塔筒涂黄色，在风电场外围布设防撞保护圈等辅助措施，如条件允许，可考虑安装 CCTV 监控系统。

4、密切关注台风消息，同时加强不良水文、气象情况预警工作，提醒过往船只注意。在台风来临前，及时、有序地组织施工船舶、附近锚地锚泊船舶到其他锚地或外海避风。

5、加强附近锚地的监管，研究定点抛锚的可行性，防止船舶随意抛锚，对走锚船只应尽早发现并及时提醒。锚泊船只应加强锚泊值班，结合风、流情况，密切注意船舶动态，如发现走锚，应立即通知船长启动船舶走锚应急预案。台风到来前应到外海避风，出现冰情时锚泊应备车。

6、及时发布航海通告，提醒船舶驶经风电场海域时，保持在风电场尽可能远的海域航行。驾驶人员应谨慎驾驶，对外界因素的影响有充分估计，开启助航仪器，加强瞭望，保持安全航速，准确掌握周围动态，能见度不良时，应做好应急准备，并按章鸣放雾号。

7、工程建成后，应及时更新航海图书资料，标明风电场及电缆海域，并合理划定风电场及电缆保护区，严禁船舶在保护区内抛锚。同时应加强对渔民的管理，避免渔业捕捞对电缆产生危害。

8、针对工程营运期可能发生的各种事故，制订及完善专门的应急预案，定期进行应急演练及总结。

9、在风电场运营后，对工程及其附近水域的 VTS 监管盲区及通信信号、磁场方向变化进行确认，并根据实际情况采取相应措施，完善监管方式，加强监管设施配备，综合运用各种手段保障该水域的通航安全。

### **8.3.1.2 针对锚地的安全保障措施**

1、由于风电场与锚地距离较近，建议对风电场靠近锚地侧的外侧风机采用分离式防撞桩的方式设置防撞设施，防止因大风、浪天气导致锚地内锚泊的船舶发生走锚，从而闯入风电场区域内，对风机设施造成严重损坏。

2、锚地内锚泊船只应经常核实船位、检查锚泊情况，定时观测流速、风力，若发现船舶移位、锚泊异常或影响安全的情况，应尽快采取应对措施，例如动车重新定位、重新锚泊或暂停过驳选择安全水域抛锚。

3、风电场区域建设完成后，应及时发布航海通告，更新航海图书资料，标

明风电场区域位置，并合理划定风电场保护区，严禁船舶在误入风电场区域内并抛锚。

### 8.3.1.3 针对渔船的安全保障措施

1、风电场建成后，业主单位应与渔政部门取得联系，将风电场位置、所显示的标志等信息告知渔政部门，由渔政部门对各渔船发布相关信息。

2、业主单位积极与渔政部门配合，加强对附近海域渔船的宣传、教育、培训和监管，使其充分认识到过分靠近风电场航行或作业的危险性。

3、在风电场上设置警示标志牌，标明该风电场位置，警示渔船拖网作业时注意风电场，避免发生渔网与浮标体绞缠的事故。

4、风电场上警示标志与航标灯信号应保持夜间的可见性，防止渔船进行夜间作业时与风电场发生碰撞。

5、风电场安装施工前，业主单位应将作业时间、地点等信息向渔业主管机关通报，由渔业主管机关通知过往渔船，便于渔船了解本工程的作业动态。

## 8.3.2 溢油事故风险防范

### 8.3.2.1 溢油事故防范措施

本工程各项施工活动基本都需要依赖船舶，如一旦发生装卸作业事故，运输船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故，将可能对海域生态环境带来严重的影响。因此，对海上溢油事故应进行防范及应急处理，实行“预防为主、平灾结合、常备不懈”的方针，最大程度减轻事故的危害与损失。

#### （1）加强教育，提高意识

施工前，加强对施工人员的安全环保技术培训教育，加强设备的维护和管理，提高施工人员的安全防范意识，切实贯彻“安全第一，预防为主”的方针，预防溢油事故的发生。

#### （2）加强装卸货物管理

在装卸货物前，工作人员必须对各环节逐一进行检查，在确认可靠无误前提下方可实施作业。

#### （3）设置集油设施

在临时生活办公区应配置相应的集油设备和器材，如围油栏、吸油材料、消

油剂等。

### 8.3.2.2 溢油事故应急预案

当发生海上溢油时，溢油流入海面，对海洋生物将产生严重影响，为将溢油环境风险造成的危害降低到最小，本工程根据《中国海上船舶溢油应急计划》、《国家突发公共事件总体应急预案》和《广西壮族自治区突发公共事件总体应急预案》相关要求和说明，制定本工程应急预案。

