

中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程
海域使用论证报告书
(公示稿)

海南近海工程咨询有限公司

(统一社会信用代码: 91460100MA5RCG5H0D)

2024 年 11 月

目 录

摘要	1
1 概述	4
1.1 论证工作由来	4
1.2 论证依据	5
1.3 论证等级和范围	12
1.4 论证重点	13
2 项目用海基本情况	15
2.1 项目建设内容	15
2.2 平面布置和主要结构、尺度	16
2.3 项目主要施工工艺和方法	23
2.4 项目用海需求	51
2.5 项目用海必要性	56
3 项目所在海域概况	60
3.1 海洋资源概况	60
3.2 海洋生态概况	64
4 资源生态影响分析	188
4.1 生态评估	188
4.2 资源影响分析	209
4.3 生态影响分析	214
5 海域开发利用协调分析	218
5.1 海域开发利用现状	218
5.2 项目用海对海域开发活动的影响	221
5.3 利益相关者界定	222
5.4 相关利益协调分析	222
5.5 项目用海与国防安全 and 国家海洋权益的协调性分析	222
6 国土空间规划符合性分析	224
6.1 所在海域国土空间规划分区基本情况	224
6.2 对周边海域国土空间规划分区的影响分析	227
6.3 项目用海与国土空间规划的符合性分析	227
6.4 项目用海与生态保护红线的符合性分析	229
7 项目用海合理性	232
7.1 用海选址合理性分析	232
7.2 用海平面布置合理性分析	238
7.3 用海方式合理性分析	239
7.4 占用岸线合理性分析	241
7.5 用海面积合理性分析	242
7.6 用海期限合理性分析	251
8 生态对策措施	252

8.1	生态保护对策	252
8.2	生态保护修复措施	264
9	结论	268
9.1	项目用海基本情况	268
9.2	项目用海必要性结论	268
9.3	项目用海资源环境影响分析结论	268
9.4	海域开发利用协调分析结论	271
9.5	项目规划符合性分析结论	271
9.6	项目用海合理性分析结论	272
9.7	项目用海可行性结论	272

摘要

1、项目用海基本情况

本项目位于海南省万宁市东部海域，场址水深 60~75m，场址中心离岸距离为 16km，规划面积约 15km²。本期工程拟安装 12 台单机容量 16MW~18MW 海上风力发电机组，其中在场区东南部水深相对较深区域布置 6 台漂浮式样机，在场区西北部水深相对较浅的区域布置 6 台固定式风电机组。项目配套建设 1 座 220kV 陆上升压站，一期工程风电机组发出的电能通过 3 回 66kV 海底电缆直接接入配建的 220kV 陆上升压站。

项目拟申请用海面积为 221.6275 公顷，其中透水构筑物 33.6313 公顷，海底电缆管道用海面积为 187.9962 公顷。项目申请用海年限为 27 年。

2、项目立项情况

项目建设单位为中电建（万宁）新能源有限公司。

3、用海必要性

本风电场风能资源丰富且离岸距离近，水深满足漂浮式基础建设要求，是开展漂浮式风电场建设的优良场址，开发本风电场符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，对于促进地区旅游业，带动地方经济快速发展将起到积极作用。项目的建设涉及了海上风机、海底输电电缆等涉海工程，其中海上风机位于海中，海底输电电缆部分采用埋设海底的方式，这些涉海工程建设均需占用一定的海域，故本项目用海是必需的。

4、规划符合性

根据《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》，项目占用海洋空间功能布局中的海洋开发利用空间和海洋生态保护红线，用海类型为电力工业用海，项目建设符合《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》中海洋开发利用空间和海洋生态保护红线的管控要求。

根据海南省“三区三线”成果，项目 66kV 送出海缆穿越了博鳌-港北海岸防护物理防护极重要区和海南岛东南部重要渔业资源产卵场。项目建设过程中引起的悬浮泥沙含量升高，会对生态红线区造成影响，待施工结束后，影响也随之消失，海底电缆工程建设不改变海域自然属性，通过采取积极有效的污染防治措施，能将悬沙扩散对岸线的影响降至最低。因此，项目建设符合海南省生态保护红线管控的要求。

5、占用岸线情况

项目 66kV 海底电缆登陆将穿越砂质岸线，穿越岸线总长度为 100.1m，实际穿越岸线宽度为 79.2m。项目对岸线的使用方式为底土穿越，不实际占用岸线。

6、利益相关者协调情况

根据项目用海对所在海域开发活动的影响分析结果，本项目涉及的利益相关者为****，同时需要与****、****等相关涉海部门加强沟通与协调。

项目用海不损害国家权益。项目用海属经营性用海，按国家有关规定缴纳海域使用金，所在海域及周边没有国防设施，项目建设、生产经营不会对国防安全产生不利影响。项目用海不涉及领海基点和国家秘密。

7、资源生态影响及生态保护修复措施

由于本项目工程风电为漂浮形式，其引起的流场改变只局限于风机浮体附近的很小范围内，对于大范围海域潮流场的影响很小，因此对于项目区潮流场的改变也很小。风机群所处海域约 60-75 米水深，设计波要素在 10 年一遇以下，最大波高对应波向来自东向。

项目施工过程中引起的悬浮泥沙对水质的影响较小，除了近岸区引起的悬浮泥沙扩散范围顺潮流方向延伸的距离约为 1.9km，其它区域引起的悬沙扩散范围顺潮流方向的延伸距离都小于 1km。因此，近岸区的影响较大，而风机所在海区的影响较小。

项目施工期对鸟类影响较小，运营期的噪声影响、光影响以及占用空间导致的碰撞效应对鸟类的觅食、迁徙影响较小。项目建设对重点保护和珍稀濒危鸟类基本无影响。项目及周边风电场的叠加效应对鸟类影响可控。

项目建设单位拟采取人工放流当地生物物种的生态恢复和补偿措施，缓解和减轻工程对所在海域生态环境的不利影响。应在工程结束后由建设单位在工程影响水域投放海洋生物，从而保护海域生态环境的平衡，人工放流应在渔业部门的监督下进行，放流品种以当地优势种为主，放流地点为工程附近的水域。

8、项目用海合理性

项目海域使用类型为“工业用海”（一级类）中的“电力工业用海”（二级类），用海方式为构筑物（一级方式）中的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）中的海底电缆管道（二级方式）。项目用海方式与用海单元的功能需求相适应，生态影响可控。项目用海方式合理。

项目设计尺度满足项目用海需求，同时符合行业相关技术规范。宗海单元界址点界定、用海面积的量算符合《海籍调查规范》；项目平面布置设计遵循节约用海原则，严格控制用海范围。项目建设后有利于经济发展和产业结构调整，具有良好的社会效益，能够较好地发挥该海域的自然环境和社会优势，项目的建设为海南省海上风电产业建设发挥重要作用。

综上所述，项目用海是合理的。

1 概述

1.1 论证工作由来

2020年9月22日，国家主席习近平在第75届联合国大会一般性辩论上提出，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。2020年12月12日，国家主席习近平在气候雄心峰会上通过视频发表题为《继往开来，开启全球应对气候变化新征程》的重要讲话强调，到2030年，我国风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上。2020年12月16日至18日，中央经济工作会议明确，要加快调整优化产业结构、能源结构，推动煤炭消费尽早达峰，大力发展新能源。2020年底我国风能、太阳能总装机约4.6亿千瓦，为实现2030年风能、太阳能总装机12亿千瓦以上的目标，2020年~2030年平均每年的增量需大于7500万kW。

我国“十四五”规划纲要明确指出，加快发展非化石能源，坚持集中式和分布式并举，大力提升风电、光伏发电规模，加快发展东中部分布式能源，有序发展海上风电。目前我国沿海多省份陆续出台了“十四五”规划，积极谋划海上风电开发，明确进一步扩大海上风电装机规模。数据显示，未来五年内我国海上风电装机将突破30GW。海南省位于我国最南端，环岛海岸线长1910.11km，风能资源丰富，具备开发海上风电场的资源条件，充分利用海南自身优势和海洋资源条件开发海上风电，是全面建设国家生态文明示范区和绿色能源岛的重要支撑。

2021年6月8日，海南省发布了《海南省海洋经济发展“十四五”规划（2021-2025年）》，规划明确提出稳步推进海上风能资源利用。加强全岛及周边海域风能资源勘查，科学有序推进海上风电开发，鼓励发展远海风电。

由于我国近海区域各行业用海需求较高，近海风电总体开发潜力有限，预计“十四五”中后期近海场址资源逐步受限，建设深远海海上风电项目，实现海上风电由近及远发展是必然趋势。为适应未来深远海风电开发的需要，攻坚漂浮式海上风电关键技术成为行业关注重点。在近海固定式风电开发技术条件日趋成熟的情况下，及时开展漂浮式海上风电项目示范性建设，符合产业发展的科学规律。

海南东部海域离岸35km以外水深即达100m以上，漂浮式风电场开发潜力超过2000万kW，开发空间广阔，具备大规模开发漂浮式海上风电的良好条件。海南省100万千瓦漂浮式海上风电示范项目已纳入海南省“十四五”规划，另有400万千瓦

列入国家深远海规划，预计至“十五五”末建成并网 300 万千瓦。

国家能源局综合司于 2022 年 1 月 26 日复函关于海南省海上风电规划，复函明确海南省附近海域海上风能资源条件整体较优，开发建设条件较好，为了加快海南省海上风电产业发展，促进海南省能源结构调整和经济社会发展，实现“双碳”目标任务，支持海南省在做好与国家《“十四五”可再生能源发展规划》衔接的基础上，按照规划科学组织海上风电开发建设。根据《海南省海上风电场工程规划》报告，海南省“十四五”规划 11 座海上风电场址，规划总面积约 1902km²，规模为 1230 万 kW。场址编号为 CZ1~CZ10 和 PFS，场址平均水深位于 11m~90m 之间，离岸距离位于 10km~47km 之间，涉及临高、儋州、东方、乐东、万宁共 5 个地区。

由此，根据海南省海上风电规划，中电建（万宁）新能源有限公司拟在海南省万宁市东部海域建设万宁 100 万千瓦漂浮式海上风电试验项目（PFS）。中电建万宁漂浮式海上风电试验项目总规划装机容量为 100 万 kW，拟分三期建设：一期工程规划装机规模 200MW，二期工程规划装机规模约 400MW，三期工程规划装机规模约 400MW。本项目为一期工程，包括 6 台单机容量为 16~18MW 漂浮式样机和 6 台单机容量为 18MW 的固定式风力发电机组，总装机容量为 200MW，配套建设 1 座 220kV 陆上升压站，风电机组发出的电能通过 3 回 66kV 海底电缆直接接入配建的 220kV 陆上升压站。

根据《中华人民共和国海域使用管理法》、《自然资源部关于规范海域使用论证材料编制的通知》的规定和要求，在中华人民共和国内水、领海持续使用特定海域三个月以上的排他性用海活动，任何单位或个人使用海域，必须依法取得海域使用权。为保证工程项目建设的顺利实施，为了合法、科学、有效地利用海洋国土资源，本项目用海须进行海域使用论证。中电建（万宁）新能源有限公司特委托海南近海工程咨询有限公司就“中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程”用海开展海域使用论证工作。为此，论证单位根据项目工程的现场踏勘、搜索资料、数值模拟、论证分析等资料及有关海域论证工作要求编制了该工程项目的海域使用论证报告书。

1.2 论证依据

1.2.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国海域使用管理法》，全国人大常委会，主席令第 61 号，2002 年 1 月施行；

- (2) 《中华人民共和国环境保护法》，全国人大常委会，主席令第 9 号，2015 年 1 月施行；
- (3) 《中华人民共和国海洋环境保护法》，全国人大常委会，2024 年 1 月 1 日施行；
- (4) 《中华人民共和国海上交通安全法》，全国人大常委会，2021 年 9 月施行；
- (5) 《中华人民共和国港口法》，全国人大常委会，主席令第 5 号，2018 年 12 月施行；
- (6) 《中华人民共和国渔业法》，全国人大常委会，主席令第 25 号，2013 年 12 月施行；
- (7) 《中华人民共和国野生动物保护法》，全国人大常委会，2023 年 5 月 1 日起施行；
- (8) 《中华人民共和国可再生能源法》，全国人大常委会，2010 年 4 月 1 日施行；
- (9) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，全国人大常委会，2020 年 9 月 1 日施行；
- (10) 《中华人民共和国湿地保护法》，全国人大常委会，2022 年 6 月 1 日施行；
- (11) 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，国务院，国务院令 475 号，2018 年 3 月修订；
- (12) 《防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，国务院，国务院令 507 号，2017 年 3 月修订；
- (13) 《防治船舶污染海洋环境管理条例》，国务院，国务院令 561 号，2018 年 3 月修订；
- (14) 《中华人民共和国自然保护区条例》，国务院，国务院令 167 号，2017 年 10 月修订；
- (15) 《国务院办公厅关于沿海省、自治区、直辖市审批项目用海有关问题的通知》，国务院办公厅，国办发〔2002〕36 号，2002 年 7 月 6 日施行；
- (16) 《财政部、国家海洋局关于加强海域使用金征收管理的通知》，财政部、国家海洋局，财综〔2007〕10 号，2007 年 3 月 1 日实施；

- (17) 《自然资源部关于规范海域使用论证材料编制的通知》，自然资源部，2021 年 1 月；
- (18) 《海域使用权管理规定》，国家海洋局，国海发〔2006〕27 号，2007 年 1 月 1 日施行；
- (19) 《海域使用权登记办法》，国家海洋局，国海发〔2006〕28 号，2007 年 1 月 1 日施行；
- (20) 《关于调整海域、无居民海岛使用金征收标准的通知》，财政部、国家海洋局，财综〔2018〕15 号，2018 年；
- (21) 《国家重大海上溢油应急处置预案》，交通运输部，交溢油函〔2018〕121 号，2018 年 3 月；
- (22) 《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》，交通运输部，2021 年 9 月；
- (23) 《国家重点保护野生动物名录》，国家林业和草原局、农业农村部，2021 年 2 月 1 日；
- (24) 《海岸线保护与利用管理办法》，国家海洋局，2017 年 3 月；
- (25) 《水生生物增殖放流管理规定》，农业部，农业部令第 20 号，2009 年 5 月；
- (26) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，国家发展改革委，自 2024 年 2 月 1 日起施行；
- (27) 《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》，国家海洋局，1992 年 8 月 26 日施行；
- (28) 《关于铺设海底电缆管道管理有关事项的通知》，国家海洋局，国海规范〔2017〕8 号，2017 年 5 月 2 日；
- (29) 《海上风电开发建设管理办法》，国家能源局、国家海洋局，国能新能〔2016〕394 号，2016 年 12 月 29 日；
- (30) 《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》，国家海洋局，国海规范〔2016〕6 号，2016 年 10 月 31 日；
- (31) 《国家海洋局关于进一步规范海域使用论证管理工作的意见》，国家海洋局，国海规范〔2016〕10 号，2017 年 12 月 29 日；
- (32) 《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》，自然资源

部，自然资办函〔2022〕640号，2022年4月；

（33）《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》，自然资源部，自然资发〔2023〕234号，2023年11月；

（34）《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资源部、生态环境部、国家林业和草原局，自然资发〔2022〕142号，2022年8月16日；

（35）《自然资源部办公厅关于北京等省（区、市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》，自然资办函〔2022〕2207号；

（36）《自然资源部办公厅关于依据“三区三线”划定成果报批建设项目用地用海有关事宜的函》，自然资办函〔2022〕2072号；

（37）《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》，中共中央办公厅、国务院办公厅，2019年10月；

（38）《海南经济特区海岸带保护与开发管理规定》，海南省人大常委会，2020年2月1日施行；

（39）《海南省人民政府关于印发海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则的通知》，海南省人民政府，琼府〔2022〕22号；

（40）《海南省海洋环境保护规定》，海南省人大常委会，2016年3月31日修订；

（41）《海南省海域使用金征收管理办法》，海南省人民政府办公厅，琼府办〔2002〕22号，2020年4月；

（42）《海南省海域使用权审批出让管理办法》，海南省人民政府，琼府〔2022〕41号，2022年11月16日；

（43）《海南省生态环境厅关于发布〈海南省生态环境分区管控方案（2023年版）〉的函》，海南省生态环境厅，2024年8月；

（44）《海南省生态保护红线管理规定》，2016年7月29日海南省第五届人民代表大会常务委员会第二十二次会议通过，根据2022年5月31日海南省第六届人民代表大会常务委员会第三十六次会议修正；

（45）《海南省人民政府关于印发海南省生态红线准入管理目录（修订）的通告》，海南省人民政府办公厅，琼府办〔2023〕4号，2023年1月17日。

1.2.2 技术标准和规范

- (1) 《海域使用论证技术导则》(GB/T 42361-2023);
- (2) 《海籍调查规范》(HY/T 124-2009);
- (3) 《海域使用面积测量规范》(HY/T 070-2022);
- (4) 《海域使用分类》(HY/T 123-2009);
- (5) 《宗海图编绘技术规范》(HY/T 251-2018);
- (6) 《中国海图图式》(GB 12319-2022);
- (7) 《海洋监测规范》(GB 17378-2007);
- (8) 《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007);
- (9) 《海水水质标准》(GB 3097-1997);
- (10) 《海洋生物质量》(GB 18421-2001);
- (11) 《海洋沉积物质量标准》(GB 18668-2002);
- (12) 《渔业水质标准》(GB 11607-1989);
- (13) 《近岸海域环境监测技术规范》(HJ 442-2020);
- (14) 《船舶水污染物排放控制标准》(GB 3552-2018);
- (15) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》，国家海洋局，2002 年 4 月；
- (16) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007);
- (17) 《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；
- (18) 《珊瑚礁生态监测技术规程》(HY/T 082-2005);
- (19) 《海草床生态监测技术规程》(HY/T 083-2005);
- (20) 《我国近海海洋综合调查与评价专项—海草床调查规程》，国家 908 专项；
- (21) 《岛礁水域生物资源调查评估技术规范》(SC/T 9405-2012);
- (22) 《海洋生物生态调查技术规程》，国家海洋局 908 专项办公室，海洋生物生态调查技术规程 [M]. 北京：海洋出版社，2006:62-64；
- (23) 《水生生物增殖放流技术规程》(SC/T 9401-2010);
- (24) 《生物多样性观测技术导则 鸟类》(HJ 710.4-2014);
- (25) 《声学水下噪声测量》(GB/T 5265-2009);
- (26) 《声环境质量标准》(GB 3096-2008);

- (27) 《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ 2.4-2021);
- (28) 《环境影响评价技术导则 输变电》(HJ 24-2020);
- (29) 《风力发电机组 噪声测量方法》(GB/T 22516-2015);
- (30) 《海底电力电缆输电工程设计规范》(GB/T 51190-2016);
- (31) 《海洋工程地形测量规范》(GB 17501-2017)。

1.2.3 规划与区划

- (1) 《全国海洋功能区划(2011-2020年)》，国务院，2012年4月；
- (2) 《全国海洋主体功能区规划》，国务院，国发〔2015〕42号，2015年8月；
- (3) 《全国海洋生态环境保护规划(2017-2020年)》，国家海洋局，2018年2月；
- (4) 《“十四五”现代能源体系规划》，国家发展改革委、国家能源局，2022年1月；
- (5) 《“十四五”可再生能源发展规划》，国家发展改革委，发改能源〔2021〕1445号，2021年10月；
- (6) 《海南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》，海南省第六届人民代表大会，2021年1月；
- (7) 《海南省海洋经济发展“十四五”规划(2021-2025年)》，海南省人民政府，2021年6月；
- (8) 《海南省主体功能区划(2011-2020年)》，海南省人民政府，2013年12月；
- (9) 《海南省海上风电发展规划》，海南省发展和改革委员会，2022年；
- (10) 《海南省“十四五”能源发展规划》，海南省人民政府办公厅，2021年；
- (11) 《海南省“十四五”生态环境保护规划》，海南省人民政府办公厅，琼府办〔2021〕36号，2021年7月；
- (12) 《海南省国土空间规划(2021-2035年)》，海南省人民政府，2022年12月；
- (13) 《海南省总体规划(空间类 2015-2030)》，海南省人民政府，2017年9月；

(14) 《海南省养殖水域滩涂规划(2021-2030 年)修编》，琼府办〔2022〕1 号，2022 年 2 月 22 日；

(15) 《万宁市养殖水域滩涂规划(2016-2030 年)》(2020 年修编)，万宁市人民政府，2020 年 12 月；

1.2.4 项目基础资料

(1) 《中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程可行性研究报告》，中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司，2024 年 10 月；

(2) 《海南省场址十一海上风电项目海洋环境现状调查(春季)报告》，海南安纳检测技术有限公司，2022 年 7 月；

(3) 《海南省场址十一海上风电项目海洋环境现状调查(秋季)报告》，海南安纳检测技术有限公司，2022 年 12 月；

(4) 《海南万宁漂浮式海上风电工程 2022 年夏季全潮水文观测调查报告》，国家海洋局南海调查技术中心，2022 年 8 月；

(5) 《海南万宁漂浮式海上风电工程 2022 年冬季全潮水文观测调查报告》，国家海洋局南海调查技术中心，2023 年 3 月；

(6) 《海南 PFS 海上风电场声环境和电磁辐射环境现状监测调查报告》，广东海科检测技术有限公司，2022 年 5 月；

(7) 《中电建万宁漂浮式海上风电试验项目电磁噪声对海洋生物影响专题研究报告》，辰源海洋科技(广东)有限公司，2023 年 5 月；

(8) 《中电建万宁 1000MW 漂浮式海上风电试验项目预选路由选择依据说明材料(送审稿)》，中电建海南建设投资有限公司，2022 年 8 月；

(9) 《海南海上风电项目场址 PFS 通航安全影响分析报告(送审稿)》，交通运输部水运科学研究院，2022 年 6 月；

(10) 《万宁漂浮式海上风电试验项目鸟类现状调查及评价专题报告》，海口菴蓄湿地研究所，2023 年 6 月；

(11) 《万宁漂浮式海上风电试验项目路由段珊瑚礁和海草床资源调查与分析报告》，海南大学，2022 年 12 月；

(12) 建设单位提供的有关工程资料。

1.3 论证等级和范围

1.3.1 论证等级

根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》，本项目用海类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类）；根据《海域使用分类》（HY/T 123-2009），本项目用海类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式包括构筑物（一级方式）中的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）中的海底电缆管道（二级方式）。

项目拟申请总用海面积为 221.6275 公顷，其中透水构筑物用海面积为 33.6313 公顷，海底电缆管道用海面积为 187.9962 公顷。根据《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）中关于论证等级判定的依据，本项目透水构筑物用海总面积 ≥ 30 公顷，所有海域论证等级为一级，海底电缆管道所有规模敏感海域论证等级为二级（本项目 66kV 海缆穿越了海南岛东南部重要渔业资源产卵场和博鳌-港北海岸防护物理防护极重要区）。根据“同一项目用海按不同用海方式、用海规模所判定的等级不一致时，采用就高不就低的原则确定论证等级”，判定本项目的论证等级为一级。

表 1.3.1-1 本项目用海论证等级判定依据

用海单元	一级用海方式	二级用海方式		判定依据	本项目用海规模	所在海域特征	论证等级
风机	构筑物	透水构筑物		构筑物总长度大于（含）2000m 或用海总面积（含）30 公顷	用海面积为 33.6313 公顷	所有海域	一
海底电缆	其它方式	海底电缆管道	海底电（光）缆	所有规模	用海面积为 187.9962 公顷	敏感海域	二
						其他海域	三

注：引自《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）的表 1。

1.3.2 论证范围

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023），论证范围应依据项目用海情况、所在海域特征及周边海域开发利用现状等确定，应覆盖项目用海可能影响到的全部区域。一般情况下，论证范围以项目用海外缘线为起点进行划定，一级论证向外扩展 15km，海底管道等线性工程项目用海的论证范围划定依据为一级论证每侧向外扩展 5km。结合本项目用海特点、周边海域开发利用现状以及项目工程实施可能影

响的范围，确定项目论证范围以项目场址包络线为基准，分别向北、向东、向南外扩15km。论证范围见。论证范围边界点坐标见图 1.3.2-1，论证范围面积约 1081.75km²。

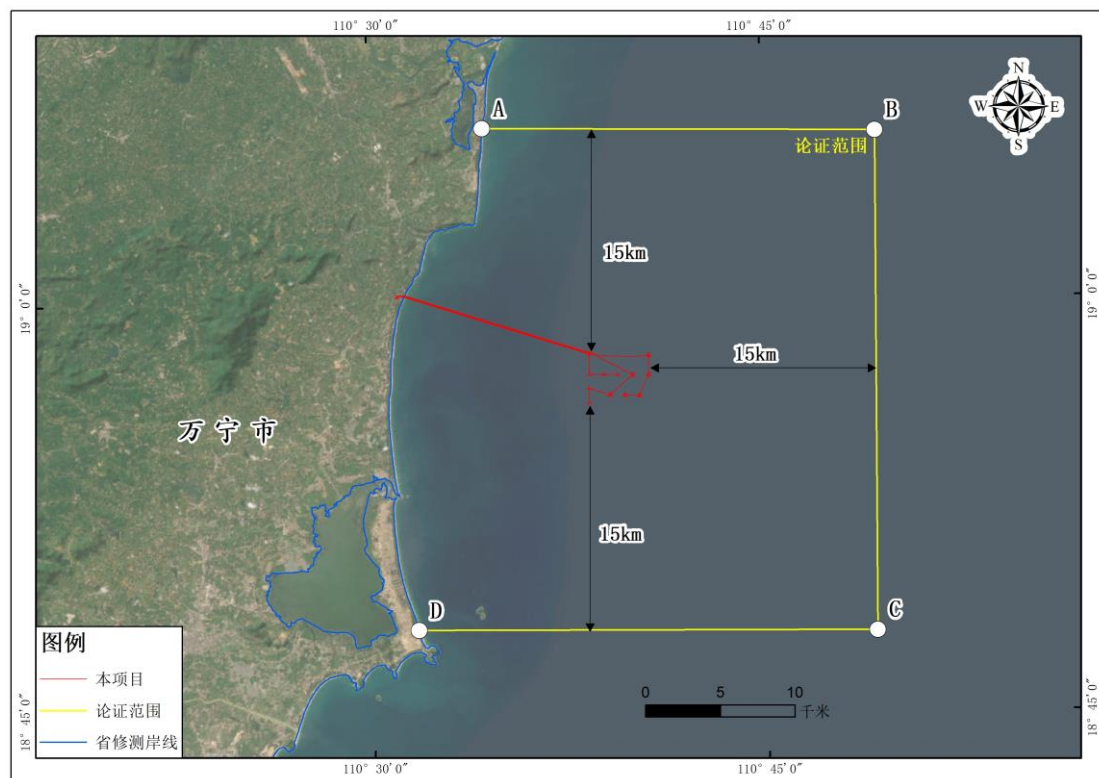


图 1.3.2-1 论证范围图

表 1.3.2-1 论证范围边界控制点坐标

编号	东经	北纬
A		
B		
C		
D		

1.4 论证重点

本项目用海类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式包括构筑物（一级方式）中的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）中的海底电缆管道（二级方式）；论证等级为一级。根据《海域使用论证技术导则》中的海域使用论证重点（表 1.4-1），结合项目具体情况确定论证重点如下：

- （1）项目用海必要性分析；
- （2）项目用海选址合理性；
- （3）项目平面布置、用海方式、用海面积合理性分析；
- （4）海域开发利用协调分析；
- （5）项目资源生态影响分析；
- （6）项目生态用海对策措施

表 1.4-1 海域使用论证重点

海域使用类型			论证重点							
			用海必要性	选址(线)合理性	平面布置合理性	用海方式合理性	用海面积合理性	海域开发利用协调分析	资源生态影响	生态用海对策措施
工矿 通信 用海	可再生能 源用海	海上风电用海，包括风电场、风机座墩和塔架、平台、升压站、输电电缆等的用海	▲	▲	▲	▲			▲	▲
	海底电 缆管 道用海	海底缆线用海，包括埋(架)设海底输电电缆、通讯光缆的用海		▲			▲	▲		

2 项目用海基本情况

2.1 项目建设内容

- (1) 项目名称：中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程
- (2) 项目性质：新建
- (3) 投资主体：中电建（万宁）新能源有限公司
- (4) 投资额度：项目工程总投资***万元，涉海工程投资****万元。
- (5) 地理位置：本项目位于海南省万宁市东部海域，场址水深 60~75m，场址中心离岸距离为 16km，规划面积约 15km²。项目地理位置见图 2.1。

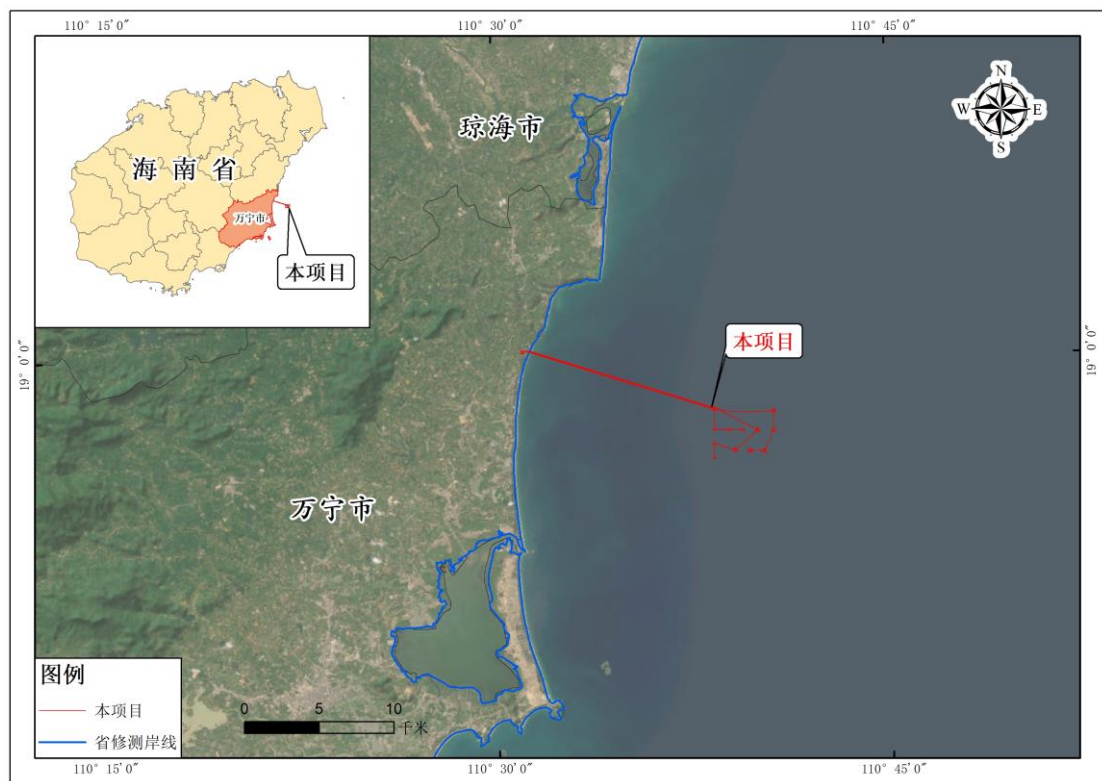


图 2.1 项目地理位置图

(6) 项目建设内容

本期工程拟安装 12 台单机容量 16MW~18MW 海上风力发电机组，其中在场区东南部水深相对较深区域布置 6 台漂浮式样机，在场区西北部水深相对较浅的区域布置 6 台固定式风电机组。项目配套建设 1 座 220kV 陆上升压站，一期工程风电机组发出的电能通过 3 回 66kV 海底电缆直接接入配建的 220kV 陆上升压站。

表 2.1 主要涉海工程建设内容一览表

工程名称	风电发电机组/台	集电海缆/km	备注
中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程	12	58.45	风力发电机组包括 6 台漂浮式样机，6 台固定式风机。 风电机组发出的电能通过 3 回 66kV 海底电缆直接接入配建的 220kV 陆上升压站

2.2 平面布置和主要结构、尺度

2.2.1 总平面布置

本项目位于海南省万宁市东部海域，场址水深 60~75m，场址中心离岸距离为 16km，规划面积约 15km²。拟安装 12 台单机容量 16MW~18MW 海上风力发电机组，其中在场区东南部水深相对较深区域布置 6 台漂浮式样机；在场区西北部水深相对较浅的区域布置 6 台固定式风电机组。项目配套建设 1 座 220kV 陆上升压站，一期工程风电机组发出的电能通过 3 回 66kV 海底电缆直接接入配建的 220kV 陆上升压站。

图 2.2.1-1 工程总平面布置图

图 2.2.1-2 项目总平面布置示意图（叠加水深）

2.2.2 风电机组

2.2.2.1 风电机组平面布置

本项目拟安装 12 台单机容量 16MW~18MW 海上风力发电机组，其中在场区东南部水深相对较深区域布置 6 台漂浮式样机，选用 16MW 及以上大容量机组；在场区西北部水深相对较浅的区域布置 6 台固定式风电机组，单机容量为 18MW。

表 2.2.2-1 漂浮式风机技术参数

风机型号	-	EW252-16000	WD260-16000	WTG260-18000	WTG262-17000
额定功率	MW	16	16	18	17
类型	-				
风轮直径	m				
轮毂直径	m				
扫风面积	m ²				
切入风速	m/s				
切出风速	m/s				
IEC 等级	-				
运行环境温度	°C				
生存环境温度	°C				
设计寿命	年				

表 2.2.2-2 固定式风机技术参数

项 目	单位	机型
机型		MySE18-292
轮毂高度	m	169.9
基础型式		导管架
额定功率	kW	18000
功率调节		
转轮直径	m	
风轮扫风面积	m ²	
单位千瓦扫风面积	m ² /kW	
切入风速	m/s	
额定风速	m/s	
切出风速	m/s	
极端(生存)风速(3s 极大值)	m/s	
极端(生存)风速(10min 最大值)	m/s	

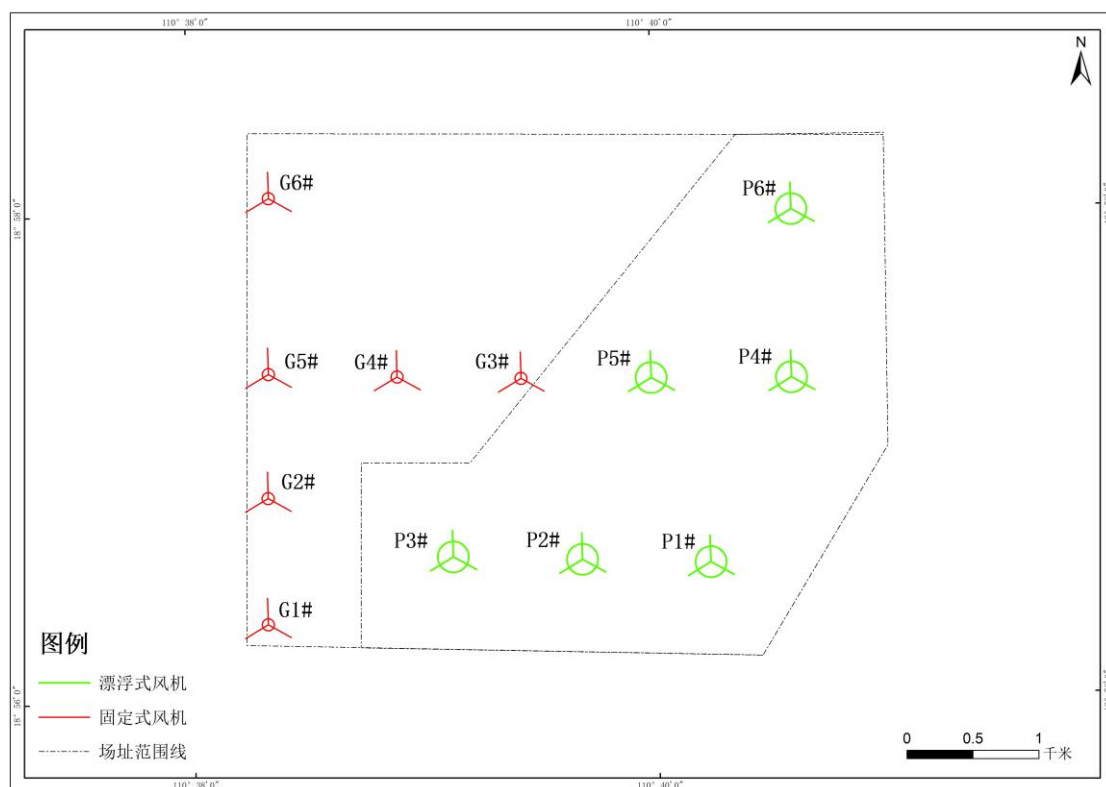


图 2.2.2-1 风电机组平面布置示意图

2.2.2.2 风机基础结构

(1) 漂浮式风机

a) 基础浮体

本项目漂浮式风机基础浮体采用两种半潜式结构：A 型浮体和 F 型浮体。其中 P1#~P5#机位采用 A 型浮体，P6#机位采用 F 型浮体。两种构型的基础浮体满足稳性规范要求 and 总体性能指标，主体结构单位兆瓦用钢量小于 350t。

A 型浮体为三立柱结构，下连梁和上连梁采用三角形结构布置，风机布置在边立柱上。

表 2.2.2-3 A 型浮体主尺度

搭载风机			
三立柱跨距(m)			
主立柱直径(m)			
垂荡舱直径(m)			
下连梁宽度(m)			
上连梁高度(m)			
浮式基础吃水深度(m)			
浮式基础高度(m)			
浮式基础总排水量(t)			



图 2.2.2-2 A 型浮体典型构型设计

图 2.2.2-3 A 型基础浮体总体布置图

F 型浮体为四立柱结构，三根边立柱通过上连梁和下连梁直接与中心立柱相连，风机布置在中心立柱上。F 型浮体边立柱采用往外倾斜的结构布置。F 型基础浮体搭载 18MW 风机。

表 2.2.2-4 F 型浮体主尺度

参数	数值
边垂荡舱高度(m)	
边垂荡舱半径(m)	
边立柱高度(m)	
边直立柱高度(m)	
边立柱倾角(°)	
边立柱短边半径(m)	
中心立柱高度(m)	
中心立柱半径(m)	
吃水(m)	
下连梁宽度(m)	
下连梁高度(m)	
排水量(t)	

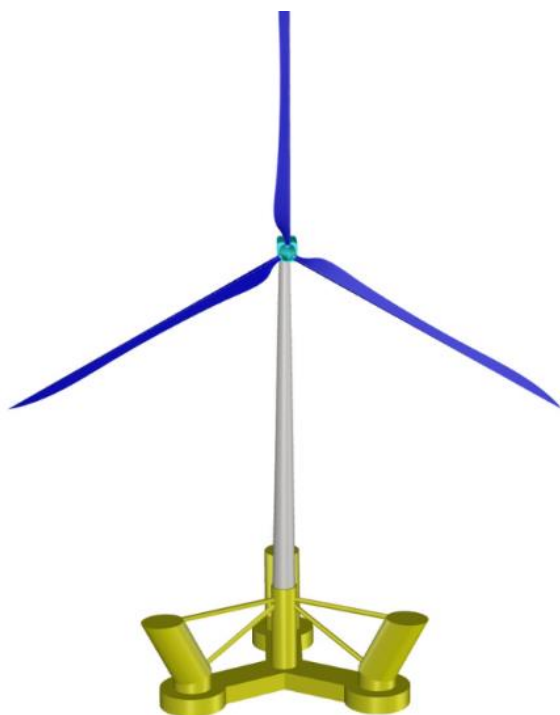


图 2.2.2-4 F 型浮体构型设计

图 2.2.2-5 F 型基础浮体总体布置图

b) 系泊系统

本项目采用悬链线系泊系统。A 型和 F 型浮体系泊系统均采用 8 根系泊缆，风机侧立柱布置 3 根，非风机侧立柱分别布置 2 根和 3 根，系泊半径约为 700m，长度为 675m，采用 R4-152 无档系泊链。系泊系统整体布置在考虑风浪主方向、风机布置和动态电缆布置的基础上，基于平均偏移及最大偏移、系泊索张力、系泊索长度以及锚固系统的承载力等设计标准开展设计。开展系泊系统极限工况、正常发电工况、自存工况及疲劳工况分析，获得了各工况下浮体、系泊系统、机舱的最大响应值。通过极限工况分析，可知系泊系统在极限海况下具有足够的安全性能；通过正常发电工况分析，可知浮体可满足正常发电工况风电机组对浮体的运动稳定性要求；通过自存工况分析，可知系泊系统在自存工况下满足安全性要求，并不会发生灾难性后果；通过疲劳工况分析可知系泊系统在长期循环载荷作用下具有足够的安全性。综合所述，本工程系泊系统满足规范要求，具有足够安全性与可靠性。

图 2.2.2-6 系泊系统布置图

C) 锚固基础

本工程系泊系统采用桩锚，直径 3.0m，钢管桩平均桩长约为 52m，平均入土深

度约为 52m，钢管桩壁厚 40-80mm，桩端进入砂土层。

图 2.2.2-7 桩锚结构图

(2) 固定式风机

固定式风机区域平均水深为 61m，拟安装 6 台单机容量为 18MW 固定式海上风力发电机组。本工程海域水深较深，结合本工程的地形地质和海洋水文特点及国内海洋工程、港口工程施工能力，从结构安全性、施工和工程经济性等方面进行比较，本阶段采用导管架基础方案作为风机基础方案。

导管架基础结构型式为：导管架基础过渡段结构将军柱外径 9.5m，基础顶法兰高程约为 24.1m。四桩导管架基础用 4 根钢管桩定位于海底，4 根桩呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础。导管架承受波浪、海流荷载风机荷载及风机塔架传递的风荷载，并将荷载传递给 4 根垂直打入海底的钢管桩。桩基中心距为 32.0m，桩径 3.8m，钢管桩平均桩长约为 78.0m，平均入土深度约为 72.0m。导管架布置 4 层斜撑杆，上部为边长 14.0m 的平台。

图 2.2.2-8 固定式风机基础结构图

2.2.3 海底电缆

由于本项目采用漂浮式风机型式，需要采用动态海缆进行集电线路连接。由于漂浮式基础的运动以及波浪流的影响，动态海缆将承受长期往复的拉伸弯曲载荷，极易发生拉伸、弯曲或者疲劳破坏，因此动态海缆在结构设计上，需要充分考虑环境载荷所带来的影响。动态海缆与静态海缆的主要区别是采用抗水树绝缘材料，进而取消了铅套的使用。铅套的抗疲劳性能较差，在长期应用过程中，极易发生断裂，造成电缆损坏。

本工程风机与风机之间距离较短，若采用动态海缆加静态海缆的方式，在静态海缆两端需加动态海缆至静态海缆的转换接头，该转换接头目前费用在五六十万/个水平，增加两个转换接头的费用远超过把动态缆换成静态缆的费用，而且增加转换接头对比整根海缆可靠性较差，因此，从经济上与运行可靠性上考虑，风机与风机之间采用全动态海缆；登陆段海缆距离较长，全段采用动态缆，费用较高，为节省投资，采用动静态海缆结合的方式。动态缆海床段与静态缆拟采用直埋和覆盖相结合的方式。风机动态缆沿主洋流方向布置，与锚链角度按大于 30 度进行配合，以减少相互之间干涉。

本工程 66kV 动态海缆选用交联聚乙烯绝缘、铜丝屏蔽、分相聚乙烯护套、统包聚乙烯护套、双层粗圆钢丝铠装、聚乙烯挤包外护套光电复合三芯动态海缆。66kV 静态海底电缆选用交联聚乙烯绝缘、铅套屏蔽、分相铅护套、钢丝铠装、光电复合三芯海底电缆。

2.3 项目主要施工工艺和方法

本项目主要包括 6 座漂浮式海上风电机组、6 座固定式海上风电机组、66kV 场内集电海缆等施工内容。各项主要工程规模如下：

漂浮式风电机组：本项目包括 6 台单机容量为 16MW~18MW 漂浮式海上风力发电机组，风机基础推荐采用半潜式基础。

固定式风电机组：本项目包括 6 台单机容量为 18MW 固定式海上风力发电机组，风机基础推荐采用四桩导管架基础形式。

66kV 场内集电海缆：风电场场内采用电压等级为 66kV 的光电复合海缆。

2.3.1 固定式风电机组施工

2.3.1.1 风电机组基础施工

本风电场风机基础采用四桩导管架基础方案，共 6 台。采用四根直径为 3.8m 钢管桩，钢管桩平均桩长约 78m，每根钢管桩重量约 319t。钢管桩和上部塔筒采用导管架连接段连接，导管架重量约为 2700t。根开为 32m。

（1）钢结构加工及制作

1) 导管架的加工与制作

导管架结构及钢管桩均为直径及钢板厚度较大的焊接结构，结合施工技术条件，导管架各管节均采用自动埋弧焊焊接而成，管节卷板、焊接与钢管桩制造相同。在下料车间完成下料，各构件运输至小件制造区制造成小部件。在导管架拼接场地利用门机将拼接成体，并焊接牢固，做完部分喷涂。

四桩导管架防腐方案为外表涂层、预留腐蚀余量和外加电流保护防腐。导管架筒体等结构卷制完成后进行打砂处理，而后即进入涂装车间完成喷涂，组拼后焊缝附近涂装采用临时搭设工棚内进行补充喷涂。

在导管架拼装场地利用门机先将导管架下部拼成单片，上部拼成整体，与钢管桩连接部分也拼成整体，焊接牢固并喷涂防腐漆，此过程应在保证在室内操作。再设置组装胎架，借助组装胎架安装两个片体，并进行横向连接安装和焊接，最后安装导管

架上部塔筒底座。



图 2.3.1-1 导管架主体加工示意图



图 2.3.1-2 导管架过渡段加工示意图

2) 钢管桩制造

本工程钢管桩需求量很大，钢管桩制作采用常规的直缝加工制作工艺基，其加工工艺如下图。

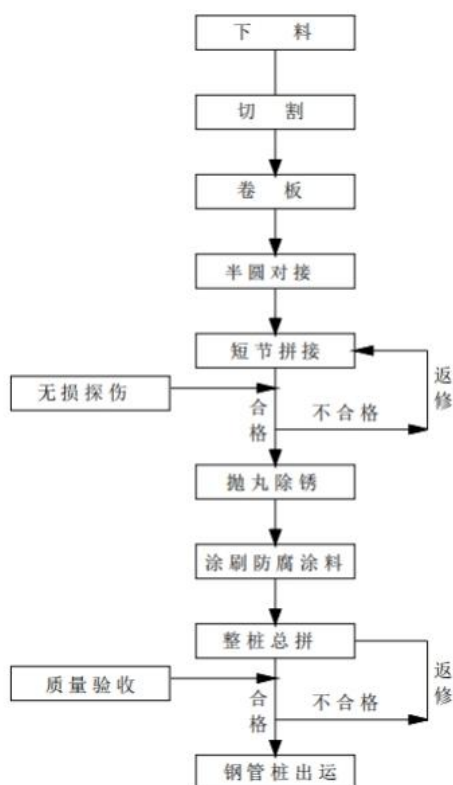


图 2.3.1-3 钢管桩加工制作工艺流程图

(2) 基础钢结构运输

1) 导管架运输

① 场内运输

完成建造的导管架在场内采用龙门吊配合轨道、台车进行运输；导管架在码头前沿通过 SPMT(模块车)装船并采取可靠措施固定。

② 场外运输

本工程四桩导管架空间尺寸为 $32.0 \times 32.0 \times 86.1\text{m}$ ，重约 2700t。导管架场外运输利用 15000t 级及以上运输船进行，每次装载 2 台，运输船将导管架运送至风电场安装。



图 2.3.1-4 导管架运输示意图

2) 钢管桩运输

钢管桩在加工厂生产完并经验收合格后，利用龙门吊或台车运至码头前沿进行出运，利用设置在出运码头的回转吊、履带吊或起重船进行装船，单根钢管桩直径为 3.8m，最大桩长为 78m，桩重约为 319t。运输采用 10000t 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。钢管桩应合理堆放，避免运输途中相互碰撞产生局部挤压变形和相互摩擦导致防腐涂层破损。

(3) 测量工程

风机基础施工项目为外海施工作业项目，施工区域远离海岸线，常规测量无法直接进行作业，采用 GPS 定位技术进行测量控制，拟在风电场内设置测量 GPS 基站，覆盖到整个施工区域。测量仪器主要采用高精度的 GPS 测量仪器，全站仪、经纬仪、水准仪及激光扫平仪器为辅助测量仪器。

主要施工测量的内容为：导向架平台定位测量、导向架平台水平度测量、钢管桩垂直度控制、钢管桩标高控制等。

(4) 沉桩施工

沉桩施工工艺如下。

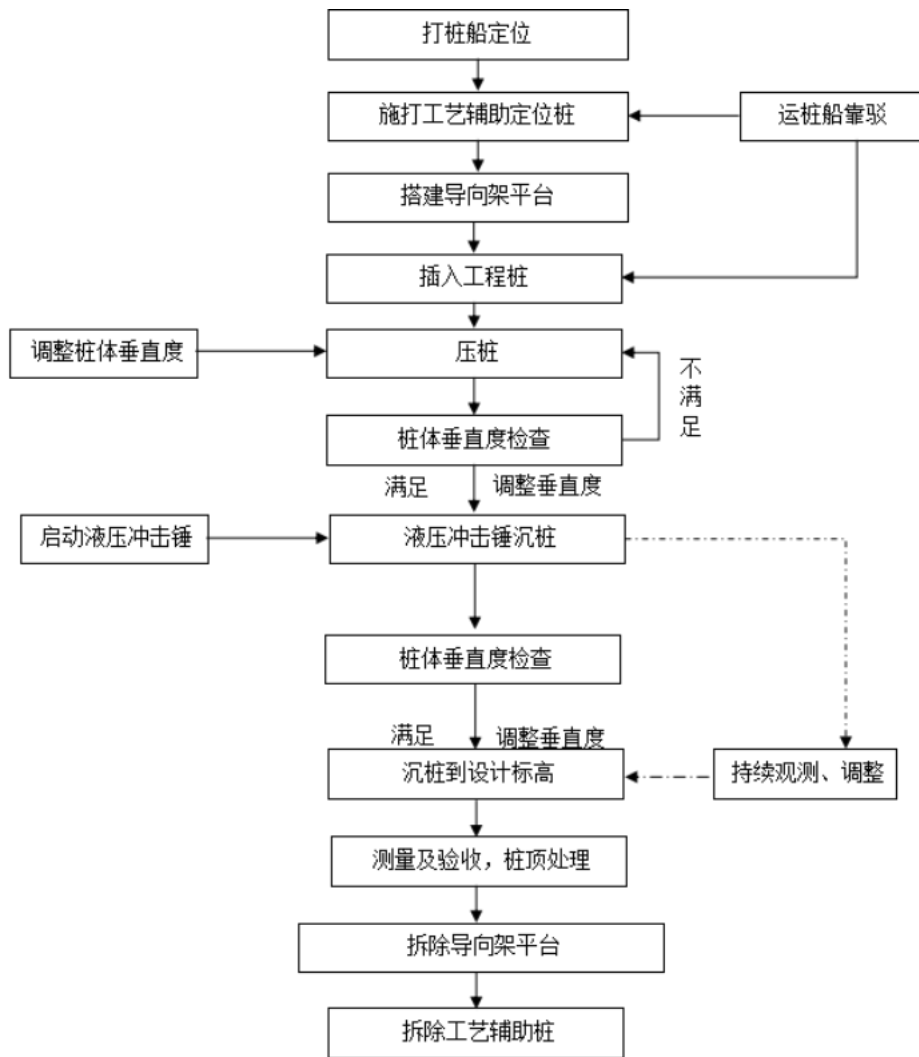


图 2.3.1-5 钢管桩沉桩施工工艺图

主要施工步骤：

①作业船抛锚、定位和安装导向架

本工序需要在外海施工，打桩船抛锚采用八字形式，在抛锚位置处挂浮筒。

沉桩施工采用设置工艺辅助桩及导向架的方式来保证钢管桩沉桩的质量控制，通过打设工艺辅助桩保证导向架的稳定，在工艺导向架上设置四个 GPS 控制点及两台测倾仪，并通过设置在定位导向架上的液压调平装置进行工艺定位架的调平来保证同机位的钢管桩的桩位平面位置及垂直度。

工艺辅助桩顶部设置整体式工艺定位架，导向架主体结构以管件为主，主要由 4 根辅助桩套筒（桩套筒内径比设计钢管桩直径大 20cm）、4 根工程桩限位套筒及桁架组成。顶层平台、防沉平台以板架为主。四桩导管架基础沉桩施工时设置 4 根工艺辅助桩周转使用。工艺定位导向架施工如下图所示。

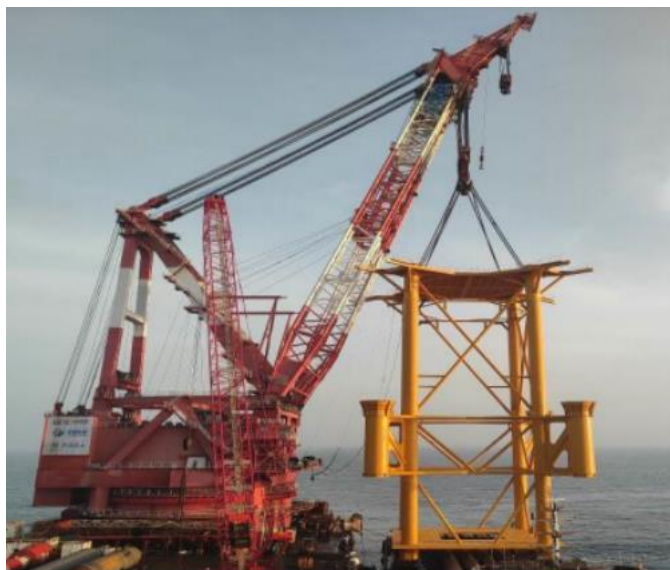


图 2.3.1-6 工艺定位导向架施工示意图

②沉桩

工程桩起吊翻桩：工程桩的翻身起吊采用起桩器配合主作业船副钩的方式进行吊装。起吊起桩器翻转，使起桩器夹具口呈水平状态。起桩器置于桩顶处，牵引起桩器，使桩顶套入起桩器夹口内。启动起桩器夹具，夹紧钢管桩。吊机缓慢起钩，使桩顶缓缓离地，吊机大臂随着钢管桩的起吊缓慢转动（或变幅），避免钢管桩在翻身过程中大幅滚动，待钢管桩竖直并稳定后，吊机起钩，使钢管桩脱离翻桩器。



