

三峡阳江青洲五海上风电场项目 海洋环境影响报告书

(报批前公示稿)

上海勘测设计研究院有限公司

2021年9月

目 录

1 概述	1
1.1 项目背景.....	1
1.2 项目概况.....	2
1.3 环境影响评价工作过程.....	2
1.4 分析判定相关情况.....	3
1.5 项目关注的主要环境问题及环境影响.....	4
1.6 报告书主要结论.....	4
2 总则	5
2.1 编制依据.....	5
2.2 环境影响评价和环境质量标准.....	9
2.3 环境保护目标.....	16
2.4 评价等级和评价范围.....	19
2.5 评价重点.....	22
2.6 评价工作程序.....	22
3 工程概况	24
3.1 项目概况与地理位置.....	24
3.2 周边海上风电场项目概况.....	27
3.3 建设方案.....	29
3.4 工程施工.....	35
3.5 工程运行.....	42
3.6 工程特性表.....	44
4 工程分析	46
4.1 生产工艺过程分析.....	46
4.2 工程各阶段环境影响分析.....	47
4.3 工程各阶段环境影响因子.....	56
4.4 工程各阶段主要评价内容.....	58
5 区域自然环境和社会环境概况	60
5.1 自然环境概况.....	60
5.2 社会环境概况.....	66

5.3 海域开发利用与保护概况.....	68
5.4 环境敏感目标和珍稀保护对象的现状及分布概况.....	74
6 环境质量现状调查与评价	79
6.1 水文动力环境现状调查与评价.....	79
6.2 地形地貌与工程地质.....	110
6.3 海洋水质、沉积物环境现状监测与评价.....	126
6.4 海洋沉积物环境现状调查与评价.....	146
6.5 海洋生物质量现状调查及评价.....	149
6.6 海洋生态环境现状调查与评价.....	159
6.7 鸟类资源现状调查与评价.....	198
6.8 声环境现状调查与评价.....	213
7 环境影响预测与评价	223
7.1 水文动力环境影响预测与评价.....	223
7.2 地形地貌与冲淤环境影响预测与评价.....	255
7.3 海水水质影响预测与评价.....	259
7.4 水下噪声及电磁环境影响预测与评价.....	270
7.5 海洋生态和渔业资源环境影响预测与评价.....	282
7.6 沉积物环境影响分析.....	289
7.7 鸟类及其生境影响分析.....	290
7.8 其他环境影响分析.....	299
7.9 工程建设对周边环境保护目标的影响.....	306
7.10 风电场群建设产生的环境累积影响分析.....	311
8 环境事故风险评价	336
8.1 环境事故识别.....	336
8.2 环境风险源项分析.....	336
8.3 通航事故风险分析.....	337
8.4 船舶溢油事故风险.....	338
8.5 自然灾害风险分析.....	364
8.6 风暴潮风险分析.....	366
8.7 其它环境风险事故及其影响分析.....	366

9 清洁生产分析	369
9.1 清洁能源的利用.....	369
9.2 节约能源.....	369
9.3 污染物的减排.....	370
9.4 平面布置及施工工艺.....	370
9.5 清洁生产水平分析.....	371
10 总量控制分析	372
10.1 总量分析.....	372
10.2 结论.....	372
11 环境保护对策措施	373
11.1 海域污染防治措施.....	373
11.2 陆域污染防治措施.....	375
11.3 海洋生态保护措施.....	380
11.4 鸟类及陆生动植物资源保护措施.....	382
12 环境保护的技术经济合理性	386
12.1 环保投资.....	386
12.2 经济效益.....	386
12.3 环境损益.....	387
12.4 环境经济损益综合分析.....	388
13 海洋工程的环境可行性	389
13.1 工程方案环境合理性分析.....	389
13.2 与《全国海洋主体功能区规划》的符合性分析.....	391
13.3 与广东省海洋功能区划符合性分析.....	391
13.4 与广东省海洋生态红线相符性分析.....	395
13.5 与“三线一单”符合性分析.....	399
13.6 相关政策、法规、规划、区划符合性分析.....	404
14 环境管理与监测计划	413
14.1 环境管理计划.....	413
14.2 环保验收清单.....	414
14.3 环境监测计划.....	417

15 工程生态用海方案分析	421
15.1 用海布局优化.....	421
15.2 污染排放与控制.....	422
15.3 生态修复与补偿.....	422
15.4 人工鱼礁效应.....	422
15.5 跟踪监测及监测能力建设.....	423
16 结论与建议	424
16.1 工程分析.....	424
16.2 环境现状.....	425
16.3 主要环境影响预测与评价.....	429
16.4 环境事故风险.....	434
16.5 清洁生产与污染对策措施.....	434
16.6 综合评价结论及建议.....	438

附录

附录 1 海水水质调查成果

附录 2 春季调查海洋生物种类名录

附录 3 秋季调查海洋生物种类名录

附件

附件 1 委托书

附件 2 阳江市发展和改革局关于三峡阳江青洲五海上风电场项目核准的批复（阳发改核准[2018]17 号）

附件 3 模型率定验证结果

附图

附图 1 工程地理位置图

附图 2 工程平面布置图

附图 3 环境敏感目标分布图

1 概述

1.1 项目背景

广东省省内电源装机以火电机组为主，节能减排压力巨大，大力发展核电、风电等新能源产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省大陆海岸线总长约 4114.4km，海域面积 41.93 万 km²，沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。

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

2018 年 4 月 11 日，广东省发展改革委印发《广东省海上风电发展规划(2017-2030 年)》（修编），广东省规划海上风电场址 23 个，总装机容量 6685 万千瓦。近海浅水区（35m 水深以内）海上风电场址 15 个，装机容量 985 万千瓦；近海深水区（35-50m 水深）规划海上风电场址 8 个，装机容量 5700 万千瓦。其中粤西海域在水深 35-50m 之间的海域共规划海上风电场址 2 个，分别为阳江近海深水场址一和阳江近海深水场址二。其中阳江近海深水场址一位于阳江市沙扒镇南面海域，场址最近端距离陆岸 45km，最远端距离陆岸 82 公里。场址用海面积 800km²，水深 35-50m 之间，规划装机容量 500 万 kW。

三峡阳江青洲五海上风电场项目位于规划中的阳江近海深水场址一内，装机容量 1000MW，拟安装 80 台 10MW 风电机组和 25 台 8MW 风电机组，由三峡新能源阳江发电有限公司投资建设。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》和《建设项目环境保护管理条例》等的规定，凡新建、改建、扩建对环境有影响的工程项目必须进行环境影响评价，以阐明项目所在地环境质量现状及工程项目施工期和运行期的环境影响。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》，本工程应编制环境影响报告书。为此，三峡新能源阳江发电有限公司（以下简称建设单位）委托上海勘测设计研究院有限公司（以下简称我院）承担本项目环境影响报告评价工作。

我院接受委托后与本项目设计单位积极协作,将环境影响评价与项目方案设计工作紧密结合,对工程设计报告中提出的机组容量选择和布置方案的环境可行性、合理性进行了分析比较,将环境保护要求充分融入到方案设计中。

本评价包括项目施工期及运行期的环境影响评价,本工程设计运行期 25 年,退役期环境影响在拆除施工前另行编制环境影响报告。海缆集中送出工程、陆上集控单独立项,另行开展环评工作。

1.2 项目概况

本工程位于阳江市阳西县沙扒镇以南海域,项目规划装机总容量为 1000MW,拟布置 80 台单机容量为 10MW 的风电机组和 25 台单机容量为 8MW 的风电机组。场址面积约 165km²,场址中心离岸距离 77km,水深在 46.5m~52.5m 之间,场址四至坐标为:111°32'18.50"E~111°39'52.20"E,20°44'44.67"N~20°54'27.72"N。105 台风电机组通过 19 回 66kV 集电线路,接入青洲五和青洲七共建的 500kV 海上换流站,换流站位于青洲七场址范围内。工程总投资约为 184.39 亿元。

1.3 环境影响评价工作过程

评价单位于 2021 年 8 月接受建设单位委托后立即成立项目课题组,并根据相关法律法规、政策及导则要求,对本项目开展环境影响评价工作。

上海勘测设计研究院有限公司于 2021 年 7 月编制了本工程可行性研究报告,在编制过程中对风机布置进行了优化调整。广州南科海洋工程中心于 2019 年 1 月在工程附近海域进行了冬季水文动力调查,浙江华东建设工程有限公司于 2021 年 7 月在工程附近海域进行了夏季水文动力调查。

广州南科海洋工程中心于 2019 年 3 月在工程附近海域进行了海洋水质、沉积物、生态环境及渔业资源现状监测和调查,国家海洋局南海调查技术中心于 2018 年 10 月在工程附近海域进行了海洋水质、沉积物、生态环境及渔业资源现状监测和调查。广东省生物资源应用研究所于 2018 年 10 月、2019 年 1 月、5 月及 2021 年 7 月开展了工程鸟类调查及评价专题工作。厦门大学于 2021 年 7 月对工程海域的水上、水下声环境质量进行了现场调查,并开展了水下噪声、电磁辐射对海洋生态环境影响专题评价工作。在环境影响评价过程中,建设单位按照《环境影响评价公众参与管理办法》要求开展了公众参与调查工作。2021 年 8 月,根据建设单位提供的工程技术资料,环评单位开展了项目的工程分析、环境

影响预测评价、环境风险评价、环境保护措施、环境管理和监测计划等报告书专题的编制，完成了《三峡阳江青洲五海上风电场项目海洋环境影响报告书》（报批前公示稿）。

1.4 分析判定相关情况

本工程为海上风电场建设工程，属《产业结构调整指导目录（2019年本）》鼓励类产业，与国家产业政策符合。本工程的建设充分利用海区的海上风能，与可再生能源中长期发展规划中大力发展风电相协调，符合《可再生能源中长期发展规划》（2007-2020年）。项目用海符合《海上风电开发建设管理办法》的要求。

本工程属于海洋能开发利用项目，符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，有助于推动再生资源开发利用，缓解环境保护压力，可促进海洋新兴产业的发展。因此，本工程的建设符合《广东省海洋经济发展“十三五”规划》。

本工程选址位于《广东省海上风电发展规划》（修编）范围之内，本工程建设有利于促进广东省电力事业的发展，有利于清洁可再生能源的开发利用，本工程建设符合《广东省海上风电发展规划》相关要求。

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》（2012年），本工程风电场所在海域的海洋功能区划总体上属于湛江-珠海近海农渔业区。本工程主要建设内容为海上风电场和海底输电电缆，不改变海域属性，项目用海经过严格论证，不涉及炸岛及围填海。符合农渔业区中保障海洋能、海底管线等的用海需求。在落实各项环境保护措施，预防环境风险事故的前提下，工程建设对周边海洋功能区影响不大，本工程建设与《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》（2012年）相符合。

工程选址不占用海洋生态红线区，其建设能在一定程度上改善广东省和阳江市的能源结构。工程建设可能对海域自然、生态环境造成一定影响，对海洋生物资源造成一定损失，但在采取生态修复补偿措施和环境保护措施后影响总体可接受。因此，本工程不属于环境准入负面清单中的禁止、限制类项目。

本工程位于位于广东省和阳江市“三线一单”中的一般管控单元，工程建设期对区域生态系统有一定影响，但不涉及大规模、高强度工业及城镇建设，不占用自然岸线。工程建设不存在潜在的、重大的安全和环境风险，废水、废气、噪声

通过各项治理设施治理后均能达标排放，固废有合理可行的处置措施，因此本工程建设与“三线一单”的管理要求是相符的。

1.5 项目关注的主要环境问题及环境影响

关注的主要环境问题及环境影响包括：施工期风机桩和升压站基础建设、海缆施工对海域水质、沉积物的影响，项目建设对海洋生态、渔业资源的影响，施工船舶可能产生的溢油事故环境风险；项目建设对周边环境敏感目标的影响；运行期风机桩基础对周边海域水文动力、地形冲淤环境的影响，风机运转对水下声环境和鸟类的影响。

1.6 报告书主要结论

三峡阳江青洲五海上风电场项目的建设符合我国 21 世纪可持续发展能源战略规划，工程建设能在一定程度上改善了能源结构。工程建设和运行存在的主要环境问题是海洋水质、生态、渔业资源和对鸟类等的不良影响，在落实本报告提出的各项生态环保措施、污染防治措施和环境风险防范措施的前提下，从环境保护角度来看，不存在制约本工程建设的环境因素，工程建设总体可行。

2 总则

2.1 编制依据

2.1.1 法律、法规依据

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015.1.1（修订）；
- (2) 《中华人民共和国海洋环境保护法》，2017.11.4（修正）；
- (3) 《中华人民共和国海域使用管理法》，2002.1.1；
- (4) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018.12.29（修正）；
- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》，2017.6.27（修正）；
- (6) 《中华人民共和国环境噪声污染防治法》，2018.12.29（修正）；
- (7) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018.10.26（修正）；
- (8) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020.9.1（修订）；
- (9) 《中华人民共和国渔业法》，2013.12.28（修正）；
- (10) 《中华人民共和国野生动物保护法》，2018.10.26（修正）；
- (11) 《中华人民共和国海上交通安全法》，2016.11.7（修订）；
- (12) 《海洋工程环境影响评价管理规定》，2017.6；
- (13) 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，国务院令
第475号，2018.3（修订）；
- (14) 《中华人民共和国防止海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，
国务院令第507号，2017.3；
- (15) 《中华人民共和国防治陆源污染物污染损害海洋环境管理条例》，
1990.8.1；
- (16) 《中华人民共和国防治船舶污染海洋环境管理条例》，2017.3.1；
- (17) 《建设项目环境保护管理条例》，2017.10；
- (18) 《中华人民共和国自然保护区条例》，2017.10.7（修订）；
- (19) 《中华人民共和国海洋倾废管理条例实施办法》，2017.12.27（修订）；
- (20) 《中华人民共和国船舶污染海洋环境应急防备和应急处置管理规定》，
交通运输部令，2018年第21号，2018.3.19；
- (21) 《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》，

- 交通运输部令，2017年第15号，2017.5.23;
- (22) 《海洋自然保护区管理办法》，1995.5.29;
- (23) 《近岸海域环境功能区管理办法》，2010.12.22（修订）；
- (24) 《全国生态保护“十三五”规划纲要》，环生态[2016]151号，2016.10.27;
- (25) 《国家重点保护野生动物名录》，国务院，1988.12.10;
- (26) 《环境影响评价公众参与办法》，生态环境部令第4号，2019年1月1日；
- (27) 《市场准入负面清单（2019年版）》，国家发展和改革委员会、商务部，2019年11月；
- (28) 《产业结构调整指导目录（2019年版）》，国家发展和改革委员会，2019年10月。

2.1.2 地方法规

- (1) 《广东省环境保护条例》，2018.11（修正）；
- (2) 《广东省海域使用管理条例》，2007.3;
- (3) 《广东省渔业管理条例》2015.12.30（修正）；
- (4) 《广东省固体废物污染环境防治条例》，2019.3.1（修订）；
- (5) 《广东省实施<中华人民共和国海洋环境保护法>办法》，2018.11（修正）；
- (6) 《广东省实施<中华人民共和国环境噪声污染防治法>办法》，2018.11（修正）。

2.1.3 规划与区划

- (1) 《全国海洋功能区划（2011-2020年）》，2012.4;
- (2) 《全国海洋主体功能区规划》，2015.8;
- (3) 《全国海洋经济发展“十三五”规划》，2017.5.4;
- (4) 《广东省海洋主体功能区规划》，2017.12.8;
- (5) 《广东省海洋环境保护“十三五”规划》，2016.9;
- (6) 《广东省海洋经济发展“十三五”规划》，2017.6;
- (7) 《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，2012;
- (8) 《广东省近岸海域环境功能区划》，1999.7;

- (9) 《广东省海洋生态红线》，2017.9;
- (10) 《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》，2017.10.27;
- (11) 《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020年）》，2017.11;
- (12) 《关于对阳江市调整近岸海域环境功能区划的批复》（粤环函[2004]935号）。

2.1.4 规程规范、标准

- (1) 《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）；
- (2) 《海上风电工程环境影响评价技术规范》；
- (3) 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》，（HJ2.1-2016）；
- (4) 《环境影响评价技术导则 大气环境》，（HJ2.2-2018）；
- (5) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》，（HJ 2.3-2018）；
- (6) 《环境影响评价技术导则 声环境》，（HJ2.4-2009）；
- (7) 《环境影响评价技术导则 生态影响》，（HJ19-2011）；
- (8) 《建设项目环境风险评价技术导则》，（HJ169-2018）；
- (9) 《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）；
- (10) 《生物多样性观测技术导则 鸟类》（HJ 710.4-2014）；
- (11) 《船舶污染海洋环境风险评价技术规范》（试行）；
- (12) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》，2007.4;
- (13) 《疏浚物海洋倾倒分类和评价程序》；
- (14) 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- (15) 《渔业水质标准》（GB11607-89）；
- (16) 《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）；
- (17) 《海洋生物质量》（GB18421-2001）；
- (18) 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- (19) 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- (20) 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；
- (21) 《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）；
- (22) 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-96）；
- (23) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；

- (24) 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- (25) 《海洋监测规范》（GB 17378.1~7-2007）；
- (26) 《近岸海域环境监测技术规范》（HJ 442-2020）；
- (27) 《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）；
- (28) 《海洋调查规范第 8 部分：海洋地质地球物理调查》（GB/T 12763.8-2007）；
- (29) 《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》（海洋出版社，1986）（底质评价标准）；
- (30) 《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）；
- (31) 《海上风力发电场设计标准》（GB/T 51308-2019）。

2.1.5 技术报告

- (1) 《三峡阳江青洲五海上风电场项目可行性研究报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2021 年 7 月；
- (2) 《三峡阳江青洲五海上风电场项目海域使用论证报告书》，广东海兰图环境技术研究有限公司，2021 年 8 月；
- (3) 《三峡阳江青洲五海上风电场项目通航安全影响分析报告》，广州中洋航海技术研究所，2018 年 11 月；
- (4) 《三峡阳江风电项目海洋水文动力环境现状冬季调查报告》，广州南科海洋工程中心，2019 年 1 月；
- (5) 《三峡新能源阳江青洲五海上风电场项目海洋水文测验（夏季）分析报告》，浙江华东建设工程有限公司，2021 年 7 月；
- (6) 《三峡新能源阳江风电用海项目海洋环境现状调查报告》，广州南科海洋工程中心，2019 年 7 月；
- (7) 《明阳阳江青洲四海上风电项目秋季环境现状调查报告》，国家海洋局南海调查技术中心，2019 年。

2.2 环境影响评价和环境质量标准

2.2.1 环境质量标准

2.2.1.1 海洋功能区划与海域环境质量标准

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，本工程位于湛江-珠海近海农渔业区。本环评评价范围仅涉及该功能区，根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》（图 2.2-1），湛江-珠海近海农渔业区执行标准见表 2.2-1，相应标准限值见表 2.2-2~表 2.2-6。

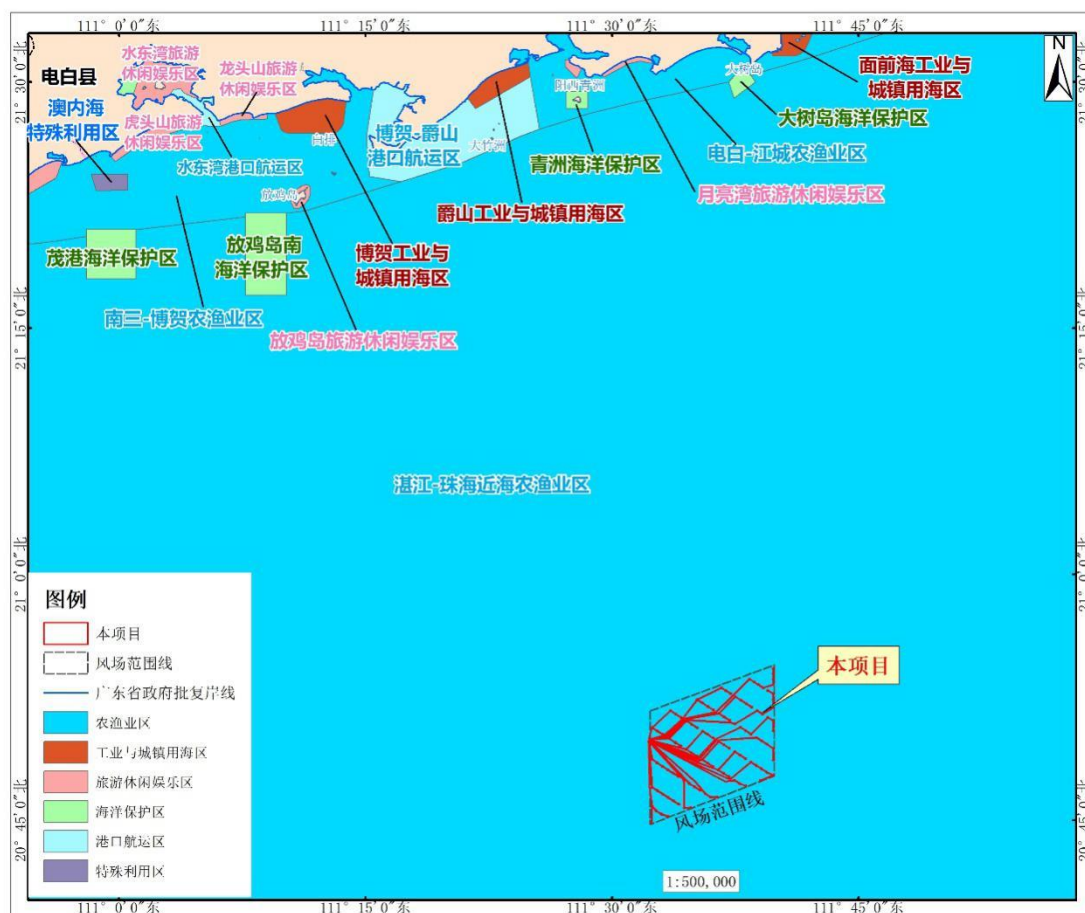


图 2.2-1 广东省海洋功能区划图（阳江市）

表 2.2-1 评价范围内执行的海洋环境质量标准

海洋功能区	水质	沉积物	双壳类海洋生物质量	非双壳类海洋生物质量
湛江-珠海近海农渔业区	一类	一类	一类	石油烃评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准，其他指标评价标准采用《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准。

根据阳西县水功能区划，本工程 2#施工基地前沿为海陵湾，执行近岸海域水环境功能区划。根据阳江市近岸海域环境功能区划图，2#施工基地前沿执行三类海水水质标准，上下游执行二类海水水质标准。上下游执行二类海水水质标准。

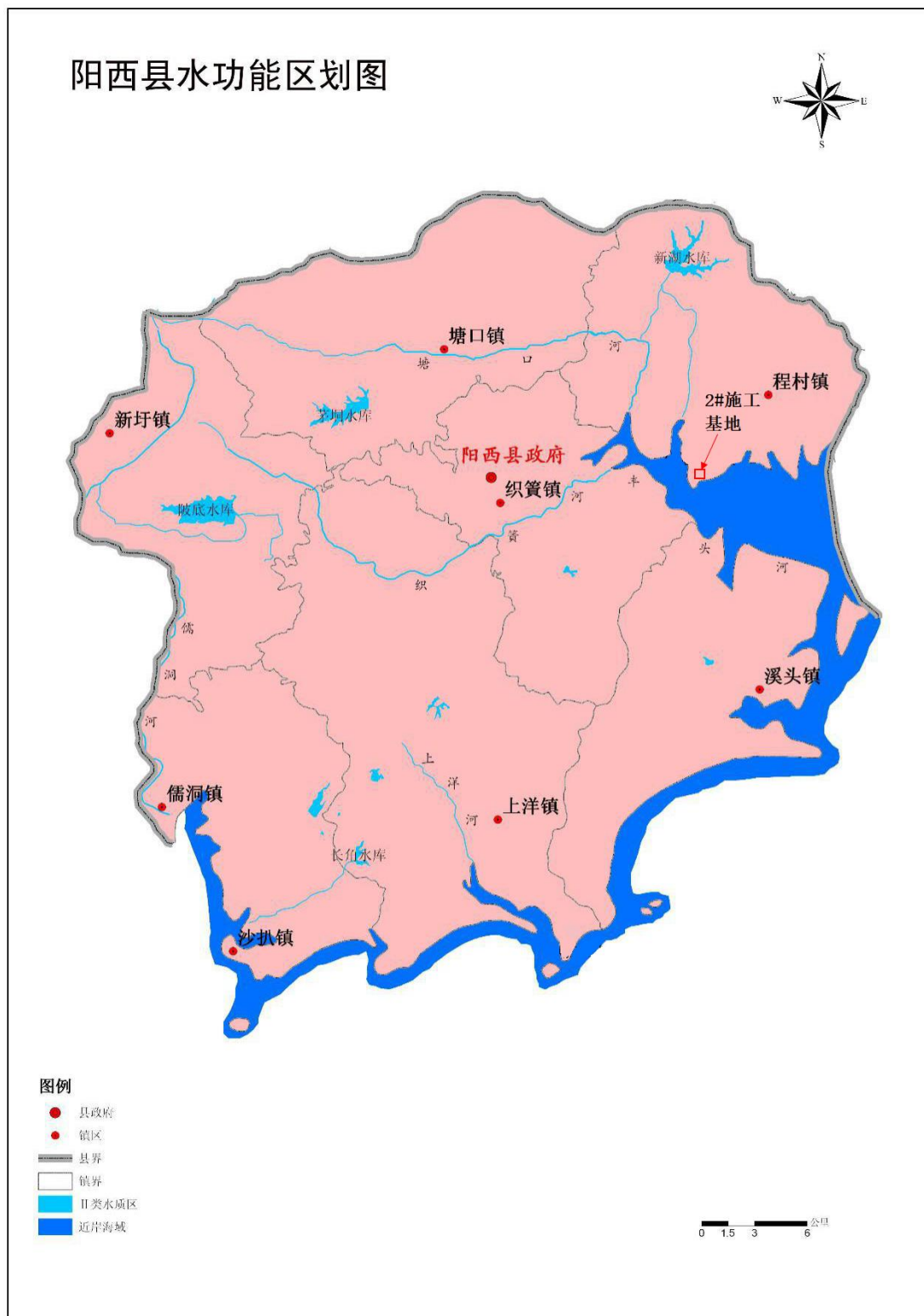


图 2.2-2 阳西县地表水功能区划图

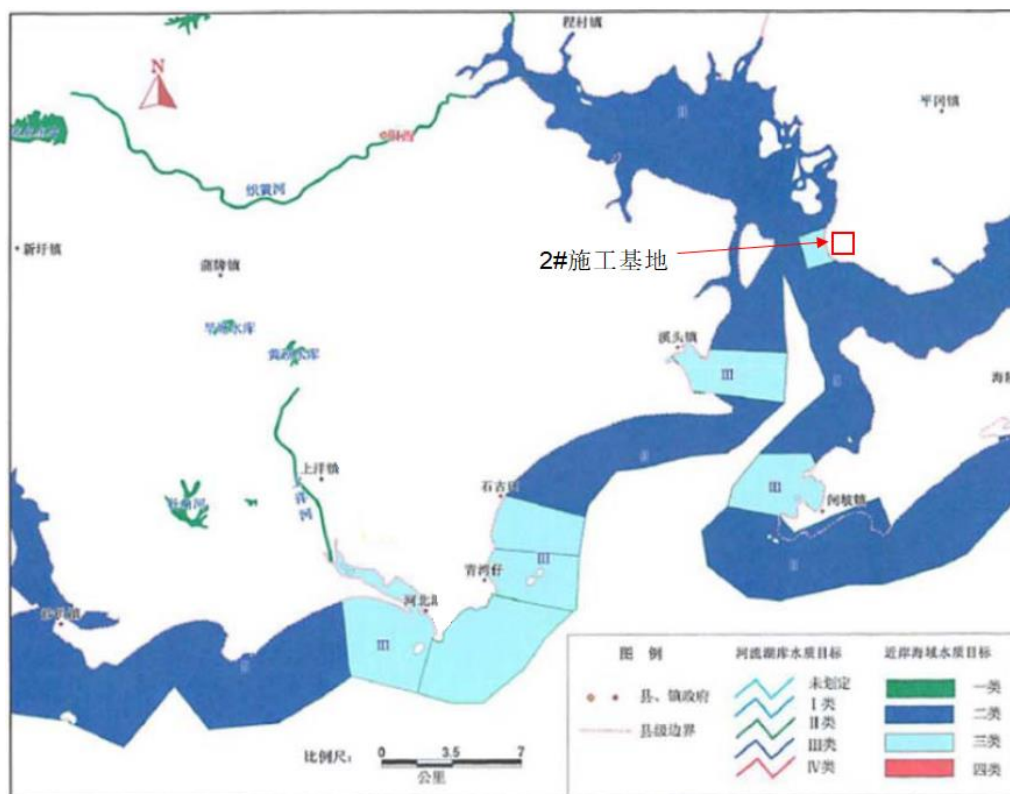


图 2.2-3 近岸海域环境功能区划图

表 2.2-2 海水水质标准 单位：mg/L (pH 除外)

污染物名称	标准类别			
	一类	二类	三类	四类
pH	7.8~8.5	7.8~8.5	6.8~8.8	6.8~8.8
DO	>6	>5	>4	>3
COD	≤2	≤3	≤4	≤5
BOD ₅	≤1	≤3	≤4	≤5
非离子氨 (以 N 计)	≤0.020			
无机氮 (以 N 计)	≤0.2	≤0.3	≤0.4	≤0.5
活性磷酸盐 (以 P 计)	≤0.015	≤0.030	≤0.030	≤0.045
SS (人为增加量)	≤10	≤10	≤100	≤150
石油类	≤0.05	≤0.05	≤0.30	≤0.50
铜	≤0.005	≤0.010	≤0.050	
铅	≤0.001	≤0.005	≤0.010	≤0.050
锌	≤0.020	≤0.050	≤0.10	≤0.50
镉	≤0.001	≤0.005	≤0.010	
汞	≤0.00005	≤0.0002		≤0.0005
砷	≤0.020	≤0.030	≤0.050	
总铬	≤0.05	≤0.10	≤0.20	≤0.50
硫化物 (以 S 计)	≤0.02	≤0.05	≤0.10	≤0.25

表 2.2-3 渔业水质标准 单位: mg/L (pH 除外)

编号	项目	标准值
1	pH 值	海水 7.0~8.5
2	DO	连续 24h 中, 16h 以上必须大于 5, 其余任何时候不得低于 3
3	BOD ₅	≤5, 冰封期≤3
4	汞	≤0.0005
5	镉	≤0.005
6	铜	≤0.01
7	锌	≤0.1
8	石油类	≤0.05
9	硫化物	≤0.2

表 2.2-4 海洋沉积物质量标准 单位: mg/L (pH 除外)

项目	标准值		
	一类	二类	三类
汞 (10 ⁻⁶)	0.2	0.5	1.0
镉 (10 ⁻⁶)	0.50	1.50	5.00
铅 (10 ⁻⁶)	60.0	130.0	250.0
铜 (10 ⁻⁶)	35.0	100.0	200.0
锌 (10 ⁻⁶)	150.0	300.0	600.0
铬 (10 ⁻⁶)	80.0	150.0	270.0
砷 (10 ⁻⁶)	20.0	65.0	93.0
硫化物 (10 ⁻⁶)	300.0	500.0	600.0
石油类 (10 ⁻⁶)	500.0	1000.0	1500.0
有机碳 (10 ⁻²)	2.0	3.0	4.0

表 2.2-5 海洋生物质量标准 (双壳类)

项目	标准值		
	一类	二类	三类
汞 (mg/kg) ≤	0.05	0.10	0.30
镉 (mg/kg) ≤	0.2	2.0	5.0
铅 (mg/kg) ≤	0.1	2.0	6.0
铜 (mg/kg) ≤	10	25	50(牡蛎 100)
锌 (mg/kg) ≤	20	50	100(牡蛎 500)
铬 (mg/kg) ≤	0.5	2.0	6.0
砷 (mg/kg) ≤	1.0	5.0	8.0
石油类 (mg/kg) ≤	15	50	80

表 2.2-6 鱼类、甲壳、软体类海洋生物质量评价标准 (鲜重: ×10⁻⁶)

生物类别	总汞	Cu	Pb	Cd	Zn	石油烃	备注
甲壳类	0.2	100	2	2	150	20	石油烃执行《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》(第二分册), 其余指标执行《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》
鱼类	0.3	20	2	0.6	40	20	
软体动物	0.3	100	10	5.5	250	20	

2.2.1.2 环境空气

根据《阳西县大气环境质量功能区图》（见图 2.2-4），本工程 2#施工基地环境空气执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准，环境空气质量标准值见表 2.2-7。

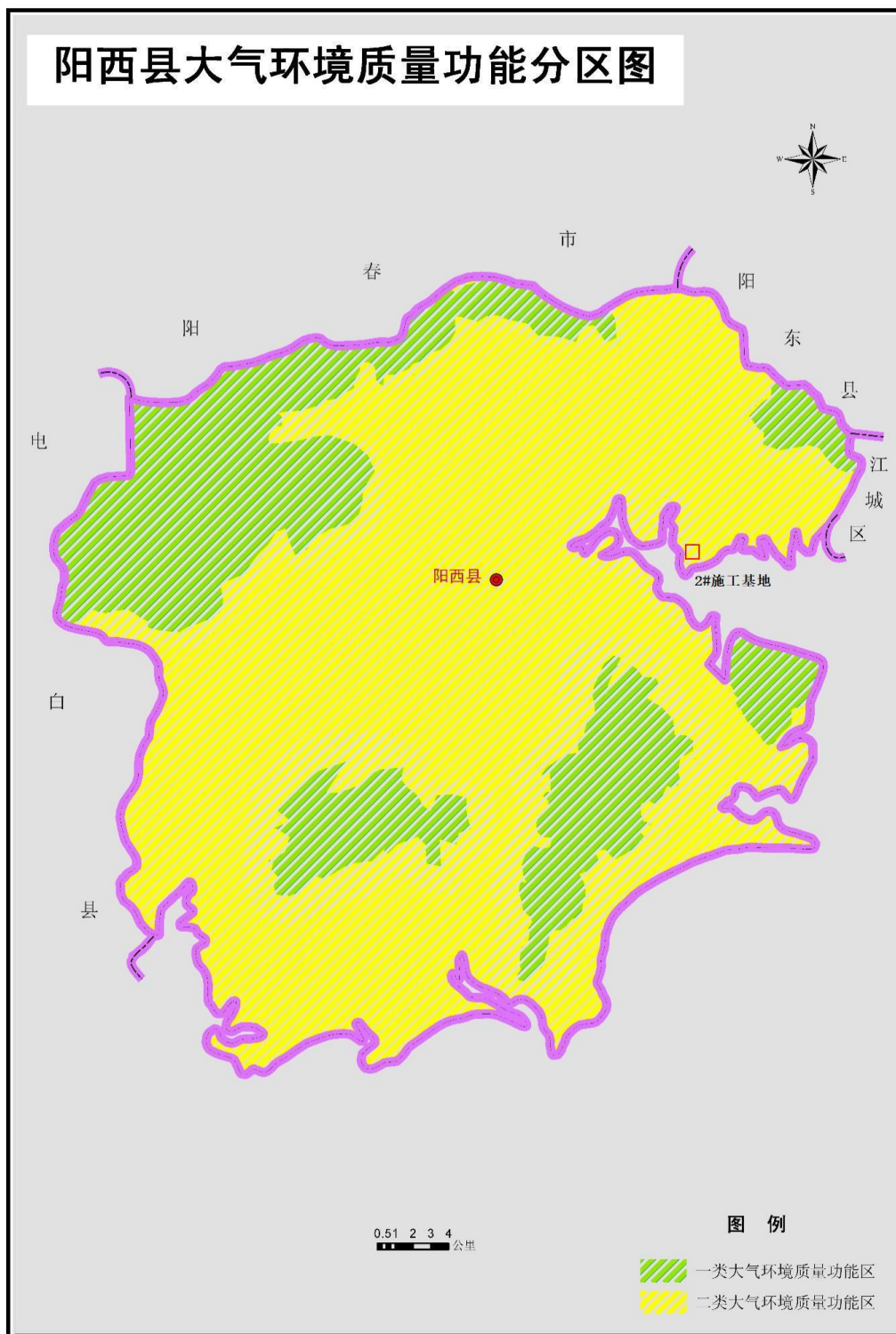


图 2.2-4 阳西县大气环境质量功能区划图

表 2.2-7 环境空气质量标准 单位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (标准状态)

序号	项目	平均时间	浓度限值
			二级
1	SO ₂	年平均	60
		24 小时平均	150
		1 小时平均	500
2	NO ₂	年平均	40
		24 小时平均	80
		1 小时平均	200
3	TSP	年平均	200
		24 小时平均	300
4	PM ₁₀	年平均	70
		24 小时平均	150
5	PM _{2.5}	年平均	35
		24 小时平均	75

2.2.1.3 声环境

本工程陆上施工基地位于位于陆上阳江港海陵港区, 周边为码头港口及工业园区, 声环境执行《声环境质量标准》(GB3096-2008) 3 类标准。

表 2.2-8 声环境质量标准 单位: 等效声级 Leq[dB(A)]

类别	昼间	夜间
3	65	55

2.2.2 污染物排放标准

2.2.2.1 污水

本工程所在海域为一类海洋功能区, 禁止排污。2#施工基地污水经处理后回用, 回用标准执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T18920-2020)。多余废水达到广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB44/26-2001) 的三级标准(第二时段), 与施工人员生活污水一并纳入阳江高新区临港工业园区污水处理厂进行处理后排放。船舶污水执行《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)。污水排放标准详见表 2.2-9 和 10, 回用水标准见表 2.2-11。

表 2.2-9 广东省水污染物排放标准 单位: mg/L

序号	污染物	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	6—9	6—9	6—9
2	色度	50	80	—
3	悬浮物	70	100	400
4	五日生化需氧量	20	30	300
5	化学需氧量	100	130	500
6	石油类	5	10	30

表 2.2-10 船舶水污染物排放控制标准

项目	适用海域	标准要求	标准来源
船舶污水	机器处所油污水	沿海	石油类限值 15mg/L
	生活污水	距陆地 3 海里以内	(1) 在 2012 年 1 月 1 日以前安装 (含更换) 生活污水处理装置的船舶: 五日生化需氧量 (mg/L): 不大于 50; 悬浮物 (mg/L): 不大于 150; 大肠菌群 (mg/L): 不大于 2500 个/L。 (2) 在 2012 年 1 月 1 日以后安装 (含更换) 生活污水处理装置的船舶: 五日生化需氧量 (mg/L): 不大于 25; 悬浮物 (mg/L): 不大于 35; 大肠菌群 (个/L): 不大于 1000; 化学需氧量 (COD _{Cr}) (mg/L): 125; PH 值: 6~8.5; 总氯 (总余氯) (mg/L): <0.5。
		距最近陆地 3-12 海里海域	使用设备打碎固形物和消毒后排放; 船速不低于 4 节, 且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。
		距最近陆地 12 海里以外海域	排放速率: 船速不低于 4 节, 且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。
船舶垃圾	塑料废弃物、废弃食用油、生活废弃物	任何海域	禁止投入水域
	食品废弃物	距陆地 3 海里以内	禁止排放
		距陆地 3-12 海里	经过粉碎处理后, 颗粒直径小于 25mm 时, 可允许在距最近陆地 3 海里之外投弃入海。
		12 海里以外	可以排放

《船舶水污染物排放控制标准》
(GB 3552-2018)

表 2.2-11 污水回用标准

执行标准	取值表号及级别	污染物指标	单位	标准限值
《城市污水再生利用 城市杂用水水质》 (GB/T18920-2020)	表 1 冲厕、车辆冲洗	pH	/	6~9
		色度	铂钴色度	15
		嗅	/	无不快感
		浊度	NTU	5
		BOD ₅	mg/L	10
		氨氮	mg/L	5
		LAS	mg/L	0.5
	溶解性总固体	mg/L	1000	
	表 1 城市绿化、道路清扫、消防、建筑施工	pH	/	6~9
		色度	铂钴色度	30
		嗅	/	无不快感
		浊度	NTU	10
		BOD ₅	mg/L	10
		氨氮	mg/L	8
LAS		mg/L	0.5	
溶解性总固体	mg/L	1000		

2.2.2.2 废气

根据《阳江市大气环境功能分区图》，本工程施工期大气排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-96）中无组织排放监控浓度限值，见表 2.2-12。

表 2.2-12 新污染源大气污染物排放限值 单位：mg/m³

项目	SO ₂	NO _x	TSP
监控点	周界外浓度最高点	周界外浓度最高点	周界外浓度最高点
浓度	0.4	0.12	1.0

2.2.2.3 噪声

施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）。见表 2.2-13。运行期参照执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准。见表 2.2-14。

表 2.2-13 建筑施工场界噪声限值 (Leq) 单位：dB (A)

噪声排放限值	昼间	70
	夜间	55

表 2.2-14 工业企业场界噪声限值 (Leq) 单位：dB (A)

类别	昼间	夜间
2	60	50

2.2.2.4 固废

船舶固废执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018），见表 2.2-10。

2.2.2.5 电磁环境

根据《电磁环境控制限制》（GB8702-2014），以 4kv/m 作为工频电场强度的评价标准，以 0.1mT 作为工频磁感应强度的评价标准。

2.3 环境保护目标

2.3.1 功能区保护目标

(1) 生态环境

控制工程建设对工程及周边海域海洋生态环境（包括渔业资源）的影响，确保海域生态环境质量不因本工程建设而变劣，保护工程海域海洋渔业资源及珍稀濒危海洋生物生境，工程区域周围鸟类种类和水生生物群落结构等不因本工程建设而发生变化。

(2) 自然环境

控制工程建设对工程海域水文动力、地形冲淤环境的影响，工程海域海水水质、沉积物环境质量不因本工程建设而恶化，满足相应环境标准要求。

(3) 海域开发利用

控制工程建设对周围海域开发活动的影响，协调本工程用海与海域开发利用规划的关系。

2.3.2 环境敏感保护目标

本工程涉及评价范围内环境敏感目标主要包括三场一通道和港航设施等，见表 2.3-1 和附图 3。

表 2.3-1 工程区域附近海洋环境敏感目标

序号	敏感目标		位置关系	概况	敏感要素
	类型	名称			
1	港航设施	珠江口至琼州海峡北水道推荐航路（拟改道）	穿越风电场	穿越青洲五、青洲七风电场，经项目海域段为：至围夹岛南方 5 海里处，转航向 241°，航行 120.5 海里，直接驶往琼州海峡北水道 1 号浮标。	水文动力、冲淤环境
2		台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路（拟改道）	穿越风电场	穿越青洲五、青洲七风电场，经风电场海域航段为：船舶航至石碑山角灯塔方位 353°、距离 14.9 海里处，转航向 248°，直驶琼州海峡北水道 1 号灯浮标，航程 340 海里。	
3	三场一通道、	南海北部幼鱼繁育场保护区	北侧约 15km	位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线、17 个基点连线以内水域，保护期为 1~12 月	水文动力、海水水质、生态环境、渔业资源
4	渔业资源	南海底层、近底层鱼类产卵场	风电场部分位于区内	主要包括金线鱼、深水金线鱼、二长棘鲷、红笛鲷、绯鲤类、短尾鳍大眼鲷、长尾大眼鲷、脂眼鲱和黄鲷产卵场等	

2.4 评价等级和评价范围

2.4.1 评价对象

本报告评价对象包括海上风电机组、场内 66kV 海底集电电缆建设内容。海上换流站位于青洲七场址范围内，故海上换流站、500kV 送出海缆、海缆登陆及陆上集控中心不在本工程范围内，不列入本报告评价内容。

2.4.2 评价等级

2.4.2.1 海洋环境评价

本工程由海上风电机组工程和海底电缆工程组成，根据《海洋工程环境影响评价技术导则》和《海上风电工程环境影响评价技术规范》评价等级判定标准，本工程装机容量为 100 万 kW，海底电缆工程长度大于 100km，工程所在海域环境敏感。海上风电机组工程水文动力环境、水质环境和海洋生态评价等级为 1 级，沉积物环境评价等级为 1 级；海底电缆工程水文动力环境、水质环境、沉积物环境和海洋生态评价等级均为 1 级。因此，本工程水文动力环境、水质环境、沉积物环境和海洋生态评价等级均为 1 级。

本工程占海面积超过 50hm²，因此，海洋地形地貌与冲淤环境评价等级为 1 级。

本工程海底电缆为交流输电，最高电压等级为 66kV，周围无敏感目标，因此电磁环境评价等级为三级。

本工程运行期内不产生废气，仅施工期会产生船舶废气和施工扬尘，因此确定大气环境评价等级为三级。

本工程主体工程位于海上，评价范围内无声环境敏感目标，且工程建成后噪声级增高量较少，根据《环境影响评价技术导则 声环境（HJ 2.4-2009）》，确定声环境评价等级为三级。

2.4.2.2 环境风险

本工程风电场施工期采用的最大吨位施工船舶为 10000~30000t 级的甲板驳轮，其所带的燃料油舱一般为 4~8 个，其中单个燃料油舱为 134m³，燃料油密度按 0.75t/m³ 计算，则单舱最大载油量约为 100t，船舶最大载油量为 800t。根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）附录 B，油类物质（如石油、汽

油、柴油等)临界量为 2500t, $Q < 1$, 该项目环境风险潜势为 I, 评价工作等级为简单分析。

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T 19485-2014), 环境风险分析与评价需依照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169-2004)的要求, 明确建设项目的环境风险评价等级和评价内容。参照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169-2004), 项目所在海域为环境敏感地区, 评价工作级别为一级。

本工程施工期及运行期均存在船舶事故溢油环境风险, 燃油泄漏风险, 涉及可燃、易燃危险性物质, 且工程区域海洋生态环境较为敏感, 风险评价等级考虑就高原则, 因此环境风险评价等级为一级。

表 2.4-1 项目评价等级汇总

序号	评价内容	评价等级
1	水文动力环境	1
2	水质环境	1
3	沉积物环境	1
4	海洋生态	1
5	海洋地形地貌与冲淤环境	1
6	电磁环境	3
7	大气环境	3
8	声环境	3
9	环境风险	1

2.4.3 评价范围

2.4.3.1 海域

(1) 水文动力与海洋水质

根据海洋工程环评导则, 本项目水文动力环境评价范围为一个潮周期内水质点可能达到的最大水平距离的两倍, 海洋水质评价范围则为工程施工可能造成的悬浮扩散与污染影响范围。考虑本工程海域潮流特性及可能的海洋水质环境影响范围, 确定水文动力与海洋水质评价范围为风电场场址所在向外延伸 15km 所包含的海域。

(2) 生态环境与水下噪声

根据生态环境评价导则, 生态环境评价范围应依据评价项目对生态因子的影响方式、影响程度和生态因子之间的相互影响和相互依存关系确定。考虑本工程生态环境不利影响主要来自施工期悬浮扩散等, 因此海洋生态评价范围同海洋水

质评价范围。水下噪声考虑到其对周边海洋生物的影响，其评价范围同海洋生态环境评价范围。

(3) 电磁环境

本工程海底电缆为场内风机至海上换流站的电缆，最高电压等级为 66kV，故电磁环境评价范围为海缆两侧各外延 30m（水平）范围。

综上确定本工程海域评价范围为风电场场址所在向外延伸 15km 所包含的海域，总面积约 1940km²。

2.4.3.2 环境风险

环境风险评价范围确定为风电场占用海域周围 30km 范围内海域。工程海洋环境影响评价范围及环境风险评价范围见图 2.4-1，评价范围各拐点坐标见表 2.4-2。

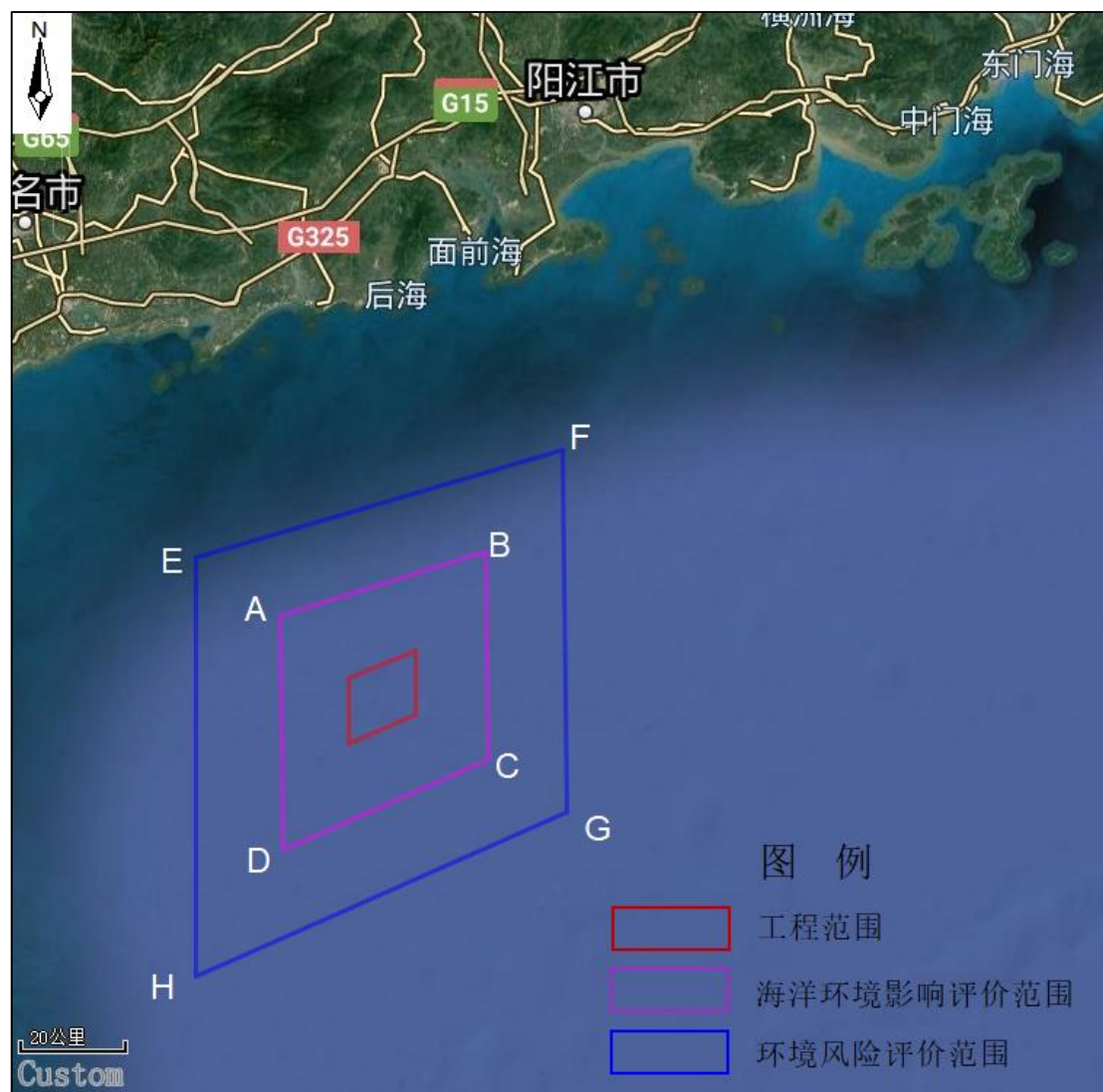


图 2.4-1 环境影响评价范围示意图

表 2.4-2 评价范围各拐点度坐标

评价范围	边界点	经度	纬度
海洋环境影响评价范围	A	111.4093°	20.9695°
	B	111.7962°	21.0826°
	C	111.7962°	20.7131°
	D	111.4093°	20.5560°
环境风险评价范围	E	111.2489°	21.0720°
	F	111.9404°	21.2622°
	G	111.9494°	20.6222°
	H	111.2489°	20.3314°

2.5 评价重点

根据本工程特点和周围海洋环境状况，本工程环境评价重点为：

- (1) 工程与海洋功能区、生态红线相符性分析及工程方案环境合理性分析；
- (2) 工程施工期悬浮泥沙对海洋水质、生态环境、渔业资源影响评价；
- (3) 工程运行期对海域水文动力、地形冲淤、生态环境与渔业资源以及对鸟类生境的影响评价；
- (4) 工程施工期船舶溢油事故环境风险评价；
- (5) 工程环境保护措施及生态用海建设方案。

2.6 评价工作程序

本评价工程程序见图 2.6-1。

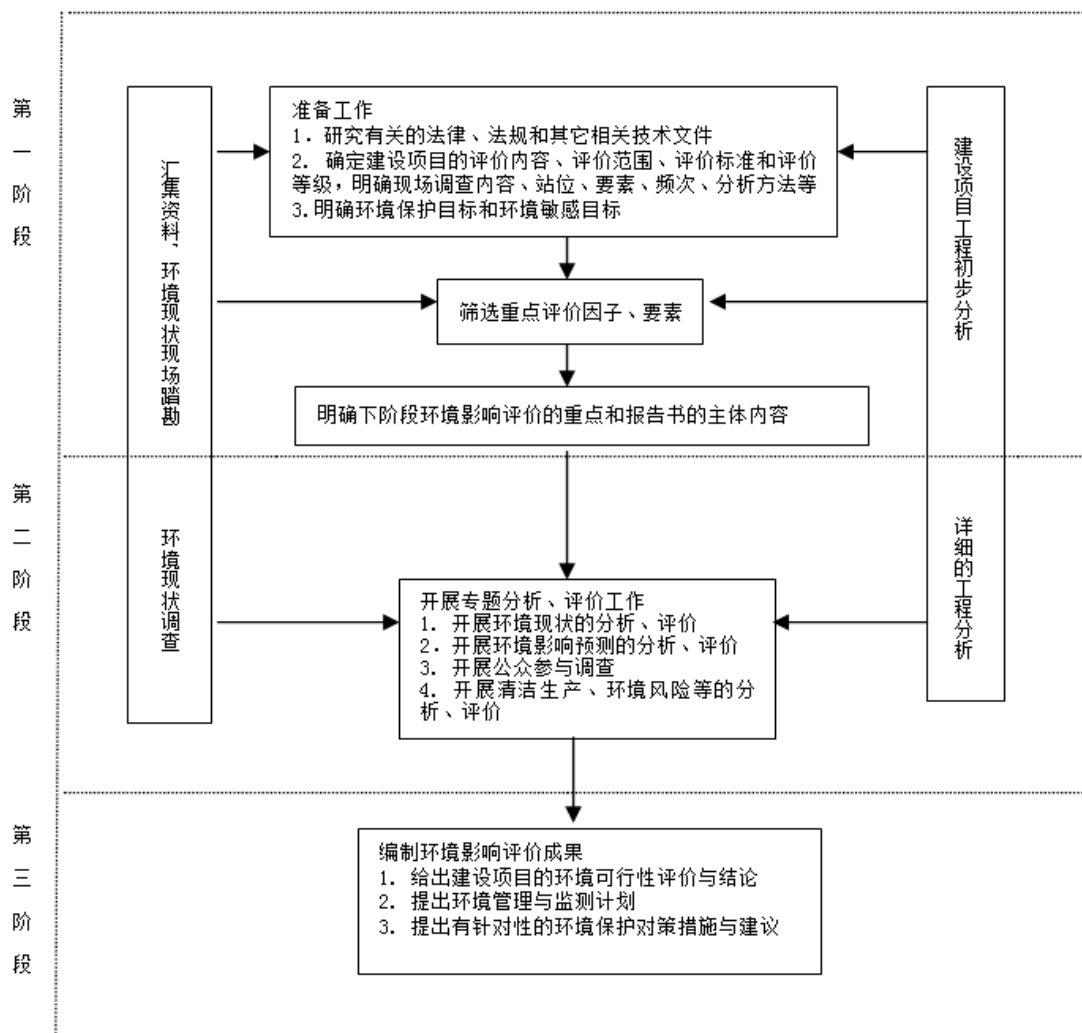


图 2.6-1 项目海洋环境影响评价工作程序框图

3 工程概况

3.1 项目概况与地理位置

3.1.1 项目概况

(1) 项目名称：三峡阳江青洲五海上风电场项目。

(2) 项目规模：项目规划装机总容量为 1000MW，拟布置 105 台风电机组，其中单机容量为 10MW 的风电机组 80 台，单机容量为 8MW 的风电机组 25 台。105 台风电机组通过 19 回 66kV 集电线路，接入本工程与青洲七海上风电场共建的±500kV 海上换流站，换流站位于青洲七场址范围内。

±500kV 直流海底集中送出电缆、登陆后陆上电缆和集控中心均不在本工程范围内，不列入本报告评价范围内。

(3) 工程总投资约 184.39 亿元。

3.1.2 建设地理位置

本工程选址于粤西海域阳江近海深水场址一范围内，阳江市阳西县沙扒镇以南海域，场址四至坐标为：111°32'18.50"E~111°39'52.20"E，20°44'44.67"N~20°54'27.72"N，场址面积约 165km²，风机外围包络海域面积约 154.03km²，场址中心离岸距离 77km，水深在 46.5m~52.5m 之间。工程地理位置图见附图 1。工程总平面布置图见附图 2。

3.1.3 项目申请用海情况

根据原国家海洋局颁布的海域使用分类体系，本项目用海类型为“工业用海”中的“电力工业用海”。项目用海方式分为透水构筑物 and 海底电缆管道用海两种方式。

根据最新宗海图测绘结果，本项目用海总面积为 600.0484hm²，其中 105 台风电机组申请用海面积为 174.6216hm²，66kV 海底电缆申请用海面积 425.4268hm²。

本项目风机的设计服务年限为 25 年，风机基础结构结构的设计年限按 50 年标准设计，工程建设期为 38 个月，本项目用海部分申请的用海期限为 29 年。



图 3.1-1 宗海位置图

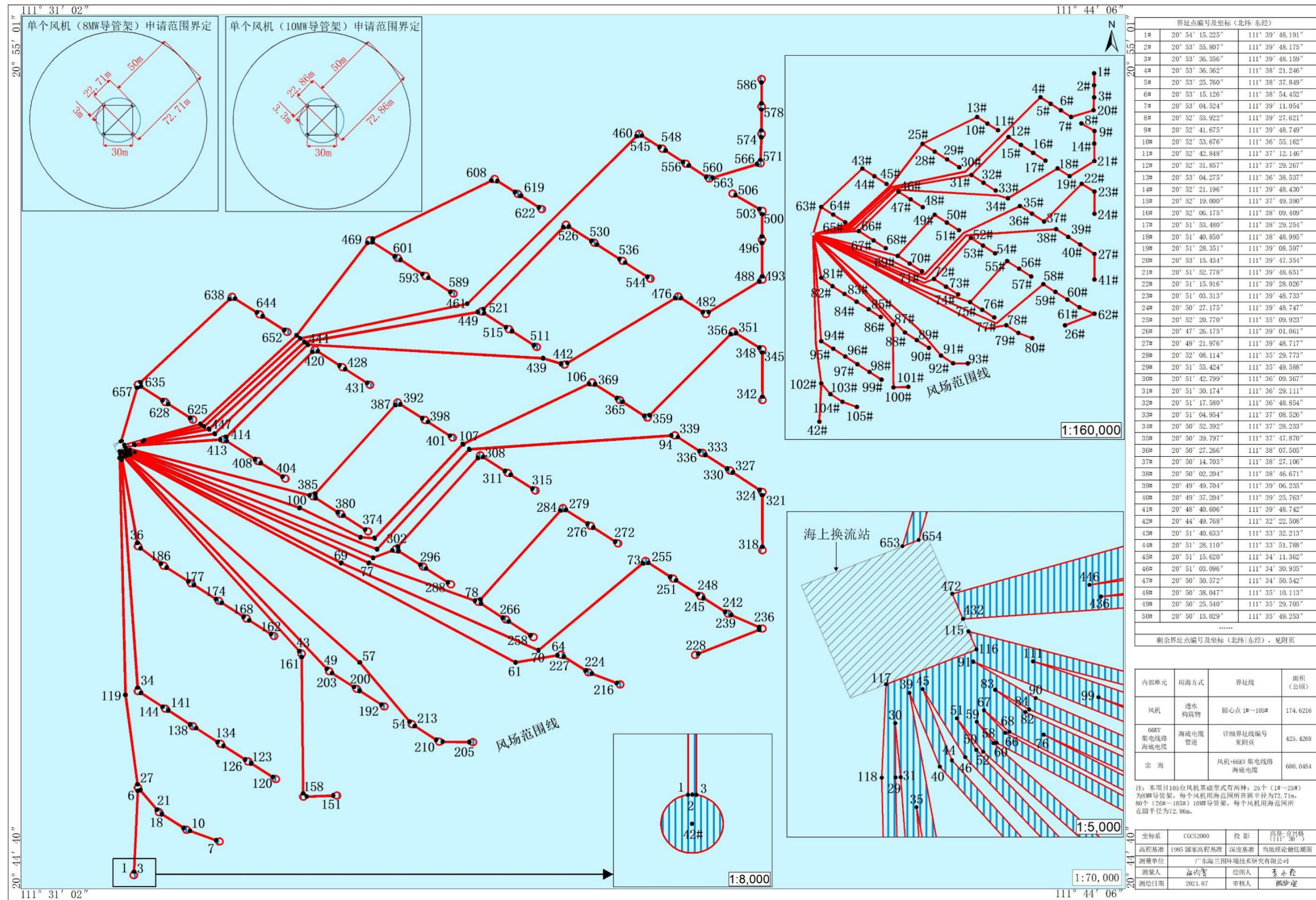


图 3.1-2 宗海界址图

3.2 周边海上风电场项目概况

3.2.1 沙扒风电场区域（阳江近海浅水场址）

本工程北侧约 34.5km 区域为阳江沙扒风电场区域，区域内共有 7 个风电场项目，装机容量总计 2300MW，分别为：三峡新能源阳西沙扒 300MW 海上风电场项目、粤电阳江沙扒海上风电项目（300MW）、明阳阳江沙扒 300MW 科研示范项目、三峡新能源阳西沙扒二期 400MW 海上风电场项目、三峡广东阳江阳西沙扒三期 400MW 海上风电场项目、三峡广东阳江阳西沙扒四期 300MW 海上风电场项目、三峡广东阳江阳西沙扒五期 300MW 海上风电场项目。沙扒风电场区域的各风电场项目情况统计见表 3.2-1，位置分布详见图 3.2-1。

表 3.2-1 周边海上风电场统计表

序号	类别	名称	规模	项目现状
1	沙扒风电场区域（阳江近海浅水场址）	三峡新能源阳西沙扒 300MW 海上风电场项目	300MW	已取得环评批复，在建
2		粤电阳江沙扒海上风电场项目	300MW	
3		明阳阳江沙扒 300MW 科研示范项目	300MW	
4		三峡新能源阳西沙扒二期 400MW 海上风电场项目	400MW	
5		三峡广东阳江阳西沙扒三期 400MW 海上风电场项目	400MW	
6		三峡广东阳江阳西沙扒四期 300MW 海上风电场项目	300MW	
7		三峡广东阳江阳西沙扒五期 300MW 海上风电场项目	300MW	
8	深水区风电场	粤电阳江青洲一海上风电场项目	400MW	已确权，未建
9		粤电阳江青洲二海上风电场项目	600MW	正在申请用海，未建
10		华电阳江青洲三海上风电场项目	500MW	
11		明阳阳江青洲四海上风电场项目	500MW	
12		三峡阳江青洲五海上风电场项目	1000MW	
13		三峡阳江青洲六海上风电场项目	1000MW	
14		三峡阳江青洲七海上风电场项目	1000MW	

3.2.2 青洲风电场区域（阳江近海深水场址一）

本工程位于规划青洲风电场区域的东南北侧。青洲风电场区域总计规划 7 个风电场项目，规划装机容量总计为 5000MW。其中三峡阳江青洲五、六、七等 3 个项目规划装机容量均为 1000MW，分别位于区域内的东南侧、西北侧和西南侧。此外，该风电场区东北侧从北向南依次为：粤电青洲一海上风电场项目（400MW）、粤电青洲二海上风电场项目（600MW）、华电阳江青洲三海上风电场项目

(500MW)、明阳阳江青洲四海上风电场项目(500MW)共4个项目。青洲风电场区域的各风电场项目情况统计见表3.2-1,位置分布详见图3.2-1。

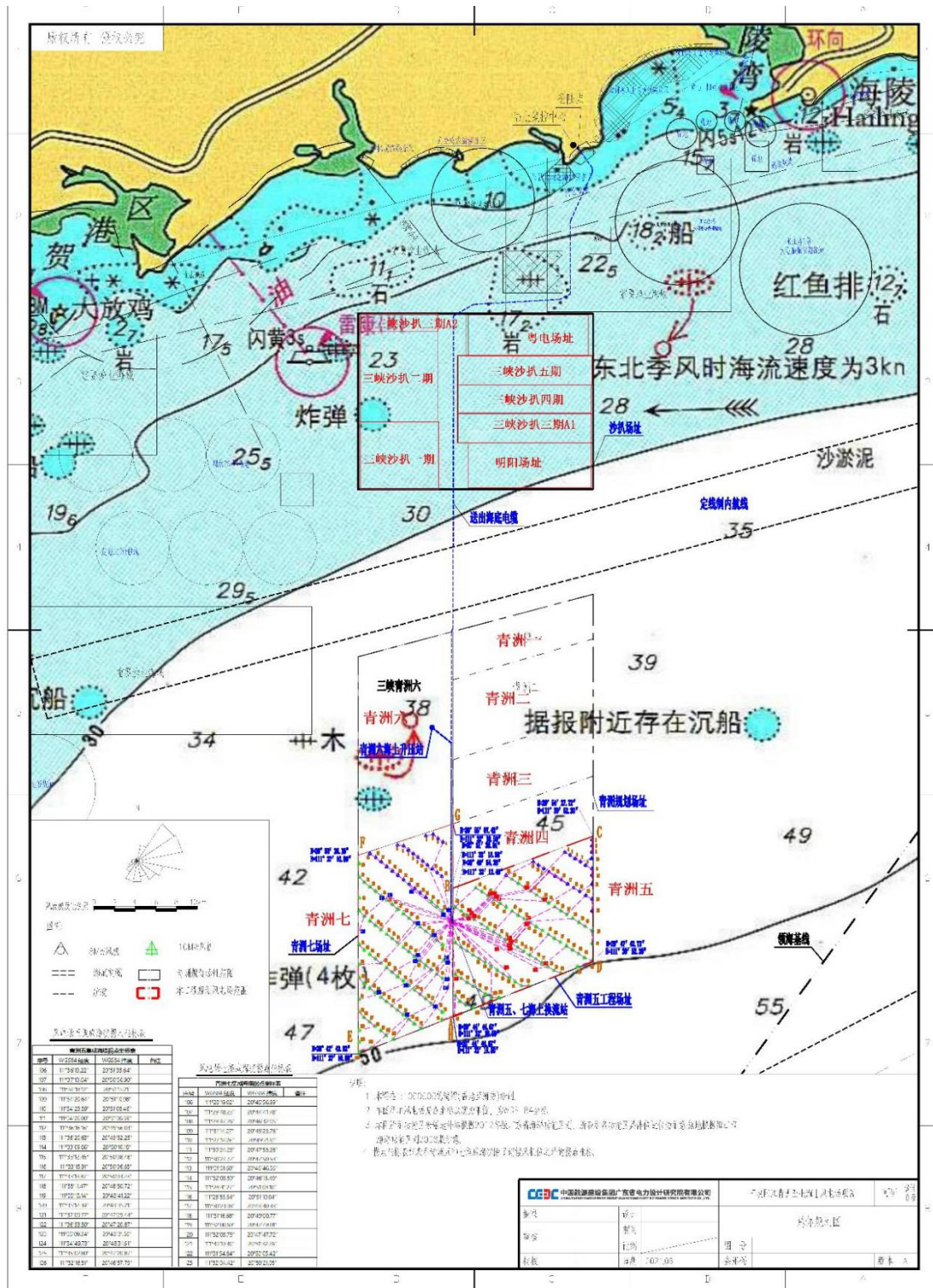


图 3.2-1 周边风电场项目分布图

3.3 建设方案

3.3.1 风电场发电量

风电场总装机 1000MW，拟安装 80 台单机容量为 10MW 的风电机组和 25 台单机容量为 8MW 的风电机组。设计年上网电量为 382653.2 万 kWh，容量系数 0.436，年等效满负荷小时数为 3827h。

3.3.2 海上换流站

本项目场址内不设置海上升压站和海上换流站，105 台风电机组通过 19 回 66kV 集电线路，接入青洲五和青洲七共建的海上换流站，换流站位于青洲七场址范围内，初步拟定位于青洲五、七风场边界偏北位置。

海上换流站采用整体式布置，包括上部结构和下部结构。上部结构采用整体浮托法安装，即整个换流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。多层平台为带支撑的钢桁架，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，平台侧面设置直升机平台。

海上换流站下部基础采用导管架基础形式，每个导管架设计 6 个主腿和 6 个次腿，12 个腿将于上部组块相连接。在 6 个主腿底部设置 6 个桩靴，其中中间腿各设置 2 个桩靴， $\phi 2800$ 钢管桩将从桩靴中打入海底。导管架主腿顶高程 19m，底高程-48m，导管架主腿采用 $\phi 2000$ 和 $\phi 2400$ 的钢管成矩形布置，在标高-12.5m 和-48m 处布置 $\phi 1400$ 的水平横撑和 $\phi 1200$ 的 X 斜撑。导管架总重约 7400 吨，钢管桩总重约 4900 吨。导管架泥面处预留一定冲刷深度的方法，结合水文专业提供相关参数，现阶段按照预留 5.83m 的冲刷深度考虑。并考虑抛碎石、砂被、砼联锁块软体排和桩周袋装砂等联合防冲刷措施。

3.3.3 风电机组选型及布置

3.3.3.1 风电机组选型

本项目根据场址风资源条件和风况特征及海上的特殊水文气象条件，结合国内外海上风机的认证状况、制造水平、技术成熟程度、运行业绩、设备制造的可行性和设备采购的积极性，以及项目进度计划的要求，选择 8MW 风电机组（WTG-3）和 10MW 风电机组（WTG6）两种机型作为本工程的推荐机型，风机设备特性见表 3.3-1。

表 3.3-1 风机参数特征表

项目	单位	WTG3	WTG5
单机容量	MW	8	10
台数	台	25	80
设计寿命	年	25	25
预装轮毂高度	m	125	140
设计风速	m/s	56.3	55
叶片数	个	3	3
叶轮直径	m	193	221
全扫风面积/ 单位扫风面积	m ²	29255/3.66	38013/3.80
切入风速	m/s	3	3
切出风速	m/s	25	25

3.3.3.2 风机桩基础结构

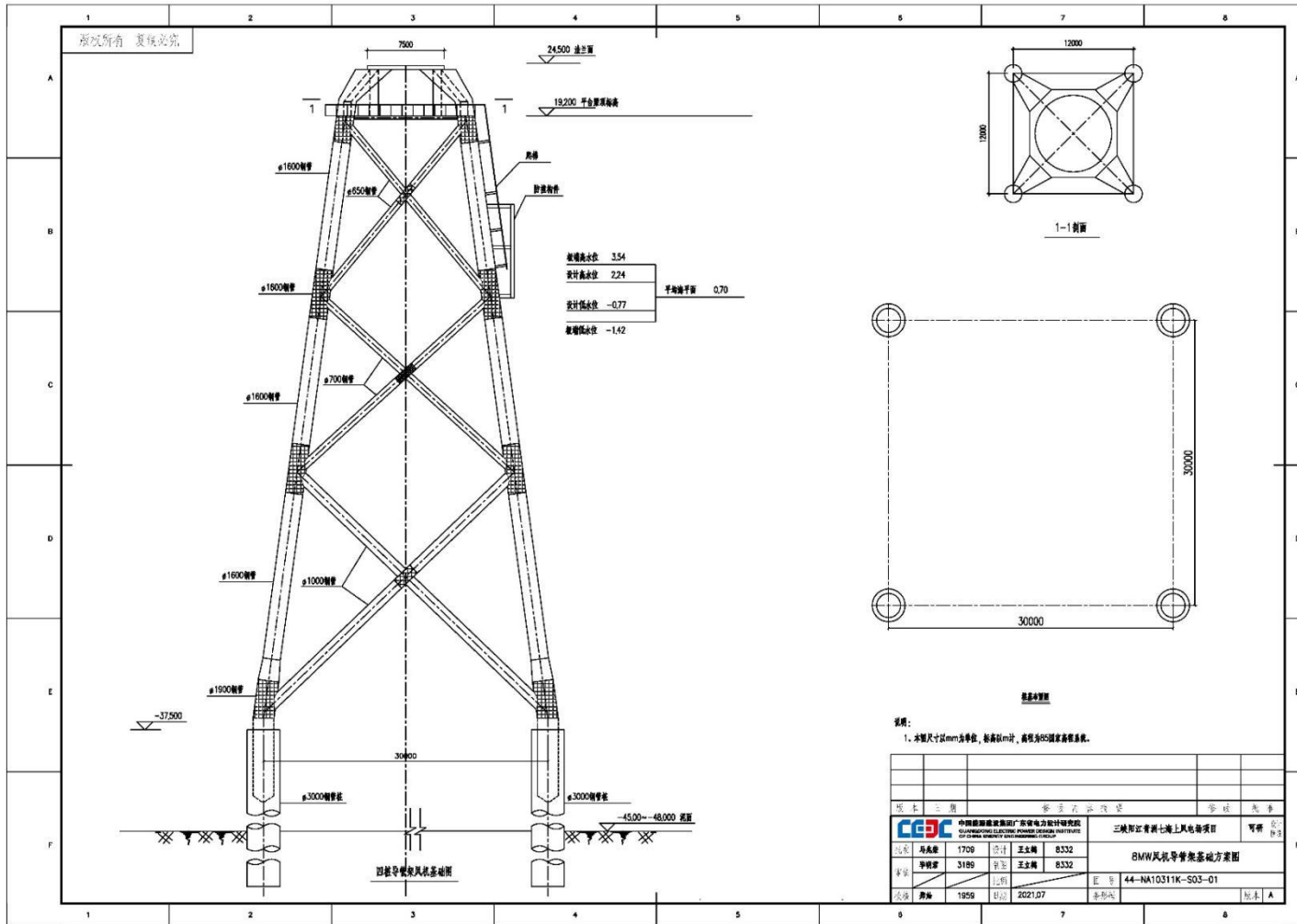
根据工程海域地质资料情况，同时考虑到水深较深，不适用单桩基础、高桩承台基础、重力式基础等，故本工程风机基础结构推荐采用四桩导管架的形式。

(1) 8MW 风机基础

8MW 风机基础共布置 25 台，采用四桩导管架结构，钢管桩根开为 30m，桩径为 3.0m，桩顶标高为-36.0m，平均钢管桩桩长约为 85m，平均入土深度约为 75m。导管架顶法兰高程为+24.5m，相邻导管腿之间通过 X 撑杆进行连接，共设置三层 X 撑，钢结构最大厚度约为 90mm，灌浆连接段长度约为 5.2m。

(2) 10MW 风机基础

10MW 风机基础共布置 80 台，采用四桩导管架结构，钢管桩根开为 30m，桩径为 3.3m，桩顶标高为-36.0m，平均钢管桩桩长约为 85m，平均入土深度约为 75m。导管架顶法兰高程为+24.5m，相邻导管腿之间通过 X 撑杆进行连接，共设置三层 X 撑，钢结构最大厚度约为 90mm，灌浆连接段长度约为 5.2m。



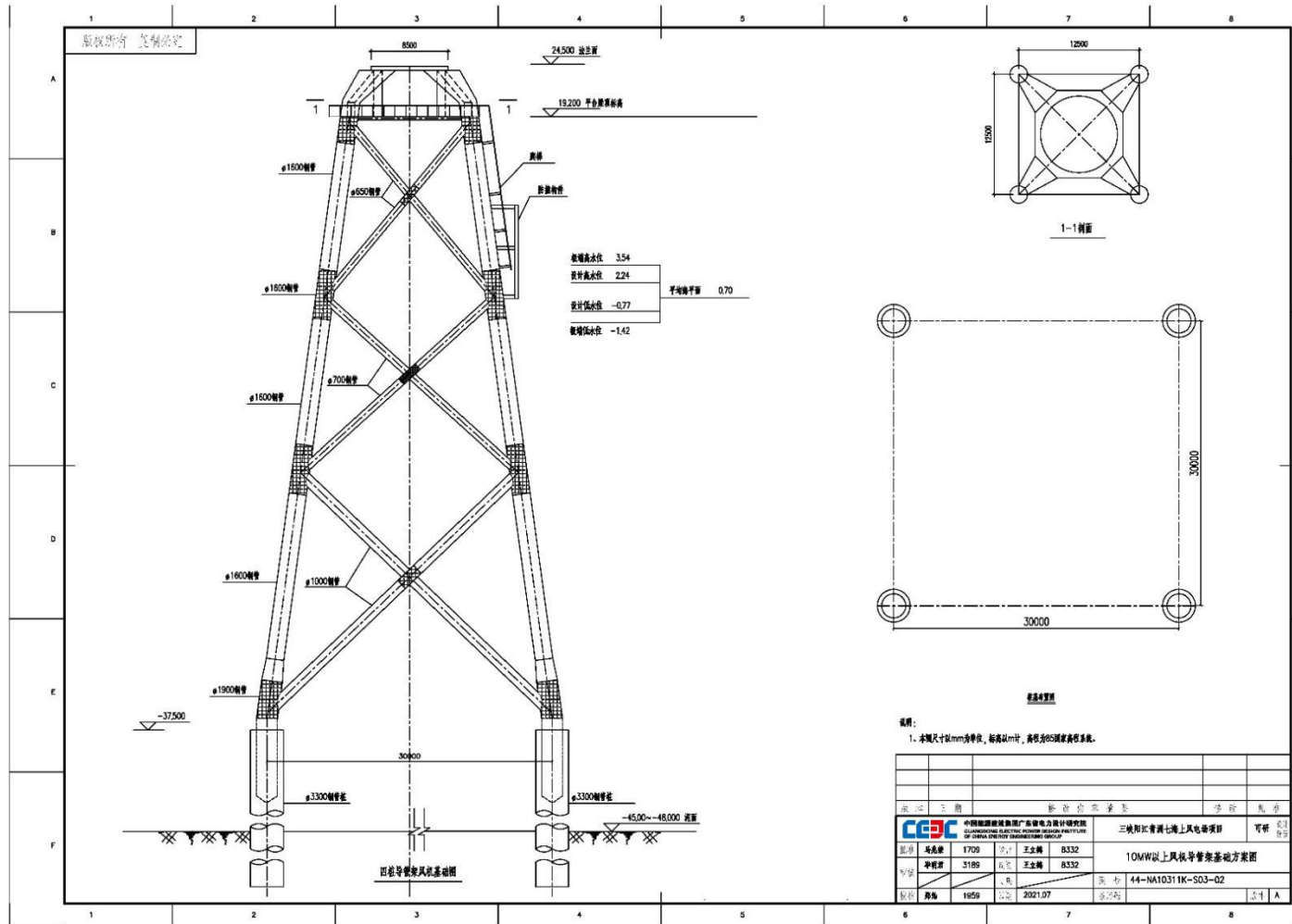


图 3.3-1 风机基础结构图

3.3.3.3 风机平面布置

本风电场风力发电机组布置按照选定的机型和台数，结合场址风能资源分布情况和场址建设条件，进行优化布置，风机机位布置详见图 3.3-2。

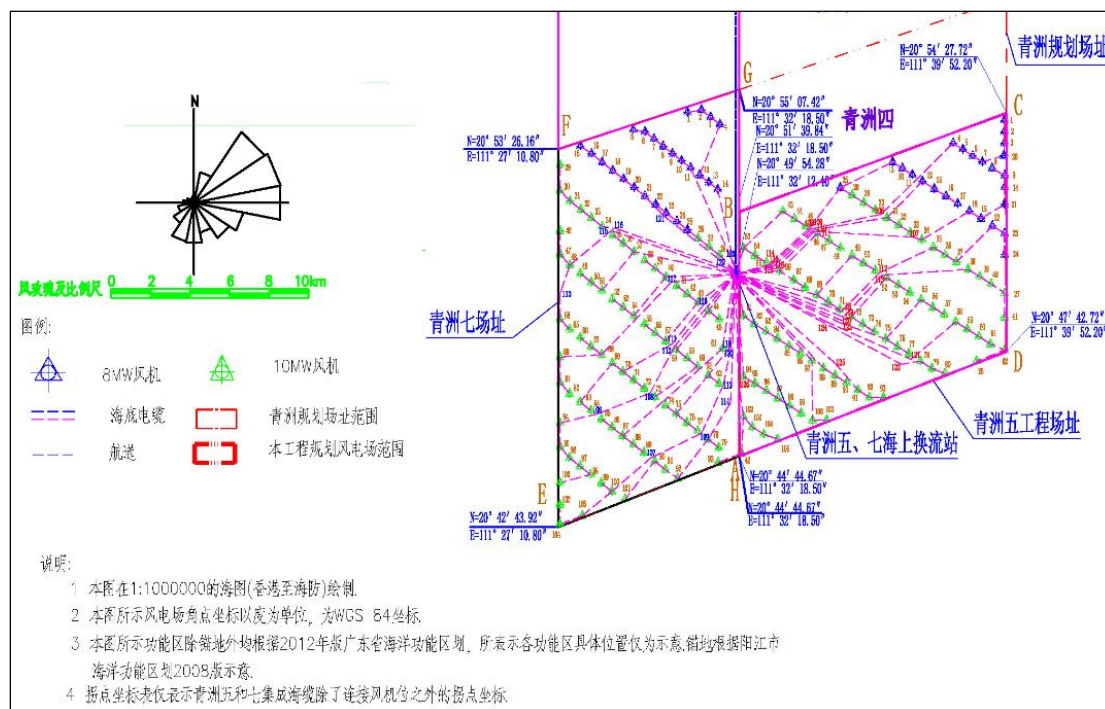


图 3.3-2 风机平面布置方案图

3.3.4 防腐设计

根据工可设计，风电场钢结构的暴露环境分为大气区、浪溅区、水下区和内部区。钢结构的单面平均腐蚀速度见下表 3.3-2。

表 3.3-2 钢结构的单面平均腐蚀速度

腐蚀分区	平均腐蚀速度 (mm/a)
大气区	0.05~0.10
浪溅区	0.40~0.50
水下区	0.12
泥下区	0.05

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-铟合金材料。风机基础结构设计使用年限 25 年，考虑施工建设期 40 个月，基于防腐材料实际可行的使用年限，本项目防腐设计年限取为 29 年（含施工期和 25 年运行期）。若 29 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。

3.3.5 陆上集控中心及运维

三峡阳江青洲五、六、七拟合建陆上集控中心，集控中心站址拟选毗邻三峡沙扒浅水区项目陆上集控中心西侧，用地约 16.66hm²，位于阳西电厂生活区以西。集控中心建设不占用海域。目前，集控中心的环境影响评价文件正在编制过程中，不在本报告评价范围内。

根据可设计方案，本工程建成后，风机运维由风机厂商负责。

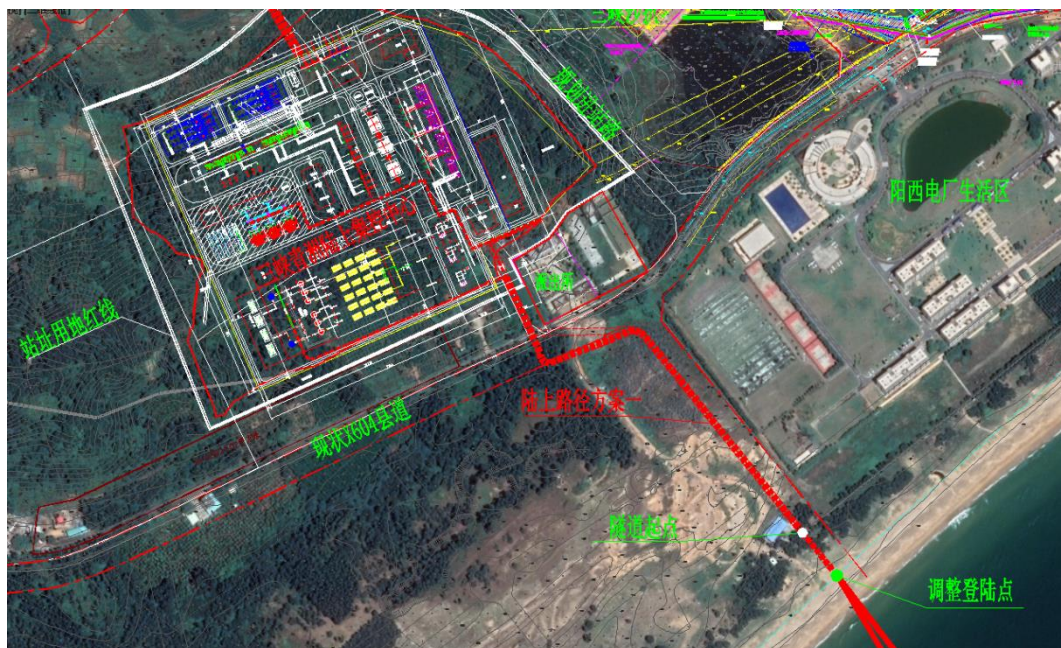


图 3.3-3 陆上集控中心位置示意图

3.3.6 电气设备

3.3.6.1 电气一次

本工程风机集电线路共 19 回，电压等级为 66kV，采用链形或树形拓扑结构。每台风电机组配套设置一套升压设备，考虑到海上风电场设备运行环境较差、腐蚀及盐雾重，在塔筒内部单独设置一层设备平台，升压设备布置于该专用平台上，升压后通过集电海缆接入海上换流站。66kV 海底电缆选用交联聚乙烯绝缘，分相铅护套，钢丝铠装，光电复合，三芯海底电缆，电缆截面从 3×95~500mm² 不等。

三峡阳江青洲五、青洲七海上风电场海缆集中送出工程推荐方案，青洲五、七集中送出拟新建 1 座海上换流站、1 座陆上换流站和海陆之间的 1 回直流电缆线路，直流海底电缆型号推荐为直流铜芯交联聚乙烯绝缘铅套聚乙烯外护套粗圆

钢丝铠装聚丙烯纤维外被层光电复合海底电缆，导体截面为 2500mm^2 ，内置光缆为 2×48 芯，海缆型号为 DC-HYJQ41-F $\pm 500\text{kV}$ $1\times 2500+2\times 48\text{B}$ 。

陆上换流站为设置 2 台 $500/330/35\text{kV}$ 容量为 $650/650/180\text{MVA}$ 的三相自耦变压器， 330kV 侧采用 330kV 侧采用双母线接线， 35kV 侧采用单母线分段接线， 35kV 母线之间设置母联。

3.3.6.2 电气二次

电气二次主要包括监控系统、继电保护、系统调度自动化、控制操作电源等主要内容。

本工程监控系统设备配置和功能要求按照陆上“无人值班（少人值守）”和海上“无人值守”的运行管理方式设计，风电场计算机监控系统采用分层分布式结构，监控范围包含风电机组及其升压设备、海上升压变电站设备及陆上集控中心设备。

继电保护主要有风电机组及其升压设备继电保护、站内元件保护、系统继电保护和自动装置。

系统调度自动化主要有远动系统、电能量计量系统、同步相量测量系统、功率预测系统等。最终应以接入系统报告及其审查意见为主。

风电场上网关口计量点设在风电场陆上集控中心联网线路出线侧，按 1+1 原则配置 0.2s 级电子式双方向多功能电能表。

控制操作电源主要有直流电源、电力专用不间断电源、事故照明逆变电源等。

3.4 工程施工

3.4.1 施工条件

3.4.1.1 材料供应条件

本工程所用的钢材、油料、水泥、砂石骨料等施工原材料和风电机组安装所需的各类辅助材料可以从当地或周边地区直接采购。风电机组基础钢结构需要材质要求较高的钢材，为保证钢材质量，可选择直接从大型钢厂进行采购。

钢材：本工程用量最大的建筑材料是钢材，广东省内拥有多家钢铁企业，例如：广钢、宝钢、珠钢、裕丰，其中广钢集团拥有全国第三大建筑钢材生产基地，具备 150 万吨年生产能力。广东省各地市拥有多家大规模的钢铁市场，另外，大宗的钢材也可从国内其它省市进行采购。

油料：工程施工的船舶机械所耗用的油料可直接从阳江市当地的油料供应公司购买运输至施工现场。

水泥及砂石骨料：本工程陆上集控中心、运维码头及施工辅助工程等所需水泥及砂石骨料的消耗量不大，可以从阳江市或阳西县周边有多家大型的水泥、砂石骨料场，直接采购并运输至施工现场。

其它零星材料：阳江市位于广东省西南沿海，紧邻珠三角，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阳江市采购。

灌浆材料：本工程所需的灌浆材料所需量较小，采用外购方式的方案。

综上，阳江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。

3.4.1.2 施工交通运输

(1) 场外交通运输

阳江市交通便利，地理位置优越。有着较发达、完善的公路、铁路、水运等对外交通运输体系，是中国东南沿海重要的经济、贸易、港口、旅游城市。

本工程所处的阳西陆上道路完善、交通便利，可满足工程材料、构件设备陆上运输需要，工程施工过程中可采取水陆联运的方式将材料、构件设备等直接运输到施工基地及施工现场。

(2) 场内交通运输

本工程风电机组布置区属于近海的区域，场内交通主要为风电场施工码头与风电场之间以及海上风电机组之间的设备及物资的海上运输。本工程风电机组布置区域海底高程在理论最低潮面以下，水深条件可满足常规船只正常运行，与阳江港之间可通过进出港航道相互联系，因此场内交通运输通过船只自航或拖轮牵引进行移位与航行。

3.4.2 施工布置

本项目施工主要项目有大型钢结构制作、风机基础施工、风机机组安装、66kV 场内海缆敷设施工等。

3.4.2.1 施工基地

本工程及陆上集控中心建设共设置 2 个施工临建设施区，其中 1#施工临建设施区布置在陆上集控中心附近，主要为陆上集控中心工程的临时设施，包括临

时生活办公设施、综合加工厂等。集控中心项目另行立项，另行编制环评文件，故 1#施工基地不属于本工程范围。

2#施工临建设施区布置在阳江港，主要为风电机组设备临时堆场、拼装区与钢结构临时堆场、综合仓库等。

3.4.2.2 施工场地

根据工可设计，本工程施工区域包括施工现场作业区、金属结构加工区、施工临建设施区等。

(1) 施工现场作业区即风电场场址，现场主要布置船舶抛锚作业区、警戒区及设施等。为方便施工，拟在现场布置多功能驳，作为临时办公、休息场地。

(2) 本工程风电机组基础及海上升压平台等大型钢结构在江苏、广东等地区大型钢结构生产基地制作堆放，可以直接利用焊接加工厂场地，不另增场地。

(3) 1#施工布置区设置在陆上集控中心附近，主要设施有综合仓库、综合加工厂、电气设备专用仓库、临时办公生活用房等。2#施工布置区设置在阳江港海陵港区码头基地后方场区内，主要设施有综合仓库、综合加工厂、风电机组设备堆场、风电机组部件组装场、钢结构临时堆场、电缆及工器具专用仓库、临时生活办公用房等。

3.4.3 施工方法

3.4.3.1 风机基础施工

本阶段基础施工方案按 105 台导管架基础。四桩导管架基础需布置 4 根钢管桩，钢管桩桩径为 3.0~3.3m，单个基础的钢结构重量（不含钢管桩）基本在 1400t 左右。本工程导管架底面根开为 30m×30m，高度约为 70m，而且四桩导管架风机基础钢管桩壁厚一般都在 35mm 以上。

由于导管架通过 4 个插入段立管分别插入 4 根基础钢管桩内，与钢管桩通过灌浆进行永久连接，所以应采用先桩法安装，即先沉桩，后安装导管架。

导管架基础施工工艺流程为：辅助导向平台安装→钢管桩沉桩施工→辅助导向平台拆除→安装导管架→灌浆。

(1) 钢管桩制作及运输

钢管桩考虑在工程场区附近的大型钢结构制造企业进行卷制、焊接。钢管桩制作采用常规的直缝加工制作工艺，其加工制作工艺为：下料一切割一卷板一半

圆对接—短节拼接—无损探伤—抛丸除锈—涂刷防腐料—整桩总拼—钢管桩出运。

完成建造的桩基础在场内采用轨道、台车进行运输、装船并采取可靠措施固定。采用 8000t 级以上运输货船运输，每次运输 8 根钢管桩至风电场，供 2 台风机基础施工使用。

（2）钢管桩沉桩

本工程拟采用起重船+辅助工艺定位导向架设施的施工方案。其中以浮式起重船配套导向架为主流船机设备配置。

本工程钢管桩顶位于水面以下，为保证沉桩的施工质量，拟在钢管桩顶部加装送桩器，沉至设计标高后依次吊离桩锤和送桩器，而后拆除导向架。

具体沉桩过程中，管桩可在自身重量的作用下插入海床一定深度，桩顶的液压打桩锤放置后，锤重亦可以让钢管桩基础下沉一定的量。在正式打桩前，应采用小功率轻打，并在打桩过程中，随时监测桩身的垂直度，再逐步加大功率至额定功率打桩。在靠自重、锤重自沉一定深度以及开始打桩的初期，垂直度控制相对容易，且初期的垂直度控制对于控制桩身最终垂直度的敏感性非常大。一旦发现倾斜超过允许值，应停止沉桩，上拔，通过抱桩扶正装置进行纠偏。

（3）导管架制作运输

导管架制作及拼装采用卧式建造，建造完成后运输至码头前沿，采用 3000t 级及以上的浮式起重船将导管架翻身立直后，吊装至运输船。

（4）导管架海上安装

导管架运输至机位处后，由 4000t 级以上浮式起重船进行吊装。首先测量定位，确定钢管桩位置，下放水下监控仪器，全程实时获取水下视讯，指挥控制导管架安装动作。导管架上系结缆风绳，在工作船上进行动作调整，配合接收的水下视讯信息，防止导管架体与基础钢管桩发生碰撞，并最终将导管架下部桩尖锥体插入钢桩内。导管架水下安装过程中，全程测评合格后，导管架初步固定，完成导管架安装。

由于本工程采取先沉桩后安装导管架的施工方案，不存在沉桩造成导管架附属设施破坏的风险，为减少海上作业时间，导管架主要附属构件在加工场内直接与导管架体安装连接，整体出运。

（5）灌浆施工

本工程灌浆施工初步考虑采用混凝土砂浆。由潜水员在水下将注浆管与套管下部的注浆孔进行连接。钢套筒与钢管桩相连接部位之间的灌浆由高压泵泵送。压力灌浆工艺采用工作船上的灌浆泵进行施工。灌浆要通过在桩与套管之间的环向空间灌注高强灌浆材料，灌浆作业采取由下至上的方向进行灌浆。导管架灌浆系统包括灌浆管线和封隔器气胀控制管线等部件。在导管架装船运输前，要对所有灌浆管线进行压力试验。

表 3.4-1 桩基础施工主要船机配置表

序号	机械设备名称	单位	型号规格	数量	备注
1	浮式起重船	艘	3000t 级及以上	2	钢管桩起吊及沉桩、
2	浮式起重船	艘	4000t 级及以上	1	主体导管架吊装
3	打桩锤	套	1200kJ	2	
4	自航甲板驳船	艘	不小于 10000t 级，且船宽满足导管架底宽要求	3	导管架、钢管桩运输
5	多功能驳船	艘		2	灌浆
6	自航甲板驳船	艘	10000t 级	1	附属设施运输
7	拖轮	艘	2000HP 及以上	3	拖运、移位船只
8	交通艇	艘		3	接送人员
9	抛锚艇	艘		4	甲板驳等起抛锚

3.4.3.2 风电机组安装

本工程共安装 105 台风力发电机组。风机机组安装分为分体安装和整体安装方案。本阶段推荐分体安装。

(1) 风电机组组件预拼装

为减少海上操作的时间，提高海上作业效率，风电机组设备可先在陆上进行部分部件的组装工作。本工程初步选择阳江港作为预拼装基地。风电机组底节塔筒及内部电气设备在码头预组装，基地预拼装和部件过驳采用 750t 履带吊，150t 轮胎吊配合。

(2) 风电机组部件场内运输

预拼装部件及其他散件采用 10000t 级自航式甲板驳运输。

(3) 风电机组安装

本工程风电机组设备采用分体安装，安装设备采用自升降式支腿平台船。

自升式支腿平台船分体式安装方法：平台船到达拟安装机位处后，完成桩腿预压、入泥下沉、顶升、平稳等工序后，船舶上升至海面以上形成稳定的操作平台，进行风电机组各零散设备的组装工作。

本工程采用单叶片吊装方案，风电机组吊装顺序是：下段塔筒→中段塔筒→上段塔筒→机舱+轮毂组合体→叶片。单叶片吊装时，叶片吊至水平位置与轮毂对接，安装第一片叶片后盘车装置自动旋转轮毂之下一个叶片吊装位置。

在塔筒设备安装方面，应掌握安装期间工程区气象条件，以确保安装作业安全。安装时，先利用吊车提升下塔筒，慢慢将塔筒竖立，使塔筒的下端准确座落在基础的法兰钢管上，按设计要求连接法兰盘，做到牢固可靠。中塔筒、上塔筒的安装方法与下塔筒相同。

机舱安装时，施工人员站在塔架平台上，利用吊机提升机舱，提起至安装高度后，再慢慢下落，机舱应完全座落在塔筒的法兰盘上，按设计要求连结法兰盘。所有安装作业完成并经验收合格后，移去施工设施，进行风力发电机组调试工作。

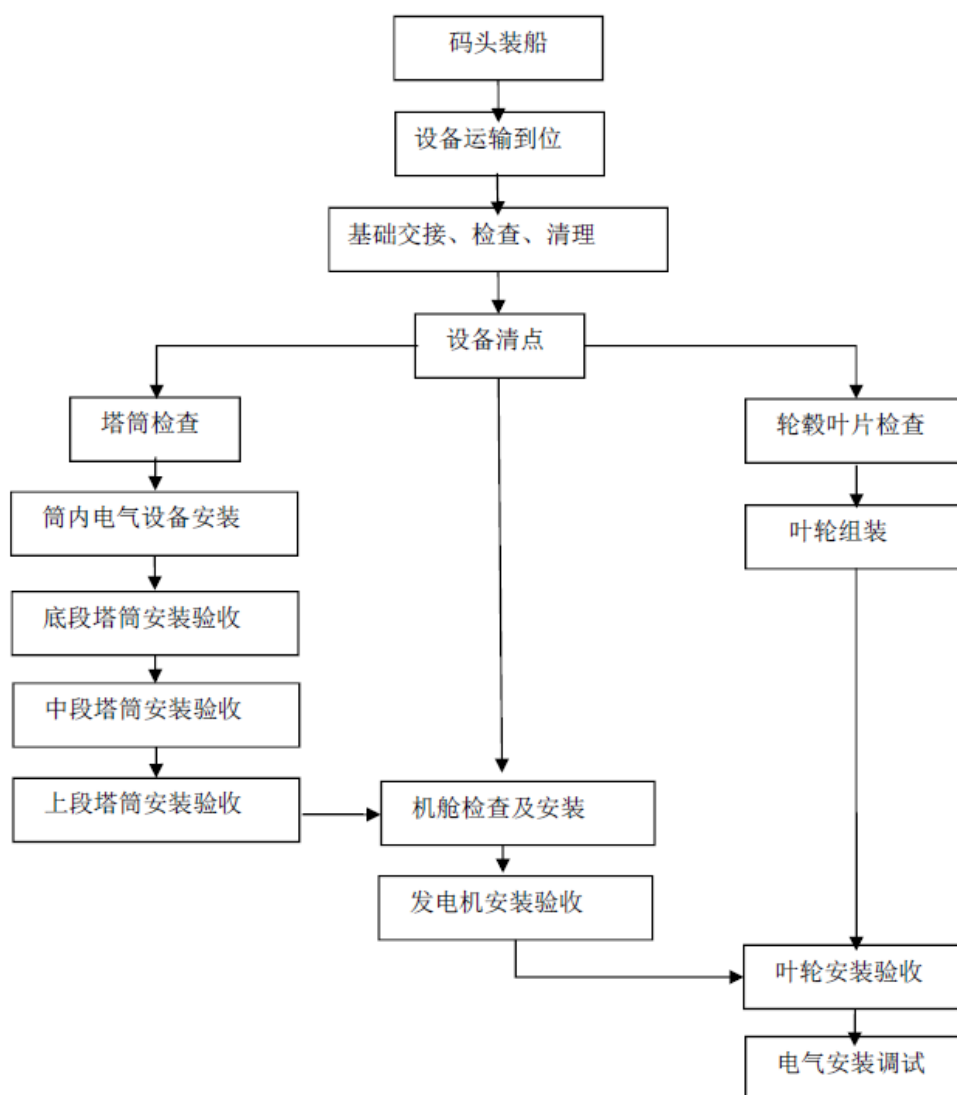


图 3.4-1 风机分体吊装安装施工工艺流程图

表 3.4-2 分体吊装主要施工设备配置表

序号	船机设备名称	单位	型号规格	数量	用途
1	自升降式支腿平台船	艘		1	8MW 风机安装
2	自升降式支腿平台船	艘		2	10MW 风机安装
3	自航式甲板驳	艘	10000t	3	风电机组散件运输
4	交通艇	艘		2	接送施工人员
5	抛锚艇	艘		3	船舶抛锚
6	轮胎吊	台	150t	1	辅助预拼装及过驳
7	履带吊	台	750t	1	预拼装及过驳
8	120kw 柴油发电机	台		5	风电机组拼装应急电源

3.4.3.3 海底电缆敷设

本工程电缆主要为连接风电机组与风电机组之间、风电机组与海上换流之间的 66kV 海缆。

由于海床为柔软的沉积淤泥层，根据锚重与投入淤泥层深度的关系，电缆埋深为 2~3m 之间。施工进度正常铺设速度为 3~5m/min。

(1) 海缆敷设

66kV 海缆敷设区域主要为近海深水区域，考虑采用专业海底电缆敷设船配备牵引式高压射水埋设机进行敷埋施工，施工船依靠水力埋设机的开沟犁挖沟后敷设。铺缆船铺缆时，开沟犁和高压水联合作用形成初步断面，在淤泥坍塌前及时铺缆，一边开沟一边铺缆，根据电缆直径选择犁的大小，开沟犁宽 20~40cm。电缆敷设时采用 GPS 定位系统进行定位，牵引钢缆的敷设精度控制在拟定路由 ±5m 范围内。

电缆敷设之后，在埋深少于 2m 处采用覆盖水泥压块或土工网装碎石的方式保护电缆。海缆两端采用海缆铠装锚固装置对海缆钢丝铠装进行固定。

表 3.4-3 海缆施工主要船机配置表

序号	船机设备名称	单位	型号规格	数量	用途
1	2 号铺缆船	艘		1	66kV 海缆敷设
2	抛锚艇	艘		2	施工船抛锚
3	拖轮	艘	2000HP	3	拖运施工船
4	卷扬机	台		4	电缆牵引
5	交通艇	艘		3	接送施工人员

(2) 海缆保护

①海缆敷设完成后，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。

②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。

3.4.3.4 拆除施工

本项目设计生产期为 25 年。生产期结束后，风电场运行退役后拟进行拆除，拆除范围包括但不限于组成海上风电场的风力发电机组、塔架、基础、升压变电站以及其他相关设施、器材、配件、厂房及设备。

拆除海面以上风机设备塔架等，风机基础拆除至海底泥面以下 3m 处，基本恢复本风电场建设前的海底地貌。风机拆除方案考虑采用整体拆除，由于风机拆除对船体稳定性要求不高，可采用起重船实施整体拆除。风机基础的拆除主要将钢管桩在水下切割。拆除工程的环境影响在施工前另行编制环境影响评价文件。

3.4.4 施工进度

本工程于 2021 年 10 月底开工，2023 年 6 月底首批并网发电，2024 年 12 月底完工，首批发电工期 20 个月，总工期 38 个月。

3.5 工程运行

项目运行期，风电场由计算机控制完成发电、升压、输电等工序。为保证风电场安全、有效的运行，需对风机及相关设备进行计划维修、计划外维修和大修等维护工作。

风机维护分为日常维护、定期维护和特殊维护。日常维护包括检查、清理、调整及临时故障的排除。定期维护主要是恢复设备和系统功能，使设备处于良好的工作状态。特殊维护是由于特殊的情况引起。

计划维修工作主要包括更换齿轮油、轴承、转子等部位的润滑油，更换废旧的蓄电池、熔断器及制动片等。风机运行期产生的废弃物分类及处理处置方式见表 3.5-1。

风机日常维护（以更换润滑油为主）由维修船只来进行，更换齿轮油及轴承等部位润滑油时，将进口软管与排油阀连接，废油通过软管泵入维修船上专设的废油箱，废油泵出后更换油滤网。新润滑油用另一根清洁软管由泵送入齿轮箱或轴承。

计划外维修主要指计划外故障的修理；大修是预计的非定期维修，按照设备运行要求对主要部件（叶片、齿轮箱、发电机）在风机计划寿命期间进行计划性维修。

按计划维修工作计算，单台风机正常运行期间废弃油脂产生量为 307L/a，整个风电场运行期废弃油脂产生量则约为 32.3m³/a。

表 3.5-1 风机运行期主要废弃物产生处理情况

分类		序号	废弃物项目	是否危废	收集工具	处理方式
可回收利用废弃物	金属类	1	废设备零部件		贮存箱	集中收集后交专业再利用企业回收利用
		2	报废工具			
		3	废旧电线电缆			
		4	废蓄电池	√		
		5	制动片			
不可回收利用类废弃物	有害固体废弃物	5	沾染油脂、油漆的手套、废布、棉纱	√	贮存箱	集中收集存放，交有资质单位处理
		6	废油漆桶（含废油漆）	√		
		7	废稀释剂桶（含废稀释剂）	√		
		8	废塔筒照明灯管	√		
		9	熔断器			
	有害液体废弃物	10	齿轮箱润滑油	√	油桶	集中收集存放，交有资质单位处理
		11	液压油	√		
		12	冷却液	√		
		13	轴承润滑脂	√		
	无害固体废弃物	14	生活垃圾		垃圾桶	集中收集，交环卫部门清运

表 3.5-2 油类物质更换表

序号	油品名称/型号	使用位置	更换维护周期	WHC 等级
1	齿轮油(美孚 Mobilgear SHC XMP320)	液压站（主齿轮箱用）	每年检验，3-5年更换	1
2	液压油（壳牌 Tellus Arctic 32）	液压站（液压变桨、刹车系统）	每年检验，2-3年更换	1
3	齿轮润滑油（壳牌 Shell Omala HD150）	偏航齿轮箱	每年检验，3-5年更换	1

注：DIRECTIVE 91/155/EEC 水体危害等级界定标准

WHC	等级	评价
NWH	0	非水污染
WHC	1	轻微水污染
WHC	2	(一般)水污染
WHC	3	深度水污染

3.6 工程特性表

本项目工程特性见表 3.6-1。

表 3.6-1 工程特性表

名称		单位 (或型号)	数量	备注
风电场 场址	经度	111.453 E~111.525 E		
	纬度	21.280 N~21.360 N		
	平均海平面高程	m	0.7	
	水深范围	m	46.5m~52.5m	
	平均高潮位	m	1.43	
	平均低潮位	m	0.04	
	设计高潮位	m	2.06	
	设计低潮位	m	-0.45	
	50 年一遇极值高潮潮位	m	3.26	
	离岸距离(几何中心)	km	77	
	多年平均气温	°C	22.5	
	历史最高气温	°C	38.3	
	历史最低气温	°C	-1.4	
	年平均风速(125m 高度)	m/s	8.42	
	空气密度(125m 高度)	kg/m ³	1.170	
	年平均风功率密度(125m 高度)	W/m ²	545	
	50 年一遇最大风速(125m 高度)	m/s	55.0	
	50 年一遇极大风速(125m 高度)	m/s	71.5	
盛行风向			ENE	
主要 设备	风电机组 1	推荐机型	MySE8.0-195	
		台数	台	25
		额定功率	kW	8000
		叶片数	片	3
		风轮直径	m	193
		切入风速	m/s	3
		额定风速	m/s	10.3
		切出风速	m/s	25
		设计极大风速	m/s	77.28
		轮毂高度	m	125
		发电机额定功率	kW	8750
		发电机功率因素		±0.95
	额定电压	V	1140	
	风电机组 2	推荐机型	MySE10-230	
		台数	台	80
		额定功率	kW	10000
		叶片数	片	3
		风轮直径	m	228
		切入风速	m/s	3
		额定风速	m/s	11
		切出风速	m/s	25
	设计极大风速	m/s	77.28	

名称		单位 (或型号)	数量	备注	
升压 变 电 站		轮毂高度	m	140	
		发电机额定功率	kW	10800	
		发电机功率因素		±0.95	
		额定电压	V	1380	
	主 变 压 器	型号	SS-700-525/66-66		
		台数	台	3	
		容量	MVA	700/350-350	
		额定电压	kV	525/66-66kV	
		出 线 回 数 及 电 压 等 级	出线回路数	回	1
电压等级	kV		±500		
土 建	风 电 机 组 基 础	台数	台	105 台	
		型式	四桩导管架基础		
		地基特征	软土地基		
	升 压 变 电 站 基 础	型式	导管架基础		
		地基特征	软土地基		
施 工	主 要 工 程 量	土石方开挖	m ³	465000	
		土石方回填	m ³	135000	
		钢材	t	299575	
		海底电缆敷设	m	488.38	
		新/改建公路	m	145	
		新/改建码头	座	/	
	施 工 期 限	总工期	月	38	
		第一批机组发电	月	20	
概 算 指 标	静态投资(编制年)		万元	1792264	
	工程总投资		万元	1843895	
	单位千瓦静态投资		元/kW	17923	
	单位电量投资		元/kWh	4.82	
	设备购置费		万元	924379	
	建安工程费		万元	748571	
	其他费用		万元	119314	
	价差预备费		万元	/	
	建设期利息		万元	51631	
财 务 指 标	本期工程装机容量		万 kW	100	
	本期工程年上网电量		亿 kW.h	38.26	
	年等效满负荷小时数		h	3827	
	平均上网电价(含增值税)		元/kW.h	0.453	

4 工程分析

4.1 生产工艺过程分析

4.1.1 施工期

4.1.1.1 风机机组施工工序与产污分析

风机机组施工工序和产污环节见图 4.1-1。

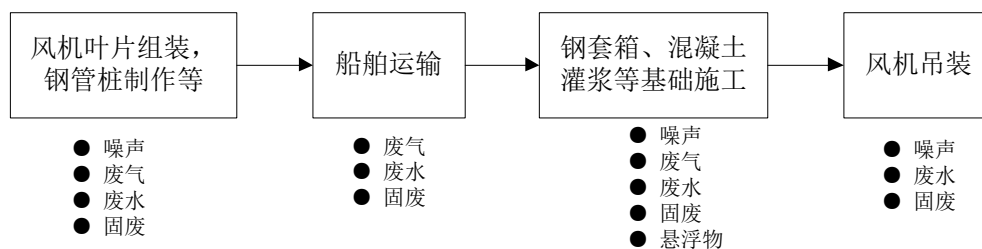


图 4.1-1 风机机组主要施工工序及产污环节

4.1.1.2 电缆施工

海底电缆施工工序和产污环节见图 4.1-2。

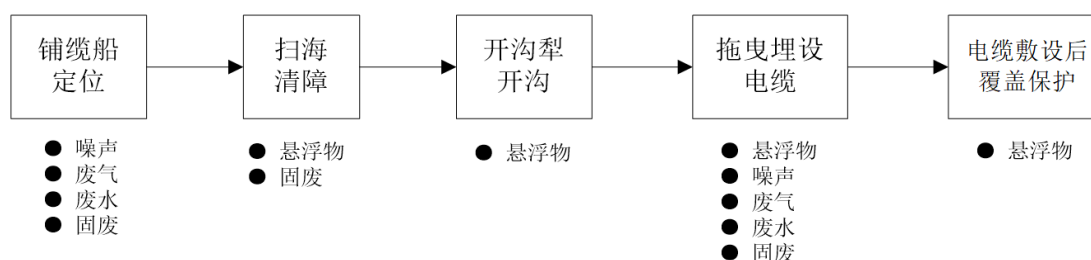


图 4.1-2 电缆主要施工工序及产污环节

4.1.2 运行期

风电场运行工序和产污环节见图 4.1-3。

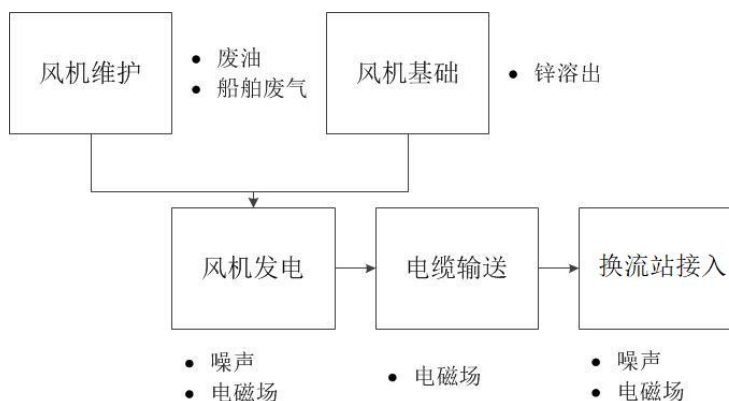


图 4.1-3 风电场主要运行工序及产污环节

4.2 工程各阶段环境影响分析

4.2.1 施工期环境影响分析

4.2.1.1 对海域水质和沉积物影响

(1) 风机基础施工

本工程共布置 105 台风电机组，本工程风机桩基用液压打桩锤施打沉桩，沉桩施工振动会导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，并可能影响局部沉积物环境。根据类似工程实际施工经验，打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加 (>10mg/L) 范围一般在半径在 100m 内。

本项目桩基础直径为 3.0~3.3m，预计沉桩施工过程中会导致桩基础周边 1m 范围内厚度约为 0.5m 的沉积物产生明显松动，沉桩施工时间约 1h，施工振动导致沉积物起悬比取 10%，则打桩施工悬浮物源强约为 0.67kg/s。

此外，软体排上铺设、沙袋和碎石及块石抛填等也会造成周边海域悬浮物浓度增加。抛石施工作业时产生的悬浮泥沙产生量可按下式计算：

$$Q = E \times c \times \alpha \times \rho$$

式中：Q —— 围堰（或护岸）抛石作业悬浮泥沙产生量，kg/h；

E —— 围堰（或护岸）抛石作业效率，m³/h；

c —— 石料中泥土含量，%（体积），本项目取 10%；

α —— 泥土进入海水后悬浮泥沙产生系数，以 20% 计；

ρ —— 泥土密度，取 1450kg/m³。

本工程抛石单个作业面效率约为 120m³/h，石料中泥土含量取 10%，则根据上式计算，抛填作业悬浮泥沙源强约为 $Q=120 \times 1450 \times 0.1 \times 0.2 / 3600 = 0.97 \text{kg/s}$ 。

(2) 海底电缆敷设

本工程海底输电电缆逐条进行敷设，海缆敷设时开沟犁开槽会导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。在海缆敷设前，对废弃缆线、插网、渔网等障碍物进行扫海清除，一般仅在泥面上层操作，引起的海底扰动较小。

本工程海底电缆通过“埋设犁”敷设在泥面下 2~3m 深处，海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，正常铺设速度控制在 3~5m/min，按不利条件考虑，埋深取 3m，海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，敷设速度取 5m/min，根据类似工程施

工经验,单条电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 20% 计。根据国家海洋局南海调查技术中心对工程范围内沉积物粒径的调查,工程海域表层沉积物粒度相差不大,中值粒径约为 0.015mm,沉积物干容重 γ_d 按照公式 $\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$ 计算, D_{50} 为泥沙中值粒径。则泥沙干容重为 811.5kg/m³,由此计算得到单条电缆施工的悬浮物源强为 16.2kg/s。

(3) 钢管桩吸泥排放及灌浆连接

钢管桩插打完成后,需用水泵抽出钢管桩及送桩钢管内海水,清除多余泥土,此部分泥水混合物运回岸上处理,不在海区排放。同时,桩基础与风机导管架间需进行灌浆连接,所灌注混凝土砂浆可能发生泄漏、溢出,进而可能对桩基附近水质和沉积物环境造成污染。

(4) 施工污废水

① 船舶污废水

风电场海上施工需动用较大量的海上施工船舶进行作业,施工过程中各类施工船舶将产生一定的船舶污废水、船上人员生活污水及船舶油污水。

根据《水运工程环境保护设计规范》(JTS149-2018)船舶舱底油污水水量表,计算船舶油污水产生量见表 4.2-1,船舶油污水的含油浓度为 1000mg/L~3000mg/L 不等,按平均值计算,根据施工组织计划,本工程施工船舶油污水产生量为 28.92t/d,油类污染物产生量为 57.84kg/d。

表 4.2-1 船舶油污水产生量

船舶吨级 (t)	船舶数量 (艘)	舱底油污水产生量 (t/d 艘)	油污水产生总量 (t/d)
500	22	0.14	3.08
500~1000	2	0.21	0.42
1000~3000	2	0.54	1.08
3000~7000	2	1.39	2.78
7000~15000	7	3.08	21.56
合计	35	/	28.92

1980 年起,交通部所属单位在港船舶进行三废回收,并在船上设含油污水分离器,废水经处理后含油量小于 10ppm。施工船舶油污水由回收船回收。

施工期船舶作业人员生活污水产生量按海上作业人员 200 人,人均生活污水排放量 85L/人 d 计,则船舶作业人员生活污水排放量为 17m³/d,生活污水主要污染物浓度及排放量见表 4.2-2。

表 4.2-2 生活污水主要污染物浓度

污染物名称	SS	COD _{Cr}	BOD ₅	氨氮	动植物油
排放浓度 (mg/L)	150	300	150	25	30
排放量 (kg/d)	2.55	5.10	2.55	0.43	0.51

②陆上施工废水

陆上施工废水主要包括各类机械维护冲洗废水、混凝土拌和废水等，主要集中在施工基地。根据混凝土浇筑工程量计算，同时考虑施工机械、场地冲洗及其它不确定因素的影响，取变化系数 1.5，施工基地施工废水产生量约为 65m³/d。施工废水多偏碱性，主要含有悬浮物、石油类等污染物。参考有关资料，施工废水的 pH 值在 10 左右，SS 约 1000~6000mg/L，石油类约 15mg/L。

本工程施工高峰期陆上施工人数约 100 人，产生的生活污水为 10m³/d，生活污水主要污染物浓度见表 4.2-3。

表 4.2-3 陆上施工人员生活污水主要污染物排放量

污染物名称	SS	COD _{Cr}	BOD ₅	氨氮	动植物油
排放量 (kg/d)	1.5	3.0	1.5	0.25	0.3

2#施工基地废水经污废水收集和处理系统处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)后回用，多余废水达到广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)的三级标准后，与施工人员生活污水一并纳入施工基地后方的阳江高新区临港工业园区污水处理厂处理排放。

4.2.1.2 对海洋生态和渔业资源影响

本工程施工期对海洋生态和渔业的影响主要来自于以下三方面。

(1) 潮下带底栖生境破坏

由于本项目仅涉及风电场和 66kV 海缆建设，工程范围内水深 46.5~52.5m，不涉及潮间带，因此施工期对潮间带不会造成影响。风机基础及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖生境造成直接破坏，进而引起底栖生物量的损失。

本工程风机桩基础包括 105 台 4 桩导管架基础，桩基础直径约为 3.0~3.3m，按上限考虑，单台风机基础占用海域的面积为 34.3m²，风机桩基础四周铺设砂被保护海床，单个风机的铺设面积约为 1300m²。因此，105 台风机占用海域面积 = 105 * (34.3 + 1300) = 141402m²，约合 14.14hm²。

本工程 66kV 海底集电电缆总长约 227.34km，考虑潮下带单根电缆开挖过程中的悬浮物再沉降的边际效应，单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围约为 10m，

则海缆施工造成的底栖生境破坏面积约 227.34hm²。

本工程施工造成的底栖生境破坏面积汇总见表 4.2-4。

表 4.2-4 工程施工底栖生境影响范围

项目	底栖生境破坏面积 (hm ²)
风机基础临时压占	14.14
海缆敷设破坏	227.34
合计	241.48

(2) 悬浮泥沙扩散影响

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮,造成海缆路由沿线一定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损失。

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),则单台桩基础悬浮泥沙扩散影响范围约为 3.14hm²; 105 台风机将造成累计约 329.7hm²的悬浮扩散影响。

(3) 水下噪声影响

钢管柱打桩及各类施工船舶航行产生的水下噪声对海洋生物产生一定影响,工程周边海域分布有白海豚等海洋哺乳动物,水下噪声对海洋哺乳动物会造成一定影响。

(4) 海域临时占用影响

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

4.2.1.3 对鸟类资源影响

本评价所涉及施工均位于海水,工程施工期间,由于人类活动、交通运输工具、施工机械的机械运动产生的噪声、灯光等可能对工程海域及陆域施工基地周围鸟类等生物的栖息、觅食产生一定影响,使施工区域及周边区域植被等生物量损失并造成该区域中分布的鸟类迁移,可能导致该区域鸟类在种类、数量及群落结构上发生一定变化。

4.2.1.4 对声环境的影响

本工程对施工噪声会对陆上及海上声环境产生影响，其中海上施工分别对水面声环境和水下声环境造成影响。

(1) 海上施工噪声源强

①水面噪声

海上施工噪声污染源主要包括风机桩基施打、施工船舶行驶和电气接线埋设等。相对于其他噪声源，风机桩基施打产生的噪声污染最为明显。根据打桩锤生产厂商 IHC Hrdrohammer BV 公司提供的产品资料，桩基础打桩时所采用的液压打桩锤在配备荷兰研究所 TNO/TPD 开发的隔声外壳后 7m 处的噪声级为 85dB (A)，噪声源强约为 102dB (A)。

②水下噪声源强

施工水下噪声污染源包括海底电缆埋设噪声、运输船只行驶噪声及桩基础打桩噪声，其中桩基础施工水下噪声源强较大。根据厦门大学相关实测资料，对于桩基础直径 3.0~3.3m 打桩施工，参考已有监测结果和国内外相关数据，以及考虑本工程海域所处的水深深度相对较深，本工程的均方根声源级取 233/uPa-m dB。

表 4.2-5 海上施工噪声源强

序号	设备名称	噪声源强
1	液压打桩水面噪声源强	102dB (A)
2	打桩水下噪声源强	233/uPa-m dB

(2) 陆上施工噪声源强

本工程钢管桩制作等在附近的大型钢结构制造企业进行卷制、焊接，通过海运至工作区码头。故陆上施工基地主要为风电机组设备临时堆场、拼装区、综合仓库等。因此噪声主要来源于风机主要部件的预组装及施工材料的运输等施工活动，类比其他工程，施工噪声源强见表 4.2-6。

表 4.2-6 陆上施工机械噪声源强 单位：dB (A)

序号	设备名称	噪声源强 (距声源 10m)
1	大型吊车	85
2	重型运输汽车	80
3	混凝土泵	80
4	装载机	78

4.2.1.5 固体废弃物影响

(1) 海上施工固废

本工程海上施工作业固废主要来自钢管桩吸泥,为增加风机塔架与钢管桩基础连接强度,本工程需吸泥后灌注混凝土施工,钢管桩吸泥总量约为 5000m³。

根据本项目施工组织设计,海缆埋设属于敷埋同步,自动回淤保护的施工工艺,不存在弃渣。对于风机基础连接处灌浆施工,作为停浆标准观察的少量溢出浆液量相当小,不对环境构成影响。

(2) 陆上施工固废

此外,施工期间陆上施工人员约 100 人,生活垃圾产生量按平均每人每天产生 1kg 计算,则产生量约 0.1t/d,船舶作业人员生活垃圾产生量按平均每人每天产生 0.5kg 计算,产生量为 0.1t/d,则施工期施工人员生活垃圾总产生量为 0.2t/d。船舶生活垃圾靠岸后定点集中收集,陆上施工人员生活垃圾在施工区集中收集,收集后均由环卫部门定时清运。

4.2.1.6 对环境空气影响

本工程施工期大气污染源主要为各施工基地及海域施工区各类施工船舶、车辆、机械设备及施工供电柴油发电机等,各类机械设备均以柴油或汽油为燃料,排放一定量的废气,主要污染物质包括 NO_x、CO、SO₂ 等。

4.2.1.7 对通航环境的影响

本工程北侧分布有琼州海峡至阳江港推荐航路、珠江口至湛江规划航路、珠江口至湛江推荐航路、湛江至珠江口规划航路等多条航路;珠江口至琼州海峡北水道推荐航路、台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路穿越本工程及青洲七风电场,项目建设前,需调整航道。同时工程海域附近锚地较多,与风电场水域距离较近的锚地为茂名港外 30 万吨级引航、防台锚地。本工程施工期间大量施工、运输船舶将往来穿梭于工程海域,造成海域船舶密度短期内增加,因此将对该海域通航造成一定影响。

4.2.2 运行期环境影响分析

风力发电的工艺流程是利用自然风能转变为机械能,再将机械能转变为电能的过程。在生产过程中不消耗燃料,不产生污染物。运行期间对环境的影响主要表现为以下几个方面:

4.2.2.1 对海域水文动力影响

本项目建成后,风机基础在一定程度上改变局部海底地形,因此可能对工程

海域附近潮流场尤其是风机基础周围的流场产生一定影响,表现为海域局部流速、流向及潮位的变化。

4.2.2.2 对区域海域地形地貌与冲淤影响

本风电场在区域海域内呈斑点状分布,风机之间间距较大。由于底流在钢管桩周围产生涡流,将海底泥沙搅动悬浮带走,因此将在一定程度上改变局部海床自然性状,使该区域的冲淤情况发生一定改变。

4.2.2.3 对区域海域水质影响

(1) 油类污染物

项目运行无生产污水排放,但风机设备日常运行需定期更换润滑油机油等,根据前文分析,运行期风机维修废弃油类污染物约 $32.3\text{m}^3/\text{a}$,部分油类属 WHC1 级,集中收集存放,交由资质单位处理,不会污染环境。

(2) 生产废水

风电场运行时不产生生产废水,当电气设备发生突发事故或检修时可能会有少量的漏油和油污水,主要污染物均为石油类。油污水产生量约 $50\text{kg}/\text{a}$,收集后送交环卫部门进行处置,不会污染环境。

(3) 生活污水

本工程风电场运行期不单独设置管理人员,由陆上集控中心统一运行管理。

(4) 锌的溶出

本工程风机钢管桩采用牺牲阳极保护,运行期对海水水质的影响主要来自风机桩基牺牲阳极中锌的溶出。牺牲阳极化学成分及电化学性能分别见表 4.2-7 和表 4.2-8。

表 4.2-7 牺牲阳极化学成分

种类	化学成份 (%)								
	Zn	In	Cd	Sn	Mg	杂质, 不大于			Al
						Si	Fe	Cu	
铝-锌-铟-锡	5.5~7.0	0.025~0.035	-	-	-	0.10~0.15	<0.16	<0.02	余量

表 4.2-8 牺牲阳极电化学性能

性能	开路电位 -V(SCE)	工作电位 -V(SCE)	实际电容量 A h/kg	电流效率 %	溶解状况
高效铝合金阳极	1.10-1.18	1.05-1.12	≥2400	≥85	腐蚀产物容易脱落,表面溶解均匀

本工程选用约 310kg 的高效铝合金牺牲阳极。根据设计,单块高效铝合金年

消耗率为 $3.65\text{kg}/\text{A}\cdot\text{a}$ ，电流效率大于 85%，阳极的输出电流为 0.99A，计算单台风机阳极消耗（溶解）量约为 $36.86\text{kg}/\text{a}$ ，阳极含锌量按表 4.2-7 中最高含量 7.0% 计算，单台风机桩基阳极锌释放量为 $2.58\text{kg}/\text{a}$ ，则整个风电场 105 台风机年消耗（溶解）总量为 $3.87\text{t}/\text{a}$ ，阳极锌释放量为 $270.9\text{kg}/\text{a}$ 。参考文献《胶州湾东北部海水中锌的存在形态及其分布》（王恕昌等），近岸海域海水中的锌主要是以可溶性形态存在，平均含量约占总锌的 87% 左右，而颗粒态锌仅占 13% 左右。本报告释放的锌按 87% 进入海水中随潮流扩散，则每年进入海水中的锌为 $235.68\text{kg}/\text{a}$ 。

4.2.2.4 对沉积物环境影响

工程运行期对沉积物环境的影响主要来自牺牲阳极中金属锌的溶出。整个风电场阳极锌释放量为 $270.9\text{kg}/\text{a}$ ，按颗粒态锌占 13% 进入海底沉积物，则每年进入海底沉积物的锌为 $35.22\text{kg}/\text{a}$ 。

4.2.2.5 对海洋生态和渔业资源影响

本工程运行期对海洋生态和渔业的影响主要来自于以下两方面。

（1）风机基础占压影响

根据风机基础结构方案，本工程风机桩基础包括 105 台 4 桩导管架基础，桩基础直径约为 3.0~3.3m，按上限考虑，单台风机基础占用海域的面积为 34.3m^2 。则 105 台风机占面积为 3601.9m^2 。在风机桩基群占海部分范围内原有泥质型的底栖生物类群不可恢复。

（2）水下噪声及电磁场影响

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

（3）对渔业生产的影响

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

4.2.2.6 对鸟类的影响

本项目建成后，风机运行噪声（包括低频噪声）可能对鸟类栖息、觅食造成干扰，同时风机叶片的光反射也可能对鸟类视觉造成影响，造成鸟类迷途甚至改变鸟类的迁徙方向。此外迁飞过境的鸟类存在与风机叶片碰撞的可能，进而可能造成鸟类资源的损失。

4.2.2.7 对声环境影响

（1）风机噪声

本项目风机切入风速在 3m/s，额定风速为 10.2~11.0m/s，当风速达到额定风速时，风机噪声源强亦达到最高。根据浙江省环境监测中心、华东勘测设计院对近年来浙江、江苏等区域沿海或内陆不同风电场、不同单机容量的风力发电机组噪声水平所进行的多次实测结果表明：监测值的平均值范围为 38.7~65.8dB，经过点声源衰减模型反推，国产风力发电机组轮毂处的最大声功率级一般在 95~106dB/re 20 μ Pa 之间。综合国内外风机厂家资料和国内实测推算数据，特别是近年来大容量风机空气中噪声的测量，参考文献【Herik Moller, 2011】对大容量风机噪声的预测，噪声将随装机容量增大而增大，由原有的 3.6MW 延申至 11.0MW，建立装机容量与噪声的线性相关关系，预测本工程在单机容量为 10.0MW 时，风机噪声源取 113dB(A)。

（2）水下噪声

运行期的水下噪声主要由风机运转而产生，尤其是低频噪声通过结构振动经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生了水下噪声。

根据厦门大学实测东海大桥海上风电场等多个项目风机水下噪声，风机运行中水下噪声的频谱级基本上都相似，海上风电场在营运期总体的水下噪声强度比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1 μ Pa，总体噪声谱级都在 120dB/1 μ Pa 以下。

4.2.2.8 电磁环境影响

通过类比监测已运行的广东 220kV 双回中宝电缆线路进行分析，在电缆电压为 66kV 时，三芯电缆所辐射的电磁感应强度在海床面上很小，小于 1 μ T，因此，可以预测，本工程 66kV 海缆最大磁感应强度均能满足《电磁环境控制限制》(GB8702-2014)中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

4.2.2.9 固体废弃物影响

(1) 生产固废

运行期风机的运行维护由风机厂商负责。风机日常维护产生的废弃油脂约为 $32.3\text{m}^3/\text{a}$ ，此外，风机运行维护过程中还会产生的少量废设备零部件、制动片、废旧蓄电池、维修废油、含油锯末或棉纱等，根据陆上同类工程类比情况，维护产生的废物量约为 $50\text{kg}/\text{a}$ ，产生的危废均交具备资质的专业单位处置，废旧蓄电池由生产厂商回收。

(2) 生活垃圾

本项目风电场运行期不单独设置管理人员，由陆上集控中心统一运行管理。集控中心管理人员产生的生活垃圾收集后由环卫部门清运，对周边环境不会造成污染影响。

4.3 工程各阶段环境影响因子

根据以上分析，项目施工期和运行期环境影响因素及影响因子列表 4.3-1 和表 4.3-2。

表 4.3-1 施工期环境影响评价因子一览表

环境要素		影响原因	影响性质	影响范围	评价因子	评价程度
自然环境	海水水质	施工悬浮物、施工污废水等排放，混凝土砂浆外泄漏影响工程海域环境	可逆，较大	风机及海底电缆沿线周边海域	悬浮物、COD、石油类	-3
	沉积物环境	施工污水排放及废弃物丢弃	可逆，较小		废弃物及其他、大肠菌群、病原体和石油类	-2
	海洋生态	悬浮物浓度增加，破坏浮游动植物、及底栖生物生境	部分不可逆，较大		浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源	-3
	陆生植被	工程施工可能对陆域植被产生一些影响	可逆，较小	陆上施工基地附近	植被面积、生物量、生物多样性	-1
	鸟类	施工活动干扰鸟类栖息地、及其觅食活动	较小	施工区及邻近鸟类栖息地	鸟类数量、多样性	-1
	环境空气	施工产生的扬尘、施工机械和施工车辆排放的尾气等	可逆，较小	陆上、海上工程施工区域	TSP、PM ₁₀ 、NO ₂ 、CO、SO ₂	-1
	声环境	施工机械和运输车辆运行时将产生噪声	可逆，较小	陆上、海上工程施工区域	L _{Aeq}	-1
社会环境	航运	海上施工影响航运交通	可逆，较小	海上施工海域及设备运输航线	通行船只数量，航行安全	-1
	渔业生产	渔业资源受施工影响损失、业生产面积减小	部分不可逆，较大	风机及海底电缆沿线周边海域	渔业生产面积、捕捞生产	-2
	环境卫生	施工人员生活垃圾	可逆，较小	陆上、海上工程施工区域	-	-1
	人群健康	施工人员进驻	可逆，较小		-	-1

注：+有利影响；-不利影响；/无影响；

- 1：表示环境要素所受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析；
- 2：表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行影响预测与评价；
- 3：环境要素所受影响程度为较大或较为敏感，进行重点影响预测与评价。

表 4.3-2 运行期环境影响评价因子一览表

环境要素	影响原因	影响性质	影响范围	评价因子	评价程度	
自然环境	海洋水文动力	对区域海洋水文动力环境造成一定影响	不可逆, 较小	附近工程海域	潮汐、潮流	-3
	海洋地形地貌与冲淤环境	改变区域海域的地形地貌和冲淤情况	不可逆, 较小	附近工程海域	冲淤深度	-2
	海洋生态	风机桩基压占底栖生物生境	部分不可逆, 较小	风机桩基周围	底栖生物量	-1
	鸟类	风机运转对鸟类产生一定影响	中等	鸟类迁徙路线	鸟类数量、多样性	-2
	景观生态	风机矗立	中等	周边岛屿	景观自然度、鲜明度、协调性	+1
	声环境	风机运转产生噪声运行噪声	较小	海上风电场区域	Leq (A)	-1
	电磁环境	海缆输电运行产生的电磁场	较小	输电线路沿线	电磁场	-1
	海洋水质、海洋生态	船舶风机碰撞溢油风险	中等	海域	油类	-3
	沉积物环境	牺牲阳极铝合金溶解	不可逆, 较小	风机基础周围海域	铝、锌	-1
社会环境	社会经济	影响地区社会经济	较小	工程所在地区	可持续能源利用	+1
	航运	风电场对航运交通影响	较小	航道、锚地	通航安全	-1
	渔业生产	风电场影响渔业捕捞	中等	风电场占用海域	渔业生产面积、捕捞生产	-3
	环境卫生	管理人员生活垃圾和生活污水	较小	集控中心	-	-1

注：+有利影响；-不利影响；/无影响；

- 1：表示环境要素所受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析；
- 2：表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行影响预测与评价；
- 3：环境要素所受影响程度为较大或较为敏感，进行重点影响预测与评价。

4.4 工程各阶段主要评价内容

本工程主要是对工程海域的水文动力（运行期）、海洋水质（施工期）、海洋生态及渔业资源（施工期、运行期）、海洋地形地貌与冲淤环境（运行期）、沉积物环境（施工期）、鸟类（运行期）、渔业生产（施工期、运行期）、溢油事故风险（运行期）等产生影响，主要评价内容详见下表 4.4-1。

表 4.4-1 主要评价内容一览表

评价深度	环境要素
3	水文动力（运行期）、海洋水质（施工期）、海洋生态及渔业资源（施工期、运行期）
2	海洋地形地貌与冲淤环境（运行期）、沉积物环境（施工期）、鸟类（运行期）、渔业生产（施工期、运行期）、溢油事故风险（运行期）
1	环境空气、声环境、电磁环境、社会经济、通航环境

注：1：表示环境要素受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析；

2：表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行影响预测与评价；

3：环境要素受影响程度为较大或较为敏感，进行重点影响预测与评价。

由上表分析可知，本工程环境影响评价重点为：工程与海洋功能区划、生态红线相符性分析及工程方案环境合理性分析；工程施工期悬浮泥沙对海洋水质、生态环境、渔业资源影响预测与评价；工程运行期对海域水文动力、地形冲淤、生态环境与渔业资源以及对鸟类生境的影响预测与评价；工程施工期及运行期船舶溢油事故对海洋水质、生态环境环境风险评价；工程生态环境保护措施及生态用海建设方案。

5 区域自然环境和社会环境概况

5.1 自然环境概况

5.1.1 气候气象

本工程位于阳江市，粤西沿海，北回归线以南，观测范围较大，涵盖整个风电场区范围，属于南亚热带和中亚热带过渡带，阳光充足，雨量充沛，属亚热带季风气候。本工程所在区域季风活动明显，冬季受大陆冷高压控制，盛行东北风，夏季处于西南低压槽前，受副热带高压影响，多吹东南风。

根据阳江国家气象站近 60 年的历史气象资料统计，年平均气温为 22.5℃；年平均雨量为 2310.7mm；年平均风速 3.0m/s；历史极大阵风(3s)风速为 52.5m/s，最大 10min 平均风速为 34.6m/s，均出现在 2008 年 9 月 24 日，为 0814 号台风“黑格比”（强台风级）登陆茂名市电白县的时刻，期间大风暴雨，灾情严重。阳江盛行风向以东北至东南风为主；年平均雾日 13.8d；年平均雷暴日 81.1d；年平均相对湿度 80%。

（1）气温

阳江年平均气温 22.5℃，最热月 7 月的平均气温为 28.2℃，最冷月 1 月的平均气温为 14.9℃，气温年较差为 13.3℃；极端最高气温 38.3℃(2005 年 7 月 19 日)；极端最低气温-1.4℃(1955 年 1 月 12 日)。

（2）气压

阳江年平均气压 1002.0hPa，各月平均气压在 994.6~1009.2hPa 之间，8 月最低，12 月最高；极端最低气压为 959.4hPa(2013 年 8 月 14 日)，由登陆阳江市阳西县溪头镇沿海地区的 1311 号台风“尤特”（强台风级）影响造成。

（3）降水

受海洋暖湿气流影响，阳江气象站记录的多年平均相对湿度是 80%，每月相对湿度在 69%~87%之间，季节变化不明显，属于全年都比较湿润的气候。阳江多年平均雨量为 2310.7mm，雨水充沛，但干湿季仍然明显。年内降雨主要集中在汛期(4~9 月)，占全年雨量的 85.2%。雨量最少的年份为 1977 年，降雨量为 1197.1mm；雨量最多的年份为 2001 年，降雨量为 3611.3mm。

（4）风

阳江气象站多年平均风速为 3.0m/s。阳江气象站记录的历史最大风速(10min)为 34.6m/s，极大风速(3s)为 52.5m/s，均为 2008 年 9 月 24 日于茂名电白登陆的 0814 号台风“黑格比”(强台风级)影响的结果。根据阳江气象站历史测风资料统计，该区域年盛行风向以东北至东南风为主。秋冬季主导风向为东北风，春季主导风向为东南风，夏季主导风向为偏南风。

5.1.2 水文状况

5.1.2.1 水温

海水温度的分布(包括平面和垂向)和变化主要受太阳辐射、风、海浪、海流等诸因素的影响。2019 年 1 月调查期间调查海区测得的水温最大值为 21.74℃，出现在 H12 站表层；测得水温的最小值为 18.55℃，出现在 H03 站表层；离岸越远，水温越高。