#### (1) 应急计划区

本工程应急计划区主要为风电场区、电缆铺设线路附近。应急事件包括船舶碰撞、倾翻、海上升压站储油罐油品泄漏等突发性海上溢油事故。

#### (2) 应急组织机构、人员

##### ① 应急领导机构

应急总领导机构由当地海事部门承担，统一领导突发公共事件的应急处置工作，其他各相关部分负责协助工作。

现场应急领导机构由建设单位分管环保的领导、环境保护管理办公室负责人、承包商单位分管环保的领导组成。

##### ② 现场指挥

由应急领导机构指定现场指挥，各类事故应急行动由安全科科长负责指挥。

##### ③ 溢油应急救援小组

应急指挥部按各自职责设立溢油应急救援小组：清污组、通信组、工艺组、警戒组、物资供应组、现场救护组、设备保障组、防火组、油污处理组。

#### (3) 预案分级响应

响应等级以对公共安全、社会秩序和生态环境可能造成的危害与威胁程度作为优先考虑原则。参考《中国海上船舶溢油应急计划》和《南海海区溢油应急预案》，海域发生船舶污染事故，其事故及相应应急响应等级分为三级：一般事故（C III 级响应）、较大事故（II 级响应）、重大事故（I 级响应），依次分别用蓝色、黄色和红色表示。风电场范围内船舶发生的污染事故，及时报搜救中心，由搜救中心办公室根据专家的意见，进行综合分析，确定应急等级。

一般污染事故：溢油量不足 10t，且事故发生在非敏感区域，水面溢油不威胁环境敏感区和岸线，动用本工程预案溢油应急反应队伍和设备能够控制溢油

源，并能围控和清除海面溢油。

较大污染事故：溢油量大于 10t 不足 50t，或满足以下条件之一的：

①溢油事故发生在敏感区内或距离敏感区有一定距离但极有可能对敏感区域或岸线造成污染损害：

②围控和清除水面溢油所需资源超出所在地应急清污能力，需调用本辖区内其他应急资源。

重（特）大污染事故：溢油量在 50t 以上，或满足下列条件之一的：

①溢油对环境敏感区及岸线构成一般或严重威胁，动用本辖区资源较难防护敏感区和清除溢油：

②溢油源不能控制，围控和清除水面溢油所需资源明显超出本辖区应急清污能力，需请求政府部门启动相应预案的应急行动。

本工程发生溢油事故发生时，应立即启动并实施本部门应急预案，I 级响应：现场指挥在事故应急领导机构的统一领导下，具体安排组织重大事故应急救援预案的组织和实施：组织所有应急力量按照应急救援预案迅速开展抢险救援工作：根据事故，对应急工作中发生的争议采取紧急处理措施：根据预案实施过程中存在的问题和险情的变化，及时对预案进行调整、修订、补充和完善，确保人员各尽其职、应急工作灵活开展：现场应急指挥与应急领导机构要保持密切联系，定期通报事故现场的态势，配合上级部门进行事故调查处理工作，做好稳定社会秩序的善后及安抚工作，适时发布公告，将危机的原因责任及处理决定公布于众，接受社会的监督。III 级、II 级响应：各相关职能部门按照各自职责开展应急处置工作，防止事故扩大、蔓延，保证信息渠道畅通，及时向领导机构通报情况。

因环境污染事故存在不可预见、作用时间较长、容易衍生发展的特点，现场指挥可根据现场实际情况随时将响应等级升级或降级。

#### （4）溢油应急救援保障

A.应急防治队伍：原则上由工程全体工作人员组成，一旦发生溢油事故，指挥部可根据情况的需要，动员、调配储备的人力资源投入行动。

B.应急防治设备：施工期，为应对施工船舶的跑、冒、滴、漏油情况，施工船舶应备有围油栏、吸油棉体等；运行期，为防止海上升压站储油罐油品泄漏造成较大危害，海上升压站应常备一定数量的围油栏、撇油器、活性炭、吸油棉体

等。

#### (5) 报警、通讯联络方式

A.报警方式：在岸上临时生活办公区设置专线报警电话。

B.应急通讯：应急领导机构与现场指挥通过对讲机、电话进行联系：现场指挥与应急救援人员通过对讲机进行联系：应急过程中对讲机均使用一频道（消防频道）：如无线通讯中断，应急领导机构和现场指挥可组织人员进行人工联络。

C.信息报送程序：发生溢油环境风险事故时，必须及时上报，报告应急领导机构和其它相关部门、上级部门，报送方式可采用电话、传真、直接派人、书面文件等。

#### (6) 应急监测、救援及控制措施

环境监测组负责人带领环境监测人员及应急查询资料到达现场，对事故原因、性质进行初步分析、取样、送样、并做好样品快速检测工作，及时提供监测数据、污染物种类、性质、控制方法及防护、处理意见，并发布应急监测简报，对事故出现后周围的安全防护距离、应急人员进出现场的要求等提供科学依据。

#### (7) 事故应急救援关闭程序与恢复措施

整个应急处置和救援工作完成后，即溢油现场得到控制，事件条件已经消除：油品的泄漏或释放已降至规定限值以内：事件所造成的危害已被彻底消除，无续发可能：事件现场的各种专业应急处置行动已无继续的必要：采取了必要的防护措施已能保证公众免受再次危害，并使事件可能引起的中长期影响趋于合理且尽量低的水平。经现场指挥提议、领导小组批准，由现场指挥宣布解除应急状态，并发布有关信息。