图 2.3.1-7 起桩器安装示意图

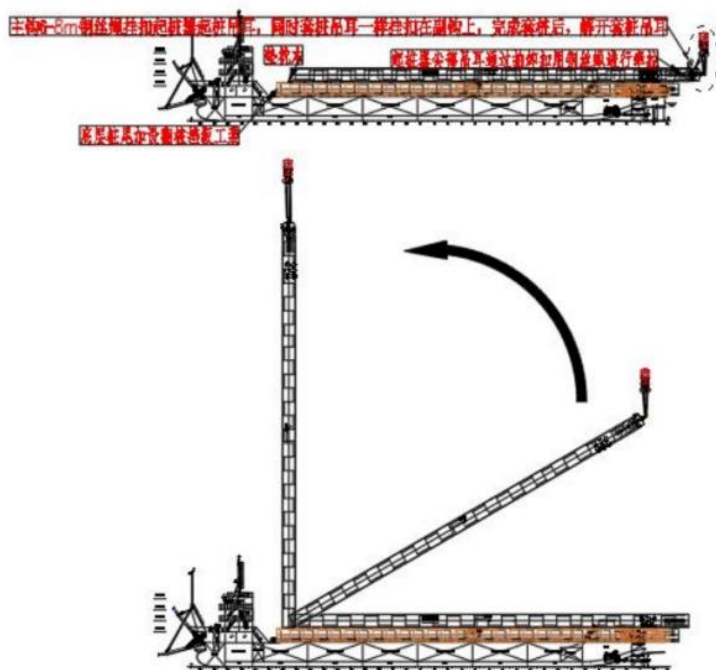


图 2.3.1-8 工程桩翻桩示意图

定位架插入工程桩：工程桩竖向起吊完成，主力浮吊通过吊机回转将工程桩插进定位架桩套筒，定位架桩套筒上顶部杯口位于水面以下，工程桩插桩时利用水下 ROV 观测进行导向插桩，当钢管桩进桩套筒后，主力浮吊缓慢松钩直至钩头不带力，插桩过程中，吊机需注意钩头吨位变化。钢管桩顺利插入、完成自沉后，松开起桩器夹具，移除起桩器。

液压冲击锤沉桩：采用起重船吊液压冲击锤，钢管桩完成插桩后，吊机主钩挂送桩器，副钩挂冲击锤，同时起吊。先将送桩器有效插入钢管桩内。吊机向外变幅，将冲击锤套入已安装好的送桩器顶压桩，至主钩钩头不带力，冲击锤顶卸扣呈约 45° 角状态，启动冲击锤，开始沉桩。

③钢管桩顶部预处理

本工程地质条件较复杂，且桩顶标高偏差需控制在 50mm 内，可能会出现部分高桩，因此钢管桩要在安装基础钢结构标高位置进行切割处理。已沉至设计标高的钢管桩桩顶位于水面以下较深位置，且后续上部导管架的吊装间隔时间较长，为防止船舶锚泊时锚缆损伤已沉钢管桩，需对已沉所有钢管桩设置警戒标志，确保已沉钢管桩安全。已沉钢管桩长时间浸泡海底，钢管桩内壁会生长部分海生物，后续导管架吊装前清理钢管桩内壁海生物较为困难，且影响后续灌浆质量，因此需考虑预防海生物方案。

综上所述，拟用桩顶盖板、防海生物网、钢丝绳缆、锚浮标组合体的形式对已沉钢管桩进行警戒及防海生物保护。

④测量、验收

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

（5）导管架安装

四桩导管架基础主要分为上部导管架和基础工程桩两部分，导管架通过接缝灌浆的形式与基础工程桩连成整体，结构示意图如下。



图 2.3.1-9 四桩导管架基础结构示意图

主要施工工艺如下：

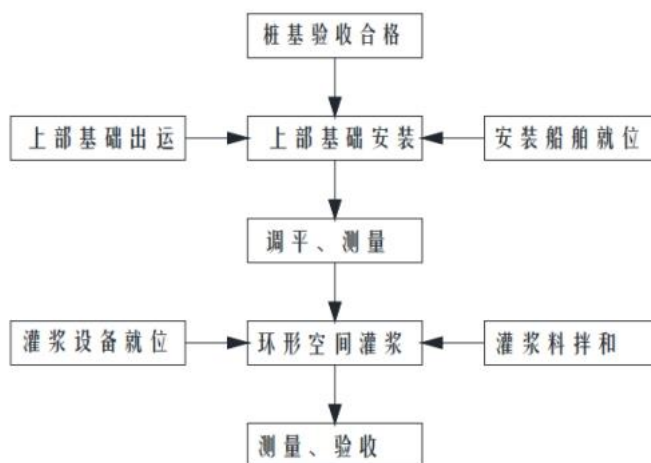


图 2.3.1-10 导管架结构施工工艺流程图

①导管架海上吊装及调平施工

起重船、运输船分别抛锚就位→竖直起吊导管架结构，运输船起锚驶出，工作船驶入、锚泊就位→工作船安装监控仪，起重船下放导管架→通过监控及工作船上揽风控制导管架位置，将导管架钢筒体插入钢管桩→验收合格后，对导管架进行初步固定，完成导管架吊装。导管架安装时跨距按 45m 考虑，导管架最大高度为 86.1m，吊索具长度 15m，起重船与运输船甲板高差按 10m 考虑，运输工装高度 2m，则起吊时所需吊高为 93.1m，因此导管架吊装时起重船距回转中心半径 45m 的全回转起重能力需大于 3000t，吊高需大于 93.1m，根据国内船机资源调研起重能力 4500t 及以上的浮式起重船基本满足施工需求。

②灌浆施工

导管架吊装完成后，灌浆工作立即开始→利用预留注浆管道，向灌浆段腔体底部压注清水，冲洗灌浆腔体→连接注浆管，向底部灌注高强灌浆材料→通过监控，当灌浆溢流孔有浓浆溢出，即可完成灌浆→灌浆材料强度达标后，方可进入下一工序。

2.3.1.2 风电机组安装

本阶段采用分体安装方案。主要施工步骤如下。

（1）风机部件组装

在陆上或者自升式风机安装船上完成塔筒、机舱、轮毂、叶片等主要部件的预组装，对于塔筒，可先安装好内部电气设备，再将各段塔筒分段运输安装。对于其余部件，一种方式为将轮毂、三个叶片形成风轮组合体，最终形成风轮组合体、塔筒、机舱三大部分；另一种方式为将机舱、轮毂先整拼成组合体，剩余塔筒、三支叶片。本工程拟采用机舱轮毂组合体和单叶片吊装模式。

（2）风机海上运输

风机预拼装后通过平板驳船运输至工程现场。

（3）自升式风机安装船就位

就位前，首先施工前对海底进行扫测，如果发现障碍物，要视具体情况采取措施进行清障。同时，考虑到插桩船工作特性，需提前对船组就位区域附近的地质进行勘测，确保插桩船具备良好的施工条件。作业船组移至机位附近进行精确就位。就位后，所有风机部件的吊装施工均需根据天气预报选择在天好天气条件下进行。连续依次安装完成一组风机的所有部件。风机部件吊装时应严格按制造商提出的具体要求进行

吊点布设，吊索具应根据其要求并结合吊装件的吊高、吊距及吊机的钩头等情况，并经认真计算后设置。在可能的情况下，可在各部件之间的连接处设置临时导向定位装置，以便于部件的就位安装。自升式风机安装船航行至风机基础附近，选择合适的地点就位、桩腿预压、入泥下沉、顶升、平稳等工序。

（4）风机设备海上安装

塔筒吊装：自升式风机安装船主钩依次将各段塔筒吊起，完成吊放及连接固定。对于竖直摆放的塔筒，可直接在驳船甲板连接吊具，将其吊起进行与风机基础顶端法兰的安装，如塔筒躺运在驳船甲板，则需利用主吊和辅吊将塔筒翻身，摘除溜尾吊具后，继续将塔筒吊装至机位。

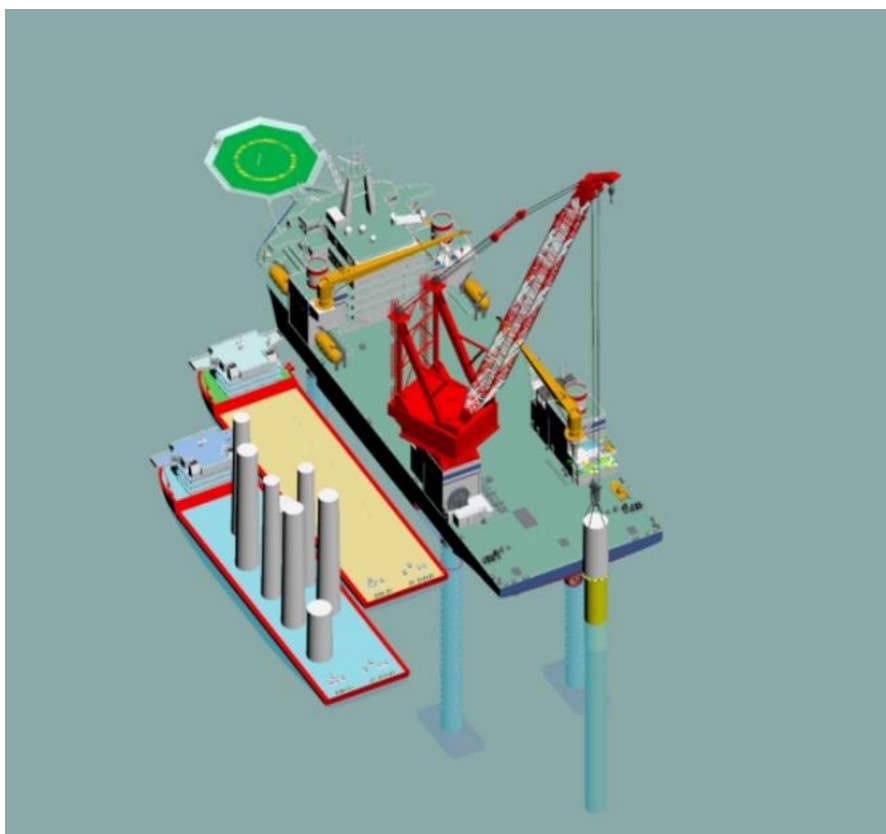


图 2.3.1-11 自升式风机安装船安装塔筒三维图



图 2.3.1-12 塔筒吊装



图 2.3.1-13 塔筒翻身

机舱、轮毂吊装：在完成风机最后一段塔筒的安装后，自升式风机安装船将进行机舱、轮毂安装。施工示意图如下。

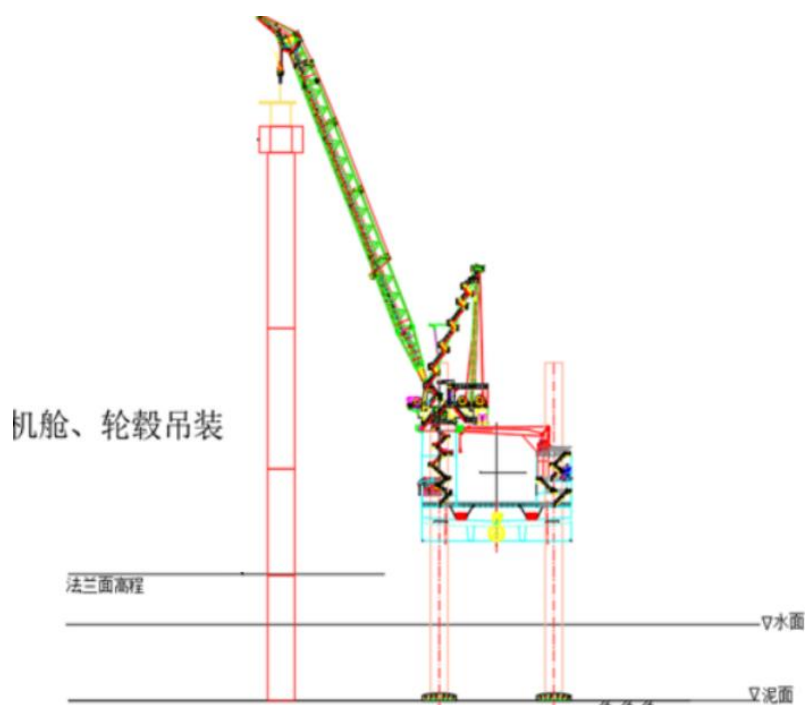


图 2.3.1-14 机舱轮毂吊装示意图

叶片安装：此阶段暂考虑单叶片吊装方案，项目实施过程中视现场情况可能采用叶轮吊装方案。

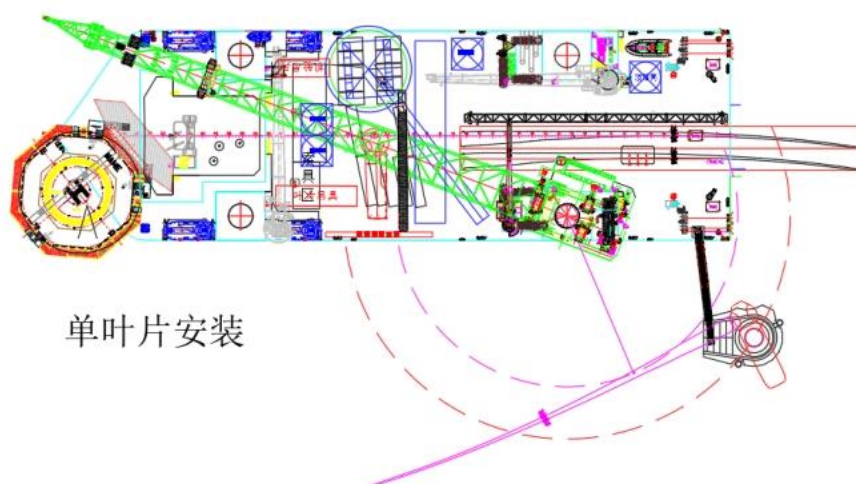


图 2.3.1-15 叶片吊装-安装示意图

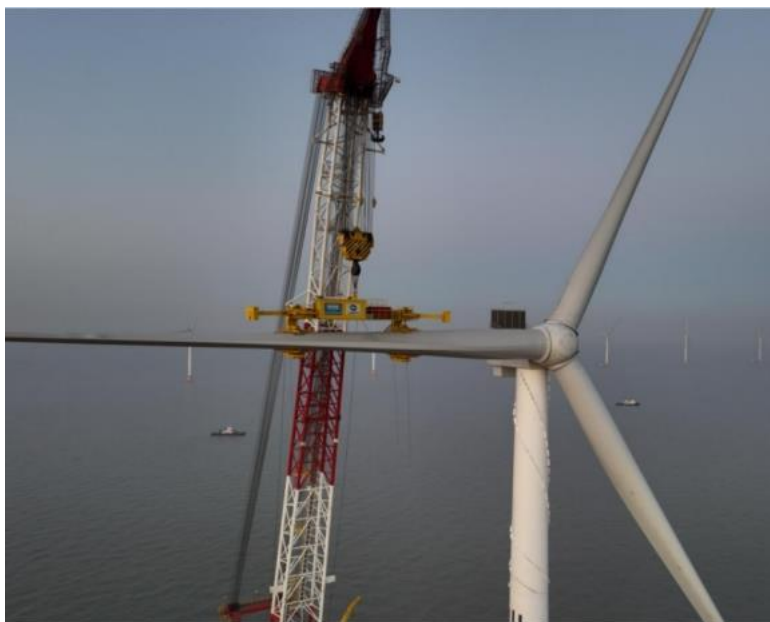


图 2.3.1-16 单叶片吊装

（5）风机安装船

本过程以机舱吊装为关键步骤，机舱高度为 170.1m。根据此吊装要求，考虑吊具、吊绳长度等因素，需选择额定吊重 1200t 以上，最大可吊为 185m(距离水面高度)的自升式风机安装船。本项目固定式风机机位最大水深约为 62m，本场址地质条件较好，表层土为①黏质粉土、②粉质黏土、③黏质粉土，桩腿插深按 12m 考虑，气隙按 20m 考虑、船舶型深按 10m 考虑，桩腿抬升框架高度按 25m 考虑，因此满足本项目吊装的自升式风机安装船需符合主钩起升高度 $\geq 155\text{m}$ ，且桩腿长需满足最短长度要求 $\geq 129\text{m}$ 。

风机安装过程需注意：

- 1)应在气象条件和海况条件允许情况下进行风机设备陆域组装和运输、船舶定位等前期和准备工作；
- 2)各结构的吊装过程中应提前安排好参加结构连接的施工人员，每完成一次吊装必须经检验确认合格后才能进行下一设备的吊装作业。
- 3)由于风速是影响风力发电机组安装的主要因素，因此应与当地气象部门密切联系，并且在现场设置风力测站，以便现场施工人员做出可靠判断，确保风力发电机组安装顺利进行。

2.3.2 漂浮式风电机组施工

2.3.2.1 浮体建造、下水和运输

漂浮式平台体型及重量均较大，在钢构厂厂房内完成钢板号料、切割、卷制等工

序，在制作厂进行干地拼装，完成总装后下水调试。主要加工工艺流程如下。

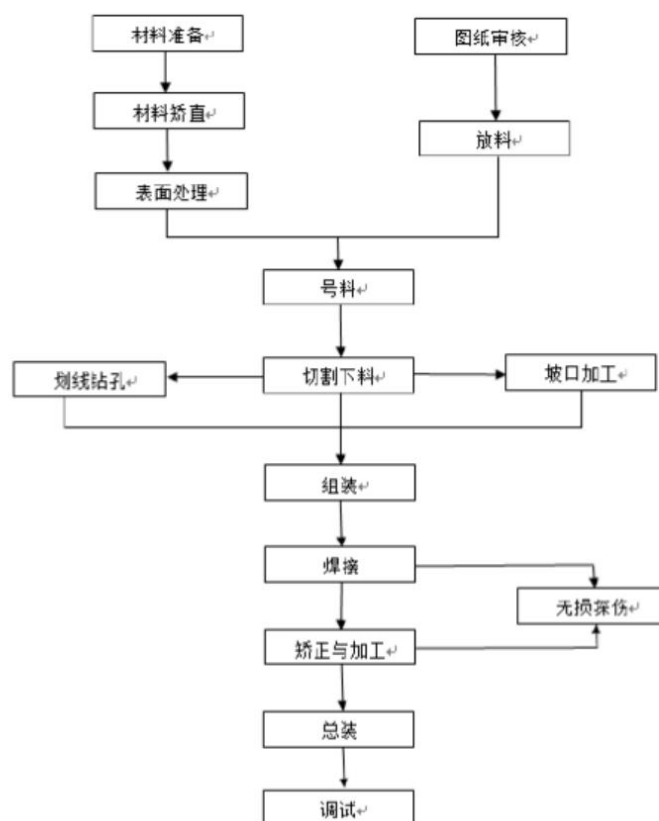


图 2.3.2-1 基础平台制作流程图

待平台下水试验和压载系统调试完成后，在水位满足浮式基础平台吃水要求时进行滚装下水。

滚装下水作业流程如下：漂浮式风电平台在总装场地组装焊接交验后，在三个浮箱底部放置适量的模块车顶起风电平台，沿重载滑道滚装至顺靠在码头的半潜驳上，半潜驳与码头之间沿运输路线预先铺设适当的钢板或跳板做为过桥，半潜驳上提前放置好适量的坞墩用于支撑风电平台，风电平台到位后落墩，模块车下船，然后将平台使用缆绳临时固定在半潜驳上。四艘拖轮分别系固在半潜驳船首尾及舷侧，解除半潜驳靠岸侧缆绳。将半潜驳拖至指定的下水区域，抛锚定位半潜驳船，拖轮解缆。半潜驳船按压载方案加压载水逐步下潜，平台漂浮后缓慢放松与半潜驳的临时缆绳，直至平台底部与坞墩顶部达到一定距离，拖轮驶入并与平台系牢，然后解除风电平台与半潜驳的临时缆绳。最后将平台拖至码头带缆，平台下水工程结束。

浮体的运输方式分为两种类型：干拖运输和湿拖运输。本期工程采用湿拖运输方案。湿拖运输则是由几条拖轮共同拖带平台运输至目标地点。目前的海洋工程项目中，结构主体或整体通常都需要短距离湿拖。湿拖的速度较慢，在深海项目中，应尽

量避免长距离的湿拖。湿拖通常需要几个动力驳船协助进行，分别起拖拉、定位、掩护作用。平台的湿拖主要分两种情况：主体部分湿拖和整体平台的湿拖。湿拖的速度较慢，适应于建造场地离安装地点距离较近的深海结构,设计时要考虑可能发生的环境力影响。稳性校核是湿拖时必须考虑的设计条件，通常按规范还要考虑破舱时的稳定性。湿拖阻力的分析对于湿拖资源配置、湿拖速度的设计、工期的预估、方案的制订非常关键。主拖轮的拖航能力取决于湿拖阻力的大小，一般来说，湿拖阻力由三个因素组成：风载荷、流力和平均漂移力，海上平台拖力的设计就是要考虑克服这三部分的阻力，此外还要留有一定的安全系数。

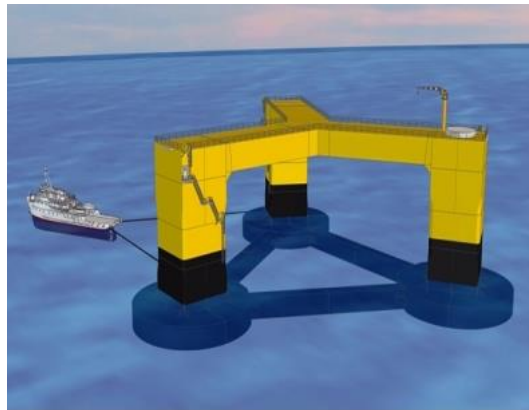


图 2.3.2-2 浮体湿拖方案示意图

2.3.2.2 风电机组安装

本一期工程项目共需安装 6 台漂浮式风机，风机安装轮毂高度约 147~151m。本阶段采用码头前沿配备履带吊安装方式。具体安装施工流程如下：

基础浮体平台分段预制→平台拼接→平台滚装下水→湿拖运输至距离风电场较近的风机安装码头→风机吊装→整体湿拖运输至机位点→系泊系统安装。

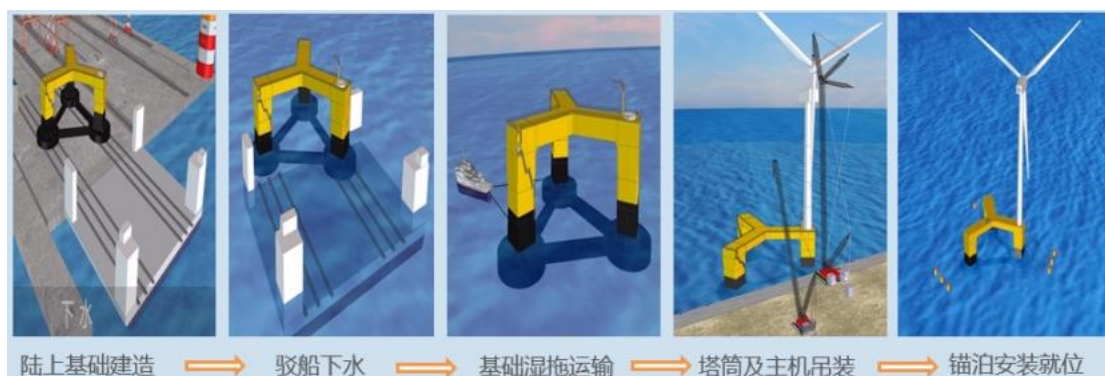


图 2.3.2-3 漂浮式风机施工流程图

根据风机及浮体的参数，拟在码头前沿增设一台履带吊，吊机至少需满足以下起吊能力要求：不低于 180m 起重高度、不低于 500t 起重能力、吊臂吊幅不小于 50m。履带吊在码头前沿 15m 左右位置，根据码头结构情况进行调整，浮体安装塔筒的立

柱靠近码头前沿通过缆绳及辅助拖轮进行稳定其位置，叶片及塔筒垂直于岸线布置，后域考虑交通及物流堆存运输。

2.3.2.3 风电机组一体化运输

项目对风机基础和风机机组整体进行湿拖运输，采用多艘拖轮配合整体湿拖。



图 2.3.2-4 漂浮式风机整体湿拖运输

漂浮式海上风电机组安装施工船机设备主要应用于整体风机拖航作业。浮式基础无动力，且属于大型载体，本体吃水深、高度大，受风面积大。在拖航过程中，不仅需要足够大的外动力，还要有足够的控制能力，以满足对整机海上运输的安全操控的要求。另外，基础建造和拼装基地出运航道狭窄，为了能达到风机在整个拖运过程中避让及时、转向灵活的目的，所以就必须配置至少 3 艘拖轮，且最大马力拖轮需满足 20000 匹。

2.3.2.4 系泊系统施工及浮体就位

(1) 施工方法

系泊系统安装主要分为锚桩施工和系泊缆施工，其中锚桩需采用水下打桩技术。系泊缆预拉试验采用 600t 浮吊搭载线性绞车进行，同时预拉试验需要其他系泊缆的协助。

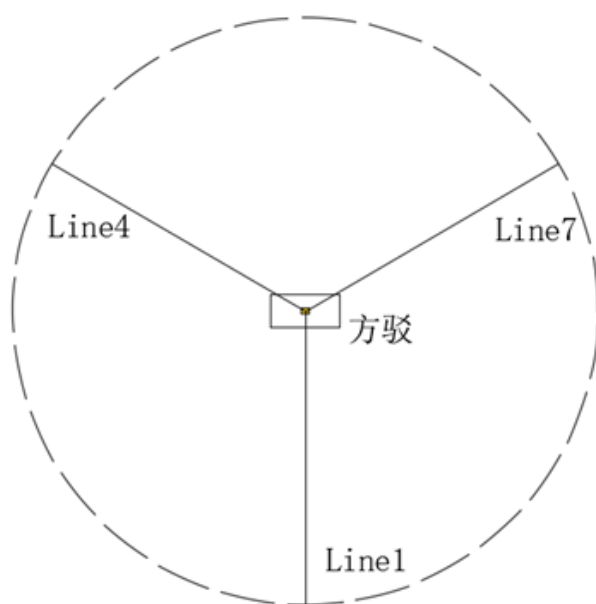


图 2.3.2-5 Line1 预拉试验示意图

所有系泊缆预拉试验完成后，平台进场就位，然后工作船就位至系泊缆连接船位，将 Line1 系泊缆终端回收至浮吊甲板，并拆除浮筒，完成连接，然后依次完成 Line2、Line3 与平台的连接。其余两组系泊缆按照此方法依次完成连接，所有连接施工完成后，船舶人员撤场。

1) 施工准备

施工作业开始前，施工技术负责人应收集作业海域附近的潮汐及水文数据，可以通过先期进场的船舶结合天气预报观察和记录现场波浪及流速流向情况，测量现场流速，掌握现场流速流向规律，确定最佳施工窗口期。

施工作业开始前，由项目经理组织业主代表、项目总工、海事检验员、安全监督、项目工程师、各船船长及其他相关人员召开项目技术交底会及安全评估会。会议主要内容为：明确施工计划安排；明确作业施工流程，对各流程进行推演；明确工作界面和各自职责。

施工作业开始前，由项目经理领导对施工的相关设备、材料及人员的准备情况进行检查。

2) 工作船进场就位

待系泊缆铺设完成之后，600t 浮吊和 2000HP 起锚艇进场就位，其中浮吊作为系泊缆预拉试验的工作平台，锚艇负责配合浮吊进场并协助完成系泊缆终端浮筒回收、配合浮吊起抛锚、警戒等工作。浮吊定位采用 GPS 定位系统，精准定位至系泊缆预拉试验船位，并在起锚艇的协助下完成抛锚布船。

3)回收系泊缆终端浮筒

浮吊抛锚就位后,通过绞锚的方式逐步靠近预拉试验系泊缆终端浮筒,抵达终端浮筒后,回收该系泊缆终端浮筒,并且使用一根长度为 60m 直径为 24mm 的回收牵引钢丝连接至浮筒,以便后续预拉试验时将系泊缆回收至浮吊甲板。连接系泊缆终端的回收牵引钢丝在浮吊船过程中要随船运动方向进行收放,松紧程度要适当,不可太松,以免系泊缆终端钢丝绳兜挂系泊缆;也不可太紧,以免引起系泊缆移位,或者小钢丝绷断。

完成试验系泊缆终端浮筒回收,并且将系泊缆回收牵引钢丝绳连接妥当,待回收牵引钢丝固定后,浮吊移船,靠近协助系泊缆终端浮筒,使用同样的方法,依次完成 2 个协助系泊缆浮筒的回收,并且将回收牵引钢丝绳连接妥当。浮筒回收完毕后,移船回到系泊缆预拉试验船位。

4)系泊缆预拉试验

当浮吊移位至试验船位后,分别将试验系泊缆终端和 2 个协助系泊缆终端通过浮吊回收至甲板,并通过卸扣与 50t 线性绞车连接,完成线性绞车各附属设备的调试,以便在预拉试验过程中实时监测拉力变化。

当系泊缆终端与线性绞车连接妥当后,启动线性绞车,不断收紧系泊缆,在此过程中注意拉力计的拉力变化。预拉试验按照 30T、40T 及 50T 分三个阶段施加拉力,每次持续时间为 3 分钟,当达到预拉试验设定拉力时,稳定 15 分钟。

预拉试验时,若施加拉力,锚未达到计划拉力即发生走锚,则通知相关单位回收锚及预铺系泊缆,并重新铺设,重新进行预拉试验。

完成预拉试验后,逐步放松三根系泊缆并解除其与线性绞车的连接,系泊缆端头连接回收钢丝绳和浮筒,将其释放入水。系泊缆及其终端浮筒放松过程中,尽量恢复至系泊缆预拉试验作业前的状态。

按照同样的方法,依次按照编号顺序完成 8 根系泊缆的预拉试验。

5)工作船就位

待平台就位完成且相关工作船舶撤场之后,用于系泊缆连接的起锚艇及浮吊进场就位,起锚艇协助浮吊就位至第一组(Line1、Line2 和 Line3)系泊缆终端连接船位,同时采用 GPS 定位,保证平台安装精度。待第一组系泊缆连接完成后,移船至第二组连接位置,最后移位至第三组连接位置。

6)回收系泊缆终端

浮吊就位之后，回收系泊缆终端浮筒，并将采用浮吊将系泊缆终端回收至甲板，便于连接工作的进行。待此系泊缆与平台连接完成后，浮吊绞锚移位回收同组下一系泊缆终端及浮筒。待本组系泊缆连接完成后，浮吊移位至下一组连接船位，回收系泊缆终端及浮筒。

7)系泊缆与平台连接

采用锚艇协助浮吊完成系泊缆与平台接头的连接。使用手拉葫芦等工具通过卸扣完成系泊缆与平台连接，连接完成后检测系泊系统的拉力，保证其满足设计要求。

(2) 施工流程

本项目系泊缆预拉试验及与平台连接应与系泊缆铺设相结合，为了避免与系泊缆铺设发生冲突，应合理安排施工作业计划，保证足够的作业面。工作船进场按照系泊缆编号顺序依次完成预拉试验。待平台就位完成之后，工作船就位依次按照编号顺序完成系泊缆的连接。

本部分工程施工流程如图所示：

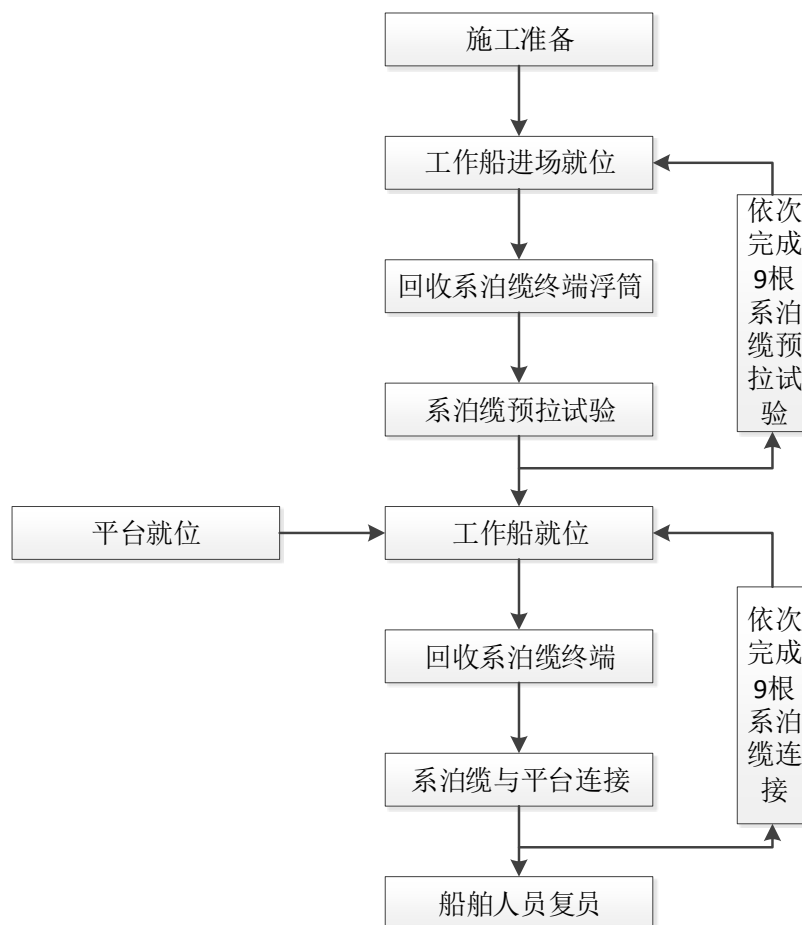


图 2.3.2-6 系泊系统施工流程图

(3) 施工方案

抛锚及锚链连接方案分为以下几个步骤：

1) 一般安全步骤

①查看天气预报，确认适合计划活动的天气窗口；②确认已完成任务活动的 JSA，并确保在程序发生之前完成所有行动；③所有参与人员应签署考勤记录，并充分了解操作及其在任务期间的具体作用；④本程序中的任务要求人员在运输驳船上工作；⑤工作人员应确保穿戴运输驳船上工作所需的所有浮力背心；⑥如果在安全屏障外工作，人员应确保佩戴坠落防护装置；⑦每次轮班前，应召开班前会议，以在轮班开始前通过所有相关信息；⑧提升前，所有人员应远离桩锚提升路径；⑨执行所有起重操作时，人员应远离负载。

2) 导桩架安装定位

①ROV 勘测和碎片清理；②对导桩架进行部署前检查；③导桩架部署；④导桩架水下再就位。

3) 锚桩安装

①驳船系留作业；②锚桩部署准备；③锚桩部署和海底竖立；④锚桩插入导桩架。

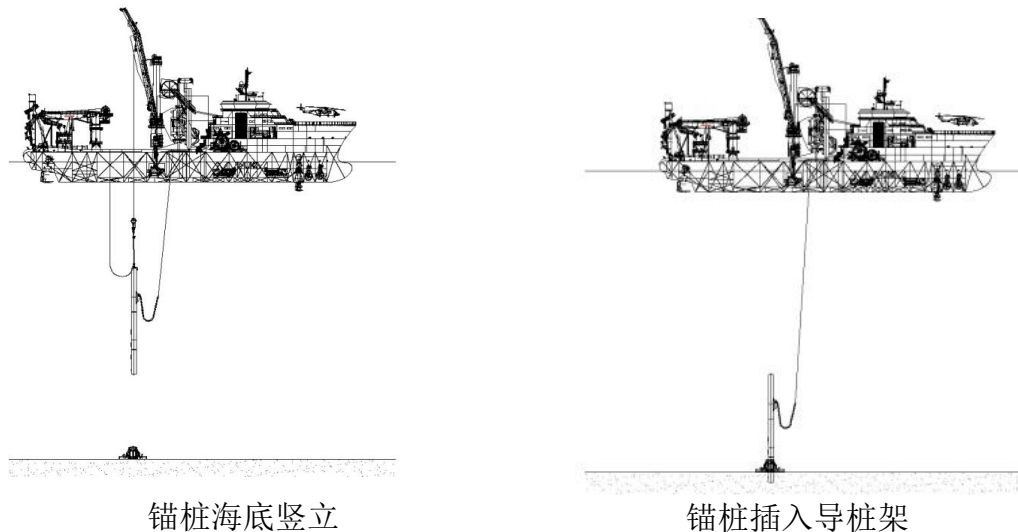


图 2.3.2-7 锚桩海底竖立、插入导桩架示意图

4) 打桩作业

①液压锤展开准备；②锤在甲板上竖立和展开；③打桩作业；④液压锤收回至甲板并放下锚链；⑤由 ROV 连接锚链的悬链段及沉底段。

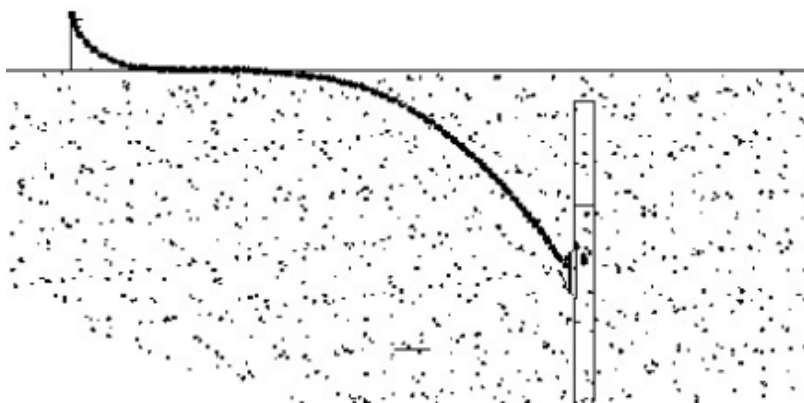
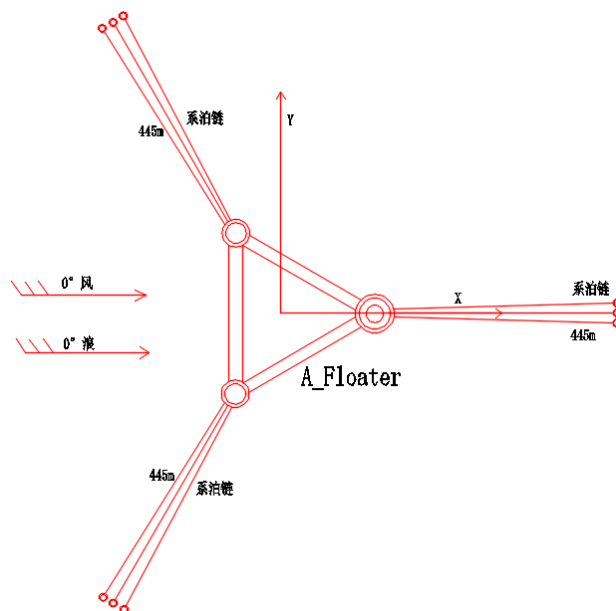


图 2.3.2-8 锚链下放

5) 锚泊线回接及张紧作业

①回接准备：a、预抛锚就位，b、三用工程船就位、辅助安装工具备齐；②浮式风机平台拖航到预定位置可以通过甲板的万向节连接点来作为拖带点；③海上锚泊线回接和张紧(基于万向节和水下张紧器 3X3 配置)



俯视图

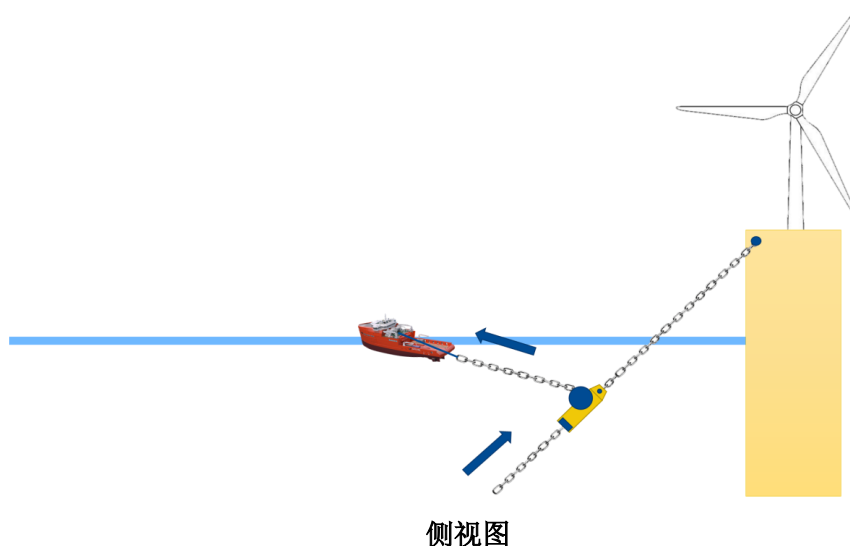


图 2.3.2-9 锚泊线回接和张紧示意图

回接次序：a、先回接风机侧 A 三个锚链，此时锚链张力很小，锚泊线接近于垂直；b、然后依次回接非风机侧 B(或 C)三根锚链，此时张力很小；c、最后回接非风机侧 C(或 B)，建议先回接中间一根，然后再回接两侧。此时张力急剧增加。

张紧次序：a、通过张力监测及角度监测(如有)数值分析，通过三用工作船去依次张紧某一根锚链或者某几根锚链，来达到结构平台在预定锚泊中心的一个张力平衡；b、通过三用工作船来释放某一根缆绳或某几根缆绳的张力，来达到一个张力的设计均衡值，此工况下张紧器的打开需要借助工作 ROV 来实现。



图 2.3.2-10 锚泊线张紧示意图

2.3.3 海缆敷设施工

2.3.3.1 海缆施工工艺流程

项目海缆施工工艺流程为：施工准备→工程测量及控制点复核→海缆及附件过驳装运→路由扫海→试航→敷设牵引钢缆→动态缆始端登浮式风机平台→动态部分抛放施工(安装浮力块和配重块、弯曲加强件等)→静态部分施工→静态缆登陆岸侧登陆点→动态缆后冲埋保护→海缆终端安装、引接光缆敷设及熔接→竣工试验。

海缆施工采用非自航平板工程船边敷边埋工艺，即采用无动力工程船慢速绞锚牵引或动力定位作为海缆专业施工船，船上布置有储缆圈、过缆桥、布缆机、起重架、高压供水系统、埋设机、海缆埋深监测系统、DGPS 定位系统、侧向锚泊定位系统、发电机组及生活舱等设备设施。施工时利用施工船自有的锚泊定位系统进行前进和纠偏的施工方法。

2.3.3.2 敷设准备工作

- a)敷设前，进行电缆敷设路由调查并根据相关主管部门意见确定最终敷设路由；
- b)现场确认登陆点位置和登陆段电缆路由，复查施工区域的水文气象情况，根据潮流信息确定施工船施工时就位的最佳位置和最佳时间。
- c)施工前，应对预定海域电缆路由进行扫海作业；
- d)施工方案报送相关部门审批并取得作业许可证。
- e)尽可能采用铺缆船直接装缆运输的方式，敷设前对电缆质量进行必要的检查；
- f)敷设施工前，对施工设备及各种仪器仪表进行检查，完成相关的准备工作，落实安全措施，确保其能满足施工准备；
- g)始端登陆和终端登陆准备。

2.3.3.3 动静态海缆敷设

浮式风机海缆包括动态海缆和静态海缆两部分，两部分通过过渡接头连接。动态海缆需一般集成多种安装及保护附件，如拖拉头、铠装锚固、防弯器、海底固定夹具等，施工工艺较为复杂，成本相对较高。

根据动态海缆与静态缆的运输方式和海上施工，先敷设动态海缆，再敷设静态缆，也就是从浮式风机向固定式风机方向。

2.3.3.4 动态海缆登浮式风机施工

在动态缆始端登平台前应完成登平台的施工准备工作。

动态海缆登浮式风机，牵引、拖拉作业。施工船靠近浮式平台 30m~50m，钢丝绳穿过 I/J 形管，并与动态海缆拖拉头连接，通过平台绞车收回钢丝绳，拖拉动态海缆通过 I/J 型管。

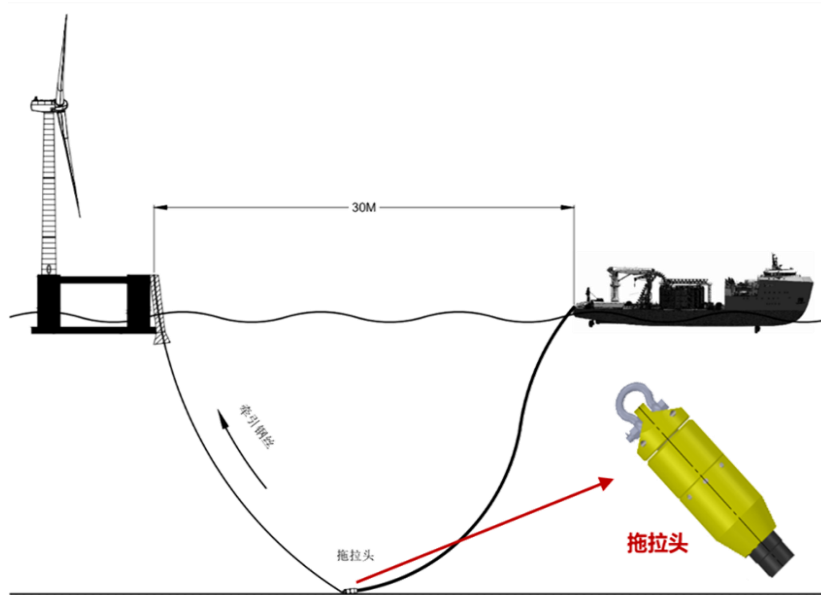


图 2.3.3-1 拖拉、牵引作业

平台锚固作业。平台绞车将拖拉头拖拉至平台，留余长 20m 至环网柜。安装铠装锚固，固定电缆，并对铠装进行接地。然后潜水员下水作业，安装防弯器及连接件，与 J 型管底部法兰连接。

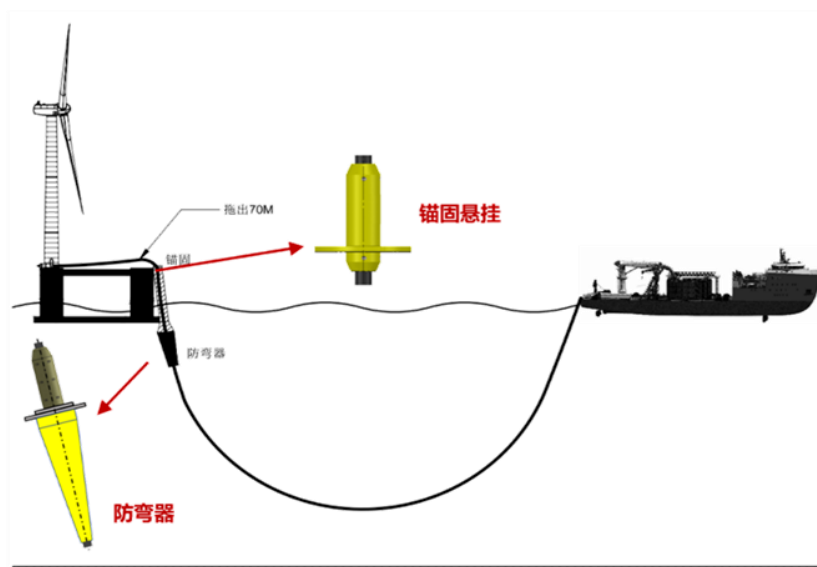


图 2.3.3-2 平台锚固作业

分布式浮力模块安装。铺缆船开始移动，敷设动态海缆，并准确测量电缆敷设长度。根据浮筒设计的分布位置，安装浮力模块；由于浮力模块外径较大，需要吊机辅助下放。在甲板上一边安装浮力模块，一边将动态海缆铺设至海水中。



图 2.3.3-3 浮力模块安装

触地点锚固。由于海底流速较大，触地点稳定性较差，根据整体动态分析，需采用海底基座，将动态海缆触底点进行固定。将预装的防弯器与海底基座在敷缆船上进行装配，并将电缆夹紧，采用吊机将海底基座吊装至海底预定位置，通过基座自重坐底，保证电缆的稳定性。

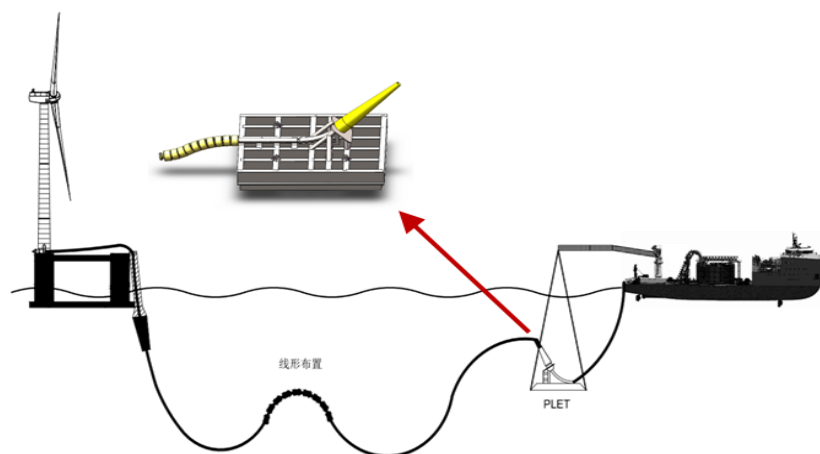


图 2.3.3-4 海底锚固安装

动态海缆与静态缆过渡接头安装。按照预定路径敷设动态海缆，直至敷设至动态海末端，也就是动态海缆与静态缆过渡连接部分。首先，在施工船预留区域进行动态海缆与静态缆过渡接头组装。然后采用平衡梁进行吊装下放至海底，吊装过程中，使用自动脱钩装置，吊机辅助过渡接头下放，缓慢匀速吊装下水，下水速度配合布缆机送出速度，保证过渡接头不受两侧较大拉力的影响，直至过渡接头放置到泥面上。

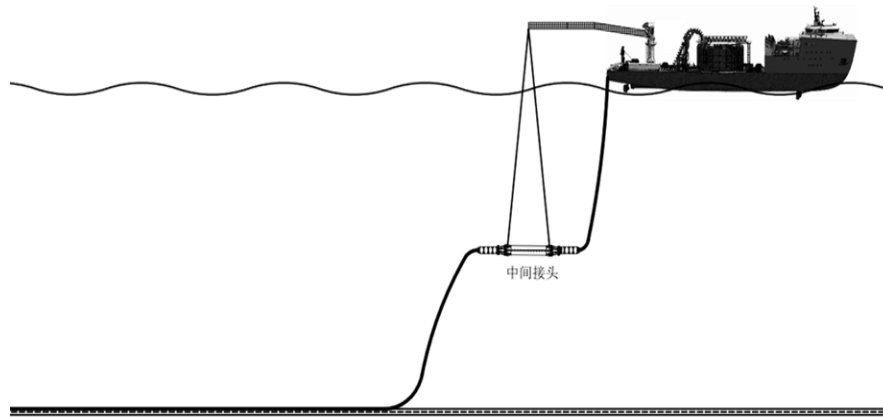


图 2.3.3-5 过渡接头吊装

过程测试。过渡接头吊装结束，进行绝缘电阻测试，保证连接的可靠性。此步完成之后，开始静态缆的敷设。

2.3.3.5 静态海缆敷埋施工

静态海缆采用铺缆船配合埋设犁方式完成电缆敷设。采用牵引式铺埋电缆方法，铺设船上布置有主要铺缆设备，需根据电缆路由进行电缆的敷设施工，电缆埋深按 2.0m 以下埋深控制，对具有通航功能的海域敷设深度适当加深，施工船依靠水力埋设机的开沟犁挖沟后敷设，敷设过程应通过船上监测仪器全程监控，控制铺埋速度，监测电缆张力和埋设深度。

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，一边开沟一边铺设，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。

敷设施工时，施工船依靠收绞抛设在路由前方的牵引钢丝绳前进。牵引钢丝绳由锚艇根据 DGPS 定位预先沿设计路由设置，牵引钢丝绳的一端系在海中的牵引锚上，牵引钢丝绳的一次抛放长度为 1km，两台牵引绞车交替不间断向前抛设。避免了以往一台牵引绞车抛放牵引钢丝敷缆船需要等待的弊端，保证海缆敷埋施工不间断，提高了工作效率。

施工船前进的同时拖曳埋设机向前，将海缆边敷设边埋深。海缆敷埋过程中施工船根据 DGPS 导航定位移动，路由偏差由绑靠在旁的辅助船顶推或者通过收放顶潮流方向的定位锚缆来控制。埋设机与船舶之间的牵引钢丝上设有导缆笼，海缆敷埋入水角度控制在 45-60 度左右，海缆全程从导缆笼内通过，降低了海缆施工中所受的张力，也防止施工中海缆打扭。

海缆敷埋期间，施工船指挥组通过电缆敷埋导航定位系统及埋深监测系统监控海缆埋设实时坐标、埋设机水下姿态和海缆埋深情况。

2.3.3.6 动态海缆后冲埋保护

动态海缆中间海域敷设完成后，采用 ROV 进行埋深保护。

根据 ROV 系统的实际情况，确定 ROV 在船舶主甲板上的位置。ROV 调试方案作业，内容包括系统安装连接完成后的各项检查，如各个应急开关的检查、试用前充油准备工作、上电测试、系统各项参数确认、系统无负载各功能检查、系统带负载各功能检查等。

完成 ROV 的动员工作，包括系统接线、接油管、收放系统的负载测试等。

ROV 动员完成后将船舶行驶至海缆路由附近海域，完成海上调试测试工作。

为了水下机器人的操控和更好的海底能见度，通常水下机器人行进的方向与海底暗流的方向正好相反。因此，可根据现场的实际情况调整计划检测点的检测顺序。同时水下机器人的收放和工作对天气有一定的要求，通常要求风速不超过 25 节，涌浪不超过 2 米。