5.1.2.2 盐度

海水盐度主要受蒸发、降水、潮流、沿岸流和海水混合等因素的影响。2019 年 1 月调查期间调查海区测得的盐度最大值为 34.25；测得盐度的最小值为 32.12。

5.1.2.3 潮汐

理论深度基准面为理论上可能的最低潮面，主要是由 M^2 、 S_2 、 N_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 和 Q_1 共 8 个分潮组合可能出现的最低潮位。利用三峡周年潮位站 2019 年 10 月~2020 年 9 月全年潮位资料所计算得到的 M^2 、 S_2 、 N_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 和 Q_1 共 8 个分潮的潮汐调和常数，按弗拉基米尔斯基方法计算理论深度基准面。

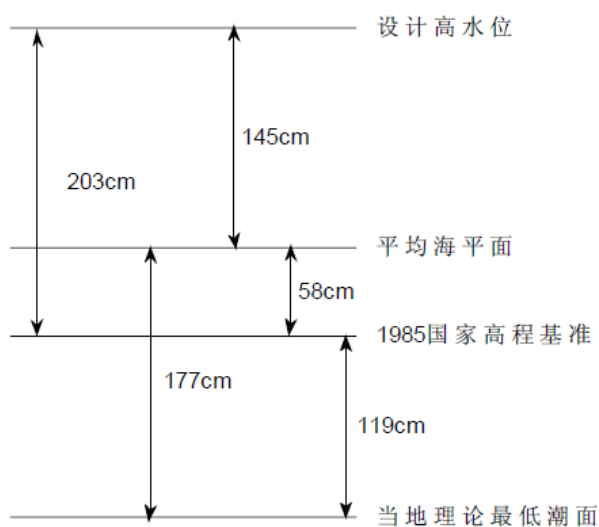


图 5.1-1 当地基面关系图

所得的计算结果为：三峡周年潮位站理论深度基准面在平均海平面下 160cm，换算到 85 国家高程，为-94cm；理论最高潮面在平均海平面上 174cm，换算到 85 国家高程基面起算，为 240cm。理论深度基准面与其它基面的关系见图 5.1-1。

周年观测站浅水分潮的振幅较小，主要浅水分潮（M4、MS4、M6）振幅之和小于 20cm，故计算该站理论深度基准面时不需要进行浅水分潮订正。

（1）潮汐类型

周年潮位观测站的 F 值为 1.22，说明该站所在海域为不正规半日潮类型。周年潮位站主要浅水分潮（M4、MS4、M6）振幅之和为 3.69cm，主要浅水分潮 M4 的振幅与太阴半日分潮 M_2 振幅的比值为 0.03。

（2）潮位特征值

根据周年潮位站一年的潮位资料进行统计，逐月观测资料的潮汐特征值见表 5.1-1。观测期间，最高潮位为 239cm（2020 年 2 月），最低潮位为 97cm（2020 年 5 月），最大潮差 334cm（2020 年 8 月）。全年平均涨潮历时 6h43min 落潮历时 6h18min，涨潮历时大于落潮历时。

表 5.1-1 周年潮位观测站潮汐特征统计（基面：国家 85 高程）

内容 月份	最高 潮位 (cm)	最低 潮位 (cm)	平均 潮位 (cm)	平均 潮差 (cm)	最大 潮差 (cm)	最小 潮差 (cm)	平均落 潮历时	平均涨 潮历时
2019.10	236	-51	85	159	266	13	6h29min	6h48min
2019.11	236	-65	88	143	301	12	6h15min	6h49min
2019.12	228	-85	71	136	302	14	6h20min	6h42min
2020.01	235	-91	66	129	319	20	6h13min	6h10min
2020.02	239	-77	69	140	315	11	6h12min	6h42min
2020.03	223	-81	62	152	304	17	6h25min	6h55min
2020.04	205	-66	62	156	271	19	6h27min	7h12min
2020.05	215	-97	56	148	312	12	6h13min	6h41min
2020.06	223	-93	54	141	313	10	6h08min	6h16min
2020.07	215	-95	48	138	310	25	6h11min	6h17min
2020.08	240	-94	58	154	334	10	6h21min	7h02min
2020.09	232	-62	73	150	277	12	6h19min	6h58min
全年平均	227	-80	66	146	302	15	6h18min	6h43min

在实际潮位中，直接由引潮力作用所产生的分潮叫做引力潮或天文潮，通常它是水位变化的主要成分。利用本项目周年潮位观测站一年实测潮位资料进行分析计算，得到观测期间最高天文潮为 237.4cm，最低天文潮为-93.5cm（基面：国家 85 高程）。

5.1.2.4 波浪

波浪特性的分析主要基于三峡阳江三四五波浪周年观测站于 2019 年 11 月 1 日~2020 年 10 月 31 日的实测数据。设计波要素的计算基于南海波浪模型于 1979 年~2019 年的后报数据进行分析。

(1) 波高

观测期间最大波高 H_{max} 、十分之一大波波高 $H_{1/10}$ 、三分之一大波波高 $H_{1/3}$ 、平均波高 H_{AVE} 分别为 724cm、513cm、405cm、252cm，发生于 2020 年 10 月台风“浪卡”影响期间。年平均 $H_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、 H_{AVE} 分别为 127cm、102cm、64cm。

本海区的强浪向除了 6 月为 SSW 外，全年其余月份以 ESE~SE 为主，平均周期为 4.5s。

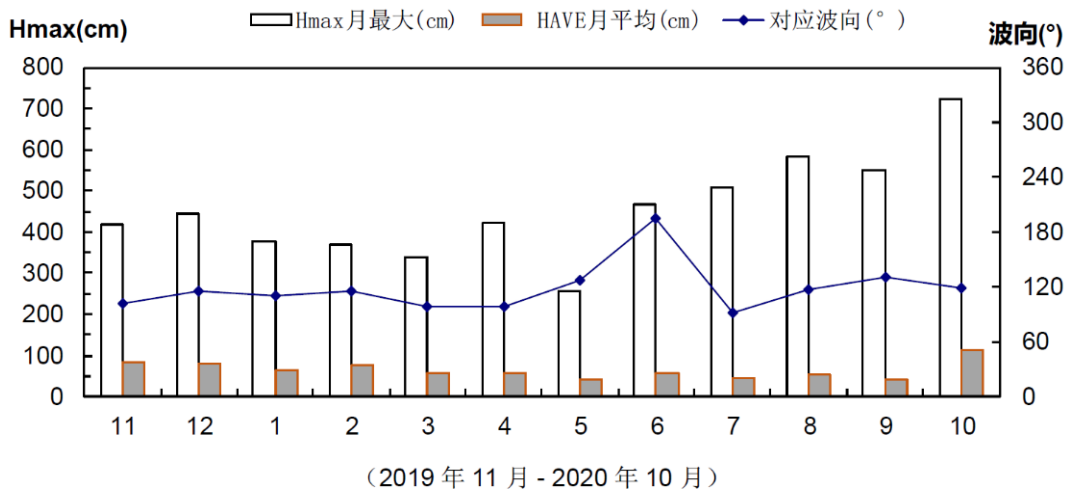


图 5.1-2 各月最大波高、平均波高及对应波向图示

(2) 周期

观测期间调查海区 T_z 月最大为 7.4s，月平均在 4.0s~5.2s 之间，平均为 4.5s。波浪周期以风浪频率为主，涌浪频率次之。其中， $T_{1/3}$ 、 $T_{1/10}$ 小于 7s 的波浪分别占全年的 80.93%、75.51%，大于 7s 的波浪分别占全年的 19.07%、24.49%。

(3) 波高与波向的联合分布

以各月及全年的波高数据按每 50cm 的波高级别与按 16 个方位划分的波向进行联合统计，可见，全年出现波高较大的波向与波浪观测点所在海域位置、受热带气旋或大风天气等因素影响有关。

本海区 5~7 月波向以 S 向为主，分布频率约占当月的 50%~70%，10 月~次年 3 月波向以 ESE 向为主，分布频率约占当月的 50%~80%、4 月和 8 月~9 月波向相对较分散。全年波向主要集中在 ESE（常浪向）、S（次常浪向）方向，分

布频率分别为 45.29%、18.34%，占整个观测期间的 63.63%。 $H_{1/3}$ 波高分布中 0~50cm、50~100cm、100~150cm、150~200cm 及大于 200cm 的波高占全年的频率分别为 14.41%、39.80%、30.75%、10.55%、4.49%。

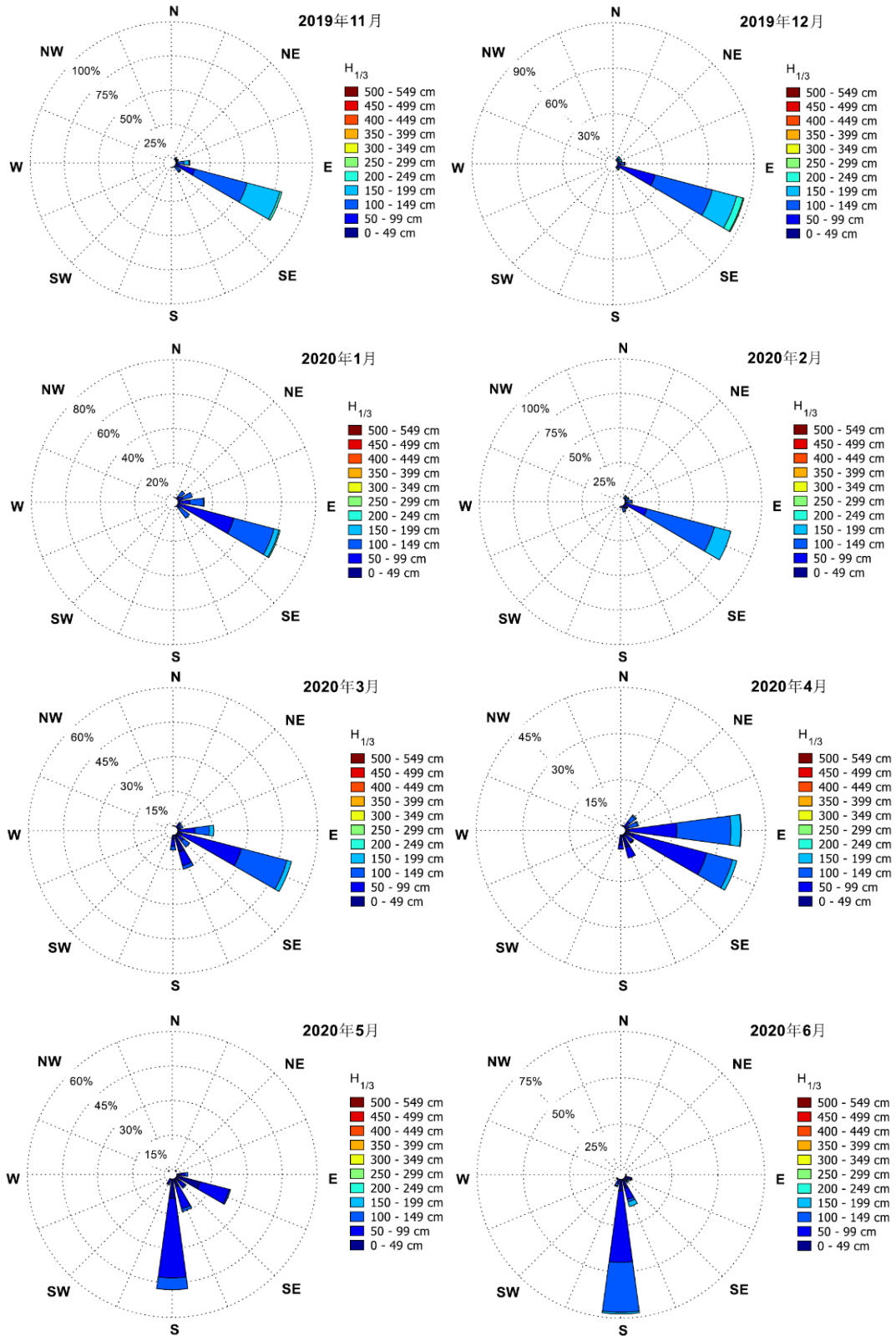


图 5.1-3 各月波浪玫瑰图

(4) 波高与周期的联合分布

以各月及全年的波高数据按每 50cm 的波高级别与按 1 秒间隔划分的波周期进行联合统计, 全年有效波高 $H_{1/3}$ 与 $T_{1/3}$ 主要集中在 50cm~150cm、4.0s~6.9s 范围内, 约占观测期的 58.02%; 全年有效波高 $H_{1/10}$ 与 $T_{1/10}$ 主要集中在 50cm~200cm、4.0s~7.9s 范围内, 约占观测期的 72.61%。

5.1.3 地震概况

根据本项目工可, 拟建风电场近场区地质条件复杂, 断裂发育, 近场区分布有 2 条区域性断裂, 但 5km 范围内无活断层存在, 近场区未发生过 6 级破坏性地震, II 类场地的基本地震动峰值加速度为 0.10g, 相应基本地震烈度为 VII 度。根据《海上风力发电场勘测标准》(GB 51395-2019) 附录 F, 综合考虑区域地质构造、地震动峰值加速度值及历史地震等因素, 判定拟建场址区域构造稳定性较好。因此工程设施按照国家的相关抗震规范进行设计施工, 在基础结构设计中已充分考虑地震风险, 地震灾害导致风机基础事故的风险较小。

5.1.4 主要海洋自然灾害

工程海区地处华南暴雨中心, 年降雨量大且集中, 因而洪涝较多; 由于地处南海, 热带气旋较多, 年均影响达 2~3 个; 部分地区地震活动频繁。本海域海洋灾害主要有热带气旋、风暴潮和地震等。

5.1.4.1 热带气旋

项目所在区位于广东省西部海岸, 地处亚热带区域, 南海和西北太平洋生成的台风每年 6~10 月对本港区影响较多, 是热带气旋频繁出现的高发带。

根据《台风年鉴》1954~2003 年的实况记录资料, 热带气旋中心进入 20° N 以北、110° E~114° E 范围内的, 致使阳江附近海域产生 6 级及以上大风的总共有 130 个, 年均 2.6 个。近 50 年影响阳江海域的热带气旋中, 以 7411 号台风最强, 其次为 5413 号及 9615 号台风。7411 号强台风过程最大中心风速为 60m/s, 登陆时台风中心风速仍高达 40m/s, 闸坡海洋站记录到过程最大 10min 平均最大速 40.5m/s, 为 50 年最强。5413 号台风在阳江附近海域中心风速达 55m/s, 移速达 40km/h; 9615 号台风中心风速 50m/s, 9 月 9 日 07 时闸坡海洋站测得最大风速 35m/s。

5.1.4.2 风暴潮

根据查测和实测的台风风暴潮位资料反映，20世纪近80年间，阳江地区发生过多次比较大的台风风暴潮。根据阳江市北津港的资料，受6508号台风的影响，1965年7月15日北津港出现历史最高潮位3.14m（珠江基面），1974年7月22日北津港出现最大增水达2.55m（珠江基面）。

据1992~2009年资料统计，闸坡站热带气旋增水次数，50cm以上增水一般每年2次，热带气旋增水一般出现于4~10月，但以7~9月比较多见，其中9月是出现热带气旋增水最多的月份。1992~2009年最大增水198cm，出现于2008年9月24日，是0814号强台风黑格比影响所致。闸坡站风暴警戒水位415cm（从潮高基准面起算）。1992~2009年有6次受台风影响，最高潮位超过警戒水位，造成风暴潮灾害。分别出现于1996年9月9日，1997年8月22日，2001年7月6日，2003年7月24日，2007年10月2日，2008年9月24日。该项目所使用海域受风暴潮影响较大，在工程的建设施工和日后的作业中，风暴潮的影响是不容忽视的。

5.2 社会环境概况

5.2.1 阳江市社会经济概况

阳江市位于广东省西南沿海，漠阳江下游，紧邻珠三角，扼粤西要冲。地理坐标为北纬21°28'45"~22°41'02"，东经111°16'35"~112°21'51"。东与江门市的恩平、台山市交界，北同云浮市的罗定市、新兴县及茂名市的信宜市接壤，西接茂名市的高州市、电白县，南临南海。东西长112.5km，南北距132.75km。陆地总面积7813.4km²，辖1个市辖区、2个县，代管1个县级市，总人口259万人。

2020年全地区生产总值1360.44亿元，同比增长4.4%。其中，第一产业增加值263.59亿元，同比增长1.5%；第二产业增加值485.10亿元，同比增长10.7%；第三产业增加值611.75亿元，同比下降1.6%。

2020年，全市户籍人口302.04万人，增长0.2%，城镇化率40.33%。全年居民消费价格总水平上涨2.3%，其中，服务项目价格指数下降1.3%，消费品价格指数上涨4.1%。

全市规模以上工业增加值414.38亿元，同比增长17.0%。其中，国有控股企业增长9.0%，外商及港澳台投资企业增长1.3%，股份制企业增长25.9%。分轻

重工业看，轻工业增长 21.0%，重工业增长 16.3%。分企业规模看，大型企业下降 3.7%，中型企业增长 28.3%，小微型企业增长 46.3%。

全年固定资产投资比上年增长 12.6%。分投资主体看，国有经济投资增长 37.5%，港澳台、外商经济投资增长 3.7%。分产业看，第一产业投资比上年增长 39.7%，第二产业投资增长 28.5%，第三产业投资增长 0.3%。

全年完成外贸进出口总额 191.7 亿元，同比增长 26.3%。其中，出口 142.6 亿元，增长 21.8%；进口 49.1 亿元，增长 41.7%。进出口差额（出口减进口）93.5 亿元，比上年增加 10.9 亿元。其中对“一带一路”沿线国家进出口 38.6 亿元，增长 18%。

全年全体居民人均可支配收入 26591 元，同比增长 5.8%。其中，城镇居民人均可支配收入 32311 元，增长 3.4%；农村居民人均可支配收入 19982 元，增长 9.0%。

5.2.2 海洋经济发展现状

（1）海洋捕捞业

阳江市传统的海洋产业是捕捞与海水养殖。

目前阳江市经农业部和省批准的渔港有 7 个，分别是闸坡、东平、沙扒、溪头、河北、对岸渔港和江城渔业港区。其中闸坡、东平为国家中心渔港，沙扒为国家一级渔港，溪头为省一级渔港，对岸、河北渔港是省二级渔港，江城渔港是省三级渔港。2019 年，全市水产品总产量 118.67 万吨，渔业产值 188 亿元，其中海洋捕捞 31.21 万吨，海水养殖 77 万吨，淡水养殖 9.66 万吨。

全市拥有渔业机动渔船 5060 艘，合计总功率约 40 万千瓦，其中在册的海洋捕捞渔船有 3513 艘，功率约 35 万千瓦。全市中深海作业的渔船普遍应用了海图、探鱼、全球卫星导航三合一先进助渔导航设备，渔船作业遍布南海，海洋捕捞能力和水平居全省领先地位。全市拥有钢质渔船约 800 多艘，功率约 25.5 万千瓦，是广东省钢质渔船发展最快的地区，是广东省拥有钢质渔船最多的地级市，海洋捕捞产量多年来居全省前列。

全市水产养殖面积为 3.14 万公顷，其中海水养殖面积 1.91 万公顷，产量 77 万吨；淡水养殖面积 1.23 万公顷，产量 9.66 万吨。目前建成了以对虾、牡蛎、罗非鱼、海水优质鱼、泥蚶为主的具有阳江优势的水产养殖基地，其中牡蛎养殖面积

达 5141 多公顷，产量达 41.34 万吨；海水对虾养殖面积达 5959 公顷，产量达 10.66 万吨；海水普通网箱养殖 38.98 万平方米，产量 3.66 万吨。现代养殖渔业发展已初见成效，深水网箱养殖发展已初具规模，全市已建成青州、大镬、大树岛屿三个深水网箱产业园区，共有深水网箱 260 多口。水产良种体系建设呈现新亮点，中法合作三倍体牡蛎繁育项目正顺利推进、渔乡子公司正在建设石斑鱼省级良种场，养殖产业集约化、基地化程度得到较大提高。

2019 年，水产加工品总量 18.48 万吨，产值超 40 亿元。其中海水产品 16.48 万吨，淡水产品 2 万吨。全市现有水产品加工企业 37 家，水产品加工能力 28.88 万吨/年，规模以上加工企业 19 家，水产冷库 19 座，冷冻能力 1760 吨/日，冷藏能力 1.7 万吨/次，制冷能力 1709 吨/日。

（2）旅游业

2020 年阳江市旅游总收入 161.12 亿元，同比下降 53.9%。其中国内旅游收入 160.79 亿元，下降 53.5%。全年接待游客总人数 1705.70 万人次，下降 37.1%。其中，一日游游客人数 840.50 万人次，下降 22.1%；住宿设施接待过夜游客人数 865.20 万人次，下降 46.9%。在过夜游客中，国际游客 1.00 万人次，下降 87.2%；国内游客 864.19 万人次，下降 46.7%。

5.2.3 阳江能源资源和电力发展状况

近年来，阳江市积极发展低碳经济，充分发挥阳江的地理资源优势和后发优势，多措并举，大力发展核电、火电、风电、抽水蓄能、太阳能、天然气、海浪发电等各类能源。2020 年，全市累计建成电力能源装机容量约 1320 万千瓦，其中清洁能源和可再生能源规划装机容量 800 万千瓦。先后建成投产了总装机容量 650 万千瓦的阳江核电 1-6 号机组；总装机容量 44 万千瓦的阳西县龙高山等 10 个陆上风电项目；总装机容量 71 万千瓦的阳春市陂面镇等 15 个太阳能光伏发电项目；总装机容量 32 万千瓦的水电站等清洁能源项目。

5.3 海域开发利用与保护概况

5.3.1 海域使用现状

经过管理部门调访、海域使用动态监管系统查询，本项目周边海域开发利用现状主要有航路、海上风电场项目等共 22 项。

航路有全国沿海航路总体规划中的内航路和外航路、琼州海峡至阳江航路、珠江口至湛江航路、中国航路指南珠江口至琼州海峡北水道、珠江口至琼州海峡北水道、台湾海峡至琼州海峡航路等。其中本项目场址穿越珠江口至琼州海峡北水道和台湾海峡至琼州海峡。

海上风电场项目包括粤电阳江沙扒海上风电场项目、三峡新能源阳江沙扒300MW海上风电项目、三峡新能源阳西沙扒300MW海上风电项目（以下简称“三峡一期”）、三峡新能源阳西沙扒二期400MW风电项目（以下简称“三峡二期”）、三峡广东阳江阳西沙扒三期400MW海上风电项目（以下简称“三峡三期（1）”）、三峡广东阳江阳西沙扒三期400MW海上风电项目（以下简称“三峡三期（2）”）、三峡广东阳江阳西沙扒四期300MW海上风电项目（以下简称“三峡四期”）、三峡广东阳江阳西沙扒五期300MW海上风电项目（以下简称“三峡五期”）、粤电阳江青洲一海上风电场项目、粤电阳江青洲二海上风电场项目、华电阳江青洲三海上风电场项目、明阳阳江青洲四海上风电场项目、三峡阳江青洲六海上风电场项目和三峡阳江青洲七海上风电场项目等。

表 5.3-1 项目周边海域使用现状统计表

序号	类别	名称	与本项目相对位置和最近距离	项目现状
1	航路、水道等	珠江口至湛江航路	北侧，30.0km	习惯航路
2		珠江口至琼州海峡北水道	风场穿越	水道
3		中国航路指南珠江口至湛江习惯航路	北侧，30.0km	航路
4		台湾海峡至琼州海峡北水道	风场穿越	水道
5		琼州海峡至阳江航路	西侧，26.5km	航路
6		全国沿海航路总体规划的内航路	北侧，25.2km	航路
7		全国沿海航路总体规划的外航路 1	南侧，22.7km	航路
8		全国沿海航路总体规划的外航路 2	南侧，17.2km	航路
9	浅水区风电场	粤电阳江沙扒海上风电场项目	北侧，48.2km	已确权，未建
10		三峡一期	西北侧，41.8km	已确权，未建
11		三峡二期	西北侧，47.4km	
12		三峡三期（1）	北侧，44.7km	
13		三峡三期（2）	西北侧，50.1km	
14		三峡四期	北侧，47.3km	
15		三峡五期	北侧，50.4km	
16			明阳阳江沙扒 300MW 科研示范项目	北侧，35.1km
17	深水区风电场	粤电阳江青洲一海上风电场项目	北侧，20.9km	正在申请用海，未建
18		粤电阳江青洲二海上风电场项目	北侧，13.2km	正在申请用海，未建
19		华电阳江青洲三海上风电场项目	北侧，2.2km	已取得用海批复，未建
20		明阳阳江青洲四海上风电场项目	北侧风场，紧邻	正在申请用海，未建

21	三峡阳江青洲六海上风电场项目	西北侧, 6.8km	未建
22	三峡阳江青洲七海上风电场项目	西侧风场紧邻, 共用海上换流站	未建

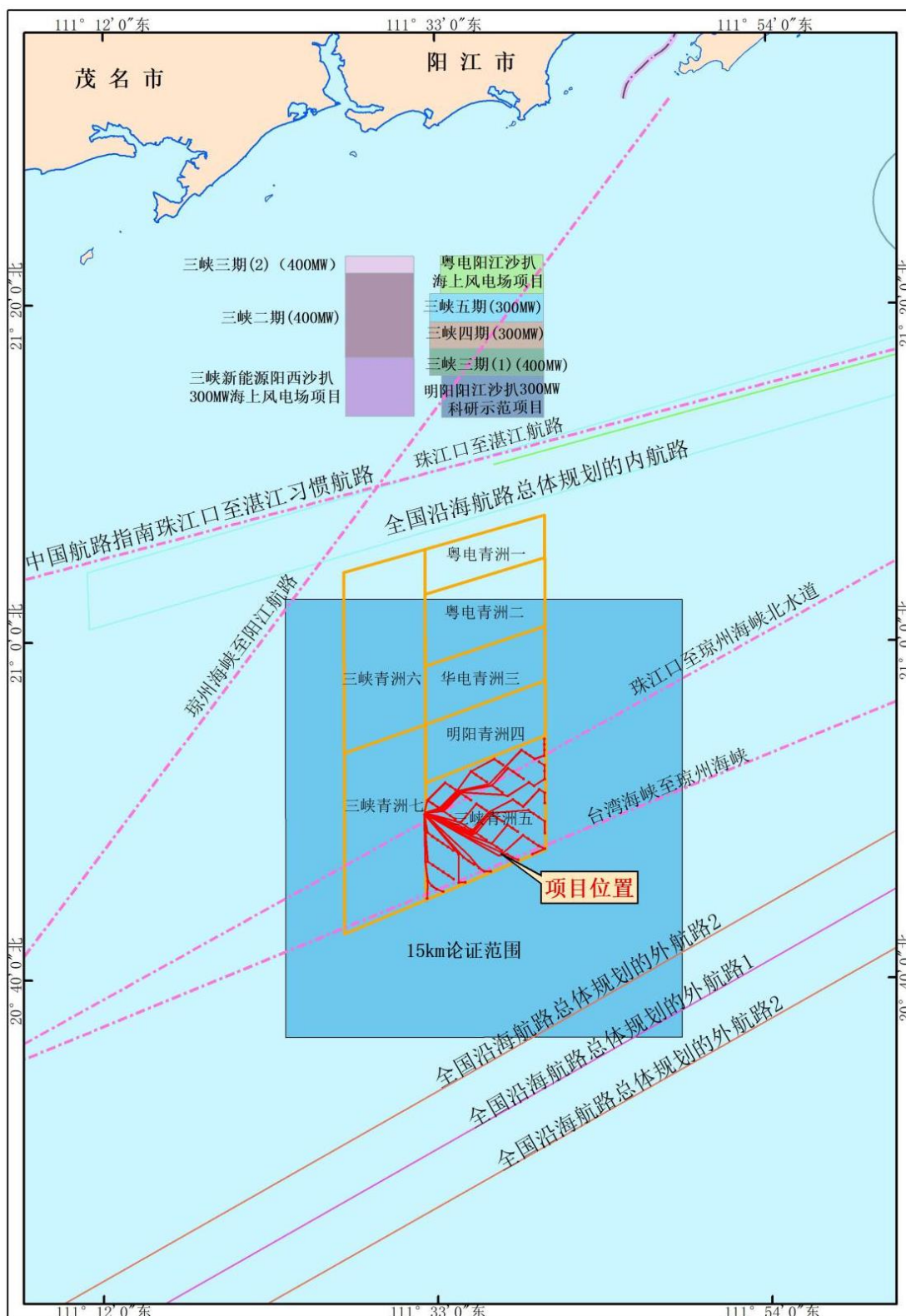


图 5.3-1 项目周边海域开发利用现状图

(1) 附近海域船舶航路

根据《三峡阳江青洲五海上风电场项目通航安全影响研究报告(审定稿)》,(2018年11月,广州中洋航海技术研究所),位于拟建风电场附近的航路有珠江口至琼州海峡北水道、台湾海峡至琼州海峡北水道航路、琼州海峡至阳江航路和珠江口至湛江习惯航路等。

1) 珠江口至琼州海峡北水道推荐航路

珠江口至琼州海峡北水道航路航经项目海域段为:至围夹岛南方5海里处,转航向241°,航行120.5海里,直接驶往琼州海峡北水道1号浮标。该航路穿越本项目风电场区。

2) 台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路

台湾海峡至琼州海峡推荐航路航经风电场海域航段为:船舶航至石碑山角灯塔方位353°、距离14.9海里处,转航向248°,直驶琼州海峡北水道1号灯浮标,航程340海里。该航路穿越本项目风电场区。

3) 琼州海峡至阳江航路

琼州海峡至阳江港航路从琼州海峡北水道1#浮开始,航向为037°/217°,航行76海里,到达阳江港。本风电场西北角与琼州海峡至阳江航路最近距离约26.5km。

4) 珠江口至湛江习惯航路

珠江口至湛江推荐航路内航路经内伶仃岛西侧,从小蒲台岛西方出海,经上、下川岛及南鹏岛北方到达湛江。

珠江口至湛江推荐外航路则经内伶仃岛西侧、桂山岛西侧,从小蒲台岛南方出海,至围夹岛灯塔南方5.8海里处,转航向为255°,航行110海里,直接驶往湛江港0号灯浮标到达湛江。本项目拟建风电场位于珠江口至湛江外航路南侧,风电场北侧边界距离推荐外航路约30.0km。

另外,项目风场位于全国沿海航路总体规划内航路和外航路中间,风场北侧距内航路最近距离25.2km、南侧距外航路17.2km。

(2) 近海浅水区海上风电场址

近海浅水区海上风电场项目有粤电阳江沙扒海上风电项目、三峡三期(1)、三峡三期(2)、三峡一期、三峡二期、阳江沙扒300MW科研示范项目等项目。项目离近海浅水区海上风电场址相对较远(35km外)。

(3) 深水区风电场

本项目位于阳江近海深水场址一之中,紧邻本项目风机场的有位于北侧的明阳阳江青洲四海上风电场项目和位于西侧的三峡阳江青洲七海上风电场项目。

明阳阳江青洲四海上风电场项目,位于阳江近海深水场址一东侧中部区域内,场址面积约 81.04km²,规划装机容量为 500MW,拟采用 47 台 8MW 固定式风电机组、10 台 12.5MW 漂浮式风电机组,风电机组发出电能通过 35kV 集电海底电缆接入海上升压站,升压后通过 2 回 220kV 海底电缆接入陆上集控中心。项目现正在办理相关用海手续。

三峡阳江青洲七海上风电场项目场址涉海面积约 81.03km²,该海上风电场拟与本项目一同规划进行调整,青洲七规划装机容量为 1000MW,拟布置 105 台风力发电机组,其中单机容量为 8MW 风电机组 25 台,单机容量为 10MW 风电机组 80 台,风电机组发出电能通过 66kV 集电海底电缆接入海上换流站,与本项目通过 2 根 500kV 海底电缆整体送出。

(4) 渔业生产活动

项目所在功能区属湛江-珠海近海农渔业区,根据渔业资源调查结果,项目所在海域是多种经济鱼类、虾类、蟹类、虾姑类和头足类的繁育场,在渔业上占有极其重要的地位,属于渔业生产的重要场所。通过访问渔民和在渔业资源调查过程中了解,本海域渔业生产作业方式主要有单拖网、双拖网、掺缯网、虾拖网、流刺网、奶鱼扒、白蚬扒、企门缯、装笼、下钓等。掺缯网、虾拖网、流刺网、下钓等作业方式因受海底底质影响较少,本调查海域平时常见到这些作业。奶鱼扒、白蚬扒、企门缯等作业方式基本上是在靠岸水浅的海域作业。

5.3.2 海域使用权属现状

根据本项目周边海域使用权属状况的资料收集情况及调访结果,本项目论证范围内已确权用海项目仅 1 个,为华电阳江青洲三海上风电场项目(位于本项目北侧 2.2km),本项目与周边用海项目不存在权属重叠。本项目周边海域已确权用海项目共 8 个,详见表 5.3-2。

表 5.3-2 确权项目权属信息

序号	项目名称	使用权人	证书编号	用海类型	用海方式	宗海面积	起始日	终止日
1	粤电阳江沙扒海上风电项目	广东粤电阳江海上风电有限公司	2018B44172100938	工业用海	海底电缆管道	325.5783	2018/5/11	2045/5/10
2	三峡新能源阳西沙扒 300MW 海上风电项目	三峡新能源阳江发电有限公司	2018B44172101019	工业用海	海底电缆管道	524.5522	2018/5/17	2045/5/16
3	三峡新能源阳西沙扒二期 400MW 海上风电场项目	三峡新能源阳江发电有限公司	2020B44172101172	工业用海	海底电缆管道	455.6322	2020/6/5	2047/6/4
4	三峡广东阳江阳西沙扒三期 400MW 海上风电场项目	三峡新能源阳江发电有限公司	2020B44172102761	工业用海	海底电缆管道	299.1449	2020/10/26	2047/10/26
5	三峡广东阳江阳西沙扒四期 300MW 海上风电场项目	三峡新能源阳江发电有限公司	2020B44172101731	工业用海	海底电缆管道	544.8514	2020/8/20	2047/8/19
6	三峡广东阳江阳西沙扒五期 300MW 海上风电场项目	三峡新能源阳江发电有限公司	2020B44172102752	工业用海	海底电缆管道	213.3803	2020/10/26	2047/10/25
7	明阳阳江沙扒 300MW 科研示范项目	阳江明阳海上风电开发有限公司	2020B44170000823	工业用海	海底电缆管道	446.1142	2020/4/10	2047/4/9
8	华电阳江青洲三海上风电场项目	广东华电福新阳江海上风电有限公司	2020B44172102892	工业用海	海底电缆管道	306.9588	2020/11/5	2048/11/5

5.4 环境敏感目标和珍稀保护对象的现状及分布概况

5.4.1 重要经济鱼类“三场一通道”

5.4.1.1 南海底层、近底层鱼类产卵场

根据农业部公告第 189 号《中国海洋渔业水域图》（第一批）南海区渔业水域图（第一批），南海区渔业水域及项目所在海域“三场一通”情况如下。

本工程海域不在南海中上层鱼类产卵场内，工程部分位于南海底层、近底层鱼类产卵场内。南海底层、近底层鱼类产卵场主要包括金线鱼、深水金线鱼、二长棘鲷、红笛鲷、绯鲤类、短尾鳍大眼鲷、长尾大眼鲷、脂眼鲱和黄鲷产卵场。

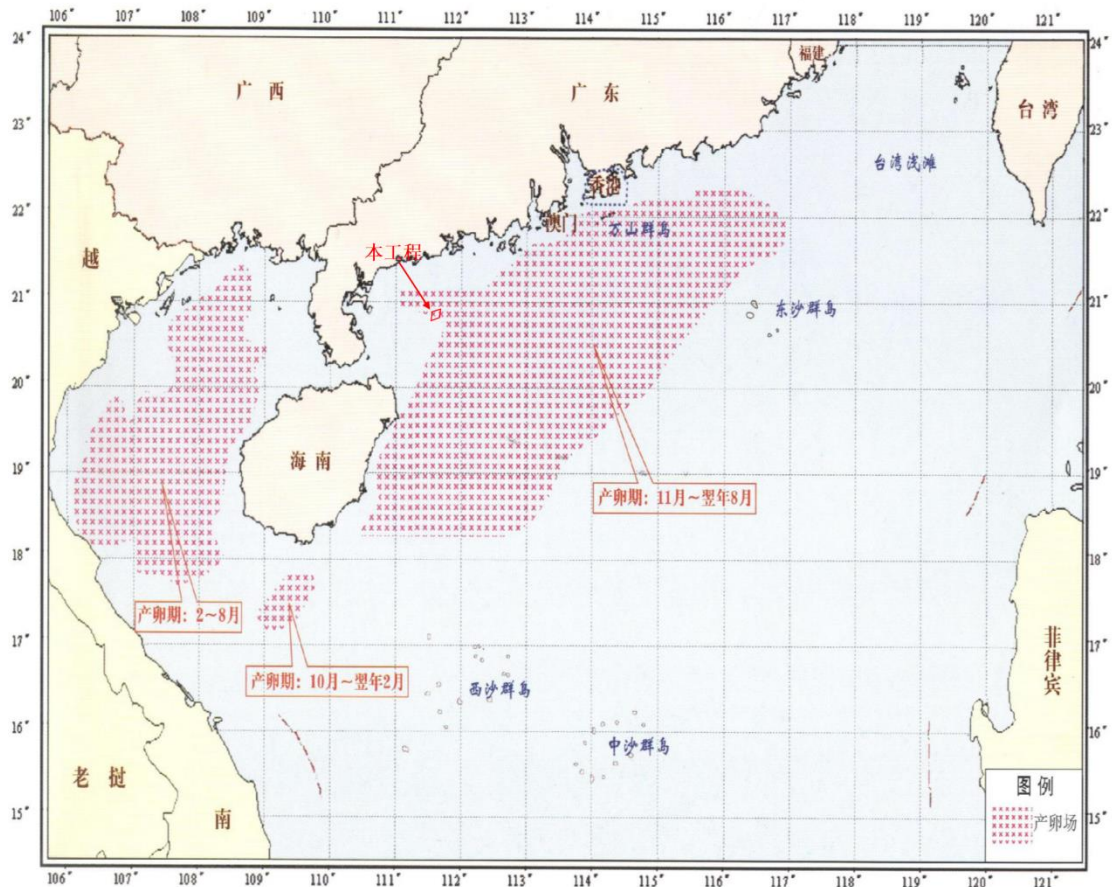


图 5.4-1 工程与南海底层、近底层鱼类产卵场位置关系图

5.4.1.2 南海北部幼鱼繁育场保护区

南海北部幼鱼繁育场保护区位于南海北部及北部湾沿岸-40m 等深线、17 个基点连线以内水域，保护期为 1-12 月。管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。本工程风电场区距离南海北部幼鱼繁育场保护区约 15km。工程与南海北部幼鱼繁育场保护区位置关系见图 5.4-2。

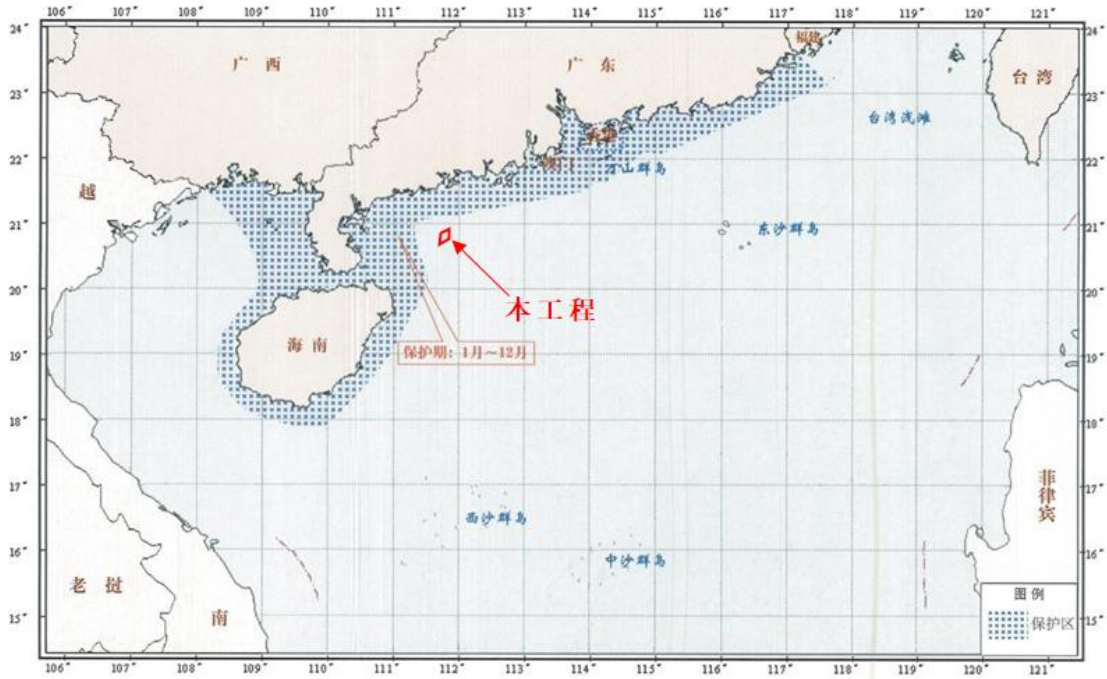


图 5.4-2 工程与南海北部幼鱼繁育场保护区位置关系图

5.4.2 珍稀保护海洋动物概况

5.4.2.1 中华白海豚

王新星等人（2018 年）研究表明，中华白海豚主要分布于西太平洋和印度洋的沿岸水域，在中国水域主要分布于东南沿海的河口区。据公开的报道，中国沿海有中华白海豚分布的水域为：珠江口、厦门、湛江东部海域、北部湾北部沿岸、台湾西南部沿岸、潮州—汕头，以及李松海等人在海南三亚西南部也发现了中华白海豚的分布。陈涛等人（2010 年）研究表明珠江口中华白海豚种群的分布范围包括了珠江东部入海口(即伶仃洋)和西部入海口(西部河口区)冲淡水影响的区域，从伶仃洋东部的深圳、香港水域向西延伸至江门市的上、下川岛水域，分布范围超过 3000km²，种群规模超过 2500 头。

根据李鼎等人（2021 年）报道，中华白海豚主要分布于近岸水深不超过 20 米的浅水区，工程风场最近离岸距离 67km，水深为 46.5m~52.5m，因此，推测工程区域中华白海豚出现的频率不高。

5.4.2.2 海龟

海龟是我国第二类重点保护的野生濒危动物，我国主要分布于西沙群岛、海南岛、广东、广西、台湾、福建、浙江、江苏和山东沿海地区。根据《广东省海洋环境保护规划》研究成果，以及南海水产研究所调查资料，海龟在广东省的主

要活动地区为大亚湾、红海湾、汕头。我国已于 1985 年在广东惠东县港口镇海龟湾建立了国家级海龟自然保护区。

大多数的海龟生存在比较浅的沿海水域、海湾、泻湖、珊瑚礁和流入大海的河口。不同种类和同一种类内部不同群体的海龟有着各自的迁徙习惯。

海龟生活于近海上层。以鱼类、头足纲动物、甲壳动物以及海藻等为食。每年 4~10 月为繁殖季节，常在礁盘附近水面交尾，需 3~4 小时。雌性在夜间爬到岸边沙滩上，先用前肢挖一深度与体高相当的大坑，伏在坑内，再以后肢交替挖一口径 20cm、深 50cm 左右的“卵坑”，在坑内产卵。产毕以砂覆盖，然后回到海中。每年产卵多次，每产 91~157 枚。卵白色，圆形，径 41~43mm，壳革质，韧软。孵化期 50~100 天。

海龟一般沿海岸及岛屿洄游活动。目前尚未有专门针对本项目所在海域的海龟现状调查资料，项目风场离岸最近距离约 67km，所在海域海面开阔，附近亦无岛屿，因此，可以推测项目评价范围内海龟出现的频率不高，项目所在海域也不是海龟迁徙期间的关键觅食地。

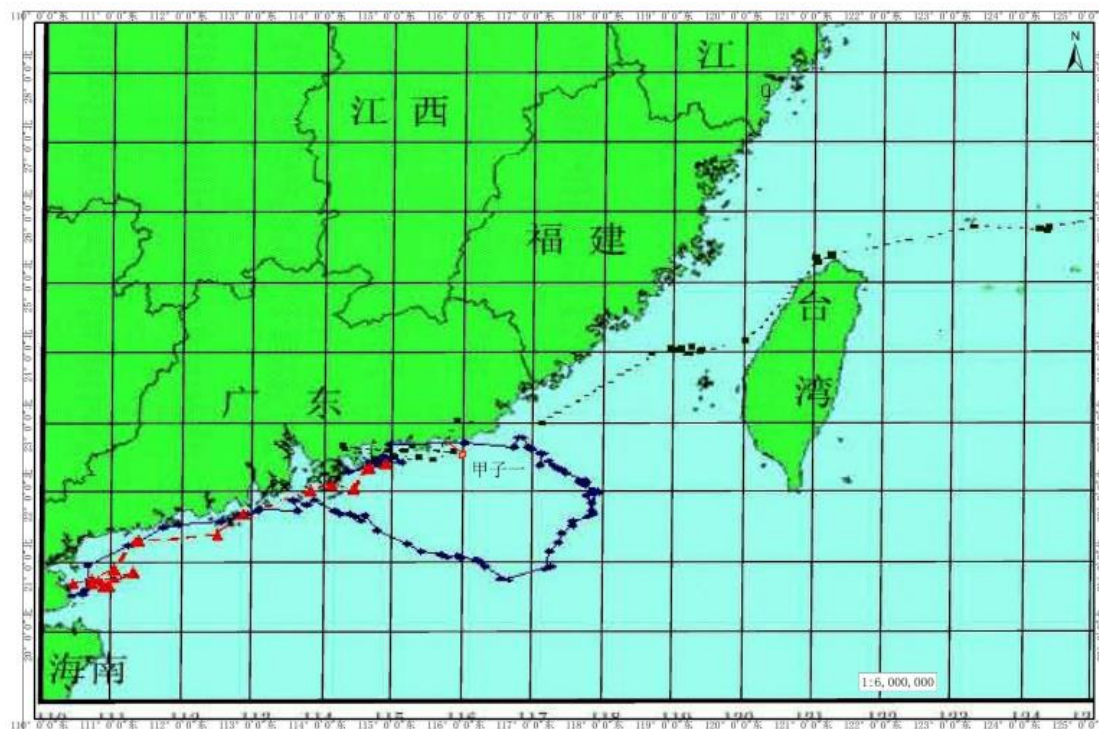


图 5.4-3 卫星追踪海龟洄游路线图

5.4.2.3 鲨

鲨属于广东省第一批重点保护水生野生动物，具有重要的学术研究价值，有“活化石”之称，同时还具有较高的药用价值。我国主要分布于浙江、福建、台

湾、广东、广西沿海。惠来海区有鲎分布的记录。

鲎栖息于沙质海底，昼伏夜出，大部分时间营底栖潜居生活，通常小个体生活在岸边沙滩中，随着年龄的增长，个体大的逐渐移向浅海。鲎不作长距离洄游，每年 11 月随着水温下降由浅海游向较深水域越冬，翌年 4~5 月又从深水区游向浅海，繁衍后代，繁殖期 5~8 月。春夏之交繁殖，雄体爬在雌体上游泳，被称为“海底鸳鸯”。

鲎为雌雄异体，雌体比雄体大，成年雌体重约 4kg，雄体重约 1.8kg。雌体背负雄体，成对栖息、爬行、游动，称为海中鸳鸯。受精卵经过 5~6 周孵化成为幼虫，初孵幼虫长 7~8cm，称为三叶幼虫，幼虫经第一次蜕皮后长成幼鲎，从幼鲎到达性成熟，约需 4~5 年，蜕皮 13~14 次。

中国鲎：体呈瓢状，由头胸部、腹部和尾剑三部分组成，头胸甲长 30~40 厘米，甲面凹凸，青褐色。尾刺能自由运动，当背部贴地时常用此尾使身体翻转。头胸甲隆起线的中央突起外侧各有一个复眼。头胸甲与体后部背甲交接处有关节，可使腹部向前屈曲。头胸甲腹面有 6 对胸肢，雌性前 5 对肢端为钳状，雄性的第二、三对为钩爪形。腹部腹面有 6 对腹肢。我国沿岸均有分布。浙江以南的近岸浅海中较多。生活在近海多藻类的砂质海底。尤其在舟山海域繁殖季节(5~8 月)常呈双结对雌雄两个体爬行于沿岸沙滩上，极易捕捉。

南方鲎：是国家二级海洋保护动物，它是一种节肢动物，全身褐色，外形像个瓢，尾部长有一条细长的剑状尾巴，一般雌体身长约 43cm，雄体 33cm，头胸甲隆起较低，呈圆弧形，背面平滑无小刺，缘刺和东方鲎相似，不同的是雌体的第四、五、六缘刺并无明显退化。生活在海底。产卵期是 6 月下旬起到 8 月下旬，大涨潮前后几天的满潮时。小潮原则上不产卵。卵产在砂中。大多数鲎在最高满潮前一个小时到砂地开始产卵行动。先是雌鲎用足挖穴，在深约 10 至 15cm 的地方产卵，这时背上的雄鲎排精。第一次产卵后，它们前进 10 至 15cm，重复前面的动作，这样产卵几次至十几次。雌鲎前进时挖的沙，刚好埋上身后的洞穴。满潮一小时后，大多数鲎夫妇停止产卵游归大海。砂中的卵 6 至 8 周后孵化，孵出后留在原地过冬，第二年初夏，由砂中走出，经脱皮，变为第二龄。南方鲎在医学上有药用功能，以尾状刺及其腹内鲎珠入药。

根据南海水产研究所调查资料，中国鲎分布于长江口以南的东海和南海海域，南方鲎分布于广东湛江东海岛以南的南海海域。中国鲎的活动区域较为分散，实

地走访的当地渔民和调查问卷表明在沿海和海岛沙滩上很少观察到有中国鲨出现,由于沿海地区的逐渐工业化,及人们对海洋的开发利用,沙滩面积逐渐减少,沙质退化,且仅剩下不多的沙滩也受到严重污染,使鲨的生殖繁衍后代的场所受到严重污染,直接威胁着鲨的生存。相比上世纪,中国鲨在沙滩上发现以及产卵的频率明显下降,目前主要在等深线 3~10m 近海海域多有发现。项目风场离岸最近距离约 67km,水深在 46.5m~52.5m 间,可以推测项目评价范围内鲨出现的频率不高。

6 环境质量现状调查与评价

6.1 水文动力环境现状调查与评价

为了解工程海域各海洋水文要素的时空分布特征和水文泥沙运动规律,广州南科海洋工程中心于2019年1月22日~24日在调查海域进行了冬季大潮水文观测,在海区内共布设水文连续观测站14个,编号为H01~H14;潮位站2个,设在T1站和T2站。中国电建浙江华东建设工程公司于2021年6月25日~7月4日开展了夏季水文测验,在工程水域布设7个定点潮流测站,编号为C19~C24;潮位站1个,设在TL1站。两次水文测验的站点布置见表6.1-1和表6.1-2、图6.1-1和图6.1-2。

表 6.1-1 2019 年冬季水文调查各测站坐标和观测项目

站位	坐标点		观测项目
	纬度	经度	
H01	21°08.508'N	111°19.736'E	海流、泥沙、温盐
H02	21°09.678'N	111°28.036'E	海流、泥沙、温盐
H03	21°09.702'N	111°31.912'E	海流、泥沙、温盐
H04	21°00.105'N	111°19.558'E	海流、泥沙、温盐
H05	21°01.061'N	111°29.126'E	海流、泥沙、温盐
H06	21°01.621'N	111°32.141'E	海流、泥沙、温盐
H07	20°52.977'N	111°20.397'E	海流、泥沙、温盐、风
H08	20°53.918'N	111°29.320'E	海流、泥沙、温盐、风
H09	20°54.262'N	111°32.393'E	海流、泥沙、温盐
H10	20°42.582'N	111°20.492'E	海流、泥沙、温盐
H11	20°46.578'N	111°29.232'E	海流、泥沙、温盐
H12	20°47.241'N	111°32.620'E	海流、泥沙、温盐
H13	20°52.857'N	111°37.543'E	海流、泥沙、温盐
H14	20°48.725'N	111°37.474'E	海流、泥沙、温盐
T1	21°31.700'N	111°38.033'E	潮位
T2	21°26.366'N	111°18.049'E	潮位

表 6.1-2 2021 年夏季水文调查各测站位置

测点	位置 (E; N)		海图水深
C19	111°35'07.12"	20°53'16.02"	46m
C20	111°40'44.54"	20°54'29.33"	46m
C21	111°35'23.73"	20°49'01.34"	48m
C22	111°41'11.73"	20°50'45.45"	48m
C23	111°37'8.40"	20°44'47.01"	52m
C24	111°41'27.64"	20°45'46.24"	52m
TL3	111°37'18.1"	20°49'35.76"	48m

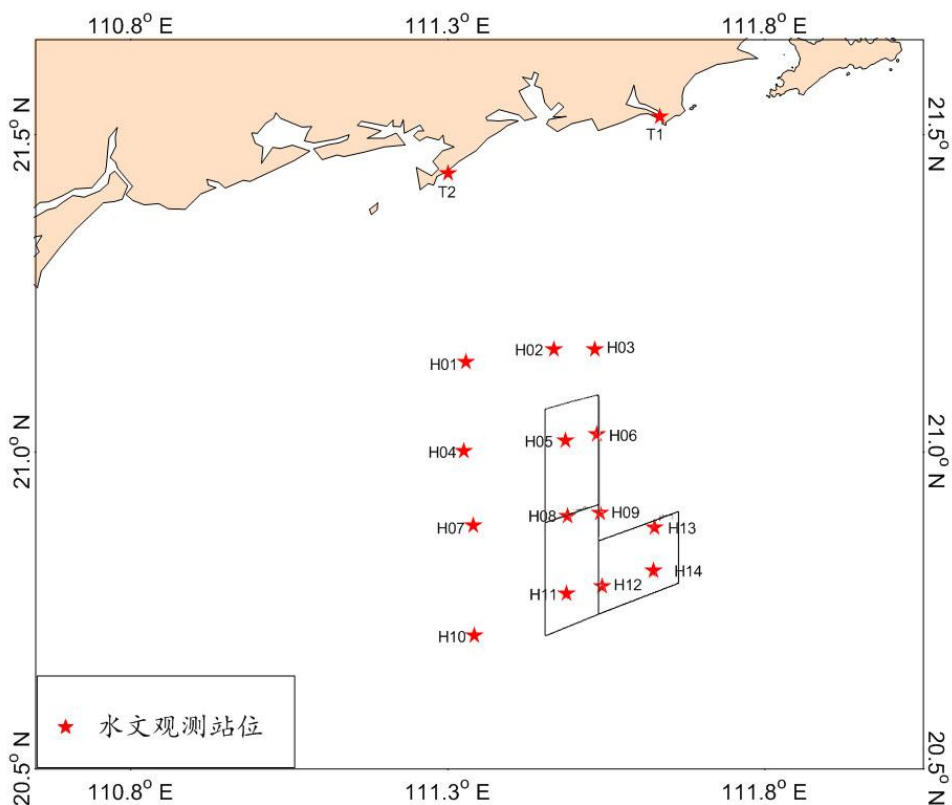


图 6.1-1 2019 年冬季项目附近海域水文调查站位图

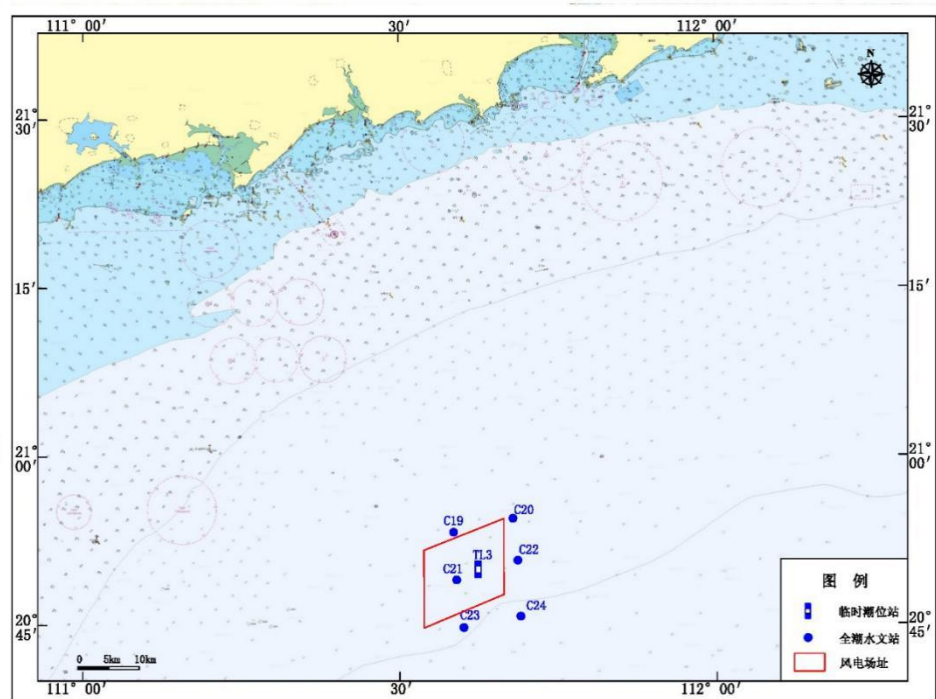


图 6.1-2 2021 年夏季项目附近海域水文调查站位图

6.1.1 潮汐及潮位

海区的调和常数为 $R = (HK1 + HO1) / Hm2 = 1.13$ ，属不规则半日潮，其潮汐

特征是：在多数情况下每个潮日（大约 24.8 小时）有两次高潮和两次低潮，但有显著的日潮不等现象，主要是高潮不等。主要潮位特征值如下：

平均海面	0.56m
平均高潮位	1.29m
平均低潮位	-0.18m
平均高高潮位	1.69m
平均低低潮位	-0.49m
历史最高高潮位（1965 年 7 月 15 日）	3.64m
历史最低低潮位（1964 年 6 月 11 日）	-1.55m
平均潮差	1.47m
平均最大潮差	2.19m
平均最小潮差	0.75m
平均涨潮历时	6 小时 08 分
平均落潮历时	6 小时 7 分

（1）2019 年冬季调查

2019 年 1 月潮位观测的潮位资料时间为 1 个月左右，根据调和常数，得出 T1 和 T2 站 F 值均为 1.3，因此调查海域潮汐属于不规则半日潮混合潮。混合潮港的特点是显著的潮汐日不等现象，相邻高潮或低潮的不等以及涨落潮历时的不等情况每天都在改变。在此次观测期间，调查海域的潮汐日不等现象是显著的，涨潮历时与落潮历时相当。

从实测潮位过程曲线（图）可以看到，调查海域海域的潮汐日不等现象是显著的。

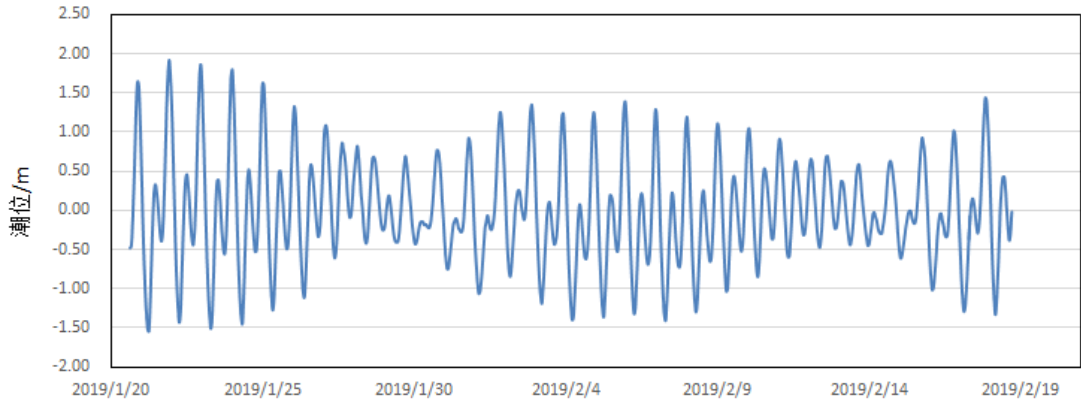
（2）2021 年夏季调查

2021 年 7 月潮位观测的潮位资料时间为 1 个月左右，根据调和常数，TL3 临时潮位站潮汐类型指标值为 1.56，介于 0.5 到 2.0 之间，属不规则半日潮类型。

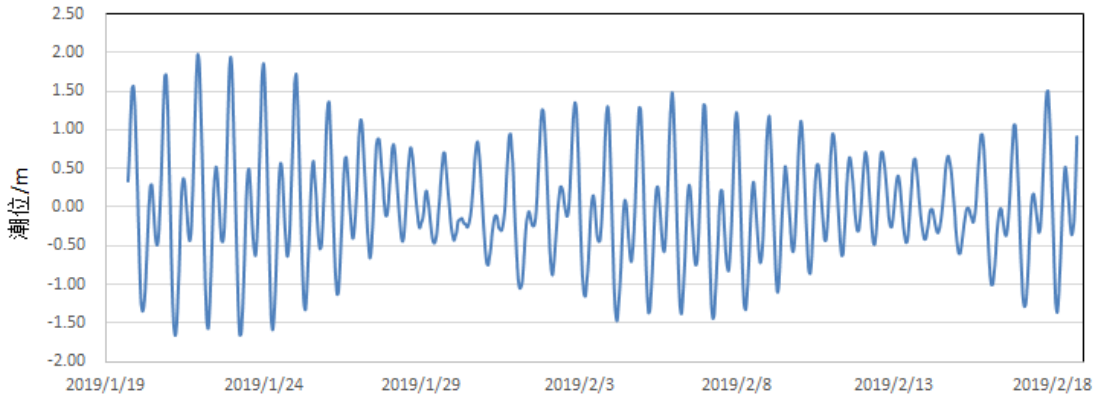
从实测潮位过程曲线（图）可以看到，工程水域潮汐变化比较规律，即潮位在一太阴日中有两次高、低潮，但两相邻的高潮或低潮的高度不相等，即两相邻的潮差不等，存在明显的日潮不等现象；每天的涨潮与落潮时间差别不大。

夏季观测期间 TL3 临时潮位站月平均潮差为 1.19m，最大潮差为 2.99m。夏季观测期间测区平均海面为 0.52m，TL3 临时潮位站平均高、低潮位分别为 1.12m

和-0.07m；最高潮位为 2.15m，最低潮位为-0.88m。实测资料统计表明工程区海域涨、落潮历时差异不大，观测期间 TL3 临时潮位站平均涨潮历时为 6h29min，平均落潮历时为 5h56min，平均涨潮历时大于落潮历时 33min。



T1 站



T2 站

图 6.1-3 冬季调查海域的潮位过程曲线

TL3潮位 (cm)

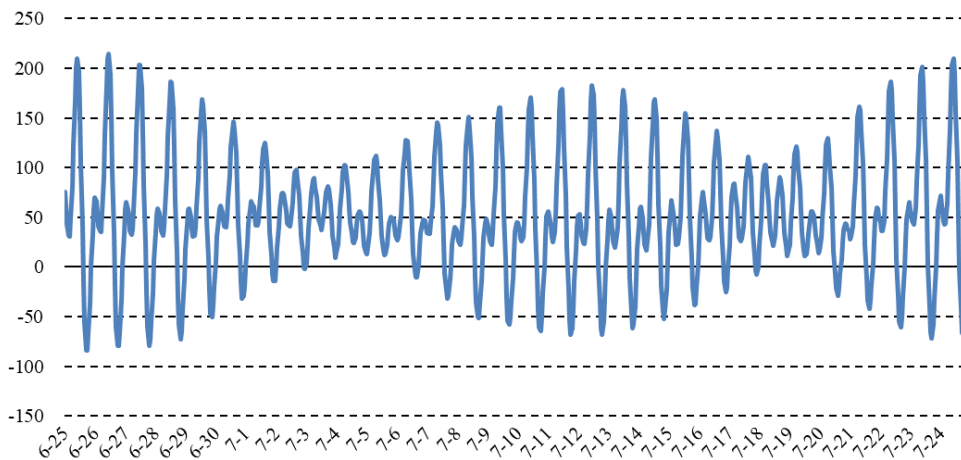


图 6.1-4 调查海域 TL3 站的潮位过程曲线

6.1.2 海流

6.1.2.1 2019 年冬季

(1) 实测流场分析

大潮期海流观测于 2019 年 1 月 22 日 16 时~2019 年 1 月 24 日 21 时期间进行。实测海流的涨落潮流统计结果见表 6.1-3, 实测海流逐时矢量图见图 6.1-5(潮位曲线数据取自 T2 站), 实测海流平面分布玫瑰图见图 6.1-6。根据上述图表分析如下:

由图 6.1-5 及图 6.1-6 可见, 调查期间各测站实测海流较弱, 以潮流为主, 涨潮流流向西北, 落潮流流向西南或东南。各测站表、中、底流速比较一致。

根据涨落潮的统计结果, 调查海域各测站涨潮流流速平均值在 14.1~48.1cm/s 之间, 落潮流流速平均值在 15.6~31.5cm/s 之间。最大涨潮流流速的平均值为 48.1cm/s, 方向为 286.2°, 出现在 H02 站的表层; 最大落潮流的平均值为 31.5cm/s, 方向为 223.4°, 出现在 H02 站表层。

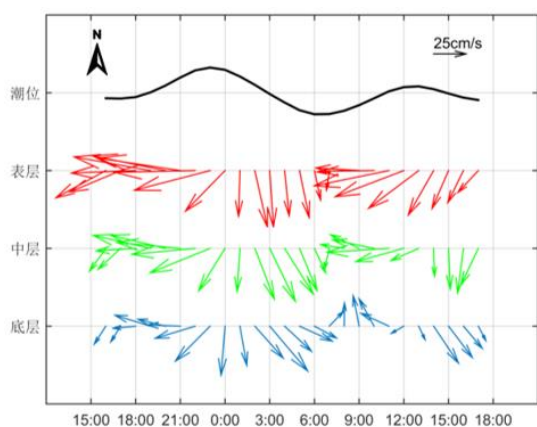
由表 6.1-3 还可看出, 实测涨潮流的最大流速, 其表、中、底层的流速值依次为 72.5cm/s、51.4cm/s、44.8cm/s, 流向分别为 280.1°、295.8°、292.3°, 分别出现在 H02 站表层、H10 站中层和 H10 站底层; 实测落潮流的最大流速, 其表、中、底层的流速值依次为 52.7cm/s、49.1cm/s、44.1cm/s, 流向分别为 193.7°、199.4°、110.7°, 均出现在 H04 层。

总体而言, 涨潮流速平均值稍大于落潮流速平均值, 大部分站层涨落潮流历时略长于落潮流历时。

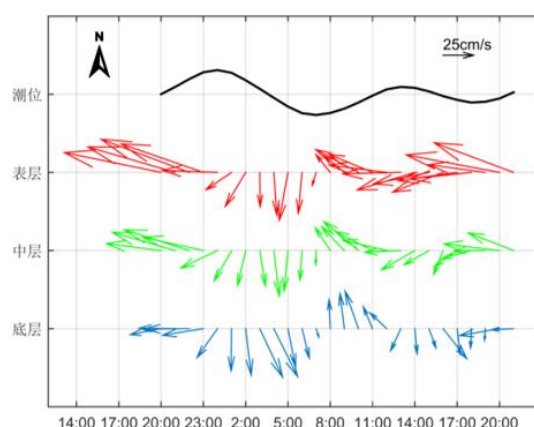
表 6.1-3 调查海域各测站涨潮流、落潮流统计表

海区	站位	测层	涨潮流 (小时、cm/s、°)					落潮流 (小时、cm/s、°)				
			T	V_{mean}	D_{mean}	V_{max}	D_{max}	T	V_{mean}	D_{mean}	V_{max}	D_{max}
海陵湾	H01	表层	14	44.9	262.8	57.9	277.9	12	28.1	191.6	37.9	226.7
		中层	14	31.9	263.7	44.7	249.5	12	27.6	175.6	38.5	152.3
		底层	14	19.4	285.4	33.0	227.2	12	23.9	142.7	39.1	137.4
	H02	表层	14	48.1	286.2	72.5	280.1	12	31.5	223.4	45.8	264.7
		中层	14	33.9	285.2	49.7	285.5	12	21.6	207.6	29.5	172.2
		底层	11	23.3	298.3	32.7	269.6	15	20.5	172.2	35.3	150.2
	H03	表层	14	51.6	273.6	66.3	287.6	12	31.4	222.1	47.6	248.9
		中层	14	20.9	275.9	30.2	265.4	12	18.5	161.6	34.8	149.0
		底层	14	14.1	317.5	23.8	334.8	12	15.6	116.3	25.6	128.2
	H04	表层	13	34.6	251.9	46.6	282.0	13	29.2	171.8	52.7	151.1
		中层	14	28.3	268.5	44.2	285.8	12	26.9	161.8	49.1	141.3
		底层	14	24.0	274.9	38.0	292.2	12	27.4	146.8	44.1	137.8

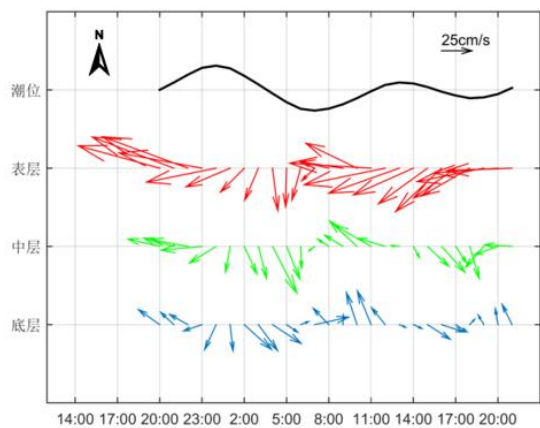
H05	表层	14	26.0	304.5	40.2	297.7	12	21.0	177.3	37.3	143.5
	中层	14	25.4	309.0	40.5	297.3	12	21.0	156.1	39.1	137.7
	底层	14	22.9	303.0	38.2	295.3	12	21.7	157.1	36.1	140.1
H06	表层	15	23.4	273.7	40.3	288.4	11	26.2	161.7	44.3	139.6
	中层	15	21.0	267.2	39.5	289.4	11	23.9	154.5	38.5	140.5
	底层	15	20.9	268.2	40.1	290.4	11	21.3	154.5	36.3	193.1
H07	表层	15	25.1	288.3	41.7	294.0	11	24.7	157.7	45.0	141.4
	中层	14	23.7	289.8	39.2	293.6	12	24.0	153.9	48.3	143.0
	底层	14	20.1	260.2	30.5	290.3	12	22.8	154.6	41.2	145.2
H08	表层	14	22.5	304.9	42.0	291.4	12	20.8	160.1	41.0	143.1
	中层	13	22.8	302.2	40.8	294.8	13	23.2	152.3	42.2	246.7
	底层	13	21.5	295.4	37.7	286.7	13	22.0	155.3	38.3	143.6
H09	表层	15	23.9	275.4	41.7	295.6	11	25.1	168.1	44.6	158.0
	中层	15	22.0	275.5	37.9	292.0	11	24.1	159.8	44.1	159.3
	底层	15	21.1	270.6	38.3	289.2	11	21.4	163.7	41.5	158.9
H10	表层	14	27.5	290.4	53.4	297.3	12	23.9	164.6	42.7	152.1
	中层	14	26.4	290.3	51.4	295.8	12	26.3	154.8	42.1	151.8
	底层	14	22.8	283.3	44.8	292.3	12	26.4	158.0	40.4	158.3
H11	表层	14	27.5	324.0	43.6	315.3	12	17.6	181.6	33.9	143.4
	中层	14	24.5	322.0	42.8	307.6	12	20.0	161.7	33.9	148.7
	底层	14	20.8	314.6	35.9	305.9	12	23.0	164.3	36.2	149.8
H12	表层	15	24.1	287.6	38.0	297.1	11	19.2	176.7	31.8	138.4
	中层	13	20.9	194.9	37.7	298.0	13	20.5	174.2	36.3	166.0
	底层	12	18.3	277.5	30.0	308.8	14	21.3	173.6	30.1	165.6
H13	表层	15	26.9	326.5	50.3	318.9	11	20.2	154.3	38.9	135.6
	中层	13	24.2	325.0	47.3	314.6	13	18.6	154.8	39.8	136.9
	底层	13	24.6	307.4	39.7	300.6	13	19.3	164.9	42.4	154.1
H14	表层	14	26.1	321.4	43.0	319.4	12	19.8	174.7	30.1	140.5
	中层	14	23.6	329.3	38.2	302.8	12	19.1	168.9	32.4	145.8
	底层	14	20.4	322.2	33.1	318.8	12	19.2	172.2	29.8	156.3



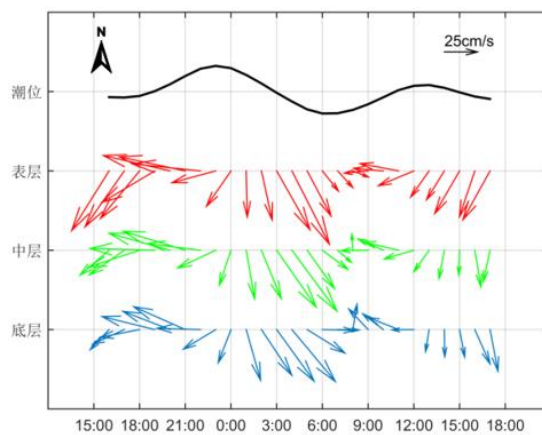
H01 站



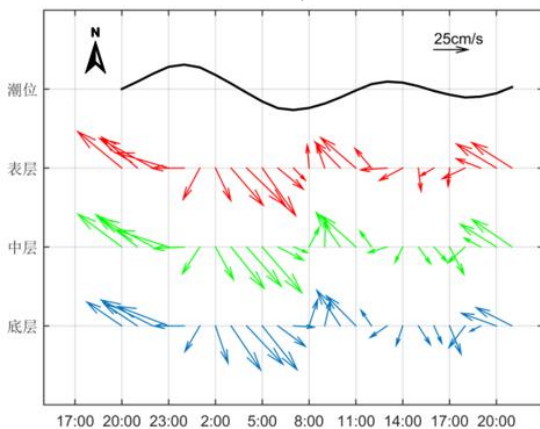
H02 站



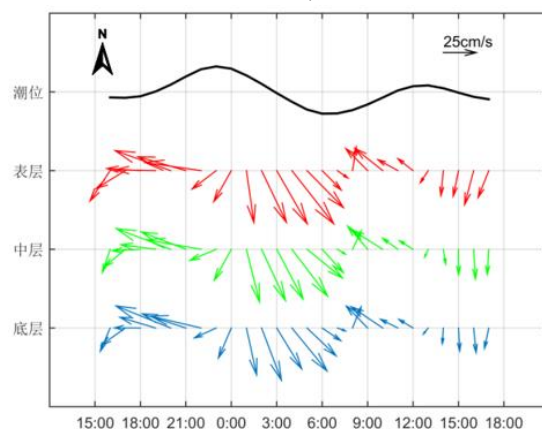
H03 站



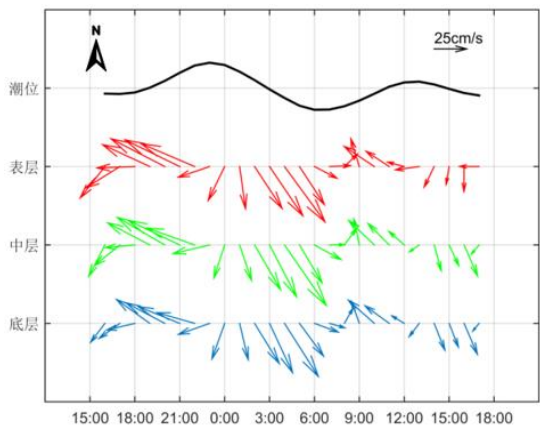
H04 站



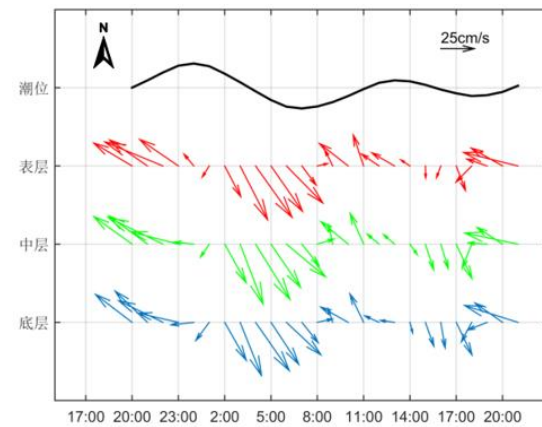
H05 站



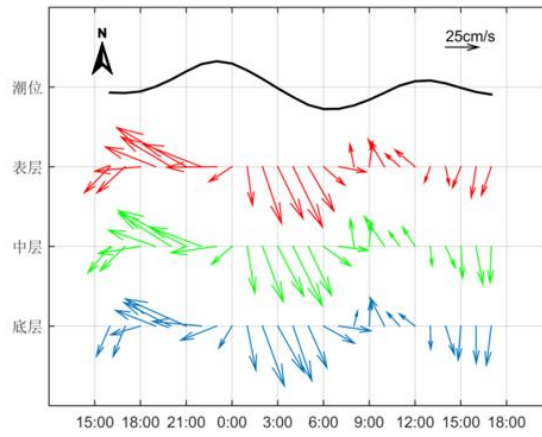
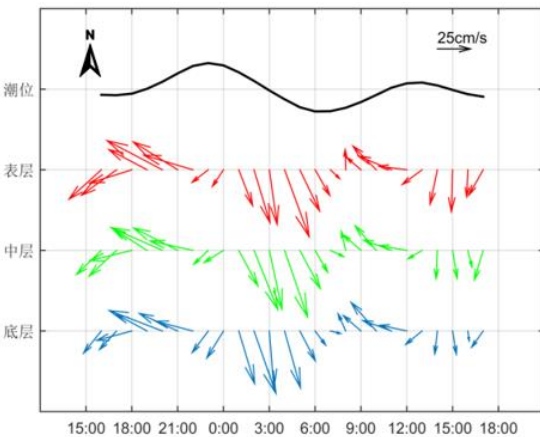
H06 站



H07 站



H08 站



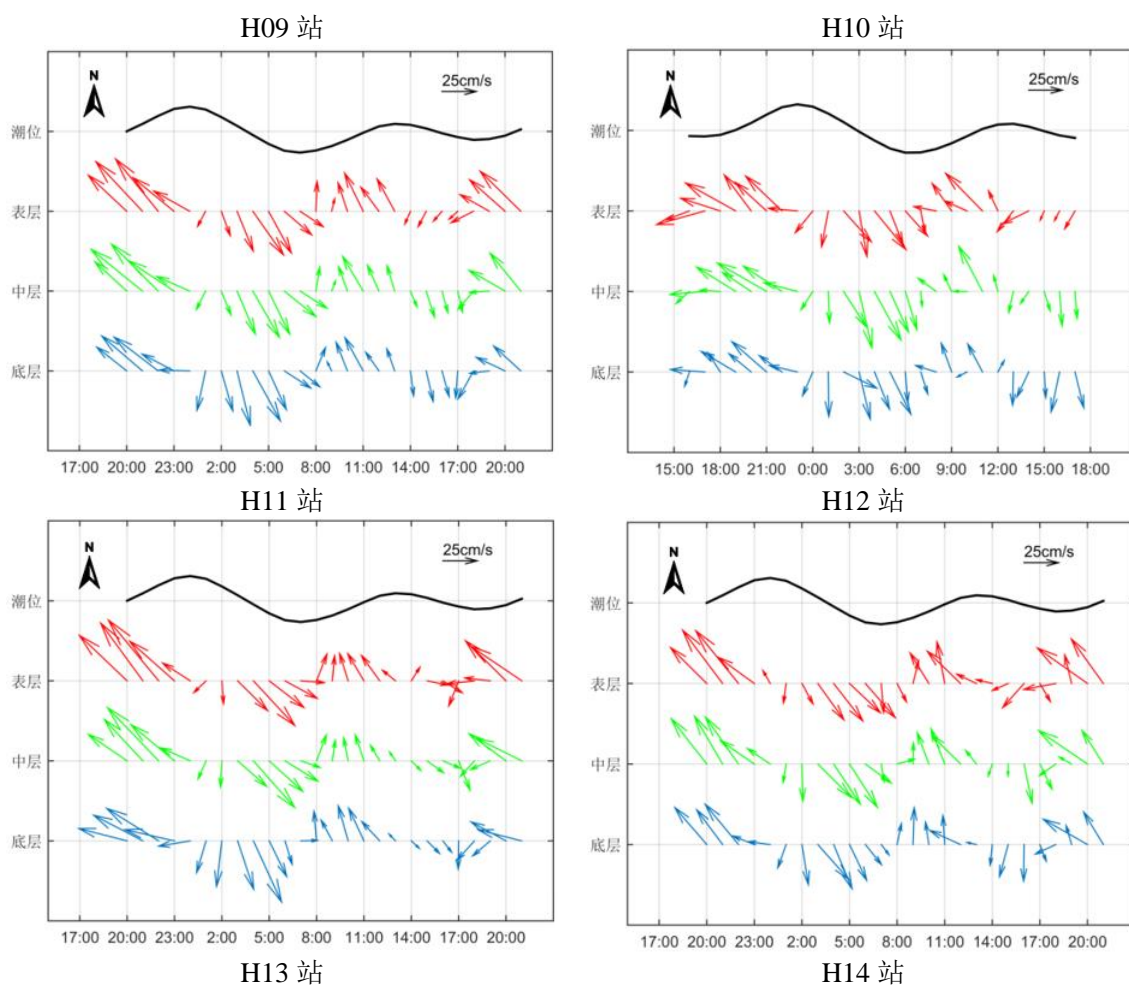
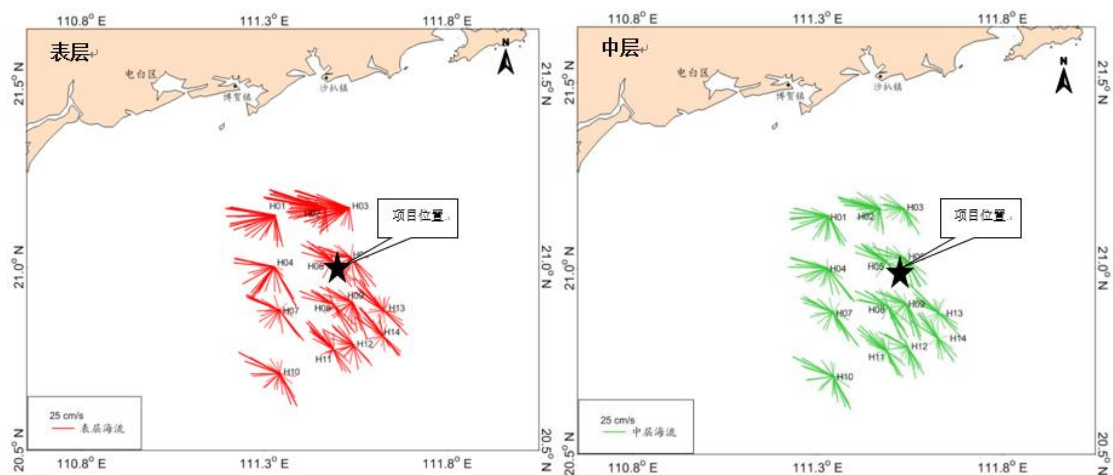


图 6.1-5 2019 年冬季调查海域实测海流矢量图



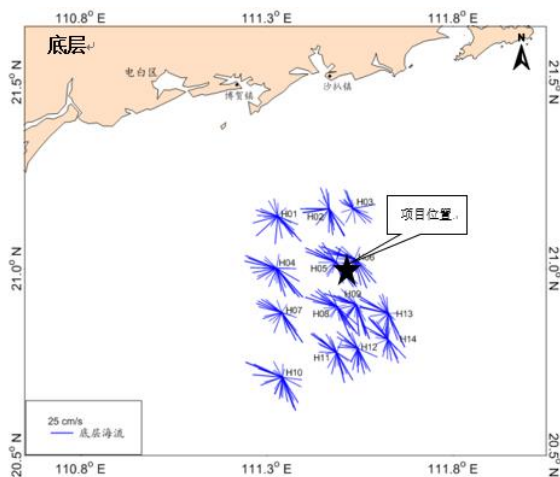


图 6.1-6 2019 年冬季调查海域实测海流玫瑰图

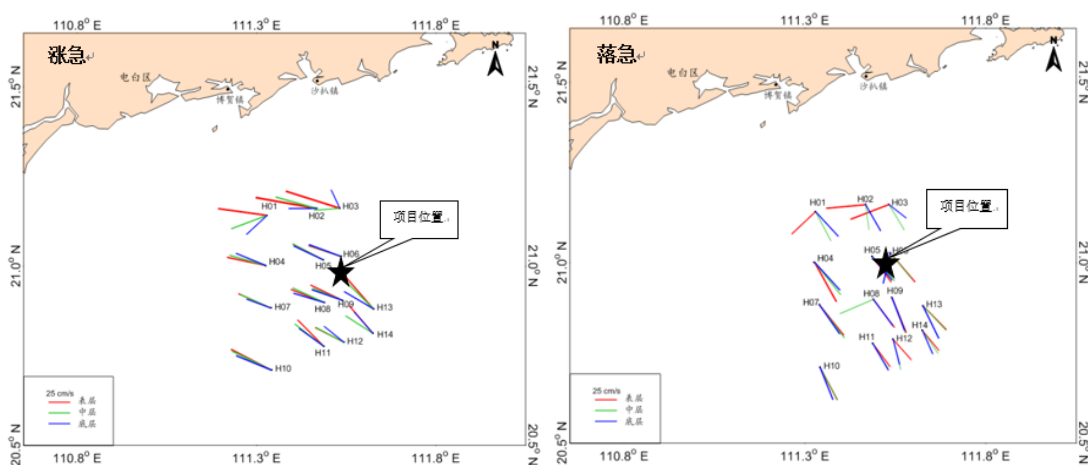


图 6.1-7 2019 年冬季调查海域涨、落急流场图

(2) 潮流分析

①潮流分析

根据调查，本工程海域潮流性质在调查海域各站层主要表现为不规则半日潮流，调查海域的潮流性质以不规则半日潮流为主。

在六个主要分潮流中 M2 分潮流椭圆长半轴(即最大流速)最大,其次为 K1、O1, S2、M4 次之, MS4 分潮流长半轴最小。M2 分潮最大主要反映了半日潮的特征。各站层中 M2 分潮流长半轴(最大流速)的最大值为 19.1cm/s, 方向为 144.6, 出现在 H10 站中层, 最小值为 11.0cm/s。方向为 131.8°, 出现在 H03 站底层。K1 分潮流长半轴(最大流速)的最大值为 13.7cm/s, 方向为 287.3°, 出现在 H02 站表层, 最小值为 3.4cm/s。方向为 26.8°, 出现在 H03 站底层。主要分潮流 M2 的潮流流向为西北-东南向。

②可能最大流速和水质点可能最大运移距离

根据《海港水文规范》（JTS145-2）规定，可利用分潮流椭圆要素计算全潮观测期间各站层的潮流可能最大流速和水质点可能最大运移距离。

潮流和风海流为主的近岸海区，海流可能最大流速可取潮流可能最大流速与风海流可能最大流速的矢量和。

根据各站层的潮流性质，计算了各层潮流可能最大流速和水质点可能最大运移距离，计算结果列入表 6.1-4 中，由表 6.1-4 可见，调查海域潮流可能最大流速为 47.0cm/s，出现在 H04 站表层，各站层可能最大流速介于 7.6-47.0cm/s 之间，潮流可能最大流速的方向大部分表现为西北向。水质点可能最大运移距离为 10.5km（H04 站表层），各站层可能最大运移距离介于 1.7-10.5km 之间，方向以西北向为主，与最大可能流速方向一致。

表 6.1-4 调查海区各站层潮流可能最大流速及水质点可能最大运移距离

站位	测层	可能最大流速		可能最大运移距离	
		流速 (cm/s)	方向 (度)	距离 (km)	方向 (度)
H01	表层	15.1	280.3	5.7	286.8
	中层	8.9	272.8	3.9	285.0
	底层	11.1	145.9	1.7	136.0
H02	表层	32.2	278.0	10.0	282.9
	中层	12.3	267.2	4.4	280.1
	底层	12.4	148.4	1.8	141.7
H03	表层	46.0	291.3	10.0	284.7
	中层	11.2	137.5	1.7	130.1
	底层	8.1	47.0	2.4	24.1
H04	表层	47.0	291.7	10.5	283.4
	中层	18.3	266.7	6.4	276.1
	底层	17.2	250.9	5.7	264.5
H05	表层	15.0	278.6	5.4	288.1
	中层	12.3	258.7	4.5	275.4
	底层	13.8	242.0	4.5	260.5
H06	表层	16.6	262.5	5.6	274.7
	中层	12.8	262.4	4.6	276.5
	底层	12.3	260.9	4.4	275.4
H07	表层	20.0	271.9	6.7	280.8
	中层	14.9	263.6	5.2	277.4
	底层	11.8	264.1	4.2	279.0
H08	表层	15.4	290.5	5.6	297.3
	中层	12.7	268.5	4.7	283.1
	底层	11.9	275.0	4.5	287.8
H09	表层	14.5	267.0	4.9	281.3
	中层	11.9	275.5	4.4	288.9
	底层	8.9	296.9	3.7	306.1
H10	表层	20.7	262.2	6.7	273.9

站位	测层	可能最大流速		可能最大运移距离	
		流速 (cm/s)	方向 (度)	距离 (km)	方向 (度)
	中层	19.4	253.0	6.2	267.3
	底层	17.9	246.4	5.5	261.3
H11	表层	18.2	284.3	6.1	293.4
	中层	14.4	267.9	5.0	282.5
	底层	12.6	252.4	4.1	272.0
H12	表层	14.2	292.3	5.0	299.8
	中层	9.5	290.6	3.8	301.6
	底层	7.6	284.9	3.1	300.1
H13	表层	19.6	282.9	6.7	290.1
	中层	15.7	262.7	5.3	275.5
	底层	13.1	145.6	1.9	142.4
H14	表层	19.1	296.7	6.5	303.0
	中层	11.5	278.8	4.3	293.8
	底层	11.4	264.1	3.8	282.8

注：表中方向只为其一， $\pm 180^\circ$ 为另一方向。

③余流分析

图 6.1-8 是各站余流分布图。从图可知，调查海域各站余流介于 2.1cm/s~37.2cm/s 之间，最大余流出现在 H03 站表层，大小为 37.2cm/s，方向为 257.3°；最小余流出现在 H03 站底层，大小为 2.1cm/s，方向为 71.5°。就整个海域，大潮期间余流较小，方向大体为西南向。

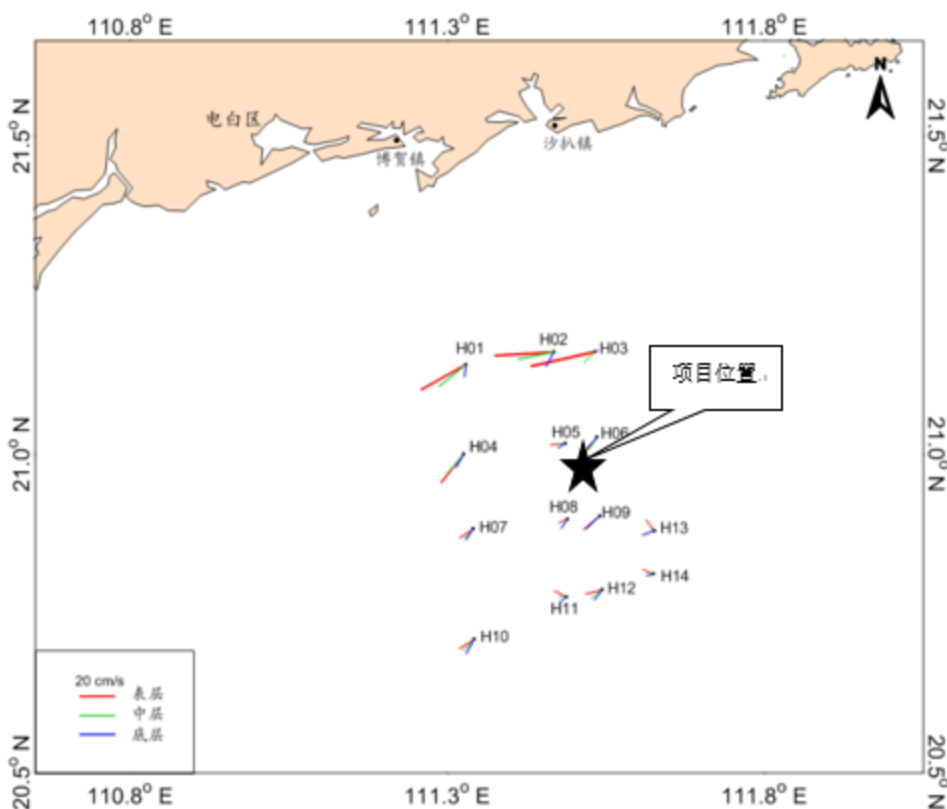


图 6.1-8 各站余流分布图

6.1.2.2 2021 年夏季

(1) 实测流速分析

① 实测最大流速

根据涨落潮的统计结果（表 6.1-5），大潮期间，场区北侧的 C19、C20 测站夏季实测最大涨潮流速分别为 0.56m/s（306°）、0.53m/s（305°），实测最大落潮流速分别为 0.49m/s（139°）、0.46m/s（119°）；中部的 C21、C22 测站夏季实测最大涨潮流速分别为 0.57m/s（305°）、0.54m/s（337°），实测最大落潮流速分别为 0.50m/s（113°）、0.54m/s（109°）；南侧的 C23、C24 测站夏季实测最大涨潮流速分别为 0.65m/s（340°）、0.57m/s（335°），实测最大落潮流速分别为 0.43m/s（114°）、0.41m/s（116°）。中潮期间，场区北侧的 C19、C20 测站夏季实测最大涨潮流速分别为 0.52m/s（324°）、0.51m/s（315°），实测最大落潮流速分别为 0.47m/s（131°）、0.44m/s（111°）；中部的 C21、C22 测站夏季实测最大涨潮流速分别为 0.64m/s（313°）、0.56m/s（316°），实测最大落潮流速分别为 0.51m/s（115°）、0.58m/s（149°）；南侧的 C23、C24 测站夏季实测最大涨潮流速分别为 0.60m/s（317°）、0.63m/s（318°），实测最大落潮流速分别为 0.55m/s（119°）、0.52m/s（136°）。小潮期间，各测站实测最大流速基本在 0.30m/s 左右。

由于本项目大中潮观测时间较为接近，大中潮期间实测最大潮流流速差别不大，大、中潮期间均有出现整个夏季观测期间的实测最大涨、落潮流；大中潮期间实测最大涨潮流流向基本呈西北向，实测最大落潮流流向基本呈东南向。

表 6.1-5 夏季测验期间实测最大流速 (m/s)、流向 (o) 统计

测站	潮汛	潮流	表层		0.2H		0.4H		0.6H		0.8H		底层		垂向	
			流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
C19	大潮	落潮	0.49	139	0.41	130	0.42	122	0.44	110	0.30	110	0.31	130	0.34	113
		涨潮	0.33	360	0.39	325	0.53	307	0.56	306	0.44	320	0.42	325	0.43	318
	中潮	落潮	0.39	146	0.47	131	0.40	113	0.41	106	0.43	118	0.41	144	0.38	112
		涨潮	0.42	329	0.32	325	0.44	314	0.52	324	0.48	312	0.46	315	0.40	320
	小潮	落潮	0.26	62	0.26	29	0.26	65	0.25	45	0.15	65	0.18	115	0.18	31
		涨潮	0.25	1	0.26	8	0.30	11	0.25	10	0.19	354	0.25	357	0.21	9
C20	大潮	落潮	0.45	125	0.46	119	0.33	111	0.30	118	0.31	115	0.35	136	0.35	115
		涨潮	0.37	333	0.49	318	0.53	305	0.50	301	0.51	304	0.35	319	0.47	310
	中潮	落潮	0.42	140	0.44	111	0.41	121	0.40	114	0.43	121	0.33	143	0.40	124
		涨潮	0.36	321	0.48	320	0.51	315	0.46	318	0.45	319	0.30	319	0.44	319
	小潮	落潮	0.24	17	0.25	68	0.28	20	0.26	45	0.19	41	0.19	24	0.21	25
		涨潮	0.31	24	0.27	15	0.29	30	0.31	16	0.22	4	0.23	26	0.25	23
C21	大潮	落潮	0.48	132	0.50	113	0.43	101	0.43	126	0.47	110	0.29	128	0.35	114
		涨潮	0.40	342	0.56	347	0.55	330	0.53	315	0.57	305	0.39	314	0.49	324
	中潮	落潮	0.40	144	0.50	131	0.51	115	0.43	103	0.43	106	0.37	125	0.44	118
		涨潮	0.43	348	0.38	358	0.44	343	0.53	334	0.64	313	0.38	321	0.44	334
	小潮	落潮	0.27	61	0.23	46	0.19	75	0.19	66	0.21	78	0.14	55	0.17	71
		涨潮	0.35	27	0.34	7	0.24	349	0.24	356	0.25	1	0.21	20	0.23	3
C22	大潮	落潮	0.47	129	0.54	109	0.48	109	0.28	113	0.29	111	0.26	133	0.35	115
		涨潮	0.35	353	0.52	345	0.54	337	0.45	298	0.46	314	0.31	317	0.42	327
	中潮	落潮	0.58	153	0.58	149	0.50	108	0.41	108	0.43	123	0.32	130	0.43	130
		涨潮	0.51	2	0.42	6	0.44	346	0.56	316	0.45	311	0.34	321	0.39	326
	小潮	落潮	0.34	76	0.33	6	0.33	46	0.30	48	0.29	36	0.17	49	0.22	55
		涨潮	0.36	360	0.40	358	0.30	356	0.29	352	0.27	7	0.17	7	0.25	12

C23	大潮	落潮	0.32	136	0.36	105	0.37	104	0.43	114	0.29	118	0.34	139	0.33	113
		涨潮	0.54	346	0.59	335	0.65	340	0.52	311	0.42	323	0.33	305	0.49	332
	中潮	落潮	0.43	146	0.46	135	0.33	118	0.55	119	0.49	109	0.38	145	0.41	121
		涨潮	0.41	346	0.46	344	0.50	349	0.60	317	0.57	324	0.46	332	0.47	334
	小潮	落潮	0.34	32	0.35	29	0.32	96	0.35	56	0.29	79	0.21	82	0.26	55
		涨潮	0.35	37	0.36	32	0.34	39	0.32	17	0.30	39	0.22	317	0.25	20
C24	大潮	落潮	0.25	139	0.29	100	0.41	116	0.30	111	0.31	138	0.24	151	0.27	119
		涨潮	0.51	340	0.57	335	0.52	318	0.44	304	0.43	320	0.26	319	0.44	323
	中潮	落潮	0.39	135	0.50	143	0.52	136	0.46	110	0.42	120	0.28	131	0.42	129
		涨潮	0.45	359	0.44	347	0.51	341	0.63	318	0.48	307	0.31	322	0.43	331
	小潮	落潮	0.28	130	0.32	76	0.35	59	0.21	60	0.38	62	0.41	21	0.22	61
		涨潮	0.27	25	0.30	70	0.34	49	0.31	29	0.39	32	0.40	22	0.24	17

表 6.1-6 夏季测验期间平均流速 (m/s) 统计

潮汛	站号	潮流	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
C19	大潮	落潮流	0.28	0.24	0.24	0.19	0.16	0.11	0.17
		涨潮流	0.20	0.25	0.31	0.33	0.27	0.24	0.26
	中潮	落潮流	0.25	0.22	0.21	0.20	0.20	0.18	0.17
		涨潮流	0.21	0.20	0.24	0.25	0.25	0.22	0.21
	小潮	落潮流	0.15	0.14	0.16	0.13	0.09	0.11	0.12
		涨潮流	0.14	0.17	0.21	0.17	0.12	0.13	0.16
C20	大潮	落潮流	0.26	0.25	0.20	0.21	0.20	0.15	0.19
		涨潮流	0.20	0.26	0.30	0.31	0.29	0.22	0.25
	中潮	落潮流	0.24	0.22	0.24	0.23	0.22	0.15	0.20
		涨潮流	0.20	0.21	0.24	0.23	0.22	0.17	0.21
	小潮	落潮流	0.15	0.18	0.19	0.18	0.12	0.11	0.16
		涨潮流	0.20	0.22	0.22	0.22	0.16	0.13	0.19
C21	大潮	落潮流	0.25	0.27	0.24	0.22	0.16	0.13	0.18
		涨潮流	0.27	0.34	0.30	0.31	0.32	0.20	0.28
	中潮	落潮流	0.24	0.26	0.25	0.27	0.28	0.17	0.22
		涨潮流	0.24	0.22	0.22	0.28	0.33	0.20	0.23
	小潮	落潮流	0.19	0.14	0.13	0.11	0.11	0.07	0.12
		涨潮流	0.22	0.21	0.16	0.14	0.14	0.11	0.16
C22	大潮	落潮流	0.25	0.29	0.25	0.15	0.14	0.11	0.17
		涨潮流	0.20	0.29	0.26	0.25	0.24	0.17	0.22
	中潮	落潮流	0.27	0.28	0.25	0.22	0.20	0.14	0.19
		涨潮流	0.24	0.25	0.21	0.25	0.21	0.18	0.20
	小潮	落潮流	0.21	0.20	0.20	0.20	0.12	0.09	0.16
		涨潮流	0.22	0.25	0.23	0.21	0.16	0.11	0.20
C23	大潮	落潮流	0.19	0.19	0.21	0.23	0.15	0.16	0.17
		涨潮流	0.33	0.31	0.33	0.25	0.26	0.19	0.27
	中潮	落潮流	0.25	0.24	0.21	0.30	0.27	0.18	0.19
		涨潮流	0.28	0.25	0.28	0.30	0.26	0.20	0.23
	小潮	落潮流	0.27	0.26	0.24	0.16	0.13	0.07	0.18
		涨潮流	0.25	0.28	0.23	0.20	0.13	0.09	0.19
C24	大潮	落潮流	0.17	0.17	0.21	0.16	0.13	0.11	0.14
		涨潮流	0.32	0.29	0.24	0.22	0.21	0.15	0.22
	中潮	落潮流	0.26	0.24	0.25	0.29	0.20	0.13	0.19
		涨潮流	0.29	0.25	0.23	0.31	0.23	0.16	0.22
	小潮	落潮流	0.12	0.17	0.19	0.15	0.25	0.26	0.16
		涨潮流	0.16	0.16	0.14	0.22	0.25	0.23	0.18

②流速的时间变化

流速的时间变化主要表现在大中小潮变化、涨落潮变化两个方面。

a、涨、落潮变化

实测最大流速分析表明,夏季测验期间各站基本呈实测最大涨潮流速大于落潮流速,差异值基本在 0.1m/s 左右。实测平均流速分析表明,总体而言夏季测验期间各站实测平均涨潮流速略大于落潮流速,差异值基本在 0.05m/s 左右。

b、大、中、小潮变化

潮流强度与潮汛相关,且受天气情况、海流等影响。各测站测验期间大、中、小潮期间的平均流速对比情况见图 6.1-9,由于大、中潮观测间隔较短,大中潮流速差别不大,部分站点甚至会出现中潮平均流速略大于大潮期的情况,但大潮至小潮流速递减的规律显而易见。

夏季观测期间所有站点的大潮平均流速约为小潮的 1.29 倍,C19-C24 测站大潮平均流速分别约为小潮的 1.54、1.29、1.68、1.10、1.21、1.07 倍。大潮各站平均流速在 0.18~0.23m/s 之间,中潮各站平均流速在 0.19~0.22m/s 之间,小潮各站平均流速在 0.14~0.18m/s 之间。

②流速的空间变化

a、平面变化

图 6.1-9 反映了各测站平均流速对比情况,整个场区各站点平均流速差别不大。

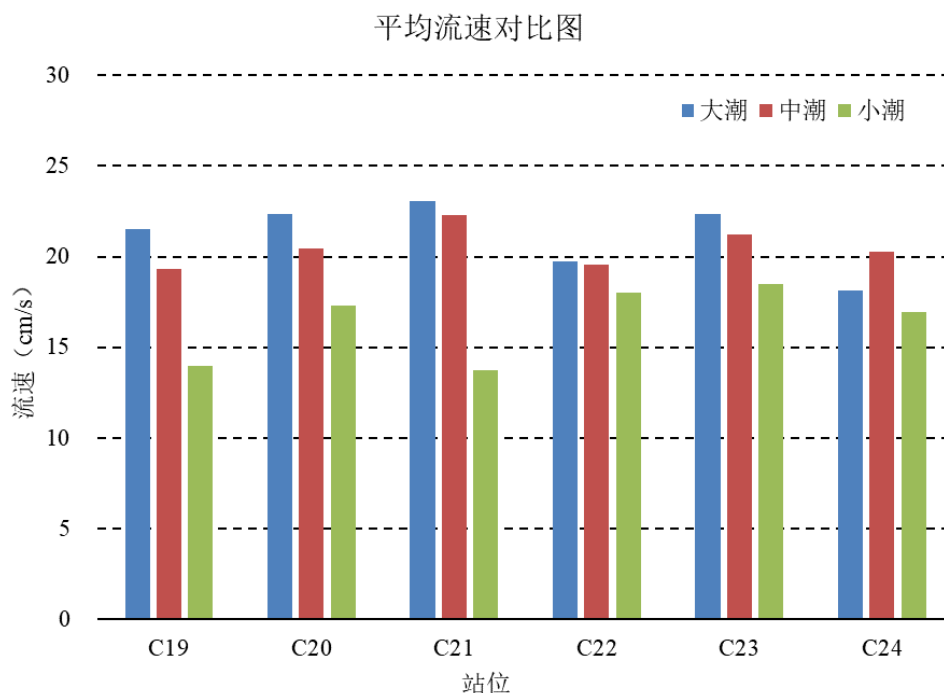


图 6.1-9 夏季测验期间各测站平均流速对比情况

夏季大潮观测期间 C19-C24 测站平均流速依次为 0.21m/s、0.22m/s、0.23m/s、

0.20m/s、0.22m/s、0.18m/s，中潮平均流速依次为 0.19m/s、0.20m/s、0.22m/s、0.20m/s、0.21m/s、0.20m/s，小潮平均流速依次为 0.14m/s、0.17m/s、0.14m/s、0.18m/s、0.18m/s、0.17m/s。

(2) 实测流向特征

测区各站垂向平均的流矢图见图 6.1-10~图 6.1-12，由图可见，观测期间，各测站涨落潮实测流向基本一致，大中潮期间，涨潮流呈西北向，落潮流呈东南向；但观测期间均存在东北向流向，主要是由于观测海域属不规则半日潮海域，潮汐两涨两落期间的高高潮和底低潮差异较大，一个潮周期（25 小时左右）内的潮差差异较大，存在一次较弱的涨潮过程和落潮过程，这期间海流实测流向以偏东北向为主。小潮期间，潮流涨落潮性质较弱，受季节性海流影响，流向基本均呈东北向。

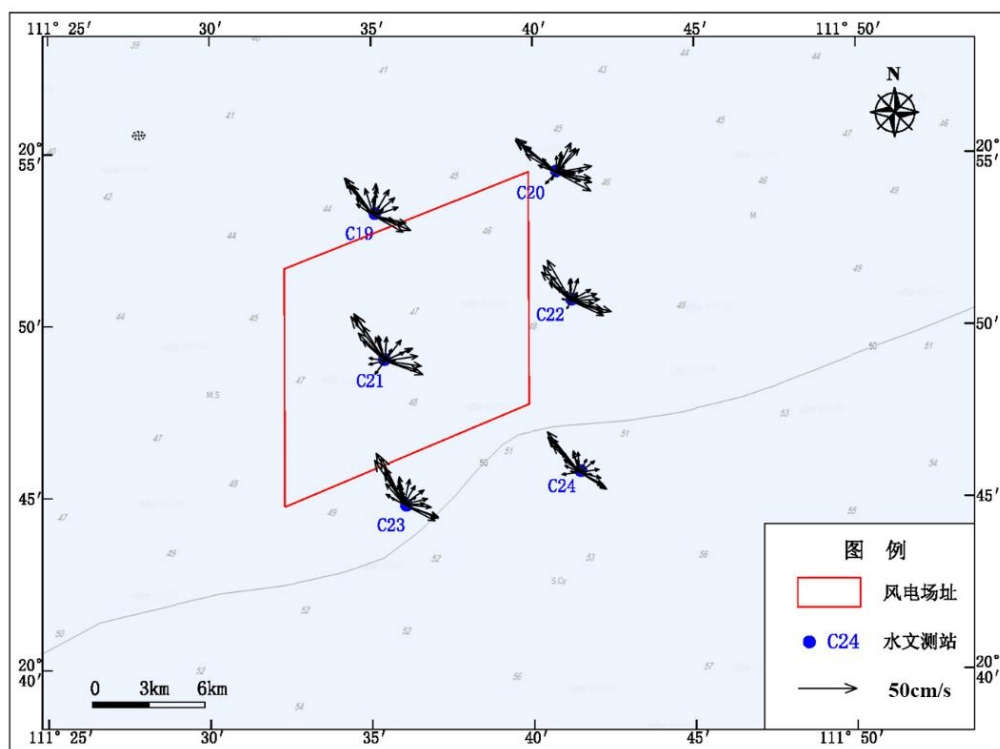


图 6.1-10 夏季大潮流矢图（垂向平均）

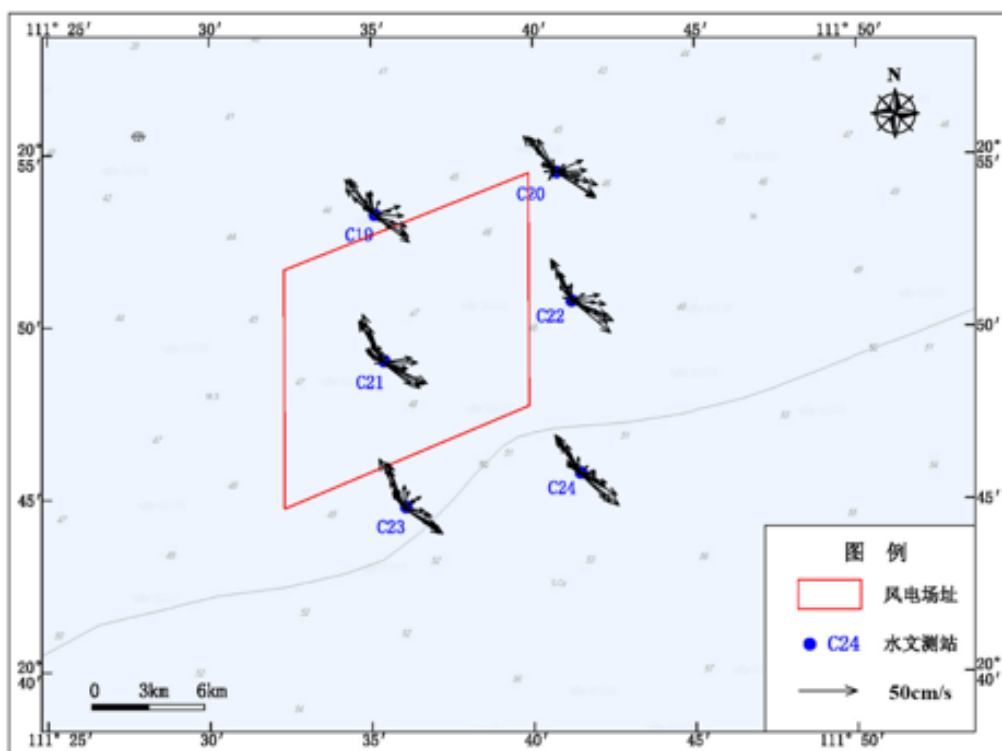


图 6.1-11 夏季中潮流矢图（垂向平均）

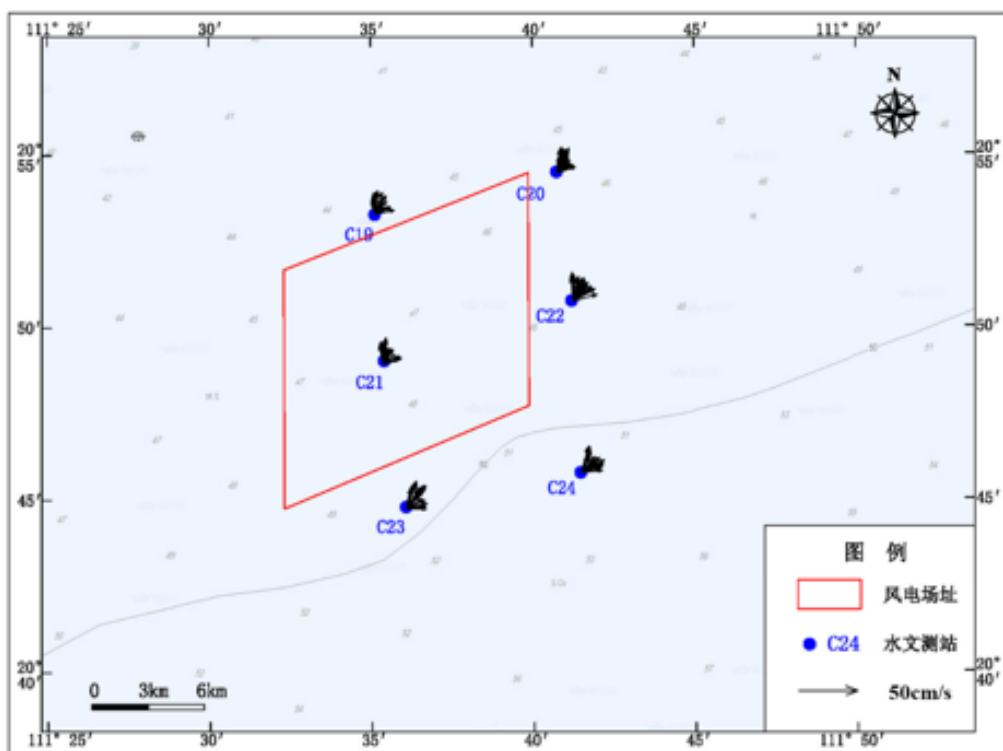


图 6.1-12 夏季小潮流矢图（垂向平均）

(3) 潮流调和分析

①潮流类型

根据潮流理论和相关规范规定，潮流类型由主太阴日分潮流（ O_1 ）与太阴太

阳赤纬日分潮流 (K_1) 的椭圆长半轴之和与主太阴半日分潮流 (M_2) 的椭圆长半轴之比值, 即 $(W_{K1}+W_{O1})/W_{M2}$ 来确定。本次调查中各测站各层比值均在 0.5-2.0 之间, 各站表征浅水效应强弱的 W_{M4}/W_{M2} 在 0.04~0.18 之间, 存在一定的浅水效应, 工程区潮流类型为不规则半日潮流。

②潮流运动形式

潮流运动形式可依主要分潮流 M_2 的椭圆率 K 予以判定。 $|K|$ 值越小, 往复流形式显著; 反之, 旋转流特征强烈。并规定当 K 值为正时, 潮流呈逆时针方向旋转; K 为负时, 潮流呈顺时针方向旋转。

各测站 $|K|$ 值绝对值在 0.01~0.16 之间, 结合流矢图, 潮流运动形式为往复流为主, 但部分站点、层次呈现一定的旋转流性质; 其中 C20 测站中层、C22 测站表层、中层和 C23 测站各层潮流均为顺时针方向旋转, 其余各站各层潮流均为逆时针方向旋转。

③余流

余流乃指消除周期性潮流后的一种相对稳定的流动。然而由于受分析方法和计算资料时间序列的限制, 表 6.1-7 列出的余流值可能包含了部分未被分离的潮流成份, 但仍可由此获取某些统计性的认识。

夏季调查期间测区垂向平均余流的平均值为 10.4cm/s, 观测期间各站各层余流值大小介于 2.4~24.3cm/s 之间, 最大余流值出现在 C23 测站表层, 大小为 24.3cm/s, 方向为 43°; 各测站余流最大值基本出现在表层、0.2H 层, 底层余流值相对较小。

整体而言, 大小潮期间, 各测站观测期间余流值相对较大, 中潮余流值相对较小; 且表层、0.2H 层余流值大于 0.8H 层、底层, 余流值随深度存在逐渐减小的趋势。观测期间, 各测站余流流向均呈东北-北向。

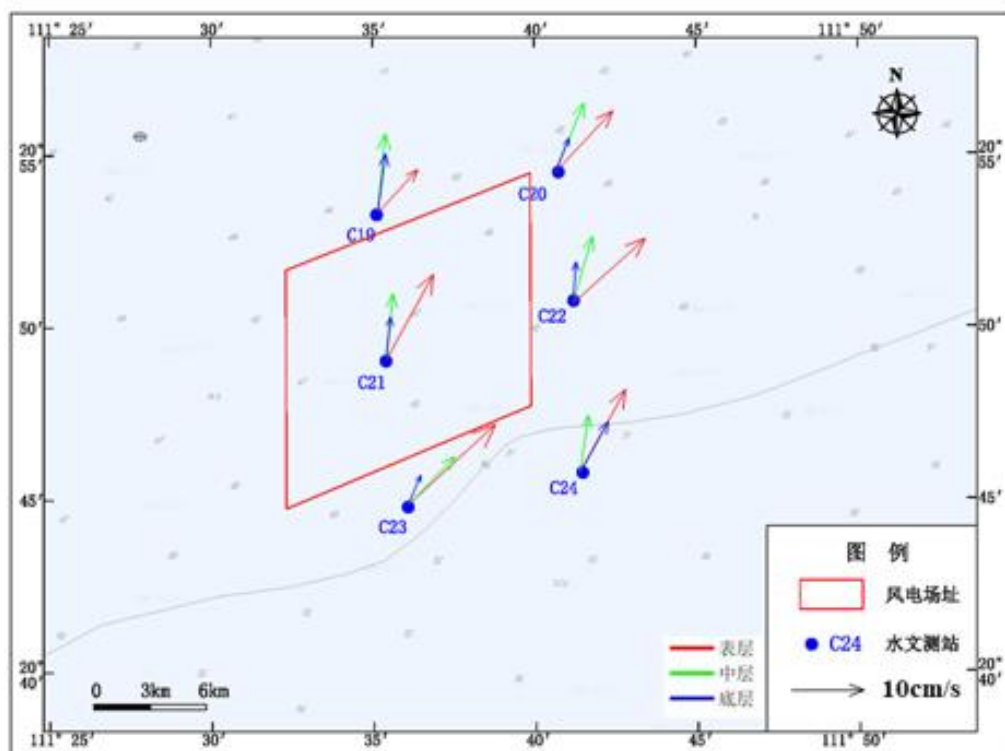


图 6.1-13 夏季余流流矢图

表 6.1-7 夏季余流值 (cm/s) 及方向 (°) 统计

站号	潮次	表 层		0.2 H		0.4 H		0.6 H		0.8H		底 层		垂向平均	
		流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
C19	大潮	8.7	50	13.7	23	16.3	16	13.6	356	9.4	340	9.2	357	11.7	9
	中潮	5.2	67	9.2	34	6.8	349	7.5	352	6.0	352	7.0	1	6.5	8
	小潮	11.6	26	12.9	28	17.0	35	13.1	24	8.4	30	9.1	23	12.3	29
C20	大潮	9.8	46	12.5	27	8.9	13	9.7	13	7.6	12	4.9	352	9.0	19
	中潮	9.6	57	5.6	24	5.2	339	5.0	350	4.4	357	2.4	4	4.7	8
	小潮	15.9	33	18.5	33	18.9	38	17.9	36	12.2	43	9.2	41	16.0	37
C21	大潮	13.6	23	17.6	16	14.7	18	11.0	7	13.6	339	7.1	339	12.9	7
	中潮	9.3	32	9.3	51	9.1	46	8.6	336	12.6	312	4.8	10	7.0	6
	小潮	17.8	32	16.0	22	12.3	36	10.0	30	9.5	37	7.4	29	12.0	31
C22	大潮	12.3	62	16.7	40	11.9	31	5.7	2	8.5	350	5.5	352	9.5	26
	中潮	11.5	60	12.9	58	9.3	50	6.5	341	4.4	336	4.0	359	6.7	34
	小潮	17.9	31	20.4	26	20.5	30	18.8	32	11.7	35	8.1	16	16.8	30
C23	大潮	15.8	61	17.5	9	19.0	9	7.8	40	12.0	356	5.8	6	12.6	16
	中潮	9.6	37	15.3	28	15.4	21	5.0	58	4.6	349	3.7	26	9.0	26
	小潮	24.3	43	23.7	44	21.0	47	15.1	42	10.2	55	4.4	45	16.8	46
C24	大潮	17.2	14	13.1	11	5.5	355	4.0	350	6.3	326	4.1	300	7.4	357
	中潮	17.2	33	9.7	26	5.5	34	8.5	314	3.0	295	3.7	348	5.9	5
	小潮	6.6	59	10.3	68	13.5	61	17.3	37	23.2	46	22.3	46	15.5	50

④潮流可能最大流速

潮流可能最大流速是根据准调和分潮各分潮参数计算得出。测区各站潮流可能最大流速计算统计结果见表 6.1-8，C19~C24 测站表层潮流可能最大流速分别为 52cm/s(315°)、52cm/s (312°)、60cm/s (316°)、56cm/s (314°)、56cm/s (319°)、53cm/s (314°)，中层可能最大流速分别为 56 cm/s (298°)、55cm/s (301°)、58cm/s (303°)、54cm/s (299°)、61cm/s (308°)、58cm/s (299°)，底层潮流可能最大流速分别为 43cm/s(316°)、42cm/s (316°)、44cm/s (311°)、37cm/s (311°)、45cm/s (318°)、42cm/s (312°)；垂向平均潮流可能最大流速分别为 49cm/s(307°)、53cm/s (303°)、54cm/s (309°)、51cm/s (309°)、50cm/s (316°)、47cm/s (313°)。

表 6.1-8 潮流可能最大流速 (cm/s) 及流向 (°) 统计

站号	表层		0.6H		底层		垂向平均	
	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
C19	52	315	56	298	43	316	49	307
C20	52	312	55	301	42	316	53	303
C21	60	316	58	303	44	311	54	309
C22	56	314	54	299	37	311	51	309
C23	56	319	61	308	45	318	50	316
C24	53	314	58	299	42	312	47	313
C19	52	315	56	298	43	316	49	307

(4) 潮流和潮位的关系

从潮流和潮位的过程曲线上也可以基本了解该工程区海域潮流的性质。图 6.1-14~6.1-15 列出了工程区水域 C1、C5、C9 代表测站调查期间的十分钟水位、流速及流向过程曲线。大潮第一个涨潮和落潮期间，潮差较大，潮流流速较大，潮流流速变化特征比较明显，涨、落潮流向基本呈西北-东南向(300°-110°左右)；第二个涨潮和落潮期间，潮差较小，潮流流速较小，流向基本呈东偏北向。中潮第一个涨潮和落潮期间，潮差较小，潮流流速较小，潮流流向变化较大，第二个涨潮和落潮期间，潮差较大，潮流流速较大，潮流流速变化特征比较明显，涨、落潮流向基本呈西北-东南向(300°-110°左右)。小潮期间，测区潮差整体较小，流速较小，流向以东向-北向为主。

由图可见，测区转流时刻基本出现在高低平潮前后，而最大流速则大致在半潮面附近，因此测区潮波性质应以驻波为主。

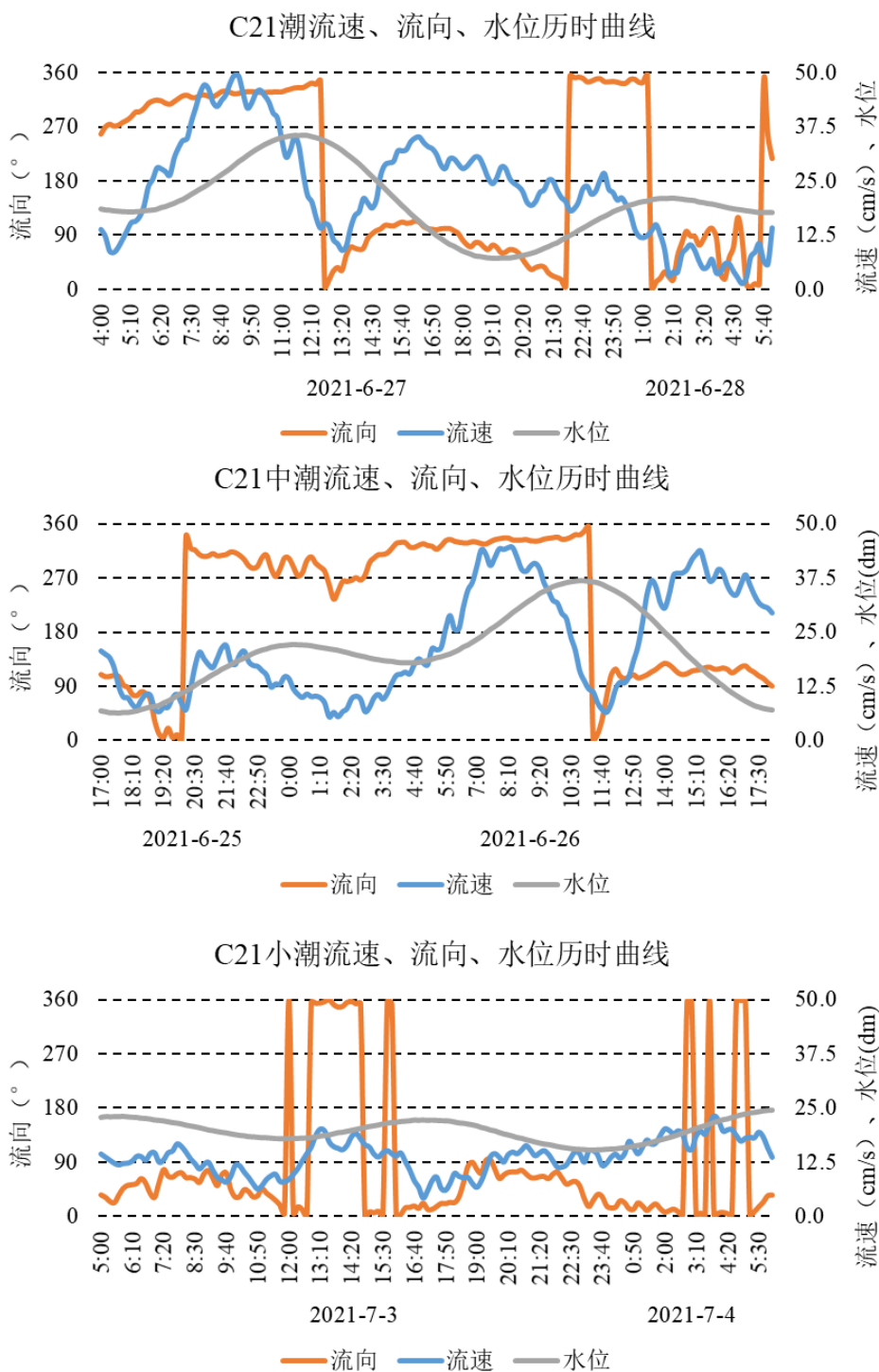


图 6.1-14 夏季调查期间 C21 测站潮位与流速流向过程曲线

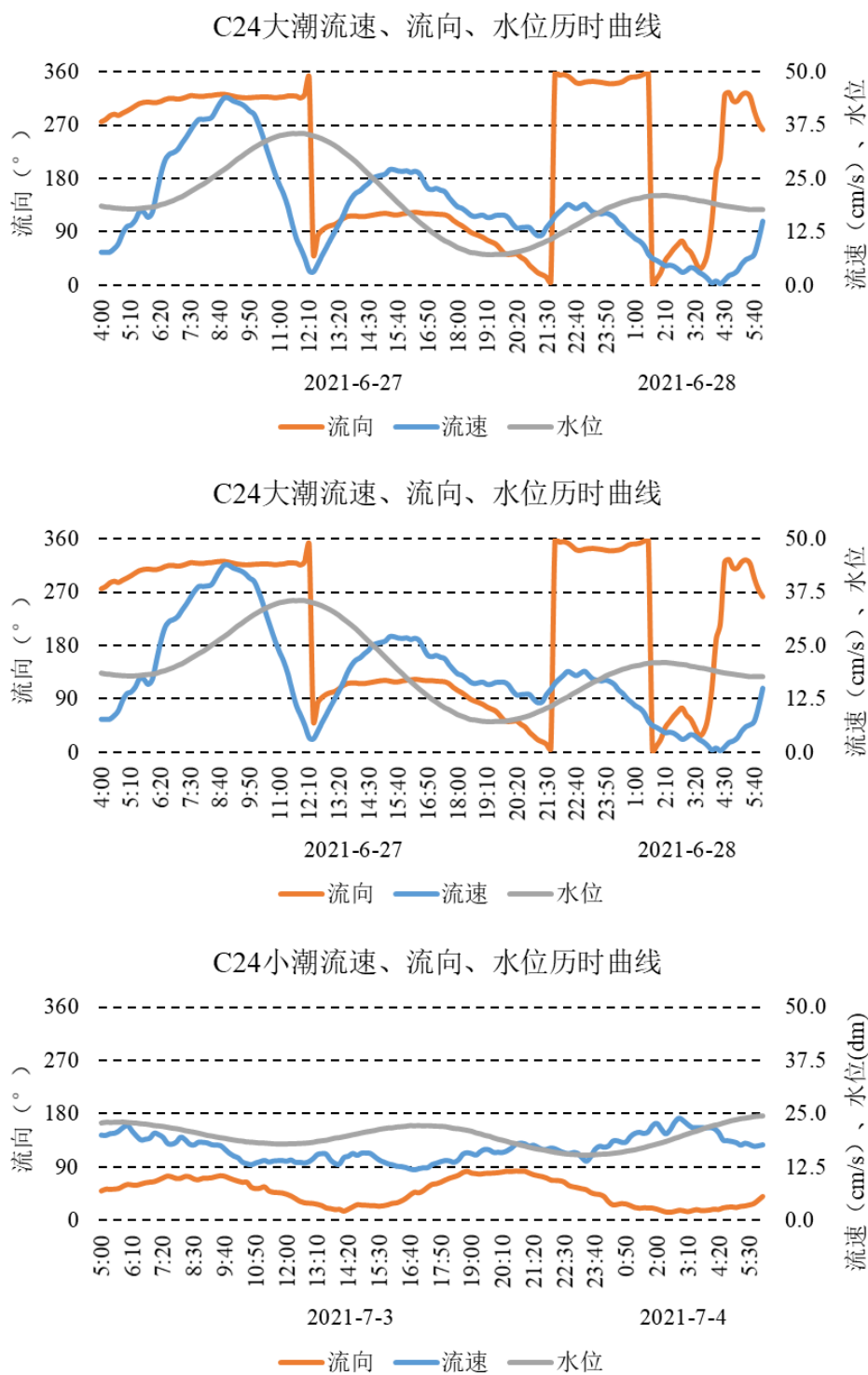


图 6.1-15 夏季调查期间 C24 测站潮位与流速流向过程曲线

6.1.3 含沙量

6.1.3.1 2019 年冬季

(1) 悬浮泥沙及其变化特征

为获取调查海域悬浮泥沙浓度分布变化情况，对悬浮泥沙进行了观测。

悬沙采样频率为每两小时一次，采样层次为表、中、底三层。

从悬沙观测的时间变化过程来看，各站表、中、底三层含沙量曲线呈不规则变化，大部分站层含沙量一般不超过 0.0200kg/m^3 。

从含沙量特征值统计表来看，表、中、底层最大悬浮泥沙浓度分别为 0.0190kg/m^3 、 0.0183kg/m^3 、 0.0175kg/m^3 ，分别出现在 H03 站表层、H01 站中层和 H01 站底层。

表 6.1-9 各站含沙量特征值统计表 (kg m^{-3})

站位	测层	最大值	最小值	平均值	平均
H01	表	0.0136	0.0017	0.0089	0.0096
	中	0.0183	0.0016	0.0106	
	底	0.0175	0.0015	0.0094	
H02	表	0.0127	0.0005	0.0096	0.0100
	中	0.0126	0.0099	0.0107	
	底	0.0116	0.0053	0.0098	
H03	表	0.0190	0.0082	0.0114	0.0101
	中	0.0123	0.0055	0.0106	
	底	0.0127	0.0009	0.0083	
H04	表	0.0141	0.0013	0.0094	0.0106
	中	0.0163	0.0078	0.0120	
	底	0.0157	0.0036	0.0103	
H05	表	0.0155	0.0011	0.0094	0.0093
	中	0.0166	0.0021	0.0091	
	底	0.0171	0.0019	0.0094	
H06	表	0.0186	0.0098	0.0113	0.0101
	中	0.0172	0.0016	0.0099	
	底	0.0120	0.0015	0.0091	
H07	表	0.0121	0.0010	0.0079	0.0086
	中	0.0116	0.0007	0.0085	
	底	0.0119	0.0033	0.0095	
H08	表	0.0177	0.0006	0.0099	0.0100
	中	0.0120	0.0074	0.0100	
	底	0.0120	0.0060	0.0101	
H09	表	0.0109	0.0012	0.0090	0.0090
	中	0.0114	0.0014	0.0086	
	底	0.0120	0.0052	0.0095	
H10	表	0.0141	0.0012	0.0086	0.0088
	中	0.0117	0.0004	0.0080	
	底	0.0132	0.0051	0.0097	
H11	表	0.0114	0.0009	0.0085	0.0094
	中	0.0180	0.0012	0.0104	
	底	0.0165	0.0013	0.0093	
H12	表	0.0172	0.0029	0.0099	0.0095
	中	0.0142	0.0005	0.0091	
	底	0.0117	0.0060	0.0094	

站位	测层	最大值	最小值	平均值	平均
H13	表	0.0166	0.0061	0.0101	0.0096
	中	0.0170	0.0070	0.0107	
	底	0.0110	0.0027	0.0081	
H14	表	0.0175	0.0047	0.0092	0.0090
	中	0.0161	0.0041	0.0091	
	底	0.0107	0.0060	0.0087	

②输沙量

影响悬沙运动的因素众多，有波浪、潮流、风等动力条件，此外悬沙运动与水质点的运动也不一致，为便于问题简化，在此仅讨论悬沙质量浓度与流速之间的关系。表 6.1-10 列出了根据现场观测流速、水深、含沙量参数计算出的全潮单宽输沙量统计结果。

观测期间最大涨潮输沙量出现于 H02 站，为 2.87t/m，方向为 281.7°；最大落潮输沙量出现于 H04 站，为 2.44t/m，方向为 160.6°。全潮最大净输沙量出现在 H02 站，为 3.65t/m，方向为 257.9°。

从各站净输沙量的方向来看，各站净输沙方向以西南向为主。

表 6.1-10 各站全潮单宽输沙量统计表

站位	涨潮		落潮		净输沙	
	输沙量	方向	输沙量	方向	输沙量	方向
	(t/m)	(°)	(t/m)	(°)	(t/m)	(°)
H01	2.65	260.9	1.29	167.7	2.88	234.3
H02	2.87	281.7	1.55	209.6	3.65	257.9
H03	2.60	279.8	1.31	184.9	2.81	252.2
H04	2.23	263.9	2.44	160.6	2.90	209.0
H05	1.85	304.6	1.38	160.7	1.09	256.8
H06	2.06	287.6	2.11	158.2	1.78	221.6
H07	1.29	289.3	1.94	156.6	1.43	198.1
H08	2.14	298.6	2.18	145.9	1.02	219.8
H09	2.39	278.5	2.04	167.2	2.51	229.4
H10	2.45	287.6	1.68	156.9	1.86	244.4
H11	2.55	317.3	1.69	160.7	1.20	283.6
H12	1.15	286.5	0.08	236.6	1.20	283.6
H13	2.86	318.9	1.72	148.2	1.19	305.3
H14	2.74	313.8	1.68	164.4	1.55	280.3

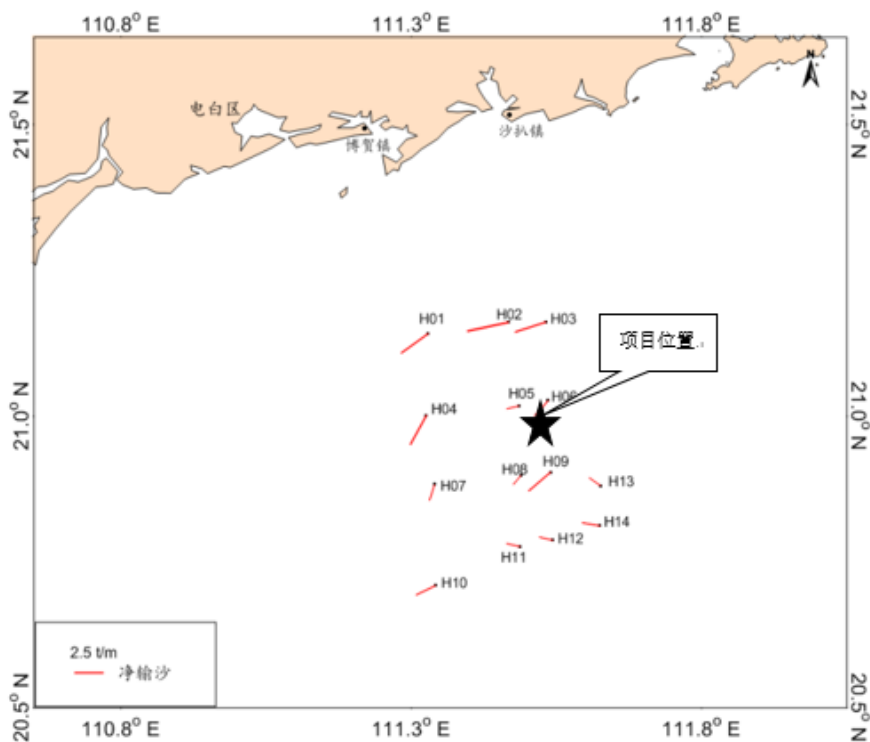


图 6.1-16 净输沙示意图

6.1.3.2 2021 年夏季

(1) 平均含沙量

各测站的平均含沙量列于表 6.1-11, 测区夏季平均含沙量为 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$, 大、中、小潮期间平均含沙量分别为 $0.022\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.025\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$, 各站垂向平均含沙量的日均值在 $0.013\sim 0.039\text{kg}/\text{m}^3$ 之间。

表 6.1-11 夏季各测站平均含沙量 (kg/m^3) 特征值

潮汛	站号	表层	中层	底层	落潮垂线	涨潮垂线	周日垂线平均
大潮	C19	0.029	0.034	0.028	0.027	0.032	0.03
	C20	0.016	0.017	0.022	0.019	0.016	0.018
	C21	0.013	0.015	0.020	0.016	0.016	0.016
	C22	0.019	0.015	0.022	0.014	0.022	0.019
	C23	0.037	0.034	0.043	0.037	0.038	0.038
	C24	0.012	0.010	0.018	0.010	0.013	0.013
	测区平均	0.021	0.021	0.025	0.020	0.023	0.022
中潮	C19	0.021	0.017	0.023	0.023	0.018	0.020
	C20	0.020	0.026	0.021	0.023	0.021	0.022
	C21	0.032	0.030	0.036	0.03	0.033	0.033
	C22	0.015	0.015	0.026	0.023	0.016	0.019
	C23	0.039	0.038	0.040	0.038	0.038	0.039
	C24	0.015	0.014	0.020	0.021	0.011	0.016
	测区平均	0.024	0.023	0.028	0.026	0.023	0.025
小潮	C19	0.019	0.023	0.023	0.021	0.022	0.021
	C20	0.026	0.026	0.024	0.027	0.024	0.025
	C21	0.028	0.024	0.028	0.026	0.031	0.027
	C22	0.023	0.026	0.024	0.025	0.027	0.024
	C23	0.021	0.022	0.024	0.021	0.024	0.022
	C24	0.022	0.016	0.015	0.016	0.019	0.018
	测区平均	0.023	0.023	0.023	0.023	0.025	0.023