岸上临时生活办公区工作人员协同有关部门做好现场清洁与清理，消除危害因素。

善后处理，对可能造成的危害提供处置建议等相关技术支持，并对事故现场和周边环境进行跟踪监测，直至符合国家环境保护标准。做好事故调查处理。

#### (8) 应急培训计划

为了确保应急计划的有效性和可操作性，必须预先对计划中所涉及的人员、设备器材进行训练和保养，使参加应急行动的每一个人都能做到应知应会、熟练掌握。

定期进行一次应急演练，在模拟的事故状态下，检查应急机构，应急队伍，应急设备和器材，应急通讯等各方面的实战船能力。通过演习，发现工作中薄弱环节，并修改、完善应急计划。

#### (9) 公众教育和信息

对可能发生事故的附近区域居民进行宣传教育，并发布相关信息。

### 8.3.3 自然灾害风险防范对策措施

风电场主要易受的自然灾害风险来自雷击和台风袭击。

#### 8.3.3.1 雷击风险防范措施

本风电场位于我国南方沿海地区，台风、雷暴影响较多。本工程提出的防雷措施如下：

##### (1) 直击雷保护

风电机组的防雷保护一般由厂家配置，应符合相关规范的要求。建议在风电机组招标采购时，由各投标厂家提供风电机组防雷专题，详细论述各自风机采用的防雷措施及其针对本项目环境条件采用的针对性措施。

海上风力发电机组自身具有雷电保护功能，其上配有避雷设施，所有电气元器件均作等电位连接。升压变压器及其高压开关设备均由风机厂配套供货，并布置在风机内部，其雷电保护由风机厂采取完善的保护措施。

单台海上风力发电机组的雷电保护系统是由外部雷电保护和内部雷电保护而组成的周密的防护系统，该防雷保护系统组成为：

- 接闪系统
- 引下线系统
- 接地系统
- 等电位联结措施
- 电磁屏蔽
- 浪涌保护设备

海上升压站平台一般为钢结构，墙面、屋顶、地板均为钢制。采用屋顶金属结构进行直击雷保护可较好的保护平台内设备。平台外的水箱、天线、散热器等户外设备，需设置避雷针或避雷线保护。

陆上开关站利用屋顶避雷带或独立避雷针作为防直击雷保护。

## (2) 雷电过电压保护

在风机、海上升压站和陆上开关站配电装置适当部位（母线、进出线等）设置氧化锌避雷器对雷电过电压进行抑制。

- 对于机组变压器，在变压器高、低压侧均装设无间隙氧化锌避雷器。
- 对于风机内电力线路，一般是在其塔顶和塔底两端装设电涌保护器。

对于风机内电源系统，作为电源系统的防雷保护措施，在电源变压器输出端及用电设备单元的输入端，均应加装电源电涌保护器。

本项目风机选型时已考虑到雷击影响，通过风电场的合理布置并采取上述防雷击措施，风机及电气接线和升压设备能有效抵御雷击造成的损害。

### 8.3.3.2 台风风险防范措施

本项目风机选型时已考虑到台风影响，为减少台风给风电场带来的损失，根据台风的破坏机理本报告提出下列防范措施：

(1) 装置性能可靠的测风仪器，建议使用受风面积小、不易受破坏且能精确测量风速、风向的红外超声波感应仪，避免因测风仪器损坏使风力发电机组不能正确偏航避风。

(2) 推荐使用强度高、质量轻的碳纤维增强型塑料作为风机叶片的填充材料以提高风机叶片的强韧性，从而提高风机设计荷载。

(3) 加强风机运行的强度监测，优化运行。在叶片上设置具有检测作用的光导纤维，实时了解叶片的载荷、温度、被伤害和疲劳程度，根据实际情况，及时维修并对其优化合理使用。

(4) 船舶油污应急处置措施；

(5) 防台应急措施。

## 8.3.4 鸟类飞行碰撞风机风险分析防范

### 8.3.4.1 设计阶段措施

#### 1、雷达和 GPS 监控下的智能控制

雷达技术可以检测到鸟类何时接近。当雷达以及控制中心的人员确定鸟类在某个区域内时，涡轮机可以被减慢或关闭。事实证明，雷达系统比光学摄像头等其他系统分辨精度更高。精细的雷达技术可以降低鸟类接近风电场的风险

(HÜPPOPO 等, 2019)。已在鸣禽春季迁徙期间部署在得克萨斯州墨西哥湾沿岸的风电场。通过预警雷达技术可以预测鸟类接近风机, 从而采取关机等相应措施, 提前预防。最先进和应用最广泛的技术是使用雷达和 GPS 检测进入风电场的鸟群并及时关闭涡轮机以便鸟类飞过。这种结合监控的智能风电控制技术可以有效地减少风电场对鸟类的伤害。

安装了鸟类防撞系统 TDBird, 该系统由监测、防撞、停机和碰撞管理四个模块组成, 可以设定风电场区域内的目标种群, 根据鸟类的数量、翼展、潜在飞行方向、天气情况等因素设定监测距离和相应的危险区, 当鸟类接近风机中风险区时发出警告噪音; 当鸟类接近高风险区时发出驱离噪音, 迫使鸟类飞离风机; 当鸟类进入高风险区, 并沿有可能发生碰撞的方向飞行时, 系统可以根据目标鸟类的飞行行为, 实时计算发生碰撞的风险, 实现风机自动停机; 当鸟类飞离后, 风机自动重启。