在海底电缆的路由上将 ROV 在工作点附近放入水中，打开水下照明、水下像机、T100(或 TSS350/440)、声纳、信标等检测设备。

根据定位系统的信号将 ROV 移动到工作点的起始位置海缆的正上方，放下水枪，确保海缆在水枪之间，打开水泵，按照 TSS 和定位系统的信号以每小时 100-300 米的速度移动 ROV，直至对应的结束位置。

关闭水泵，收起水枪，ROV 转动 180 度后移动至从第一次冲埋结束的位置，放下水枪，确保海缆在水枪之间，打开水泵，按照定位系统的信号以每小时 100-300 米的速度移动 ROV，直至第一次的开始位置。

整个过程中，利用 ROV 自带的检测设备，如可见光摄像装置获取水下影像资料，TSS 系统获取海底电缆埋深检测数据，定位系统给出 ROV 和船舶的位置等，记录下海缆三次冲埋的埋深及对应海缆坐标、起终点、水深、ROV 和船舶的速度和首相等数据。

完成后将船舶行驶回指定的港口或码头。

完成 ROV 的复原工作，包括系统拆线、拆油管、运输准备等。

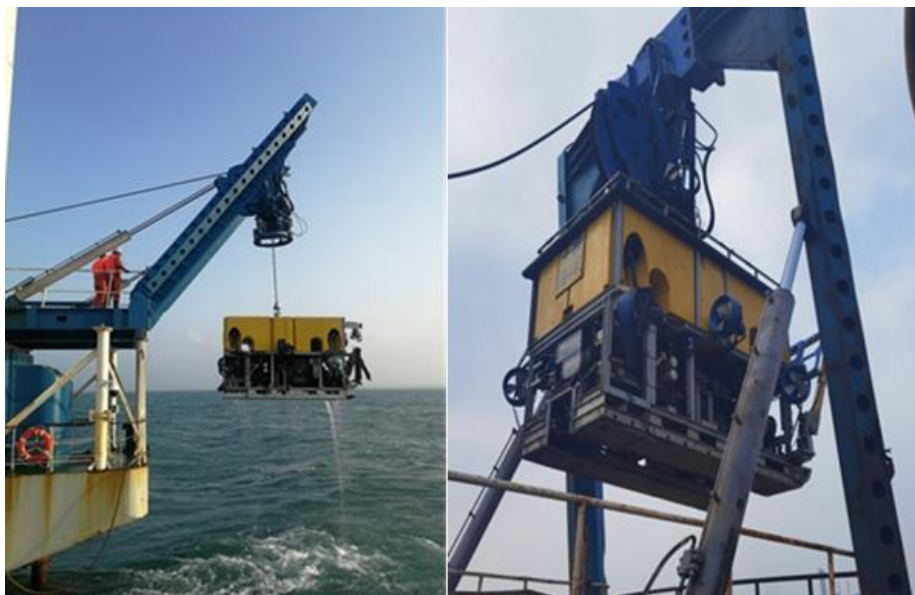


图 2.3.3-6 TC400 ROV 作业示意图

2.3.3.7 登陆段施工

海缆登陆段采用定向钻施工方式。定向钻穿越施工设备布置与操作在海岸侧的施工场地内进行，通过定向钻导首先在海岸底部从陆域向海域侧沿设计路径进行先导孔的钻设施工，在临海侧海域内先导孔出海底泥面后通过反向扩孔并附带电缆保护管形成设计断面，完成海缆定向钻穿越施工。

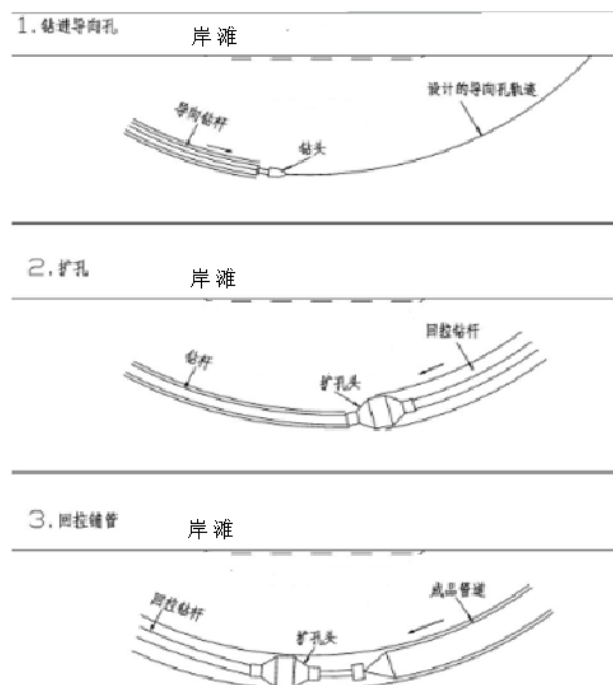


图 2.3.3-7 定向钻孔施工示意图

2.3.4 主要施工船机设备

项目主要施工船机设备见下表。

表 2.3.4-1 主要施工船机设备表

内容	名称及规格	单位	数量	用途	备注
固定式风机基础安装	起重船	艘	1	钢管桩沉桩、导向架起吊	起重能力 2000t 级以上，配置锤击能量 1800kJ 及以上的液压打桩锤
	起重船	艘	1	导管架吊装	起重能力 4500t 级以上
	自航式运输船	艘	1	钢管桩运输	载重量 10000t 级及以上
	自航式运输船	艘	1	导管架运输	载重量 15000t 级及以上
	抛锚艇	艘	3	驳船、起重船等起抛锚	
	交通艇	艘	1	接送人员	
	灌浆船	艘	1	导管架灌浆	
风机安装	自升式风机安装船	艘	1	风机吊装	
	运输船	艘	2	风机部件运输	自航
	拖轮	艘	2	起锚艇(拖轮)	3000HP
	交通艇	艘	1	场内交通	自航
	定位船	艘	1	辅助风机部件运输船定位	
浮体运输	拖轮	艘	4	拖航	大于 10000HP
	半潜驳	艘	1	浮体下水	
风机安装	履带吊	台	1	风机吊装	
	拖轮	艘	3~4	浮体就位	
整体拖运	拖轮	艘	4		最大马力 20000HP
	警戒船	艘	1		配合运输
锚泊系统施工	浮吊船	艘	1	锚桩施工	配备打桩锤
	抛锚艇	艘	2	抛锚	
	多功能船(AHTS)	艘	1	锚链布放、连接辅助及拉力测试	
	拖轮	艘	1		
电缆敷设	海缆敷设船	台	1		5000T 敷埋船
	锚艇	辆	2	1800-3000HP 辅助船	
	拖轮	台	1	3000HP	
	交通艇	艘	1	辅助船	

2.3.5 施工总进度

本项目为中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程，一期工程装机规模为 200MW，含 12 台风电机组。项目施工总工期 18 个月，施工准备期 2 个月，第 1 个月月初开始风机基础钢管桩及导管架，漂浮式风机浮体加工制作，第 5 个月月初开始固定式风机基础施工，第 8 个月月初开始固定式风机安装施工。第 13 个月月初开始漂浮式风机安装施工。第 10 个月月初首批风机发电，至第 18 个月月底全部 12 台机组投产发电。

2.4 项目用海需求

根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》，项目用海类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类）；根据《海域使用分类》（HY/T 123-2009），项目用海类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式包括构筑物（一级方式）中的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）

中的海底电缆管道（二级方式）。

项目拟申请用海面积为 221.6275 公顷，其中透水构筑物 33.6313 公顷，海底电缆管道用海面积为 187.9962 公顷。项目海底电缆采用立体确权，高程为现状海床高程至海缆底部高程。

项目拟申请用海面积如下表。

表 2.4-1 项目拟申请用海面积汇总表

序号	单元组成		拟申请用海面积 (公顷)	用海方式	拟申请用海面积合计 (公顷)
1	风机	固定式风机	18.6683	透水构筑物	221.6275
2		A 型浮体基础漂浮式风机	4.5318		
3		F 型浮体基础漂浮式风机	10.4312		
4	66kV 海底电缆		187.9962	海底电缆管道	

项目 66kV 海底电缆登陆将穿越砂质岸线，穿越岸线总长度为 100.1m，实际穿越岸线宽度为 79.2m。项目对岸线的使用方式为底土穿越，不实际占用岸线。

项目用海类型为电力工业用海，根据《中华人民共和国海域使用管理法》第二十五条的规定，港口、修造船厂等建设工程用海五十年。基于项目的用海需要，结合主体结构设计使用年限，项目申请用海期限为 27 年。

中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程宗海位置图

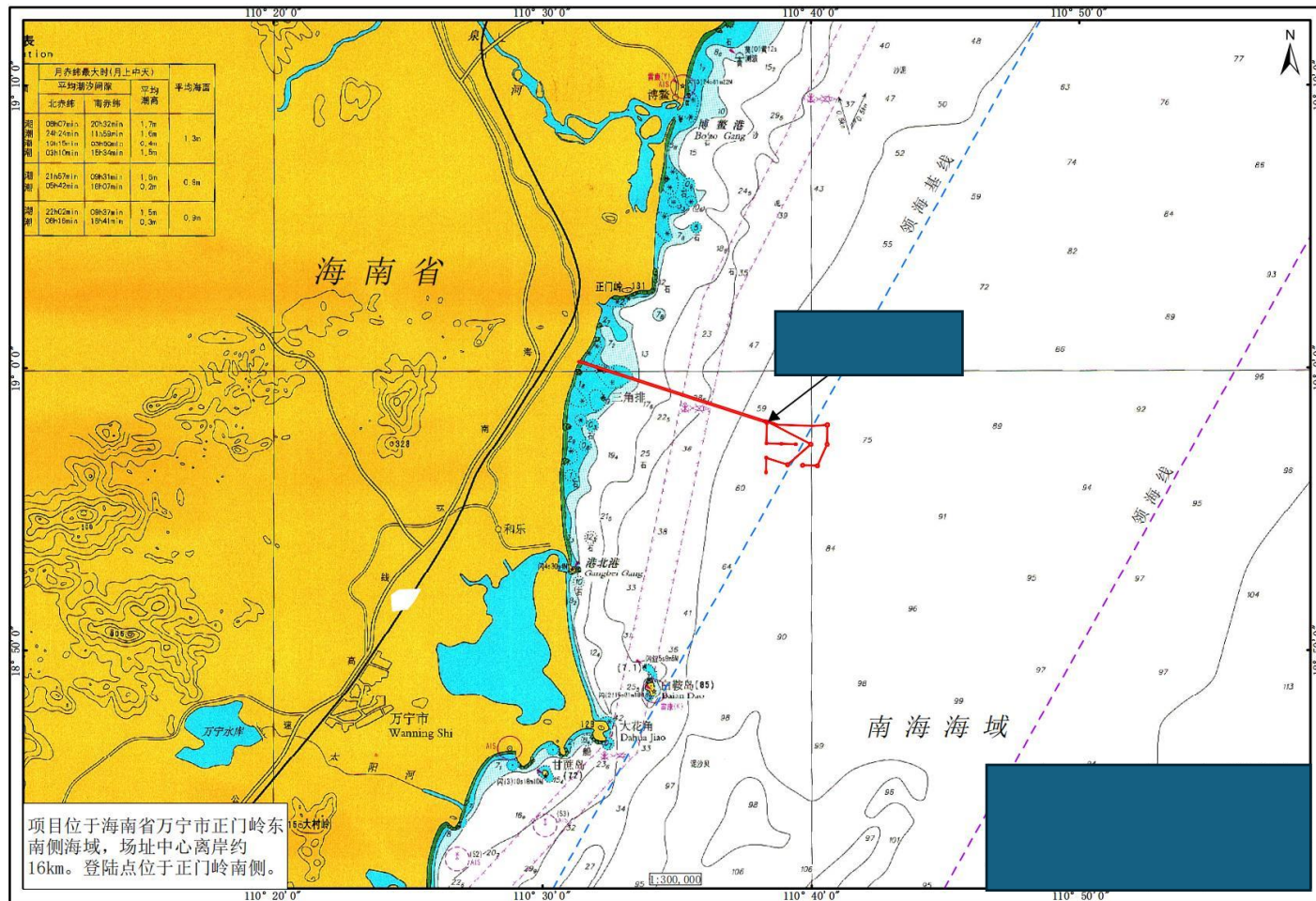
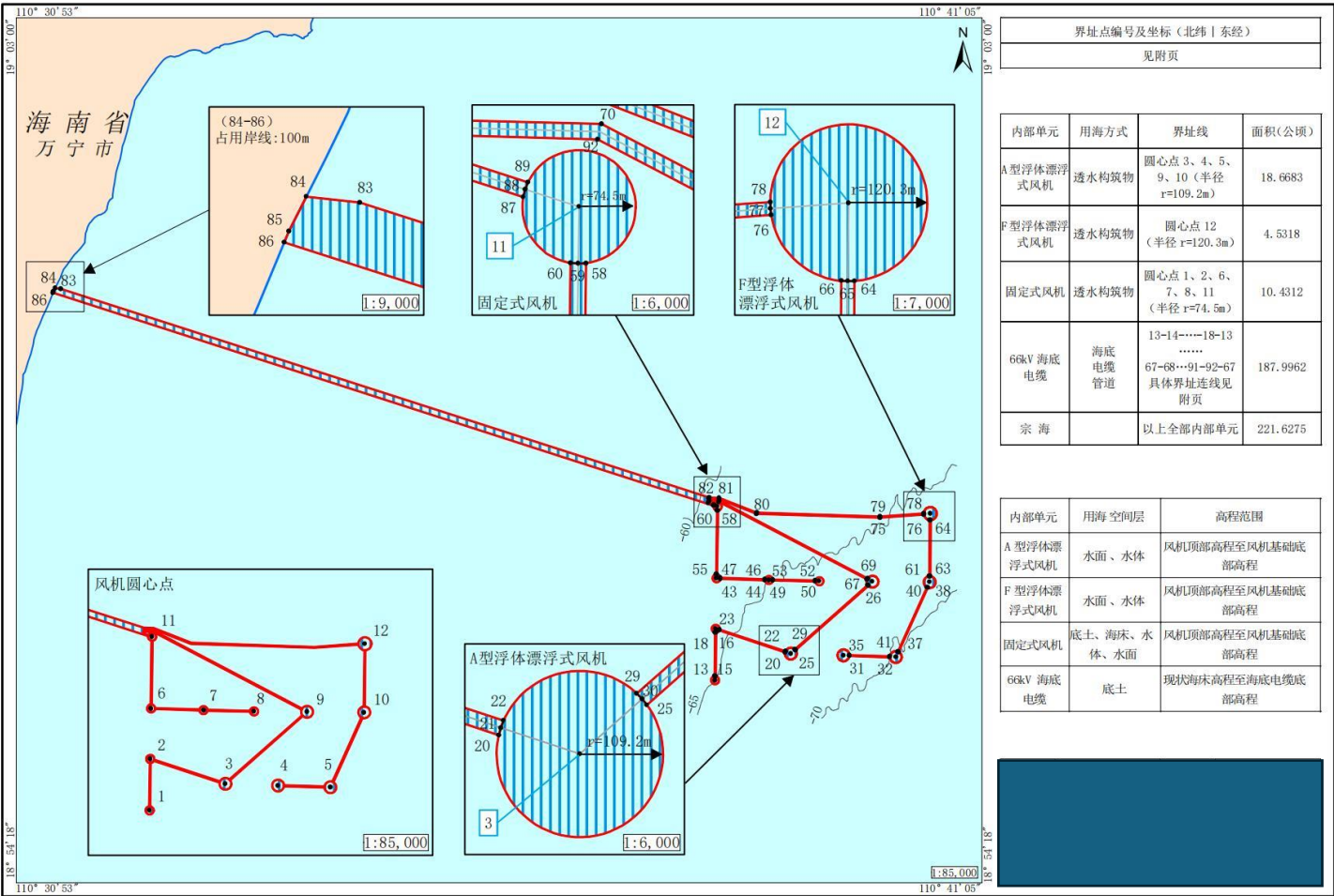


图 2.4-1 拟申请用海宗海位置图

中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程宗海界址图



中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程宗海平面布置图

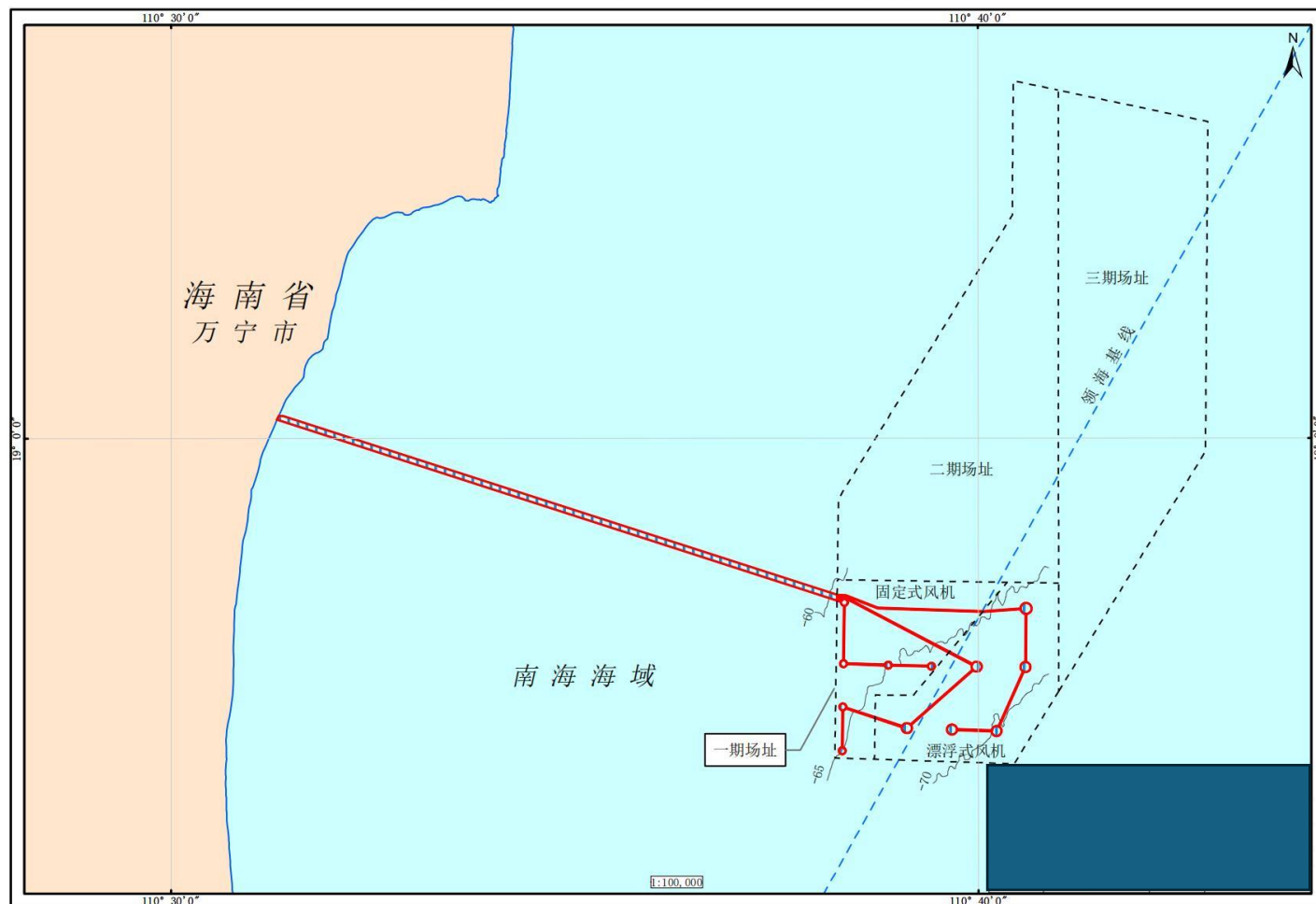


图 2.4-3 拟申请用海宗海平面布置图

2.5 项目用海必要性

2.5.1 建设必要性

(1) 风电建设政策及规划的支持

当前，能源发展正处于深刻变革和重大调整的关键时期。面对全球气候变化和生态环境恶化的双重挑战，大力发展清洁能源已成为能源发展的必然趋势。我国已将可再生能源的开发利用作为能源战略的重要组成部分。

2020年9月22日，习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话时宣布：“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。2020年12月12日，习近平主席在气候雄心峰会上宣布：“到2030年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右……风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿kW以上”。

《海南省“十四五”能源发展规划》、《海南省海上风电场工程规划》中提出，海南省“十四五”期间将规划11个场址作为近期重点项目，分别位于临高西北部、儋州西北部、东方西部、乐东西部和万宁东南部海域，单个场址规划装机容量50万千瓦~150万千瓦，总开发容量为1230万千瓦。本项目为其中的第11个风电项目：中电建万宁1000MW漂浮式海上风电试验项目。

本项目的实施不仅可以提供清洁能源，改善海南省能源结构，还可以推动相关技术创新，促进我国海洋工程装备及其制造业的发展，改善配套产业布局，促进地方经济的协调发展。

本项目的开发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，缓解环境保护压力，实现绿色发展，满足地区社会经济发展需要提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。本项目的开发建设，一方面可以利用良好的风能资源，向电网提供清洁的可再生能源；另一方面有利于加快我国海上风电技术水平的发展，促进海上风电设计与施工技术的创新，尤其是对海上风机基础设计与施工技术以及大容量海上风电机组的研发，起到积极的推动作用。本项目将以点带面带动全省海上风电开发，促进海上风电设备国产化，推动海上风电设计与施工技术快速发展，为后续海上风电建设和海南省乃至全国海上风电规模化开发提供宝贵经验和示范。

(2) 地区能源结构优化要求

海南电网基本由煤、核、天然气、可再生能源等组成，其中，煤电占统调发电量比重达 47%，煤电比重仍然较大。燃煤电厂在消耗煤炭资源的同时，产生了大量的 SO_2 、 CO_2 、 CO 、 NO_x 、烟尘等污染环境和造成温室效应的有害气体，对环境和生态造成不利的影响。海南省为国际旅游岛，积极调整优化能源结构，开发利用海南较丰富的风能资源，对于降低海南省的煤炭消耗、缓解环境污染、改善电源结构等具有非常积极的意义，是发展循环经济、建设节约型社会的具体体现，是海南省能源发展战略的重要组成部分。

(3) 本海上风电场工程有利于缓解环境保护压力，实现经济与环境的协调发展

本工程装机容量 200MW，项目建成后，每年可为电网提供清洁电能***万 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，按区域火力发电标煤消耗量*** $\text{g}/\text{kW}\cdot\text{h}$ 计算，每年可节约标煤***万 t，相应每年可减少多种大气污染物的排放，其中减少二氧化硫(SO_2)排放量约***t，一氧化碳(CO)约***t，碳氢化合物(C_nH_n)约***t，氮氧化物(以 NO_2 计)约***t，二氧化碳(CO_2)约***t，灰渣约***t，项目减排效益明显。可见，建设本项目不仅可以减少化石资源的消耗，且有利于缓解环境保护压力，实现经济与环境的协调发展，项目节能和环保效益较好。

(4) 本工程建设具有一定有利条件和资源优势

本项目是试验性质的风电场，本工程为其一期项目，主要为推动我国漂浮式风电场进入商业应用阶段，工程的开发建设具有一定有利条件和资源优势。

①全球清洁能源转型如火如荼，海上风电发展迎来重大机遇。

在气候变化的大背景下，全球清洁能源低碳绿色转型进程逐步加速，海上风电作为清洁能源的重要形式，受到各国政府重视，迎来重大发展机遇，特别是欧洲将海上风电作为实现碳减排、清洁低碳发展的重要抓手。

②我国海上风电发展呈现“由近及远”趋势，攻坚漂浮式海上风电关键技术成为行业关注重点。

由于我国近海区域各行业用海需求较高，海上风电总体开发潜力有限，预计“十四五”中后期近海场址资源逐步受限，建设深远海海上风电项目，实现海上风电由近及远发展是必然趋势。我国远海区域水深相对较深，在补贴退坡的大背景下，漂浮式海上风电优势凸显。但目前漂浮式海上风电机组、一体化设计、新型浮体基础和深海

系泊系统、动态电缆等核心技术尚未成熟，成为未来深远海海上风电发展的亟待突破的关键。

③海南省深水良港条件佳，开发空间广阔。

目前，海南已初步形成以海口港、洋浦港、八所港、三亚港、清澜港的“四方五港”为主体，临高金牌、昌江、乐东、琼海龙湾和三沙等港口码头为补充的总体发展格局。整体来讲，海南海域面积大、港口资源丰富，同时海南东部海域离岸 20km~30km 水深即可达 60m~90m，漂浮式风电场开发潜力超过 2000 万 kW，开发空间广阔，具备开发漂浮式海上风电的良好条件。

综上所述，本风电场风能资源丰富且离岸距离近，水深满足漂浮式基础建设要求，是开展漂浮式风电场建设的优良场址，开发本风电场符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，对于促进地区旅游业，带动地方经济快速发展将起到积极作用。因此，开发本风电场是十分必要的。

2.5.2 用海必要性

《海南省“十四五”能源发展规划》、《海南省海上风电场工程规划》中将万宁东南部海域规划为海南省“十四五”期间 11 个风电场址之一的近期重点项目，即中电建万宁 1000MW 漂浮式海上风电试验项目。万宁风电选址区风功率等级为 4 级，风能资源丰富，具备较好的开发价值。

万宁漂浮式海上风电试验项目是试验性质的风电场，主要为推动我国漂浮式风电场进入商业应用阶段，工程的开发建设具有一定有利条件和资源优势。目前，海南已初步形成以海口港、洋浦港、八所港、三亚港、清澜港的“四方五港”为主体，临高金牌、昌江、乐东、琼海龙湾和三沙等港口码头为补充的总体发展格局。整体来讲，海南海域面积大、港口资源丰富，同时海南东部海域离岸 20km~30km 水深即可达 60m~90m，漂浮式风电场开发潜力超过 2000 万 kW，开发空间广阔，具备开发漂浮式海上风电的良好条件。

本风电场风能资源丰富且离岸距离近，水深满足漂浮式基础建设要求，是开展漂浮式风电场建设的优良场址，开发本风电场符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，对于促进地区旅游业，带动地方经济快速发展将起到积极作用。

另外，根据万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程所在地的地区经济发展状况和漂浮式风电等相关产业的发展规划，结合本项目的特点，本项目的建设用海能达到以下几方面的目标：①为国内大规模漂浮式风电开发建设积累经验，全面掌握漂浮式海上风电项目勘察、设计、建造、施工和运维技术；②形成完整的大容量深远海漂浮式风电开发原创技术体系，打造漂浮式风电关键技术策源地，形成和培育漂浮式风电装备及其国产化产业链配套供应能力；③为新型大容量、抗台风、低成本漂浮式海上风力发电机组提供示范场址，促进我国风电机组整体制造技术达到国际领先水平；④以发电任务为辅，为海南省提供绿色电力。

本项目风电场工程的风机基础型式采用漂浮式风机和固定式风机结合，项目的建设涉及了海上风机、海底输电电缆等涉海工程，其中海上风机位于海中，海底输电电缆部分采用埋设海底的方式，这些涉海工程建设均需占用一定的海域，故本项目用海是必需的。

综上所述，本项目用海是必要的。

3 项目所在海域概况

3.1 海洋资源概况

3.1.1 海岸线资源

万宁市岸线长 195.50km, 其中自然岸线 112.41km, 占 57.50%, 人工岸线 83.01km, 占 42.47%, 其他岸线 0.06km。论证范围内岸线总长度为 89.9km, 其中自然岸线 49.0km, 人工岸线 40.2km, 其他岸线 0.7km。

3.1.2 滩涂资源

万宁滩涂面积 1413 公顷, 10m 等深线以浅的浅海面积 11800 公顷, 潮间带面积 1196 亩, 是养殖海产品的良好基地。

3.1.3 岛礁资源

万宁市海域范围内岛屿极为丰富, 主要岛屿有大洲岛、白鞍岛、甘蔗岛、加井岛和洲仔岛等。

(1) 大洲岛

大洲岛位于东澳镇海域中部, 面积 4.4183km², 是海南近海的最大岛屿。大洲岛距乌场港 6 海里, 离陆地最近的新潭村只有 3 海里。1988 年万宁县政府将大洲岛划为县级自然保护区。1990 年 9 月 30 日, 国务院正式批准建立国家级大洲岛海洋生态自然保护区(《国务院关于建立国家级海洋类型自然保护区的批复》(国函[1990]83 号)), 建区初期由万宁市海洋主管部门管理, 使开展保护工作有了可靠的依据。

大洲岛国家级海洋生态自然保护区总面积为 70km²(档批复的面积, 通过数值化的地形图计算面积 73.7km²), 其中岛屿陆域面积为 4.2km², 海域面积为 65.8km², 为四边形区域。大洲岛国家级海洋生态自然保护区的核心区、缓冲区和实验区范围见图 3.3-2。

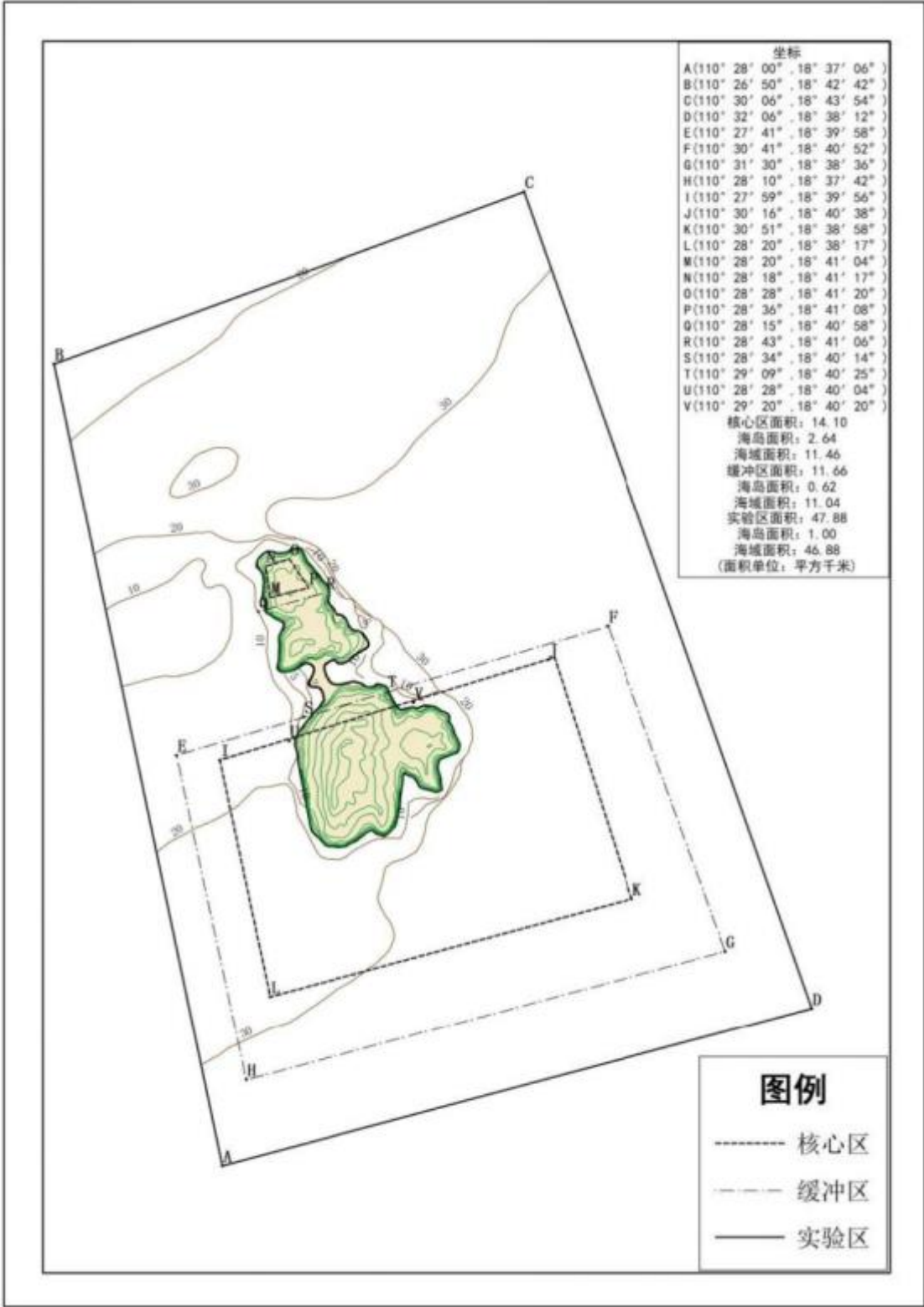


图 3.1.3-1 大洲岛国家级海洋生态自然保护区功能分区范围

(2) 白鞍岛

位于港北海域的南部，距海岸约 3.6km，面积 0.3119km²，表层为荒沙粘土，周围由岩石构成，是万宁市第三大岛。岛上杂草丛生，有淡水，岛岸曲折险峻，周围水深 13～

30m。白鞍岛上珍稀植物滨玉蕾，是海南省首次发现生长的区域，具有较高的保护与研究价值。目前，白鞍岛以规划拟建“滨玉蕾自然保护区”。

（3）甘蔗岛

位于乌场港东部，距海岸约 1km，面积 0.1229km²，是万宁市离海岸最近，面积最小的岛屿。该岛由岩石构成，表层为黄粘土，生长着一种小芒草，周围水深 4~17m。

（4）加井岛

位于万宁海域的南部，距石梅湾海岸约 1.5km，面积 0.1649km²。该岛由岩石构成，表层为红粘土，岛上杂草丛生，该岛两岸有一片沙带可供泊船登岸，岛附近水深 5~23m。该岛可开展海岛旅游项目。

（5）洲仔岛

距南荣岭海岸 2.1km，面积约 0.475km²，该岛主要由岩石构成，表层为黄质沙土，岛上杂草丛生，西北端有一小片沙带可供泊船登岸，岛附近水深 10~20m。该岛可开展海岛旅游项目。

3.1.4 港口资源

在万宁近 200km 的海岸线上，大小港湾有十几个，主要港湾 11 个，分别是港北港、坡头港、山钦湾、春园湾、乌场港、神州半岛的南荣湾、辽前湾、凤岭湾、石梅湾、南燕湾、日月湾等，其中乌场港为综合型货运港口，港北港为二级渔港，坡头港为三级渔港。

（1）乌场港

位于海南省万宁市万城镇的东南面，北纬 18° 46'，东经 110° 29'。水域面积 398.3 公顷，陆域面积 92 公顷，10m 深水域可建万吨级泊位岸长 4.8km。港池周边有基岩山丘环境，港池的北面、东面和东南面都有天然屏障，南面的大担石岛、大洲岛、甘蔗岛、西南面的新潭岭对港池也有屏障作用。港区属地震安全地带。航行能见度一般 10k 以上，全年影响航行天数最多不超过 31 天。地理位置有利，乌场港处于海口港和三亚港航线的中间，距海口 125 海里，三亚 81 海里，在海南省几个可选择作为万吨级泊位的港口中，其离西太平洋国际航线最近，故国家交通部 1986 年已将该港列为“国际航线的一个中间站和国际贸易转口港”。已兴建 2 座 1000 吨级码头，逐步转向商渔兼用港。

2021 年万宁乌场一级渔港项目开工建设，渔港卸港量 6 万吨/年，可容纳避风船舶

数量约 1235 艘。建设内容包括公益性渔业码头、停泊避风水域、防波堤、渔业生产配套设施等。海域建设内容包括新建南防波堤 1281.9m（拆除原南防波堤 326m），中防波堤 350m，西防波堤 592.44m，西防波堤通过 115m 长的栈桥与后方陆域连接，防波堤形成水域总面积约 78.9030 公顷；公益性码头泊位岸线总长度 972m，其中渔业码头泊位岸线 640m，综合补给、公务船舶泊位 332m。新建公益性码头泊位 20 个，其中渔业泊位 15 个，公务船舶泊位 4 个，综合补给船舶泊位 1 个。港池、航道疏浚总量为 54.84 万 m^3 。



图 3.1.4-1 万宁市港湾分布示意图

（2）港北渔港

万宁市规模最大的渔港，位于小海潮汐通道处，始建于上世纪 70 年代，是中小型渔船的避风港及渔船停泊供给点，属于二级渔港。2009 年 12 月，万宁市向农业部申报港北一级渔港建设项目。2011 年 3 月获农业部批准。2012 年 5 月动工建设，港北一级渔港建成后，主要航道深度可达 3.8-4.5m，口门航道宽 60m，可满足渔船全天候进出港作业，目前，港口已投入使用。

（3）坡头渔港

为万宁市的地方小型渔港，位于老爷海潟湖南部口门处，没有完整的码头设施，条件简陋，占用海岸线基本保持自然状况。

3.1.5 渔业资源

万宁面临面积广阔的南海海区，海产品蕴藏量非常丰富。万宁的海洋生物资源分为三类：鱼虾类主要的有 30 多种，其中经济价值较高且资源量较大的有 10 多种，有马鲛鱼、金枪鱼、乌贼、金线鱼、宝刀鱼、带鱼、石斑鱼、鲈鱼、篮圆鲂、鲨鱼、鱿鱼、海参、龙虾、斑节对虾、墨吉对虾、刀额新对虾等；贝壳类主要有毛蚶、凤螺、鲍鱼、文蛤、梳纹加夫蛤、江珧、宝贝、河蚌、米蚬、马蹄螺、青蟹、海龟、玳瑁等；藻类有麒麟菜、江篱菜等。大洋性渔业生态系鱼类有鳍金枪鱼、大眼金枪鱼、旗鱼类等。

3.1.6 矿产资源

万宁市矿产资源主要有钛、锆、独居石、金红石、石英石等，以钛矿最为丰富。现已初步探明，万宁钛矿贮量占海南钛矿总贮量约 1500 万吨，70%以上，占全国总贮量 30%以上，与钛矿共生的锆矿也相当丰富，贮藏量约是钛矿量的 15%。万宁钛矿不但贮量丰富，而且矿沙品位高，易采选，深度加工、综合开发经济效益高，现初中级加工已具规模，深加工正在开发。

3.1.7 旅游资源

万宁市山清水秀，景色宜人，既有奇山、异洞、怪石、海滩、岛屿、温泉、热带珍稀动植物、滨海风光等自然景观，又有文物古迹、革命遗址等人文景观。有以“海南第一山”之美称的东山岭，有“热带花果园”之美誉的兴隆温泉旅游区，有“南海明珠”之称的大洲岛，有水清浪静、滩洁沙软的石梅湾、南燕湾、日月湾、春园湾，有“神州半岛”之称的牛庙岭，有神奇传说，饶有野趣的尖岭五眼温泉等。这些旅游资源，都具有较高的开发价值。目前，正在开发的有石梅湾、尖岭五眼温泉、牛庙岭，已开发利用，能供中外游客观光的有东山岭、兴隆温泉、南燕湾、日月湾和春园湾、兴隆热带花果园。境内主要河流有：太阳河、龙滚河龙头河和龙尾河。

3.2 海洋生态概况

3.2.1 气候与气象

万宁市地处海南岛东部沿海，属于热带海洋性季风气候。冬、春季主要受冷空气天气系统影响，夏、秋季则受热带气旋、副热带高压和低压槽影响为主。根据万宁气象站 2000~2019 年的气温、降水、风、雾及湿度等气象观测资料进行统计，结果如下：

(1) 气温

本区域年平均气温为 25.1℃，月平均气温变化为 19.5（1 月）~28.9℃（6 月），除 1 月平均气温为 19.5℃外，其余月份均超过 20.0℃，月平均气温温差不大。年极端最低气温为 7.3℃，出现在 2016 年 1 月 25 日；月最低气温除 12、1、2 月低于 10.0℃外，其余月份均超过 10.0℃；年极端最高气温为 37.1℃，出现在 2005 年 7 月 20 日；月最高温度 5-9 月份均超过 35.0℃，其余月份则高于 30.0℃且低于 35.0℃。

（2）降水

万宁地区降水量丰富，各月均降水，雨季较长。根据万宁气象站 2000~2019 年降水资料统计(表 3.1.1-2)，年平均降水量为 2229.3mm，年平均降水日数为 156 天。月平均降水量为 42.9（2 月）~453.9mm（10 月），降水量主要集中在 5~11 月雨季期间，占全年降水量的 80%以上，降水日数同样是雨季所占比例较大。与之相对的是，12 月至次年 3 月则为旱季，其中 1~3 月平均降水量不足 100mm。一日最大降水量为 355.1mm，出现在 2000 年 10 月 14 日，主要是受弱冷空气和南海辐合带共同作用引起的。见表 3.2.1-1。

表 3.2.1-1 逐月平均降水量（mm）（2000 年-2019 年）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均(mm)	50.6	42.9	73.2	111.4	178.4	172.5	233.9	204.8	381.3	453.9	185.9	140.5	2229.3
占全年(%)	2.3	1.9	3.3	5.0	8.0	7.7	10.5	9.2	17.1	20.4	8.3	6.3	100
降水日数 (R≥0.1mm)(天)	10.1	7.7	8.8	9	13.1	14	16	15.2	17.1	17	14.9	13.1	156
占全年降水日 数(%)	6.5	4.9	5.6	5.8	8.4	9.0	10.3	9.7	11.0	10.9	9.6	8.4	100
一日最大降水 量(mm)	139.3	99.6	149.1	250.8	245.3	241.5	262.4	315.7	296	355.1	278	187.7	355.1

（3）风况

根据万宁气象站 2000~2019 年风资料统计（表 3.2.1-2），年平均风速为 2.2m/s；最大平均风速为 2.4m/s。万宁最大风速一般出现在冬季风期和热带气旋影响期。

根据万宁多年风向玫瑰图（图 3.2.1-1），万宁盛行风向主要为偏南风 and 偏北风，夏季以吹偏南风主要，冬季以吹偏北风主要，而春、秋季则为这两种风向互为转换过渡季节。

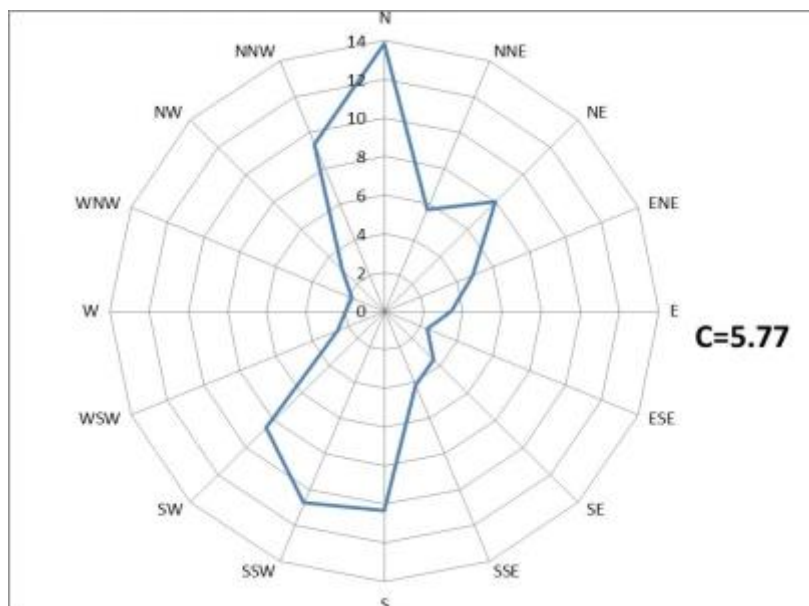


图 3.2.1-1 万宁市全年平均风向频率分布图

表 3.2.1-2 万宁气象站各月平均风速（2000~2019 年）单位：m/s

各月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均风速	2.3	2.2	2.3	2.4	2.3	2.3	2.1	1.8	1.9	2.3	2.4	2.4	2.2

(4) 雾

根据万宁气象站 2000~2019 年雾日资料统计(表 3.2.1-3), 万宁地区雾日相对较少。年平均雾日为 11 天, 主要出现在冬、春季。

表 3.2.1-3 万宁气象站 2000~2019 年各月雾日特征

各月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均	1	0.7	0.5	0.1	0	0	0	0.9	2.7	2.9	1.4	0.8	11

(5) 相对湿度

该区域多年平均相对湿度为 84%, 2、3、5、9 月份平均相对湿度最大均为 85%, 12 月份最小为 82%。由于受海洋调节, 水气丰富, 各月平均相对湿度变化不大, 其幅度变化在 82%~85%之间。

(6) 热带气旋

以万宁气象站最大风速达 6 级或瞬时风速达 8 级为影响标准, 统计 2000~2019 年期间登陆或影响万宁的热带气旋(不含热带低气压)(表 3.1.1-4)。共有 28 个, 年平均 1.4 个, 其中登陆万宁地区的热带气旋有 7 个, 年平均为 0.35 个。

热带气旋登陆或影响万宁地区的最早时间是 6 月 22 日, 最晚时间是 11 月 10 日; 登陆或影响的热带气旋最多的是 7~10 月, 共占总数的 89.29%。按热带气旋强度统计, 登陆或影响万宁地区的台风有 17 个, 年平均 0.85 个, 强热带风暴 6 个, 年平均 0.3 个,

热带风暴 5 个，年平均 0.25 个。其中 0518 号台风是 20 年中影响万宁地区最强的台风，0518 号台风“达维”登陆时中心最大风速达 55m/s。

表 3.2.1-4 2000~2019 年登陆或影响万宁的热带气旋统计（单位：个）

	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	合计	年平均
台风		3	1	7	5	1	17	0.85
强热带风暴	1	4	1				6	0.3
热带风暴	1	2	1	1			5	0.25
小计	2	9	3	8	5	1	28	1.4
%	7.14	32.14	10.71	28.57	17.86	3.57	100	

3.2.2 水文动力环境现状调查与评价

水文动力资料引用国家海洋局南海调查技术中心编制的《海南万宁漂浮式海上风电工程 2022 年夏季全潮水文观测调查报告》《海南万宁漂浮式海上风电工程 2022 年冬季全潮水文观测调查报告》。

3.2.2.1 潮汐

（1）夏季观测

国家海洋局南海调查技术中心于 2022 年 7 月 21 日 09 时~22 日 10 时进行小潮期同步观测；2022 年 7 月 25 日 09 时~26 日 10 时进行中潮期同步观测；2022 年 7 月 28 日 09 时~29 日 10 时进行大潮期同步观测。

1) 潮位站及资料概况

根据项目要求，收集博鳌站（T1 站）、清澜站（T2）和乌场海洋站（T3 站）的潮汐资料，并对潮汐资料进行分析。潮位站的观测时间见表 3.2.2-1，覆盖夏季全潮观测期间，潮位站位置分布见图 3.2.2-1。

表 3.2.2-1 潮位站位置信息统计表

站位	经度(E)	纬度(N)	观测时间（2022 年）
T1 站			7 月 1 日 0 时~7 月 31 日 23 时
T2 站			7 月 1 日 0 时~7 月 31 日 23 时
T3 站			7 月 7 日 0 时~7 月 31 日 23 时

图 3.2.2-1 潮位观测站分布图

2) 实测潮位统计分析

①潮汐过程线

将潮位站观测数据统一订正到 85 基面后，分别绘制出 3 个站的潮位过程曲线图（见图 3.2.2-2~图 3.2.2-4）。

图 3.2.2-2 T1 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

图 3.2.2-3 T2 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

图 3.2.2-4 T3 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

②潮汐调和分析

潮汐调和常数是进行潮汐预报和潮汐特性分析的基本参数，它的准确性是十分重要的。利用收集到的资料，采用最小二乘法原理计算得到 T1、T2 和 T3 站各分潮的调和常数。表 3.2.2-2 为主要分潮的振幅（H）和迟角（g）。

表 3.2.2-2 潮汐调和常数

③潮汐性质

根据主要日分潮振幅与主要半日分潮振幅的比值 $F = (HK_1 + O_1) / HM_2$ 来划分潮汐的类型。

当	$F \leq 0.5$	为正规半日潮
	$0.5 < F \leq 2.0$	为不正规半日潮
	$2.0 < F \leq 4.0$	为不正规全日潮
	$F > 4.0$	为正规全日潮

根据调和常数计算得到，T1、T2 和 T3 站的潮汐判别数 F 分别为：2.90、2.39 和 3.19，T1、T2、T3 站均属于不正规全日潮类型。观测海区东边为正规全日潮海域，西边为不正规全日潮海域，各分潮中全日分潮占主导地位。主要全日分潮振幅比分别为 0.68、0.67 和 0.71，主要浅海分潮振幅和分别为 0.00cm、0.01cm 和 0.01cm，具体潮汐特性统计结果参见表 3.2.2-3。

表 3.2.2-3 夏季潮汐特性统计表

④潮汐特征

a 潮位

从图 3.2.2-5 可以看出，T1 站平均海面为 65.9cm（85 国家基面），T2 站平均海面为 43.8cm，T3 站平均海面为 52.6cm，T1、T3 站的平均海面最大，T2 站的平均海面最小，观测海域从西往东平均海平面先增加后减小。由表 3.1.2-4 可见，T1、T2 和 T3 站

最高潮位分别为 161cm、167cm 和 168cm；最低潮位分别为-39cm、-42cm 和-35cm。

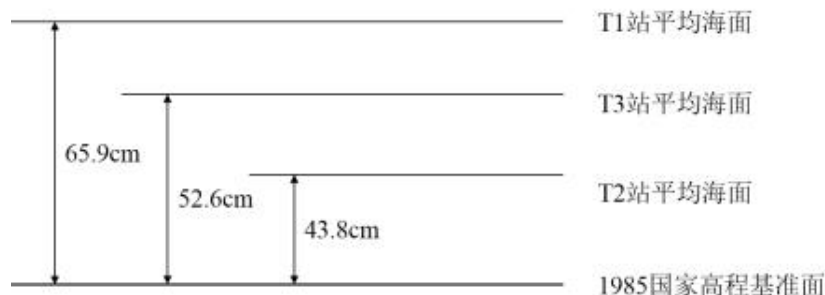


图 3.2.2-5 潮位观测站基面关系

b 潮差

潮差是描述一个海域潮汐动力的主要因子，其大小直接反映潮汐强弱程度，是反映潮汐变化特征的一项重要标志。为了说明调查海域潮差及其分布特征，采用 T1、T2 和 T3 潮位站潮位观测资料进行潮差统计。T1、T2 和 T3 站的最大潮差分别为 200cm、208cm 和 196cm，接近或大于 200cm，平均潮差分别为 103cm、106cm 和 106cm。

c 涨、落潮历时

工程海域的夏季资料统计结果表明 T1 站平均涨潮历时和落潮历时分别为 7h36min 和 11h41min，T2 站分别为 7h06min 和 11h39min，T3 站分别为 7h46min 和 12h02min。落潮历时大于涨潮历时。从平均涨、落潮历时看，T1 站落潮历时大于涨潮历时 4h05min，T2 站落潮历时大于涨潮历时 4h33min，T3 站落潮历时大于涨潮历时 4h16min。

表 3.2.2-4 潮汐特征值

⑤小结

观测海域3个潮位站T1、T2和T3的潮汐判别数分别为2.90、2.39和3.19，均属于不正规全日潮类型。观测海区为不正规全日潮海域，各分潮中全日分潮占主导地位。主要全日分潮振幅比分别为0.68、0.67和0.71，主要浅海分潮振幅几乎为0。

T1、T2和T3站最高潮位分别为161cm、167cm和168cm；最低潮位分别为-39、-42cm和-35cm。T1、T2和T3站的最大潮差分别为200cm、208cm和196cm，接近或大于200cm，平均潮差分别为103cm、106cm和106cm。

T1站平均涨潮历时和落潮历时分别为7h36min和11h41min，T2站分别为7h06min和11h39min，T3站分别为7h46min和12h02min。落潮历时大于涨潮历时。

(2) 冬季观测

国家海洋局南海调查技术中心于 2023 年 1 月 11 日 10 时~12 日 11 时进行中潮期同步观测；2023 年 1 月 14 日 10 时~15 日 11 时进行小潮期同步观测；2023 年 1 月 22 日 10 时~23 日 11 时进行大潮期同步观测（其中 C5 站大潮期观测时间为 2023 年 1 月 8 日 10 时~9 日 11 时）。

1) 潮位站及资料概况

根据项目要求，收集博鳌站、清澜站和乌场海洋站的潮汐资料，并对潮汐资料进行分析。潮位站的观测时间见表 3.2.2-1，覆盖夏季全潮观测期间，潮位站位置分布见图 3.2.2-1。

2) 实测潮位统计分析

①潮汐过程线

将潮位站观测数据统一订正到 85 基面后，分别绘制出 3 个站的潮位过程曲线图（见图 3.2.2-6~图 3.2.2-8）。

图 3.2.2-6 T1 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

图 3.2.2-7 T2 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

图 3.2.2-8 T3 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

②潮汐调和分析

潮汐调和常数是进行潮汐预报和潮汐特性分析的基本参数，它的准确性是十分重要的。利用收集到的资料，采用最小二乘法原理计算得到 T1、T2 和 T3 站各分潮的调和常数。表 3.2.2-5 为主要分潮的振幅（H）和迟角（g）。

表 3.2.2-5 潮汐调和常数

③潮汐性质

根据主要日分潮振幅与主要半日分潮振幅的比值 $F = (HK_1 + O_1)/HM_2$ 来划分潮汐的类型。

当	$F \leq 0.5$	为正规半日潮
	$0.5 < F \leq 2.0$	为不正规半日潮
	$2.0 < F \leq 4.0$	为不正规全日潮

$F > 4.0$ 为正规全日潮

根据调和常数计算得到，T1、T2 和 T3 站的潮汐判别数 F 分别为：3.13、2.59、和 3.54，T1、T2、T3 站均属于不正规全日潮类型。各分潮中全日分潮占主导地位，主要全日分潮振幅比分别为 0.66、0.67 和 0.67，主要浅海分潮振幅和分别为 0.7cm、0.6cm 和 0.8cm，具体潮汐特性统计结果参见表 3.2.2-6。

表 3.2.2-6 冬季潮汐特性统计表

④潮汐特征

a 潮位

从图 3.2.2-9 可以看出，T1 站月平均海面为 65.1cm（85 国家基面），T2 站月平均海面为 69.6cm，T3 站月平均海面为 66.8cm，T2、T3 站的平均海面最大，T1 站的平均海面最小，观测海域从南往北月平均海平面先减小后增大。由表 5.2.3 可见，T1、T2 和 T3 站最高潮位分别为 170cm、177cm 和 169cm；最低潮位分别为 -41cm、-43cm 和 -34cm。