(2) 实测最大、最小含沙量

夏季实测最大含沙量为 $0.059\text{kg}/\text{m}^3$ ，出现在 C20 测站中潮表层和 C21 测站小潮表层；最小含沙量为 $0.004\text{kg}/\text{m}^3$ ，出现在 C22 测站大潮中层和 C23 测站大潮表层；C19 测站夏季实测最大含沙量为 $0.052\text{kg}/\text{m}^3$ ，实测最小含沙量为 $0.005\text{kg}/\text{m}^3$ ；C20 测站夏季实测最大含沙量分别为 $0.059\text{kg}/\text{m}^3$ ，实测最小含沙量为 $0.005\text{kg}/\text{m}^3$ ；C21 测站夏季实测最大含沙量分别为 $0.059\text{kg}/\text{m}^3$ ，实测最小含沙量为 $0.005\text{kg}/\text{m}^3$ ；C22 测站夏季实测最大含沙量为 $0.057\text{kg}/\text{m}^3$ ，实测最小含沙量为 $0.004\text{kg}/\text{m}^3$ ；C23 测站夏季实测最大含沙量为 $0.058\text{kg}/\text{m}^3$ ，实测最小含沙量为 $0.004\text{kg}/\text{m}^3$ ；C24 测站夏季实测最大含沙量为 $0.054\text{kg}/\text{m}^3$ ，实测最小含沙量为 $0.005\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(3) 含沙量频率统计

为了解含沙量在不同区间出现的概率，由于测区海水含沙量较低，我们将测站各层逐时实测含沙量进行频率统计分析，结果列于表 6.1-12。夏季调查期间各

层逐时含沙量很低，均处于 $q < 0.06 \text{kg/m}^3$ 范围内。

表 6.1-12 夏季观测期间各站含沙量分级统计(%)

含沙量分级 (kg/m^3)		$q < 0.02$	$0.02 \leq q < 0.04$	$0.04 \leq q < 0.06$	$0.06 \leq q$
大潮	C19	22.22	48.15	29.63	0.00
	C20	65.43	28.40	6.17	0.00
	C21	70.37	28.40	1.23	0.00
	C22	61.73	30.86	7.41	0.00
	C23	7.41	43.21	49.38	0.00
	C24	86.42	11.11	2.47	0.00
	测区	52.26	31.69	16.05	0.00
中潮	C19	58.02	37.04	4.94	0.00
	C20	43.21	49.38	7.41	0.00
	C21	24.69	37.04	38.27	0.00
	C22	61.73	33.33	4.94	0.00
	C23	1.23	55.56	43.21	0.00
	C24	74.07	22.22	3.70	0.00
	测区	43.83	39.09	17.08	0.00
小潮	C19	39.51	59.26	1.23	0.00
	C20	30.86	61.73	7.41	0.00
	C21	41.98	34.57	23.46	0.00
	C22	40.74	51.85	7.41	0.00
	C23	45.68	49.38	4.94	0.00
	C24	75.31	17.28	7.41	0.00
	测区	45.68	45.68	8.64	0.00

(4) 含沙量的空间变化

含沙量的空间分布特征主要表现为平面和垂向变化。

①平面变化

夏季观测期间 C19~C24 站平均含沙量分别为 0.024kg/m^3 、 0.022kg/m^3 、 0.025kg/m^3 、 0.021kg/m^3 、 0.033kg/m^3 、 0.016kg/m^3 ，测区平均含沙量为 0.023kg/m^3 。

调查区平均含沙量为 0.023kg/m^3 以上，含沙量很小，平面上，C24 测站平均含沙量最小，为 0.016kg/m^3 ；C23 测站平均含沙量最大，为 0.033kg/m^3 ；其他 C19-C22 测站平均含沙量分别为 0.024kg/m^3 、 0.022kg/m^3 、 0.025kg/m^3 、 0.022kg/m^3 。大潮期间，C23 测站平均含沙量最大，C24 测站最小；中潮期间平均含沙量 C23 测站最大，C24 测站最小；小潮期间 C21 测站平均含沙量最大，C24 测站最小。

②垂向变化

测区含沙量垂向分布表现呈自上而下基本一致、差别不大的特征。大潮期间表、中、底层平均含沙量分别 0.021kg/m^3 、 0.021kg/m^3 、 0.025kg/m^3 ，中潮期间表、

中、底层平均含沙量分别 $0.024\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.028\text{kg}/\text{m}^3$ ，小潮期间表、中、底层平均含沙量分别 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$ 。

测区夏季观测期间表、中、底层平均含沙量之比约为 1.0: 1.0: 1.1。

(5) 含沙量的时间变化

含沙量时间变化主要反映大、中、小潮变化，涨落潮变化。

①大、中、小潮变化

夏季观测期间大潮平均含沙量为 $0.022\text{kg}/\text{m}^3$ ，各站垂线平均含沙量日均值在 $0.013\sim 0.038\text{kg}/\text{m}^3$ 之间；中潮平均含沙量为 $0.025\text{kg}/\text{m}^3$ ，各站垂线平均含沙量日均值在 $0.019\sim 0.039\text{kg}/\text{m}^3$ 之间；小潮平均含沙量为 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$ ，各站垂线平均含沙量日均值在 $0.018\sim 0.027\text{kg}/\text{m}^3$ 之间。

含沙量半月周期变化主要反映在大、中、小潮的周期循环，一般受潮流强弱影响。但本次夏季观测期间，工程所在海区含沙量本身极低，大、中、小潮测区平均含沙量和各站平均含沙量由高到低的变化特征不明显，平均含沙量差别不大。

②涨、落潮变化

测区总体涨、落潮含沙量相差不大。各个测站不同潮次含沙量情况有所不同，大潮时，C19、C22 测站涨潮含沙量稍高于落潮，其余测站涨落潮含沙量基本一致；中潮时，C19、C22、C24 测站涨潮含沙量稍低于落潮，其余测站涨落潮含沙量基本一致；小潮时，C21 测站涨潮含沙量稍高于落潮，其余测站涨落潮含沙量基本一致。

夏季大潮期间，测区平均涨、落潮含沙量分别为 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $0.020\text{kg}/\text{m}^3$ ；中潮期间，测区平均涨、落潮含沙量分别为 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $0.026\text{kg}/\text{m}^3$ ；小潮期间，测区平均涨、落潮含沙量分别为 $0.025\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $0.023\text{kg}/\text{m}^3$ 。

6.1.4 水温

6.1.4.1 2019 年冬季

调查期间调查海区测得的水温最大值为 21.74°C ，出现在 H12 站表层；测得水温的最小值为 18.55°C ，出现在 H03 站表层；离岸越远，水温越高。各站层水温呈不规则波动，除靠近岸边的 H01、H02、H03 站外，其余站位水温垂向相差不大。

6.1.4.2 2021 年夏季

夏季观测期间各站的垂向平均水温日变化幅度在 0.66~0.91℃之间，表层水温日变幅在 0.61~1.51℃之间，0.2H 层水温日变幅在 0.96~1.93℃之间，0.4H 层水温日变幅在 0.83~1.90℃之间，0.6H 层水温日变幅在 0.74~1.75℃之间，0.8H 层水温日变幅在 0.29~1.67℃之间，底层水温日变幅在 0.20~0.80℃之间。从变化幅度来看，各层次水温日变幅相差不大，底层变化幅度稍小。

6.1.5 盐度

6.1.5.1 2019 年冬季

调查期间调查海区测得的盐度最大值为 34.25，出现在 H12 站表层；测得盐度的最小值为 32.12，出现在 H03 站表层。盐度由岸边向外海逐渐增加，但总体相差不大。各站层盐度曲线呈不规则波动状，除 H01、H02 和 H03 站出现略有分层外，其余站位盐度相差不大。

6.1.5.2 2021 年夏季

夏季观测期间，C20、C21、C24 三站盐度平均值分别为 34.44、34.46、34.30；测区水域大潮 C20、C21、C24 三站垂线平均盐度值分别为 34.42、34.45、34.25；中潮观测期间，C20、C21、C24 三站垂线平均盐度值分别为 34.49、34.35、34.30；小潮观测期间，C20、C21、C24 三站垂线平均盐度值分别为 34.41、34.58、34.35。三站盐度值差别不大，C20 测站观测期间盐度平均值为 34.44，C21 平均值为 34.46，C24 平均值为 34.30；盐度差异不超过 0.20。

6.1.6 底质

根据浙江华东建设工程有限公司于 2021 年 7 月在工程海域进行的沉积物调查，底质调查采样区的底质，粉砂含量较高，粘土含量次之，砂含量较低。调查区域表层沉积物的粗细变化特征为：与水深地形变化相对应，水深大区域则中值粒径小，水深小的区域中值粒径小大。按沉积物分类和命名原则，可分为两种类型：粉砂、粘土质粉砂。其中，粉砂的中值粒径为 8.45~10.10 μm ，平均值 9.09 μm 。粘土质粉砂的中值粒径 6.87~11.00 μm ，平均值 9.12 μm 。

6.2 地形地貌与工程地质

6.2.1 工程地质

拟建风电场场地位于阳江市阳西县及茂名市电白区东南面海域，场址离岸约68km，水深46.5m~52.5m，所在海域宽阔，附近未见岛屿、礁石分布，勘探区海床较为平坦，总体上海床自北往南缓缓降低，海床底质为淤泥底质。

根据钻探成果，95m深度范围内主要为全新统海相、全新统海陆过渡相沉积层及晚更新世海陆交互相沉积层(Q₄^m、Q₄^{m+al}、Q₃^{m+al})。

各岩土层特征按由上至下的揭露顺序描述如下：

1) 第一大层：全新统海相沉积层(Q₄^m)

该大层广泛分布于风电场场区表层，主要包含4个亚层。

淤泥质土(①₂)：灰色，饱和，流塑，土质赋滑，含有机质，略具腥臭味，局部含少量粉细砂，海相沉积。该层厚度为1.50m~9.60m，层底面高程为-68.71m~-50.40m，层顶面高程为-60.86m~-44.89m。

粉砂(①₃)：深灰色，饱和，松散，砂的主要成分为石英，级配不良，含少量贝壳碎片，海相沉积。钻孔揭露该层厚度为3.10m，层底面高程为-52.07m，层顶面高程为-48.97m。

粉砂混淤泥(①₃₋₁)：深灰色，饱和，松散~中密，砂的主要成分为石英，混大量淤泥，级配不良，含少量贝壳碎片，海相沉积。钻孔揭露该层厚度为1.30m~9.20m，层底面高程为-62.60m~-55.20m，层顶面高程为-59.60m~-49.91m。

淤泥混砂(①₅)：深灰色，饱和，流塑，混多量粉细砂颗粒，混少量贝壳碎屑，含有机质，略具腥臭味，海相沉积。钻孔揭露该层厚度为0.60m~4.50m，层底面高程为-54.36m~-48.25m，层顶面高程为-50.80m~-45.31m。

2) 第二大层：全新统海陆过渡相沉积层(Q₄^{m+al})

该大层在风电场内广泛分布，该层在场地水平方向层位分布较稳定，但厚度变化较大，主要包含9个亚层。

黏土(②₁)：灰色，很湿，软塑，切面光滑，黏性较好，韧性高，局部夹薄层粉细砂，海陆过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为4.50m~8.00m，层底面高程为-66.90m~-60.59m，层顶面高程为-62.40m~-52.59m。

黏土(②₁₋₁)：灰色，湿，可塑，切面光滑，黏性较好，韧性高，局部夹薄层

粉细砂，海陆过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为 4.50m~5.20m，层底面高程为-88.66m~-63.95m，层顶面高程为-83.46m~-59.25m。

粉质黏土(②₂)：灰色，很湿，软塑，黏性一般，夹多段厚度 3~20mm 不等的粉细砂，含少量贝壳碎片，海陆过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为 4.20m~7.40m，层底面高程为-67.10m~-56.20m，层顶面高程为-62.60m~-50.40m。

粉质黏土(②₂₋₁)：灰色，湿，可塑，黏性一般，切面较粗糙，含较多粉细砂，局部过渡为粉土，海陆过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为 0.80m~7.60m，层底面高程为-100.90m~-57.56m，层顶面高程为-96.20m~-52.06m。

粉砂(②₃)：灰色，饱和，中密~密实，主要矿物为石英和长石，级配差，含少量黏粒，海陆过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为 1.10m~5.60m，层底面高程为-102.40m~-64.07m，层顶面高程为-98.30m~-62.27m。

粉砂混黏性土(②₃₋₁)：灰色，饱和，中密~密实，主要矿物为石英和长石，混>25%黏粒，级配不良，海陆过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为 1.30m~6.20m，层底面高程为-87.15m~-71.46m，层顶面高程为-81.95m~-66.15m。

中砂(②₅)：灰、灰黄色，饱和，中密~密实，主要矿物为石英和长石，级配差，含少量黏粒，海陆过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为 1.20m~7.10m，层底面高程为-82.61m~-73.59m，层顶面高程为-75.51m~-69.79m。

中砂混黏性土(②₅₋₁)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英和长石，混>25%黏粒，级配不良，海陆过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为 1.30m~1.70m，层底面高程为-91.06m~-76.36m，层顶面高程为-89.36m~-75.06m。

粗砂(②₆)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英和长石，颗粒呈亚圆形~次棱角状，级配不良，海陆过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为 0.90m，层底面高程为-75.06m，层顶面高程为-74.16m。

3) 第三大层：晚更新统海陆交互相沉积层(Q₃^{m+al})

该大层在风电场内绝大部分地段有分布，钻孔未揭穿该大层，主要包含 12 个亚层。

黏土(③₁)：灰色，湿，可塑，土质黏性较好，切面光滑，局部混多量粉细砂，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 0.50m~8.20m，层底面高程为-152.23m~-103.20m，层顶面高程为-148.15m~-95.70m。

黏土(③₁₋₁)：灰色，稍湿，硬塑，土质黏性较好，切面光滑，局部混多量粉

细砂，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 5.10m~5.20m，层底面高程为-141.66m~-136.56m，层顶面高程为-136.56m~-131.36m。

粉质黏土(③₂)：灰色，湿，可塑，土质黏性一般，韧性中等，含多量粉细砂，局部过渡为粉砂混黏性土或粉土，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 0.50m~10.20m，层底面高程为-147.26m~-87.61m，层顶面高程为-140.00m~-82.61m。

粉质黏土(③₂₋₁)：青灰色，稍湿，硬塑，土质黏性一般，韧性中等，含多量粉细砂，局部过渡为粉砂混黏性土或粉土，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 2.40m~4.00m，层底面高程为-141.16m~-96.36m，层顶面高程为-137.66m~-93.96m。

粉砂(③₃)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英和长石，混黏粒，级配不良，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 1.60m~7.90m，层底面高程为-137.21m~-86.81m，层顶面高程为-132.31m~-83.00m。

粉砂混黏性土(③₃₋₁)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英和长石，混>25%黏粒，局部过渡为粉砂混黏性土，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 0.70m~11.90m，层底面高程为-152.03m~-84.31m，层顶面高程为-150.80m~-81.41m。

细砂(③₃)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英和长石，混黏粒，级配不良，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 1.00m~10.40m，层底面高程为-143.50m~-97.80m，层顶面高程为-142.00m~-91.50m。

细砂混黏性土(③₃₋₁)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英和长石，混>25%黏粒，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 3.90m~5.90m，层底面高程为-149.43m~-107.40m，层顶面高程为-143.50m~-103.50m。

中砂(③₅)：灰、灰黄色，饱和，密实，颗粒呈亚圆形~次棱角状，级配不良，局部过渡为粗砂，混黏粒，含少量贝壳碎片，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 0.70m~12.60m，层底面高程为-148.15m~-85.09m，层顶面高程为-142.10m~-80.36m。

中砂混黏性土(③₅₋₁)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英和长石，混>25%黏粒，海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 0.70m~1.90m，层底面高程为-117.80m~-112.11m，层顶面高程为-117.10m~-110.21m。

粗砂(③₆)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英，级配较好，混黏粒，海陆

过渡相沉积。钻孔揭露该层厚度为 0.70m~12.60m,层底面高程为-150.80m~-88.89m,层顶面高程为-148.70m~-87.09m。

粗砂混黏性土(③₆₋₁):灰色,饱和,密实,主要矿物为石英和长石,混>25%黏粒,海陆交互相沉积。钻孔揭露该层厚度为 1.70m,层底面高程为-137.56m,层顶面高程为-135.86m。

6.2.2 水文地质条件

根据周边工程勘测结果,风电场地段地下水主要为松散岩类孔隙水。孔隙水主要赋存于全新统海相沉积的砂土及全新统海陆过渡相、晚更新统海陆交互相沉积的砂土等含水岩土层中。全新统海相沉积、全新统海陆过渡相、晚更新统海陆交互相沉积的黏性土层属弱~微透水层,渗透性差,为相对隔水层,故在各黏性土层中呈层状分布的中等~强透水砂土层具有微承压性。松散岩类孔隙水与海水水力联系密切,主要接受海水补给,往地势低洼处径流排泄,或以泉或散流的形式排泄于海水中。

6.2.3 不良地质作用和特殊性岩土

勘测期间场区未见海底滑坡、海底崩塌、浅层气等不良地质作用发育迹象及海底地震地质灾害问题。场区可能存在的不良地质作用主要为软土震陷和饱和砂土液化。

(1) 不良地质作用

①软土震陷

本次勘测钻探资料表明,场地软土主要为全新统海积的流塑淤泥质土及淤泥混砂,具有分布广、高压缩性、高灵敏度的特点;多为欠固结、稳定性极差的土体,承载力特征值<80kPa,因此,在 7 度地震作用下存在发生震陷的可能。桩基基础设计时应考虑软土震陷、软土固结和下沉对桩身会产生负摩擦力作用的不利影响。

②砂土液化

根据判别结果和现有资料分析,当发生烈度为 7 度的地震时,风电场区在 20m 深度内的砂层中,部分砂土层会发生液化,①₃₋₁层粉砂混淤泥液化等级为轻微~中等,①₃层粉砂等级为中等或不液化。

(2) 特殊性岩土

场内特殊性岩土主要为淤泥混砂及淤泥质土等软土层，具有压缩性较高、强度较低等特点。软土地基承载力低，易发生震陷，受荷后沉降量较大，应注意软土可能产生的桩侧负摩阻力。

6.2.4 场地稳定性和适宜性评价

拟建工程近场区现代构造活动较弱，最新活动时代为中更新世，区域地壳稳定性较好，拟建场地属于稳定性较好的场地。

场地地貌类型单一，地面稍有起伏，地层分布稳定，综合评价场地稳定性较好，适宜海上风电场建设。

6.2.5 建筑的场地类别划分及地震动参数

根据本次钻探成果，场地覆盖层厚度大于 80m，按照《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010，2016 年版）4.1.6 条建筑场地类别划分方法，场区内场地类别为Ⅲ~Ⅳ类，根据 4.1.1 条划分标准，场地软土分布厚度大，属对建筑抗震不利的地段。

按《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）表 1 基本地震动加速度反应谱特征周期调整表和附录 E 中地震动峰值加速度调整系数表，建议本工程Ⅲ类场地 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度暂按 0.125g 考虑，对应地震基本烈度为Ⅶ度，基本地震动加速度反应谱特征周期暂按 0.45s 考虑；Ⅳ类场地 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度暂按 0.12g 考虑，对应的地震基本烈度为Ⅶ度，基本地震动加速度反应谱特征周期暂按 0.65s 考虑。

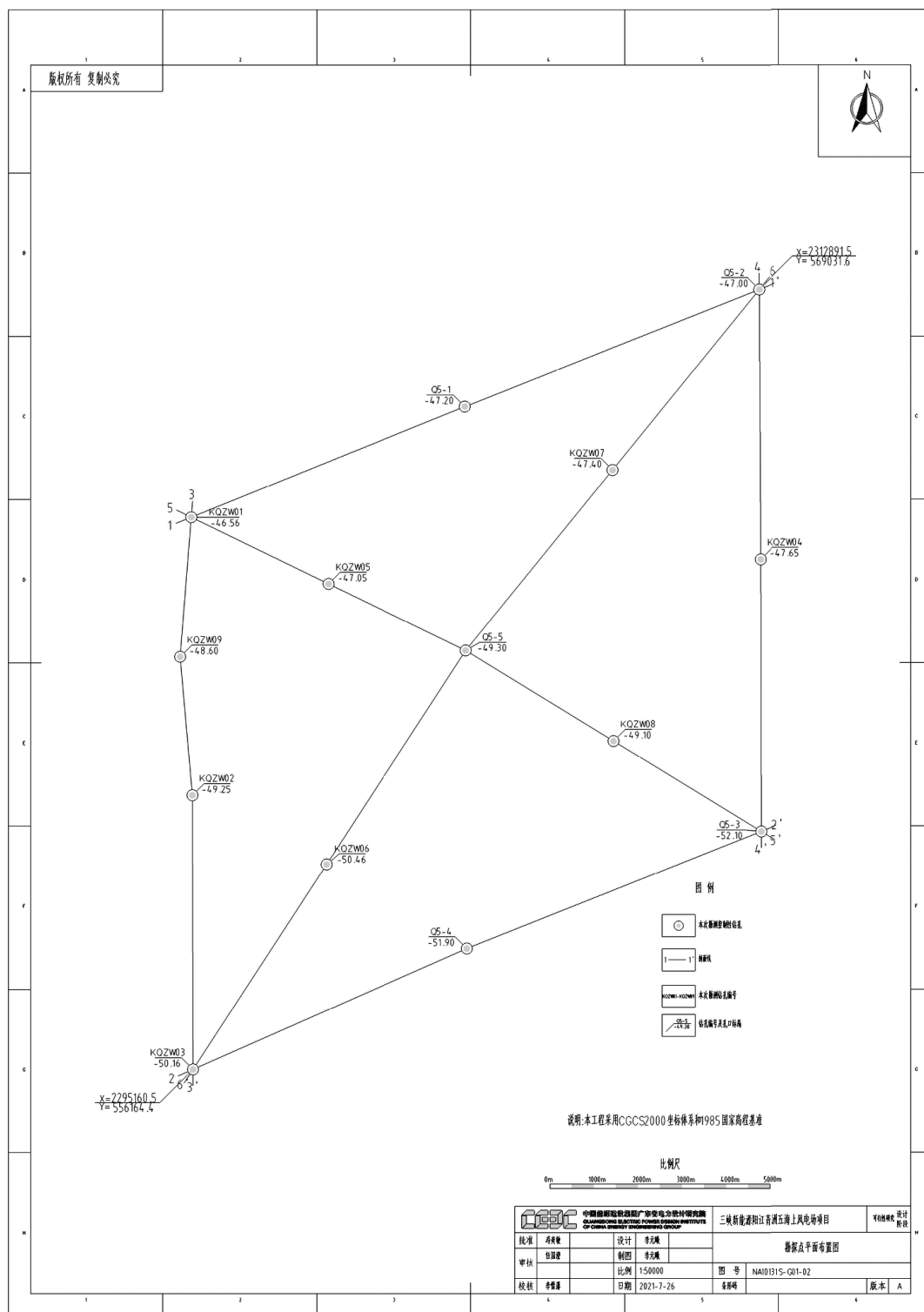


图 6.2-1 钻孔平面布置图

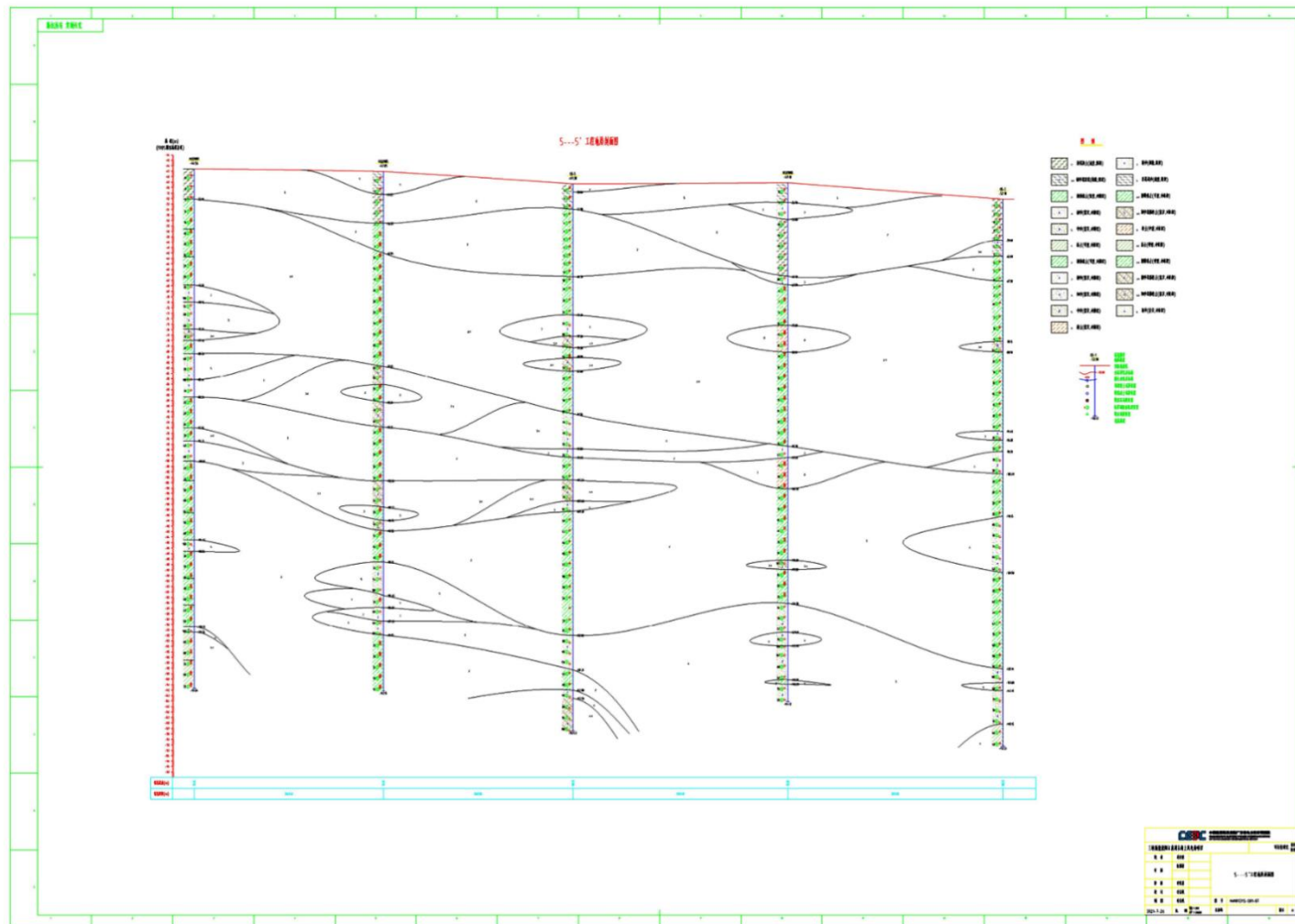


图 6.2-2 钻孔剖面图 (DP5)

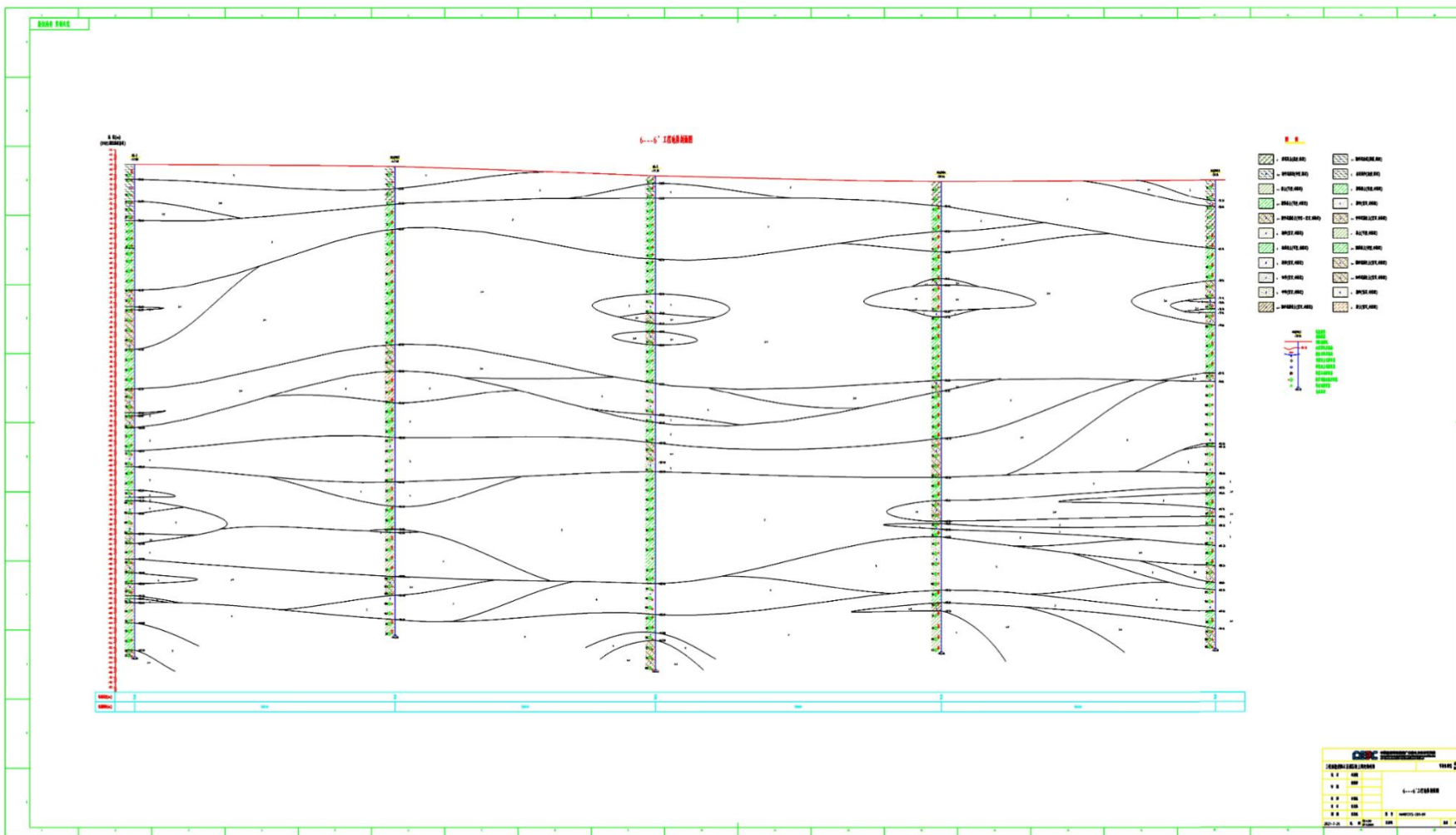
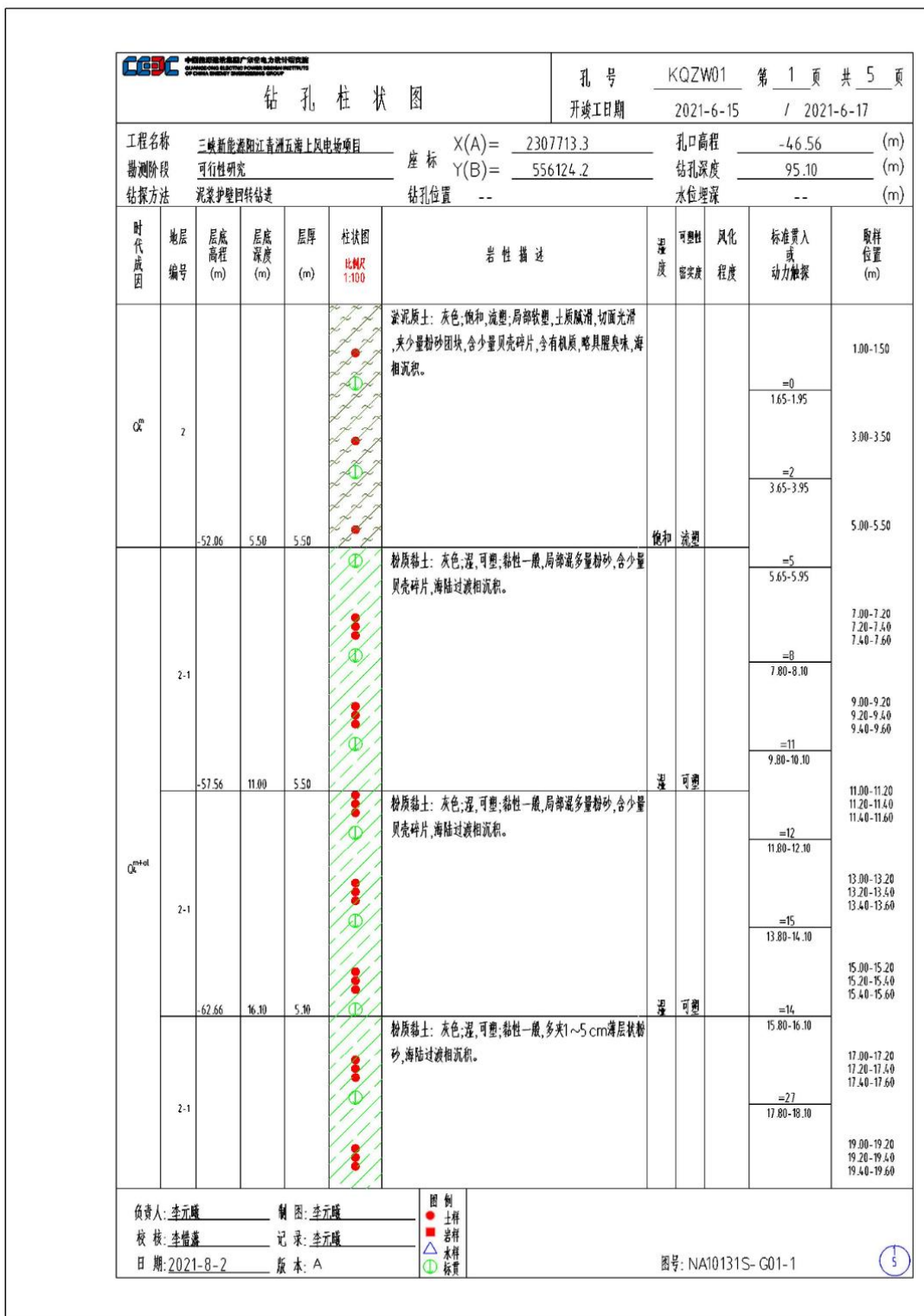
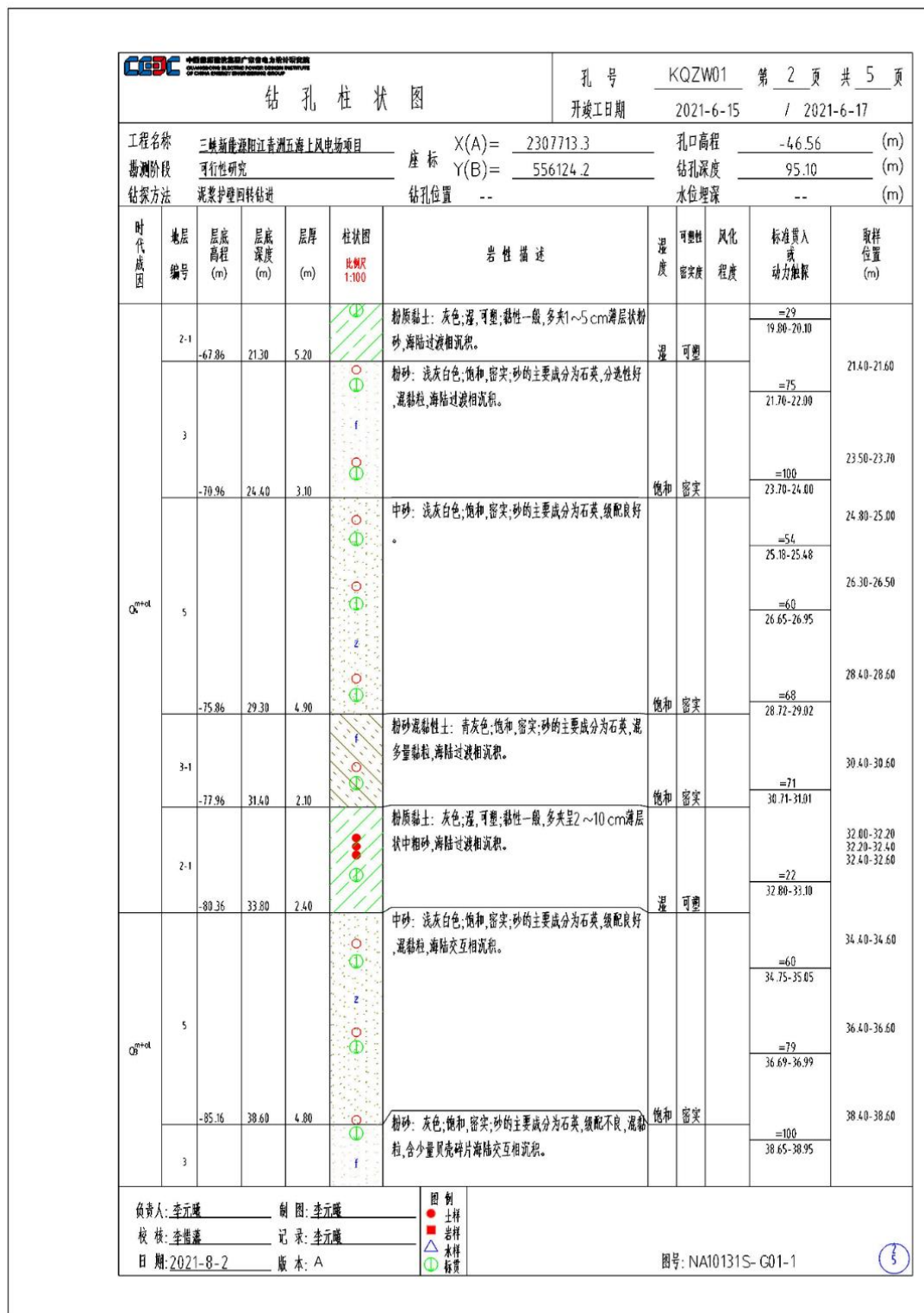
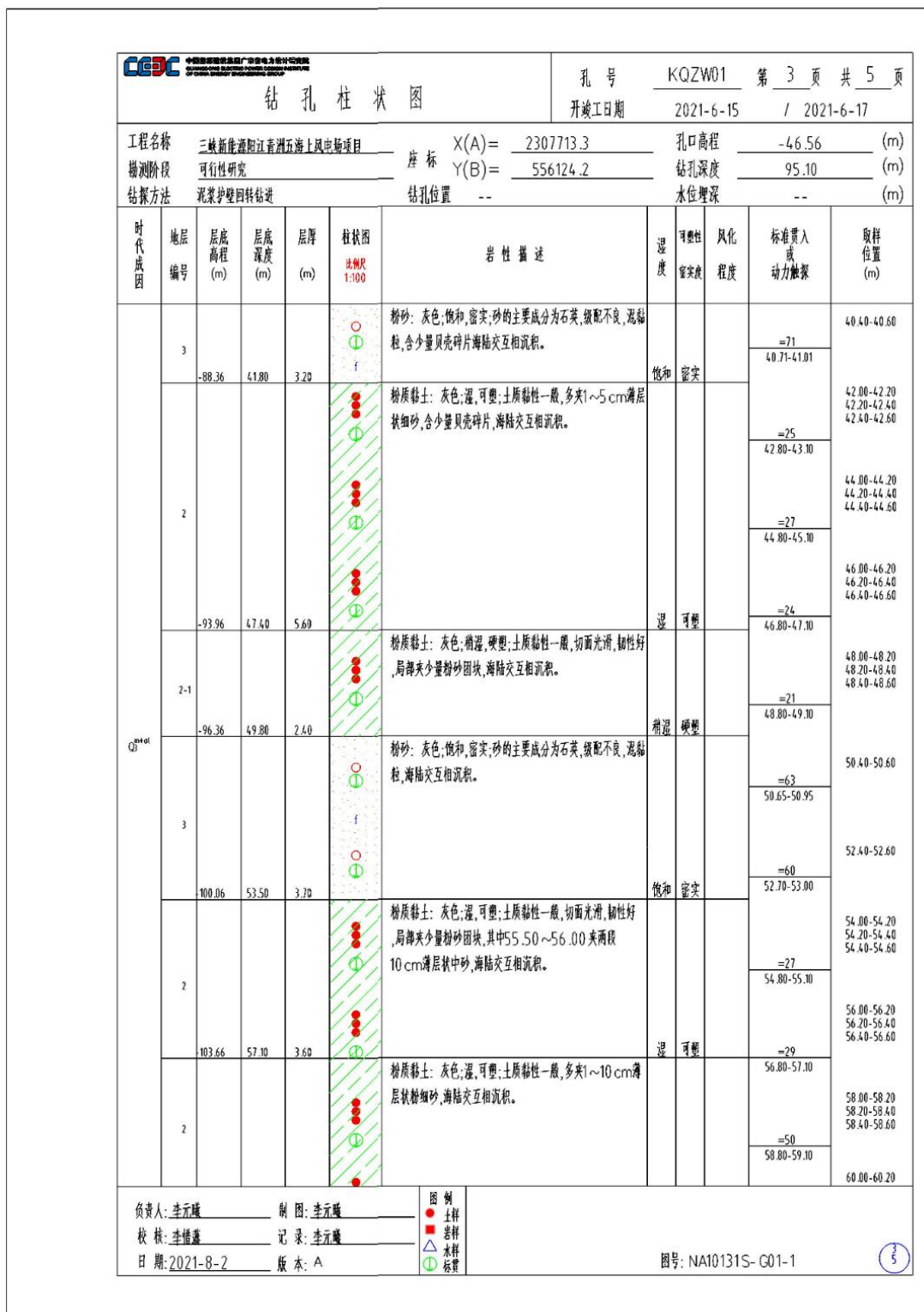
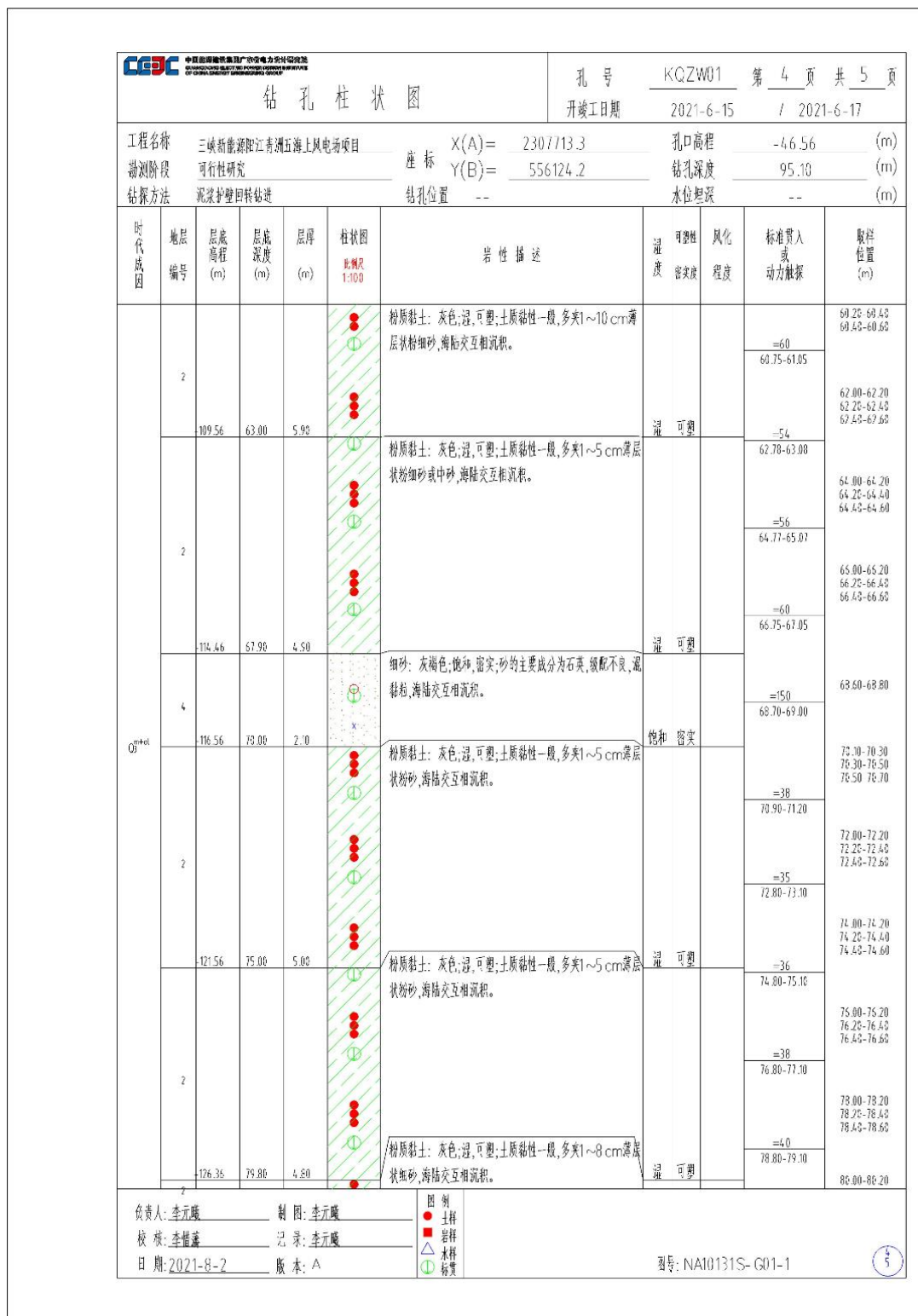


图 6.2-3 钻孔剖面图 (DP6)









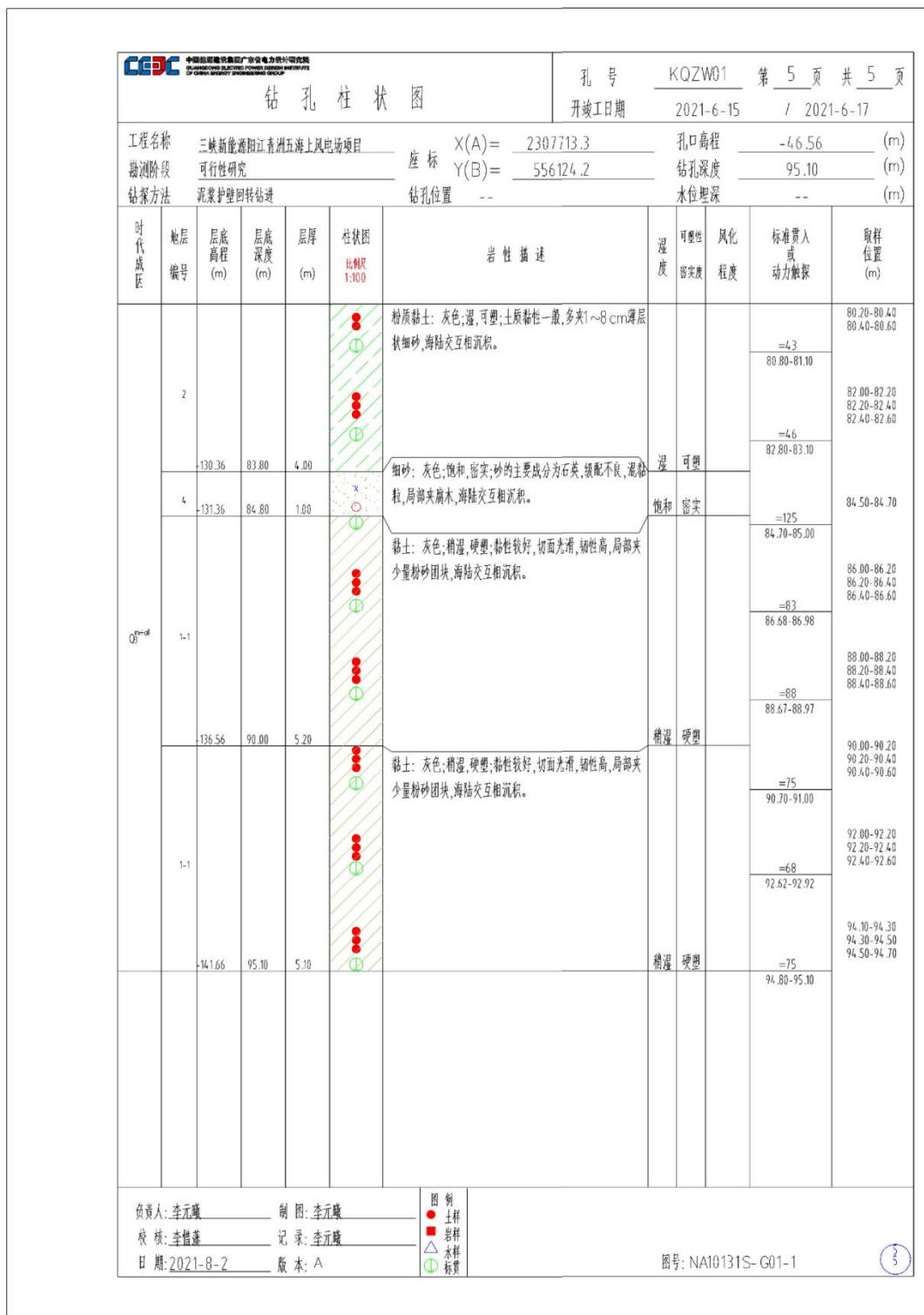


图 6.2-4 钻孔柱状图 (KQZW01)

6.2.6 风电场区海域水下地形

拟建风电场场址位于阳西县沙扒镇以南海域，海域宽阔，场区内未见岛屿分布，海底地形总体平缓，呈西北高东南低趋势，地貌类型主要为海积平原。风电场区水下地形图详见图 6.2-5。

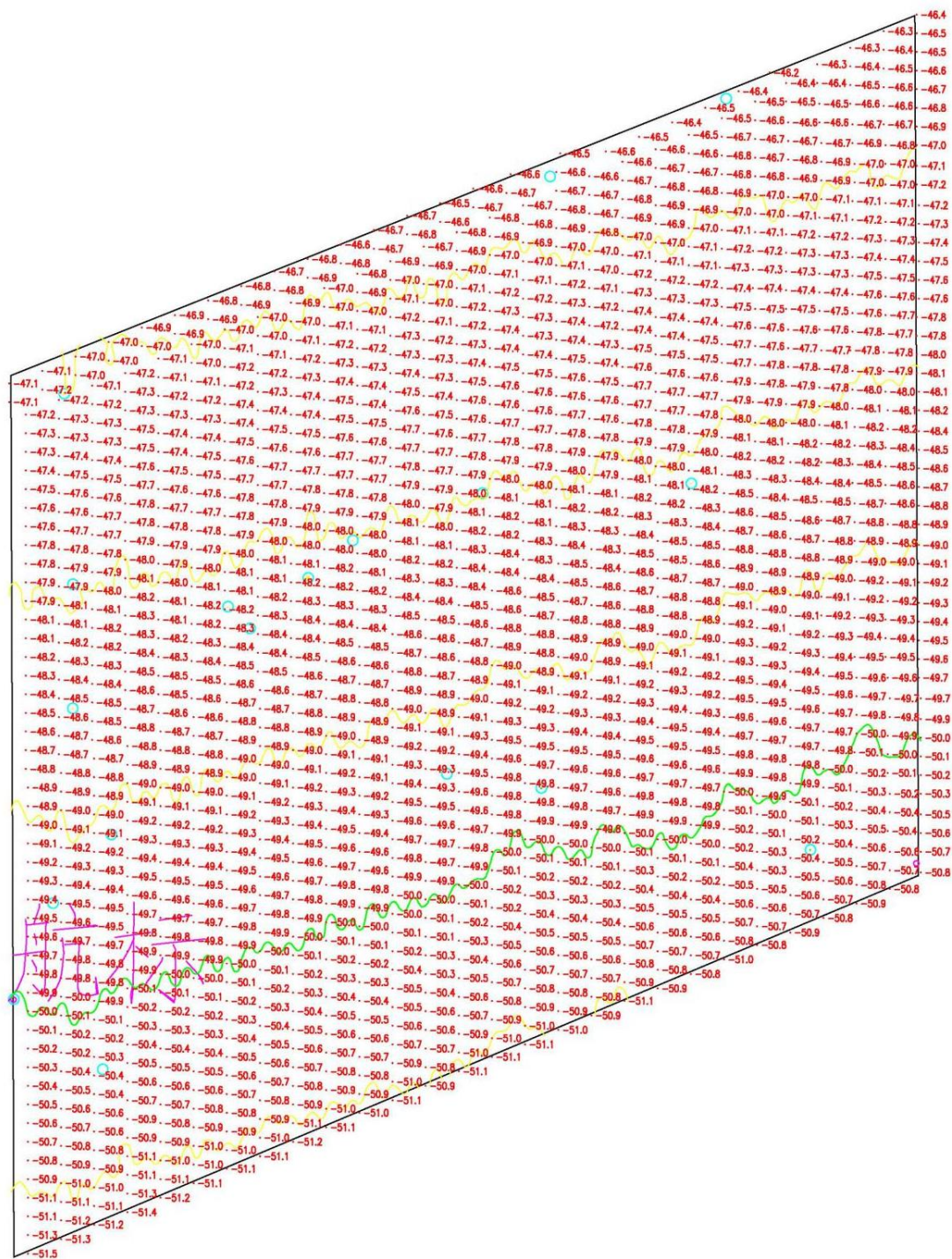


图 6.2-5 风电场区水下地形图

6.2.6.1 海床演变

本文收集了项目附近海域 1986 年、2006 年和 2016 年的三幅海图资料，然后利用 GIS 工具，对每幅海图进行配准矢量化，并提取等深线，最后将不同年代的等深线叠加在一起进行对比分析，结果见图 6.2-6。

从图 6.2-6 可知，上、下岬角均为基岩组成，中间段多为粗砂和中砂组成。本海湾受波浪和潮流动力作用，但以波浪动力作用为主，岸滩坡度较陡，泥沙运动活跃。1986 年~2006 年，上、下岬角附近的海岸线向海前进了 20m~80m 不等，海岸线表现为淤积，中间段海岸线向陆后退了 0m~30m 不等，海岸线表现为侵蚀。在上岬角西侧附近的海岸线向海前进了约 34m，表现为淤积。5m 等深线前进了 100m 左右，海床表现为淤积；10m 等深线后退了约 370m，海床表现为侵蚀；20m 等深线变化较复杂，东北段表现为侵蚀，西南段几乎重合在一起，海床表现为稳定。2006 年~2016 年，上岬角附近的海岸线出现轻微的淤积，下岬角附近的海岸线出现轻微的侵蚀，中间段的海岸线较稳定。附近海岸线几乎重合在一起，海岸表现为稳定。5m 等深线几乎重合在一起，海床表现为稳定，略有侵蚀；10m 等深线向海方向前进了 400m，海床表现为淤积；20m 等深线变化较复杂，东北段表现为淤积，西南段表现为侵蚀，海床泥沙运动活跃。综上，由近 40 年的等深线变化分析知，项目所在区域海床泥沙不活跃，床底相对较稳定。

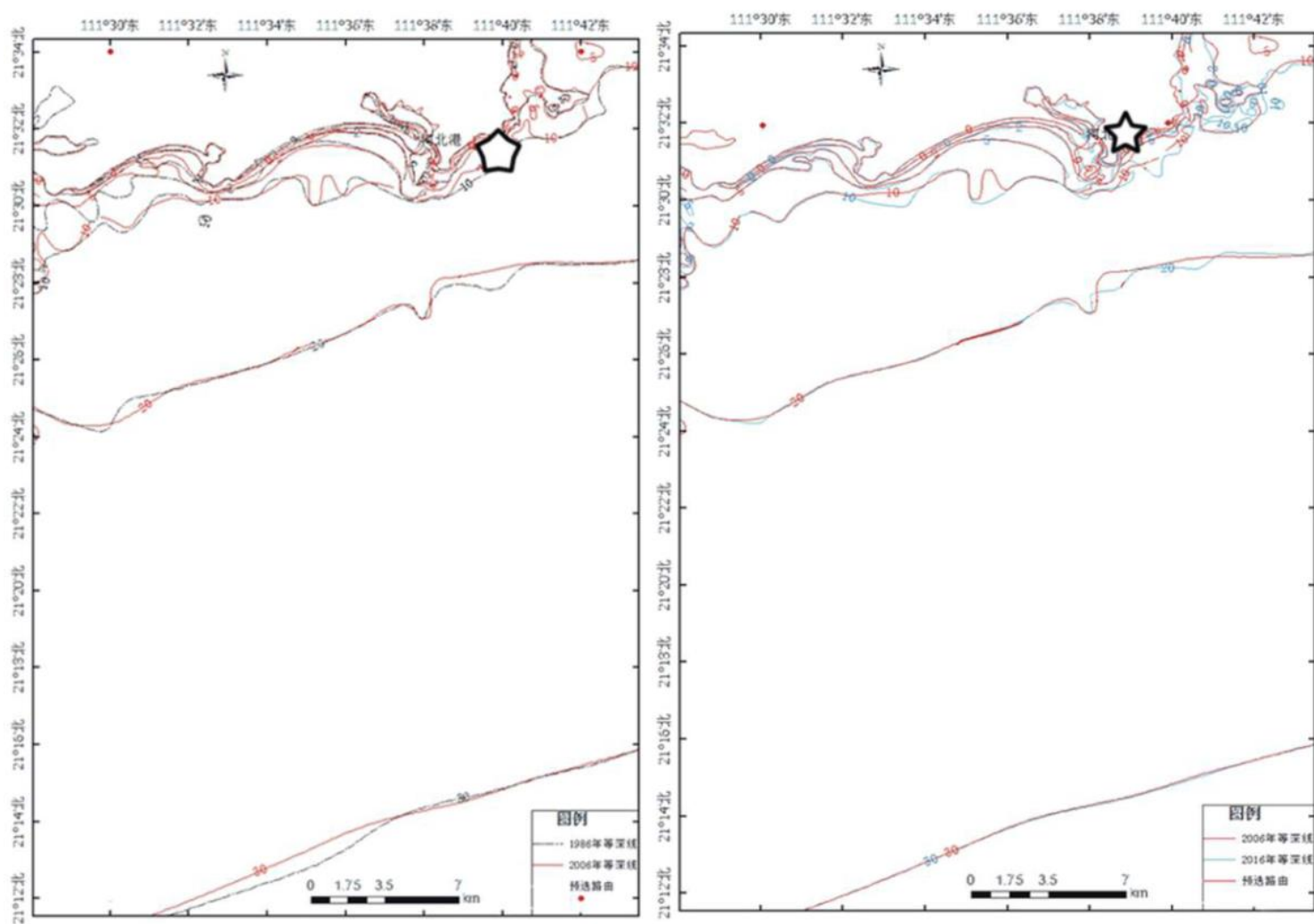


图 6.2-6 1986~2006 年、2006~2016 年海床等深线变化图

6.2.6.2 地形地貌冲淤分析

场址水深在 46.5m~52.5m 之间，水深较大，而且在海岸周围只有短小河流入海，工程区附近泥沙来源有限，年输沙量较少。周边海床近 15 年来变化较小，水文观测期间的潮流流速较小，深水大浪出现频率不高，波浪和潮流作用下的泥沙运动动力条件较弱。工程建设对附近海域床面的冲淤影响较小，工程建设实施后，工程海域的海床基本是稳定的。由此初步判断，工程海域海床处于基本稳定的状态。本项目所在的阳西海域在海岸周围只有短小河流入海，工程区附近泥沙来源有限，年输沙量较少，海水含量较低。根据 1966 年阳西海域海图水深数据以及周边工程 2018 年工程海域地形测量的成果，绘制出 1966 年和 2018 年间周边工程场址内海图数据点与实测地形示意图（见图 6.2-7）。从图可知，在 52 年间拟建工程海域整体存在一定程度的冲刷，对比 1966 年的海图水深点，工程海域 29~31m 等深线均向陆迁移。在当前 31m 等深线处，52 年间从等深线所在位置的水深变化幅度来看平均冲刷深度约 0.3m，工程海域海床冲淤相对稳定。

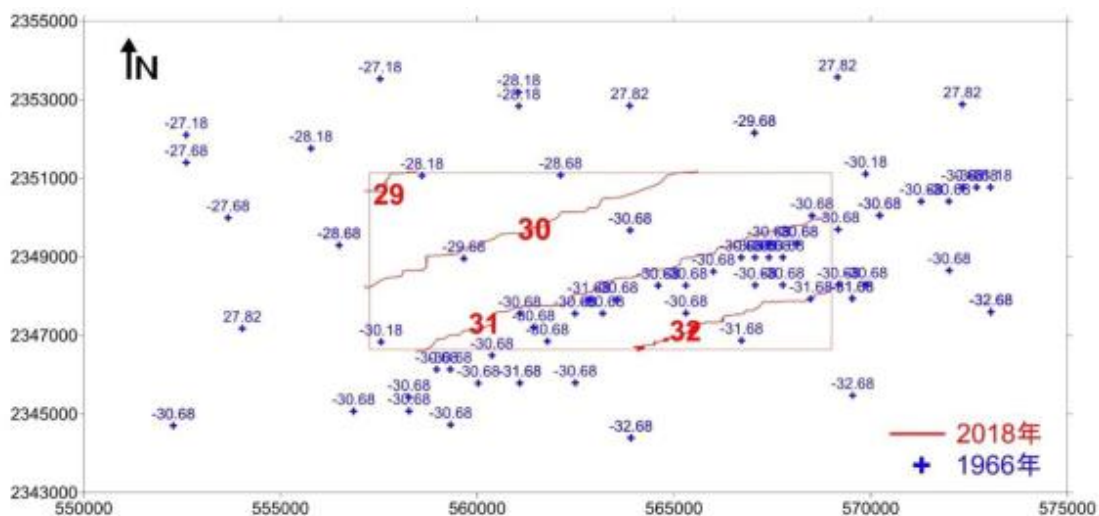


图 6.2-7 阳西海域海床演变对比图（参考周边其他工程）

6.3 海洋水质、沉积物环境现状监测与评价

6.3.1 春季水质现状调查与评价

6.3.1.1 调查概况

(1) 调查站位布设

广州南科海洋工程中心于 2019 年 3 月 21-29 日在工程海域开展春季调查，共布设 60 个站位，其中水质 60 个站位，沉积物 30 个站位，海洋生态 36 个站

位，并选取代表性样品（鱼、虾、贝三类生物）进行生物质量分析，渔业资源断面 36 条断面。调查站位图和站位表见图 6.3-1 和表 6.3-1。

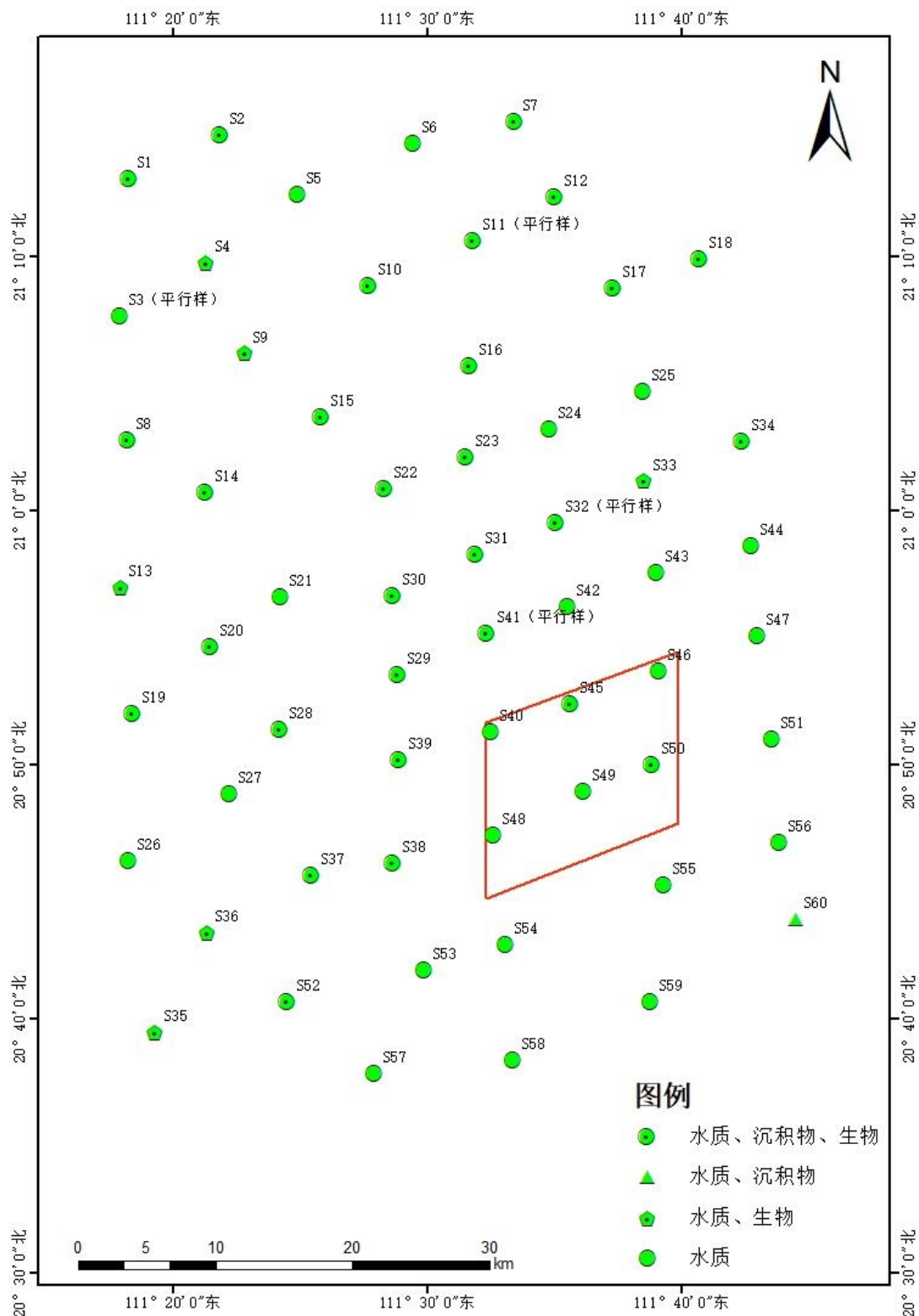


图 6.3-1 2019 年春季调查站位及调查范围示意图

表 6.3-1 2019 年春季查站位表

站位	经纬度		水质 采样点	沉积物 采样点	生态 (含渔业资源)
	经度	N (北纬)			
S1	21°13.070'	111°18.270'	√	√	√
S2	21°14.783'	111°21.868'	√	√	√
S3 (平行样)	21°07.678'	111°17.913'	√		
S4	21°09.784'	111°21.313'	√		√
S5	21°12.448'	111°24.908'	√		
S6	21°14.478'	111°29.457'	√		
S7	21°15.332'	111°33.444'	√	√	√
S8	21°02.791'	111°18.213'	√	√	√
S9	21°06.221'	111°22.818'	√		√
S10	21°08.875'	111°27.695'	√	√	√
S11 (平行样)	21°10.645'	111°31.834'	√	√	√
S12	21°12.362'	111°35.043'	√	√	√
S13	20°57.002'	111°17.925'	√		√
S14	21°00.732'	111°21.318'	√	√	√
S15	21°03.704'	111°25.866'	√	√	√
S16	21°05.703'	111°31.691'	√	√	√
S17	21°08.764'	111°37.328'	√	√	√
S18	21°09.929'	111°40.714'	√	√	√
S19	20°52.006'	111°18.439'	√	√	√
S20	20°54.624'	111°21.468'	√	√	√
S21	20°56.598'	111°24.208'	√		
S22	21°00.862'	111°28.315'	√	√	√
S23	21°02.093'	111°31.523'	√	√	√
S24	21°03.195'	111°34.801'	√		
S25	21°04.701'	111°38.472'	√		
S26	20°46.218'	111°18.240'	√		
S27	20°48.860'	111°22.213'	√		
S28	20°51.369'	111°24.210'	√	√	√
S29	20°53.528'	111°28.855'	√	√	√
S30	20°56.636'	111°28.667'	√	√	√
S31	20°58.264'	111°31.926'	√	√	√
S32 (平行样)	20°59.515'	111°35.084'	√	√	√
S33	21°01.183'	111°38.547'	√		√
S34	21°02.711'	111°42.410'	√	√	√
S35	20°39.472'	111°19.292'	√		√
S36	20°43.408'	111°21.331'	√		√
S37	20°45.637'	111°25.481'	√	√	√
S38	20°46.120'	111°28.690'	√	√	√
S39	20°50.216'	111°28.921'	√	√	√
S40	20°51.279'	111°32.501'	√		
S41 (平行样)	20°55.149'	111°32.366'	√	√	√
S42	20°56.213'	111°35.503'	√		
S43	20°57.569'	111°39.015'	√		
S44	20°58.602'	111°42.763'	√		
S45	20°52.387'	111°35.675'	√	√	√
S46	20°53.668'	111°39.079'	√		
S47	20°55.062'	111°42.991'	√		
S48	20°47.223'	111°32.587'	√		
S49	20°48.960'	111°36.117'	√		

站位	经纬度		水质 采样点	沉积物 采样点	生态 (含渔业资源)
	经度	N (北纬)			
S50	20°49.991'	111°38.865'	√	√	√
S51	20°51.007'	111°43.562'	√		√
S52	20°40.691'	111°24.485'	√	√	√
S53	20°41.927'	111°29.857'	√		
S54	20°42.898'	111°33.054'	√		
S55	20°45.240'	111°39.279'	√		
S56	20°46.953'	111°43.848'	√		
S57	20°37.826'	111°27.884'	√		
S58	20°38.387'	111°33.340'	√		
S59	20°40.671'	111°38.765'	√		
S60	20°43.926'	111°44.533'	√	√	
其中渔业资源调查断面站位与海洋生态站位相同。					

(2) 调查项目

按照《海域使用论证技术导则》(2010)和《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T19485-2014)对水环境质量调查项目的相关要求,本项目海水环境现状调查(监测)项目如下:温度、盐度、pH、溶解氧、化学耗氧量(COD)、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、活性磷酸盐、石油类、悬浮物、总汞(Hg)、铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)、砷(As)、铬(Cr)和六价铬(Cr⁶⁺)等19项。

(3) 调查及检测方法

根据实测水深,进行透明度、水色等现场观测,并按照《海洋监测规范》(GB17378.3-2007)的要求采集水样,水深<10m时,采表、底层两层水样;水深10m≤水深<50m时,采表、中、底三层水样;其中表层为距表面0.1-2m,中层为10m,底层为离底2m。采样时严禁船舶排污,采样位置应远离船舶排污口,并严格按照相关规定程序 and 操作要求进行样品的分装、预处理、编号记录、贮存和运输。

样品的分析按照《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)和《海洋监测规范》(GB17378-2007)进行,各项目的分析及仪器见表6.3-2。

表 6.3-2 水质监测分析方法及仪器

调查项目	分析方法	检测仪器	检出限
水温	GB/T 12763.2-2007 温盐深仪法	SBE 37-SM 温盐深仪	-5°C~35°C
盐度	GB/T 12763.2-2007 温盐深仪法	SBE 37-SM 温盐深仪	≥0
悬浮物	GB17378.4-2007 重量法	BT124S 德国赛多利斯 电子天平	2.0mg/L
pH	GB17378.4-2007 pH 计法	pH 计	——
DO	GB17378.4-2007 碘量法	滴定管	——
化学需氧量	GB17378.4-2007 碱性高锰酸钾法	滴定管	——
NO ₂ -N	GB17378.4-2007 萘乙二胺 分光光度法	722S 分光光度计	0.0003mg/L
NO ₃ -N	GB17378.4-2007 锌-镉还原法	722S 分光光度计	0.0007mg/L
NH ₃ -N	GB17378.4-2007 次溴酸盐氧化法	722S 分光光度计	0.0004mg/L
PO ₄ -P	GB17378.4-2007 磷钼蓝分光光度 法	722S 分光光度计	0.001mg/L
Cu	GB17378.4-2007 原子吸收火焰法	iCE3500 原子吸收分 光光度计	0.2μg/L
Zn	GB17378.4-2007 原子吸收火焰法	iCE3500 原子吸收分 光光度计	3.1μg/L
Pb	GB17378.4-2007 原子吸收火焰法	iCE3500 原子吸收分 光光度计	0.03μg/L
Cd	GB17378.4-2007 原子吸收火焰法	iCE3500 原子吸收分 光光度计	0.01μg/L
As	GB17378.4-2007 原子荧光法	AFS-930 原子荧光光 度计	0.5μg/L
Cr	GB17378.5/10.1-2007 无火焰原子吸收分光光度法	iCE3500 原子吸收分 光光度计	0.4μg/L
Cr ⁶⁺	《水质 六价铬的测定 二苯碳酰二 肼分光光度法》GB/T 7467-1987	紫外可见分光光度计 (UV-1800) YQ-008-02	0.004mg/L
Hg	GB17378.4-2007 冷原子吸收分光光度法	F732V 型测汞仪	0.001μg/L
石油类	GB17378.4-2007 紫外分光光度法	UV1800 紫外分光光度 计	0.004mg/L

6.3.1.2 执行标准

水质评价标准根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020年），现状调查站位均位于湛江-珠海近海农渔业区，执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）第一类海水水质标准。

6.3.1.3 评价方法

根据监测结果，利用《环境影响评价导则》(HJ2.3-2018)所推荐的单项水质参数法进行评价。

① 单项水质参数 i 在第 j 点的标准指数

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

式中： $S_{i,j}$ — i 污染物在 j 点的污染指数；

$C_{i,j}$ — i 污染物在 j 点的实测浓度，mg/L；

$C_{s,j}$ — i 污染物的评价标准，mg/L。

② DO 的标准指数为：

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

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

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

DO_s —溶解氧的水质评价标准限值，mg/L；

DO_j —溶解氧在 j 点的实测统计代表值，mg/L；

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

③ pH 的标准指数为：

$$S_{pH,j} = \frac{7.0 - pH_j}{7.0 - pH_{sd}} \quad pH_j \leq 7.$$

$$S_{pH,j} = \frac{pH_j - 7.0}{pH_{su} - 7.0} \quad pH_j > 7.$$

式中： $S_{pH,j}$ —评价因子的质量指数；

pH_j —测站评价因子的实测值；

pH_{su} —pH 评价标准的上限值；

pH_{sd} —pH 评价标准的下限值；

水质参数的标准指数 > 1 ，表明该水质参数超过了规定的水质标准。

6.3.1.4 调查及评价结果

项目海域春季（2019 年 3 月）调查水质统计结果见附录。

海水水质评价采用《海水水质标准》（GB3097-1997）第一类标准进行评价，评价结果见表 6.3-3。

2019 年春季，所有监测站位海水 pH、化学需氧量、活性磷酸盐、镉、铜、

总铬、六价铬、总汞、砷等 9 项评价因子均符合相应环境功能区水质标准。其余项目中：溶解氧指标有 10 个站位（S07、S17、S20、平 S32 和 S39 表层，S19 和 S30 底层，S35、S36 和 S52 表层和底层）的质量浓度超过水质第一类标准，超标倍数为 0.06~0.49，超标率为 10.16%；无机氮指标有 2 个站位（S1 和 S2 表层）的质量浓度超过水质第一类标准，超标倍数为 0.44~0.48，超标率为 1.56%；重金属锌指标有 6 个站位（S28、平 S32、S57 底层，S39、S52 表层，S58 表层和底层）的质量浓度超过水质第一类标准，超标倍数为 0.05~0.44，超标率为 5.47%；重金属铅指标有 19 个站位（S26、S29、S42、S47、S48、S55、S59 底层，S27、S35、S36、S37、S38、平 S41、S49、S52、S56、S57 表层，S50、S58 表层和底层）的质量浓度超过水质第一类标准，超标倍数为 0.01~2.52，超标率为 16.41%；石油类有 8 个站位（S13、S19、S20、S26、S35、S39、S51、S53 站位）的质量浓度超过水质第一类标准，超标倍数为 0.02~0.78，超标率为 12.50%。

溶解氧、无机氮、锌、铅和石油类超标可能与调查期间周边航路船舶含油废水影响有关。

表 6.3-3 2019 年春季各评价因子单项标准指数

站位	层次 (m)	pH	溶解氧	化学需 氧量	无机 氮	活性磷 酸盐	锌	镉	铅	铜	总铬	六价铬	总汞	砷	石油类	执行 标准
S01	表	0.65	0.84	0.20	1.48	0.27	0.32	0.04	0.19	0.34	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.40	一类
S01	底	0.67	0.72	0.11	0.97	0.27	0.35	0.01	0.16	0.30	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S02	表	0.64	0.60	0.17	1.44	0.60	0.28	0.03	0.15	0.24	0.0040	0.0004	0.01	0.06	0.24	一类
S02	底	0.68	0.76	0.13	0.96	0.07	0.31	0.01	0.21	0.16	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S03	表	0.69	0.69	0.16	0.82	0.40	0.36	0.01	0.02	0.06	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.36	一类
S03	底	0.69	0.35	0.16	0.60	0.27	0.19	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
平 S03	表	0.68	0.74	0.13	0.51	0.40	0.40	0.01	0.08	0.14	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.34	一类
平 S03	底	0.70	0.41	0.14	0.69	0.20	0.26	0.01	0.34	0.14	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S04	表	0.69	0.85	0.14	0.69	0.20	0.18	0.01	0.23	0.16	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.20	一类
S04	底	0.68	0.67	0.13	0.46	0.13	0.32	0.01	0.02	0.10	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S05	表	0.68	0.99	0.24	0.56	0.20	0.17	0.01	0.03	0.18	0.0040	0.0004	0.66	0.05	0.66	一类
S05	底	0.68	0.67	0.15	0.53	0.13	0.22	0.01	0.05	0.12	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S06	表	0.68	0.84	0.16	0.50	0.13	0.23	0.01	0.02	0.12	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.76	一类
S06	底	0.69	0.14	0.14	0.54	0.13	0.21	0.01	0.27	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S07	表	0.69	1.12	0.20	0.39	0.20	0.45	0.02	0.31	0.10	0.0040	0.0004	0.66	0.05	0.34	一类
S07	底	0.69	0.89	0.12	0.44	0.13	0.42	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S08	表	0.68	0.88	0.09	0.93	0.33	0.17	0.02	0.04	0.18	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.42	一类
S08	底	0.69	0.51	0.09	0.49	0.20	0.32	0.01	0.24	0.12	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S09	表	0.69	0.92	0.12	0.45	0.20	0.54	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.50	一类
S09	底	0.68	0.62	0.09	0.74	0.07	0.22	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S10	表	0.68	0.97	0.09	0.43	0.20	0.42	0.01	0.02	0.16	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.64	一类
S10	底	0.67	0.71	0.10	0.35	0.13	0.44	0.01	0.55	0.12	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S11	表	0.67	0.77	0.17	0.41	0.33	0.21	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.0004	0.01	0.06	0.46	一类
S11	底	0.68	0.69	0.14	0.29	0.13	0.18	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
平 S11	表	0.67	0.77	0.17	0.33	0.33	0.23	0.01	0.02	0.06	0.0040	0.0004	0.01	0.06	0.50	一类

站位	层次 (m)	pH	溶解氧	化学需 氧量	无机 氮	活性磷 酸盐	锌	镉	铅	铜	总铬	六价铬	总汞	砷	石油类	执行 标准
平 S11	底	0.68	0.58	0.14	0.33	0.20	0.16	0.01	0.02	0.06	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S12	表	0.68	0.78	0.09	0.48	0.20	0.18	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.28	一类
S12	底	0.68	0.60	0.09	0.34	0.27	0.20	0.01	0.13	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S13	表	0.64	0.12	0.25	0.71	0.53	0.66	0.01	0.62	0.14	0.0040	0.0004	0.30	0.06	1.48	一类
S13	底	0.64	0.50	0.17	0.54	0.33	0.97	0.01	0.74	0.10	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S14	表	0.68	0.67	0.21	0.66	0.33	0.25	0.01	0.02	0.06	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.16	一类
S14	底	0.69	0.97	0.24	0.65	0.27	0.34	0.01	0.02	0.10	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S15	表	0.68	0.94	0.13	0.48	0.27	0.39	0.01	0.34	0.12	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.20	一类
S15	底	0.69	0.44	0.12	0.42	0.27	0.37	0.01	0.12	0.14	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S16	表	0.69	0.94	0.12	0.29	0.20	0.24	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.24	一类
S16	底	0.69	0.81	0.15	0.28	0.27	0.20	0.02	0.35	0.16	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S17	表	0.69	1.25	0.13	0.32	0.13	0.35	0.03	0.10	0.18	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.24	一类
S17	底	0.69	0.84	0.12	0.21	0.13	0.20	0.01	0.02	0.14	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S18	表	0.68	0.71	0.23	0.29	0.13	0.30	0.06	0.39	0.16	0.0100	0.0004	0.30	0.06	0.28	一类
S18	底	0.68	0.45	0.14	0.16	0.13	0.23	0.01	0.34	0.12	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S19	表	0.64	0.49	0.19	0.27	0.87	0.78	0.01	0.46	0.06	0.0040	0.0004	0.01	0.05	1.32	一类
S19	底	0.66	1.06	0.17	0.36	0.33	0.87	0.01	0.90	0.12	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S20	表	0.64	1.32	0.17	0.36	0.33	0.80	0.01	0.64	0.10	0.0040	0.0004	0.01	0.06	1.18	一类
S20	底	0.66	0.37	0.06	0.44	0.33	0.92	0.01	0.98	0.20	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S21	表	0.66	0.45	0.19	0.36	0.27	0.55	0.01	0.68	0.06	0.0040	0.0004	0.01	0.06	0.84	一类
S21	底	0.66	0.10	0.23	0.29	0.40	0.71	0.01	0.62	0.12	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S22	表	0.68	0.92	0.09	0.43	0.27	0.20	0.01	0.19	0.14	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.26	一类
S22	底	0.68	0.91	0.11	0.44	0.13	0.35	0.01	0.02	0.52	0.0040	0.0004	0.66	0.05	-	一类
S23	表	0.68	0.52	0.07	0.45	0.33	0.17	0.01	0.02	0.10	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.26	一类
S23	底	0.68	0.39	0.10	0.48	0.27	0.36	0.01	0.52	0.28	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S24	表	0.68	0.87	0.09	0.48	0.13	0.33	0.01	0.02	0.10	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.26	一类

站位	层次 (m)	pH	溶解氧	化学需 氧量	无机 氮	活性磷 酸盐	锌	镉	铅	铜	总铬	六价铬	总汞	砷	石油类	执行 标准
S24	底	0.69	0.87	0.13	0.27	0.20	0.34	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S25	表	0.68	0.86	0.17	0.27	0.07	0.27	0.01	0.24	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.26	一类
S25	底	0.69	0.86	0.07	0.37	0.13	0.44	0.01	0.32	0.08	0.0100	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S26	表	0.67	0.16	0.21	0.24	0.40	0.20	0.01	0.81	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.05	1.02	一类
S26	底	0.68	0.11	0.19	0.40	0.53	0.49	0.01	1.63	0.20	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S27	表	0.67	0.55	0.41	0.32	0.27	0.16	0.03	1.41	0.10	0.0040	0.0004	0.30	0.04	0.80	一类
S27	底	0.68	0.27	0.24	0.31	0.47	0.27	0.01	0.86	0.16	0.0120	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S28	表	0.66	0.54	0.17	0.29	0.60	1.00	0.01	0.46	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.07	0.92	一类
S28	底	0.66	0.34	0.22	0.19	0.40	1.34	0.01	0.72	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S29	表	0.66	0.75	0.29	0.29	0.47	0.81	0.01	0.46	0.12	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.84	一类
S29	底	0.64	0.57	0.15	0.43	0.40	0.80	0.01	1.11	0.16	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S30	表	0.69	0.82	0.13	0.35	0.07	0.66	0.05	0.63	0.14	0.0040	0.0004	0.66	0.05	0.04	一类
S30	底	0.69	1.15	0.13	0.40	0.13	0.56	0.01	0.45	0.04	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S31	表	0.69	0.59	0.17	0.27	0.20	0.28	0.01	0.23	0.02	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.10	一类
S31	底	0.68	0.13	0.16	0.23	0.60	0.17	0.01	0.10	0.02	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S32	表	0.67	0.96	0.19	0.31	0.27	0.39	0.01	0.31	0.12	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.20	一类
S32	底	0.68	0.23	0.16	0.25	0.33	0.94	0.01	0.27	0.16	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
平 S32	表	0.68	1.07	0.17	0.26	0.27	0.45	0.01	0.49	0.22	0.0040	0.0004	0.01	0.06	0.24	一类
平 S32	底	0.69	0.30	0.13	0.32	0.40	1.17	0.01	0.33	0.10	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S33	表	0.68	0.84	0.10	0.17	0.07	0.43	0.01	0.55	0.28	0.0040	0.0004	0.30	0.07	0.10	一类
S33	底	0.69	0.43	0.12	0.21	0.20	0.22	0.04	0.24	0.04	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S34	表	0.67	0.68	0.22	0.22	0.27	0.31	0.06	0.78	0.12	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.12	一类
S34	底	0.68	0.90	0.06	0.49	0.13	0.53	0.03	0.67	0.20	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S35	表	0.66	1.12	0.30	0.18	0.27	0.54	0.03	2.24	0.18	0.0040	0.0004	0.01	0.05	1.06	一类
S35	底	0.68	1.16	0.24	0.28	0.20	0.95	0.01	0.78	0.06	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S36	表	0.65	1.18	0.18	0.40	0.40	0.46	0.01	1.74	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.80	一类

站位	层次 (m)	pH	溶解氧	化学需 氧量	无机 氮	活性磷 酸盐	锌	镉	铅	铜	总铬	六价铬	总汞	砷	石油类	执行 标准
S36	底	0.68	1.49	0.28	0.31	0.27	0.31	0.01	0.91	0.12	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S37	表	0.67	0.61	0.29	0.25	0.40	0.37	0.01	0.43	0.08	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.62	一类
S37	底	0.67	0.91	0.23	0.19	0.20	0.20	0.01	1.54	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S38	表	0.67	0.03	0.20	0.25	0.53	0.26	0.01	0.72	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.54	一类
S38	底	0.68	0.64	0.22	0.24	0.47	0.34	0.01	1.44	0.18	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S39	表	0.66	1.18	0.18	0.32	0.27	1.44	0.01	0.66	0.16	0.0040	0.0004	0.01	0.06	1.78	一类
S39	底	0.67	0.74	0.04	0.33	0.40	0.71	0.01	0.47	0.10	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S40	表	0.67	0.54	0.17	0.28	0.47	0.79	0.01	0.30	0.06	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.96	一类
S40	底	0.68	0.57	0.18	0.22	0.27	0.74	0.01	0.30	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S41	表	0.70	0.11	0.22	0.36	0.47	0.45	0.01	0.59	0.02	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.92	一类
S41	底	0.69	0.44	0.18	0.18	0.60	0.53	0.01	0.26	0.02	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
平 S41	表	0.69	0.08	0.22	0.34	0.33	0.43	0.03	1.55	0.04	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.88	一类
平 S41	底	0.70	0.35	0.18	0.21	0.53	0.51	0.01	0.28	0.08	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S42	表	0.68	0.69	0.17	0.31	0.20	0.19	0.01	0.31	0.10	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.16	一类
S42	底	0.68	0.11	0.14	0.24	0.27	0.46	0.01	2.22	0.02	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S43	表	0.68	0.91	0.14	0.20	0.20	0.54	0.01	0.50	0.14	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.24	一类
S43	底	0.69	0.10	0.10	0.17	0.27	0.45	0.01	0.20	0.02	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S44	表	0.67	0.13	0.17	0.26	0.33	0.51	0.01	0.18	0.02	0.0040	0.0004	0.30	0.06	0.16	一类
S44	底	0.68	0.91	0.12	0.20	0.13	0.63	0.01	0.45	0.02	0.0040	0.0004	0.30	0.06	-	一类
S45	表	0.67	0.67	0.29	0.17	0.47	0.90	0.01	0.55	0.10	0.0040	0.0004	0.01	0.06	0.62	一类
S45	底	0.68	0.69	0.22	0.23	0.33	0.93	0.01	0.12	0.20	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S46	表	0.67	0.87	0.14	0.35	0.53	0.86	0.01	0.73	0.22	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.72	一类
S46	底	0.68	0.87	0.19	0.37	0.27	0.88	0.01	0.92	0.28	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S47	表	0.68	0.89	0.07	0.24	0.40	0.56	0.01	0.30	0.04	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.76	一类
S47	底	0.69	0.91	0.19	0.27	0.27	0.18	0.02	1.09	0.08	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S48	表	0.67	0.91	0.19	0.42	0.20	0.60	0.01	0.63	0.12	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.66	一类

站位	层次 (m)	pH	溶解氧	化学需 氧量	无机 氮	活性磷 酸盐	锌	镉	铅	铜	总铬	六价铬	总汞	砷	石油类	执行 标准
S48	底	0.67	0.02	0.23	0.32	0.13	0.13	0.01	1.08	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S49	表	0.67	0.33	0.15	0.38	0.33	0.45	0.04	1.32	0.18	0.0080	0.0004	0.01	0.06	0.56	一类
S49	底	0.68	0.27	0.24	0.20	0.33	0.68	0.01	0.86	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S50	表	0.67	0.48	0.30	0.29	0.33	0.45	0.01	1.16	0.06	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.34	一类
S50	底	0.68	0.18	0.23	0.41	0.20	0.85	0.01	1.44	0.10	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S51	表	0.67	0.52	0.22	0.29	0.20	0.19	0.01	0.61	0.02	0.0040	0.0004	0.01	0.05	1.06	一类
S51	底	0.68	0.30	0.23	0.32	0.27	0.43	0.01	0.71	0.18	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S52	表	0.67	1.39	0.28	0.14	0.40	1.05	0.02	1.51	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.64	一类
S52	底	0.67	1.45	0.20	0.24	0.20	0.18	0.01	0.93	0.10	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S53	表	0.67	0.54	0.26	0.31	0.47	0.99	0.01	0.78	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.05	1.10	一类
S53	底	0.68	0.87	0.17	0.18	0.40	0.55	0.02	0.57	0.10	0.0040	0.0004	0.30	0.05	-	一类
S54	表	0.67	0.14	0.24	0.22	0.33	0.57	0.04	0.49	0.10	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.62	一类
S54	底	0.68	0.31	0.24	0.26	0.27	0.36	0.03	0.83	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.06	-	一类
S55	表	0.67	0.17	0.23	0.30	0.53	0.54	0.01	0.84	0.08	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.64	一类
S55	底	0.67	0.49	0.28	0.23	0.40	0.67	0.01	1.01	0.06	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S56	表	0.67	0.18	0.27	0.24	0.27	0.29	0.01	1.10	0.06	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.76	一类
S56	底	0.67	0.86	0.28	0.33	0.13	0.22	0.01	0.35	0.02	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S57	表	0.67	0.89	0.19	0.26	0.33	0.76	0.01	3.52	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.64	一类
S57	底	0.68	0.12	0.17	0.27	0.40	1.08	0.02	0.78	0.16	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S58	表	0.67	0.80	0.25	0.26	0.40	1.13	0.01	1.09	0.08	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.70	一类
S58	底	0.67	0.34	0.24	0.25	0.20	1.17	0.01	1.38	0.10	0.0040	0.0004	0.01	0.04	-	一类
S59	表	0.67	0.87	0.16	0.35	0.40	0.24	0.01	0.60	0.02	0.0040	0.0004	0.01	0.05	0.88	一类
S59	底	0.67	0.26	0.15	0.31	0.27	0.55	0.01	1.85	0.08	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
S60	表	0.67	0.39	0.11	0.33	0.33	0.28	0.01	0.73	0.06	0.0040	0.0004	0.30	0.05	0.42	一类
S60	底	0.68	0.23	0.16	0.23	0.27	0.22	0.01	0.42	0.14	0.0040	0.0004	0.01	0.05	-	一类
最小值		0.64	0.02	0.04	0.14	0.07	0.13	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.04	0.10	/

站位	层次 (m)	pH	溶解氧	化学需 氧量	无机 氮	活性磷 酸盐	锌	镉	铅	铜	总铬	六价铬	总汞	砷	石油类	执行 标准
最大值		0.70	1.49	0.41	1.48	0.87	1.44	0.06	3.52	0.52	0.01	0.00	0.66	0.07	1.78	/
超标率 (%)		0.00	10.16	0.00	1.56	0.00	5.47	0.00	16.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	/

注：未检出的以检出限的一半进行评价。

6.3.2 秋季水质现状调查与评价

6.3.2.1 调查概况

(1) 调查站位布设

国家海洋局南海调查技术中心于 2018 年 10 月 25 日至 10 月 26 日、11 月 7 日至 11 月 9 日期间在本项目周边海域开展了秋季调查，共布设水质 21 站位。各站点位置及调查内容，见表 6.3-4 和图 6.3-2。

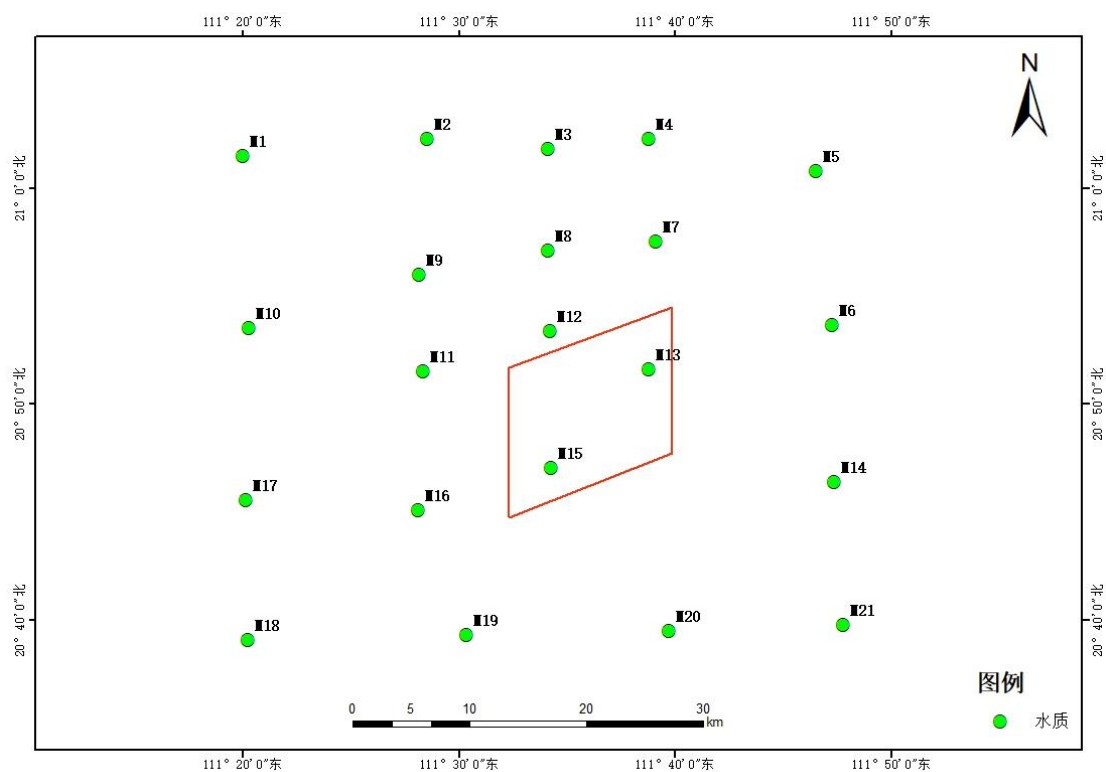


图 6.3-2 2018 年秋季调查站位图

表 6.3-4 2018 年秋季调查站位坐标表

站号	北纬	东经	备注
M1	21.02435	111.3332	
M2	21.03754	111.4756	
M3	21.03008	111.5688	
M4	21.03725	111.6467	平行样
M5	21.01288	111.7755	
M6	20.89349	111.7878	
M7	20.95808	111.652	
M8	20.95118	111.5688	
M9	20.93253	111.4695	
M10	20.89119	111.338	
M11	20.85788	111.4726	平行样
M12	20.88947	111.5703	
M13	20.85932	111.6467	
M14	20.77286	111.789	
M15	20.78382	111.5712	
M16	20.75102	111.4688	
M17	20.7583	111.3356	
M18	20.65098	111.3374	
M19	20.65443	111.5055	
M20	20.65788	111.6619	
M21	20.66248	111.7963	

(2) 调查项目

布置水质监测点 21 个。调查项目：水深、水温（分层）、盐度、溶解氧、pH、铵-氮、亚硝酸盐-氮、硝酸盐-氮、活性磷酸盐、化学需氧量、悬浮物、石油类、重金属（总汞、砷、铜、铅、镉、铬、锌）等共 19 项。

(3) 调查与分析方法

采样和分析方法按《海洋调查规范》(GB/T12763-2007)和《海洋监测规范》(GB17378-2007)进行。采样方法：所用调查船只进入预定站位，使用 DGPS 进行定位，测量水深，当水深 $\leq 10\text{m}$ 时，水质采样仅取表层样；当 $10\text{m} < \text{水深} \leq 25\text{m}$ 时，采表层和底层水样；当 $25\text{m} < \text{水深} \leq 50\text{m}$ 时，采表层、中层和底层水样；当水深 $> 50\text{m}$ 时，采表层、10m、30m 和底层水样。其中表层为距表面 1.0m，中层为离海面 0.6h（h 为水深），底层为离底 2.0m，并进行分装、预处理、编号记录、保存。其中 Y10 和 Y19 站取平行样。各项目的分析方法见 6.3-5。

表 6.3-5 海水水质调查分析方法

序号	调查项目		样品采集、预处理及保存方法	样品测定方法	检出限
1	水深		现场测定	测深仪法	
2	水温		现场测定	表层温度计法	
3	盐度		——	盐度计法	
4	透明度		现场测定	透明度盘目测法	
5	pH		现场测定	pH 计电测法	
6	溶解氧 (DO)		加 1mLMnCl ₂ 和 1mL 碱性 KI 溶液固定, 现场测定	碘量滴定法	
7	化学需氧量 (COD _{Mn})		——	碱性高锰酸钾法	
8	总悬浮物		0.45μm, φ60mm 微孔滤膜现场过滤	重量法	
9	营养盐	亚硝酸盐 (NO ₂ -N)	现场用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤、现场测定或过滤后-20℃冷冻保存	流动分析法	0.35 μg/L
10		硝酸盐 (NO ₃ -N)		流动分析法	0.60 μg/L
11		铵盐 (NH ₄ -N)		流动分析法	1.08 μg/L
12		活性磷酸盐 (PO ₄ -P)		流动分析法	0.72 μg/L
13	石油类		正己烷萃取	紫外分光光度法	3.5 μg/L
14	重金属	总汞 (Hg)	加 H ₂ SO ₄ 至 pH<2	原子荧光分光光度法	0.001 μg/L
15		镉 (Cd)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.01 μg/L
16		铅 (Pb)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.03 μg/L
17		铜 (Cu)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.2 μg/L
18		总铬 (Cr)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 H ₂ SO ₄ 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.4 μg/L
19		砷 (As)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 H ₂ SO ₄ 至 pH<2 低温冷藏	原子荧光分光光度法	0.5 μg/L
20		锌 (Zn)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	火焰原子吸收分光光度法	3.1 μg/L

6.3.2.2 执行标准与评价方法

执行标准与评价方法见 6.3.1.2 和 6.3.1.3 节。

6.3.2.3 调查及评价结果

工程海域秋季 (2018 年 10 月) 调查水质统计结果见附录。

海水水质评价采用《海水水质标准》(GB3097-1997) 第一类标准进行评价, 评价结果见表 6.3-6。

2018 年秋季，所有监测站位海水 pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮、锌、镉、铅、铜、铬、总汞、砷、石油类等 12 项评价因子均符合相应环境功能区水质第一类标准。其余项目中：活性磷酸盐指标有 3 个站位（M2、M9、M16 表层）的质量浓度超过水质第一类标准，超标倍数为 0.13~0.47，超标率为 4.00%。重金属总汞指标有 4 个站位（M15、M8、M7 表层，M4 平行底层）的质量浓度超过水质第一类标准，超标倍数为 0.08~1.9，超标率为 5.33%。活性磷酸盐和总汞超标可能与调查期间周边航路船舶含油废水影响有关。

总体来说，调查海域海水水质环境现状良好。

表 6.3-6 2018 年秋季工程海域水质标准指数

站位	层次 (m)	pH	溶解氧	化学需氧量	无机氮	活性磷酸盐	锌	镉	铅	铜	总铬	总汞	砷	石油类	执行标准
M5	1	0.62	0.98	0.23	0.32	0.40	0.08	0.01	0.14	0.02	0.0040	0.44	0.07	0.38	一类
M5	25.8	0.62	1.00	0.21	0.34	0.33	0.08	0.01	0.08	0.08	0.0040	0.38	0.07		一类
M5	41	0.62	0.99	0.15	0.24	0.40	0.08	0.01	0.11	0.12	0.0040	0.36	0.07		一类
M6	1	0.62	0.93	0.18	0.13	0.40	0.08	0.01	0.02	0.10	0.0040	0.44	0.07	0.42	一类
M6	28.8	0.62	0.96	0.18	0.17	0.40	0.36	0.01	0.05	0.08	0.0040	0.38	0.07		一类
M6	46	0.62	0.98	0.19	0.25	0.47	0.08	0.01	0.26	0.06	0.0040	0.44	0.06		一类
M14	1	0.64	0.96	0.12	0.24	0.40	0.08	0.01	0.08	0.02	0.0040	0.46	0.06	0.32	一类
M14	10	0.64	0.98	0.17	0.08	0.40	0.08	0.01	0.12	0.06	0.0040	0.44	0.06		一类
M14	30	0.64	0.99	0.18	0.12	0.40	0.08	0.01	0.04	0.02	0.0040	0.26	0.06		一类
M14	51	0.63	1.00	0.13	0.23	0.40	0.08	0.01	0.02	0.06	0.0040	0.38	0.06		一类
M21	1	0.63	0.94	0.05	0.15	0.33	0.08	0.01	0.04	0.06	0.0040	0.42	0.06	0.34	一类
M21	10	0.63	0.96	0.04	0.19	0.33	0.08	0.01	0.02	0.08	0.0040	0.50	0.06		一类
M21	30	0.63	0.97	0.08	0.09	0.33	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.34	0.06		一类
M21	60	0.63	0.99	0.05	0.11	0.40	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0100	0.36	0.06		一类
M20	1	0.61	0.97	0.07	0.14	0.33	0.08	0.01	0.05	0.06	0.0140	0.38	0.06	0.34	一类
M20	10	0.62	0.99	0.05	0.17	0.33	0.08	0.01	0.22	0.06	0.0040	0.46	0.06		一类
M20	30	0.62	0.96	0.09	0.22	0.40	0.08	0.01	0.12	0.02	0.0040	0.92	0.06		一类
M20	54	0.63	0.98	0.04	0.14	0.33	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0040	1.00	0.06		一类
M15	1	0.63	0.96	0.07	0.07	0.33	0.08	0.01	0.05	0.02	0.0040	1.08	0.06	0.34	一类
M15	28.8	0.63	0.98	0.09	0.08	0.27	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.70	0.06		一类
M15	46	0.63	1.00	0.12	0.11	0.33	0.08	0.01	0.95	0.02	0.0040	0.72	0.06		一类
M13	1	0.62	0.07	0.08	0.08	0.33	0.08	0.01	0.17	0.02	0.0040	0.42	0.06	0.34	一类
M13	29.4	0.62	0.91	0.17	0.08	0.33	0.08	0.01	0.08	0.02	0.0380	0.98	0.06		一类
M13	47	0.62	0.94	0.05	0.10	0.33	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0120	0.40	0.06		一类
M12	1	0.61	0.96	0.17	0.09	0.33	0.08	0.01	0.05	0.02	0.0040	0.52	0.07	0.28	一类
M12	28.2	0.61	0.99	0.15	0.13	0.33	0.08	0.01	0.07	0.02	0.0040	0.40	0.07		一类

M12	45	0.59	0.99	0.12	0.17	0.27	0.08	0.01	0.19	0.18	0.0040	0.54	0.07		一类
M8	1	0.59	0.98	0.15	0.15	0.33	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0100	1.18	0.07	0.34	一类
M8	27	0.59	1.00	0.25	0.16	0.33	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.90	0.07		一类
M8	43	0.59	1.00	0.17	0.16	0.33	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.76	0.07		一类
M7	1	0.61	0.95	0.17	0.16	0.33	0.08	0.01	0.04	0.02	0.0040	1.76	0.07	0.34	一类
M7	26.4	0.61	0.98	0.27	0.16	0.33	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.56	0.07		一类
M7	42	0.60	0.99	0.29	0.12	0.33	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.52	0.07		一类
M4	1	0.61	0.96	0.25	0.17	0.47	0.08	0.01	0.06	0.02	0.0040	0.34	0.07	0.42	一类
M4	25.2	0.61	0.98	0.29	0.22	0.40	0.08	0.01	0.21	0.06	0.0040	0.70	0.07		一类
M4	40	0.61	1.00	0.20	0.16	0.33	0.23	0.01	0.65	0.10	0.0040	0.66	0.07		一类
M4 平行	1	0.61	0.96	0.23	0.21	0.33	0.08	0.01	0.17	0.06	0.0040	0.58	0.07	0.38	一类
M4 平行	25.2	0.61	0.98	0.26	0.10	0.27	0.08	0.01	0.05	0.02	0.0040	0.46	0.07		一类
M4 平行	40	0.61	0.99	0.21	0.25	0.27	0.08	0.01	0.18	0.08	0.0040	2.90	0.07		一类
M3	1	0.62	0.94	0.27	0.26	0.40	0.08	0.01	0.07	0.06	0.0040	0.38	0.07	0.38	一类
M3	24	0.62	0.95	0.09	0.24	0.33	0.08	0.01	0.09	0.06	0.0040	0.46	0.07		一类
M3	38	0.63	0.99	0.10	0.18	0.33	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.50	0.07		一类
M2	1	0.66	0.94	0.17	0.56	1.13	0.30	0.02	0.02	0.02	0.0040	0.70	0.06	0.46	一类
M2	22.8	0.66	0.96	0.15	0.32	0.93	0.08	0.02	0.09	0.02	0.0040	0.90	0.06		一类
M2	36	0.66	0.97	0.12	0.26	0.53	0.23	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.62	0.06		一类
M9	1	0.66	0.95	0.15	0.23	1.47	0.08	0.02	0.02	0.02	0.0040	0.60	0.06	0.38	一类
M9	25.8	0.66	0.96	0.25	0.25	1.00	0.08	0.02	0.30	0.10	0.0100	0.60	0.06		一类
M9	41	0.66	0.96	0.17	0.29	0.87	0.16	0.01	0.31	0.10	0.0040	0.58	0.06		一类
M11	1	0.66	0.96	0.17	0.24	0.47	0.37	0.02	0.32	0.34	0.0040	0.68	0.06	0.38	一类
M11	28.2	0.66	0.98	0.27	0.28	0.93	0.08	0.02	0.12	0.12	0.0320	0.62	0.06		一类
M11	45	0.66	0.99	0.29	0.37	1.00	0.08	0.01	0.05	0.12	0.0040	0.44	0.06		一类
M11 平行	1	0.66	0.94	0.25	0.27	0.73	0.50	0.02	0.13	0.08	0.0040	0.70	0.06	0.42	一类
M11 平行	28.2	0.66	0.95	0.29	0.19	0.60	0.08	0.01	0.05	0.02	0.0040	0.62	0.06		一类
M11 平行	45	0.66	0.98	0.29	0.32	1.00	0.08	0.01	0.06	0.02	0.0040	0.84	0.06		一类
M16	1	0.66	0.92	0.25	0.31	1.13	0.08	0.04	0.05	0.02	0.0040	0.72	0.06	0.34	一类

M16	10	0.65	0.93	0.29	0.33	0.87	0.08	0.02	0.06	0.10	0.0040	0.60	0.06		一类
M16	30	0.66	0.92	0.20	0.25	0.80	0.19	0.02	0.02	0.02	0.0120	0.62	0.06		一类
M16	49	0.66	0.94	0.23	0.52	0.80	0.08	0.04	0.06	0.02	0.0040	0.68	0.06		一类
M19	1	0.66	0.92	0.26	0.23	0.80	0.22	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.54	0.06	0.42	一类
M19	10	0.66	0.93	0.21	0.29	0.80	0.08	0.03	0.02	0.02	0.0040	0.58	0.06		一类
M19	30	0.66	0.91	0.27	0.11	0.53	0.08	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.56	0.06		一类
M19	53	0.65	0.95	0.09	0.13	0.33	0.08	0.02	0.02	0.02	0.0140	0.64	0.06		一类
M18	1	0.66	0.93	0.27	0.25	0.73	0.08	0.02	0.02	0.02	0.0040	0.56	0.06	0.38	一类
M18	10	0.66	0.94	0.09	0.29	0.67	0.08	0.02	0.02	0.02	0.0040	0.64	0.06		一类
M18	30	0.66	0.91	0.10	0.22	0.73	0.08	0.02	0.02	0.02	0.0040	0.60	0.06		一类
M18	52	0.65	0.93	0.17	0.13	0.60	0.08	0.01	0.05	0.02	0.0580	0.56	0.06		一类
M17	1	0.64	0.95	0.22	0.21	0.67	0.08	0.01	0.02	0.14	0.0040	0.62	0.06	0.38	一类
M17	28.8	0.66	0.96	0.12	0.18	0.67	0.20	0.01	0.02	0.02	0.0040	0.56	0.06		一类
M17	46	0.64	0.96	0.06	0.26	0.73	0.24	0.02	0.05	0.02	0.0040	0.54	0.06		一类
M10	1	0.65	0.91	0.07	0.30	0.67	0.08	0.03	0.02	0.02	0.0040	0.62	0.06	0.34	一类
M10	25.2	0.65	0.92	0.12	0.36	0.60	0.08	0.03	0.04	0.02	0.0040	0.66	0.06		一类
M10	40	0.65	0.92	0.08	0.34	0.67	0.19	0.01	0.05	0.02	0.0040	0.72	0.06		一类
M1	1	0.64	0.89	0.12	0.40	0.87	0.25	0.02	0.02	0.08	0.0040	0.66	0.06	0.34	一类
M1	25.2	0.64	0.91	0.15	0.33	0.80	0.25	0.01	0.02	0.06	0.0040	0.70	0.06		一类
M1	35	0.64	0.93	0.25	0.26	0.80	0.08	0.04	0.02	0.06	0.0040	0.66	0.07		一类
最小值		0.59	0.07	0.04	0.07	0.27	0.08	0.01	0.02	0.02	0.004	0.26	0.06	0.28	/
最大值		0.66	1.00	0.29	0.56	1.47	0.50	0.04	0.95	0.34	0.058	2.90	0.07	0.46	/
超标率 (%)		0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.33	0.00	0.00	/

注：未检出的以检出限的一半进行评价。

6.4 海洋沉积物环境现状调查与评价

6.4.1 调查概况

(1) 调查时间及频次

2019年3月,对项目海域进行了1个航次的沉积物现场调查。

(2) 调查内容

有机碳、硫化物、总汞(Hg)、锌(Zn)、铜(Cu)、铅(Pb)、镉(Cd)、砷(As)、铬(Cr)、石油类等。

(3) 调查范围与站位

本工程调查共布设沉积物30个站位,站位经纬度如表6.3-1所列,调查站位示意图见图6.3-1。

(4) 调查及检测方法

根据《海洋监测规范》(GB 17378.3-2007)中的要求,进行沉积物样品的采集、保存与运输。到达指定站位后,将绞车的钢丝绳与抓斗式采泥器(表面积 0.025 m^2)连接,同时测量站位水深,开动绞车将采泥器下放至离海底 $3\text{ m}\sim 5\text{ m}$ 时,全速开动绞车使其降至海底。然后将采泥器提至接样板上,打开采泥器上部耳盖,轻轻倾斜使上部积水缓慢流出后,用塑料到或勺从采泥器耳盖中仔细取上部 $0\text{ cm}\sim 1\text{ cm}$ 的沉积物。如遇砂砾层,可在 $0\text{ cm}\sim 3\text{ cm}$ 层内混合取样。现场记录底质类型,并分装与处理、保存。

样品的分析按照《海洋监测规范》(GB 17378.5-2007)、《海洋调查规范》(GB/T 12763.8-2007)和《粒度分布 激光衍射法》(GB/T 19077-2016)进行,各项目的分析方法如表6.4-1。

表 6.4-1 海洋沉积物检测、分析方法

监测项目	引用标准及分析方法	检测仪器	检出限
有机碳	重铬酸钾氧化-还原容量法 GB17378.5—2007	滴定管	——
铜	火焰原子吸收分光光度法 GB17378.5—2007	iCE3500 原子吸收分光光度计	2.0×10^{-6}
铅	火焰原子吸收分光光度法 GB17378.5—2007		3.0×10^{-6}
镉	无火焰原子吸收分光光度法 GB17378.5—2007		0.04×10^{-6}
锌	火焰原子吸收分光光度法 GB17378.5— 2007		6.0×10^{-6}
铬	无火焰原子吸收分光光度法 GB17378.5—2007		2.0×10^{-6}
砷	原子荧光法 GB17378.5—2007	AFS-930 原子荧光光度计	0.06×10^{-6}
总汞	冷原子吸收光度法 GB17378.5—2007	F732V 型测汞仪	0.005×10^{-6}
石油类	紫外分光光度法 CB17378.5-2007	UV1800 紫外分光光度计	3.0×10^{-6}
硫化物	碘量法 GB17378.5—2007	滴定管	——

6.4.2 执行标准

海洋沉积物质量评价标准，根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年），工程所处海洋功能区类型为湛江-珠海近海农渔业区，执行《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）第一类标准。

6.4.3 调查与评价结果

2019 年春季海洋沉积物调查结果见表 6.4-2。

表 6.4-2 2019 年春季沉积物现状监测结果

项目 站位	汞 (10^{-6})	铜 (10^{-6})	铅 (10^{-6})	锌 (10^{-6})	镉 (10^{-6})	砷 (10^{-6})	铬 (10^{-6})	油类 (10^{-6})	硫化物 (10^{-6})	有机碳 (%)
S1	0.053	7.9	8.0	29.0	<0.04	17.85	64.2	65.3	54.5	0.55
S2	0.073	26.2	27.2	98.0	0.14	15.49	66.8	71.1	35.1	0.65
S7	0.070	23.7	27.6	91.8	0.08	14.07	54.5	17.5	26.0	0.65
S8	0.064	22.0	28.8	90.8	<0.04	17.29	45.3	32.7	20.7	0.75
S10	0.057	4.6	7.9	26.1	<0.04	18.24	90.3	19.5	34.4	0.67
S11	0.059	14.5	17.3	60.7	<0.04	8.51	38.3	9.8	33.9	0.69
S12	0.062	20.2	26.1	87.8	0.04	12.45	49.0	22.9	17.2	0.64
S14	0.058	19.9	26.2	92.9	0.05	13.11	50.9	6.1	34.3	0.61
S15	0.048	18.2	25.9	83.7	<0.04	10.87	56.1	12.9	32.6	0.64
S16	0.049	18.4	24.9	90.8	<0.04	11.45	53.6	17.2	41.7	0.67
S17	0.051	15.7	22.8	84.2	<0.04	12.75	38.4	47.8	47.6	0.56
S18	0.038	14.4	21.6	79.5	<0.04	11.37	50.3	14.8	13.7	0.58
S19	0.040	19.0	24.3	83.1	<0.04	11.32	50.4	13.9	22.1	0.65
S20	0.045	14.9	20.3	81.4	0.05	10.43	25.8	10.7	31.1	0.52
S22	0.084	18.0	26.8	86.3	<0.04	10.92	38.5	12.6	34.5	0.74
S23	0.039	17.6	24.4	81.6	<0.04	10.90	53.0	9.9	29.7	0.64
S28	0.068	16.3	23.6	83.7	<0.04	10.12	53.7	11.9	36.1	0.74
S29	0.037	13.4	19.7	79.4	<0.04	9.01	40.4	19.2	25.8	0.62
S30	0.042	18.1	23.9	81.1	<0.04	7.41	44.2	10.2	24.6	0.70
S31	0.035	14.2	23.0	77.2	<0.04	9.18	48.7	5.9	16.6	0.56
S32	0.033	12.7	22.9	73.3	<0.04	7.49	46.7	7.2	20.7	0.42
S34	0.029	13.2	19.6	73.1	<0.04	8.04	44.6	4.4	23.7	0.44
S37	0.029	13.6	17.9	74.4	<0.04	7.88	42.9	3.7	36.7	0.57
S38	0.032	15.4	17.7	80.1	<0.04	8.04	43.0	3.6	34.6	0.51
S39	0.030	8.1	10.5	40.8	<0.04	11.10	66.4	5.9	26.8	0.64
S41	0.034	14.8	21.2	78.5	<0.04	9.23	52.7	5.1	20.1	0.63
S45	0.024	11.2	16.0	69.5	<0.04	11.15	44.0	5.2	39.6	0.46
S50	0.021	9.3	17.0	65.8	<0.04	7.01	44.9	5.8	14.9	0.43
S52	0.025	11.6	17.0	66.6	<0.04	9.14	44.2	7.4	16.2	0.58
S60	0.020	10.6	14.5	67.4	<0.04	6.41	32.6	26.0	32.4	0.43

注：<代表未检出，—为未采样

根据海洋功能区划，本次调查所有站位执行海洋沉积物一类标准。沉积物各项指标调查结果的质量指数如表 6.4-3 所示，仅 S10 站位的铬超标，可能与周边航道来往船舶的含油废水有关，其他所有沉积物站位的各评价因子均符合一类沉积物质量标准，表明调查海域沉积物质量状况良好。

表 6.4-3 沉积物评价指数表

站号	有机碳	硫化物	总汞	砷	铜	铅	锌	镉	铬	油类	执行标准
S1	0.28	0.18	0.27	0.89	0.23	0.13	0.19	0.04	0.80	0.13	一类
S2	0.33	0.12	0.37	0.77	0.75	0.45	0.65	0.28	0.84	0.14	一类
S7	0.33	0.09	0.35	0.70	0.68	0.46	0.61	0.16	0.68	0.04	一类
S8	0.38	0.07	0.32	0.86	0.63	0.48	0.61	0.04	0.57	0.07	一类
S10	0.34	0.11	0.29	0.91	0.13	0.13	0.17	0.04	1.13	0.04	一类
S11	0.35	0.11	0.30	0.43	0.41	0.29	0.40	0.04	0.48	0.02	一类
S12	0.32	0.06	0.31	0.62	0.58	0.44	0.59	0.08	0.61	0.05	一类
S14	0.31	0.11	0.29	0.66	0.57	0.44	0.62	0.10	0.64	0.01	一类
S15	0.32	0.11	0.24	0.54	0.52	0.43	0.56	0.04	0.70	0.03	一类
S16	0.34	0.14	0.25	0.57	0.53	0.42	0.61	0.04	0.67	0.03	一类
S17	0.28	0.16	0.26	0.64	0.45	0.38	0.56	0.04	0.48	0.10	一类
S18	0.29	0.05	0.19	0.57	0.41	0.36	0.53	0.04	0.63	0.03	一类
S19	0.33	0.07	0.20	0.57	0.54	0.41	0.55	0.04	0.63	0.03	一类
S20	0.26	0.10	0.23	0.52	0.43	0.34	0.54	0.10	0.32	0.02	一类
S22	0.37	0.12	0.42	0.55	0.51	0.45	0.58	0.04	0.48	0.03	一类
S23	0.32	0.10	0.20	0.55	0.50	0.41	0.54	0.04	0.66	0.02	一类
S28	0.37	0.12	0.34	0.51	0.47	0.39	0.56	0.04	0.67	0.02	一类
S29	0.31	0.09	0.19	0.45	0.38	0.33	0.53	0.04	0.51	0.04	一类
S30	0.35	0.08	0.21	0.37	0.52	0.40	0.54	0.04	0.55	0.02	一类
S31	0.28	0.06	0.18	0.46	0.41	0.38	0.51	0.04	0.61	0.01	一类
S32	0.21	0.07	0.17	0.37	0.36	0.38	0.49	0.04	0.58	0.01	一类
S34	0.22	0.08	0.15	0.40	0.38	0.33	0.49	0.04	0.56	0.01	一类
S37	0.29	0.12	0.15	0.39	0.39	0.30	0.50	0.04	0.54	0.01	一类
S38	0.26	0.12	0.16	0.40	0.44	0.30	0.53	0.04	0.54	0.01	一类
S39	0.32	0.09	0.15	0.56	0.23	0.18	0.27	0.04	0.83	0.01	一类
S41	0.32	0.07	0.17	0.46	0.42	0.35	0.52	0.04	0.66	0.01	一类
S45	0.23	0.13	0.12	0.56	0.32	0.27	0.46	0.04	0.55	0.01	一类
S50	0.22	0.05	0.11	0.35	0.27	0.28	0.44	0.04	0.56	0.01	一类
S52	0.29	0.05	0.13	0.46	0.33	0.28	0.44	0.04	0.55	0.01	一类
S60	0.22	0.11	0.10	0.32	0.30	0.24	0.45	0.04	0.41	0.05	一类
最大值	0.38	0.18	0.42	0.91	0.75	0.48	0.65	0.28	1.13	0.14	/
最小值	0.21	0.05	0.10	0.32	0.13	0.13	0.17	0.04	0.32	0.01	/
超标率 (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33	0.00	/

6.5 海洋生物质量现状调查及评价

6.5.1 春季生物质量调查结果分析

6.5.1.1 调查时间、范围与站位布设

2019年3月海洋生物质量现状调查与水质调查同时进行，调查站位布设见表 6.3-1 和图 6.3-1。

6.5.1.2 调查项目与分析方法

(1) 调查项目

大型底栖生物和渔业资源调查的渔获物中选取阳江当地常见的有代表性的贝类、鱼类和甲壳类等类别生物中选取生物，分析其体内总汞(Hg)、锌(Zn)、铜(Cu)、铅(Pb)、镉(Cd)、石油烃。

(2) 调查及检测方法

在潮间带生物、大型底栖生物和渔业资源调查的渔获物中选取海陵湾当地常见的有代表性的贝类、鱼类和甲壳类等类别生物中选取生物。用合成洗涤剂清洗冷冻箱、高密度聚乙烯袋、塑料板及尺子、大号金属刀、刮刀，再用蒸馏水或海水漂洗干净。

① 贝类样品的采集

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

② 甲壳类采集

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

③ 鱼类采集

测量并记下鱼样的体长、体重和性别。用清洁的金属刀切下至少 100g 肌肉组织，厚度至少 5cm，样品处理时，切除玷污或内脏部分。存于清洁的聚乙烯袋中，挤出空气并封口，将此袋和样品标签一起放入另一聚乙烯袋中，封口，于低温冰箱中贮存。若保存时间不太长（热天不超过 48h），可用冰箱或冷冻箱贮放样品。

样品的预处理和分析方法遵照《海洋监测规范》（GB 17378.6-2007）进行，各项目的分析方法如表 6.5-1。

表 6.5-1 样品采集、分析方法一览表

序号	监测项目	样品预处理及保存方法	测试方法
1	石油烃	取样后用聚乙烯袋分类 装好冷冻保存	GB17378.6/13-2007 荧光分光光度法
2	铜 (Cu)		GB17378.6/6.1-2007 无火焰原子吸收分光光度法
3	铅 (Pb)		GB17378.6/7.1-2007 无火焰原子吸收分光光度法
4	镉 (Cd)		GB17378.6/8.1-2007 无火焰原子吸收分光光度法
5	锌 (Zn)		GB17378.6/9.1-2007 火焰原子吸收分光光度法
6	总汞 (Hg)		GB17378.6/5.1-2007 原子荧光法

6.5.1.3 执行标准

海洋生物质量中鱼类、甲壳类和软体动物样品残毒（除石油烃外）的评价标准采用《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准（表 6.5-2）。海洋生物质量中贝类样品残毒采用中华人民共和国国家标准《海洋生物质量》（GB 18421-2001）中的相关标准进行评价。

海洋生物质量评价标准，根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年），工程所处海洋功能区类型为湛江-珠海近海农渔业区，执行海洋生物质量标准（GB18421-2001）第一类标准。

表 6.5-2 海洋生物质量标准（GB18421-2001）（双壳类）

项目	标准值		
	一类	二类	三类
汞 (mg/kg) ≤	0.05	0.10	0.30
镉 (mg/kg) ≤	0.2	2.0	5.0
铅 (mg/kg) ≤	0.1	2.0	6.0
铜 (mg/kg) ≤	10	25	50(牡蛎 100)
锌 (mg/kg) ≤	20	50	100(牡蛎 500)
铬 (mg/kg) ≤	0.5	2.0	6.0
砷 (mg/kg) ≤	1.0	5.0	8.0
石油类 (mg/kg) ≤	15	50	80

表 6.5-3 鱼类、甲壳类海洋生物质量评价标准（鲜重：×10⁻⁶）

生物类别	总汞	Cu	Pb	Cd	Zn	石油烃	备注
甲壳类	0.2	100	2	2	150	20	石油烃执行《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册），其余指标执行《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》
鱼类	0.3	20	2	0.6	40	20	
软体动物	0.3	100	10	5.5	250	20	

注：由于双壳类软体动物以外的其他生物体中砷无评价标准，因此不对双壳类以外的其他生物体中砷进行评价。

6.5.1.4 评价方法

（1）超标率计算

$$POS (\%) = \frac{SC}{TSC} \times 100$$

式中：POS——超标率；

SC——超标的样品数；

TSC——总样品数。

（2）质量指数

采用单项因子质量指数法进行评价,评价因子质量指数计算公式为:

$$Q_{ij} = C_{ij} / C_{oi}$$

式中：Q_{ij}——站 j 评价因子 i 的标准指数；

C_{ij}——站 j 评价因子 i 的实测值；

C_{oi}——评价因子 i 的评价标准值。

6.5.1.5 调查及评价结果

（1）调查结果

2019 年春季海洋生物质量调查结果分别见表 6.5-4。

从 2019 年春季调查结果可知, 35 个站位所采集的 35 份海洋生物体中, Zn、Cr、As 及 TPHs 检出率为 100%, Cu 检出率为 45.71%, Pb 检出率为 25.71%, Cd 检出率为 97.14%, Hg 检出率为 77.14%。鱼类 Zn、Cd、Cr、As 及 TPHs 检出率 100%, Cu 检出率 5.26%, Pb 检出率 26.32%, Hg 检出率为 73.68%。软体类 Zn、Cd、Cr、As 及 TPHs 检出率 100%, Cu 检出率 42.86%, Pb 检出率 50.00%。甲壳类 Zn、Cr、As 及 TPHs 检出率 100%, Cu 检出率 92.31%, Pb 检出率 10.53%, Cd 检出率为 92.31%, Hg 检出率为 76.92%。贝类 Zn、Cd、Cr、As、Cu、Pb 及

TPHs 检出率均为 100.00%。

表 6.5-4 2019 年春季海洋生物体质量调查结果

站号	物种名称	类别	检测结果 (mg/kg)							
			汞	铜	铅	锌	镉	砷	铬	石油烃
S1	短尾大眼鲷	鱼类	0.03	<2.0	0.06	3.7	0.011	0.5	0.06	3.6
S2	须赤虾	甲壳类	0.01	3.4	<0.04	6.0	0.017	0.7	0.06	6.7
S4	中线天竺鲷	鱼类	0.03	<2.0	<0.04	2.1	0.005	0.5	0.08	2.7
S7	衣硬篮蛤	贝类	0.02	3.4	0.09	7.0	0.129	0.9	0.15	8.2
S8	多齿蛇鲭	鱼类	0.02	<2.0	<0.04	3.6	0.008	0.5	0.02	3.4
S9	须赤虾	甲壳类	0.01	4.1	<0.04	6.7	0.014	1.0	0.05	5.0
S10	逍遥馒头蟹	甲壳类	0.01	5.5	<0.04	24.3	0.025	0.7	0.05	7.3
S11	火枪乌贼	软体类	0.04	<2.0	0.04	1.9	0.049	0.3	0.04	6.2
S12	中线天竺鲷	鱼类	0.04	<2.0	<0.04	2.2	0.012	0.5	0.05	1.1
S13	斑鳍红娘鱼	鱼类	<0.01	<2.0	<0.04	2.4	0.015	0.6	0.06	0.9
S14	短尾大眼鲷	鱼类	0.03	<2.0	<0.04	0.6	0.017	0.5	0.05	3.8
S15	曼氏无针乌贼	软体类	0.03	6.1	<0.04	5.6	0.229	0.5	0.04	4.7
S16	逍遥馒头蟹	甲壳类	0.01	4.1	<0.04	23.3	0.021	0.7	0.02	8.7
S17	短尾大眼鲷	鱼类	0.03	<2.0	<0.04	1.7	0.009	0.6	0.03	1.2
S18	触角尖尾鱼	鱼类	<0.01	<2.0	0.04	0.7	0.017	0.5	0.03	0.7
S19	杂食豆齿鳗	鱼类	<0.01	<2.0	<0.04	1.1	0.010	0.5	0.05	1.8
S20	棕斑兔头鲈	鱼类	0.01	<2.0	<0.04	2.6	0.018	0.4	0.02	2.7
S22	红星梭子蟹	甲壳类	<0.01	3.3	<0.04	7.0	0.070	0.8	0.02	9.4
S23	异毛蚶	贝类	0.03	<2.0	0.15	4.1	0.225	1.5	0.12	16.0
S28	舌鳎	鱼类	0.01	<2.0	<0.04	3.5	0.014	0.8	0.06	3.6
S29	多齿蛇鲭	鱼类	0.01	<2.0	<0.04	2.6	0.028	0.7	0.03	4.8
S30	李氏鲷	鱼类	0.01	2.2	<0.04	3.4	0.146	0.6	0.03	0.6
S31	斑鳍红娘鱼	鱼类	0.01	<2.0	<0.04	0.6	0.013	0.7	0.05	0.5
S32	口虾蛄	甲壳类	0.01	10.6	<0.04	12.6	1.022	1.4	0.04	5.5
S33	隆线强蟹	甲壳类	0.01	4.6	<0.04	39.0	<0.005	1.4	0.03	7.6
S34	海鳗	鱼类	<0.01	<2.0	0.04	6.0	0.045	0.6	0.01	1.3
S35	隆线强蟹	甲壳类	0.01	5.5	<0.04	24.4	0.011	1.0	0.07	8.2
S36	海鳗	鱼类	<0.01	<2.0	<0.04	4.7	0.014	0.6	0.04	2.6
S37	李氏鲷	鱼类	0.01	<2.0	0.04	0.6	0.011	0.6	0.01	1.8
S38	须赤虾	甲壳类	0.01	<2.0	<0.04	2.5	0.016	1.1	0.03	4.3
S39	口虾蛄	甲壳类	0.01	2.3	<0.04	2.0	0.442	1.1	0.03	5.2
S41	舌鳎	鱼类	0.01	<2.0	0.04	0.8	0.016	0.9	0.02	2.7
S45	口虾蛄	甲壳类	0.01	9.6	0.06	9.8	0.218	1.3	0.12	5.7
S50	隆线强蟹	甲壳类	<0.01	3.1	<0.04	20.6	0.005	1.2	0.02	8.9
S51	刺螯鼓虾	甲壳类	<0.01	3.6	0.04	1.8	0.033	0.9	0.08	4.5
S52	多齿蛇鲭	鱼类	0.01	<2.0	<0.04	1.5	0.024	0.5	0.02	3.4
平均值			0.02	4.68	0.05	6.83	0.08	0.75	0.05	4.38
检出率 (%)			77.14	45.71	25.71	100.00	97.14	100.00	100.00	100.00

(2) 评价结果

2019 年春季调查中，调查海区的贝类除了 S23 号站位的铅、镉、砷和石油

烃的含量超标外，其余站位所有指标均符合评价标准；所有站位的鱼类、甲壳类和软体类生物中的各项指标均达到《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》(第二分册)和《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准。总体来看，本次调查，海区生物质量较好。

表 6.5-5 2019 年春季生物体质量标准指数统计表

序号	物种名称	类别	锌	铜	铅	镉	铬	汞	砷	石油 烃
S1	短尾大眼鲷	鱼类	0.09	0.05	0.03	0.02	-	0.10	-	0.18
S2	须赤虾	甲壳类	0.04	0.03	0.01	0.01	-	0.05	-	0.34
S4	中线天竺鲷	鱼类	0.05	0.05	0.01	0.01	-	0.10	-	0.14
S7	衣硬篮蛤	贝类	0.35	0.34	0.90	0.65	0.30	0.40	0.90	0.55
S8	多齿蛇鲻	鱼类	0.09	0.05	0.01	0.01	-	0.07	-	0.17
S9	须赤虾	甲壳类	0.04	0.04	0.01	0.01	-	0.05	-	0.25
S10	逍遥馒头蟹	甲壳类	0.16	0.06	0.01	0.01	-	0.05	-	0.37
S11	火枪乌贼	软体类	0.01	0.01	0.00	0.01	-	0.13	-	0.31
S12	中线天竺鲷	鱼类	0.06	0.05	0.01	0.02	-	0.13	-	0.06
S13	斑鳍红娘鱼	鱼类	0.06	0.05	0.01	0.03	-	0.02	-	0.05
S14	短尾大眼鲷	鱼类	0.02	0.05	0.01	0.03	-	0.10	-	0.19
S15	曼氏无针乌贼	软体类	0.02	0.06	0.00	0.04	-	0.10	-	0.24
S16	逍遥馒头蟹	甲壳类	0.16	0.04	0.01	0.01	-	0.05	-	0.44
S17	短尾大眼鲷	鱼类	0.04	0.05	0.01	0.02	-	0.10	-	0.06
S18	触角尖尾鱼	鱼类	0.02	0.05	0.02	0.03	-	0.02	-	0.04
S19	杂食豆齿鳗	鱼类	0.03	0.05	0.01	0.02	-	0.02	-	0.09
S20	棕斑兔头鲈	鱼类	0.07	0.05	0.01	0.03	-	0.03	-	0.14
S22	红星梭子蟹	甲壳类	0.05	0.03	0.01	0.04	-	0.03	-	0.47
S23	异毛蚶	贝类	0.21	0.10	1.50	1.13	0.24	0.60	1.50	1.07
S28	舌鲷	鱼类	0.09	0.05	0.01	0.02	-	0.03	-	0.18
S29	多齿蛇鲻	鱼类	0.07	0.05	0.01	0.05	-	0.03	-	0.24
S30	李氏鳊	鱼类	0.09	0.11	0.01	0.24	-	0.03	-	0.03
S31	斑鳍红娘鱼	鱼类	0.02	0.05	0.01	0.02	-	0.03	-	0.03
S32	口虾蛄	甲壳类	0.08	0.11	0.01	0.51	-	0.05	-	0.28
S33	隆线强蟹	甲壳类	0.26	0.05	0.01	0.00	-	0.05	-	0.38
S34	海鳗	鱼类	0.15	0.05	0.02	0.08	-	0.02	-	0.07
S35	隆线强蟹	甲壳类	0.16	0.06	0.01	0.01	-	0.05	-	0.41
S36	海鳗	鱼类	0.12	0.05	0.01	0.02	-	0.02	-	0.13
S37	李氏鳊	鱼类	0.02	0.05	0.02	0.02	-	0.03	-	0.09
S38	须赤虾	甲壳类	0.02	0.01	0.01	0.01	-	0.05	-	0.22
S39	口虾蛄	甲壳类	0.01	0.02	0.01	0.22	-	0.05	-	0.26
S41	舌鲷	鱼类	0.02	0.05	0.02	0.03	-	0.03	-	0.14
S45	口虾蛄	甲壳类	0.07	0.10	0.03	0.11	-	0.05	-	0.29
S50	隆线强蟹	甲壳类	0.14	0.03	0.01	0.00	-	0.03	-	0.45
S51	刺螯鼓虾	甲壳类	0.01	0.04	0.02	0.02	-	0.03	-	0.23
S52	多齿蛇鲻	鱼类	0.04	0.05	0.01	0.04	-	0.03	-	0.17
超标率 (%)			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

6.5.2 秋季生物质量调查结果分析

6.5.2.1 调查时间、范围与站位布设

2018年10月海洋生物质量现状调查与水质调查同时进行，调查站位布设见表6.5-6和图6.5-1。

表 6.5-6 2018年秋季生物生态调查站位

站号	东经	北纬	调查项目
Y2	111°46'31.922"	21°0'46.357"	生物
Y4	111°47'20.314"	20°46'22.292"	生物
Y6	111°39'42.779"	20°39'28.372"	生物
Y8	111°38'48.192"	20°51'33.541"	生物
Y9	111°39'7.186"	20°57'29.077"	生物
Y10	111°38'48.192"	21°2'14.114"	生物
Y12	111°33'46.138"	21°6'47.009"	生物
Y13	111°34'7.734"	21°1'48.302"	生物
Y14	111°34'7.734"	20°57'4.255"	生物
Y16	111°34'16.208"	20°47'1.734"	生物
Y17	111°30'19.660"	20°39'15.948"	生物
Y19	111°28'21.284"	20°51'28.372"	生物
Y20	111°28'10.283"	20°55'57.097"	生物
Y21	111°28'32.282"	21°2'15.148"	生物
Y23	111°20'8.214"	21°5'54.582"	生物
Y25	111°20'16.948"	20°53'28.298"	生物
Y27	111°20'14.748"	20°39'3.528"	生物

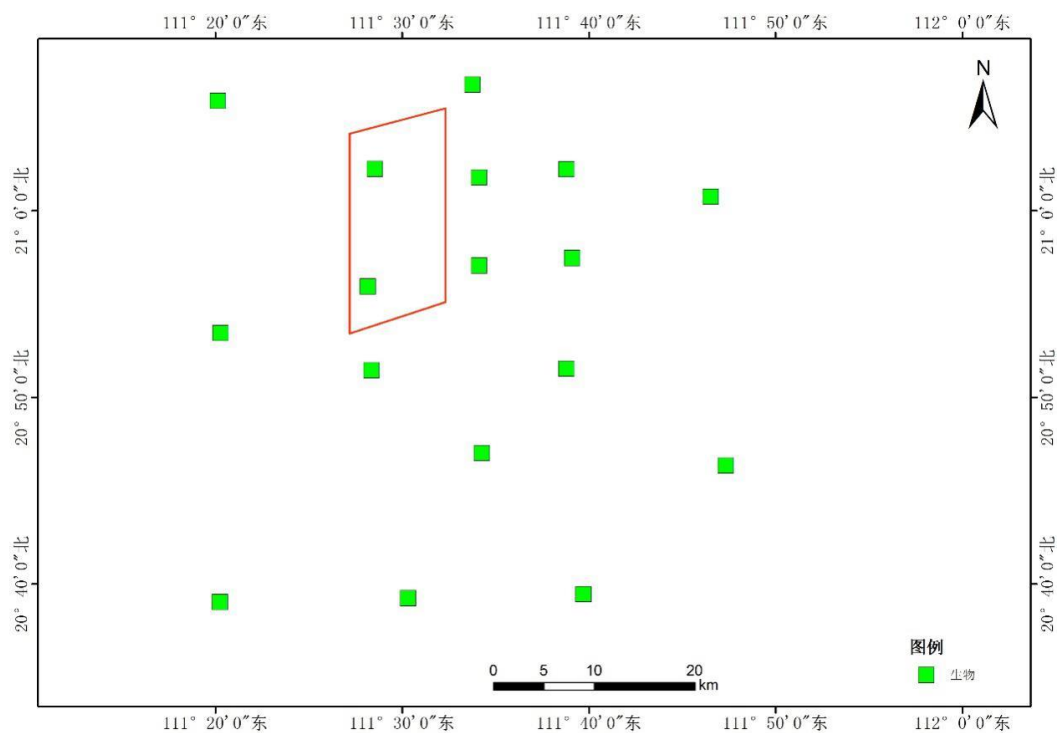


图 6.5-1 2018年秋调查站位及调查范围示意图

6.5.2.2 调查项目与分析方法

(1) 调查项目

测定项目包括铜 (Cu)、铅 (Pb)、锌 (Zn)、镉 (Cd)、汞 (Hg)、砷 (As)、铬 (Cr) 和石油烃 (TPHs)。

(2) 调查和分析方法

项目的测定方法参照《海洋监测规范-第 6 部分：生物体分析》(GB17378.6-2007)。

表 6.5-7 海洋生物质量各检测项目的测定方法与检出限

检测参数	分析方法	检验方法标准	检出限 (mg/kg)
Cu	无火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17378.6-2007/6.1	0.40
Pb	无火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17378.6-2007/7.1	0.04
Zn	无火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17378.6-2007/9.1	0.40
Cd	无火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17378.6-2007/8.1	0.005
Hg	原子荧光分光光度法	GB/T 17378.6-2007/5.1	0.002
As	原子荧光分光光度法	GB 17378.6-2007/11.1	0.2
Cr	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.6-2007/10.1	0.04
TPHs	荧光分光光度法	GB 17378.6-2007/13	0.30