## 2、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。

## 3、科学选择光源设备

风电场区域的照明设备应选用白色闪光灯, 并且尽可能少安装灯, 灯的亮度和闪烁次数也要尽可能小和低。不要使用钠蒸气灯, 禁止长时间开启明亮的照明设备, 给需要照明的设备加装必要的遮光设施, 以减少光源对夜间迁徙鸟类的干扰。

### 8.3.4.2 施工保护措施

尽可能选用低噪声设备, 并加强设备的维护和保养, 减少施工机械噪声和车辆运输噪声对鸟类的干扰。根据北部湾鸟类的生活习性, 合理安排施工期, 尽可能避开候鸟迁徙高峰期, 在鸟类非迁徙季节竖立、组装风机和海缆施工。在鸟类迁徙高峰期要严格控制光源使用量, 对光源进行遮蔽, 减少对外界的漏光量, 尤其是在大雾、小雨、强逆风或无月的夜晚, 应停止施工。同时, 对施工人员进行鸟类保护的宣传教育, 杜绝猎杀鸟类的行为。

### 1、加强夜间灯光使用管理

在工程区域可能受光影响的主要是夜间迁徙鸟类，因此，在候鸟迁移期间，应严格加强灯光使用管理，尽可能减少光对其产生的干扰。

### 2、改进光照强度

相关研究表明，鸟类受影响的程度随着人工光照度的增加而升高。因此，针对夜间飞行的鸟类容易被人工光照明干扰，造成误撞的情况，通过改进光照强度，能够在一定程度上减少迁徙季节鸟类误撞概率。

### 3、减少红光的使用

在可见光范围，红色光对于候鸟的影响相对较强，因此为了减少对鸟类的影响，尽量降低红光灯的使用率或使用其他照明光源作为替代品。

### 4、选用合适的光源

研究发现，在照度、亮度值相近，对不同光源照射影响比较中，LED 光源的照射综合影响程度相对最低。金卤灯、高压钠灯、卤钨灯光源含有较多的紫色光及紫外光谱光线，该种光线照射影响对鸟类视觉感知影响较大；而 LED 光源的短波光线对鸟类的视觉感知影响较小。此外，高压钠灯的显色性较差，相对于其余三种高显色性光源，在高压钠灯对鸟类影响更大。因此，在本工程建设过程中，照明光源应该尽量使用对鸟类影响较小的 LED 灯。

#### 8.3.4.3 运营期保护措施

应保护好周边陆域鸟类栖息地，近岸湿地建设中，做好鸟类栖息地保护和修复，为鸟类栖息觅食预留空间和通道。

#### 1、特殊情况下的风电场运行管理

在有雾、小雨或强逆风的夜晚，尤其在迁徙强度大的季节，如有大规模迁徙鸟类从场区经过，应停止运行风机，以减少鸟的撞机伤亡风险。

#### 2、鸟类栖息地保护修复和生态补偿

开展鸟类及其栖息地的保育工作以及鸟与风机碰撞的防范工作。如果发现工程造成鸟类大量死亡的，应委托相应鸟类繁育机构，进行鸟类的人工繁育和野放，以补偿鸟类撞击风机的损失。

#### 3、建立候鸟监测救护站

开展鸟类及其栖息地变化的跟踪观测。要求至少观测 5 年以上，每年观测

一次，确定其对鸟类及栖息地的影响。

候鸟大规模迁徙期间，要密切观测候鸟动向，做好观测记录，必要时对受伤候鸟实施救护。同时，在遇到大群候鸟停歇风电场内及附近区域，必要时应当停机驱赶。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电机组，应对其进行移除。

## 8.4 监督管理对策措施

### 8.4.1 海域使用面积、用途和用海方式等监控

海域使用的监控、跟踪、管理是实现国有海洋资源有偿、有度、有序使用的重要保障。针对本项目的海域使用面积、用途和用海期限，应进行以下监控、管理对策与措施：

一是在用海单位实施工程之前，应明确海域使用界限、海域使用用途，强制用海单位严格按照确定的界限施工。在施工期，应定期不定期检查工程建设是否遵循海域使用界限。

二是目前工程用海面积是根据工程总平面布置图量算的，在工程进入初步设计和施工图设计阶段后可能会优化更改，因此在工程完工后，应立即进行海籍测量，再一次确认海域使用范围和界限，并确定海域使用用途，对于没有按照要求进行用海的，应令其停止作业活动。

三是风机的用海方式是透水构筑物用海，海底电缆的用海方式是其他方式中海底电缆管道用海。海底电缆的用海方式一般不容易改变，在风机的实施过程中，应监督实施单位不改变其基础结构形式。

四是海域使用权到期后，建设单位如需要继续使用海域，应当最迟于期限届满前两个月向海洋主管部门申请续期，获准后方可继续用海。

### 8.4.2 工程施工的监控

#### (1) 海上污水处理与防治措施

1) 对于本项目所采用的各类施工船舶，在水上作业时应遵照交通部发布的《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》中对海上施工船舶的要求管理，禁止直接向海域水体排放机舱所处的舱底含油污水、丢弃

生活垃圾。

2) 严格执行国家《船舶污染物排放标准》的相关规定, 严禁所有施工船只的含油废水等在施工海域排放。本项目船只无压舱水排放, 大型施工船舶设相应的防污设备和器材, 并备油类记录簿, 含油污水如实记录; 设专用容器, 回收施工残油、废油; 对船舶油污水进行统一收集运至岸上, 委托有资质的公司接收处置。