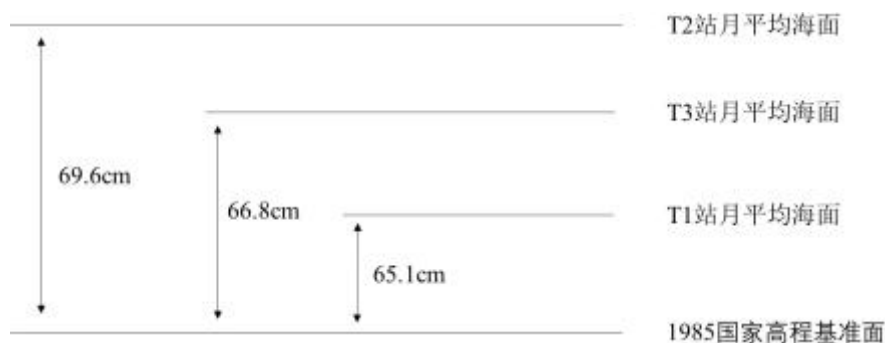


图 3.2.2-9 潮位观测站基面关系

b 潮差

潮差是描述一个海域潮汐动力的主要因子，其大小直接反映潮汐强弱程度，是反映潮汐变化特征的一项重要标志。为了说明调查海域潮差及其分布特征，采用 T1、T2 和 T3 潮位站潮位观测资料进行潮差统计。T1、T2 和 T3 站的最大潮差分别为 204cm、213cm 和 203cm，均大于 200cm，平均潮差分别为 102cm、101cm 和 101cm。

c 涨、落潮历时

工程海域的夏季资料统计结果表明 T1 站平均涨潮历时和落潮历时分别为 11h52min 和 7h44min，T2 站分别为 11h24min 和 7h13min，T3 站分别为 11h56min 和 8h44min。涨潮历时大于落潮历时。从平均涨、落潮历时看，T1 站涨潮历时大于落潮历时 4h08min，T2 站涨潮历时大于落潮历时 4h11min，T3 站涨潮历时大于落潮历时 3h12min。

表 3.2.2-7 潮汐特征值

⑤小结

观测海域 3 个潮位站 T1、T2 和 T3 的潮汐判别数分别为 3.13、2.59、和 3.54，均属于不正规全日潮类型。观测海区为不正规全日潮海域，各分潮中全日分潮占主导地位。主要全日分潮振幅比分别为 0.66、0.67 和 0.67，主要浅海分潮振幅和分别为 0.7cm、0.6cm 和 0.8cm。

T1、T2 和 T3 站最高潮位分别为 204cm、213cm 和 203cm；最低潮位分别为-41、-43cm 和-34cm。T1、T2 和 T3 站的最大潮差分别为 204cm、213cm 和 203cm，均大于 200cm，平均潮差分别为 102cm、101cm 和 101cm。

T1 站平均涨潮历时和落潮历时分别为 11h52min 和 7h44min，T2 站分别为 11h24min 和 7h13min，T3 站分别为 11h56min 和 8h44min。涨潮历时大于落潮历时。

3.2.2.2 海流**(1) 夏季观测**

本次夏季全潮水文观测共布设全潮周日连续观测站 7 个，风速风向观测站 2 个，并收集邻近乌场、博鳌、清澜海洋站气象及潮位数据，各站的计划观测站位和观测内容见图 3.2.2-10 和表 3.2.2-8。

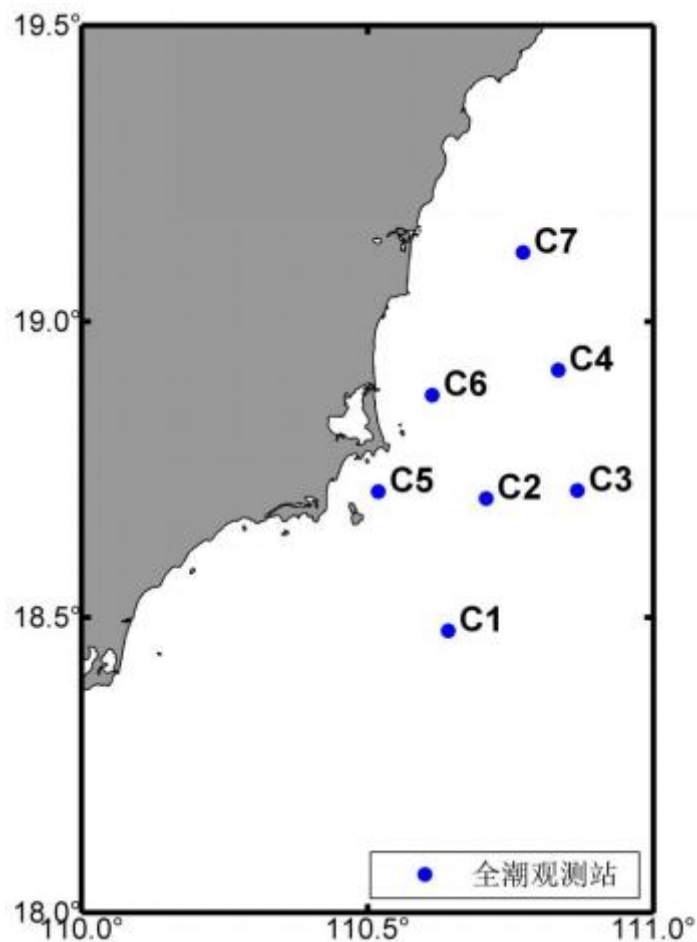


图 3.2.2-10 计划观测站位

表 3.2.2-8 计划观测站位坐标与观测内容统计表

1) 实测潮位统计分析

①时空序列分布

a 大潮

图 3.2.2-11 为大潮观测期各站相对水深变化曲线，图 3.2.2-12 为大潮期各海流观测站不同层次海流时间序列图，图 3.2.2-13 为大潮期各海流观测站海流平面分布图。表 3.2.2-9 为大潮期最大流速及相应流向统计表，

表 3.2.2-10 为大潮期最小流速及相应流向统计表，表 3.2.2-11 为大潮期各站海流流向统计表，表 3.2.2-12 为大潮期各站各向平均流速统计表。

大潮期间 7 个海流观测站均表现为较明显的北向实测海流分布特征，表层和 0.2H 层该特征尤为显著，结合观测期间的风速风向及夏季南海西北部上层海洋环流场可知，这主要受背景风场及大尺度环流分布影响，除靠近乌场码头的 C5 站外，各站上层实测

海流的潮汐涨落特征并不明显。自 0.4H 层开始，各站实测海流随潮汐涨落而表现出一定的涨落潮流特征，实测海流在 26 小时观测期内出现转向特征。另除了 C5 站，其他 6 个海流观测站的上层实测海流与下层海流表现为较明显的反向分布，显示了调查海域第一模态内潮特征明显。

大潮观测期，各站表层最大实测海流为 C7 站 68.1cm/s，相应流向为 2°，其次为 C6 站的 52.8cm/s，0.6H 层的最大实测海流为 C7 站 41.8cm/s，相应流向为 8°，底层最大海流为 C6 站 43.2cm/s，相应流向为 133°。各站表层最小流速为 C5 站 4.6cm/s，相应流向为 156°，0.6H 层最小流速为 C2 站 1.2cm/s，相应流向为 193°，底层最小流速为 C2 站 0.9cm/s，相应流向为 267°。

根据大潮期实测海流流向统计，各站表层海流主要集中在 NNW 至 ENE 方向之间，除了 C5 站此流向范围内频率和小于 50%，其他 6 个站的频率和均大于 90%，其中 N 向的平均流速在各站均较大，C7 站为 50.5cm/s，所有站位均超过 20cm/s。各站底层海流则主要集中在 ESE 至 WSW 方向之间，除 C7 站此流向范围内频率和小于 40%，其他 6 个站的频率和都在 50%以上，底层 S 流向平均流速在 C1 和 C4 站超过 10cm/s。

图 3.2.2-11 大潮期各站相对水深过程线

图 3.2.2-12 大潮期各站海流时间序列图

图 3.2.2-13 大潮期各站海流平面分布图

表 3.2.2-9 大潮期各站最大流速及对应流向统计表

表 3.2.2-10 大潮期各站最小流速及对应流向统计表

表 3.2.2-11 大潮期各站流向频率（%）统计表

表 3.2.2-12 大潮期各站各向平均流速（cm/s）统计表

b 中潮

图 3.2.2-14 为中潮观测期各站相对水深变化曲线，图 3.2.2-15 为中潮期各海流观测站不同层次海流时间序列图，图 3.2.2-16 为中潮期各海流观测站海流平面分布图。表 3.2.2-13 为中潮期最大流速及相应流向统计表，

表 3.2.2-14 为中潮期最小流速及相应流向统计表，表 3.2.2-15 为中潮期各站海流

流向统计表，

表 3.2.2-16 为中潮期各站各向平均流速统计表。

中潮期间的实测海流与大潮期的分布特征基本相似。7 个海流观测站的表层及上层均表现为较明显的北向流特征，结合观测期间的风速风向及夏季南海西北部上层海洋环流场可知，中潮观测期间主要受背景风场及大尺度环流分布影响。乌场码头附近的 C5 站各层实测海流涨落特征较为明显，且与相对水深变化规律保持较好的一致性，其他各站表层和 0.2H 层的潮流涨落特征并不显著。自 0.4H 层开始，各站实测海流随潮汐涨落而表现出一定的涨落潮流特征，实测海流在 26 小时观测期内出现转向特征，但与大潮相比，流速有所减弱。另除了 C5 站，中潮期其他 6 个海流观测站的上层实测海流与下层海流同样表现为较明显的反向分布，显示了调查海域第一模态内潮特征明显，但强度比大潮期有所减弱。

中潮观测期，各站表层最大实测海流为 C7 站 68.8cm/s，相应流向为 352°，其次为 C6 站的 68.0cm/s，0.6H 层的最大实测海流为 C7 站 45.6cm/s，相应流向为 28°，底层最大海流为 C5 站 27.8cm/s，相应流向为 332°。各站表层最小流速为 C3 站 3.5cm/s，相应流向为 244°，0.6H 层最小流速为 C1 站 0.4cm/s，相应流向为 124°，底层最小流速为 C2 站 0.8cm/s，相应流向为 174°。

根据中潮期实测海流流向统计，各站表层海流主要集中在 NNW 至 ENE 方向之间，除了 C3 和 C5 站此流向范围内频率和分别为 69%和 50%，其他 5 个站的频率和均大于 95%，其中 N 向的平均流速在各站均较大，C6 站为 53.5cm/s，C7 站为 44.2cm/s，所有站位均超过 20cm/s。各站底层海流在 ESE 至 WSW 方向范围内频率和在 C1 和 C3 站均超过 65%，其余各站底层海流在 W 至 NNW 方向范围的频率和同样较高。

图 3.2.2-14 中潮期各站相对水深过程线

图 3.2.2-15 中潮期各站海流时间序列图

图 3.2.2-16 中潮期各站海流矢量图

表 3.2.2-13 中潮期各站涨潮过程最大流速流向统计表

表 3.2.2-14 中潮期各站落潮过程最大流速流向统计表

表 3.2.2-15 中潮期各站流向频率(%)统计表

表 3.2.2-16 中潮期各站各向平均流速(cm/s)统计表

c 小潮

图 3.2.2-17 为小潮观测期各站相对水深变化曲线, 图 3.2.2-18 为小潮期各海流观测站不同层次海流时间序列图, 图 3.2.2-19 为小潮期各海流观测站海流平面分布图。表 3.2.2-17 为小潮期最大流速及相应流向统计表,

表 3.2.2-18 为小潮期最小流速及相应流向统计表, 表 3.2.2-19 为小潮期各站海流流向统计表,

表 3.2.2-20 为小潮期各站各向平均流速统计表。

小潮观测期间的实测海流与中潮和大潮期的分布特征也基本相似, 7 个海流观测站的表层及上层均表现为较明显的北向流特征, 结合观测期间的风速风向及夏季南海西北部上层海洋环流场可知, 小潮观测期间的上层实测海流同样受背景风场及大尺度环流分布影响。相对水深时间序列变化显示, 与大潮和中潮期一涨一落相比, 小潮期潮汐变化表现为两涨两落特征, 乌场码头附近的 C5 站各层实测海流大致可以看出潮流涨落特征, 其他各站表层和 0.2H 层的潮流涨落特征并不显著。小潮观测期, 上层和下层实测海流反向特征表现得最为明显, 如 C1、C3、C4 和 C6, 0.8H 层和底层南向实测海流特征明显, 显示了调查海域典型的第一模态内潮特征, 比大潮和中潮期更为显著。相比于大潮和中潮期, 自 0.4H 层以下的潮流涨落特征则有所减弱。

小潮观测期, 各站表层最大实测海流为 C7 站 63.9cm/s, 相应流向为 22° , 其次为 C2 和 C6 站的 43.1cm/s 和 42.9cm/s, 0.6H 层的最大实测海流为 C5 站 42.7cm/s, 相应流向为 229° , 底层最大海流为 C6 站 29.3cm/s, 相应流向为 161° 。各站表层最小流速为 C1 站 2.3cm/s, 相应流向为 341° , 0.6H 层最小流速为 C7 站 0.3cm/s, 相应流向为 180° , 底层最小流速为 C5 站 1.8cm/s, 相应流向为 258° 。

根据小潮期实测海流流向统计, 各站表层海流主要集中在 NNW 至 ENE 方向之间, 除了 C5 站此流向范围内频率和为 27%, 其他 6 个站的频率和均大于 80%, 其中北向的平均流速在各站均较大, C7 站 NNE 向平均流速为 52.5cm/s。各站底层海流在 ESE 至 WSW 方向范围内频率和在各站均超过 60%, 其中南向的平均流速在各站均较明显, C6 和 C1 站 S 流向平均流速分别为 18.5cm/s 和 18.4cm/s。

图 3.2.2-17 小潮期各站相对水深过程线

图 3.2.2-18 小潮期各站海流时间序列图

图 3.2.2-19 小潮期各站海流矢量图

表 3.2.2-17 小潮期各站涨潮过程最大流速流向统计表

表 3.2.2-18 小潮期各站落潮过程最大流速流向统计表

表 3.2.2-19 小潮期各站海流频率(%)统计表

表 3.2.2-20 小潮期各站各向平均流速(cm/s)统计表

②观测期间垂向平均流速分布

图 3.2.2-20 为大潮期各站位海流垂向平均时间序列图，图 3.2.2-21 为中潮期各站位海流垂向平均时间序列图，图 3.2.2-22 为小潮期各站位海流垂向平均时间序列图。其中各时刻的垂向平均流速按如下公式进行计算：

$$V_{\text{垂向}} = 0.1 * V_{\text{表}} + 0.2 * V_{0.2H} + 0.2 * V_{0.4H} + 0.2 * V_{0.6H} + 0.2 * V_{0.8H} + 0.1 * V_{\text{底}}$$

从各站垂向平均海流分布图中可以看出，在所有 7 个全潮观测站中，C5 和 C7 的垂向平均海流有一定的差异特征，C1-C4 站的垂向平均流速特征较为相似。

大潮观测期间，相比于其他站位，靠近乌场码头的 C5 站约 33m，是水深最浅的站位，其垂向平均海流的潮汐涨落较为明显，最大垂向平均流速为 14.2cm/s，相应流向为 342°，C7 站则是垂向平均流速最大的站位，流向表现为较稳定的东北向海流，最大垂向平均流速为 30.2cm/s，相应流向为 18°，其他 5 个站位的水深均较深，其中 C1-C4 水深均在 100m 左右，其在大潮期的垂向平均流速较小，但仍可看出潮流变化特征。

中潮观测期间，C5 站最大垂向平均流速为 16.1cm/s，相应流向为 109°，C7 站则是垂向平均流速最大的站位，流向表现为较稳定的东北向海流，最大垂向平均流速为 39.1cm/s，相应流向为 24°，其他 5 个站位的垂向平均流速特征较为接近，且潮流变化特征相较于大潮期有所减弱。

小潮观测期间，C5 站最大垂向平均流速为 22.9cm/s，相应流向为 195°，C7 站则是垂向平均流速最大的站位，流向表现为较稳定的东北向海流，最大垂向平均流速为 25.9cm/s，相应流向为 24°，C1-C4 站位的垂向平均流速均较小，表明了较弱的正压海

流分布特征。

图 3.2.2-20 大潮期各站位海流垂向平均时间序列图

图 3.2.2-21 中潮期各站位海流垂向平均时间序列图

图 3.2.2-22 小潮期各站位海流垂向平均时间序列图

2) 潮流

①潮流性质

潮流性质的划分采用潮流性质系数 $F = (W_{O1} + W_{K1}) / W_{M2}$ 作为判别标准：当 $F \leq 0.5$ 时，为正规半日潮流；当 $0.5 < F \leq 2.0$ 时，为不正规半日潮流；当 $2.0 < F \leq 4.0$ 时，为不正规全日潮流；当 $4.0 < F$ 时，为正规全日潮流。其中 W_{O1} 为主要太阴日分潮流 O1 的最大流速， W_{K1} 为主要太阴太阳合成日分潮流 K1 的最大流速， W_{M2} 为主要太阴半日分潮流 M2 的最大流速。

根据《海洋调查规范》，选用“引入差比关系的准调和分析方法”，对海流观测资料进行分析计算，得出观测期间的余流和 O1（主要太阴全日分潮）、K1（太阴太阳合成全日分潮）、M2（主要太阴半日分潮）、S2（主要太阳半日分潮）、M4（浅水分潮）和 MS4（浅水四分之一分潮）等 6 个主要分潮流的调和常数以及椭圆要素等潮流特征值。各站层的潮流性质系数 F 值见表。

表 3.2.2-21 潮流性质系数统计表

根据潮流调和和分析结果，除 C4 站垂向平均，其他所有观测站点的不同层次的潮流性质系数均大于 0.5，其中 19 个站层的潮流性质系数大于 2，其他 29 个站层的潮流性质系数在 0.5~2.0 之间，总体来说，调查海域各站层主要表现为不正规半日潮流，在部分站层表现为不正规全日潮流特征。

②潮流椭圆要素

潮流运动可粗略分为往复流和旋转流，它可由潮流的椭圆旋转率 k 值来描述， k 值为潮流椭圆的短半轴与长半轴之比，其值介于 -1~1 之间。 k 的绝对值越小越接近往复流，越大越接近于旋转流。 k 值的正、负号表示潮流旋转的方向，正号表示逆时针方向旋转，负号表示顺时针方向旋转。图 3.2.2-23~图 3.2.2-26 为调查海域垂向平均潮流椭圆分布图，图 3.2.2-27~图 3.2.2-30 为各站分层潮流椭圆分布图。

从图中可以看出，调查海域的主要分潮包括 O1、K1 和 M2，S2 相对较小。其中全日 O1 和 K1 潮流椭圆长轴在近岸主要地形岸线的影响，如 C5、C6 和 C7，椭圆长轴主要平行于岸线分布，在离岸站位主要表现为垂直于岸线方向，K1 分潮椭圆长轴大于 O1 分潮，最大值为 C5 站 13.2cm/s，其次为 K1 站 11.4cm/s。M2 分潮潮流椭圆长轴同样表现为类似特征，各站表层 M2 分潮椭圆长轴最大值为 C7 站 10.5cm/s。

从各站各层潮流椭圆分布图中可以看出，夏季调查海域各站潮流具有较明显的斜压特征，主要表现为较典型的一阶斜压模态内潮分布，潮流椭圆在表层和底层较大，在中层较弱。

各站各层潮流椭圆旋转特征并不明显。

图 3.2.2-23 调查海域垂向平均 O1 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-24 调查海域垂向平均 K1 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-25 调查海域垂向平均 M2 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-26 调查海域垂向平均 S2 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-27 调查海域各站 O1 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-28 调查海域各站 K1 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-29 调查海域各站 M2 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-30 调查海域各站 S2 分潮潮流椭圆图

表 3.2.2-22 主要分潮流椭圆要素

3) 余流

余流通常指实测海流资料中除去周期性流动(天文潮)之外，剩余的部分流动，其中包括潮汐余流、风海流和密度流等非周期性流动。大、中、小潮期余流分布见图 3.2.2-31、图 3.2.2-32、图 3.2.2-33，各层余流流速统计表见表 3.2.2-23、表 3.2.2-24、表 3.2.2-25。

从图上可以看出大、中、小潮期各站余流分布均有一定的相似性。受西南季风、南海北部环流及海南岛东部地形岸线影响，调查海域表层及上层主要表现为北向或东北向余流特征，表层及 0.2H 层余流明显大于其他各层，底层则明显表现为南向或西南向余流特征。

大潮期表层最大余流为 C7 站的 42.6cm/s，对应流向为 18° ，各站表层余流均大于 10cm/s，最小的为 C5 站 10.7cm/s；0.2H 层最大余流同样为 C7 站的 35.7cm/s，对应流向为 4° ，除 C5 站外，其他各站均大于 15cm/s；底层最大余流为 C3 站 11.0cm/s，对应流向为 210° ，其次为 C1 站 10.7cm/s，对应流向为 192° ，且底层要大于 0.8H 层，各站余流在 0.4H 和 0.6H 层最小。

中潮期表层最大余流为 C7 站的 42.9cm/s，对应流向为 15° ，各站表层余流均大于 14cm/s，最小的为 C3 站 14.0cm/s；0.2H 层最大余流同样为 C7 站的 50.8cm/s，对应流向为 21° ，除 C5 站外，其他各站均大于 20cm/s；底层最大余流为 C3 站 5.5cm/s，对应流向为 207° ，各站余流主要在 0.4H 和 0.6H 层最小。

小潮期表层最大余流为 C7 站的 52.2cm/s，对应流向为 24° ，表层余流最小的为 C5 站 6.9cm/s；0.2H 层最大余流同样为 C7 站的 38.1cm/s，对应流向为 28° ；底层最大余流为 C3 站 15.9cm/s，对应流向为 213° ，其次为 C6 站 15.5cm/s，对应流向为 186° ；0.8H 层最大余流为 C3 站 18.6cm/s，对应流向为 240° ，其次为 C6 站 16.6cm/s，对应流向为 191° ，各站余流最小值主要出现在 0.4H 和 0.6H 层。

夏季全潮观测期间，调查海域上层主要表现为北向或东北向余流特征，余流最大值集中在 C7 站位，最大为小潮的 52.2cm/s，底层及 0.8H 层余流主要表现为南向或西南向分布特征，最大值超过 15cm/s，各站余流最小值主要出现在 0.4H 和 0.6H 层。

表 3.2.2-23 大潮期余流统计表

表 3.2.2-24 中潮期余流统计表

表 3.2.2-25 小潮期余流统计表

图 3.2.2-31 大潮期余流分布图

图 3.2.2-32 中潮期余流分布图

图 3.2.2-33 小潮期余流分布图

4) 小结

①大潮期间 7 个海流观测站均表现为较明显的北向实测海流分布特征，表层和 0.2H 层该特征尤为显著，主要受背景风场及大尺度环流分布影响，各站上层实测海流的潮汐涨落特征并不明显。自 0.4H 层开始，各站实测海流随潮汐涨落而表现出一定的涨落潮

流特征，海流观测站的上层实测海流与下层海流表现为较明显的反向分布，显示了调查海域第一模态内潮特征明显，各站表层最大实测海流为 C7 站 68.1cm/s，相应流向为 2°。

②中潮期间的实测海流与大潮期的分布特征基本相似。乌场码头附近的 C5 站各层实测海流涨落特征较为明显，且与相对水深变化规律保持较好的一致性。自 0.4H 层开始，各站实测海流随潮汐涨落而表现出一定的涨落潮流特征。小潮观测期间的实测海流与中潮和大潮期的分布特征也基本相似。各站表层最大实测海流为 C7 站 68.8cm/s，相应流向为 352°。

③小潮观测期，上层和下层实测海流反向特征表现的最为明显，显示了调查海域典型的第一模态内潮特征，比大潮和中潮期更为显著。各站表层最大实测海流为 C7 站 63.9cm/s，相应流向为 22°。

④调查海域各站层主要表现为不正规半日潮流，在部分站层表现为不正规全日潮流特征。调查海域全日 O1 和 K1 潮流椭圆长轴在近岸主要地形岸线的影响，K1 分潮椭圆长轴大于 O1 分潮，最大值为 C5 站 13.2cm/s，各站表层 M2 分潮椭圆长轴最大值为 C7 站 10.5cm/s。夏季调查海域各站潮流具有较明显的斜压特征，主要表现为较典型的一阶斜压模态内潮分布。各站各层潮流椭圆旋转特征并不明显。理论最大潮流的最大值发生在 C5 站的表层，大小为 46.7cm/s，方向为 156°。

⑤大、中、小潮期各站余流分布均有一定的相似性。受西南季风、南海北部环流及海南岛东部地形岸线影响，调查海域表层及上层主要表现为北向或东北向余流特征，底层则明显表现为南向或西南向余流特征。余流最大值集中在 C7 站位，最大为 52.2cm/s，底层最大值超过 15cm/s，各站余流最小值主要出现在 0.4H 和 0.6H 层。

(2) 冬季观测

本次冬季全潮水文观测共布置 7 个测点分别进行流速、流向观测，其中 2 个测点进行海水悬沙观测，3 个测点进行海水温度、盐度观测，同时收集临近海洋站不少于 30 天，且覆盖冬季全潮水文观测期间的潮位和气象数据，各站的计划观测站位和观测内容见图 3.2.2-34 和表 3.2.2-26。

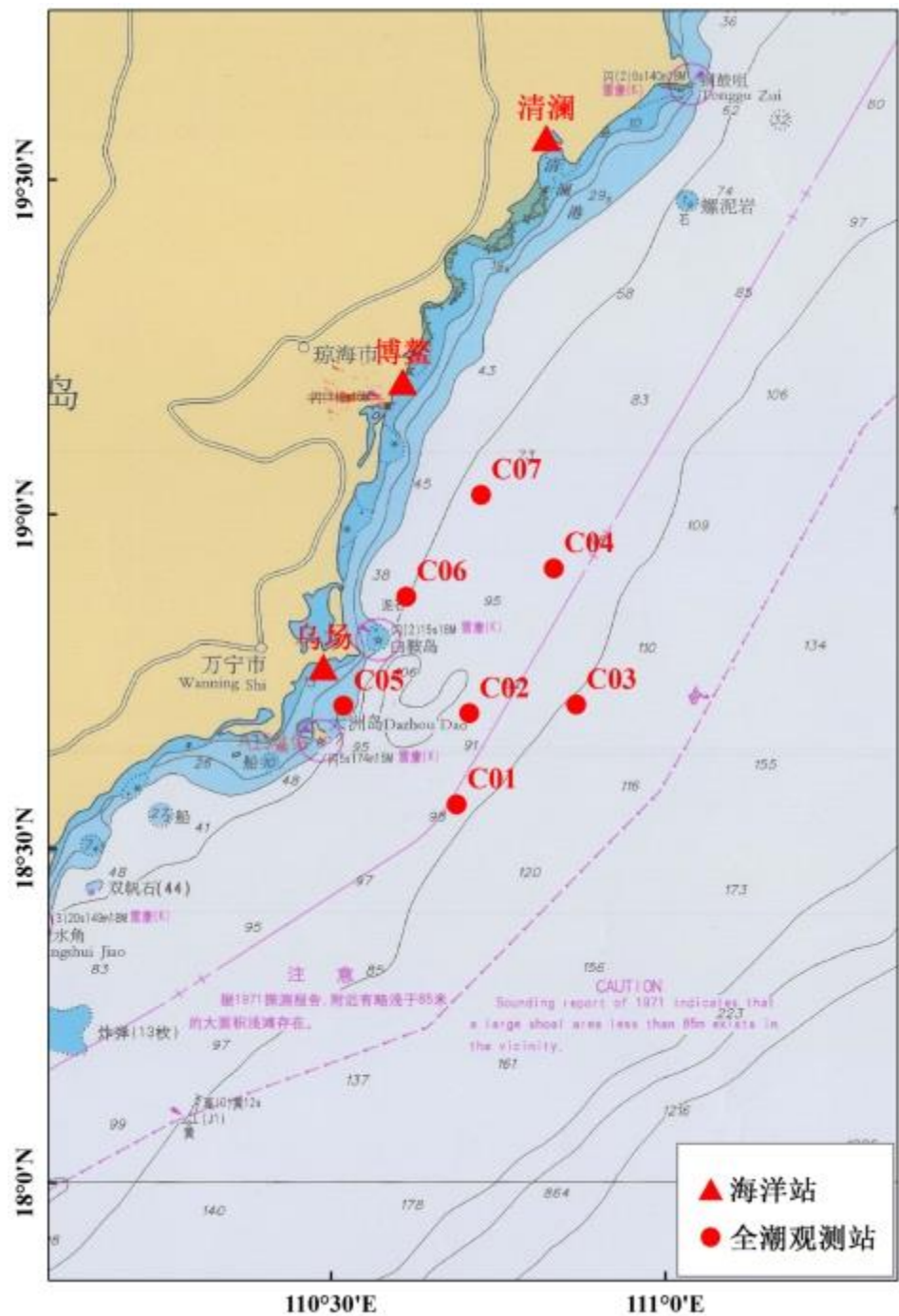


图 3.2.2-34 全潮观测站位图

表 3.2.2-26 观测站位坐标与观测内容统计表

1) 实测潮位统计分析

①时空序列分布

a 大潮

图 3.2.2-35 为大潮观测期各站相对水深变化曲线, 图 3.2.2-36 为大潮期各海流观

测站不同层次海流时间序列图，图 3.2.2-37 为大潮期各海流观测站海流平面分布图。表 3.2.2-27 为大潮期最大流速及相应流向统计表，

表 3.2.2-28 为大潮期最小流速及相应流向统计表，表 3.2.2-29 为大潮期各站海流流向统计表，表 3.2.2-30 为大潮期各站各向平均流速统计表。

大潮期间 7 个海流观测站均表现为较明显的南向或西南向实测海流分布特征，底层和 0.8H 层该特征尤为显著，结合观测期间的风速风向及冬季南海西北部上层海洋环流场可知，这主要受背景风场及大尺度环流分布影响，各站上层实测海流具有一定的潮流涨落特征，在 C1-C4 站表现较为明显。

大潮观测期，各站表层最大实测海流为 C5 站 51.4cm/s，相应流向为 209° ，其次为 C3 站的 39.2cm/s，0.2H 层的最大实测海流为 C5 站 65.3cm/s，相应流向为 222° ，底层最大海流为 C5 站 51.4cm/s，相应流向为 201° 。各站表层最小流速为 C2 站 0.8cm/s，0.2H 层最小流速为 C3 站 0.4cm/s，底层最小流速为 C6 站 3.1cm/s。

根据大潮期实测海流流向统计，各站表层海流主要集中在 SSW 至 WSW 方向之间，除 C1、C3 和 C4 站，其他站位的频率和均超过了 70%，其中 SSW 向的平均流速在各站均较大，C5 站为 40.7cm/s，所有站位均超过 10cm/s。各站底层海流则主要集中在 S 至 SW 方向之间，各站此流向范围内频率和均大于 80%，底层 S 流向平均流速最大值为 30.3cm/s，出现在 C3 站，C1、C4 和 C5 站均超过 20cm/s。

图 3.2.2-35 大潮期各站相对水深过程线

图 3.2.2-36 大潮期各站海流时间序列图

图 3.2.2-37 大潮期各站海流平面分布图

表 3.2.2-27 大潮期各站最大流速及对应流向统计表

表 3.2.2-28 大潮期各站最小流速及对应流向统计表

表 3.2.2-29 大潮期各站流向频率 (%) 统计表

表 3.2.2-30 大潮期各站各向平均流速 (cm/s) 统计表

b 中潮

图 3.2.2-38 为中潮观测期各站相对水深变化曲线, 图 3.2.2-39 为中潮期各海流观测站不同层次海流时间序列图, 图 3.2.2-40 为中潮期各海流观测站海流平面分布图。表 3.2.2-31 为中潮期最大流速及相应流向统计表,

表 3.2.2-32 为中潮期最小流速及相应流向统计表, 表 3.2.2-33 为中潮期各站海流流向统计表, 表 3.2.2-34 为中潮期各站各向平均流速统计表。

中潮期间的实测海流与大潮期的分布特征基本相似。7 个海流观测站的表层及上层均表现为较明显的南向或西南向流特征, 结合观测期间的风速风向及冬季南海西北部上层海洋环流场可知, 中潮观测期间主要受背景风场及大尺度环流分布影响。与大潮期不同, 各层均表现为较明显的南向流。

中潮观测期, 各站表层最大实测海流为 C5 站 43.7cm/s, 相应流向为 232°, 其次为 C1 站的 40.8cm/s, 0.2H 层的最大实测海流为 C5 站 47.5cm/s, 相应流向为 232°, 底层最大海流为 C7 站 37.7cm/s, 相应流向为 214°。各站表层最小流速为 C7 站 7.9cm/s, 相应流向为 211°, 0.2H 层最小流速为 C7 站 9.4cm/s, 相应流向为 208°, 底层最小流速为 C5 站 4.5cm/s, 相应流向为 226°。

根据中潮期实测海流流向统计, 各站表层海流主要集中在 SSW 至 WSW 方向之间, 除了 C4 站此流向范围内频率和分别为 58%, 其他 6 个站的频率和均大于 95%, 其中 SSW 向的平均流速在各站均较大, C5 站为 36.4cm/s, 其次为 SW 方向, C1 站为 34.2cm/s。各站底层海流在 S 至 SW 方向范围内频率和在各站均超过 85%, 各站底层海流在 SSW 方向均超过 20cm/s, 最大值为 31.1cm/s。

图 3.2.2-38 中潮期各站相对水深过程线

图 3.2.2-39 中潮期各站海流时间序列图

图 3.2.2-40 中潮期各站海流平面分布图

表 3.2.2-31 中潮期各站最大流速及对应流向统计表

表 3.2.2-32 中潮期各站最小流速及对应流向统计表

表 3.2.2-33 中潮期各站流向频率(%)统计表

表 3.2.2-34 中潮期各站各向平均流速(cm/s)统计表

c 小潮

图 3.2.2-41 为小潮观测期各站相对水深变化曲线，图 3.2.2-42 为小潮期各海流观测站不同层次海流时间序列图，图 3.2.2-43 为小潮期各海流观测站海流平面分布图。表 3.2.2-35 为小潮期最大流速及相应流向统计表，

表 3.2.2-36 为小潮期最小流速及相应流向统计表，表 3.2.2-37 为小潮期各站海流流向统计表，表 3.2.2-38 为小潮期各站各向平均流速统计表。

小潮观测期间的实测海流与中潮和大潮期的分布特征有较大差异，表现为各站为北向或东北向海流。各站主要表现为上表层实测海流大于中底层海流。

小潮观测期，各站表层最大实测海流为 C6 站 37.6cm/s，相应流向为 14°，其次为 C4 和 C7 站的 36.8cm/s 和 36.5cm/s，0.2H 层的最大实测海流为 C7 站 37.0cm/s，相应流向为 48°，底层最大海流为 C5 站 24.4cm/s，相应流向为 22°。各站表层最小流速为 C5 站 1.7cm/s，相应流向为 273°，0.2H 层最小流速为 C5 站 2.9cm/s，相应流向为 207°，底层最小流速为 C3 站 1.4cm/s，相应流向为 46°。

根据小潮期实测海流流向统计，各站表层海流主要集中在 N 至 NE 方向之间，除了 C5 站此流向范围内频率和为 46%，其他 6 个站的频率和均大于 65%，其中 NNE 向的平均流速在各站均较大，C7 站 NNE 向平均流速为 29.6cm/s。各站底层海流在 N 至 ENE 方向范围内频率和在各站均超过 60%，其中 NNE 向的平均流速在各站均较明显，C1 和 C5 站 NNE 流向平均流速分别为 18.1cm/s 和 16.7cm/s。

图 3.2.2-41 小潮期各站相对水深过程线

图 3.2.2-42 小潮期各站海流时间序列图

图 3.2.2-43 小潮期各站海流平面分布图

表 3.2.2-35 小潮期各站最大流速及对应流向统计表

表 3.2.2-36 小潮期各站最小流速及对应流向统计表

表 3.2.2-37 小潮期各站海流频率（%）统计表

表 3.2.2-38 小潮期各站各向平均流速（cm/s）统计表

②观测期间垂向平均流速分布

图 3.2.2-44 为大潮期各站位海流垂向平均时间序列图，图 3.2.2-45 为中潮期各站位海流垂向平均时间序列图，图 3.2.2-46 为小潮期各站位海流垂向平均时间序列图。其中各时刻的垂向平均流速按如下公式进行计算：

$$V_{\text{垂向}} = 0.1 * V_{\text{表}} + 0.2 * V_{0.2H} + 0.2 * V_{0.4H} + 0.2 * V_{0.6H} + 0.2 * V_{0.8H} + 0.1 * V_{\text{底}}$$

从各站垂向平均海流分布图中可以看出，在所有 7 个全潮观测站中，各站的垂向平均流速特征较为相似，大潮和中潮期主要表现为南向或西南向海流，小潮期表现为北向或东北向海流。

大潮观测期间，相比于其他站位，靠近乌场码头的 C5 站（1 月 8-9 日）约 33m，是水深最浅的站位，其垂向平均海流流速最大，大部分时刻均超过 40cm/s，最大垂向平均流速为 45.2cm/s，相应流向为 215°。其他各站（1 月 22-23 日）的垂向平均海流分布规律较为一致，均有一定的潮流变化特征，且各站流速较为接近。

中潮观测期间（1 月 11-12 日），各站垂向平均流速分布规律较为一致，均表现为南向或西南向海流，C7 站最大垂向平均流速为 38.2cm/s，相应流向为 208°，各站也能看出一定的潮流变化特征，垂向平均流速一般都在 20cm/s 以上。

小潮观测期间（1 月 14-15 日），各站垂向平均海流均表现为北或东北向，与大潮和中潮形成明显差异，且各站垂向平均流速小于大潮和中潮期，最大流速不超过 30cm/s，一般都在 20cm/s 以下。小潮期的海流分布受短时天气过程和局地环流过程的共同影响，在整个潜标观测期间属于小概率事件。

图 3.2.2-44 大潮期各站位海流垂向平均时间序列图

图 3.2.2-45 中潮期各站位海流垂向平均时间序列图

图 3.2.2-46 小潮期各站位海流垂向平均时间序列图

2) 潮流

根据各观测站海流有效观测周期统计表，C1-C4 及 C6 和 C7 的观测时间均大于 22 天，此 6 个站位采用“T_TIDE”程序包进行潮流调和分析，C5 站进行了大、中、小三个潮 26 时次观测，采用短期调和分析方法进行计算。

①潮流性质

潮流性质的划分采用潮流性质系数 $F = (W_{O_1} + W_{K_1}) / W_{M_2}$ 作为判别标准：当 $F \leq 0.5$ 时，为正规半日潮流；当 $0.5 < F \leq 2.0$ 时，为不正规半日潮流；当 $2.0 < F \leq 4.0$ 时，为不正规全日潮流；当 $4.0 < F$ 时，为正规全日潮流。其中 W_{O_1} 为主要太阴日分潮流 O_1 的最大流速， W_{K_1} 为主要太阴太阳合成日分潮流 K_1 的最大流速， W_{M_2} 为主要太阴半日分潮流 M_2 的最大流速。

通过调和与分析得出观测期间的余流和 O_1 （主要太阴全日分潮）、 K_1 （太阴太阳合成全日分潮）、 M_2 （主要太阴半日分潮）、 S_2 （主要太阳半日分潮）、 M_4 （浅水分潮）和 MS_4 （浅水四分之一分潮）等 6 个主要分潮流的调和常数以及椭圆要素等潮流特征值。各站层的潮流性质系数 F 值见表。

表 3.2.2-39 潮流性质系数统计表

根据潮流调和与分析结果，除 C1 站外，其他各站都主要表现为不正规半日潮流，同时在 C2 站表层、C2 站 0.2H 层及 C5 站表层表现为不正规全日潮，另外 C1 站比较特殊，在表层和 0.2H 层为正规全日，其他各层主要表现为不正规全日潮特征。

②潮流椭圆要素

潮流运动可粗略分为往复流和旋转流，它可由潮流的椭圆旋转率 k 值来描述， k 值为潮流椭圆的短半轴与长半轴之比，其值介于 -1~1 之间。 K 的绝对值越小越接近往复流，越大越接近于旋转流。 k 值的正、负号表示潮流旋转的方向，正号表示逆时针方向旋转，负号表示顺时针方向旋转。图 3.2.2-47~图 3.2.2-50 为调查海域垂向平均潮流椭圆分布图，图 3.2.2-51~图 3.2.2-54 为各站分层潮流椭圆分布图。

从图中可以看出，调查海域的主要分潮包括 O_1 、 K_1 和 M_2 ， S_2 相对较小。其中全日 O_1 和 K_1 潮流椭圆长轴在近岸主要地形岸线的影响，椭圆长轴主要平行于岸线分布， O_1 分潮的椭圆率明显大于 K_1 分潮，且 O_1 分潮的振幅大于 K_1 分潮。 M_2 和 S_2 分潮的倾角主要垂向于岸线，显示的潮波的传播方向。

从各站各层潮流椭圆分布图中可以看出，冬季调查海域各站潮流椭圆在垂向上分布较为一致，相比于夏季斜压特征明显减弱，体现了冬季较强的垂向混合的影响。

=

图 3.2.2-47 调查海域垂向平均 O_1 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-48 调查海域垂向平均 K_1 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-49 调查海域垂向平均 M2 分潮潮流椭圆图

图 3.2.2-50 调查海域垂向平均 S₂ 分潮潮流椭圆图图 3.2.2-51 调查海域各站 O₁ 分潮潮流椭圆图图 3.2.2-52 调查海域各站 K₁ 分潮潮流椭圆图图 3.2.2-53 调查海域各站 M₂ 分潮潮流椭圆图图 3.2.2-54 调查海域各站 S₂ 分潮潮流椭圆图

表 3.2.2-40 主要分潮流椭圆要素

③理论最大可能潮流

根据《海港水文规范》的规定，对于不正规半日潮流海区，最大可能潮流 V_{max} 取下列公式计算中的大值：

$$\begin{aligned}\vec{V}_{MAX} &= 1.295\vec{W}_{M2} + 1.245\vec{W}_{S2} + \vec{W}_{K1} + \vec{W}_{O1} + \vec{W}_{M4} + \vec{W}_{MS4} \\ \vec{V}_{MAX} &= \vec{W}_{M2} + \vec{W}_{S2} + 1.600\vec{W}_{K1} + 1.450\vec{W}_{O1}\end{aligned}$$

表 3.1.2.2-34 为各站各层理论最大潮流的计算结果，从表中可以看出理论最大潮流的最大值发生在 C1 站的表层，大小为 20.3cm/s，方向为 24°；0.2H 层理论最大潮流的最大值发生在 C1 站，大小为 17.0cm/s，方向为 31°；0.4H 层理论最大潮流的最大值发生在 C3 站，大小为 16.7cm/s，方向为 105°；0.6H 层理论最大潮流的最大值发生在 C2 站，大小为 16.3cm/s，方向为 27°；0.8H 层理论最大潮流的最大值发生在 C2 站，大小为 12.5cm/s，方向为 39°；底层理论最大潮流的最大值发生在 C6 站，大小为 16.5cm/s，方向为 17°；垂向平均理论最大潮流的最大值发生在 C2 站，大小为 14.1cm/s，方向为 42°。

表 3.2.2-41 理论最大潮流统计表

3) 余流

余流通常指实测海流资料中除去周期性流动(天文潮)之外，剩余的部分流动，其中包括潮汐余流、风海流和密度流等非周期性流动。大、中、小潮期余流分布见图 3.2.2-55～图 3.2.2-57，各层余流流速统计表见表 3.2.2-42～表 3.2.2-44。

从图上可以看出大、中、小潮期各站余流分布均有一定的相似性。受冬季东北季风、南海北部环流及海南岛东部地形岸线影响，调查海域表层及上层主要表现为南向或西南向余流特征，与夏季不同的是，不同层余流方向较为一致。

大潮期表层最大余流为 C5 站的 40.8cm/s，对应流向为 197° ，其次为 C6 站的 25cm/s，方向为 201° ，最小的为 C4 站 3.9cm/s；0.2H 层最大余流同样为 C5 站的 47.1cm/s，对应流向为 211° ，除 C4 站外，其他各站均大于 10cm/s；底层最大余流为 C5 站 30.5cm/s，对应流向为 204° ，其次为 C3 站 30.1cm/s，对应流向为 205° ，且底层要大于表层和 0.2H 层。

中潮期表层最大余流为 C1 站的 33.3cm/s，对应流向为 231° ，各站表层余流均大于 13cm/s，最小的为 C4 站 13.1cm/s；0.2H 层最大余流同样为 C1 站的 30.9cm/s，对应流向为 229° ，除 C4 站外，其他各站均大于 20cm/s；底层最大余流为 C3 站 31.2cm/s，对应流向为 200° ，各站余流各层差异较小，中下层略大于上表层。

小潮期表层最大余流为 C6 站的 27.3cm/s，对应流向为 26° ，表层余流最小的为 C5 站 10.6cm/s；0.2H 层最大余流为 C2 站的 27.6cm/s，对应流向为 31° ；底层最大余流为 C2 站 14.6cm/s，对应流向为 12° ，其次为 C5 站 13.5cm/s，对应流向为 357° ；0.8H 层最大余流为 C2 站 16.4cm/s，对应流向为 22° ，小潮期的余流方向主要为北向或东北向。

冬季全潮观测期间，大潮和中潮期调查海域各层主要表现为南向或西南向余流特征，余流最大值集中在 C5 站位，最大为大潮的 47.1cm/s，且底层平均的余流大小要大于上表层。另小潮期余流表现为北向或东北向，但从图 6.1 潜标长期观测结果可知，该海域在冬季受东北季风影响，主要表现为南向流，短时间北向流过程主要受短期天气过程和大尺度环流共同作用影响，且流速较小。

表 3.2.2-42 大潮期余流统计表

表 3.2.2-43 中潮期余流统计表

表 3.2.2-44 小潮期余流统计表

图 3.2.2-55 大潮期余流分布图

图 3.2.2-56 中潮期余流分布图

图 3.2.2-57 小潮期余流分布图

4) 小结

①大潮期间 7 个海流观测站均表现为较明显的南向或西南向实测海流分布特征，底层和 0.8H 层该特征尤为显著，结合观测期间的风速风向及冬季南海西北部上层海洋环流场可知，这主要受背景风场及大尺度环流分布影响，各站上层实测海流具有一定的潮流涨落特征，在 C1-C4 站表现较为明显。大潮观测期，各站表层最大实测海流为 C5 站 51.4cm/s，相应流向为 209° ，底层最大海流为 C5 站 51.4cm/s，相应流向为 201° 。各站表层海流主要集中在 SSW 至 WSW 方向之间，各站底层海流则主要集中在 S 至 SW 方向之间。

②中潮期间的实测海流与大潮期的分布特征基本相似，各层均表现为较明显的南向流。中潮观测期，各站表层最大实测海流为 C5 站 43.7cm/s，相应流向为 232° ，底层最大海流为 C7 站 37.7cm/s，相应流向为 214° 。各站表层海流主要集中在 SSW 至 WSW 方向之间，其中 SSW 向的平均流速在各站均较大，C5 站为 36.4cm/s。各站底层海流在 S 至 SW 方向范围内频率和在各站均超过 85%，各站底层海流在 SSW 方向均超过 20cm/s，最大值为 31.1cm/s。

③小潮观测期间的实测海流与中潮和大潮期的分布特征有较大差异，表现为各站为北向或东北向海流。各站主要表现为上表层实测海流大于中底层海流。各站表层最大实测海流为 C6 站 37.6cm/s，相应流向为 14° ，底层最大海流为 C5 站 24.4cm/s，相应流向为 22° 。根据小潮期实测海流流向统计，各站表层海流主要集中在 N 至 NE 方向之间，其中 NNE 向的平均流速在各站均较大，C7 站 NNE 向平均流速为 29.6cm/s。各站底层海流在 N 至 ENE 方向范围内频率和在各站均超过 60%，其中 NNE 向的平均流速在各站均较明显，C1 和 C5 站 NNE 流向平均流速分别为 18.1cm/s 和 16.7cm/s。

④调查海域各站层主要表现为不正规半日潮流，在部分站层表现为不正规全日潮流特征。全日 O_1 和 K_1 潮流椭圆长轴在近岸主要地形岸线的影响，椭圆长轴主要平行于岸线分布， O_1 分潮的椭圆率明显大于 K_1 分潮， M_2 和 S_2 分潮的倾角主要垂向于岸线，显示的潮波的传播方向。冬季调查海域各站潮流椭圆在垂向上分布较为一致，相比于夏季斜压特征明显减弱，体现了冬季较强的垂向混合的影响。

⑤冬季全潮观测期间，大潮和中潮期调查海域各层主要表现为南向或西南向余流特征，余流最大值集中在 C5 站位，最大为大潮的 47.1cm/s，且底层平均的余流大小要大于上表层。另小潮期余流表现为北向或东北向，但从图 6.1 潜标长期观测结果

可知,该海域在冬季受东北季风影响,主要表现为南向流,短时间北向流过程主要受短期天气过程和大尺度环流共同作用影响,且流速较小。

3.2.2.3 悬沙

(1) 夏季观测

1) 悬沙含量及其分布特征

实测最高含沙量为 0.0179kg/m^3 , 位于大潮期涨潮阶段 C2 站的底层, 实测最低含沙量为 0.0009kg/m^3 , 位于大潮期落潮阶段 C2 站的 0.2H 层(详见表 3.2.2-45~表 3.2.2-48)。就各站各潮期平均含沙量(每个站每个潮 26 时次的悬沙含量算术平均, 下同)而言, 小潮期 C2 和 C5 潮期平均含沙量均为 0.00331kg/m^3 , 平均值为 0.0033kg/m^3 ; 中潮期 C2 和 C5 潮期平均含沙量分别为 0.0036kg/m^3 和 0.0030kg/m^3 , 平均值为 0.0033kg/m^3 ; 大潮期 C2 和 C5 潮期平均含沙量分别为 0.0057kg/m^3 和 0.0028kg/m^3 , 平均值为 0.0043kg/m^3 。悬沙含量空间平面分布上, 大潮期 C2 站 > C5 站。垂向上, 各站规律性不明显, 各层之间差异不大。对 C2 和 C5 站而言, 大潮期平均含沙量高于中、小潮期。

通过对 C1、C3、C4、C6 和 C7 站各层两次采样的结果进行分析, 各站的平均含沙量分别为 0.0022kg/m^3 、 0.0027kg/m^3 、 0.0026kg/m^3 、 0.0024kg/m^3 和 0.0030kg/m^3 。各站之间含沙量差异不大。

表 3.2.2-45 小潮期含沙量特征值统计 (单位: kg/m^3)

表 3.2.2-46 中潮期含沙量特征值统计 (单位: kg/m^3)

表 3.2.2-47 大潮期含沙量特征值统计 (单位: kg/m^3)

表 3.2.2-48 C1、C3、C4、C6、C7 站含沙量特征值统计 (单位: kg/m^3)

2) 悬沙含量周日变化特征

图 3.2.2-58~图 3.2.2-63 为小、中、大潮期间 C2 站、C5 站含沙量和垂线平均流速周日分布图。一个潮周期内含沙量变化与流速有较密切的关系, 流速增强时底部泥沙受到冲刷, 含沙量增高; 而当流速降低到一定程度时, 水体中泥沙落淤, 含沙量降低。

整体来看, 大潮、中潮和小潮期间悬沙含量基本在 0.015kg/m^3 以内, 各站悬沙含量在大部分时间段小于 0.010kg/m^3 。

图 3.2.2-58 小潮期 C2 站含沙量过程线

图 3.2.2-59 小潮期 C5 站含沙量过程线

图 3.2.2-60 中潮期 C2 站含沙量过程线

图 3.2.2-61 中潮期 C5 站含沙量过程线

图 3.2.2-62 大潮期 C2 站含沙量过程线

图 3.2.2-63 大潮期 C5 站含沙量过程线

3) 悬沙中值粒径大小及其分布特征

悬沙中值粒径是工程设计和数模实验中一个重要的输入参数，它在一定程度上能反映出泥沙的来源及其动力搬运的强弱等。表 3.2.2-49 和

表 3.2.2-50 为各站各潮次悬沙中值粒径平均值统计结果，由图表可知，调查海域悬沙颗粒较细，但不同潮期的悬沙颗粒大小是不断变化的。C2、C5 站小潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.015mm 和 0.014mm，中潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.016mm 和 0.020mm，大潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.014mm 和 0.021mm，C5 站悬沙中值粒径的平均值小潮期略小于 C2 站，中潮和大潮期大于 C2 站。C2、C5 站中潮和大潮期的悬沙粒径大于小潮期的悬沙粒径。

通过对 C1、C3、C4、C6 和 C7 站两次采样的结果进行分析，各站的中值粒径的平均值分别为 0.016mm、0.014mm、0.018mm、0.015mm 和 0.018mm。各站之间中值粒径差异不大。

悬沙各组成物质中，以粉砂含量最高，为 72.69%~91.49%，平均为 81.90%，粘土含量次之，为 4.64%~19.14%，平均为 11.42%，砂含量次低，为 1.50%~14.90%，平均为 6.56%，砾石含量最低，为 0.00%~3.050%，平均为 0.12%，样品累积频率曲线见图 3.2.2-64~图 3.2.2-67。悬沙组成物质类型有粉砂、粘土质粉砂、砂质粉砂共三种，以粉砂为主。

表 3.2.2-49 C2、C5 站各潮次悬沙中值粒径平均值统计表（单位：mm）

表 3.2.2-50 C1、C3、C4、C6、C5 站悬沙中值粒径平均值统计表（单位：mm）

图 3.2.2-64 小潮期 C2、C5 站悬沙粒径累积频率曲线图

图 3.2.2-65 中潮期 C2、C5 站悬沙粒径累积频率曲线图

图 3.2.2-66 大潮期 C2、C5 站悬沙粒径累积频率曲线图

图 3.2.2-67 C1、C3、C4、C6 和 C7 站悬沙粒径累积频率曲线图

4) 悬沙运移及来源分析

由实测含沙量资料结合海流资料计算实测各站单宽净输沙量，主要公式为：

$$\text{单宽输沙率: } q = \int_0^H \bar{U} C dz$$

式中：q—单宽输沙率，单位为 $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$

H—水深，单位为 m

$\bar{U}$ —水深 z 处的流速，单位为 m/s

C—水深 z 处的含沙量，单位为 kg/m^3 。

用三点法观测的悬沙和海流结果计算 q，可知：

$$q = 0.3H\bar{U}_{\text{表}}C_{\text{表}} + 0.5H\bar{U}_{0.6H}C_{0.6H} + 0.2H\bar{U}_{\text{底}}C_{\text{底}}$$