6.5.2.3 调查及评价结果

(1) 调查结果

2018 年秋季海洋生物质量调查结果分别见表 6.5-8。

从调查监测结果看 (表 6.5-8)，17 个站位所采集的 34 份海洋生物体中，鱼类 Zn、Hg、As、Cr 及 TPHs 检出率为 100%，Cu 检出率为 47.06%，Pb 检出率为 0.00%，Cd 检出率为 82.35%。甲壳类 Cu、Zn、Cd、As、Cr 及 TPHs 检出率为 100%，Pb 检出率为 0.00%，Hg 检出率为 94.12%。

各站分别按鱼类、甲壳类样品检测值平均，Cu、Zn、Cd 和 As 含量甲壳类高于鱼类；Hg、Cr 和 TPHs 含量鱼类高于甲壳类；Pb 在鱼类及甲壳类生物体样品中均未检出。

表 6.5-8 2018 年秋季海洋生物体质量调查结果 (mg/kg)

站 位	种类	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	TPHs
Y2	白姑鱼	<0.4	<0.04	2.48	0.006	0.011	0.4	0.82	19.4
Y4	日本金线鱼	1.00	<0.04	2.97	0.007	0.012	0.8	0.76	18.9
Y6	日本金线鱼	<0.4	<0.04	3.08	0.021	0.013	1.3	0.77	18.8
Y8	蓝圆鲹	0.60	<0.04	7.74	0.009	0.006	1.1	0.98	26.2
Y9	蓝圆鲹	1.40	<0.04	6.39	0.034	0.005	1.1	0.78	19.9
Y10	日本金线鱼	<0.4	<0.04	1.80	0.010	0.013	1.7	0.81	19.2
Y12	日本金线鱼	2.80	<0.04	1.80	0.009	0.008	1.5	0.73	18.7
Y13	日本金线鱼	<0.4	<0.04	3.56	<0.005	0.014	2.0	0.90	17.8
Y14	白姑鱼	0.40	<0.04	1.89	<0.005	0.016	1.1	0.69	16.9
Y16	日本金线鱼	<0.4	<0.04	4.78	0.006	0.008	1.7	1.04	15.3
Y17	蓝圆鲹	<0.4	<0.04	5.83	0.024	0.016	1.2	0.73	15.4
Y19	蓝圆鲹	0.60	<0.04	11.50	0.031	0.007	1.1	1.00	17.4
Y20	日本金线鱼	<0.4	<0.04	2.39	<0.005	0.009	1.4	0.72	16.3
Y21	蓝圆鲹	0.80	<0.04	5.77	0.010	0.012	0.9	0.72	19.6
Y23	白姑鱼	<0.4	<0.04	3.86	0.007	0.012	0.8	0.96	15.1
Y25	蓝圆鲹	<0.4	<0.04	5.78	0.013	0.007	2.0	0.82	28.8
Y27	日本金线鱼	1.50	<0.04	5.41	0.010	0.049	15.5	0.75	19.6
Y2	宽突赤虾	2.80	<0.04	7.99	0.013	0.008	12.8	0.79	34.0
Y4	宽突赤虾	4.00	<0.04	7.39	0.014	0.007	10.2	0.88	23.5
Y6	宽突赤虾	3.70	<0.04	7.56	0.012	<0.002	18.2	0.83	30.3
Y8	宽突赤虾	3.20	<0.04	7.76	0.016	0.008	11.5	0.77	13.5
Y9	宽突赤虾	4.60	<0.04	8.56	0.014	0.003	9.3	0.89	13.2
Y10	宽突赤虾	3.00	<0.04	8.16	0.014	0.006	7.5	0.86	25.1
Y12	宽突赤虾	3.80	<0.04	7.92	0.012	0.003	2.6	0.78	15.2
Y13	宽突赤虾	2.20	<0.04	7.55	0.010	0.010	5.1	0.87	13.0
Y14	宽突赤虾	2.50	<0.04	9.30	0.014	0.010	5.2	0.77	15.7
Y16	中华管鞭虾	6.60	<0.04	7.57	0.024	0.007	6.1	0.63	15.3
Y17	鹰爪虾	4.90	<0.04	6.65	0.010	0.026	7.6	0.71	13.7
Y19	宽突赤虾	7.30	<0.04	8.85	0.014	0.013	10.0	0.69	12.4
Y20	宽突赤虾	3.20	<0.04	9.18	0.017	0.028	9.4	0.66	15.5
Y21	中华管鞭虾	3.60	<0.04	7.89	0.020	0.002	8.0	0.65	12.2
Y23	鹰爪虾	6.60	<0.04	7.12	0.017	0.002	9.5	0.67	18.8
Y25	中华管鞭虾	5.80	<0.04	9.34	0.015	0.008	5.8	0.70	14.7
Y27	中华管鞭虾	5.80	<0.04	7.78	0.025	0.003	9.4	0.57	14.2
平均值		3.31	-	6.28	0.01	0.01	5.40	0.79	18.34
检出率 (%)		73.53	0.00	100.00	91.18	97.06	100.00	100.00	100.00

(2) 评价结果

2018 年秋调查, 在 Y2、Y4、Y6、Y8、Y9、Y10、Y12、Y13、Y14、Y16、Y17、Y19、Y20、Y21、Y23、Y25、Y27 号站共计 17 个站位所采集的 34 份海洋生物体中, 鱼类生物体 Y8、Y25 号站、甲壳类生物体 Y2、Y4、Y6、Y10 站 TPHs 超标, 总超标率 17.65%, 鱼类生物体 Y27 号站、甲壳类生物体 Y2、Y4、

Y6、Y8、Y9、Y19、Y20、Y23、Y27 站 As 超标，总超标率为 29.41%。其余没有超标现象出现，具体见表 6.5-9。

表 6.5-9 2019 年春季生物体质量标准指数统计表

站位	种类	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	TPHs
Y2	白姑鱼	-	-	0.06	0.01	0.04	0.08	0.55	0.97
Y4	日本金线鱼	0.05	-	0.07	0.01	0.04	0.16	0.51	0.95
Y6	日本金线鱼	-	-	0.08	0.04	0.04	0.26	0.51	0.94
Y8	蓝圆鲹	0.03	-	0.19	0.02	0.02	0.22	0.65	1.31
Y9	蓝圆鲹	0.07	-	0.16	0.06	0.02	0.22	0.52	1
Y10	日本金线鱼	-	-	0.05	0.02	0.04	0.34	0.54	0.96
Y12	日本金线鱼	0.14	-	0.05	0.02	0.03	0.3	0.49	0.94
Y13	日本金线鱼	-	-	0.09	-	0.05	0.4	0.6	0.89
Y14	白姑鱼	0.02	-	0.05	-	0.05	0.22	0.46	0.85
Y16	日本金线鱼	-	-	0.12	0.01	0.03	0.34	0.69	0.77
Y17	蓝圆鲹	-	-	0.15	0.04	0.05	0.24	0.49	0.77
Y19	蓝圆鲹	0.03	-	0.29	0.05	0.02	0.22	0.67	0.87
Y20	日本金线鱼	-	-	0.06	-	0.03	0.28	0.48	0.82
Y21	蓝圆鲹	0.04	-	0.14	0.02	0.04	0.18	0.48	0.98
Y23	白姑鱼	-	-	0.1	0.01	0.04	0.16	0.64	0.76
Y25	蓝圆鲹	-	-	0.14	0.02	0.02	0.4	0.55	1.44
Y27	日本金线鱼	0.08	-	0.14	0.02	0.16	3.1	0.5	0.98
Y2	宽突赤虾	0.03	-	0.05	0.01	0.04	1.6	0.53	1.7
Y4	宽突赤虾	0.04	-	0.05	0.01	0.04	1.28	0.59	1.18
Y6	宽突赤虾	0.04	-	0.05	0.01	-	2.28	0.55	1.52
Y8	宽突赤虾	0.03	-	0.05	0.01	0.04	1.44	0.51	0.68
Y9	宽突赤虾	0.05	-	0.06	0.01	0.02	1.16	0.59	0.66
Y10	宽突赤虾	0.03	-	0.05	0.01	0.03	0.94	0.57	1.26
Y12	宽突赤虾	0.04	-	0.05	0.01	0.02	0.33	0.52	0.76
Y13	宽突赤虾	0.02	-	0.05	0.01	0.05	0.64	0.58	0.65
Y14	宽突赤虾	0.03	-	0.06	0.01	0.05	0.65	0.51	0.79
Y16	中华管鞭虾	0.07	-	0.05	0.01	0.04	0.76	0.42	0.77
Y17	鹰爪虾	0.05	-	0.04	0.01	0.13	0.95	0.47	0.69
Y19	宽突赤虾	0.07	-	0.06	0.01	0.07	1.25	0.46	0.62
Y20	宽突赤虾	0.03	-	0.06	0.01	0.14	1.18	0.44	0.78
Y21	中华管鞭虾	0.04	-	0.05	0.01	0.01	1	0.43	0.61
Y23	鹰爪虾	0.07	-	0.05	0.01	0.01	1.19	0.45	0.94
Y25	中华管鞭虾	0.06	-	0.06	0.01	0.04	0.73	0.47	0.74
Y27	中华管鞭虾	0.06	-	0.05	0.01	0.02	1.18	0.38	0.71
超标率 (%)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.41	0.00	17.65

备注：低于检出限的残毒因子的质量指数均用-表示。

6.6 海洋生态环境现状调查与评价

6.6.1 春季海洋生态调查结果分析

6.6.1.1 调查时间、范围与站位布设

2019年3月海洋生态现状调查与水质调查同时进行,调查站位布设见表6.3-1和图6.3-1。

调查项目:叶绿素a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物和、鱼卵仔鱼、游泳动物。

6.6.1.2 海洋生物采集、处理和分析方法

(1) 叶绿素a和初级生产力

用容积为5L的有机玻璃采水器采集表层0.5m的水样,现场过滤,滤膜用保温壶冷藏,带回实验室分析,采用分光光度法测定叶绿素a的含量(引用标准:《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007))。

初级生产力采用叶绿素a法,按照CaXee和Hegeman(1974)提出的简化公式估算。

(2) 浮游植物

浮游植物的采集和分析均按《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范—海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)中规定的方法进行。

利用浮游生物浅水III型浮游生物网,网口面积 0.1m^2 ,采用垂直拖网法。样品现场用福尔马林固定,带回实验室,进行种类鉴定和定量分析。定量计数用计数框,视野法计数,取其平均密度,通过过滤的水柱,测算出每个调查站位浮游植物的密度,单位以每立方米多少个细胞数表示(cells/m^3)。

(3) 浮游动物

浮游动物的采集和分析均按《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范-海洋生物调查》(GB/T 12763.6-2007)中规定的方法进行。

以浅水II型浮游生物网采样,网口面积 0.08m^2 ,每个调查站从底至表垂直拖曳II型网,样品现场用5%甲醛溶液固定保存,带回实验室进行种类鉴定,总生物量及栖息密度分布等分析。总生物量的研究采用湿重法,栖息密度分布采用个体计数法,然后根据滤水量换算为每 m^3 水体的浮游动物数量。

(4) 底栖生物

底栖生物调查方法按照《海洋监测规范》(GB17378.1-2007)和《海洋调查规范》(GB/T 12763.1-2007)中有关底栖生物的规定执行。

采泥底栖生物调查方法是采用抓斗式采泥器进行定量取样，取样面积为 0.05m^2 ，每个站均采样4次。样品用酒精固定后带回室内分析鉴定，生物量和栖息密度分别以 g/m^2 和栖息密度 $\text{ind.}/\text{m}^2$ 为单位。

(5) 鱼卵仔鱼

采用拖网法，网具采用浅海浮游生物 I 型网，于表层水平拖曳 5 分钟取得，拖速保持在 2 节左右，共获得 36 个鱼卵仔鱼样品。海上采得的浮游生物样品按体积 5% 的量加入福尔马林溶液固定，带回实验室后将鱼卵仔鱼样品单独挑出，在解剖镜下计数和鉴定。

(6) 海洋渔业资源（游泳生物）

渔业资源调查均按《海洋调查规范》及中华人民共和国农业部 2008 年 3 月颁布的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》进行，采样均于白天进行，拖时为 1h，平均拖速为 3.0 kn，每次放网 1 张。

对渔获物的渔获重量和尾数进行统计，记录网产量。根据调查海域的物种分布特征和经济种类等情况，将本次调查海域的渔获物分为鱼类、甲壳类和头足类等 3 个类群，并分别进行描述。

6.6.1.3 计算方法

(1) 初级生产力

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

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

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

C_a —— 表层叶绿素 a 含量 (mg/m^3) ；

Q —— 同化系数 ($\text{mg C}/(\text{mgChl-a h})$)，根据南海海洋研究所以往调查结果，这里取 3.7；

L —— 真光层的深度 (m) ；

t —— 白昼时间 (h)，11h。

(2) 优势度

优势度 (Y) 应用以下公式计算：

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

式中： n_i 为第 i 种的个体数； f_i 是该种在各站中出现的频率； N 为所有站每个种出现的总个体数。

(3) 多样性指数

Shannon-Wiener 指数计算公式为：

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

式中： H' ——种类多样性指数

S ——样品中的种类总数

P_i ——第 i 种的个体数与总个体数的比值。

(4) 均匀度

Pielou 均匀度公式为：

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

式中： J ——均匀度

H' ——种类多样性指数

S ——样品中的种类总数

(5) 鱼卵仔鱼

鱼卵仔鱼的密度计算方法根据面积、拖网距离和鉴定的鱼卵仔鱼数量，按以下公式计算单位体积内鱼卵仔鱼的分布密度：

$$V = N / (S \times L)$$

式中： V ——鱼卵仔鱼的分布密度，单位为个/ m^3 、尾/ m^3

N ——每网鱼卵仔鱼数量，单位为(个，尾)

S ——网口面积，单位为 m^2

L ——拖网距离，单位为 m

(6) 渔业资源（游泳动物）

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

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

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

a —底拖网每小时的扫海面积（扫海宽度取浮网长度的 2/3）

y —平均渔获率（kg/h）或平均生物个体密度（ind./h）

E —逃逸率（取 0.5）

确定优势种的方法：根据渔获物中个体大小悬殊的特点，选用 Pinkas 等提出的相对重要性指数 IRI ，来分析渔获物在群体数量组成中其生态的地位，依此确定优势种。 IRI 计算公式为 $IRI = (N+W)F$ 。

式中： N —某一种类的尾数占渔获总尾数的百分比

W —某一种类的重量占渔获总重量的百分比

F —某一种类的出现的站位数占调查总站位数的百分比

6.6.1.4 叶绿素 a 和初级生产力

(1) 叶绿素 a

本次调查海区表层水体叶绿素 a 含量的变化范围为 $0.34\text{mg}/\text{m}^3 \sim 2.66\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 $0.70\text{mg}/\text{m}^3$ ，其中 S2 号站叶绿素 a 含量最高，S12、S28、S30、S35 和 S51 号站叶绿素 a 含量最低，均为 $0.34\text{mg}/\text{m}^3$ 。

调查海区底层水体叶绿素 a 含量的变化范围为 $0.34\text{mg}/\text{m}^3 \sim 3.00\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 $0.66\text{mg}/\text{m}^3$ ，其中 S2 号站叶绿素 a 含量最高，S23、S28、S30、S34 和 S39 号站叶绿素 a 含量最低，为 $0.34\text{mg}/\text{m}^3$ （表 6.6-1）。

(2) 初级生产力

调查海域初级生产力的变化范围为 $72.86\text{mg C}/(\text{m}^2 \text{d}) \sim 843.49\text{mg C}/(\text{m}^2 \text{d})$ ，平均值为 $257.23\text{mg C}/(\text{m}^2 \text{d})$ ，其中 S2 号站初级生产力水平最高，S28 号站最低（表 6.6-1）。

表 6.6-1 叶绿素 a 和初级生产力测定结果

站位	叶绿素 a (mg/m^3)		初级生产力 ($\text{mg C}/(\text{m}^2 \text{d})$)
	表层	底层	
S1	2.26	1.08	731.90
S2	2.66	3.00	843.49
S4	0.74	0.79	292.06
S7	1.13	1.87	365.95
S8	0.74	0.74	292.06
S9	0.74	0.74	269.60
S10	1.42	0.74	477.02
S11	1.13	1.30	379.76
S12	0.34	0.40	120.74
S13	0.79	0.74	144.69

站位	叶绿素 a (mg/m ³)		初级生产力 (mg C/(m ² d))
	表层	底层	
S14	0.40	0.40	163.98
S15	0.74	0.74	305.54
S16	0.40	0.40	156.75
S17	0.74	0.74	269.60
S18	0.74	0.74	337.00
S19	0.40	0.40	84.40
S20	0.74	0.74	157.26
S22	0.40	0.40	168.80
S23	0.40	0.34	168.80
S28	0.34	0.34	72.86
S29	1.08	0.74	230.13
S30	0.34	0.34	156.14
S31	0.40	0.74	188.10
S32	0.37	0.74	179.73
S33	0.40	0.40	192.92
S34	0.40	0.34	192.92
S35	0.34	0.40	209.81
S36	0.40	0.40	217.03
S37	0.40	0.40	229.09
S38	0.40	0.40	229.09
S39	0.74	0.34	188.72
S41	1.08	0.40	512.86
S45	0.40	0.40	108.52
S50	0.40	0.40	204.98
S51	0.34	0.40	176.95
S52	0.40	0.40	241.15
范围	0.34~2.66	0.34~3.00	72.86 ~ 843.49
平均值	0.70	0.66	257.23

6.6.1.5 浮游植物

(1) 种类组成和优势种

本次调查共记录浮游植物 4 门 49 属 147 种 (含 3 个变种和 3 个变型)。其中以硅藻门出现的种类为最多, 为 32 属 101 种, 占总种数的 68.71% (表 6.6-2); 甲藻门出现 15 属 43 种, 占总种数的 29.25%。硅藻门的角毛藻出现种类数最多 (31 种), 其次是甲藻门的角藻 (21 种), 其它属出现的种类见表 6.6-2。

表 6.6-2 浮游植物种类组成

类群	属数	种类数	种类组成比例 (%)
硅藻	32	101	68.71
甲藻	15	43	29.25
蓝藻	1	1	0.68
金藻	1	2	1.36
合计	49	147	100.00

以优势度 Y 大于 0.02 为判断标准，本次调查的浮游植物优势种出现 7 种，为硅藻门的尖刺拟菱形藻（*Pseudo-nitzschia pungens*）、拟旋链角毛藻（*Chaetoceros pseudocurvisetus*）、垂缘角毛藻（*Chaetoceros laciniosus*）、柔弱拟菱形藻（*Pseudo-nitzschia delicatissima*）、并基角毛藻（*Chaetoceros decipiens*）和中肋骨条藻（*Skeletonema costatum*），蓝藻门的束毛藻（*Trichodesmium* sp.）。

尖刺拟菱形藻的优势度为 0.433，丰度占调查海区总丰度的 46.15%，该优势种在整个调查区域分布广泛，在 36 个调查站位中均出现，出现率为 100.00%，为该调查海区的第一优势种，其他优势种见表 6.6-3。

表 6.6-3 浮游植物优势种及优势度

中文名	英文名	类群	优势度	占总丰度的百分比 (%)
尖刺拟菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	硅藻	0.433	46.15
束毛藻	<i>Trichodesmium</i> sp.	蓝藻	0.156	11.91
拟旋链角毛藻	<i>Chaetoceros pseudocurvisetus</i>	硅藻	0.078	13.81
垂缘角毛藻	<i>Chaetoceros laciniosus</i>	硅藻	0.026	3.28
柔弱拟菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	硅藻	0.026	3.57
并基角毛藻	<i>Chaetoceros decipiens</i>	硅藻	0.021	2.42
中肋骨条藻	<i>Skeletonema costatum</i>	硅藻	0.020	2.97

(2) 丰度组成

本次调查结果表明，调查海区浮游植物丰度变化范围为 $27.87 \times 10^4 \text{ cells/m}^3 \sim 8596.16 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$ ，平均为 $1163.04 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$ （表 6.6-4）。不同站位的丰度差异较大，最高丰度出现在 S2 号站；S7 号站次之，其丰度为 $8386.75 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$ ；最低丰度则出现在 S34 号站。

浮游植物丰度组成以硅藻占优势，其丰度占各站总丰度的 0.91%~99.95%，平均为 87.96%，硅藻在 36 个测站中均出现；蓝藻次之，其丰度占各站总丰度的 0.00%~99.07%，平均为 11.91%，蓝藻在 36 个测站中 33 个站有出现；甲藻在各站丰度中的所占比例为 0.01%~2.31%，平均为 0.13%，在 36 个测站中均有出现，金藻类的丰度和在各站丰度的比例见表 6.6-4。

表 6.6-4 浮游植物丰度 ($\times 10^4 \text{cells/m}^3$) 及其百分比值 (%)

站位	总丰度	硅藻		甲藻		蓝藻		金藻	
		丰度	百分比	丰度	百分比	丰度	百分比	丰度	百分比
S1	4339.83	4329.63	99.76	1.84	0.04	8.21	0.19	0.15	0.00
S2	8596.16	8581.27	99.83	14.90	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
S4	5261.56	5259.04	99.95	2.48	0.05	0.00	0.00	0.04	0.00
S7	8386.75	8381.74	99.94	4.79	0.06	0.00	0.00	0.23	0.00
S8	3700.25	3682.96	99.53	5.07	0.14	12.16	0.33	0.05	0.00
S9	556.41	549.28	98.72	1.72	0.31	5.41	0.97	0.00	0.00
S10	250.77	230.33	91.85	1.25	0.50	19.19	7.65	0.00	0.00
S11	802.54	705.65	87.93	3.28	0.41	93.56	11.66	0.05	0.01
S12	3387.31	3077.01	90.84	5.20	0.15	304.96	9.00	0.14	0.00
S13	167.01	86.68	51.90	0.50	0.30	79.83	47.80	0.00	0.00
S14	212.88	160.26	75.28	2.33	1.10	50.26	23.61	0.03	0.01
S15	502.98	211.35	42.02	0.71	0.14	290.92	57.84	0.00	0.00
S16	498.35	350.44	70.32	1.54	0.31	146.35	29.37	0.02	0.00
S17	567.72	486.86	85.76	2.30	0.41	78.56	13.84	0.00	0.00
S18	172.14	34.50	20.04	0.42	0.24	137.22	79.72	0.00	0.00
S19	125.71	55.41	44.08	0.35	0.28	69.94	55.64	0.00	0.00
S20	32.84	20.48	62.37	0.22	0.68	12.14	36.96	0.00	0.00
S22	172.99	33.97	19.64	0.69	0.40	138.33	79.96	0.00	0.00
S23	95.22	36.42	38.25	0.46	0.48	58.34	61.28	0.00	0.00
S28	111.57	12.65	11.33	0.33	0.29	98.60	88.37	0.00	0.00
S29	226.46	109.19	48.22	0.50	0.22	116.77	51.56	0.00	0.00
S30	92.56	25.01	27.02	0.81	0.87	66.43	71.76	0.31	0.34
S31	295.03	24.80	8.41	0.36	0.12	269.87	91.47	0.00	0.00
S32	86.70	11.50	13.27	0.40	0.46	74.80	86.27	0.00	0.00
S33	57.46	13.24	23.04	0.29	0.50	43.93	76.45	0.00	0.00
S34	27.87	15.51	55.66	0.64	2.31	11.71	42.03	0.00	0.00
S35	172.97	11.32	6.55	0.13	0.07	161.52	93.38	0.00	0.00
S36	528.62	79.88	15.11	0.39	0.07	448.36	84.82	0.00	0.00
S37	118.71	36.44	30.70	0.23	0.19	82.04	69.11	0.00	0.00
S38	162.56	12.93	7.96	0.17	0.11	149.46	91.94	0.00	0.00
S39	379.67	137.41	36.19	0.22	0.06	242.05	63.75	0.00	0.00
S41	107.70	31.14	28.92	0.59	0.54	75.97	70.54	0.00	0.00
S45	1489.45	13.63	0.91	0.15	0.01	1475.67	99.07	0.00	0.00
S50	52.21	4.61	8.83	0.12	0.23	47.48	90.94	0.00	0.00
S51	39.98	2.37	5.93	0.22	0.56	37.38	93.51	0.00	0.00
S52	90.39	12.08	13.37	0.14	0.16	78.17	86.48	0.00	0.00
平均值	1163.04	1022.97	87.96	1.55	0.13	138.49	11.91	0.03	0.002
变化范围	27.87~8596.16	2.37~8581.27	0.91~99.95	0.12~14.90	0.01~2.31	0.00~1475.67	0.00~99.07	0.00~0.31	0.00~0.34

(3) 多样性水平

本次调查,各站位浮游植物种数变化范围 28~74 种,平均 49 种(表 6.6-5)。Shannon-wiener 多样性指数范围为 0.103~3.643,平均为 1.962,多样性指数以 S20 号站位最高,S45 号站最低;Pielou 均匀度指数范围为 0.018~0.630,平均为 0.347,其中 S20 号站均匀度指数最高,S45 号站最低(表 6.6-5)。

表 6.6-5 浮游植物的多样性及均匀度指数

站位	种类数	多样性指数(H)	均匀度(J)
S1	46	2.932	0.531
S2	52	1.845	0.324
S4	57	2.807	0.481
S7	60	3.049	0.516
S8	52	2.257	0.396
S9	53	2.651	0.463
S10	54	3.542	0.615
S11	61	2.841	0.479
S12	62	2.830	0.475
S13	74	3.059	0.493
S14	50	2.469	0.437
S15	56	1.952	0.336
S16	64	2.915	0.486
S17	58	2.050	0.350
S18	36	1.471	0.285
S19	61	2.922	0.493
S20	55	3.643	0.630
S22	50	1.233	0.219
S23	46	1.901	0.344
S28	64	1.058	0.176
S29	69	2.397	0.392
S30	41	1.874	0.350
S31	42	0.713	0.132
S32	34	0.971	0.191
S33	35	1.635	0.319
S34	39	3.120	0.590
S35	30	0.583	0.119
S36	48	1.205	0.216
S37	45	2.087	0.380
S38	30	0.677	0.138
S39	46	1.473	0.267
S41	47	1.969	0.354
S45	54	0.103	0.018
S50	31	0.756	0.153
S51	30	0.566	0.115
S52	28	1.078	0.224
平均	49	1.962	0.347
范围	28~74	0.103~3.643	0.018~0.630

6.6.1.6 浮游动物

(1) 种类组成

本次调查共记录浮游动物 13 个生物类群 116 种，其中桡足类 60 种、浮游幼体类 15 种、腔肠动物 10 种和其他种类共 31 种。

(2) 浮游动物生物量、密度及其分布

本次调查结果显示，各采样站浮游动物湿重生物量变化幅度为

4.03mg/m³~1542.86mg/m³，平均生物量为 142.90mg/m³。在整个调查区中，生物量最高出现在 S2 号采样站，最低出现在 S51 号采样站。在个体数量分布方面，浮游动物密度变化幅度为 7.77ind./m³~4665.82ind./m³，平均密度 797.54ind./m³。浮游生物最高密度出现在 S2 号采样站，最低密度则出现在 S52 号采样站(表 6.6-6)。

表 6.6-6 浮游动物生物量及密度

站位	生物量 (mg/m ³)	密度 (ind./m ³)
S1	571.70	3238.68
S2	1542.86	4665.82
S4	723.61	2924.07
S7	601.42	2609.91
S8	165.98	1412.70
S9	81.15	612.70
S10	78.81	487.29
S11	111.64	725.86
S12	88.98	558.05
S13	53.26	681.52
S14	125.36	2397.46
S15	135.14	1531.52
S16	47.46	687.68
S17	89.18	857.46
S18	77.61	734.70
S19	45.78	310.06
S20	43.99	489.56
S22	43.84	457.88
S23	62.00	457.67
S28	36.14	187.35
S29	20.98	397.99
S30	89.51	844.44
S31	31.63	300.00
S32	28.40	109.88
S33	23.19	67.17
S34	45.68	309.88
S35	12.89	12.11
S36	17.47	24.73
S37	9.95	13.44
S38	10.79	10.00
S39	26.40	159.83
S41	57.76	353.16
S45	12.36	38.46
S50	14.18	11.86
S51	4.03	22.85
S52	13.35	7.77
平均值	142.90	797.54
范围	4.03~ 1542.86	7.77~ 4665.82

(3) 浮游动物主要类群分布

① 桡足类

桡足类在 36 个调查站位中均有分布，其密度变化范围为 $5.34\text{ind./m}^3\sim 2826.53\text{ind./m}^3$ ，平均密度为 451.93ind./m^3 ，占浮游动物总密度的 56.67%。其中最高密度出现在 S2 号采样站；其次为 S1 号采样站，密度为 2613.21ind./m^3 。S52 号站位密度最低。

②浮游幼体类

浮游幼体类在全部 36 个调查站位均有出现，平均密度为 116.83ind./m^3 ，占浮游动物总密度的 14.65%，其密度变化范围为 $4.38\text{ind./m}^3\sim 614.80\text{ind./m}^3$ 。其中最高密度分布于 S2 号采样站，其次是 S4 号采样站，密度分别为 446.30ind./m^3 ，S52 号站位密度最低。

③被囊类

枝角类在全部 36 个调查站位中 28 个站位有出现，平均密度为 192.41ind./m^3 ，占浮游动物总密度的 24.13%，其密度变化范围为 $0.00\text{ind./m}^3\sim 1132.08\text{ind./m}^3$ 。其中最高密度分布于 S7 号采样站，其次是 S4 号采样站，密度分别为 935.19ind./m^3 。

④其他种类

浮游动物的其他类群有枝角类、翼足类、端足类、多毛类、介形类、糠虾类、十足类、毛颚类和腔肠动物等，它们大部分属于我国沿岸和近岸区系的广分布种，虽然出现的数量不多，但在调查的海域内也较为广泛分布。

(4) 生物多样性指数及均匀度

本次调查海域各测站的浮游动物平均出现种类为 30 种（11~48 种）；种类多样性指数范围为 2.941~4.243 之间，平均为 3.715，多样性指数最高出现在 S20 号采样站，其次为 S28 号采样站，最低则出现在 S37 号采样站；种类均匀度变化范围在 0.607~0.875 之间，平均为 0.777，最高出现在 S52 号采样站，最低出现在 S11 号采样站，各站位生物量种间分布较为均匀（见表 6.6-7）。

表 6.6-7 浮游动物的多样性指数及均匀度

站位	种类数	多样性指数(H _j)	均匀度 (J)
S1	42	3.290	0.610
S2	45	4.050	0.737
S4	39	4.165	0.788
S7	44	4.101	0.751
S8	48	4.147	0.743
S9	33	4.090	0.811
S10	25	3.946	0.850
S11	35	3.114	0.607
S12	43	3.355	0.618
S13	34	4.200	0.825
S14	38	3.873	0.738
S15	31	3.775	0.762
S16	31	3.313	0.669
S17	36	3.404	0.659
S18	34	3.831	0.753
S19	29	4.039	0.831
S20	36	4.243	0.821
S22	36	3.912	0.757
S23	37	4.016	0.771
S28	33	4.212	0.835
S29	37	4.035	0.774
S30	36	3.872	0.749
S31	30	4.018	0.819
S32	32	4.119	0.824
S33	26	3.812	0.811
S34	25	3.509	0.756
S35	13	3.224	0.871
S36	16	3.365	0.841
S37	12	2.941	0.820
S38	12	3.029	0.845
S39	24	3.634	0.793
S41	30	4.164	0.849
S45	23	3.603	0.796
S50	13	2.996	0.810
S51	17	3.318	0.812
S52	11	3.028	0.875
平均	30	3.715	0.777
范围	11~48	2.941~4.243	0.607~0.875

(5) 优势种及其分布

以优势度 ≥ 0.02 为判断标准,本调查海域在调查期间浮游动物的优势种有 12 种,为被囊类的住囊虫属 (*Oikopleuraspp.*) 和红住囊虫 (*Oikopleurarufescens*), 优势度指数分别是 0.090 和 0.035。浮游幼体的桡足类幼体 (*Copepodalarvae*) 和长尾类幼体 (*Macruralarvae*), 优势度为 0.087 和 0.037。桡足类的小拟哲水蚤 (*Paracalanusparvus*)、平大眼剑水蚤 (*Corycaeusdahli*)、微刺哲水蚤 (*Canthocalanuspauper*)、菱大眼水蚤 (*Corycaeuslimbatus*)、中隆剑水蚤

(*Oncaeamedia*)、锦隆剑水蚤(*Oncaeaornata*)、锥形宽水蚤(*Temoraturbinata*)和尖额谐猛水蚤(*Euterpinaacutifrons*), 优势度指数分别为 0.083、0.063、0.060、0.058、0.027、0.025、0.023 和 0.021 (见表 6.6-8)。住囊虫属的平均密度为 102.47ind./m³, 占浮游动物总密度的 12.85%, 在 36 个调查站位中 25 个站位有出现, 其中在 S7 号站位密度最高, 为 613.21ind./m³, 为本调查海域的第一优势种; 桡足类幼体的平均密度为 67.24ind./m³, 占浮游动物总密度的 8.43%, 在全部 36 个调查站位中均有出现, 其中 S2 号站位密度最高, 为 510.20ind./m³。其他优势种见表 6.6-8。

表 6.6-8 浮游动物的优势种及优势度

中文名	拉丁文	优势度	平均密度 (ind./m ³)	占总丰度百分比 (%)
住囊虫属	<i>Oikopleura spp.</i>	0.090	102.47	12.85
桡足类幼体	<i>Copepoda larvae</i>	0.087	67.24	8.43
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	0.083	68.92	8.64
平大眼剑水蚤	<i>Corycaeus dahl</i>	0.063	53.92	6.76
微刺哲水蚤	<i>Canthocalanus pauper</i>	0.060	68.39	8.57
菱大眼水蚤	<i>Corycaeus limbatus</i>	0.058	45.99	5.77
长尾类幼体	<i>Macrura larvae</i>	0.037	32.44	4.07
红住囊虫	<i>Oikopleura rufescens</i>	0.035	63.05	7.91
中隆剑水蚤	<i>Oncaea media</i>	0.027	23.11	2.90
锦隆剑水蚤	<i>Oncaea ornata</i>	0.025	26.00	3.26
锥形宽水蚤	<i>Temora turbinata</i>	0.023	22.59	2.83
尖额谐猛水蚤	<i>Euterpina acutifrons</i>	0.021	18.93	2.37

6.6.1.7 大型底栖生物

(1) 种类组成

本次调查共记录大型底栖动物 72 种, 其中环节动物 32 种、软体动物 23 种、节肢动物 10 种、其他种类动物共 7 种。环节动物、软体动物和节肢动物分别占总种数的 44.44%、31.94% 和 13.89%, 软体动物和环节动物是构成本次调查海区大型底栖生物的主要类群。

(2) 大型底栖生物栖息密度和生物量

大型底栖生物定量采泥样品分析结果表明, 调查海区大型底栖生物平均栖息密度为 67.92ind./m², 以环节动物的平均栖息密度最高, 为 32.08ind./m², 占总密度的 47.24%; 软体动物次之, 平均栖息密度为 26.11ind./m², 占总平均密度的 38.45%; 节肢动物的平均栖息密度为 4.17ind./m², 占总平均密度的 6.13%; 其他动物的平均栖息密度总和为 5.56ind./m², 占 8.18% (表 6.6-9)。

底栖生物的平均生物量为 8.47g/m²，以软体动物的平均生物量居首位，该种类的平均生物量为 5.11g/m²，占总平均生物量的 60.36%；其次为其他动物平均生物量总和，平均生物量为 2.08g/m²，占总平均生物量的 24.60%；环节动物的平均生物量为 0.80g/m²，占平均生物量的 9.42%；节肢动物的平均生物量较少，平均为 0.48g/m²（表 6.6-9）。

表 6.6-9 底栖生物各类群的生物量和栖息密度

站位	项目	合计	环节动物	软体动物	节肢动物	其他动物
S1	栖息密度(ind./m ²)	85.00	60.00	15.00	5.00	5.00
	生物量(g/m ²)	3.43	1.34	0.77	0.97	0.36
S2	栖息密度(ind./m ²)	80.00	50.00	20.00	0.00	10.00
	生物量(g/m ²)	12.98	3.59	0.86	0.00	8.54
S4	栖息密度(ind./m ²)	70.00	25.00	40.00	0.00	5.00
	生物量(g/m ²)	27.89	0.69	3.60	0.00	23.60
S7	栖息密度(ind./m ²)	30.00	15.00	0.00	0.00	15.00
	生物量(g/m ²)	4.05	0.33	0.00	0.00	3.72
S8	栖息密度(ind./m ²)	100.00	35.00	60.00	5.00	0.00
	生物量(g/m ²)	27.61	1.31	25.53	0.77	0.00
S9	栖息密度(ind./m ²)	65.00	20.00	40.00	0.00	5.00
	生物量(g/m ²)	13.79	0.40	13.23	0.00	0.17
S10	栖息密度(ind./m ²)	95.00	25.00	65.00	5.00	0.00
	生物量(g/m ²)	4.53	0.55	3.96	0.03	0.00
S11	栖息密度(ind./m ²)	95.00	55.00	35.00	0.00	5.00
	生物量(g/m ²)	4.32	1.10	2.98	0.00	0.25
S12	栖息密度(ind./m ²)	225.00	65.00	145.00	0.00	15.00
	生物量(g/m ²)	25.77	1.26	17.49	0.00	7.03
S13	栖息密度(ind./m ²)	55.00	35.00	10.00	5.00	5.00
	生物量(g/m ²)	37.33	0.69	36.00	0.36	0.29
S14	栖息密度(ind./m ²)	70.00	20.00	40.00	10.00	0.00
	生物量(g/m ²)	1.30	0.42	0.87	0.02	0.00
S15	栖息密度(ind./m ²)	110.00	15.00	90.00	5.00	0.00
	生物量(g/m ²)	21.93	0.38	19.20	2.36	0.00
S16	栖息密度(ind./m ²)	70.00	25.00	30.00	5.00	10.00
	生物量(g/m ²)	10.54	0.51	6.14	0.44	3.46
S17	栖息密度(ind./m ²)	55.00	40.00	15.00	0.00	0.00
	生物量(g/m ²)	2.28	0.83	1.45	0.00	0.00
S18	栖息密度(ind./m ²)	65.00	15.00	35.00	15.00	0.00
	生物量(g/m ²)	5.97	0.30	5.61	0.06	0.00
S19	栖息密度(ind./m ²)	50.00	45.00	0.00	5.00	0.00
	生物量(g/m ²)	1.56	0.84	0.00	0.73	0.00
S20	栖息密度(ind./m ²)	45.00	30.00	0.00	5.00	10.00
	生物量(g/m ²)	17.17	0.67	0.00	5.67	10.84
S22	栖息密度(ind./m ²)	80.00	20.00	30.00	5.00	25.00
	生物量(g/m ²)	15.89	0.52	4.30	0.99	10.08
S23	栖息密度(ind./m ²)	55.00	20.00	35.00	0.00	0.00

站位	项目	合计	环节动物	软体动物	节肢动物	其他动物
	生物量(g/m ²)	2.29	0.41	1.88	0.00	0.00
S28	栖息密度(ind./m ²)	120.00	75.00	35.00	5.00	5.00
	生物量(g/m ²)	4.74	1.55	2.17	0.85	0.18
S29	栖息密度(ind./m ²)	95.00	50.00	45.00	0.00	0.00
	生物量(g/m ²)	7.15	0.99	6.16	0.00	0.00
S30	栖息密度(ind./m ²)	25.00	15.00	0.00	5.00	5.00
	生物量(g/m ²)	1.35	0.32	0.00	0.86	0.18
S31	栖息密度(ind./m ²)	55.00	20.00	10.00	25.00	0.00
	生物量(g/m ²)	1.79	0.39	1.29	0.12	0.00
S32	栖息密度(ind./m ²)	55.00	40.00	5.00	10.00	0.00
	生物量(g/m ²)	2.76	0.78	0.59	1.40	0.00
S33	栖息密度(ind./m ²)	55.00	30.00	20.00	0.00	5.00
	生物量(g/m ²)	3.68	0.54	2.92	0.00	0.23
S34	栖息密度(ind./m ²)	55.00	25.00	0.00	15.00	15.00
	生物量(g/m ²)	3.77	2.25	0.00	0.06	1.46
S35	栖息密度(ind./m ²)	35.00	15.00	5.00	10.00	5.00
	生物量(g/m ²)	1.95	0.24	0.38	0.05	1.29
S36	栖息密度(ind./m ²)	50.00	30.00	0.00	0.00	20.00
	生物量(g/m ²)	1.62	0.53	0.00	0.00	1.09
S37	栖息密度(ind./m ²)	40.00	30.00	5.00	0.00	5.00
	生物量(g/m ²)	1.21	0.62	0.37	0.00	0.23
S38	栖息密度(ind./m ²)	40.00	20.00	10.00	0.00	10.00
	生物量(g/m ²)	1.76	0.39	0.55	0.00	0.82
S39	栖息密度(ind./m ²)	45.00	25.00	15.00	0.00	5.00
	生物量(g/m ²)	4.08	0.51	3.32	0.00	0.26
S41	栖息密度(ind./m ²)	45.00	25.00	20.00	0.00	0.00
	生物量(g/m ²)	2.69	0.50	2.19	0.00	0.00
S45	栖息密度(ind./m ²)	60.00	35.00	20.00	0.00	5.00
	生物量(g/m ²)	12.05	0.68	10.99	0.00	0.39
S50	栖息密度(ind./m ²)	75.00	35.00	25.00	5.00	10.00
	生物量(g/m ²)	7.04	0.79	4.60	1.04	0.63
S51	栖息密度(ind./m ²)	55.00	40.00	15.00	0.00	0.00
	生物量(g/m ²)	5.56	0.96	4.60	0.00	0.00
S52	栖息密度(ind./m ²)	40.00	30.00	5.00	5.00	0.00
	生物量(g/m ²)	1.22	0.67	0.17	0.39	0.00
平均	栖息密度(ind./m ²)	67.92	32.08	26.11	4.17	5.56
	生物量(g/m ²)	8.47	0.80	5.11	0.48	2.08

本次调查结果表明,各采样站位的底栖生物栖息密度分布不均匀,变化范围从 25.00ind./m²~225.00ind./m²,其中 S12 号站位栖息密度最高,为 225.00ind./m²。该站位密度最高的原因在于记录到数量较多的软体动物泥螺(*Bullactaexarata*),它们在该站位的栖息密度为 75.00ind./m²;其次为 S28 号站位栖息密度较高,为 120.00ind./m²,该站位密度较高的原因是同样是记录到数量较多的环节动物奇异稚齿虫(*Paraprionospio pinnata*),它们在该站位的栖息密度为 40.00ind./m²。

本次调查海域的底栖生物的生物量平面分布也不均匀，变化范围从 $1.21\text{g}/\text{m}^2 \sim 37.33\text{g}/\text{m}^2$ ，在 36 个监测站位中仅 S13 号站位的生物量大于 $30.00\text{g}/\text{m}^2$ ，为 $37.33\text{g}/\text{m}^2$ 。构成 S13 号站位较高生物量的原因在于出现个体较大的软体动物结毛蚶 (*Tegillarca nodifera*)，生物量为 $35.78\text{g}/\text{m}^2$ 。最低的站位为 S37 站，生物量仅为 $1.21\text{g}/\text{m}^2$ ，该站位生物量低的原因在于该站位记录到个体较小的软体类动物和环节动物等，且种类和数量较少，个体较大的其它动物类群没有出现。

环节动物在调查海区的平均密度为 $32.08\text{ind.}/\text{m}^2$ ，在 36 个站位中均出现，出现频率为 100.00%。密度分布范围为 $15.00\text{ind.}/\text{m}^2 \sim 75.00\text{ind.}/\text{m}^2$ ；平均生物量为 $0.80\text{g}/\text{m}^2$ ，生物量分布范围为 $0.24\text{g}/\text{m}^2 \sim 3.59\text{g}/\text{m}^2$ 。

软体动物在调查海区 36 个站位中 30 个站位出现，出现频率为 83.33%，平均密度为 $26.11\text{ind.}/\text{m}^2$ ，密度分布范围为 $0.00\text{ind.}/\text{m}^2 \sim 145.00\text{ind.}/\text{m}^2$ ；平均生物量为 $5.11\text{g}/\text{m}^2$ ，生物量分布范围为 $0.00\text{g}/\text{m}^2 \sim 36.00\text{g}/\text{m}^2$ 。

(3) 大型底栖生物种类优势种和经济种类

大型底栖动物种类若按其优势度 $Y \geq 0.02$ 时即被认定为优势种，那么本次调查海区的底栖生物仅有 3 个优势种，为环节动物的奇异稚齿虫和不倒翁虫 (*Sternaspis scutata*)，优势度分别为 0.049 和 0.045，软体动物的波纹巴非蛤 (*Paphia undulata*)，优势度为 0.043。奇异稚齿虫在 36 个站位中的 16 个站出现，其平均栖息密度为 $7.50\text{ind.}/\text{m}^2$ ，占调查海区底栖生物平均密度的 11.04%，为该调查海区的第一优势种；不倒翁虫在 36 个站位中的 19 个站出现，其平均栖息密度为 $5.83\text{ind.}/\text{m}^2$ ，占调查海区底栖生物平均密度的 8.59%。其他优势种见表 6.6-10。

表 6.6-10 底栖动物优势种及优势度

优势种	类群	优势度 (Y)	平均密度 ($\text{ind.}/\text{m}^2$)	占总生物栖息密度的百分比 (%)
奇异稚齿虫	环节动物	0.049	7.50	11.04
不倒翁虫	环节动物	0.045	5.83	8.59
波纹巴非蛤	软体动物	0.043	8.75	12.88

(4) 大型底栖生物物种多样性指数

调查海域的各定量采样站位大型底栖生物出现种数变化的范围在 3~11 种/站，平均 7 种/站。多样性指数 (H') 变化范围在 1.459~3.221 之间，平均值为 2.422 (表 6.6-11)。多样性指数最高出现在 S11 号站，最低则为 S7 号站，调查

海域底栖生物多样性指数属中等水平。均匀度范围在 0.742~0.980 之间，平均值为 0.900，均匀度指数最高出现在 S37 号站，最低则为 S8 号站，反映各站位之间物种分布较均匀。

表 6.6-11 各调查站位底栖生物出现种数与物种多样性指数

站位	种类数	多样性指数(H')	均匀度 (J)
S1	9	2.890	0.912
S2	9	2.983	0.941
S4	7	2.611	0.930
S7	3	1.459	0.921
S8	6	1.919	0.742
S9	7	2.500	0.890
S10	8	2.655	0.885
S11	11	3.221	0.931
S12	10	2.817	0.848
S13	8	2.732	0.911
S14	5	1.807	0.778
S15	8	2.534	0.845
S16	9	2.896	0.914
S17	5	2.187	0.942
S18	6	2.412	0.933
S19	5	2.046	0.881
S20	7	2.725	0.971
S22	7	2.477	0.882
S23	5	1.868	0.804
S28	8	2.653	0.884
S29	6	2.208	0.854
S30	4	1.922	0.961
S31	5	2.040	0.879
S32	8	2.845	0.948
S33	6	2.222	0.860
S34	6	2.413	0.934
S35	4	1.842	0.921
S36	5	2.046	0.881
S37	7	2.750	0.980
S38	5	2.156	0.928
S39	7	2.725	0.971
S41	6	2.419	0.936
S45	7	2.451	0.873
S50	9	2.816	0.888
S51	7	2.550	0.908
S52	6	2.406	0.931
平均	7	2.422	0.900
范围	3~11	1.459~3.221	0.742~0.980

6.6.1.8 鱼类浮游生物

(1) 种类组成

在采集的 36 个样品中，经鉴定，至少共出现了鱼卵仔鱼 15 种，其中鲽形目、鲉形目和未定种各鉴定出 1 种，鲱形目和鲳形目各鉴定出 2 种和鲈形目鉴定

出 8 种（表 6.6-12）。

表 6.6-12 调查海区鱼卵、仔鱼种类组成

种类	拉文种名	鱼卵	仔鱼	
鲱形目	小公鱼	<i>Stolephorus sp.</i>	+	+
	小沙丁鱼	<i>Sardinella sp.</i>	+	+
鲈形目	鳮属	<i>Leiognathus sp.</i>	+	-
	多鳞鳮	<i>Sillago sihama</i>	+	+
	石首鱼科	<i>Sciaenidae</i>	-	+
	鰕虎鱼科	<i>Gobiidae</i>	-	+
	眶棘双边鱼	<i>Ambassis gymnocephalus</i>	-	+
	鲹科	<i>Carangidae</i>		+
	鲷科	<i>Sparidae</i>	-	+
	绯鲤属	<i>Upeneus sp.</i>	-	+
鲷形目	鲷科	<i>Mugilidae</i>	+	+
	油鲷	<i>Sphyaena pinguis</i>	-	+
蝶形目	舌鳎科	<i>Cynoglossidae</i>	+	+
鲷形目	鲷	<i>Platycephalus indicus</i>	-	+
	未定种	<i>Unidentified</i>	+	-

(2) 数量分布

本次调查共采到鱼卵 2318 个，仔鱼 220 尾。调查海区的鱼卵平均密度为 950.56 个/1000m³，捕获鱼卵数量密度最高为 S22 号站，为 7958.68 个/1000m³，调查期间 36 个测站均采到鱼卵，鱼卵出现率为 100.0%，鱼卵密度变化范围在 265.33 个/1000m³~7958.68 个/1000m³（表 6.6-13）。

仔鱼在 36 个监测站中出现 31 次，出现率为 86.11%，仔鱼的平均密度为 77.82 尾/1000m³（表 6.6-13）。

表 6.6-13 鱼类浮游生物密度及其分布

站位	鱼卵发育期	
	鱼卵（个/1000m ³ ）	仔鱼（尾/1000m ³ ）
S1	389.22	9.98
S2	421.25	91.58
S4	1211.40	249.41
S7	534.30	59.37
S8	550.61	66.74
S9	797.24	118.11
S10	1341.77	493.67
S11	1157.99	242.37
S12	573.03	16.85
S13	540.54	19.31
S14	1238.10	23.81
S15	737.70	24.59
S16	1212.69	37.31
S17	517.24	28.74
S18	990.83	55.05

S19	787.94	107.00
S20	707.01	181.53
S22	7958.68	74.38
S23	2381.39	27.37
S28	880.66	354.18
S29	996.50	196.68
S30	747.29	21.66
S31	594.24	9.00
S32	797.97	35.86
S33	519.00	0.00
S34	635.29	11.76
S35	342.86	0.00
S36	265.33	0.00
S37	444.95	8.56
S38	507.55	0.00
S39	966.94	136.36
S41	628.43	41.21
S45	572.52	14.31
S50	515.02	21.46
S51	374.12	23.38
S52	382.60	0.00
平均	950.56	77.82

(3) 主要种类及数量分布

鳎属是本次调查的主要种类，在本次调查中该种鱼卵出现有一定数量，鱼卵的密度在 70.75 个/1000m³~2925.62 个/1000m³ 之间。其中鱼卵最高出现在 S22 号站，其次为 S23 号站，密度为 985.40 个/1000m³，平均密度 349.50 个/1000m³，占本次调查鱼卵总数的 36.77%；

小公鱼也是本次调查中出现的主要种类，在本次调查中出现在鱼卵和仔鱼当中。其中，鱼卵的密度在 0.00 个/1000m³~2033.06 个/1000m³ 之间，平均密度为 176.13 个/1000m³，占本次调查鱼卵总数的 18.53%；仔鱼在 36 个调查站中出现了 8 次，出现频率为 22.22%，密度范围在 0.00 个/1000m³~25.32 个/1000m³ 之间，平均值为 3.14 个/1000m³，占本次调查仔鱼总数的 4.03%；。

鲷科也是本次调查中出现的主要种类，在本次调查中出现在仔鱼当中。仔鱼在 36 个调查站中出现了 15 次，出现频率为 41.67%，密度范围在 0.00 个/1000m³~367.09 个/1000m³ 之间，平均值为 44.45 个/1000m³，占本次调查仔鱼总数的 57.11%。

6.6.1.9 游泳生物

(1) 种类组成

本次调查，共捕获游泳生物 54 种，其中：鱼类 34 种，甲壳类 17 种，头足

类 3 种（表 6.6-14）。

本次调查，各站位出现种类情况见表 6.6-14。从表 6.6-14 可看出，各断面种类数量变化不大，S17 和 S37 断面种类数最多，为 18 种，其次为 S19，为 17 种，S45 断面的种数最少，为 9 种。

表 6.6-14 各断面出现种类统计结果

站位	甲壳类	头足类	鱼类	总计
S1	6	1	7	14
S2	4	1	5	10
S4	5	2	8	15
S7	5	2	7	14
S8	8	1	7	16
S9	7	0	6	13
S10	5	1	6	12
S11	6	2	6	14
S12	6	1	5	12
S13	7	0	9	16
S14	6	0	7	13
S15	7	1	7	15
S16	7	0	7	14
S17	8	0	10	18
S18	7	1	6	14
S19	7	1	9	17
S20	7	1	7	15
S22	7	0	9	16
S23	6	0	7	13
S28	7	1	7	15
S29	6	0	5	11
S30	7	0	6	13
S31	8	0	8	16
S32	6	0	7	13
S33	6	1	8	15
S34	6	0	6	12
S35	5	1	6	12
S36	5	0	5	10
S37	6	1	11	18
S38	7	1	6	14
S39	5	0	6	11
S41	6	0	6	12
S45	5	0	4	9
S50	5	0	6	11
S51	6	1	7	14
S52	6	0	4	10
合计	17	3	34	54

（2）渔获率

渔业资源的平均总重量渔获率和平均总个体渔获率分别为 5.59kg/h 和 848.79ind./h，其中：甲壳类的平均重量渔获率和平均个体渔获率分别为 3.66kg/h

和 600.64ind./h，占平均总重量渔获率和平均总个体渔获率分别为 65.56%和 70.76%；鱼类平均重量渔获率和平均个体渔获率分别为 1.83kg/h 和 238.76ind./h，占平均总重量渔获率和平均总个体渔获率分别为 32.72%和 28.13%；头足类重量渔获率和个体渔获率分别为 0.10kg/h 和 9.39ind./h，占平均总重量渔获率和平均总个体渔获率分别为 1.72%和 1.11%（表 6.6-15）。

表 6.6-15 各断面重量渔获率和个体渔获率及各类群百分比

断面	总个体渔获率 ind./h	总重量渔获率 kg/h	类群			类群		
			甲壳类	头足类	鱼类	甲壳类	头足类	鱼类
			个体渔获率(ind./h)			重量渔获率(kg/h)		
			个体渔获比例(%)			重量渔获比例(%)		
S1	688.00	2.99	448.00	32.00	208.00	1.05	0.07	1.87
			65.12	4.65	30.23	35.20	2.22	62.58
S2	792.00	2.32	584.00	8.00	200.00	0.86	0.02	1.44
			73.74	1.01	25.25	37.13	0.91	61.97
S4	608.00	2.75	360.00	72.00	176.00	0.94	0.29	1.52
			59.21	11.84	28.95	34.20	10.37	55.43
S7	672.00	3.16	360.00	16.00	296.00	0.65	0.05	2.46
			53.57	2.38	44.05	20.72	1.44	77.84
S8	720.00	7.85	552.00	8.00	160.00	4.04	0.47	3.35
			76.67	1.11	22.22	51.47	5.94	42.60
S9	944.00	2.70	792.00	0.00	152.00	1.62	0.00	1.09
			83.90	0.00	16.10	59.75	0.00	40.25
S10	1360.00	3.00	1272.00	8.00	80.00	1.42	0.95	0.63
			93.53	0.59	5.88	47.28	31.69	21.03
S11	800.00	2.51	608.00	64.00	128.00	0.85	0.27	1.39
			76.00	8.00	16.00	33.95	10.68	55.37
S12	784.00	1.67	592.00	16.00	176.00	0.58	0.03	1.06
			75.51	2.04	22.45	34.87	1.55	63.59
S13	888.00	6.86	512.00	0.00	376.00	4.54	0.00	2.33
			57.66	0.00	42.34	66.09	0.00	33.91
S14	1216.00	10.12	904.00	0.00	312.00	7.90	0.00	2.22
			74.34	0.00	25.66	78.05	0.00	21.95
S15	464.00	7.20	320.00	8.00	136.00	5.52	0.04	1.65
			68.97	1.72	29.31	76.62	0.53	22.85
S16	512.00	4.81	384.00	0.00	128.00	3.50	0.00	1.31
			75.00	0.00	25.00	72.72	0.00	27.28
S17	768.00	6.30	544.00	0.00	224.00	3.95	0.00	2.35
			70.83	0.00	29.17	62.64	0.00	37.36
S18	1760.00	9.69	1456.00	8.00	296.00	8.06	0.02	1.62
			82.73	0.45	16.82	83.15	0.18	16.67
S19	976.00	4.97	480.00	8.00	488.00	2.53	0.03	2.42
			49.18	0.82	50.00	50.82	0.59	48.59
S20	1080.00	6.86	704.00	16.00	360.00	4.09	0.06	2.70
			65.19	1.48	33.33	59.69	0.89	39.42
S22	640.00	6.76	424.00	0.00	216.00	3.42	0.00	3.34
			66.25	0.00	33.75	50.59	0.00	49.41
S23	768.00	7.08	560.00	0.00	208.00	5.23	0.00	1.85
			72.92	0.00	27.08	73.82	0.00	26.18

断面	总个体 渔获率 ind./h	总重量 渔获率 kg/h	类群			类群		
			甲壳类	头足类	鱼类	甲壳类	头足类	鱼类
			个体渔获率(ind./h)			重量渔获率(kg/h)		
			个体渔获比例(%)			重量渔获比例(%)		
S28	960.00	4.70	456.00	16.00	488.00	2.21	0.06	2.43
			47.50	1.67	50.83	46.94	1.27	51.79
S29	936.00	5.46	512.00	0.00	424.00	2.71	0.00	2.75
			54.70	0.00	45.30	49.66	0.00	50.34
S30	904.00	4.69	456.00	0.00	448.00	2.39	0.00	2.31
			50.44	0.00	49.56	50.88	0.00	49.12
S31	976.00	4.46	488.00	0.00	488.00	2.33	0.00	2.13
			50.00	0.00	50.00	52.21	0.00	47.79
S32	1051.20	9.19	828.00	0.00	223.20	6.73	0.00	2.46
			78.77	0.00	21.23	73.23	0.00	26.77
S33	1072.00	8.17	824.00	16.00	232.00	6.14	0.13	1.90
			76.87	1.49	21.64	75.19	1.58	23.23
S34	936.00	6.86	752.00	0.00	184.00	4.86	0.00	2.00
			80.34	0.00	19.66	70.85	0.00	29.15
S35	880.00	6.87	720.00	8.00	152.00	5.13	0.56	1.17
			81.82	0.91	17.27	74.74	8.16	17.09
S36	472.00	6.18	400.00	0.00	72.00	5.60	0.00	0.57
			84.75	0.00	15.25	90.70	0.00	9.30
S37	468.00	3.81	234.00	6.00	228.00	2.13	0.07	1.61
			50.00	1.28	48.72	55.89	1.93	42.17
S38	906.00	5.41	498.00	12.00	396.00	3.02	0.08	2.32
			54.97	1.32	43.71	55.70	1.42	42.89
S39	680.00	5.32	552.00	0.00	128.00	4.42	0.00	0.90
			81.18	0.00	18.82	83.14	0.00	16.86
S41	632.00	4.93	344.00	0.00	288.00	3.27	0.00	1.66
			54.43	0.00	45.57	66.31	0.00	33.69
S45	856.00	7.11	696.00	0.00	160.00	6.33	0.00	0.78
			81.31	0.00	18.69	88.97	0.00	11.03
S50	784.00	6.64	648.00	0.00	136.00	4.17	0.00	2.47
			82.65	0.00	17.35	62.78	0.00	37.22
S51	912.00	6.15	776.00	16.00	120.00	4.93	0.28	0.93
			85.09	1.75	13.16	80.23	4.62	15.15
S52	691.20	5.54	583.20	0.00	108.00	4.73	0.00	0.81
			84.38	0.00	15.63	85.35	0.00	14.65
平均	848.79	5.59	600.64	9.39	238.76	3.66	0.10	1.83
			70.76	1.11	28.13	65.56	1.72	32.72

(3) 资源密度

本次调查各站位渔业资源密度分布见表 6.6-16。平均重量密度为 $670.35\text{kg}/\text{km}^2$, S14 断面最高, S12 断面最低, 范围为 $200.62\text{kg}/\text{km}^2 \sim 1214.05\text{kg}/\text{km}^2$; 平均个体密度为 $101846.52\text{ind.}/\text{km}^2$, 个体密度最高的断面为 S18, 其值为 $211183.11\text{ind.}/\text{km}^2$, 最低为 S15 断面, 其个体密度为 $55675.55\text{ind.}/\text{km}^2$ 。

表 6.6-16 调查站位的渔业资源密度

断面站位	重量密度(kg/km ²)	个体密度(ind./km ²)
S1	358.70	82553.40
S2	278.50	95032.40
S4	330.03	72954.16
S7	378.75	80633.55
S8	942.45	86393.09
S9	324.57	113270.94
S10	360.43	163186.95
S11	300.76	95992.32
S12	200.62	94072.47
S13	823.63	106551.48
S14	1214.05	145908.33
S15	864.16	55675.55
S16	577.12	61435.09
S17	756.28	92152.63
S18	1162.86	211183.11
S19	596.89	117110.63
S20	822.60	129589.63
S22	811.72	76793.86
S23	849.71	92152.63
S28	563.85	115190.78
S29	655.01	112311.02
S30	563.18	108471.32
S31	535.09	117110.63
S32	1102.77	126133.91
S33	980.66	128629.71
S34	823.59	112311.02
S35	823.96	105591.55
S36	741.20	56635.47
S37	457.19	56155.51
S38	649.64	108711.30
S39	638.31	81593.47
S41	591.20	75833.93
S45	853.53	102711.78
S50	796.80	94072.47
S51	737.97	109431.25
S52	664.86	82937.37
平均值	670.35	101846.52

(4) 鱼类资源状况

① 鱼类种类组成

本次调查捕获的鱼类 34 种。鱼类中大多数种类为我国沿岸、浅海渔业的兼捕对象。大多属于印度洋、太平洋区系，并以栖息于底层、近底层的暖水性的种类占优势。

② 鱼类资源密度估算

本次调查，鱼类的资源密度见表 6.6-17。从表 6.6-17 可得出其平均重量密度

和平均个体密度分别为 219.35kg/km² 和 28648.37ind./km²。在 36 个断面中，鱼类重量密度分布中，S8 最高为 401.45kg/km²，S36 断面最低为 68.93kg/km²；鱼类个体密度分布中，S19、S28 和 S31 最高，均为 58555.32ind./km²，S36 最低为 8639.31ind./km²。

表 6.6-17 鱼类资源密度

断面站位	重量密度(kg/km ²)	个体密度(ind./km ²)
S1	224.48	24958.00
S2	172.57	23998.08
S4	182.95	21118.31
S7	294.80	35517.16
S8	401.45	19198.46
S9	130.65	18238.54
S10	75.81	9599.23
S11	166.53	15358.77
S12	127.57	21118.31
S13	279.28	45116.39
S14	266.50	37437.01
S15	197.45	16318.69
S16	157.44	15358.77
S17	282.52	26877.85
S18	193.87	35517.16
S19	290.00	58555.32
S20	324.29	43196.54
S22	401.06	25917.93
S23	222.47	24958.00
S28	292.00	58555.32
S29	329.76	50875.93
S30	276.62	53755.70
S31	255.74	58555.32
S32	295.20	26781.86
S33	227.84	27837.77
S34	240.06	22078.23
S35	140.83	18238.54
S36	68.93	8639.31
S37	192.81	27357.81
S38	278.61	47516.20
S39	107.60	15358.77
S41	199.15	34557.24
S45	94.15	19198.46
S50	296.56	16318.69
S51	111.79	14398.85
S52	97.40	12958.96
平均值	219.35	28648.37

③鱼类优势种

将鱼类 IRI 指数列于表 6.6-18。从表 6.6-18 可得出，鱼类 IRI 值在 1000 以上的有 3 种，为：斑鳍红娘鱼（*Lepidotriglapunctipectoralis*）、多齿蛇鲻

(*Sauridatumbil*) 和舌鳎 (*Cynoglossussp.*)，这 3 种鱼类的重量渔获率之和为 33.17kg/h，占鱼类总重量渔获率 (65.81kg/h) 的 50.40%；这 3 种鱼类的个体渔获率之和为 5027.60ind./h，占鱼类总个体渔获率 (8595.20ind./h) 的 58.49%。由此确定这 3 种为鱼类的优势种。

表 6.6-18 鱼类的 IRI 指数

种类	出现频率 (%)	重量渔获率		个体渔获率		IRI
		(kg/h)	(%)	(ind./h)	(%)	
斑鳍红娘鱼	100.00	8.62	13.10	3530.40	41.07	5417.80
多齿蛇鲻	75.00	16.28	24.74	672.80	7.83	2442.53
舌鳎	91.67	8.26	12.56	824.40	9.59	2030.36
李氏鳊	50.00	4.52	6.86	1011.20	11.76	931.26
二长棘鲷	55.56	3.69	5.60	738.40	8.59	788.51
短尾大眼鲷	58.33	5.49	8.34	299.20	3.48	689.65
中线天竺鲷	47.22	2.13	3.23	266.00	3.09	298.70
触角尖尾鱼	41.67	0.62	0.94	346.00	4.03	206.99
髯鰕虎鱼	27.78	1.45	2.21	237.60	2.76	138.16
海鳗	16.67	4.53	6.88	70.40	0.82	128.38
四线天竺鲷	19.44	1.08	1.64	136.00	1.58	62.58
竹荚鱼	11.11	2.00	3.04	164.80	1.92	55.07
棕斑兔头鲈	8.33	2.18	3.31	24.00	0.28	29.89
杂食豆齿鳗	13.89	0.99	1.51	40.00	0.47	27.37
中华青鳞鱼	5.56	0.64	0.98	16.00	0.19	6.45
斑鲆	2.78	0.36	0.54	48.00	0.56	3.06
褐篮子鱼	2.78	0.52	0.79	8.00	0.09	2.45
印度棘赤刀鱼	2.78	0.33	0.50	8.00	0.09	1.65
鲻鱼	2.78	0.32	0.49	8.00	0.09	1.62
乌鲳	2.78	0.28	0.43	8.00	0.09	1.46
白氏银汉鱼	2.78	0.04	0.06	40.00	0.47	1.45
青鳞鱼	2.78	0.23	0.34	8.00	0.09	1.21
斑鰾	2.78	0.20	0.31	8.00	0.09	1.12
刺鲳	2.78	0.20	0.30	8.00	0.09	1.11
孔鰕虎鱼	2.78	0.17	0.26	8.00	0.09	0.99
长丝鰕虎鱼	2.78	0.14	0.22	8.00	0.09	0.86
多鳞鱻	2.78	0.11	0.17	6.00	0.07	0.66
点带石斑鱼	2.78	0.09	0.13	8.00	0.09	0.63
小头栉孔鰕虎鱼	2.78	0.07	0.11	8.00	0.09	0.57
青弹涂鱼	2.78	0.09	0.13	6.00	0.07	0.56
叫姑鱼	2.78	0.07	0.10	8.00	0.09	0.53
黑边天竺鲷	2.78	0.05	0.08	8.00	0.09	0.49
毛烟管鱼	2.78	0.03	0.05	8.00	0.09	0.40
赤鼻棱鯧	2.78	0.03	0.04	6.00	0.07	0.31

(5) 甲壳类资源状况

①种类组成

本次调查,共捕获的甲壳类,经鉴定共 17 种,其中:虾类 3 种,蟹类 13 种,虾蛄类 1 种。

②优势种

将甲壳类 IRI 指数列于表 6.6-19。从表 6.6-19 可得出,甲壳类 IRI 值在 1000 以上的有 6 种,分别为:钝齿螳(*Charybdishellerii*)、隆线强蟹(*Eucratecrenata*)、须赤虾(*Metapenaeopsis barbata*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)、刺螯鼓虾(*Alpheushoplochele*)和红星梭子蟹(*Portunus sanguinolentus*)。这 6 种甲壳类的重量渔获率之和为 109.25kg/h,占甲壳类总重量渔获率(131.85kg/h)的 82.86%;这 6 种甲壳类的个体渔获率之和为 18086.80ind./h,占甲壳类总个体渔获率(21623.20ind./h)的 83.65%。由此确定这 6 种为甲壳类的优势种。

表 6.6-19 甲壳类的 IRI 指数

种类	出现频率 (%)	重量渔获率		个体渔获率		IRI
		(kg/h)	(%)	(ind./h)	(%)	
钝齿螳	91.67	26.58	20.16	5570.00	25.76	4209.47
隆线强蟹	77.78	40.44	30.67	2491.20	11.52	3131.06
须赤虾	100.00	6.90	5.23	3348.00	15.48	2071.75
口虾蛄	88.89	19.25	14.60	1428.80	6.61	1885.05
刺螯鼓虾	75.00	6.97	5.29	2890.80	13.37	1399.23
红星梭子蟹	58.33	9.10	6.90	2358.00	10.90	1038.67
逍遥馒头蟹	58.33	15.61	11.84	480.40	2.22	820.31
银光梭子蟹	16.67	3.54	2.68	1744.00	8.07	179.17
七刺粟壳蟹	25.00	1.74	1.32	1200.00	5.55	171.64
伪装关公蟹	5.56	0.43	0.33	24.00	0.11	2.44
中华泥毛蟹	2.78	0.87	0.66	8.00	0.04	1.93
斜方玉蟹	5.56	0.03	0.03	32.00	0.15	0.96
强壮菱蟹	2.78	0.17	0.13	16.00	0.07	0.56
颗粒关公蟹	2.78	0.11	0.08	8.00	0.04	0.34
变态螳	2.78	0.05	0.04	8.00	0.04	0.20
哈氏仿对虾	2.78	0.04	0.03	8.00	0.04	0.19
日本锈斑螳	2.78	0.02	0.01	8.00	0.04	0.14

③甲壳类资源密度评估

本次调查,甲壳类的资源密度见表 6.6-20。从表 6.6-20 得出其平均重量密度和平均个体密度分别为 439.47kg/km²和 72071.57ind./km²。其中,重量密度范围为 69.95kg/km²~966.88kg/km²,S12 断面最低,S18 断面最高;个体密度分布范围为 28077.75ind./km²~174706.02ind./km²,S18 断面最高。

表 6.6-20 甲壳类资源密度

断面站位	重量密度(kg/km ²)	个体密度(ind./km ²)
S1	126.25	53755.70
S2	103.40	70074.39
S4	112.86	43196.54
S7	78.49	43196.54
S8	485.07	66234.70
S9	193.92	95032.40
S10	170.41	152627.79
S11	102.12	72954.16
S12	69.95	71034.32
S13	544.35	61435.09
S14	947.55	108471.32
S15	662.13	38396.93
S16	419.68	46076.31
S17	473.75	65274.78
S18	966.88	174706.02
S19	303.36	57595.39
S20	491.01	84473.24
S22	410.66	50875.93
S23	627.24	67194.62
S28	264.68	54715.62
S29	325.25	61435.09
S30	286.56	54715.62
S31	279.35	58555.32
S32	807.58	99352.05
S33	737.31	98872.09
S34	583.54	90232.78
S35	615.87	86393.09
S36	672.26	47996.16
S37	255.54	28077.75
S38	361.83	59755.22
S39	530.71	66234.70
S41	392.05	41276.70
S45	759.39	83513.32
S50	500.24	77753.78
S51	592.05	93112.55
S52	567.46	69978.40
平均值	439.47	72071.57

(6) 头足类资源状况

①种类组成

本次调查海域内捕获的头足类共有 3 种，分别为短蛸 (*Octopusocellatus*)、火枪乌贼 (*Loligobeka*) 和曼氏无针乌贼 (*Sepiellamaindroni*)。

②头足类的资源密度估算

本次调查中的 36 个站位中，出现头足类的有 18 个站位。头足类的平均重量密度和平均个体密度分别为 11.53kg/km² 和 1126.58ind./km²。

6.6.1.10 结论

(1) 叶绿素 a 和初级生产力

本次调查海区表层水体叶绿素 a 含量的变化范围为 $0.34\text{mg}/\text{m}^3 \sim 2.66\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 $0.70\text{mg}/\text{m}^3$ 。底层水体叶绿素 a 含量的变化范围为 $0.34\text{mg}/\text{m}^3 \sim 3.00\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均值为 $0.66\text{mg}/\text{m}^3$ 。初级生产力的变化范围为 $72.86\text{mg C}/(\text{m}^2 \text{d}) \sim 843.49\text{mg C}/(\text{m}^2 \text{d})$ ，平均值为 $257.23\text{mg C}/(\text{m}^2 \text{d})$ 。

(2) 浮游植物

本次调查共记录浮游植物 4 门 49 属 147 种（含 3 个变种和 3 个变型）。其中以硅藻门出现的种类为最多，为 32 属 101 种。本次调查的浮游植物优势种出现 7 种，为硅藻门的尖刺拟菱形藻、拟旋链角毛藻、垂缘角毛藻、柔弱拟菱形藻、并基角毛藻和中肋骨条藻，蓝藻门的束毛藻。调查海区浮游植物丰度变化范围为 $27.87 \times 10^4 \text{cells}/\text{m}^3 \sim 8596.16 \times 10^4 \text{cells}/\text{m}^3$ ，平均为 $1163.04 \times 10^4 \text{cells}/\text{m}^3$ 。各站位浮游植物种数变化范围 28~74 种，平均 49 种。多样性指数范围为 0.103~3.643，平均为 1.962；均匀度指数范围为 0.018~0.630，平均为 0.347。

(3) 浮游动物

本次调查共记录浮游动物 13 个生物类群 116 种，其中桡足类 60 种、浮游幼体类 15 种、腔肠动物 10 种和其他种类共 31 种。各采样站浮游动物湿重生物量变化幅度为 $4.03\text{mg}/\text{m}^3 \sim 1542.86\text{mg}/\text{m}^3$ ，平均生物量为 $142.90\text{mg}/\text{m}^3$ 。在个体数量分布方面，浮游动物密度变化幅度为 $7.77\text{ind.}/\text{m}^3 \sim 4665.82\text{ind.}/\text{m}^3$ ，平均密度 $797.54\text{ind.}/\text{m}^3$ 。

本调查海域在调查期间浮游动物的优势种有 12 种，为被囊类的住囊虫属和红住囊虫。浮游幼体的桡足类幼体和长尾类幼体。桡足类的小拟哲水蚤、平大眼剑水蚤、微刺哲水蚤、菱大眼水蚤、中隆剑水蚤、锦隆剑水蚤、锥形宽水蚤和尖额谐猛水蚤。本次调查海域各测站的浮游动物平均出现种类为 30 种（11~48 种）；种类多样性指数范围为 2.941~4.243 之间，平均为 3.715；种类均匀度变化范围在 0.607~0.875 之间，平均为 0.777，各站位生物量种间分布较为均匀。

(4) 底栖生物

本次调查共记录大型底栖动物 72 种，其中环节动物 32 种、软体动物 23 种、节肢动物 10 种、其他种类动物共 7 种。调查海区大型底栖生物平均栖息密度为 $67.92\text{ind.}/\text{m}^2$ ，平均生物量为 $8.47\text{g}/\text{m}^2$ 。本次调查海区的底栖生物仅有 3 个优势

种，为环节动物的奇异稚齿虫和不倒翁虫，软体动物的波纹巴非蛤。调查海域的各定量采样站位大型底栖生物出现种数变化的范围在 3~11 种/站，平均 7 种/站。多样性指数变化范围在 1.459~3.221 之间，平均值为 2.422。均匀度范围在 0.742~0.980 之间，平均值为 0.900。

(5) 鱼类浮游生物

在采集的 36 个样品中，经鉴定，至少共出现了鱼卵仔鱼 15 种，其中鲽形目、鲉形目和未定种各鉴定出 1 种，鲱形目和鲻形目各鉴定出 2 种和鲈形目鉴定出 8 种。本次调查共采到鱼卵 2318 个，仔鱼 220 尾。调查海区的鱼卵平均密度为 950.56 个/1000m³，鱼卵密度变化范围在 265.33 个/1000m³~7958.68 个/1000m³。仔鱼在 36 个监测站中出现 31 次，出现率为 86.11%，仔鱼的平均密度为 77.82 尾/1000m³。

鲻属是本次调查的主要种类，在本次调查中该种鱼卵出现有一定数量，鱼卵的密度在 70.75 个/1000m³~2925.62 个/1000m³ 之间，平均密度 349.50 个/1000m³，占本次调查鱼卵总数的 36.77%；小公鱼也是本次调查中出现的主要种类，在本次调查中出现在鱼卵和仔鱼当中。鱼卵的平均密度为 176.13 个/1000m³，占本次调查鱼卵总数的 18.53%；仔鱼的平均密度为 3.14 个/1000m³，占本次调查仔鱼总数的 4.03%。鲻科也是本次调查中出现的主要种类，在本次调查中出现在仔鱼当中。仔鱼的密度平均值为 44.45 个/1000m³，占本次调查仔鱼总数的 57.11%。

(6) 渔业资源

本次调查，共捕获游泳生物 54 种，其中：鱼类 34 种，甲壳类 17 种，头足类 3 种。渔业资源的平均总重量渔获率和平均总个体渔获率分别为 5.59kg/h 和 848.79ind./h，其中：甲壳类的平均重量渔获率和平均个体渔获率分别为 3.66kg/h 和 600.64ind./h；鱼类平均重量渔获率和平均个体渔获率分别为 1.83kg/h 和 238.76ind./h；头足类重量渔获率和个体渔获率分别为 0.10kg/h 和 9.39ind./h。

本次调查各站位渔业资源密度中，平均重量密度为 670.35kg/km²，平均个体密度为 101846.52ind./km²。其中，鱼类的资源密度的平均重量密度和平均个体密度分别为 219.35kg/km² 和 28648.37ind./km²；甲壳类的资源密度的平均重量密度和平均个体密度分别为 439.47kg/km² 和 72071.57ind./km²；头足类的平均重量密度和平均个体密度分别为 11.53kg/km² 和 1126.58ind./km²。鱼类的优势种有 3 种，为：斑鳍红娘鱼、多齿蛇鲻和舌鳎。甲壳类的优势种有 6 种，分别为：钝齿蛄、

隆线强蟹、须赤虾、口虾蛄、刺螯鼓虾和红星梭子蟹。

6.6.2 秋季海洋生态调查结果分析

6.6.2.1 调查时间、范围与站位布设

2018年10月海洋生态现状调查与水质调查同时进行，调查站位布设见表6.5-6和图6.5-1。

调查项目：叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物。

6.6.2.2 调查与分析方法

生态调查按照《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)进行。本次海洋生物调查采样方法见表6.6-21。

表 6.6-21 海洋生态及渔业资源调查项目监测分析方法

序号	监测项目	样品预处理及保存方法	样品测定方法
1	叶绿素 a	0.45 μ m 滤膜过滤后冷藏避光保存	分光光度法
2	初级生产力	——	根据叶绿素 a 同化系数换算
3	浮游植物	加入占样品体积 5%的甲醛溶液固定	显微镜鉴定；浓缩计数法计数
4	浮游动物	加入占样品体积 5%的甲醛溶液固定	计数框计数；体视显微镜鉴定；湿重法测定生物量
5	底栖生物	加入占样品体积 5%的甲醛溶液固定	人工鉴定种类、计数、测定生物量和栖息密度

当观测船只进入预定站位，使用 GPS 进行定位，测量水深。根据水深采集样品，采样所用的采样器、采样瓶及其相关用具必须按规范清洗干净。

叶绿素 a: 均采集表层(<0.5m)、底层(离底 2m)两个层次海水样品 500ml，当水深小于 10m 时，只取表层水样。经 0.45 μ m 滤膜过滤后放干燥冷藏箱保存，采用分光光度法进行分析，以 mg/m³ 表示。

初级生产力: 水柱初级生产力采用叶绿素 a 法，按照 Cadee 和 Hegeman(1974)提出的简化公式，依据叶绿素 a、透明度、水深、光照时间和碳同化系数进行估算：

$$P=C_aQLt/2$$

P——初级生产力 (mg·C/(m²·d))；

Ca——叶绿素 a 含量 (mg/m³)；

Q——同化系数 (mg·C/(mgChl-a·h))，根据中国水产科学研究院南海水产研究所以往调查结果，这里取 3.12；

L——真光层深度(m)，按 3 倍透明度计算，当 3 倍透明度超过水深时，以水

深计算；

t——白昼时间（h），根据调查日出日落时间计算，取 11.5。

浮游植物：浮游植物样品用浅水Ⅲ型浮游生物网或小型浮游生物网取样。水深小于 200m 时，自底层（距底 2m）至表层垂直拖网取得。

浮游动物：浮游动物样品用浅水Ⅰ型浮游生物网或大型浮游生物网取样。水深小于 200m 时，自底层（距底 2m）至表层垂直拖网取得。

底栖生物：用 0.1m² 的抓泥斗采泥器（每站采 3 个平行样）采集底栖生物样品，获得泥样经二层套筛冲洗，上层套筛孔径 1mm，下层套筛孔径 0.5mm。

6.6.2.3 叶绿素 a 和初级生产力

2018 年秋季调查各站平均叶绿素 a 质量浓度变化于(0.26~2.02) mg/m³，平均值为 1.06 mg/m³。参照美国环保局 (EPA) 叶绿素 a 的含量评价标准 [0.3 mg/m³~2.5mg/m³ 为贫营养，50 mg/m³~140 mg/m³ 为富营养]，本次调查各站位叶绿素 a 均处于贫营养水平。

各站海洋初级生产力差异不明显。初级生产力变化范围为(34.98~357.90) mg·C/(m²·d)，最大出现在 Y25 号站，最小出现在 Y11 号站，；平均值为 191.49 mg·C/(m²·d)。各站海洋初级生产力均为较低水平。

6.6.2.4 浮游植物

(1) 浮游植物密度和分布

2018 年秋季调查监测结果显示，本次调查浮游植物的平均密度为 114.24 ×10⁴cells/m³，其数量以硅藻类占优势，其密度为 107.26×10⁴cells/m³，占总密度的 93.88%；其次为绿藻类，其密度为 6.03×10⁴cells/m³，占总密度的 5.28%；居第三的为其它藻类，其密度为 0.95×10⁴cells/m³，占总密度的 0.84%。

水平分布方面，各站位密度差异不大，最高密度出现在 Y23 号站，其数量达 146.19×10⁴cells/m³；其次为 Y12 号站，其密度为 135.78×10⁴cells/m³；最低则出现在 Y12 号站，其密度为 90.52×10⁴cells/m³，最高密度是最低密度的 1.6 倍，其余调查监测站位的密度分布范围在 94.72×10⁴cells/m³~133.05×10⁴cells/m³ 之间。

(2) 浮游植物的种类组成

2018 年秋季浮游植物调查经初步鉴定有硅藻、甲藻、蓝藻、绿藻、金藻和黄藻共 6 大门类 24 科 109 种。其中硅藻门的种类最多，有 9 科 75 种，占总种类数的 68.81%；其次是甲藻门，有 7 科 22 种，占总种类数的 20.18%；蓝藻类有 3 科

7 种，占 6.42%；其他类有 5 科 5 种，占总种类数的 4.59%。最多主要是硅藻类的角毛藻属 *Chaetoceros* 出现 15 种，其次是甲藻类的角藻属 *Ceratium*，出现 12 种，而硅藻类的根管藻属 *Rhizosolenia* 出现了 9 种（附录）

（3）浮游植物生物多样性及均匀度

2018 年秋季调查海域站位样方内浮游植物平均出现种类数为 27 种，种类多样性指数分布范围在 2.49~3.50 之间，平均为 2.92；多样性指数的分布方面，最高出现在 Y14 号站，其次为 Y6 号站，最低则出现在 Y23 号站；种类均匀度方面，其分布范围在 0.55~0.72 之间，平均为 0.62。

（4）浮游植物优势种

以优势度（Y）大于 0.02 为判断标准，本调查水域在调查期间浮游动物的优势种是窄隙角毛藻、中肋骨条藻和旋链角毛藻所组成，其优势度指数在 0.07~0.20 之间。

6.6.2.5 浮游动物

（1）浮游动物种类组成

2018 年秋季调查的浮游动物经鉴定有 9 个生物类群，共 33 种（附录），其中水母类 3 种，翼足类 2 种，介形类 2 种，桡足类 14 种，磷虾类 1 种，樱虾类 2 种，毛颚类 2 种，海樽类 1 种，浮游幼虫类 6 种。本调查区位于阳江青洲五、七海上风电项目环境调查项目附近海域，浮游动物以热带、暖温带种类占多数，如桡足类的小拟哲水蚤、亚强次真哲水蚤、驼背隆哲水蚤、微驼背隆哲水蚤、微刺哲水蚤、瘦尾胸刺水蚤、丹氏纺锤水蚤、小纺锤水蚤、樱虾类的日本毛虾、翼足类的尖笔帽螺和毛颚类的肥胖箭虫、强壮箭虫等。

（2）浮游动物生物量、密度及分布

2018 年秋季调查结果显示，本水域各采样站浮游动物生物量属中等水平，分布不均匀，变化幅度为 95.20~335.60mg/m³，平均生物量为 219.42mg/m³。在密度分布方面，变化幅度为 68.81~285.65ind/m³，平均密度为 152.24ind/m³。在整个调查区中，生物量最高为 335.60mg/m³，出现在 Y8 号采样站，其次为 324.00mg/m³，出现在 Y9 号采样站，最低为 95.20mg/m³，出现在 Y23 号采样站，最高生物量是最低生物量的 3.53 倍；而最高密度为 285.65ind/m³，出现在 Y23 号采样站，其次为 261.35ind/m³，出现在 Y8 号采样站，最低密度为 68.81ind/m³，出现在 Y20 号采样站，最高密度是最低密度的 4.15 倍。

(3) 浮游动物主要类群分布

2018年秋季调查结果显示,浮游动物的主要类群包括桡足类和浮游幼虫类。**桡足类**平均密度为 $110.28\text{ind}/\text{m}^3$,占浮游动物总个体数的 72.29%,是本海域浮游动物的主要组成部分,成为主导本海域浮游动物数量的主要类群。其中主要分布于 Y23 号采样站,密度为 $208.06\text{ind}/\text{m}^3$,其次是 Y9 号采样站,密度为 $194.65\text{ind}/\text{m}^3$,其余 15 个采样站的密度在 $55.24\sim 175.00\text{ind}/\text{m}^3$ 的范围之间变化。**浮游幼虫类**平均密度为 $19.66\text{ind}/\text{m}^3$,占浮游动物总个体数的 13.26%。其中最为密集分布于 Y6 号采样站,密度为 $41.73\text{ind}/\text{m}^3$,其次是 Y8 号采样站,密度为 $36.25\text{ind}/\text{m}^3$,其余 15 个采样站的密度在 $6.95\sim 25.95\text{ind}/\text{m}^3$ 的范围之间变化。

其他种类如介形类、磷虾类、樱虾类、毛颚类等,它们大部分属南海区系的普通种,虽然出现的数量不多,但在调查的海域内分布也较为广泛。

(4) 浮游动物生物多样性指数及均匀度

2018年秋季调查水域站位的浮游动物平均出现种类为 19 种,各站平均出现个体数量为 720 个,种类多样性指数分布范围为 $3.02\sim 3.99$ 之间,平均为 3.51;种类均匀度的分布趋势与多样性指数相似。

(5) 浮游动物优势种及其分布

以优势度 ≥ 0.02 为判断标准,本调查水域在调查期间浮游动物的优势种是由桡足类的小拟哲水蚤、小哲水蚤、驼背隆哲水蚤、浮游幼虫类的桡足类幼虫、瘦尾胸刺水蚤和丹氏纺锤水蚤组成,其优势度指数在 $0.06\sim 0.19$ 之间。

6.6.2.6 底栖动物

(1) 底栖动物种类组成

2018年秋季调查,共出现包括纽形动物、环节动物、软体动物、节肢动物。棘皮动物和脊索动物共 6 门 20 科 24 种。其中环节动物种类数相对较多,为 9 科 12 种,占种类总数的 50.00%;棘皮动物 4 科 5 种,占种类总数的 20.83%;节肢动物 4 科 4 种,占种类总数的 16.67%;软体动物、纽形动物脊索动物各 1 科 1 种,各占种类总数的 4.17%。

(2) 底栖动物优势种和优势度

2018年秋季调查,出现的 24 种生物中,优势度在 0.02 以上的优势种有 3 种,分别为铜色巢沙蚕、白色吻沙蚕和金氏真蛇尾,这 3 种生物出现站位数和出现数量范围分别为 4~4 站和 4~6 个,优势度范围为 $0.0224\sim 0.0336$;其他 21

种生物出现站位数和数量范围分别为 1~2 站和 1~2 个，优势度均小于 0.02。

(3) 底栖生物数量分布

①总平均生物量及栖息密度

2018 年秋季调查底栖生物的总平均生物量为 5.69g/m^2 ，平均栖息密度为 24.71ind/m^2 。生物量的组成以棘皮动物最大，生物量为 2.33g/m^2 ，占总生物量的 40.95%；其次为环节动物、软体动物和纽形动物，分别占总生物量的 26.58%、12.10%和 10.75%；其他 2 类生物的生物量较低，均未超过总生物量的 7.00%。栖息密度方面，以环节动物较高，栖息密度为 14.71ind/m^2 ，占总栖息密度的 59.53%；其次为棘皮动物，占总栖息密度的 21.43%；其他 4 类生物的栖息密度较低，均未超过总栖息密度的 10.00%。

②生物量及栖息密度的水平分布

2018 年秋季调查区海域内各站位底栖生物的生物量差异较大，最高生物量出现在 Y8 号站，其生物量为 17.10g/m^2 ，其次为 Y16 号站，生物量为 12.50g/m^2 ，最低生物量出现在 Y10 号站，生物量仅为 0.90g/m^2 ，最高生物量是最低生物量的 19.00 倍。

③底栖生物的生物多样性指数及均匀度

2018 年秋季采泥底栖生物多样性指数变化范围在 0.9183~2.0000 之间，平均为 1.4632；均匀度分布范围在 0.9183~1.0000 之间，整个海区均匀度指数的平均值为 0.9842。

6.6.2.7 鱼卵和仔鱼

(1) 鱼卵和仔鱼种类组成及数量分布

2018 年秋季调查 17 个站位共捕获鱼卵 599 枚、仔稚鱼 30 尾；经鉴定隶属于 1 门 20 科。捕获的鱼卵和仔稚鱼基本上属于沿岸浅海性鱼类，主要是天竺鲷科、金线鱼科、马鲛科、鲉科、石首鱼科、鲈科、大眼鲷科、鲾科、鲷科、鲱科、鲹科、乳香鱼科、鲷科、带鱼科、康吉鳗科、鳄齿鱼科、狗母鱼科、鲷科、羊鱼科、银鲈科。（种类名录见附录）。

捕获鱼卵 599 枚，分属 19 科，分别为天竺鲷科 123 枚、金线鱼科金线鱼属 91 枚、马鲛科六指马鲛 59 枚、鲉科棱鲉属 46 枚、石首鱼科白姑鱼属 34 枚、鲈科 32 枚、大眼鲷科短尾大眼鲷 27 枚、鲾科冠鲾 23 枚、鲷科鲷属 23 枚、鲱科 16 枚和小公鱼属 5 枚、鲹科 20 枚、乳香鱼科乳香鱼 18 枚、鲷科纤羊舌鲷 17 枚、

带鱼科带鱼 9 枚和带鱼属 7 枚、康吉鳗科 12 枚、鳄齿鱼科弓背鳄齿鱼 9 枚、鲷科 6 枚、羊鱼科绯鲤属 5 枚、银鲈科长棘银鲈 4 枚。

捕获仔稚鱼 30 尾，分属 4 科，分别为狗母鱼科多齿蛇鲻 6 尾、天竺鲷科细条天竺鱼 4 尾、马鲛科六指马鲛 2 尾、石首鱼科白姑鱼 1 尾。

(2) 鱼卵和仔鱼密度分布

2018 年秋季调查海区鱼卵捕获数量范围为 7~77 枚/网，平均为 34.47 枚/网；密度变化范围为 37.80×10^{-3} 枚/ m^3 ~ 415.77×10^{-3} 枚/ m^3 ，最高出现在 Y20 号站位，平均为 186.13×10^{-3} 枚/ m^3 ；仔稚鱼捕获数量范围为 0~5 尾/网，平均为 0.76 尾/网；密度范围为 0.00×10^{-3} 尾/ m^3 ~ 27.00×10^{-3} 尾/ m^3 ，平均为 4.13×10^{-3} 尾/ m^3 。

6.6.2.8 游泳动物

(1) 游泳生物种类组成

① 种类组成和分布

采用底层单拖网采样，调查 17 站次，有效站次 17 站，共捕获游泳生物种类 14 目 46 科 65 属 86 种，其中鱼类 61 种、占总种数的 70.93%，虾类 6 种、占总种数的 6.98%，蟹类 10 种、占总种数的 11.63%，虾蛄类 4 种、占总种数的 4.65%，头足类 5 种、占总种数的 5.81%。

② 游泳生物多样性指数和均匀度

本次调查，游泳动物多样性指数分布范围在 2.256~3.792 之间，平均为 3.288；均匀度分布范围在 0.509~0.807 之间，平均为 0.705。

③ 游泳生物优势种类和主要经济种类

2018 年秋季调查，按渔获率大小顺序，鱼类的优势种为日本金线鱼、六指马鲛、细条天竺鱼、太平洋犀鳕、月腹刺鲀、蓝圆鲹等，虾类优势种为宽突赤虾、鹰爪虾、细巧仿对虾等，蟹类的优势种为看守长眼蟹、香港螯、锈斑螯等，虾蛄类的优势种为猛虾蛄、口虾蛄等，头足类的优势种为剑尖枪乌贼、杜氏枪乌贼、火枪乌贼等。

综合考虑各品种出现站数、优势度、17 站平均渔获率大小、17 站平均尾数渔获率大小、经济价值高低和生物类型代表性，调查的主要经济种类为剑尖枪乌贼、蓝圆鲹、细纹鳃、二长棘鲷、杜氏枪乌贼、日本金线鱼、太平洋犀鳕、银方头鱼、长蛇鲻等。

(2) 渔获率分布

①总渔获率分布

2018年秋季调查总渔获率为77.527kg/h，各站平均渔获率为4.560kg/h，各站次渔获率变化范围为3.456~5.508kg/h。总尾数渔获率为6514ind/h，各站平均尾数渔获率为383ind/h，站次尾数渔获率变化范围为181~647ind/h。

②鱼类渔获率分布

2018年秋季调查总渔获量共58.915kg、4390尾。各站平均渔获率为3.466kg/h，站次渔获率变化范围为2.175~4.573kg/h。各站平均尾数渔获率为258ind/h，站次尾数渔获率变化范围为137~441ind/h。

③虾类渔获率分布

2018年秋季调查总渔获量共5.166kg、1599尾。各站平均渔获率为0.304kg/h，站次渔获率变化范围为0.059~0.696kg/h。各站平均尾数渔获率为94ind/h，站次尾数渔获率变化范围为13~260ind/h。

④蟹类渔获率分布

2018年秋季调查蟹类总渔获量共6.856kg、226尾。各站平均渔获率为0.403kg/h，出现站站次渔获率变化范围为0.050~1.794kg/h。各站平均尾数渔获率为13ind/h，出现站站次尾数渔获率变化范围为2~56ind/h。

⑤虾姑类渔获率分布

2018年秋季调查虾姑类出现率为52.94%，总渔获量共0.323kg、34尾。各站平均渔获率为0.019kg/h，出现站站次渔获率变化范围为0.011~0.062kg/h。各站平均尾数渔获率为2ind/h，出现站站次尾数渔获率变化范围为2~8ind/h。

⑥头足类渔获率分布

2018年秋季调查头足出现率100%，总渔获量共6.267kg、265尾。各站平均渔获率为0.369kg/h，出现站站次渔获率变化范围为0.079~0.754kg/h。各站平均尾数渔获率为16ind/h，出现站站次尾数渔获率变化范围为3~35ind/h。

⑦各品种渔获率分布

单种平均渔获率最高为日本金线鱼的1.324kg/h，占总平均渔获率的29.038%，最低为斜方玉蟹的0.0004kg/h，占总平均渔获率的0.008%；单种平均尾数渔获率最高为太平洋犀鳕的74.6ind/h、占总平均尾数渔获率的19.466%，最低为黄姑鱼、沙带鱼、长蛸、近缘新对虾、伪装关公蟹、逍遥馒头蟹、褐斑三线舌鳎的0.1ind/h，占总平均尾数渔获率的0.015%。

(3) 渔业资源密度分布

①总资源密度分布

2018年秋季调查渔业资源调查总平均资源密度为 $65.957\text{kg}/\text{km}^2$ ，站次资源密度变化范围为 $49.986\sim 79.660\text{kg}/\text{km}^2$ 。各站平均资源尾数密度为 $5541.9\text{ind}/\text{km}^2$ ，站次资源尾数密度变化范围为 $2907.1\sim 9357.6\text{ind}/\text{km}^2$ 。

②鱼类资源密度分布

2018年秋季调查鱼类各站平均资源密度为 $50.124\text{kg}/\text{km}^2$ ，站次资源密度变化范围为 $31.459\sim 66.140\text{kg}/\text{km}^2$ ，最低站次资源密度出现在 Y27 号站、最高站次资源密度出现在 Y21 号站。鱼类各站平均资源尾数密度为 $3734.9\text{ind}/\text{km}^2$ ，站次资源尾数密度变化范围为 $1981.4\sim 7000.2\text{ind}/\text{km}^2$ ，最低站次资源尾数密度出现在 Y10 号站、最高站次资源尾数密度出现在 Y17 号站。

③虾类资源密度分布

2018年秋季调查虾类各站平均资源密度为 $4.395\text{kg}/\text{km}^2$ ，站次资源密度变化范围为 $0.853\sim 10.066\text{kg}/\text{km}^2$ ，最低站次资源密度出现在 Y2 号站、最高站次资源密度出现在 Y19 号站。虾类各站平均资源尾数密度为 $1360.4\text{ind}/\text{km}^2$ ，站次资源尾数密度变化范围为 $188.0\sim 3760.4\text{ind}/\text{km}^2$ ，最低站次资源尾数密度出现在 Y2 号站、最高站次资源尾数密度出现在 Y23 号站。

④蟹类资源密度分布

2018年秋季调查蟹类各站平均资源密度为 $5.833\text{kg}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源密度变化范围为 $0.723\sim 25.947\text{kg}/\text{km}^2$ ，最低站次资源密度出现在 Y23 号站、最高站次资源密度出现在 Y6 号站。蟹类各站平均资源尾数密度为 $192.3\text{ind}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源尾数密度变化范围为 $28.9\sim 809.9\text{ind}/\text{km}^2$ ，最低站次资源尾数密度出现在 Y25 号站、最高站次资源尾数密度出现在 Y6 号站。

⑤虾蛄类资源密度分布

2018年秋季调查虾蛄类各站平均资源密度为 $0.274\text{kg}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源密度变化范围为 $0.158\sim 0.665\text{kg}/\text{km}^2$ ，最低站次资源密度出现在 Y6 号站、最高站次资源密度出现在 Y10 号站。虾蛄类各站平均资源尾数密度为 $28.9\text{ind}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源尾数密度变化范围为 $28.9\sim 115.7\text{ind}/\text{km}^2$ ，最低站次资源尾数密度出现在 Y6、Y17、Y19 号站、最高站次资源尾数密度出现在 Y8 号站。

⑥头足类资源密度分布

2018年秋季调查头足类各站平均资源密度为 $5.331\text{kg}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源密度变化范围为 $1.143\sim 10.905\text{kg}/\text{km}^2$ ，最低站次资源密度出现在Y10号站、最高站次资源密度出现在Y27号站。头足类各站平均资源尾数密度为 $225.5\text{ind}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源尾数密度变化范围为 $43.4\sim 506.2\text{ind}/\text{km}^2$ ，最低站次资源尾数密度出现在Y10号站、最高站次资源尾数密度出现在Y13号站。

⑦各品种资源密度分布

总渔获平均资源密度为 $65.957\text{kg}/\text{km}^2$ ，单种平均资源密度最高为日本金线鱼的 $19.153\text{kg}/\text{km}^2$ ，占总平均资源密度的 29.08% ，最低为斜方玉蟹的 $0.005\text{kg}/\text{km}^2$ ，占总平均渔获资源密度的 0.008% ；单种平均资源尾数密度最高为太平洋犀鳕的 $1078.8\text{ind}/\text{km}^2$ ，占总平均资源尾数密度的 19.466% ，最低为黄姑鱼、沙带鱼、长蛸、近缘新对虾、伪装关公蟹、逍遥馒头蟹、褐斑三线舌鳎等的 $0.9\text{ind}/\text{km}^2$ ，占总平均资源尾数密度的 0.015% 。

(4) 主要经济种类分述

1) 日本金线鱼

日本金线鱼属鲈形目、金线鱼科、金线鱼属。地方俗称金线鲢、瓜三、黄肚等。体呈长纺锤形，侧扁，头端略尖，头背呈弧形，两眼间隔区不隆突，眼大，眶下骨的后上角具无锐棘。具有较高经济价值。

①地理分布

分布于印度西太平洋区，包括东非、红海、波斯湾、塞舌尔群岛、马尔代夫、斯里兰卡、印度、日本、韩国、台湾、中国东海、南海、菲律宾、印尼、越南、马来西亚、新加坡、泰国、缅甸、安达曼群岛等海域。该物种的模式产地在日本。

②生活习性

主要栖息于沿岸及近海砂泥底质的水域，栖息深度可达80米深。以觅食甲壳类、头足类或其他小鱼等为食。我国主要渔场有雷州半岛以东海区及北部湾，全年可捕获，2~5月份为渔汛期，但其密集群体不大，渔获量较低。

③数量分布

本次调调查17站，日本金线鱼出现17站、占总调查站数的 100% ；总渔获共 22.512kg 、499尾。

各站平均资源密度为 $19.153\text{kg}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源密度变化范围为 $2.430\sim 35.232\text{kg}/\text{km}^2$ ，最低站次资源密度出现在Y6号站、最高站次资源密度出

现在 Y17 号站。各站平均资源尾数密度为 $424.5\text{ind}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源尾数密度变化范围为 $159.1\sim 867.8\text{ind}/\text{km}^2$ ，最低站次资源尾数密度出现在 Y9 号站、最高站次资源尾数密度出现在 Y23 号站。

各站平均渔获率为 $1.324\text{kg}/\text{h}$ ，各站平均尾数渔获率为 $29.4\text{ind}/\text{h}$ 。

2) 六指马鲛

六指马鲛属鲷形目、马鲛科、马鲛属。地方俗称午鱼、锅鱼、五荀、六丝马鲛等。六指马鲛是浅海各种作业的主要捕捞对象。

①地理分布

分布于非洲东部、印度、锡兰、泰国、印度尼西亚以及南海和东海等。

②生活习性

主要栖息于砂泥地混浊水域或珊瑚礁干净水域均可见，不过大多仍以砂泥底质环境较常见，河口、港湾、红树林等海域亦能发现其踪迹为群栖性，常成群洄游。为肉食性鱼类，以浮游动物或砂泥地中的软体动物为食。在近岸产卵，受精卵在近海孵化，为雌雄同体雄性先熟种类， $5\sim 7$ 月龄发育成成熟雄鱼，一年半后转变成雌鱼。渔汛期为 $3\sim 5$ 月份，尤以 5 月份产量集中。

③数量分布

本次调调查 17 站，六指马鲛出现 17 站、占总调查站数的 100%；总渔获共 6.717kg 、509 尾。

各站平均资源密度为 $5.715\text{kg}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源密度变化范围为 $0.853\sim 18.050\text{kg}/\text{km}^2$ ，最低站次资源密度出现在 Y2 号站、最高站次资源密度出现在 Y20 号站。各站平均资源尾数密度为 $433.0\text{ind}/\text{km}^2$ ，出现站站次资源尾数密度变化范围为 $72.3\sim 1388.5\text{ind}/\text{km}^2$ ，最低站次资源尾数密度出现在 Y2 和 Y8 号站、最高站次资源尾数密度出现在 Y20 号站。

各站平均渔获率为 $0.395\text{kg}/\text{h}$ ，各站平均尾数渔获率为 $29.9\text{ind}/\text{h}$ 。

3) 杜氏枪乌贼

杜氏枪乌贼属头足纲、枪形目、枪乌贼科、枪乌贼属。地方俗称锁管。胴部圆锥形,后部削直，胴长约为胴宽的 4 倍；体表具大小相间的近圆形色素斑，均属小型。无柄腕长度有所差异，腕式一般为 $3>4>2>1$ ，吸盘 2 行，各腕吸盘以第 2、3 对腕上者较大，吸盘角质环具长板齿 6、7 个，雄性左侧第 4 腕茎化，从顶端向后约占全腕长度四分之一处的吸盘特化为 2 行尖形突起。

①地理分布

分布于菲律宾群岛、阿拉弗拉海、爪哇岛、苏门答腊岛、暹罗湾、马六甲海峡、安达曼群岛、孟加拉湾、阿拉伯海、亚丁湾、红海、莫桑比克海峡，包括南海等海域，常生活于浅海。该物种的模式产地在苏门答腊。

②生活习性

杜氏枪乌贼为浅海性种类。有明显的趋光性，喜光，却畏强光，适宜光强为 0.1~10lux，但在 10~1000lux 的强光区，相对趋光率下降 12.3%。主要以浮游动物及底栖动物为食。每年春季由南北上，4~5 月达闽南海域，6 月到中秋最盛，秋后成群转西，南下越冬，台湾海峡浅滩盛产。

③数量分布

本次调查 17 站，杜氏枪乌贼出现 13 站、占总调查站数的 76.47%；总渔获共 4.262kg、186 尾。

各站平均资源密度为 3.626kg/km²，出现站站次资源密度变化范围为 1.924~8.851kg/km²，最低站次资源密度出现在 Y8 号站、最高站次资源密度出现在 Y25 号站。各站平均资源尾数密度为 158.2ind/km²，出现站站次资源尾数密度变化范围为 43.4~491.7ind/km²，最低站次资源尾数密度出现在 Y10 号站、最高站次资源尾数密度出现在 Y13 号站。

各站平均渔获率为 0.251kg/h，各站平均尾数渔获率为 10.9ind/h。

4) 蓝圆鲹

蓝圆鲹属鲈形目、鲹科、圆鲹属。地方俗称池鱼，巴浪鱼、棍子鱼、池鱼、黄鲞、池仔等。蓝圆鲹体纺锤形，稍侧扁。脂眼睑发达，前后均达眼中部，仅瞳孔中央露出一长缝。上颌后端较钝圆。体被小圆鳞。有侧线，侧线直线部的全部或绝大部分上具棱鳞。胸鳍长与头长之比随鱼体的大小而异，背鳍前部上顶有一白斑。

①地理分布

分布于中国海南省到日本南部；在东海主要分布于中国福建沿岸。南海密集区在中国台湾浅滩南部、粤东碣石湾外近海、珠江口、海陵岛及海南省东北部近海。

②生活习性

为暖水性中上层鱼类，具洄游习性，喜结群。以桡足类、介形类、莹虾、鳞

虾、七星鱼等为食。生命周期短，最大为 6 龄。生长快，1 龄就能产卵。自 12 月至翌年 4 月分群产卵。夏季在沿岸广泛出现幼鱼密集区。产卵后的群体和幼鱼分散到近海较深处，部分能到外海。一般渔法以底拖网、流刺网、围网或定置网捕获。

③数量分布

本次调查 17 站，蓝圆鲹出现 13 站、占总调查站数的 76.47%；总渔获共 2.664kg、41 尾。各站平均资源密度为 2.266kg/km²，出现站站次资源密度变化范围为 0.011~0.569kg/km²，最低站次资源密度出现在 Y12 号站、最高站次资源密度出现在 Y9 号站。各站平均资源尾数密度为 34.9ind/km²，出现站站次资源尾数密度变化范围为 14.5~115.7ind/km²，最低站次资源尾数密度出现在 Y12 号站、最高站次资源尾数密度出现在 Y8 号站。

各站平均渔获率为 0.157kg/h，各站平均尾数渔获率为 2.4ind/h。

6.7 鸟类资源现状调查与评价

6.7.1 调查方法

为了解本工所在区域的鸟类资源现状，广东省科学院动物研究所按照《生物多样性观测技术导则 鸟类》（HJ 710.4--2014）和《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）要求在本评价海域开展了鸟类现状调查。

6.7.1.1 调查范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014 年 4 月），鸟类生态环境现状调查范围应至少涵盖工程边界线（红色线内区域）向外扩展 8 km 区域，并视受保护鸟类受影响程度适当增加。结合本项目实际情况，调查范围以图 1 蓝线区域为主，辅以距离风电场最近的阳江市阳西县、茂名市电白县的部分陆地海岸线（浅绿色线区域）近 3 年鸟类现状调查资料。红线（工程边界）区域内的海域需要开展 4 个季度调查。每季度调查一次上述区域内的鸟类物种及其栖息地生态环境现状，以工程边界内为重点调查区域。

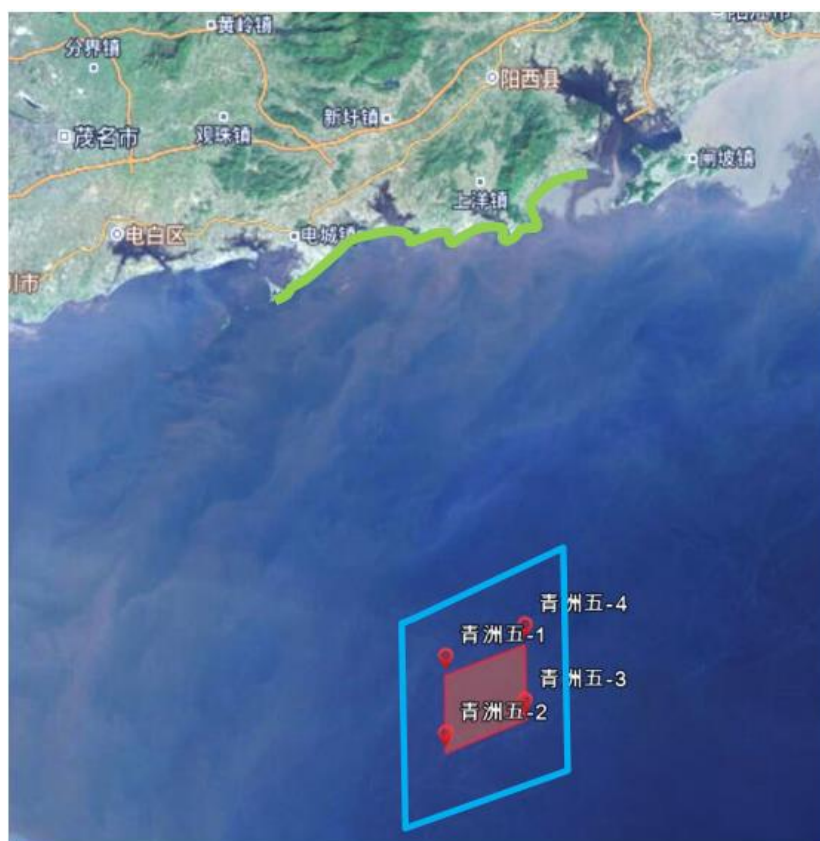


图 6.7-1 鸟类现状调查范围示意图

6.7.1.2 调查内容

主要包括调查区域环境概况、鸟类种类组成、数量、居留型及食性；主要迁徙鸟类的种类、数量、迁徙行为、飞行模式等；鸟类优势类群及其生境选择；国家级重点保护鸟类受保护鸟类的种类与数量。

6.7.1.3 调查时间与频次

依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，鸟类现状调查周期一般为一年，调查频次每季至少为 1 次以上，由现有资料未发现区域内有数量集中的鸟类迁徙地、繁殖地、越冬地分布，因此制定调查频次为每季度 1 次，根据本单位现有调查资料，以 2019 年 1 月、5 月、10 月的调查作为沿海调查资料数据，以 2021 年 7 月的调查作为沿海调查现状数据，作为本次项目的四季鸟类调查数据，用于影响预测分析。

6.7.1.4 调查方法

1) 样线（带）法

本次调查主要使用海上样线法，即调查人员乘船沿固定线路前进，调查人员从船上调查船两侧 400m 以内飞行和水中海鸟，船行的速度在 7-16 节，完整地记

录所见样线两侧的鸟种、数量、高度或距离,并采用快照的方法以确定鸟类密度。

其中,调查样线×两侧宽度=调查样带,样带面积为调查评价范围的10%。实际调查时,先乘船驶至项目实施区域,定位至调查区域坐标角点,再按事前规划好的样线分布图在调查区域内前进,至边界坐标时折返,最后以到达调查区域相对角点为结束。

2) 样点法

采用样点法作为样线法的补充,在区域内选取固定的观察点进行观察计数,项目场址内主要选择测风塔作为观测样点,周边区域根据生境异质性选择沙滩、泥滩、红树林、浅海、农田等类型设置观测点,通过乘船或步行用望远镜开展调查。

3) 繁殖鸟类调查法

在调查区域内发现具有繁殖和育雏行为的主要种类为环颈鸻、白额燕鸥和岩鹭,采用密度法估算繁殖种群数量。

4) 休息场统计

在散头咀、河北港沙头等沿岸滩涂发现越冬鸟类休息场,在涨潮时滩涂出露时有多种水鸟在滩上觅食,涨潮时到未淹没沙滩上集群停歇,采用直接计数方法对该区域进行鸟类种类及数量统计。

直接计数法得到的某种鸟类数量总和即为该区域该种鸟类的数量。

$N = \bar{D} * M$ (N—某区域某种动物数量; \bar{D} —该区域该物种平均密度; M—该调查区域总面积)。 $\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^j Ni}{\sum_{i=1}^j Mi}$ ($\sum_{i=1}^j Ni$ —j个样方调查的该物种数量和;
 $\sum_{i=1}^j Mi$ —j个样带(方)总面积)。

把整个调查过程中的每种鸟类数量总和除以鸟类调查总数量,求出该种鸟类所占百分数。当百分数大于50%为极多种,用“++++”表示;百分数为10%—50%,为优势种,用“+++”表示;当百分数为1%—10%,为常见种,用“++”表示;当百分数小于1%,为稀有种,用“+”表示。

6.7.1.5 鸟类生态环境现状评价

详述调查区域内各季节鸟类分布和密度、特有种、受保护物种、受胁物种和关注物种的生态学特征,评估项目区域作为鸟类栖息、觅食、繁殖和/或换羽地的

重要性。采用图表和名录详细列出评价区域历史和现场调查观测到的种类和数量,包括鸟类名称(中文名和学名)、记录数量、发现地点、时间、是否受保护物种、区域水鸟总数 1% 水鸟、区域具有代表性指标物种等。

6.7.2 区域概况分析

6.7.2.1 鸟类种类特征

根据调查数据统计,在阳江、阳西以及电白沿岸共记录鸟类 14 目 39 科 153 种。而本次四季度调查,在项目区域及周边共记录鸟类 84 种,隶属 11 目 30 科。优势类群包括鸻形目 (CHARADRIIFORMES) (30 种) 和雀形目 (PASSERIFORMES) (29 种)。由于本调查主要调查地为海上和沿岸湿地区域,湿地水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分。湿地水鸟是指在生态上依赖于湿地,即某一生活史阶段依赖于湿地,且在形态和行为上对湿地形成适应特征的鸟类。根据 Howes 等 (1988) 对水鸟的定义,广义的水鸟包括鹬科 (*Podicipedidae*)、鹭科 (*Ardeidae*)、鸭科 (*Anatidae*)、秧鸡科 (*Rallidae*)、反嘴鹬科 (*Recurvirostridae*)、鸻科 (*Charadriidae*)、鹬科 (*Scolopacidae*)、燕鸻科 (*Glareolidae*)、鸥科 (*Laridae*)、燕鸥科 (*Sternidae*)、翠鸟科 (*Alcedinidae*) 等鸟类,其他统称为陆生鸟类。按上述定义,本次调查的鸟类中,水鸟有 46 种,其他 38 种为陆生鸟类种,主要为各种生境广泛分布的广布种以及多数在湿地活动的湿地依赖种类。按主要居留型划分,留鸟共有 38 种,迁徙鸟共 46 种,其中冬候鸟 28 种,迁徙过境鸟 6 种,夏候鸟 12 种,说明本区域是多种迁徙候鸟的越冬地和中途停歇地。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 79 种,其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 20 种,主要为鸻形目 (CICONIIFORMES) 和鸻形目鸟类;国家重点保护陆生动物中的二级保护动物的有 13 种,包括白斑军舰鸟 (*Fregata ariel*)、岩鹭 (*Egretta sacra*)、黑翅鸢 (*Elanus caeruleus*)、黑鸢 (*Milvus migrans*)、普通鵟 (*Buteo buteo*)、红隼 (*Falco tinnunculus*)、白腰杓鹬 (*Numenius arquata*)、翻石鹬 (*Arenaria interpres*)、大滨鹬 (*Calidris tenuirostris*)、阔嘴鹬 (*Limicola falcinellus*)、褐翅鸦鹃 (*Centropus sinensis*)、小鸦鹃 (*Centropus bengalensis*) 和白胸翡翠 (*Halcyon smyrnensis*); 国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物(下简称“三有”动物) 66 种;列入国家保护动物红色名录的有 4 种,包括属于易危 (VU) 级别的大滨鹬一种,以及黑翅鸢、斑尾塍鹬 (*Limosa*

lapponica)、白腰杓鹬等三种近危 (NT) 物种; 属于 IUCN 红皮书的有 5 种, 其中大滨鹬为濒危 (EN) 级别, 其余 4 种包括斑尾塍鹬、白腰杓鹬、灰尾漂鹬 (*Heteroscelus brevipes*) 和红颈滨鹬 (*Calidris ruficollis*), 均为近危 (NT) 级别。

《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录 (以下简称中日候鸟保护协定) 和《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录 (以下简称中澳候鸟保护协定) 是中国分别和日本、澳大利亚签订的有关候鸟保护的协定, 目的是尽力减少对两国间候鸟所到之主要地区的伤害。本地区中, 属于中日候鸟保护协定的有 37 种, 中澳候鸟保护协定种类有 30 种。

6.7.2.2 鸟类数量概况

数量方面, 共记录鸟类 11883 只次, 其中数量超过 10% 的优势种有两种, 以铁嘴沙鸨数量最多, 全年共观察到 3551 只次, 占总调查数量的 29.9%, 其次为环颈鸨调查到 2778 只次, 占 23.4%。常见种有 10 种, 包括蒙古沙鸨 (占调查总数的 9.0%)、黑腹滨鹬 (*Calidris alpina*) (9.0%)、白鹭 (*Egretta garzetta*) (4.2%)、红颈滨鹬 (*Calidris ruficollis*) (3.1%)、白翅浮鸥 (*Calidris alpina*) (3.0%)、家燕 (*Hirundo rustica*) (2.4%)、三趾滨鹬 (*Calidris alba*) (1.8%)、大白鹭 (*Ardea alba*) (1.3%)、池鹭 (*Ardeola bacchus*) (1.2%)、泽鹬 (*Tringa stagnatilis*) (1.0%)。

10 种常见种数量总占总调查数量的 35.8%, 和优势种合并则两者共 12 个物种占调查总数的 89.1%, 说明调查区域鸟类个别物种优势度明显, 从现场调查发现优势种栖息聚集程度较高, 主要集中在沿岸沙滩和渔港码头一带。

《国际重要湿地公约 (Ramsar)》对重要湿地的评价标准中有这样一条: “如果一块湿地定期栖息有一个水禽物种或亚种某一种群 1% 的个体, 就应被认为具有国际重要意义”。生态专家认为, 水鸟栖息具有混群性, 占全球种群数量 1% 以上的水鸟物种, 往往可以作为同类水鸟的代表物种, 反映整个水鸟的丰富程度, 从而反映栖息地的生态环境质量。因此, 国际上通常将鸟类的丰富程度作为衡量一个地区生态环境质量优劣的重要标志。本项目所调查鸟类物种的全球种群数量 1% 数量估计来自于湿地国际的水鸟种群数量估计 (Wetlands International 2016)。经对比分析, 项目用地和周边区域的单次鸟类调查数量超过占全球种群数量 1% 以上的物种有铁嘴沙鸨和蒙古沙鸨 (表 6.7-1)。主要集中分布在位于阳西县溪头镇的散头咀沙滩, 距离项目场址最近约 80km。

表 6.7-1 调查区域水鸟种群数量与全球种群 1%数量对比

目	科	种	学名	1%标准	调查最大值
鸬鹚目	鸬鹚科	小鸬鹚	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	3900	3
鹈形目	军舰鸟科	白斑军舰鸟	<i>Fregata ariel</i>	10000	1
鹤形目	鹭科	苍鹭	<i>Ardea cinerea</i>	10000	10
		大白鹭	<i>Ardea alba</i>	1000	85
		白鹭	<i>Egretta garzetta</i>	10000	155
		岩鹭	<i>Egretta sacra</i>	10000	5
		牛背鹭	<i>Bubulcus ibis</i>	10000	18
		池鹭	<i>Ardeola bacchus</i>	10000	75
		绿鹭	<i>Butorides striata</i>	-----	12
		黄斑苇鳉	<i>Ixobrychus sinensis</i>	10000	2
		栗苇鳉	<i>Ixobrychus cinnamomeus</i>	10000	1
鹤形目	秧鸡科	灰胸秧鸡	<i>Gallirallus striatus</i>	-----	1
		白胸苦恶鸟	<i>Amaurornis phoenicurus</i>	20000	2
		黑水鸡	<i>Gallinula chloropus</i>	10000	1
鹤形目	反嘴鹬科	黑翅长脚鹬	<i>Himantopus himantopus</i>	1000	3
	鹬科	金鹬	<i>Pluvialis fulva</i>	1000	2
		灰鹬	<i>Pluvialis squatarola</i>	1000	56
		金眶鹬	<i>Charadrius dubius</i>	250	8
		环颈鹬	<i>Charadrius alexandrinus</i>	1000	899
		铁嘴沙鹬	<i>Charadrius leschenaultia</i>	790	1528
		蒙古沙鹬	<i>Charadrius mongolus</i>	260	510
	鹬科	斑尾塍鹬	<i>Limosa lapponica</i>	1200	9
		中杓鹬	<i>Numenius phaeopus</i>	550	2
		白腰杓鹬	<i>Numenius arquata</i>	1000	30
		红脚鹬	<i>Tringa totanus</i>	1000	8
		泽鹬	<i>Tringa stagnatilis</i>	10000	80
		青脚鹬	<i>Tringa nebularia</i>	1000	35
		翘嘴鹬	<i>Xenus cinereus</i>	500	8
		矶鹬	<i>Actitis hypoleucos</i>	500	12
		灰尾漂鹬	<i>Heteroscelus brevipes</i>	440	54
		翻石鹬	<i>Arenaria interpres</i>	1000	22
		三趾滨鹬	<i>Calidris alba</i>	220	97
		红颈滨鹬	<i>Calidris ruficollis</i>	3200	150
		黑腹滨鹬	<i>Calidris alpina</i>	10000	730
		阔嘴鹬	<i>Limicola falcinellus</i>	620	7
	鸥科	西伯利亚银鸥	<i>Larus vegae</i>	610	9
		红嘴鸥	<i>Larus ridibundus</i>	20000	3
	燕鸥科	粉红燕鸥	<i>Sterna dougallii</i>	440	6
		普通燕鸥	<i>Sterna hirundo</i>	10000	12
		白额燕鸥	<i>Sterna albifrons</i>	1000	67
		褐翅燕鸥	<i>Sterna anaethetus</i>	10000	25
		灰翅浮鸥	<i>Chlidonias hybridus</i>	-----	13
		白翅浮鸥	<i>Chlidonias leucopterus</i>	10000	350
鸬鹚目	鸬鹚科	小鸬鹚	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	3900	3

6.7.3 各季节调查结果

6.7.3.1 秋季调查（2018年10月）情况

2018年10月为秋季调查，本次调查共记录鸟类51种，隶属9目24科。优势类群为鸽形目，有19种，其次为雀形目，有18种。水鸟有30种，陆鸟为21种。数量上，共记录2985只次，优势种为环颈鸪、铁嘴沙鸪和黑腹滨鹬，数量分别占该月调查总数量的28.8%、27.2%和11.1%。常见种为蒙古沙鸪、红颈滨鹬、白鹭、三趾滨鹬、大白鹭和家燕等6种，以上9种共占当季调查数量的90.5%。说明本季度优势种数量占比例较大。

居留型方面，本月以留鸟为主，共有27种在本地区有留鸟种群，14种在本地区有冬候鸟种群，夏候鸟和迁徙过境鸟分别有5种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上则是冬候鸟和迁徙过境鸟占优，分别占总数量的51.2%和36.3%，夏候鸟最少，占1.8%。可以看出在该季节已经有较多越冬种类到达本地，尚有少量夏候鸟未迁离。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共45种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有10种，包括苍鹭、大白鹭、白鹭、池鹭、栗苇鸪、黑水鸡、黑翅长脚鹬、普通燕鸥、白额燕鸥和褐翅燕鸥；国家二级保护动物的有岩鹭、黑鸢和褐翅鸦鹃3种；“三有”动物有44种；列入国家保护动物红色名录的物种有斑尾塍鹬和白腰杓鹬两种，均属于近危（NT）级别；属于IUCN红皮书的有斑尾塍鹬、白腰杓鹬、灰尾漂鹬和红颈滨鹬4种，均属于近危（NT）级别；列入CITES附录的II级保护物种有黑鸢1种；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有21种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种有22种。

6.7.3.2 冬季调查（2019年1月）情况

以2019年1月作为冬季调查，本次调查共记录鸟类52种，隶属7目22科。优势类群包括雀形目（20种）和鸽形目（20种）。水鸟有27种，陆鸟有22种。数量上，共记录4445只次，优势种有4种，分别为铁嘴沙鸪、环颈鸪、黑腹滨鹬和蒙古沙鸪，数量分别占该月调查总数量的34.4%、20.2%、16.4%和11.5%。常见种为红颈滨鹬、白鹭、大白鹭、泽鹬和灰鸪等5种，以上9种共占当季调查数量的93.0%，少数种类的数量分布较为密集。

居留型方面，留鸟和冬候鸟种类分别有23和22种，为主要居留类型，迁徙

过境鸟和夏候鸟分别为 4 种和 3 种。部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上迁徙过境鸟和冬候鸟数量最多，分别占总数量的 47.7% 和 45.0%，留鸟占 6.5%，夏候鸟仅占 0.8%。可以看出在该季节在本区域的候鸟以集大群形式聚集，数量优势十分明显。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 46 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 10 种，包括苍鹭、大白鹭、白鹭、池鹭、中杓鹬、西伯利亚银鸥、红嘴鸥、普通燕鸥、白额燕鸥和灰翅浮鸥；国家二级保护动物的有 5 种，包括岩鹭、普通鸬、红隼、褐翅鸦鹃和小鸦鹃；“三有”动物有 42 种；列入国家保护动物红色名录的物种有白腰杓鹬 1 种；属于 IUCN 红皮书的有白腰杓鹬和红颈滨鹬 2 种，属于近危（NT）级别；列入 CITES 附录的物种有 2 种，分别为普通鸬和红隼；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 23 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种有 20 种。

6.7.3.3 春季调查（2019 年 5 月）情况

2019 年 5 月为春季调查，本次调查共记录鸟类 60 种，隶属 10 目 23 科。优势类群包括鸽形目 24 种和雀形目 21 种。水鸟共有 34 种，陆鸟 26 种。数量上，共记录 3054 只次，优势种为铁嘴沙鸨、环颈鸨和白翅浮鸥，数量分别占该月调查总数量的 30.0%、22.9% 和 11.5%。常见种有 7 种，包括有蒙古沙鸨、白鹭、三趾滨鹬、家燕、红颈滨鹬、白额燕鸥和灰尾漂鹬，以上 10 种共占当季调查数量的 86.6%。反映了本季度鸟类种类虽然较多但多数种类数量较少的特征。

居留型方面，留鸟种类最多，有 26 种，候鸟中冬候鸟最多，有 18 种，其次夏候鸟种类有 10 种，迁徙过境鸟为 6 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟和迁徙过境鸟数量占优，分别占总数量的 43.1% 和 40.0%，留鸟和夏候鸟数量较少。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 56 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 13 种，包括苍鹭、大白鹭、白鹭、牛背鹭、池鹭、绿鹭、斑尾塍鹬、中杓鹬、粉红燕鸥、白额燕鸥、褐翅燕鸥、白翅浮鸥和灰翅浮鸥；国家二级保护动物的有白斑军舰鸟、岩鹭、黑翅鸢、白腰杓鹬、翻石鹬、阔嘴鹬、和褐翅鸦鹃 7 种；“三有”动物有 49 种；列入国家保护动物红色名录的有黑翅鸢、斑尾塍鹬和白腰杓鹬 3 种，属于近危（NT）级别；属于 IUCN 红皮书的有斑尾

滕鹑、白腰杓鹑、灰尾漂鹑和红颈滨鹑 4 种，均为近危（NT）级别；列入 CITES 附录 II 的物种有黑翅鸢 1 种；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 28 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 27 种。

6.7.3.4 夏季调查（2021 年 7 月）情况

2021 年 7 月为夏季调查，本次调查共记录鸟类 40 种，隶属 8 目 21 科。优势类群为雀形目和鸽形目，均有 14 种。其中水鸟 23 种，其余 17 种为陆鸟。数量上，共记录 1399 只次，优势种为环颈鸪、铁嘴沙鸪、白鹭和家燕，数量分别占该月调查总数量的 22.9%、21.8%、11.1% 和 10.4%。常见种有蒙古沙鸪、池鹭、白额燕鸥、白喉红臀鹳、褐翅燕鸥、青脚鹑、八哥、牛背鹭等 8 种，以上 12 种共占当季调查数量的 89.6%。

居留型方面，留鸟种类较多，有 22 种，冬候鸟有 6 种，迁徙过境鸟有 5 种，夏候鸟有 7 种，以上部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以迁徙过境鸟数量最多，占 32.1%，其次为留鸟占 26.8%，冬候鸟和夏候鸟分别占 25.5% 和 15.6%。虽然本季度的候鸟数量仍然占优，但留鸟占比例为全年最高，且总体鸟类数量明显较其他季节少。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 38 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 10 种，包括大白鹭、白鹭、牛背鹭、池鹭、绿鹭、黄斑苇鹇、中杓鹑、粉红燕鸥、白额燕鸥、褐翅燕鸥；国家二级保护动物的有岩鹭、黑翅鸢、翻石鹑、大滨鹑和褐翅鸦鹑 5 种；“三有”动物有 33 种；列入国家保护动物红色名录的有属于近危（NT）级别的黑翅鸢和属于濒危（EN）的大滨鹑两种；属于 IUCN 红皮书的有两种，为属于近危（NT）级别的灰尾漂鹑和属于濒危（EN）级别的大滨鹑；列入 CITES 附录的物种有黑翅鸢一种；属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 18 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种有 17 种。

6.7.3.5 季节动态综合分析

从鸟类种类上看，春季鸟类种类最多，夏季种类最少，数量上则是冬季最多，夏季数量最少（图 6.7-2 和图 6.7-3）。从物种组成来说，存在季节性更替。以下通过不同尺度的物种多样性分析物种季节动态变化。

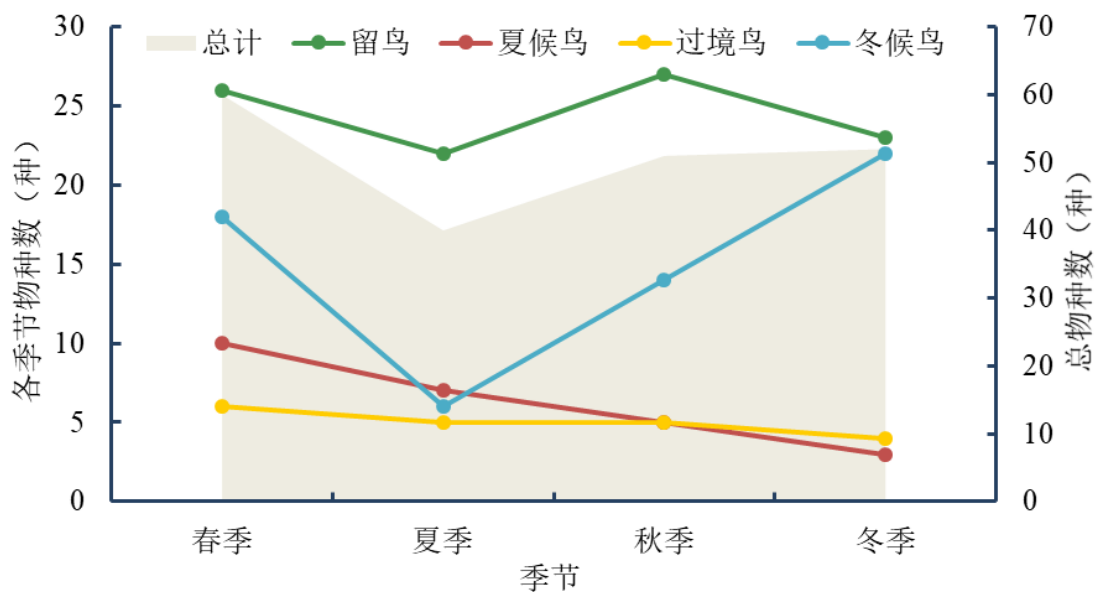


图 6.7-2 不同居留型鸟类物种丰富度季节变化

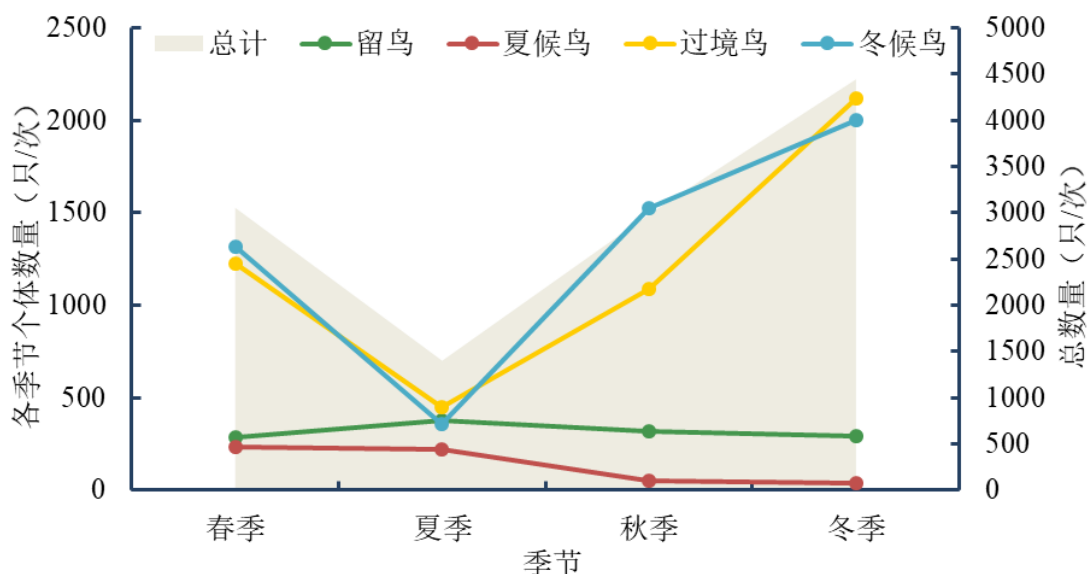


图 6.7-3 不同居留型鸟类个体数量季节变化

α 多样性主要关注某种生境下的物种数目，因此也被称为生境内的多样性 (within habitat diversity)，在这一尺度下，维持多样性的主要生态因素有生态位多样性以及物种之间的相互作用； α 多样性包括物种丰富度 (S)、物种多样性指数 (H') 和物种均匀度指数 (E)。从表 6.7-2 可以看出，春季在物种数、物种多样性指数以及均匀度方面的数值均为最高，冬季在各方面的指数均较低。主要由于春节较多迁徙性鸟类在该地区作短暂停留，增加了本地的物种丰富度和多样性，而冬季有部分种类数量集中，提高了个别物种的优势度，从而降低冬季整体的物种多样性和均匀度。

表 6.7-2 调查区域鸟类 α 多样性指标测度

	春季	夏季	秋季	冬季
S	60	40	51	52
H'	2.452	2.210	2.219	2.049
E	0.599	0.587	0.564	0.519

β 多样性指沿环境梯度不同生境群落之间物种组成的相异性或物种沿环境梯度的更替速率，也被称为生境间的多样性(between habitat diversity)。控制 β 多样性的主要生态因子有土壤、地貌以及干扰等。表 6.7-3 结果显示本次调查春秋季相似度最高，而冬夏季最低，较好地反映了当地春秋季以迁徙鸟类为主，夏季繁殖鸟、冬季越冬鸟类为主的不同物种组成。总体而言不同季节间的相似性约在 0.5-0.7 之间，即有超过 30% 的物种发生季节变化，物种更替速率较高。

表 6.7-3 调查区域鸟类 β 多样性 Sorensen 指数比较

	春季	夏季	秋季
夏季	0.660		
秋季	0.721	0.681	
冬季	0.661	0.526	0.680

6.7.4 海域鸟类现状

风电场所在区域调查主要通过乘船沿样线观察，期间仅发现极少量燕鸥科鸟类飞行。将调查范围扩展至沿岸浅海海域，则在海域中共发现鸟类 3 目 4 科 9 种，共 313 只次，其中多数个体在离岸 2-5 km 范围内发现（表 6.7-4）。本次调查发现白斑军舰鸟属于海洋鸟类，平时会在大洋海面活动，由于台风活动影响而靠近岸飞行，数量较少，不集大群。鸥科和燕鸥科鸟类是在海面活动较多的种类，燕鸥科多在春夏季出现，喜集群在海面低空飞行觅食，也会跟随渔船尾部啄食被海浪翻滚至水面的鱼类，鸥科则主要在冬季记录到。岩鹭主要位于近岸青洲、峙仔、大树岛等岛屿的岩礁海岸，多在岛屿和岩岸周边低空开展飞行活动，并不飞出外海。

表 6.7-4 调查海域鸟类季节动态

	春季（迁徙）	夏季（繁殖）	秋季（迁徙）	冬季（越冬）
种类（种）	6	4	3	3
数量（只）	242	40	16	15
项目范围内	一种 3 只	一种 7 只	两种 4 只	一种 1 只

海域中的白斑军舰鸟和岩鹭是主要的保护物种，属于国家二级保护动物。其

中白斑军舰鸟属于海洋性鸟类，但在广东种群数量较低，记录很少，是值得关注的物种。岩鹭在青洲、竹洲、大树岛等岩礁上有繁殖种群，但数量较少，据密度估算共约 10-15 只。鸥科和燕鸥科的鸟类属于省级保护动物，在离岸小型无人岛礁上有繁殖群体，但迁徙和越冬时喜集大群活动，其中褐翅燕鸥飞行活动范围离岸较远，会经过风电场所在区域。