3) 对海域施工期间, 各类供给船、铺缆船和起重作业船等施工船舶上作业人员产生的生活污水, 需统一收集运至岸上处理, 并委托有资质的单位接收处置。

4) 甲板上偶尔出现的少量油(通常是润滑油)应用锯末或棉纱吸净后冲洗, 含油的棉纱等应收集后运回陆地。注意施工船舶等的清洁, 及时维护和修理施工机械, 施工机械若产生机油滴漏, 应及时采取措施, 用专用装置收集并妥善处理。建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等有害物质时, 应立即采取措施, 控制和消除污染, 并向海事局报告。

5) 加强施工设备的管理与养护, 杜绝石油类物质泄漏, 减少海水受污染的可能性。

## (2) 海上固体废物污染防治措施

1) 施工垃圾和生活垃圾的处置: 对于施工期船舶施工人员产生的生活垃圾, 应设立定点生活垃圾收集装置, 定期运至陆上, 由当地环卫部门规定的垃圾场统一处置。

2) 扫海清障固体废弃物的处置: 对于海缆施工前扫海清障打捞产生的固体废物, 应在施工船舶上设置专门的收集装置, 打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理, 禁止在海上随意弃置而造成海洋环境的二次污染。

3) 废弃焊头、废气包装处置: 风机塔基与塔架焊接过程产生的废弃焊头和拆卸下来的废弃材料设备包装物不可直接丢弃, 应在每个焊接作业电配备收集铁桶, 废弃焊头直接放入容器中。在每个施工现场设置废料回收桶, 施工结束后统一回收运输至陆上, 送往大陆统一处置。

## (3) 海上施工噪声防治措施

1) 施工船舶应采取有效措施控制主辅机噪声排放, 包括: 在发动机排气管安装弹簧吊架加以固定, 在机舱路口上布置主、辅机消声器; 合理设置消声器结

构和机舱室结构，达到理想的消声量和隔声量，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛声。

2) 加强施工船只管理，避免施工区域船舶拥堵，减小噪声影响。

3) 水上桩基础施工应避免采用撞击式的打桩作业方式，建议采用环保型液压式打桩机，采用液压式打桩也应采用软启动的作业方式，即开始轻打几下，让潜在的水生动物有时间逃离回避，再逐步增强施工强度。同时鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出控制，在时间上控制一次一桩。

#### (4) 海洋生态保护措施

##### 1) 减轻对海洋生物的影响

①开工前对桩基 1km 保护范围内的海洋哺乳动物尽可能地驱赶。在进行风机桩基打桩前派遣巡逻船只巡查，确认施工保护范围有无海洋哺乳动物活动。

②水上桩基础施工应避免采用撞击式的打桩作业方式，建议采用环保型液压式打桩机，采用液压式打桩也应采用软启动的作业方式，即开始轻打几下，让潜在的水生动物有时间逃离回避，再逐步增强施工强度。同时鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出控制，在时间上控制一次一桩。

##### 2) 减轻对底栖生物的影响

①优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。

②严格限制工程方的施工区域和用海范围，在划定的施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

③施工应避免恶劣天气，保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。

##### 3) 减轻对渔业资源和渔业生产的影响

①春、夏季（5~7 月）是鱼类产卵高峰期，从减缓对渔业资源影响的角度出发，打桩、电缆铺设应降低施工强度。同时打桩前可采取预先轻轻打几下桩，以驱赶桩基周围的鱼类，为减缓后续正式打桩时产生的水下噪声和悬浮物对鱼类的影响。

②对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

③施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

④施工期对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成捕捞生产净收入减少。因此，为减缓本工程实施对渔民的影响，建议建设单位与当地渔业主管部门协商，落实对捕捞渔民的补偿。

### 8.4.3 运营期的监控

#### (1) 风机减震降噪措施

风机噪声主要包括机械和结构噪声、空气动力噪声以及通风设备噪声。

机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源，这部分噪声是能够控制的，其主要途径是避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件。为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声。

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

#### (2) 含油废弃物收集措施

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

#### (3) 升压站事故油处置措施

海上升压站日常污染值守，正常运行时不产生废水。当主变压器发生突变事故或机组检修时，可能会有少量的漏油和油污水。升压站设有事故油池，废变压器油通过事故油管排至事故油池，废变压器油收集后运至岸上交有资质单位处

理。

#### 8.4.4 环境监测

##### (1) 施工期监测

通过环境监测可以及时掌握工程施工期污染物排放情况及对施工现场周围区域环境质量的影响程度,并反映和掌握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,必须做好该工程的环境监测计划。施工期对水质、沉积物、生态、噪声进行监测,具体监测项目及频次按批复的环境影响评价报告执行。

##### (2) 运营期环境监测

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。

运营期具体监测项目及频次按批复的环境影响评价报告执行。包括但不限于:

(1) 在运营期对风电机桩基周围加装保护圈,避免渔船碰撞引发事故,对电缆区设置警示标志,禁止打桩、抛锚。

(2) 项目运行期,对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油。因此,在维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴;废油储应存在专设的废油箱中,含油的连通软管和其他含油废物(揩布、废滤网)应统一存放在维修船上妥善保管。维护结束后,应将废油、含油废物等一并送交有关单位回收处理。

(3) 施工期和运营期对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成的捕捞生产净收入减少,为有效减缓本工程实施对渔民的影响,建议建设单位与当地渔业主管部门协商,落实对捕捞渔民的补偿。

(4) 本工程实施不可避免地海洋生态和渔业资源造成直接损害。为减少工程建设对海洋生态和渔业资源的综合影响,实施以增殖放流为主的生态修复措施。

(5) 项目区及附近海域渔业资源较丰富,品种繁多,并有鸟类栖息,生态

环境敏感而脆弱，且存在风机墩柱局部冲刷的风险。建设单位应制定具体的海域使用动态监测计划。监测计划的实施由业主委托具备 CMA 计量认证资质的单位开展，技术要求按照有关环境监测规范的规定执行，并在施工完成后及时向海洋环境主管部门提交符合要求的跟踪监测计量认证分析测试报告，以备查。通过动态监测，了解和掌握该项目施工过程中产生的影响范围和程度，验证海域使用论证报告书的有关预测结果，并提出相应的海域使用管理对策措施。

据风电场环境特点及工程特征，制定水生生物及渔业环境调查计划、海水水质及沉积物环境监测计划、鸟类及其栖息地观测计划和流场及局部冲刷观测计划。

## 8.5 生态修复与补偿

本工程实施不可避免地对海洋生态和渔业资源造成直接损害。为减少工程建设对海洋生态和渔业资源的综合影响，实施以增殖放流为主的生态修复措施。

### 8.5.1 增殖放流措施

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。建设单位应通过缴纳补偿金，由相关行政主管部门负责增殖放流工作。

### 8.5.2 加强渔业资源和生态保护宣传

在进行海洋生物增殖放流时，应加强社会环境保护教育，树立项目建设单位的环保形象。

### 8.5.3 加强珍稀海洋生物生态调查

在施工期间和运营期间，根据实际情况安排开展项目邻近海域渔业资源和生态环境监测工作，评估工程在施工期和营运期周围海域渔业资源和生态环境的变动情况，评估生态补偿措施的实施效果，为更好地恢复和保护海域渔业资源和生

态环境提供科学依据。

## 8.6 生态用海对策措施

### 8.6.1 产业准入与区域管控要求符合性

本项目建设除施工期对农渔业区、保留区的水质和小部分底栖生物有短时期影响外，对农渔业区和保留区的主导功能没有明显影响。对保留区的物种、生态系统、水文动力和地形冲淤的影响较小。本项目用海与周边海洋功能区的主导功能兼容，不会对主导功能产生重要影响，与《广西壮族自治区海洋功能区划》（2011-2020 年）相符合。

根据 2020 年 9 月广西壮族自治区人民政府办公厅印发的关于《广西加快发展向海经济推动海洋强区建设三年行动计划（2020 自治区人民年）》，提出培育特色鲜明、布局合理、立足广西、面向东盟的海上风电产业，以风电开发和配套产业链建设为重点，以海上风电产业集群和海上风电产业园为核心，带动风电装备制造制造业及海上风电服务业集群发展，逐步形成“双园三中心”发展布局，规模化、集约化、可持续开发海上风电资源，促进广西向海经济高质量发展。

因此，本工程的建设符合国家产业结构调整指导目录、海洋经济发展规划和产业发展政策等。

### 8.6.2 项目生态建设需求分析

本项目是清洁能源的开发利用项目，符合国家产业发展政策，符合当地总体规划和发展规划和环境保护要求，具有良好的社会效益和环境效益。

风电场的生产过程是将当地的风能转变为机械能、再转变为电能过程，在整个工艺流程中，不产生大气、水体、固体废弃物等污染物，也不会产生大的噪声污染。虽然本项目在施工期对区域环境有一定程度的不利影响，但通过采取适当的措施，可将不利影响减小至最低程度。

本项目不存在制约工程建设的重大环境问题，只要在项目设计、建设和营运阶段严格执行环评报告和水保方案中提出的环境保护与水上保持防治措施，工程建设对当地生态环境影响较小，符合国家相应环保法规要求。

本项目生态建设的需求和目标主要包括：维持海域自然属性，维持促进珍稀

濒危物种栖息和索饵的渔业资源。

### **8.6.3 项目用海与自然岸线、围填海总量合理性分析**

本项目风机、海上升压站等位于近海深水区域，不占用大陆岸线和海岛岸线，有助于保持岸线的原有生态功能，项目用海符合自然岸线保有率相关政策。

项目用海类型为“工业用海”中的“电力工业用海”。用海方式为透水构筑物。项目用海不属于围填海，不涉及与围填海总量控制的符合性问题。

## 9 结论与建议

### 9.1 结论

#### 9.1.1 项目用海必要性分析结论

我国已成为世界上最大的能源生产国和消费国，传统能源生产和消费模式已难以适应当前形势。在经济增速换挡、资源环境约束趋紧的新常态下，推动能源革命势在必行、刻不容缓。本项目的开发建设对于推动广西海上风电开发、缓解环境保护压力、促进地方经济绿色发展、拉动地区经济转型升级都有着重要意义。