周日单宽净输沙量计算方法：

$$W_{\text{净}} = [(q_0 + q_1)t_1 + (q_1 + q_2)t_2 + \dots + (q_{n-1} + q_n)t_n]/2$$

式中： $W_{\text{净}}$ —周日单宽净输沙量，单位为 $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$ ；

q—单宽输沙率；

t—取样时间。

计算结果见表 3.2.2-51 和图 3.2.2-68。从图、表可以看出，调查海域悬沙输移呈现如下特征。

(1) 各站单宽净输沙方向与余流方向基本一致，小潮期，C2、C5 站单宽净输沙方向分别为北向和西南向，中潮期 C2、C5 站单宽净输沙方向为东北向，大潮期 C2、C5 站单宽净输沙方向为西北向。

(2) 最大单宽净输沙量为 $3146.8\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$ ，出现在中潮期的 C2 站，对应的净输沙方向为 10° ；最小单宽净输沙量为 $166.0\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$ ，出现在大潮期的 C5 站，对应的净输沙方向为 279° 。深水站 C2 站的单宽净输沙量大于 C5 站。

表 3.2.2-51 单宽净输沙量 ($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$) 和方向 ($^\circ$)

图 3.2.2-68 小、中、大潮期单宽净输沙量图

5) 小结

(1) 本海域实测最高含沙量为 $0.0179\text{kg}/\text{m}^3$ ，实测最低含沙量为 $0.0009\text{kg}/\text{m}^3$ ，C2 站在小、中、大潮期的平均值分别为 $0.00331\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.0036\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $0.0057\text{kg}/\text{m}^3$ ，

C5 站在小、中、大潮期的平均值分别为 0.00331kg/m^3 、 0.0030kg/m^3 和 0.0028kg/m^3 。C1、C3、C4、C6 和 C7 站的平均含沙量分别为 0.0022kg/m^3 、 0.0027kg/m^3 、 0.0026kg/m^3 、 0.0024kg/m^3 和 0.0030kg/m^3 。悬沙含量空间平面分布上，大潮期 C2 站>C5 站。垂向上，各层之间差异不大。对 C2 和 C5 站而言，大潮期平均含沙量高于中、小潮期。

(2) C2、C5 站小潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.015mm 和 0.014mm ，中潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.016mm 和 0.020mm ，大潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.014mm 和 0.021mm ，C5 站悬沙中值粒径的平均值小潮期略小于 C2 站，中潮和大潮期大于 C2 站。C2、C5 站中潮和大潮期的悬沙粒径大于小潮期的悬沙粒径。C1、C3、C4、C6 和 C7 站的中值粒径的平均值分别为 0.016mm 、 0.014mm 、 0.018mm 、 0.015mm 和 0.018mm 。各站之间中值粒径差异不大。悬沙各组成物质中，以粉砂含量最高，粘土含量次之，砂含量次低，为 $1.50\%\sim 14.90\%$ ，砾石含量最低。悬沙组成物质类型有粉砂、粘土质粉砂、砂质粉砂共三种，以粉砂为主。

(3) 各站单宽净输沙方向与余流方向基本一致，小潮期，C2、C5 站单宽净输沙方向分别为北向和西南向，中潮期 C2、C5 站单宽净输沙方向为东北向，大潮期 C2、C5 站单宽净输沙方向为西北向。最大单宽净输沙量为 $3146.8\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$ ，最小单宽净输沙量为 $166.0\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$ 。深水站 C2 站的单宽净输沙量大于 C5 站。

(2) 冬季观测

1) 悬沙含量及其分布特征

实测调查海域位于海南万宁，冬季悬沙含量呈现出如下特征：

实测最高含沙量为 0.0208kg/m^3 ，位于大潮期 C5 站的 0.4H 层，实测最低含沙量为 0.0007kg/m^3 ，分别位于中潮期 C2 站的表层和小潮期 C5 站的 0.2H 层(详见表 3.2.2-52~表 3.2.2-55)。就各站各潮期平均含沙量(每个站每个潮 26 时次的悬沙含量算术平均，下同)而言，大潮期 C2 和 C5 潮期平均含沙量均为 0.0039kg/m^3 和 0.0050kg/m^3 ，平均值为 0.0044kg/m^3 ；中潮期 C2 和 C5 潮期平均含沙量分别为 0.0030kg/m^3 和 0.0025kg/m^3 ，平均值为 0.0028kg/m^3 ；小潮期 C2 和 C5 潮期平均含沙量分别为 0.0039kg/m^3 和 0.0037kg/m^3 ，平均值为 0.0038kg/m^3 。悬沙含量空间平面分布上，小、中潮期 C2 站>C5 站，大潮期 C2 站<C5 站。垂向上，各站规律性不明显，各层之间差异不大。对 C2 和 C5 站而言，大潮期平均含沙量高于中、小潮期。

通过对 C1、C3、C4、C6 和 C7 站各层两次采样的结果进行分析，各站的平均含沙量分别为 0.0047kg/m^3 、 0.0032kg/m^3 、 0.0069kg/m^3 、 0.0043kg/m^3 和 0.0069kg/m^3 。

表 3.2.2-52 大潮期含沙量特征值统计 (单位: kg/m^3)表 3.2.2-53 中潮期含沙量特征值统计 (单位: kg/m^3)表 3.2.2-54 小潮期含沙量特征值统计 (单位: kg/m^3)表 3.2.2-55 C1、C3、C4、C6、C7 站含沙量特征值统计 (单位: kg/m^3)

2) 悬沙含量周日变化特征

图 3.2.2-69~图 3.2.2-74 为大、中、小潮期间 C2 站、C5 站含沙量和垂线平均流速周日分布图。一个潮周期内含沙量变化与流速有较密切的关系,流速增强时底部泥沙受到冲刷,含沙量增高;而当流速降低到一定程度时,水体中泥沙落淤,含沙量降低。

整体来看,大潮、中潮和小潮期间悬沙含量基本在 $0.020\text{kg}/\text{m}^3$ 以内,各站悬沙含量在大部分时间段小于 $0.015\text{kg}/\text{m}^3$ 。

图 3.2.2-69 大潮期 C2 站含沙量过程线

图 3.2.2-70 大潮期 C5 站含沙量过程线

图 3.2.2-71 中潮期 C2 站含沙量过程线

图 3.2.2-72 中潮期 C5 站含沙量过程线

图 3.2.2-73 小潮期 C2 站含沙量过程线

图 3.2.2-74 小潮期 C5 站含沙量过程线

3) 悬沙中值粒径大小及其分布特征

悬沙中值粒径是工程设计和数模实验中一个重要的输入参数,它在一定程度上能反映出泥沙的来源及其动力搬运的强弱等。表 3.2.2-56 和表 3.2.2-57 为各站各潮次悬沙中值粒径平均值统计结果,由图表可知,调查海域悬沙颗粒较细,但不同潮期的悬沙颗粒大小是不断变化的。C2、C5 站小潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.015mm 和 0.009mm ,中潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.012mm 和 0.010mm ,大潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.015mm 和 0.009mm ,C5 站悬沙中值粒径的平均值小于 C2 站。C2、C5 站各潮期悬沙粒径的平均值基本相等。

通过对 C1、C3、C4、C6 和 C7 站两次采样的结果进行分析，各站的中值粒径的平均值分别为 0.012mm、0.012mm、0.011mm、0.013mm 和 0.011mm。各站之间中值粒径差异不大。

悬沙各组成物质中，以粉砂含量最高，为 64.41%~92.73%，平均为 77.30%，粘土含量次之，为 5.92%~34.14%，平均为 16.32%，砂含量次低，为 0.00%~15.01%，平均为 6.32%，砾石含量最低，为 0.00%~2.06%，平均为 0.06%，样品累积频率曲线见图 3.2.2-75~图 3.2.2-78。悬沙组成物质类型有粉砂、粘土质粉砂、砂质粉砂共三种，以粉砂为主。

表 3.2.2-56 C2、C5 站各潮次悬沙中值粒径平均值统计表（单位：mm）

表 3.2.2-57 C1、C3、C4、C6、C5 站悬沙中值粒径平均值统计表（单位：mm）

图 3.2.2-75 小潮期 C2、C5 站悬沙粒径累积频率曲线图

图 3.2.2-76 中潮期 C2、C5 站悬沙粒径累积频率曲线图

图 3.2.2-77 大潮期 C2、C5 站悬沙粒径累积频率曲线图

图 3.2.2-78 C1、C3、C4、C6 和 C7 站悬沙粒径累积频率曲线图

4) 悬沙运移及来源分析

由实测含沙量资料结合海流资料计算实测各站单宽净输沙量，主要公式为：

$$\text{单宽输沙率: } q = \int_0^H \bar{U} C dz$$

式中：q—单宽输沙率，单位为 kg/(m·s)

H—水深，单位为 m

$\bar{U}$ —水深 z 处的流速，单位为 m/s

C—水深 z 处的含沙量，单位为 kg/m³。

用三点法观测的悬沙和海流结果计算 q，可知：

$$q = 0.3H\bar{U}_{\frac{1}{2}}C_{\frac{1}{2}} + 0.5H\bar{U}_{0.6H}C$$

周日单宽净输沙量计算方法：

$$W_{\text{净}} = [(q_0 + q_1)t_1 + (q_1 + q_2)t_2 + \cdots + (q_{n-1} + q_n)t_n] / 2$$

式中：W_净—周日单宽净输沙量，单位为 kg/(m·d)；

q —单宽输沙率；

t —取样时间。

计算结果见表 3.2.2-58 和图 3.2.2-79。从图、表可以看出，调查海域悬沙输移呈现如下特征。

①各站单宽净输沙方向与余流方向基本一致，小潮期，C2、C5 站单宽净输沙方向均为 NNE 向，中潮期 C2、C5 站单宽净输沙方向均为 SSW 向，大潮期 C5 站单宽净输沙方向为 SSW 向。

②最大单宽净输沙量为 $8396.7\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$ ，出现在小潮期的 C2 站，对应的净输沙方向为 26° ；最小单宽净输沙量为 $1077.3\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$ ，出现在小潮期的 C5 站，对应的净输沙方向为 25° 。深水站 C2 站的单宽净输沙量大于 C5 站。

表 3.2.2-58 单宽净输沙量 ($\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$) 和方向 ($^\circ$)

图 3.2.2-79 小、中、大潮期单宽净输沙量图

5) 小结

①本海域实测最高含沙量为 $0.0208\text{kg}/\text{m}^3$ ，实测最低含沙量为 $0.0007\text{kg}/\text{m}^3$ ，C2 站在大、中、小潮期的平均值分别为 $0.0039\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.0030\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $0.0039\text{kg}/\text{m}^3$ ，C5 站在大、中、小潮期的平均值分别为 $0.0050\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.0025\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $0.0037\text{kg}/\text{m}^3$ 。C1、C3、C4、C6 和 C7 站的平均含沙量分别为 $0.0047\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.0032\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.0069\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $0.0043\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $0.0069\text{kg}/\text{m}^3$ 。悬沙含量空间平面分布上，大、中潮期 C2 站 $>$ C5 站。垂向上，各层之间差异不大。对 C2 和 C5 站而言，小潮期平均含沙量高于中、大潮期。

②C2、C5 站小潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.015mm 和 0.009mm ，中潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.012mm 和 0.010mm ，大潮期悬沙中值粒径的平均值分别为 0.015mm 和 0.009mm ，C5 站悬沙中值粒径的平均值小于 C2 站。C2、C5 站各潮期悬沙粒径的平均值基本相等。C1、C3、C4、C6 和 C7 站中值粒径的平均值分别为 0.012mm 、 0.012mm 、 0.011mm 、 0.013mm 和 0.011mm 。各站之间中值粒径差异不大。悬沙组成物质类型有粉砂、粘土质粉砂、砂质粉砂共三种，以粉砂为主。

③各站单宽净输沙方向与余流方向基本一致，小潮期，C2、C5 站单宽净输沙方向均为 NNE 向，中潮期 C2、C5 站单宽净输沙方向均为 SSW 向，大潮期 C5 站单宽净输沙方向为 SSW 向。。最大单宽净输沙量为 $8396.7\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$ ，最小单宽净输沙量为 $1077.3\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{d})$ 。深水站 C2 站的单宽净输沙量大于 C5 站。

3.2.2.4 波浪

工波浪资料采用路由附近海域乌场临时测波站 2011 年 9 月的观测结果，各向、各级波浪频率统计见表 3.2.2-59。

大潮期观测波列波向为 SSE、S 和 SW 向，均为混合浪，其中 9 月 6 日 10:00～9 月 7 日 9:00 以涌浪为主，9 月 7 日 10:00～11:00 以风浪为主。SSE 向浪出现频率较多，为 57.14%，波高在 0.5～1.5m 之间，其次为 SW 向浪，出现频率为 28.57%，波高在 0.5～1.5m 之间。波浪平均周期最大为 4.1s，且周期出现在 3～4s 范围内的波浪频率较多，约占观测时段内的 71.43%。

中潮期观测波列波向为 E 和 SW 向，亦为混合浪，其中 9 月 10 日 8:00～15:00 以风浪为主，9 月 10 日 16:00～9 月 11 日 10:00 以涌浪为主。E 向浪出现频率较多，为 54.34%，波高在 0.5～1.5m 之间，小部分出现于 1.5～3m 之间。波浪平均周期最大为 4.9s，均出现在 3～4s 范围内。

小潮期观测波列波向为 SW 和 S 向，均为涌浪。SW 向浪出现频率较多，为 71.42%，波高在 0.5～1.5m 之间，其次为 S 向浪，出现频率为 28.58%，波高亦在 0.5～1.5m 之间。波浪平均周期最大为 4.3s，出现在 4～5s 范围内的占 78.57%，出现在 3～4s 范围内的占 21.43%。

表 3.2.2-59 各向、各级波浪频率统计表 (%)

3.2.2.5 灾害性水文气象概况

(1) 灾害性水文气象因素

项目所在海区是西北太平洋和南海台风、热带风暴活动和登陆的主要地区之一，因此主要的气象灾害是热带气旋引起的极端大风。热带气旋是破坏性颇为严重的灾害性天气系统，位居当今危害全球的十大自然灾害之首。

根据中国气象局热带气旋资料中心 (www.typhoon.gov.cn) “CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集”统计，1949 年~2019 年经过路由区域的热带气旋（范围：以点 ($110^{\circ} 45' E$, $18^{\circ} 50' N$) 为中心，半径 400km 的圆，见图 3.1.2-42) 统计结果见表 3.1.2-32。70 年间，共有 470 个热带气旋影响工程区域，其中热带低压 111 个，热带风暴 66 个，强热带风暴 106 个，台风 89 个，强台风 51 个，超强台风 47。热带气旋多发生在 6 月~10 月，该时间内的发生次数占总数的 91%以上，8 月和 9 月份发生次数最多，分别为 112 次和 118 次，7 月次之，为 80 次，2 月和 3 月发生次数均为

0。

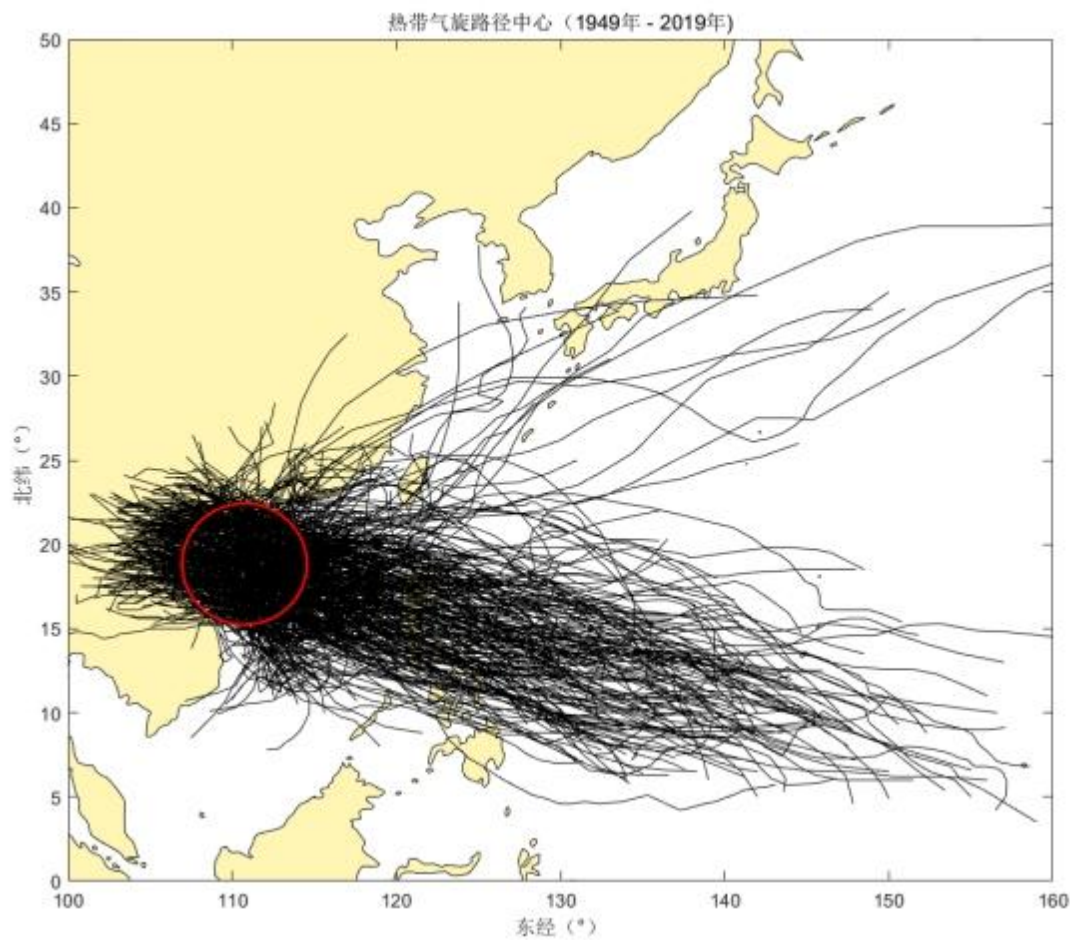


图 3.2.2-80 经过路由附近海域的热带气旋统计 (1949 年~2019 年)

表 3.2.2-60 热带气旋统计表 (1949 年~2019 年)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
热带低压	0	0	0	0	5	17	14	32	32	10	1	0	111
热带风暴	0	0	0	0	0	11	13	18	20	3	1	0	66
强热带风暴	0	0	0	1	3	8	24	28	24	11	7	0	106
台风	1	0	0	3	3	10	18	17	23	11	3	0	89
强台风	0	0	0	0	1	6	4	7	15	12	4	2	51
超强台风	0	0	0	0	0	6	7	10	4	16	4	0	47
合计	1	0	0	4	12	58	80	112	118	63	20	2	470

(2) 水文气象对工程的影响分析及建议

项目所在海域多年平均气压为 1010.7hPa，月平均气压呈现冬季高、夏季低的特征。

该海域冬季盛行 NNE 和 N 风。春季，S~SSW 风的频率明显增加。夏季，风的频率主要集中在 SSW 方向。秋季，盛行风又开始转向 N 向和 NNE 向。海区风速不大，多年月平均风速在 1.6m/s~2.6m/s，最大风速最大值主要集中在 8 月~10 月，冬季较小，累年各月最大风速最大值达 13.7m/s，最小值为 5.3m/s。常风向是 SSW，出

现频率是 28.67%，平均风速为 3.0 m/s，最大风速为 10.6m/s；最少风向是 WSW，出现频率 0.21%，平均风速为 0.3 m/s，最大风速 3.2m/s。路由区地处季风气候区，冬夏季盛行风向基本相反，具有明显的季节变化型特征，从 9 月至次年 2 月盛行 NNE 风；3~8 月盛行 SSW 风。强风向为 S，但只有 8 月和 9 月有强风出现，全年出现频率仅 0.004%。

路由区附近海域临时潮位站 NC1 站、LC3 站和乌场海洋站在观测期间潮位变化曲线较一致，26 小时内出现了一次高潮两个低潮，且相邻两个低潮潮高不等，潮汐不等现象显著。观测期间的平均海面为 70.1cm，最高潮位为 143.0cm，最低潮位为-11.3cm，最大潮差为 154.3cm，出现在 NC1 站；平均潮差为 108.1cm~112.3cm，涨潮历时为 6 小时 20 分~6 小时 50 分，落潮历时为 7 小时 45 分~8 小时 20 分。

路由区附近海域大潮期实测各站、层海流差异很大，无固定的涨、落潮流路，规律性不明显。表层受东北季风影响强，除 NC1 站外，各站海流矢量玫瑰图主要呈现出朝西南的扇状。实测各站表层平均流速在 7.8cm/s~35.0cm/s 之间；0.6H 层平均流速在 11.7cm/s~23.6cm/s 之间；底层平均流速在 9.1cm/s~21.9cm/s 之间；标量垂线平均流速的平均值在 10.5cm/s~25.3cm/s 之间。在空间分布上，NC1 站靠近岸边，流速最小，流向也在地形遮挡的作用下主要为东北向；LC1 和 LC2 站各层海流特征比较接近，表中底层流向一致，以偏西向流为主；LC3 和 LC4 站流速相对近岸站点偏大，表层和中层海流流向比较接近偏向西南向，底层海流流向主要为东北向和表层、中层流向相反。潮流类型主要为规则的全日潮流。NC1、LC1、LC2 站等浅水站以往复流为主，而水深较深的 LC3、LC4 站具有一定的往复流特性，但以旋转潮流为主。除 NC1 站各层余流方向主要为偏北向外，LC1 站和 LC2 站各层余流流向主要为偏西向；LC3 站、LC4 站表层和 0.6H 层余流流向为西南向，由于水深较深，底层余流表现为补偿流的特征，为东北向。余流较小，流速值在 2.4 cm/s-34.6cm/s 之间。最大余流为 34.6cm/s，流向为 241°，出现在 LC4 站的表层。

路由区附近海域大潮期观测波列波向为 SSE、S 和 SW 向，均为混合浪。SSE 向浪出现频率较多，波高在 0.5~1.5m 之间，其次为 SW 向浪，波高在 0.5~1.5m 之间。波浪平均周期最大为 4.1s，且周期出现在 3~4s 范围内的波浪频率较多。中潮期观测波列波向为 E 和 SW 向，亦为混合浪。E 向浪出现频率较多，波高在 0.5~1.5m 之间，小部分出现于 1.5~3m 之间。波浪平均周期最大为 4.9s，均出现在 3~4s 范围内。小潮期观测波列波向为 SW 和 S 向，均为涌浪。SW 向浪出现频率较多，波高在

0.5~1.5m 之间,其次为 S 向浪,波高亦在 0.5~1.5m 之间。波浪平均周期最大为 4.3s,出现在 4~5s 范围内的占 78.57%,出现在 3~4s 范围内的占 21.43%。

1949 年~2019 年经过路由区域的热带气旋共有 470 个,其中热带低压 111 个,热带风暴 66 个,强热带风暴 106 个,台风 89 个,强台风 51 个,超强台风 47。热带气旋多发生在 6 月~10 月,8 月和 9 月份发生次数最多,7 月次之,2 月和 3 月发生次数均为 0。

综上所述,整体上路由区的水文气象条件较好,建议项目施工避开本海域灾害性天气集中的 6 月~10 月。

3.2.3 海域地形地貌与冲淤状况

3.2.3.1 区域构造特征

根据区域地质资料,海南岛内地层发育较全,自中元古界长城系至第四系,除缺失南华系、蓟县系、泥盆系及侏罗系外,其余时代地层均有分布。按照《海南省岩石地层单位》(1997)地层分区方案,综合地层分区以东西向九所—陵水构造带为界,北面属华南地层大区-东南地层区,南面为南海地层大区-三亚地层区。在海南岛内东南地层区以东西向王五一文教构造带为界进一步划分为北面的雷琼地层分区—海口地层小区和南面的五指山地层分区。

本区在地质构造单元上属华南准地台(一级),华夏褶皱带(二级),海南隆起(三级)及雷琼新凹陷(三级)中的雷海凹陷(四级)。本区在区域构造单元上属于滨太平洋地槽褶皱区,地处东南沿海褶皱系的琼雷断陷南部边缘附近-琼北断陷内,区域内主要有东西向、北北西向及北西向的三组断裂构造。东西向的王五一文教深大断裂将海南岛分成琼北凹陷和南部隆起两个构造单元,该断裂在海西期有强烈活动,至印支期继续活动,燕山期断裂带活动强烈,导致花岗岩体的侵入,到喜马拉雅期,断裂带继续活动,近期断裂活动已不明显。在地质历史发展过程中,该区域主要经历了加里东、海西-印支、燕山和喜马拉雅等构造运动。从空间分布上,以各种方向、不同形态和不同性质的构造形迹组合,形成东西向构造带、北东向构造带、北西向构造带等主要构造体系,构成了本区的主要构造格局,控制着本区沉积建造、岩浆活动、成矿作用以及近时期的山川地势的展布,参见图 3.2.3-1。

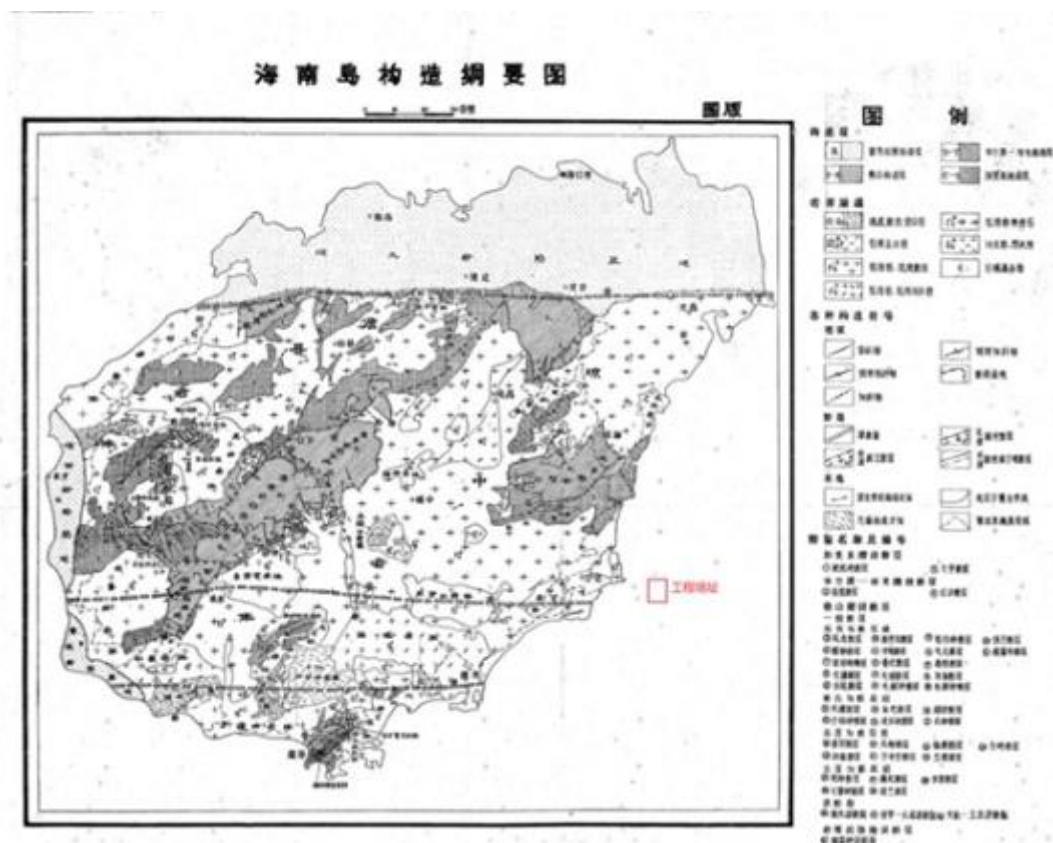


图 3.2.3-1 场址区域构造纲要图

3.2.3.2 地形地貌

拟建工程区地貌属滨浅海沉积平原，位于外陆架堆积平原，侵蚀痕迹明显。海底整体平缓，局部起伏变化较大，沿 80m、100m 等深线有岗阜地形，成为由陆向海的斜坡，走向为北东-南西向。海底麻坑、沙波、埋藏古河道及古洼地较为发育，为该区的特殊地貌单元。

3.2.3.3 项目风电场路由勘察分析

根据中电建海南建设投资有限公司 2022 年 8 月编制《中电建万宁 1000MW 漂浮式海上风电试验项目预选路由选择依据说明材料（送审稿）》，主要分析项目路由区水下地形、地貌、海域埋设条件、海床稳定性、海底不良地质因素（工程地质、物探）、海底腐蚀性条件。

（1）路由区的水下地形和地貌

1) 水下地形

路由区位于海南岛东部海域。近岸段地形较陡，海底地形相对平坦。场区水深约 60-75m，位于外陆架堆积平原，南部场址位于一个长 35km，宽约 8km 的水下洼地。由图 3.2.3-2 可以看出，路由区海域整体来说地形条件较好，只在近岸段坡降稍大，

在近段地形稍陡。总体地形特点为水深缓慢向东南方向逐渐增大。

图 3.2.3-2 项目路由区水下地形图

2) 地貌

项目所在的万宁市,地质基地由古老的砂页岩变质岩系(板岩、片岩、千枚岩、石英岩)、中生代浆岩(花岗岩、辉长岩)、沿海第四系松散层以及河流冲击地层构成。西部、西南部山区和中部丘陵、台地母质母岩为花岗岩。自冰后期海侵以来,随海面上升海流和波浪从陆架上携大量泥沙向岸推移,再加上山地丘陵展延轮廓的影响,在不同的岸段上发育了潟湖—潮汐通道—沙嘴地貌体系、沿岸沙堤等复杂的地貌类型,滨海拥有潟湖、半岛、河口和各种独特地质景观,沿海分布大洲岛、洲仔岛、白鞍岛、加井岛、甘蔗岛 5 个自然岛屿。

项目为于滨浅海沉积平原,海底整体平缓,局部起伏变化较大,海底麻坑、沙波、埋藏古河道及古洼地较为发育,为该区的特殊地貌单元。

路由区海域位于海南岛东部海域,其近岸地貌多属于侵蚀-堆积岸坡,是水下堆积岸坡与侵蚀岸坡之间的过渡型岸坡。沉积物除部分源于大河补给外,主要来自近岸中、小河流和沿岸侵蚀物质。岸坡堆积作用和侵蚀作用之强弱。与沉积物供给状况和波浪作用强度相关。一般在沿岸流途经范围堆积作用发育,其余则大多以侵蚀作用为主,坡面底质相应出现粗(砾质砂)和细(砂质粉砂、粉砂质砂)的变化。

本项目研究区三级地貌主要有 3 种类型,分别是水下岸坡、陆架堆积-侵蚀平原、陆架堆积平原,如图 3.2.3-3 所示。

①水下岸坡

水下岸坡是平均低潮线至波浪引起的泥沙显著活动水深之间的海底倾斜部分。鉴于各海域开敞条件不同,水深地形各异,波浪条件不一,故水下岸坡的宽度有很大差别。本海域水下岸坡的外缘水深大致在 5m~20m。

②陆架堆积-侵蚀平原

早期形成的堆积平原经冰后期海侵或现代海流、潮流、波浪作用长期改造形成堆积-侵蚀平原,本路由区附近的陆架堆积-侵蚀平原底质为砂质粉砂、粉砂质砂。其上常发育古三角洲、古湖沼洼地、古河谷、水下阶地、古沙堤、陆架谷和现代冲刷槽、沙波等。

3) 陆架堆积平原

河流和海洋水动力作用携带的大量沉积物堆积于此，形成广阔平坦的平原地貌。表层的现代沉积物变化较复杂，除岸边沉积物较粗外，绝大部分为粉砂黏土质沉积物。

图 3.2.3-3 路由区海域海底地貌

综上，该工程场地位于海南省万宁市东部海域内，项目为位于外陆架堆积-侵蚀平原，海底地形整体条件较好，靠近登陆段坡降较大。研究区三级地貌主要有水下岸坡、陆架堆积-侵蚀平原和陆架堆积平原三种类型。

（2）路由区海域埋设条件

研究区域海底沉积物类型主要以黏土质砂和粉砂质砂为主，靠近登陆段坡降较大，水深基本处于 60-75m。整体来说，路由区海域大部分浅地层沉积物工程地质条件较好。

（3）路由区海床冲淤稳定性条件

综合海域水动力条件可知，波浪和潮流作用下的泥沙运动动力条件较弱。沿岸沙滩并不发育，由于岬角的阻断，波浪沿岸输沙作用不显著。海岸附近没有大的河流注入，河流来沙很少，岸滩整体稳定，在冬季偏北向风浪作用下，略有冲刷，但冲淤变化很小，海床及岸线长期以来一直维持稳定的状态。适宜进行海底电缆工程建设。

（4）路由区海底不良地质因素（工程地质、物探分析）

根据国际海缆路由多次调查成果，结合广州海洋地质调查局在 2009 年及 2012 年 2 个航次在北部湾东部海域进行的野外调查资料，发现研究区发育多种潜在灾害地质因素，主要有埋藏古河道及古三角洲、浅部断层、底辟、浅层气、浅滩、槽沟等潜在不良地质因素，详见图 3.2.3-4。

1) 浅层气

调查研究表明浅层气成因主要有两方面：其一，是河口带来的富含有机质的细颗粒物经过生物作用生成；其二，可能是由于地处海南岛东部盆地，该盆地一大特色就是底辟带以垂向断裂和裂隙系统为主的热流体幕式疏导体系(解习农等，1999)，浅层气可能是深部油气经断层运移至浅部，在浅地层中赋存或向海底渗漏。浅层气会导致沉积物的土力学性质发生变化，导致固结程度减弱、抗剪强度降低，同时浅层气极易

沿着断层或渗透性较强的地层向上运移，或聚集在古河道、古湖泊等沉积物中，形成高压气。由于地层的含气效应会导致声速迅速降低，因此，含气地层与上覆及下伏地层存在明显的波阻抗差异。区内发现的浅层气主要以气囊、气泡及气柱的形式存在，其中含气囊的地层表现为内部反射较弱。

2) 泥底辟

泥底辟是异常压力条件下，泥质岩、或盐岩等发生塑性流动，向上流动将上覆地层拱起、挤入甚至刺穿的现象(解习农等，1999；何家雄等，2006，2008)。有学者通过分析琼东南盆地多道地质资料也发现存在底辟构造(杨文达等，2001)。

通过解译地震资料，发现研究区发育了类似的地质构造，但在研究区未发现泥火山现象，可能与底辟幕式活动能量减弱有关。根据浅地层剖面可见底辟发育深度较浅，最浅处约为 3m。

3) 地震

南海陆架边缘区地处南海陆坡北缘地震带地震活动性皆较强烈，地震产生直接的破坏性，同时也可诱发滑坡、塌陷等其它地质灾害。场址区位于 7 度抗震区，场地地面下 20m 深度范围内分布有饱和砂土，存在液化可能。

4) 埋藏古河道

研究区内发现众多埋藏古河道，单道地震剖面及浅地层剖面上均可看到，埋藏古河道地震剖面上表现为“U”、“V”以及“W”型。浅地层剖面上河道内部充填结构清晰，可见明显的侧向加积层理。埋藏古河道底部发射为强振幅杂乱反射，与上覆地层及周围地层呈强阻抗反射，下切深度可达 23m，宽度达 3km。古河道纵向切割深度不同，海平面上升时河道被沉积充填，横向沉积相变迅速，并摆动迁移，在近距离范围以内存在完全不同的力学支撑，诸如河床砂体和河漫滩泥质沉积物，显然具有不同的抗剪强度，软的黏土沉积在不均匀压实或受重力和地震力的作用下，极易产生蠕变，引起滑坡，导致地质灾害。海上工程如遇古河道时应引起注意，另外插桩等工程应尽量避免古河道所在区。

5) 埋藏古三角洲

海南岛西南部海域发育一套前积反射，为典型的三角洲地震响应，三角洲发育后期因海平面下降导致顶部被侵蚀，并形成侵蚀不整合面。从地震剖面上可以看到三角洲下部地震剖面上呈丘状体反射，内部呈中强振幅杂乱反射，连续性较差，推测为浊

积扇。古三角洲由于沉积物高速堆积，粒度相对较大，孔隙发育，前三角洲近海相富有机质细粒物质可作为生气母源，古三角洲是浅层气的良好聚集区，且埋深较浅，与围岩物性及土力学性质有较大差异。因此，埋藏古三角洲是潜在灾害地质因素之一，海上工程作业时应引起注意。

6) 海底槽沟

海底槽沟主要分布在海南岛西侧近岸及琼州海峡两侧区域，因潮流、波浪等强水动力往复冲刷作用而成。这些槽沟与凸起相间，高度和坡度变化较大，水深变化迅速，槽沟的发育受控于地形，陡峭的槽沟常伴生陡坎，可能产生滑坡。水

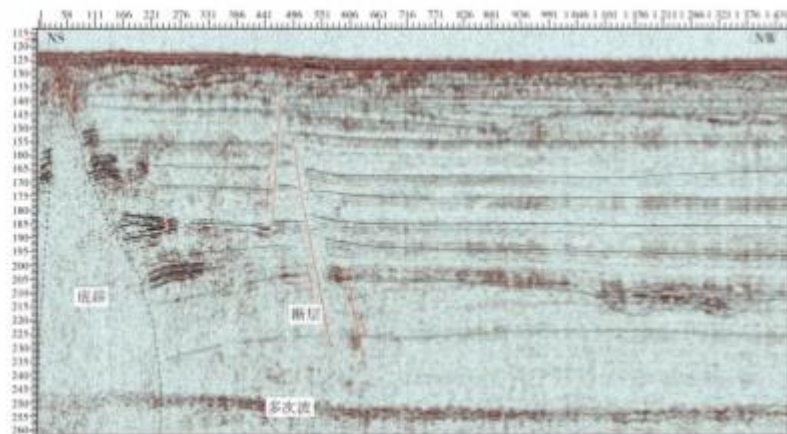
下槽沟多且与不规则基岩相伴生，沿岸岛屿多，水动力作用强，易发育水下槽沟，是海底电缆、插桩及水下管线铺设等海洋工程应当避让或必需处理的地质条件。

7) 潮流沙脊

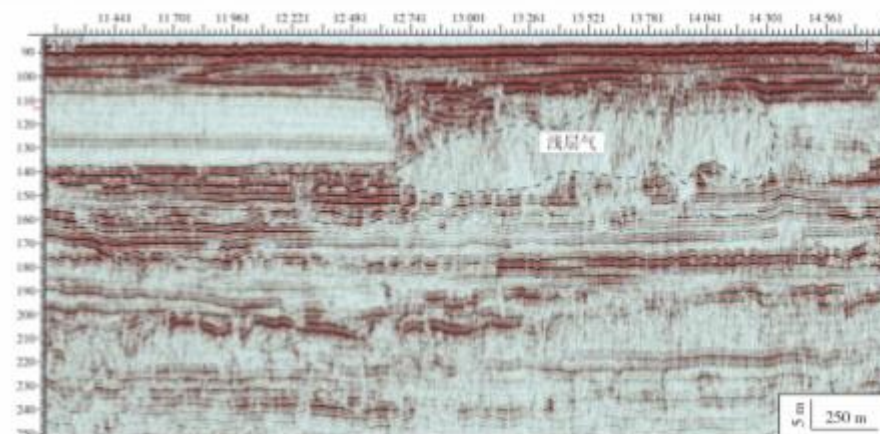
潮流沙脊其主要分布在琼州海峡两侧及海南岛西侧，呈楔状或席状。潮流沙脊斜层理倾向指示其迁移方向，在潮流作用下后部不断被削蚀，前部不断堆积。平面上潮流沙脊成指状、条带状，沙脊之间为潮道，测深剖面表现为凸起与凹地相间，水深变化迅速。沙脊在水动力条件改变时，特别是在台风、风暴潮的作用下，浅滩的形态和分布都可能会发生变化，甚至会产生移动，潮流沙脊的迁移、活动和改造，不但直接影响锚泊，而且对其上的插桩和管线等海洋工程设施会造成极大的危害，并对其移动前方的工程空间，亦有掩埋、冲击、拖曳等严重威胁。

综上，路由预选区的地质背景较为稳定，工程地质条件整体较好，海底地形较为平坦，研究区三级地貌主要有3种类型，分别是水下岸坡、陆架堆积-侵蚀平原和陆架堆积平原，海底沉积物类型主要有砾质砂、砂质粉砂、粉砂质砂等，其中粉砂质砂是该区最主要的表层沉积物。

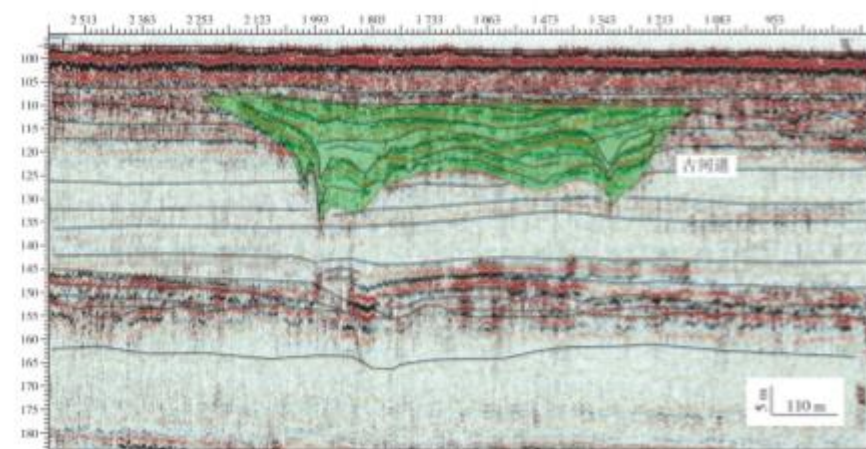
路由区海底地形开阔平坦，覆盖层较厚，暂未发现活动性断层、大型海底滑坡等因素。场址区域及周边区域一般不存在大的不良地质体，其不良物理地质作用主要为粉土(砂土)的液化、场址局部存在礁灰岩以及埋藏较深的活断层和埋藏古河道。由于海底地形和洋流的活动较复杂，浅表部受海潮的影响常有一定的变化，应注意海底移动沙坡、埋藏古河道、浅层气和基岩埋深变化对工程建设的影响。



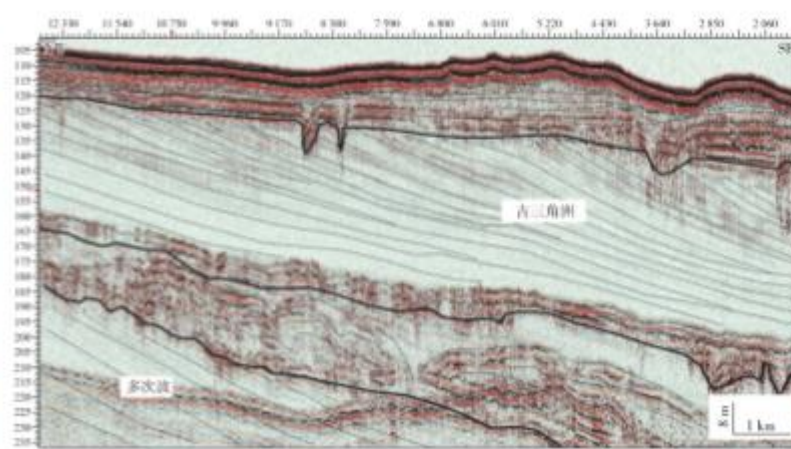
a) 断层



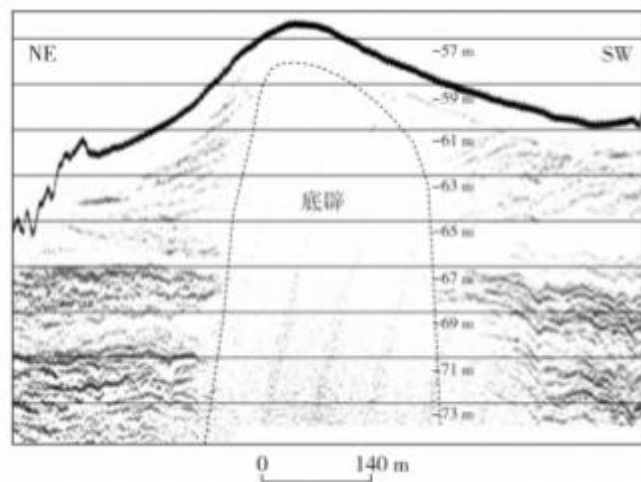
b) 浅层气



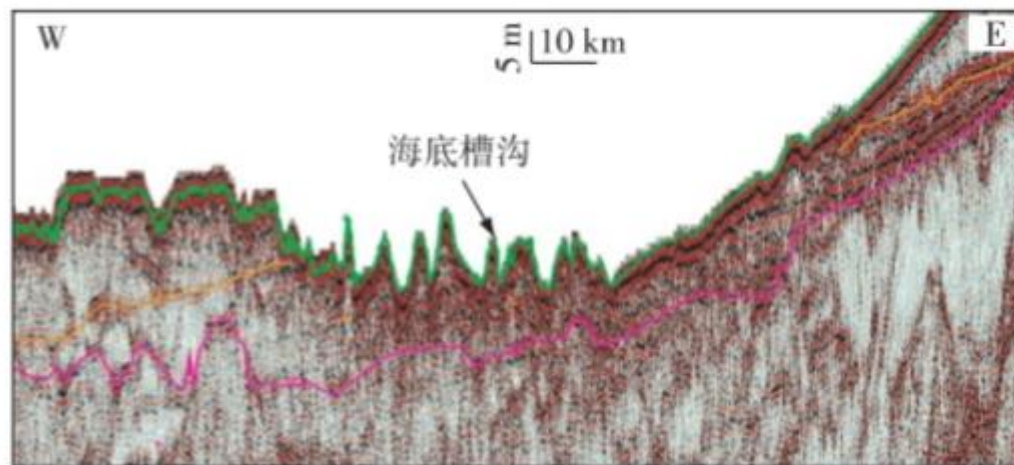
c) 埋藏古河道



d) 古三角洲



e) 底辟



f) 海底槽沟

图 3.2.3-4 路由区海域可能存在的不良地质因素

(5) 路由区海域海底腐蚀性环境

从腐蚀的角度,海洋环境被划分为5个腐蚀区带即海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区、全浸区、海底泥土(海底沉积物)区。海缆埋设或放置在海底,腐蚀的主要发生区是在全浸区和海底泥土(海底沉积物)区,并且主要可能发生的是海水腐蚀、污损生物腐蚀和海底沉积物腐蚀。

1) 海水

海水主要成分是氯化钠和硫酸盐及一定量的可溶性碳酸盐,其中氯离子约占55%,是含盐浓度极高的电解质溶液,也是一种腐蚀性较强的天然腐蚀剂。海水腐蚀主要发生在沉积物颗粒较大的埋设路由区海域。海水腐蚀性还受到海水温度、溶解氧、海水流速及海洋生物等诸多因素的变化影响,使得海水对金属具有强腐蚀性。此外,海水盐度的波动直接影响海水的电导率,是影响金属腐蚀速度的主要因子之一。海水电阻率太低易造成金属结构的腐蚀,在阴极电位保护中应高度重视。海水的pH值对金属的腐蚀性是非常敏感的,因为海水是碳酸盐体系,是弱酸和弱碱的溶液以及其它效应的结果。溶解在水中的氧是影响钢铁在海水中腐蚀的重要因素。据研究,大多数金属(除Al等少数金属外)的腐蚀速率与氧浓度成正比。 E_h 值反映了海水的氧化还原程度,是了解金属腐蚀过程在氧化性环境还是在还原性环境中进行的重要参数。海水中的 Cl^- 浓度和 S^{2-} 浓度的增大,均对金属材料有较强的腐蚀性。

①海水物理腐蚀

海水的物理腐蚀主要是指流速和波浪的影响。海水腐蚀是靠氧来进行极化反应的,主要受氧到达阴极表面的扩散所控制,海流和波浪由于改变了供氧条件,必然对腐蚀产生重要的影响。在流速较低时,主要是电化学腐蚀。当海水流速超过某一临界值时,由于附加机械作用而使腐蚀速度急剧增加。海水流速越高,海水中悬浮的固体颗粒越多,粒度越大,冲击腐蚀也越严重。波浪的作用与海水流速的影响相似。波浪与金属表面撞击产生飞溅,海水浪花含有较多的氧,具有相当高的腐蚀性。由于海水的化学、物理及海洋生物等诸多因素的变化对海水腐蚀都会产生交互影响,使得海水对金属具有强腐蚀性,但一般电缆金属外层均采取了注塑或涂塑等保护措施,近岸段大部分深埋在沉积物里,在一定程度上减少了海水腐蚀,不过一定要确保塑层质量,同时敷设要注意铺设区域的底层流冲刷影响,防止局部裸露和损坏,导致海缆大面积腐蚀。

②海水化学腐蚀

影响海水化学腐蚀的主要环境因素是海水的温度、盐度、溶解氧、pH 值等，海水的温度随时间、空间上的变化有一个比较大的范围。从物理化学的角度考虑，海水温度的升高，将加速阴极和阳极的反应速度。但海水温度的变化会使其他环境随之变化。海温升高，氧的扩散速度加快，海水电导率增大，促进腐蚀的进行。而另一方面，海水温度的升高，海水中氧的溶解度降低，同时促进保护性钙质水垢的生成，这又会减缓金属在海水中的腐蚀。据有关实验表明，在海水中含氧量高于 4.5ml/L(相当于 6.43mg/L)时，温度是影响腐蚀速度的主要因素。

2) 沉积物

海洋污损生物(Marine fouling organisms)是海洋环境中栖息或附着在船舶和各种水下人工设施上，对人类经济活动产生不利影响，给投资者带来负效益的动物、植物和微生物的总称。海洋污损生物所造成的危害称为海洋生物污损，对海洋生物污损的防除称为防污。据统计，全世界海洋污损生物共 4000 余种，中国沿海已记录 614 种，其中最主要的类群是藻类、水螅、外肛动物、尤介虫、双壳类、藤壶(Kandeliacandel)和海鞘(Ascidian styela)等。由于地理位置和环境因素的差异，各近海海区污损生物群落的种类组成和结构特点会出现不同，但基本上均由双壳类和无柄蔓足类构成污损生物群落的主要框架。

3) 污损生物

敷设在海底的海缆，会遇到各种复杂的海洋环境、不同的海底地貌形态、人类开发活动区和海底不稳定区等。这些因素不同程度的威胁着海缆的安全和寿命。

在诸多因素中，海底沉积物的腐蚀是其中关键性的因素之一。

海底沉积物的腐蚀因子主要包括沉积物温度、类型(粒度)、pH、电阻率、含盐量、溶解氧、硫酸盐还原细菌(SRB)、氧化还原电位(Eh)，硫电位(Es)， Fe^{3+}/Fe^{2+} 及有机物含量等。电电缆埋设或放置在海底，与海底沉积物直接接触，海底沉积物中的腐蚀性因子会与海缆外护层发生腐蚀作用而造成海缆腐蚀破坏。

海底沉积物的腐蚀性决定于其全部腐蚀因子，按其影响腐蚀的作用方式不同，可大致分为电化学腐蚀和微生物腐蚀。

①电化学腐蚀

电化学腐蚀因子包括海底沉积物的温度、类型(粒度)、电阻率、含盐量、溶解氧、pH 等。

沉积物粒度大,透水性越强,与海水溶解氧交换比较容易,其腐蚀性也较强,这是氧扩散控制的电化学腐蚀特征。对于海底管线,如果是穿越不同类型的海底沉积物,还能够产生电偶腐蚀。电阻率是海底沉积物导电能力的反映。表层海底沉积物的电阻率一般在几十到几百欧姆·厘米范围内变动,在垂直深度分布上是随海底沉积物深度增加而增大。而且电阻率与海底沉积物粒度有关,粒度越大,电阻率越大。电阻率对宏电池腐蚀起着重要作用。

含盐量指海底沉积物及其间隙水的总盐量及一些对腐蚀作用比较大的离子,如 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等。含盐量愈高,电阻率愈小,腐蚀速率越大。 Cl^- 、 SO_4^{2-} 对沉积物腐蚀具有显著意义。 Cl^- 含量的提高能加快金属的阳极反应速度,使沉积物腐蚀性增大。在供氧差异引起的腐蚀破坏中, Cl^- 使阳极溶解加速。在有机质存在和渍水(缺氧)条件下,通过微生物作用, SO_4^{2-} 能参与阴极去极化反应而加速金属的腐蚀。溶解氧是重要的去极化剂。在浅海和大陆架区,虽然表层和底层海水的溶解氧相差不大,但仅靠表层海底沉积物与底层海水进行缓慢的物质和能量的交换,海底沉积物中的氧含量仍是相当有限的,海底沉积物腐蚀是在贫氧或缺氧状态下进行的,腐蚀速度是较低的。就 pH 值而言,海水是一复杂的缓冲体系,具有相当稳定的 pH 值(大洋海水为 8.0~8.2),大陆架区和污染海域的 pH 值稍微偏离此值,海底沉积物的 pH 值与海水趋向一致。

②微生物腐蚀

微生物腐蚀因子主要包括硫酸盐还原细菌(SRB)含量、氧化还原电位(Eh),硫电位(Es), $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 及有机质含量等。

在海底沉积物环境下,微生物腐蚀主要是 SRB 的腐蚀。海底沉积物中一般都含有 SRB,不同海区的 SRB 含量是有差异的,南海珠江口东部其含量为 0~9.3 个/克。关于海底沉积物中 SRB 含量对金属腐蚀的影响有不少研究报道,研究结果均表明,SRB 能够加快金属的腐蚀,在 SRB 大量繁殖下,腐蚀速率可增加 6~7 倍。