6.7.5 沿岸鸟类现状

和海上调查相比，沿岸鸟类在物种和数量上均远高于海上风电场场区及周边海域。本调查共记录种类 10 目 28 科 78 种，数量 11570 只次，占本项目调查总数量的 97.3%。主要分布溪头镇散头咀沙滩（距离本项目场址 64 km）、上洋镇沙头村沙滩（距离本项目场址 50 km）和莲头村沙滩（距离本项目场址 46 km）。种类以铁嘴沙鸻、环颈鸻、蒙古沙鸻等沙滩鸻类为主，其中越冬种群数量最高，迁徙过境种类虽然数量稍低，但种类较为丰富，如翻石鹬、翘嘴鹬、灰尾漂鹬等。因此沿岸滩涂是本区域鸟类主要觅食地和栖息地。在保护物种方面，白腰杓鹬、翻石鹬、大滨鹬和阔嘴鹬是 4 种在 2021 年被新列入到国家二级重点保护动物名录中的鸟类，本次调查主要在溪头镇滩涂有分布，被发现其他种类混群觅食。

除迁徙越冬候鸟，本次调查还发现在沙滩生境有繁殖水鸟，主要为环颈鸻华南亚种（*C. a. dealbatus*，最新文献将其提升为独立的种，白脸鸻 *C. dealbatus*）和白额燕鸥，其中环颈鸻春季在沙滩上繁殖，冬季则和北方种群混群觅食和栖息，根据密度估算，在散头咀繁殖对数约 100-150 对，河北村繁殖对数约 20-30 对，在莲头村沙滩繁殖对数约 10-20 对，每对繁殖幼体约 2-4 只。白额燕鸥在散头咀繁殖对数约 10-20 对，河北村繁殖对数约 10-20 对，在莲头村沙滩繁殖对数约 10-20 对，每对繁殖幼体约 2-4 只。总体上在项目区域沿岸繁殖的水鸟种群主要集中在溪头镇散头咀沙滩，其余地点数量较少，且该类物种栖息和觅食均在沙滩周边，基本不受海上风电设施影响。

调查单位此前曾在同属该海区的电白水东湾、阳西溪头镇、阳江海陵岛、台山上川岛进行全年度的鸟类调查，其地理区系和生态环境相近，具有类比性和可比性，是本次调查的有益补充。结合以上区域近三年记录，周边分布的鸟类种类共有 153 种，说明该地区沿海鸟类种类丰富，生态环境良好。其中大部分鸟类分布于红树林区和滩涂区域，主要是由于近岸湿地底栖动物丰富，是多种涉禽（包

括鹭科鸟类、鸬鹚类等)的主要食物来源。

本工程距离鸟类分布主要区域(溪头镇)约 80km, 距离次要区域(水东湾)约 85km, 远大于大部分鸟类活动的半径范围, 且没有底栖动物分布, 对红树林区和滩涂区域的鸟类基本没有影响。

6.7.6 鸟类迁飞路线与飞行高度分析

风力资源的地理分布大多与鸟类迁徙通道相重叠, 尤其在我国, 在沿海、岛屿、内陆湖泊、河流、水库地区附近是风力资源最丰富的地区, 也是水鸟迁徙的主要停歇地带(卞兴忠和蒋志学, 2010)。鸟类在全球的迁徙路线可分为 8 个主要迁飞区(Bamford et al, 2008), 我国东南沿海位于其中最大的“东亚-澳大利西亚迁徙通道”上(如下图 6.7-4), 是多种候鸟迁徙的中途停歇驿站和越冬地, 其中沿海滩涂是迁徙水鸟主要集中栖息的区域。距离项目场址最近的阳西和电白沿岸位于我国广东省西部沿海, 其东侧的海陵岛和溪头港, 有多种迁徙候鸟停歇记录, 环志观测结果显示途径溪头港的候鸟会迁飞至澳大利亚西部。

鸟类的迁徙路线, 虽然在大尺度上可能体现出空间上的近似关系。但是具体的迁飞路径, 停歇地点有很大的种间变异, 甚至种内的不同种群之间均有变异。研究鸟类迁徙, 需要对鸟类进行环志标记或者卫星追踪调查。目前研究表明, 大部分迁徙性水鸟的连续飞行距离较长, 经常进行上千公里甚至数千公里的连续飞行(马志军, 2013)。大部分对迁徙路线的研究采用直线将营巢地——中途停歇地——越冬地之间联结起来, 形成理论上的迁徙路线, 然而受地面构造、景观类型、植被、食物及天气等各种条件影响, 实际路线有所偏差。如雁鸭类大都集中于内陆水域, 沿湖泊、河流迁徙, 鸬鹚类则多沿海岸绕行(张孚允和杨若莉, 1997)。根据南澳的地形地貌、景观类型、鸟类栖息生境等分布情况, 结合实际观察, 迁徙鸟类在阳江沿海及周边近岸海域的经停点主要是沿岸滩涂湿地和离岸岛屿, 迁徙路线主要沿海岸迁徙, 部分会跨越南海(见下图 6.7-5)。沿海滩涂湿地是迁飞候鸟主要栖息生境。



图 6.7-4 东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线示意图

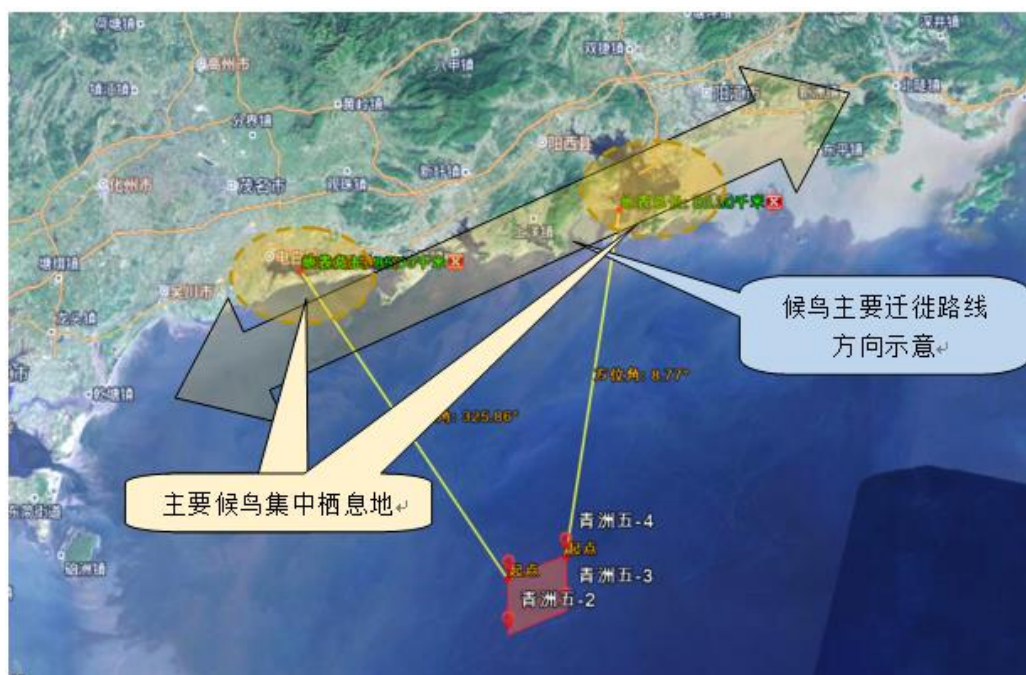


图 6.7-5 项目场址周边主要候鸟迁徙路线示意图

据研究资料显示（图 6.7-6），候鸟迁徙季节的迁飞高度一般超过 300 m：普通鸟类迁徙过程中飞翔高度在 400 m 以下，鹤类在 300-500 m，鹤、雁等最高可达 900 m（卞兴忠和蒋志学, 2010）。本区主要沿海岸迁徙飞行种类为鸕鹚类、鹭

类、小型雁鸭类、鸥类，基本没有大型的鹤类，迁徙飞行高度一般为 300 m-400 m 之间。但是也有研究发现沿海面飞行的鸟类通常飞行高度较陆地低 (Ross-Smith et al., 2016)。

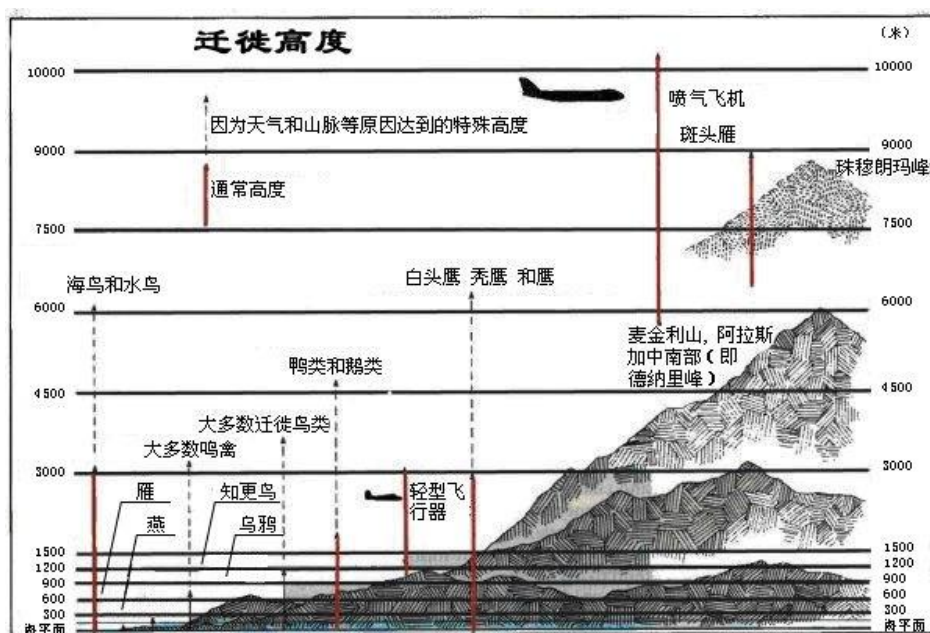


图 6.7-6 不同鸟类类群的飞行高度示意图

而对于鸟类的日常飞行（如往返于休息地与觅食地、饮水地等）来说，飞行高度会较长途迁徙低，尤其是在觅食等情况下，一般低于 100 m。小型雀形目鸟类很少在海面飞行，项目范围可能涉及到的种类中，猛禽、鸥和燕鸥、军舰鸟等海洋鸟类等是较常见在海面活动的类型。在西班牙南部的 Tarifa 研究发现 (Barrios and Rodriguez, 2004)，猛禽在风场区域翱翔时，会选择避开叶片旋转能达到的高度范围，如繁殖期和冬季选择在较低的高度飞行（平均在 57-59 m 之间），其余时期是飞行高度则在 110 m 左右，在其他区域其高度差异不明显（繁殖期 68.20 m，越冬期 60.07 m，非繁殖季节 79 m）。且观察到大部分鸟类在穿过风机列时会显著提升飞行高度，以避免碰撞。本次调查中也发现，在远离风机的海面褐翅燕鸥的飞行高度为距离海面 20-50 m，但当靠近风电场时则提升高度至风机轮毂上方，超过 100 m（图 6.7-7）。另外，在不良的气象条件下，如大雾、降雨或强逆风时，大气能见度降低，鸟类也会降低飞行高度 (Drewitt and Langston, 2006)。



图 6.7-7 褐翅燕鸥在已建风电场外围和飞越风电场时的高度变化

6.8 声环境现状调查与评价

6.8.1 水上噪声环境现场调查

6.8.1.1 调查站点

厦门大学课题组于 2021 年 07 月 4~6 日课题组对三峡阳江青洲五海上风电项目工程海域的声环境质量进行了现场调查。根据国家海洋局关于《海上风电项目海洋环境影响评价技术规范》的通知（2014.4）要求，在工程海域共设置 8 个噪声调查站点（各站点均开展水上、水下声测量），各站点经纬度坐标分别是：

- (1)20°54'23.40"N, 111°39'46.08"E
- (2)20°47'41.25"N, 111°39'51.74"E
- (3)20°49'30.18"N, 111°36'05.52"E
- (4)20°41'02.38"N, 111°36'12.66"E
- (5)20°44'51.78"N, 111°32'25.62"E
- (6)20°49'21.78"N, 111°30'01.32"E
- (7)20°51'38.58"N, 111°32'20.39"E
- (8)20°55'04.44"N, 111°32'13.80"E

调查站点设置详见图 6.8-1，图中白线区域为三峡阳江青洲五海上风电项目工程海域，红点表示噪声调查站点，蓝色为出发码头。



图 6.8-1 工程海域声环境调查站点布设示意图

6.8.1.2 调查时间及海况

2021年07月4~6日课题组对三峡广东阳江青洲五海上风电项目工程海域开展了声环境现场调查。声环境调查期间，天气晴，海况1级，工程海域布设各站点在进行水上、水下声环境调查时的环境条件见表6.8-1。

表 6.8-1 各站点开展声环境调查时的环境条件

站点编号	风速 (m/s) 风向	水深(m)	海况(级)	天气	潮汐	水温(1m 深)(℃)
#1	3.6 东	46.1	1	晴	退潮	26.4
#2	9.8 东	49.5	1	晴	退潮	26.6
#3	7.4 东	48.3	1	晴	退潮	26.6
#4	5.4 东	52.6	1	晴	退潮	26.7
#5	4.4 东	51.0	1	晴	退潮	26.7
#6	3.5 东	47.2	1	晴	退潮	27.0
#7	3.8 东	45.5	1	晴	退潮	27.0
#8	4.9 东北	42.8	1	晴	退潮	27.0

6.8.1.3 调查内容及测量时间

8个调查站点，根据《环境影响评价技术导则声环境》(HJ/T2.4-2009)的要求，每个站点连续测量时间均为10min以上。测量计算结果为：

①等效连续声级 L_{eq} ；

②最大声级 L_{max} ；

③给出在 10Hz~20kHz 频率范围内的 1/3 倍频程的频带声压级分布。

6.8.1.4 调查结果

工程海域水上声环境调查结果见表 6.8-2。

6.8.1.5 调查结果评价

工程海域海面上环境噪声 A 计权等效噪声级主要分布在 52~62dB 之间，平均值为 60dB；最大声级的平均值为 102dB；在 20Hz~20kHz 的频率分布范围内，各频带噪声级的最大动态范围为 39dB。

表 6.8-2 工程海域水上声环境质量调查结果 单位：dB/20uPa

站点编号	站点位置	噪声源	最大声级 (dB)	等效连续声级 (dB)	累积百分声级 L10 (dB)	累积百分声级 L50 (dB)	累积百分声级 L90 (dB)
#1	20°54'23.40"N 111°39'46.08"E	海上噪声	87.5	52.7	54.4	41.1	34.7
#2	20°47'41.25"N 111°39'51.74"E	海上噪声	100.9	61.7	64.7	58.2	51.5
#3	20°49'30.18"N 111°36'05.52"E	海上噪声	101.7	60.3	63.7	56.7	51.3
#4	20°41'02.38"N 111°36'12.66"E	海上噪声	106.0	59.3	61.2	52.1	44.7
#5	20°44'51.78"N 111°32'25.62"E	海上噪声	99.6	59.2	62.3	53.2	46.4
#6	20°49'21.78"N 111°30'01.32"E	海上噪声	98.3	59.4	61.7	52	44.8
#7	20°51'38.58"N 111°32'20.39"E	海上噪声	99.7	61.3	63.2	52.7	44.3
#8	20°55'04.44"N 111°32'13.80"E	海上噪声	103.1	59.6	61.8	52.8	45.6

6.8.2 水下噪声环境现场调查

根据《声学水下噪声测量》(GB/T5265-2009)的要求，测声换能器系统采用船载方式进行噪声测量时，在噪声测量期间不能启动主机和辅机，禁止船上进行能产生撞击声传入水中的人为活动，并避开测量点附近可能存在的各种干扰噪声源（如舰艇航行、施工等）。特别注意对噪声有异常情况的记录，同时记录监测点位深度、测点深度、涨落潮情况、气象条件等（见表 6.8-1）。

6.8.2.1 调查站点

与水上环境噪声测量位置相同（见图 6.8-1），共调查 8 个站点。根据各站点不同的海域深度，设置 3 个水层深度：2m、中间层和底层（接近海底），进行同步测量，测量记录时间均为 3 min 以上。

6.8.2.2 调查内容

调查内容为频带声压级、声压谱级以及各测点的峰值声压级。

(1) 水下噪声频带声压级 L_{pf}

$$L_{pf} = 20 \lg \frac{P_f}{P_0}$$

式中： L_{pf} —噪声频带声压级，单位为分贝（dB）；

P_f —测量所得的某频带噪声声压，单位为帕（Pa）；

P_0 —基准声压，单位为帕（Pa），通常取 $P_0 = 1\mu\text{Pa}$ 。

(2) 水下噪声声压谱[密度]级 L_{ps}

在海洋中基准声压的谱密度级为 $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，当声能在 Δf 中均匀分布时：

$$L_{ps} = L_{pf} - 10 \lg \Delta f$$

式中： L_{ps} —噪声声压谱级，又称为等效谱级，单位为分贝（dB），基准值为 $1\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；

L_{pf} —测得的中心频率为 f 的频带声压级，单位为分贝（dB），基准值为 $1\mu\text{Pa}$ ；

Δf —带通滤波器的有效带宽。

(3) 背景噪声测量修正值 K

在水下噪声测量中，为减小背景干扰噪声对测量目标的影响，应对测得的结果进行修正，即将实测频带声压级 L_{pf0} 减去修正值 K ，得到修正后的频带声压级 L_{pf} ，如下式所示：

$$L_{pf} = L_{pf0} - K$$

本工程所进行的海洋背景噪声测量用船载方式进行，测量中船位抛锚并关闭发动机和辅机，水下没有其它的干扰声源存在，因此干扰噪声修正值 $K=0$ 。

(4) 全频带累积声压级

频率不同的声波是不相干的，不会形成相干干涉，所以，声信号总的声能量是各个频率分量上的能量叠加之和。在获取 1/3 倍频程频带声压级的基础上，可以运用不同频带上的声压级叠加原理，对 1/3 倍频程带宽频带声压级进行累加，求取全频带累积声压级，表示为 L_p ，用于描述各水下测量点上的环境噪声强度。

$$L_p = 10 \lg (10^{0.1L_{pf1}} + 10^{0.1L_{pf2}} + \dots + 10^{0.1L_{pfN}})$$

L_{pf} —中心频率为 f 的 1/3 倍频程频带声压级，单位为分贝（dB）。

6.8.2.3 调查结果

(1) 峰值声压

表 6.8-3 各站点设计的测量深度与对应的峰值声压级

站点编号	站点位置	测点深度 (m)	峰值声压 (dB/1uPa)	全频带累积声压级 L_p (dB/1uPa)		
				各测量点	各站点平均值	调查海域平均值
#1	20°54'23.40"N 111°39'46.08"E	2	140	114	115	119.8
		23	142	115		
		45	141	115		
#2	20°47'41.25"N 111°39'51.74"E	2	152	120	120	
		24	152	121		
		49	142	117		
#3	20°49'30.18"N 111°36'05.52"E	2	152	121	119	
		24	146	119		
		47	145	117		
#4	20°41'02.38"N 111°36'12.66"E	2	158	124	120	
		25	145	116		
		51	142	116		
#5	20°44'51.78"N 111°32'25.62"E	2	156	121	119	
		25	146	115		
		50	146	120		
#6	20°49'21.78"N 111°30'01.32"E	2	150	126	122	
		23	146	118		
		46	148	111		
#7	20°51'38.58"N 111°32'20.39"E	2	160	125	121	
		22	146	113		
		44	141	110		
#8	20°55'04.44"N 111°32'13.80"E	2	159	127	123	
		21	151	119		
		41	141	110		

(2) 工程海域频带声压级和声压谱级

调查结果见表 6.8-4~6.8-7。

表 6.8-4 工程海域水下噪声环境调查结果—声压谱级 (1) 单位: dB (re1uPa/ $\sqrt{\text{Hz}}$)

站点 编号	站点位置	测量 深度	声压谱级															
			20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
#1	20°54'23.40"N 111°39'46.08"E	2	85	84	89	91	86	86	88	84	89	86	82	85	83	84	82	85
		23	91	92	95	91	89	89	87	90	89	85	90	85	84	85	82	82
		45	88	90	90	94	91	89	87	91	87	83	85	84	80	76	76	79
#2	20°47'41.25"N 111°39'51.74"E	2	105	100	101	99	96	96	93	93	93	92	89	94	90	91	86	87
		24	106	105	102	104	102	98	98	99	97	91	91	91	92	86	85	85
		49	91	93	95	92	89	89	93	98	90	82	79	78	78	73	72	70
#3	20°49'30.18"N 111°36'05.52"E	2	103	103	100	101	100	97	95	94	95	91	90	92	88	92	88	89
		24	100	99	99	103	101	95	92	94	92	91	92	88	90	86	86	84
		47	99	99	95	94	92	95	92	95	91	90	87	84	85	81	81	80
#4	20°41'02.38"N 111°36'12.66"E	2	100	101	101	102	102	100	92	94	97	96	95	96	93	93	84	85
		25	96	93	95	96	94	96	93	92	88	87	85	83	85	80	77	73
		51	98	94	95	93	95	99	93	93	88	85	83	81	77	73	71	70
#5	20°44'51.78"N 111°32'25.62"E	2	105	103	104	104	100	98	94	93	95	91	91	93	88	89	86	86
		25	93	91	90	91	93	92	91	89	87	87	85	86	84	79	80	71
		50	107	105	100	98	95	97	93	89	88	87	85	84	83	76	75	72
#6	20°49'21.78"N 111°30'01.32"E	2	109	106	106	106	103	100	93	95	97	87	89	96	92	98	93	94
		23	97	101	100	94	95	91	91	89	90	87	83	88	81	77	76	74
		46	96	92	91	90	87	85	88	86	86	79	76	87	73	69	68	66
#7	20°51'38.58"N 111°32'20.39"E	2	109	107	106	107	105	100	96	94	97	91	91	97	93	98	92	94
		22	93	95	97	94	95	89	91	88	87	85	81	93	80	79	74	74
		44	94	91	90	90	88	84	90	84	85	79	76	91	74	72	68	68
#8	20°55'04.44"N 111°32'13.80"E	2	113	109	109	107	105	103	97	98	99	94	97	100	100	98	96	94
		21	102	98	102	98	98	95	93	92	90	86	85	86	85	82	81	77
		41	96	93	90	89	89	89	91	86	83	81	77	74	75	74	68	66

表 6.8-5 工程海域水下噪声环境调查结果—声压谱级 (2) 单位: dB (re1uPa/ $\sqrt{\text{Hz}}$)

站点 编号	站点位置	测量 深度	声压谱级														
			800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
#1	20°54'23.40"N 111°39'46.08"E	2	81	75	69	65	57	59	57	55	54	53	53	52	53	53	52
		23	74	73	68	69	66	61	61	57	57	56	55	56	56	56	56
		45	74	76	68	70	65	63	61	58	56	56	56	56	56	56	56
#2	20°47'41.25"N 111°39'51.74"E	2	83	77	70	69	68	74	59	57	57	56	55	55	55	55	55
		24	82	77	79	67	66	69	59	60	58	57	56	56	56	56	56
		49	72	71	62	64	63	69	58	57	57	56	57	56	56	56	56
#3	20°49'30.18"N 111°36'05.52"E	2	85	78	73	69	65	63	61	56	56	55	55	55	55	54	54
		24	82	78	74	72	67	64	62	58	57	56	55	56	56	55	55
		47	80	76	73	68	65	62	60	58	56	56	56	56	57	56	55
#4	20°41'02.38"N 111°36'12.66"E	2	83	76	69	60	55	54	53	53	53	54	54	55	56	55	54
		25	71	67	66	62	60	57	57	55	55	56	56	57	56	55	55
		51	68	66	64	63	60	58	56	55	55	56	56	56	56	55	55
#5	20°44'51.78"N 111°32'25.62"E	2	79	78	72	62	56	55	54	55	56	57	56	57	56	55	55
		25	71	67	62	60	57	55	54	55	56	56	57	57	57	56	55
		50	68	65	61	59	59	57	56	55	55	56	57	57	57	56	55
#6	20°49'21.78"N 111°30'01.32"E	2	88	83	76	63	60	63	58	58	58	57	55	55	55	55	54
		23	68	66	64	61	60	61	58	58	59	56	56	55	56	56	55
		46	64	62	61	60	59	60	57	58	57	56	56	56	56	55	55
#7	20°51'38.58"N 111°32'20.39"E	2	89	81	75	65	63	63	59	62	59	56	55	55	55	55	54
		22	68	65	63	64	60	60	59	61	58	56	56	56	56	55	55
		44	66	63	61	62	61	60	58	60	57	56	56	56	56	55	55
#8	20°55'04.44"N 111°32'13.80"E	2	92	87	78	61	58	56	55	54	54	54	54	54	54	54	54
		21	73	70	68	60	55	54	53	53	54	53	54	55	54	54	55
		41	63	60	58	56	55	54	53	54	54	54	54	54	54	55	55

表 6.8-6 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级（1） 单位：dB/1uPa

站点 编号	站点位置	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级															
			20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
#1	20°54'23.40"N 111°39'46.08"E	2	87	90	97	100	96	97	97	99	102	100	98	102	102	104	104	87
		23	98	100	104	101	100	100	101	104	102	102	104	104	104	102	100	98
		45	98	100	104	101	100	100	101	104	102	102	104	104	104	102	100	98
#2	20°47'41.25"N 111°39'51.74"E	2	104	103	106	105	104	105	105	105	104	103	105	108	107	108	105	106
		24	110	111	109	110	109	107	109	112	109	105	105	106	107	103	103	104
		49	94	97	102	99	101	101	106	111	106	99	96	94	93	93	92	98
#3	20°49'30.18"N 111°36'05.52"E	2	108	109	108	110	109	107	111	108	108	106	107	109	107	110	109	111
		24	101	103	105	109	109	105	104	107	106	107	106	106	105	104	106	105
		47	105	106	103	104	103	106	106	108	107	106	104	102	102	102	103	104
#4	20°41'02.38"N 111°36'12.66"E	2	110	111	112	112	111	112	107	109	112	113	115	115	110	109	106	107
		25	102	101	106	107	105	107	106	106	103	102	102	101	102	99	97	95
		51	106	106	104	104	106	109	106	104	102	99	98	96	96	94	92	93
#5	20°44'51.78"N 111°32'25.62"E	2	107	108	112	112	110	109	106	106	109	106	108	110	107	108	106	107
		25	102	101	102	102	104	104	105	104	102	103	103	104	103	100	102	96
		50	113	112	110	110	109	113	110	104	104	103	103	102	100	96	95	93
#6	20°49'21.78"N 111°30'01.32"E	2	112	114	115	115	113	111	108	109	111	104	108	114	113	118	116	116
		23	106	111	110	105	107	105	106	105	107	105	102	104	102	100	98	95
		46	103	101	100	100	98	97	100	99	99	95	94	99	92	90	89	87
#7	20°51'38.58"N 111°32'20.39"E	2	108	112	115	116	113	112	109	107	109	102	107	113	112	117	114	115
		22	96	99	103	101	100	98	101	100	99	97	97	108	97	96	92	91
		44	99	99	99	98	97	96	100	98	98	94	95	102	91	91	88	87
#8	20°55'04.44"N 111°32'13.80"E	2	114	114	116	117	116	115	111	110	110	108	114	115	117	117	116	116
		21	107	106	111	109	109	106	106	107	105	102	103	105	107	105	105	103
		41	102	101	98	98	98	99	101	99	99	96	94	93	93	91	90	88

表 6.8-7 工程海域水下噪声环境调查结果—频带声压级（2） 单位：dB/1uPa

站点 编号	站点位置	测量 深度	1/3oct 倍频程频带声压级														
			800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
#1	20°54'23.40"N 111°39'46.08"E	2	107	104	100	94	92	87	85	86	85	84	84	85	86	87	88
		23	103	102	98	93	94	93	89	90	88	87	88	88	90	91	92
		45	103	102	98	93	94	93	89	90	88	87	88	88	90	91	92
#2	20°47'41.25"N 111°39'51.74"E	2	111	108	98	110	104	104	99	92	89	87	87	88	89	91	92
		24	110	110	99	103	99	99	98	93	92	88	88	90	90	91	93
		49	111	109	92	102	96	95	93	90	90	88	88	89	90	91	93
#3	20°49'30.18"N 111°36'05.52"E	2	107	101	97	92	89	88	88	85	86	87	87	88	89	90	91
		24	106	104	98	97	94	92	90	88	87	88	88	90	91	91	92
		47	104	101	96	95	92	91	89	87	87	89	89	91	91	91	92
#4	20°41'02.38"N 111°36'12.66"E	2	106	102	97	88	83	81	81	82	85	87	88	90	91	90	90
		25	94	92	90	89	86	85	84	85	86	88	90	91	92	91	92
		51	92	91	88	88	86	84	84	84	86	88	89	91	92	91	92
#5	20°44'51.78"N 111°32'25.62"E	2	102	100	96	88	82	83	82	83	84	86	87	89	90	90	90
		25	95	90	87	86	83	82	83	84	91	87	89	90	91	91	91
		50	91	89	86	84	83	83	83	84	85	87	89	90	91	91	91
#6	20°49'21.78"N 111°30'01.32"E	2	111	108	102	90	87	91	89	88	89	87	88	89	91	91	91
		23	92	90	88	86	87	90	87	88	89	88	89	89	90	91	92
		46	87	86	86	85	87	89	87	88	89	88	89	90	91	91	92
#7	20°51'38.58"N 111°32'20.39"E	2	111	106	101	90	92	94	93	93	94	89	88	88	89	90	91
		22	89	89	90	89	90	92	93	93	92	88	88	89	90	91	92
		44	88	87	88	87	90	91	91	92	91	88	88	89	90	91	92
#8	20°55'04.44"N 111°32'13.80"E	2	115	110	103	89	82	81	82	83	84	85	86	87	88	89	91
		21	100	97	95	87	81	81	82	82	86	85	86	88	89	90	91
		41	85	84	82	82	81	81	82	83	84	85	86	88	89	90	91

6.8.3 主要调查结论

6.8.3.1 水上噪声环境调查结论

工程海域海面上环境噪声 A 计权等效噪声级主要分布在 52~62dB 之间, 平均值为 60dB; 最大声级的平均值为 102dB; 在 20Hz~20kHz 的频率分布范围内, 各频带噪声级的最大动态范围为 39dB。

6.8.3.2 水下噪声环境调查结论

工程海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降, 在 20Hz~20kHz 频率范围内, 全频带累积声压级为 119.8dB, 噪声谱级的总动态变化范围是 61dB, 而在特定频率 (如 100Hz) 的噪声功率谱级的动态变化范围为 15dB。总体上, 在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 100dB 以下; 500Hz 以上频率的噪声谱级均在 96dB 以下; 1kHz 以上频率的噪声谱级在 87dB 以下; 而在 5kHz 以上频率, 噪声谱级在 59dB 以下。

7 环境影响预测与评价

7.1 水文动力环境影响预测与评价

运用三维水动力模型预测风电场工程对附近海域水文动力环境的影响。三维水动力模型采用 MIKE3 模型系统，MIKE 系统是目前国际上功能齐全、应用范围广的水环境模拟软件之一，主要用于模拟海洋、河口、湖泊、河流、水库等水体的水流、水质、富营养化预测、水生生态、泥沙输运等问题。MIKE3 完全按照软件系统工程的思想设计的，由波浪模型、水动力模型、对流扩散模型、常规水质模型和富营养化模型等组成，可模拟各种水文、气象条件下水体的流场分布，流速大小和方向，污染物迁移转化规律和水生生态演变规律等。

MIKE3 模型采用有限体积法求解控制方程，计算网格为任意三角形单元，能够有效准确地模拟岸线和建筑物的外形轮廓。而且，根据研究需要，可对计算网格进行任意地加密，以便能够在大范围模型中实现局部精细模拟，从而得到合理的数值模拟结果。

7.1.1 数学模型

7.1.1.1 基本方程

三维水动力学方程组为：

连续方程：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

动量方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xx} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yx} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{zx}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xy} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yy} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{zy}$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = -g$$

式中：

t—时间坐标；

x、y、z—纵向、横向、垂向坐标；

u、v、w—分别为 x、y、w 方向的平均流速；

g—重力加速度；

f—柯氏系数；

p—压强；

ρ —水体密度；

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= 2\nu_H \frac{\partial u}{\partial x} & \tau_{xy} &= \tau_{yx} = \nu \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) & \tau_{yy} &= 2\nu \frac{\partial v}{\partial y} \\ \tau_{xz} &= \nu_z \frac{\partial u}{\partial z} & \tau_{zy} &= \nu \frac{\partial v}{\partial z} \end{aligned}$$

其中 ν_H 、 ν_z 分别为水平和垂向紊动粘性系数；

数值计算方法采用 ADI 法。控制方程离散时，变量在矩形网格上采用交错布置，水位定义在网格节点上，单宽流量定义在各自方向的相邻网格的中部。

7.1.1.2 计算范围及网格设置

本次计算模型计算域涵盖湛江市、茂名市、阳江市、江门市海域，西至琼州海峡，东至黄茅海河口西侧，海域东边界为东经 112°57′，西边界至东经 110°8′，南边界至北纬 20°14′。从外海至近岸海域区网格尺寸逐渐减小，网格尺度为 1km~6km。为满足影响预测计算的精度，采用网格局部加密的方法。为了更好的模拟风机基础周围的潮流流态，以阻水面积基本相当为原则，根据桩基基础型式（四桩导管架），每根导管架桩径在 3.0~3.3m，考虑最不利影响，将每个风机桩基础概化成边长 7m×7m 的不透水矩形单元，风机周围网格尺寸为 7m 左右，风电场外围海域网格尺寸约为 100~300m，共 47215 个单元，25419 个节点。网格图见图 7.1-1~图 7.1-2。

7.1.1.3 地形处理

进行数学模型计算时，依据海军航海保证部出版的相关海图和其它相关水下量测地形确定水深，并将水深统一换算至 85 国家基面。采用三角插值的方法将高程散点插值到各网格节点。

7.1.1.4 边界条件

模型共设 3 个外海潮位开边界。3 个开边界采用全球潮汐模型计算提供的潮位边界。同时模型中考虑了风速和风向条件。

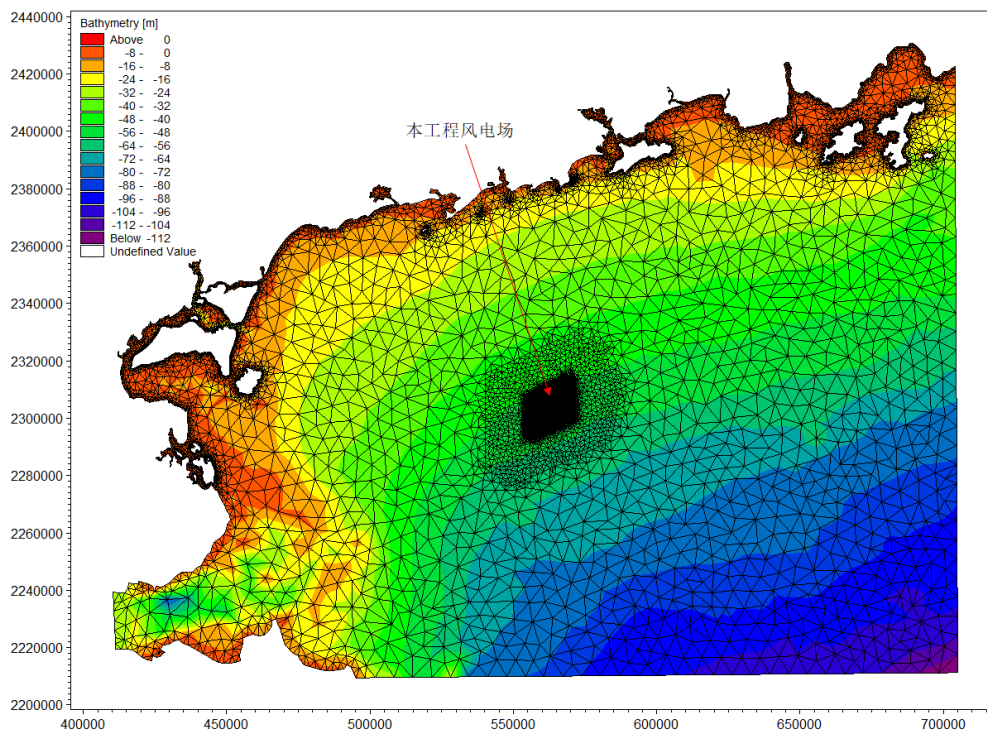


图 7.1-1 模型范围及网格图

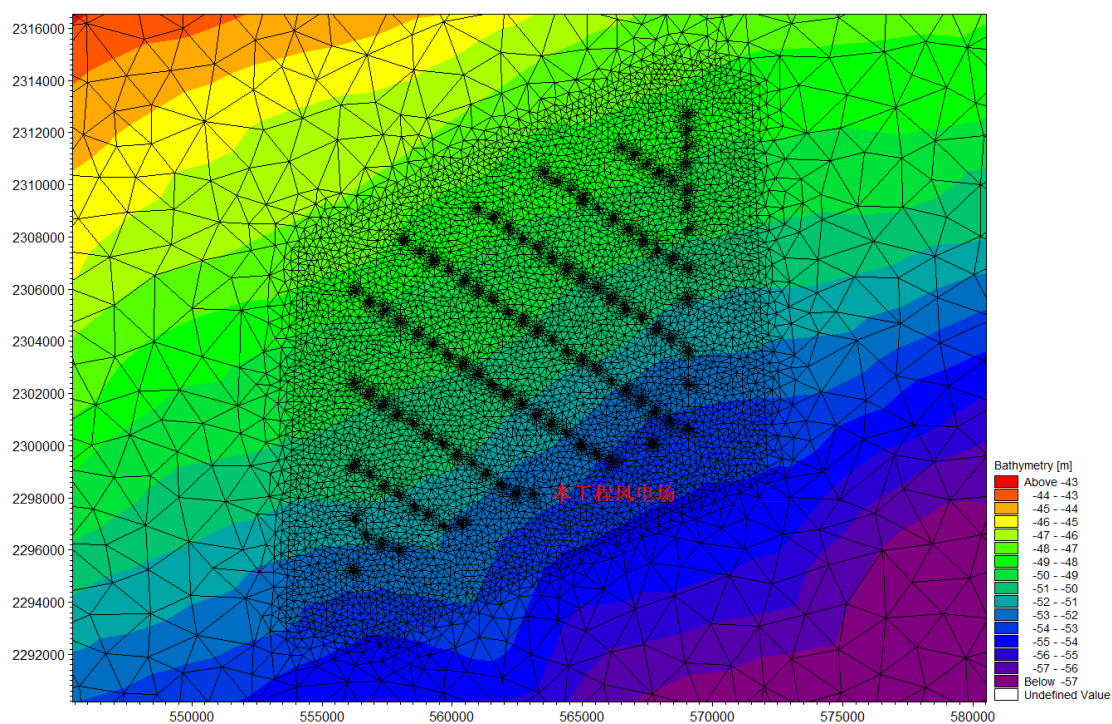


图 7.1-2 风电场局部网格

7.1.1.5 计算参数

(1) 糙率

计算海域的糙率是个综合影响因素,是数值计算中十分重要的参数,与水深、床面形态、植被条件等因素有关,经调试,根据各海域的不同水深等特点,糙率

n 取值为 0.01~0.03，其中拟建风电场区域的糙率取值约为 0.012，针对沙扒风电场，其糙率根据经验取值约为 0.02，以反映其流速整体略有减小的情况，据此计算的水文动力累积影响具有一定的合理性和准确性。

(2) 模型计算时间步长

模型采用的时间步长 $\Delta t=0.5\text{min}$ 。

(3) 涡粘系数

模型采用 Smagorinsky 公式计算水平涡粘系数：

$$A = C_s^2 l^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

其中，A 为粘性应力，l 为特征长度， S_{ij} 为应变率， C_s 为 Smagorinsky 系数， C_s 根据模型推荐值取 0.28。

7.1.2 数学模型率定验证

为使建立的潮流模型能较好的模拟预测风电场工程区的潮流场，需对模型进行参数率定。利用收集的 2017 年 6 月在沙扒风电场区域开展的水文测验的潮流实测数据和实测潮位资料对模型进行率定。同时，利用 2019 年 1 月在本工程风电场所在海域开展的水文测验的潮流实测数据对模型进行验证。

2017 年 6 月及 2019 年 1 月水文测验站位示意图见图 7.1-3，潮位和流速、流向率定验证结果见附件 3。

风电场工程地处广东省阳江市近海海域，以往复流为主。从模型率定结果来看，潮位及流速、流向计算结果与实际情况吻合较好，个别点的流速、流向与实测值有较大偏差，这可能和地形概化等因素有关。总体上说，模型模拟结果基本能反映阳江近海海域及风电场工程区域的潮流流态及潮汐特征，可用于工程水文动力影响的预测。

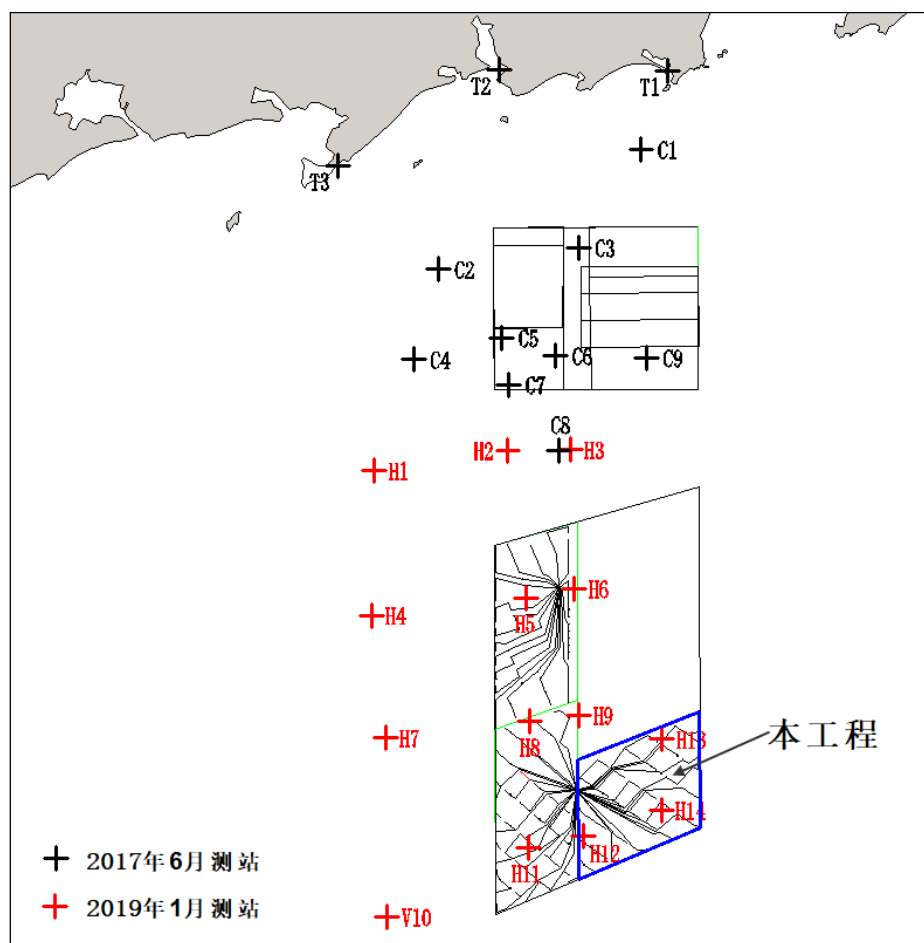


图 7.1-3 水文测验站位置示意图

7.1.3 现状潮流场分析

本报告采用大潮工况计算了风电场建设前的潮流场，并绘出了工程海域大潮涨、落急流场图，见图 7.1-4~7。大潮涨、落潮平均流速等值线图见图 7.1-8~11。

风电场工程位于广东省阳江市近海海域，从工程海域大潮涨、落急时刻的流场图可以看出，涨潮时，潮流自东南方向进入工程海域，落潮时，潮流以相反方向流向外海。工程海域潮流基本表现为往复流形态，涨潮平均流向约在 300°左右，落潮平均流向约在 130°左右。工程海域潮流流速总体不大，涨落潮平均流速在 0.25m/s 左右。流速在垂向分布上呈现出表层流速>中层流速>底层流速，但总体差异相对不大。

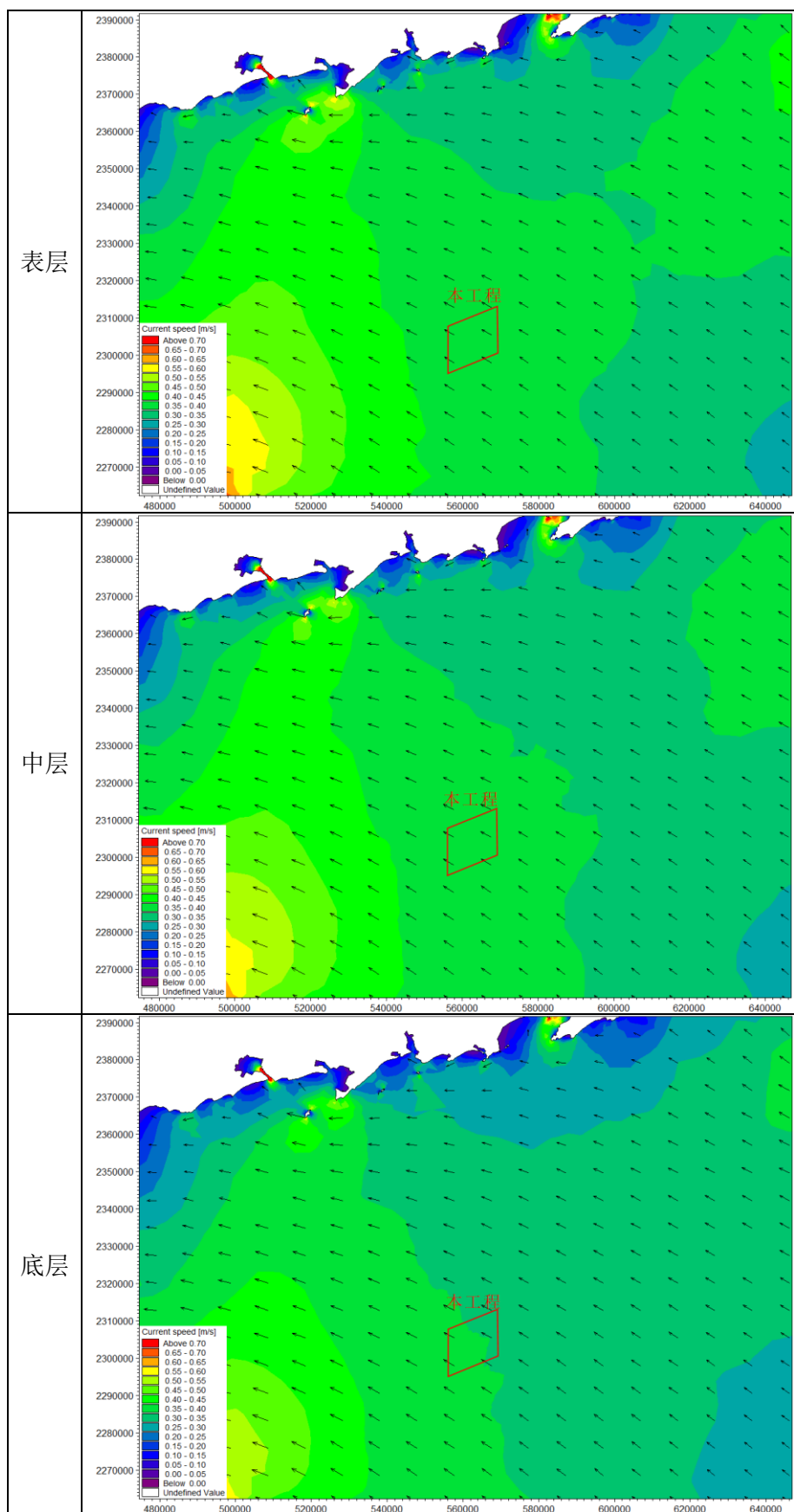


图 7.1-4 工程周边海域涨潮流场图（工程前大潮涨急）

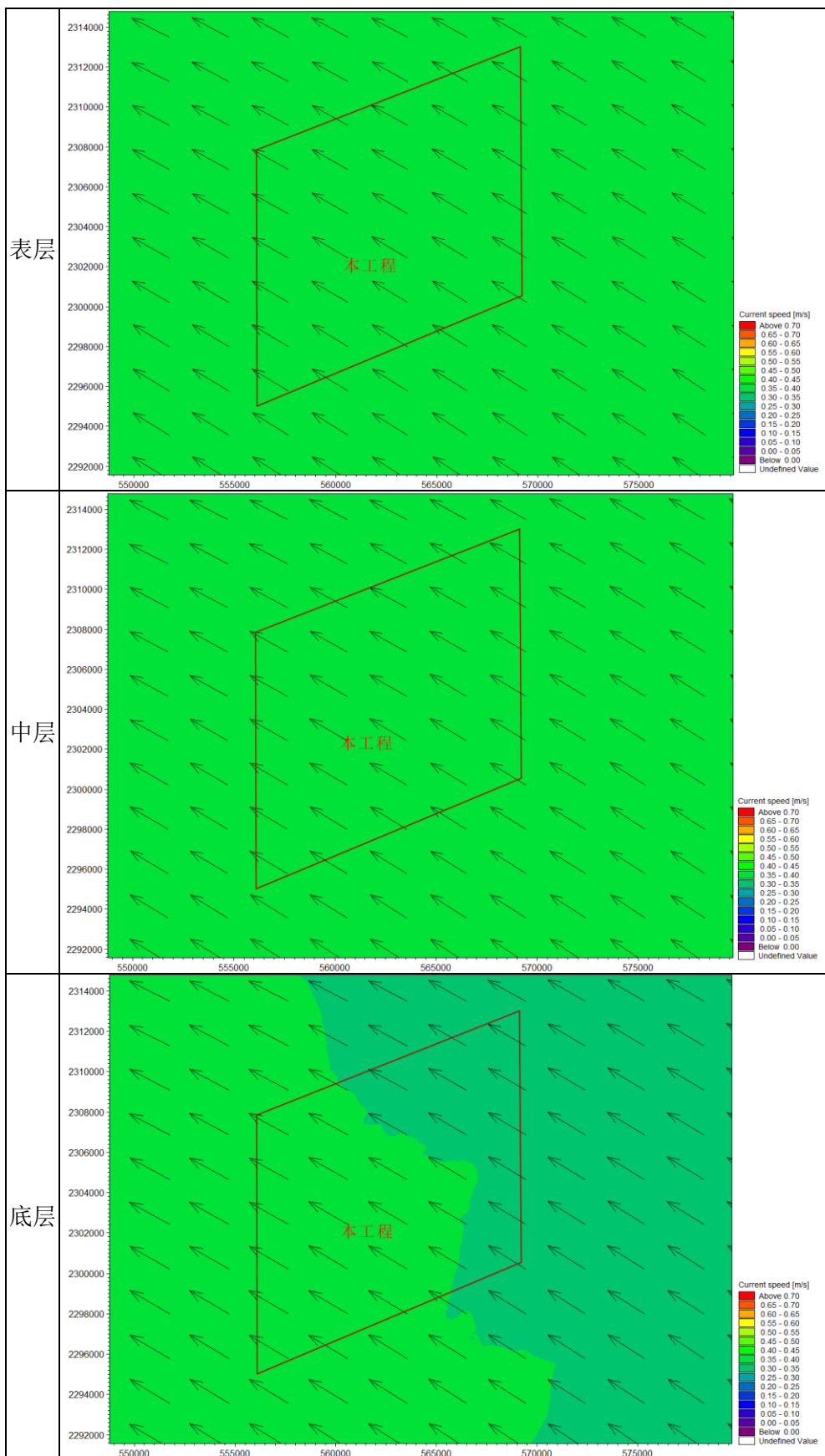


图 7.1-5 风电场区涨潮流场图（工程前大潮涨急）

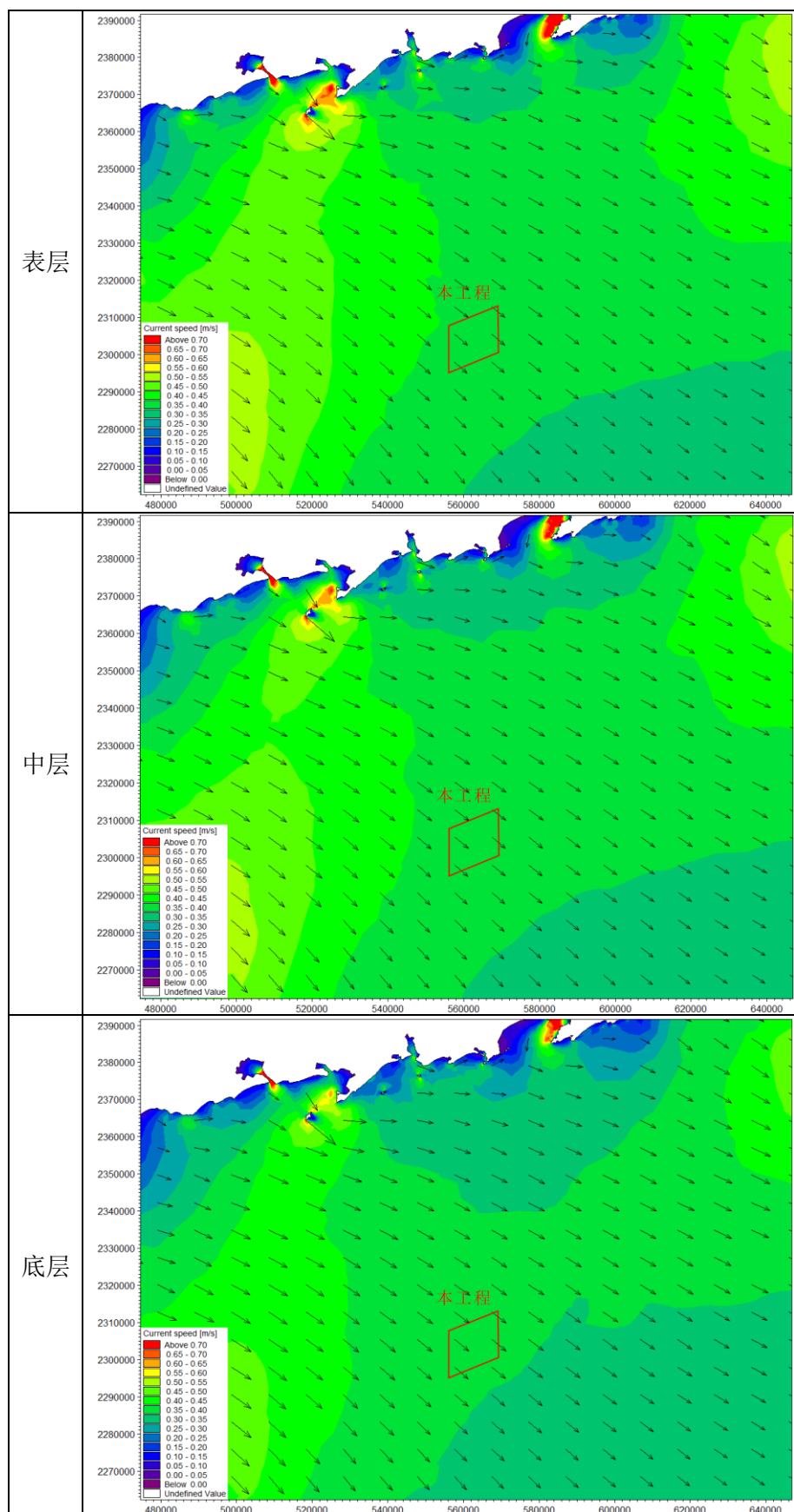


图 7.1-6 工程周边海域涨潮流场图（工程前大潮落急）

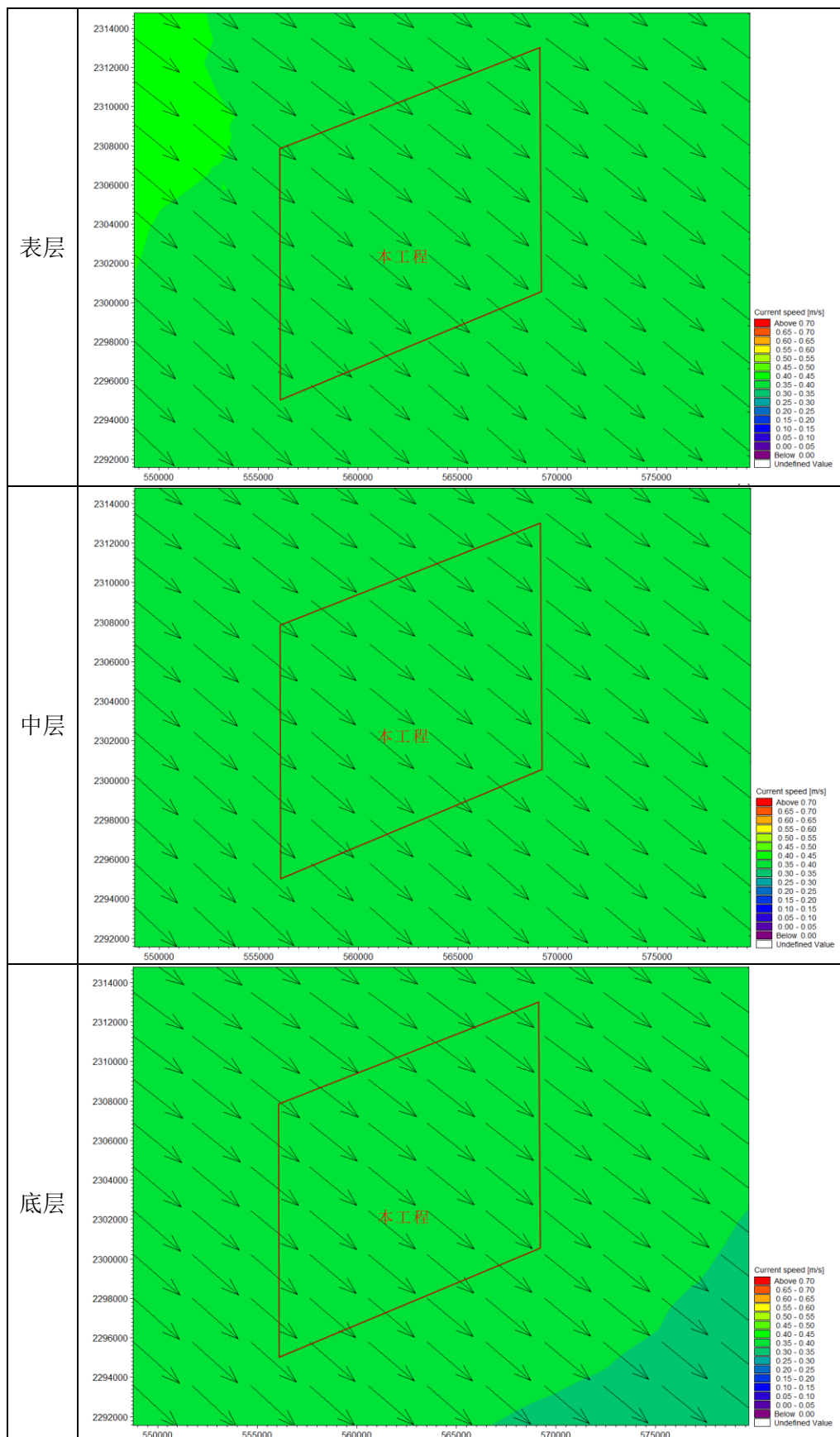


图 7.1-7 风电场区涨潮流场图（工程前大潮落急）

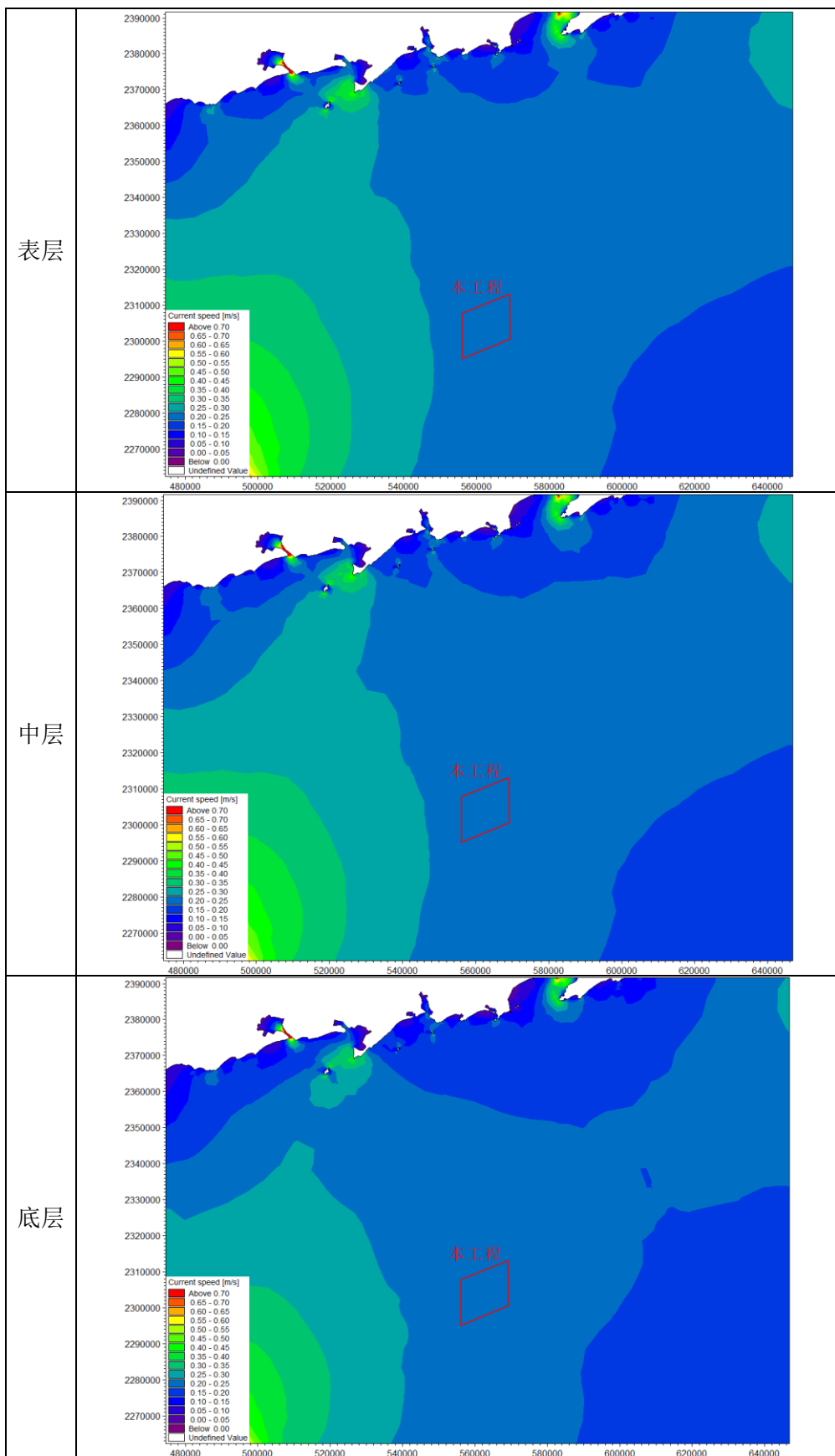


图 7.1-8 工程周边海域涨潮平均流速等值线图（工程前）

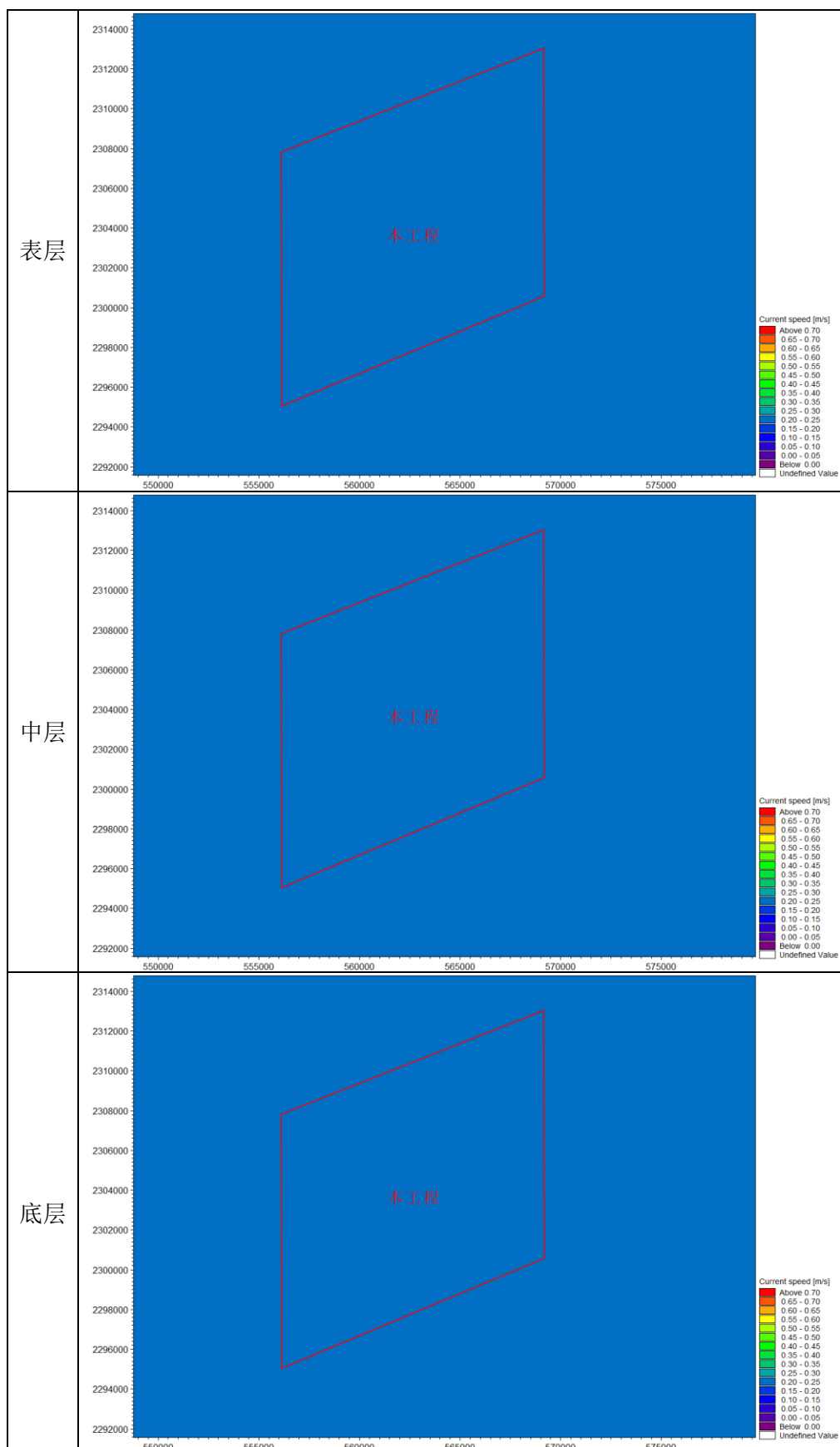


图 7.1-9 风电场区涨潮平均流速等值线图 (工程前)

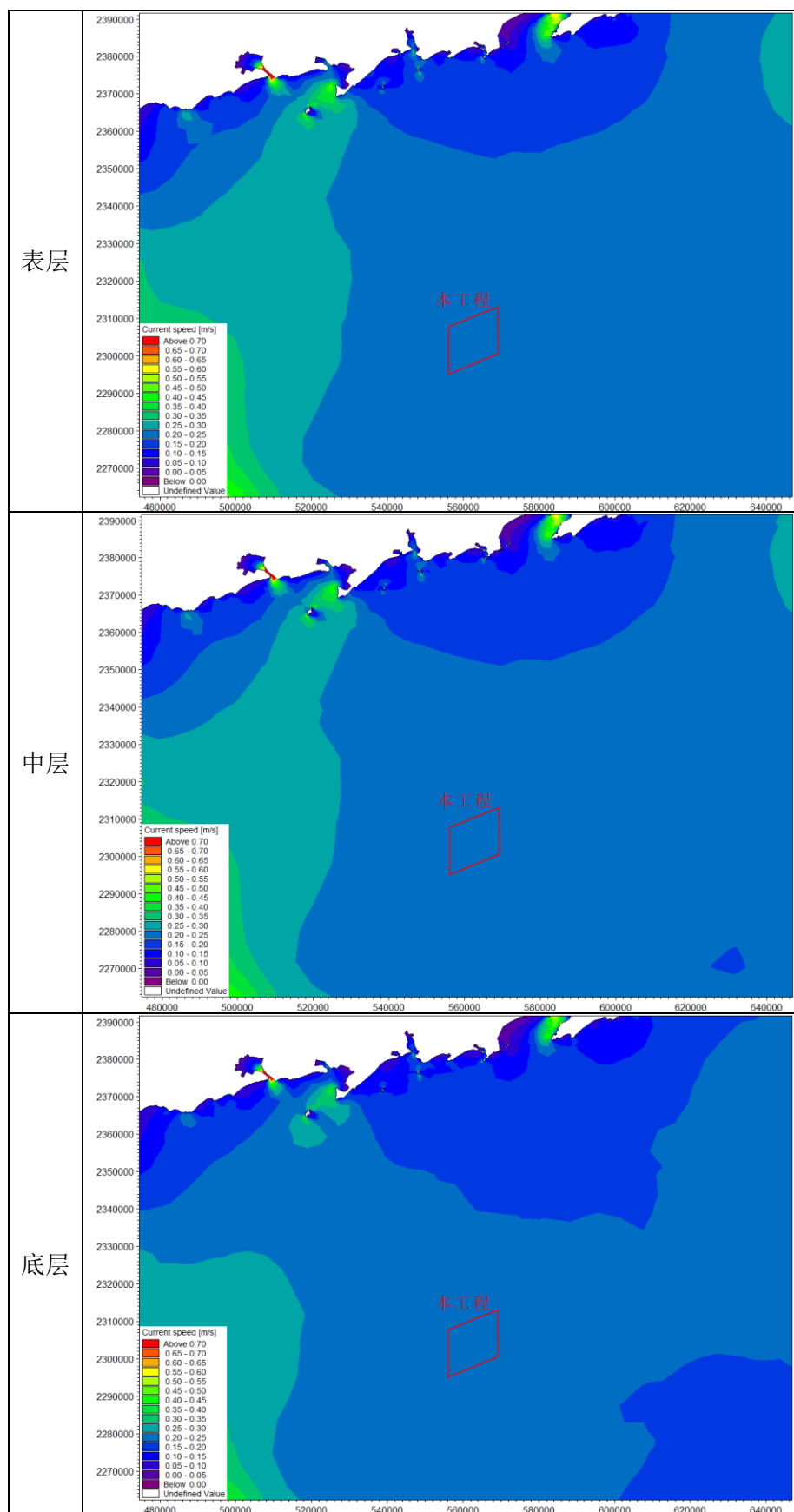


图 7.1-10 工程周边海域落潮平均流速等值线图（工程前）

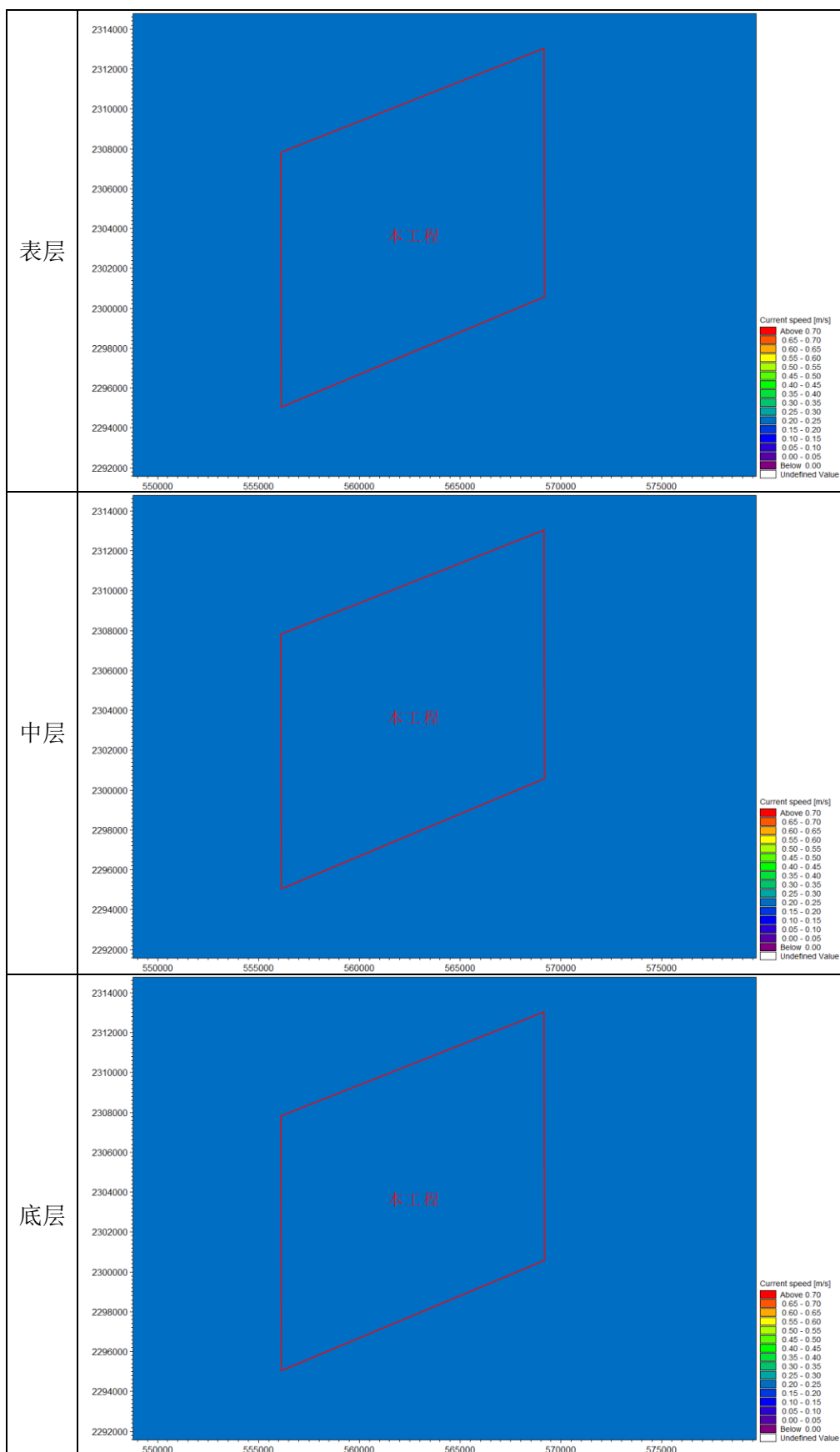


图 7.1-11 风电场区落潮平均流速等值线图（工程前）

7.1.4 工程后潮流场分析

本报告采用大潮工况计算风电场建设后的潮流场,并绘出工程实施后工程海域大潮涨、落急流场图,详见图 7.1-12~15,工程后涨、落潮平均流速等值线图见图 7.1-16~19。

从工程前后工程海域涨、落急流场图对比可以看出,风电场建设对工程海域大范围潮流场基本没有影响。从工程前后工程海域小范围涨、落急流场图可以看出,在风机基础周围流速略有变化,风电场区潮流场流速整体略有减小。

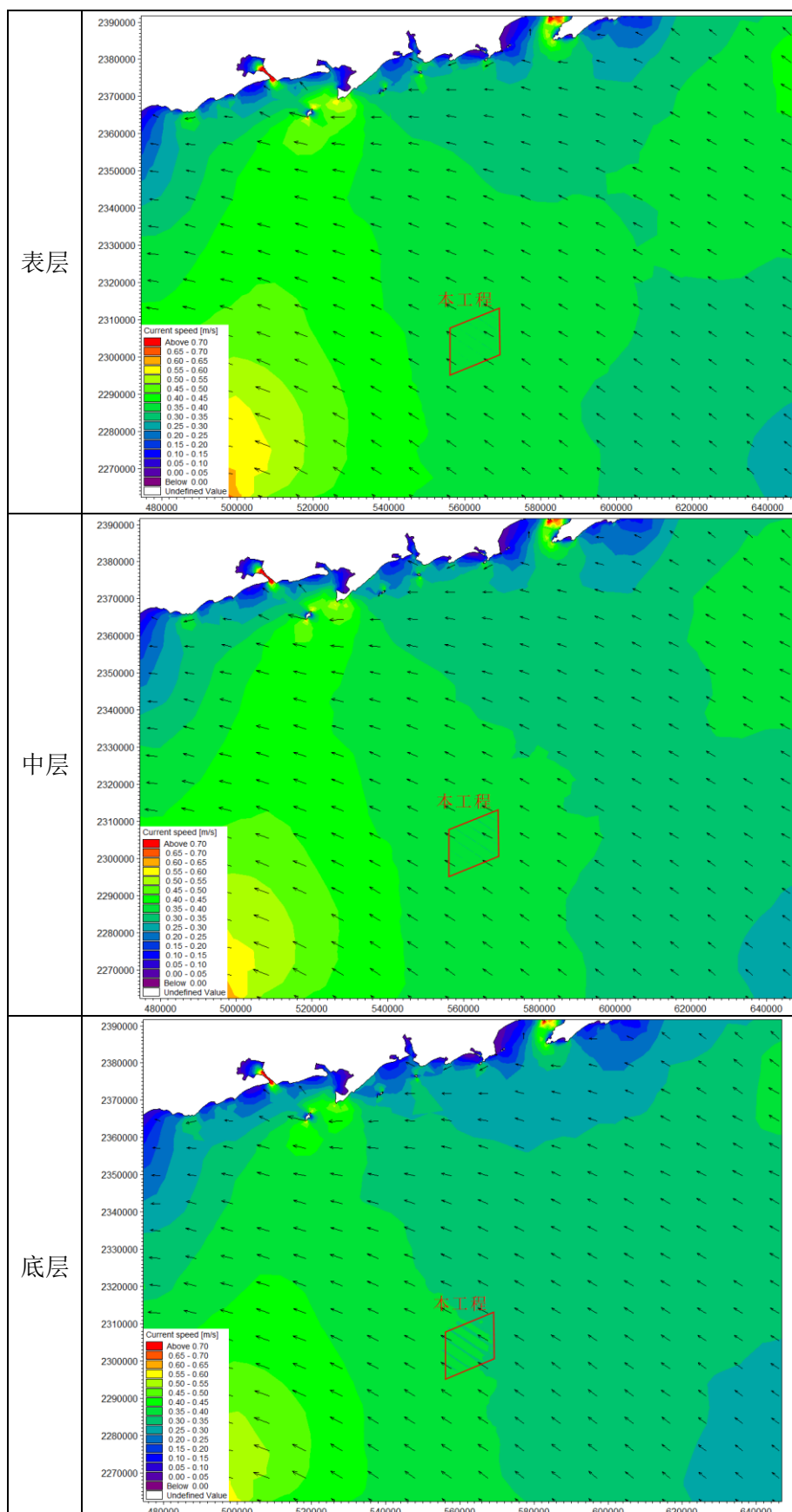


图 7.1-12 工程周边海域涨潮流场图（工程后大潮涨急）

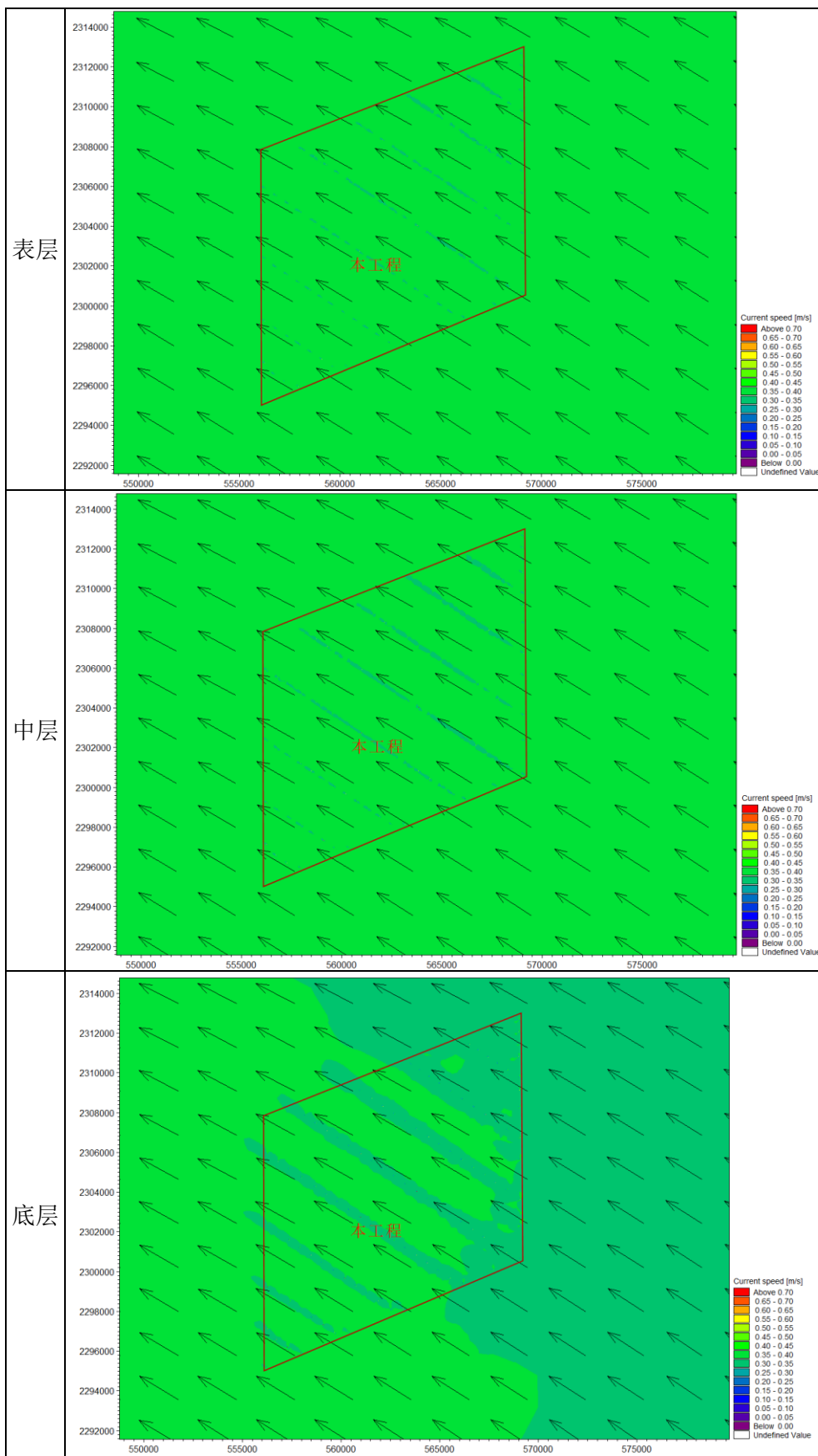


图 7.1-13 风电场区涨潮流场图（工程后大潮涨急）

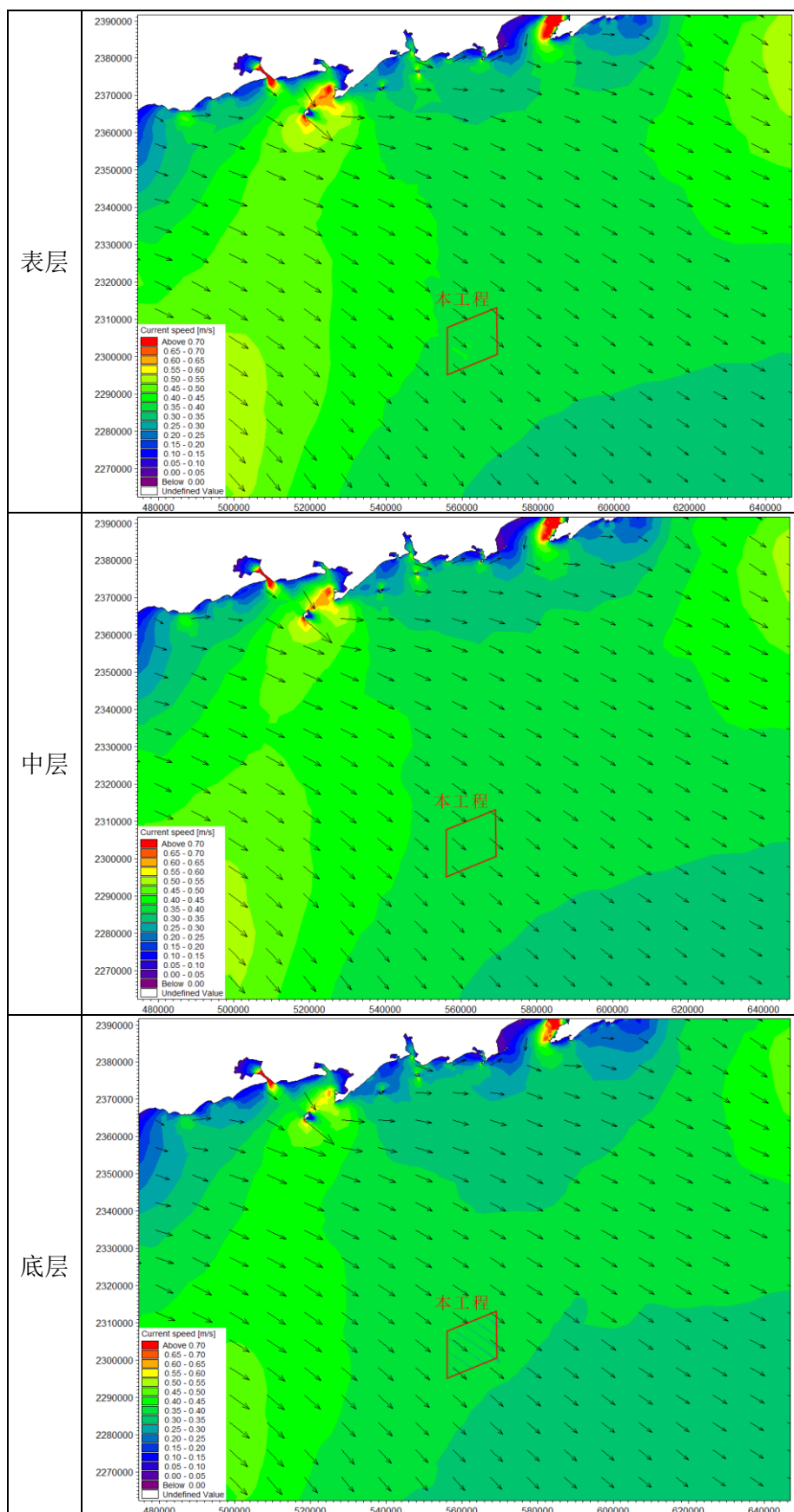


图 7.1-14 工程周边海域落潮流场图（工程后大潮落急）

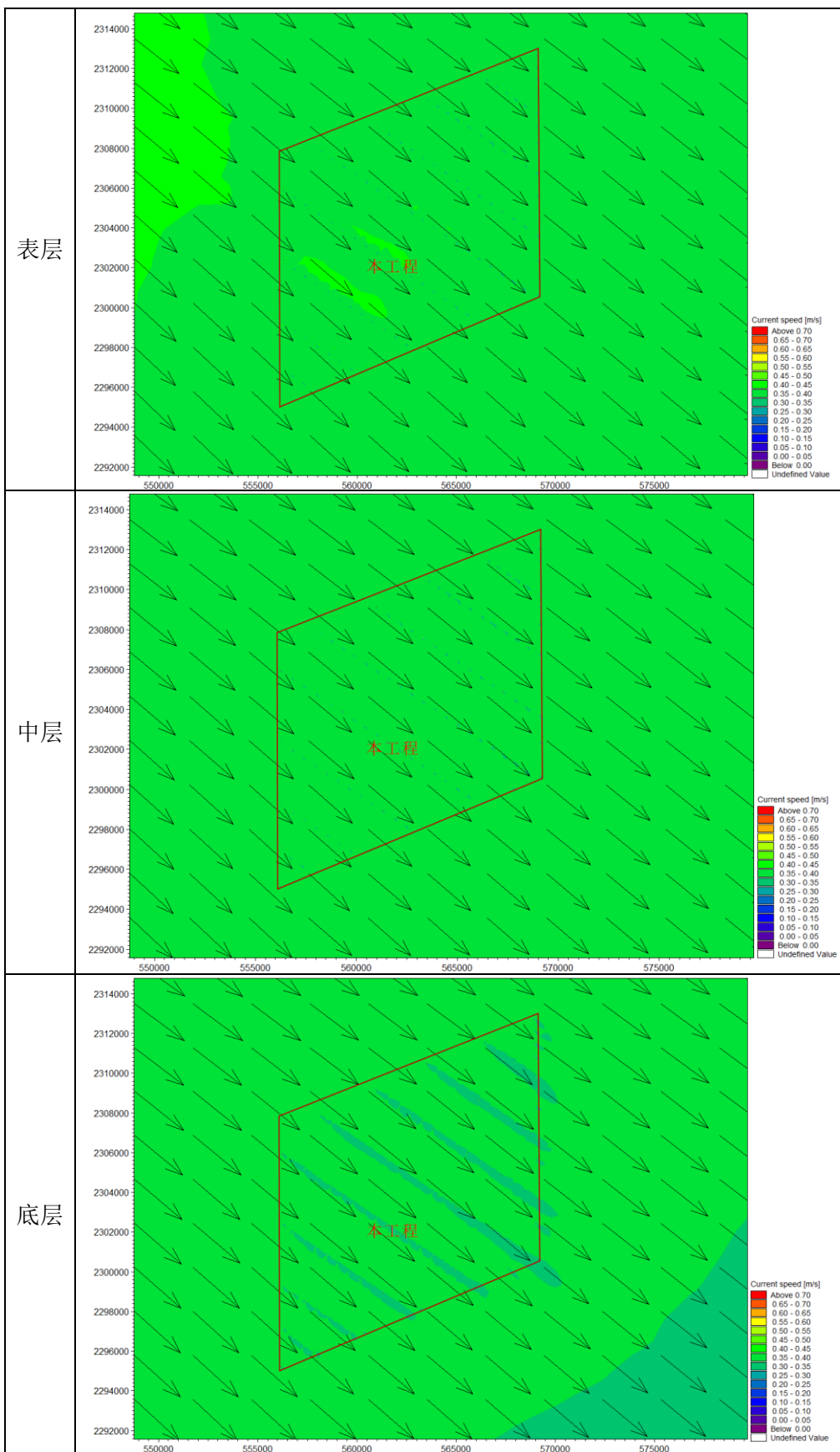


图 7.1-15 风电场区涨潮流场图（工程后大潮落急）

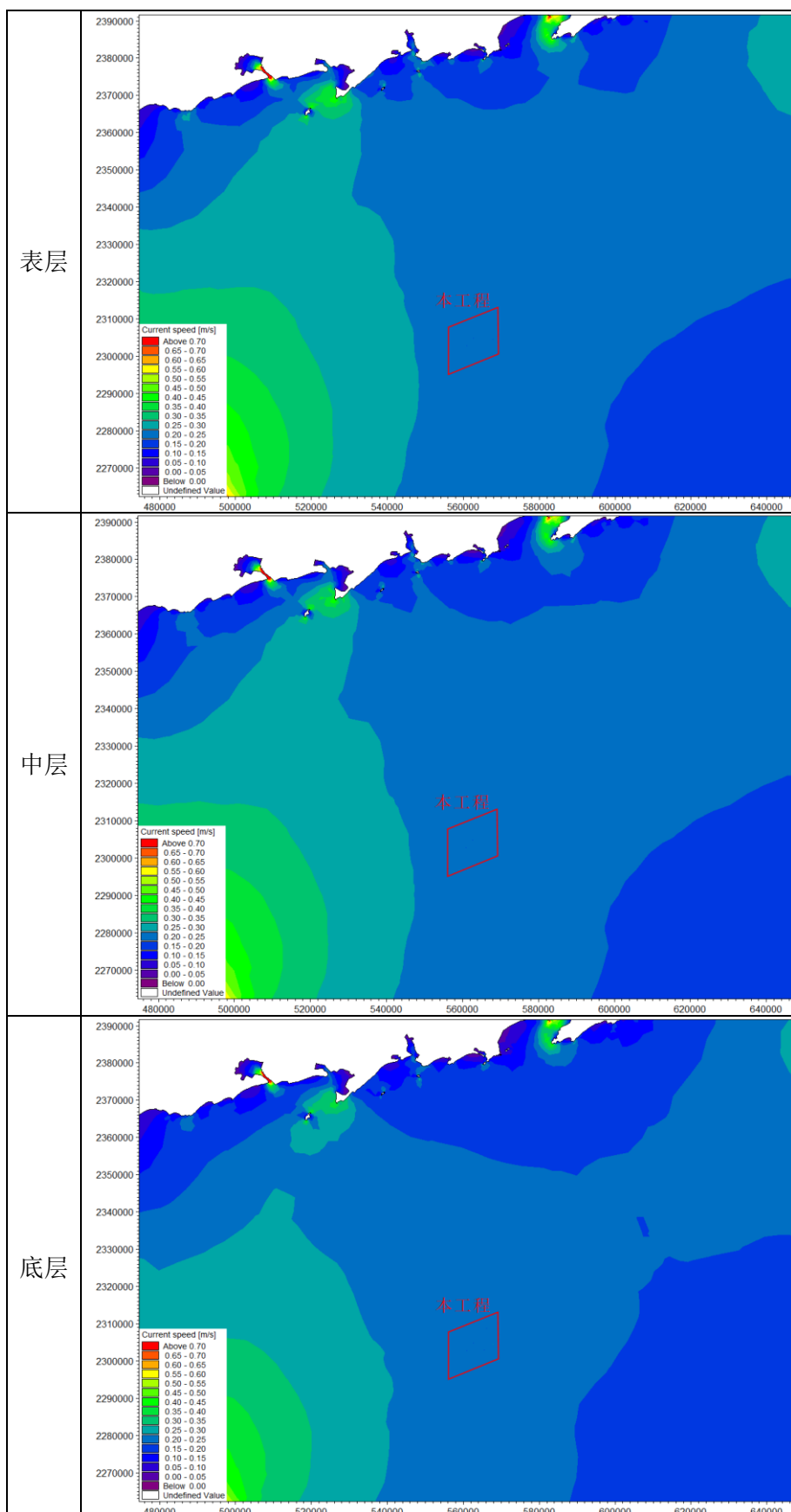


图 7.1-16 工程周边海域涨潮平均流速等值线图（工程后）

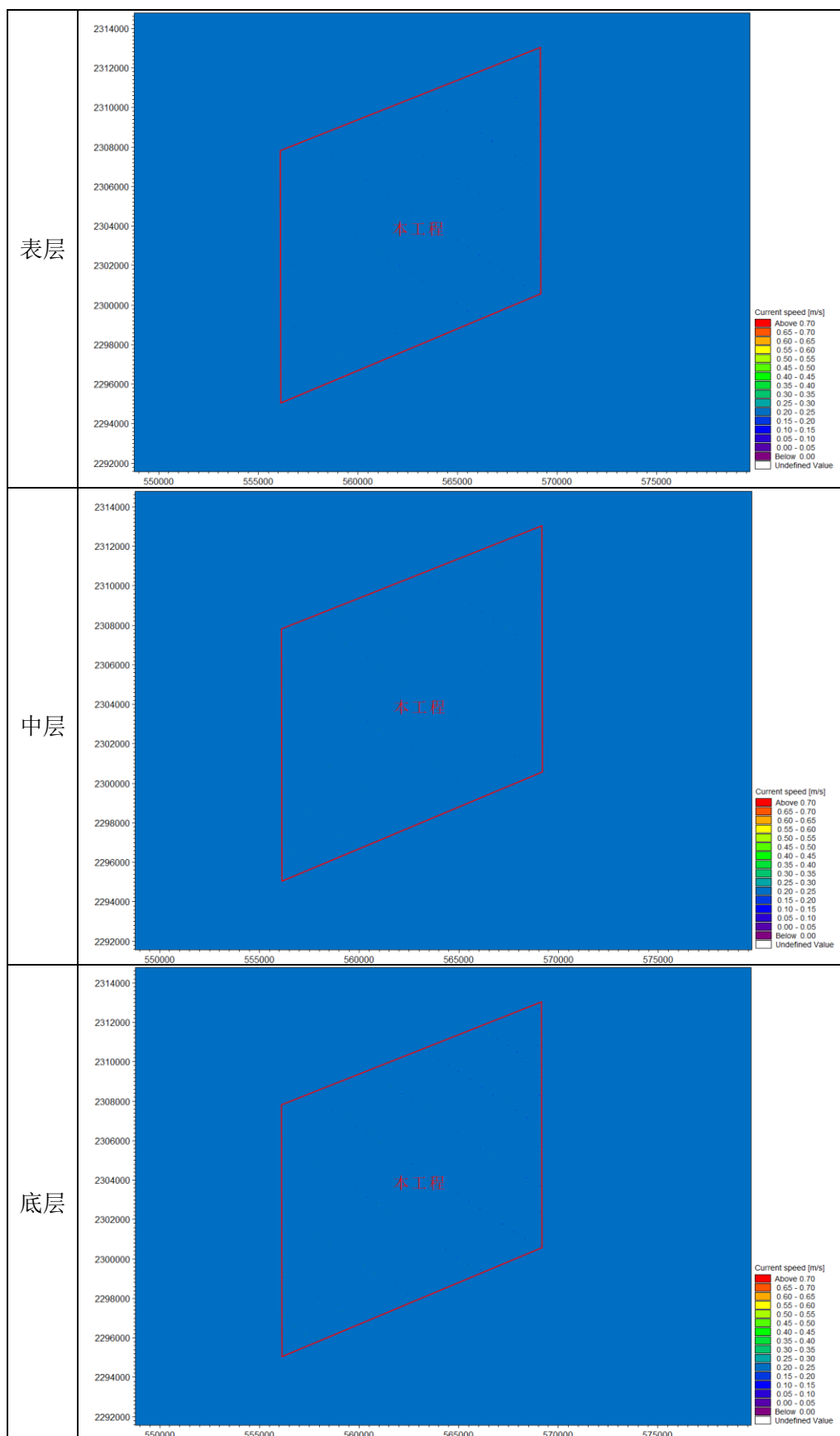


图 7.1-17 风电场区涨潮平均流速等值线图（工程后）

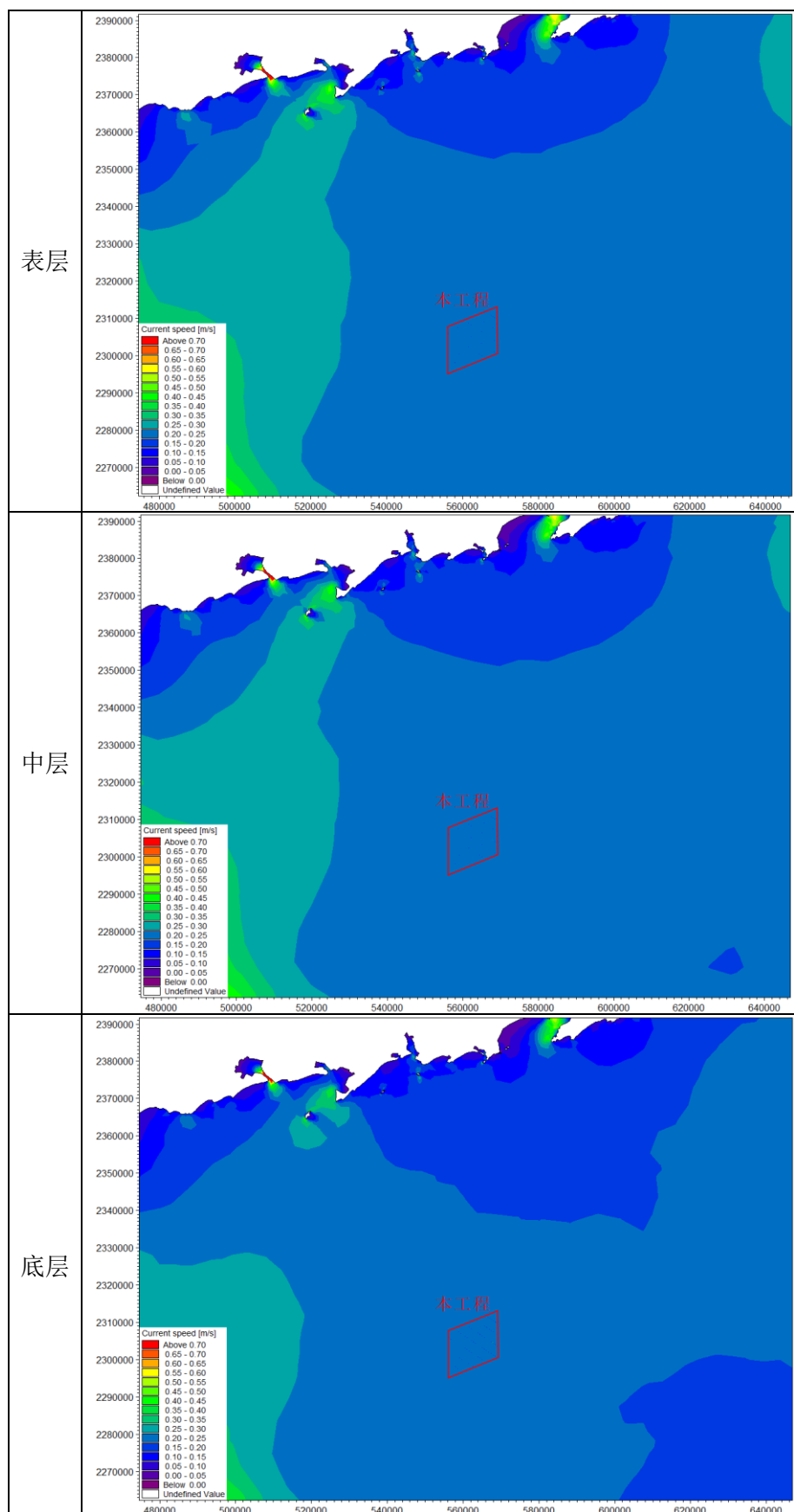


图 7.1-18 工程周边海域落潮平均流速等值线图（工程后）

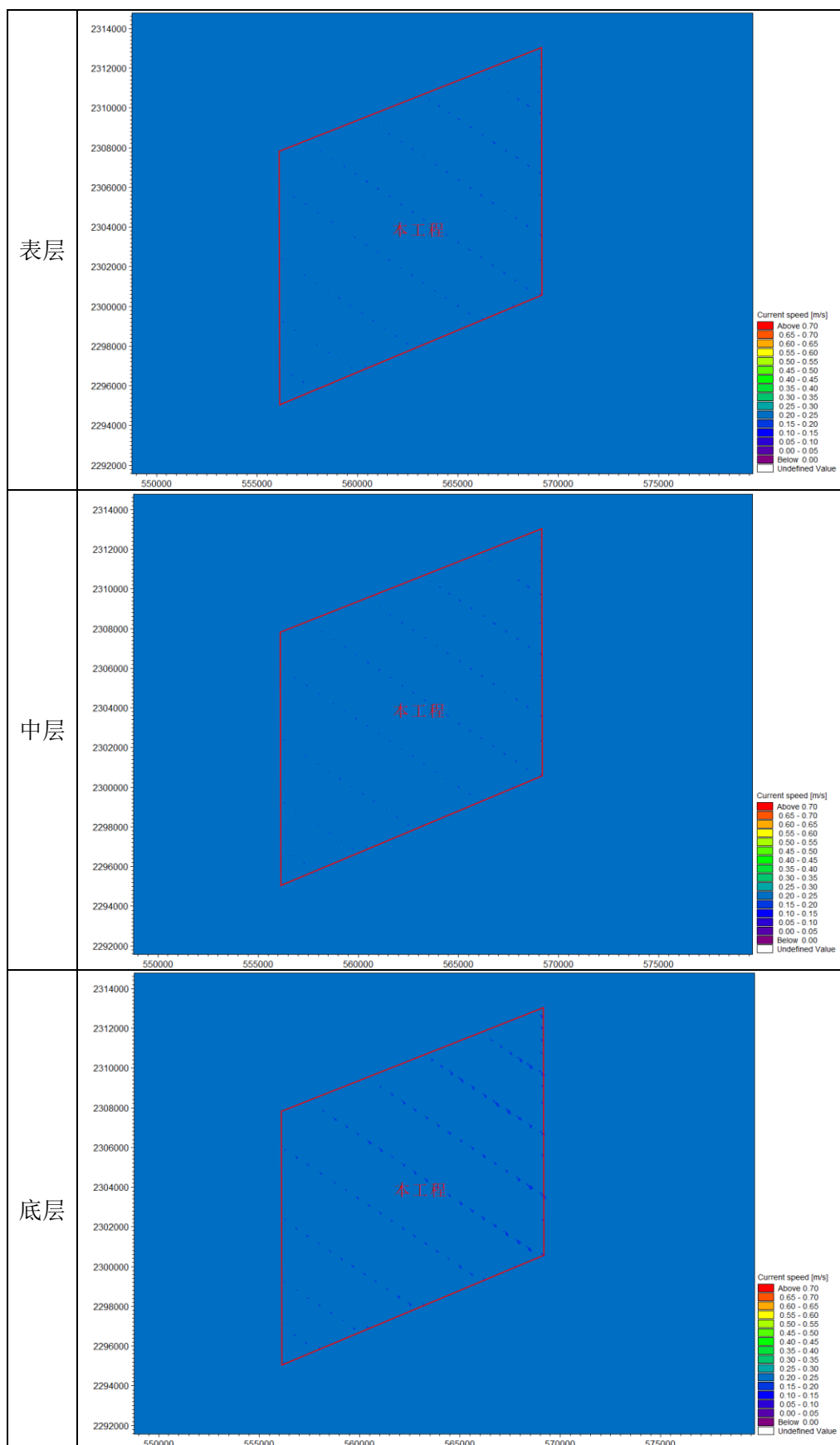


图 7.1-19 风电场区落潮平均流速等值线图（工程后）

7.1.5 工程建设对海域潮流动力的影响分析

为分析风电场工程前后对附近海域潮流场的影响，在风电场周围布置了一系列典型分析点（见图 7.1-20）以分析工程前后的潮位和流速变化情况，其中，T1~T20 号点主要用于分析风电场工程海域潮流流态的影响，D1~D12 号点主要用于分析风电场周边海域潮流流态的影响。

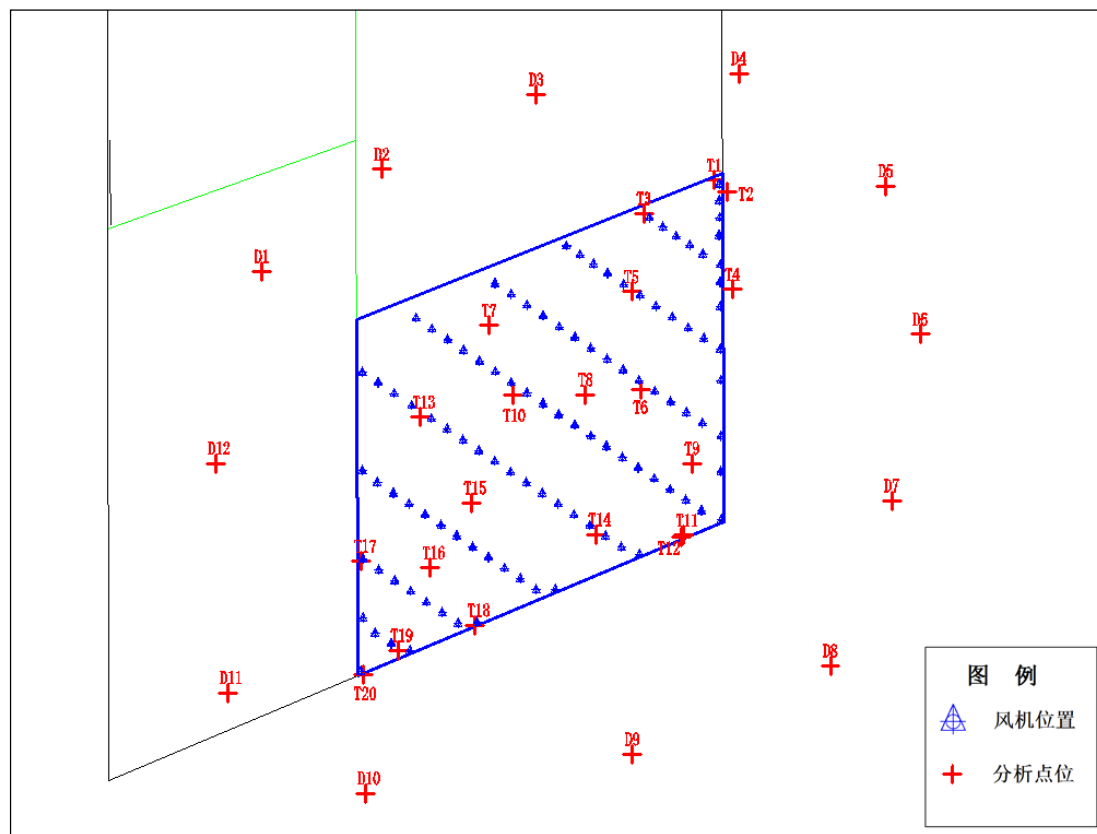


图 7.1-20 潮流典型分析点位图

7.1.5.1 对海域潮汐特征的影响

根据模型统计结果，工程前后各典型分析点位的潮位对比详见表 7.1-1。由表可以看出：风电场工程实施后，工程区附近及周边海域高低潮位潮差变化幅度均不超过 1mm，可认为风电场工程对工程附近海域及周边海域潮位影响很小。

7.1.5.2 对海域潮流动力的影响

为了更直观的反映风电场建设对工程海域潮流动力的影响，图 7.1-21 和图 7.1-22 给出了工程前后流速差值线图，表 7.1-2~表 7.1-13 比较了各典型代表点工程前后的大潮涨落潮平均流速的变化，其中，流速变率被定义为：

$$\text{变率} = \frac{(\text{工程后流速} - \text{工程前流速})}{\text{工程前流速}} \times 100\%$$

表 7.1-1 工程前后工程区附近及周边海域大潮高、低潮位比较

点号	高潮位 (m)			低潮位(m)			潮差(m)		
	现状	工程后	差值	现状	工程后	差值	现状	工程后	差值
T1	1.526	1.526	0.000	-1.492	-1.492	0.000	3.018	3.018	0.000
T2	1.522	1.522	0.000	-1.488	-1.488	0.000	3.010	3.010	0.000
T3	1.532	1.531	0.000	-1.494	-1.494	0.000	3.025	3.025	0.000
T4	1.510	1.510	0.000	-1.474	-1.474	0.000	2.984	2.984	0.000
T5	1.523	1.523	0.000	-1.483	-1.483	0.000	3.006	3.006	0.000
T6	1.509	1.508	0.000	-1.468	-1.468	0.000	2.977	2.977	0.000
T7	1.538	1.538	0.000	-1.492	-1.492	0.000	3.030	3.030	0.000
T8	1.516	1.516	0.000	-1.473	-1.473	0.000	2.989	2.989	0.000
T9	1.493	1.492	0.000	-1.453	-1.453	0.000	2.946	2.946	0.000
T10	1.526	1.525	0.000	-1.479	-1.480	0.000	3.005	3.005	0.000
T11	1.484	1.484	0.000	-1.443	-1.444	0.000	2.927	2.928	0.000
T12	1.484	1.484	0.000	-1.443	-1.443	0.000	2.927	2.927	0.000
T13	1.536	1.536	0.000	-1.485	-1.485	0.000	3.021	3.021	0.000
T14	1.496	1.495	0.000	-1.451	-1.452	0.000	2.947	2.947	0.000
T15	1.517	1.517	0.000	-1.468	-1.468	0.000	2.985	2.985	0.000
T16	1.513	1.513	0.000	-1.461	-1.461	0.000	2.974	2.974	0.000
T17	1.524	1.523	0.000	-1.469	-1.469	0.000	2.992	2.992	0.000
T18	1.499	1.499	0.000	-1.449	-1.449	0.000	2.948	2.948	0.000
T19	1.506	1.506	0.000	-1.452	-1.452	0.000	2.958	2.958	0.000
T20	1.507	1.507	0.000	-1.451	-1.451	0.000	2.958	2.958	0.000
D1	1.580	1.580	0.000	-1.524	-1.524	0.000	3.104	3.104	0.000
D2	1.578	1.578	0.000	-1.529	-1.529	0.000	3.107	3.107	0.000
D3	1.561	1.561	0.000	-1.520	-1.520	0.000	3.081	3.081	0.000
D4	1.537	1.537	0.000	-1.505	-1.505	0.000	3.042	3.041	0.000
D5	1.504	1.504	0.000	-1.475	-1.475	0.000	2.979	2.979	0.000
D6	1.478	1.477	0.000	-1.448	-1.448	0.000	2.926	2.925	0.000
D7	1.463	1.463	0.000	-1.431	-1.431	0.000	2.894	2.894	0.000
D8	1.448	1.448	0.000	-1.412	-1.412	0.000	2.859	2.859	0.000
D9	1.463	1.463	0.000	-1.418	-1.419	0.000	2.881	2.881	0.000
D10	1.487	1.487	0.000	-1.431	-1.431	0.000	2.918	2.918	0.000
D11	1.525	1.525	0.000	-1.462	-1.462	0.000	2.987	2.987	0.000
D12	1.556	1.556	0.000	-1.496	-1.496	0.000	3.052	3.052	0.000

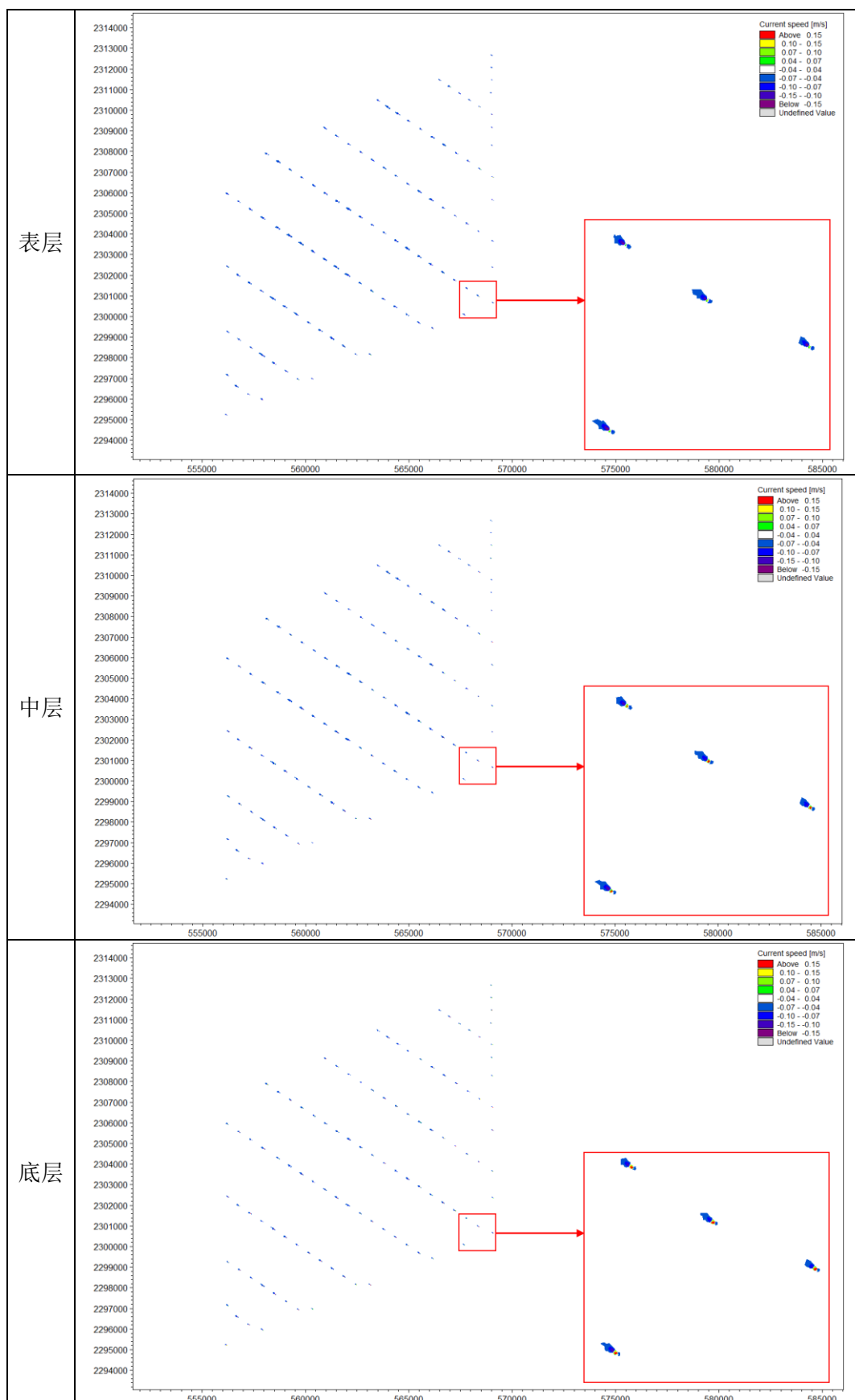


图 7.1-21 工程前后涨急流速差值线图

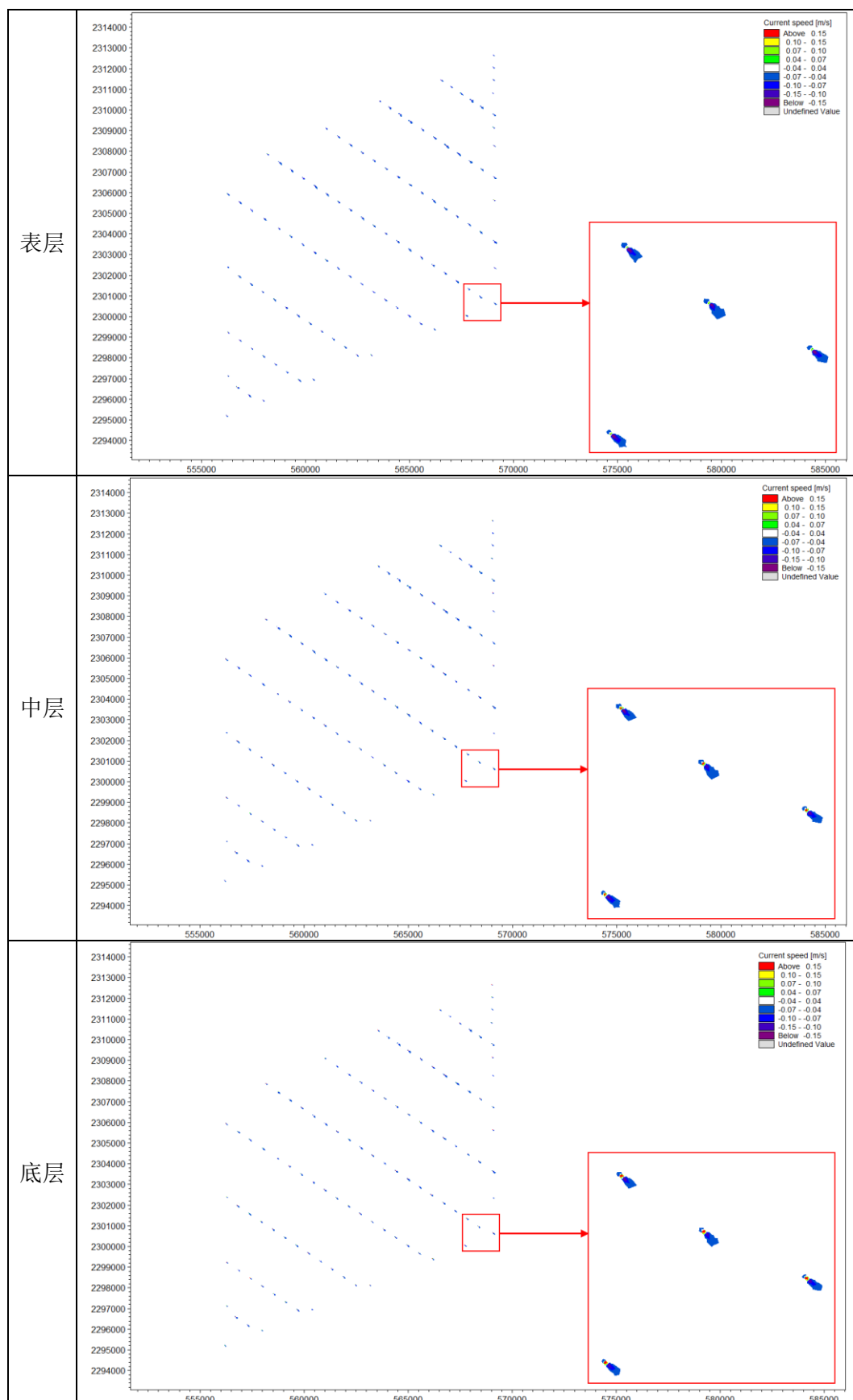


图 7.1-22 工程前后落急流速差值线图

表 7.1-2 大范围海域大潮涨急流速变化（表层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.385	298	0.384	298	-0.001	-0.1%	0
D2	0.381	298	0.381	298	0.000	-0.1%	0
D3	0.372	298	0.372	298	0.000	0.0%	0
D4	0.364	299	0.365	299	0.001	0.2%	0
D5	0.368	301	0.368	301	0.001	0.2%	0
D6	0.371	302	0.371	302	0.001	0.1%	0
D7	0.372	302	0.372	302	0.000	0.0%	0
D8	0.373	303	0.373	303	0.000	-0.1%	0
D9	0.376	303	0.376	303	-0.001	-0.2%	0
D10	0.390	302	0.390	302	0.000	0.0%	0
D11	0.394	301	0.394	301	0.001	0.2%	0
D12	0.390	299	0.389	299	0.000	-0.1%	0

表 7.1-3 大范围海域大潮涨急流速变化（中层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.377	298	0.377	298	-0.001	-0.1%	0
D2	0.373	298	0.373	298	0.000	-0.1%	0
D3	0.365	298	0.365	298	0.000	0.0%	0
D4	0.357	299	0.358	299	0.001	0.2%	0
D5	0.361	301	0.361	301	0.001	0.2%	0
D6	0.364	302	0.365	302	0.000	0.1%	0
D7	0.366	302	0.366	302	0.000	0.0%	0
D8	0.368	303	0.367	303	0.000	-0.1%	0
D9	0.371	303	0.370	303	-0.001	-0.2%	0
D10	0.384	302	0.384	302	0.000	0.0%	0
D11	0.387	301	0.388	301	0.001	0.2%	0
D12	0.382	299	0.382	299	0.000	-0.1%	0

表 7.1-4 大范围海域大潮涨急流速变化（底层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.355	297	0.354	297	-0.001	-0.1%	0
D2	0.351	297	0.351	297	0.000	-0.1%	0
D3	0.343	298	0.343	298	0.000	0.0%	0
D4	0.336	298	0.337	298	0.001	0.2%	0
D5	0.340	300	0.340	300	0.001	0.2%	0
D6	0.344	302	0.344	302	0.000	0.1%	0
D7	0.346	302	0.347	302	0.000	0.0%	0
D8	0.348	302	0.348	302	0.000	-0.1%	0
D9	0.351	302	0.351	302	-0.001	-0.1%	0
D10	0.364	301	0.364	301	0.000	0.0%	0
D11	0.366	301	0.366	301	0.001	0.2%	0
D12	0.360	299	0.360	299	0.000	-0.1%	0

表 7.1-5 大范围海域大潮落急流速变化（表层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.403	130	0.403	130	0.000	0.0%	0
D2	0.396	128	0.395	128	0.000	-0.1%	0
D3	0.390	128	0.389	128	-0.001	-0.2%	0
D4	0.385	127	0.385	127	0.000	-0.1%	0
D5	0.384	128	0.385	128	0.000	0.1%	0
D6	0.386	129	0.386	129	0.000	0.0%	0
D7	0.380	129	0.380	129	0.000	-0.1%	0
D8	0.374	131	0.373	131	0.000	-0.1%	0
D9	0.374	133	0.374	133	0.000	0.1%	0
D10	0.383	134	0.384	134	0.001	0.2%	0
D11	0.394	134	0.395	134	0.001	0.2%	0
D12	0.396	132	0.397	132	0.001	0.4%	0

表 7.1-6 大范围海域大潮落急流速变化（中层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.395	129	0.395	129	0.000	0.0%	0
D2	0.388	128	0.388	128	0.000	-0.1%	0
D3	0.382	127	0.382	127	-0.001	-0.2%	0
D4	0.378	127	0.378	127	0.000	-0.1%	0
D5	0.378	128	0.379	128	0.000	0.1%	0
D6	0.380	129	0.380	129	0.000	0.0%	0
D7	0.375	129	0.375	129	0.000	-0.1%	0
D8	0.369	130	0.369	130	0.000	-0.1%	0
D9	0.370	132	0.370	132	0.000	0.1%	0
D10	0.378	134	0.379	134	0.001	0.2%	0
D11	0.388	134	0.389	134	0.001	0.2%	0
D12	0.389	131	0.390	131	0.001	0.3%	0

表 7.1-7 大范围海域大潮落急流速变化（底层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.371	129	0.371	129	0.000	0.0%	0
D2	0.365	127	0.364	127	0.000	-0.1%	0
D3	0.360	127	0.359	127	-0.001	-0.2%	0
D4	0.356	126	0.356	126	0.000	-0.1%	0
D5	0.356	127	0.357	127	0.000	0.1%	0
D6	0.359	128	0.359	128	0.000	0.0%	0
D7	0.355	129	0.355	129	0.000	-0.1%	0
D8	0.351	130	0.350	130	0.000	-0.1%	0
D9	0.351	132	0.351	132	0.000	0.0%	0
D10	0.359	133	0.360	133	0.001	0.2%	0
D11	0.366	133	0.367	133	0.001	0.2%	0
D12	0.366	130	0.367	130	0.001	0.3%	0

表 7.1-8 工程区附近海域大潮涨急流速变化（表层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
T1	0.370	300	0.363	299	-0.007	-1.8%	-1
T2	0.370	300	0.375	301	0.006	1.5%	1
T3	0.372	300	0.351	299	-0.020	-5.5%	-1
T4	0.371	301	0.373	301	0.001	0.3%	0
T5	0.374	300	0.343	299	-0.032	-8.4%	-1
T6	0.379	301	0.377	301	-0.002	-0.5%	0
T7	0.379	300	0.385	300	0.006	1.6%	0
T8	0.378	301	0.383	301	0.005	1.3%	0
T9	0.374	302	0.375	302	0.001	0.4%	0
T10	0.381	300	0.381	300	-0.001	-0.2%	0
T11	0.374	302	0.372	306	-0.002	-0.6%	4
T12	0.374	302	0.374	300	-0.001	-0.2%	-2
T13	0.384	300	0.367	300	-0.017	-4.5%	0
T14	0.379	302	0.356	303	-0.023	-6.0%	1
T15	0.386	301	0.391	301	0.006	1.5%	0
T16	0.387	301	0.392	301	0.005	1.2%	0
T17	0.388	301	0.375	299	-0.014	-3.6%	-2
T18	0.385	301	0.386	301	0.001	0.2%	0
T19	0.388	301	0.379	302	-0.009	-2.4%	1
T20	0.389	302	0.383	301	-0.006	-1.6%	-1

表 7.1-9 工程区附近海域大潮涨急流速变化（中层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
T1	0.363	300	0.356	299	-0.006	-1.7%	-1
T2	0.363	300	0.368	300	0.006	1.5%	0
T3	0.365	300	0.346	299	-0.019	-5.3%	-1
T4	0.365	301	0.366	301	0.001	0.3%	0
T5	0.368	300	0.338	299	-0.030	-8.1%	-1
T6	0.372	301	0.370	301	-0.002	-0.5%	0
T7	0.372	300	0.378	299	0.006	1.5%	-1
T8	0.372	301	0.376	301	0.005	1.2%	0
T9	0.368	302	0.369	302	0.001	0.4%	0
T10	0.374	300	0.374	300	0.000	-0.1%	0
T11	0.368	302	0.367	305	-0.001	-0.4%	3
T12	0.368	302	0.368	300	-0.001	-0.2%	-2
T13	0.377	300	0.361	299	-0.017	-4.4%	-1
T14	0.373	301	0.351	302	-0.022	-5.8%	1
T15	0.379	301	0.385	301	0.006	1.5%	0
T16	0.381	301	0.385	301	0.004	1.2%	0
T17	0.382	301	0.368	299	-0.013	-3.5%	-2
T18	0.379	301	0.380	301	0.001	0.2%	0
T19	0.382	301	0.373	301	-0.009	-2.3%	0
T20	0.383	301	0.377	301	-0.006	-1.5%	0

表 7.1-10 工程区附近海域大潮涨急流速变化（底层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
T1	0.342	299	0.336	298	-0.006	-1.7%	-1
T2	0.342	299	0.347	300	0.005	1.5%	1
T3	0.344	299	0.326	299	-0.018	-5.1%	0
T4	0.344	300	0.345	301	0.001	0.3%	1
T5	0.347	300	0.319	299	-0.028	-8.0%	-1
T6	0.351	301	0.349	300	-0.002	-0.5%	-1
T7	0.350	299	0.356	299	0.005	1.5%	0
T8	0.350	300	0.355	300	0.004	1.2%	0
T9	0.347	301	0.348	301	0.001	0.4%	0
T10	0.353	300	0.353	299	0.000	-0.1%	-1
T11	0.348	301	0.347	305	-0.001	-0.2%	4
T12	0.348	301	0.348	300	0.000	0.1%	-1
T13	0.356	299	0.340	299	-0.015	-4.3%	0
T14	0.353	301	0.332	302	-0.020	-5.7%	1
T15	0.357	300	0.363	300	0.005	1.5%	0
T16	0.360	300	0.364	301	0.004	1.2%	1
T17	0.360	300	0.348	299	-0.012	-3.2%	-1
T18	0.358	301	0.359	300	0.001	0.3%	-1
T19	0.361	301	0.352	301	-0.008	-2.3%	0
T20	0.362	301	0.356	301	-0.005	-1.5%	0

表 7.1-11 工程区附近海域大潮落急流速变化（表层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
T1	0.387	128	0.383	128	-0.005	-1.3%	0
T2	0.387	128	0.375	127	-0.012	-3.2%	-1
T3	0.387	128	0.381	129	-0.007	-1.8%	1
T4	0.386	129	0.367	128	-0.020	-5.1%	-1
T5	0.388	129	0.368	130	-0.021	-5.4%	1
T6	0.391	130	0.375	130	-0.016	-4.0%	0
T7	0.391	130	0.393	130	0.002	0.6%	0
T8	0.389	130	0.394	130	0.004	1.1%	0
T9	0.383	130	0.385	130	0.002	0.6%	0
T10	0.391	130	0.380	130	-0.011	-2.7%	0
T11	0.381	131	0.391	126	0.010	2.6%	-5
T12	0.381	131	0.409	133	0.028	7.4%	2
T13	0.392	131	0.370	131	-0.022	-5.6%	0
T14	0.386	131	0.363	131	-0.023	-6.0%	0
T15	0.392	131	0.399	131	0.007	1.8%	0
T16	0.391	132	0.395	132	0.003	0.9%	0
T17	0.393	132	0.400	134	0.008	2.0%	2
T18	0.386	132	0.403	132	0.016	4.2%	0
T19	0.387	133	0.353	133	-0.034	-8.8%	0
T20	0.388	133	0.362	134	-0.026	-6.8%	1

表 7.1-12 工程区附近海域大潮落急流速变化（中层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
T1	0.381	128	0.376	127	-0.005	-1.2%	-1
T2	0.381	128	0.369	127	-0.011	-3.0%	-1
T3	0.381	128	0.374	128	-0.006	-1.7%	0
T4	0.380	129	0.361	128	-0.018	-4.9%	-1
T5	0.382	129	0.362	130	-0.020	-5.2%	1
T6	0.384	130	0.370	129	-0.015	-3.8%	-1
T7	0.384	129	0.386	130	0.002	0.6%	1
T8	0.383	130	0.387	130	0.004	1.1%	0
T9	0.377	130	0.380	130	0.002	0.6%	0
T10	0.384	130	0.374	130	-0.010	-2.6%	0
T11	0.375	130	0.384	126	0.009	2.3%	-4
T12	0.375	130	0.402	132	0.027	7.2%	2
T13	0.385	130	0.364	131	-0.021	-5.4%	1
T14	0.380	131	0.358	131	-0.022	-5.8%	0
T15	0.385	131	0.392	131	0.007	1.8%	0
T16	0.385	132	0.389	131	0.003	0.9%	-1
T17	0.386	132	0.394	133	0.007	1.9%	1
T18	0.381	132	0.396	132	0.015	4.0%	0
T19	0.382	132	0.349	132	-0.033	-8.5%	0
T20	0.382	133	0.357	133	-0.025	-6.6%	0

表 7.1-13 工程区附近海域大潮落急流速变化（底层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
T1	0.359	127	0.355	127	-0.004	-1.1%	0
T2	0.359	127	0.348	126	-0.010	-2.9%	-1
T3	0.359	127	0.353	128	-0.006	-1.7%	1
T4	0.358	128	0.341	127	-0.017	-4.7%	-1
T5	0.360	128	0.341	129	-0.019	-5.2%	1
T6	0.363	129	0.350	129	-0.013	-3.6%	0
T7	0.362	129	0.364	129	0.002	0.6%	0
T8	0.361	129	0.365	129	0.004	1.1%	0
T9	0.356	129	0.359	129	0.002	0.6%	0
T10	0.362	129	0.354	129	-0.009	-2.4%	0
T11	0.355	130	0.364	125	0.009	2.5%	-5
T12	0.355	130	0.382	132	0.026	7.4%	2
T13	0.363	129	0.343	130	-0.020	-5.4%	1
T14	0.359	130	0.338	130	-0.021	-5.8%	0
T15	0.364	130	0.370	130	0.006	1.8%	0
T16	0.364	131	0.367	131	0.003	0.9%	0
T17	0.364	131	0.372	133	0.007	2.0%	2
T18	0.360	131	0.374	131	0.014	4.0%	0
T19	0.361	132	0.330	131	-0.030	-8.4%	-1
T20	0.361	132	0.337	132	-0.024	-6.6%	0

由以上图表分析可知：

(1) 从流速差值图可以看出，工程后在风机基础周围流速发生明显变化，表现在涨落急方向（风机迎水侧和背水侧）流速有所减小，而垂直于涨落急方向（风机基础两侧）流速有所增大。工程前后平均流速变化幅度在 0.01m/s 左右，风机桩基基础附近的最大流速变幅约为 0.033m/s，而风电场周边海域流速变化幅度约为 0.001m/s。

(2) 风电场建设对海域的潮流影响主要集中在工程区附近，离风电场工程区越远，潮流影响越小。工程区内流速以减小为主，风电场内涨潮时流速变率较大点为位于邻近风机桩基础的 T3、T5、T14 等，流速变率均达到 5% 以上，这些点位置较为靠近风机基础，因此变化幅度较大；风电场内落潮时流速变率较大点为位于邻近风机桩基础的 T12、T14、T19、T20 等，流速变幅在 6% 以上。工程区内流向变化较大点为 T11 和 T12，位于风机桩基基础附近，最大变化幅度为 5°。

(3) 风电场建设对周边海域的潮流影响很小。根据统计结果，风电场建成后，工程区周边的 D1~D12 点涨潮流速变率最大为 0.2%，流向变化幅度在 1° 以下；落潮流速变率最大为 0.4%，流向变化幅度在 1° 以下。

(4) 从垂向分布上看，工程海域流速表现为表层>中层>底层，但总体差距相对不大；同时，工程前后各层流速变化情况保持一致，变化幅度表现为表层>中层>底层。

(5) 总体上，风电场工程的建设对风电场周边海域潮流特性影响甚小，周边海域流速变幅基本在 0.4% 以内，流向变化不超过 1°；工程前后风电场内部的流速有所变化，并以流速减小为主，平均流速变幅在 0.01m/s 左右，潮流流向变化幅度基本在 5° 以下。

7.1.5.3 工程建设对海域周边敏感目标的影响

本工程评价范围内除了穿越场区的珠江口至琼州海峡北水道推荐航路、台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路，不涉及水动力敏感目标，工程建成后，上述 2 条航路将被阻断，后续将进行航路调整。同时，根据前述流场影响分析，工程对周边海域水动力影响较小，航路改道后，本工程不会对改道后的航路的水动力条件造成明显影响。

7.2 地形地貌与冲淤环境影响预测与评价

7.2.1 工程海域的冲淤变化影响分析

从潮流模型计算结果分析可知，本工程实施对流态的影响主要在工程风电场桩基内部区域以及风电场前沿的海域，而对离工程区较远的海域流态影响较小。因此，可初步分析认为工程区附近水域有一定的冲淤变化，距工程区较远处冲淤影响则较小。为进一步确定本工程对周围海域冲淤变化的影响，采用近岸海域海洋工程已有广泛应用的半经验半理论的回淤强度公式进行冲淤估算。该模式根据流场变化情况得出冲淤变化情况，对大范围内的冲淤变化情况计算较为合理，但对桩基础局部冲刷的情况不能完全反映，有一定的局限性。因此为进一步了解工程建设对风机桩基础附近局部地形的冲刷影响，本报告采用桥墩局部冲刷的计算公式进行补充预测分析。

7.2.1.1 冲淤计算公式

本评价采用曹祖德等人研究的淤积计算模式进行冲淤估算。该模式利用二维潮流数值计算模型得到工程前后流场分布变化，再应用淤积预报模型公式，计算得到各计算区域的淤积强度，曾在阳江港 5#-7#泊位工程等多处工程应用，效果较好。模型公式如下：

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

式中， ω 为泥沙沉速，冲淤变化主要位于风电场区，根据国家海洋局南海调查技术中心对工程范围内沉积物粒径的调查，风电场区中值粒径平均约为 0.015mm。参考《珠江口磨刀门泥沙絮凝特征》（邓智瑞、何青、杨清书等，海洋学报，2015 年 9 月），实验结果表明，絮凝团在大潮时，最大沉速为 0.12cm/s，大部分沉速小于 0.08cm/s，本报告泥沙沉速保守考虑取值为 0.05cm/s。

α 为沉降几率，取 0.67。S 为水体平均含沙量，t 为淤积历时， γ_d 为泥沙干容重， V_1 、 V_2 分别为工程实施前后计算流速。

经推导，可得

$$P = 0.5 \left[(H_1 + \beta t) - \sqrt{(H_1 - \beta t)^2 + 4\beta t H_1 K} \right]$$

式中，

$$\beta = \frac{\alpha \omega S}{\gamma_c}, \quad K = \frac{V_2}{V_1}$$

γ_d 按照公式 $\gamma_d = 1750D_{50}^{0.183}$ 计算， D_{50} 为泥沙中值粒径，取值 0.015mm。

S 选择《海港水文规范推荐的》刘家驹挟沙力公式：

$$S_{*1} = 0.0273\rho_s V^2 / (gh)$$

式中， ρ_s 为泥沙颗粒密度。采用 7.1 节水动力模型计算出的工程前后潮平均流速的变化对淤积进行估算。潮平均流速的计算采用算术平均法，即分别对大潮时段内的涨潮过程流速和落潮过程流速进行算术平均，得出涨潮平均流速和落潮平均流速，再取平均值得出潮平均流速。忽略工程前后含沙量的变化。

7.2.1.2 计算结果

根据 7.2.1.1 小节冲淤计算模式，采用全潮平均流速的变化对工程实施后的冲淤变化进行估算。计算得出风电场区域达到冲淤平衡的工程区附近海域海床年冲淤和平衡冲淤变化平面分布情况，分别见图 7.2-1 和 7.2-2。