根据国外开发风电的经验，风电场场址宜选择在风能资源条件优良、风力稳定，海流流速低，海床地质条件适宜的海域。防城港是北部湾城市群的核心城市之一，海上及沿岸具有丰富的风能资源，本项目建设有利于清洁能源的利用。

本项目海上风电场风机基础和海上升压站桩基基础推荐采用四桩导管架基础形式，属于“其他透水构筑物”，桩基插入海床，风机和升压站架设在海面上方，必将占用一定的海域；项目建设多条海底电缆，包括风机间的集电线路、以及风机至海上升压站的电缆，海底电缆埋入海床，属于“海底电（光）缆用海”，必将占用一定的海床及底土，用海是必要的。

所以无论从海上风电优于陆上风电的特点，还是本项目所处的海域条件及建设特点，本项目用海，且占用该海域都是必要的。因此，本工程项目用海是必需的。

#### 9.1.2 项目用海资源环境影响分析结论

总体来说，风电桩基群的实施，对周边大范围海域流态影响不大，仅对桩基附近海域流态有一定的影响。工程建成后基本不会对海域周边航道、锚地水域的潮流场产生影响。

海缆敷设引起悬浮物扩散是暂时的，随着海缆敷设施工结束，悬浮物对滨海附近海域的影响也将消失。项目施工和运营期间产生的船舶含油废水、风机日常维护涉及的油类物质收集后委托有资质公司接收处理，船舶生活污水收集后运至岸上处理，不会对附近海域水质造成影响。

工程建设对海洋沉积物的影响主要表现为风机基础施工、电缆铺设对表层沉

积物的影响，施工悬浮物扩散和沉降对沉积物的影响，施工期产施工船舶产生的污水及固体废弃物不妥善处置对沉积物的影响，总体影响不大；运行期对沉积物的影响主要表现为少量牺牲阳极保护装置中锌释放对沉积物的影响，实际运行中牺牲阳极释放的锌将随海水输移扩散，且风电场寿命为 25 年，风电场退役后牺牲阳极影响随之消失。因此，不会对区域沉积物环境造成显著影响。

项目风电场桩基施工直接占用并减少海域，完全破坏底栖生物生境，掩埋底栖生物栖息地；海底电缆沿线内底栖生物和活动能力弱的生物遭受损失，但施工结束后可恢复。

风电场运行期间，海底电缆经保护层及沉积物屏蔽后，产生的工频电磁场不会改变鱼类的洄游路线及洄游形式，对鱼类的影响有限。海上风电场施工期间，大型船只和机械活动一方面会对鸟类造成干扰，使鸟类远离施工区域，减少鸟类活动范围，另一方面会影响海洋和底栖生物分布，从而影响鸟类的食物分布；施工产生的噪声会对在施工区及邻近区域觅食的鸟产生影响，使该区域鸟类的数量减少、多样性降低；晚上施工的照明系统会干扰夜间迁徙的鸟类，吸引鸟类与工程设施相撞。

本项目总装机容量 700MW，本阶段代表性机型为 8.5MW 风力发电机组变桨变速机型，转轮直径 230m，轮毂高度 128m（重力式基础）/130m（嵌岩单桩基础），叶片运行影响高度约 15~245m。由于迁徙鸟类一般飞行高度大于 400 m，有文献发现风机之间间距 200m 会形成较明显阻隔，500m 以上的间距鸟类容易通过，因此，根据本风机组的布设鸟类可从风机之间穿行，风机叶片扫及范围对鸟类影响较小。

项目登陆段施工结束后，对海堤的影响即消失，因此，不影响人工岸线形态及原有功能。

项目用海风险主要有船舶通航风险、船舶溢油风险自然灾害如雷击、台风、风暴潮等风险，以及意外事故风险，但这些风险都可以通过执行必要的防护措施、制定应急预案、加强监测等方法来避免或者减弱影响。

因此，项目用海的对资源环境影响有限，是可预防、可避免的。

### 9.1.3 海域开发利用协调分析结论

本项目所在附近海域及近岸的主要开发活动有：白龙港至越南海防以北港口航路、企沙港至越南海防以北港口航路、防城港 4#锚地、防城港 3#锚地、白须公礁、广西鱼贝盛海水养殖有限公司开放式养殖、广西江山渔福海洋科技有限公司开放式养殖和广西洋之洋水产养殖有限公司开放式养殖等。

本工程用海利益相关者为广西鱼贝盛海水养殖有限公司和广西江山渔福海洋科技有限公司，协调责任部门为当地生态环境主管部门、渔业主管部门和航道海事主管部门。建议建设单位尽快与上述利益相关者和有关主管单位进行协商，与利益相关者达成一致意见后，用海可行。

本工程不存在损害国家权益的问题，项目实施不会涉及领海基点，也不会涉及国家机密，对国家海洋权益没有影响。海域属国家所有，单位和个人经营性使用海域，必须按规定交纳海域使用金。本项目用海属经营性用海，按国家有关规定交纳海域使用金，不损害国家权益。