Eh/Es/ $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 及有机物含量均与 SRB 腐蚀密切相关。SRB 的适宜生长需要一定的条件,即 $\text{pH}=6\sim9$, $t=25^\circ\text{C}\sim35^\circ\text{C}$ 一定量的水、硫酸盐、有机物和 Fe^{2+} 的缺氧条件下。海底沉积物通常能满足这样的条件,而且可由海底沉积物的氧化还原状态反映出来还原状态下的 SRB 腐蚀是相当的严重的,一般以 Eh 来表示土壤的氧化还原状态。通常认为 -200mV 以下缺氧条件下腐蚀严重(美国 ANSI 标准)。沉积物中有机质系陆源有机物和海洋生物产生的有机物质在沉积、成岩过程中被矿化残留的有机物质;海

洋沉积物中硫是海水中颗粒硫酸盐和有机硫化物沉积的结果，在富氧条件下，沉积物中硫主要以硫酸盐形态存在，在缺氧条件下，硫酸盐作为氧源利用而被还原，因此，硫化物含量增加。

③沉积物腐蚀性分析

南海海域有机质含量介于 0.16%~2.41%之间，平均值 1.09%，区域变化较小。有机质含量小于 0.6%的低值区分布在台湾浅滩西南侧、海南岛东南侧至神狐暗沙、一统暗沙之间的 500m 水深以浅陆架区及其他陆架 200m 水深以浅区域。有机质含量大于 1.30%的高值区主要分布在西部陆坡区以及深海盆地北部。其他区域的有机质含量介于 0.6%~1.3%之间。总体分布趋势为：大陆架含量低，平均 0.54%，由大陆架向陆坡方向呈明显上升趋势，大陆坡的平均值约为 1.18%，深海盆地的平均值约为 1.14%。

本项目路由区海域内水深小于 30m 的陆架区，有机质含量在 0.6~0.95%之间，含量最小；水深在 200~3000m 的陆坡区，有机质含量稍高，约在 0.95~1.3%之间；大于 3000m 水深至深海盆地区域，有机质含量在 1.3%左右。本海缆路由内有机质含量基本在正常范围。

4) 路由区海域海底的腐蚀性评价及建议

本项目海缆路由主要在南海北部陆架海域，所以主要会受到海水腐蚀和沉积物腐蚀的影响：

路由区海域的海底腐蚀对海缆的整体影响较小。根据海缆施工的经验，轻型海缆的外层防腐层物质主要为天然中密度聚乙烯和阻水填充物。中密度聚乙烯可抗常规浓度硫化氢的腐蚀；阻水填充物可防止里面金属钢线被腐蚀。铠装海缆的外层防腐层金属钢线镀锌和沥青尼龙线。沥青尼龙线可抗常规浓度硫化氢的腐蚀，金属钢线镀锌可避免海缆接头处的金属线被腐蚀。其它海缆连接装置材料，其外部保护外壳均为铜合金，不需要阴极镀层保护即可起到防腐作用。

因此建议选择合适的海底海缆的防腐材料与方式，使海底腐蚀环境对海缆的威胁影响降至最低，保证运营期内海缆内的金属物质不会腐蚀溶解。

3.2.4工程地质

工程地质引用中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司 2022 年 5 月编制《中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程可行性研究报告》的分析结果。

3.2.4.1 区域构造稳定性评价

根据《中国地震动参区划图》(GB18306-2015),场区邻近陆域在Ⅱ类场地条件下基本地震动峰值加速度为0.05g,拟建场区场地类别为Ⅲ类,地震动峰值加速度调整为0.065g;区内构造均为非全新世活动断裂,不良地质现象弱发育。参考《水电工程区域构造稳定性勘察规程》(NBT 35098-2017)相关要求,拟建工程场址区域构造稳定性较好。

3.2.4.2 地层岩性及特征

(1) 工程地质分层

此次初步勘察分别在风电场区的西北角和东南角各钻探1孔,两孔相距40km,从沉积岩性上看已属不同的沉积单元,故对实施的ZK1与ZK2钻孔工程地质分层特征分别描述,并分别代表北部风电场区和南部风电场区地层特征。项目勘探点平面布置图见图3.2.4-1。

北部风电场区内实施了ZK1孔钻探。本次勘察揭露的岩土体按岩土性质和成因可分为8个工程地质大类。详细情况见表3.2.4-1。从沉积岩性上推断,主要为全新世和更新世浅海相沉积地层。

表 3.2.4-1 北部风电场区 (ZK1) 岩土分层表

层序	成因时代	岩性组成	工程地质层编号	岩性
1	Q4m	粉土	①	黏质粉土
2	Q3m	粘性土	②	粉质黏土
3		粉土	③	黏质粉土
4		粘性土	④-1	粉质黏土
5			④-2	黏土
6		粉土	⑤	黏质粉土
7		粘性土	⑥	粉质粘土
8		砂土	⑦	中砂
9		粘性土	⑧	粉质粘土

南部风电场区内实施了ZK2孔钻探。本次勘察揭露的岩土体按岩土性质和成因可分为6个工程地质大类。详细情况见表3.2.4-2。

从沉积岩性上推断,主要为全新世和更新世海陆交互相与海相沉积,上部沉积了大量海岸礁灰岩和贝壳土,下部为浅海相沉积地层。

图 3.2.4-1 项目勘探点平面布置图

表 3.2.4-2 南部风电场区 (ZK2) 岩土分层表

(2) 岩土层特征

a) 北部风电场区岩土层特征

各岩土层工程特征分述如下:

①黏质粉土: 灰色-深灰色, 饱和, 稍密; 含少量砂粒, 砂的主要成分为石英, 含少量贝壳碎屑, 局部夹粉砂层。

②粉质黏土: 深灰色, 可塑-硬可塑; 含大量贝壳碎屑。

③黏质粉土: 深灰色, 饱和, 硬可塑-坚硬; 含少量砂, 砂的主要成分为石英, 含少量贝壳碎屑。

④-1 粉质黏土: 深灰色, 硬可塑-硬塑, 黏性较好; 含少量细砂。

④-2 黏土: 深灰色, 硬可塑, 偏硬, 黏性较好, 含少量砂。

⑤黏质粉土: 深灰色, 饱和, 硬可塑; 顶部有少量直径 1cm~3cm 碎石, 局部夹杂少量薄层状粉砂和粉质黏土; 含少量贝壳碎屑。

⑥粉质黏土: 深灰色, 可塑-硬可塑, 含少量贝壳碎屑, 含大量细砂。

⑦中砂: 灰色, 饱和, 中密-密实; 含少量贝壳碎屑, 上部有块状中砂胶结体, 中部夹细砂和粉砂。

⑧粉质黏土: 灰色, 硬可塑-硬塑; 含少量贝壳碎屑。

b) 南部风电场区岩土层特征

各岩土层工程特征分述如下:

①砾砂: 灰色, 饱和, 松散; 砂的主要成分为石英, 含较多贝壳碎屑。

②-1 贝壳砂: 浅灰色, 饱和, 松散; 以砂、砾为主, 主要成分为贝壳碎屑、石英; 底部以珊瑚骨骼为主的礁灰岩, 灰白色, 可见群体珊瑚骨骼形态和结构。

②-2 贝壳砂: 浅灰色, 饱和, 中密-密实; 以砂、砾为主, 砾石尺寸 2cm-3cm, 主要成分为贝壳和贝壳碎屑。

③黏土: 灰色, 硬可塑-硬塑; 土质较均匀, 切面较光滑, 黏性较好。

④礁灰岩: 灰白色, 呈强风化, 岩石较完整, 可见群体珊瑚骨骼形态和结构。

⑤碎石、角砾: 灰白色, 中密~密实, 碎石直径 20mm~30mm, 角砾直径 2mm~

4mm，成分为礁灰岩岩屑。

⑥-1 粉质黏土：灰色，可塑-硬可塑，含大量粗砂，砂成分主要为石英和礁灰岩岩屑。

⑥-2 黏土：灰色，硬可塑-硬塑，偏硬，切面较光滑，粘性较好。

项目钻孔柱状图如图 3.2.4-2~图 3.2.4-5 所示。

(3) 地震效应评价

根据《建筑抗震设计规范(2016)》(GB50011-2010)：离拟建场区邻近的陆域为万宁市，抗震设防烈度为Ⅵ度。根据《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223-2008)第 3.0.2 款规定，拟建风电场抗震设防类别划为标准设防类(丙类)。拟建场地浅部主要发育粗砂，局部粉砂等，按《建筑抗震设计规范(2016)》(GB50011-2010)第 4.1.1 款规定，拟建场地属对建筑抗震不利一般地段。

场地土类型为中软土-中硬土。按照《建筑抗震设计规范(2016)》(GB50011-2010)表 4.1.6 划分建筑场地类别的方法，场地类别为Ⅲ类，设计地震分组为第一组，设计特征周期调整为 0.45s。

场地区 20m 深度范围内存在第四系全新统饱和粗砂，根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)(2016 年版)第 4.3.3 条，拟建场地初判存在液化的可能，待试验完成进一步判定。

拟建场地不存在软土，可不考虑软土震陷的可能性。

(4) 水、土的腐蚀性评价

1) 海水的腐蚀性评价

参考附近的勘察资料，按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009 年版)和《工程地质手册》(第五版)判别水的腐蚀性，结合工程场地水文地质条件，初步判定本工程场地各层海水的腐蚀性如下：

干湿交替作用条件下，海水对混凝土结构具中等腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋具有强腐蚀性；海水对钢结构具强腐蚀性。

长期浸水条件下，海水对混凝土结构具中等腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋具有弱腐蚀性；海水对钢结构具中等腐蚀性。

图 3.2.4-2 项目钻孔 ZK01 钻孔柱状图

图 3.2.4-3 项目钻孔 ZK01 钻孔柱状图

图 3.2.4-4 项目钻孔 ZK02 钻孔柱状图

图 3.2.4-5 项目钻孔 ZK02 钻孔柱状图

2) 地基土的腐蚀性

根据附近的勘察资料,按《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001)(2009 年版)初步判定场地土的腐蚀性:地基土对混凝土结构具弱腐蚀性,对钢筋混凝土结构中的钢筋具中等腐蚀性,对钢结构具强腐蚀性。

(5) 海床(场地)稳定性与工程建设适宜性评价

场区内无全新活动断裂带分布,场区不良地质作用弱发育,海床(场地)总体基本稳定。

拟建场区场内地形总体较为平坦,存在冲蚀沟、槽等地貌形态。岩土种类较多,地层整体上软下硬,中下部土体物理力学性质相对较好,分布基本稳定。较适宜工程建设。

综上所述,拟建场地海床(场地)总体基本稳定,采取一定措施后,基本适宜本工程的建设。

(6) 基础选型与持力层选择

风力发电机组为高耸构筑物,具重心高、对沉降要求敏感的特点。本工程场区地表土层厚度较大,故场区风力发电机组不宜采用天然地基。本工程场地水深较大,风力发电机组适宜采用半潜式漂浮基础。

陆上升压站除地表局部存在 1.0m 左右的耕植土外,以粉土、粉细砂等为主,该土层承载力特征值 120kPa 以上,压缩性中等,厚度变化较大,可作一般建筑物基础。

陆上升压站建筑,一般为二层以内的低层建筑,可采用天然地基,局部较软处应考虑换填。基础型式建议选用条形基础或桩基础。应注意地基承载力的不均匀性对建筑物的影响。基础埋深应满足地基承载力和变形要求。

(7) 结论和建议

①根据《中国地震动参区划图》(GB18306-2015),在 II 类场地条件下基本地震动峰值加速度为 0.05g,相应抗震设防烈度为 VI 度。拟建场区场地类别为 III 类,调整后基本

地震动峰值加速度为 0.065g，参考《水电工程区域构造稳定性勘察规程》(NBT 35098-2017)表 8.2.2 中要求，拟建工程区区域构造稳定性较好。

②根据《建筑抗震设计规范(2016 年版)》(GB50011-2010)，场地类别为Ⅲ类，场地土类型为中弱土～中硬土，设计地震分组为第一组，属于对建设抗震不利地段。

③场区地形较为平坦，存在冲蚀沟、槽等地貌形态。地层整体上软下硬，中下部土体物理力学性质相对较好，分布基本稳定，采取一下的工程措施后，基本适宜本工程建设。

拟建场地海床(场地)基本稳定，应注意粉土（砂）液化、局部礁灰岩、埋藏古河道及海底浅层气对工程建设的影响，以及海砂开采对海底地形地貌及海床边坡稳定性可能造成的影响。

④根据区域地质条件和水深条件，风力发电机组建议采用漂浮式基础，陆上升压站建议采用桩基础。

⑤初步判断：干湿交替作用条件下，海水对混凝土结构具中等腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋具有强腐蚀性，海水对钢结构具强腐蚀性。

长期浸水条件下，海水对混凝土结构具中等腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋具有弱腐蚀性:海水对钢结构具中等腐蚀性。

地基土对混凝土结构具弱腐蚀性，对钢筋混凝土结构中的钢筋具中等腐蚀性，对钢结构具强腐蚀性。

⑥鉴于场区工程地质条件复杂，又处海上，各部位岩土层的分布、深度和物理力学特性等的不同，建议下一阶段针对各工程建(构)筑特点，进行工程地质详细勘察和物探调查，查明场区分布地层的地质成因、时代、分布及各层岩(土)的物理力学性质和不良地质作用，对持力层的选择进行进一步的勘察论证。如遇饱和砂土、粉土，需判别砂土液化情况，同时进一步查明液化层厚度，并根据详勘资料分别确定、优化各建（构）筑物及风电机组的基础形式和埋深。

3.2.5海水水质环境现状调查与评价

3.2.5.1 2022 年春季水质环境质量现状调查与评价

（1）调查概况

1) 站位布设

海南安纳检测技术有限公司于 2022 年 4 月 22 日至 2022 年 4 月 26 日进行项目附

近海域环境现状调查，设置水质监测站位 28 个，站点布设见图 3.2.5-1 和表 3.2.5-1。

表 3.2.5-1 海洋环境监测站位表及监测内容

注：1、水质监测站包括水文气象项目；

2、生态监测站包括：叶绿素 a、浮游生物、大型底栖生物

图 3.2.5-1 调查海域附近海洋环境监测站位

2) 监测项目与测试方法

海水水质监测项目包括水深、透明度、水温、盐度、溶解氧(DO)、pH 值、化学需氧量、无机氮（氨、亚硝酸盐、硝酸盐）、活性磷酸盐、石油类、悬浮物(SS)、重金属（砷（As）、总汞(Hg)、铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)、铬（Cr））、挥发酚。分析方法见表 3.2.5-2。

表 3.2.5-2 分析方法

	监测项目	分析方法	检出限	检测标准(方法)名称
水质	水温	表层温度表法	--	《海洋监测规范 第 4 部分 海水分析》 (GB 17378.4 -2007)
	pH	pH 计法	0.02	
	盐度	盐度计法	2.000	
	透明度	透明度盘法	--	
	化学需氧量	碱性高锰酸钾法	0.15mg/L	
	溶解氧	碘量法	--	
	石油类	紫外分光光度法	3.5μg/L	
	悬浮物	重量法	--	
	氨氮	靛酚蓝分光光度法	--	
	亚硝酸盐	萘乙二胺分光光度法	--	
	硝酸盐	镉柱还原法	--	
	活性磷酸盐	磷钼蓝比色法	--	
	汞	原子荧光法	0.007μg/L	
	砷	原子荧光法	0.5μg/L	
	铜	无火焰原子吸收分光光度法	0.2μg/L	
	铅	无火焰原子吸收分光光度法	0.03μg/L	
	镉	无火焰原子吸收分光光度法	0.01μg/L	
	锌	火焰原子吸收分光光度法	3.1μg/L	
	总铬	无火焰原子吸收分光光度法	0.4μg/L	
	挥发性酚	4-氨基安替比林分光光度法	1.1μg/L	

3) 监测方法

水质样品采样根据《海洋监测规范》GB17378.3-2007 第三部分确定采样层次，见表 3.2.5-3。

表 3.2.5-3 采样层次

水深范围/m	标准层次	底层与相邻标准层次最小距离
小于 10	表层	
10~25	表层、底层	
25~50	表层、10m、底层	
50~100	表层、10m、50 m、底层	5m
100 以上	表层、10m、50 m、以下水层酌情加层、底层	10m
注 1: 表层系指海面以下 0.1~1m; 注 2: 底层, 对河口及港湾海域最好离底 2m 的水层, 深海或大风浪可酌情增大离底距离。		

4) 评价标准与方法

水质评价标准值列于表 3.2.5-4 中。

根据监测结果, 利用《环境影响评价导则》(HJ/T2.3-2018)所推荐的单项水质参数法进行评价。

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;

$C_{s,i}$ — i 污染物的评价标准, mg/L。

DO 的标准指数为:

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

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

式中: DO_s —溶解氧的水质标准, mg/L;

DO_j — j 点的溶解氧, mg/L;

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

S —实用盐度符号, 量纲为 1;

T —水温, °C。

pH 的标准指数为:

$$S_{\text{pH},j} = \frac{7.0 - \text{pH}_j}{7.0 - \text{pH}_{\text{sd}}} \quad \text{pH}_j \leq 7.0$$

$$S_{\text{pH},j} = \frac{\text{pH}_j - 7.0}{\text{pH}_{\text{su}} - 7.0} \quad \text{pH}_j > 7.0$$

式中：SpH —pH 的指数；

pH_j—pH 值实测统计代表值；

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。

表 3.2.5-4 水质评价标准值

评价因子	评价标准值 (第一类)	评价标准值 (第二类)	评价标准值 (第三类)	评价标准值 (第四类)
pH	7.8~8.5	7.8~8.5	6.8~8.6	6.8~8.6
溶解氧(DO)	>6mg/L	>5mg/L	>4mg/L	>3mg/L
化学需氧量(COD)	≤2mg/L	≤3mg/L	≤4mg/L	≤5mg/L
活性磷酸盐	≤15mg/L	≤30mg/L	≤30mg/L	≤45mg/L
无机氮	≤200mg/L	≤300mg/L	≤400mg/L	≤500mg/L
锌	≤20mg/L	≤50mg/L	≤100mg/L	≤500mg/L
镉	≤1mg/L	≤5mg/L	≤10mg/L	≤10mg/L
铅	≤1mg/L	≤5mg/L	≤10mg/L	≤50mg/L
铜	≤5mg/L	≤10mg/L	≤50mg/L	≤50mg/L
总铬	≤50mg/L	≤100mg/L	≤200mg/L	≤500mg/L
石油类	≤0.05mg/L	≤0.05mg/L	≤0.30mg/L	≤0.50mg/L
砷	≤20mg/L	≤30mg/L	≤50mg/L	≤50mg/L
汞	≤0.05mg/L	≤0.20mg/L	≤0.20mg/L	≤0.50mg/L
挥发性酚	≤0.005 mg/L	≤0.005 mg/L	≤0.010 mg/L	≤0.050 mg/L

注：引自《中华人民共和国国家标准 海水水质标准 GB3097-1997》。

(2) 调查与评价结果

1) 海水水质现状调查结果

水质要素的监测结果及其分布情况分析如下。水质统计结果列于表 3.2.1-5。

调查海域，海水水温变化范围为 23.9℃~28.5℃，平均值为 26.8℃。调查海域，海水盐度变化范围为 32.928~34.074，平均值为 33.408。最低值出现在 K11 号站位表层，最高值出现在 K01 号站表层。调查海域，海水 pH 变化范围为 8.14~8.23，平均值为

8.18, 符合第一类海水水质标准。调查海域, 海水溶解氧含量变化范围为 6.16mg/L~6.74mg/L, 平均值为 6.43mg/L, 最低值出现在 K27 号站位表层, 最高值出现在 K26 号站 50m 层, 调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。调查海域, 海水 COD 含量变化范围为 0.15mg/L~0.97mg/L, 平均值为 0.54mg/L, 最低值出现在 K15 号站位表层, 最高值出现在 K24 号站 100m 层, 调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。调查海域, 海水活性磷酸盐含量变化范围为 0.0018mg/L~0.0107mg/L, 平均值为 0.0053mg/L, 调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。调查海域, 海水无机氮含量变化范围为 0.007mg/L~0.015mg/L, 平均值为 0.021mg/L, 最低值出现在 K12 号站位 50m 层, 最高值出现在 K25 号站 50m 层, 调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。调查海域, 海水石油类含量变化范围为 0.0067~0.0206mg/L, 平均值为 0.0120mg/L。调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。海水悬浮物含量变化范围为 9.6mg/L~33.0mg/L, 平均值为 18.7mg/L。最低值出现在 K07 号站 50m 层, 最高值出现在 K27 号站 50m 层。调查海域, 海水铜含量变化范围为 0.3~2.7 μ g/L, 平均值 1.1 μ g/L, 调查海域站位海水铜含量均符合一类水质标准。调查海域, 海水铅含量变化范围为 0.03~0.26 μ g/L, 平均值 0.14 μ g/L, 调查海域站位海水铅含量均符合一类水质标准。调查海域, 海水锌含量变化范围为 3.9~11.5 μ g/L, 平均值为 8.0 μ g/L, 调查海域站位海水锌含量均符合一类水质标准。调查海域, 海水镉含量变化范围为 0.01~0.16 μ g/L, 平均值为 0.06 μ g/L, 调查海域各站位海水镉含量均符合第一类海水水质标准。调查海域, 海水砷含量变化范围为 0.8~1.2 μ g/L, 平均值为 1.0 μ g/L, 调查海域各站位海水砷含量均符合第一类海水水质标准。调查海域, 海水汞含量变化范围为 0.010~0.038 μ g/L, 平均值为 0.022 μ g/L, 调查海域各站位海水汞含量均符合第一类海水水质标准。调查海域, 海水总铬样品检测结果仅有 K02 (50m)、K03 (表)、K04 (表)、K05 (表)、K18 (表)、K25 (底) 和 K26 (底) 号站检出, 其余均为未检出。调查海域, 海水挥发性酚样品检测结果均为未检出。

表 3.2.5-5 2022 年春季调查海域水质监测结果

表 3.2.5-6 调查海域海水各评价因子单项标准指数(第一类)

2) 调查海域水质现状评价

水质环境质量评价标准采用《海水水质标准》(GB3097-1997)分级评价标准,各评价因子的评价标准值列于表 3.2.5-6 中。

调查结果表明:调查海区海水水质各监测要素(pH、溶解氧、化学需氧量、活性磷酸盐、无机氮、挥发酚、SS、石油类、铜、铅、锌、镉、总铬、砷和汞),均符合第一类海水水质标准,由于本次的海水水质调查站位均离岸较远,海水水质状况较好,海水中水质重金属总铬含量较低仅有个别站位样品检出。

3.2.5.2 2022 年秋季水质环境质量现状调查与评价

(1) 调查概况

1) 站位布设

海南安纳检测技术有限公司于 2022 年 11 月 4 日至 2022 年 11 月 23 日进行项目附近海域环境现状调查,设置水质监测站位 31 个,站点布设见图 3.2.5-2 和表 3.2.5-7。

表 3.2.5-7 海洋环境监测站位表及监测内容

图 3.2.5-2 调查海域附近海洋环境监测站位

2) 监测项目与测试方法

海水水质监测项目包括水深、透明度、水温、盐度、溶解氧(DO)、pH 值、化学需氧量、无机氮(氨、亚硝酸盐、硝酸盐)、活性磷酸盐、石油类、悬浮物(SS)、重金属(砷(As)、总汞(Hg)、铜(Cu)、铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)、铬(Cr))、挥发酚。分析方法见表 3.2.5-8。

表 3.2.5-8 分析方法

	监测项目	分析方法	检出限	检测标准(方法)名称
水质	水温	表层温度表法	--	《海洋监测规范 第 4 部分 海水分析》 (GB 17378.4 -2007)
	pH	pH 计法	0.02	
	盐度	盐度计法	2.000	
	透明度	透明度盘法	--	
	化学需氧量	碱性高锰酸钾法	0.15mg/L	
	溶解氧	碘量法	--	
	石油类	紫外分光光度法	3.5μg/L	
	悬浮物	重量法	--	
	氨氮	靛酚蓝分光光度法	--	
	亚硝酸盐	萘乙二胺分光光度法	--	
	硝酸盐	镉柱还原法	--	
	活性磷酸盐	磷钼蓝比色法	--	
	汞	原子荧光法	0.007μg/L	
	砷	原子荧光法	0.5μg/L	

	铜	无火焰原子吸收分光光度法	0.2μg/L	
	铅	无火焰原子吸收分光光度法	0.03μg/L	
	镉	无火焰原子吸收分光光度法	0.01μg/L	
	锌	火焰原子吸收分光光度法	3.1μg/L	
	总铬	无火焰原子吸收分光光度法	0.4μg/L	
	挥发性酚	4-氨基安替比林分光光度法	1.1μg/L	

3) 监测方法

水质样品采样根据《海洋监测规范》GB17378.3-2007 第三部分确定采样层次，见表 3.2.5-9。

表 3.2.5-9 采样层次

水深范围/m	标准层次	底层与相邻标准层次最小距离
小于 10	表层	
10~25	表层、底层	
25~50	表层、10m、底层	
50~100	表层、10m、50 m、底层	5m
100 以上	表层、10m、50 m、以下水层酌情加层、底层	10m
注 1：表层系指海面以下 0.1~1m；		
注 2：底层，对河口及港湾海域最好离底 2m 的水层，深海或大风浪可酌情增大离底距离。		

4) 评价标准与方法

水质评价标准值列于表 3.2.1-10 中。

根据监测结果，利用《环境影响评价导则》(HJ/T2.3-2018)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；

$C_{s,i}$ —i 污染物的评价标准，mg/L。

②DO 的标准指数为：

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

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

式中： DO_s —溶解氧的水质标准，mg/L；

DO_j—j 点的溶解氧，mg/L；

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

S—实用盐度符号，量纲为 1；

T—水温，℃。

③pH 的标准指数为：

$$S_{\text{pH},j} = \frac{7.0 - \text{pH}_j}{7.0 - \text{pH}_{\text{sd}}} \quad \text{pH}_j \leq 7.0$$

$$S_{\text{pH},j} = \frac{\text{pH}_j - 7.0}{\text{pH}_{\text{su}} - 7.0} \quad \text{pH}_j > 7.0$$

式中：SpH—pH 的指数；

pH_j—pH 值实测统计代表值；

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。

表 3.2.5-10 水质评价标准值

评价因子	评价标准值 (第一类)	评价标准值 (第二类)	评价标准值 (第三类)	评价标准值 (第四类)
pH	7.8~8.5	7.8~8.5	6.8~8.6	6.8~8.6
溶解氧(DO)	>6mg/L	>5mg/L	>4mg/L	>3mg/L
化学需氧量(COD)	≤2mg/L	≤3mg/L	≤4mg/L	≤5mg/L
活性磷酸盐	≤15mg/L	≤30mg/L	≤30mg/L	≤45mg/L
无机氮	≤200mg/L	≤300mg/L	≤400mg/L	≤500mg/L
锌	≤20mg/L	≤50mg/L	≤100mg/L	≤500mg/L
镉	≤1mg/L	≤5mg/L	≤10mg/L	≤10mg/L
铅	≤1mg/L	≤5mg/L	≤10mg/L	≤50mg/L
铜	≤5mg/L	≤10mg/L	≤50mg/L	≤50mg/L
总铬	≤50mg/L	≤100mg/L	≤200mg/L	≤500mg/L
石油类	≤0.05mg/L	≤0.05mg/L	≤0.30mg/L	≤0.50mg/L
砷	≤20mg/L	≤30mg/L	≤50mg/L	≤50mg/L
汞	≤0.05mg/L	≤0.20mg/L	≤0.20mg/L	≤0.50mg/L
挥发性酚	≤0.005 mg/L	≤0.005 mg/L	≤0.010 mg/L	≤0.050 mg/L

注：引自《中华人民共和国国家标准 海水水质标准 GB3097-1997》。

(2) 调查与评价结果

1) 海水水质现状调查结果

水质要素的监测结果及其分布情况分析如下。水质统计结果列于表 3.2.1-11。调查海域,海水水温变化范围为 $24.1^{\circ}\text{C}\sim 27.1^{\circ}\text{C}$,平均值为 26.2°C 。调查海域,海水盐度变化范围为 $32.254\sim 33.441$,平均值为 32.787 。最低值出现在 Z9 号站位 10m 层,最高值出现在 Z3 号站 50m 层。调查海域,海水 pH 变化范围为 $8.19\sim 8.29$,平均值为 8.24 ,符合第一类海水水质标准。调查海域,海水溶解氧含量变化范围为 $6.30\text{mg/L}\sim 6.72\text{mg/L}$,平均值为 6.48mg/L ,最低值出现在 Z3 号站位 50m 层,最高值出现在 Z11 号站表层,调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。调查海域,海水 COD 含量变化范围为 $0.17\text{mg/L}\sim 1.74\text{mg/L}$,平均值为 0.60mg/L ,最低值出现在 Z27 号站位 100m 层,最高值出现在 Z23 号站底层,调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。调查海域,海水活性磷酸盐含量变化范围为 $0.0008\text{mg/L}\sim 0.0076\text{mg/L}$,平均值为 0.0026mg/L ,调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。调查海域,海水无机氮含量变化范围为 $0.028\text{mg/L}\sim 0.110\text{mg/L}$,平均值为 0.052mg/L ,最低值出现在 Z3 号站位 10m 层,最高值出现在 Z28 号站表层,调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。调查海域,海水石油类含量变化范围为 $0.0040\sim 0.0126\text{mg/L}$,平均值为 0.0075mg/L 。调查海域各调查站位均符合第一类海水水质标准。海水悬浮物含量变化范围为 $8.9\text{mg/L}\sim 45.4\text{mg/L}$,平均值为 20.3mg/L 。最低值出现在 Z1 号站 50m 层,最高值出现在 Z26 号站 50m 层。调查海域,海水铜含量变化范围为 $0.3\sim 2.4\mu\text{g/L}$,平均值 $1.1\mu\text{g/L}$,调查海域站位海水铜含量均符合一类水质标准。调查海域,海水铅含量变化范围为 $0.03\sim 0.28\mu\text{g/L}$,平均值 $0.16\mu\text{g/L}$,调查海域站位海水铅含量均符合一类水质标准。调查海域,海水锌含量变化范围为 $3.4\sim 11.4\mu\text{g/L}$,平均值为 $6.8\mu\text{g/L}$,调查海域站位海水锌含量均符合一类水质标准。调查海域,海水镉含量变化范围为 $0.04\sim 0.12\mu\text{g/L}$,平均值为 $0.08\mu\text{g/L}$,调查海域各站位海水镉含量均符合第一类海水水质标准。调查海域,海水砷含量变化范围为 $0.5\sim 1.3\mu\text{g/L}$,平均值为 $0.7\mu\text{g/L}$,调查海域各站位海水砷含量均符合第一类海水水质标准。调查海域,海水汞含量变化范围为 $0.007\sim 0.045\mu\text{g/L}$,平均值为 $0.021\mu\text{g/L}$,调查海域各站位海水汞含量均符合第一类海水水质标准。调查海域,海水总铬样品检测结果仅有 Z1 (表)、Z10 (表)、Z12 (50m)、Z21 (表)、Z23 (10m、50m、底)和 Z31 (表)号站检出,其余均为未检出。调查海域,海水挥发性酚样品检测结果均为未检出。

2) 调查海域水质现状评价

水质环境质量评价标准采用《海水水质标准》(GB3097-1997)分级评价标准,各评价因子的评价标准值列于表 3.2.5-11 中。

调查结果表明:调查海区海水水质各监测要素(pH、溶解氧、化学需氧量、活性磷酸盐、无机氮、挥发酚、SS、石油类、铜、铅、锌、镉、总铬、砷和汞),均符合第一类海水水质标准,由于本次的海水水质调查站位均离岸较远,海水水质状况较好,海水中水质重金属总铬含量较低仅有个别站位样品检出。

表 3.2.5-11 调查海域水质要素分析结果统计

表 3.2.5-12 调查海域海水各评价因子单项标准指数(第一类)

3.2.6海洋沉积物环境质量现状调查与评价

3.2.6.1 调查概况

(1) 站位布设

海南安纳检测技术有限公司于 2022 年 4 月 22 日至 2022 年 4 月 26 日进行项目附近海域环境现状调查,设置海洋沉积物监测站位 17 个,站点布设见图 3.2.5-1 和表 3.2.5-1。

(2) 监测项目与测试方法

海洋沉积物监测项目包括硫化物、石油类、有机碳、Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 和 Cr。分析方法见表 3.2.6-1。

表 3.2.6-1 分析方法

	监测项目	分析方法	检出限	检测标准(方法)名称
沉积物	有机碳	重铬酸钾氧化-还原法	--	《海洋监测规范 第 5 部分 沉积物分析》 (GB 17378.5 -2007)
	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	0.3mg/kg	
	石油类	紫外分光光度法	3.0mg/kg	
	铜	无火焰原子吸收分光光度法	0.5mg/kg	
	铅	无火焰原子吸收分光光度法	1.0mg/kg	
	镉	无火焰原子吸收分光光度法	0.04mg/kg	
	锌	火焰原子吸收分光光度法	6.0mg/kg	
	铬	无火焰原子吸收分光光度法	2.0 mg/kg	
	总汞	原子荧光法	0.002mg/kg	
	砷	原子荧光法	0.06mg/kg	

(3) 监测方法

监测方法：表层样采集 0cm~5cm 层。

(4) 评价标准与方法

沉积物质量评价采用单项分指数法，即 $S_{i,j} = C_{i,j} / C_{s,i}$ ，沉积物质量标准见表 3.2.6-2。

表 3.2.6-2 沉积物质量标准

项目	第一类	第二类	第三类
硫化物($\times 10^{-6}$) $\leq$	300.0	500	600
石油类($\times 10^{-6}$) $\leq$	500.0	1000	1500
有机碳($\times 10^{-6}$) $\leq$	2.0	3.0	4.0
锌($\times 10^{-6}$) $\leq$	150.0	350	600
镉($\times 10^{-6}$) $\leq$	0.50	1.50	5.00
铅($\times 10^{-6}$) $\leq$	60.0	130	250
铜($\times 10^{-6}$) $\leq$	35.0	100	200
铬($\times 10^{-6}$) $\leq$	80.0	150.0	270.0
砷($\times 10^{-6}$) $\leq$	20.0	65.0	93.0
总汞($\times 10^{-6}$) $\leq$	0.20	0.50	1.00

注：引自《中华人民共和国国家标准 海洋沉积物质量 GB18668-2002》

3.2.6.2 调查与评价结果

(1) 沉积物现状调查结果

调查海域沉积物共采集 17 个站位表层样。沉积物分析项目为有机碳、硫化物、石油类、砷、汞、铜、铅、锌、镉和铬。沉积物统计结果见表 3.2.6-3，沉积物质量评价结果见表 3.2.6-4。

调查海域沉积物中石油类的含量变化范围为 5.7~64.7 ($\times 10^{-6}$) 之间，平均值为 18.9 ($\times 10^{-6}$)。各站位均符合第一类海洋沉积物质量标准。调查海域沉积物中有机碳的含量变化范围为 0.05~1.72 ($\times 10^{-2}$) 之间，平均值为 0.76 ($\times 10^{-2}$)。平面分布上，K10 号站位沉积物有机碳含量最高，各站位均符合第一类海洋沉积物质量标准。调查海域沉积物中硫化物的含量变化范围为 0.8~15.6 ($\times 10^{-6}$) 之间，平均值为 4.5 ($\times 10^{-6}$)。调查海域中沉积物中硫化物的含量整体较低，各调查站位硫化物含量均符合第一类海洋沉积物质量标准。调查海域沉积物中锌的含量变化范围为 29.4~82.4 ($\times 10^{-6}$) 之间，平均值为 62.6 ($\times 10^{-6}$)。平面分布上，调查海域 K28 号站位锌含量最高，各调查站位锌含量均符合第一类海洋沉积物质量标准。调查海域沉积物中铅的含量变化范围为 11.7~28.5 ($\times 10^{-6}$) 之间，平均值为 19.5 ($\times 10^{-6}$)，各调查站位铅含量均符合第一类海洋沉积物质量标准。调查海域沉积物中铜的含量变化范围为 5.3~18.9 ($\times 10^{-6}$) 之间，平均值为 13.4 ($\times 10^{-6}$)。平面分布上，

K25 号站位沉积物中铜含量最高，各调查站位铜含量均符合第一类海洋沉积物质量标准。调查海域沉积物中镉的含量变化范围为 $0.05\sim 0.26(\times 10^{-6})$ 之间，平均值为 $0.17(\times 10^{-6})$ 。K19 号站位沉积物中镉含量最高，各调查站位镉含量均符合第一类海洋沉积物质量标准。调查海域沉积物中砷的含量变化范围为 $3.59\sim 7.93(\times 10^{-6})$ 之间，平均值为 $5.37(\times 10^{-6})$ 。各调查站位砷含量均符合第一类海洋沉积物质量标准。调查海域沉积物中总汞的含量变化范围为 $0.020\sim 0.062(\times 10^{-6})$ 之间，平均值为 $0.039(\times 10^{-6})$ ，各调查站位总汞含量均符合第一类海洋沉积物质量标准。调查海域沉积物中铬的含量变化范围为 $35.3\sim 73.4(\times 10^{-6})$ 之间，平均值为 $56.0(\times 10^{-6})$ 。各调查站位铬含量均符合第一类海洋沉积物质量标准。

(2) 调查海域海洋沉积物现状评价

沉积物质量评价标准采用《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)分级评价标准，各评价因子的评价标准值列于表 3.2.6-4 中。

调查结果表明：调查海域，各站位表层沉积物各监测要素（硫化物、有机碳、石油类、砷、汞、锌、铜、镉、铅和铬）均符合第一类海洋沉积物质量标准。

表 3.2.6-3 调查海域沉积物质量调查结果

注：样品检出率大于等于 1/2 时，未检出按检出限的 1/2 量值参与统计；样品检出率小于 1/2 时，未检出按检出限的 1/4 量值参与统计。

表 3.2.6-4 调查海域沉积物指数表(第一类)

注：样品检出率大于等于 1/2 时，未检出按检出限的 1/2 量值参与统计；样品检出率小于 1/2 时，未检出按检出限的 1/4 量值参与统计。

3.2.7 海洋生物质量现状调查与评价

3.2.7.1 2022 年春季海洋生物体质量现状调查与评价

(1) 调查概况

1) 站位布设

海南安纳检测技术有限公司于 2022 年 4 月 22 日至 2022 年 4 月 26 日进行项目附近海域环境现状调查，设置海洋生物质量监测站位 17 个，站点布设见图 3.2.5-1 和表 3.2.5-1。

2) 监测项目与测试方法

海洋生物质量监测项目包括 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As、Cr 和石油烃。分析方法见表 3.2.7-1。

表 3.2.7-1 分析方法

	监测项目	分析方法	检出限	检测标准(方法)名称
生物体	铜	无火焰原子吸收分光光度法	0.4 mg/kg	《海洋监测规范 第6部分 生物体分析》 (GB17378.6-2007)
	铅	无火焰原子吸收分光光度法	0.04 mg/kg	
	镉	无火焰原子吸收分光光度法	0.005 mg/kg	
	锌	火焰原子吸收分光光度法	0.4 mg/kg	
	铬	无火焰原子吸收分光光度法	0.04 mg/kg	
	总汞	原子荧光法	0.002 mg/kg	
	砷	原子荧光法	0.2 mg/kg	
	石油烃	原子荧光分光光度法	0.2 mg/kg	

3) 监测方法

分别选取鱼类、甲壳类、软体类、贝类的常见种各 1~2 种，分袋、冰冻保存，取可食部分进行分析。

①样品采集

样品选取渔业资源调查的优势种和潮间带调查的优势种。

②样品制备

a 贝类样品的制备

用塑料刀或塑料刷除去贝壳外部所有的附作物，用蒸馏水或清洁海水漂洗每一个样品个体，让其自然流干，拉出足丝。用天平称个体全重，并记下重量。用另一把塑料刀插入足丝神出口，切断闭合肌，打开贝壳。用蒸馏水或清洁海水洗贝壳内的软组织，用塑料刀和镊子取出软组织，让水流尽。

单个样品：按上述步骤将至少 10 个个体的软组织放入已称重的塑料容器内，再称重，记下鲜重。盖紧，贴上标签。用尺子测量并记录贝壳长度。

多个样品：按上述步骤将至少 10 个个体的软组织放入已知重量的塑料容器中，称重，记下鲜重。于匀浆器中匀化样品，将匀浆样放回原塑料容器，再称重，并记录总重量，计算匀浆样重。贴上样品标签。

各生物个体大小应相近，并在取出生物组织前分别测量其个体长度和总重量。

b 单个样品用尺子量虾体长，将虾放在聚乙烯称样膜上，称重，记下长度和鲜重。用塑料刀将腹部和头胸部及尾部分开，小心将其内脏从腹部取出。腿全部切除。将腹部翻下，用塑料刀沿腹部外甲边缘切开，用塑料镊子取出肌肉。检查性腺，记录所鉴别的性别。用镊子将肌肉移入塑料容器中，称重并记录鲜重。盖紧容器，标上号码。将几个容器一起放入同一塑料袋中，并附样品登记清单，结紧袋口，低温冰箱中保存。

多个样品按上述方法制备样品，仔细地记录各个个体长度、鲜重、腹部肌肉重和性

别。每个样品须包括 6 个以上性别相同、大小相近的个体肌肉。将样品放入匀浆器中匀化腹部肌肉，转入已知重量的塑料容器中盖紧，标上号码，称重，记下鲜重和其他数据。将几个容器放在同一塑料袋中，并附上样品登记清单，结紧袋口，在低温冰箱中保存。

c 中小型鱼样制备

单个个体样品先测量鱼的叉长，并于聚乙烯称样膜上称重。鉴定性腺性别，记下叉长和体重。用蒸馏水或清洁海水洗涤鱼样，将它放在工作台上，用塑料刀切除胸鳍并切开背鳍附近自头至尾部的鱼皮。在鳃附近和尾部，横过鱼体各切一刀；在腹部，鳃和尾部两侧各切一刀。四刀只切在鱼体一侧，且不得切太深，以免切开内脏，玷污肉片。用镊子将鱼皮与肉片分离，谨防外表皮玷污肉片。用另一把塑料刀将肌肉与脊椎分离，并用镊子取下肌肉。将组织盛于塑料容器中，称重并记录重量。若一侧的肌肉量不能满足分析用量，取另一侧肌肉补充。盖紧容器，贴上标签或记号，做好记录，于低温冰箱中保存。

多个体样品要仔细记下各个体长、鲜重。肌肉重。个体数不应少于 6 个，且性别应相同，大小相近。用匀浆器匀化鱼组织，将匀浆样转入已知重量的塑料容器中，盖紧，贴上标签并称重，记下匀浆样重和其他数据。置于低温冰箱中存放。

d 大型鱼样制备

若必要，将现场采集的样品放在-2℃-4℃冰箱中过夜，使部分解冻以便于切片。用蒸馏水或清洁海水洗涤鱼样。将鱼样置于清洁的工作台上，剔除残存的皮和骨，用塑料刀切去表层，再用另一把塑料刀重复操作一次，留下不受污染的肌肉组织。将肌肉组织放入塑料容器中，盖紧，贴上标签，称重，将数据记入记录表，样品存于低温冰箱中。

4) 评价标准与方法

海洋生物质量(双壳贝类)评价标准采用《海洋生物质量》(GB18421-2001)规定的标准值；其它甲壳类、鱼类和软体类目前国家尚未颁布统一的评价标准，生物体内污染物质(Hg、As、Zn、Pb、Cd、Cu、Cr)含量评价标准采用《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，石油烃含量采用《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。各评价因子的评价标准值见表 3.2.7-2。

表 3.2.7-2 生物体内污染物评价标准 (单位: $\times 10^{-6}$)

生物类别	汞(Hg)	铜(Cu)	铅(Pb)	镉(Cd)	锌(Zn)	砷(As)	石油烃	铬 (Cr)
贝类(一类)	0.05	10	0.1	0.2	20	1.0	15	0.5
贝类(二类)	0.10	25	2.0	2.0	50	5.0	50	2.0

贝类(三类)	0.3	50 (牡蛎 100)	6.0	5.0	100 (牡蛎 500)	8.0	80	6.0
甲壳类	0.2	100	2.0	2.0	150	8.0	20	1.5
鱼类	0.3	20	2.0	0.6	40	5.0	20	1.5
软体类	0.3	100	10	5.5	250	10	20	5.5

(2) 调查与评价结果

由于目前调查海域大型底栖生物的生物量较小,通过阿氏拖网调查获取的大型底栖生物的生物量已不能满足生物质量样品分析的要求,因此,本次生物质量样品的主要来自游泳动物。在设定的大型底栖生物站位上获取的具有代表性的鱼类、甲壳类和软体类的本地经济种类、本地常见和优势种类。

在项目区附近海域布设了 17 个生物质量监测站位,获取调查项目附近海域的游泳动物(半线天竺鲷、日本绯鲤、大头狗母鱼、青缨鲷、三线肌鲈、中国枪乌贼、长体蛇鲻、须赤虾、锈斑蟳、四线天竺鲷、白方头鱼、网纹裸胸鳝、虎斑乌贼、蓝圆鲀、眼斑豹鲷、)。

根据监测结果,采集到的 17 个站位中有鱼类 11 种、甲壳类 2 种、头足类 2 种,石油烃含量在 $3.3\sim 9.8(\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $5.4(\times 10^{-6})$;铜含量在 $0.2\sim 4.7(\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $1.1(\times 10^{-6})$;铅含量在 $0.02\sim 0.30(\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $0.11(\times 10^{-6})$;砷含量在 $0.3\sim 4.7(\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $2.0(\times 10^{-6})$;总汞含量在 $0.011\sim 0.205(\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $0.057(\times 10^{-6})$;锌含量在 $1.6\sim 10.8(\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $5.2(\times 10^{-6})$;镉含量在 $0.007\sim 0.250(\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $0.049(\times 10^{-6})$,铬含量在 $0.03\sim 0.48(\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $0.15(\times 10^{-6})$,详见表 3.2.3-3。

调查结果表明:调查海域中的各生物体样品中的石油烃、重金属(总汞、铅、镉、铜、铬、砷和锌)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。(详见表 3.2.3-4)。

表 3.2.7-3 生物体样品中总石油烃、重金属元素含量

表 3.2.7-4 生物体样品中总石油烃、重金属含量标准指数

3.2.7.2 2022 年秋季海洋生物体质量现状调查与评价

(1) 调查概况

1) 站位布设

海南安纳检测技术有限公司于 2022 年 11 月 4 日至 2022 年 11 月 18 日进行项目附近海域环境现状调查,设置海洋生物质量监测站位 19 个,站点布设见图 3.2.5-2 和表

3.2.5-7。

2) 监测项目与测试方法

海洋生物质量监测项目包括 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As、Cr 和石油烃。分析方法见表 3.2.7-5。

表 3.2.7-5 分析方法

	监测项目	分析方法	检出限	检测标准(方法)名称
生物体	铜	无火焰原子吸收分光光度法	0.4 mg/kg	《海洋监测规范 第 6 部分 生物体分析》 (GB17378.6-2007)
	铅	无火焰原子吸收分光光度法	0.04 mg/kg	
	镉	无火焰原子吸收分光光度法	0.005 mg/kg	
	锌	火焰原子吸收分光光度法	0.4 mg/kg	
	铬	无火焰原子吸收分光光度法	0.04 mg/kg	
	总汞	原子荧光法	0.002 mg/kg	
	砷	原子荧光法	0.2 mg/kg	
	石油烃	原子荧光分光光度法	0.2 mg/kg	

3) 监测方法

分别选取鱼类、甲壳类、软体类、贝类的常见种各 1~2 种，分袋、冰冻保存，取可食部分进行分析。

①样品采集

样品选取渔业资源调查的优势种和潮间带调查的优势种。

②样品制备

a 贝类样品的制备

用塑料刀或塑料刷除去贝壳外部所有的附作物，用蒸馏水或清洁海水漂洗每一个样品个体，让其自然流干，拉出足丝。用天平称个体全重，并记下重量。用另一把塑料刀插入足丝神出口，切断闭合肌，打开贝壳。用蒸馏水或清洁海水洗贝壳内的软组织，用塑料刀和镊子取出软组织，让水流尽。

单个样品：按上述步骤将至少 10 个个体的软组织放入已称重的塑料容器内，再称重，记下鲜重。盖紧，贴上标签。用尺子测量并记录贝壳长度。

多个样品：按上述步骤将至少 10 个个体的软组织放入已知重量的塑料容器中，称重，记下鲜重。于匀浆器中匀化样品，将匀浆样放回原塑料容器，再称重，并记录总重量，计算匀浆样重。贴上样品标签。

各生物个体大小应相近，并在取出生物组织前分别测量其个体长度和总重量。

b 单个样品用尺子量虾体长，将虾放在聚乙烯称样膜上，称重，记下长度和鲜重。

用塑料刀将腹部和头胸部及尾部分开，小心将其内脏从腹部取出。腿全部切除。将腹部翻下，用塑料刀沿腹部外甲边缘切开，用塑料镊子取出肌肉。检查性腺，记录所鉴别的性别。用镊子将肌肉移入塑料容器中，称重并记录鲜重。盖紧容器，标上号码。将几个容器一起放入同一塑料袋中，并附样品登记清单，结紧袋口，低温冰箱中保存。

多个样品按上述方法制备样品，仔细地记录各个个体长度、鲜重、腹部肌肉重和性别。每个样品须包括 6 个以上性别相同、大小相近的个体肌肉。将样品放入匀浆器中匀化腹部肌肉，转入已知重量的塑料容器中盖紧，标上号码，称重，记下鲜重和其他数据。将几个容器放在同一塑料袋中，并附上样品登记清单，结紧袋口，在低温冰箱中保存。

c 中小型鱼样制备

单个个体样品先测量鱼的叉长，并于聚乙烯称样膜上称重。鉴定性腺性别，记下叉长和体重。用蒸馏水或清洁海水洗涤鱼样，将它放在工作台上，用塑料刀切除胸鳍并切开背鳍附近自头至尾部的鱼皮。在鳃附近和尾部，横过鱼体各切一刀；在腹部，鳃和尾部两侧各切一刀。四刀只切在鱼体一侧，且不得切太深，以免切开内脏，玷污肉片。用镊子将鱼皮与肉片分离，谨防外表皮玷污肉片。用另一把塑料刀将肌肉与脊椎分离，并用镊子取下肌肉。将组织盛于塑料容器中，称重并记录重量。若一侧的肌肉量不能满足分析用量，取另一侧肌肉补充。盖紧容器，贴上标签或记号，做好记录，于低温冰箱中保存。

多个体样品要仔细记下各个体长、鲜重。肌肉重。个体数不应少于 6 个，且性别应相同，大小相近。用匀浆器匀化鱼组织，将匀浆样转入已知重量的塑料容器中，盖紧，贴上标签并称重，记下匀浆样重和其他数据。置于低温冰箱中存放。

d 大型鱼样制备

若必要，将现场采集的样品放在-2℃-4℃冰箱中过夜，使部分解冻以便于切片。用蒸馏水或清洁海水洗涤鱼样。将鱼样置于清洁的工作台上，剔除残存的皮和骨，用塑料刀切去表层，再用另一把塑料刀重复操作一次，留下不受污染的肌肉组织。将肌肉组织放入塑料容器中，盖紧，贴上标签，称重，将数据记入记录表，样品存于低温冰箱中。

4) 评价标准与方法

海洋生物质量(双壳贝类)评价标准采用《海洋生物质量》(GB18421-2001)规定的标准值；其它甲壳类、鱼类和软体类目前国家尚未颁布统一的评价标准，生物体内污染物质(Hg、As、Zn、Pb、Cd、Cu、Cr)含量评价标准采用《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，石油烃含量采用《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。各评价因子的评价标准值见表 3.2.7-6。

表 3.2.7-6 生物体内污染物评价标准 (单位: $\times 10^{-6}$)

生物类别	汞(Hg)	铜(Cu)	铅(Pb)	镉(Cd)	锌(Zn)	砷(As)	石油烃	铬 (Cr)
贝类(一类)	0.05	10	0.1	0.2	20	1.0	15	0.5
贝类(二类)	0.10	25	2.0	2.0	50	5.0	50	2.0
贝类(三类)	0.3	50 (牡蛎 100)	6.0	5.0	100 (牡蛎 500)	8.0	80	6.0
甲壳类	0.2	100	2.0	2.0	150	8.0	20	1.5
鱼类	0.3	20	2.0	0.6	40	5.0	20	1.5
软体类	0.3	100	10	5.5	250	10	20	5.5

(2) 调查与评价结果

由于目前调查海域大型底栖生物的生物量较小,通过阿氏拖网调查获取的大型底栖生物的生物量已不能满足生物质量样品分析的要求,因此,本次生物质量样品的主要来自游泳动物。在设定的大型底栖生物站位上获取的具有代表性的鱼类、甲壳类和软体类的本地经济种类、本地常见和优势种类。

在项目区附近海域布设了 19 个生物质量监测站位,获取调查项目附近海域的游泳动物(短颌宝刀鱼、红星梭子蟹、蓝圆鲹、短棘鲷、须赤虾、中国枪乌贼、大头狗母鱼、小牙鲷、日本绯鲤、周氏新对虾、青缨鲷、小带鱼、褐海鳗、鰺、大鳞舌鰺、黑口鰺)。

根据监测结果,采集到的 19 个站位中有鱼类 12 种、甲壳类 2 种、头足类 1 种,石油烃含量在 $2.8\sim 8.4 (\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $4.8 (\times 10^{-6})$;铜含量在 $0.7\sim 4.3 (\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $1.6 (\times 10^{-6})$;铅含量在 $0.16\sim 0.71 (\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $0.28 (\times 10^{-6})$;砷含量在 $0.6\sim 6.5 (\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $2.7 (\times 10^{-6})$;总汞含量在 $0.025\sim 0.140 (\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $0.075 (\times 10^{-6})$;锌含量在 $4.9\sim 26.0 (\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $9.7 (\times 10^{-6})$;镉含量在 $0.024\sim 0.306 (\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $0.061 (\times 10^{-6})$,铬含量在 $0.16\sim 1.04 (\times 10^{-6})$ 之间,平均为 $0.26 (\times 10^{-6})$,详见表 3.2.7-7。

调查结果表明:调查海域中的各生物体样品中的石油烃、重金属(总汞、铅、镉、铜、铬、砷和锌)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。(详见表 3.2.7-8)。