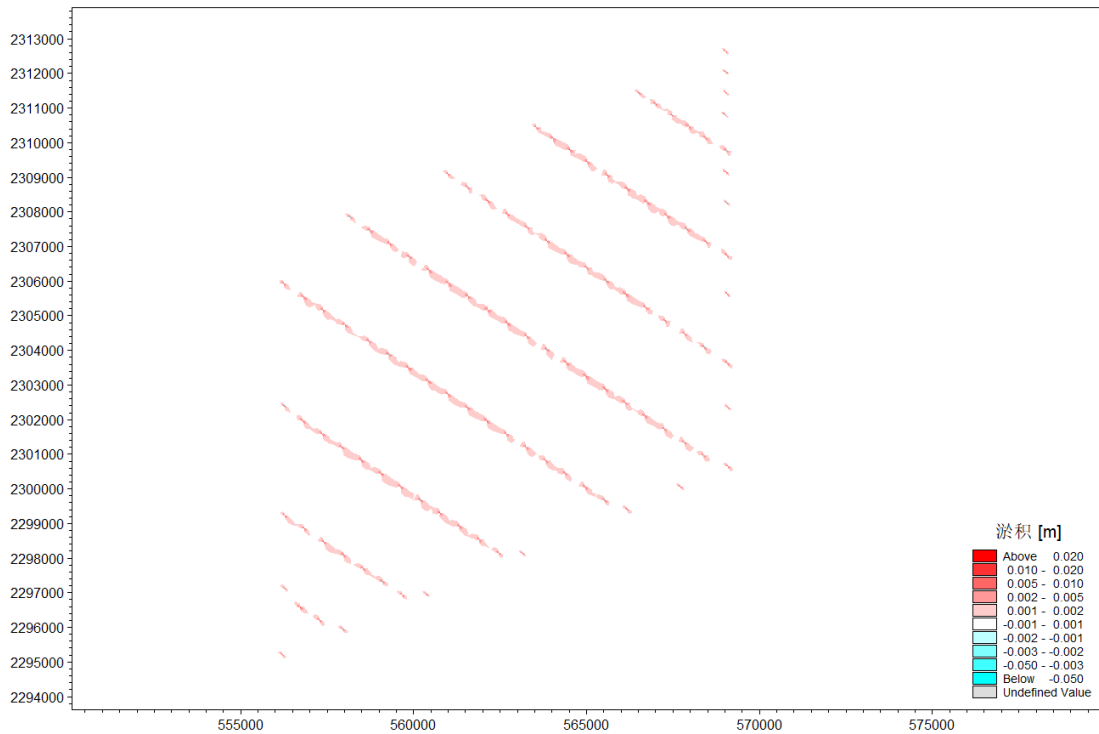
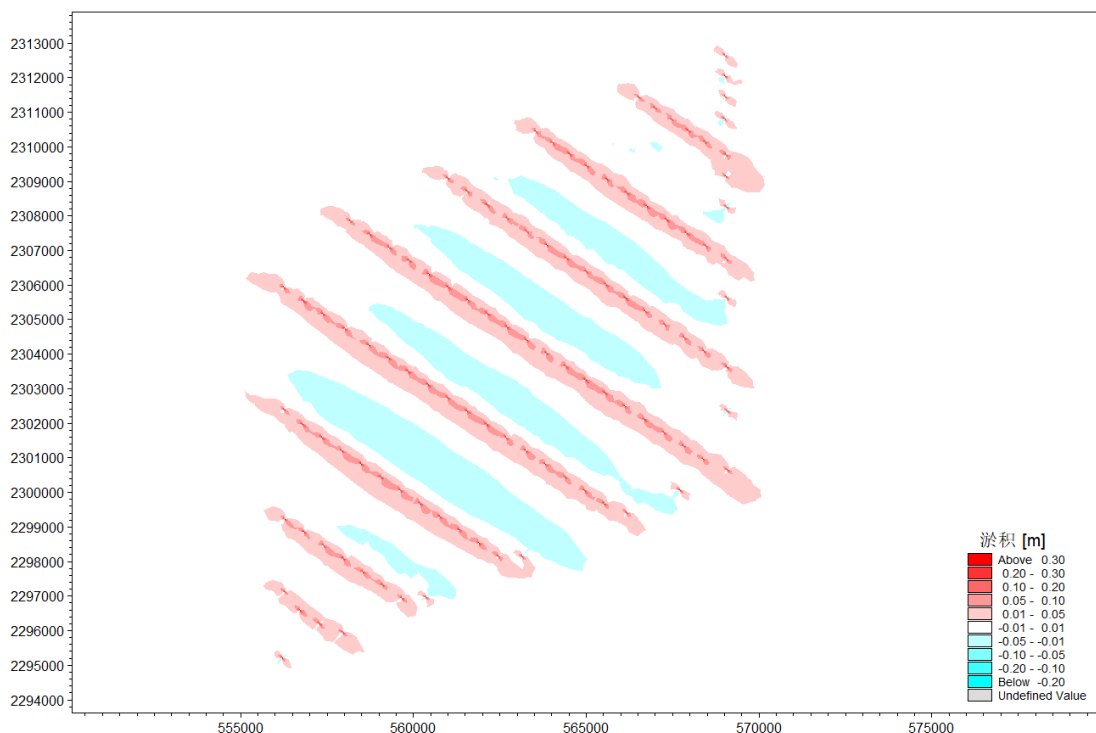


图 7.2-1 工程区附近海床年冲淤变化平面分布图



注：+为淤积、-为冲刷

图 7.2-2 工程区附近海床平衡冲淤变化平面分布图

由图 7.2-1 和图 7.2-2 可见，工程实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，同时风电场区域两侧发生冲刷，风机附近冲淤分布形态与往复流流态有关。最大淤积幅度为 0.1m/a，最大冲刷幅度为-0.03m/a。

根据上述计算模式和第一年冲淤变化情况结果，可计算出往后逐年的冲淤变化情况。随着冲淤过程的深入和地形向适应工程实施后动力环境方向的调整，其冲淤强度将逐年较小。冲淤平衡后，最大平衡淤积幅度在 0.5m 左右，发生在风机桩基础附近，其他风机附近最大淤积幅度在 0.2m~0.4m 之间。风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）最大平衡冲刷幅度在-0.2m 左右。风电场周围 2km 以外冲淤变化幅度均在 0.01m 以下。

7.2.2 风机桩基础附近局部冲刷影响分析

风电场塔基建成后，破坏了原来的水流平衡，来流在墩柱周围形成马蹄形漩涡区，不断地进行横向、竖向和前后摆动，剧烈淘刷墩柱迎水面和周围泥沙，形成局部冲刷坑。为进一步了解工程建设对风机桩基础附近局部地形的冲刷影响，本报告采用桥墩局部冲刷的计算公式进行预测分析。

7.2.2.1 局部冲刷公式

《公路工程水文勘测设计规范》中推荐的桥墩局部冲刷形式简单, 结构合理, 经过简单修改, 该公式在河口、海湾桥墩局部冲刷计算中也取得了较好计算结果。本风电场工程区底质为粘土质粉沙, 对于粘性土, 采用《公路工程水文勘测设计规范》中推荐的公式:

$$\begin{aligned} \text{当 } \frac{h_p}{B_1} \geq 2.5 \text{ 时, } & h_b = 0.83K_\xi B_1^{0.6} I_L^{1.25} V \\ \text{当 } \frac{h_p}{B_1} < 2.5 \text{ 时, } & h_b = 0.55K_\xi B_1^{0.6} h_p^{0.1} I_L^{1.0} V \end{aligned}$$

式中: h_b —桥墩局部冲刷深度 (m);

K_ξ —墩形系数;

B_1 —桥墩计算宽度 (m);

h_p —一般冲刷后的最大水深 (m);

V —一般冲刷后墩前行近流速 (m/s);

I_L —冲刷坑范围内粘性土液性指数, 适用范围为 0.16~1.48。

引用的计算公式是针对恒定流的, 由于潮流的反相输沙作用, 将使冲刷坑有所减小, 在计算时需考虑潮流作用校正系数 K_T , 根据国内外研究成果, $K_T=0.8$ 。

7.2.2.2 参数选取

选取风电场内不同水深的 3 个代表点进行桩基局部冲刷预测, 计算参数见表 7.2-1。

表 7.2-1 桩基局部冲刷预测计算参数

环境参数	代表点位置		
	I #	II #	III #
水深(m)设计高水位下	48	50	52
场区潮流最大流速 (m/s)	0.7	0.7	0.7
桩径 (m)	3.0	3.2	3.2

7.2.2.3 预测结果分析

计算结果见表 7.2-2。

表 7.2-2 风机基础局部冲刷计算结果（单位：m）

组别		冲刷计算结果
I #	深度	1.83
	直径	8.87
II #	深度	1.91
	直径	9.30
III#	深度	1.91
	直径	9.30

由上表可见，在不考虑桩基础防冲刷措施的情况下，风电场区风机基础最大冲刷深度为 1.83~1.91m，冲刷坑最大直径为 8.87~9.30m。

由于本工程在设计中，风机桩基础考虑采取基础四周铺设 400mm 厚纤维布砂被保护海床或抛碎石，并预留了一定的允许冲刷深度。在采取上述措施后，上述冲刷深度将大大减小。工程建成后仍应加强对场区及周边海床运移的监测，若发生基础冲刷程度超过预期的情况应及时采取措施进行防冲刷保护处理。

由于局部冲刷计算尚无成熟、完善的数学模型，上述计算结果仅供设计参考。可在我国东部沿海已建有关工程区域，对类似风机基础的桥墩、桩基等部分的局部冲刷进行实地测量、积累资料，用于比照、说明本工程风机的局部冲刷情况。

7.2.3 冲淤变化对环境敏感目标的影响分析

本工程评价范围内除了穿越场区的珠江口至琼州海峡北水道推荐航路、台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路，不涉及冲淤敏感目标，工程建成后，上述 2 条航路将被阻断，后续将进行航路调整。同时，根据前述冲淤平衡变化图，工程对周边海域冲淤环境影响较小，航路改道后，本工程不会对改道后的航路的冲淤环境造成明显影响。

7.3 海水水质影响预测与评价

7.3.1 海缆施工悬浮物扩散影响预测与评价

海底输电电缆敷设时，开沟犁开槽会导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。

本工程风机及海缆所在的海域水深基本在 46.5m~52.5m 范围，施工海域的上、下水层的流速有所差异，海缆海底开挖悬浮物扬起进入受纳水体后，水体中悬浮物浓度自下而上将产生一个梯度，由于该垂向浓度梯度的存在，导致不同水深层的悬浮物浓度场分布有所差异，且随着水深的加大，差异将愈加明显。因此，

本报告在前述海域潮流计算模型的基础上，采用 MIKE3 模拟软件对工程海缆敷设进行三维非恒定流和物质扩散数学模拟，计算水文条件为大潮期间，悬浮物易扩散，由于悬浮物发生在底层，风况对其基本没有影响，故本次选择的计算水文条件较为合理。为保证模型精度，对海缆区域网格进行局部加密，网格大小在 70m 左右，以精确预测工程施工产生的悬浮物随流扩散对周围海域水质的影响。悬浮物计算网格图见图 7.3-1。风电场局部放大网格图见图 7.3-2。

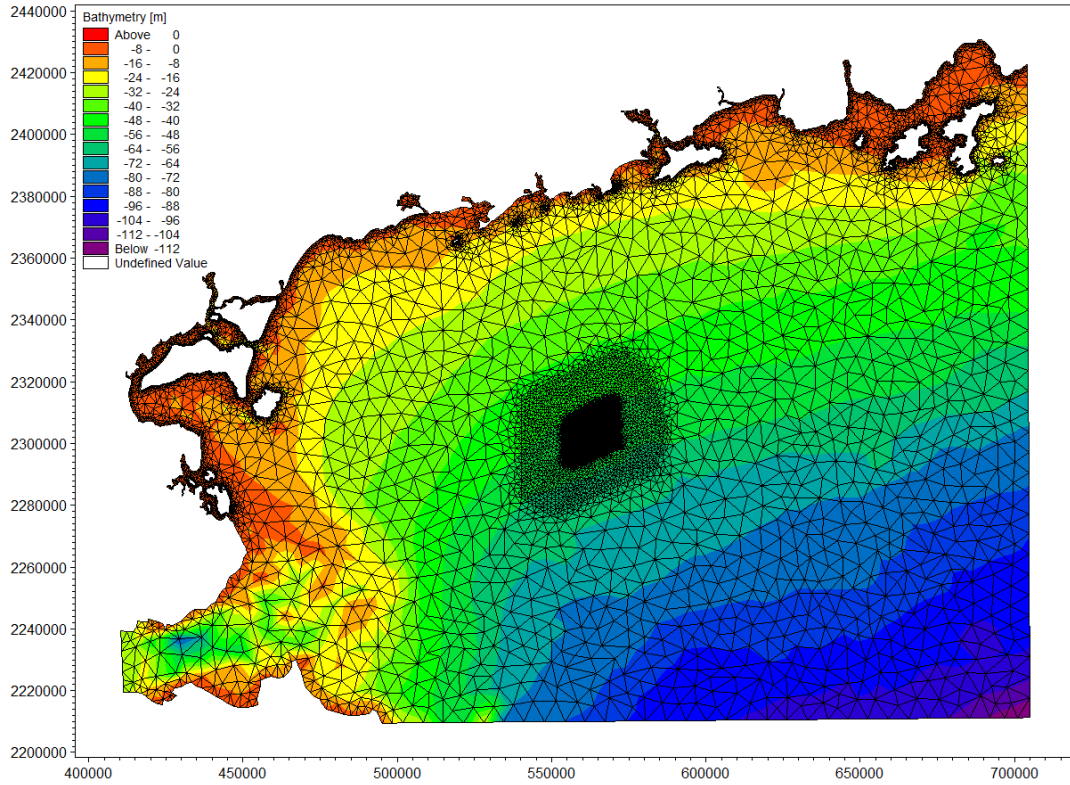


图 7.3-1 悬浮物计算网格范围及网格图

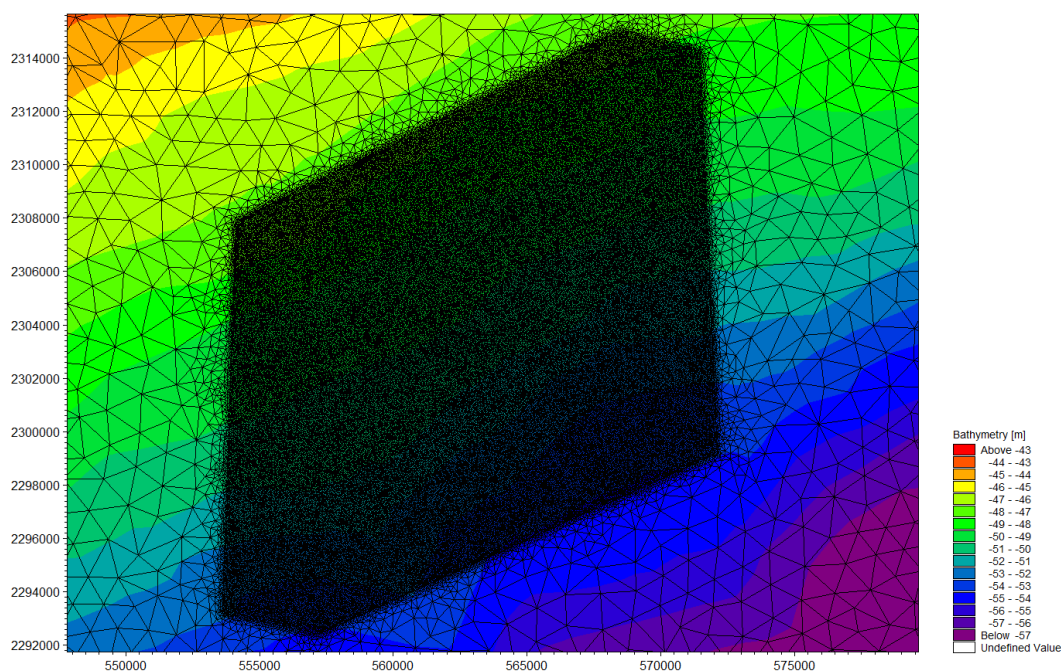


图 7.3-2 风电场局部放大网格图

7.3.1.1 基本方程

三维悬浮物扩散方程：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_z \frac{\partial C}{\partial z}) - kc + \sigma$$

其中：

C—受纳水体沿水深人为升高物质浓度；

t—时间变量；

x、y、z— 空间水平坐标轴；

u、v、w— x、y、z 轴向流速；

Dx、Dy、Dz— 纵向、横向、垂向弥散系数；

σ — 污染源强度；

k=αω，α — 沉降系数，ω — 为沉速；

R(c) — 降雨或蒸发率。

7.3.1.2 浓度场定解条件

(1) 边界条件

数学模型通常使用开边界（水边）和闭边界（岸边）两种边界条件。对于开边界，流入计算域时：

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + w \frac{\partial c}{\partial z} = 0$$

考虑到模型的范围足够大，取流入计算域浓度值为零。

(2) 初始条件

$$C(x, y, z, 0) = C_0$$

式中 C_0 为计算初始时刻水域中各点的浓度值，计算中取为零。

7.3.1.3 计算参数

(1) 模型计算时间步长

模型采用的时间步长 $\Delta t = 0.5 \text{min}$ 。

(2) 泥沙参数

根据国家海洋局南海调查技术中心对工程范围内沉积物粒径的调查，本工程海域表层沉积物粒度相差不大，中值粒径约为 0.015mm 。本次计算模型泥沙中值粒径 d_{50} 均值取值为 0.015mm ，以精确预测悬浮物扩散的最大的不利影响。

(3) 泥沙沉速

根据上述泥沙参数，对不同区段的泥沙沉速分组进行计算。工程海域悬移质泥沙较易絮凝，其沉速比单颗粒泥沙明显增加，大量研究成果表明，絮凝沉速与含沙量及含盐度密切相关，在动水环境下与流速大小也有对应关系，本次预测采用文献（曹祖德，三维潮流数学模型及其应用，天津水运工程科学研究所报告，1988）中的表达式如下：

$$\omega = \omega_0 k_f \frac{1 + C_2 S^{m_2}}{1 + C_1 u^{m_1}}$$

式中， ω_0 为单颗泥沙静水沉速， S 为当地含沙量， u 为当地流速， k_f 为含盐度影响系数。 C_1 、 C_2 、 m_1 、 m_2 为经验系数，这里取 $k_f = 3.8$ ， $C_1 = 0.06$ ， $C_2 = 4.6$ ， $m_1 = 0.75$ ， $m_2 = 0.06$ 。

7.3.1.4 施工方式及源强

根据工程分析，海底电缆通过“埋设犁”敷设在泥面下约 $2 \sim 3 \text{m}$ 深处，按最不利条件考虑，埋深取 3m ，海缆沟槽底宽约 0.3m ，顶宽约 0.5m ，敷设速度取 5m/min ，根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 20% 计。中值粒径约为 0.015mm ，沉积物干容重为 811.5kg/m^3 ，由此计算得到单条电

缆施工的悬浮物源强为 16.2kg/s。由于电缆敷设在海底进行，因此悬浮物源强点设在底层。

7.3.1.5 预测结果与分析

考虑到风电场电缆的布设和施工方式造成的悬泥特点，以及当地水动力条件，在海缆路由沿线选取若干典型排放点，典型排放点主要为海缆路由的转折点，悬浮物排放点位置示意图见图 7.3-3。

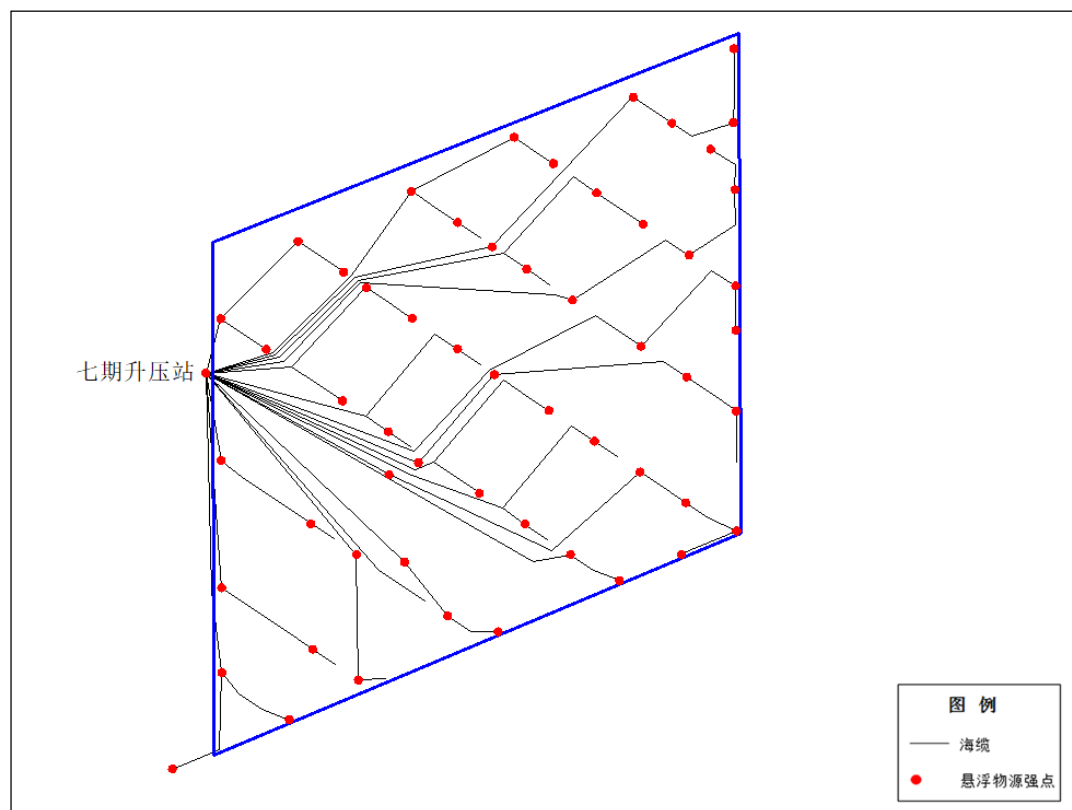


图 7.3-3 施工期悬浮物扩散排放源示意图

本次计算模拟过程为一个完整的潮周期，含大、中、小潮。由于施工悬浮物源强释放在底层，风电场区域水深相对较大，悬浮物基本不会扩散至表层，表层悬浮物最大浓度增量已小于 10mg/L，因此本报告给出了大潮期间涨、落潮典型时刻中、底层悬浮物扩散影响范围图，详见图 7.3-4 和图 7.3-5；图 7.3-6 为全潮期间中、底层悬浮物增量最大影响扩散范围，图 7.3-7 为全潮期间中、底层悬浮物增量最大影响包络范围图。表 7.3-1 为悬浮物增量值最大可能影响面积。

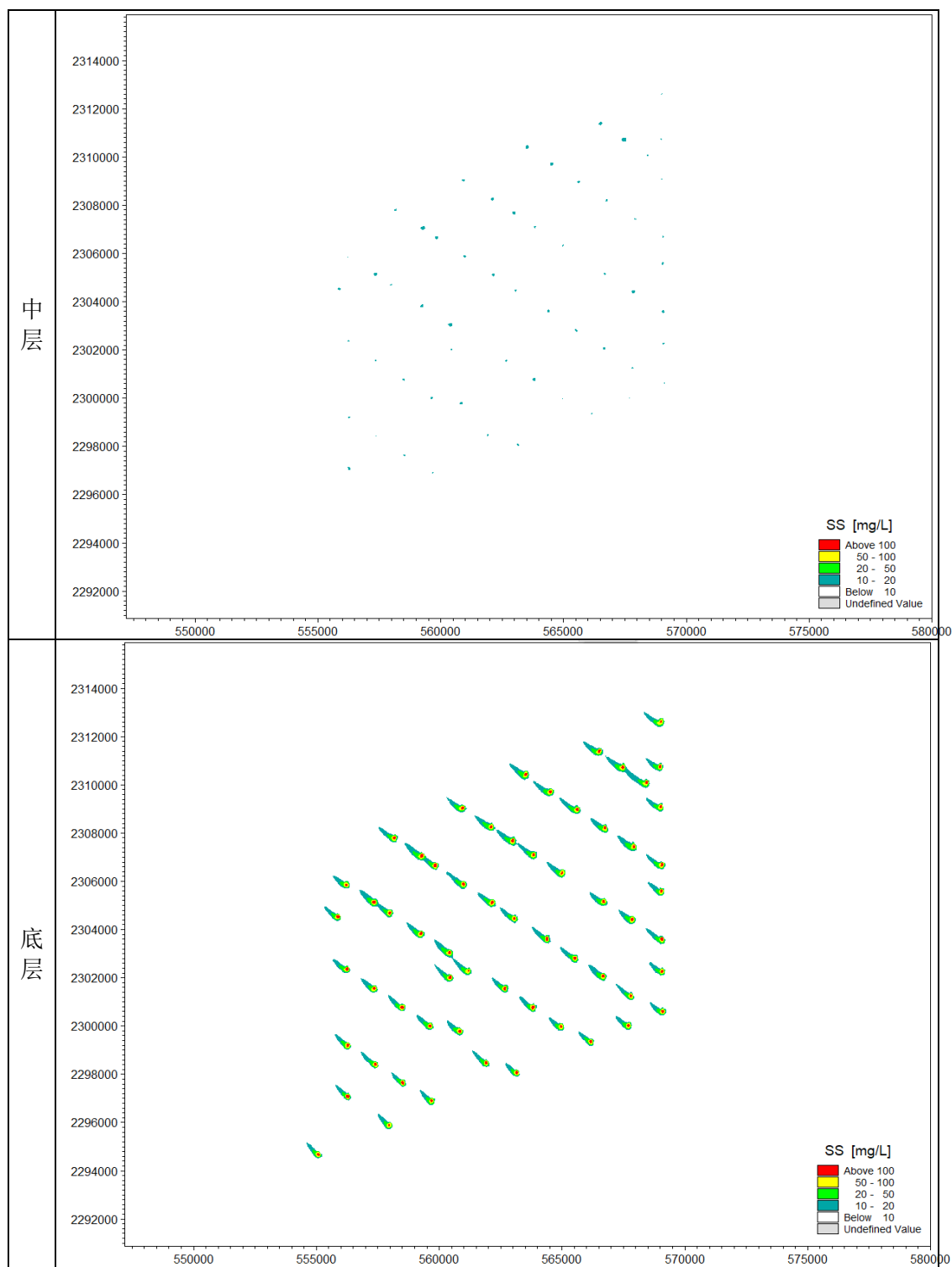


图 7.3-4 电缆沟施工大潮涨潮悬浮物扩散影响范围

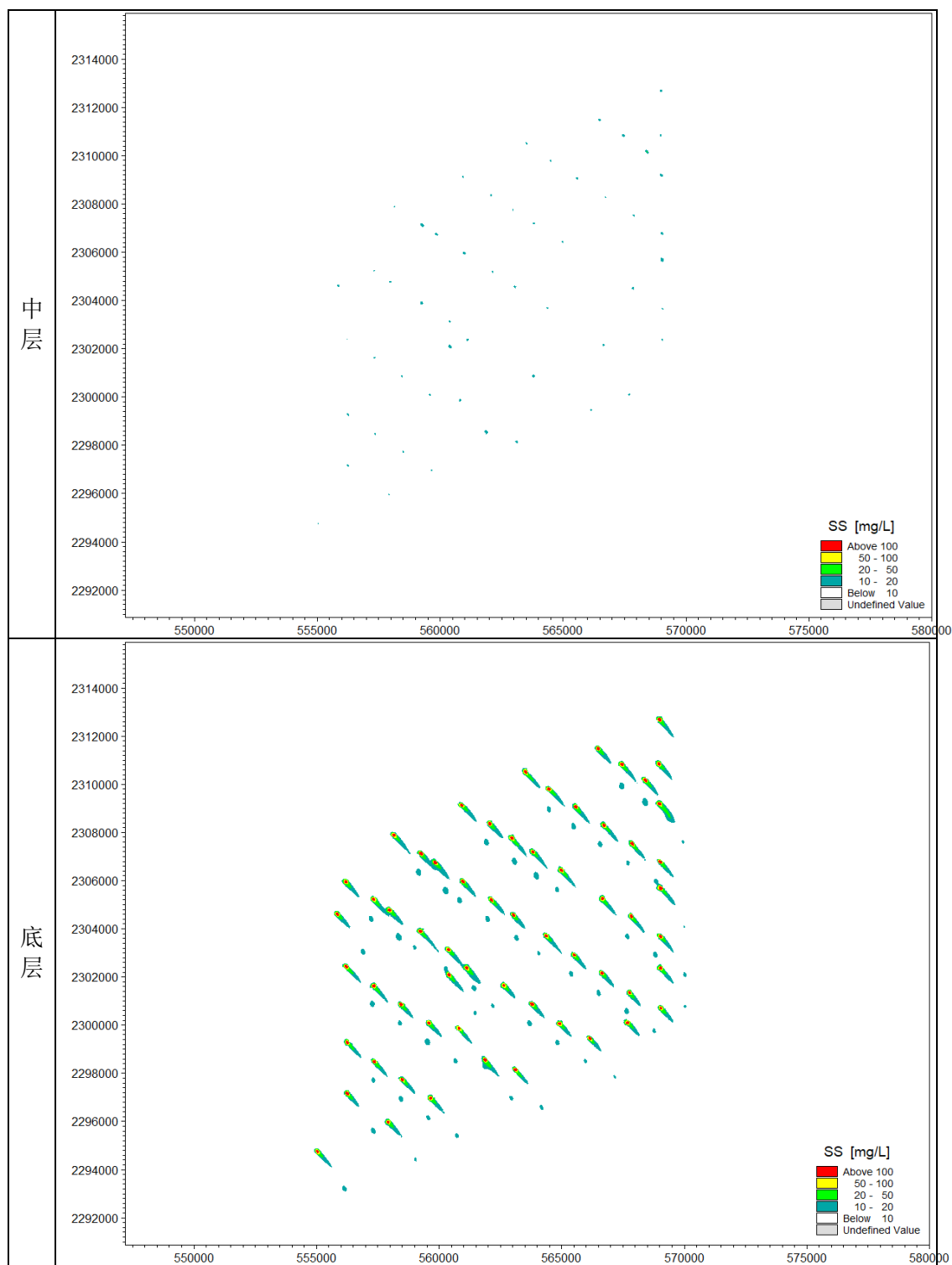


图 7.3-5 电缆沟施工大潮落潮悬浮物扩散影响范围

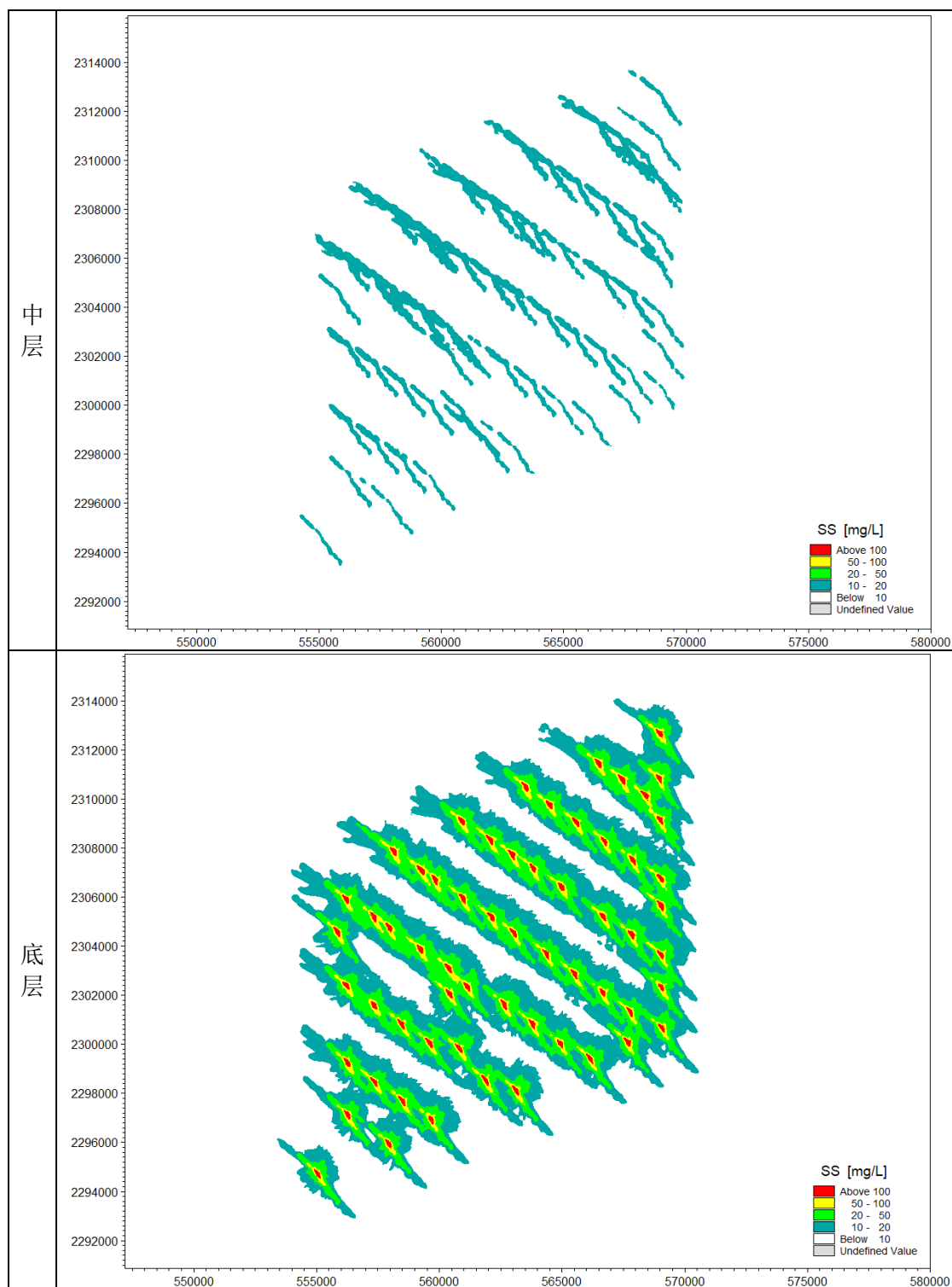
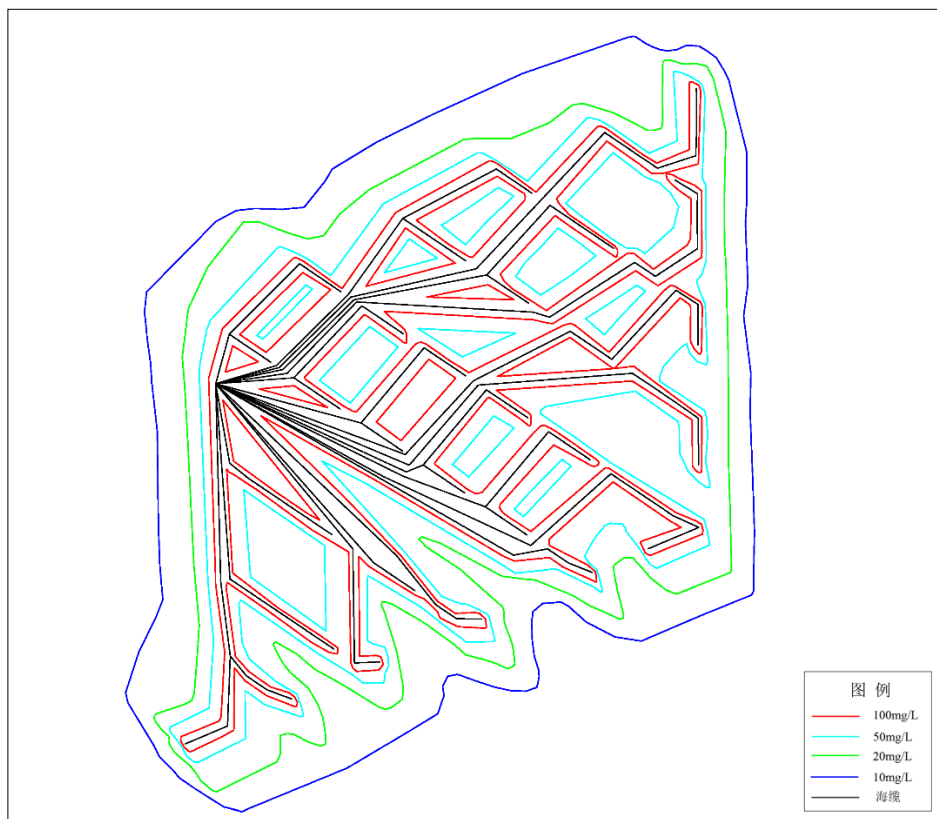


图 7.3-6 电缆敷设典型源强点悬浮物最大影响范围



中层



底层

图 7.3-7 最大悬浮物增量包络范围

表 7.3-1 悬浮物增量值最大可能影响范围 (km²)

悬浮物增量值		>100mg/L	>50mg/L	>20mg/L	>10mg/L
影响面积	表层	0.00	0.00	0.00	0.00
	中层	0.00	0.00	0.00	204.26
	底层	63.28	125.96	197.65	258.24
	平均	21.09	41.99	65.88	154.17

从以上图表中可以看出：

(1) 施工点周围悬浮泥沙在逐渐沉降的过程中颗粒逐级细化，细颗粒泥沙可随海流输移至更远的海域。人为增加悬浮物高浓度面积较小，而低浓度区的面积相对较大。

(2) 根据统计结果，由于工程所在海域水深相对较大，电缆沟施工在海床面上，因此施工产生的悬浮物主要集中在底层，表层悬浮物浓度增量均小于 10mg/L，中层悬浮物浓度增量则均小于 20mg/L。

(3) 电缆沟槽施工期悬浮物增量值大于 100mg/L 的底层最大可能影响面积为 63.28km²；中层和表层均为 0km²；垂向平均约为 21.09km²；大于 50mg/L 的底层最大可能影响面积为 125.96km²；中层和表层均为 0km²；垂向平均约为 41.99km²；大于 20mg/L 的底层最大可能影响面积为 197.65km²；中层和表层均为 0km²；垂向平均约为 65.88km²；大于 10mg/L 的底层最大可能影响面积为 258.24km²；中层为 204.26km²；表层为 0km²；垂向平均约为 154.17km²。

本次悬浮物扩散的影响范围以最不利情况，即 105 台风机海缆施工影响的最大范围考虑。悬浮物影响区域主要集中在电缆附近海域。在悬浮物扩散源强附近取 1 个点，输出这个点的悬浮物增量过程线，如图 7.3-8 所示，图中第 1 小时停止施工，可以看到，施工结束后悬浮物扩散增量迅速减小，4~5 小时内即可下降至 10mg/L 以下。因此，施工引起的悬浮物扩散主要限于施工时，施工结束后数小时内（与源强、施工结束的时刻有关），人为增加的悬浮物浓度迅速衰减至 10mg/L 以下。

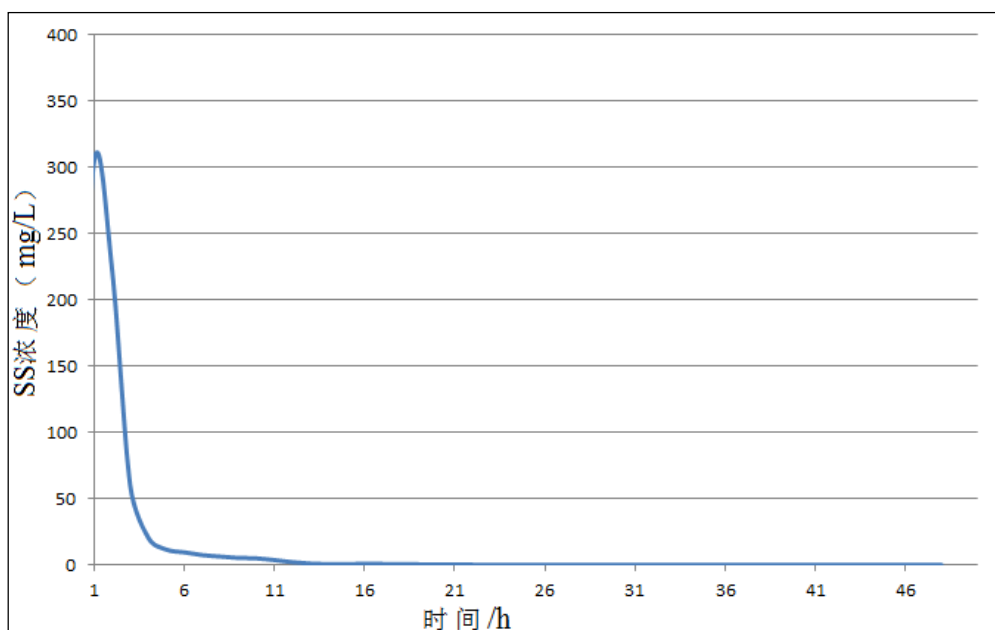


图 7.3-8 施工停止后悬浮物浓度增量下降过程线

本工程水质评价范围内为湛江-珠海农渔业区，场址涉及南海底层、近底层鱼类产卵场，不涉及其他海洋环境敏感目标。故本项目桩基础施工、海缆敷设等产生的悬浮物短期内会对工程及周边海域的渔业资源造成一定影响，对其他海洋环境敏感目标距离较远，不会造成影响。

7.3.2 风机桩基打桩作业悬浮物扩散影响分析

根据工程分析，本工程风机桩基用液压打桩施打沉桩，沉桩施工振动会导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，并可能影响局部沉积物环境。根据类似工程实际施工经验，打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加 ($>10\text{mg/L}$) 范围一般在半径在 100m 内，单台风机悬浮泥沙扩散影响范围约为 3.14hm^2 ，105 台风机累计悬浮泥沙扩散影响范围约 3.297km^2 ，考虑到海缆施工悬浮物 ($>10\text{mg/L}$) 的包络范围为 154.17km^2 ，远远大于桩基打桩施工的影响范围；此外，本项目桩基础和海缆敷设施工时，还涉及到软体排铺设和抛填沙袋或碎石护底，其源强约为 0.97kg/s ，远远小于海缆敷设施工的悬浮物源强 16.2kg/s ，且其影响范围均在海缆敷设的影响范围之内，因此本次不对打桩施工作业进行悬浮物扩散的模拟预测计算。

7.3.3 钢管桩灌浆溢流对水质影响分析

本工程风机基础施工时，钢管桩插打完成后需对其进行水泥砂浆浇筑，灌浆

作业利用钢套筒进行水泥砂浆浇注作业。为保证浇筑质量，钢套筒为半封闭结构，一般情况下不会发生水泥砂浆泄漏。但由于钢套筒需反复利用，可能发生因结构安装造成钢套筒的局部破损从而发生泄漏的情况。

本工程灌注浆主要由胶凝材料（水泥）、拌和水和细骨料（细砂石）组成。水泥砂浆泄漏入海后与经海水稀释扩散会逐渐水化形成凝胶体，并不断把周围散粒的或块状的材料胶结成一个整体最终由原先的液态或半固定状态硬化为砧。一般水泥吸水饱和 45min 后，水泥浆逐渐失去塑性，出现凝结现象，而凝结后的砧颗粒较大，且水泥浆密度较高一般在 $1800\sim 2000\text{kg/m}^3$ ，因此在发生水泥砂浆泄漏的情况下，砂浆及其固化形成的砧会快速沉入海底，其对海洋水质的影响将集中在泄漏口位置，而其对海洋水质的污染则主要表现为局部水体透明度下降，悬浮物浓度升高，但随着砂浆硬化沉降，对水质的影响会迅速减小。砂浆沉入海底后可能进一步与沉积物扩展凝结形成高强度的砧，由于水泥砂浆中不含重金属、营养盐等物质，因此砂浆沉降也不会对沉积物环境造成不利影响。

因此只要在发现砂浆泄漏后及时停止灌注，并对泄漏处进行有效封堵，水泥浆泄漏对海水水质和沉积物环境较小。

7.4 水下噪声及电磁环境影响预测与评价

7.4.1 施工期水下噪声对海洋生物的影响分析

三峡阳江青洲五海上风电场项目工程选址位于粤西海域阳江近海深水场址一范围内，阳江市阳西县沙扒镇以南海域，风电场总装机 1000MW，拟安装 80 台单机容量为 10MW 的风电机组和 25 台单机容量为 8MW 的风电机组。场址中心离岸距离 77km，水深在 46.5m~52.5m 之间。地形整体上呈西北高东南低的形态分布，地貌类型主要为滨海海积平原地貌单元。

7.4.1.1 施工期海洋生物安全距离要求

本工程采用的 105 台四桩导管架基础，单根直径 3.0m-3.3m 钢管桩定位于海底，钢管桩平均桩长约 85m。8MW 风机轮毂高度为 125m，10MW 风机轮毂高度为 140m。取打桩施工所产生的水下噪声有效声源级为 233dB；传播损失 $TL=211\text{gr}$ 。在不同噪声级门限下的海洋生物安全距离见表 7.4-1，打桩施工水下噪声影响分布图见图 7.4-1（黄色对应于 160dB 的影响距离）。根据施工安排，本工程打桩施工作业面仅 1 个，因此实际施工时不会存在打桩噪声的叠加影响。

表 7.4-1 打桩施工在不同声压级下对应的距离

声源级 SL=233dB; 传播损失 TL=21lgr					
声压级 (dB)	190	180	160	158	153
距离 (m)	111.6	334.0	2993.6	3727.6	6449.5

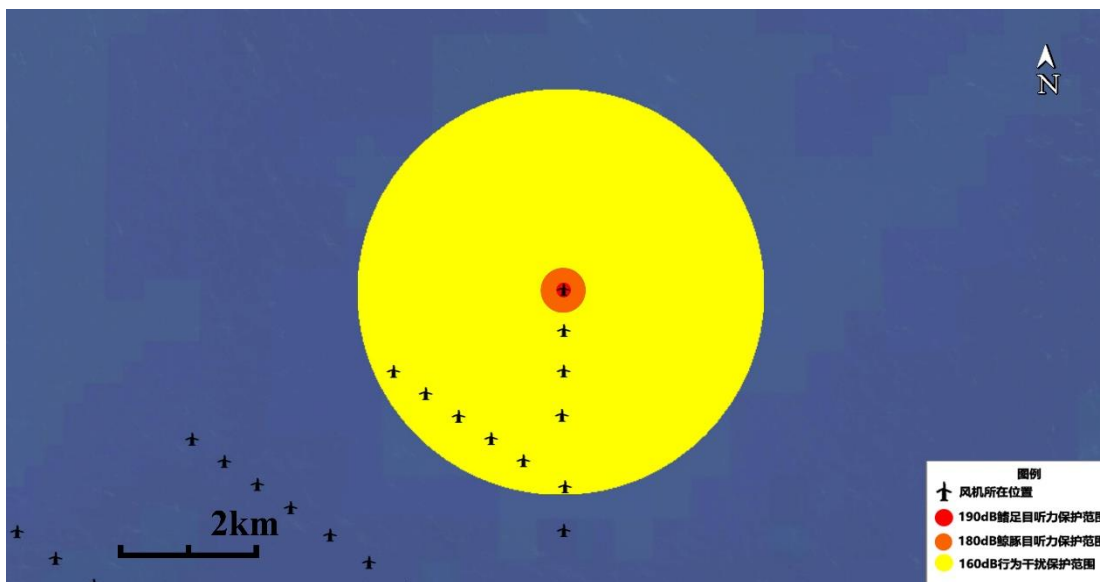


图 7.4-1 四桩导管架风机单桩（桩径 3.0~3.3m）打桩施工水下噪声影响分布图

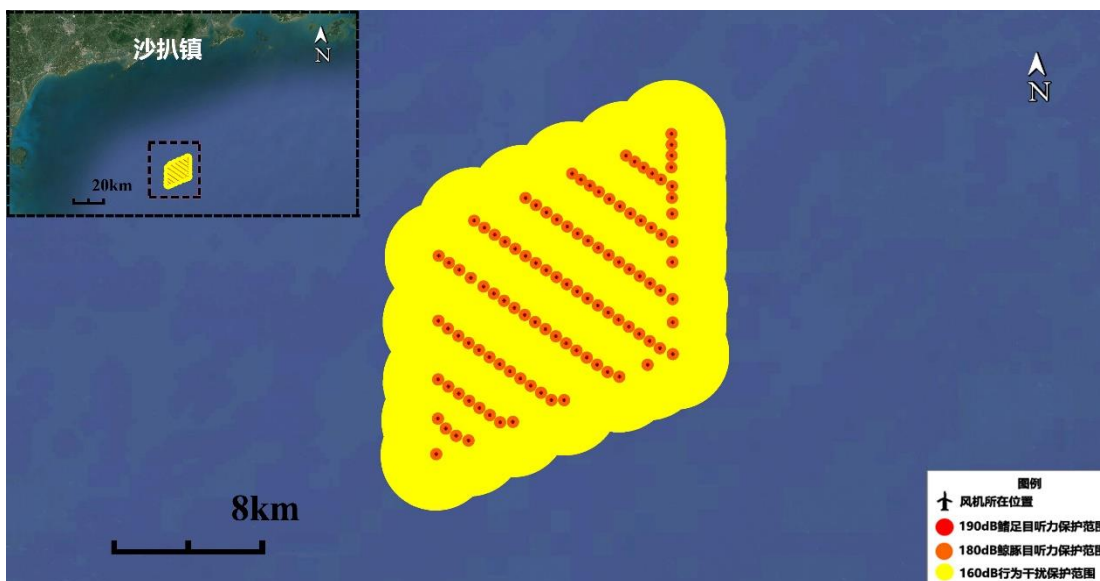


图 7.4-2 105 台风机打桩施工（整体）水下噪声影响分布图

7.4.1.2 施工噪声对海洋生物影响距离评估

(1) 施工噪声对一般海洋鱼类影响距离

对本工程所采用的四桩导管架风机基础，在钢管桩直径（3.0m-3.3m）风机基础海上打桩施工时，应确立在 340m 范围内为危险区域，在 3.0km 范围内为警告区域。打桩施工中在这些海域范围内应对鱼类活动进行可能的驱赶、搬移等工

作。

(2) 对石首鱼类的影响

该海域存在石首鱼科鱼类（如叫姑鱼、白姑鱼等），在海域中存在石首科鱼类时，考虑鱼群在海域中游动性，以 158dB 作为对石首鱼如白姑鱼、叫姑鱼等产生行为影响为阈值，可算出对本工程在四桩导管架风机基础打桩施工时，与施工风机对应的距离为 3.7km。因此，当施工海域存在石首鱼类时，针对本工程的风机基础钢管桩打桩施工，应确立在离桩基 3.7km 的距离范围外为安全距离。

(3) 施工噪声对经济鱼类“三场一通道”的影响

根据渔业资源调查结果，该海域存在有叫姑鱼和白姑鱼等石首鱼类。根据厦门大学课题组对石首鱼科大黄鱼幼鱼（体长 2~3cm，出生 1 个月左右）水下噪声影响实验结果表明：大黄鱼幼鱼对声音较为敏感，发声信号微弱，当声源级为 150dB 时，出现幼鱼游动避开声源等明显的行为变化现象。由于工程海域相对地处宽阔的海区以及鱼类的游动行为，本报告以 153dB 作为对石首鱼科幼鱼的影响阈值，可算出在本四桩导管架风机基础桩径 3.20m-3.3m 的钢管桩施工时，其对应的保护的距離约为离施工打桩桩基 6.4km。因此，在项目建设过程中必须高度重视石首鱼科幼鱼的保护，避开这些鱼类的繁殖期和育幼期。

(4) 施工期中华白海豚和江豚安全距离要求

对于本工程在四桩导管架风机基础水下打桩施工时，应确立：

在 340m 范围为危险区域；

在 3.0km 范围内为警告区域。

在这些施工海域中对中华白海豚的活动需要进行观测、驱赶等工作。

(5) 其他施工活动的影响

本工程的其他水下施工噪声，如施工船舶噪声、水下钻孔等噪声声源级可达到 150dB，可能对该海域中的石首鱼科幼鱼等的行为产生某些干扰；而一般的水下噪声，如抛沙抛石等所产生的水下噪声，噪声声压级接近于 120dB，基本上已和海洋环境噪声相当，对鱼类等海洋生物的影响在可接受范围内。

(6) 施工期水下噪声对海洋生物的累加影响

虽然相关测量数据及研究表明中小幅度的撞击式桩基施工不会对一定距离外(如 200m 左右)的鲸豚类动物及海洋鱼类造成直接致死或致伤，但长时间较高声压水平的桩基施工对海洋生物的累积效应可能造成慢性影响。这些慢性影响包

括：遮蔽效应和听力损失，行为模式改变和紧张等。

水下打桩施工噪声可能会对鱼类的交流、行为、觅食和避敌产生短期的有害影响，施工船将会对在这一带水域活动的鱼类、特别是石首科鱼类造成滋扰，受影响的鱼类将因回避而离开施工区。但当环境滋扰消失或较少时这些鱼类会恢复其原来的生活状态，如当航道施工作业完成或滋扰减少时，部分海洋生物会恢复其原来的活动范围，迁移到较远水域的个体一般还会回迁。

丹麦国家环境研究所研究了海上风电场是否对活动于该海域中的斑海豹和灰海豹的影响研究（Svend Tougaard, et al, 2006），研究跟踪了从 1999~2005 年间风电场在施工期和营运期下的水下噪声对海豹的影响。结论是：在风电场施工建设期，斑海豹的数量减少，但建设期结束，斑海豹又恢复原来数量甚至增加；在该风电场施工打桩期，斑海豹的数量明显减少，在另一斑海豹繁殖地施工打桩期甚至没有见到斑海豹；但营运期风机的运转并没有对斑海豹产生影响（图 7.4-3）。

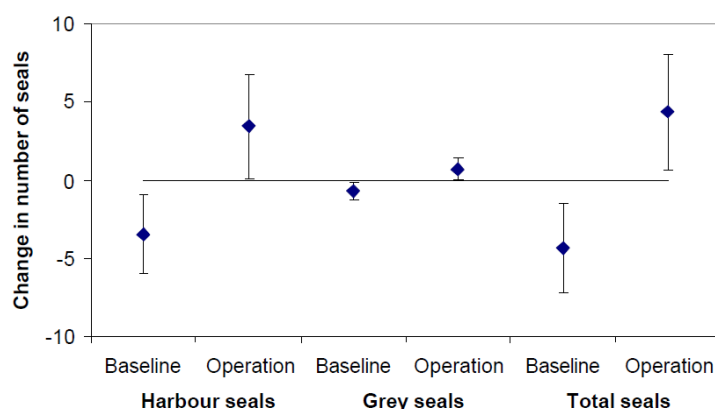


图 7.4-3 施工期和营运期海豹数量的变化

风机基础打桩作业对该海域中的渔业资源将产生一定的影响，在打桩作业中应采取“软启动”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，即前几桩使用小强度的打桩措施，能驱使鱼类离开施工水域，可达到减小水下噪声导致渔业资源的损失，避免造成大范围鱼类死亡。

7.4.2 运行期水下噪声对海洋生物影响分析

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。运行期水下噪声对海洋生物的影响主要根据厦门大学在实验条件对水生生物行为学参数（运动轨迹、死亡率）和生化指标测量的观测数

据进行分析。

7.4.2.1 运行期风电场水下噪声分析

(1) 运行期风电场水下噪声影响分析

根据厦门大学对上海东海大桥、福建平海湾一期海上风电项目、如东海上风电在运营期的监测结果初步表明：风机运行中水下噪声的频谱级基本上都相似，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在没有风机运行的下测量到的背景噪声相近；风机在水中不同风速下产生的噪声强度变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段（63Hz 以下）风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在 125Hz 频点上风机在高风速（13m/s）比低风速(6m/s)下在水中辐射的水下噪声谱级高 10dB/re 1 μ Pa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

本风电场区内水深约为 46.5~52.5m，地形整体上呈西北高东南低的形态分布。海底地形较为平缓，场地浅表层为流塑状淤泥和淤泥质土。声波在淤泥海底地质中传播将产生较大的声衰减，淤泥海底对声波将产生较小的反射和一定的吸收。

基于厦门大学噪声监测课题组对广东珠海桂山海上风电场、福建莆田平海湾海上风电场、江苏中广核大丰、江苏 H12 海上风电场等我国近十个海上风电场不同风机在运营期水下噪声的监测结果，同时结合国外海上风电场运营期水下噪声监测数据，可得出海上风电场在运营期总体的水下噪声强度比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1 μ Pa，总体噪声谱级都在 120dB/1 μ Pa 以下。

(2) 风电场运营期水下噪声对海洋生物影响距离预测

根据厦门大学课题组对我国已建海上风电场运营期水下噪声监测结果，影响预测中运营期水下噪声源强值取 140~145dB/1uPa。本项目以 145dB/1uPa 作为运营期风机水下噪声的源强并进行噪声场分布预测。图 7.4-4 和图 7.4-5 分别为三峡阳江青洲五海上风电场运营期水下噪声水平分布预测图和垂直分布预测图。

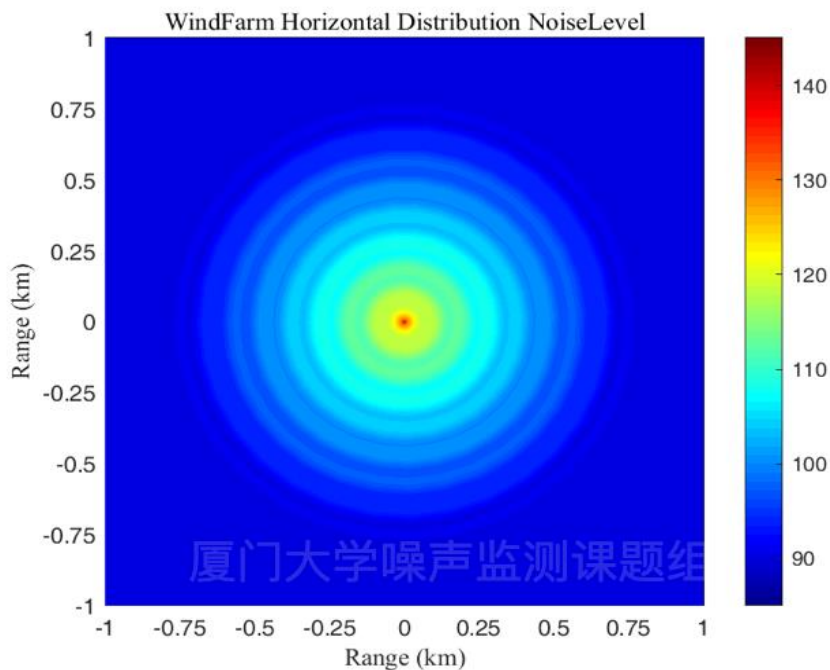


图 7.4-4 阳江青洲五海上风电场营运期水下噪声水平分布预测图
(噪声源强 145dB/uPa, PE 模型)

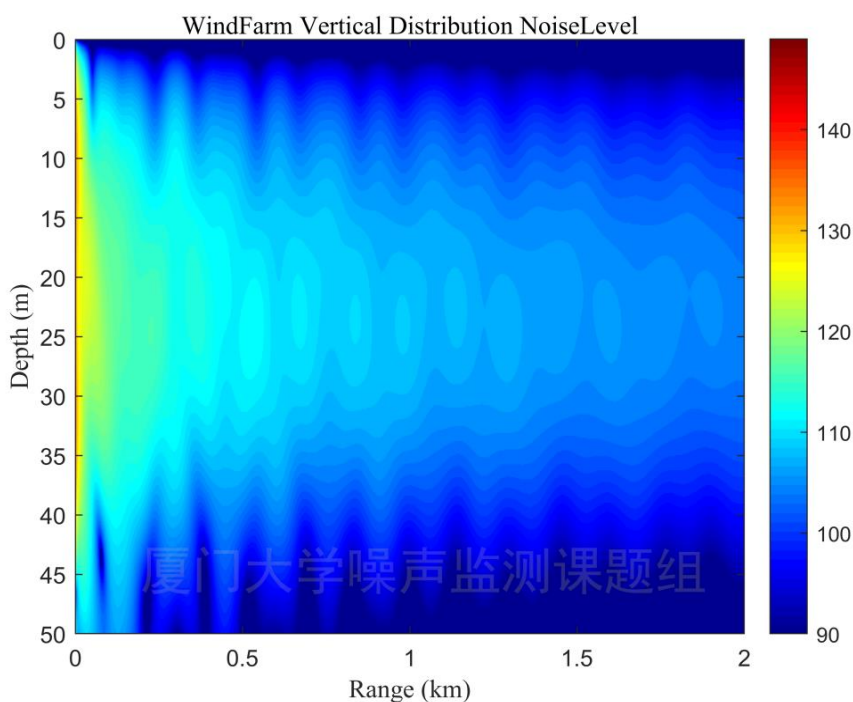


图 7.4-5 阳江青洲五海上风电场营运期水下噪声垂直分布预测图
(噪声源强 145dB/uPa, 水深 45m, PE 模型)

根据目前国际上对海洋哺乳动物和海洋鱼类的影响阈值门限要求,当噪声低

于 120dB/1 μ Pa 以下已和 underwater 背景噪声相当（本工程外业调查表明，该海域海洋背景噪声调查值为 120dB/1 μ Pa），基本上不会对海洋生物产生影响。本分析以此为门限阈值，从噪声分布图可见影响距离为 100m 以内。

7.4.2.2 水下噪声海洋生物影响评价

厦门大学在厦大海洋与地球学院生态场中进行水下噪声对典型海洋生物影响实验，实验海上不同强度声压的水下噪声对水池中鱼类和底栖的影响。实验开始前先在养殖池中 4 个位置用水听器测量水下背景噪声，再将发射换能器置于水池中，发射水下声信号，采用丹麦 B&K 的 PULSE 多通道分析系统，记录和分析水下噪声在 4 个位置中的强度分布，见图 7.4-6。

接着分别放置实验用的鱼种和底栖生物，实验用的鱼种经过适当时间的适应后，再把水声发射换能器和水听器置于水池中并静待 10min。以恢复鱼种因仪器布放过程中所受的惊扰。

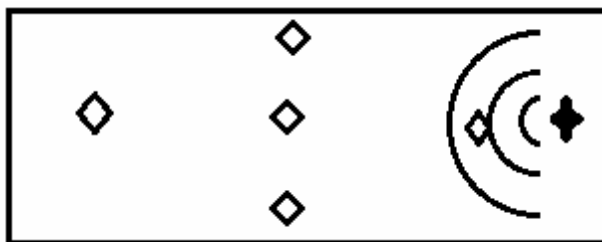


图 7.4-6 测量背景噪声和声场分布的实验布置图

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

实验水下噪声分两类：

(1) 把之前记录的原始的海上风电场噪声数据作为噪声源，取其中典型的较大的噪声功率谱数据，使用不同强度的声压级（110dB re 1 μ Pa、120dB re 1 μ Pa、130dB re 1 μ Pa）进行实验，同时用水听器在水池中进行实时跟踪观察噪声数据；

(2) 用计算机产生 200Hz~900Hz 的水下低频噪声，使用不同强度的声压级（110dB re 1 μ Pa、120dB re 1 μ Pa、130 dB re 1 μ Pa）进行实验，同时用水听器在水池中进行实时跟踪观察噪声数据。

水下噪声生物实验结果显示：

(1) 行为学参数

运动轨迹：观察了大黄鱼、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎、斜带石斑鱼、真鲷、卵形鲳鲹、花尾胡椒鲷、褐菖鲉和凡纳滨对虾等活动状况，在发射上述所提到的不同声源强度噪声，特别是风电场记录的较强的水下噪声时，没有出现回避噪声源的现象；

死亡率：在使用上述的噪声源下，3d 持续发射噪声的时间累加超过 48h，实验组与对照组之间的死亡率数据基本相同，营运期水下噪声辐射没有对这些鱼类产生直接致死现象。

(2) 生化指标测量

噪声对 5 种鱼类血液中去甲肾上腺素的含量影响不明显，除斜带石斑鱼的实验组与对比组之间有显著性差异外，其它各组之间的均无显著性差异。碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性测定。运行期中的水下噪声强度仅对缢蛏的碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性有显著影响，对其它物种的作用不显著。磷酸水解酶活力的激活或抑制仅能表明有机体能够感知环境的变化，并不能断定环境条件的变化对生物体是有利还有害。若要进行利或害的判断，必须进行长期（几个月甚至是几个世代）、多因素（成活率，生长速度，抗逆性，繁殖力等）的综合考虑。

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

实验结果表明：

(1) 幼苗对声音的敏感频率在 800Hz，声强约 140dB 时对声波即有明显反应，声强 150dB 时有少量幼苗死亡，当声强达到 172dB 时有较多幼苗直接死亡。

(2) 小鱼的测试结果与幼苗明显不同。小鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声强达到 150dB 以上，小鱼仍未有致死现象，仅有主动避开声源的行为，当声源强度达到 187dB，在声源正上方的小鱼开始变得十分迟钝，当声强达到 192dB 时，仅观察到声源正上方的 2 只小鱼的直接致死，由此说明小鱼最大可承受声压大于幼苗。

(3) 成鱼的声敏感频率也在 600Hz 附近，当声源达到 192dB 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，但未能直接致死。但在声源约为 140dB 时，成鱼对声波就有条件反射行为发生。

可见,不同大小和年龄的大黄鱼对水中声音的反应存在明显差异。三种不同尺寸的鱼对声音的敏感频率集中在 600-800Hz 频带上,与大黄鱼主动发声时的主要谱峰位置相吻合。但不同年龄的大黄鱼的声敏感频率有略微差别,生长年龄越小的鱼,其声敏感频率越高。但大黄鱼的发声信号特征与鱼体耳石大小、生长年龄、雄雌等之间更为定量的关系,还需深入的实验研究。

总体来说,海上风电场在营运期总体的水下噪声强度比较低,即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段(120Hz~1.5kHz)上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1 μ Pa,总体噪声谱级都在 120dB/1 μ Pa 以下,已和海洋背景噪声相当。因此,营运期水下噪声对本工程海域的海洋生物基本上不会带来明显的影响。

噪声对鱼类等海洋生物的实验研究表明,运行期水下噪声强度就本实验中所提及的海洋生物实验条件下没有显著影响,对营运期水下噪声强度对海域中典型鱼类、甲壳类、贝类等影响不明显。

7.4.2.3 风电场运行期水下噪声对石首鱼科的影响

基于厦门大学课题对已测量的大黄鱼、黄姑鱼等的发声特性,来评估运行期水下噪声对石首鱼科行为的影响。

根据厦门大学课题组对黄姑鱼发声信号的监测分析,在离风机 100m 处海上风电场水下噪声中心频率 630Hz 1/3 倍频程的声压级为 115dB,而黄姑鱼发声信号的 1/3 倍频程声压级在 630Hz 中心频率为 133dB,已大于风电场噪声且差值大于 10dB,因此在离风机 100m 处的风电场水下噪声不会对黄姑鱼叫声产生影响。计算得到海上风电场营运中的水下噪声对黄姑鱼叫声影响的距离为 63m。

根据厦门大学课题组对不同年龄大黄鱼发声信号的研究结果,在大黄鱼的叫声中,幼鱼、小鱼和成鱼的发声的最高声压谱级(630Hz)分别为 110dB/re 1 μ Pa、125dB/re 1 μ Pa、140dB/re 1 μ Pa。根据频带声压级和声压谱级的关系,1/3 倍频程声压级为声压谱级加上 1/3 倍频程滤波器频带宽度 $10\lg\Delta f_i$,对中心频率 630 Hz 的 1/3 倍频程频带声压级,即为声压谱级加上 21.6dB,可得三种不同大小大黄鱼在 630Hz 中心频率处黄姑鱼发声信号的 1/3 倍频程声压级为 131.6dB/re 1 μ Pa、146.6dB/re 1 μ Pa 和 161.6dB/re 1 μ Pa。

计算得到海上风电场在运行期中水下噪声对对幼鱼大黄鱼叫声的影响距离为 78.2m,对 6 个月的大黄鱼叫声的影响距离为 7.8m,而对成鱼大黄鱼叫声基本

上没有影响。

因此,本工程运行期水下噪声对石首鱼科的影响距离(掩蔽效应)定为 80m。

7.4.2.4 运行期水下噪声对一般成鱼的影响

结合海上风电场营运期水下噪声测量结果,同时根据本课题对该海域几种实际鱼种所做的水下噪声实验,结合本项目位于区域,海底泥面高程-42.5~-52.5m 之间,该处海域宽阔,场区内未见岛屿、礁石分布,水下地形较为平坦,属海积地貌单元,为典型的浅海水声传播信道,噪声在水下传播衰减较快等特点,可以得出:本风电场营运期所带来的轻微的水下噪声增加对一般鱼类等海洋生物影响在可以接受范围内,即鱼类等海洋生物对海上风电场营运噪声做出行为响应的可能性不大。

7.4.2.5 运行期水下噪声对鱼卵、仔鱼的影响

水下噪声对鱼卵、仔鱼的影响目前数据较少。目前噪声对鱼类产生影响的认识,仅限于成年鱼类,而噪声对于鱼卵和幼体的影响认识甚少。由于成年鱼类会主动远离噪声源,幼体是浮游生活且随海流而动,没有能力远离噪声源。因此,仔稚鱼与成熟阶段相比,可能会受到更多的水下噪声的影响。

挪威学者研究了使用空气枪和水枪作为地震声源,进行海洋三维地质调查中产生的水下强噪声对鳕鱼鱼卵和仔鱼的影响。他们把鳕鱼的鱼卵和仔鱼(鱼卵为在受精后 2, 5, 10 天;鱼幼体为在孵化后的 1, 5, 37, 38, 40, 41, 56, 69, 110 天)暴露于水下空气枪所产生的噪声场中,得出了在使用小强度的空气枪(声源级 222dB)声源级所产生的水下噪声对鳕鱼鱼卵的影响不明显的结论(John Dalen, 1986)。

欧洲鳎分布在北海、地中海,向南到塞内加尔直至佛得角,栖息水深范围是 0~150m,在海底的底泥或沙子中埋栖生活。荷兰学者研究了海上风电场噪声对鳎鱼幼体(sole larvae)的影响。他们利用实际录到的打桩现场噪声(直径 4m 钢桩,水深 20m,峰值声压级最大值为 211dB)刺激鳎鱼幼体,根据鳎鱼幼体的身体发育程度,把鳎鱼幼体分为 4 个阶段的鳎鱼幼体,观测每个阶段鳎鱼的死亡率。结论是:在两个实验阶段中,不管何种噪声刺激何种发育阶段的鳎鱼幼体,与对照组相比(即未进行噪声刺激),鳎鱼幼体的存活率没有明显的差别,这表明这些鳎鱼幼体能够忍受峰值声压级高达 211dB 打桩噪声的刺激(Loes J.bolle et,al, 2012)。同时,他们分析指出鱼鳔是一种对声压敏感的器官,有鱼鳔的鱼比

没有鱼鳔的鱼更容易受到噪声的影响。鳎鱼幼体发育期间只有部分阶段有一个鱼鳔。这可能是在第 1 阶段和第 2 阶段中，噪声对幼体无明显影响的原因。然而，对大菱鲆仔鱼的卵黄囊观察研究中发现，噪声对其的显著影响，且这时幼体并没有鱼鳔（Loes J.bolle et,al, 2012）。

7.4.2.6 运行期不同风速水下噪声海洋生物影响

风机在不同风速下产生的水下噪声强度变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在 125Hz 频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高 10dB/re 1 μ Pa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。除了在离桩基 50m 范围内对石首鱼科的通讯距离会产生掩蔽效应影响外，对一般的鱼类和海洋哺乳动物的影响在可以接受范围内。

由于不同海洋生物种群间由于个体差异较大，特别是本项目实验的时间和鱼种数量有限，实际上需要对这些海洋生物的声学特性进行深入、系统的研究，还需要了解海洋鱼类的听阈特性，进行长时间周期的投入研究和大量的基础数据的获取。

7.4.3 电磁场对海洋环境影响分析

本工程 105 台风电机组通过 19 回 66kV 集电线路，接入青洲五和青洲七共建的 \pm 500kV 海上换流站，并通过 1 回 \pm 500kV 直流海缆送至陆上换流站，海上换流站位于青洲七场址范围内。海上换流站、500kV 直流海底电缆、陆上集控中心单独立项，不在本环评报告中评价。

7.4.3.1 电缆电磁环境影响分析

营运中的海上风电场电缆在每一相导体中均存在 120°的相位差，使得周围导体产生变化的磁场，尽管电缆的护套提供了良好的电场屏蔽，但是无法屏蔽磁场。根据专题预测，在电缆电压为 66kV 时，三芯电缆所辐射的电磁感应强度在海床面上很小，小于 1 μ T。

结合本工程风机机群分布，对 66kV 电缆场内叠加效应分析。风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于 66kV 的集群海底电缆，由

于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 $1\mu\text{T}$ 以下。据本项目实验室模拟实验，对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物（梅童鱼、白姑鱼、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎；虾类和贝类有对虾，口虾蛄；菲律宾蛤仔等）等海洋生物的影响在可以接受范围。

7.4.3.2 电磁场对海洋生物影响评价

根据厦门大学课题组在厦门大学生态场水池研究的工频电磁环境大黄鱼、半滑舌鳎、矛尾鰕虎鱼、口虾蛄、日本对虾、菲律宾蛤仔、缢蛭等 7 种海洋生物在强度分别为 0.3mT, 0.6mT, 1.2mT 交流电磁场的持续作用下 48 小时的影响，评价指标包括生物肌肉、肝脏、血液的碱性磷酸酶（AKP），酸性磷酸酶（ACP），超氧化物歧化酶（SOD）的活性，通过单因素方差分析有一下结论：

1) 工频电磁场能够不同程度的提高大黄鱼、半滑舌鳎、矛尾鰕虎鱼、口虾蛄、日本对虾、菲律宾蛤仔、缢蛭等的酸性磷酸酶（ACP）的活性水平，对甲壳动物（口虾蛄，日本对虾）肌肉的影响明显强于对鱼类肌肉的影响，对鱼类肝脏的影响明显大于对鱼类肌肉的影响；

2) 无论是工频电磁场还是噪声对于 7 种海洋生物的碱性磷酸酶（AKP）的活性的影响都不及酸性磷酸酶的影响显著。甲壳类的碱性磷酸酶水平均无显著性变化，鱼类肌肉中该酶的活性亦有部分显著升高；

3) 无论是工频电磁场还是噪声对于 7 种海洋生物的超氧化物歧化酶(SOD) 的活性的影响可以认为绝大部分都不显著。

因此可以发现海洋生物能够感知强度为 1.0mT 以上交流电磁场的存在，并做出不同生理反应，强度在 0.3mT 以下的交流电磁场对海洋生物作用 48h 后，其体内的碱性磷酸酶，酸性磷酸酶以及超氧化物歧化酶的比活力变化不显著。但是磷酸水解酶活力的激活或抑制仅能表明有机体能够感知环境的变化，并不能断定环境条件的变化对生物体是有利还有害。

目前学术界对于海底电缆产生的电磁场对海洋生物产生的影响还没有科学的定论。

行为学研究显示鱼类是能够感觉到电场的，但是目前所知这种影响是较小的。Formicki 等(2004 年)人对很多种鱼进行研究发现，如鲈鱼(*Perca fluviatilis*)、白斑狗鱼(*Esox lucius*)、拟鲤(*Rutilus rutilus*)、红眼鱼(*Scardinius rhyrophthalmus*)、鲷科鱼东方欧鳊(*Abramis brama*)和鲈科鱼梅花鲈(*Gymnocephalus cernuus*)等都趋于选

择镶有磁铁的长袋网。但这些研究都是以淡水鱼类为研究对象，因此与海水鱼类相比磁场反应有可能不同。在 Nishi、Kawamura 和 Matsumoto(2004)的研究中发现，无论是在海水中、淡水中还是在养殖区域的日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)均会对 12663nT~192473nT 的磁场变化产生反应。以上科研成果为实验研究的结论，仅能说明特定鱼类可能对磁场产生反应。

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

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

本工程海底电缆均敷设于海底土层以下，电缆外层的金属屏蔽层、铠装层以及海底土层对磁场具有一定的屏蔽作用，且鱼类活动空间较大，在海底区域活动的鱼类种类及数量相对较少。根据类比陆上电缆线路磁场分布可知，本工程海底电缆上方 1m(中心处)工频磁感应强度远低于《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014)公众暴露控制限值 0.1mT，基本可以判定本项目产生的电磁对场址附近的海洋生物影响较小。

7.5 海洋生态和渔业资源环境影响预测与评价

7.5.1 施工期对海洋生态和渔业的影响预测与评价

7.5.1.1 对海洋生态的影响

(1) 桩基施工、电缆沟开挖对浮游生物的影响

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由沿线较大范围海域的含沙量暂时上升，进而降低海洋中浮游植物生产力，对海洋生态系统带来影响；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。

桩基施工和电缆沟开挖会引起海底泥沙再悬浮，海底泥沙中有害物质也会再

溶出，从而可能对周围水域的浮游生物产生不利影响。

根据南海海港疏浚泥悬浮物毒性试验表明，悬浮相对浮游甲壳类的致死效应明显，对卤虫无节幼体 96hLC50 为 71.6mg/L，对浮游桡足类 48hLC50 为 61.3mg/L。

根据渔业水质标准，第一、二类海水水质人为增加悬浮物浓度应 $\leq 10\text{mg/L}$ ，悬浮物浓度增量大于 10mg/L ，可能对鱼类生长造成影响，本项目施工悬浮物浓度增量大于 10mg/L 的最大包络线面积为 154.17km^2 ，本工程 66kV 海缆及风电场所在区域水深约 46.5~52.5m，悬浮泥沙扩散浓度为 $10\sim 20\text{mg/L}$ 、 $20\sim 50\text{mg/L}$ 、 $50\sim 100\text{mg/L}$ 、 $>100\text{mg/L}$ 的最大包络范围分别为 88.29km^2 、 23.89km^2 、 20.90km^2 、 21.09km^2 。

参照农业部颁布并于 2008 年 3 月 1 日起施行的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）中关于污染物对各类生物损失率的描述（表 7.5-2），悬浮泥沙扩散浓度为 $10\sim 20\text{mg/L}$ 、 $20\sim 50\text{mg/L}$ 、 $50\sim 100\text{mg/L}$ 、 $>100\text{mg/L}$ 的影响水域中浮游动植物损失率分别取为 5%、20%、40% 和 50%。本工程 66kV 海缆及风电场所在区域水深约 46.5~52.5m，平均水深取 49.5m。春秋两季的浮游植物数量平均为 638.64×10^4 个/ m^3 ，浮游动物生物量平均为 $181.16\text{mg}/\text{m}^3$ 估算，则受影响的浮游植物数量 8.88×10^{15} 个（约合 48.05t）、受影响的浮游动物生物量为 251.96t。

根据《农业部办公厅印发建设项目对国家级水产种质资源保护区影响专题论证报告编制指南的通知》（农办渔[2014]14 号），浮游植物经济损失换算成鱼产力（30kg 浮游植物生产 1kg 鱼），浮游动物经济损失换算成鱼产力（10kg 浮游动物生产 1kg 鱼）。成鱼单价以 12000 元/t 计算。同时根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》，持续性生物资源损害赔偿按照“实际影响年限低于 3 年的，按 3 年补偿”的原则进行计算补偿额度，本工程涉水施工作业时间不满 3 年，则浮游植物的持续性损害赔偿额为 $48.05\text{t}/30\times 1.2$ 万元 $\times 3$ 年=5.77 万元，浮游动物的持续性损害赔偿额为 $251.96\text{t}/10\times 1.2$ 万元 $\times 3$ 年=90.71 万元。

（2）桩基施工、电缆沟开挖对潮下带底栖生物的影响

风机基础及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖生境造成直接破坏，进而引起底栖生物的损失。根据工程分析，本工程造成底栖生境破坏面积共 241.148hm^2 。

底栖生物是水生生物生态系统中的一种重要生态类型，桩基施工、电缆沟开

挖完全改变施工区附近底栖生物的生境。

以工程海域春秋 2 次调查的底栖生物平均生物量为 $7.08\text{g}/\text{m}^2$ 作为评估依据，根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）项目占用年限低于 3 年的，按 3 年补偿，底栖动物经济价值以每吨 1.0 万元计，计算得风机基础临时压占用海域导致底栖动物经济损失为 3.00 万元，海缆敷设破坏导致底栖动物经济损失为 48.29 万元，合计为 51.29 万元。

底栖生物具体影响面积、生物量损失及经济损失见表 7.5-1。

表 7.5-1 底栖生物的影响损失估算表

项目	破坏面积 (m^2)	底栖生物 量 (g/m^2)	底栖生物直 接损失量 (t)	经济损失 (万元)	影响 年限	累计经济损 失(万元)
风机基础 临时压占	141402	7.08	1.001	1.001	3	3.00
海缆敷设 破坏	2273400	7.08	16.096	16.096	3	48.29
合计	2414802					51.29

7.5.1.2 对渔业资源的影响

(1) 桩基施工、电缆沟开挖悬浮物对渔业资源的影响

风机桩基施工、电缆沟开挖对渔业资源的影响主要表现在对开挖区附近高浓度悬浮物水域中的海洋生物可能造成的伤害。

根据渔业水质标准，第一、二类海水水质人为增加悬浮物浓度应 $\leq 10\text{mg}/\text{L}$ ，悬浮物浓度增量大于 $10\text{mg}/\text{L}$ ，可能对鱼类生长造成影响。本项目施工悬浮物浓度增量大于 $10\text{mg}/\text{L}$ 的垂向平均最大包络线面积为 154.17km^2 ，该水域范围内，鱼卵、仔鱼、游泳生物因高浓度的含沙量而出现部分死亡。

参照农业部颁布并于 2008 年 3 月 1 日起施行的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）中关于污染物对各类生物损失率的描述（表 7.5-2），本报告中悬浮泥沙扩散浓度为 $10\sim 20\text{mg}/\text{L}$ 、 $20\sim 50\text{mg}/\text{L}$ 、 $50\sim 100\text{mg}/\text{L}$ 、 $>100\text{mg}/\text{L}$ 的影响水域中鱼卵仔鱼损失率分别取为 5%、15%、40% 和 50%，游泳生物的损失率分别取 1%、5%、15% 和 20%。

表 7.5-2 工程施工对渔业资源损失评估

污染物 i 的超标倍数 (Bi)	各类生物损失率 (%)			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
$Bi \leq 1$ 倍	5	<1	5	5
$1 < Bi \leq 4$ 倍	5~30	1~10	10~30	10~30
$4 < Bi \leq 9$ 倍	30~50	10~20	30~50	30~50
$Bi \geq 9$ 倍	≥ 50	≥ 20	≥ 50	≥ 50

注：

1. 污染物 i 的超标倍数 (Bi)，指超出《渔业水质标准》或超 II 类《海水水质标准》的倍数，对标准中未列的污染物，可参考相关标准或按实际污染物种类的毒性试验数据确定；当多种污染物同时存在，以超标倍数最大的污染物为评价依据；
2. 损失率是指考虑污染物对生物繁殖、生长或造成死亡，以及生物质量下降等影响因素的综合系数；
3. 本表列出的对各类生物损失率作为工程对海洋生物损害评估的参考值。工程产生各类污染物对海洋生物的损失率可按实际污染物种类，毒性试验数据作相应调整。
4. 本表对 pH、溶解氧参数不适用。

以工程海域春、秋 2 次调查的鱼卵平均密度 0.5683ind/m³、仔鱼平均密度 0.0498ind/m³、游泳生物平均密度 368.154kg/km² 作为评估依据，工程海域平均水深约 49.5m。

根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007)，鱼卵折成鱼苗按 1%成活率计，仔鱼折成鱼苗按 5%成活率计；游泳生物均按 100%成活率计，经济损失按 3 年计算，则本项目施工期渔业资源直接经济损失总计为 3101.59 万元，具体见表 7.5-3。

同时，上述渔业资源生物量损失随着施工结束，慢慢可以得到恢复，因此施工对渔业资源的影响是暂时的、可逆的。

表 7.5-3 项目施工对渔业资源损失评估

悬浮物扩散范围	渔业资源	资源密度	损失率	损失量(尾、kg)	折成鱼苗的存活率	折算成鱼苗的损失(尾、kg)	单价	经济损失(万元)
悬浮物扩散浓度为 10~20mg/L (88.29km ²)	鱼卵	0.5683nd./m ³	5%	124193471	1%	1241935	1 元/粒	124.19
	仔鱼	0.0498ind./m ³	5%	8953765	5%	447688	1 元/尾	44.77
	游泳生物	368.154kg/km ²	1%	325	100%	325	12000 元/t	0.39
	小计							
悬浮物扩散浓度为 20~50mg/L (23.89km ²)	鱼卵	0.5683nd./m ³	15%	100814883	1%	1008149	1 元/粒	100.81
	仔鱼	0.0498ind./m ³	15%	7268279	5%	363414	1 元/尾	36.34
	游泳生物	368.154kg/km ²	5%	440	100%	440	12000 元/t	0.53
	小计							
悬浮物扩散浓度为 50~100mg/L (20.90km ²)	鱼卵	0.5683nd./m ³	40%	235192528	1%	2351925	1 元/粒	235.19
	仔鱼	0.0498ind./m ³	40%	16956275	5%	847814	1 元/尾	84.78
	游泳生物	368.154kg/km ²	15%	1154	100%	1154	12000 元/t	1.38
	小计							
悬浮物扩散浓度 >100mg/L (21.09km ²)	鱼卵	0.5683nd./m ³	50%	296663302	1%	2966633	1 元/粒	296.66
	仔鱼	0.0498ind./m ³	50%	21388028	5%	1069401	1 元/尾	106.94
	游泳生物	368.154kg/km ²	20%	1553	100%	1553	12000 元/t	1.86
	小计							
合计								1033.86
总计	3 年							3101.59

7.5.1.3 渔业生产的影响

在施工期，由于工程施工阶段所涉及的区域较大，对在这一带渔业生产活动产生一定的影响。

此外，施工期间将禁止渔船进入施工海域捕捞生产，由此导致作业渔场范围减少；施工的扰动影响，使渔获率降低，最终影响捕捞产量。但作业船有限，且集中在风机施工点附近，施工作业对渔业资源捕捞活动的影响是有限的。如果施工活动安排在秋冬季节等非捕捞旺季的时段，施工作业对渔业生产的影响可以得到明显的减缓。

7.5.2 运行期对海洋生态和渔业的影响预测与评价

7.5.2.1 桩基础压占海洋生态影响

本风电场工程运行期对海洋生态的影响主要是每台风机桩基及周围的底栖生物的生境遭到永久的破坏，按风机布置方案，本工程 105 台风机对底栖生境破坏面积为 3601.9m²；在风机桩基群占海部分范围内的原有泥质型的底栖生物类群不可恢复。

以工程海域春秋 2 次调查的底栖生物平均生物量为 7.08g/m² 作为评估依据。根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）项目占用年限 20 年以上的，按不低于 20 年补偿，底栖动物经济价值以每吨 1.0 万元计，计算永久占用海域造成经济损失为 0.51 元。

表 7.5-4 永久压占底栖生物损失汇总表

破坏性质	项目名称	破坏面积 (m ²)	底栖生物量 (g/m ²)	底栖生物直接损失量 (t)	经济损失 (万元)	影响年限	累计经济损失 (万元)
永久压占	风机基础	3601.9	7.08	0.026	0.026	20	0.52

7.5.2.2 对渔业资源及渔业生产的影响

根据国家能源局和国家海洋局联合发布的《海上风电场开发建设管理暂行办法》规定，单个风电机组用海面积按塔架中心点至基础外缘线点再向外扩 50m 为半径的圆形区域计算；海底电缆用海面积按电缆外缘向两侧各外扩 10m 宽为界计算。在此范围内，不允许捕捞，挖泥等生产作业。由此可见，在风电场运行期时段，这一海域渔业捕捞将受到负面影响，难以进行大规模捕捞作业。

南海近海海域在 5 月 15 日-8 月 1 日禁渔，就是从保护产卵场和索饵场这一

角度出发制定的措施。这一海域捕捞生产主要以定置网或流刺网作业为主，对渔业资源破坏极大。目前，经多次调查均未在工程水域发现定置网或流刺网作业，风电场风机桩基的存在，增加了海底的粗糙度，造成紊流的出现，起到人工鱼礁的作用。虽然其建设理论上影响渔业资源修养生息，影响所在水域的捕捞作业，但从工程区域以航行为主、捕捞为辅，且从形成人工鱼礁的角度来看，一定程度上有利于鱼类的繁殖和生长，对渔业资源的影响不仅仅是负面影响，也有一定的正面效应。

尽管运行期风机的桩基占有水面有限，而且不可避免对渔业捕捞产生影响。这类影响经与有关利益相关方协商，并予以适当补偿，是可以接受的。风电场运行期的人工鱼礁效应对渔业资源的保护是有利的。

7.5.3 对海洋生态系统服务功能的影响分析

海上风电场工程建设对海洋生态和渔业的影响最终体现在生态系统服务功能的破坏或丧失。海洋生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。工程建设所在海域的生态系统服务功能可划分为物种栖息地、捕捞生产、污染净化、旅游及科学研究等 5 个方面的主导功能。

(1) 物种栖息地

工程建设所在海域是多种野生水生动物栖息、繁殖、洄游场所，也是候鸟的迁徙区。海上风电场工程建设施工期会对该栖息地的野生水生动物栖息、繁殖、洄游会产生较大的干扰，对幼体造成一定程度的伤害，对成体造成回避。对于迁徙过境的鸟类，由于其飞行时高度一般较高，与风机发生碰撞的概率很小，但在天气较为恶劣、能见度较低的时候，迁徙鸟类的飞行高度降低，存在与风机碰撞的风险，但发生的概率总的来说较低，不会对区域鸟类的数量种类造成明显影响。但在运行期，该海域作为物种栖息地的生态服务功能基本不受影响，但风电场对候鸟的迁徙仍会产生一定影响。

(2) 捕捞生产

海洋生态系统通过初级生产与次级生产，合成与生产人类生存必需的有机质及产品。该海域作为捕捞水域具有提供海产品的功能，工程建设会占用该海域，使捕捞生产面积减小，渔获率下降，捕捞生产受到影响。同时，由于风机桩的存

在，特别是在迷雾天气，渔船与风机桩相撞的概率大大增加，对渔船和风机都存在一定的安全隐患。

(3) 污染物净化

海洋是一个巨大的净化器，对入海污染物具有一定的稀释、扩散、氧化、还原和降解的综合能力。工程建设施工期使海域悬浮泥沙增加，水体透光性下降，光合作用减弱，水体溶解氧含量下降，对污染物净化功能会产生一定影响。但在运行期，污染物净化功能不会改变。

(4) 旅游

风电场工程的风景旅游特性明显，海上风电场建成后，有利于形成海上风电场观光项目。但由于本工程离岸距离较远，旅游的开发可能性较低。

(5) 科学研究

河口海域作为一种独特的地理单元和生存环境，在科学研究中有着重要的地位。本项目建成后不会改变原有的科学研究功能。

7.5.4 海域生物资源损失汇总

根据前述计算，将本项目施工期及运行期对海域生物资源影响的经济价值进行汇总，约合计 3249.86 万元，具体见表 7.5-5。

表 7.5-5 海域生物资源影响损失汇总表

时段	环境损失	影响因素	金额（万元）
施工期	底栖生物	风机基础临时压占、海缆敷设破坏	51.29
	潮间带生物	本项目不涉及潮间带	-
	渔业资源	桩基础及电缆沟开挖悬浮物扩散影响	3101.59
	浮游植物		5.77
	浮游动物		90.71
小计			3249.35
运行期	底栖生物	桩基压占	0.51
小计			0.51
总合计			3249.86

7.6 沉积物环境影响分析

7.6.1 施工期

根据现场监测结果，风机桩基础附近的沉积物除了 S10 站位的铬超标（超标倍数为 0.13），其余均符合一类沉积物标准，因此吸出的淤泥总体属于清洁疏浚物，根据工程设计文件，钢管桩施工产生的淤泥吸出后将储存于驳船上，统一运

回陆地处理，不在工程海区进行排放。

此外，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，在严格做好施工期环境管理、环境监理等工作的条件下，污废水和垃圾不会进入海域，对海域的水环境及沉积物环境不会造成明显不利影响。因此必须严格做好施工期管理、监理和监测的工作，保护沉积物环境。

7.6.2 运行期

运行期，本工程对沉积物环境的不利影响主要来自牺牲阳极装置中的重金属污染物释放。本工程采用高效铝合金牺牲阳极，其主要成分为 Al、Zn、In，均是海水中的最常见的物质元素，溶解后易随海水扩散进入大范围的循环，部分沉积于桩基附近沉积物中。

根据工程分析单台风机每年溶解的锌约 2.58kg，牺牲阳极释放的锌有 13% 进入沉积物中计，保守考虑其仅在风机桩基周围 20m 范围、表层 1m 内全部沉积，此范围沉积物中每年锌增量约为 2.02×10^{-7} ，以 29 年考虑，最大累积增值约为 5.86×10^{-6} ，叠加风电场区域沉积物锌含量最大本底值 75.29×10^{-6} ，则沉积物中锌含量最大值为 81.15×10^{-6} ，仍低于沉积物中锌含量标准值 150×10^{-6} （第一类）。沉积的锌不易形成稳定物质而在 25 年内持续累积，因此工程实际运行中对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。

以上只是极端不利工况，只有在风机基础被围隔时才会出现，牺牲阳极的锌溶解后易随海水扩散进入大范围的循环，锌也是海水中的最常见的物质之一，其不易形成稳定物质而在 29 年内持续累积，因此工程实际运行中对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。

此外，本工程对采取覆盖水泥压块或土工网装碎石的方式保护电缆，上述材料均来自合格供应商提供，不会对海域沉积物造成明显不利影响。

7.7 鸟类及其生境影响分析

7.7.1 施工期

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。

在项目建设期,原在该区域觅食的海洋性鸟类和燕鸥类会避开该区域,尤其是风机打桩期发出较大噪声,以及风机安装初期改变水下渔业资源的分布,均会使水鸟离开该区域。但是由于单个风机的装机持续时间非常短(30-40 分钟),安装事件之间的时间间隔通常至少为一天,这可能为鱼类提供了充足的时间,使它们能够迅速地重新适应环境,并保持充足的数量,重新吸引鸟类觅食。

根据现状调查可知,本工程位于外海区域,离岸距离较远,除了少数水鸟之外,少有鸟类在此栖息、觅食。工程海域不是鸟类的活动主要区域,故风电场施工对鸟类的影响相对有限。

7.7.2 运行期

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:

7.7.2.1 对鸟类的直接影响

①风电机噪声影响

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

此外,从风机噪声频率角度评价,噪声对主要依靠鸣声进行通讯的鸣禽影响较为严重 (Slabbekoorn and Ripmeester, 2008),如吸引配偶、防卫领域、预警、乞食和求救、躲避天敌等。噪声干扰鸟类寻找觅食适合区和追赶猎物并辨别天敌位置的能力,使鸟类的捕食效率和生存力大大下降。在噪声环境中,鸟类可选用特定音节或鸣唱句型传递信息 (Kennedy et al, 2009)。当环境噪声水平提高时,声信号发出者改变频率和振幅,增大信噪比,降低噪声对声信号的干扰。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。以图 7.7-1 为例，1250Hz 以上的频率其声强低于 50dB，谱峰出现在 200-300Hz 段附近。

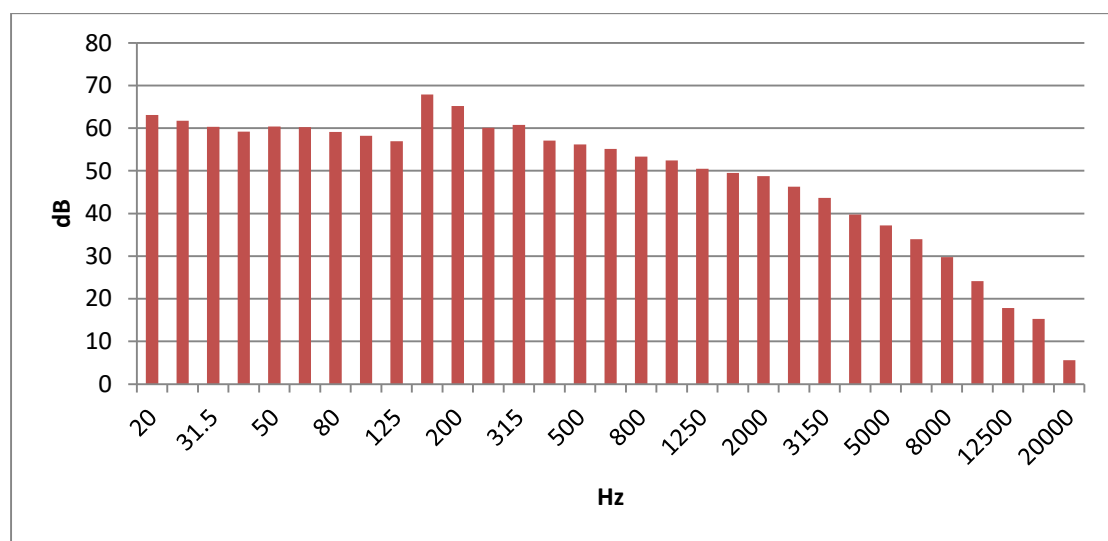


图 7.7-1 6m/s 时风力发电机组噪声的 1/3 倍频程频谱

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

以上数据表明，风电场产生的低频噪声基本低于鸟类的最低频率鸣声，鸟类间的互相沟通及交流基本不会受风电场低频噪声的影响。结合本项目建设区域鸟类分布特征，经过风机所在海域的鸟类主要为非鸣禽类的水鸟，受噪音频率影响的可能性较雀形目鸣禽更低。

②光影影响

日间风机叶片反射阳光可能会刺伤雀鸟的眼睛,使候鸟迷途,改变迁徙方向。而晚上风电场区域的照明是影响夜间迁徙鸟类安全的一个非常重要的因素,特别在遇上大雾、降雨、强逆风或无月的夜晚,鸟容易被光源吸引,向着光源飞行,这种趋光性极易造成鸟撞上光源附近的障碍物。北美 Virginia 西部山区风电场在 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。

③碰撞效应

本项目风机轮毂高度为 100m,叶片运行影响高度为 22~178m。一般情况下风电场对鸟类迁徙没有影响。但候鸟在迁徙中途停歇和觅食时,以及遇到不良气象条件时飞行高度一般都低于 100m。由于此时飞行高度较低,旋转着的巨大风电机叶轮将会阻止鸟类在风电场范围内飞行和停留;同时,风机叶片旋转的范围在离地面 26~180m 之间,是鸟类飞行通过风机的高风险区域,有被风机叶片撞击的危险。但国外有关研究成果表明,候鸟迁徙路线中的风电场年撞鸟概率约为 0.0015%~0.009%。该概率同迁徙候鸟迁徙的规模、气象条件、风电场选址关系很大(Drewitt and Langston, 2006)。大规模的候鸟迁徙也意味着候鸟与风机和输电线路相撞的概率增加;在不良气象条件下,如大雾、降雨或强逆风时,大气能见度降低,鸟类会降低飞行高度,从而增加相撞的概率;风电场选址是最显著影响鸟类死亡的因素,风电场占据的空间范围越大,迁徙鸟类撞击的概率也越大。

同时有研究发现鸟在飞近风电场区域时,能够成功改变迁徙路线以避免塔柱和旋转的叶片,并且白天比夜晚更能精确地改变飞行方向。雷达对丹麦 Nysted 海上风电场鸟类迁徙监测说明,白天鸟类在 3000m 外,夜间鸟类在 1000m 外绕开风力发电场飞行,改变飞行方向(Desholm and Kahlert, 2005)。还有研究统计发现,和风电机碰撞的鸟类多为大中体型的鸛形目、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。

此外,与觅食和迁徙路线有交叉的海上风电场可能会迫使一些鸟类绕着风电

场飞行，但这种影响被认为与长途迁徙的能量消耗规模相比很小。根据本风电场和现有其他风电场内的风机排布方案，多为沿南北排列，与候鸟南北迁徙方向相同，总体上对迁徙候鸟影响不大。

7.7.2.2 对鸟类的间接影响

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

7.7.2.3 栖息地丧失和破碎化

一部分鸟类物种倾向于避开风电场区域，因为它们不再承认风电场区域是它们栖息地的一部分，并从这些区域转移。

在项目运营期，部分种类可适应风机的存在，加上施工结束，打桩噪声消失，仅余风叶转动声响，将会有部分种类重新回到该区域活动。如在英国谢林汉姆海上风电场在建成后记录到白嘴端燕鸥在风机周边的标志浮标上栖息（下图），并记录到其在风机阵列间飞行的轨迹，显示风机之间的宽度足以供燕鸥飞过。风机的存在虽然减少了燕鸥在风电场址内的觅食行为，但增加了周边 4km 内的分布密度，总体上该燕鸥的种群数量没有明显变化（Harwood et al, 2017）。



图 7.7-2 白嘴端燕鸥在标志浮标上栖息

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)。

7.7.2.4 受影响类群及代表性物种分析

在珠江口地区, 迁徙鸟类以水鸟为主, 其中大部分为候鸟, 尤其是种类最多的鸕鹚类, 主要以沿海滩涂生境为主要栖息地, 而本项目的登陆点陆域区域主要为岩质海岸, 没有滩涂生境, 因此鸕鹚类不会长时间停留在本项目场址相关区域, 仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址 (张孚允和杨若莉, 1997)。鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型, 其中岩鹭作为海岛岩岸生境的特有种类, 是最有可能受到影响的种类。鸥类、燕鸥类和海洋性鸟类是利用海面较多的水鸟类群, 其中鸥类、燕鸥类多于浅海区域或近岸滩涂活动, 但有时会跟随渔船在海面集群觅食, 然而随着风电场的建成鱼类分布发生改变, 渔船也不会驶入场址, 鸥类与风机发生碰撞的几率也随之降低。海洋性鸟类, 如军舰鸟、鲣鸟等, 会在海面梭巡, 但一般不会集大群, 且数量较少。此外, 黑鸢等猛禽也发现常于海面上空盘旋, 尤其黑鸢属于留鸟, 且有繁殖种群。但大多数时间猛禽的飞行高度远高于风机运行高度, 仅觅食时会靠近海面, 当风电场建成后鱼类分布发生改变, 其靠近场址的几率也会下降。

根据调查结果, 选取记录中的国家级保护物种 6 种、其他保护物种中与海洋关系较为密切的、具有区域特色的鸥科和燕鸥科鸟类 6 种、以及数量优势物种 (铁嘴沙鸕、环颈鸕), 一共 14 种鸟类作为本区域具有代表性的指标物种, 详

细分析本项目风机建设对其的影响。

(1) 岩鹭 (*Egretta sacra*) 保护状况：国家二级保护，中澳协定收录

项目影响：岩鹭在项目评价范围内为留鸟，种群数量约为 10-15 只。主要分布在大树岛、青洲、竹洲等离岸岛屿和沿岸岩礁生境，距离风电场距离最近超过 40km。白天多停留在礁石岸边伺机捕食，飞行时速度缓慢，常在海上及岩礁上低空飞翔，偶尔在不同的海岛、礁石之间作短距离迁移飞行。由于其主要在白天活动，飞行速度低且飞行高度低，少有集大群出现，海上风机对其影响较轻微，影响时段集中在非繁殖期。

(2) 黑鸢 (*Milvus migrans*) 保护状况：国家二级保护

项目影响：黑鸢为中型猛禽，在项目调查区域为常见留鸟，主要于近岸滨海湿地上空飞翔，喜在近岸和海岛上的山林营巢繁殖。本次调查记录在海岸上空和近海岛屿附近飞行，在评价区域内的种群规模约为 3-5 只，而在项目场区内没有发现，估计飞入场区几率较低。而且由于其飞行高度一般较高，风机对其影响不大。

(3) 黑翅鸢 (*Elanus caeruleus*) 保护状况：国家二级保护

项目影响：黑翅鸢为鹰科 (*Accipitridae*) 小型猛禽，在项目调查区域为夏候鸟，一般单独出现不集大群，属于偶见种类。主要活动于大陆沿岸，白天多停在乔木顶部或电线杆上，在沿海湿地和周边农田上空飞行。估计整个区域约有 2-5 只的种群。由于其不会进入海域活动，风电项目对其没有影响。

(4) 褐翅鸦鹃 (*Centropus sinensis*) 保护状况：国家二级保护

项目影响：褐翅鸦鹃为鸦鹃科中型鸟类，在项目调查区域为常见留鸟，主要活动于沿岸湿地灌丛。常下至地面，但也在小灌丛及树间跳动，通常较隐蔽，只凭鸣声识别。该物种分布广泛，估计整个区域约有 4-6 只的种群，较常见。由于其不会进入海域活动，风电项目对其没有影响。

(5) 小鸦鹃 (*Centropus bengalensis*) 保护状况：国家二级保护

项目影响：小鸦鹃为鸦鹃科中型鸟类，在项目调查区域为留鸟，和褐翅鸦鹃习性类似，主要活动于沿岸湿地灌丛，也较为隐蔽，只凭鸣声识别。本次调查在冬季有记录，估计整个区域约有 2-3 只的种群。由于其不会进入海域活动，风电项目对其没有影响。

(6) 环颈鸻 (*Charadrius alexandrinus*) 保护状况：无

项目影响：环颈鸻是鸻科小型涉禽，本次调查发现在项目区域全年均有记录。既有越冬种群，也有少量繁殖种群，其中越冬种群占绝对优势，包括有 *C. a. alexandrinus* 和 *C. a. nihonensis*，繁殖种群为其另一亚种 *C. a. dealbatus*。在上洋沙头、电白沙尾等沙滩均有分布，全部种群活动范围均为沿海沙质滩涂，其中繁殖种群利用高潮时不被淹没的沙滩繁殖，基本不会离开海岸作远距离飞行，越冬种群在迁徙期间会穿越海面，但就本次调查期间没有发现其确切迁徙路线，须在项目建成后持续观测。

(7) 铁嘴沙鸻 (*Charadrius leschenaultii*) 保护状况：中日协定和中澳协定收录

项目影响：铁嘴沙鸻鸻科中小型涉禽，在项目调查区域为迁徙过境鸟，9月-翌年4月可见，主要活动于沙质滩涂，和环颈鸻分布生境类似，极少出现在岩质海岸。在高潮时常结大群与其他鸻鹬类混合停留在沙滩高潮线上，迁徙季节数量较多。由于其主要在近岸滩涂觅食，飞出近海活动几率较小，此时风机对其影响较小。但迁徙期间有可能飞越海面至澳大利亚越冬，有机会穿越风电场所在地。但就本次调查期间没有发现其确切迁徙路线，须在项目建成后持续观测。

(8) 大滨鹬 (*Calidris tenuirostris*) 保护状况：国家二级保护，IUCN 濒危

项目影响：大滨鹬是鹬科滨鹬属的小型涉禽，在项目调查区域有过境和越冬记录，最早在7月底已有迁徙个体经过阳江海岸。主要栖息于海岸、河口沙洲及其附近沼泽地带，常成群活动在河口沙滩和海岸潮间带觅食。由于其对滩涂依赖程度较高，受围垦影响全球种群数量剧烈下降，在 IUCN 红色名录中被评为濒危等级，在 2021 年被正式升级为国家二级重点保护动物。日常觅食和栖息均集中在滩涂区域，不会经过风电场所在区域，但迁徙时有可能飞越海面，并有机会穿越海上风电场，但就本次调查期间没有发现其确切迁徙路线，须在项目建成后持续观测。

(9) 粉红燕鸥 (*Sterna dougallii*) 保护状况：省级保护，中日协定收录

项目影响：粉红燕鸥为燕鸥科中小型涉禽，在项目调查区域有繁殖记录，于4-10月可见，栖息于海岸、港湾的岩礁、沙滩、海上岛屿及开阔海洋，常结群或与其他燕鸥混群活动。在几个离岸小岛礁上有繁殖种群，与其他燕鸥混群，但种群规模较小，约10-30只，没有在项目场址内活动记录，海上风电场对其繁殖期的觅食活动可能有一定影响，影响时段集中在繁殖期。需要在风电场建成后开展

持续观测。

(10) 普通燕鸥 (*Sterna hirundo*) 保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

项目影响：普通燕鸥为燕鸥科中型水禽，在项目调查区域为冬候鸟，于 10 月-翌年 4 月可见，多发现于海面飞行，单只或小群活动，频繁的飞翔于水域和沼泽上空。区域内的种群数量约 30-80 只，本次调查在海面有飞行记录，其飞行轻快而敏捷，两翅煽动缓慢而轻微，并不时的在空中翱翔和滑翔，据其飞行姿态判断，风电场建成后，普通燕鸥会选择回避该区域，从而减少碰撞的几率，总体上风机对其影响不大，但须在风电场建成后作持续观测。

(11) 白额燕鸥 (*Sterna albifrons*) 保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

项目影响：白额燕鸥为燕鸥科中小型水禽，在项目调查区域为夏候鸟，4-9 月可见，主要活动于近岸滩涂，停歇处滩涂偏沙质，在近岸沙滩种群可有 50-120 只，在项目场址内部没有观测记录。由于其繁殖地多为沙质滩涂，甚少到岩礁海岸筑巢，风电场对其影响十分轻微。

(12) 褐翅燕鸥 (*Onychoprion anaethetus*) 保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

项目影响：褐翅燕鸥为燕鸥科中小型涉禽，主要栖息于大海，是典型的海洋鸟类，仅在恶劣气候及繁殖季节才靠近海岸或岛屿。在项目调查区域为夏候鸟，4-9 月可见，曾在离岸较远海面观察到，在离岸岛屿上可能有繁殖种群，种群数量约 20-50 只，风电场可能会对其觅食飞行有影响。

(13) 白翅浮鸥 (*Chlidonias leucopterus*) 保护状况：省级保护

项目影响：白翅浮鸥为燕鸥科中型水禽，主要栖息于海洋及海滨、岛屿、河口、大江大湖甚至沼泽、池塘等水体，常成群活动。多在水面低空飞行。春季在上洋镇港口发现约 300 只大群聚集活动。在项目调查区域为夏候鸟，4-9 月可见，在项目场址内部没有观测记录，风电场对其影响较小。

(13) 灰翅浮鸥 (*Chlidonias hybrid*) 保护状况：省级保护

项目影响：灰翅浮鸥是一种体型略小的浅色燕鸥，栖息于开阔平原湖泊、水库、河口、海岸和附近沼泽地带。常成群活动。主要在港口和养殖塘有记录，与白翅浮鸥有混群活动。一般不飞出远海，在项目场址内部没有观测记录，风电场

对其影响较小。

7.7.2.5 对重点保护鸟类资源在繁殖、栖息、觅食等方面的影响

由于本项目离岸较远，项目场址内没有鸟类繁殖记录，也没有集群候鸟栖息记录，仅记录到少量燕鸥类和海洋性鸟类在该区域的飞行活动，因此项目场址不是鸟类的主要繁殖、栖息和觅食场所。

结合沿海近岸调查，在评价范围内的重点保护鸟类资源主要分布地为阳江阳西溪头镇散头咀沙滩，其余地点数量较少，距离项目场址约 46km，项目场址建设对鸟类影响很小。

对于重点保护鸟类，国家级有岩鹭、黑鸢、普通鵟、黑翅鸢、红隼、褐翅鸦鹃和小鸦鹃等，其中褐翅鸦鹃和小鸦鹃不会离开近岸陆域，风机对其没有影响；四种猛禽有机会在海面飞行觅食，但一般为近岸区域活动，且其飞行多成滑翔状，能避开风机活动，风机对其影响较小；岩鹭主要在近岸海岛岩岸上繁殖，在周边海域飞行觅食，没有调查发现岩鹭能在海上风机桩上筑巢，因此岩鹭飞近风电场的机会较低。

省级保护物种中，除燕鸥科和鸥科鸟类有部分种类曾在项目海域记录到，其余物种均为近岸湿地或陆域活动物种，海上活动范围基本集中在离岸 5km 范围内，风机对其影响很小。

对于调查记录的优势种铁嘴沙鸨和环颈鸨，均为在近岸滩涂觅食和栖息的种类，风机不影响其觅食和栖息。其中铁嘴沙鸨部分种群在迁徙期间会飞越海面到澳大利亚等地越冬，有机会飞越风电场所在海面，可能会避让风机而调整飞行路线，但因绕行而增加的能量消耗很小，可忽略不计，因此，风电场项目建设对周边冬候鸟的越冬影响较小。

7.8 其他环境影响分析

7.8.1 牺牲阳极对海洋水质影响分析

牺牲阳极附着在钢管桩上，均暴露在水中，根据王恕昌等的研究成果，海水中的无机锌 Zn^{2+} 、 $Zn(OH)^+$ 及 $Zn(CO_3)$ 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、生物的交流较为复杂，目前尚缺乏系统的研究。根据工程设计，单台风机阳极锌释放量为 2.58kg/a，释放的锌按

87%进入海水中随潮流扩散，则释放速度约合 0.071mg/s，则其扩散至不同距离时每年增加的锌浓度见表 7.8-1。

表 7.8-1 单台风机阳极保护块不同距离时海水锌浓度每年增量

距离 (m)	浓度增量 ($\mu\text{g/L}$)
10	1.42
20	0.71
50	0.28
100	0.14
200	0.07

在最不利工况条件下，单台风机牺牲阳极释放的锌浓度增量 10m 处为 0.00142mg/L，增加后仍满足所处的海洋功能区的环境保护要求。在风电场实际运行中，牺牲阳极释放的锌将随海水输移扩散，不会在风电场区持续叠加，因此不会对区域海水水质造成显著影响。

7.8.2 污废水排放影响分析

(1) 船舶污水对海洋水质的影响

本工程施工船舶油污水产生量为 28.92t/d，油类污染物产生量为 57.84kg/d，施工期船舶作业人员生活污水产生量为 17m³/d。船上均设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后定期交有能力的单位接收后统一处理，对工程海域水质基本无影响。

(2) 陆域施工基地污废水排放影响

陆域施工生产废水来自施工基地，其施工废水产生量约为 65m³/d，产生的生活污水为 10m³/d。施工生产废水拟采用隔油预沉-过滤-沉淀的处理方式，处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)中相应用途的回用标准后储存回用，多余废水经处理达到广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)三级标准后，与施工人员生活污水一并纳入阳江高新区临港工业园区污水处理厂。

7.8.3 声环境影响分析

与陆上工程项目不同，海洋工程噪声污染可能同时对水面和水下的声环境敏感目标产生影响。本项目距离陆地岸线较远，工程区域声环境敏感目标较少，因此工程海面噪声环境影响有限。而对于水下噪声环境影响，近年来的研究表明，

海洋工程施工产生的水下噪声可能对附近的鱼类及海洋哺乳动物产生一定影响。因此本报告分别就项目建设、运行对水面及水下声环境影响进行评价。

7.8.3.1 施工期声环境影响评价

(1) 海上施工

海域施工主要影响为风机基础打桩等造成的影响，本工程主体施工位于海上，距离陆域较远，噪声主要会对海洋生物造成一定的影响，具体内容详见 7.4.1 节。

(2) 陆域施工

陆上施工噪声主要来源于风机主要部件的预组装及施工材料的运输等施工活动，施工各类机械噪声可近似视为点声源，根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ/T2.4-2009）推荐的点声源噪声衰减模式，估算距声源不同距离处的噪声值，预测模式如下：

$$L_2 = L_1 - 20 \lg\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

式中： r_1 、 r_2 ：距声源的距离（m）；

L_1 、 L_2 ：距离处的声强级，dB（A）；

本工程施工噪声主要来源于施工基地的场地平整以及施工材料的运输等施工活动。根据类似工程，按点声源衰减公式预测各主要施工机械的噪声值及影响距离，见表 7.8-2。

表 7.8-2 施工机械噪声级及影响距离 单位：dB(A)

设备名称	不同距离处的噪声 dB（A）									
	10m	30m	50m	70m	100m	200m	300m	400m	500m	600m
大型吊车	85	75.5	71.0	68.1	65.0	59.0	55.5	53.0	51.0	49.4
重型运输汽车	80	70.5	66.0	63.1	60.0	54.0	50.5	48.0	46.0	44.4
混凝土泵	80	70.5	66.0	63.1	60.0	54.0	50.5	48.0	46.0	44.4
装载机	78	68.5	64.0	61.1	58.0	52.0	48.5	46.0	44.0	42.4

由表 7.8-1 可见，根据建筑施工场界噪声控制要求，昼间距离施工设备 60m 外的平均 A 声级均能满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；夜间要求施工机械距离施工场界 300m 外，噪声值才能符合噪声限值要求（不进行建筑打桩施工）。施工基地所在的港区周围 300m 范围内业无声环境敏感目标分布，因此施工噪声对周围环境影响不大。

7.8.3.2 运行期声环境影响分析

本项目运行期主要为风机运行的噪声，风机运行过程中产生的噪声主要有

机械及结构噪声和空气动力噪声组成,其中空气动力噪声是其主要对环境的影响。空气动力噪声主要由叶片快速转动从而形成气流湍流扰动形成,因此叶片转速越高造成的空气动力噪声越强。

本项目风机切入风速在 3m/s,额定风速为 10.2~11.0m/s,当风速达到额定风速时,风机噪声源强亦达到最高。根据浙江省环境监测中心、华东勘测设计院对近年来浙江、江苏等区域沿海或内陆不同风电场、不同单机容量的风力发电机组噪声水平所进行的多次实测结果表明:监测值的平均值范围为 38.7~65.8dB,经过点声源衰减模型反推,国产风力发电机组轮毂处的最大声功率级一般在 95~106dB/re 20 μ Pa 之间。本项目风机轮毂高度为 125~140m,风机噪声源以 113dB(A)作为评估分析。

(1) 单台风机运行噪声预测

由于在距离风机较近的情况下,声源为一面声源,其声传播不能按点声源的衰减规律计算;在距离声源较远的情况下,如计算点大于风机组几何体一倍距离后,其噪声衰减与点声源的衰减规律基本上一致。通常认为在距离风力发电机组水平距离 50m 以外,噪声计算值与实测值衰减规律基本一致。根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》附录 C 推荐的预测模式,风力发电机组影响预测公式如下:

假定声音从一个点源无吸收衰减传播,则距离单台风机声源 r 处预测点 A 声级计算公式为:

$$L_p(r) = L_w(r_0) - 10\lg(2\pi r^2)$$

式中:为单台风机声源 r 处预测点 A 声级,单位 dB(A);

单台风机声源处 A 声级,单位 dB(A)。

本项目风机轮毂高度分别为 125m 和 140m,在风机噪声源以 113 dB(A)作为评估分析时,运营期风机组噪声影响预测表分别见表 7.8-3 和表 7.8-4。

表 7.8-3 轮毂高度 125m 风机噪声影响预测表 (单位: dB(A)/20 μ P)

与轮毂直线距离(m)	159	252	317	399	564	632	709	796	1002
与桩基水平距离(m)	98	219	291	379	550	620	698	786	994
风机噪声(dB)	61	57	55	53	50	49	48	47	45

表 7.8-4 轮毂高度 140m 风机噪声影响预测表 (单位: dB(A)/20 μ P)

与轮毂直线距离(m)	159	252	317	399	564	632	709	796	1002
与桩基水平距离(m)	75	210	284	374	546	616	695	784	992
风机噪声(dB)	61	57	55	53	50	49	48	47	45

由计算结果可知,在距离风机轮毂直线距离 159m 处(海面上距桩基水平距离分别为 98m 和 75m),运营期风机噪声降为 61dB(A);在离风机直线距离 564m 处(海面上距桩基水平距离分别为 550m 和 646m),运营期风机运行噪声降为 50dB(A);在离风机直线距离 1002m 处(海面上距桩基水平距离分别为 994m 和 992m),运营期风机运行噪声降为 45dB(A)。

(2) 多台风机噪声叠加分析

本风电场所有风机噪声叠加效果按下列公式计算。N 台风轮机距离声源 r 处的噪声水平总效应为:

$$L_{P,total}(r) = 10 \lg \sum_{i=1}^N (10^{\frac{L_{P,i}}{10}})$$

本工程中单台风力发电机组噪声采用最大声功率 113dB(A) 计算。运营期临近本机的 4 台风机在本台风机处产生的噪声源强以 45dB(A) 计算:

$$L_{P,total}(r) = 10 \lg \sum_{i=1}^N (10^{\frac{L_{P,i}}{10}}) = 10 \lg (10^{\frac{113}{10}} + 4 * 10^{\frac{45}{10}}) \approx 113(dB)$$

可计算出临近的 4 台风机在本风机处叠加所产生的数值很小,结果基本上仍等于起主要作用的本台风机原噪声源强。因此预测运营期多台风机之间噪声的叠加仅是影响范围的扩大,基本不增加强度,总体上风机组产生的叠加噪声影响很小。

预测结果可知:叠加影响后在单排风机外 317m 处,风机噪声可衰减至 55.0dB(A)。由于背景值海上风声和海浪声较大,风电场运行噪声对海上声环境影响仅限于风机附近。由于风电机组间相距较远,每个风电机组可视为一个点声源,多个噪声在同一点的噪声叠加值比单个噪声值只略有增加,增加值基本可以忽略。

7.8.4 大气环境影响分析

(1) 施工期大气环境影响

①海上施工对大气环境影响

海上施工对大气环境的影响主要为施工和运输船舶航运排放的废气，主要污染物为 NO_x 、 CO 、 SO_2 等。由于海域较为宽阔，有利于扩散，因此其影响较小。

②陆上施工对大气环境影响

陆上施工基地施工中由于建材堆放和施工车辆的行驶，在作业面及其附近区域将产生粉尘和二次扬尘，造成局部区域的空气污染。施工粉尘和扬尘总量不大，工程区域周围无居民区、学校等环境敏感目标，且施工区域的地形条件有利于粉尘和扬尘的扩散，故不会对周围空气环境产生明显影响。

(2) 运行期大气环境影响

本工程运行期风电机组无大气污染物排放，对周边大气环境不会造成影响。

7.8.5 固体废弃物影响分析

7.8.5.1 施工期固体废弃物影响

(1) 海上施工固废

根据工程设计文件，钢管桩施工产生的淤泥吸出后将储存于驳船上，统一运回陆地处理，不在海区进行排放。

根据本项目施工组织设计，海缆埋设属于敷埋同步，自动回淤保护的施工工艺，不存在弃渣；对于风机基础连接处灌浆施工，作为停浆标准观察的少量溢出浆液量相当小，不对环境构成影响。

施工船舶人员生活垃圾集中收集后上岸处理，不会对周边海域环境造成不利影响。

(2) 陆上施工固废

陆上施工基地施工人员生活垃圾集中收集后定期清运，不会对周边陆域、海域环境造成不利影响。

7.8.5.2 运行期固体废弃物影响

本工程正常运行时不产生危险废弃物，一旦发生突发性事故或检修时，可能产生少量油渣（HW08）、油垢（HW08）、废油（HW08）等危险废弃物，对于上述危废，建设单位应委托具有相应资质的单位统一回收处置、处理，不外排，不会造成环境污染。

此外，风机运行期还需配备一定数量的蓄电池，在电池寿命期满后，对于更换下来的电池（HW49 其他废物），如不加收集随意弃置可能会对弃置区的土壤

环境、地表水及地下水环境造成污染，导致重金属等污染物含量升高，因此建设单位需委托具有相应资质的单位统一回收处置、处理，在落实危废收集处置措施后，本工程危险废弃物不会对环境质量造成不利影响。

7.8.6 通航环境影响分析

根据本项目通航安全影响分析报告，拟建风电场处在连片布置的风电场海域，阻断了《中国航路指南》（A103 南海海区）中的珠江口-琼州海峡北水道和台湾海峡-琼州海峡北水道航路，但其选址处在深水区，总体避开了沿岸小型船舶交通流的密集区，与邻近风电场构成的连片风电场海域，南北侧均有足够空间供过往船舶航行；通过采取相应的安全保障措施、申请调整相关航路后，对周边航路影响可控；另外，工程的选址离岸较远，与港口航道、锚地等交通环境相适应，从船舶通航安全角度出发，从海域整体实际情况考虑，拟建三峡阳江青洲五海上风电场的选址是基本合理的。

本风电场所在海域原本是航行条件优良的可通航海域，附近海域有一定的商船交通流，过往商船航迹带较宽，渔船也多，风电场的建设对过往船舶的正常航行有一定的影响，总体上看，风电场选址避开了沿岸船舶交通流最为密集的区域，风电场周边海域宽阔、水深足够，有足够的空间供过往船舶操纵避让，通过采取相应的安全保障措施后，其对海上交通环境的影响总体上是可控的。

风电场所在海域内存在较多的船舶活动，工程设计阶段需加强对本项目的导助航标志、警示标志的设计工作，导助航标志的设置应与工程建设“三同时”，避免附近船舶误入工程海域范围，保证附近海域船舶通航安全和工程自身安全。

除了风况、附近商船航行、渔船活动的通航风险等级为“中等”之外，工程水域受自然条件通航风险等级主要为“较低”或“低”，总的来说，通过采取相应的应对措施，本工程所在海域的通航安全风险是可控的。

综上，通过工程建设方案的合理性、可行性分析，本风电场项目选址基本合理。该风电场的建设对所在海域的通航环境和通航安全有一定的影响，在采取本报告提出的相关安全保障和维护措施后，其不利影响和风险将会得到相当程度的缓解。从船舶通航环境和通航安全角度考虑，本项目海上风电场项目对附近海域通航环境和通航安全的影响是可控的。

7.8.7 退役期环境影响

本工程设计运行期 25 年，风电场运行达到设计周期后，将对风电场进行拆除工作，风电机组基础钢结构在泥面以下进行切割，上部吊装上岸拆解，拆除完成后局部恢复，整个过程将会使沉积物有局部扰动，短时期内造成局部海水悬浮物浓度升高，总体来说扰动范围小、扰动程度低，对周边海洋生态环境影响较小。本退役期环境影响应在拆除施工方案明确后另行编制环境影响报告。

7.9 工程建设对周边环境保护目标的影响

根据前述各章节环境影响预测分析可知，本工程建设会对工程海域周边环境敏感目标产生一定的影响，其中珠江口至琼州海峡北水道推荐航路、台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路穿越本工程风电场及青洲七风电场场址，工程建设前需进行改道。根据水文动力和冲淤环境影响预测分析可知，工程建设对水动力和冲淤环境影响局限在风电场周边 2~3km 范围内，上述航路改道后，工程不会对其水文动力和冲淤环境造成明显不利影响。此外，风电场建设对“三场一通道”以及工程海域的珍稀保护动物也会造成一定影响。

7.9.1 对航道的影响分析

本工程评价范围内的航道有珠江口至琼州海峡北水道推荐航路、台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路。

根据《三峡阳江青洲五海上风电场项目安全影响分析报告》，珠江口至琼州海峡北水道推荐航路、台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路穿越本工程风电场及青洲七风电场场址，工程建设前需进行改道，推荐的改道航路距离风电场超过 3km。

根据水文动力和冲淤环境影响预测分析可知，工程建设对水动力和冲淤环境影响局限在风电场周边 2~3km 范围内，上述航路改道后，工程不会对其水文动力和冲淤环境造成明显不利影响。

本工程距离其他航道等港航设施较远，均超过 15km，工程建设建设对其他航道等基本没有影响，不会影响其正常使用功能。

7.9.2 对重要经济鱼类资源“三场一通道”的影响

(1) 施工期

通过农业部公告第 189 号《中国海洋渔业水域图》（第一批），本项目风电场区部分位于南海底层、近底层鱼类产卵场保护范围内，距离南海北部幼鱼繁育场保护区约 15km。施工期项目对海洋环境生物产生的影响主要为电缆敷设产生的悬浮泥沙影响及打桩产生的噪声影响。由于施工时间较短，施工结束后，悬浮物可在较短时间内沉降，总体上，电缆敷设施工对保护区海水水质影响有限。另外，本项目针对施工期悬浮泥沙引起的生物损失将进行一定的生态补偿，根据噪声专题报告，打桩施工前将设定一定的安全距离对海洋生物进行驱赶，同时由于施工期悬浮泥沙污染及噪声影响都是暂时且不连续的，因此施工期对“三场一通道”影响可接受。

（2）运行期

本工程运行期水下噪声影响远小于各类船舶及机械施工产生的影响，因此不会对工程海域水下声环境产生明显影响。根据本项目噪声专题报告，工程运行期风电场噪声对渔业资源的影响也是可以接受的。风电场建成运行后，为保护海底电缆和风机的安全运行，该海域禁止底拖网、抛锚，形成实质上的禁捕区，又发挥一定的人工鱼礁功能，一定程度上有利于鱼类的繁殖和生长，有利于保护幼鱼幼虾，有利于保护产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道，对渔业资源的影响不仅仅是负面影响，有可能产生正面效应。

7.9.3 对珍稀保护海洋动物的影响

7.9.3.1 对中华白海豚的影响

（1）施工期

海洋工程建设对中华白海豚等鲸豚行为的影响是一个累积过程，其影响因素包括往来船只、施工噪音、水下工程作业、施工对海洋生态环境的影响等多种因素。海洋工程建设对于鲸豚类的影响主要体现在不同的反应阶段，主要表现为：呼吸模式的改变、行为模式的改变、声学干扰以及摄食行为的响应。

①悬浮泥沙入海对中华白海豚等鲸豚的影响

从生理结构上来说，鲸豚类是用肺呼吸的水生哺乳动物，这有别于用鳃呼吸的鱼类，它呼吸时头部露出水面直接呼吸空气，不易受水中悬浮物增加的影响。同时，鲸豚类主要靠位于头部的回声定位系统来探测周围环境和识别物体，进行摄食活动和个体间的沟通联系，因此推测水中泥沙悬浮物的增加对不会直接影响

中华白海豚觅食、社交等活动。本工程距离中华白海豚的主要分布范围较远，因此施工悬浮物对中华白海豚等鲸豚的影响较小。

②水下施工噪声对中华白海豚的影响

风电工程施工过程中对水下声环境产生影响的机械噪声源主要有施工机械噪声、施打钢管桩噪声、钻机噪声和船舶运输噪声等。根据工程分析，施工期桩基施工源强为 233dB(re 1 μ Pa)，峰值声压级所处的 1/3 倍频带中心频率为 200Hz，并对水下冲击式打桩的过程进行了分析，对打桩噪声的传播进行了模拟，提出选择 3km 作为对海洋哺乳动物行为产生干扰的警告区域范围。本工程距离中华白海豚的主要分布范围较远，因此对保护区海洋哺乳动物影响很小，但仍需要在施工时采用软启动的作业方式，即开始轻打几下，让潜在的水生动物有时间逃离回避，再逐步增强施工强度。

③施工船舶航行对中华白海豚等鲸豚的影响

项目施工过程中需要大量施工船只，施工船舶在航行过程中，存在船体及其螺旋桨对偶遇的鲸豚造成直接撞击伤害的事故风险。

船舶在各种不同的通航速度时对鲸豚的影响会有所不同，船舶由远及近靠近海豚时，对海豚的影响则由弱逐渐加强，如果船舶速度较快，海豚则有可能没有足够的时间反应，被船体或是螺旋桨撞伤或是致死。一般情况下，大中型船舶的通航速度相对较低，而且大多直线行驶，转弯缓慢，对海豚的直接撞击的可能性较小；小型快艇由于速度较快，可能对海豚产生一定程度上的潜在的威胁。因此，本项目需要对施工船舶的船只进行约束。按照国际上对于船速的要求，一般设定为 10n mile/h，以便在受到惊吓或是感受到危险时，海豚有足够的反应时间，可以采取适当的逃避行为以避开船舶，也可将船舶通行对中华白海豚的碰撞风险影响降至最低。

④施工生产及生活废水对中华白海豚等鲸豚的影响

风电场在施工期间均会产生一定的船舶含油废水和生活污水，这些废污水若不加以处理直接排海将对周围水质环境产生一定的不利影响，从而对海豚的生境及摄食环境产生影响。根据有关规定，本项目施工船舶含油污水采用船上配备储污水箱进行收集和贮存，再由有能力单位的污水接收船统一接收至上岸处理。因此，本项目施工期间生产及生活废水对中华白海豚等鲸豚基本没有影响。

(2) 营运期

风电场营运期间可能对鲸豚造成影响的因素主要为风电场产生的水下噪声及电磁场。

①水下噪声对中华白海豚的影响

根据国内外现有风电场类比监测分析结果可知,海上风电场在营运期总体的水下噪声强度比较低,即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段(120Hz~1.5kHz)上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1 μ Pa,总体噪声谱级都在 130dB/1 μ Pa 以下,已和海洋背景噪声相当。同时,根据厦门大学课题组对国内 5 个营运期海上风电场水下噪声现场监测结果,可预测营运期水下噪声对海洋生物的影响距离在 100m 以内。

据此推测,海上风电场营运水下噪声水下噪声噪声剂量分贝值一般情况下都低于 130dB,基本与海洋背景噪声相当,参照美国国家海洋渔业机构(NMFS)颁布的鲸豚类水下噪声的 180dB 标准限值,本工程距离中华白海豚主要分布范围较远,因此,营运期风机产生的水下噪声对中华白海豚等鲸豚的影响有限。

②电磁环境对中华白海豚的影响

风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下,电场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于 66kV 的集群海底电缆,由于磁场在海域介质中的衰减特性,在离机群中心距离 1m 外,磁感应强度已降为 1 μ T 以下。根据厦门大学实验室模拟实验,风电场电磁环境对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物(大黄鱼、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎;虾类和贝类有对虾,口虾蛄;菲律宾蛤仔等)受风电场影响在可接受范围内。

袁健美等在 2016 年选取江苏近海常见 12 种海洋生物(袁健美、张虎、刘培廷等,海上风电场对 12 种海洋生物存活率与行为的影响。生态学杂志,2016,35(11): 3051-3056),包括黑雕、半滑舌鳎、脊尾白虾、文蛤、纵肋织纹螺、细螯寄居蟹、黑褐新糠虾、口虾蛄、三疣梭子蟹、天津厚蟹、斑尾刺虾虎鱼、中华仙影海葵,通过实验方法研究了不同磁场强度(试验 I:1.0mT;试验 II:0.01mT、(0.045 \pm 0.01)mT、(0.2 \pm 0.01)mT、(0.9 \pm 0.01)mT、(4.05 \pm 0.01)mT),风电场对鱼、虾、蟹和贝类的存活、行为等方面的影响。研究表明鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类的磁场影响范围主要为 0.2mT~4.05mT,而在 0~0.2mT 之内电磁场对鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类行为无明显差异,影响较小,因此电磁场控制在《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)公众暴露控制限值 0.1mT 之

内，电磁场对鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类影响较小。

由于本工程海域不是中海白海豚的主要分布区域，因此总体上工程建设造成的电磁场对其影响较小。

7.9.3.2 对海龟的影响

从海龟洄游路线卫星追踪调查结果看，项目所在海域不属于海龟迁徙期间的关键觅食地。本项目风场场址距离海龟洄游路线较远，施工期打桩、海缆铺设的悬浮物以及打桩噪声对海龟的影响较小，并且施工产生的影响是可逆的，随着施工结束而消失。

针对噪声对海龟的影响阈值，根据美国能源部用于“渔民大西洋城风电场——最后的环境评估”（US Department of Energy, Final Environmental Assessment for Fishmen's Atlantic City Winderfarm, 2015）的报告，参考噪声对海洋哺乳动物影响的相关阈值，得出海龟的听力损伤阈值以均方根声压级为 180dB（re 1 μ Pa RMS）、行为影响阈值以均方根声压级 166dB（re 1 μ Pa RMS）为门限，基本的结论是海龟对噪声的敏感性比海洋哺乳动物略差些。因此本项目实施后水下噪声对海龟的影响也有限。

电磁场对幼龟的影响：由 50Hz、330kV 交流电缆产生的磁场可改变自然磁场 0.05 μ T，可能会在短距离（如 25m）范围内影响海龟的磁场检测系统，当它们不能做出补偿，或者没有其他的指引方式（如日光）下，对晚上试图离开筑巢海滩的幼年海龟（游泳能力较弱）的离岸迁徙可能有某些影响。

电磁场对成年海龟的影响：青年或成年海龟在捕食底栖生物时也可能置于 25m 影响的电缆磁场之中，在某些特别浅的水域即使不靠近底部也可能受到影响。但成年海龟的导航最初依赖于它们具有的磁地图感知，而一旦它们靠近目的地时，它们可能更依赖于当地其他信息的指引（如嗅觉信号）。因此，虽然由电缆引起的地磁场局部扰动可能会改变成年海龟的航向，但最大的影响可能是使它们偏离了直接到达目的地的路线。

本项目海底电缆均敷设于海底土层以下 2~3m，电缆外层的金属屏蔽层、铠装层以及海底土层对磁场具有一定的屏蔽作用，且海龟在海洋中的活动空间较大，在海底区域活动的海龟数量相对较少，因此 66kV 海缆对该海域中海龟的影响总体上有限。

7.9.3.3 对鲨的影响

根据南海水产研究所调查资料,中国鲨分布于长江口以南的东海和南海海域,南方鲨分布于广东湛江东海岛以南的南海海域。中国鲨的活动区域较为分散,目前主要在等深线 3~10m 近海海域多有发现。本项目距离南方鲨活动的广东湛江东海岛以南的南海海域较远,水深在 35~45m 之间,所占海域不是鲨的主要活动分布区域。本项目施工期间悬浮物对鲨的产生的影响较小,影响程度和影响范围有限。中国鲨对盐度的适应范围在 23~30‰之间。成鲨对水温也很敏感,最适范围在 28~20℃之间,水温低于 10℃不利于鲨存活,水温降到 16℃时成鲨开始停止进食。工程建设不会改变海水的盐度和水温,不会改变中国鲨的生活环境。

运行期对鲨的影响主要为风机水下噪声和电磁辐射的影响。根据噪声预测分析结果,风机在不同风速下产生的水下噪声强度变化不明显,与海洋背景噪声相当。除了在离桩基 50m 范围内对石首鱼科的通讯距离会产生掩蔽效应影响外,对一般的鱼类和海洋哺乳动物的影响在可以接受范围内。根据电磁环境影响预测分析结果,风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显,磁场在海域介质中的衰减较快,对该海域中哺乳动物的影响在可以接受范围。综上,工程运行期对鲨的影响较小。

7.10 风电场群建设产生的环境累积影响分析

考虑到本工程所在海域邻近三峡阳江青洲五、青洲七海上风电场项目、粤电阳江青洲一、二海上风电场项目、以及华电阳江青洲三和明阳阳江青洲四海上风电场项目等拟建风电场项目。因此,在该片风电场规划范围内,总共有 7 个拟建风电场项目(含本工程),风电场群建设不可避免的会对周边海域环境产生累积影响。

7.10.1 风电场群建设对海域水文动力的累积影响分析

为准确预测上述 7 个风电场建设后对周边海域水文动力环境可能产生的累积影响,通过建立三维水动力模型对 7 个风电场建设前后的水文动力环境影响进行预测分析。

7.10.1.1 潮流数学模型

潮流数学模型建模及参数设置、模型率定验证等具体内容详见 7.1.1 节。模型网格图详见 7.10-1 和图 7.10-2。

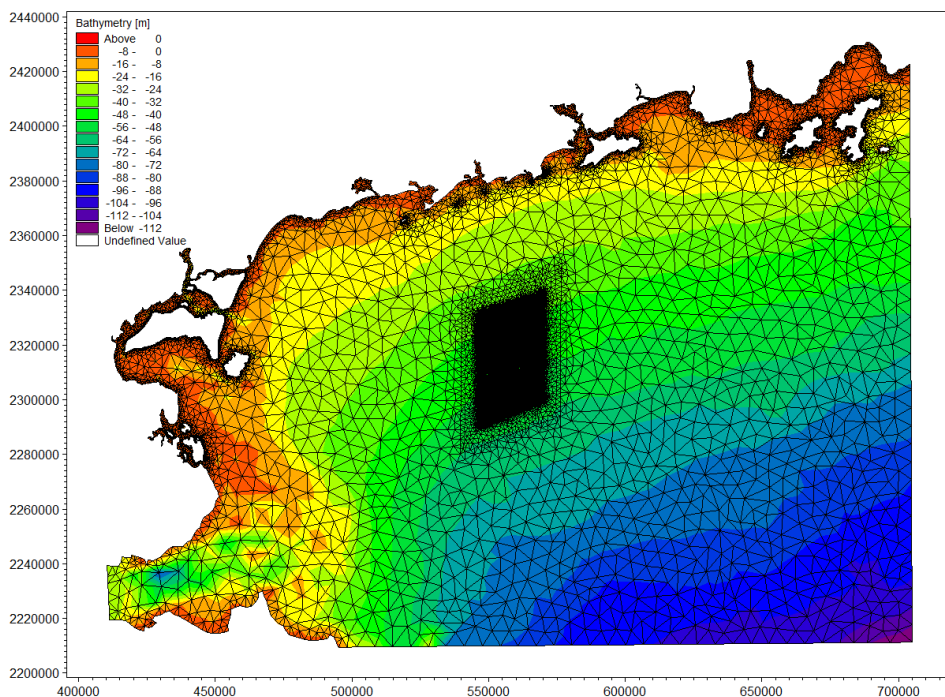


图 7.10-1 模型计算范围及网格图

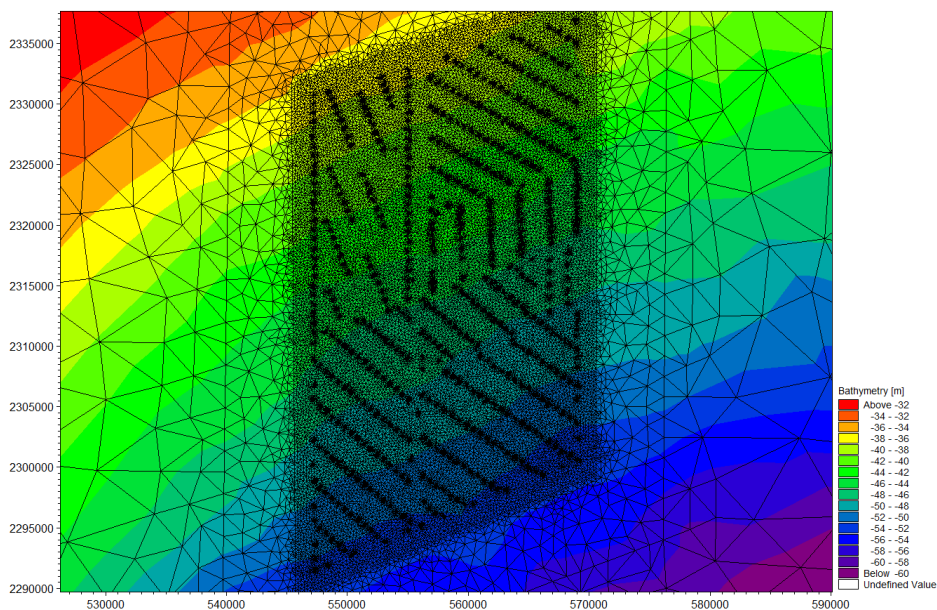


图 7.10-2 风电场局部网格图

7.10.1.2 工程前后潮流场分析

为了分析项目所在区域工程实施前后的动力场变化情况，现绘出 7 个项目附近海区工程前后涨、落急典型时刻的流场见图 7.10-3 至图 7.10-6。模拟结果显示：

项目附近海域的涨急流速最大可达到 0.40m/s 左右，落急时刻流速最大流速可达到 0.41m/s。涨落潮流向以东南——西北流向为主。涨落潮平均流速在 0.25m/s 左右。