### 9.1.4 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析结论

本工程用海区在《广西壮族自治区海洋功能区划》(2011-2020)划定的“大北仑河口保留区 (A8-1)”和“广西近海南部农渔业区 (B1-13)”范围内，项目用海符合所在功能区的用途管制、用海方式控制和海洋环境保护要求，不占用自然岸线及影响重要渔业品种的“三场一通道”，不会造成海底地形地貌改变，不会对北仑河口生态系统造成破坏，对渔业生产影响较小，施工结束后海域环境质量可以恢复到现状水平。海缆路由穿越海洋功能区为北仑河口保留区、防城港金滩南部农渔业区、防城港金滩旅游休闲娱乐区、珍珠湾农渔业区和潭吉港口航运区。海底电缆埋设于海床底土以下，不改变海域的自然属性，不影响海域的基本功能，不会对海域地形地貌的稳定造成不利影响。在严格执行施工环保管理的前提下，海缆铺设施工和运营不会产生新增污染物，海缆从沙滩底部穿越海岸线，不影响沙滩的整治与修复。可保持所在海域的环境质量现状水平。因此，项目建设符合《广西壮族自治区海洋功能区划（2011-2020年）》。

本项目工程建设符合《全国海洋主体功能区规划》、《广西壮族自治区海洋主体功能区规划》、《广西海上风电发展规划（2021~2030年）》、《关于进一步

步规范海上风电用海管理的意见》、《广西战略性新兴产业发展三年行动方案（2021-2023年）的通知》、《2030年前碳达峰行动方案》、《中共广西壮族自治区委员会广西壮族自治区人民政府关于加快发展向海经济推动海洋强区建设的意见》、《北部湾城市群发展规划》、《防城港市城市总体规划（2008-2025）》等的要求。

### 9.1.5 项目用海合理性分析结论

广西防城港海上风电示范项目A场址工程，位于广西壮族自治区防城港市南部海域，风功率等级为II级，风资源较为丰富。风电场的气象条件、对外交通运输条件、地质条件等较适宜；风电场选址与周围利益相关者可协调；与《广西壮族自治区海洋主体功能区规划》（2011-2020年）相符合。本项目选址充分利用了资源优势，选址合理。

主要建设内容包括83台8.5MW 风力发电机组，规划总装机容量为700MW，风机机组布置经过了多次优化，在满足风电场布置技术要求的同时，做到了集约节约用海。项目申请用海总面积394.1530公顷：其中透水构筑物用海总面积104.3114公顷，包括风机用海102.1569公顷、海上升压站用海2.1545公顷；海底电缆管道用海总面积289.8416公顷，包括220kV海底电缆用海132.3814公顷、66kV海底电缆用海157.4602公顷。平面布置方案经过了多次优化，充分考虑到了周边海域海岛地理实体和开发现状的需求，符合相关行业的设计标准和规范，符合国家海洋局关于海上风电用海控制指标要求，符合生态红线和岸线管控要求，从集约节约用海角度分析，现阶段不存在减少用海面积的可能性，用海面积合理。

本项目主要水工建筑物是风机基础、升压站和海底电缆，用海方式分别为透水构筑物和海底电缆管道，用海方式合理。

本工程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 2~3 年，拟申请使用海域 27 年，符合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定，用海期限合理。

### 9.1.6 项目用海可行性结论

本项目建设与项目所在区域的自然环境和社会环境相适宜，与周边海域开发利用活动不冲突；与利益相关者有较好的协调性；与国家宏观政策、地方城市发

展战略规划相一致；工程建设用海与海洋功能区划及相关规划相符合；工程选址、用海方式、申请用海面积和用海期限合理；工程建成后有利于防城港市的经济展，具有良好的社会经济效益，能够较好的发挥该海域的自然环境和社会优势，风电场的建设为广西壮族自治区海上风电产业基地建设发挥重要作用。

由此可见，本项目用海是可行的。

## 9.2 建议

(1) 建议工程建设单位在施工和运营中严格落实好各种环保措施，尽量减少工程建设对周边海洋环境的影响，同时可采取鱼类增殖放流等方式进行生态资源补偿。

(2) 鉴于北部湾海域海上风电周边海域复杂的交通环境，建议设置电子围栏系统，有效保障周围船舶通航安全及风电场营运安全。

(3) 工程建成后应将项目位置海域范围具体位置等报请海事局等部门及时更新航海图书资料，发布相应《航海通告》。

(4) 建议尽快取得军方协调意见、利益相关者协调意见，形成书面文件。

## 资料来源说明

### 1、引用资料

1. 设计资料引自《广西海上风电示范项目可行性研究阶段总说明书（送审稿）》（2022年5月，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司）；广西海上风电示范项目总体规划布置图（2022年5月，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司）

2. 鸟类资源资料引自《北部湾海上风电场项目 A区鸟类现状调查及影响评价报告》（2022年5月，广西大学）；

3. 北部湾二长棘鲷长毛对虾影响分析资料引自《广西防城港海上风电示范项目A场址工程对北部湾二长棘鲷长毛对虾国家级水产种质资源保护区 影响专题论证报告》（2022年6月，中国水产科学研究院南海水产研究所）；

4. 通航资料引自《广西海上风电示范项目 A 场址选址通航安全影响论证报告（备案稿）》，2022年6月，中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司、武汉理工大学。