表 3.2.7-7 生物体样品中总石油烃、重金属元素含量

表 3.2.7-8 生物体样品中总石油烃、重金属含量标准指数

3.2.8 海洋生态环境现状调查与评价

3.2.8.1 2022 年春季航次

(1) 海洋生物生态现状调查概况

1) 海洋生物调查内容与站位布设

海南安纳检测技术有限公司在海南万宁附近海域布设海洋生态环境调查站位 17 个，潮间带生物调查 3 条断面，潮间带生物采样时间为 2022 年 05 月 08-09 日，其他因子调查时间为 2022 年 04 月 22-26 日。站点布设见图 3.2.5-1 和表 3.2.5-1。

2) 海洋生物采集、处理和分析方法

①浮游植物

采样方法是按《海洋调查规范》GB/T12763-2007 中的有关浮游生物调查的规定进行。利用浅水Ⅲ型浮游生物网采样，拖网方式为底—表垂直拖。采用 5%中性福尔马林溶液固定带回实验室，进行种类鉴定及按个体计数法进行计数、统计和分析。

②浮游动物

采样方法是按《海洋调查规范》GB/T12763-2007 中的有关浮游生物调查的规定进行，利用浅水Ⅰ型浮游生物网采样，拖网方式为底—表垂直拖。采用 5%中性福尔马林溶液固定带回实验室，进行称重、种类鉴定、计数、统计和分析。

③底栖生物

大型底栖生物的定量采样用张口面积为 0.067m^2 的采泥器进行，每个站采样 3 次。定性样品采用阿氏拖网采集，拖拽时间为 10~15min，拖速为 2-3 节。采集样品采用 75% 无水乙醇固定带回实验室，进行称重、种类鉴定、计数、统计和分析。

④潮间带生物

I 生物样品的采集方法

A. 定性采样在高、中、低潮区分别采 1 个样品，并尽可能将该站附近出现的动植物种类收集齐全。

B. 滩涂定量采样用面积为 $25\text{cm} \times 25\text{cm}$ 的定量框，取样时先将定量框插入滩涂内，观察框内可见的生物和数量，再用铁铲清除挡板外侧的泥沙，拔去定量框，铲取框内样品，若发现底层仍有生物存在，应将采样器再往下压，直至采不到生物为止。将采集的框内样品置于漩涡分选装置或过筛器中淘洗。

C.对某些生物栖息密度很低的地带,可采用 5m×5m 的面积内计数(个数或洞穴数),并采集其中的部分个体称重,再换算成生物量。

II 生物样品处理与保存

A.采得的所有定性和定量标本,洗净按类分开瓶装或封口塑料袋装,或按大小及个体软硬分装,以防标本损坏。

B.定量样品,未能及时处理的余渣,拣出可见标本后把余渣另行分装,在双筒解剖镜下挑拣;

C.按序加入 5%福尔马林固定液,余渣用四氯四碘荧光素染色剂固定液固定;

D.对受刺激易引起收缩或自切的种类(如腔肠动物、纽形动物),先用水合氯醛或乌来糖进行麻醉后再固定,某些多毛类(如沙蚕科、吻沙蚕科),先用淡水麻醉,挤出吻部,再用福尔马林固定,对于大型海藻,除用福尔马林固定外,最好带回一些完整的新鲜藻体,制作腊叶标本。

3) 评价方法

①叶绿素 a 和初级生产力评价方法

采样方法是按《海洋监测规范》GB17378.7-2007 中有关叶绿素 a 调查的规定进行。使用紫外分光光度计测定叶绿素 a 的含量。

初级生产力的估算采用叶绿素 a 法,按联合国教科文组织(UNESCO)推荐的下列公式估算:

$$P = \frac{Chla \cdot Q \cdot D \cdot E}{2}$$

式中:

P—现场初级生产力(mg·C/(m²·d))

Chla—真光层内平均叶绿素 a 含量(ug/L)

Q—不同层次同化指数算术平均值,取 3.71

D—昼长时间(h),根据季节和海区情况取 12.0 小时

E—真光层深度(m),取透明度(m)×2.71

②海洋生物评价方法

海洋生物用反映生物群落特征指数,丰富度(D)、多样性指数(H')、均匀度(J)、优势度(Y)对所调查的生物群落结构特征进行分析。计算公式如下:

优势度(Y):

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

Shannon-Wiener 多样性指数:

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

Pielou 均匀度指数:

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

式中: $P_i = n_i/N$; $H_{\max} = \log_2 S$, 为最大多样性指数; n_i : 第 i 种的个体数量(ind.·m²);
N: 某站总生物数量(ind.·m²); f_i : 某种生物的出现频率(%); S: 出现生物总种数。

丰富度指数:

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

d 表示丰富度指数; S 表示样品中的总种数; N 表示群落中所有物种的总丰度

单纯度指数:

$$C = \sum (n_i/N)^2$$

C 表示单纯度指数; N 为群落中所有物种丰度或生物量, n_i 为第 i 个物种的丰度或生物量。

(2) 海洋生物生态现状调查结果

1) 叶绿素 a 与初级生产力

初级生产力采用叶绿素 a 法, 按照联合国教科文组织 (UNESCO) 推荐的下列公式: $P = Chla \cdot Q \cdot D \cdot E / 2$ 计算, 其结果见表 3.2.8-1。

表 3.2.8-1 调查海区叶绿素 a 含量和初级生产力

由表 3.2.8-1 可见, 调查海区叶绿素 a 含量范围是 (0.10~1.78) $\mu\text{g/L}$, 平均值为 0.23 $\mu\text{g/L}$ 。调查海区初级生产力变化范围是 (165.53~908.79) $\text{mg} \cdot \text{C} / \text{m}^2 \cdot \text{d}$, 平均值是 360.59 $\text{mg} \cdot \text{C} / \text{m}^2 \cdot \text{d}$ 。

2) 浮游植物

① 种类组成

根据本次调查所采集到的样品, 调查海域共鉴定到浮游植物 3 门 37 属 112 种 (包括变型及变种)。其中, 硅藻门 25 属 55 种, 占浮游植物种类数的 49.11%; 甲藻门 11 属

56 种，占浮游植物种类数的 50.00%；蓝藻门 1 属 1 种，占浮游植物种类数的 0.89%。

②细胞密度

各调查站位浮游植物的细胞密度介于 $(0.16\sim 4.57) \times 10^4 \text{cells/m}^3$ 之间，平均细胞密度为 $1.10 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ 。详见表 3.2.8-2。

表 3.2.8-2 各站位浮游植物细胞密度 ($\times 10^4 \text{cells/m}^3$)

③优势种

优势种的确定由优势度决定，计算公式： $Y = P_i \times f_i$ ， f_i 为第 i 种在各个站位出现的频率。根据实际调查情况，本次调查将浮游植物的优势度 ≥ 0.01 的种类作为该海域的优势种类。

调查海域浮游植物优势种为红海束毛藻、笔尖型根管藻、反转新角藻、笔尖型根管藻粗径变种、二齿双管藻、拟夜光梨甲藻。其中，红海束毛藻的优势度最大，平均密度为 $8.61 \times 10^3 \text{cells/m}^3$ ，占总细胞数的 78.47%，优势度为 0.78。优势种见表 3.2.8-3。

表 3.2.8-3 浮游植物优势种和优势度

优势种	拉丁文名	平均密度 ($\times 10^3 \text{cells/m}^3$)	占总密度的比例(%)	出现频率(%)	优势度
红海束毛藻	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	8.61	78.47	100	0.78
笔尖型根管藻	<i>Rhizosolenia styliiformis</i>	0.49	4.42	100	0.04
反转新角藻	<i>Neoceratium massiliense</i>	0.17	1.55	100	0.02
笔尖型根管藻粗径变种	<i>Rhizosolenia styliiformis</i> var. <i>latissima</i>	0.16	1.46	100	0.01
二齿双管藻	<i>Amphisolenia bidentata</i>	0.16	1.42	100	0.01
拟夜光梨甲藻	<i>Pyrocystis nocitiluca</i>	0.15	1.32	100	0.01

④丰富度、单纯度、多样性指数与均匀度

浮游植物多样性反映其种类的多寡和各个种类数量分配的函数关系，均匀度则反映其种类数量的分配情况，可以作为水质监测的参数。

计算结果表明，调查期间各站位的浮游植物丰富度指数 (D) 介于 2.00~4.20 之间，平均值为 3.09；单纯度 (C) 指数介于 0.09~0.84 之间，平均值为 0.47；多样性指数 (H') 介于 0.74~4.36 之间，平均值为 2.33；均匀度指数 (J') 介于 0.15~0.77 之间，平均值为 0.43。丰富度指数最高出现在 K09 号，最低出现在 K14 号；单纯度指数最高出现在 K14 号，最低出现在 K09 号；多样性指数最高出现在 K09 号，最低出现在 K14 号；均匀度指数最高出现在 K09 号，最低出现在 K14 号。结果见表 3.2.8-4。

表 3.2.8-4 丰富度 (D)、单纯度 (C)、多样性指数 (H') 和均匀度 (J')

⑤小结

根据本次调查所采集到的样品, 调查海域共鉴定到浮游植物 3 门 37 属 112 种 (包括变型及变种)。各调查站位浮游植物的细胞密度介于 $(0.16\sim4.57)\times10^4\text{cells/m}^3$ 之间, 平均细胞密度为 $1.10\times10^4\text{cells/m}^3$ 。

调查海域浮游植物优势种为红海束毛藻、笔尖型根管藻、反转新角藻、笔尖型根管藻粗径变种、二齿双管藻、拟夜光梨甲藻。其中, 红海束毛藻的优势度最大, 平均密度为 $8.61\times10^3\text{cells/m}^3$, 占总细胞数的 78.47%, 优势度为 0.78。

调查期间各站位的浮游植物丰富度指数 (D) 介于 2.00~4.20 之间, 平均值为 3.09; 单纯度 (C) 指数介于 0.09~0.84 之间, 平均值为 0.47; 多样性指数 (H') 介于 0.74~4.36 之间, 平均值为 2.33; 均匀度指数 (J') 介于 0.15~0.77 之间, 平均值为 0.43。

3) 浮游动物

①种类组成

据本次调查所采集到的标本鉴定, 调查海域浮游动物共有 10 类 48 属 58 种, 不包括浮游幼体、鱼卵及仔鱼。其中, 桡足类有 19 属 26 种, 占浮游动物总种数的 44.83%; 水螅虫类有 10 属 12 种, 占浮游动物总种数的 20.69%; 被囊类有 4 属 5 种, 占浮游动物总种数的 8.62%; 端足类有 4 属 4 种, 占浮游动物总种数的 6.90%; 毛颚类和浮游软体类均有 3 属 3 种, 占浮游动物总种数的 5.17%; 多毛类有 2 属 2 种, 占浮游动物总种数的 3.45%; 十足类、等足类和枝角类均有 1 属 1 种, 占浮游动物总种数的 1.72%; 另有 10 个类别浮游幼体和鱼卵、仔鱼。

②生物量和丰度

本次调查中, 浮游动物的丰度范围为 $(3.60\sim37.60)\text{ind/m}^3$, 平均丰度为 10.35ind/m^3 , 其中丰度最大值出现在 K09 号站位, 最小值出现在 K26 号; 生物量范围为 $(0.30\sim9.76)\text{mg/m}^3$, 平均生物量为 3.32mg/m^3 , 其中生物量最大值出现在 K09 号站位, 最小值出现在 K26 号站位。结果详见表 3.2.8-5。

表 3.2.8-5 各测站浮游动物丰度 (ind/m^3) 和生物量 (mg/m^3)

③优势种

优势种的确定由优势度决定, 计算公式: $Y=P_i\times f_i$, f_i 为第 i 种在各个站位出现的频率。根据实际调查情况, 本次调查将浮游动物的优势度 ≥ 0.02 的种类作为该海域的优势

种类。

调查期间该海域浮游动物优势种类是双尾纽鳃樽多刺亚种、后截唇角水蚤和双生水母。结果详见表 3.2.8-6。

表 3.2.8-6 浮游动物优势种和优势度

④丰富度、单纯度、多样性指数和均匀度

调查期间该水域浮游动物丰富度指数范围为 2.66~5.95，平均值为 4.63，最大值出现在 K26 号站位，最小值出现在 K03 号站位；单纯度指数范围 0.08~0.46，平均值为 0.17，最大值出现在 K25 号站位，最小值出现在 K27 号站位；多样性指数范围为 2.01~3.99，平均值为 3.21，最大值出现在 K27 号站位，最小值出现在 K25 号站位；均匀度指数范围为 0.54~0.96，平均值为 0.83，最大值出现在 K08 号站位，最小值出现在 K25 号站位。结果详见表 3.2.8-7。

表 3.2.8-7 浮游动物丰富度 (D)、单纯度 (C)、多样性指数 (H') 和均匀度 (J)

⑤小结

据本次调查所采集到的标本鉴定，调查海域浮游动物共有 10 类 48 属 58 种，桡足类有 19 属 26 种；水螅虫类有 10 属 12 种；被囊类有 4 属 5 种；端足类有 4 属 4 种；毛颚类和浮游软体类均有 3 属 3 种；多毛类有 2 属 2 种；十足类、等足类和枝角类均有 1 属 1 种。

浮游动物的丰度范围为 (3.60~37.60) ind/m³，平均丰度为 10.35 ind/m³；生物量范围为 (0.30~9.76) mg/m³，平均生物量为 3.32 mg/m³。

调查期间该海域浮游动物优势种类是双尾纽鳃樽多刺亚种、后截唇角水蚤和双生水母。

浮游动物丰富度指数范围为 2.66~5.95，平均值为 4.63；单纯度指数范围 0.08~0.46，平均值为 0.17；多样性指数范围为 2.01~3.99，平均值为 3.21；均匀度指数范围为 0.54~0.96，平均值为 0.83。

4) 大型底栖生物

①种类组成

调查海域大型底栖生物共采集鉴定到 8 门 65 科 103 种，其中刺胞动物有 3 科 3 种，

占总种类数的 2.91%；环节动物有 9 科 11 种，占总种类数的 10.68%；棘皮动物有 3 科 7 种，占总种类数的 6.80%；脊索动物有 11 科 15 种，占总种类数的 14.56%；节肢动物有 23 科 46 种，占总种类数的 44.66%；软体动物有 14 科 19 种，占总种类数的 18.45%；苔藓动物、星虫动物各有 1 科 1 种，均占总种类数的 0.97%。

②生物量和栖息密度

调查结果表明，各站位底栖生物栖息密度的范围为(4.98~49.75)ind/m²，平均密度为 28.10ind/m²，最高出现在 K16 号站位；生物量的范围为(0.68~69.50)g/m²，平均生物量为 19.17g/m²，最高出现在 K25 号站位。见表 3.2.8-8。

表 3.2.8-8 各站位大型底栖生物生物量(g/m²)和栖息密度(ind/m²)

注：--为未采集到。

③各类别生物量和栖息密度

调查海域大型底栖生物栖息密度主要以节肢动物为主，平均密度为 14.93ind/m²；其次为软体动物，平均密度为 4.68ind/m²；最低为星虫动物，平均密度均为 0.29ind/m²。生物量以软体动物为主，平均生物量为 9.96g/m²；其次为节肢动物，平均生物量为 7.78g/m²；最低为星虫动物，平均生物量均为 0.0003g/m²。详见表 3.2.8-9。

表 3.2.8-9 各站位类别生物量(g/m²)和栖息密度(ind/m²)

注：--为未发现

④优势种

优势种的确定由优势度决定，计算公式： $Y = P_i \times f_i$ ， f_i 为第 i 种在各个站位出现的频率。根据实际调查情况，本次调查将大型底栖生物的优势度 ≥ 0.01 的种类作为该海域的优势种类。

调查期间该海域大型底栖生物优势种类为银光梭子蟹。详见表 3.2.8-10。

表 3.2.8-10 大型底栖生物的优势种和优势度

⑤丰富度、单纯度、多样性指数和均匀度

各站丰富度的范围为 0~1.32，平均值为 0.80，最高值出现在 K10 号站位；单纯度的范围为 0.13~1.00，平均值为 0.28，最低值出现在 K10 号站位；多样性指数的范围为 0~3.00，平均值为 2.10，最高值出现在 K10 号站位；均匀度的范围为 0~1.00，平均值为 0.92，各站位的均匀度指数均较高。详见表 3.2.8-11。

表 3.2.8-11 丰富度 (D)、单纯度 (C)、生物多样性指数(H')和均匀度(J)

⑥小结

调查海域大型底栖生物共采集鉴定到 8 门 65 科 103 种,其中刺胞动物有 3 科 3 种,环节动物有 9 科 11 种,棘皮动物有 3 科 7 种,脊索动物有 11 科 15 种,节肢动物有 23 科 46 种,软体动物有 14 科 19 种,苔藓动物、星虫动物各有 1 科 1 种。

各站位底栖生物栖息密度的范围为(4.98~49.75)ind/m²,平均密度为 28.10ind/m²;生物量的范围为(0.68~69.50)g/m²,平均生物量为 19.17g/m²。大型底栖生物栖息密度主要以节肢动物为主,平均密度为 14.93ind/m²;其次为软体动物,最低为星虫动物。生物量以软体动物为主,平均生物量为 9.96g/m²;其次为节肢动物,最低为星虫动物。

调查期间该海域大型底栖生物优势种类为银光梭子蟹。

丰富度、单纯度、均匀度和多样性指数分析表明,各站丰富度的范围为 0~1.32,平均值为 0.80;单纯度的范围为 0.13~1.00,平均值为 0.2;多样性指数的范围为 0~3.00,平均值为 2.10;均匀度的范围为 0~1.00,平均值为 0.92。

5) 潮间带生物

①底质类型和种类组成

本次调查 C01 断面高、中、低潮区底质均为岩石间粗砂;C02、C03 断面高、中、低潮区底质均为粗砂,详见图 3.2.8-1。



图 3.2.8-1 潮间带

3 条潮间带断面共采获了 7 个生物类别中的 30 科 40 种生物(包含定性样品),刺

胞动物有 1 科 1 种，占总种类数的 2.50%；褐藻门有 1 科 1 种，占总种类数的 2.50%；红藻门有 2 科 2 种，占总种类数的 5.00%；脊索动物有 2 科 2 种，占总种类数的 5.00%；节肢动物有 10 科 14 种，占总种类数的 35.00%；绿藻门有 2 科 2 种，占总种类数的 5.00%；软体动物有 12 科 18 种，占总种类数的 45.00%。

其中 C01 出现 34 种生物，C02 有 5 种生物，C03 有 3 种生物。不同断面出现的生物种类数详见表 3.2.8-12。

表 3.2.8-12 不同断面出现的生物种类数

门类	C01	C02	C03
刺胞动物	1	--	--
褐藻门	1	--	--
红藻门	2	--	--
脊索动物	2	--	--
节肢动物	9	4	3
绿藻门	2	--	--
软体动物	17	1	--
合计	34	5	3

注：--表示未发现该生物类型

②生物量和栖息密度

3 条潮间带生物断面高潮区平均栖息密度为 153.73ind/m²，平均生物量为 5.84g/m²；中潮区平均栖息密度为 513.16ind/m²，平均生物量为 23.57g/m²；低潮区平均栖息密度为 358.67ind/m²，平均生物量为 55.20g/m²。详见表 3.2.8-13。

表 3.2.8-13 潮间带生物量(g/m²)和栖息密度(ind/m²)

断面	栖息密度(ind/m ²)			生物量(g/m ²)		
	高滩	中滩	低滩	高滩	中滩	低滩
C01	460.00	1538.67	1076.00	13.80	68.11	165.60
C02	0.80	0.54	0.00	2.51	1.99	0.00
C03	0.38	0.26	0.00	1.21	0.62	0.00
平均值	153.73	513.16	358.67	5.84	23.57	55.20

注：--为未发现

③类别生物量和栖息密度

各类别生物的生物量和栖息密度如表 3.2.8-14 所示，其中栖息密度以节肢动物为主，平均密度 323.78ind/m²，生物量以软体动物为主，平均生物量为 20.02g/m²。详见表 3.2.8-14。

表 3.2.8-14 潮间带生物的种类组成生物量与栖息密度

注：--为未发现

④优势种

优势种的确定由优势度决定，计算公式： $Y = P_i \times f_i$ ， f_i 为第*i*种在各个站位出现的频率。本次调查潮间带生物以潮区为站点计算各种类的栖息密度百分比和出现频率，并把优势度>0.10 种类作为该区域的优势种类。

该海域的潮间带生物优势种类为触肢小藤壶。结果详见表 3.2.8-15 表 3.2.4-24。

表 3.2.8-15 潮间带生物的优势种

优势种	拉丁文名	平均栖息密度 (ind/m ²)	比例	出现频率	优势度
触肢小藤壶	<i>Chthamalus antennatus</i>	322.22	94.26%	33.33%	0.31

⑤丰富度、单纯度、多样性指数和均匀度

高潮区丰富度平均为 1.59；单纯度平均为 0.67；多样性指数平均为 0.82；均匀度平均为 0.58。中潮区丰富度平均为 0.92；单纯度平均为 0.82；多样性指数平均为 0.47；均匀度平均为 0.41。低潮区丰富度平均为 0.20；单纯度平均为 0.29；多样性指数平均为 0.17；均匀度平均为 0.06。见表 3.2.8-16。

表 3.2.8-16 丰富度 (*D*)、单纯度 (*C*) 多样性指数 (*H'*) 和均匀度 (*J*)

断面	丰富度 <i>D</i>			单纯度 <i>C</i>			多样性指数 <i>H'</i>			均匀度 <i>J</i>		
	高	中	低	高	中	低	高	中	低	高	中	低
C01	0.23	1.13	0.60	0.77	0.95	0.87	0.67	0.26	0.52	0.42	0.07	0.19
C02	3.11	1.12	--	0.78	0.86	--	0.54	0.38	--	0.54	0.38	--
C03	1.43	0.51	--	0.46	0.64	--	1.24	0.78	--	0.78	0.78	--
平均值	1.59	0.92	0.20	0.67	0.82	0.29	0.82	0.47	0.17	0.58	0.41	0.06

注：0 为只采集到 1 种大型底栖生物；--为未发现

⑥小结

3 条潮间带断面共采获了 7 个生物类别中的 30 科 40 种生物（包含定性样品），刺胞动物有 1 科 1 种；褐藻门有 1 科 1 种；红藻门有 2 科 2 种；脊索动物有 2 科 2 种；节肢动物有 10 科 14 种；绿藻门有 2 科 2 种；软体动物有 12 科 18 种。其中 C01 出现 34 种生物，C02 有 5 种生物，C03 有 3 种生物。

3 条潮间带生物断面高潮区平均栖息密度为 153.73ind/m²，平均生物量为 5.84g/m²；中潮区平均栖息密度为 513.16ind/m²，平均生物量为 23.57g/m²；低潮区平均栖息密度为 358.67ind/m²，平均生物量为 55.20g/m²。栖息密度以节肢动物为主，平均密度 323.78ind/m²，生物量以软体动物为主，平均生物量为 20.02g/m²。

该海域的潮间带生物优势种类为触肢小藤壶。

高潮区丰富度平均为 1.59；单纯度平均为 0.67；多样性指数平均为 0.82；均匀度平均为 0.58。中潮区丰富度平均为 0.92；单纯度平均为 0.82；多样性指数平均为 0.47；均匀度平均为 0.41。低潮区丰富度平均为 0.20；单纯度平均为 0.29；多样性指数平均为 0.17；均匀度平均为 0.06。

3.2.8.2 2022 年秋季航次

(1) 海洋生物生态现状调查概况

1) 海洋生物调查内容与站位布设

海南安纳检测技术有限公司在海南万宁附近海域布设海洋生态环境调查站位 19 个，潮间带生物调查 3 条断面。潮间带生物采样时间为 2022 年 11 月 22 日，其他因子调查时间为 2022 年 11 月 04-18 日。站点布设见图 3.2.5-2 和表 3.2.5-7。

2) 海洋生物采集、处理和分析方法

①浮游植物

采样方法是按《海洋调查规范》GB/T12763-2007 中的有关浮游生物调查的规定进行。利用浅水Ⅲ型浮游生物网采样，拖网方式为底—表垂直拖。采用 5%中性福尔马林溶液固定带回实验室，进行种类鉴定及按个体计数法进行计数、统计和分析。

②浮游动物

采样方法是按《海洋调查规范》GB/T12763-2007 中的有关浮游生物调查的规定进行，利用浅水Ⅰ型浮游生物网采样，拖网方式为底—表垂直拖。采用 5%中性福尔马林溶液固定带回实验室，进行称重、种类鉴定、计数、统计和分析。

③底栖生物

大型底栖生物的定量采样用张口面积为 0.067m^2 的采泥器进行，每个站采样 3 次。定性样品采用阿氏拖网采集，拖拽时间为 10~15min，拖速为 2-3 节。采集样品采用 75%无水乙醇固定带回实验室，进行称重、种类鉴定、计数、统计和分析。

④潮间带生物

I 生物样品的采集方法

A.定性采样在高、中、低潮区分别采 1 个样品，并尽可能将该站附近出现的动植物种类收集齐全。

B.滩涂定量采样用面积为 $25\text{cm}\times 25\text{cm}$ 的定量框，取样时先将定量框插入滩涂内，观察框内可见的生物和数量，再用铁铲清除挡板外侧的泥沙，拔去定量框，铲取框内样品，若发现底层仍有生物存在，应将采样器再往下压，直至采不到生物为

止。将采集的框内样品置于漩涡分选装置或过筛器中淘洗。

C.对某些生物栖息密度很低的地带，可采用 5m×5m 的面积内计数(个数或洞穴数)，并采集其中的部分个体称重，再换算成生物量。

II 生物样品处理与保存

A.采得的所有定性和定量标本，洗净按类分开瓶装或封口塑料袋装，或按大小及个体软硬分装，以防标本损坏。

B.定量样品，未能及时处理的余渣，拣出可见标本后把余渣另行分装，在双筒解剖镜下挑拣；

C.按序加入 5%福尔马林固定液，余渣用四氯四碘荧光素染色剂固定液固定；

D.对受刺激易引起收缩或自切的种类(如腔肠动物、纽形动物)，先用水合氯醛或乌来糖进行麻醉后再固定，某些多毛类(如沙蚕科、吻沙蚕科)，先用淡水麻醉，挤出吻部，再用福尔马林固定，对于大型海藻，除用福尔马林固定外，最好带回一些完整的新鲜藻体，制作腊叶标本。

3) 评价方法

①叶绿素 a 和初级生产力评价方法

采样方法是按《海洋监测规范》GB17378.7-2007 中有关叶绿素 a 调查的规定进行。使用紫外分光光度计测定叶绿素 a 的含量。

初级生产力的估算采用叶绿素 a 法，按联合国教科文组织(UNESCO)推荐的下列公式估算：

$$P = \frac{Chla \cdot Q \cdot D \cdot E}{2}$$

式中：

P—现场初级生产力(mg·C/(m²·d))

Chla—真光层内平均叶绿素 a 含量(ug/L)

Q—不同层次同化指数算术平均值，取 3.71

D—昼长时间(h)，根据季节和海区情况取 12.0 小时

E—真光层深度(m)，取透明度(m)×2.71

②海洋生物评价方法

海洋生物用反映生物群落特征指数，丰富度 (D)、多样性指数 (H')、均匀度 (J)、优势度 (Y) 对所调查的生物群落结构特征进行分析。计算公式如下：

优势度(Y):

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

Shannon-Wiener 多样性指数:

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

Pielou 均匀度指数:

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

式中: $P_i = n_i/N$; $H_{\max} = \log_2 S$, 为最大多样性指数; n_i : 第 i 种的个体数量(ind.·m²);
N: 某站总生物数量(ind.·m²); f_i : 某种生物的出现频率(%); S: 出现生物总种数。

丰富度指数:

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

d 表示丰富度指数; S 表示样品中的总种数; N 表示群落中所有物种的总丰度

单纯度指数:

$$C = \sum (n_i/N)^2$$

C 表示单纯度指数; N 为群落中所有物种丰度或生物量, n_i 为第 i 个物种的丰度或生物量。

(2) 海洋生物生态现状调查结果

1) 叶绿素 a 与初级生产力

初级生产力采用叶绿素 a 法, 按照联合国教科文组织 (UNESCO) 推荐的下列公式: $P = Chla \cdot Q \cdot D \cdot E / 2$ 计算, 其结果见表 3.2.8-17。

表 3.2.8-17 调查海区叶绿素 a 含量和初级生产力

由表 3.2.8-17 可见, 调查海区叶绿素 a 含量范围是 (0.10~5.79) μg/L, 平均值为 0.48 μg/L。调查海区初级生产力变化范围是 (110.85~2512.52) mg·C/m²·d, 平均值是 533.32 mg·C/m²·d。

2) 浮游植物

① 种类组成

根据本次调查所采集到的样品, 调查海域共鉴定到浮游植物 5 门 38 属 97 种 (包括变型及变种)。其中, 硅藻门 29 属 79 种, 占浮游植物种类数的 81.45%; 甲藻门 6

属 15 种，占浮游植物种类数的 15.46%；蓝藻门、绿藻门、金藻门各 1 属 1 种，均占浮游植物种类数的 1.03%。

②细胞密度

各调查站位浮游植物的细胞密度介于 $(0.85\sim 567.86) \times 10^5 \text{cells/m}^3$ 之间，平均细胞密度为 $49.94 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ 。详见表 3.2.8-18。

表 3.2.8-18 各站位浮游植物细胞密度 ($\times 10^5 \text{cells/m}^3$)

③优势种

优势种的确定由优势度决定，计算公式： $Y = P_i \times f_i$ ， f_i 为第 i 种在各个站位出现的频率。根据实际调查情况，本次调查将浮游植物的优势度 ≥ 0.02 的种类作为该海域的优势种类。

调查海域浮游植物优势种为菱形海线藻、热带骨条藻、劳氏角毛藻、海洋角毛藻、尖刺拟菱形藻、旋链角毛藻、日本星杆藻。其中，菱形海线藻的优势度最大，平均密度为 $11.10 \times 10^5 \text{cells/m}^3$ ，占总细胞数的 22.23%，优势度为 0.22。其余优势种见表 3.2.8-19。

表 3.2.8-19 浮游植物优势种和优势度

④丰富度、单纯度、多样性指数与均匀度

浮游植物多样性反映其种类的多寡和各个种类数量分配的函数关系，均匀度则反映其种类数量的分配情况，可以作为水质监测的参数。

计算结果表明，调查期间各站位的浮游植物丰富度指数 (D) 介于 1.19~2.38 之间，平均值为 1.63；单纯度 (C) 指数介于 0.12~0.61 之间，平均值为 0.28；多样性指数 (H') 介于 1.24~3.59 之间，平均值为 2.59；均匀度指数 (J') 介于 0.24~0.68 之间，平均值为 0.52。丰富度指数最高出现在 Z11 号，最低出现在 Z23 号；单纯度指数最高出现在 Z1 号，最低出现在 Z9、Z14 号；多样性指数最高出现在 Z14 号，最低出现在 Z1 号；均匀度指数最高出现在 Z9 号，最低出现在 Z1 号。结果见表 3.2.8-20。

表 3.2.8-20 丰富度 (D)、单纯度 (C)、多样性指数 (H') 和均匀度 (J')

⑤小结

根据本次调查所采集到的样品，调查海域共鉴定到浮游植物 5 门 38 属 97 种(包

括变型及变种)。各调查站位浮游植物的细胞密度介于 $(0.85\sim 567.86)\times 10^5\text{cells/m}^3$ 之间, 平均细胞密度为 $49.94\times 10^5\text{cells/m}^3$ 。

调查海域浮游植物优势种为菱形海线藻、热带骨条藻、劳氏角毛藻、海洋角毛藻、尖刺拟菱形藻、旋链角毛藻、日本星杆藻。其中, 菱形海线藻的优势度最大, 平均密度为 $11.10\times 10^5\text{cells/m}^3$, 占总细胞数的 22.23%, 优势度为 0.22。

调查期间各站位的浮游植物丰富度指数(D)介于 1.19~2.38 之间, 平均值为 1.63; 单纯度(C)指数介于 0.12~0.61 之间, 平均值为 0.28; 多样性指数(H')介于 1.24~3.59 之间, 平均值为 2.59; 均匀度指数(J')介于 0.24~0.68 之间, 平均值为 0.52。

3) 浮游动物

①种类组成

据本次调查所采集到的标本鉴定, 调查海域浮游动物共有 8 类 49 属 58 种, 不包括浮游幼体、鱼卵及仔鱼。其中, 桡足类最多, 有 18 属 24 种, 占浮游动物总种数 41.38%; 水螅虫类有 17 属 19 种, 占浮游动物总种数的 32.76%; 被囊类有 4 属 4 种, 占浮游动物总种数的 6.90%; 毛颚类和浮游软体类分别有 3 属 3 种和 2 属 3 种, 均占浮游动物总种数的 5.17%; 十足类和原生动物类均有 2 属 2 种, 占浮游动物总种数的 3.45%; 栉水母类有 1 属 1 种, 占浮游动物总种数的 1.72%; 另有 9 个类别浮游幼体和若干鱼卵、仔鱼。

②生物量和丰度

本次调查中, 浮游动物的丰度范围为 $(4.80\sim 569.20)\text{ind/m}^3$, 平均丰度为 64.44ind/m^3 , 其中丰度最大值出现在 Z13 号站位, 最小值出现在 Z23 号; 生物量范围为 $(0.32\sim 14.46)\text{mg/m}^3$, 平均生物量为 2.49mg/m^3 , 其中生物量最大值出现在 Z5 号站位, 最小值出现在 Z31 号站位。结果详见表 3.2.8-21。

表 3.2.8-21 各测站浮游动物丰度 (ind/m^3) 和生物量(mg/m^3)

③优势种

优势种的确定由优势度决定, 计算公式: $Y=P_i\times f_i$, f_i 为第 i 种在各个站位出现的频率。根据实际调查情况, 本次调查将浮游动物的优势度 ≥ 0.01 的种类作为该海域的优势种类。

调查期间该海域浮游动物优势种类有球虫、普通波水蚤和小齿海樽。结果详见表 3.2.8-22。

表 3.2.8-22 浮游动物优势种和优势度

④丰富度、单纯度、多样性指数和均匀度

调查期间该水域浮游动物丰富度指数范围为(1.46~6.51)，平均值为 3.30，最大值出现在 Z29 号站位，最小值出现在 Z18 号站位；单纯度指数范围为(0.09~0.97)，平均值为 0.47，最大值出现在 Z13 号站位，最小值出现在 Z1 号站位；多样性指数范围为(0.18~3.92)，平均值为 2.06，最大值出现在 Z1 号站位，最小值出现在 Z13 号站位；均匀度指数范围为(0.04~0.93)，平均值为 0.54，最大值出现在 Z22 号站位，最小值出现在 Z13 号站位。结果详见表 3.2.8-23。

表 3.2.8-23 浮游动物丰富度(D)、单纯度(C)、多样性指数(H')和均匀度(J)

⑤小结

据本次调查所采集到的标本鉴定，调查海域浮游动物共有 8 类 49 属 58 种，桡足类有 18 属 24 种；水螅虫类有 17 属 19 种；被囊类有 4 属 4 种；毛颚类和浮游软体类分别有 3 属 3 种和 2 属 3 种；十足类和原生动物类均有 2 属 2 种；栉水母类有 1 属 1 种；另有 9 个类别浮游幼体和若干鱼卵、仔鱼。

浮游动物的丰度范围为(4.80~569.20)ind/m³，平均丰度为 64.44ind/m³；生物量范围为(0.32~14.46)mg/m³，平均生物量为 2.49mg/m³。

调查期间该海域浮游动物优势种类有球虫、普通波水蚤和小齿海樽。

浮游动物丰富度指数范围为(1.46~6.51)，平均值为 3.30；单纯度指数范围为(0.09~0.97)，平均值为 0.47；多样性指数范围为(0.18~3.92)，平均值为 2.06；均匀度指数范围为(0.04~0.93)，平均值为 0.54。

4) 大型底栖生物

①种类组成

调查海域大型底栖生物共采集鉴定到 7 门 51 科 95 种，其中节肢动物有 17 科 49 种，占总种类数的 51.58%；软体动物有 10 科 18 种，占总种类数的 18.95%；脊索动物有 12 科 14 种，占总种类数的 14.74%；环节动物有 7 科 9 种，占总种类数的 9.47%；棘皮动物有 3 科 3 种，占总种类数的 3.16%；纽形动物、刺胞动物各有 1 科 1 种，均占总种类数的 1.05%。

②生物量和栖息密度

调查结果表明,各站位底栖生物栖息密度的幅度为(4.98~34.83)ind/m²,平均密度为 15.45ind/m²,最高出现在 Z1 号站位,最低出现在 Z13 和 Z31 号站位;生物量的幅度为(0.17~29.59)g/m²,平均生物量为 5.01g/m²,最高出现在 Z24 号站位,最低出现在 Z31 号站位。见表 3.2.8-24。

表 3.2.8-24 各站位大型底栖生物生物量(g/m²)和栖息密度(ind/m²)

。

③各类别生物量和栖息密度

调查海域大型底栖生物栖息密度主要以节肢动物为主,平均密度为 6.02ind/m²;其次为软体动物,平均密度为 3.93ind/m²;最低为刺胞动物和棘皮动物,平均密度为 0.26ind/m²。生物量以软体动物为主,平均生物量为 3.77g/m²;其次为节肢动物,平均生物量为 0.85g/m²;棘皮动物最低,平均生物量为 0.01g/m²。详见表 3.2.4-38。

④优势种

优势种的确定由优势度决定,计算公式: $Y = P_i \times f_i$, f_i 为第 i 种在各个站位出现的频率。根据实际调查情况,本次调查将大型底栖生物的优势度 ≥ 0.01 的种类作为该海域的优势种类。

调查期间该海域大型底栖生物优势种类突出,优势种有滑指矶沙蚕、锯齿反羽蟹、印度乐飞螺、阿盖芙刺铠虾。详见表 3.2.8-25。

表 3.2.8-25 大型底栖生物的优势种和优势度

⑤丰富度、单纯度、多样性指数和均匀度

各站丰富度的幅度为 0~1.02,平均值为 0.40,最高值出现在 Z5 号站位,最低值出现在 Z9、Z13、Z19、Z31 号站位;各站单纯度的幅度为 0.17~1.00,平均值为 0.51,最高值出现在 Z9、Z13、Z19、Z31 号站位,最低值出现在 Z5 号站位;各站多样性指数的幅度为 0~2.58,平均值为 1.20,最高值出现在 Z5 号站位,最低值出现在 Z9、Z13、Z19、Z31 号站位;各站底栖生物均匀度的幅度为 0~1.00,平均值为 0.78,最高值出现在 Z4、Z5、Z11、Z14、Z16、Z18、Z20、Z22、Z23、Z26、Z29 号站位,最低值出现 Z9、Z13、Z19、Z31 站位。详见表 3.2.8-27。

表 3.2.8-26 各站位类别生物量(g/m²)和栖息密度(ind/m²)

注：--为未发现

表 3.2.8-27 丰富度 (*D*)、单纯度 (*C*)、生物多样性指数(*H'*)和均匀度(*J*)

⑥小结

调查海域大型底栖生物共采集鉴定到 7 门 51 科 95 种，其中节肢动物有 17 科 49 种；软体动物有 10 科 18 种；脊索动物有 12 科 14 种；环节动物有 7 科 9 种；棘皮动物有 3 科 3 种；纽形动物、刺胞动物各有 1 科 1 种。

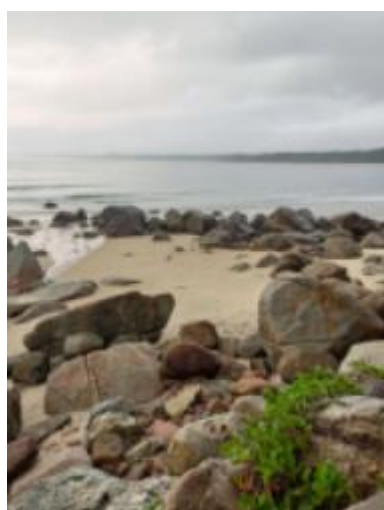
各站位底栖生物栖息密度的幅度为(4.98~34.83)ind/m²，平均密度为 15.45ind/m²；生物量的幅度为(0.17~29.59)g/m²，平均生物量为 5.01g/m²。栖息密度主要以节肢动物为主，平均密度为 6.02ind/m²；其次为软体动物，平均密度为 3.93ind/m²；最低为刺胞动物和棘皮动物，平均密度为 0.26ind/m²。生物量以软体动物为主，平均生物量为 3.77g/m²；其次为节肢动物，平均生物量为 0.85g/m²；棘皮动物最低，平均生物量为 0.01g/m²。

调查期间该海域大型底栖生物优势种类突出，优势种有滑指矶沙蚕、锯齿反羽蟹、印度乐飞螺、阿盖芙刺铠虾。各站丰富度的幅度为 0~1.02，平均值为 0.40；各站单纯度的幅度为 0.17~1.00，平均值为 0.51；各站多样性指数的幅度为 0~2.58，平均值为 1.20；各站底栖生物均匀度的幅度为 0~1.00，平均值为 0.78。

5) 潮间带生物

①底质类型和种类组成

本次调查 C01 断面高、中、低潮区底质均为岩石间粗砂；C02 断面高、中潮区底质均为粗砂、低潮区底质为岩石间粗砂；C03 断面高、中、低潮区底质均为粗砂，详见图 3.2.8-2。



C01 潮间带



C02 潮间带



C03 潮间带

图 3.2.8-2 潮间带现状图

3 条潮间带断面共采获了 6 个生物类别中的 29 科 41 种生物（包含定性样品），褐藻门有 1 科 2 种，占总种类数 4.88%；环节动物有 1 科 1 种，占总种类数的 2.44%；棘皮动物有 1 科 1 种，占总种类数的 2.44%；脊索动物有 1 科 1 种，占总种类数的 2.44%；节肢动物有 13 科 18 种，占总种类数的 43.90%；软体动物有 11 科 18 种，占总种类数的 43.90%。

其中 C01 出现 36 种生物，C02 有 8 种生物，C03 有 4 种生物。不同断面出现的生物种类数详见图 3.2.8-2。

表 3.2.8-28 不同断面出现的生物种类数

门类	C01	C02	C03
褐藻门	2	1	--
环节动物	1	--	--
棘皮动物	1	--	--
脊索动物	1	--	--
节肢动物	14	3	4
软体动物	17	4	--
合计	36	8	4

注：--表示未发现该生物类型

②生物量和栖息密度

3 条潮间带生物断面高潮区平均栖息密度为 138.19ind/m²，平均生物量为 4.04g/m²；中潮区平均栖息密度为 475.75ind/m²，平均生物量为 47.10g/m²；低潮区平均栖息密度为 304.00ind/m²，平均生物量为 60.43g/m²。详见表 3.2.8-29。

表 3.2.8-29 潮间带生物量(g/m²)和栖息密度(ind/m²)

断面	栖息密度 (ind/ m ²)			生物量(g/m ²)		
	高滩	中滩	低滩	高滩	中滩	低滩
C01	414.00	1426.67	912.00	11.06	140.56	181.28

C02	0.30	0.38	--	0.60	0.45	--
C03	0.26	0.20	--	0.46	0.29	--
平均值	138.19	475.75	304.00	4.04	47.10	60.43

注：--为未发现

③类别生物量和栖息密度

各类别生物的生物量和栖息密度如表 3.2.4-54 所示，其中栖息密度以节肢动物为主，平均密度 278.65ind/m²，生物量以软体动物为主，平均生物量为 27.52g/m²。详见表 3.2.4-54。

④优势种

优势种的确定由优势度决定，计算公式： $Y = P_i \times f_i$ ， f_i 为第 i 种在各个站位出现的频率。本次调查潮间带生物以潮区为站点计算各种类的栖息密度百分比和出现频率，并把优势度 > 0.10 种类作为该区域的优势种类。

该海域的潮间带生物优势种类为触肢小藤壶。结果详见表 3.2.8-30。

表 3.2.8-30 潮间带生物的优势种

优势种	拉丁文名	平均栖息密度 (ind/m ²)	比例	出现频率	优势度
触肢小藤壶	<i>Chthamalus antennatus</i>	273.78	89.48%	33.33%	0.30

⑤丰富度、单纯度、多样性指数和均匀度

高潮区丰富度平均为 0.69；单纯度平均为 0.69；多样性指数平均为 0.81；均匀度平均为 0.55。中潮区丰富度平均为 0.68；单纯度平均为 0.80；多样性指数平均为 0.54；均匀度平均为 0.35。低潮区丰富度平均为 0.27；单纯度平均为 0.26；多样性指数平均为 0.29；均匀度平均为 0.09。见表 3.2.4-56。

表 3.2.4-54 潮间带生物的种类组成生物量与栖息密度

表 3.2.8-31 潮间带生物的丰富度 (D)、单纯度 (C) 多样性指数 (H') 和均匀度 (J)

⑥小结

3 条潮间带断面共采获了 6 个生物类别中的 29 科 41 种生物（包含定性样品），褐藻门有 1 科 2 种；环节动物有 1 科 1 种；棘皮动物有 1 科 1 种；脊索动物有 1 科 1 种；节肢动物有 13 科 18 种；软体动物有 11 科 18 种。其中 C01 出现 36 种生物，C02 有 8 种生物，C03 有 4 种生物。

3 条潮间带生物断面高潮区平均栖息密度为 138.19ind/m²，平均生物量为 4.04g/m²；中潮区平均栖息密度为 475.75ind/m²，平均生物量为 47.10g/m²；低潮区平

均栖息密度为 304.00ind/m²，平均生物量为 60.43g/m²。栖息密度以节肢动物为主，平均密度 278.65ind/m²，生物量以软体动物为主，平均生物量为 27.52g/m²。

该海域的潮间带生物优势种类为触肢小藤壶。

高潮区丰富度平均为 0.69；单纯度平均为 0.69；多样性指数平均为 0.81；均匀度平均为 0.55。中潮区丰富度平均为 0.68；单纯度平均为 0.80；多样性指数平均为 0.54；均匀度平均为 0.35。低潮区丰富度平均为 0.27；单纯度平均为 0.26；多样性指数平均为 0.29；均匀度平均为 0.09。

3.2.9 渔业资源调查现状

3.2.9.1 2022 年春季航次

(1) 渔业资源调查概况

1) 海洋生物调查内容与站位布设

海南安纳检测技术有限公司在海南万宁附近海域布设渔业资源调查站位 17 个，渔业资源调查时间为 2022 年 04 月 22-26 日。站点布设见图 3.2.5-1 和表 3.2.5-1。

2) 海洋生物采集、处理和分析方法

① 游泳动物

项目所在海区地形较为复杂，根据现场情况在使用单拖网渔船进行捕捞作业，拖网渔船为琼临渔 12100，网衣全长 20m，宽 5m，网具曳纲长度为 100-300m，囊网网目为 30mm。采样按《海洋调查规范 海洋生物调查》(GB 12763.6-2007) 进行。游泳动物采用底拖网生产渔船现场试捕法进行，根据调查站位现场条件，调整连续拖曳时间和拖速。渔获样品分析先将较大和稀有种类的渔获物单独挑出，然后随机采集 20kg 渔获样品供进一步分析，渔获物不足 20kg 时，则全部取样。每个站位的渔获样品，均进行生物学测定。

优势渔获物分析通过 Pinkas 等应用的相对重要性指标 (IRI) 来确定：

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

N 为某种类的尾数占总渔获尾数的百分比；W 为某种类的质量占总渔获质量的百分比；F 为某种类在调查中被捕获的站位数与总调查站位数之比。本报告以 IRI 大于 100 为优势种

资源密度(kg/km²)和现存资源量(t)根据扫海面积法估算，公式如下：

$$D = Y \times 10^{-3} / (A(1-E)) \quad B = D \cdot S$$

B=现存资源量 (t)，D=资源密度 (kg/km²)，A=每小时扫海面积 (km²/h)，S=调

查监测水域面积 (km^2), Y =平均渔获率(kg/h), E =逃逸率 (这里取 0.5)。

②鱼卵仔鱼

采样方法是按《海洋调查规范》GB/T12763-2007 中的有关鱼类浮游生物调查的规定进行, 利用浅水I型浮游生物网采样, 定性样品采用平行拖网采集, 定量样品采用底—表垂直拖网采集。采用 5%中性福尔马林溶液固定带回实验室, 进行称重、种类鉴定、计数、统计和分析。

(2) 渔业资源调查结果

1) 游泳动物

项目所在海区地形较为复杂, 根据现场情况在使用单拖网渔船进行捕捞作业, 拖网渔船为“琼临渔 12100”, 网衣全长 20m, 宽 5m, 网具曳纲长度为 100-300m, 囊网网目为 30mm。游泳动物调查站位详见图 3.2.9-1。

图 3.2.9-1 游泳动物调查站位图

①游泳动物资源现状

A 种类组成

本次调查采用单拖底拖网采样方式, 分析评价该项目海域游泳动物的种类组成。经鉴定, 共捕获游泳动物 89 种, 分别隶属于 13 目 48 科。其中鱼类 8 目 38 科 61 种, 占有所有种类的 68.54%; 甲壳类 2 目 6 科 22 种, 占有所有种类的 24.72%; 头足类 3 目 4 科 6 种, 占有所有种类的 6.74%。

B 渔获率和现存资源密度

本次调查共采集到游泳动物的渔获量总重量有 79.94kg, 其中, 鱼类重量为 64.97kg, 占总渔获量的 81.27%; 甲壳类重量为 2.81kg, 占总渔获量的 3.52%; 头足类重量为 12.16kg, 占总渔获量 15.21%。个体数量计, 共采集到个体有 5824ind, 鱼类为 5403ind, 占总个体渔获数量的 92.77%; 甲壳类为 202ind, 占总个体渔获数量的 3.47%; 头足类为 219ind, 占总个体渔获量的 3.76%。

游泳动物重量渔获率范围为 1.13kg/h~11.28kg/h, 游泳动物的平均重量渔获率为 4.70kg/h。各站位中重量渔获率以 K09 号站最高, 为 11.28kg/h; 渔获率较高的站位还有 K06 号站, 渔获率为 8.06kg/h; K28 号站最低, 为 1.13kg/h。各类中鱼类重量渔获率为 3.82kg/h, 占渔获游泳动物的 81.27%; 甲壳类重量渔获率为 0.17kg/h; 占渔获游泳动物的 3.52%; 头足类重量渔获率为 0.72kg/h; 占渔获游泳动物的 15.21%。按个体

计, 评价区游泳动物的个体渔获率范围为 70ind/h~740ind/h, 平均个体渔获率为 343ind/h。各站位中个体渔获率以 K01 号站最高, 为 740ind/h; 依次为 K09 号站, 为 575ind/h; K28 号站最低, 为 70ind/h。各类中鱼类个体渔获率为 318ind/h, 占渔获游泳动物的 92.77%; 甲壳类个体渔获率为 12ind/h, 占渔获游泳动物的 3.47%; 头足类个体渔获率为 13ind/h, 占渔获游泳动物的 3.76%。其他各站渔获率见表 3.2.9-1。

调查海域中外海海域游泳动物的重量资源密度为 338.53kg/km²。各类中鱼类重量资源密度为 275.15kg/km², 甲壳类重量资源密度为 11.90kg/km², 头足类重量资源密度为 51.48kg/km²。各站中以 K09 号站重量资源密度最高 (811.95kg/km²), K06 号站次之 (579.99kg/km²), K28 号站较低 (81.64kg/km²); 按个体计, 游泳动物的资源密度约为 24664ind/km²。各类中鱼类个体资源密度为 22881ind/km², 甲壳类个体资源密度为 855ind/km², 头足类个体资源密度为 927ind/km²。各站位中个体资源密度以 K01 号站最高 (53276ind/km²), K09 号站次之 (41397ind/km²), K28 号站最低 (5040ind/km²)。其他各站资源密度见表 3.2.9-1; 资源密度(重量、个体)平面分布图如图 3.2.9-2 和图 3.2.9-3 所示。

表 3.2.9-1 调查海域游泳动物渔获率和资源密度

图 3.2.9-2 重量资源密度

图 3.2.9-3 个体资源密度

C 优势种

根据相对重要性指数 (IRI) 公式计算评价调查海域内鱼类的相对重要性指标 (IRI), 并以 IRI 大于 100 作为优势渔获物的判断指标, 本次调查的优势渔获物鱼类共有 8 种。其中, 日本绯鲤的 IRI 最高, 为 2882; 其它优势种依次为长体蛇鲻 (2577)、四线天竺鲷 (1189)、青缨鲷 (987)、大头狗母鱼 (985)、半线天竺鲷 (950)、蓝圆鲹 (682)、黄鳍马面鲀 (134)。优势渔获物没有优势种。优势渔获物头足类有 1 种优势种, 中国枪乌贼 (761)。其它种类的相对重要性指数小于 100。优势种渔获率及百分比组成见表 3.2.9-2。

表 3.2.9-2 调查海域优势种类组成

②鱼类资源状况

A 种类组成

经鉴定,本次调查共捕获鱼 61 种,分隶于 8 目 38 科。以鲈形目的种类数最多,共有 37 种;鲹形目 7 种;鲈形目 6 种;仙女鱼目、鲈形目、鳗鲡目 3 种;其他各目均为 1 种,羊鱼科、天竺鲷科 5 种;鲷科、海鲢科、狗母鱼科 3 种;石鲈科、舌鲷科、雀鲷科、鲳科、隆头鱼科、鲷科、鲈科、鲷科、鲷科、鲷科 2 种,其他各科均为 1 种。

B 渔获率与资源密度分布

本次调查底拖网渔获的鱼类总重量为 64.97kg,平均重量渔获率为 3.82kg/h。各站位中以 K09 号站重量渔获率最高,为 7.97kg/h;K28 号站重量渔获率最低,为 1.05kg/h。按个体计,鱼类的平均个体渔获率为 318ind/h。各站位中以 K01 号站个体渔获率最高,为 736ind/h,K28 号站个体渔获率最低,为 59ind/h。结果详见表 3.2.4-14。

调查海域中外海海域目前鱼类的平均重量资源密度为 275.15kg/km²。各站位中以 K09 号站重量资源密度最高,为 573.65kg/km²;K28 号站重量资源密度最低,为 75.88kg/km²。按个体计,鱼类的平均个体资源密度为 22881ind/km²。各站位中以 K01 号站个体资源密度最高,为 52988ind/km²;K28 号站个体资源密度最低,资源密度为 4248ind/km²。结果详见表 3.2.9-3。