从可以看出可知，7 个风电场建设前后，风电场周边区域的流场基本不变，仍然保持东南——西北流向，流速大小也基本不变；风电场内部区域流速流场也基本不变，流向总体上仍然保持东南——西北流向，但局部流速略有变化，改变的范围主要局限在 7 个风电场连片范围的区域内，流速改变幅度大于 0.04m/s 的范围为桩基础前后的小范围内。从 500 多个桩基的流速变化图来看，对水动力的影响桩基之间叠加效果不明显，7 个风电场的整体变化与单个桩基的变化趋势基本一致，叠加效应很小。就单个桩基而言，在涨落急方向的风机基础迎水面和背水面流速有所减小，而垂直于涨落急方向的风机基础两侧流速有所增大，流速变化幅度基本在 0.07m/s 以下，平均流速变化幅度在 0.04m/s 以下，流向变化幅度基本在 5°以下。工程建设对其影响总体较小。

综上所述，7 个风电场叠加效应并不明显，各桩基之间的相互影响很小，7 个风电场的整体影响主要体现在影响范围的增大，涉及到 7 个风电场场区及周边约 2~3km 左右的范围内，影响程度则与单个风电场工程对水文动力的影响相差不大。

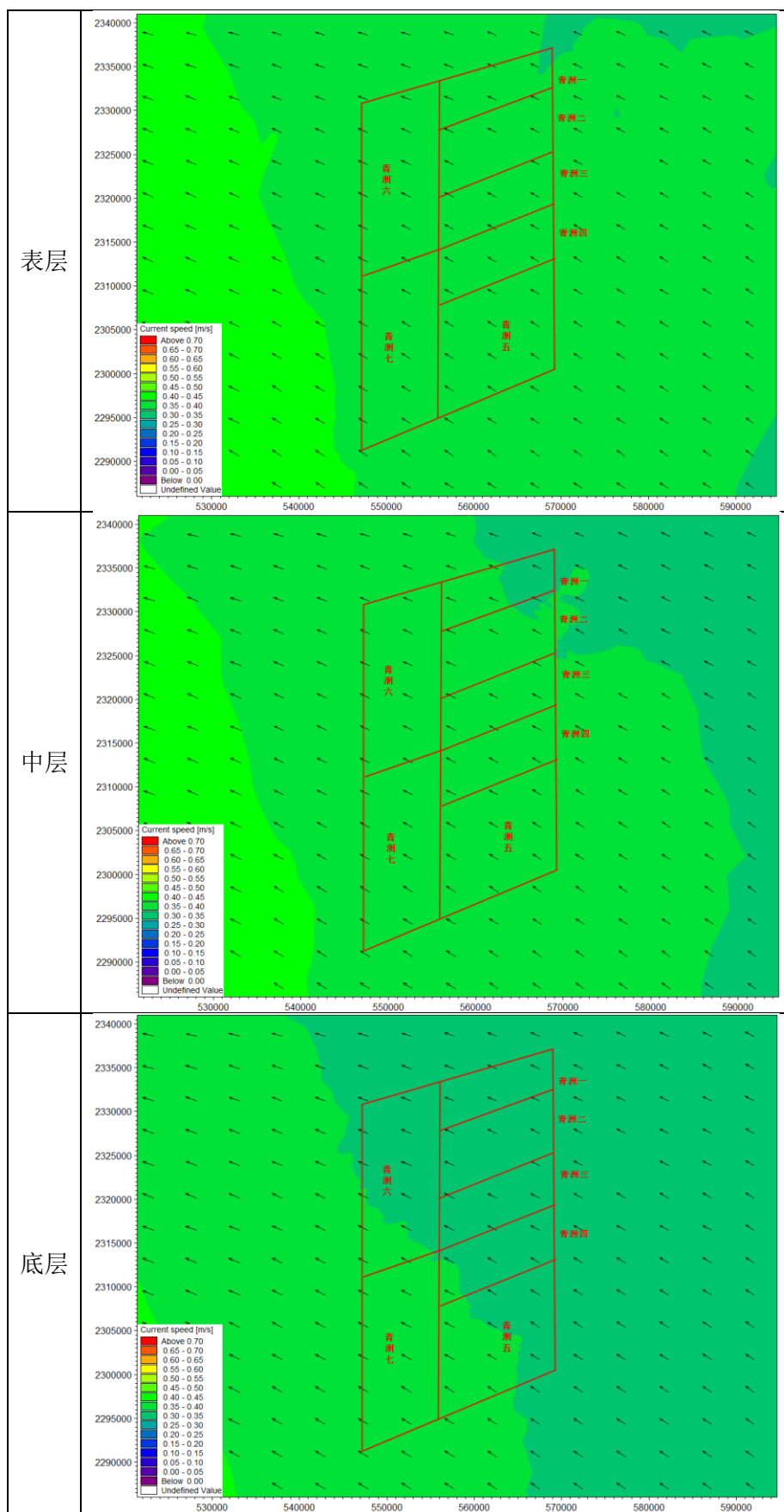


图 7.10-3 工程周边海域涨潮流场图（工程前大潮涨急）

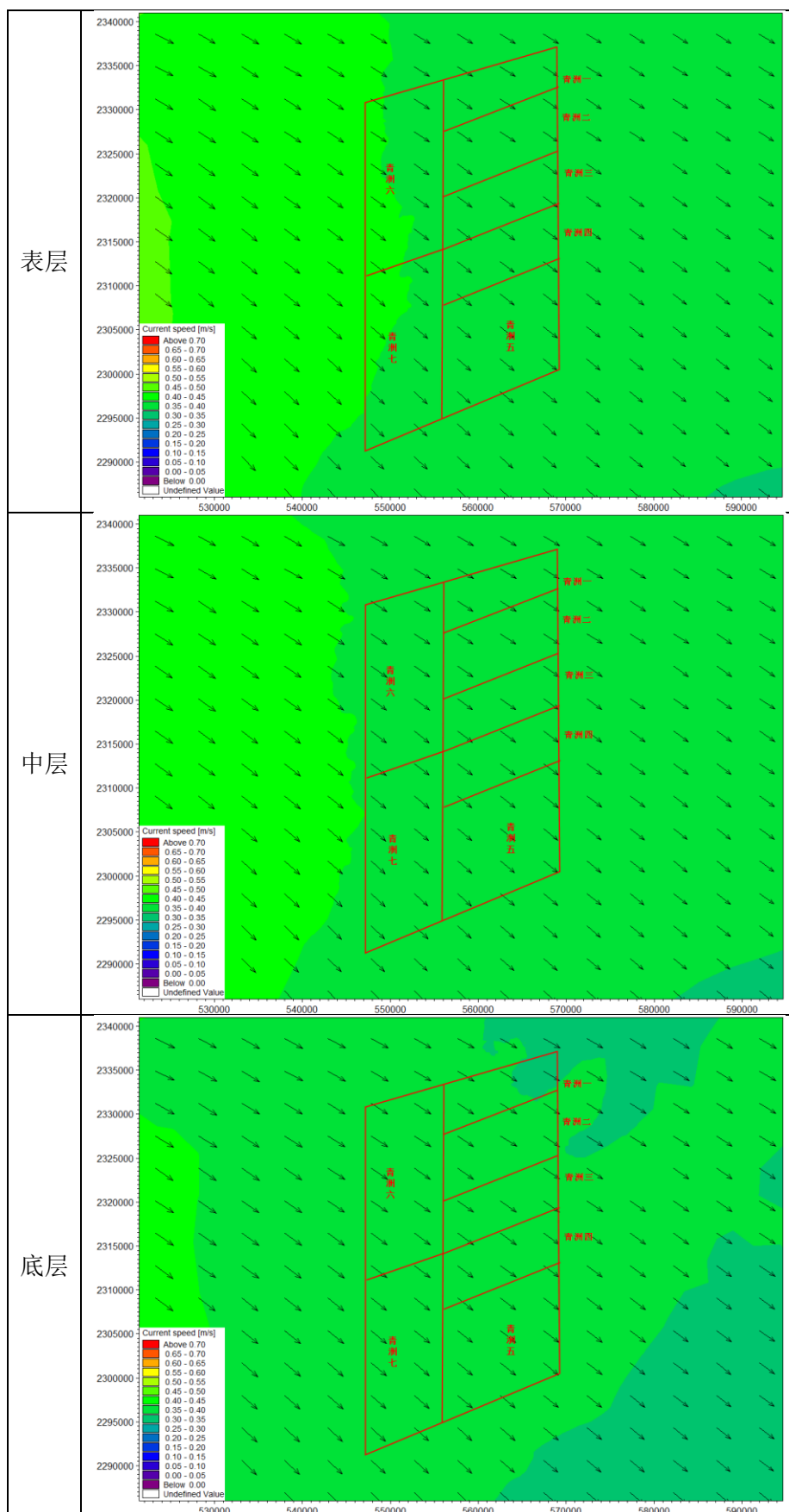


图 7.10-4 工程周边海域落潮流场图（工程前大潮落急）

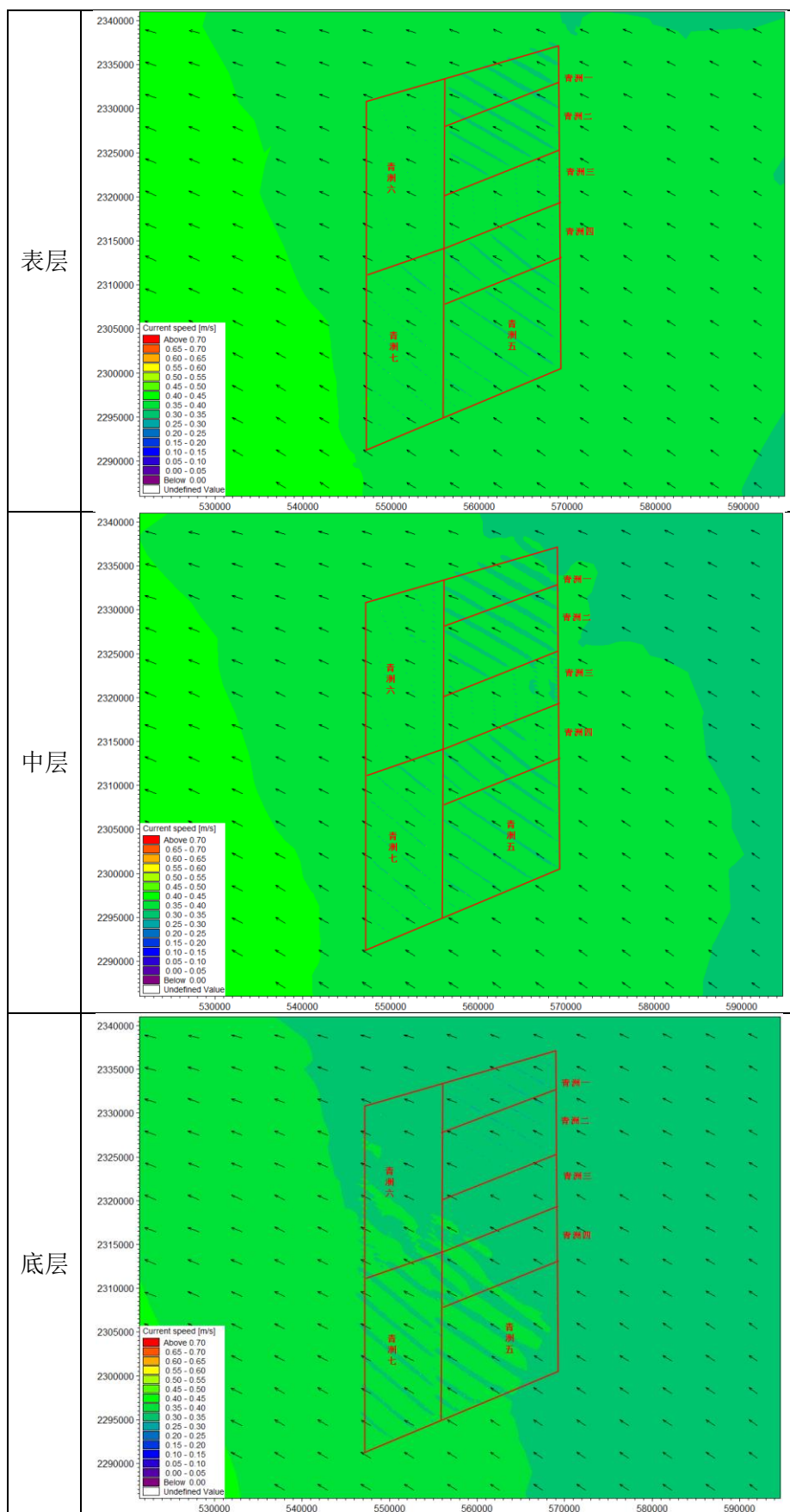


图 7.10-5 工程周边海域涨潮流场图（工程后大潮涨急）

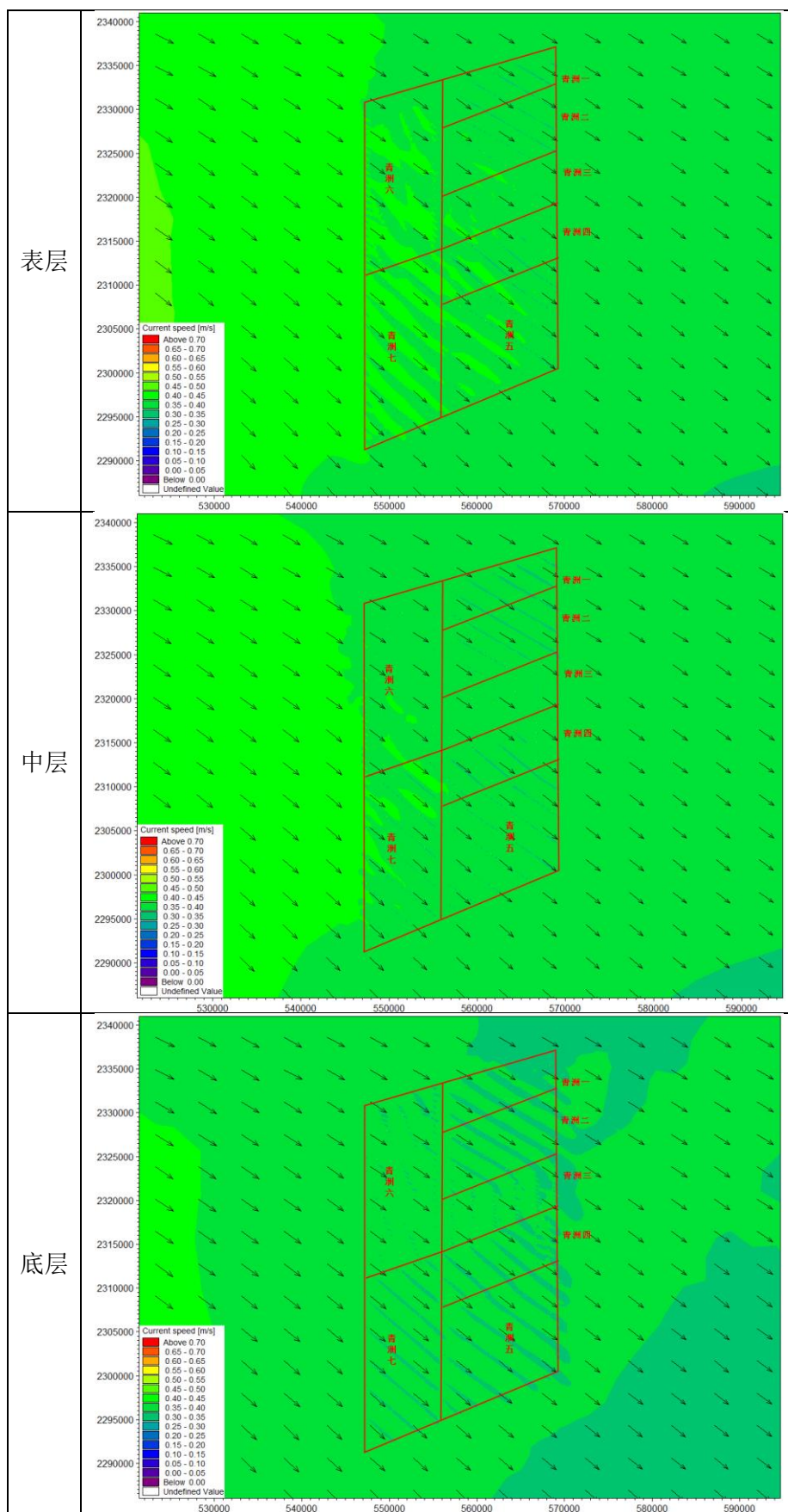


图 7.10-6 工程周边海域落潮流场图（工程后大潮落急）

7.10.1.3 工程前后对海域潮流动力的影响分析

为了比较工程前后风电桩基引起的流场改变，在此绘制工程前后涨急、落急时刻的流速差值线图进行分析。详见下图。

由图可以看出，由于风机基础的阻水作用，在桩基础一定范围内形成了缓流区，流速最大减小幅度为 0.15m/s 左右。如风机基础沿着潮流方向布置（东南—西北方向）相对较密的情况下，此时涨落急时刻流速减小幅度大于 0.04m/s 的范围延伸最远距离约为 480m （此影响范围已考虑叠加效应），而风机基础之间的最小间距约为 690m ，小于流速影响范围的 2 倍，则说明其流速变化的影响在一定范围内会有较小的叠加影响；而风机基础沿着南北向布置的情况下，涨落急时刻流速减小幅度大于 0.04m/s 的范围延伸最远距离约为 150m ，桩基础间距大于 2 倍的影响流速影响范围，故在风电场内部的流速基本不会产生叠加影响。

由图可见，桩基群的整体阻挡效应并不显著，这主要是由于桩基直径较小，在考虑叠加效应的情况下，影响范围也仅在 $150\text{m}\sim 480\text{m}$ 以内，而桩基之间的距离远大于桩基，也是单个基础影响范围的 1.5~2 倍以上；除了部分东南—西北向布置的桩基础产生微小的叠加影响外（叠加后流速基本在 0.04m/s 以下），其余方向的桩基之间对水动力基本不存在相互叠加的影响。

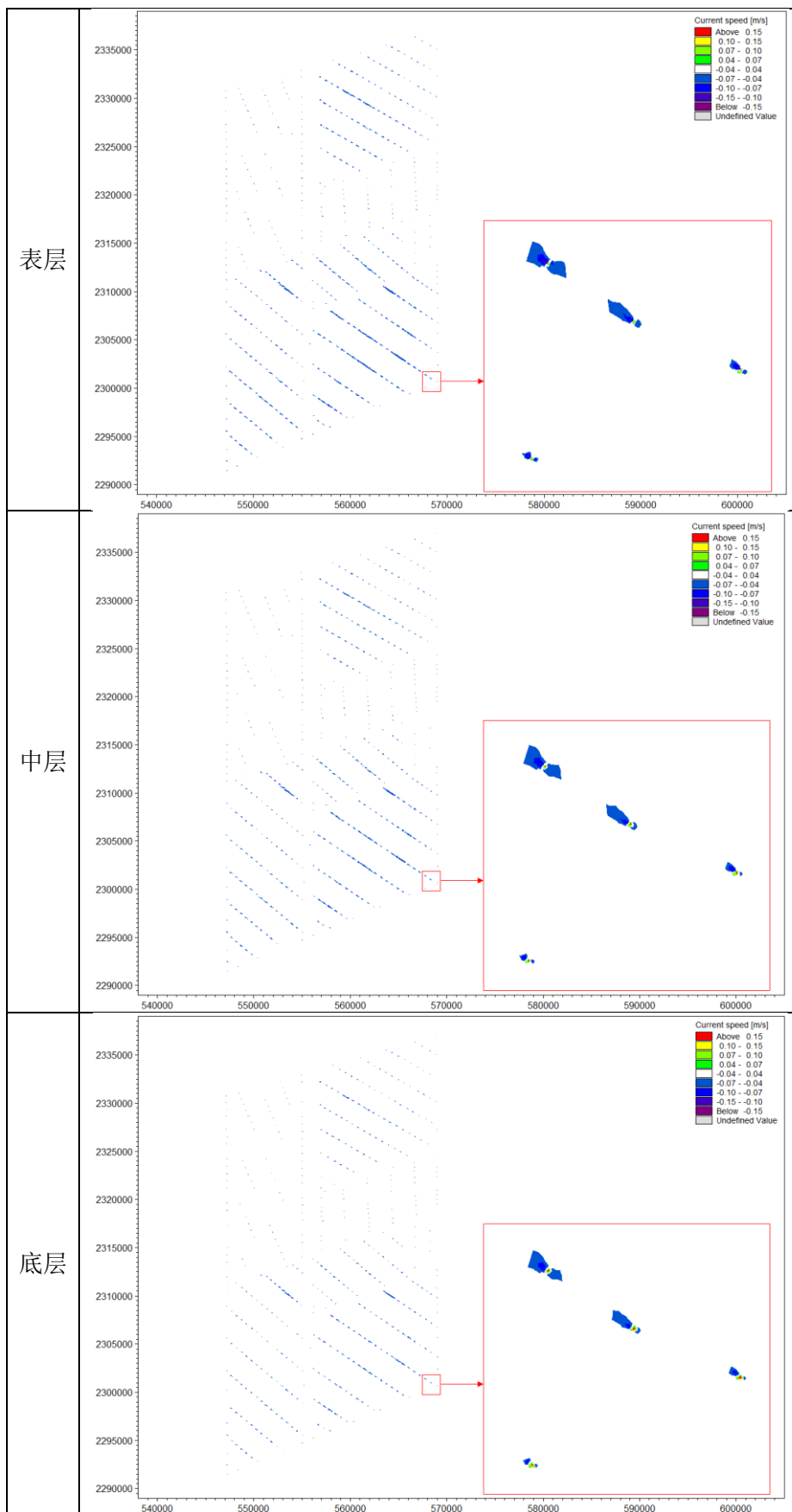


图 7.10-7 工程前后涨急流速差值线图

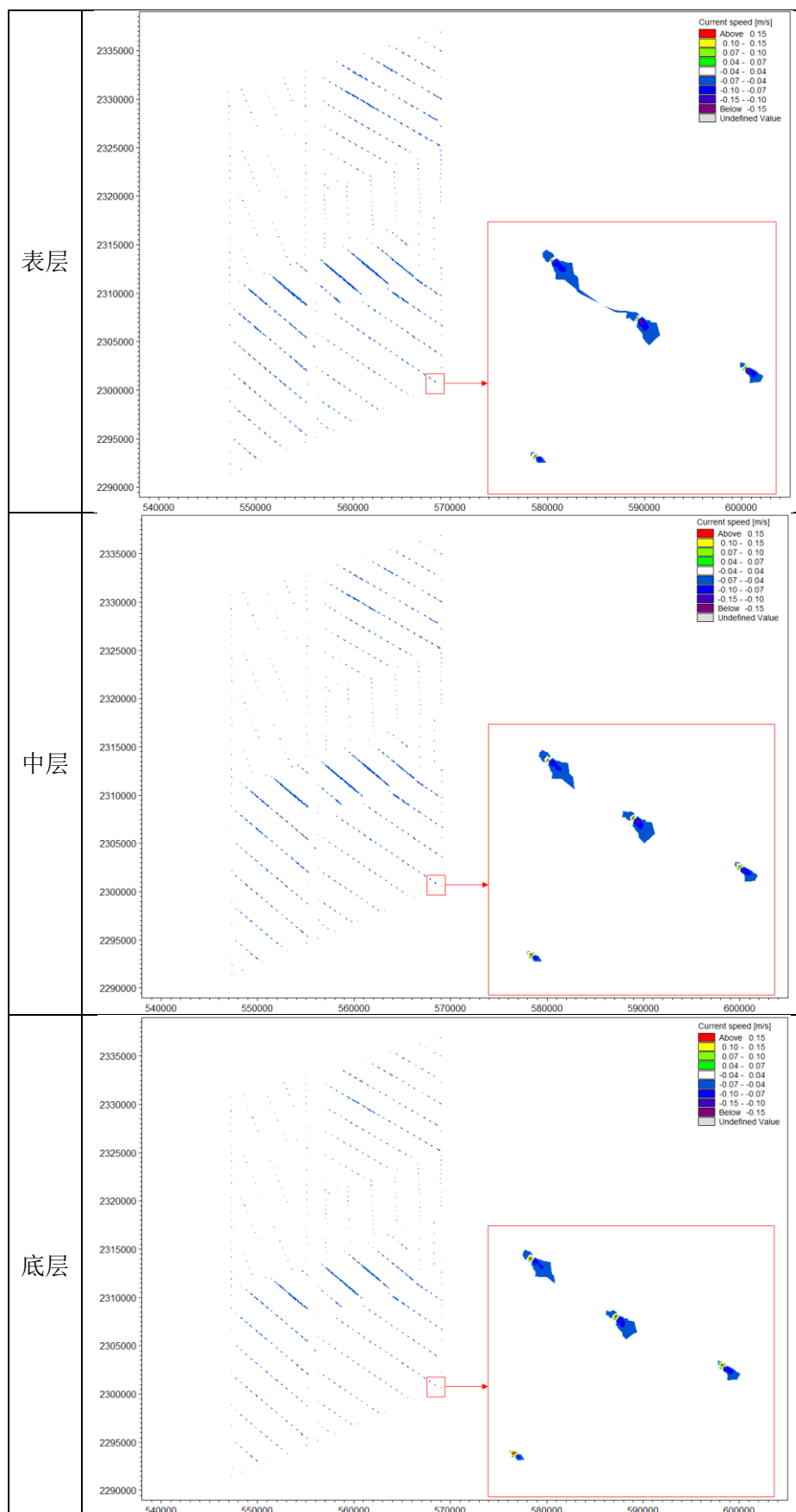


图 7.10-8 工程前后落急流速差值线图

7.10.1.4 特征点区流场变化情况

为了更好的说明 7 个风电场对流场的整体影响，在风电场场址外 2km 范围内选取 12 个点特征点进行工程前后的流速流向对比。特征点位置图见图 7.10-9。

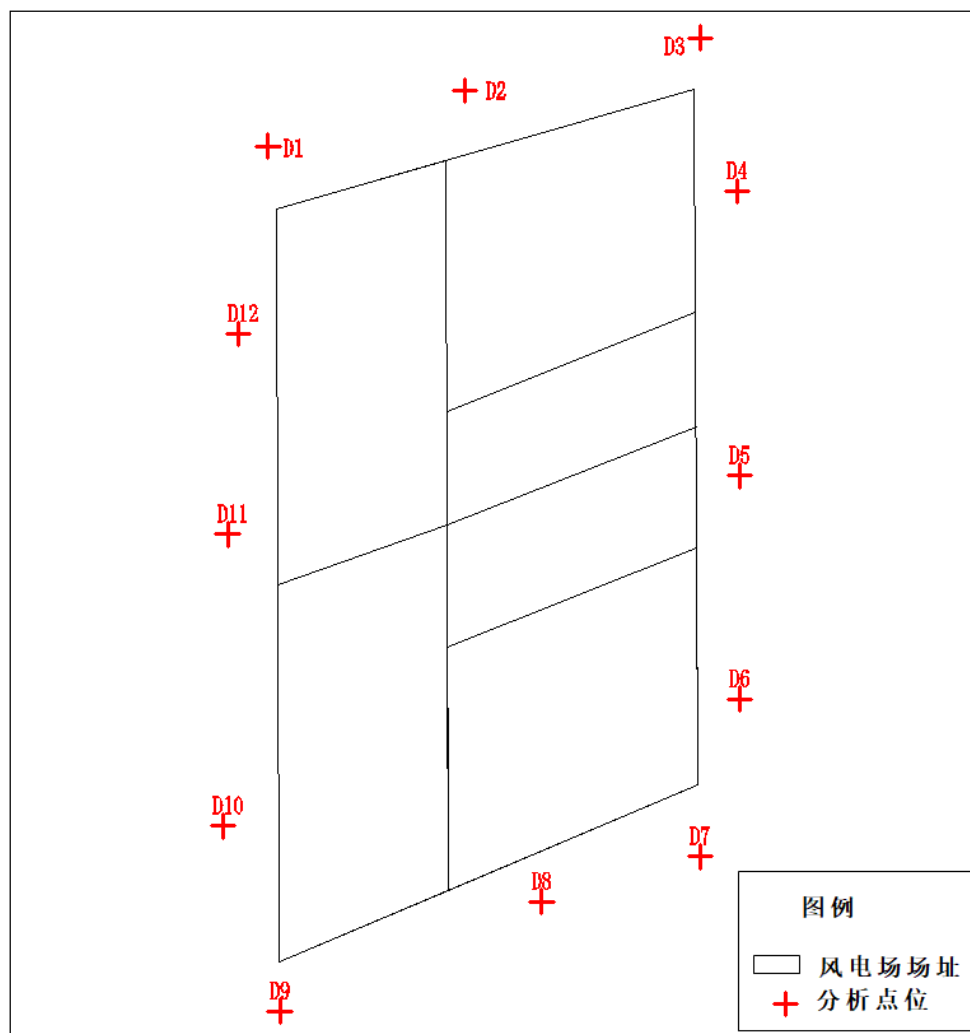


图 7.10-9 特征点位置示意图

由模型计算结果显示：7 个风电场的整体对周边海域的影响未出现叠加效应，离项目区 2km 的范围内的 12 个特征点，其工程前后流速变化幅度均不超过 1%，流向的变化也不超过 1°；影响相对较小。总体上 7 个项目建设后，除了风电场区范围的增大导致影响范围增大外，对周边其他海域的水文动力影响未产生明显的叠加影响。

表 7.10-1 工程前后特征点大潮涨急流速变化（表层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速 变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.378	292	0.379	291	0.000	0.1%	0
D2	0.365	292	0.367	292	0.002	0.6%	0
D3	0.348	293	0.350	293	0.003	0.7%	0
D4	0.357	297	0.359	297	0.002	0.6%	0
D5	0.363	299	0.364	300	0.001	0.3%	1
D6	0.373	302	0.373	303	0.000	0.1%	1
D7	0.373	303	0.371	303	-0.002	-0.5%	0
D8	0.384	302	0.383	302	-0.002	-0.4%	0
D9	0.399	302	0.399	301	0.000	0.1%	-1
D10	0.400	300	0.400	300	0.000	0.0%	0
D11	0.390	296	0.387	296	-0.003	-0.8%	0
D12	0.384	294	0.380	293	-0.004	-1.0%	-1

表 7.10-2 工程前后特征点大潮涨急流速变化（中层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速 变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.369	292	0.369	291	0.000	0.1%	-1
D2	0.356	292	0.358	291	0.002	0.6%	-1
D3	0.339	293	0.342	293	0.003	0.8%	0
D4	0.349	296	0.351	297	0.002	0.6%	1
D5	0.356	299	0.357	300	0.001	0.3%	1
D6	0.366	302	0.366	302	0.000	0.1%	0
D7	0.367	303	0.365	303	-0.002	-0.5%	0
D8	0.378	302	0.377	302	-0.002	-0.4%	0
D9	0.393	301	0.393	301	0.000	0.1%	0
D10	0.393	300	0.393	299	0.000	0.0%	-1
D11	0.382	296	0.378	296	-0.003	-0.8%	0
D12	0.375	294	0.372	293	-0.004	-1.0%	-1

表 7.10-3 工程前后特征点大潮涨急流速变化（底层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速 变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.344	291	0.344	291	0.000	0.1%	0
D2	0.332	291	0.334	291	0.002	0.6%	0
D3	0.317	293	0.319	293	0.002	0.8%	0
D4	0.327	296	0.328	296	0.002	0.6%	0
D5	0.335	299	0.336	299	0.001	0.3%	0
D6	0.346	301	0.346	302	0.000	0.0%	1
D7	0.347	302	0.346	302	-0.002	-0.5%	0
D8	0.358	301	0.356	301	-0.001	-0.4%	0
D9	0.371	301	0.372	301	0.000	0.1%	0
D10	0.370	299	0.370	299	0.000	0.0%	0
D11	0.358	295	0.355	295	-0.003	-0.8%	0
D12	0.351	293	0.348	293	-0.003	-1.0%	0

表 7.10-4 工程前后特征点大潮落急流速变化（表层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速 变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.406	122	0.403	122	-0.003	-0.7%	0
D2	0.390	121	0.387	121	-0.003	-0.7%	0
D3	0.376	121	0.376	121	0.000	0.0%	0
D4	0.384	123	0.384	123	0.000	0.0%	0
D5	0.382	127	0.380	126	-0.002	-0.5%	-1
D6	0.383	129	0.381	129	-0.002	-0.5%	0
D7	0.377	131	0.378	130	0.000	0.1%	-1
D8	0.385	132	0.386	132	0.001	0.3%	0
D9	0.390	136	0.394	135	0.004	1.0%	-1
D10	0.411	134	0.415	134	0.004	1.0%	0
D11	0.411	128	0.415	129	0.004	0.9%	1
D12	0.409	125	0.412	126	0.003	0.6%	1

表 7.10-5 工程前后特征点大潮落急流速变化（中层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速 变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.395	121	0.393	121	-0.003	-0.7%	0
D2	0.380	121	0.378	121	-0.002	-0.7%	0
D3	0.367	120	0.368	120	0.000	0.1%	0
D4	0.376	123	0.376	123	0.000	0.0%	0
D5	0.375	127	0.373	126	-0.002	-0.5%	-1
D6	0.377	129	0.375	129	-0.002	-0.5%	0
D7	0.373	131	0.373	130	0.000	0.1%	-1
D8	0.380	132	0.381	131	0.001	0.3%	-1
D9	0.385	135	0.388	135	0.004	0.9%	0
D10	0.403	133	0.407	134	0.004	1.0%	1
D11	0.402	128	0.405	129	0.004	0.9%	1
D12	0.399	125	0.402	125	0.002	0.6%	0

表 7.10-6 工程前后特征点大潮落急流速变化（底层）

点位	现状		工程后		流速差值 (m/s)	流速 变率	流向差值 (°)
	大小(m/s)	角度(°)	大小(m/s)	角度(°)			
D1	0.368	120	0.365	121	-0.003	-0.7%	1
D2	0.355	120	0.353	120	-0.002	-0.6%	0
D3	0.344	120	0.344	119	0.000	0.1%	-1
D4	0.352	122	0.352	122	0.000	0.0%	0
D5	0.353	126	0.351	125	-0.002	-0.5%	-1
D6	0.356	128	0.355	128	-0.002	-0.5%	0
D7	0.353	130	0.353	129	0.000	0.0%	-1
D8	0.359	131	0.360	131	0.001	0.3%	0
D9	0.364	134	0.367	134	0.003	0.9%	0
D10	0.378	132	0.382	133	0.003	0.9%	1
D11	0.376	127	0.379	128	0.003	0.8%	1
D12	0.373	124	0.375	124	0.002	0.5%	0

7.10.1.5 风电场群建设对环境敏感区流场变化情况

本节主要分析工程建设对评价范围内的敏感目标水文动力情况的影响，根据

敏感目标分析,工程评价范围内涉及对水文动力环境敏感的目标有茂名近海重要渔业海域限制类红线区、湛江至珠江口规划航路、珠江口至湛江推荐航路、珠江口至湛江规划航路、琼州海峡至阳江港推荐航路、茂名港外 30 万吨级引航、防台锚地等,另有珠江口至琼州海峡北水道推荐航路、台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路 2 个敏感目标,因其穿越拟建青洲五和青洲七风电场,拟改道。根据模型计算及统计分析,工程前后各敏感目标区域大潮涨、落急流速变化情况见表 7.10-7 和表 7.10-12。

表 7.10-7 工程前后敏感目标区域大潮涨急流速变化 (表层)

序号	敏感目标	工程前		工程后			
		大小 (m/s)	角度 (°)	大小 (m/s)	角度 (°)	流速变率 (%)	流向差值 (°)
1	茂名近海重要渔业海域限制类红线区	0.388	294	0.385	294	-0.7%	0
2	湛江至珠江口规划航路	0.372	292	0.374	291	0.6%	-1
3	珠江口至湛江推荐航路	0.369	290	0.368	290	-0.1%	0
4	珠江口至湛江规划航路	0.372	290	0.371	289	-0.1%	0
5	琼州海峡至阳江港推荐航路	0.389	291	0.387	291	-0.6%	0
6	茂名港外 30 万吨级引航、防台锚地	0.385	290	0.385	289	-0.2%	0
7	沙扒风电场区	0.372	288	0.372	288	0.0%	0

表 7.10-8 工程前后敏感目标区域大潮涨急流速变化 (中层)

序号	敏感目标	工程前		工程后			
		大小 (m/s)	角度 (°)	大小 (m/s)	角度 (°)	流速变率 (%)	流向差值 (°)
1	茂名近海重要渔业海域限制类红线区	0.379	294	0.376	293	-0.7%	0
2	湛江至珠江口规划航路	0.363	292	0.365	291	0.6%	-1
3	珠江口至湛江推荐航路	0.359	290	0.359	290	-0.1%	0
4	珠江口至湛江规划航路	0.362	289	0.362	289	-0.1%	0
5	琼州海峡至阳江港推荐航路	0.379	291	0.377	291	-0.6%	0
6	茂名港外 30 万吨级引航、防台锚地	0.375	289	0.374	289	-0.2%	0
7	沙扒风电场区	0.362	287	0.361	287	0.0%	0

表 7.10-9 工程前后敏感目标区域大潮涨急流速变化（底层）

序号	敏感目标	工程前		工程后			
		大小 (m/s)	角度 (°)	大小 (m/s)	角度 (°)	流速变 率 (%)	流向差 值 (°)
1	茂名近海重要渔业海域 限制类红线区	0.354	293	0.352	293	-0.7%	0
2	湛江至珠江口规划航路	0.339	291	0.341	290	0.5%	-1
3	珠江口至湛江推荐航路	0.334	289	0.334	289	-0.1%	0
4	珠江口至湛江规划航路	0.337	289	0.337	288	-0.1%	0
5	琼州海峡至阳江港推荐 航路	0.353	290	0.351	290	-0.6%	0
6	茂名港外 30 万吨级引 航、防台锚地	0.349	289	0.348	289	-0.2%	0
7	沙扒风电场区	0.336	287	0.336	287	0.0%	0

表 7.10-10 工程前后敏感目标区域大潮落急流速变化（表层）

序号	敏感目标	工程前		工程后			
		大小 (m/s)	角度 (°)	大小 (m/s)	角度 (°)	流速变 率 (%)	流向差 值 (°)
1	茂名近海重要渔业海域 限制类红线区	0.411	125	0.413	126	0.7%	1
2	湛江至珠江口规划航路	0.395	122	0.392	122	-0.8%	0
3	珠江口至湛江推荐航路	0.404	119	0.402	120	-0.4%	0
4	珠江口至湛江规划航路	0.402	119	0.400	119	-0.3%	0
5	琼州海峡至阳江港推荐 航路	0.416	121	0.415	122	-0.3%	0
6	茂名港外 30 万吨级引 航、防台锚地	0.413	119	0.412	119	-0.3%	0
7	沙扒风电场区	0.400	116	0.398	116	-0.3%	0

表 7.10-11 工程前后敏感目标区域大潮落急流速变化（中层）

序号	敏感目标	工程前		工程后			
		大小 (m/s)	角度 (°)	大小 (m/s)	角度 (°)	流速变 率 (%)	流向差 值 (°)
1	茂名近海重要渔业海域 限制类红线区	0.401	125	0.403	125	0.6%	1
2	湛江至珠江口规划航路	0.385	121	0.382	121	-0.8%	0
3	珠江口至湛江推荐航路	0.393	119	0.391	119	-0.4%	0
4	珠江口至湛江规划航路	0.391	119	0.389	119	-0.3%	0
5	琼州海峡至阳江港推荐 航路	0.405	121	0.403	121	-0.3%	0
6	茂名港外 30 万吨级引 航、防台锚地	0.401	119	0.400	119	-0.3%	0
7	沙扒风电场区	0.389	116	0.388	116	-0.3%	0

表 7.10-12 工程前后敏感目标区域大潮落急流速变化（底层）

序号	敏感目标	工程前		工程后			
		大小 (m/s)	角度 (°)	大小 (m/s)	角度 (°)	流速变 率 (%)	流向差 值 (°)
1	茂名近海重要渔业海域 限制类红线区	0.374	124	0.376	125	0.6%	1
2	湛江至珠江口规划航路	0.359	120	0.356	121	-0.8%	0
3	珠江口至湛江推荐航路	0.365	118	0.364	118	-0.4%	0
4	珠江口至湛江规划航路	0.363	118	0.362	118	-0.3%	0
5	琼州海峡至阳江港推荐 航路	0.376	120	0.375	121	-0.3%	0
6	茂名港外 30 万吨级引 航、防台锚地	0.373	118	0.372	118	-0.3%	0
7	沙扒风电场区	0.361	115	0.360	115	-0.3%	0

模型计算结果显示：本工程建设对评价范围内水文动力敏感目标的影响较小，其中影响最大的为茂名近海重要渔业海域限制类红线区和湛江至珠江口规划航路，其涨、落急流速最大变率不超过 0.8%，流向变化不超过 1°；琼州海峡至阳江港推荐航路涨落急流速最大变率为 0.6%，其余敏感目标的涨、落急流速变率均不超过 0.4%，流向基本不发生变化。总体上工程实施对周边敏感目标的水文动力影响较小。总体上多个风电场项目的建设对周边敏感目标的水文动力不会造成明显的叠加影响，其影响总体很小。

7.10.1.6 小结

综上所述，7 个风电场项目建设后，对海域流场特征基本不会造成影响；流速改变的范围只局限在 7 个风电场连片范围的区域内。桩基群的整体阻挡效应并不显著，这主要是由于桩基直径较小，影响范围也仅在 150m~480m 以内，而桩基之间的距离远大于桩基，也是单个基础影响范围的 1.5~2 倍以上；除了部分东南——西北向布置的桩基础产生微小的叠加影响外（叠加流速基本在 0.04m/s 以下），其余方向的桩基之间对水动力基本不存在相互叠加的影响。

由此可见，七个风电场叠加效应并不明显，各桩基之间的相互影响很小，7 个风电场的整体影响主要体现在影响范围的增大，涉及到 7 个风电场场区及周边约 3km 左右的范围内，影响程度则与单个风电场工程对水文动力的影响相差不大。

7.10.2 风电场群建设对海域冲淤环境的累积影响分析

为准确预测 7 个风电场建设后对周边海域冲淤环境可能产生的累积影响，在水文动力计算的基础上，采用经验公式计算 7 个风电场建设前后的冲淤环境变化情况。

7.10.2.1 计算公式及参数确定

计算公式及参数确定详见 7.2.1 节。

7.10.2.2 计算结果分析

根据以上的设定和潮流数值模拟计算的结果，计算得到工程后每年回淤强度情况，绘制出工程后年冲淤强度变化等值线图 and 冲淤平衡时的冲淤强度变化等值线图，详见图 7.10-10 和图 7.10-11（+表示淤积，-表示冲刷）。

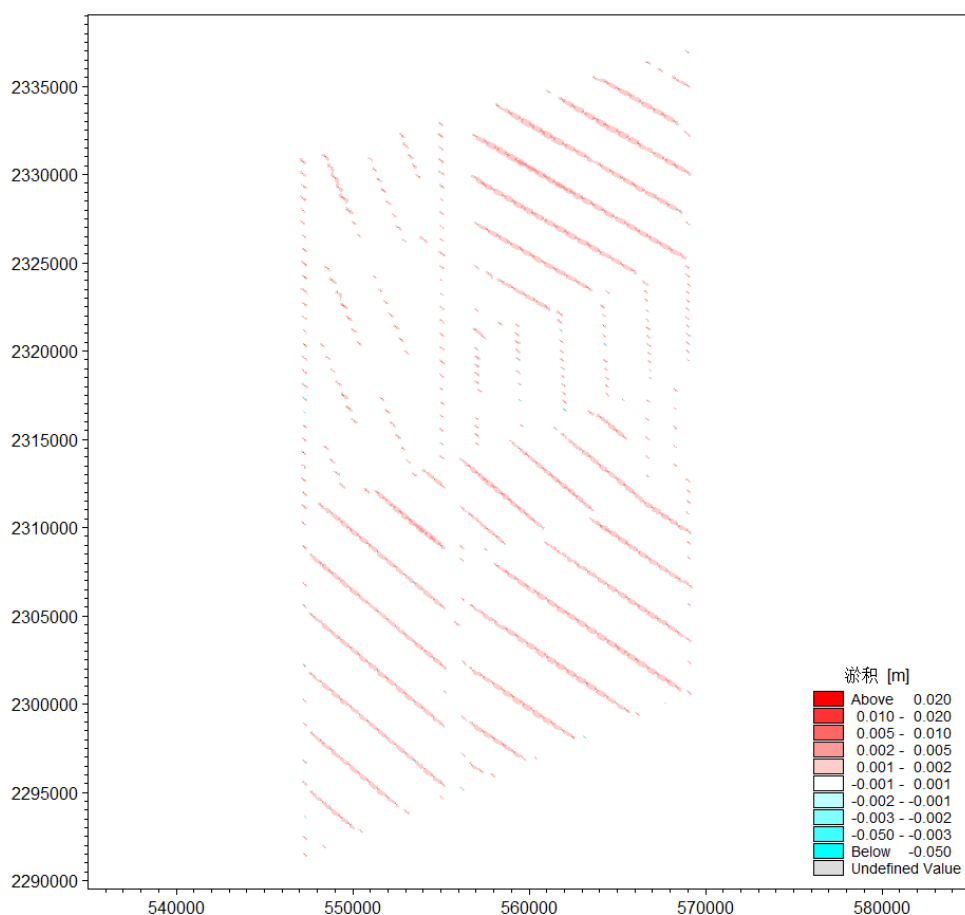
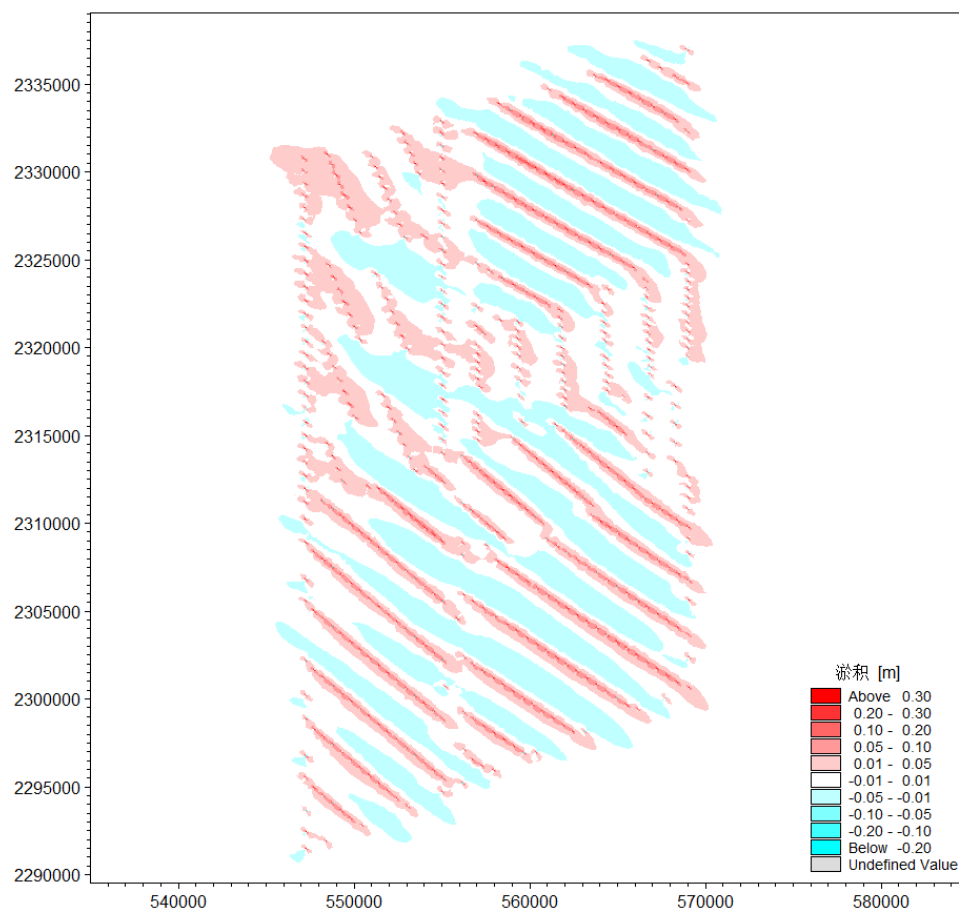


图 7.10-10 工程区附近海床年冲淤变化平面分布图



注：+为淤积、-为冲刷

图 7.10-11 工程区附近海床平衡冲淤变化平面分布图

在 7 个风电场场区内，风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域。此外，7 个风电场区域垂直于潮流方向的两侧也会略有冲刷。估算最大淤积幅度为 0.1m/a，最大冲刷幅度为-0.05m/a。根据上述计算模式和第一年冲淤变化情况结果，可计算出往后逐年的冲淤变化情况。随着冲淤过程的深入和地形向适应工程实施后动力环境方向的调整，其冲淤强度将逐年较小。冲淤平衡后，最大平衡淤积幅度在 0.5m 左右，发生在风机桩基础附近，其他风机附近最大淤积幅度在 0.2m~0.4m 之间。风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）最大平衡冲刷幅度在-0.2m 左右。风电场周围 2km 以外冲淤变化幅度均在 0.01m 以下。

从图可知，工程后风场之间，桩基之间的相互叠加影响很小，工程建设对海域的冲淤环境会产生一定的累积影响，主要体现在影响范围增大，涉及到 7 个风电场场区及周边约 2~3km 左右的范围，其影响程度则与单个风电场工程对冲淤环境的影响相差不大。

7.10.2.3 环境敏感区冲淤变化

上述多个风电场建设后冲淤变化对工程区域周边敏感目标的影响较小。冲淤平衡后，湛江至珠江口规划航路、琼州海峡至阳江港推荐航路冲淤幅度分别为-0.6cm 和 0.5cm，其余敏感目标冲淤幅度均不超过 0.2cm。可见风电场群的建设对评价范围内各敏感目标的冲淤环境未造成明显叠加影响，对冲淤环境基本无影响。

表 7.10-13 工程实施前后敏感目标区域平衡冲淤变化表

序号	敏感目标	冲淤幅度 (m)
1	茂名近海重要渔业海域限制类红线区	0.001
2	湛江至珠江口规划航路	-0.006
3	珠江口至湛江推荐航路	0.000
4	珠江口至湛江规划航路	0.000
5	琼州海峡至阳江港推荐航路	0.005
6	茂名港外 30 万吨级引航、防台锚地	0.002
7	沙扒风电场区	0.000

注：+为淤积、-为冲刷

7.10.2.4 小结

本工程建设后，与周边多个风电场连片布置，综合考虑 7 个风电场的布置情况，同时根据本工程建设对地形冲淤造成的影响程度及范围可知，在 7 个风电场场区内，风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域。此外，7 个风电场区域垂直于潮流方向的两侧也会略有冲刷。估算最大淤积幅度为 0.1m/a，最大冲刷幅度为-0.05m/a。

由此可见，工程后风场之间，桩基之间的相互叠加影响很小，工程建设对海域的冲淤环境会产生一定的累积影响，主要体现在影响范围增大，涉及到 7 个风电场场区及周边约 2~3km 左右的范围，其影响程度则与单个风电场工程对冲淤环境的影响相差不大。

7.10.3 风电场群建设对海域水质和沉积物的累积影响分析

本工程周边分布有多个在建和拟建的海上风电场项目，根据多个项目的施工进度安排，可能会有部分施工内容会出现重叠，海上施工不可避免的会对周边海域水质带来一定影响，主要为桩基础施工、海缆敷设造成的悬浮物浓度升高。根据施工情况调查，大型施工船舶和机械设备数量有限，工程海域不会出现大面积的集中施工，主要为少数几个作业面的增加，但作业面之间相距总体较远，多个

项目施工时，可能会导致海域悬浮物浓度升高面积短期内较大，对海域水质会造成短期的不利影响，但由于悬浮物较易沉降，施工结束后数小时内即可恢复至背景值，因此这一影响是暂时的、可逆的，并不会造成多个作业面施工造成的大面积叠加影响。

此外，牺牲阳极中释放的锌也会对海水水质造成一定影响，但在风电场实际运行中，牺牲阳极释放的锌将随海水输移扩散，不会在风电场区持续叠加，因此不会对区域海水水质造成显著影响。

根据本工程沉积物影响分析内容，在严格做好施工期环境管理、环境监理等工作的条件下，污废水和垃圾不会进入海域，对海域的水环境及沉积物环境不会造成明显不利影响，运行期牺牲阳极释放的锌沉积较少，在极端不利条件下，也仅为背景值的 5% 左右，由此可见，多个风电场施工期建设不会对海域沉积物造成明显的不利影响，运行期锌的沉积影响范围会增大，但总体上不会产生叠加影响。牺牲阳极的锌溶解后易随海水扩散进入大范围的循环，锌也是海水中的最常見的物质之一，其不易形成稳定物质而在 25 年内持续累积，因此工程实际运行中对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。

7.10.4 风电场群建设后噪声及电磁辐射影响分析

(1) 噪声

本工程及附近海域风电场群的各风电场风机在运行中，由空气噪声的预测可知：就某台特定风机在距桩基水平距离 45m 处，风机噪声衰减为 59dB(A)；距桩基水平距离 286m 处，风机噪声衰减为 50dB(A)。由于各风机分布相距较远，在距桩基 50m 外可视为一点声源，由声传播衰减规律预测各台风机之间噪声的叠加仅是影响范围的扩大，强度值增加很小，其它噪声源对某一点的噪声叠加影响值较小，增加值基本上可以忽略。

厦门大学课题组对珠海桂山一期海上风电场等 6 个海上风电场在运营期的水下噪声类比监测结果表明：运营期水下噪声是一种连续噪声，总体噪声级较低，在频谱上具有几个单频尖峰。风速越大，运营期噪声强度越大，单频分量强度增加，而低风速下单频不明显，甚至消失。运营期所产生的水下噪声的声源级不超过 140dB/re1uPa，噪声源衰减到背景噪声级最大范围约为 200m（海上风电场环境参数不同会导致传播衰减系数有较大差异，因此衰减距离也有所差别）。由于

各风机分布相距较远，均远大于 200m，风机噪声对某一点的噪声叠加影响增加值基本上可以忽略。

因此，多个项目海上风电场运行中所产生的水上噪声叠加值基本可以忽略，累积影响很小。

(2) 电磁辐射

掩埋电缆能高效地减小磁场峰值，电磁波在海水中的传播的能量衰减速率较空气环境中更大。对于 66kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 $1\mu\text{T}$ 以下；对于 330kV 海底电缆，在距离电缆线 5m 外，磁感应强度已降在 $60\mu\text{T}$ 以下；对于 500kV 海底电缆，在电缆中心处，磁感应强度为 $65\mu\text{T}$ ，在离海底电缆 10m 处，磁感应强度已降在 $20\mu\text{T}$ 以下；因此，风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。对于海上升压站，本工程周边其他风电场海上升压站距离较远，保守估计在 5km 以上，因此海上升压站的最大电场强度及最大磁感应强度不会产生叠加影响，能满足《电磁环境控制限制》(GB8702-2014)中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

总体上，风电场群的建设对电磁辐射的累积效应不明显，仅仅表现为其影响范围相比单个风电场要明显增大，但不会产生明显的叠加影响。

7.10.5 风电场群建设对海洋生物的累积影响分析

本工程及周边风电场项目建设后，对海域海洋生物会造成一定的累积影响。综合考虑多个风电场的布置情况，同时根据前述风电场群对水文动力、冲淤环境、水下噪声对海洋生物等的累积影响分析结果，风电场群建设对海域的水文动力变化以及冲淤环境变化对海洋生物等会产生一定的累积影响，主要体现在影响范围增大，涉及到多个风电场场区及周边约 2~3km 左右的范围。

风电场群的建设，会增加区域风电场占海面积，同时会增加施工期对海洋生物的影响，主要包括悬浮物浓度范围的增加、水下噪声影响面积的增大、施工扰动面积增加等，对海域海洋生物会造成一定的累积影响。而在运行期，风电场建设除了风机桩基础占用的一定海域范围之外，对海洋生物总体上影响不大，同时桩基础在一定程度上会起到人工鱼礁的作用。

总体上，风电场群建设对海域海洋生物的累积影响主要体现在施工期，运行期对海洋生物的影响不大。

7.10.6 风电场群建设对鸟类的累积影响分析

根据《广东省海上风电发展规划（2017—2030年）（修编）》内容，阳江一带近海浅水区规划有南鹏岛和沙扒两大海上风电场，用海面积分别为 112km² 和 368km²，规划容量共计 300 万千瓦，部分场址已开始施工。近海深水区规划有阳江一和阳江二深水场址，用海面积分别为 800km² 和 320km²，规划容量共计 700 万千瓦。本项目场址位于阳江近海深水场址一（青洲海上风电场），周边存在多个风电场项目，可能存在累积性和叠加影响。由于鸟类等动物对于人工建筑在长期上有一定的适应过程，因此分析项目在长期运行后对于鸟类所产生的效应和分析多个风电场的叠加影响效应。

本工程外围风机包络海域面积约为 150km²，在项目施工和初运行期间，对在海面飞行的种类有屏障作用，尤其是喜欢在海面活动的鸥形目鸟类、部分猛禽、以及海洋性鸟类等。因此，本项目的建设会在一定程度上减少这些类群的活动范围。但随着项目建成时间增长，风机基桩在水下会形成人工鱼礁，增加鱼类在该区域觅食的几率，从而增加部分食鱼类海鸟在该区域活动的频次。

（1）栖息地的丧失

一些鸟类物种倾向于避开风电场区域，因为它们不再承认风电场区域是它们栖息地的一部分，并从这些区域转移。

随着海上风电场的建成，海上鸟类的分布和飞行轨迹会产生变化，但负面影响随着风电场的存在而逐渐变小，且由于风机之间距离较大，互相之间没有叠加效应，整个沙青洲电场建成后对鸟类觅食和栖息的影响模式和青洲六风电场的影响基本类似。而在本工程建设期间至整个青洲风电场建成前，海上鸟类的分布和活动会随着不同场址的建设而出现区域性替换（displacement），其分布受渔业资源的变化和施工设备的位置所影响。

（2）额外的能源消耗

与觅食和迁徙路线交叉的海上风电场可能会迫使一些物种绕着它们飞行，但这种影响被认为与长途迁徙的能量消耗规模相比很小。

在项目建设期和运营初期，风机桩数量较少，鸟类需要绕行的距离较小，随着风机桩的增加，鸟类需要绕行更长距离，所消耗的能量会有所增加。但该影响只针对飞行高度在风机叶片范围内的种类，对于大部分飞行高度超过 200 m 的种类而言，该类影响基本不存在。

在项目运营中后期，特别是在整个规划场址的风机组均已建成的情况下，海面将形成较大规模的风机阵列。如风机阵列排布方向与鸟类飞行活动的路线方向相同，则对鸟类影响较小，鸟类可照常从风机桩之间通过，并形成飞行廊道，节省飞行能量（Harwood et al, 2017，见下图例子），如风机阵列排布方向与鸟类飞行方向垂直，则可能会改变鸟类飞行活动路线，导致鸟类无法利用风电场外侧海域觅食。

根据本风电场和现有其他风电场内的风机排布方案，多为沿南北排列，与候鸟南北迁徙方向相同，对迁徙候鸟影响不大。

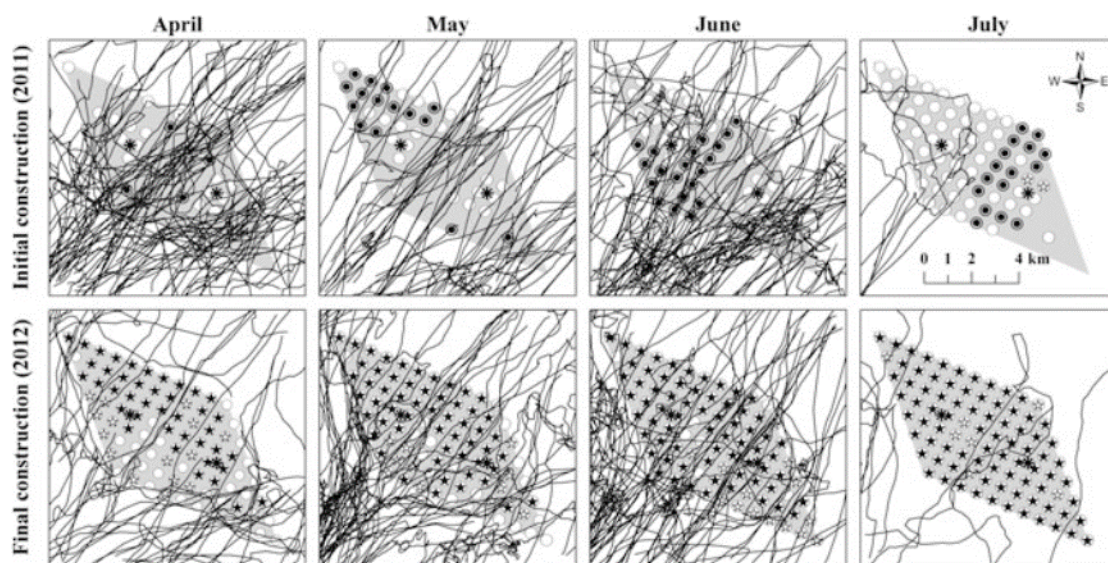


图 7.10-12 风机安装期间燕鸥飞行轨迹变化示意图

(3) 碰撞造成的额外死亡率

飞越风电场区域的物种面临更高的碰撞和死亡风险。在项目建设期和运营初期，由于建设噪声和人为干扰较大，且风机数目较少，经过风电场区域的鸟类其碰撞和死亡率均为最低，随着项目建成投入运营，鸟类与风机碰撞的机会会增加。根据本项目鸟类调查结果，与风机碰撞机会最大的是褐翅燕鸥、粉红燕鸥、普通燕鸥等燕鸥类，其次为海洋性鸟类。但根据现有文献数据分析，因风机碰撞而增加的额外死亡率不足以改变其种群数量和种群变化趋势。

(4) 总体累积性影响分析

由于本项目所在场址及阳江近海规划有多个风电场，其施工顺序有差异，各风电场相对海岸和海上鸟类活动区域的位置有差别，风电场的建设对鸟类的累积影响不完全为线性增加。根据 Goodale 等（2018）的研究发现，风电场建设规模增加对鸟类影响的差异主要在于选址。如将不同场址建设的依据分为：①避开鸟

类栖息地、②距离海岸远近、③场址水位深浅、④风力强弱等四大类，则以避开鸟类栖息地的选址方法对鸟类影响最小（见下图）。如具体到不同类群，而近岸活动鸟类和海洋性鸟类受到后三项依据的影响差异显著。

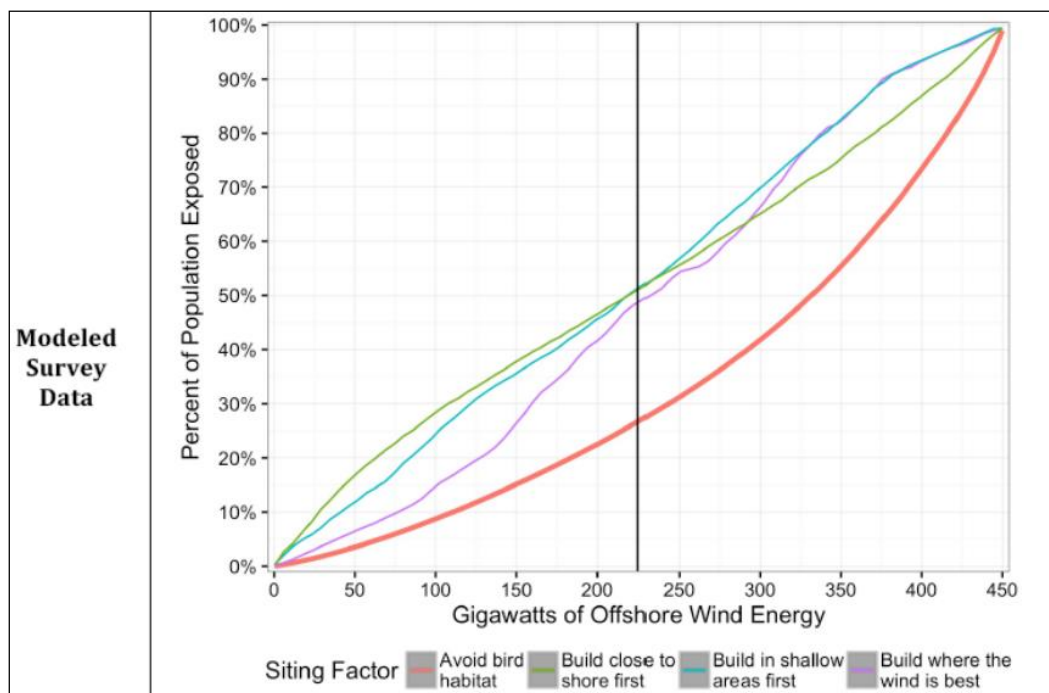


图 7.10-13 风电场选址因素对鸟类影响的累积曲线

根据本项目区域鸟类调查具体情况，列表分析不同类群鸟类对项目的累积性和叠加影响：

表 7.10-14 海上风电场建设不同时期对鸟类的累积和叠加影响分析

物种	邻近项目已施工	本项目建设中	本项目运营初期	区域建设后短期	区域建设后长期
海洋性鸟类	++	--	-	+	+
鸬鹚类	/	/	/	/	/
鸬鹚类	/	/	/	/	/
雁鸭类	/	/	/	/	/
鹭类	/(+)	/(-)	/(+)	/	/
秧鸡类	/	/	/	/	/
越冬鸬鹚类	/	/	/	/	/
迁徙鸬鹚类	+	--	-	-	/
繁殖鸬鹚类	/	/	/	/	/
燕鸥类	++	-	-	+	+
鸥类	+	-	-	-	/
猛禽类	/	/(-)	/(-)	/(-)	/(-)
陆生留鸟	/	/	/	/	/
陆生繁殖鸟类	/	/	/	/	/
陆生迁徙鸟类	/	/	/	/	/
陆生越冬鸟类	/	/	/	/	/

注：“+”代表数量有增长，“-”代表数量减少，“/”代表数量不受影响，“（）”代表影响较轻微。

根据上表，预测受影响类群主要为海洋性鸟类、迁徙鸕鹚类、燕鸥类和鸥类，鹭科鸟类和猛禽类可能受到轻微影响。但主要影响集中在项目建设期间和运营初期，随着本场址投入运营时间增长，受人工鱼礁等效应影响，加上鸟类适应和调整飞行路线，本项目对鸟类的负面影响将减少，甚至带来正面影响。

（5）与周边风电场区的累积影响分析

根据规划中广东省海上风电规划场址分布图（2017—2030 年）所示，沙扒和南鹏岛两大海上风电场场址分布如下图所示。由图可见，两场址距大陆岸线最近距离分别超过 10 和 20km，两块场址之间的最近距离则超过 56km。而阳江近海深水场址一和场址二离岸更远，超过 55km，两块场址之间的最近距离也超过 56km。根据现状调查结果可知，多数水鸟沿海岸迁徙，活动范围集中在沿岸 5km，远低于上述 4 个场址离岸的最近距离，已为鸟类预留了足够的迁徙或觅食通道，可见阳江 4 个风电场址对水鸟的影响较小。此外，对于南北迁徙种类，由于两个片区的风电场距离超过 56km，中间的预留通道非常大，不会形成连续的屏障而阻碍鸟类的迁飞活动，可见两大场址之间基本不会产生叠加影响效应。

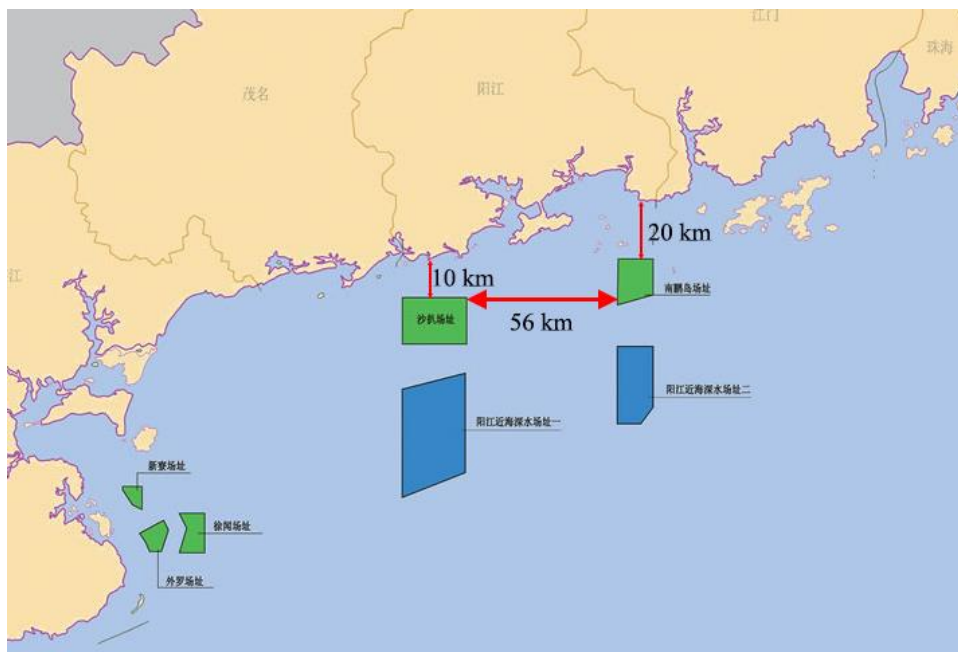


图 7.10-14 阳江 4 个海上风电场场址分布关系图

8 环境事故风险评价

8.1 环境事故识别

本工程施工期主要通过船舶进行海上作业，本工程运行期需通过船舶进行风机监测检修，需动用一定数量的各类施工船舶、车辆和机械，其均需携带一定数量的燃料油，根据《建设项目环境风险评价技术导则》中给出的“物质危险性标准”，汽油等燃料油属易燃物质，海上施工过程中各类船舶由于恶劣的自然条件、人为操作失当等发生通航安全事故及进而可能引发的溢油事故。同时本工程海域周边航道较多，海域有一定数量的船只通航及停泊，涉海施工期间各类施工存在与运输船舶发生碰撞并造成油品泄漏的可能。

工程海域受潮汐和风浪影响较大，如遇特大风暴潮、雷击等灾害，会对工程的运行带来严重损害。此外，水道摆动和风机基础冲刷、海底电缆损坏、风机基础腐蚀风险、风电运行风险、火灾风险、通航安全等环境风险事故也有一定的发生概率。

8.2 环境风险源项分析

8.2.1 通航事故风险

本工程海域位于阳江南侧近海海域，航道、锚地等通航设施众多，工程海上施工需动用各类施工船舶，各类船舶往返穿越航道及锚地，对海域通航环境会造成一定影响，从而存在发生船舶碰撞等事故的可能。此外工程作业若碰到海况条件较恶劣时，可能对施工船舶自身航行安全带来危险。

8.2.2 船舶溢油事故风险

(1) 本工程溢油事故发生概率

本工程施工过程中，主要以施工船舶与周边船舶因恶劣气象条件或操作不当而发生碰撞后导致的溢油事故为主。

船舶行驶过程中发生碰撞、泄漏事故的原因多种多样，给事故预防带来一定的难度。但对众多事故发生的原因分析可知，只要加强管理、安全操作，多数船舶碰撞、泄漏事故是可以预防的。

通过对国家运行船舶数量、船舶污染事故发生数量的统计显示，船舶发生碰

撞诱发污染事故发生概率相对较低。近年来信息化程度发展较快，给航道管理带来了极大便利，便于及早发现问题，有效的进行安全调度和指挥，因此，船舶碰撞、搁浅等交通事故发生的概率相对较低。

(2) 最大可信事故预测

最大可信事故指在所有预测的概率不为 0 的事故中，对环境（或健康）危害最严重的重大事故。本项目最主要的环境风险类型主要包括：海上船舶与施工船舶或者风机碰撞引起的燃料油泄漏。

本风电场施工期采用的最大施工船舶为 10000~30000t 级的甲板驳船，其所带的燃料油舱一般为 4~8 个，单个油舱最大约为 134m³，燃料油密度按 0.75t/m³ 计算，则施工船舶所携带的最大单舱载油量约为 100t。因此，本次环评溢油源强考虑最大可信事故为施工期施工船舶与航道船舶相撞导致油舱破损而发生溢油事故，采用施工期施工船舶碰撞发生燃料油舱单舱全部泄漏造成的最大漏油量 100t。考虑到青洲五、六、七等 3 个项目施工时间存在重叠，青洲场址北侧分布有琼州海峡至阳江港推荐航路、珠江口至湛江规划航路、珠江口至湛江推荐航路、湛江至珠江口规划航路等多条航路；珠江口至琼州海峡北水道推荐航路、台湾海峡至琼州海峡北水道推荐航路穿越拟建的青洲五、青洲七风电场，项目建设前，需调整航道。同时海洋环境敏感目标主要位于沿岸区域，故本次拟在风电场北侧的琼州海峡至阳江港推荐航路和珠江口至湛江推荐航路交界处海域设置一个溢油点，位置见图 8.4-2。

8.3 通航事故风险分析

本工程海域位于阳江南侧近海海域，港口、码头、航道、锚地等通航设施众多，同时工程海域周边分布有琼州海峡至阳江港推荐航路、珠江口至湛江规划航路、珠江口至湛江推荐航路、湛江至珠江口规划航路等多条航路等多条航道。

由于本工程不涉及港口航运等功能，因此本工程建设涉及的通航环境风险主要集中在海上施工作业期间。工程海上施工需动用各类施工船舶，各类船舶往返穿越航道及锚地，对海域通航环境会造成一定影响，从而存在发生船舶碰撞等事故的可能。此外工程作业若碰到海况条件较恶劣时，可能对施工船舶自身航行安全带来危险。

8.4 船舶溢油事故风险

8.4.1 溢油事故影响预测分析

8.4.1.1 溢油事故模型建立

海上溢油的扩散行为受气象条件和潮流特征等环节条件以及溢油本身化学性质的影响，会经历拓展、漂移及风化等复杂过程。溢油刚发生时，油膜主要在海中进行扩展过程，持续时间较短，随后在海中进行漂移和风化过程，持续时间较长。目前对溢油数值模拟研究的方法基本有两种，一种是基于对流扩散方程，将油膜视作一般污染物；另一种是“油粒子”模型，采用拉格朗日随机走动法和粒子云团来描述溢油过程。“油粒子”模型将油膜分散成大量油粒子，油膜视为这些“油粒子”组成的粒子云团，该方法可以较好地反应海上溢油在各种环境因素影响下的行为情况，目前在溢油研究中被广泛使用。

本次计算采用丹麦水利研究所 DHI 开发的 MIKE21/3 OS 模块进行溢油的数值模拟，其基本原理是基于拉格朗日体系，模拟溢油在海水中的扩展、漂移、风化等过程，并且能全面反应油膜的漂移轨迹、扫海面积以及溢油物理化学属性的改变情况，是国际上应用较广的溢油预测模型模拟系统之一。

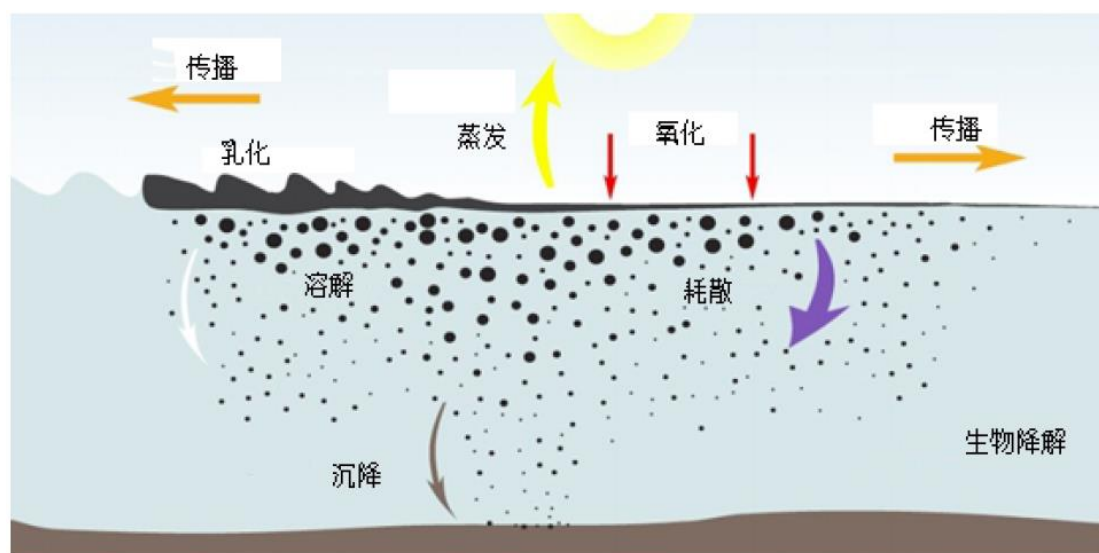


图 8.4-1 溢油风化过程示意图

在模型中油被分为两部分：轻质挥发部分(分子量小于 160g/mol，沸点小于 300 ℃)和重质部分(分子量大于 160g/mol，沸点 300 ℃ 以上)，石蜡和沥青作为油中的特殊成分，不参与降解、蒸发和溶解过程。模型中油被离散为大量的油粒子，每个油粒子代表一定的油量，每个粒子都在模型被单独计算。溢油发生后，油残

留物的化学组分变化是物理和生物过程的结果、这通常称为油的风化过程，在模型中油的风化过程主要包括蒸发、扩散、乳化、溶解、沉降、感光氧化和生物降解等，过程示意图见图 8.4-1。

(1) 扩展过程

溢油的扩展过程主要受重力、粘力和表面张力的影响。本模型采用的是修正的 Fay 重力-粘性力公式计算油膜的扩展过程：

$$\frac{dA_0}{dt} = K_a A_0^{1/3} \left(\frac{V_0}{A_0} \right)^{4/3}$$

$$V_0 = R_0^2 \pi h_0$$

式中， A_0 为油膜扩展面积， V_0 为溢油体积， K_a 为系数， h_0 为油膜初始厚度，取 10cm， t 为时间。

(2) 漂移过程

“油粒子”模型将漂移过程分为对流和紊动扩散两个主要过程，在每个计算步长内，油粒子的变化都是这两个过程综合作用的结果。

1、对流过程

油粒子在潮流和风力的作用下产生对位移移，可以表示为：

$$U_p = U_s + C_w \cdot U_w \cdot \sin(\theta - \pi + \theta_w) \tag{1}$$

$$V_p = V_s + C_w \cdot U_w \cdot \cos(\theta - \pi + \theta_w) \tag{2}$$

式中， U_p 、 V_p 分别为油粒子在 x、y 方向的对流移动分速度； U_s 、 V_s 分别是表面流速在 x、y 方向的分速度； U_w 为海面上 10m 处的风速； θ 为风向角； C_w 为风漂移系数，一般取值为 0.03~0.04 之间，本报告取值为 0.03； θ_w 为风偏转角，可表示为：

$$\theta_w = \beta \exp\left(\frac{\alpha |U_w|^3}{g \gamma_w}\right)$$

其中， $\alpha = -0.3 \times 10^{-8}$ ； $\beta = 28.38'$ ； g 为重力加速度； γ_w 为运动粘度。本模型取模型默认值， $\theta_w = 28^\circ$ 。

2、紊流扩散过程

每个油粒子的空间是由水流的随机脉动所导致的，对于二维的情况，可以将随机走动的距离形式表示为：

$$\Delta S_{\alpha} = R \cdot \sqrt{6D_{\alpha} \cdot \Delta t}$$

其中 ΔS_{α} 为在 α 方向上的一个时间步长内可能扩散走动的距离， D_{α} 为 α 方向上的扩散系数， R 为-1 到 1 的随机数。

(3) 溢油风化过程

溢油的风化包括蒸发、乳化以及溶解等过程。其过程十分复杂，与溢油自身属性、温度、风、阳光等许多因素有关。

1、蒸发过程

油类蒸发指液态的石油烃变成气态造成油膜与空气间进行物质交换的过程，油类的蒸发受油品本身及环境因素影响，油品本身性质决定着油类在水中的蒸发率，油膜厚度、风场及温度、水温、风速计太阳辐射等因素也影响着油类的蒸发。蒸发数量一般占总溢油量的 20%~40%。蒸发率由下式表达：

$$N_i^e = K_{ei} \cdot P_i \cdot \frac{M_i}{\rho_i} / (RT) \quad (3)$$

式中： N_i^e 为蒸发率， P 为蒸汽压， i 为不同的油组分， R 为气体常数， K_{ei} 为物质传输系数， M 为分子量， T 为温度， ρ 为油组分密度， K_{ei} 由下式估算：

$$K_{ei} = K \cdot A_0^{0.045} \cdot Sc_i^{-2/3} \cdot U_w^{0.78}$$

其中， K 为蒸发系数， Sc 为蒸汽 Schmidt 数，模型取 2.7。

2、乳化过程

乳化是油与水经过扰动作用后混合在一起，油膜被打碎成油滴不断向水体运动，同时卷吸海水形成黑褐色的乳化物。这种乳化物可以长期漂浮于海上，体积、粘度和比重都比原来大得多，这是由于其吸收了大量海水的原因。溢油的乳化会极大影响到扩散、蒸发等其它过程，严重地妨碍了溢油的清理工作。溢油的乳化受油膜厚度、水流紊动作用以及环境条件等的影响。

油膜的乳化包括形成水包油型及油包水型两个物化过程。在溢油发生最初的时刻，扩散是最主要的运动方式，由于其是一种物理过程，油膜在自身伸展压缩运动及水流和风浪的扰动下破碎，将油膜分散成各种粒径的油滴，油滴进入水中，形成水包油型乳化。从油膜中扩散到水中的油量损失可由下式计算：

a. 形成水包油乳化物的过程

溢油在海上的扩散过程中，水流的紊动作用将油膜打碎成油滴，油滴分散到

水体后进而形成了水包油的乳化物。这些乳化物表面化学性质稳定，可以防止油滴返回油膜。在静风条件下油膜的伸展压缩运动是主要的分散作用力，而在大风的情况下波浪破碎是主要因素。溢油的损失量计算为：

$$D = D_a + D_b$$

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

$$D_b = \frac{1}{1+50\mu_0 h_s \gamma}$$

式中， D_a 为油类进入到水中的分量， D_b 为进入水体后没有返回的分量， μ_0 为油的粘度， γ 为油和水的表面张力。

油粒子返回油膜速率为：

$$\frac{dV_0}{dt} = D_a(1-D_b)$$

b. 形成油包水乳化物的过程

当水进入油类中，形成油包水型乳化，会增加油类的含水率。油类含水率变化由下式得出：

$$\frac{dY_w}{dt} = R_a - R_b$$

$$R_a = K_a (Y_w^{\max} - Y_w) \frac{(1+U_w)}{\mu_0}$$

$$R_b = K_b Y_w \frac{1}{A_s \cdot \mu_0 \cdot W_a}$$

其中， R_a 、 R_b 分别为水的吸收速率和释放速率， A_s 为溢油的沥青含量， W_a 为溢油的石蜡含量， Y_w 为乳化物含水率， Y_w^{\max} 为最大含水率， K_a 、 K_b 分别为吸收系数和释放系数。 Y_w^{\max} 取值为0.75。

3、溶解

溢油有微弱的溶于水的特性，主要是低碳的轻油组分溶解于水。在整个溢油扩散的过程中其溶解量通常不会超过溢油总量的1%。溶解率可表示为：

$$\frac{dV_{di}}{dt} = K_{di} \cdot X_i \cdot C_i^s A_0 \frac{M_i}{\rho_i}$$

$$K_{di} = 2.36 \cdot 10^{-6} e_i$$

$$e_i = \begin{cases} 1.4 & \text{烷烃} \\ 2.2 & \text{芳香烃} \end{cases}$$

其中， V_{di} 为溢油溶解量， K_{di} 为溶解传质系数， X_i 为摩尔分数， C_i^s 为溶解度， M 为摩尔质量。

(4) 溢油物理化学性质的变化

进入水体的溢油的物理化学性质会随着乳化和蒸发等过程的进行而不断地发生变化。在“油粒子”模型中，溢油的浓度和厚度都以粒子的体积以及网格面积表示。本模型考虑了溢油的密度、粘度和热容量的变化。

8.4.1.2 溢源源强及位置

本工程海上施工主要为风机和海缆施工。根据最大可信事故分析，本工程最大可信事故为施工期施工船舶碰撞发生的燃料油舱泄漏事故，最大漏油量为 100t；由于溢油时间、地点、数量等众多不确定的随机因素，因此计算不可能将所有情况一一描述清楚。考虑到施工期风电场周边海域施工船舶进出频繁，风电场北侧琼州海峡至阳江港推荐航路、珠江口至湛江规划航路、珠江口至湛江推荐航路、湛江至珠江口规划航路等多条航路等，因此在施工船舶作业区、进场路线与航道的交汇海域发生船舶碰撞事故的概率较大，考虑到各敏感目标的主要位于风电场北侧，且工程施工船舶可能从琼州海峡至阳江港推荐航路进场，因此拟在风电场北侧的琼州海峡至阳江港推荐航路和珠江口至湛江推荐航路交界处海域设置一个溢油点，溢源源强根据最大可信事故分析结果取为 100t。

8.4.1.3 溢油计算工况

溢油形式主要分为瞬时和连续溢油，一般而言，溢油量的 10%为瞬时溢油，90%为连续溢油。结合本工程实际情况，预测以燃料油作为油品的主要代表，考虑连续 1h 溢油的情况，以大潮作为主要的潮流形式。

本次溢油计算工况组合分别考虑了常规工况和针对周边环境敏感目标的不利工况，其中常规工况选取工程海域冬季盛行风 NE（5m/s）和夏季盛行风 S（2.9m/s）作为计算风况，考虑涨憩和落憩两个溢油时刻，共设计了 4 个工况组合；针对评价范围内海洋环境敏感目标的不利工况，分别考虑北侧、西北侧、西侧以及东北侧敏感目标，设置对应的工况，其风速为施工船舶最大抗风等级（六

级风上限 13.8m/s)，风向、溢油点及溢油发生时刻根据敏感目标和溢油点相对位置确定，共设计了 4 个不利工况组合，详见表 8.4-1。

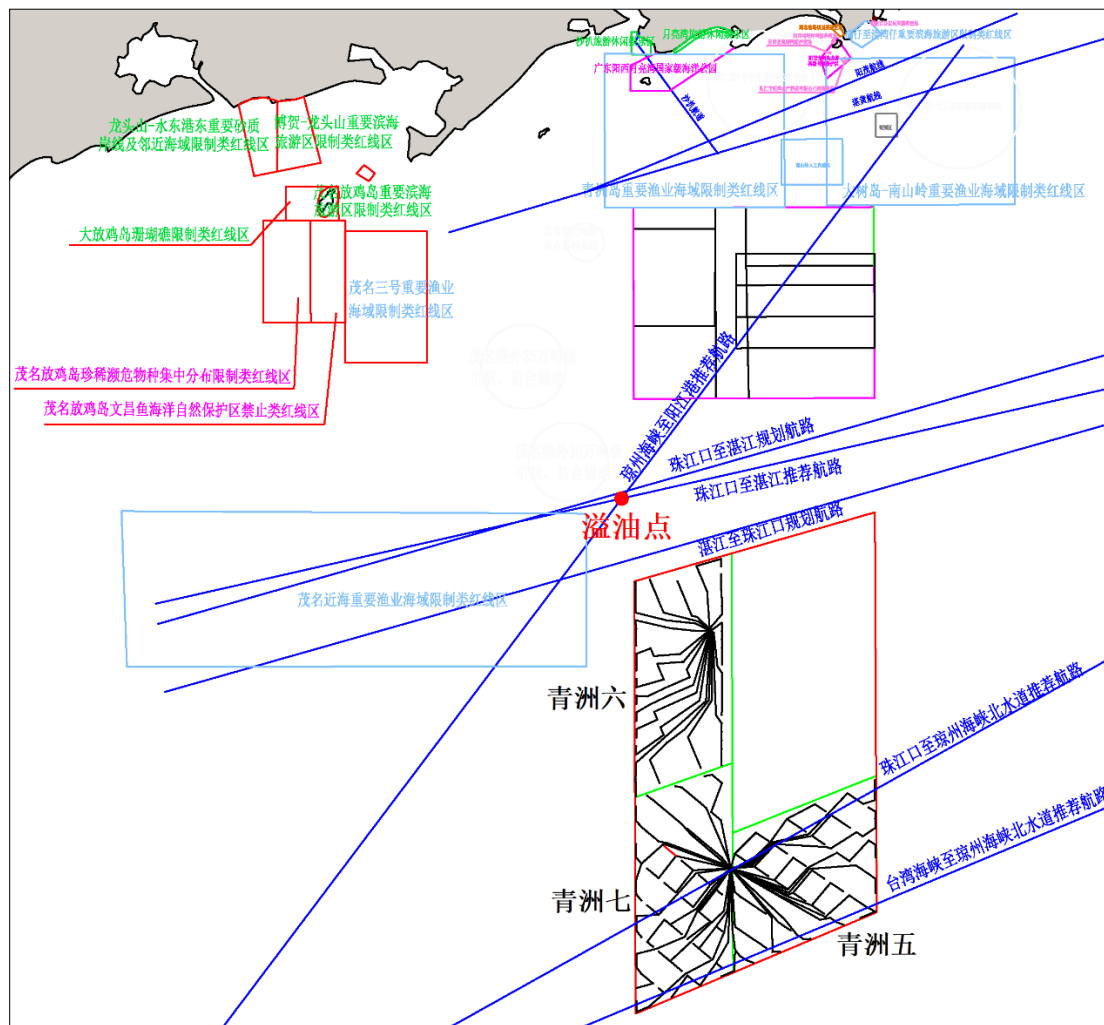


图 8.4-2 溢油点位置示意图

表 8.4-1 溢油模型工况设计

工况	风向，风速	溢油发生时刻	备注
工况 1	NE, 5m/s	涨憩	常规工况
工况 2		落憩	
工况 3	S, 2.9m/s	涨憩	
工况 4		落憩	
工况 5	S, 13.8m/s	落憩	针对北侧敏感目标的不利工况
工况 6	SE, 13.8m/s	落憩	针对西北侧敏感目标的不利工况
工况 7	E, 13.8m/s	落憩	针对西侧敏感目标的不利工况
工况 8	SW, 13.8m/s	落憩	针对东北侧敏感目标的不利工况

8.4.1.4 溢油计算结果

根据各种工况计算的结果，表 8.4-2 给出了各种工况下溢油发生后油膜扫海

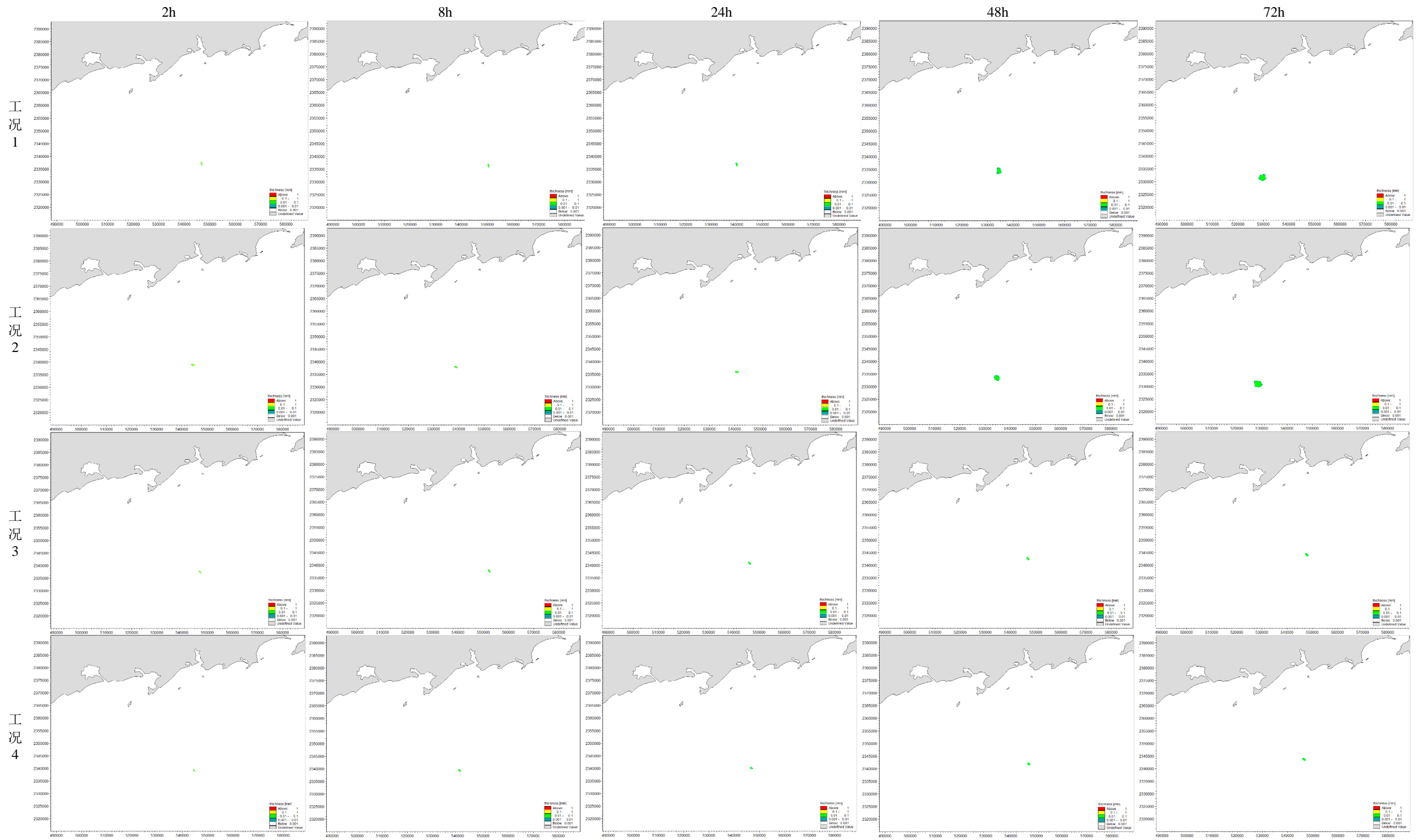
面积随时间变化情况，表 8.4-3 给出了各种工况下 72 小时内油膜漂移最大距离，图 8.4-3 给出了各种工况下典型时刻油膜瞬时运动分布图，图 8.4-4 给出了各工况下油膜运动轨迹图，表 8.4-4 给出了各种工况下油膜对敏感目标的影响。

表 8.4-2 各工况溢油油膜面积随时间变化 (km²)

工况时间/h	工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 7	工况 8
1	0.16	0.19	0.19	0.18	0.22	0.25	0.24	0.15
2	0.19	0.28	0.14	0.14	0.21	0.24	0.28	0.22
4	0.25	0.29	0.26	0.16	0.23	0.38	0.30	0.20
8	0.24	0.27	0.25	0.25	0.31	0.42	0.41	0.27
12	0.29	0.32	0.26	0.23	0.40	0.45	0.45	0.29
24	0.40	0.38	0.34	0.26	1.58	1.59	1.72	0.34
36	0.46	1.00	0.41	0.34	2.26	3.44	2.69	1.56
48	0.85	1.55	0.45	0.40	9.63	8.27	8.21	2.23
72	2.00	2.74	0.54	0.53	26.99	66.37	16.72	17.85
总扫海面积	58.70	62.16	31.17	25.97	180.76	219.75	152.05	125.06

表 8.4-3 各工况溢油 72 小时内油膜漂移最大距离 (km)

工况	油膜漂移最大距离
工况 1	19.35
工况 2	21.96
工况 3	8.15
工况 4	8.07
工况 5	44.04
工况 6	50.26
工况 7	52.37
工况 8	41.67



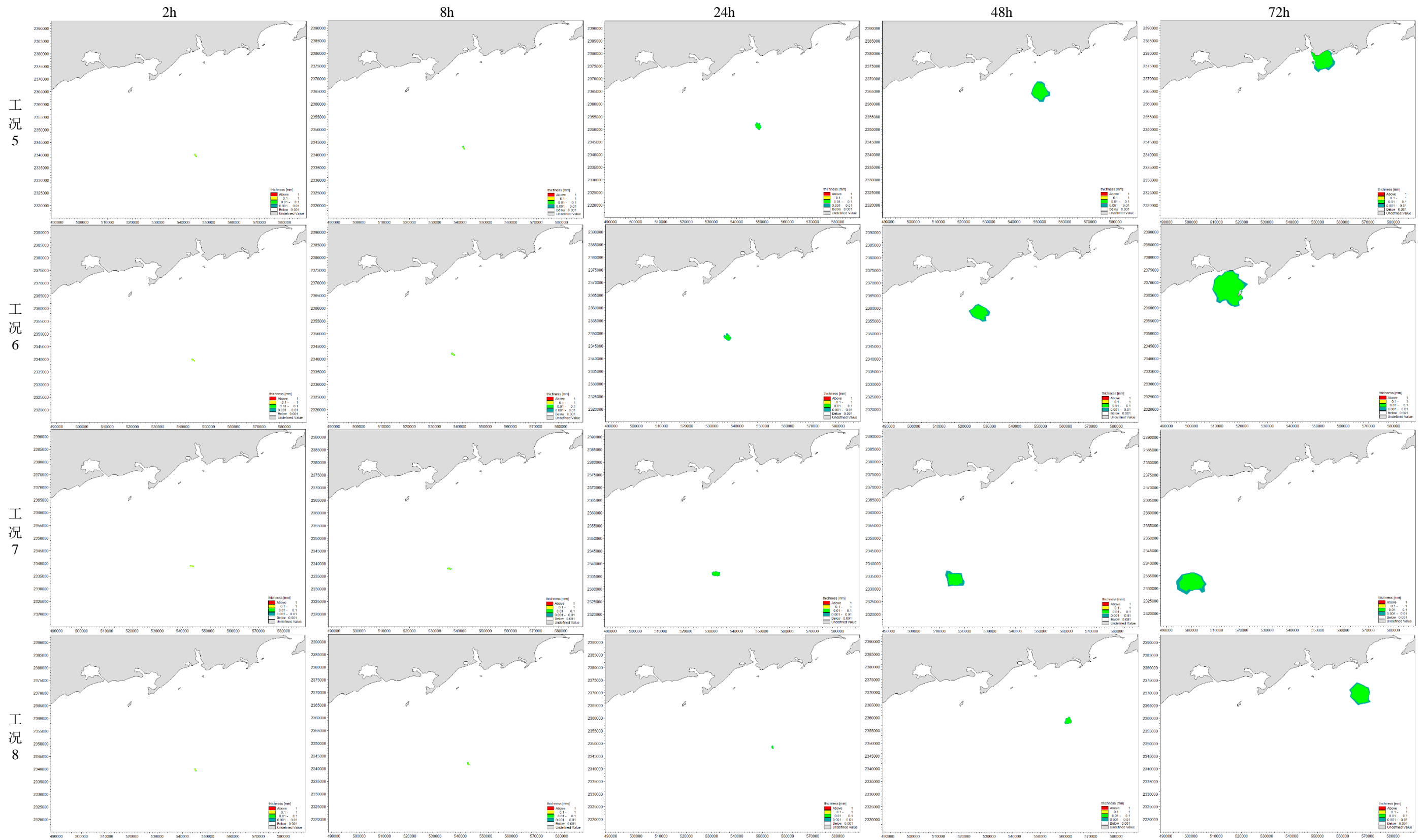


图 8.4-3 各种工况下典型时刻油膜瞬时运动分布图

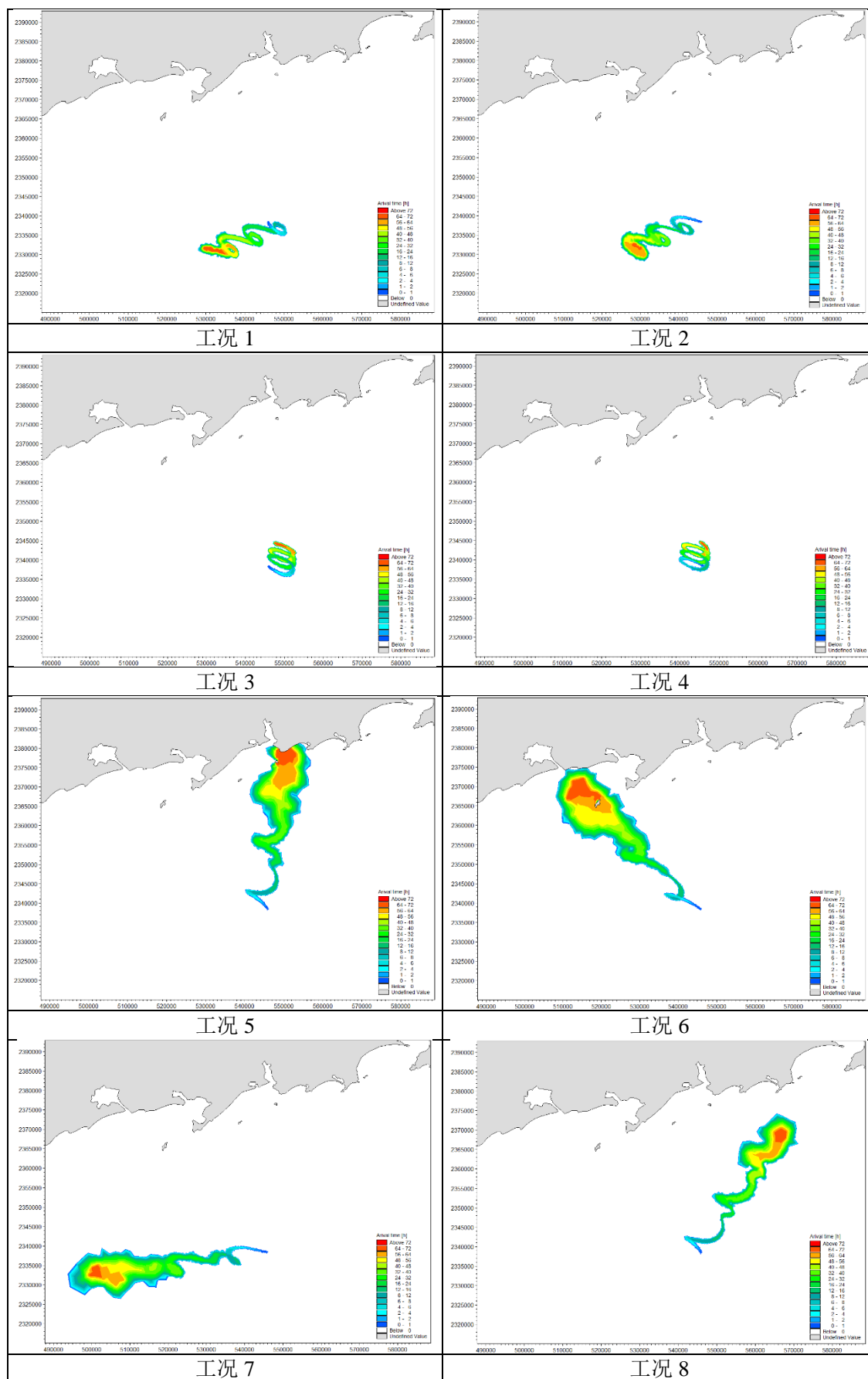


图 8.4-4 72h 油膜运动轨迹图

(1) 溢油计算结果影响分析

从各工况油膜运动轨迹图可以看出,不同风向对油膜运动轨迹和扩散面积影响十分明显。

常规工况条件下,风速相对较小。溢油发生后,在落潮流、常风向 NE 风(工况 1)作用下,油膜先是受潮流动力影响向东南方向漂移,随后受东北风和潮流动力的共同影响,在海域中呈螺旋状向西南方向漂移;在落潮流、常风向 S 风(工况 3)作用下,油膜先是受潮流动力影响向东南方向漂移,随后受偏南风 and 潮流动力的共同影响,在海域中呈螺旋状向偏北方向漂移;在涨潮流、常风向 NE 风(工况 2)作用下,油膜先是受潮流动力影响向西北方向漂移,随后受东北风和潮流动力的共同影响,在海域中呈螺旋状向西南方向漂移;在涨潮流、常风向 S 风(工况 4)作用下,油膜先是受潮流动力影响向西北方向漂移,随后受偏南风和潮流动力的共同影响,在海域中呈螺旋状向偏北方向漂移。其中工况 1 和工况 2 风速较工况 3 和工况 4 大,故油膜漂移的距离相对较远。

不利工况条件下,风速达到 13.8m/s。其中在北风 13.8m/s(工况 5)的作用下,油膜快速向北方向漂移,到达北侧岸线后,被岸滩所吸附,不再扩散。在东南风 13.8m/s(工况 6)的作用下,溢油发生后,油膜迅速向西北方向漂移,72 小时后接近西北侧岸线。在东风 13.8m/s(工况 7)的作用下,油膜快速向西侧方向运动。在西南风 13.8m/s(工况 8)的作用下,油膜快速向东北偏东方向漂移。不利工况条件下,油膜漂移的距离和面积均较大。

(2) 溢油对各敏感区影响分析

本工程海域周边的风险敏感目标主要有广东阳西月亮湾国家级海洋公园、沙扒旅游休闲娱乐区、月亮湾旅游休闲娱乐区、南山岭人工鱼礁区、大树岛-南山岭重要渔业海域限制类红线区、青洲岛重要渔业海域限制类红线区、茂名三号重要渔业海域限制类红线区、茂名放鸡岛文昌鱼海洋自然保护区禁止类红线区等,一旦发生溢油事故将会对这些区域发生不利影响,通过分析溢油各种工况下的计算结果,给出了溢油发生后油膜到达敏感地区的时间,具体见表 8.4-4。

表 8.4-4 油膜到达敏感目标的时间

序号	敏感目标名称	到达时间 (h)							
		工况 1	工况 2	工况 3	工况 4	工况 5	工况 6	工况 7	工况 8
1	广东阳西月亮湾国家级海洋公园	/	/	/	/	63	/	/	/
2	沙扒旅游休闲娱乐区	/	/	/	/	69	/	/	/
3	月亮湾旅游休闲娱乐区	/	/	/	/	64	/	/	/
4	南山岭人工鱼礁区	/	/	/	/	/	/	/	60
5	大树岛-南山岭重要渔业海域限制类红线区	/	/	/	/	/	/	/	61
6	青洲岛重要渔业海域限制类红线区	/	/	/	/	42	/	/	/
7	茂名三号重要渔业海域限制类红线区	/	/	/	/	/	29	/	/
8	茂名近海重要渔业海域限制类红线区	22	9	/	/	/	/	2	/
9	茂名放鸡岛珍稀濒危物种集中分布限制类红线区	/	/	/	/	/	45	/	/
10	茂名放鸡岛文昌鱼海洋自然保护区禁止类红线区	/	/	/	/	/	52	/	/
11	茂名放鸡岛重要滨海旅游区限制类红线区	/	/	/	/	/	54	/	/
12	大放鸡岛珊瑚礁限制类红线区	/	/	/	/	/	52	/	/
13	博贺-龙头山重要滨海旅游区限制类红线区	/	/	/	/	/	65	/	/
14	龙头山-水东港东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	/	/	/	/	/	59	/	/
15	小放鸡岛重要渔业海域限制类红线区	/	/	/	/	/	64	/	/

由上表可以看出：在常规工况下，油膜漂移距离较近，仅对茂名近海重要渔业海域限制类红线区造成影响。

而在不利潮型条件下，溢油事故发生后，油膜可到达各风险敏感目标，到达时间在 2~69 小时之间，其中茂名近海重要渔业海域限制类红线区的最快到达时间仅为 2 小时，其余敏感目标距离较远，到达时间在 29~69 小时之间。可见，风电场风险评价范围内敏感目标较多，施工期间在工程海域发生溢油事故后，油膜在非常短的时间内可到达部分敏感目标，溢油事故的应急处置工作难度较大。因此，应严格加强施工期施工船舶的安全管理，杜绝事故的发生。同时要加强突发事件的风险防范和应急处置能力建设，一旦发生溢油事故，应尽快采取阻拦措施，并组织人员进行油品的回收工作，尽量减小污染。

8.4.2 溢油事故对海洋生态和渔业影响分析

船舶溢油事故发生后，将对海洋生物和渔业资源造成很大影响。

(1) 对浮游生物的影响

溢油事件发生后，油膜会破坏浮游植物细胞，损坏叶绿素及干扰气体交换，从而妨碍他们的光合作用。破坏程度取决于油类物质的类型，浓度及浮游植物的种类。根据国内外毒性实验结果，作为鱼、虾类饵料基础的浮游植物，对各种油类的耐受能力都很低。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为 0.1~10mg/L，一般为 1mg/L。对于更敏感的种类，油浓度低于 0.1mg/L 时，也会妨碍细胞的分裂和生长的速率。

(2) 对浮游动物的影响

浮游动物石油急性中毒致死浓度范围一般为 0.1~15mg/L，Mironov 等曾将黑海某些挠足类、和枝角类暴露于 0.1ppm 的石油海水中，当天浮游动物全部死亡。当石油含量降至 0.05ppm，小型拟哲水蚤 *Paracalanus sp.* 的半致死时间为 4 天，而胸刺镖蚤 *CentroPages*、鸟缘尖头蚤和长腹剑水蚤 *Oithona* 的半致死天数依次为 3 天、2 天和 1 天。另外，Mironov 对不同浓度对挠足类幼体的影响实验表明，永久性（终生性）浮游动物幼体的敏感性大于阶段性（临时性）的底栖生物幼体，而它们各自的幼体的敏感性又大于成体。

(3) 对底栖生物的影响

底栖生物随种类的不同而产生对石油浓度适应的差异，多数底栖生物石油急性中毒致死浓度范围在 2.0~15mg/L，其幼体的致死浓度范围更小些。软体动物双壳类能吸收水中含量很低的石油，如：0.01ppm 的石油则可能使牡蛎呈明显的油味，严重的油味可持续达半年之久。受石油污染的牡蛎会引起因纤毛鳃上皮细胞麻痹而破坏其摄食机制并进而死亡。象海胆、寄居蟹、海盘车等底栖生物的耐油污性很差，即使海水中石油含量只有 0.01ppm，也可使其死亡。而千分之一浓度的乳化油即可使海胆在 1 小时内死亡。某些底栖甲壳类动物幼体（无节幼虫）当海水中石油浓度在 0.1~0.01ppm 时，对藤壶幼体和蟹幼体有明显的毒效。据吴彰宽报导，胜利原油对对虾 *Penaeus orientalis* 各发育阶段影响的最低浓度分别是受精卵 56mg/L，无节幼体 3.2mg/L、蚤状幼体 0.1mg/L，糠虾幼体 1.8mg/L，仔虾 5.6mg/L，其中蚤状幼体为最敏感的阶段。胜利原油对对虾的幼体的 96h-LC50 为 11.1mg/L。

(4) 石油污染对鱼类的影响

国内外许多的研究均表明高浓度的石油会使鱼卵、仔幼鱼短时间内中毒死亡，低浓度的长期亚急性毒性可干扰鱼类摄食和繁殖，具毒性随石油组分的不同而有差异。根据东海水产研究所近年来对几种不同油类对鲮鱼仔鱼 *Mugilcaphalus* 的毒性试验结果表明，阿拉伯也门麦端波原油、镇海炼油厂的混合废油、胜利原油和东海平湖原油对鲮鱼的 96h—LC50 值分别为 15.8mg/L、1.64mg/L、6.5mg/L 和 2.88mg/L。陈民山等报导，胜利原油对真鲷仔鱼 *Pagrassonius major* 和牙鲆仔鱼 *Paralichthy olovaceus* 的 96h—LC50 值分别为 1.0mg/L 和 1.6mg/L。20 号燃料油对黑鲷 *Spares macrocephaius* 的 96h-LC50 值为 2.34mg/L，而对黑鲷的 20 天生长试验结果，其最低影响浓度(LOEC)和无影响浓度分别为 0.096mg/L 和 0.032mg/L。

(5) 石油对水产动、植物的油臭影响

海洋中一旦发生油污染，扩散的油分子会迅速随风及水的流动而扩散，水产动、植物一旦与其接触，即会在短时间内发生油臭，从而影响食用价值。以 20 号燃料油为例，当油浓度为 0.004mg/L 时，5 天就能对对虾产生油味，14 天和 21 天分别使文蛤和葛氏长臂虾产生异味。

综上所述，溢油事故一旦发生将对海洋生态系统造成极大的影响。回顾溢油事故实际案例，1999 年珠江口水域发生的“3.24 特大溢油事故”，事故溢油量超过 500t，事故发生当年事故海域的海洋生态系统变化显著，直到事故第二年生态系统才开始逐步恢复，次年的鱼类资源和捕捞量损失约 40%，此后的 3、4 年渔业资源和捕捞量仍明显劣于事故前，直到事故后事故后 7 年渔业资源方恢复到原有水平。可见溢油事故对海洋生态系统、渔业资源的影响是显著的、长期的。

8.4.3 通航、溢油事故风险防范措施

8.4.3.1 施工期航行、溢油风险事故防范措施

综上所述，本项目施工具有一定的通航环境风险，从而存在一定燃油泄漏的风险，为保证工程施工安全，防止油污事故发生，施工单位必须有水上施工经验，施工过程中需科学合理安排施工工序，周密考虑工程施工期间的安全措施，应主要包括：

(1) 采用“人、机、环境、控制（管理）”四大要素，对每个要素采取切实有效的安全措施。为了预防事故，就必须从根本上控制公司岸上、船上工作人员的

职业素质和操作；控制船体、机电设备的技术状态，严格维护保养，保障其运转正常；正确估量航行环境中蕴含的自然力量和船舶的抵御能力，及时正常地预报天气和海况，及时规避灾害天气，避免不可抗力的袭击；加强公司岸上和船上的安全管理，完善机构、规章及其运作。

(2) 加强对施工作业船舶的安全管理。参加施工作业的船舶必须经过相关的安全检查，有关人员必须经过水上作业的相关安全培训和教育，并认真落实施工作业的安全措施和发生突发情况的应急措施。

(3) 加强工程施工期间施工区附近水域的通航环境的安全管理。需根据工程施工方案，分析工程施工对船舶通航环境的影响，提出加强施工期间水上通航秩序安全管理的对策和措施，确保工程施工和船舶通航的安全。

(4) 施工作业开工前按规定向海事局有关部门申请办妥水上水下施工作业手续，申请发布有关施工作业航行通告和航行警告。

(5) 施工船进行打桩作业时，应于明易显见处，显示港口规定信号（白天显示旗号、夜间显示灯号）。

(6) 施工作业期间作业船舶应配置有效的通讯工具，指派专人守听，密切注视周围船舶动态。当发现来船动向不明或危及施工船舶安全时，应立即通过扩音喇叭向来船发出警告。必要时停止施工，立即松缆避免事故的发生。

(7) 为避免工程施工船所抛所开锚对过往船舶造成危害影响，应白天在艏悬挂经旗，夜间用探照灯向开锚锚位处水面照射。但灯光不能外射，以免影响过往船舶驾驶人员的正常了望。

(8) 掌握天气动态，规避灾害天气，当风力达到施工船舶的抗风等级前，施工船应停止施工作业，当气象预报风力超过施工船抗风等级前，应提前撤离施工现场，择地避风。

(9) 由于工程施工时所占用的可通航水域面积很大，因此在施工作业期产，施工建设单位需向海事主管机关申请划定施工作业区，设置航行警戒标，配置现场警戒船。

(10) 为确保海上风电场工程顺利进行和航经附近水域船舶的通航安全，施工建设单位应拟定施工期间水上交通安全维护方案，通过印制、发放宣传资料和利用报刊、广播、电视等媒体开展广泛的宣传教育，使有关航运单位、航行船舶及从事捕捞作业的渔民，都了解工程内容、施工范围和工期等，取得社会各方面

的理解、支持和配合。

(11) 认真落实施工船舶防污染措施, 做好船舶垃圾、残油、含油污水等污染特、废弃物的接收和处置工作。施工船舶一旦发生污染水域事故, 应尽力采取控制和消除污染的措施, 同时向海事主管机关报告, 接受调查处理。

(12) 工程施工期间需制订切实有效的安全管理措施和一旦发生空发性事故的应急预案。

8.4.3.2 运行期航行、溢油风险事故防范措施

为防范运行期船舶碰撞及溢油事故风险, 必须采取相应的安全措施。

(1) 海上风机应涂有醒目的警示色、夜间需采用灯光照射的办法。在风电场场界连线外侧考虑设置一排黄色间距 1.0n mile 的航行警示标, 以警示船舶有效避让。

(2) 安装海上风机监视系统随时掌握风电场设施水域周围的船舶航行动态。并配置有效的通讯设备, 与海事主管部门随时保持通讯联系, 以在发生突发事件时能及时获得海事主管机的应急救援。

(3) 向海事主管机关申请发布航行通告和航行警告, 提出协助进行水上安全维护申请。

8.4.4 溢油事故的应急措施

根据国家环保局(90)环管字 057 号 8 文要求, 通过对污染事故的风险评价, 制定防止重大环境污染事故发生的工作计划, 消除事故隐患的措施及突发性事故应急处理办法等, 一旦出现重大事故, 能有效的组织救援, 及时控制污染、减少污染损失。

风险事故发生后, 能否迅速而有效地作出应急反应, 对于控制污染, 减少污染损失以及消除污染等都起着关键性的作用。为使本工程施工和运行期对于一旦发生的溢油事故能快速作出反应, 最大限度地减少事故污染对工程海域的灾害性损失。建立应付突发性事故的抢险指挥系统, 组织制定一份可操作的风险应急行动计划, 定期进行演习是非常必要的。此外, 建设单位应委托有能力的单位编制应急预案。

8.4.4.1 应急计划区

本工程应急计划区主要为风电场区、施工船舶进场航道附近。应急事件包括

船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故。

8.4.4.2 应急指挥组织

(1) 应急领导机构

应急总领导机构由阳江海事主管部门承担,在省、市应急救援机构的指导下,承担水上交通突发事件应急反应的组织、协调、指导和指挥工作。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,根据《阳江海事局水上交通突发事件应急反应预案》事件分级,及时将现场情况反映给海事管理部门,听从阳江海事主管部门的指挥。

(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。

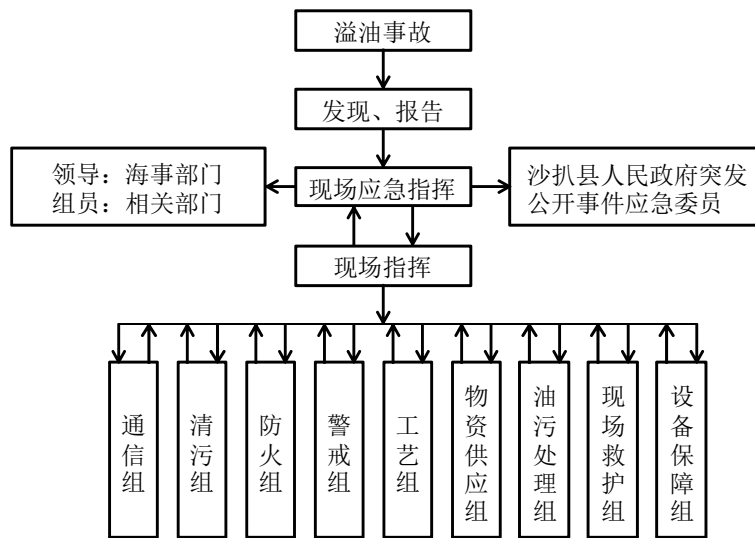


图 8.4-5 本项目溢油事故应急指挥组织机构

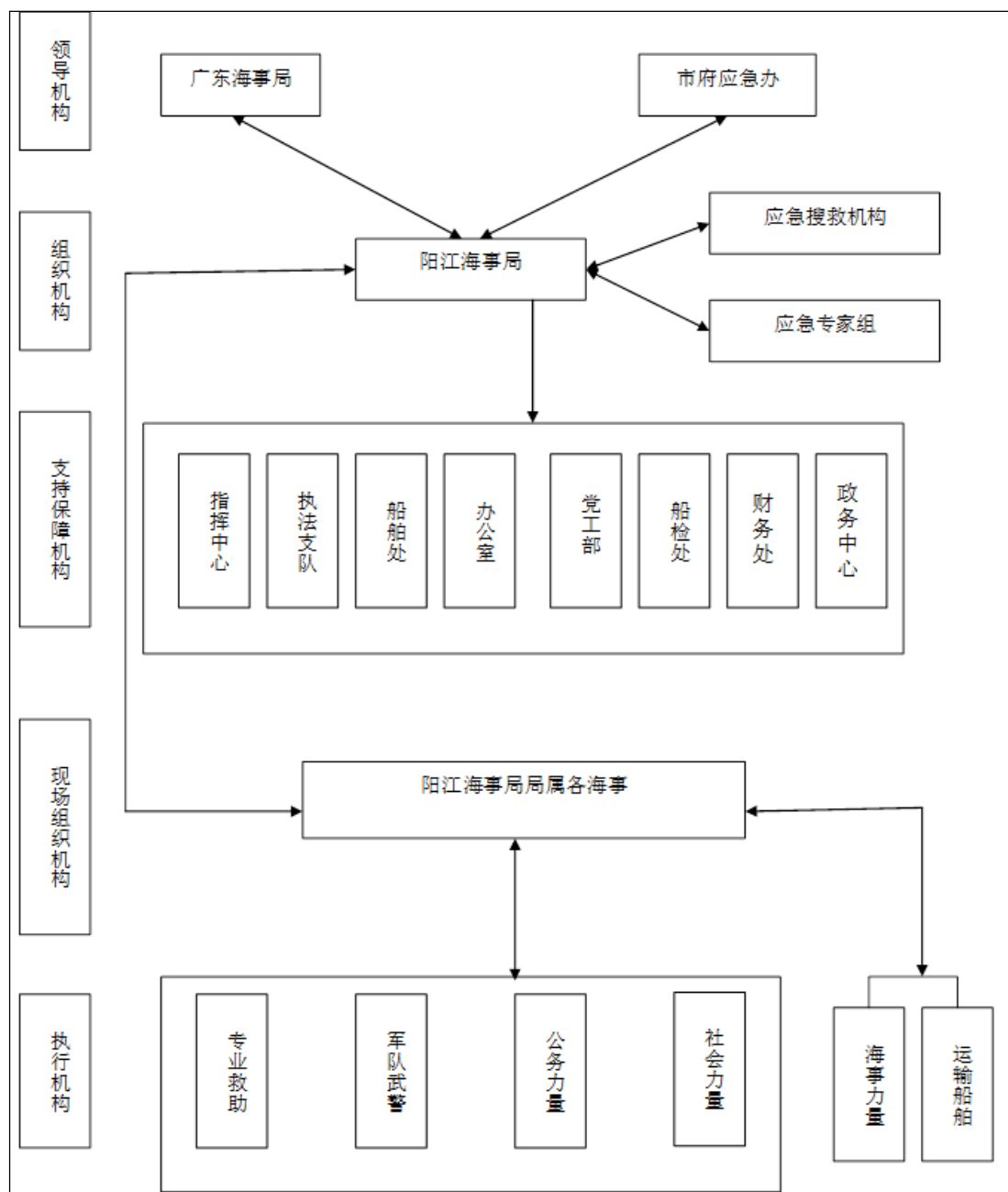


图 8.4-6 阳江海事局应急组织机构及较大级以上信息流程图

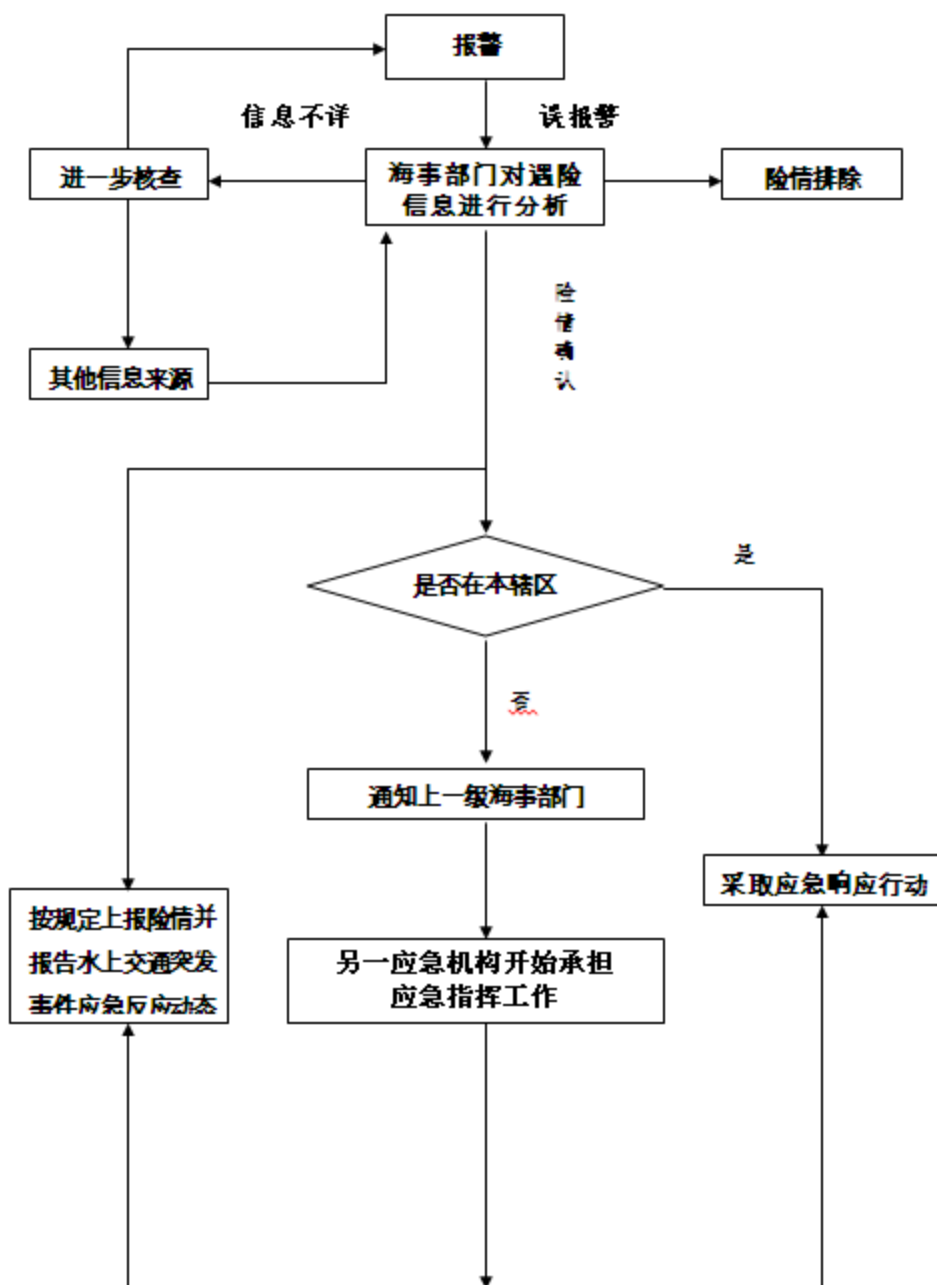


图 8.4-7 阳江海事局险情处理与控制流程图

8.4.4.3 预警和报告

(1) 信息收集与预警

运行监督办公室应通过监视系统及时收集掌握在风电场海域发生的船舶污染事故信息，发现或接报污染事故后立即向应急指挥中心报告，通知应急指挥部的成员到达事故现场。总指挥到达事故现场后，立即成立现场指挥部，总指挥根据现场情况预测可能造成的后果和污染危害程度、紧急程度、发展事态，判断环境污染事件危险性，将预警信息向阳江海事局水上安全指挥中心逐级上报，由水上安全指挥中心确定预警等级。

预警信息包括突发事故的类别、起始时间、可能影响范围、警示事项、应采取的措施和发布机关。预警信息的发布、调整和接触可通过广播、电视、报刊、通信、信息网络、警报器、宣传车或组织人员逐户通知等方式进行，对老幼病残孕等特殊人群以及学校等特殊场所和警报盲区应当采取有针对性的公告方式。

特别重大或者重大突发事故发生后，要立即报告，通报有关地区和部门，应急处置过程中，要及时续报有关情况。

(2) 上报程序

运行监督办公室在中控室监视发现污染事故发生后应立即向应急指挥部报告，由应急指挥部向阳江海事局水上安全指挥分中心报告，最多不超过 5min。报告内容应包括：发现污染事故的时间、地点，船名，污染物品名，污染范围，当时海况等。同时应急指挥部通知项目周边的企业单位进行应急准备，调配其应急设施。

8.4.4.4 应急响应及行动

(1) 启动分级应急响应程序

规定事故的级别及相应的应急分类响应程序。

按照《港口溢油应急设备配备要求》，该“要求”根据码头靠泊能力将油码头分为 5000 吨级及以下、10000 吨级、50000 吨级、100000 吨级及以上四类；按溢油风险将港口溢油量分为 10 吨以下、10 吨到 50 吨。

本工程施工（或维护）船舶溢油后，应立即通知相关操作人员，并采取一切办法切断事故源，并作出判断，启动分级应急响应程序，发出警报，迅速通知建设单位、阳江市海洋主管部门、阳江市渔业主管部门、阳江市人民政府突发公共事件应急委员会及海事部门。现场抢险组等各组在组长指挥下立即按各自的职责实施事故救援，各专业救援队伍迅速赶往事故现场。

同时，立即通知周边的农渔业区的管理部门，做好对溢油漂移的应急防范，避免或减缓对各区造成的不利影响。

(2) 消除泄漏的措施方法

迅速查明事故发生的源点、泄漏部位和原因。初步判断船舶破损情况，组织堵漏和将残油转移。当肇事船舶作业有困难时，可按以下几点协助进行。作业要求如下：

①必要时，由救捞人员进行水下探摸。采取各种可能的方法，尽力封堵破损

口。

②将残油驳至其他燃油舱或可接收油的油轮、油驳及油囊中。过驳时须严格遵守安全和防污染操作规程，注意不断调整各舱油量，保持船体平稳上升。

③为保证两船安全并靠，应在两船船舷之间设置足够的碰垫，并准备移动式球形碰垫。过驳时派专人随时调整和加固缆绳，密切监视输油管及油舱状况。

（3）溢油的围控和机械回收

燃料油溢到水面后，自身重力和风、流以及其他因素的作用下会迅速扩散和漂移。因此，溢油应急反应的首要任务是尽快采取有效措施，控制溢油，阻止其进一步扩散和漂移，以减少水域污染范围，减轻污染损害程度。这种将溢油控制在较小范围并阻止其进一步扩散和漂移所采取的措施称为溢油围控。

在现场围油不可能的情况下，可用围油栏将溢油诱导至利于进行清除作业且对环境敏感区影响较小的水域，再进行清除作业；当溢油受风和流的影响有可能向环境敏感区漂移时，需在敏感区周围布设围油栏，减少污染损害。

（4）喷洒化学消油剂

使用化学消油剂的原则：海面溢油首先使用机械回收，消油剂应严格控制使用，在发生油污染事故时，应优先采取回收措施，对少量确实无法回收的油，经海洋行政主管部门准许后，方可使用少量的化学消油剂。一次性使用化学消油剂的数量，应根据不同海域和敏感区等情况，由海洋行政主管部门做出具体规定。作业者应按规定向海洋行政主管部门报告，经准许后方可使用。

在海面浮油可能发生火灾或者严重危及人命和财产安全，又无法使用回收方法处理，而使用化学消油剂可以减轻污染和避免扩大事故后果的紧急情况下，使用消油剂的数量和报告程序可不受限制，但事后应将事故情况和使用化学消油剂情况详细报告海洋行政主管部门。

（5）海域海岸溢油清除

溢油被限制在一定的水域之后，应及时对其进行回收、处理，根据溢油量的大小，油的扩散方向、气象及海况条件，迅速确定围油方向和面积，缩小围圈，用吸油毡最大限度地回收流失的油，然后加分散剂进行分散乳化处理，破坏油膜，减轻其对海域的污染。水面溢油回收后的应急储存也很关键，除了利用当地储油设施和调动油船外，还应使用水上应急储油装置如浮动油囊，陆岸应急储油装置如轻便储油软罐等，以顺利完成水面溢油回收后的处理。

事故应急处理方法和程序下如图所示：

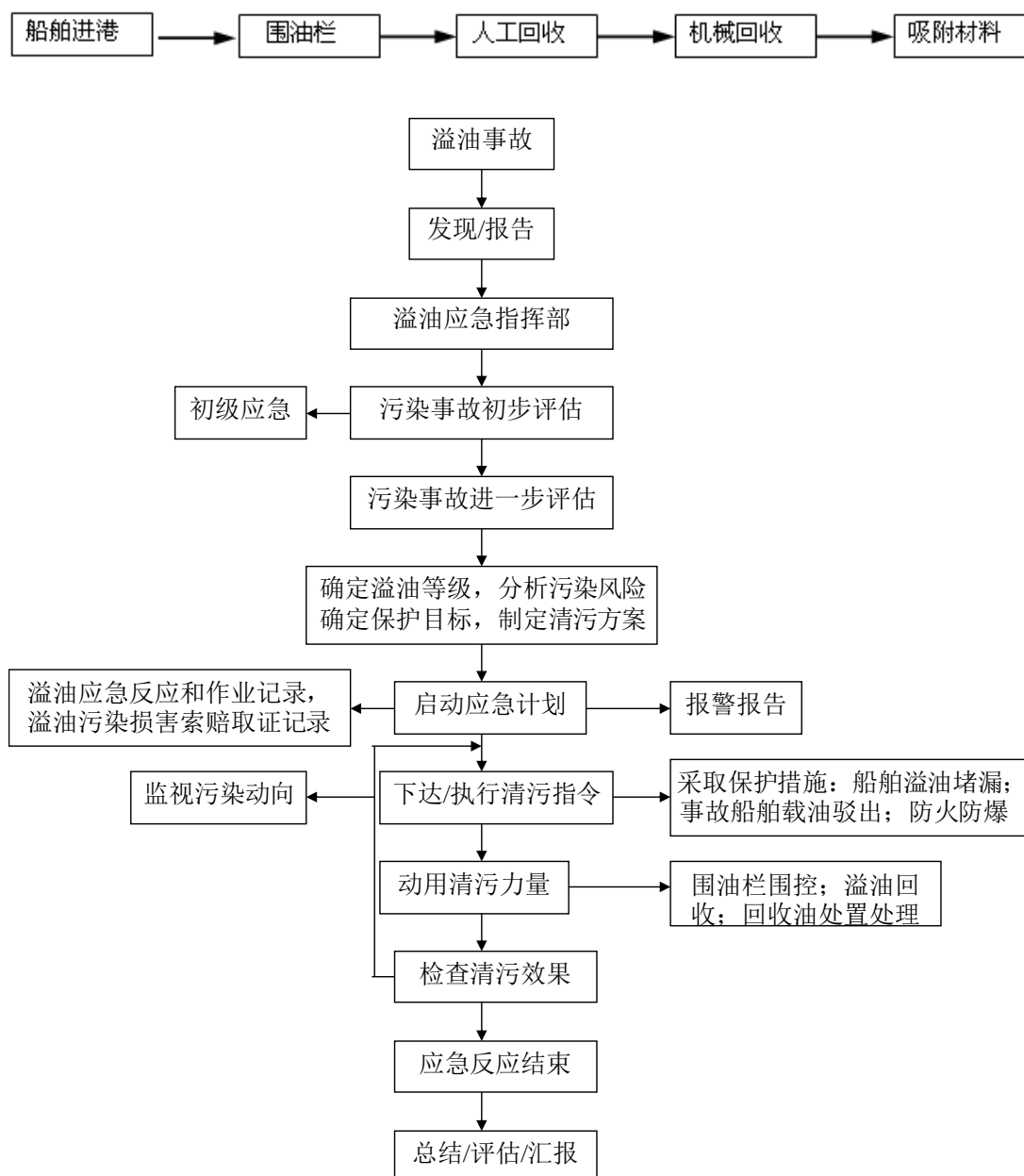


图 8.4-8 本工程溢油应急响应行动图

(5) 应急环境监测及事后评估

由专业队伍负责对事故现场进行侦察监测，对事故性质、参数与后果进行评估，为指挥部门提供决策。

(6) 应急状态终止与恢复措施

规定应急状态终止程序；事故现场善后处理，恢复措施；邻近区域解除事故警戒及善后恢复措施。

(7) 记录和报告

设置应急事故专门记录,建立档案和专门报告制度,设专门部门和负责管理。事后,应按照《阳江海事局水上交通突发事件应急响应预案》编制阳江海事局事故险情报告表、阳江海事局事故险情续报、阳江海事局水上交通突发事件预案响应启动(终止)表等。

8.4.4.5 应急保障

根据需要在应急区附近储备一定数量的污染防治物资、设备和器材,如围油栏、活性炭等。同时,为了避免设备配备中投资的浪费和低水平的重复配置,在确定本工程应急能力建设目标时,按照资源整合的原则,应充分利用现有的和区域可协调的应急设备能力,补充必要的设备和器材。建设单位应与周边地区具有船舶泄漏和救援队伍的单位、地方海洋局和海监等相关部门建立联动机制,成立专业救援队伍,由应急中心统一指挥。对抢险人员作定期培训和演练,以确保关键时刻发挥其作用。应急队伍应由熟悉燃料油特性、和防污染、船舶安全的管理人员组成,负责航道的日常安全和突发事故应急处理等工作。

中华人民共和国阳江市海事局于2003年编制了《阳江港水域溢油应急计划》,阳江市政府于2003年12月30日批准了该计划(阳府【2003】159号),阳江港配备的溢油应急设施、器材、应急力量可以为本工程应急提供需要。

现有兴顺船舶服务有限公司配备的主要溢油应急设备能满足本工程溢油事故应急需求,建设单位应与阳江市兴顺船舶服务有限公司签订海上溢油应急协作。若项目可借用的救助力量不能满足要求,可联系《阳江海事局水上交通突发事件应急响应预案》中阳江辖区水上交通突发事件应急救援力量。

表 8.4-5 阳江市应急设备一览表

名称	类型	数量	调动时间	所有人
油船	200吨回收船	1艘	24小时	闸坡油库
围油栏	PVC900	460米	24小时	闸坡油库
吸毛毡	20	条	24小时	闸坡油库
围油栏	PVC900	560米	24小时	海洋石油公司油气库
消油剂	500kg		24小时	海洋石油公司油气库
油桶		5个	24小时	海洋石油公司油气库
真空吸油机	10m ³ /h	1台	24小时	闸坡油库
围油栏	PVC750	100米	24小时	东平恒星油库码头
围油栏	PVC750	100米	24小时	东平水产码头
围油栏	PVC750	150米	24小时	闸坡炮台山油库
围油栏	PVC750	100米	24小时	中石化广东阳江石油公司 葛州油库

表 8.4-6 阳江港港口企业及溢油设备清单

单位名称	广东粤电集团阳江港港务公司	海洋石油洋阳码头有限公司	阳江良港码头有限公司	
经营泊位	(6号、7号)万吨级泊位和8号五万吨级泊位	(9号)两万吨级油气码头	(10号)五万吨级粮食码头	
溢油 应急 设备 情况	围油栏	1000m	1000m	
	收油机	2台, 总收油能力 6m ³ /小时	2台, 总收油能力 20m ³ /小时	2台, 总收油能力 6m ³ /小时
	油拖网	1套, 总容量 6m ³	2套, 总容量 4m ³	1套, 总容量 6m ³
	吸油材料	0.5吨	1.5吨	0.5吨
	溢油分散剂	0.4吨	2吨	0.4吨
	溢油分散剂喷洒装置	1套, 速度 0.25吨/小时	1套, 速度 0.19吨/小时	1套, 速度 0.4吨/小时
	储存池	1个, 有效容积 60m ³	1个, 有效容积 20m ³	1个, 有效容积 3m ³
	围油栏布放艇	1艘	1艘	1艘
	浮油回收艇	1艘, 舱容 80m ³ , 收油能力 40m ³ /小时	1艘, 舱容 40m ³ , 收油能力 20m ³ /小时	1艘, 舱容 60m ³ , 收油能力 30m ³ /小时

表 8.4-7 兴顺船舶服务有限公司配备的主要溢油应急设备一览表

收油装置			
名称	规格型号	生产厂家	数量(套)
转盘式收油机	ZS50	青岛光明环保技术公司	2
复合式收油机	CFS150	青岛光明环保技术公司	2
围油栏			
名称	规格型号	生产厂家	数量(米)
防火式围油栏	WGT-900	广州市泰洋环保设备制造公司	200
防火式围油栏	WGJ-900H	广州市泰洋环保设备制造公司	200
岸滩式围油栏	WQV600	广州市泰洋环保设备制造公司	1000
PVC 围油栏	WGV-1500	广州市泰洋环保设备制造公司	2000
固体浮子式 PVC 围油栏	WGV-900	广州市泰洋环保设备制造公司	3000
固体浮子式 PVC 围油栏	WGV-600	广州市泰洋环保设备制造公司	3000
喷洒装置			
名称	规格型号	生产厂家	数量(套)
便携式喷洒装置	PSC40	青岛光明环保技术公司	5
船上固定式		龙善公司自主研发	2
清洁装置			
名称	规格型号	生产厂家	数量(套)
冷水高压清洗机	M169	德国马哈	2
冷热水高压清洗机	HDS698C	德国凯驰	3
卸载设备			
名称	规格型号	生产厂家	数量(套)
卸载泵	TDS250	德国 foilex	1
卸载泵	GMBT200	青岛光明	2
卸载泵	GMBT200	青岛光明	
吸油拖栏			
名称	规格型号	生产厂家	数量(m)
吸油拖栏	200 型	广州市泰洋环保设备制造公司	4000
吸油毡	PP	广州市泰洋环保设备制造公司	12(吨)
溢油分散剂	常规型	广州市泰洋环保设备制造公司	20(吨)
化学吸附剂			
名称	规格型号	生产厂家	数量(t)
活性炭	25Kg/包国标	深圳市吉平化工公司	1
硅藻土	25Kg/包国标	深圳市吉平化工公司	1
碱式氯化铝	25Kg/包国标	深圳市吉平化工公司	1

此外，溢油应急作业人员不可避免地要暴露于危险面前，必须配备应急人员防护设施以有效地保护应急人员。

(1) 生产装置

防火灾、爆炸事故应急设施、设备与材料，主要为消防器材；防海上溢油、扩散，主要是围油栏、吸油材料等。

a. 围油栏

围油栏是防止油品或类油性化学品扩散，缩小泄漏扩散面积，配合溢油回收的有效工具，是使用最广泛，需量最大的防污器材。

b. 人工回收

人工回收是在泄漏量较小，海况条件适宜的情况下，组织人员利用舢板、小船、拖轮等，使用网具、撇油器、吸附材料等回收处理的方法。

c. 机械回收

机械回收就是用油回收船、吸油装置、油拖把装置、网袋回收装置等来回收海上的泄漏物。

d. 吸附材料

吸附材料要求吸附性能好，吸附量至少应在自身重量的 10 倍以下，而且不易变质，弹性和韧性好，能够反复使用。目前，应用最多的是以聚丙烯和聚氨脂高分子材料制成的吸油材料。吸附材料在使用时通常是直接向泄漏面上散布，吸附饱和时，用人力或船拖带网袋方式回收。也可把吸附材料装在长形网袋中，形成一条围油栏形状，用拖船拖带。

e. 消散剂

消散剂使用最多的是乳化分散型，消散剂一般是在大部分泄漏物回收后，处理残余油膜时使用。当消散剂喷洒在浮油上面时，经搅拌或波浪作用，将油膜分散成微小颗粒，从而加速其在海水中的扩散，达到清洁海面的目的。

(2) 通讯设施

规定应急状态下的通讯方式、通知方式和交通保障、管制。

综上所述，目前阳江港在内的广东海事局管辖海域已配备了相当的溢油应急设备，但由于本项目的实施将在一定程度上增加海域船舶溢油事故发生的可能，因此需进一步提高海域溢油防范的能力。建设单位可联合阳江海事局等单位、企业共同构建溢油风险方法网络体系，在依托现有设施的基础上，进一步在本工程

施工船舶配备围油栏、吸油毡、消油剂等防污器材，提高溢油风险防范能力。

8.5 自然灾害风险分析

风电场易受的自然灾害风险来自雷击和台风袭击。

8.5.1 雷击风险

8.5.1.1 雷击风险影响分析

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。

8.5.1.2 防雷措施

针对雷电对设备的破坏特性，在叶片上翼面复合材料中加入具有良好导电性能和比重轻的碳纤维，并在叶尖部位装一个接闪器，通过电缆与叶片法兰连接，再由轮毂通过塔架内的接地线接入地网形成雷电通道。当雷电击中叶片时，强大的雷电流通过雷电通道泻入大地，达到避雷效果，而不致使对叶片及其他设备造成损坏。

对于雷电脉冲的危害，每台升压变压器高压侧均装设一组氧化锌避雷器，避雷器能把因雷电感应而窜入电力电缆线、信号传输线的高电压限制在一定范围内，

保证设备不被击穿而达到防雷效果。

本项目风电场风力发电机组和升压变压器部分接地电阻小于 4Ω ，风力发电机塔架基础可作为自然接地体，再敷设必要的人工接地体。对地电阻小，雷电流能够迅速散流到大地，设备不会因地电位“反击”而损坏。

通过风电场的合理布置并采取上述防雷击措施，风机及电气接线设备能有效抵御雷击造成的损害。

8.5.2 台风（热带气旋）风险

8.5.2.1 台风（热带气旋）风险分析

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。

8.5.2.2 台风（热带气旋）破坏预防措施

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，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。

8.6 风暴潮风险分析

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。

为进一步避免海底线缆损坏影响项目运行稳定，应遵守《中华人民共和国海上交通安全法》和《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》的有关规定，敷设海底电缆施工作业，在适当的位置设立昼夜醒目的标志，并保证其完好、有效。在适当的区域如电缆登陆处、过航道段两侧预留一定长度电缆作为冗余，以备电缆发生损坏能及时牵拉使用。电缆敷设完毕后，向主管机关报送管线路由等相关资料，并申请发布航行通(警)告。根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作用。项目建成运行后应开展定期的巡查观测潮滩冲刷变化情况，在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查，如发生局部冲刷及时进行回填保护。

8.7 其它环境风险事故及其影响分析

8.7.1 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气机机舱、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。

8.7.2 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。

8.7.3 对策措施

8.7.3.1 风机倒塌应急措施

(1) 风电场设置有完整的现场监控系统，一旦发生倒塌事故可通过现场监控系统进行及时预警；

(2) 风电场运行维护期制定了严格的运行维护措施，一般在风暴潮、地震等自然灾害发生后，风电场运行维护人员将及时进入现场，并配合专业检测人员检查风机及基础结构损伤情况；

(3) 如果发生风机倒塌事故，将及时上报海事局，对外发布航行预警通告，确保不对周边海上作业构成安全影响；风电场业主将及时组织吊装、施工单位，对倒塌风机及基础结构进行打捞，转运至陆上处理，现场视损伤情况确定是否进行重建工作。

(4) 如果发生少量风机机组润滑油落入海中，立即上报海事局，调配港口的溢油处置设备对落入海洋的油污进行处理。

8.7.3.2 电气设备应急对策措施

应加强风电场值班、运行等相关人员的安全教育，各种操作需按照规章执行。风机维修时产生的润滑油的跑冒滴漏应及时采用棉纱吸净，并对废油和废弃物进行妥善收集和保管，避免因人为因素引起海洋环境污染。

海缆敷设线路未设置标志，并向海洋管理部门申报，有可能造成海缆损坏。

若工程海域有其他海洋工程建设，应与有关部门协调做好海底电缆的保护工作。
根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作用。

9 清洁生产分析

9.1 清洁能源的利用

清洁能源，也称非碳能源，它在生产时不生成 CO₂ 等对全球环境有潜在危害的物质。清洁能源的具体特征主要包括：资源量丰富、环境友好、技术经济可行等。狭义上的清洁能源主要指可再生能源，包括水能、太阳能、风能、地热能、潮汐能等。将自然能源转换成清洁的能源载体，作为燃料和动力，是实现清洁能源的重要途径。

风能是清洁的可再生能源，近年来风能在我国得到了前所未有得利用。风力发电对国家调整能源结构、缓解环境污染等方面均有积极的推动作用。表 9.1-1 对目前常见的几种发电能源的环境影响进行了比较。

表 9.1-1 电力工业环境影响

能源类别 评价内容		风能	水能	地热	生物质	石油	核能	煤炭	备注
土地 占用	原始能源	0	5	2	4	3	5	5	对环境 影响等级 0-极小或无影响 1-很小潜在影响 2-较少潜在影响 3-中等潜在影响 4-较多潜在影响 5-很大潜在影响
	加工运输	0	0	0	3	4	4	4	
	发电厂	3	3	3	3	3	3	4	
	废物处理	0	0	1	3	1	4	5	
水质	设备使用	0	0	1	3	3	3	3	
	泄漏及事故	0	0	3	0	4	1	5	
	现场外影响	0	0	0	1	3	4	4	
气体 排放	二氧化碳	0	0	1	4	4	4	0	
	酸性烟气	0	0	1	3	4	4	0	
	颗粒金属	0	0	1	3	2	4	0	
	放射物	0	0	1	0	1	2	5	
	非甲烷烃类	0	0	0	2	4	4	0	
生物影响		2	5	1	3	2	4	4	
废物发生		0	0	1	3	2	5	4	

从表 9.1-1 可见，比较传统的化石燃料如石油、煤炭等为原料的火电技术及水电和核电技术，风电具有污染物排放量少，生态环境影响小，环境风险低等优点。同时风电技术无需其他能源开采、钻探、加工和运输的经济成本和运行成本，有利于保护环境和推动可持续发展。

9.2 节约能源

本项目总装机 1000MW，年上网电量约 382653.2 万 kWh。根据国家电网公司公布的中国电力工业主要技术指标，与同等发电量的火电相比，本项目运行每

年可节约标准煤消耗约 116.67 万 t/a（《中国电力行业年度发展报告 2021》，中电联，发电煤耗 304.9gce/kWh），折合节约原煤约为 163.31 万 t/a。

9.3 污染物的减排

风电作为一种清洁能源，相比火电工业在运行过程中不会产生包含 SO₂、NO_x 和烟尘在内的有害气体。根据中电联发布的《中国电力行业年度发展报告 2021》，2020 年，全国单位火电发电量二氧化硫排放为 0.160g/kWh；单位火电发电量氮氧化物排放为 0.179g/kWh；单位火电发电量烟尘排放为 0.032g/kWh；单位火电发电量二氧化碳排放约 832g/kWh。按此数据计算，本项目运行期间可相应地减少污染物排放量：二氧化硫（SO₂）612.15t/a；氮氧化物（NO_x）684.84t/a；烟尘 122.43t/a；二氧化碳（CO₂）318.32 万 t/a；耗水量按 1250g/kWh 计，本风电场可节约用水 478.28 万 t/a。

广东省是煤炭资源匮乏的省份之一，煤炭需求主要靠省外调入，并受到运输制约，煤炭供应不足矛盾十分突出。本工程的建设利用了当地风力资源，有效缓解了煤炭资源不足的矛盾。

综上所述，本项目利用风能这一清洁能源进行发电，比较传统的火电技术，本项目具有节约能源，降低污染物排放等明显的优点。符合《中华人民共和国清洁生产促进法》中“使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、从源头削减污染、减少或避免污染物的产生和排放、减轻或消除对人类健康和环境的危害”的清洁生产要求。

9.4 平面布置及施工工艺

首先，从平面布置考虑，充分考虑了避开生态红线区和海洋保护区，风机发电后接入 500kV 海上升压站，与周边海上风电场输电电缆一起通过集中管廊带送出，可减少涉海工程的建设，避免多次建设对海洋环境造成的多次破坏，同时也符合集约节约利用海域资源，减少排他性用海海域面积。

风机基础导管架，沉桩过程中，采用自身和液压锤重量的作用让钢管桩基础下沉一定的量，减小了打桩施工带来的水下和水上噪声对海洋生物的影响。工程施工中采取环境友好的方案，使用较为先进的机械设备，使用的液压打桩锤，在噪声、烟气、燃油泄漏等各方面均优于柴油打桩锤，可提高本项目的清洁生产水平，防范油污染产生。

由于海床为柔软的沉积淤泥层，电缆埋深为 2~3m 之间，采用专业海底电缆敷设船配备牵引式高压射水埋设机进行敷埋施工，施工船依靠水力埋设机的开沟犁挖沟后敷设。电缆敷设之后，在埋深少于 2m 处采用覆盖水泥压块或土工网装碎石的方式保护电缆的同时，可有效减小浅水区的悬浮物影响面积，并对施工组织计划进行优化，最大限度减小施工作业面积，可有效减少悬浮泥沙的产生量和影响范围。

9.5 清洁生产水平分析

综上所述，本项目为风电场建设项目，是清洁能源，项目建设后，可减少火电产生的污染物排放。项目建设从平面布置、施工工艺等多方面均符合清洁生产的要求。总体上，本工程建设符合清洁生产的要求，也适应工程所在海域的自然环境特点。

10 总量控制分析

10.1 总量分析

本工程属海上风力发电项目，运行期主要污染物包括管理人员产生的生活污水、生活垃圾和风机设备维护产生的废油等。主要污染物产生量见表 10.1-1。

表 10.1-1 运行期污染物汇总

编号	运行期污染物	排放量	排放去向
1	生活污水	陆上集控中心工作人员生活污水、生活垃圾	统一收集处理达标后全部回用，不外排
2	生活垃圾		统一收集由环卫部门收运
3	检修废油	少量，约 50kg/a	收集后统一委托处置
4	风机维护废油	少量，约 32.3m ³ /a	运回陆上，委托处置

10.2 结论

由上表可见，工程运行期产生的污染物主要为设备检修产生的废油、废蓄电池等，产生量均较小，且运行期建设、运行单位将委托相关有资质单位统一收集外运处置，不会污染海域。因此项目建设可满足《国家海洋局关于进一步加强海洋工程建设项目和区域建设用海规划环境保护有关工作的通知》中项目零污染、增产不增污的要求。

11 环境保护对策措施

11.1 海域污染防治措施

11.1.1 施工期污染防治对策措施

11.1.1.1 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，在水上作业时遵照交通运输部发布的《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》(交通运输部令 2010 年第 7 号) 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、船舶垃圾、含有毒有害物质污水等。

(2) 严格执行国家《船舶水污染物排放控制标准》(GB 3552-2018) 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，并配备油类记录簿，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，委托有能力的公司接收处置。

(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，统一收集运至岸上处理，并委托有能力有资质的单位接收处置，严禁随意排放至海域和陆域。

(4) 甲板冲洗水可直接排放入海。但甲板上偶尔出现的少量油(通常是润滑油)应使用锯末、棉纱或抹布吸净后冲洗，含油的棉纱和抹布等应收集后运回陆地委托环卫处置，严禁随意丢弃。施工期间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。

11.1.1.2 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。根据地方环卫部门制定

的垃圾收运方案,本项目施工期施工人员生活垃圾统一收集定期运至垃圾站纳入陆域市政公用垃圾处置系统。

(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弃物,应在施工船舶上设置专门的收集装置,打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理,禁止在海上随意弃置从而造成海洋环境的二次污染。

(3) 废弃焊头、废弃包装处置

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,应在每个焊接作业点配备收集桶,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,送往陆上统一处置,严禁在陆域随意丢弃。

(4) 吸泥施工产生的淤泥处置措施

由于本工程所倾倒淤泥均来自工程海域底泥,根据工程设计文件,钢管桩施工产生的淤泥吸出后将储存于驳船上,统一运回陆地,拟交由有能力的单位进行综合利用或填埋处理,不在海区进行排放。

11.1.1.3 其他环境保护措施

(1) 《MARPOL 73/78 附则 VI--防止船舶造成空气污染规则》于 2005 年 7 月 1 日生效,本项目施工船舶大气污染物应按该附则规定实施。

(2) 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。

(3) 加强施工船只管理,避免施工区域船舶拥堵,加剧噪声和废气等污染物产生排放。

11.1.2 运行期污染防治对策措施

11.1.2.1 风机减振降噪措施

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,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。

11.1.2.2 含油废弃物收集措施

对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油。因此,在维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴;废油应储存在专设的废油箱中,含油的连通软管和其他含油废物(抹布、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。

此外,风机维护产生的少量废设备零部件、维修废油、含油锯末、抹布或棉纱等危险废物需交由有资质有能力的单位接收处理,废旧蓄电池由厂商负责回收更换。

11.1.2.3 电磁环境保护措施

为尽量减小变电所的磁场对环境的影响,提出以下防护措施:

(1) 宜在产生电磁场较大的设备外设置电磁场防护罩等以减少电磁场对周围环境的影响。

(2) 做好变电站的维护保养工作,保证带电设备具有良好的接地,减少电力设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电;对电力线路的绝缘子和金属,要求绝缘子表面保持清洁和不积污,金属间保持良好的连接,防止和避免间歇性放电。

11.1.2.4 海缆安全保护措施

为保证本工程海底电缆安全,应对风电场桩基础局部冲刷进行观测,如发现冲刷严重,应采取抛石回填等措施,避免冲刷导致海缆掏空。

11.2 陆域污染防治措施

本工程及陆上集控中心建设共设置 2 个施工临建设施区,其中 1#施工临建

设施区布置在陆上集控中心附近，集控中心项目另行立项，另行编制环评文件，故 1#施工基地不属于本工程范围。2#施工临建设施区布置在阳江港，主要为风电机组设备临时堆场、拼装区与钢结构临时堆场、综合仓库等。

11.2.1 施工期环保措施

11.2.1.1 废水控制措施

(1) 施工废水控制措施

拟在施工区设置施工污废水收集和集中处理系统，处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)中相应用途的回用标准后储存回用，多余废水经处理达到广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)三级标准后纳入阳江高新区临港工业园区污水处理厂。

①处理工艺

根据本工程各施工区施工废水特点，各施工区废水处理均可采用具有基础投资少，运行成本低的常规混凝沉降处理。在各施工工段废水相对集中地附近设预沉池，沉淀去除易沉降的大颗粒泥沙，如有含油生产废水进入，则先经隔油处理，再与经预沉淀的含泥沙生产废水一并进行混凝沉淀处理。混合废水先进入初沉池，经沉淀后废水中的 SS 去除率可达到 85%左右，再投加混凝剂，如有必要需投加助凝剂，混凝沉淀后去除废水中的较细的泥沙颗粒，SS 去除率可达到 90%以上。各沉淀池产生的污泥定期清理外运，施工废水处理工艺流程见图 11.2-1。

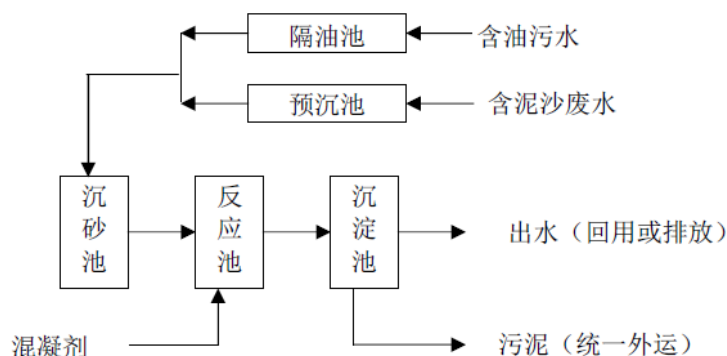


图 11.2-1 施工废水处理流程图

②回用措施

除了在工程施工期间对施工废水进行必要的处理外，还应采取施工废水经处理后就近进行重复利用，可用于道路冲洗、出入工区的车辆轮胎冲洗等。同时，工区内的清洗水也应排入排水明沟，统一处理后排放。

(2) 生活污水

本工程施工人员生活污水纳入阳江高新区临港工业园区污水处理厂；食堂的含油废水必须经隔油池处理后与其他洗涤废水一并排至沉淀池，用于站区绿化浇灌或周围植被等，对周围环境影响不大。

(3) 管理措施

①施工区应建有排水明沟，施工泥浆废水通过专门修建的沉淀池沉淀后达标排放或进行重复利用，可用于道路冲洗、出入工区的车辆轮胎冲洗等。工区内的清洗水、雨水等也应排入排水明沟，统一处理后排放。

②为防止工区临时堆放的散料被雨水冲刷造成流失，散料堆场四周可用砖块砌出高 50cm 的挡墙。

③施工产生的泥浆或其他施工废水，未经沉淀不得排放，务必理顺排放通道，不能直接外排。

④加强对污水处理系统的管理，加强对沉淀污泥和隔油油脂的外运处理，不得随意丢弃。

⑤注意场地清洁，及时维护和修理施工机械，避免施工机械机油的跑冒滴漏，若出现滴漏，应及时采取措施，用专用装置收集并妥善处理。

⑥加强对施工人员的教育，贯彻文明施工的原则，严格按施工操作规范执行，避免和减少污染事故发生。

11.2.1.2 废气、扬尘控制措施

施工扬尘和废气是本项目施工期对陆域环境的主要不利影响因素之一。为减少项目施工期的环境空气影响，应采取以下措施，以符合《广东省珠江三角洲大气污染防治办法》的有关规定。

(1) 在施工工区周围设立简易隔离围屏，将施工工区与外环境隔离，减少施工废气对外环境的不利影响，围屏高度一般为 2.5m~3m，围屏可选用瓦楞或聚丙烯布材料。

(2) 施工单位应加强施工区的规划管理，建筑材料的堆场应定点定位，并采取适当的防尘措施。

(3) 施工场地定期洒水，防止土方表面浮尘产生，在大风日加大洒水量及洒水次数。对运输车辆行驶路面也应经常洒水和清扫，保持车辆出入的路面清洁、湿润，减少行车时产生大量扬尘。

(4) 加强施工管理, 合理安排施工车辆行驶路线, 应尽量避免居民集中区, 控制施工车辆行驶速度, 路经居民区集中区域应尽量减缓行驶车速。加强运输管理, 坚持文明装卸。运输车辆卸完货后应清洗车厢, 工作车辆及运输车辆在离开施工区时冲洗轮胎, 检查装车质量。

(5) 加强对施工机械, 运输车辆的维修保养。禁止不符合国家废气排放标准的机械和车辆进入工区, 禁止以柴油为燃料的施工机械超负荷工作, 减少烟度和颗粒物排放。

(6) 配合有关部门搞好施工期间周围道路的交通组织, 避免因施工而造成交通堵塞, 减少因此而产生的怠速废气排放。

(7) 粉尘、扬尘、燃油产生的污染物对人体健康有害, 对受影响的施工人员应做好劳动保护, 如佩戴防尘口罩、面罩。

(8) 加强对施工人员的环保教育, 提高全体施工人员的环保意识, 坚持文明施工、科学施工, 减少施工期的大气污染。

11.2.1.3 声环境保护措施

施工噪声也是本项目施工期对陆域环境的主要影响因素之一, 为减轻和控制相关不利影响, 施工区应严格执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 对施工阶段的噪声要求。

(1) 避免在同一地点安排大量动力机械设备, 以避免局部声级过高。

(2) 合理安排施工计划, 严格禁止在夜间进行产生噪声污染的建筑施工作业, 夜间 22:00~6:00 需施工应向有关环保部门申报, 获批准后方可进行。

(3) 施工单位应选用噪声低的施工机械, 严格按照《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011) 中的有关规定执行; 选用符合《汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法》(GB1495-2002) 标准的施工车辆, 禁止不符合国家噪声排放标准的机械设备和运输车辆进入工区。

(4) 加强施工设备的维护保养, 发生故障应及时维修, 保持润滑, 紧固各部件, 减少运行震动噪声; 改进施工机械, 整体设备应安放稳固, 并与地面保持良好接触, 有条件的应使用减振机座。加强施工管理、文明施工, 杜绝施工机械在运行过程中因维护不当而产生的其它噪声。

(5) 应合理安排施工车辆进出场地的行驶线路和时间, 对工程车辆加强管理, 禁止鸣号、注意限速行驶, 文明驾驶以减小地区交通噪声。尽量减少 18:00~

次日 6:00 运输量，应制定合理的行驶计划，并加强与附近居民的协商与沟通，避免施工期噪声扰民。

(6) 加强对施工人员的个人防护，对高噪声设备附近工作的施工人员，可采取配备、使用耳塞、耳机、防声头盔等防噪用。

11.2.1.4 固废影响防治措施

(1) 对能利用的施工废弃材料应按照《广东省城市管理条例》由施工单位负责及时清理处置。施工废水处理系统产生的污泥也应及时外运处理。

(2) 对施工场所的固体废物，由施工单位负责及时清理处置，尤其在施工结束撤离时，必须做好现场的清理和固体废弃物的处理处置工作，不得在地面遗留固体废物。

(3) 施工过程中应禁止任意向海洋中抛弃各类固体废物，同时应尽量避免各类固体废物散落进入海中。

(4) 加强施工工区生活垃圾的管理，分片、分类设置垃圾箱，避免生活垃圾混入施工弃土（渣），并定期予以清运，以防生活垃圾经雨水冲刷后，随地表径流带入附近河道。

(5) 施工单位加强对临时居住人员的教育和管理，不随地大小便，不随处随手乱扔垃圾，保证粪便和生活垃圾能集中处置。

11.2.2 运行期环保措施

11.2.2.1 污废水防治措施

运行期风机检修等每年产生的油污水约 50kg，应对设备检修时产生的少量漏油和油污水进行准确记录并收集。根据油污水产生量，配备 1 个 0.1m³ 的油污水收集桶能满足要求，统一收集的油污水应委托具有相应资质的单位进行外运处置。

11.2.2.2 电磁环境保护措施

为尽量减小变电所的磁场对环境的影响，提出以下防护措施：

(1) 宜在产生电磁场较大的设备外设置电磁场防护罩等以减少电磁场对周围环境的影响。

(2) 做好变电站的维护保养工作，保证带电设备具有良好的接地，减少电力设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电；对电力线路的绝缘子和

金属，要求绝缘子表面保持清洁和不积污，金属间保持良好的连接，防止和避免间歇性放电。

11.2.2.3 固体废物处置措施

(1) 运行期工作人员在风机检修时产生的船舶生活垃圾应带回陆域处理。

(2) 对于机组检修时所产生的诸如油渣（HW08）、油垢（HW08）、废油（HW08）等深度水污染物质，以及油库内油品搬运过程中产生的跑冒滴漏，应进行收集，委托具有相应资质的单位统一回收处置、处理。

根据建设单位初步协议，本项目运行期产生的油渣、废油及废旧蓄电池等固体废物及危险废物将交由具有工业固体废物（含废液）、危险化学品及危险废物处理资质的环保产业开发有限公司处理。

(3) 运行期风机维护产生的少量废油（通常是润滑油）应用锯末、抹布或棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱等应收集后运回陆地，也应委托具有相应资质的单位统一回收处置、处理。

11.3 海洋生态保护措施

11.3.1 施工期海洋生态保护措施

(1) 对珍稀海洋生物影响的减缓措施

①项目桩基础打桩尽可能避开海洋生物产卵繁殖高峰期，开工前对桩基340m的危险区域内的海洋哺乳动物、海龟和鲨尽可能地驱赶。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、海龟和鲨活动。

②水上桩基础施工应避免采用撞击式的打桩作业方式，本项目拟采用环保型液压式打桩机，采用液压式打桩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，海上作业期间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) 对海域底栖生物影响的减缓措施

①优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。

②严格限制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) 对渔业资源和渔业生产影响的减缓措施

①春、夏季(5~7月)是鱼类等海洋生物产卵和繁殖的高峰期，在该段时间内不进行高强度、连续的长时间打桩、海缆敷设等，以缓解对海洋生物产卵和繁殖高峰期的影响。

②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。

③在施工海域设置明显的警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

④施工期在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。

⑤施工期将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，为减缓工程实施对渔民的影响，建设单位应与当地渔业主管部门协商，根据实际情况落实对捕捞渔民的补偿。

11.3.2 运行期生态保护措施

11.3.2.1 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运行等因素对海洋渔业资源造成的损失。建设单位应配合当地海洋渔业主管部门，开展相关增殖放流工作。

(1) 增殖放流品种选择原则

本地原种、子一代的苗种或亲体；能大批量人工育苗；品质优良(属优质经济鱼、虾类、贝类)；适应工程附近海域生态环境且生势良好；工程附近海域自然生态状况中曾经拥有的种类，确需放流其他苗种的，应当通过省级以上渔业行政主管部门组织的专家论证；鱼类品种以恋礁性鱼类、适合转产转业和发展游钓休闲渔业品种为主，或在资源结构中明显低于自然生态状况中的比例，资源衰退难以自然恢复；禁止使用外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合生态要求的

水生生物物种进行增殖放流。

(2) 增殖放流备选品种

据了解，当地适宜增殖放流的备选品种包括：鱼类为青石斑鱼、花鲈、紫红笛鲷、红笛鲷、真鲷、黑鲷、平鲷、黄鳍鲷、花尾胡椒鲷、黄姑鱼等；虾类为长毛对虾、斑节对虾、日本对虾、刀额新对虾、周氏新对虾等；贝类为巴非蛤、贻贝、扇贝等。

(3) 增殖放流苗种规格质量

鱼苗体长应在 5cm 以上；虾苗体长应在 2.5cm 以上；贝苗壳长应在 0.5cm 以上。放流苗种应当来自有资质的生产单位，经过检验机构的认可。

(4) 增殖放流计划

在施工期间根据实际情况开展实施海洋生物增殖放流，增殖放流的期限为 5 年，每年 1 次。每年的增殖放流工作安排在南海区伏季休渔期间内的 5 月下旬至 7 月上旬，以避免高强度捕捞压力时间，提高增殖放流效果。

(5) 增殖放流前后的管理

增殖放流前后的现场管理主要由渔政管理部门承担。放流前清理放流区域的作业，并划出一定范围的临时保护区，放流后加强巡逻管理。

11.3.2.2 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，举行仪式，以保护海域生态环境为主题，一方面加强社会环境保护教育，另一方面树立项目建设单位的环保形象。

11.3.2.3 加强珍稀海洋生物生态调查

在施工期间和运行期间，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，评估项目在施工期和运行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。

11.4 鸟类及陆生动植物资源保护措施

11.4.1.1 施工期影响减缓对策

(1) 施工时应对风电场施工机械及人员进行严格管理，禁止捕杀鸟类。

(2) 合理安排施工时间，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过风电场址时应适当降低施工强度，必要时停工等待；同时合理布置施工运输路线，减小

工程施工对鸟类的影响。

(3) 施工过程中, 严格控制光源使用量, 减少使用红色闪光灯和钠蒸汽灯, 对光源进行遮蔽, 减少漏光量, 尤其是在有大雾或强逆风的夜晚, 应该停止施工, 减小施工对鸟类的影响。

11.4.1.2 运行期影响减缓对策

(1) 根据研究, 鸟类通常以视觉判断飞行路线中的障碍物, 为减少鸟类碰撞风机叶片的机会, 根据日本等地的成功经验, 风机的叶片应当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, 以减少鸟类碰撞风机的几率。

(2) 风机上加设红色闪烁灯, 以减少在夜间迁徙的鸟类碰撞风机的几率。由于蓝光能吸引鸟类, 应避免在风机上使用蓝色灯光; 避免或减少在设备设施外层使用蓝色涂装。此外, 为减少反射阳光对雀鸟的影响, 风力发电机的机件应使用非反光涂料。

(3) 针对风电场建设可能导致工程海域栖息地丧失, 本项目通过在其他海域制定鱼类、甲壳类、贝类增殖放流计划, 以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率作为补偿。

(4) 加强运行期风电场对鸟类影响的观测; 特别是在候鸟迁徙高峰的时候, 及时观测鸟类动向。在候鸟大规模迁徙期间, 如遇到大群候鸟停歇风电场内及附近, 可以采取驱赶措施, 必要时应当停机驱赶。如发现鸟类伤亡, 应及时救治受伤鸟只。鸟类观察救助人员应当接受专业的鸟类知识培训, 并将伤亡记录及时向海洋动物保护部门汇报。

(5) 将鸟类和风机的碰撞防范工作纳入区域生态环境保护规划。

表 11.4-1 环境保护对策措施一览表

项目	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入使用时间	责任主体及运行机制
污水处理	生产废水处理	生产废水处理设施	65m ³ /d, 设置隔油池, 预沉池各 1 座, 加药及混凝沉淀设备 1 套	施工基地污水经处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)标准后回用, 多余废水达到广东省《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)三级标准后纳管	施工基地, 与施工基地同步建设	施工单位建设、使用和管理
	施工人员生活污水处理	移动厕所	陆上施工人员 10m ³ /d, 船舶人员生活污水 17m ³ /d	陆域纳管排放, 海域收集后上岸处理, 由环卫部门定期清运		
	风机、升压站维修油污水	油污水收集桶	设置 0.1m ³ 收集桶 1 个, 集中收集统一外运, 50kg/a	外运, 不在海区排放	基地内	建设单位使用和管理, 可委托专业单位
固体废物处置	钢管桩吸泥处置	收集后外运	约 5000m ³	统一收集后交由有能力的单位接收处理	风电场	施工单位落实
	生活垃圾处置	垃圾桶	根据需要施工基地设置生活垃圾筒	统一收集后委托环卫部门清运处理	施工场地内, 与其建设同步	施工单位、建设单位建设、使用和管理
	风机维护垃圾	垃圾桶	风机维护废弃物垃圾箱 1 个, 50kg/a	外送具有相应资质的单位进行处置	集控中心或升压站	建设单位建设、使用和管理
海洋生态保护	渔业资源补偿	采用增殖放流方法补偿	-	按照相关主管部门的要求, 按时完成增殖放流的品种、数量	风电场影响海域, 施工完成后的 2 年内完成	建设单位落实, 可委托专业单位
	海洋哺乳动物保护、海龟、鲨鱼	桩基础 340m 的危险区域驱赶	-	确认施工保护范围有无海洋哺乳动物活动	风电场桩基础施工期间	建设单位、施工单位
		桩基础施工软启动	-	降低桩基础施工突发水下噪声强度		建设单位、施工单位
	鸟类及其生	叶片涂装采用	风机叶片	采用非反光材料, 降低叶片反射	风电场风机, 风机组装时	建设单位、风机生产厂

项目	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入使用时间	责任主体及运行机制
	境	非反光材料		率，减少对鸟类视线影响		商
海底线缆保护	海底线缆保护措施	施工期设置昼夜醒目标志	按照施工作业区需要设置	预防海底线缆突发事故	位于海底线缆区域的施工区	建设单位落实
	本项目海缆保护	加强局部冲刷观测	工程运行后 5 年内	防止海缆冲刷掏空	风电场区内	建设单位落实

12 环境保护的技术经济合理性

12.1 环保投资

本项目环保投资总额为 5542.75 万元，环保投资组成见表 12.1-1。

表 12.1-1 环保投资总表单位：万元

序号	项目和费用名称	投资
一	环境保护措施	3249.86
1	海洋生物资源修复补偿	3249.86
2	渔业生产补偿	计入项目征地费用
二	环境监测措施	739.00
1	施工期	494.00
(1)	施工期卫生防疫监测费	9.00
(2)	生态环境监测、渔业资源调查	245.00
(3)	水质、沉积物	210.00
(4)	施工基地噪声、大气监测	30.00
2	运行期	245.00
(1)	生态环境监测、渔业资源调查	60.00
(2)	海洋水质、沉积物	50.00
(3)	水下噪声及电磁环境监测	50.00
(4)	鸟情及其栖息地观测	25.00
(5)	冲淤观测费	60.00
三	环境保护设备	112.00
1	运营期生活污水收集和处理	32.00
2	溢油风险防范和设施配备	80.00
四	环境保护临时措施	231.22
1	施工生产、生活污水收集和处理	110.00
2	空气影响减免措施	30.00
3	噪声影响减免措施	25.00
4	固体废弃物处理	45.00
5	其他临时工程	21.22
五	独立费用	965.00
1	工程环境管理费	135.00
2	工程环境监理费	115.00
3	科研勘察设计咨询费	65.00
4	环境影响评价、监测及相关费用	650.0
六	基本预备费	245.67
	合计	5542.75

12.2 经济效益

风能资源是国家规定的可再生能源，风力发电是新能源中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一。广东省沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。开发利用广东省近海风能资源，

不仅有利于广东能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，实现经济社会的可持续发展，为广东打造风电产业基地创造良好条件。

本项目为三峡阳江青洲五海上风电场项目，拟安装 25 台单机容量 8MW 的风力发电机组和 80 台单机容量 10MW 的风力发电机组，总装机容量 1000MW。风电场的年上网电量为 382653.2 万 kWh，容量系数 0.436，年等效满负荷小时数为 3827h。工程总投资 184.39 亿元，单位电量投资 4.82 元/kWh。本项目的经济效益主要为风力发电收入，风力发电收入计算方法为：发电收入=上网电量×上网电价。

根据广东省能源局《关于促进我省海上风电有序开发及相关产业可持续发展的指导意见（征求意见稿）》，2024 年起并网的海上风电项目不再补贴，上网电价为当地燃煤电价。按照 0.453 元/kWh 的上网电价计算，预计本项目生产期内年均产生经济效益约 17.3 亿元/a。

可见，本工程各项指标均能满足规范要求，国民经济评价指标可行。

12.3 环境损益

12.3.1 环境收益

目前世界上的太阳能、风能、海洋能等作为可再生能源正处于飞速发展时期，但我国电力能源结构以火电为主，水电、核电、风电、太阳能发电所占比重较少。为此，本报告对比燃煤发电技术评价本项目实施所具有的环境和社会效益。

12.3.1.1 节能效益

本项目总装机 1000MW，年上网电量约 382653.2 万 kWh。2020 年，全国 6000 千瓦及以上火电厂供电标准煤耗 304.9g/kWh（《中国电力行业年度发展报告 2021》，中电联）。按此数据计算，三峡阳江青洲五海上风电场项目建成投运后每年可为国家节约标准煤约 116.67 万吨，项目对减少我国煤炭能源消耗和节能减排具有非常积极的作用。

12.3.1.2 污染物减排效益

风力发电作为一种清洁能源，与相同发电量的火力发电厂相比可减少大量的污染物排放。根据中电联发布的《中国电力行业年度发展报告 2021》，2020 年，全国单位火电发电量二氧化硫排放为 0.160g/kWh；单位火电发电量氮氧化物排

放为 0.179g/kWh；单位火电发电量烟尘排放为 0.032g/kWh；单位火电发电量二氧化碳排放约 832g/kWh。按此数据计算，本项目运行期间可相应地减少污染物排放量：二氧化硫（SO₂）612.25t/a；氮氧化物（NO_x）684.95t/a；烟尘 122.45t/a；二氧化碳（CO₂）318.36 万 t/a；耗水量按 1250g/kWh 计，本风电场可节约用水 478.3 万 t/a。

本项目实施不会消耗冷却水和排放含油废水、锅炉酸洗水、化学处理水等废水；也没有锅炉煤渣和粉煤灰需要处理。可见风电场具有明显的环境效益。

12.3.2 环境损失

本项目实施造成的环境损失主要包括施工造成的底栖生物损失和渔业资源损失、渔业生产海域减少引起的经济损失等。本项目环境损失的经济评价见表 12.3-1。

表 12.3-1 环境损失汇总 单位：万元

时段	环境损失	影响因素	金额（万元）
施工期	底栖生物	风机基础临时压占、海缆敷设破坏	51.29
	潮间带生物	本项目不涉及潮间带	-
	渔业资源	桩基础及电缆沟开挖悬浮物扩散影响	3101.59
	浮游植物		5.77
	浮游动物		90.71
小计			3249.35
运行期	底栖生物	桩基压占	0.51
小计			0.51
总合计			3249.86

12.4 环境经济损益综合分析

根据上述计算，本项目具有明显的环境效益，主要体现在减少污染物和温室气体排放量，节约能源原材料消耗等，同时能够促进风力发电这一清洁能源在我国的发展，具有一定社会效益。本项目在建设和运行过程中会造成生态渔业资源方面的损失，但其主要发生在施工期，且可通过补偿措施进行恢复和弥补。

13 海洋工程的环境可行性

13.1 工程方案环境合理性分析

13.1.1 工程选址环境合理性分析

2016年12月29日，国家能源局与国家海洋局联合颁布的《海上风电开发建设管理办法》，对于海上风电场选址指出“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……除因避让航道等情形以外，应当集中布置，不得随意分块。”

本工程开发容量为1000MW，水深在46.5~52.5m之间，场址距离陆地最近距离约67km，满足“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”的要求；本工程选址是在《广东省海上风电场工程规划》成果基础上的进一步细化。该场址在上层规划中已充分考虑了项目建设对港口航运、渔业生产、国防军事及生态环境等的影响，在规划中得到了地方海洋、海事、部队、农业等部门的认可，因此在选址上总体满足《海上风电开发建设管理办法》的要求。

此外，根据《风电场场址选择技术规定》，海上风电场在场址选择中应满足以下条件：

- (1) 优先考虑风能资源丰富区和较丰富区场址资源；
- (2) 规划场址具备规模开发的场地条件；
- (3) 兼顾岸线和海域利用、城市建设规划和生态保护要求；
- (4) 不影响机场、航道的正常运行；
- (5) 海上风电场宜选择在近海海域，水域条件为水深约5m~15m。

本风电场轮毂高度长年代的年平均风速约为8.42m/s，平均风功率密度约为545W/m²。风电场年利用小时数为3827h，依据风电场开发价值标准(表13.1-1)，从风资源角度评价，工程场址具有极高的开发价值，属优秀风电场。

表 13.1-1 风电场开发价值标准

年利用小时数	开发价值
2000h	经济开发价值
2500h	良好开发价值
3000h	优秀风电场

其次，工程海域水深范围在 46.5~52.5m，场址具备 100 万 kW 风电装机布置和施工要求，具有规模开发条件。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。

13.1.2 机组选型合理性分析

根据工程可行性研究报告，本工程风机机组考虑了对 8~12MW 单机容量的风机机型进行比选。针对本工程海域，10MW 级风电机组发电效益最优，8MW 级风电机组发电效益次之。同时，选择较大单机容量的风机机型，风机台数相对减少，其施工面积略有减小，66kV 海缆长度也会相应缩短，从环保角度考虑，对周边海域的水文动力和冲淤环境影响总体相差不大，对周边海域的悬浮物等影响总体略有减小。此外，为满足本项目 2021 年底前开工的要求，推荐采用一定容量的 8MW 风力发电机组。因此综合考虑发电效益、机型成熟度、技术经济合理性和环境影响等因素，本项目选用 8MW 机型 25 台和 10MW 机型 80 台的组合较为合理。

13.1.3 平面布置合理性分析

本工程对风电机组的微观选址进行了优化，按照南北向布置风机，105 台风机采用 8 排布置的方案，每排相邻风机间距离约 2600m，前后排风机间距离约 684m。105 台机组考虑空气密度折减与尾流损失后年发电量为 4638.221GWh，年上网电量为 3826.532GWh，年等效满负荷小时数为 3827h，平均尾流损失 10.52%。

优化调整后，风电机组用海单元减少，根据海域使用论证报告，与 2018 年核准时相比，申请用海总面积由 618.4028hm² 减小为 600.0484hm²，风电场建设占用海域面积对比原论证方案减少了 18.3544hm²，减少了对海域资源的占用，体现最大化利用海域资源。

此外，从水文动力和冲淤环境影响预测分析结论来看，本工程风电场布置对周边海域水动力和冲淤环境影响较小，影响主要集中在风电场区内部以及周边 2~3km 范围内，风机之间的水动力和冲淤叠加影响不显著，工程平面布置对海域

水动力和冲淤环境影响较小。

综上，本风电场的平面布置从风机外缘面积、风机尾流影响、风机对周边环境限制条件角度出发，对布置方案进行了优化，优化后本工程风电场可达到更好的发电效益，可更充分利用场址风力资源，用海面积减小，对水动力及冲淤环境的影响较小，本工程风平面布置是合理的。

13.2 与《全国海洋主体功能区规划》的符合性分析

《全国海洋主体功能区规划》中提到“海洋工程和资源开发区，是指国家批准建设的跨海桥梁、海底隧道等重大基础设施以及海洋能源、矿产资源勘探开发利用所需海域。海洋工程建设和资源勘探开发应认真做好海域使用论证和环境影响评价，减少对周围海域生态系统的影响，避免发生重大环境污染事件。支持海洋可再生能源开发与建设，因地制宜科学开发海上风能。”

《规划》中还提及“海域政策。根据海洋主体功能区功能定位，完善海域管理政策措施。严格落实海洋功能区划，加强围填海总量控制和计划管理。加强用海项目环境影响评价制度、海域使用论证制度和海域有偿使用制度实施情况监督。制定用海工程和围填海建设标准，明确海拔高度、污染排放、防灾减灾等要求，对用海项目建设实行全过程监管。科学划定海水增养殖区域，控制近海养殖密度。严格控制河口行洪区、重点增养殖区域建设用海。沿海地区或海岛大规模风能建设要充分考虑对相关海域影响。

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，通过严格论证，充分考虑风电项目对相关海域的影响因素，逐一探讨，论证结果为本项目可行。所以本项目符合《全国海洋主体功能区规划》。

13.3 与广东省海洋功能区划符合性分析

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》（2012年），本工程风电场所在海域的海洋功能区划属于湛江-珠海近海农渔业区。工程周边的其他海洋功能区均位于评价范围外。湛江-珠海近海农渔业区与本项目的关系详见图 13.2-1 及表 13.2-1。

（1）与海洋功能区海域使用用途管制要求的符合性分析

湛江-珠海近海农渔业区的海域使用用途管制要求为“相适宜的海域使用类型为渔业用海；保障交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线、

保护区等用海需求”。本工程作为海洋能源开发项目，提升了区域电力能源的供应，主要建设内容为海上风电场和海底输电电缆，需要占用一定的海域，符合农渔业区中保障海洋能、海底管线等的用海需求。因此，项目风电场的建设符合《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》（2012年）中关于湛江-珠海近海农渔业区的用途管制要求。

（2）与海洋功能区环境保护要求的符合性分析

湛江-珠海近海农渔业区的海洋环境保护要求为保护重要渔业品种的三场一通道；执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。本工程施工和运行期间，根据相关要求对项目所在海域海洋环境要进行监视监测，并严格执行相关评价标准。

根据本报告 7.3 节水质环境影响分析，项目施工造成的悬浮物扩散主要集中在工程所在的湛江-珠海近海农渔业区，且仅在工程附近，工程结束后，悬浮泥沙的影响将会消失。运行期各项污染物产生量小且通过有效处理，不会对海水水质产生影响。同时，施工船舶废污水、垃圾等妥善处置，风机基础和海底电缆铺设造成沉积物的冲起和覆盖，并不影响原有沉积物的质量和海洋生物质量。

因此，工程施工和运营不会改变原有功能区的海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量。

工程正常施工及运营过程中，风电场基础、海底电缆铺设将占用一定海域，对海洋底栖生物造成一定的损害，施工产生的悬浮物也会对浮游生物、渔业资源产生一定的影响，但影响为局部的、暂时的，并且通过增殖放流等生态补偿措施可以使海洋生物资源得到有效的恢复和保护。工程位于外海，不会对河口生态环境和红树林生态造成影响。

可见，只要严格落实各项环境保护措施，预防环境风险事故，项目实施后不会导致该海域的环境劣化。因此，项目风电场的建设是与湛江-珠海近海农渔业区的环境保护要求相符合。项目建成后将促进绿色能源产业的发展，利于环境保护，并带动周边地区的经济发展。

（3）与海洋功能区用海方式控制要求的符合性分析

湛江-珠海近海农渔业区的用海方式控制要求为禁止炸岛等破坏活动，维持渔业秩序。本工程作为海上风电项目，风电风机、海底电缆等用海均不改变海域属性，项目用海经过严格论证，不涉及炸岛及围填海。风电场离岸距离较远，位

于外海，不属于河口区，不影响防洪纳潮功能。项目建设期间会增加施工船舶，对海上交通产生短期的、一定的影响，但经过及时的协调，不会对海上交通产生重要影响，不会影响航道畅通。项目建设对海域的水动力环境和泥沙冲淤环境影响较小。因此，项目风电场的建设符合海域使用管理用海方式控制要求，没有对海域的基本功能造成不可逆转的转变。

综上，本工程用海符合海域使用管理要求和海洋环境保护要求，对周边海洋功能区影响不大，本工程建设与《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》（2012年）相符合。

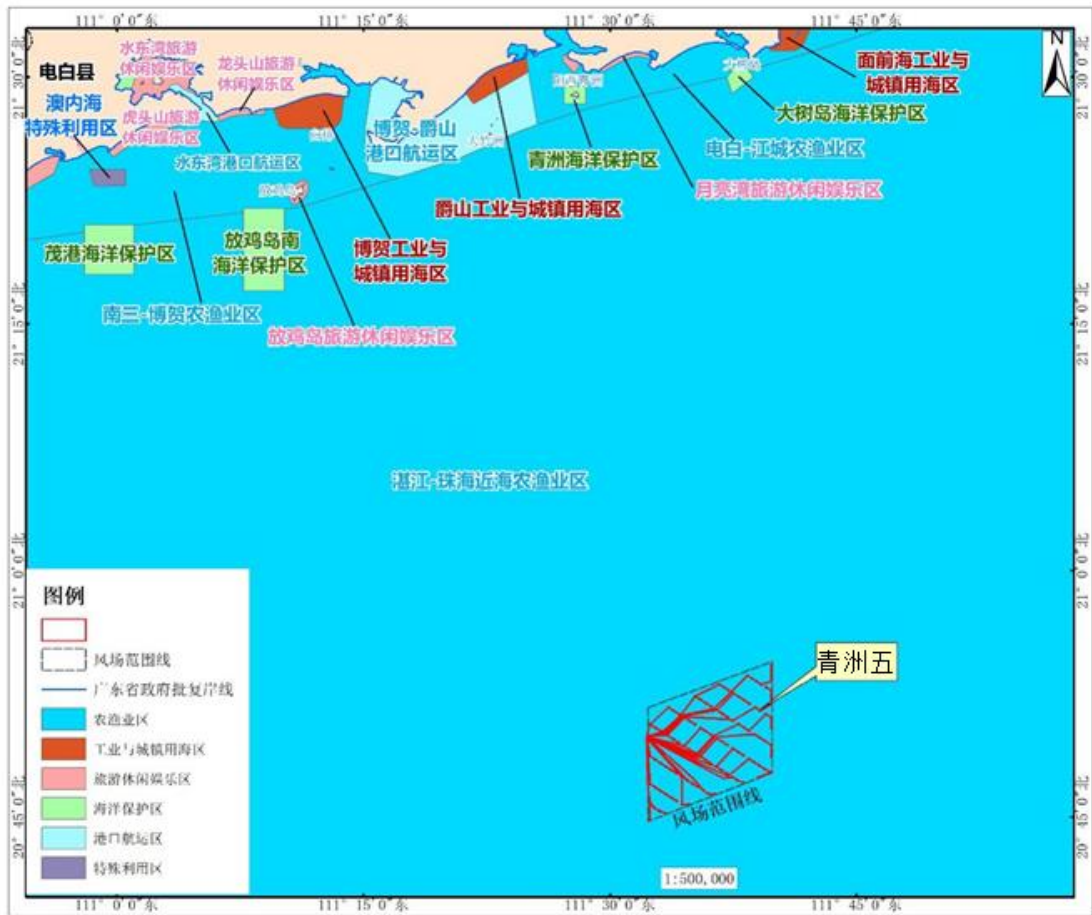


图 13.3-1 广东省海洋功能区划图（阳江市）

表 13.3-1 广东省海洋功能区划登记表（阳江市）

序号	代码	功能区名	地区	地理位置	功能区	面积 (公顷)	管理要求	
							海域使用管理	海洋环境保护
160	B1-1	湛江-珠海近海农渔业区	湛江市、茂名市、阳江市、江门市、珠海市	东至:113°30'50" 西至:109°24'40" 南至:20°07'01" 北至:22°03'37"	农渔业区	30538 96	1、相适宜的海域使用类型为渔业用海； 2、禁止炸岛等破坏性活动； 3、40 米等深线向岸一侧实行凭证捕捞制度，维持渔业生产秩序； 4、经过严格论证，保障交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线、保护区等用海需求； 5、优先保障军事用海需求。	1、保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道； 2、执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

13.4 与广东省海洋生态红线相符性分析

根据目前批准公布实施的《广东省海洋生态红线》中阳江市阳西海域生态红线区控制图（图 13.4-1），阳江市海岛自然岸线保有情况见图 13.4-2。

本工程组成范围不包括海缆集中送出工程及陆上集控中心，工程范围仅涉及风电场区。本工程评价范围内不涉及海洋生态红线，距离最近的生态红线区为茂名近海重要渔业海域限制类红线区，距离约为 20km。其管控措施和环境保护要求见表 13.4-1。

茂名近海重要渔业海域限制类红线区管控措施主要为：禁止围填海、截断洄游通道、水下爆破施工及其他可能会影响渔业资源育幼、索饵、产卵的开发活动，禁止破坏性捕捞方式，严格执行禁渔期、禁渔区制度以及渔具渔法规定，禁止排放有毒、有害物质。本工程不直接占用红线区范围，距离生态红线最近距离约为 20km。工程建设不涉及围填海、截断洄游通道、水下爆破等开发活动，也不涉及排放有毒、有害物质，且项目完成后会开展增殖放流活动，保护海洋生物多样性，因此工程建设符合其管控要求。

该红线区的环境保护要求主要为：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，改善海洋环境质量。执行不低于第一类海水水质标准、第一类海洋沉积物标准和第一类海洋生物质量标准。本工程距离红线区较远，施工悬浮物对其基本没有影响，运行期不向海域排放污染物，因此工程建设基本不会对工程海域的水质、沉积物和海洋生态环境造成明显不利影响，且风电工程本身为清洁能源工程，在采取一定的防护措施前提下，不会对海洋环境产生污染。因此本工程建设符合该红线区的环境保护要求。

综上所述，本工程建设符合《广东省海洋生态红线》的管控要求和环境保护要求。

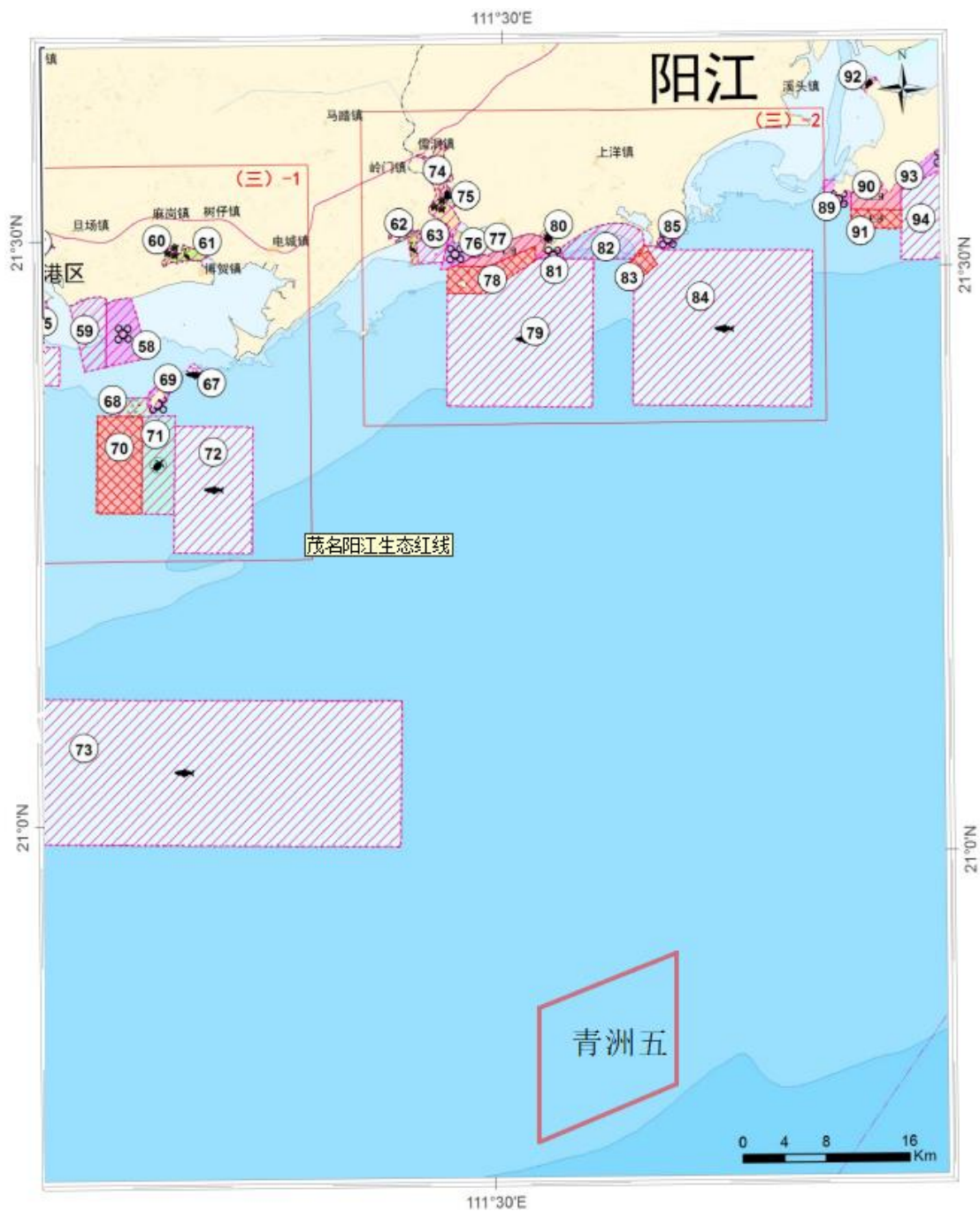


图 13.4-1 广东省海洋生态红线区控制图



图 13.4-2 阳江市海岛自然岸线保有示意图

表 13.4-1 项目登陆点所在的广东省大陆自然岸线保有登记表

序号	行政区	主体岸线代码	主体岸线类型	名称	地理位置（起止坐标）	岸线长度（m）	生态保护目标	管控措施	备注
47	阳江	44-o027	砂质岸线	河北港	位于河北港,起点坐标: 111°39'58.133"E, 21°31'52.122"N; 终点坐标: 111°38'01.961"E, 21°31'45.095"N。	6147	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性, 向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动,保持自然岸线形态, 保护岸线原有生态功能, 加强对受损自然岸线的整治与修复。	含砂质岸线 3772 米, 基岩岸线 2375 米。

表 13.4-2 广东省海洋生态红线登记表

序号	所在行政区域		管控类别	类型	名称	地理位置（四至）	覆盖区域		生态保护目标	管控措施
	市级	县级					面积（hm ² ）	海岸线长度（km）		
84	茂名	阳西	限制类	重要渔业海域	茂名近海重要渔业海域限制类红线区	111°0'27.85" - 111°24'39.95" 20°59'56.21" -21°7'29.95"	576.18	0	渔业资源	管控措施：禁止围填海、截断洄游通道、水下爆破施工及其他可能会影响渔业资源育幼、索饵、产卵的开发活动，禁止破坏性捕捞方式，严格执行禁渔期、禁渔区制度以及渔具渔法规定，禁止排放有毒、有害物质。 环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，改善海洋环境质量。执行不低于第一类海水水质标准、第一类海洋沉积物标准和第一类海洋生物质量标准。

13.5 与“三线一单”符合性分析

13.5.1 与广东省“三线一单”生态环境分区管控方案符合性分析

为全面贯彻《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》，落实生态保护红线，环境质量底线、资源利用上线，广东省人民政府于 2020 年发布了《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府[2020]71 号），确定了生态环境准入清单（以下简称“省三线一单”）。

（1）与生态保护红线及一般生产空间符合性分析

根据“省三线一单”的要求，环境管控单元分为优先保护、重点管控和一般管控单元三类。全省共划定海域环境管控单元 471 个，其中优先保护单元 279 个，为海洋生态保护红线；重点管控单元 125 个，主要为用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域和现状劣四类海水海域；一般管控单元 67 个，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

本工程位于“省三线一单”中的一般管控单元，位置见图 13.5-1。按照“省三线一单”要求，全省生态保护红线暂采用 2020 年 9 月广东省人民政府报送自然资源部、生态环境部的版本；一般生态空间后续与发布的生态保护红线进行衔接参照 2017 年广东省人民政府批复的《广东省海洋生态红线》。根据《广东省海洋生态红线》，本项目所在区域未被划定为省海洋生态红线区，也不占用大陆海岸线自然岸线和海岛自然岸线。

本项目为海上风电场的开发和利用。项目建成后能够充分地开发利用广东省近海风能资源，不仅有利于广东能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展，为广东打造风电产业基地创造良好条件。

风机桩基施工、电缆沟开挖对底栖生物会产生直接破坏，同时根据水质影响预测结果分析，施工引起悬浮物含量增高，对海洋浮游动植物、渔业资源造成一定的损失。渔业资源生物量损失随着施工结束，慢慢可以得到恢复，因此施工对渔业资源的影响是暂时的、可逆的。

施工期间，由于人类活动、交通运输工具与施工机械作业产生的噪声、灯光等会对鸟类产生一定的影响，但施工期的影响是暂时、可逆的。工程运行期对过

境鸟类可能产生的直接影响主要是光影响、风机(风叶)与鸟类发生撞击风险等,但鸟类有趋利避害的自然本能,且工程区域不是鸟类主要的活动和觅食区域,因此影响相对有限。

工程涉及的环境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。

综上所述,本工程建设对区域生态系统有一定影响,工程不占用自然岸线,有利于调整省内能源结构,实现经济社会的可持续发展。根据环境影响预测分析,工程建设对周边海域的水动力环境、地形地貌与冲淤环境和生态环境影响较小,不会对所在海域产生严重影响,不存在潜在的、重大的安全和环境风险,能确保生态功能不降低。

因此,本项目符合生态保护红线及一般生态空间的要求。

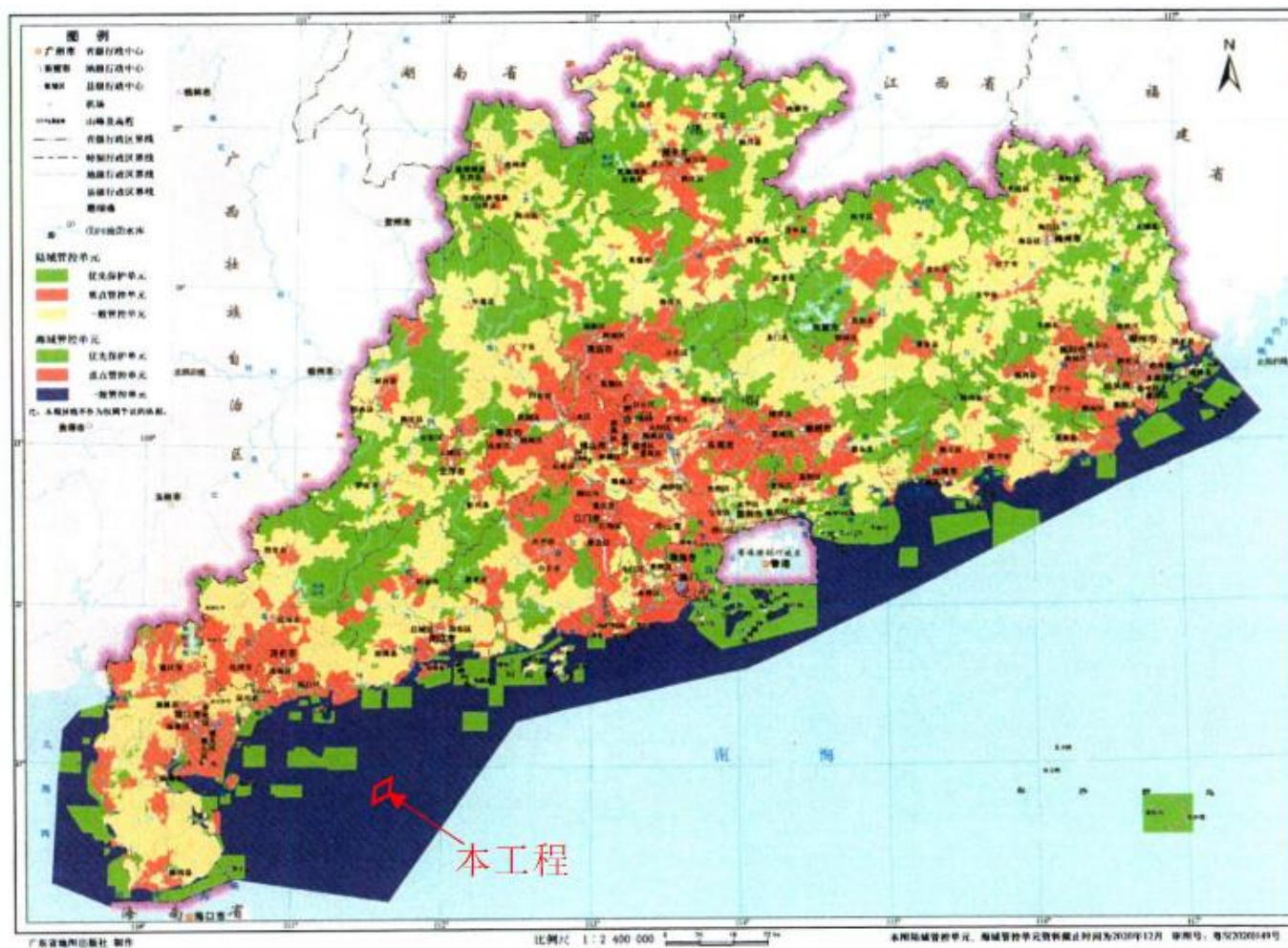


图 13.5-1 广东省环境管控单元图

(2) 与环境质量底线符合性分析

本项目船舶污水上岸处理，陆上施工基地生产废水经处理后回用，多余废水与陆域施工人员生活污水纳管，废气、噪声通过各项治理设施治理后均能达标排放，固废有合理可行的处置措施。因此，只要建设方切实做好各项环保措施，项目产生的“三废”经处理后均能达标排放，不会对区域环境质量底线造成冲击。

(3) 资源利用上线

本项目规划装机容量为 1000MW，拟布置 105 台 8MW 和 10MW 两种组合风电机组，风电机组发出的电能通过 19 回 66kV 集电海底电缆接入海上换流站。

该风机布置方案是根据工程区域的特点，合理确定了各行和行内各风机的间距，并把尾流影响控制在合理的范围内，是满足总装机容量前提下发电效能最优方案，此外，本项目风机基础的选择根据工程地质特征选择四桩导管架基础形式。风机用海面积根据导管架基础尺寸，能满足项目用海需求。海底电缆设计综合考虑风电场的功能、布设及周边环境、海洋功能区等因素，电缆设计合理。

本工程位于海域，不涉及占用基本农田和耕地，土地资源消耗符合要求。工程场址位于湛江—珠海近海农渔业区，符合其管控要求和环保要求。工程不占用海岛自然岸线和大陆自然保有岸线，不会对自然岸线的保护产生影响。

综上所述，项目建设不会突破当地的资源利用上线。

(4) 环境准入负面清单

本项目为电力工业用海项目，根据《市场准入负面清单》（2020 版），项目不属于禁止准入类，与《市场准入负面清单》要求相符。

13.5.2 与阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案符合性分析

2021 年 6 月 28 日，阳江市政府印发《阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案》。方案提出，到 2025 年，建立较为完善的“三线一单”生态环境分区管控体系，全市生态安全屏障更加牢固，生态环境质量持续改善，产业结构不断调整优化，能源资源利用效率稳步提高，绿色低碳发展水平明显提升，生态环境治理能力显著增强。其中：

——生态保护红线及一般生态空间。全市陆域生态保护红线面积 1562.13 平方公里，占全市陆域国土面积的 19.63%；一般生态空间面积 929.65 平方公里，占全市陆域国土面积的 11.68%。全市海洋生态保护红线面积 1521.35 平方公里，

占全市管辖海域面积的 14.76%。

——环境质量底线。全市水环境质量持续改善，城市集中式饮用水水源地水质均达到或优于Ⅲ类水体比例达到 100%；国考、省考断面优良水质比例稳步提升，全面消除劣 V 类水体。大气环境质量持续中向好，空气质量优良天数比例（AQI 达标率）和细颗粒物（PM_{2.5}）年均浓度（实况）达到省下达控制目标，臭氧（O₃）污染得到有效遏制。土壤环境风险得到管控，近岸海域水环境质量稳步提升，

——资源利用上线。强化节约集约利用，持续提升资源能源利用效率，水资源、土地资源、岸线资源、能源消耗等达到省下达控制目标。

根据方案要求，全市共划定海域环境管控单元 57 个。其中，优先保护单元 40 个，为海洋生态保护红线；重点管控单元 3 个，主要用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域和现状劣四类海水海域划定而成，一般管控单元 11 个，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

本工程位于海域环境管控单元中的一般管控单元，具体位置见图 13.5-2。本工程建设期对区域生态系统有一定影响，但不涉及大规模、高强度的工业和城镇建设，不占用自然岸线。经分析，工程建设不存在潜在的、重大的安全和环境风险，能确保生态功能不降低。本工程废水、废气、噪声通过各项治理设施治理后均能达标排放，固废有合理可行的处置措施。

本工程全部位于海域，不涉及占用基本农田和耕地，土地资源消耗符合要求，且不占用海岛自然岸线和大陆自然保有岸线，不会对自然岸线的保护产生影响。

综上，本工程符合《阳江市“三线一单”生态环境分区管控方案》要求。

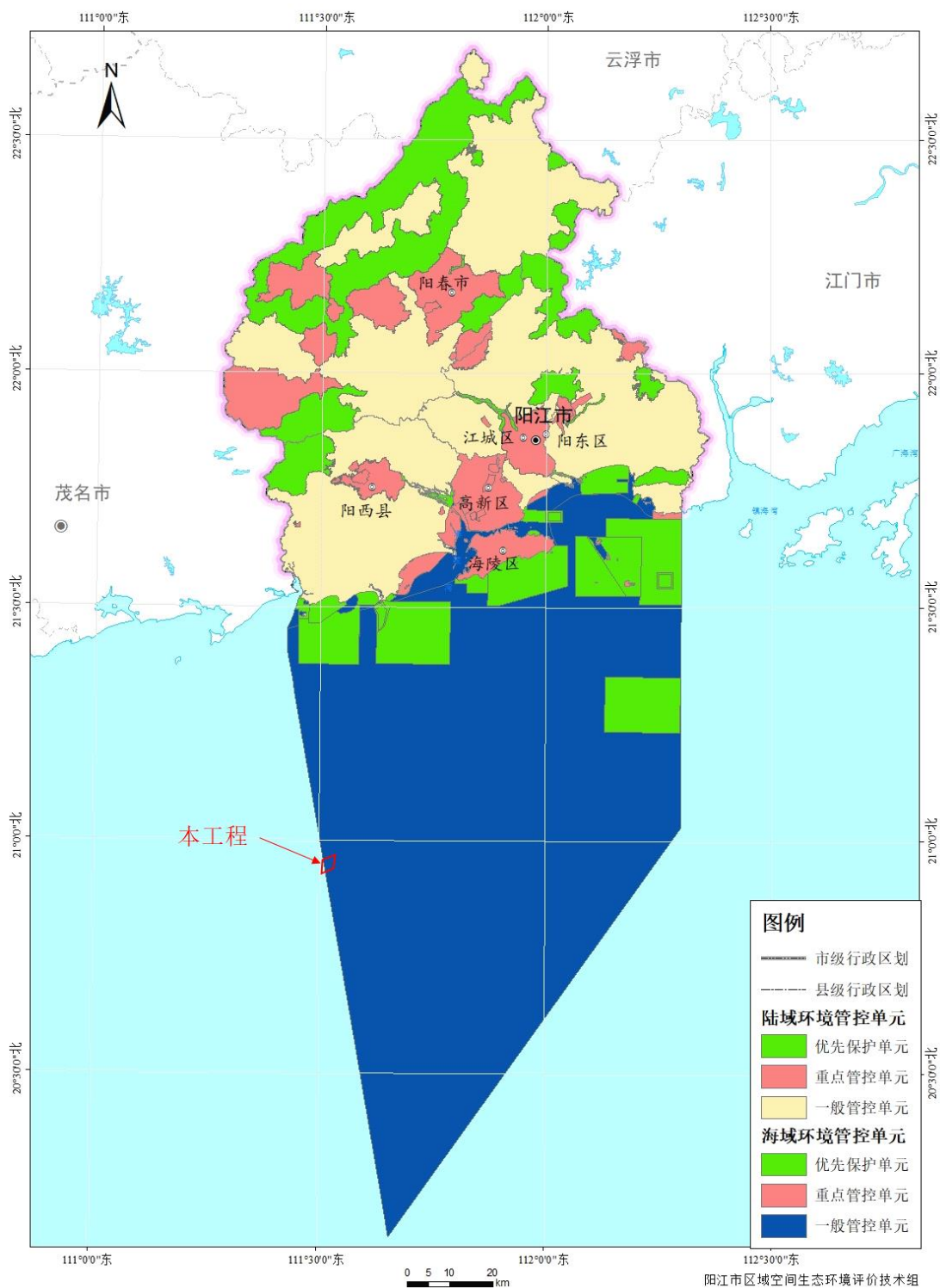


图 13.5-2 阳江市环境管控单元图

13.6 相关政策、法规、规划、区划符合性分析

13.6.1 与国家产业政策相符性

根据《产业结构调整指导目录》（2019年修正版），本项目属于“五 新能源

12、海上风电场建设与设备及海底电缆制造”，为鼓励类，不属于《市场准入负面清单》（2020年本）中的禁止类，符合国家产业政策要求。

根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》中，统筹水电开发与生态保护，坚持生态优先，以重要流域龙头水电站建设为重点，科学开发西南水电资源。继续推进风电、光伏发电发展，积极支持光热发电。以沿海核电带为重点，安全建设自主核电示范工程和项目。此外，新能源在国家的《战略性新兴产业发展规划》中也是一个重要的方面，而新能源产业包括太阳能、地热能、风能、海洋能、生物质能等的发现和应用。

本工程为海上风电场，属于新能源项目，是新兴产业的一个战略方向。发展海上风电场是实现节能减排，推进节能环保的一条行之有效的路径。由此可见，本工程符合国家产业政策的要求。

13.6.2 与国家能源发展规划相符性分析

2005年2月28日第十届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议上通过了《中华人民共和国可再生能源法》，并在中华人民共和国第十一届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议进行修订，自2010年4月1日起施行。该法明确了将包括风能在内的可再生能源开发利用列为能源发展的优先领域，通过制定可再生能源开发利用总量目标和采取相应措施，推动可再生能源市场的建立和发展。

为贯彻可再生能源法，建设部在《可再生能源中长期发展规划》中给出了加快推进风力发电、生物质发电、太阳能发电的产业化发展，逐步提高优质清洁可再生能源在能源结构中的比例的发展目标，争取2020年达到能源总量的15%左右。

国家发展改革委、国家能源局在2016年印发的《能源发展“十三五”规划》中，坚持统筹规划、集散并举、陆海齐进、有效利用。调整优化风电开发布局，逐步由“三北”地区为主转向中东部地区为主，大力发展分散式风电，稳步建设风电基地，积极开发海上风电。

本工程属于新兴能源产业中的风能产业，工程建设可在一定程度上提高广东省非化石能源结构比重，对《可再生能源中长期发展规划》及《能源发展“十三五”规划》中相关规划目标的实现均具有积极的推动作用，因此项目实施符合我

国能源发展规划的要求。

13.6.3 与全国海洋经济发展“十三五”规划相符性分析

为贯彻落实海洋强国战略、促进海洋经济发展，根据《国民经济和社会发展的第十三个五年规划纲要》，2017年5月4日，国家发展改革委、国家海洋局会同有关方面编制了《全国海洋经济发展“十三五”规划》。

该规划指出因地制宜、合理布局海上风电产业，鼓励在深远海建设离岸式海上风电场，调整风电并网政策，健全海上风电产业技术标准体系和用海标准。本工程海上风电场场址风资源条件较好，本工程开发容量为1000MW，水深在46.5~52.5m之间，距离陆地最近距离约67km，符合《全国海洋经济发展“十三五”规划》提出的因地制宜发展海上风电，在深远海建设离岸式海上风电场。

13.6.4 与国家级海洋牧场示范区建设规划相符性分析

根据国家级海洋牧场示范区建设规划（2017-2025年），规划共在南海区建设45个国家级海洋牧场示范区（包括2015-2016年已建情况），形成示范海域面积1000多平方千米。其中阳江市涉及山外东、青洲岛、红鱼排、海陵岛海域等。主要建设内容包括：人工鱼礁的设计、建造和投放，配套的船艇、管护平台、监测和管理系统等设施设备；海藻场和海草床的移植修复等。

本工程风电场场址及海缆不涉及上述海洋牧场范围，工程建设不会对海洋牧场的建设造成影响，本项目建设在一定程度上形成人工鱼礁，因此，符合国家级海洋牧场示范区建设规划（2017-2025年）的要求。

13.6.5 与可再生能源中长期发展规划的符合性分析

国家发改委2007年8月发布了《可再生能源中长期发展规划》，规划中提出以规模化建设带动可再生能源技术发展的目标，在2010年~2020年期间，建立起完备的可再生能源产业体系。截至2015年底，中国累计风电装机总量已达到16873万kW，首次超过美国，位居世界首位。

近年来广东省风电事业迅速发展，但多数均为沿海陆地风电，主要分布在粤东、粤西和珠三角沿海地区，广东省整体风能资源分布情况是粤东地区优于珠三角地区、珠三角地区优于粤西地区，沿海地区优于内陆地区。受土地资源的限制，陆上风电装机规模难以进一步大幅增加。随着国家能源政策的调整，“十

三五”期间我国能源发展的重点是可再生能源，而广东省可再生能源中，海上风能资源是最具规模开发潜力的，将成为广东风电装机主要的增长点。

广东省在“十三五”期间海上风电加速开发任务紧迫。本工程是广东省目前前期工作进度较快的海上风电场，具备提前开工建设的条件，具有诸多开发建设和有利条件和资源优势。在广东省因地制宜地开发建设一定规模的清洁可再生能源，是对广东省能源消耗的有益补充，符合我国能源可持续发展战略的要求。

因此，本工程建设符合《可再生能源中长期发展规划》的要求。

13.6.6 与广东省海洋主体功能区规划的符合性分析

广东省人民政府 2017 年 12 月 8 日以粤府函〔2017〕359 号批复《广东省海洋主体功能区规划》，本工程位于限制开发区域，“积极有序推进海上风电产业。在风能资源和地质条件较好地去，坚持‘三个 10’原则，强化与海洋生态红线协调，统筹考虑海洋开发强度和海洋资源环境承载能力，科学布局海上风电场址，推进海上风电规模化、集约化开发，实现海洋开发和海洋保护双赢。有序推进珠江三角海域的惠州港口，粤东海域的洋东、勒门（一）、海门（二、三）、靖海、神泉、后湖、甲子，粤西的南鹏岛、沙扒、外罗、新寮、徐闻等近海浅水区海上风电建设，到 2020 年规划建设装机容量 840 万千瓦，优先保障 1344 平方公里海域使用需求。远期逐步开发粤东、粤西 35-50 米水深的近海深水区海上风电场，科学合理安排远期海上风电发展用海需求。以海上风电规模化开发带动风电装备及服务业发展，推动风电全产业链发展，推动粤东海上风电运维、科研及整机组装基地建设。”

本工程为粤西的近海深水区海上风电场项目，属于上述有序推进的项目，符合《广东省海洋主体功能区规划》。

13.6.7 与《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020 年）》的符合性分析

根据《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020 年）》，广东海洋生态环境保护以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的十八大、十九大精神，围绕统筹推进“五位一体”总体布局和协调推进“四个全面”战略布局，贯彻国家生态安全观，牢固树立和贯彻落实创新、协调、绿色、开放、共享发展理念，以十九大提出的“加大生态系统保护力度，实施重要生态系统保护和修复

重大工程，优化生态安全屏障体系，构建生态廊道和生物多样性保护网络，提升生态系统质量和稳定性”为总要求，以“四个坚持、三个支撑、两个走在前列”为统领，以省第十二次党代会提出的“建设海洋经济强省，打造沿海经济带，拓展蓝色经济空间”为总体目标，以海洋生态环境保护和资源节约利用为主线，以改善和提高海洋生态环境质量为核心，以综合治理和管控能力建设为重点，坚持海陆统筹，实施以海定陆污染防治，加强海洋生态保护和修复，严密防控生态环境风险，创新和完善环境保护管理机制，提升环境保护基础保障能力。

本项目作为海上风电建设项目，是我国“十三五”规划中重点发展的新能源领域项目，该项目将会大大推进广东省风电技术的革新和进步，也是符合广东省能源结构调整时期发展要求的。海上风电本身为清洁能源项目，同时本报告对建设过程中及营运过程对海洋生态环境如海域水质、海洋生物、渔业生产等可能产生的影响进行深入分析，进而提出改善海洋生态环境的可行性方案、用海可行性方案。

由此可见，本项目与《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020年）》相符合。

13.6.8 与广东省海岸带综合保护与利用规划的符合性分析

2017年10月27日广东省人民政府和国家海洋局联合发布《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》（粤府〔2017〕120号），规划要求统筹海域与陆域产业发展，整体推进海洋经济发展，积极布局新能源、深海矿产等海洋潜力产业。其中，新能源产业主要分布在生产空间，岸线类型主要为优化利用岸线和限制开发岸线。海上风电场址原则上应在离岸距离不少于10千米、滩涂宽度超过10千米时海域水深不得少于10米的海域布局，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平方千米左右，主要分布在粤东的汕头洋东、勒门、海门，揭阳神泉、靖海，汕尾甲子、后湖，珠三角的惠州港口，珠海桂山、金湾，粤西的阳江沙扒、南鹏岛、湛江新寮、外罗、徐闻等临近海域，积极探索深远海风电开发。

在规划中，有关推动海陵湾区产业发展的内容中提到，“推动阳西产业转移工业园区、阳江临港工业区、阳江风电设备制造基地等产业园区发展，在沙扒、南鹏岛海域布局海上风电”。

本工程为风电项目，布局于粤西近海深水海域，位于沙扒海上风电场区域的南侧，符合规划对该区域的产业定位，同时项目的选址也符合海上风电场选址原则。因此项目与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》相符。

13.6.9 与《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》的符合性分析

2016年9月广东省能源局对《广东省海上风电场工程规划》中原有场址进一步进行梳理，并适当调整。2017年9月，发布了《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》，粤西海域在水深35-50m之间的海域共规划海上风电场址2个，装机容量700万千瓦。本项目海上风电场工程位于阳江近海深水场址一，场址一风机总规模容量为5000MW。本项目装机规模1000MW，场址位于阳江近海深水场址一区域内，符合规划装机容量规模。

开发本工程海上风电场符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，对于推动可再生资源开发利用，有利于缓解环境保护压力，实现绿色发展，满足阳江地区尤其是阳西地区社会经济发展需要，促进地方经济和旅游业的发展，提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。

因此，本项目建设符合《广东省海上风电场工程规划》的要求。

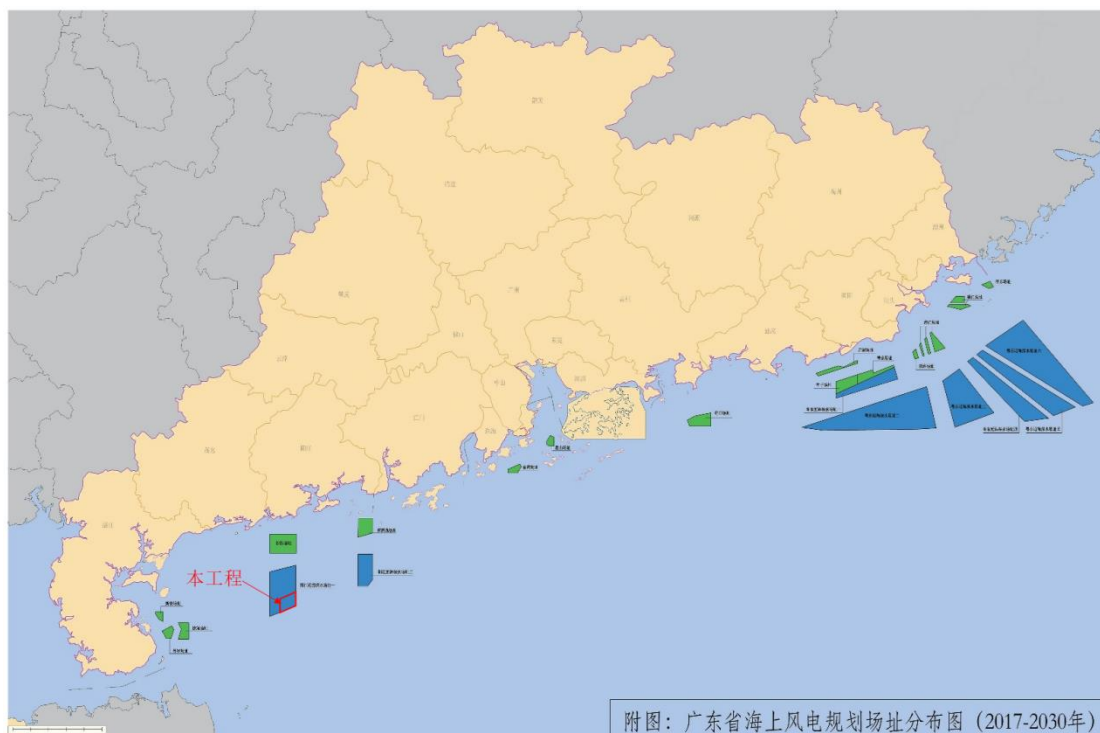


图 13.6-1 规划风电场场址范围示意图

13.6.10 与广东省海洋经济发展“十三五”规划相符性分析

广东发改委、广东海洋与渔业厅于 2017 年 6 月年联合发布《广东省海洋经济发展“十三五”规划》。规划指出，要围绕海上风电、海洋能技术研发，重点支持海洋风能和波浪能等新能源开发。积极发展海上风电，到 2020 年，海上风电力争建设投产 1000MW 以上。科学合理把握开发建设和生态保护的尺度，探索合适的开发建设模式，因地制宜、合理布局，促进海上风电规模化、集约化发展。鼓励在深远海建设离岸式海上风电。依靠科技进步降低风电成本，大力发展海上风电装备制造业，形成加强海上风电研发设计、制造施工、运维等一体化上下游产业链。

本工程属于海洋能开发利用项目，符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，有助于推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，实现绿色发展，满足阳江地区尤其是阳西地区社会经济发展需要，促进地方经济和旅游业的发展，提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。

因此，风电项目的建设与《广东省海洋经济发展“十三五”规划》是相符合的。

13.6.11 与广东海洋经济综合试验区发展规划相符性分析

2011 年，国务院印发了《关于广东海洋经济综合试验区发展规划的批复》（国函〔2011〕81 号），正式批准实施《广东海洋经济综合试验区发展规划》。

规划指出，以推进产业结构升级为主线，以海洋生物医药、海洋工程装备制造、海水综合利用和海洋可再生能源为重点，突破关键核心技术，提升海洋产业核心竞争力。开展海洋能资源普查，科学规划海洋能开发，确定优先开发范围和重点。加快海洋风电、波浪能、潮汐潮流能发电等技术研发。

阳江市作为广东海洋经济综合实验区先行区，为广东海洋经济发展提供有效的探索；同时，对大力推进阳江市现代渔业，临港工业、滨海能源、滨海旅游、海洋文化、海洋环境保护和海洋科技产业的提升也十分关键。在构建现代海洋产业体系中提出“大力发展现代深蓝渔业、加快发展滨海旅游业与文化产业、升级发展海洋交通运输业和培养发展新兴战略产业”。

本工程属于海洋能开发利用项目，与《广东海洋经济综合试验区发展规划》具有良好的衔接，积极响应规划中大力推进滨海能源产业发展的号召。三峡能源公司开发青洲海上风电项目同时为阳江滨海渔业、临海工业、滨海旅游业提供环

保电力资源，有力保证其他产业的蓬勃发展。

由此可见，本工程建设符合《广东海洋经济综合试验区发展规划》。

13.6.12 与《阳江市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》的符合性分析

根据《阳江市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》，阳江在“十四五”时期的总体定位是：打造沿海经济带的重要战略节点、宜居宜业宜游的现代化滨海城市。规划要求：加快建设海洋强市。坚持陆海统筹、综合开发，拓展蓝色发展空间，优化海洋经济布局，推进海洋科技创新，提升海洋产业竞争力。重点发展海上风电、海洋工程装备等海洋高端产业集群，培育海洋生物、海洋电子信息等海洋新兴产业，推进海洋交通运输等传统产业转型升级。

规划提出，打造世界级风电全产业链基地。依托风力、海洋、港口和产业先发优势，推进 1000 万千瓦海上风电场建设，落实新增 1000 万千瓦项目，到 2025 年建成投产 1000 万千瓦以上。适时推动海上风电由近浅海向深远海发展，由固定式向漂浮式发展。探索“海上风电+海洋牧场”融合发展模式，规划建设阳西沙扒风电海域国家级海洋牧场示范区，构建“蓝色能源+海上粮仓”组合，促进海域集约化生态化开发。加快建设广东（阳江）风电装备制造产业基地，推动装备制造各环节重大企业项目落地建设。依托龙头企业开展轴承、主轴、大型铸锻件等短板领域研发，推动基于高压大容量柔性直流输电技术的海上风电集中送出研发和示范推广。推动“一港四中心”建设，依托阳江港建设聚合设备出运、仓储物流、出口贸易、总装安装、运营维护、设备退役等功能的风电运维母港和风电设备储运基地，建设完善国家海上风电装备质量监督检验中心、风电创新中心、大数据中心、运维中心。建设风电行业金融服务体系以及海上风电国际交流基地。加快推动形成集资源开发、装备制造、研发设计、检测认证、运维管理、综合服务于一体，覆盖海上风电和陆上风电全领域全周期、立足阳江、面向全省、辐射全国、走向世界的风电全产业链基地，力争到 2025 年全产业链产值规模超 1000 亿元。

本项目被列入阳江市“十四五”规划重大建设项目之一。项目营运有利于当地风能资源转化为经济效益，有利于补充电网清洁能源，有利于地方经济的发展，对提高全省绿色新能源装机容量比例，优化全省能源供应结构，具有积极的推动作用，符合《阳江市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目

标纲要》关于重点发展海上风电、打造世界级风电全产业链基地的规划要求。

13.6.13 与阳江十三五电网规划相符性分析

根据《阳江“十三五”电网规划》，预计 2020 年，电厂近区（含江城区、阳西县及海陵岛）供电负荷为 1793MW，“十三五”期间年均增长率为 13.3%；预计 2025 年，电厂近区供电负荷为 2456MW，“十四五”期间年均增长率为 6.5%；预计 2030 年，电厂近区供电负荷为 2771MW，“十五五”期间年均增长率为 2.4%。

目前，阳江地区 220kV 地方电源较少，区内存在较大的电力缺额，“十三五”中期，考虑阳西电厂#1、#2 号机组改接至 220kV 电网后，电力缺额得到填补，但仍存在较大电力缺额。阳江 220kV 及以下电网夏大、夏小、冬大及冬小方式下具备完全消纳区内风电机组电力的空间。

阳江电网作为广东电网的末端电网，随着用电负荷的持续增长，远期本地电源将逐渐不能满足用电需求，本工程海上风电场建成投产后，作为可再生能源电源点直接接入阳江负荷中心变电站为阳江电网供电，有助于就近消纳，缓解省网的供电压力，改善当地电源结构，推动当地经济发展。

因此，项目建设符合《阳江“十三五”电网规划》的要求。

14 环境管理与监测计划

14.1 环境管理计划

14.1.1 施工期环境管理

本项目环境管理工作由建设单位、监理单位和施工单位共同承担。

建设单位具体负责和落实从工程施工开始至结束的一系列环境保护管理工作。对施工期工区内的环境保护工作进行检查、落实，协调各有关部门之间的环保工作，并配合地方环保部门共同作好工区的环境保护监督和检查工作。

环境监理单位承担环境保护监理工作，按照国家对建设项目环境保护管理要求，依据环境影响报告书、环境保护设计文件和合同、标书中的有关内容对施工过程中的环境保护工作进行监理，制定具体监理方案，确保落实各项保护措施、实施进度和质量。工程环境保护监理贯穿于项目施工全过程。

海底线缆和风机桩基在施工期产生一定量的悬浮物、生活污水和含油污水废水、废弃泥浆及其它施工垃圾等，对环境产生一定程度的不利影响，施工单位应严格按照环境保护有关条例规定开展施工活动。主要包括：

(1) 根据工程设计文件中有关环保内容，落实工程的环保措施和各项经费，合理安排施工时间、方式，确保将工程建设对渔业资源和鸟类的影响减到最小；确保施工期间施工废水和生活污水经处理后达标后排放；合理安排施工方式、时间，确保施工场界噪声达标；保持场地整洁，保证施工机械和车辆废气排放符合国家有关规定；做好施工人员卫生防疫工作。

(2) 委托有资质单位按照有关监测技术规范进行环境监测，定期提供监测数据和分析报告。

(3) 风机桩基打桩和海底电缆挖槽作业高峰应避开 5~7 月海洋生物产卵和繁殖的高峰期进行。

14.1.2 运行期环境管理

运行期间，环境管理职能由海上风电场运营方承担，安排专职人员对风电场运行期环境保护工作统一管理、并配合地方海洋、环保和海事部门共同做好工程运行期环境管理，包括海洋渔业资源、鸟类栖息地补偿、鸟类活动及撞机情况观测和通航安全管理等的监督和检查工作。项目生产期结束后，做好项目拆除施工

的环境保护工作，对拆除造成的环境影响进行必要的修复措施，确保风机拆除不会对海域利用造成影响。

14.2 环保验收清单

根据项目工程分析，本项目污染物排放清单见表 14.2-1。

建设单位是竣工环境保护验收工作的责任主体，对验收内容、结论和公开信息的真实性、准确性和完整性负责。根据本项目建设与运行的环境影响及污染物排放特征，该风电场工程竣工后，环保验收的主要内容列于表 14.2-2，供竣工验收时参考。

表 14.2-1 项目污染物排放清单

时段	污染对象	工序	污染物	产生量	治理措施	排放量
施工期	海水水质	海底电缆敷设	SS	16.2kg/s	优化施工方案，尽可能缩短水下作业时间	/
		船舶油污水	油类	57.84kg/d	收集运至岸上交有能力的单位处理	/
		生活污水	COD _{cr} 、BOD ₅ 、SS、 氨氮、动植物油	27m ³ /d	海上施工人员生活污水收集运至岸上交有能力的单位处理； 2#施工基地生活污水纳入施工基地后方的阳江高新区临港工业园区污水处理厂处理排放	27m ³ /d
		陆上施工废水	COD _{cr} 、SS、石油类	65m ³ /d	2#施工基地废水经污水收集和处理系统处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T 18920-2020）后回用，多余废水达到广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）的三级标准后，纳管处置	65m ³ /d
	噪声	打桩	水面噪声	102dB（A）	选择低噪声的桩基施工工艺，采取隔声降噪措施	102dB（A）
		非嵌岩桩打桩	水下噪声	233dB re1μPa-m		233dB re1μPa-m
		钢管桩施工	吸泥总量	5000m ³		/
		施工人员生活垃圾	生活垃圾	0.2t/d		集中收集后由环卫部门定期清运
运行期	海水水质	风机维修	废弃油类	32.3m ³ /a	收集运至岸上交有资质单位处理	
		桩基础腐蚀	锌	235.68kg/a	做好防腐蚀设计	235.68kg/a
		管理人员生活污水	COD _{cr} 、BOD ₅ 、SS、 氨氮、动植物油	/	陆上集控中心统一管理	/
	沉积物	桩基础腐蚀	锌	35.22kg/a	做好防腐蚀设计	35.22kg/a
	噪声	风机运行	水面噪声	113dB(A)	机械部件贴附阻尼材料	113dB(A)
			水下噪声	140dB/re 1μPa		140dB/re 1μPa
	固体废物	风机运行维护	废旧蓄电池、废油、 含油锯末或棉纱等	50kg/a	危废由具备资质的专业处置单位处理，废旧蓄电池由生产厂商负责回收	/
管理维护人员船舶 生活垃圾		生活垃圾	/	陆上集控中心统一管理	/	

表 14.2-2 环境保护三同时验收一览表

项目内容	环境要素	验收主要内容	参考要求或执行标准
风电场区	1.海洋水质	施工期施工营地设置临时厕所。	施工期施工废水处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920- 2020）建筑施工标准后回用。
	2.海洋生态保护	落实本报告中的各项海洋生态环境保护措施；落实海洋生态及渔业资源、渔业生产补偿。	
	3.鸟类	落实本报告中的各项鸟类影响对策措施。	
	4.风电场降噪	采用先进发电机组，机舱内表面贴附阻尼材料。	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准
	5.通航安全措施	按通航报告要求落实风机基础设置防撞设施等。	通航安全报告
环境风险事故预防	1.应急预案	将本工程应急体系纳入海事局应急体系中。	
	2.事故应急设施	施工船舶配备围油栏、吸油毡、消油剂等防污器材。	
	3.事故处理	有利于环境污染的恢复，将环境影响降低到最小。	
环境管理	1.环境管理情况	设专职人员对风电场环境保护工作统一管理。	
	2.环境监测计划执行情况	实施报告制定的海洋生态和环境监测计划。	

14.3 环境监测计划

本项目施工期和运行期应委托具有相关资质的单位对工程区域海洋环境、生态环境等进行监测并提交有效的跟踪监测计量认证分析测试报告。监测调查站位、频次和分析方法等参照《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》执行。

14.3.1 水生生物、渔业环境调查

为了解和掌握工程实施对工程海域生态、渔业资源的实际影响，及时调整或增补环境保护对策措施，达到保护工程海域生态和渔业资源的目的，对项目工程海域生态、渔业资源进行跟踪监测。

14.3.1.1 范围及站点布设

考虑到对周边保护区和海域的影响，同时参照现状监测断面（其中考虑采样安全性，不在风电场内设置采样点），设水生生物站位 6 个，渔业资源站位 6 个，6 个站位均位于风电场周围。站位布置详见图 14.3-1。

14.3.1.2 监测内容

（1）水生生物

叶绿素 a、浮游植物、浮游动物和底栖生物。

（2）渔业资源

调查鱼卵、仔鱼种类组成、数量分布；渔获物种类组成；渔获物生物学特征；优势种分布；渔获量分布和现存相对资源密度。

14.3.1.3 监测频率和时间

施工期每年春、秋季各进行一次监测；运行期在风电场运行开始后的一年内的春、秋季各进行一次监测。

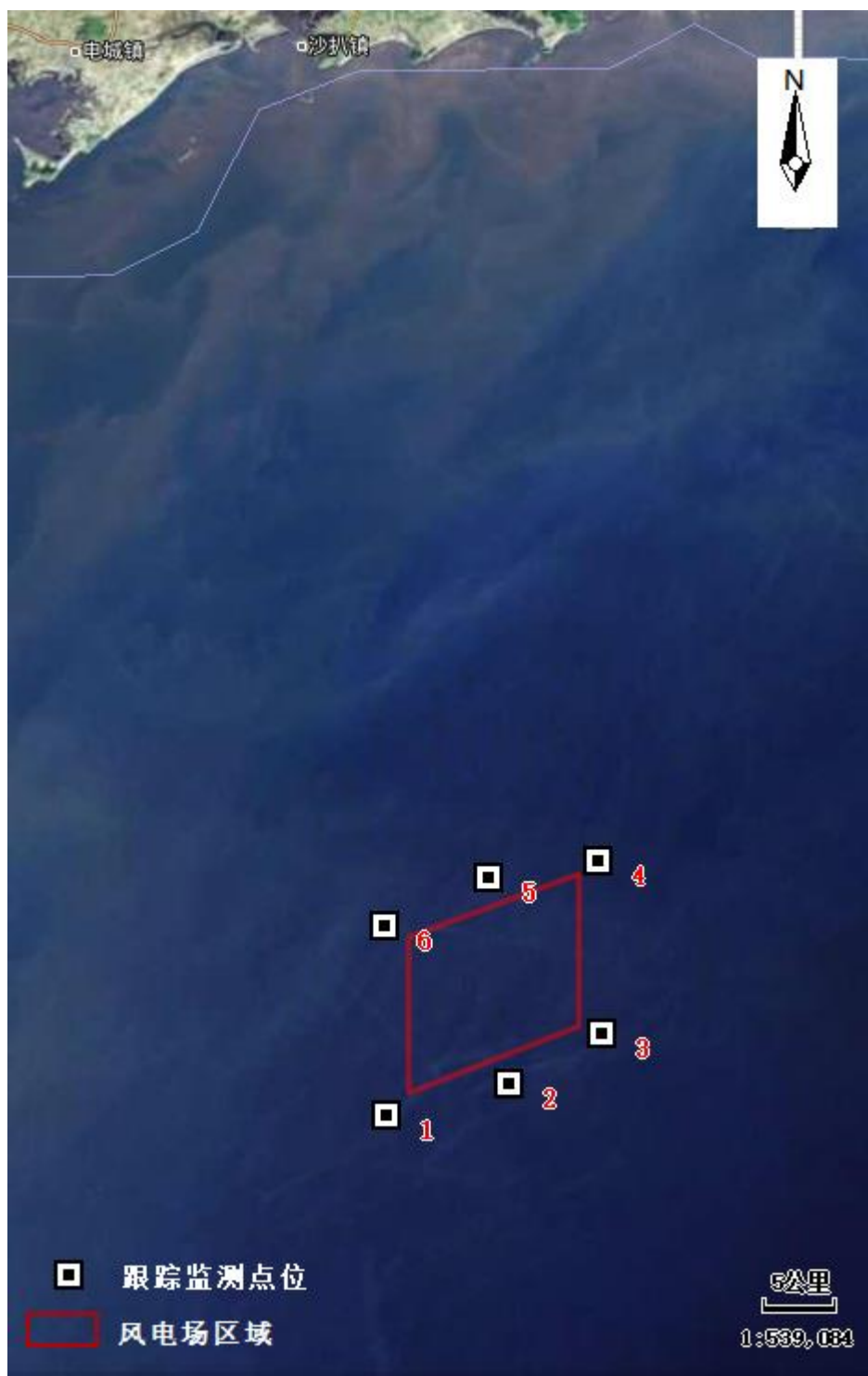


图 14.3-1 跟踪监测站位图

14.3.2 海水水质、沉积物环境监测

为了解项目施工期桩基施工及电缆沟开挖悬浮物对海洋水质环境的影响程度和范围,评价施工期水质是否满足海水水质标准,为施工期环境管理提供依据,对项目施工期海水水质进行跟踪监测。

14.3.2.1 范围及站点布设

海水水质环境监测范围及站点布设参考本次评价水质调查范围及站点布置确定，共设水质、沉积物站位 6 个，见图 14.3-1。

14.3.2.2 监测内容

水质：pH、悬浮物、石油类、化学需氧量、溶解氧、无机氮、活性磷酸盐、铜、铅和锌。

沉积物：pH、锌、铜、石油类。

14.3.2.3 监测频率和时间

海水水质和沉积物环境监测可与生物生态监测同步，施工期海水水质、沉积物每年在春、秋季期各进行一次监测；运行期进行在风电场运营开始后的一年内的春、秋季期各进行一次监测。

此外，在桩基础施工和海缆敷设等对海域水质产生明显不利影响时期，根据施工进度情况适当增加监测频次。

14.3.3 水下噪声监测

为具体了解本项目施工期打桩产生的水下噪声和运行期风机水下噪声影响，在海上风电场施工期及运行期开展水下噪声监测。

14.3.3.1 监测时间及布点

施工期打桩时，在距离打桩 50m、200m、1000m、3000m 处分别设置噪声监测点。

运行期在不同风速风机的三个输出级别：低、中和额定风速输出时进行水下噪声测量。在距离风电场单个风机约 100m 处监测水下辐射噪声。同时应在距离风电场外部界限 3-4km 处进行水下背景噪声和风电噪声的综合测量。

14.3.3.2 监测内容

噪声频带有效声压级 (dB re 1 μ Pa)；噪声声压谱（密度）级；分析水下噪声时-频特性；同时测量风机营运在空气中的辐射噪声。

14.3.4 鸟情及其栖息地观测

在运行初期（5 年），加强对区域鸟情、鸟类与风机撞击情况的观测研究。

14.3.4.1 观测内容

包括工程建设区及邻近地区鸟类的种类组成、数量、分布以及迁徙、迁飞特

征、穿越风电场、与风机发生撞击的情况等。

14.3.4.2 观测方法与频率

鸟类调查采用路线调查和定点观测相结合的方法进行观测。

调查监测频次根据季节划分，在鸟类数量较集中的春秋季节迁徙期，可进行强化监测。

14.3.5 局部冲刷

为了解和掌握工程建设对风机墩柱局部冲刷情况，并保证风机运行安全，同时为检验本次评价预测的准确程度，要求在工程投运后 5 年内对风电场海域冲刷状况进行调查监测，监测内容主要为风机墩柱局部冲刷。

工程运行后 5 年内对风机墩柱局部冲刷情况进行调查，调查包括冲刷深度、冲刷坑直径和冲刷坑形状等参数。在以上调查研究结果的基础上，若有必要，应对风机墩柱局部冲刷进行加测。在风暴潮等恶劣气象条件过后对风机墩柱局部冲刷情况进行必要的加测。

14.3.6 陆上施工区域

(1) 水环境监测

监测项目：pH、COD、SS、石油类。

监测点位和频次：监测点位设置在施工废水处理设施的排口处，监测频次为每两月一次。

(2) 噪声监测

监测项目：昼夜等效连续 A 声级， L_{Aeq} 。

监测点位和频次：设置 4 个噪声监测点对施工区域进行监测，拟设置在各场界处。施工期每月监测 1 期，噪声监测时段位昼间（06:00~22:00）和夜间（22:00~06:00）各监测一次，每次连续采样 20min。

(3) 环境空气监测

监测项目：TSP。同步监测和记录风速、风向、气温、气压、云量等气象条件。

监测点位和频次：在施工基地场界外下风向设置 1 个环境空气监测点，根据施工进度安排，施工期内每两月监测 1 期。

15 工程生态用海方案分析

15.1 用海布局优化

本工程在前期规划、预可行性研究及可行性研究阶段已综合海洋、航运、环境保护、部队军事等要求对风机布置进行了多次优化调整。

本工程经过多方案比选后，在场区东北部布置 25 台单机容量 8MW 的风力发电机组，西南侧布置 80 台单机容量 10MW 的风力发电机组，排与排之间的间距约在 2600m，每排内部的风机间距约为 684m。优化后，风电场的年上网电量为 382653.2 万 kWh，容量系数 0.436，年等效满负荷小时数为 3827h。

优化调整后，风电机组用海单元减少，根据海域使用论证报告，与 2018 年核准时相比，申请用海总面积由 618.4028hm² 减小为 600.0484hm²，风电场建设占用海域面积对比原论证方案减少了 18.3544hm²，减少了对海域资源的占用，体现最大化利用海域资源。

此外，从水文动力和冲淤环境影响预测分析结论来看，本工程风电场布置对周边海域水动力和冲淤环境影响较小，影响主要集中在风电场区内部以及周边 2~3km 范围内，风机之间的水动力和冲淤叠加影响不显著，工程平面布置对海域水动力和冲淤环境影响较小。

根据《海上风电开发建设管理办法》（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。本工程风电场的场址水深 46.5m~52.5m，北部边界离岸约 67km，离茂名近海重要渔业海域限制类红线区约 20km，距离其余海洋生态环境敏感区均超过 20km。本工程场址不在规定的敏感海域，符合用海要求。

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。本工程风电场总容量 100

万千瓦，外围风机包络海域面积约为 154.03km²，符合国家海洋局规定的用海控制要求。

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。总体上，项目周边海域不涉及珍稀濒危动植物物种，对渔业的三场一通道影响较小，海域总体生态环境较好，项目选址、布局和施工方式符合环境和生态保护要求，可减少渔业资源、鸟类的影响，具有较高的环境合理性。

15.2 污染排放与控制

工程运行期产生的污染物主要为设备检修产生的废油、废蓄电池以及管理人员生活污水和生活垃圾等，产生量均较小，且运行期建设、运行单位将委托相关有资质单位统一收集外运处置，不会增加海域污染负荷。因此项目建设可满足《国家海洋局关于进一步加强海洋工程建设项目和区域建设用海规划环境保护有关工作的通知》中项目零污染、增产不增污的要求。

15.3 生态修复与补偿

根据工程建设方案，工程将永久占用一定面积的底栖生境，且工程建设过程中，产生的悬浮物影响也会减弱浮游植物光合作用能力，在一定程度上影响水域的初级生产能力，并导致海域中浮游动物数量的减少，以及造成渔业资源的损失。

为减少海域开发建设对海洋生态和渔业资源的综合影响，本工程拟实施以增殖放流为主的生态修复措施。从已有的渔业资源的人工增殖放流的成功经验来看，在本工程海域附近有选择地实施人工增殖的生态恢复措施在技术上还是资金投入上均是可行的。具体放流时间及放流品种应按照当地渔政与水产部门的增殖放流计划予以确定。在采取生态修复补偿措施后，工程建设对海域生态环境影响不大。

15.4 人工鱼礁效应

风电场风机桩基的存在，增加了海底的粗糙度，造成紊流的出现，起到人工鱼礁的作用。虽然其建设理论上影响渔业资源修养生息，影响所在水域的捕捞作业，但从形成人工鱼礁的角度来看，一定程度上有利于鱼类的繁殖和生长，对渔业资源的影响不仅仅是负面影响，有可能产生正面效应。

运行期风机的桩基占有水面有限，而且不可避免对渔业捕捞产生影响。但这

类影响若与有关利益相关方协商，并予以适当补偿，是可以接受的。风电场运行期的人工鱼礁效应对渔业资源的保护是有利的。

15.5 跟踪监测及监测能力建设

为了解工程建设对工程海域海洋水质、沉积物和海洋生态环境的影响，监测施工过程中悬浮物影响程度和范围，为施工期和运行期长期环境监管提供依据，本工程拟对工程施工期及运行期进行跟踪监测，并根据跟踪监测的结果进一步采取相应的保护措施。跟踪监测的内容主要包括水环境质量、海洋生态环境监测、渔业资源调查、冲淤观测、陆域施工环境监测等内容。在工程建设及运行期间，建设单位应委托有相应资质的监测单位，按照本报告相关要求，开展上述跟踪监测工作，并编制跟踪监测报告。

16 结论与建议

16.1 工程分析

16.1.1 工程概况

本工程位于粤西海域阳江近海深水场址一范围内，阳江市阳西县沙扒镇以南海域，规划装机总容量为 1000MW，拟布置 105 台风电机组，其中单机容量为 10MW 的风电机组 80 台，单机容量为 8MW 的风电机组 25 台。105 台风电机组通过 19 回 66kV 集电线路，接入青洲五和青洲七共建的 500kV 海上换流站，换流站位于青洲七场址范围内。

16.1.2 工程方案合理性分析

16.1.2.1 工程选址合理性分析

本风电场场址在上层规划中已充分考虑了项目建设对港口航运、渔业生产、国防军事及生态环境等的影响，在风电场选址上得到了地方海洋、海事、部队、农业等部门的认可。同时本项目选址避开了自然保护区、种质资源保护区等资源环境敏感海域。场址所在区域具有丰富的风能资源，且具备大规模开发条件，场址与海洋功能区划等规划相容，风机布置方案总体上较为合理。

16.1.2.2 风机布置优化与合理性分析

本项目在前期规划、预可行性研究及可行性研究阶段已综合海洋、航运、环境保护、部队军事等要求对风机布置从风机外缘面积、风机尾流影响、风机对船只航行和渔业生产等方面出发，对布置方案多次优化。为使外缘面积最小，同时能达到风电场最好的发电效益，充分利用场址风力资源。优化后的平面布置对水文动力、冲淤环境影响较小。

16.1.3 各阶段环境影响分析

16.1.3.1 施工期

本项目施工期主要环境影响为风机桩基施工和电缆沟开挖施工导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境，并由此可能对工程海域海洋生态环境(底栖生物和浮游动、植物)和渔业资源造成一定损害，海上施工作业也对工程海域渔业生产产生一定影响。同时，施工活动的侵扰会对临近的鸟类栖息地和觅食的鸟类产生一定影响。施工过程中产生的施工污废水、

废气、扬尘、施工噪声和固体废弃物可能对工程区域环境质量造成一定污染。

16.1.3.2 运行期

本项目为风力发电项目，风机在风力带动下将风能转变为机械能，在齿轮箱和发电机作用下机械能转变为电能，生产过程中无废气、废水和灰渣等污染排放源，对环境的影响主要表现在：（1）风机墩柱对局部海底地形和潮流场的影响；

（2）底流在钢管桩周围产生涡流，将海底泥沙搅动悬浮带走，对工程区域的冲淤情况的影响；（3）风机运转存在与邻近区域栖息、觅食鸟类和迁徙飞行鸟类发生碰撞的可能性；（4）风电场建设造成渔业生产海域面积减小，降低渔业捕捞量，对渔民生活的产生一定影响；（5）风机运行水下噪声影响海域哺乳动物及部分鱼类栖息、觅食；（6）风机周围海域通航环境的可能产生一定影响影响；

（7）风机运行噪声及电磁场对周围声环境和电磁辐射环境产生影响；（8）风机对所在海域景观环境质量的影响；（9）风电场运行维护产生的固体废物及变压器油等的影响。

16.2 环境现状

16.2.1 水文水动力环境

16.2.1.1 潮汐水流条件

（1）潮汐类型

冬季，调查海区的潮汐属于不规则半日潮，潮汐的日不等现象显著，涨潮历时与落潮历时相当。

夏季风电场区海域潮流类型为不规则半日潮潮流，潮波性质以驻波为主。

（2）实测水流

冬季水文测验期间，海流中潮流性质明显，涨潮流向西北，落潮流向西南或东南；观测区域内海流较弱，涨、落潮流流速的平均值多在 14.1~48.1 cm/s 之间。

夏季水文测验期间，测区流速普遍较小，C19-C24 测站实测最大流速分别为 0.56m/s、0.53m/s、0.64m/s、0.56m/s、0.65m/s、0.63m/s，大中期间潮流性质明显，涨潮流向西北，落潮流向东南；小潮期间，海流主要呈东北向。

（3）余流

冬季余流较小，最大为 37.2cm/s；余流流向以西南向为主。夏季各站余流流向以东北向为主，最大余流值为 24.3cm/s。

16.2.1.2 泥沙条件

冬季水文测验期间不同潮期悬浮泥沙浓度一般不超过 0.0200kg/m^3 ，介于 $0.0004\text{kg/m}^3\sim 0.0190\text{kg/m}^3$ 之间；调查期净输沙以西南向为主。

夏季水文测验期间平均含沙量为 0.023kg/m^3 ，大、中、小潮期间平均含沙量分别为 0.022kg/m^3 、 0.025kg/m^3 和 0.023kg/m^3 ，各站垂向平均含沙量的日均值在 $0.013\sim 0.039\text{kg/m}^3$ 之间。

16.2.2 地形地貌

勘查数据显示，风电场所在场址海底地形总体平缓，呈西北高东南低趋势，地貌类型主要为海积平原。场址中心离岸距离 77km ，水深 $46.5\text{m}\sim 52.5\text{m}$ ，海床面高程约 $-46.2\text{m}\sim -51.5\text{m}$ 。

16.2.3 环境质量

16.2.3.1 海洋水质

2019年春季调查采集海水样品共 128 个，各检测项目中，pH、化学需氧量、活性磷酸盐、镉、铜、总铬、六价铬、总汞、砷的含量均符合相应环境功能区水质标准。其余项目中，有 13 个样品的溶解氧超标（超标倍数为 $0.06\sim 0.49$ ），超标率为 10.16%；2 个样品的无机氮超标（超标倍数为 $0.44\sim 0.48$ ），超标率为 1.56%；7 个样品的锌超标（超标倍数为 $0.05\sim 0.44$ ），超标率为 5.47%；21 个样品的铅超标（超标倍数为 $0.01\sim 2.52$ ），超标率为 16.41%；8 个样品的石油类超标（超标倍数为 $0.02\sim 0.78$ ）超标率为 12.50%。

2018年秋季调查中，活性磷酸盐指标有 3 个站位超标，超标倍数为 $0.13\sim 0.47$ ，超标率为 4.00%。重金属总汞指标有 4 个站位超标，超标倍数为 $0.08\sim 1.9$ ，超标率为 5.33%。活性磷酸盐和总汞超标可能与调查期间周边航路船舶含油废水影响有关。

16.2.3.2 沉积物质量

2019年春季，仅 S10 站位的铬超标，其他所有沉积物站位的各评价因子均符合一类沉积物质量标准，表明调查海域沉积物质量状况良好。

16.2.3.3 海域生态环境质量

(1) 叶绿素 a

2019年春季调查表层水体叶绿素 a 含量平均值为 0.70mg/m^3 ，底层水体叶绿

素 a 含量平均值为 $0.66\text{mg}/\text{m}^3$, 初级生产力水平的平均值为 $257.23\text{mg C}/(\text{m}^2 \text{d})$ 。

2018 年秋季调查叶绿素 a 浓度的平均值为 $1.06\text{mg}/\text{m}^3$, 初级生产力水平的平均值为 $191.49 \text{mg C}/(\text{m}^2 \text{d})$ 。

(2) 浮游植物

2019 年春季调查浮游植物共出现了 4 门 49 属 147 种, 其中以硅藻门的种类最多, 其次是甲藻门。浮游植物丰度平均为 $1163.04 \times 10^4 \text{cells}/\text{m}^3$ 。

2018 年秋季调查浮游植物共出现了有硅藻、甲藻、蓝藻、绿藻、金藻和黄藻共 6 大门类 24 科 109 种。其中硅藻门的种类最多, 其次是甲藻门。浮游植物密度平均为 $114.24 \times 10^4 \text{cells}/\text{m}^3$ 。

(3) 浮游动物

2019 年春季共记录浮游动物 13 个生物类群 116 种, 其中桡足类 60 种、浮游幼体类 15 种、腔肠动物 10 种和其他种类共 31 种。各采样站浮游动物湿重平均生物量为 $142.90 \text{mg}/\text{m}^3$ 。浮游动物平均密度 $797.54 \text{ind.}/\text{m}^3$ 。

2018 年秋季本海域浮游动物经初步鉴定有 9 个生物类群, 共 33 种。主要类群包括桡足类和浮游幼虫类。浮游动物平均生物量为 $219.42\text{mg}/\text{m}^3$, 平均密度为 $152.24\text{ind.}/\text{m}^3$ 。

(4) 底栖生物

2019 年春季调查共记录大型底栖动物 72 种, 其中环节动物 32 种、软体动物 23 种、节肢动物 10 种、其他种类动物共 7 种。大型底栖生物平均栖息密度为 $67.92 \text{ind.}/\text{m}^2$, 平均生物量为 $8.47 \text{g}/\text{m}^2$ 。多样性指数平均值为 2.422。均匀度平均值为 0.900。

2018 年秋季调查, 共出现包括纽形动物、环节动物、软体动物、节肢动物、棘皮动物和脊索动物共 6 门 20 科 24 种。其中环节动物种类数相对较多。底栖生物的总平均生物量为 $5.69\text{g}/\text{m}^2$, 平均栖息密度为 $24.71\text{ind.}/\text{m}^2$ 。

(5) 生物体质量

2019 年春季调查中, 调查海区的贝类除了 S23 号站位的铅、镉、砷和石油烃的含量超标外, 其余站位所有指标均符合评价标准; 所有站位的鱼类、甲壳类和软体类生物中的各项指标均达到相关标准要求。

2018 年秋季调查, 采集的 34 份海洋生物体中, 鱼类生物体 Y8、Y25 号站、甲壳类生物体 Y2、Y4、Y6、Y10 站 TPHs 超标, 总超标率 17.65%, 鱼类生物体

Y27 号站、甲壳类生物体 Y2、Y4、Y6、Y8、Y9、Y19、Y20、Y23、Y27 站 As 超标，总超标率为 29.41%。

16.2.4 海洋渔业资源

16.2.4.1 鱼卵、仔鱼

2019 年春季调查结果如下：鱼卵 231·8 个，仔鱼 220 尾。鱼卵平均密度为 950.56 个/1000m³，鱼卵密度变化范围在 265.33 个/1000m³~7958.68 个/1000m³。仔鱼的平均密度为 77.82 尾/1000m³。

2018 年秋季调查结果如下：共捕获鱼卵 599 枚、仔稚鱼 30 尾，经鉴定隶属于 1 门 20 科。鱼卵平均密度为 34.47 枚/网。仔稚鱼平均密度为 0.76 尾网。

16.2.4.2 渔业资源现状

2019 年春季调查结果如下：共捕获游泳生物 54 种，其中：鱼类 34 种，甲壳类 17 种，头足类 3 种。鱼类的优势种为：斑鳍红娘鱼、多齿蛇鲻和舌鳎，甲壳类的优势种为：钝齿蛄、隆线强蟹、须赤虾、口虾蛄、刺螯鼓虾和红星梭子蟹。平均重量密度为 670.35 kg/km²，平均个体密度为 101846.52 ind./km²。

2018 年秋季调查结果如下：共捕获渔业资源游泳生物种类 14 目 46 科 65 属 86 种，其中鱼类 61 种、虾类 6 种、蟹类 10 种、虾蛄类 4 种、头足类 5 种，主要经济种类为剑尖枪乌贼、蓝圆鲹、细纹鳃、二长棘鲷、杜氏枪乌贼、日本金线鱼、太平洋犀鳕、银方头鱼、长蛇鲻等。平均资源密度为 65.957kg/km²，平均资源尾数密度为 5541.9ind/km²。

16.2.5 鸟类资源

(1) 2019 年 5 月为春季调查，本次调查共记录鸟类 60 种，隶属 10 目 23 科。优势类群包括鸽形目 24 种和雀形目 21 种。2021 年 7 月为夏季调查，本次调查共记录鸟类 40 种，隶属 8 目 21 科。优势类群为雀形目和鸽形目，均有 14 种。2019 年 10 月为秋季调查，本次调查共记录鸟类 51 种，隶属 9 目 24 科。优势类群为鸽形目，有 19 种，其次为雀形目，有 18 种。2019 年 1 月作为冬季调查，本次调查共记录鸟类 52 种，隶属 7 目 22 科。优势类群包括雀形目（20 种）和鸽形目（20 种）。从鸟类种类上看，春季鸟类种类最多，夏季种类最少，数量上则是冬季最多，夏季数量最少。从物种组成来说，存在季节性更替。以下通过不同尺度的物种多样性分析物种季节动态变化。

(2) 风电场所在区域，调查期间仅发现极少量燕鸥科鸟类飞行。将调查范围扩展至沿岸浅海海域，则在海域中共发现鸟类 3 目 4 科 9 种，多数个体在离岸 2-5km 活动。

(3) 在陆域海岸共记录种类 10 目 28 科 78 种，主要分布溪头镇散头咀沙滩、上洋镇沙头村沙滩、东山港和莲头村沙滩。该区域鸟类种类丰富，是评价范围内鸟类的最主要的觅食和栖息地。由于距离海上风电场距离约 80km，基本不受风电场影响。

(4) 在调查区域内有繁殖记录的物种主要为环颈鸪（华南亚种）和白额燕鸥，物种栖息和觅食均在沙滩周边，基本不受海上风电设施影响。

(5) 风电场场址所在地并非鸟类主要觅食和栖息地，其鸟类的种类和数量也远小于近岸区域，风电场的建设不会对该区域的大部分种类产生阻碍其种群发展的影响。

16.2.6 声环境

(1) 水上噪声环境调查结论

该工程海域海面上环境噪声 A 计权等效噪声级主要分布在 52~62 dB 之间，平均值为 60dB；最大声级的平均值为 102 dB；在 20 Hz~20 kHz 的频率分布范围内，各频带噪声级的最大动态范围为 39dB。

(2) 水下噪声环境调查结论

本工程海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 119.8 dB，噪声谱级的总动态变化范围是 61 dB，而在特定频率（如 100 Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 15 dB。总体上，在 100 Hz 以上的频率的噪声谱级在 100 dB 以下；500 Hz 以上频率的噪声谱级均在 96 dB 以下；1 kHz 以上频率的噪声谱级在 87 dB 以下；而在 5 kHz 以上频率，噪声谱级在 59 dB 以下。

16.3 主要环境影响预测与评价

16.3.1 水文水动力环境

(1) 工程建设后在风机基础周围流速发生明显变化，表现在涨落急方向（风机迎水侧和背水侧）流速有所减小，而垂直于涨落急方向（风机基础两侧）流速

有所增大。工程前后平均流速变化幅度在 0.01m/s 左右，风机桩基基础附近的最大流速变幅约为 0.033m/s，而风电场周边海域流速变化幅度约为 0.001m/s。

(2) 风电场建设对海域的潮流影响主要集中在工程区附近，离风电场工程区越远，潮流影响越小。工程区内流速以减小为主，风电场内流速变率最大约 8.8%，流向最大变化幅度为 5°。

(3) 风电场建设对周边海域的潮流影响很小。风电场建成后，工程区周边 3km 外流速变率最大为 0.4%，流向变化幅度在 1°以下。

(4) 从垂向分布上看，工程海域流速表现为表层>中层>底层，但总体差距相对不大；同时，工程前后各层流速变化情况保持一致，变化幅度表现为表层>中层>底层。

(5) 总体上，风电场工程的建设对风电场周边海域潮流特性影响甚小，周边海域流速变幅基本在 0.4%以内，流向变化不超过 1°；工程前后风电场内部的流速有所变化，并以流速减小为主，平均流速变幅在 0.01m/s 左右，潮流流向变化幅度基本在 5°以下。

16.3.2 地形地貌与冲淤环境

(1) 风电场及周边区域冲淤变化

工程建设后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，同时风电场区域两侧发生冲刷，风机附近冲淤分布形态与往复流流态有关。冲淤平衡后，最大平衡淤积幅度在 0.5m 左右，发生在风机桩基基础附近，其他风机附近最大淤积幅度在 0.2m~0.4m 之间。风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）最大平衡冲刷幅度在 -0.2m 左右。风电场周围 2km 以外冲淤变化幅度均在 0.01m 以下。

(2) 风机桩基基础局部冲刷

风电场区风机基础最大冲刷深度为 1.83~1.91m，冲刷坑最大直径为 8.87~9.30m。本工程风机桩基基础考虑采取砂被保护海床。

16.3.3 海水水质

施工点周围悬浮泥沙在逐渐沉降的过程中颗粒逐级细化，细颗粒泥沙可随海流输移至更远的海域。人为增加悬浮物高浓度面积较小，而低浓度区的面积相对较大。

电缆沟槽施工期悬浮物增量值大于 100mg/L 的底层最大可能影响面积为 63.28km²；中层和表层均为 0km²；垂向平均约为 21.09km²；大于 50mg/L 的底层最大可能影响面积为 125.96km²；中层和表层均为 0km²；垂向平均约为 41.99km²；大于 20mg/L 的底层最大可能影响面积为 197.65km²；中层和表层均为 0km²；垂向平均约为 65.88km²；大于 10mg/L 的底层最大可能影响面积为 258.24km²；中层为 204.26km²；表层为 0km²；垂向平均约为 154.17km²。

16.3.4 水下噪声及电磁环境影响

16.3.4.1 水下噪声海洋生态影响

风机基础打桩作业对该海域中的渔业资源将产生一定的影响。本工程采用的四桩导管架风机基础（桩径 3.0m-3.3m）和海上升压站在钢管桩撞击施工所产生的水下冲击波噪声将对周围海域的海洋渔业资源带来一定的影响。导管架基础打桩施工所产生的水下噪声有效声源级为 233dB，声级较大，在一定区域内对鱼类、海洋哺乳动物会产生一定影响。因此，在打桩作业中特别强调采取“软启动”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，即前几桩使用小强度的打桩措施，能驱使鱼类离开施工水域，可达到减小水下噪声导致渔业资源的损失，避免造成大范围鱼类死亡。

海上风电场在营运期总体的水下噪声强度比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1μPa，总体噪声谱级都在 130dB/1μPa 以下，已和海洋背景噪声相当。基于对石首鱼科的发声特性研究，本工程营运期水下噪声对石首鱼科幼鱼的影响距离（掩蔽效应）为 80m，而对于海域中其他典型鱼类、甲壳类、贝类等影响不明显。

16.3.4.2 电磁场海洋生态影响

风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于 66kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降为 1μT 以下，对海洋生物的影响在可接受范围内。

据本工程实验室模拟实验，风电场电磁环境对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物（大黄鱼、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎；虾类和贝类有对虾，口虾蛄；菲律宾

蛤仔等)受风电磁场影响在可接受范围内。

16.3.5 对海洋生态和渔业资源环境的影响

16.3.5.1 施工期

(1) 对浮游生物的影响

桩基施工和电缆沟开挖会引起海底泥沙再悬浮,海底泥沙中有害物质也会再溶出,从而可能对周围水域的浮游生物产生不利影响。在桩基施工和电缆沟开挖影响范围内受影响的浮游植物数量约为 8.88×10^{15} 个(约合 48.05t)、受影响的浮游动物生物量为 251.96t。

(2) 对底栖生物的影响

桩基施工、电缆沟开挖完全改变施工区附近底栖生物的生境。施工期电缆沟开挖、基础占压造成底栖生物损失经济价值为 51.29 万元。

(3) 对渔业资源的影响

高浓度悬浮物水域中的海洋生物的仔幼体可能造成的伤害。本项目施工悬浮物浓度增量大于 10mg/L 的最大包络线面积为 154.17km²。计算可得本项目施工期渔业资源直接经济损失总计为 3101.59 万元。

(4) 对渔业生产的影响

海缆施工会破坏路由沿线的网箱等养殖器具,进而造成养殖产量、产值的下降,海缆施工造成的悬浮泥沙扩散会对上述养殖的渔业资源造成损失。施工期间,禁止渔船进入施工海域捕捞生产,由此导致作业渔场范围减少;施工的扰动影响,使渔获率降低,最终影响捕捞产量。

16.3.5.2 运行期

(1) 对海洋生态的影响

本风电场工程运行期对海洋生态的影响主要是每台风机桩基周围的底栖生物的生境遭到永久的破坏,按风机布置方案,105 台风机对底栖生境破坏面积为 3601.9m² 在该范围内的原有泥质型的底栖生物类群不可恢复。

(2) 对渔业生产影响

在风电场运行期时段,这一海域渔业捕捞将受到负面影响,难以进行大规模捕捞作业。风电场运行期的人工鱼礁效应对渔业资源的保护是有利的。

16.3.6 沉积物环境

本项目钢管桩施工产生的淤泥吸出后将储存于驳船上，统一运回陆地处理。此外，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，将污染区域海水水质，进而可能影响区域海域沉积物质量。

本工程采用铝基牺牲阳极保护引起的锌溶解对沉积物环境的累积影响有限，工程运行期对区域海洋沉积物环境无明显不利影响。

16.3.7 鸟类及其生境影响

(1) 施工期

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。本工程位于外海区域，离岸距离较远，除了少数水鸟之外，少有鸟类在此栖息、觅食。工程海域不是鸟类的活动主要区域，故风电场施工对鸟类的影响相对有限。

(2) 运行期

鸟类对噪声具有较高的敏感性，受影响种类主要为留鸟和中途停歇觅食的候鸟，对飞行迁徙经过的候鸟因从高空经过时，与风电机的垂直距离已超过 200m（按飞行高度 400m 算），受到噪声影响较小。此外，风电场产生的低频噪声基本低于鸟类的最低频率鸣声，鸟类间的互相沟通及交流基本不会受风电场低频噪声的影响。

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，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。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。

候鸟在迁徙中途停歇和觅食时，以及遇到不良气象条件时飞行高度一般都低于 100m。由于此时飞行高度较低，旋转着的巨大风电机叶轮将会阻止鸟类在风

电场范围内飞行和停留；同时，风机叶片旋转的范围在离地面 26~180m 之间，是鸟类飞行通过风机的高风险区域，有被风机叶片撞击的危险。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。

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，包括栖息地损失和破碎化和生境质量下降。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）。

本项目场址规划有多个风电场，由于各风电场施工时间不一致，导致总体施工时间延长，会增加碰撞风险。多个工程建设也会增加该区域的环境污染程度，影响鸟类的食物来源。项目区域多个风电场的建设，对于迁徙过境的鸟类而言屏障效应也会增加，但由于海上迁徙通道的宽度并没有量化的限值，一般认为长距离迁徙时鸟类飞行高度较高，对鸟类的飞行不构成很大障碍，因此对迁徙鸟类影响较小。

16.4 环境事故风险

本项目主要环境风险主要为项目海域内通航环境风险，进而导致船舶发生碰撞后产生的溢油风险。溢油一旦发生，对周边海域的海洋生物及渔业资源会带来严重的影响，对周边海域环境敏感目标造成较大影响。在采取相应的通航、溢油事故风险防范措施，并制定相应的应急预案后，总体上通航及溢油风险可控。

此外，本工程还可能发生雷击、台风、风暴潮、风机倒塌、电气设备事故等等自然灾害风险。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。

16.5 清洁生产与污染对策措施

16.5.1 施工期环保措施

海上施工船舶施工污染物应按照海上施工作业规范及相关法规、规范、标准要求处理达标后排放或运至陆上处置，针对本项目主要的对渔业生产和鸟类的不良影响，应落实下列保护措施：

(1) 避免在鱼类产卵高峰期和鸟类迁徙、集群的高峰期进行施工；(2) 优化施工方案,加强科学管理,在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间,控制施工范围；(3) 施工应该避免恶劣天气,保障施工安全和避免悬浮物剧烈扩散。(4) 对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成的损失,应加强沟通,落实对捕捞渔民的补偿。

16.5.2 运行期环保措施

本项目在正常运行下,为减少工程建设对海洋生态和渔业资源的影响,实施以增殖放流为主的生态修复措施。应通过加强管理、建立长期、系统、实时的鸟类监测计划和方案来降低撞击风险;构建区域鸟类迁徙信息系统,根据积累的区域鸟类迁徙格局来调整风电场风机运转时间,以避开迁徙高峰,减少对迁徙鸟类的影响。

此外对于风机噪声和电磁场污染,可通过采取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。做好变电站的维护保养工作,保证带电设备具有良好的接地,减少火花放电,避免间歇性放电。工程主要环保措施见表 16.5-1。

表 16.5-1 环境保护对策措施、生态保护对策措施一览表

项目	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入使用时间	责任主体及运行机制
污水处理	生产废水处理	生产废水处理设施	65m ³ /d, 设置隔油池, 预沉池各 1 座, 加药及混凝沉淀设备 1 套	施工基地污水经处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920-2020)标准后回用, 多余废水达到广东省《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)三级标准后纳管	施工基地, 与施工基地同步建设	施工单位建设、使用和管理
	施工人员生活污水	移动厕所	陆上施工人员 10m ³ /d, 船舶人员生活污水 17m ³ /d	陆域纳管排放, 海域收集后上岸处理, 由环卫部门定期清运		
	风机、升压站维修油污水	油污水收集桶	设置 0.1m ³ 收集桶 1 个, 集中收集统一外运, 50kg/a	外运, 不在海区排放	基地内	建设单位使用和管理, 可委托专业单位
固体废物处置	钢管桩吸泥处置	收集后外运	约 5000m ³	统一收集后交由有能力的单位接收处理	风电场	施工单位落实
	生活垃圾处置	垃圾桶	根据需要施工基地设置生活垃圾筒	统一收集后委托环卫部门清运处理	施工场地内, 与其建设同步	施工单位、建设单位建设、使用和管理
	风机维护垃圾	垃圾桶	风机维护废弃物垃圾箱 1 个, 50kg/a	外送具有相应资质的单位进行处理	集控中心或升压站	建设单位建设、使用和管理
海洋生态保护	渔业资源补偿	采用增殖放流方法补偿	-	按照相关主管部门的要求, 按时完成增殖放流的品种、数量	风电场影响海域, 施工完成后的 2 年内完成	建设单位落实, 可委托专业单位
	海洋哺乳动物保护、海龟、鲨鱼	桩基础 340m 的危险区域驱赶	-	确认施工保护范围有无海洋哺乳动物活动	风电场桩基础施工期间	建设单位、施工单位
		桩基础施工软启动	-	降低桩基础施工突发水下噪声强度		建设单位、施工单位

项目	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入使用时间	责任主体及运行机制
	鸟类及其生境	叶片涂装采用非反光材料	风机叶片	采用非反光材料，降低叶片反射率，减少对鸟类视线影响	风电场风机，风机组装时	建设单位、风机生产厂商
海底线缆保护	海底线缆保护措施	施工期设置昼夜醒目标志	按照施工作业区需要设置	预防海底线缆突发事故	位于海底线缆区域的施工区	建设单位落实
	本项目海缆保护	加强局部冲刷观测	工程运行后5年内	防止海缆冲刷掏空	风电场区内	建设单位落实

16.6 综合评价结论及建议

16.6.1 综合评价结论

三峡阳江青洲五海上风电场项目的建设符合我国 21 世纪可持续发展能源战略规划，工程建设能在一定程度上改善了能源结构。工程建设和运行存在的主要环境问题是海洋水质、生态、渔业资源和对鸟类等的不良影响，在落实本报告提出的各项生态环保措施、污染防治措施和环境风险防范措施的前提下，从环境保护角度来看，不存在制约本工程建设的环境因素，工程建设总体可行。

16.6.2 建议

(1) 建设单位应认真落实本报告书提出的各项生态环境保护措施、污染防治措施和环境风险防范措施，认真执行环保措施“三同时”制度，将项目建设对环境造成的不利影响降至最低。

(2) 认真执行施工期的环境监理制度，确保各项环境保护措施和污染防治措施有效运行。

(3) 认真执行建设项目环境影响跟踪监测制度和后评估制度，发现问题，及时采取补救措施，并上报有关管理部门，必要时应停止施工和运营。

(4) 利用风电场海域和风机基础构建大型海洋牧场，结合桩基础布置开展基础人工鱼礁效应的研究和实验，使风电场产出清洁电能的同时，为海洋生物提供营养、健康、安全的生存环境。建议建设单位可针对工程海域多个风电场项目开展相关研究和设计。