表 3.2.9-3 调查海域鱼类的渔获率和资源密度

C 鱼类优势种

根据相对重要性指数 (IRI) 公式计算评价调查海域内鱼类的相对重要性指标 (IRI),并以 IRI 大于 100 作为优势渔获物的判断指标,本次调查的优势渔获物鱼类共有 8 种。其中,日本绯鲤的 IRI 最高,为 2882;其它优势种依次为长体蛇鲻(2577)、四线天竺鲷 (1189)、青缨鲷 (987)、大头狗母鱼 (985)、半线天竺鲷 (950)、蓝圆鲹 (682)、黄鳍马面鲷 (134)。其它种类的相对重要性指数小于 100。优势种渔获率及百分比组成见表 3.2.9-4。

表 3.2.9-4 调查海域鱼类优势种类组成

③头足类资源状况

A 种类组成

本次调查共渔获头足类 6 种,隶属 3 目 4 科,其中,乌贼目 3 种;八腕目 2 种;枪形目 1 种。蛸科、乌贼科 2 种;其他各科均为 1 种。

B 渔获率和资源密度分布

本次调查，头足类的重量渔获率范围为 0~3.27kg/h，平均 0.72kg/h，按个体计，个体渔获率范围为 0~57ind/h，平均 13ind/h。结果详见表 3.2.9-5。

采用扫海面积法估算附近海域的资源密度。评价区外海海域目前头足类的平均重量资源密度为 51.48kg/km²。各站位中以 K09 号站重量资源密度最高，为 235.06kg/km²；K01、K27 号站重量资源密度最低，为 0kg/km²。按个体计，平均个体资源密度为 927ind/km²。各站位中以 K24 号站个体资源密度最高，为 4104ind/km²；K01、K27 号站个体资源密度最低，为 0ind/km²。结果详见表 3.2.9-5。

表 3.2.9-5 调查海域头足类的渔获率和资源密度

C 头足类优势种

根据相对重要性指数（IRI）公式计算评价调查海域内头足类的相对重要性指标（IRI），并以 IRI 大于 100 作为优势渔获物的判断指标。渔获物头足类 1 有优势种，中国枪乌贼（761）。优势种渔获率及百分比组成见表 3.2.9-6。

表 3.2.9-6 调查海域头足类优势种类组成

④甲壳类资源状况

A 种类组成

经鉴定，本次调查渔获的甲壳类共 22 种，分属 2 目 6 科。其中，十足目 19 种；口足目 3 种，梭子蟹 10 种；对虾科 5 种；虾蛄科 3 种，馒头蟹科 2 种；其他各科均为 1 种。

B 渔获率和资源密度分布

调查海域甲壳类重量渔获率范围为 0.02kg/h~0.56kg/h，平均 0.17kg/h。按个体计，甲壳类的个体渔获率范围为 4ind/h~31ind/h，平均 12ind/h。结果详见表 3.2.9-7。

评价外海海域目前甲壳类的平均重量资源密度约为 11.90kg/km²。各站位中以 K17 号站重量资源密度最高，为 40.03kg/km²；K11 号站重量资源密度最低，为 1.51kg/km²。按个体计，甲壳类的平均个体资源密度为 855ind/km²。各站位中以 K22 号站个体资源密度最高，为 2232ind/km²；K01、K03、K26 号站个体资源密度最低，为 288ind/km²。结果详见表 3.2.9-7。

表 3.2.9-7 调查海域甲壳类的渔获率和资源密度

C 甲壳类优势种

根据相对重要性指数（IRI）公式计算评价调查海域内甲壳类的相对重要性指标（IRI），并以 IRI 大于 100 作为优势渔获物的判断指标，经核算本次调查未发现甲壳类优势种。

⑤主要种类及其生物学和生态学特性

根据调查优势种分析，项目附近海域主要渔业资源种类为日本绯鲤、长体蛇鲻、四线天竺鲷、青缨鲷、大头狗母鱼、半线天竺鲷、蓝圆鲹、黄鳍马面鲀、中国枪乌贼。

日本绯鲤 *Upeneus moluccensis*

分布于西太平洋海域，从日本至中国南海。中国产于黄海南部，东海，台湾和南海。近海暖水性小型底层鱼类。栖息于沿岸及近海泥沙底质海区。喜集群，经常用颚须翻动泥沙，捕食底栖甲壳类或软体动物。食用经济鱼类。

长体蛇鲻 *Saurida elongata*

分布于太平洋热带海域，包括台湾南、北、西部海域，南海海域等。喜栖息在沿岸的浅海沙泥海床。游泳能力不强，常停栖于沙地上或半埋于沙中，遇猎物经过则跃起捕食。肉食性，以小鱼及小型底栖无脊椎动物为主。产浮性卵。

四线天竺鲷 *Apogon quadrifasciatus*

分布于东海、台湾海峡和南海，印度洋和太平洋。生活在水深 130 以内，礁石、沙质和海藻底质的底层海域。

青缨鲷 *Crossorhombus azureus*

分布于西达印度东岸、南到印度尼西亚等处以及海南岛、两广到浙闽海区等，属于暖水性底层海鱼。栖息于深海、砂泥底、近海沿岸等海域。

大头狗母鱼 *Trachinocephalus myops*

分布于大西洋、印度洋和太平洋的温带至热带海域，为世界性分布的物种。中国产于东海、台湾和南海。为暖水性中小型底层鱼类。嗜食于热带和亚热带近海泥沙和礁石底质环境。肉食性，以小鱼和幼鱼为食，还摄食底栖甲壳动物如长尾类、短尾类和口足类。食用经济鱼类。

半线天竺鲷 *Apogon semilineatus*

分布于黄海、东海、台湾海峡、南海；西太平洋。生活在近海，在水深 100m 以

内，礁石底质的底质海域。喜集群。

蓝圆鲹 *Decapterus maruadsi*

蓝圆鲹为暖水性中上层鱼类。常聚集成群巡游于近海。喜集群洄游，白天常起群上浮，夜间有趋光性。具有较长距离洄游习性。属广食性鱼类，饵料组成随海区饵料生物优势种类而变化，中国长江口和浙江北部近海，主要摄食磷虾、毛颚类，其次是翼足类端足类、其他小型鱼类桡足类头足类和虾、蟹等。

黄鳍马面鲀 *Thamnaconus hypargyreus*

分布于日本以及中国南海、东海等海域。为暖水性近底层鱼类。体长椭圆形，侧扁。一般体长 9~11 厘米。

中国枪乌贼 *Loligo chinensis*

分布于中国的东海南部至南海海域，菲律宾，马来群岛和澳大利亚。喜栖于水清流缓，底质多沙、沙砾、岩礁的海区，一般适温范围为 22-28℃，适盐范围为 32-34.6。春季从越冬海区向浅水区进行生殖洄游，冬季向深水海区越冬。

⑥物种多样性分析

项目海域渔获物重量密度多样性指数 (H') 均值为 2.88 (2.47-3.57)，均匀度指数 (J') 均值为 0.70 (0.56-0.81)，单纯度指数 (C) 均值为 0.21 (0.12-0.36)，丰富度指数 (d) 均值为 2.40 (1.57-3.06)。渔获物个体密度多样性指数 (H') 均值为 2.55 (1.83-3.24)，均匀度指数 (J') 均值为 0.62 (0.43-0.85)，单纯度指数 (C) 均值为 0.28 (0.13-0.51)，丰富度指数 (d) 均值为 1.28 (0.82-1.98)。结果详见表 3.2.9-8。

表 3.2.9-8 渔获物多样性指数值

⑦主要种类幼鱼比例

根据渔获物个体长度大于其最小性成熟长度为成鱼，而小于最小性成熟长度为幼鱼的划分标准来估算幼鱼的比例。本次调查主要经济鱼类的出现频率、平均体重和幼鱼比例，主要种类幼鱼比例情况如下：

在本次调查的渔获物中，鱼类幼体约占 61.37%，主要幼鱼渔获物为日本绯鲤、长体蛇鲻、四线天竺鲷、青缨鲷、大头狗母鱼、半线天竺鲷、蓝圆鲹、黄鳍马面鲀。结果详见表 3.2.9-9。

表 3.2.9-9 主要渔获种类幼鱼比例

⑧小结

本次调查共渔获游泳动物 89 种，其中鱼类 61 种，头足类 6 种，甲壳类 22 种。游泳动物的平均渔获率为 4.70kg/h 和 343ind/h。其中，鱼类为 3.82kg/h 和 318ind/h，头足类的平均渔获率为 0.72kg/h 和 13ind/h，甲壳类的平均渔获率为 0.17kg/h 和 12ind/h。根据扫海面积法估算，评价区外海海域目前游泳动物的资源密度约为 338.53kg/km² 和 24664ind/km²，其中鱼类约为 275.15kg/km² 和 22881ind/km²，头足类 51.48kg/km² 和 927ind/km²，甲壳类约为 11.90kg/km² 和 855ind/km²。

本次调查的优势渔获物鱼类共有 8 种。其中，日本绯鲤的 IRI 最高，为 2882；其它优势种依次为长体蛇鲭（2577）、四线天竺鲷（1189）、青缨鲷（987）、大头狗母鱼（985）、半线天竺鲷（950）、蓝圆鲹（682）、黄鳍马面鲀（134）。优势渔获物没有优势种。优势渔获物头足类有 1 种优势种，中国枪乌贼（761）。其它种类的相对重要性指数小于 100。

项目海域渔获物重量密度多样性指数（ H' ）均值为 2.88（2.47-3.57），均匀度指数（ J' ）均值为 0.70（0.56-0.81），单纯度指数（ C ）均值为 0.21（0.12-0.36），丰富度指数（ d ）均值为 2.40（1.57-3.06）。渔获物个体密度多样性指数（ H' ）均值为 2.55（1.83-3.24），均匀度指数（ J' ）均值为 0.62（0.43-0.85），单纯度指数（ C ）均值为 0.28（0.13-0.51），丰富度指数（ d ）均值为 1.28（0.82-1.98）。

在本次调查的渔获物中，鱼类幼体约占 61.37%，主要幼鱼渔获物为日本绯鲤、长体蛇鲭、四线天竺鲷、青缨鲷、大头狗母鱼、半线天竺鲷、蓝圆鲹、黄鳍马面鲀。

依据《中华人民共和国野生动物保护法》中的相关规定，已核对“国家重点保护野生动物名录”，在本次调查的海区中没有捕获到保护鱼类及其他珍稀鱼类。

2) 鱼卵仔鱼

①种类组成

在采集的 58 个样品中共鉴定出 29 个种类，隶属于 22 科。其中鉴定到属的有 9 种，鉴定到种的 16 种，其余鉴定到科。从发育阶段来看，鱼卵出现的种类有 20 种，仔、稚鱼出现的种类有 15 种。

水平拖网共捕获鱼卵 97 粒，仔、稚鱼 48 尾。鱼卵数量以鲷鱼卵占绝对优势，占总数的 31.96%；其次为鲷科一种鱼卵，占总数的 12.37%。仔、稚鱼数量以条尾鲱鲤最多，占 29.17%。本次调查鱼卵的优势种为鲷鱼卵，仔、稚鱼的优势种为条尾鲱鲤。见表 3.2.9-10。

表 3.2.9-10 鱼卵和仔鱼种类组成

②密度分布

本次垂直拖网调查采集到的鱼卵密度范围为(0~0.60)粒/ m^3 ，平均密度为 0.14 粒/ m^3 ，最大值出现在 K24 号站位；采集到的仔、稚鱼密度范围为(0~0.60)尾/ m^3 ，平均密度为 0.14 尾/ m^3 ，最大值出现在 K06 号站位。详见表 3.2.9-11。

表 3.2.9-11 鱼卵和仔鱼调查结果

③小结

在采集的 58 个样品中共鉴定出 29 个种类，隶属于 22 科。其中鉴定到属的有 9 种，鉴定到种的 16 种，其余鉴定到科。从发育阶段来看，鱼卵出现的种类有 20 种，仔、稚鱼出现的种类有 15 种。

水平拖网共捕获鱼卵 97 粒，仔、稚鱼 48 尾。鱼卵数量以鲷鱼卵占绝对优势，占总数的 31.96%；其次为鲷科一种鱼卵，占总数的 12.37%。仔、稚鱼数量以条尾鲱鲤最多，占 29.17%。本次调查鱼卵的优势种为鲷鱼卵，仔、稚鱼的优势种为条尾鲱鲤。

本次垂直拖网调查采集到的鱼卵密度范围为（0~0.60）粒/ m^3 ，平均密度为 0.14 粒/ m^3 ，最大值出现在 K24 号站位；采集到的仔、稚鱼密度范围为（0~0.60）尾/ m^3 ，平均密度为 0.14 尾/ m^3 ，最大值出现在 K06 号站位。

3.2.9.2 2022 年秋季航次

(1) 渔业资源调查概况

1) 海洋生物调查内容与站位布设

海南安纳检测技术有限公司在海南万宁附近海域布设渔业资源调查站位 19 个，渔业资源调查时间为 2022 年 11 月 18-23 日。站点布设见图 3.2.5-2 和表 3.2.5-7。

2) 海洋生物采集、处理和分析方法

①游泳动物

项目所在海区地形较为复杂，根据现场情况在使用单拖网渔船进行捕捞作业，拖网渔船为琼临渔 12100，网衣全长 20m，宽 5m，网具曳纲长度为 100-300m，囊网网目为 30mm。采样按《海洋调查规范 海洋生物调查》（GB 12763.6-2007）进行。游泳动物采用底拖网生产渔船现场试捕法进行，根据调查站位现场条件，调整连续拖曳时间和拖速。渔获样品分析先将较大和稀有种类的渔获物单独挑出，然后随机采集 20kg

渔获样品供进一步分析，渔获物不足 20kg 时，则全部取样。每个站位的渔获样品，均进行生物学测定。

优势渔获物分析通过 Pinkas 等应用的相对重要性指标（IRI）来确定：

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

N 为某种类的尾数占总渔获尾数的百分比；W 为某种类的质量占总渔获质量的百分比；F 为某种类在调查中被捕获的站位数与总调查站位数之比。本报告以 IRI 大于 100 为优势种

资源密度(kg/km²)和现存资源量(t)根据扫海面积法估算，公式如下：

$$D = Y \times 10^{-3} / (A(1-E)) \quad B = D \cdot S$$

B=现存资源量（t），D=资源密度（kg/km²），A=每小时扫海面积（km²/h），S=调查监测水域面积（km²），Y=平均渔获率(kg/h)，E=逃逸率（这里取 0.5）。

②鱼卵仔鱼

采样方法是按《海洋调查规范》GB/T12763-2007 中的有关鱼类浮游生物调查的规定进行，利用浅水I型浮游生物网采样，定性样品采用平行拖网采集，定量样品采用底—表垂直拖网采集。采用 5%中性福尔马林溶液固定带回实验室，进行称重、种类鉴定、计数、统计和分析。

（2）渔业资源调查结果

1) 游泳动物

项目所在海区地形较为复杂，根据现场情况在使用单拖网渔船进行捕捞作业，拖网渔船为“琼临渔 12100”，网衣全长 20m，宽 5m，网具曳纲长度为 100-300m，囊网网目为 25mm。游泳动物调查站位详见图 3.2.9-4。

图 3.2.9-4 游泳动物调查站位图

①游泳动物资源现状

A 种类组成

本次调查采用单拖底拖网采样方式，分析评价该项目海域游泳动物的种类组成。经鉴定，共捕获游泳动物 105 种，分别隶属于 14 目 54 科。其中鱼类 10 目 46 科 77 种，占有所有种类的 73.33%；甲壳类 2 目 6 科 26 种，占有所有种类的 24.76%；头足类 2 目 2 科 2 种，占有所有种类的 1.91%。

B 渔获率和现存资源密度

本次调查共采集到游泳动物的渔获量总重量有 121.12kg，其中，鱼类重量为 98.78kg，占总渔获量的 81.56%；甲壳类重量为 20.84kg，占总渔获量的 17.21%；头足类重量为 1.49kg，占总渔获量 1.23%。个体数量计，共采集到个体有 3810ind，鱼类为 2990ind，占总个体渔获数量的 78.48%；甲壳类为 762ind，占总个体渔获数量的 20.00%；头足类为 58ind，占总个体渔获量的 1.52%。

游泳动物重量渔获率范围为 1.75kg/h~10.58kg/h，游泳动物的平均重量渔获率为 6.37kg/h。各站位中重量渔获率以 Z20 号站最高，为 10.58kg/h；渔获率较高的站位还有 Z18 号站，渔获率为 10.38kg/h；Z1 号站最低，为 1.75kg/h。各类中鱼类重量渔获率为 5.20kg/h，占渔获游泳动物的 81.56%；甲壳类重量渔获率为 1.10kg/h；占渔获游泳动物的 17.21%；头足类重量渔获率为 0.08kg/h；占渔获游泳动物的 1.23%。按个体计，评价区游泳动物的个体渔获率范围为 71ind/h~691ind/h，平均个体渔获率为 201ind/h。各站位中个体渔获率以 Z23 号站最高，为 691ind/h；依次为 Z20 号站，为 542ind/h；Z1 号站最低，为 71ind/h。各类中鱼类个体渔获率为 157ind/h，占渔获游泳动物的 78.48%；甲壳类个体渔获率为 40ind/h，占渔获游泳动物的 20.00%；头足类个体渔获率为 3ind/h，占渔获游泳动物的 1.52%。其他各站渔获率见表 3.2.9-12。

调查海域中外海海域游泳动物的重量资源密度为 458.93kg/km²。各类中鱼类重量资源密度为 374.30kg/km²，甲壳类重量资源密度为 78.97kg/km²，头足类重量资源密度为 5.66kg/km²。各站中以 Z20 号站重量资源密度最高（761.77kg/km²），Z18 号站次之（747.37kg/km²），Z1 号站较低（125.63kg/km²）；按个体计，游泳动物的资源密度约为 14437ind/km²。各类中鱼类个体资源密度为 11330ind/km²，甲壳类个体资源密度为 2887ind/km²，头足类个体资源密度为 220ind/km²。各站位中个体资源密度以 Z23 号站最高（49748ind/km²），Z20 号站次之（39021ind/km²），Z1 号站最低（5112ind/km²）。其他各站资源密度见表 3.2.9-12；资源密度(重量、个体)平面分布图如图 3.2.9-5 和图 3.2.9-6 所示。

表 3.2.9-12 调查海域游泳动物渔获率和资源密度

图 3.2.9-5 重量资源密度

图 3.2.9-6 个体资源密度

C 优势种

根据相对重要性指数（IRI）公式计算评价调查海域内鱼类的相对重要性指标

(IRI), 并以 IRI 大于 100 作为优势渔获物的判断指标, 本次调查的优势渔获物鱼类共有 9 种。其中, 小牙鰕的 IRI 最高, 为 3002; 其它优势种依次为大头狗母鱼(2129)、短棘鰕(1022)、鰕(660)、小带鱼(311)、青缨鲷(225)、钝鲷(197)、褐海鳗(120)、五眼斑鲷(101)。优势渔获物甲壳类有 2 种优势种。红星梭子蟹(1660)、须赤虾(182)。优势渔获物头足类有 1 种优势种, 中国枪乌贼(125)。其它种类的相对重要性指数小于 100。优势种渔获率及百分比组成见表 3.2.9-13。

表 3.2.9-13 调查海域优势种类组成

②鱼类资源状况

A 种类组成

经鉴定, 本次调查共捕获鱼 77 种, 分隶于 10 目 46 科。以鲈形目的种类数最多, 共有 44 种; 鲹形目 7 种; 鲷形目 6 种; 鳗鲡目 5 种; 鲈形目、鲱形目 4 种; 仙女鱼目 3 种; 鲷形目 2 种; 其他各目均为 1 种, 鲹科 7 种; 天竺鲷科、鰕科 5 种; 鲷科、鰕科、狗母鱼科 3 种; 鲷科、银鲈科、羊鱼科、牙鲆科、鳀科、石首鱼科、鲷科、隆头鱼科、鲷科、舌鰕科、海鲷科 2 种, 其他各科均为 1 种。

B 渔获率与资源密度分布

本次调查底拖网渔获的鱼类总重量为 98.78kg, 平均重量渔获率为 5.20kg/h。各站位中以 Z18 号站重量渔获率最高, 为 10.22kg/h; Z1 号站重量渔获率最低, 为 1.51kg/h。按个体计, 鱼类的平均个体渔获率为 157ind/h。各站位中以 Z23 号站个体渔获率最高, 为 645ind/h, Z28 号站个体渔获率最低, 为 41ind/h。结果详见表 3.2.9-14。

调查海域中外海海域目前鱼类的平均重量资源密度为 374.30kg/km²。各站位中以 Z18 号站重量资源密度最高, 为 735.57kg/km²; Z1 号站重量资源密度最低, 为 108.35kg/km²。按个体计, 鱼类的平均个体资源密度为 11330ind/km²。各站位中以 Z23 号站个体资源密度最高, 为 46436ind/km²; Z28 号站个体资源密度最低, 资源密度为 2952ind/km²。结果详见表 3.2.9-14。

表 3.2.9-14 调查海域鱼类的渔获率和资源密度

C 鱼类优势种

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

共有 9 种。其中,小牙鰕的 IRI 最高,为 3002;其它优势种依次为大头狗母鱼(2129)、短棘鰕(1022)、鰕(660)、小带鱼(311)、青缨鲷(225)、钝鲷(197)、褐海鰕(120)、五眼斑鲷(101)。其它种类的相对重要性指数小于 100。优势种渔获率及百分比组成见表 3.2.9-15。

表 3.2.9-15 调查海域鱼类优势种类组成

③头足类资源状况

A 种类组成

本次调查共渔获头足类 2 种,隶属 2 目 2 科,其中,乌贼目 1 种;枪形目 1 种。其他各科均为 1 种。

B 渔获率和资源密度分布

本次调查,头足类的重量渔获率范围为 0~0.83kg/h,平均 0.08kg/h,按个体计,个体渔获率范围为 0~20ind/h,平均 3ind/h。结果详见表 5.5-5。

采用扫海面积法估算附近海域的资源密度。评价区外海海域目前头足类的平均重量资源密度为 5.66kg/km²。各站位中以 Z28 号站重量资源密度最高,为 60.04kg/km²;Z1、Z13、Z14、Z16、Z18、Z19、Z22、Z24、Z26 号站重量资源密度最低,为 0kg/km²。按个体计,平均个体资源密度为 220ind/km²。各站位中以 Z28 号站个体资源密度最高,为 1440ind/km²;Z1、Z13、Z14、Z16、Z18、Z19、Z22、Z24、Z26 号站个体资源密度最低,为 0ind/km²。结果详见表 3.2.9-16。

表 3.2.9-16 调查海域头足类的渔获率和资源密度

C 头足类优势种

根据相对重要性指数 (IRI) 公式计算评价调查海域内头足类的相对重要性指标 (IRI),并以 IRI 大于 100 作为优势渔获物的判断指标。渔获物头足类 1 有优势种,中国枪乌贼 (125)。优势种渔获率及百分比组成见表 3.2.9-17。

表 3.2.9-17 调查海域头足类优势种类组成

④甲壳类资源状况

A 种类组成

经鉴定,本次调查渔获的甲壳类共 26 种,分属 2 目 6 科。其中,十足目 24 种;

口足目 2 种，对虾科 11 种；梭子蟹 10 种；虾蛄科 2 种；其他各科均为 1 种。

B 渔获率和资源密度分布

调查海域甲壳类重量渔获率范围为 0.05kg/h~3.58kg/h，平均 1.10kg/h。按个体计，甲壳类的个体渔获率范围为 2ind/h~224ind/h，平均 40ind/h。结果详见表 3.2.9-18。

评价外海海域目前甲壳类的平均重量资源密度约为 78.97kg/km²。各站位中以 Z22 号站重量资源密度最高，为 257.96kg/km²；Z13 号站重量资源密度最低，为 3.53kg/km²。按个体计，甲壳类的平均个体资源密度为 2887ind/km²。各站位中以 Z22 号站个体资源密度最高，为 16127ind/km²；Z14 号站个体资源密度最低，为 144ind/km²。结果详见表 3.2.9-18。

表 3.2.9-18 调查海域甲壳类的渔获率和资源密度

C 甲壳类优势种

根据相对重要性指数（IRI）公式计算评价调查海域内甲壳类的相对重要性指标（IRI），并以 IRI 大于 100 作为优势渔获物的判断指标，优势渔获物甲壳类有 2 种优势种。其中，红星梭子蟹的 IRI 最高，为 1660；其它优势种依次为须赤虾（182）。其它相对重要指数均小于 100。详见表 3.2.9-19。

表 3.2.9-19 甲壳类优势种渔获率及百分比组成

⑤主要种类及其生物学和生态学特性

根据调查优势种分析，项目附近海域主要渔业资源种类为小牙鲷、大头狗母鱼、短棘鲷、鰺、小带鱼、青缨鲷、钝鲷、褐海鳗、五眼斑鲷、红星梭子蟹、须赤虾、中国枪乌贼。

小牙鲷 *Gazza minuta*

分布于印度-中西太平洋区，西起非洲东岸、红海，东至密克尼西亚群岛，北自琉球群岛，南迄澳洲、大溪地。台湾以西部、南部之砂泥底质水域、河口区及南海沿海为主。栖息水深在 1-40 公尺之间；以小鱼、虾蟹或多毛类为食；适温 26~29℃；产卵期时，会游入河口区产卵。

大头狗母鱼 *Trachinocephalus myops*

分布于大西洋、印度洋和太平洋的温带至热带海域，为世界性分布的物种。中国产于东海、台湾和南海。为暖水性中小型底层鱼类。嗜食于热带和亚热带近海泥沙和

礁石底质环境。肉食性，以小鱼和幼鱼为食，还摄食底栖甲壳动物如长尾类、短尾类和口足类。食用经济鱼类。

短棘鰕 *Leiognathus equulus*

分布于印度-西太平洋的热带和亚热带海域。中国产于东海、台湾和南海。为暖水性中下层鱼类。栖息于泥沙底质的近海和港湾，有时也会进入河口区，通常在底层活动。喜结群。以小型甲壳类、多毛类等底栖动物为食。最大体长可达 24cm。

鰺 *Terapon theraps*

分布于印度-西太平洋海域，西起红海和非洲东岸，东至太平洋中部，北至日本，南至澳大利亚。中国产于东海、台湾和南海。为热带和亚热带中下层小型鱼类。通常栖息于泥沙底质或岩礁周围较浅水域的近海、河口区。肉食性，以小鱼、甲壳类、软体动物等底栖动物为食。属于食用经济鱼类，肉质较粗。

小带鱼 *Eupleurogrammus muticus*

分布于印度洋和太平洋西部。中国沿海均产之。暖水性中下层鱼类。体长一般 100 至 350 毫米。通常栖息于近岸浅海、咸淡水及河口附近。为沿海常见种类。

青缨鲷 *Crossorhombus azureus*

分布于西达印度东岸、南到印度尼西亚等处以及海南岛、两广到浙闽海区等，属于暖水性底层海鱼。栖息于深海、砂泥底、近海沿岸等海域。

钝鲷 *Sphyraena obtusata*

分布于地中海、红海及非洲东岸、到太平洋中部波利尼西亚、南到新西兰、北到琉球群岛、台湾岛以及南海等海域。为暖水性凶猛鱼类，肉食性，以沙丁鱼和虾类为食。

褐海鳗 *Muraenesox cinereus*

分布于印度洋至西太平洋，由红海、波斯湾、印度西岸及斯里兰卡至斐济及图瓦卢、北至日本与韩国、南至阿拉弗拉海及澳大利亚北部等。在中国广泛分布于各海区。为凶猛的底层鱼类，游泳迅速，常栖息在底质为沙泥或岩礁的海区。肉食性，以虾、蟹、鱼类、乌贼、章鱼等为食。

五眼斑鲷 *Pseudorhombus pentophthalmus*

分布于中国南海、日本、韩国至中南半岛海域，包括台湾南部、北部及西部海域。仔稚鱼期两眼左右对称，成长后渐移至左侧。平时大多停栖于海底，并将鱼体埋藏于沙泥中，能随环境改变体色，游泳能力不佳。肉食性，以小鱼及小型甲壳类为主。

红星梭子蟹 *Portunus sanguinolentus*

属广温广盐的暖水性种类，常生活于 10-40m 水深的泥、沙质海底。最适温度 15-26℃，最适盐度 20-35。中国主要产于东海和南海。有较明显的昼夜垂直移动现象，白天潜伏海底，夜间出来觅食并有明显的趋光性。

须赤虾 *Metapenaeopsis barbata*

分布于日本、菲律宾、马来西亚和中国的东海、南海海域。它对水温和盐度变化有较大的适应能力。底温 13℃~24℃，盐度 31~34.7，底质自软泥至细沙环境都能适应。

中国枪乌贼 *Loligo chinensis*

分布于中国的东海南部至南海海域，菲律宾，马来群岛和澳大利亚。喜栖于水清流缓，底质多沙、沙砾、岩礁的海区，一般适温范围为 22-28℃，适盐范围为 32-34.6。春季从越冬海区向浅水区进行生殖洄游，冬季向深水海区越冬。

⑥物种多样性分析

项目海域渔获物重量密度多样性指数 (H') 均值为 2.90 (0.72-3.88)，均匀度指数 (J') 均值为 0.67 (0.24-0.80)，单纯度指数 (C) 均值为 0.22 (0.10-0.80)，丰富度指数 (d) 均值为 2.49 (0.92-4.34)。渔获物个体密度多样性指数 (H') 均值为 2.94 (0.88-3.86)，均匀度指数 (J') 均值为 0.68 (0.29-0.91)，单纯度指数 (C) 均值为 0.25 (0.09-0.75)，丰富度指数 (d) 均值为 1.53 (0.56-2.62)。结果详见表 3.2.9-20。

表 3.2.9-20 渔获物多样性指数值

⑦主要种类幼鱼比例

根据渔获物个体长度大于其最小性成熟长度为成鱼，而小于最小性成熟长度为幼鱼的划分标准来估算幼鱼的比例。本次调查主要经济鱼类的出现频率、平均体重和幼鱼比例，主要种类幼鱼比例情况如下：

在本次调查的渔获物中，鱼类幼体约占 65.65%，主要幼鱼渔获物为小牙鲷、大头狗母鱼、短棘鲷、鰺、小带鱼、青缨鲷、钝鲷、褐海鳗、五眼斑鲷。结果详见表 3.2.9-21。

表 3.2.9-21 主要渔获种类幼鱼比例

⑧小结

本次调查共渔获游泳动物 105 种, 其中鱼类 77 种, 头足类 2 种, 甲壳类 26 种。游泳动物的平均渔获率为 6.37kg/h 和 201ind/h。其中, 鱼类为 5.20kg/h 和 157ind/h, 头足类的平均渔获率为 0.08kg/h 和 3ind/h, 甲壳类的平均渔获率为 1.10kg/h 和 40ind/h。根据扫海面积法估算, 评价区外海海域目前游泳动物的资源密度约为 458.93kg/km² 和 14437ind/km², 其中鱼类约为 374.30kg/km² 和 11330ind/km², 头足类 5.66kg/km² 和 220ind/km², 甲壳类约为 78.97kg/km² 和 2887ind/km²。

本次调查的优势渔获物鱼类共有 9 种。其中, 小牙鰕的 IRI 最高, 为 3002; 其它优势种依次为大头狗母鱼 (2129)、短棘鰕 (1022)、鰕 (660)、小带鱼 (311)、青缨鲷 (225)、钝鲷 (197)、褐海鳗 (120)、五眼斑鲷 (101)。优势渔获物甲壳类有 2 种优势种。红星梭子蟹 (1660)、须赤虾 (182)。优势渔获物头足类有 1 种优势种, 中国枪乌贼 (125)。其它种类的相对重要性指数小于 100。

项目海域渔获物重量密度多样性指数 (H') 均值为 2.90 (0.72-3.88), 均匀度指数 (J') 均值为 0.67 (0.24-0.80), 单纯度指数 (C) 均值为 0.22 (0.10-0.80), 丰富度指数 (d) 均值为 2.49 (0.92-4.34)。渔获物个体密度多样性指数 (H') 均值为 2.94 (0.88-3.86), 均匀度指数 (J') 均值为 0.68 (0.29-0.91), 单纯度指数 (C) 均值为 0.25 (0.09-0.75), 丰富度指数 (d) 均值为 1.53 (0.56-2.62)。

在本次调查的渔获物中, 鱼类幼体约占 65.65%, 主要幼鱼渔获物为小牙鰕、大头狗母鱼、短棘鰕、鰕、小带鱼、青缨鲷、钝鲷、褐海鳗、五眼斑鲷。

依据《中华人民共和国野生动物保护法》中的相关规定, 已核对“国家重点保护野生动物名录”, 在本次调查的海区中没有捕获到保护鱼类及其他珍稀鱼类。

2) 鱼卵与仔稚鱼

① 种类组成

在采集的 38 个样品中共鉴定出 8 个种类, 隶属于 8 科。其中鉴定到属的有 2 种, 鉴定到种的有 2 种, 其余鉴定到科。从发育阶段来看, 鱼卵出现有 4 种, 仔、稚鱼出现有 6 种。

水平拖网共捕获鱼卵 23 粒, 仔、稚鱼 12 尾。鱼卵数量以鲷科一种鱼卵最多, 占总数的 78.26%。仔、稚鱼数量条尾鲱最多, 占总数的 50.00%。本次调查鱼卵优势种为鲷科一种, 仔、稚鱼的优势种为条尾鲱。见表 3.2.9-22。

表 3.2.9-22 鱼卵和仔鱼种类组成

②密度分布

本次垂直拖网调查采集到的鱼卵密度范围为（0~0.20）粒/ m^3 ，平均密度为 0.05 粒/ m^3 ；采集到仔、稚鱼密度范围为（0~0.20）尾/ m^3 ，平均密度为 0.01 尾/ m^3 ，仅 Z31 号站采集到仔、稚鱼。详见表 3.2.9-23。

表 3.2.9-23 鱼卵和仔鱼调查结果

③小结

在采集的 38 个样品中共鉴定出 8 个种类，隶属于 8 科。其中鉴定到属的有 2 种，鉴定到种的有 2 种，其余鉴定到科。从发育阶段来看，鱼卵出现有 4 种，仔、稚鱼出现有 6 种。

水平拖网共捕获鱼卵 23 粒，仔、稚鱼 12 尾。鱼卵数量以鲷科一种鱼卵最多，占总数的 78.26%。仔、稚鱼数量条尾鲱最多，占总数的 50.00%。本次调查鱼卵优势种为鲷科一种，仔、稚鱼的优势种为条尾鲱。

本次垂直拖网调查采集到的鱼卵密度范围为(0~0.20)粒/ m^3 ，平均密度为 0.05 粒/ m^3 ；采集到仔、稚鱼密度范围为(0~0.20)尾/ m^3 ，平均密度为 0.01 尾/ m^3 ，仅 Z31 号站采集到仔、稚鱼。

3.2.10 鸟类资源现状调查

本节内容引用海口雷州湿地研究所 2023 年 6 月编制的《万宁漂浮式海上风电试验项目鸟类现状调查及评价专题报告》。

3.2.10.1 调查技术和分析方法

（1）调查范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014 年 4 月），鸟类生态环境现状调查范围应至少涵盖工程边界线向外扩展 8 km 区域（绿色范围），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，调查范围为登陆点周边 8 公里以内区域鸟类分布现状，以及鸟类物种及其栖息地生态环境现状。

（2）调查内容

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

(3) 调查时间与频次

依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》(国家海洋局, 2014 年 4 月), 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。因此制定调查频次为每季节 1 次, 以 2022 年 5 月、7 月、11 月和 2023 年 2 月作为主要调查时间。

(4) 调查方法

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》制定的方法调查海上风电场及周边的鸟类。

①样线(带)法

本次调查主要使用海上样线法, 即调查人员乘船沿固定线路前进, 调查人员从船上调查船两侧 400m 以内飞行和水中海鸟, 船行的速度在 7-16 节, 完整地记录所见样线两侧的鸟种、数量、高度或距离, 并采用快照的方法确定鸟类密度。

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, 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, 最后以到达边界端点结束。样线规划如**错误!未找到引用源。**所示。

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, 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

在调查海域内发现具有繁殖和育雏行为的主要种类采用密度法估算繁殖种群数量。

④休息场统计

采用直接计数方法对大群鸟类休息场行鸟类种类及数量统计。

(5) 调查统计

直接计数法得到的某种鸟类数量总和即为该区域该种鸟类的数量。

样带(方)数量计算公式为 $N = \bar{D} * M$ (N —某区域某种动物数量; $\bar{D}$ —该区域该物种平均密度; M —该调查区域总面积)。 $\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^j M_i}{\sum_{i=1}^j M_i} / \sum_{i=1}^j M_i$ ($\sum_{i=1}^j M_i$ —j 个样带(方)

调查的该物种数量和； $\sum_{i=1}^j M_i$ —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）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。

3.2.10.2 调查结果分析

（1）区域概况分析

1) 鸟类种类特征

根据本项目调查数据统计，共记录鸟类 49 种，隶属 11 目 25 科（附录 13）。优势类群为雀形目 PASSERIFORMES 共有 21 种，其次为鸮形目 PASSERIFORMES，7 种，科目种类和数量的组成见图 3.2.10-1 和图 3.2.10-2。由于本调查主要调查地为海上和沿岸湿地区域，湿地水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分。湿地水鸟是指在生态上依赖于湿地，即某一生活史阶段依赖于湿地，且在形态和行为上对湿地形成适应特征的鸟类。根据 Howes 等（1988）对水鸟的定义，广义的水鸟包括鹈鹕科 (Podicipedidae)、鹭科 (Ardeidae)、鸭科 (Anatidae)、秧鸡科 (Rallidae)、反嘴鹬科 (Recurvirostridae)、鸻科 (Charadriidae)、丘鹬科 (Scolopacidae)、燕鸻科 (Glareolidae)、鸥科 (Laridae)、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 22 种，陆生鸟类有 27 种。按主要居留型划分，留鸟共有 25 种，迁徙鸟共 22 种，其中冬候鸟 17 种，夏候鸟 5 种，可见本区域有多种迁徙性鸟类，其中冬候鸟种类较多。

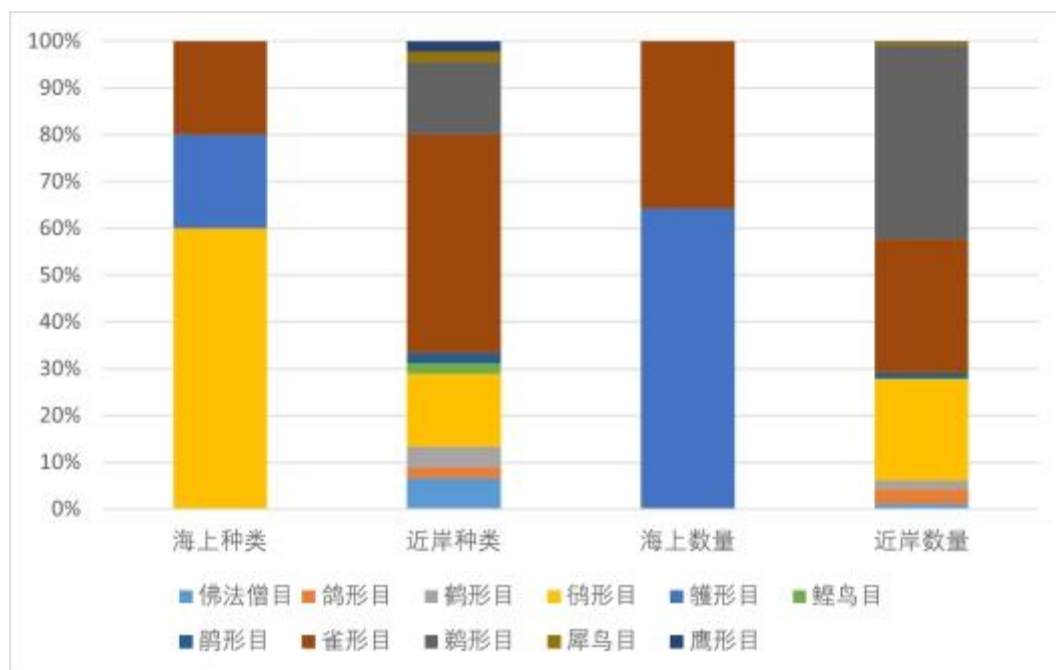


图 3.2.10-1 鸟类目水平物种及数量分布

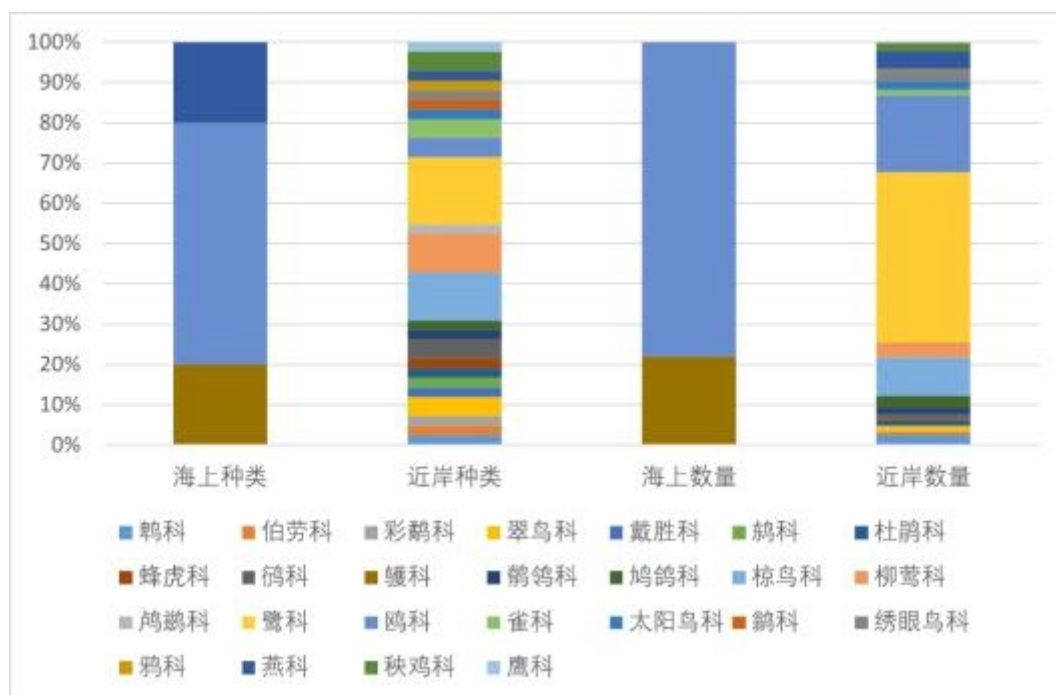


图 3.2.10-2 鸟类科水平物种及数量分布

列入国家重点保护野生动物名录的鸟类有二级保护鸟类的有 4 种，包括栗喉蜂虎（*Merops philippinus*）、褐翅鸦鹃（*Centropus sinensis*）、褐耳鹰（*Accipiter badius*）和白胸翡翠（*Halcyon smyrnensis*）。列入《中日候鸟保护协定》的鸟类有 14 种，列入《中澳候鸟保护协定》的鸟类有 8 种。

以上保护物种中国家级的种类以猛禽和几种依赖湿地的鸦鹃、翠鸟、蜂虎等为主，并没有属于海岛及其周边海域独有重点珍稀保护种，总体上珍稀和濒危的种类较

少。

2) 鸟类数量概况

数量方面,调查共记录鸟类 1588 只次。其中鹈形目鸟类数量最多,占总数量的 41.0%。优势种有池鹭、白鹭两种,池鹭观察到 348 只次,白鹭观察到 181 只次,分别占总调查识别数量 21.91%和 11.39%。常见种(超过总数量 1%)有 22 种,包括暗绿绣眼鸟、八哥、白鹭、白头鹎、白胸翡翠、戴胜、粉红燕鸥、褐翅燕鸥、褐翅鸦鹃、黑卷尾、环颈鸻、黄腹花蜜鸟、灰背椋鸟、家八哥、家燕、栗苇鳉、珠颈斑鸠和棕背伯劳等。调查结果显示,调查范围内物种分布较均匀、多样性较高,没有数量极多种,整体上以陆鸟为主,占总数量的 56.1%。居留型方面,以冬候鸟的数量最多,占总数量的 42.2%,其次为留鸟,占 39.0%,夏候鸟仅占总调查数量的 18.7%。充分说明该地区栖息的冬候鸟数量较多,也为迁徙鸟类和本地留鸟提供栖息地。

(2) 各季节调查结果

1) 春季调查情况

春季调查的海上调查时间为 2022-5-30 至 2022-5-31,陆上调查时间为 2022-4-15。本轮调查共记录鸟类 27 种,隶属 8 目 19 科;其中海上鸟类 2 目 2 科 3 种。优势类群为雀形目,有 12 种,其次鹈形目,有 5 种。其中水鸟 10 种,其余 17 种为陆鸟。数量上,共记录 187 只次,优势种为白鹭,数量占本季调查总数量的 22.46%。常见种暗绿绣眼鸟、八哥、白鹭、白头鹎、白胸翡翠、粉红燕鸥、褐翅燕鸥等 22 种,共占当季调查数量的 42.2%。

居留型方面,留鸟种类最多,有 17 种。候鸟共有 10 种,其中冬候鸟有 5 种,夏候鸟 4 种,部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟数量最多,占总数量的 42.2%,其次为留鸟,占 39.0%。可以看出在该季节主要优势鸟类为在本地区越冬的冬候鸟和本地的留鸟。

列入国家重点保护野生动物名录的珍稀濒危保护鸟类共有 3 种,其中国家二级保护鸟类的有 3 种,为褐翅鸦鹃和褐耳鹰和白胸翡翠。

2) 夏季调查情况

夏季调查的海上调查时间为 2022-7-26 至 2022-7-28,陆上调查时间为 2022-6-09。本轮调查共记录鸟类 25 种,隶属 9 目 20 科,其中海上鸟类仅有 1 目 1 科 2 种。优势类群为雀形目,有 11 种,其次鹈形目有 5 种。其中水鸟 17 种,其余 18 种为陆鸟。

数量上,共记录 670 只次,优势种为池鹭、须浮鸥,分别占当季调查数量的 47.2%和 14.3%。常见种为白头鹎、八哥、灰背椋鸟、粉红燕鸥、褐翅燕鸥、家燕、白鹭等 9 种,共占当季调查数量的 35.6%。

居留型方面,留鸟种类最多,有 18 种。候鸟共有 5 种,其中夏候鸟有 4 种、冬候鸟 1 种。部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留鸟量最多,占总数量的 48.9%,其次为冬候鸟,占 38.8%。可以看出在该季节主要优势鸟类为本地区留鸟和冬候鸟为主。(6 月上旬仍有部分来自调查区域更南方的冬候鸟迁徙过境)。

列入国家重点保护野生动物名录的国家二级保护鸟类的有 3 种:为褐翅鸦鹃、白胸翡翠、栗喉蜂虎。

3) 秋季调查情况

秋季调查的海上调查时间为 2022-11-24 至 2022-11-25,陆上调查时间为 2022-11-25。本轮调查共记录鸟类 35 种,隶属 9 目 21 科,其中海上鸟类仅有 1 目 1 科 1 种。优势类群为雀形目,有 14 种,其次为鸊形目,有 5 种。其中水鸟 19 种,其余 16 种为陆鸟。数量上,共记录 330 只次,优势种为。常见种为共占当季调查数量的 35.6%。

居留型方面,留鸟种类最多,有 21 种。候鸟共有 14 种,全部都是冬候鸟,部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留鸟数量最多,占总数量的 57.2%,其次为冬候鸟,占 36.6%。可以看出在该季节留鸟和冬候鸟占主要组成部分。

列入国家重点保护野生动物名录的鸟类国家二级保护鸟类的有 3 种,为白胸翡翠、褐翅鸦鹃和褐耳鹰。

4) 冬季调查情况

冬季调查的海上调查时间为 2023-2-7 至 2023-2-8,陆上调查时间为 2023-2-8。本轮调查共记录鸟类 28 种,隶属 9 目 18 科;其中海上鸟类有 1 目 1 科 1 种。优势类群为雀形目,有 13 种,其次为鸊形目有 5 种。其中水鸟 15 种,其余 13 种为陆鸟。数量上,共记录 401 只次,优势种为白鹭,数量占该季节调查总数量的 30.2%。常见种鸟类有白头鹎、灰背椋鸟、暗绿绣眼鸟、麻雀、八哥、池鹭等 18 种,共占当季调查数量的 61.8%。

居留型方面,留鸟种类最多,有 15 种。候鸟共有 13 种,其中冬候鸟有 13 种。部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟数量最多,占总数量的 68.7%,其次为留鸟,占 28.7%。可以看出在该季节有大量冬候鸟停留在本地区。

列入国家重点保护野生动物名录的鸟类共 2 种，都是国家二级保护鸟类，为褐翅鸦鹃和白胸翡翠。

5) 季节动态综合分析

四季调查结果综合见图 3.2.10-3 所示，调查区域的鸟类物种数量以夏季最高，冬季次之，春季最少。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 3.2.10-3 调查区域鸟类物种和数量季节变化

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 3.3-2 可以看出，物种数以秋季最高，其次为冬季，夏季最低。多样性指数和均匀度指数以秋季最高，春季次之，夏季最低。可以看出夏季虽然鸟类数量最多，但是多样性与均匀度指数都最低，这可能是因为这个季节有较大数量的单一类型鸟类集群。而秋季鸟类种类最多而数量不多，所以多样性与均匀度指数较高。

表 3.2.10-1 调查区域鸟类 α 多样性指标测度

(3) 海域和周边海岛鸟类现状

1) 调查海域鸟类现状

风电场所在区域以及周边 8km 缓冲区域内均为浅海海域，调查主要通过乘船沿样线观察，期间发现鸥科鸟类和鹱科鸟类和燕科鸟类飞行，主要为白额鹱、家燕、黑尾鸥、粉红燕鸥和褐翅燕鸥。海上调查区域内共发现 3 目 3 科共 5 种鸟类。其中严格定义上的海鸟仅有白额鹱 1 种，具有海洋性习性的鸟类有 3 种燕鸥。

2) 海岛及周边鸟类现状

根据大洲岛保护区官方数据显示，从大洲岛上的爪哇金丝燕 (*Aerodramus fuciphagus*) 种群数量在 30-40 只之间。另外大洲岛上的鸟类物种共有 10 目，27 科 47 种，以雀形目鸟类数量占比最高。

调查期间，并未在海域内发现金丝燕。在调查场域外的海岛周边，发现国家 II 级保护动物岩鹭和一些鸥类和鹭类等。白鞍岛、甘蔗岛和大洲岛都发现有岩鹭 (*Egretta sacra*)、黑枕燕鸥、褐翅燕鸥、夜鹭、池鹭、白鹭等鸟类。

（4）近岸鸟类现状

在沿岸鸟类调查中，共记录到鸟类 10 目 20 科 445 种。种类上以雀形目和鸬形目种类最多，分别有 12 和 6 种；数量上以鸬形目最多，占到总数量的 41.1%，优势种为池鹭、白鹭。本区域多为沙质海滩，泥质滩涂稀少，有部分礁石海岸，其中部分为渔港码头，总体上人为活动较多，适宜鸟类分布和活动的海岸不多。但附近的小海区域有部分栖息在淡水湿地的雀形目和鸬形目鸟类。近岸有部分围垦养殖塘、水田等沼泽湿地类型，水鸟种类较海岸丰富，但总体数量不多。春秋季节可能有大群鸥类迁徙过境。

（5）鸟类迁飞路线与飞行高度分析

风力资源的地理分布大多与鸟类迁徙通道相重叠，尤其在我国，在沿海、岛屿、内陆湖泊、河流、水库地区的附近是风力资源最丰富的地区，也是水鸟迁徙的主要停歇地带（卞兴忠和蒋志学, 2010）。鸟类在全球的迁徙路线可分为 8 个主要迁飞区（Bamford *et al*, 2008），我国南部沿海位于其中最大的“东亚-澳大利西亚迁徙通道”上（如下图 3.3-7），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。海南万宁沿岸位于我国海南东南部沿海，其西南部的老爷海周边湿地是部分鸟类东亚-澳大利西亚迁徙路线上的主要停歇点，每年有多种水鸟停歇和越冬。该地距离本项目场址超过 25km。



图 3.2.10-4 东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线示意图

鸟类的迁徙路线，虽然在大尺度上可能体现出空间上的近似关系。但是具体的迁飞路径，停歇地点有很大的种间变异，甚至种内的不同种群之间均有变异。研究鸟类迁徙，需要对鸟类进行环志标记或者卫星追踪调查。目前研究表明，大部分迁徙性水鸟的连续飞行距离较长，经常进行上千公里甚至数千公里的连续飞行（马志军,2013）。大部分对迁徙路线的研究采用直线将营巢地——中途停歇地——越冬地之间联结起来，形成理论上的迁徙路线，然而受地面构造、景观类型、植被、食物及天气等各种条件影响，实际路线有所偏差。如雁鸭类大都集中于内陆水域，沿湖泊、河流迁徙，鸕鹚类则多沿海岸绕行（张孚允和杨若莉,1997）。根据万宁的地形地貌、景观类型、鸟类栖息生境等分布情况，结合实际观察，迁徙鸟类在海南万宁海上风电场及周边近岸海域没有聚集停歇点，仅在沿岸滩涂湿地零散分布，迁徙路线主要沿海岸迁徙。

雁鸭类的迁徙路径受到风电场影响较大，但是雁鸭类在区域内数量并不多，根据海南越冬水鸟调查 2022 年的数据显示，在风电场址临近的临高区域仅有 2 只雁鸭类越冬，数量少，而且根据相关研究显示，雁鸭类会主动离开风力发电机组所在区域，若仅是迁徙经过该海域则影响不大（Masden EA, Haydon DT, Fox AD, Furness RW, 2010）。而根据春季调查的结果显示，场址海域内迁徙鸟类数量与种类也并不多，仅有个位数，可以判断本场址海域有鸟类迁徙，但是并不在主要的候鸟迁徙通道上。

由于沿海湿地和岛屿位于候鸟迁徙通道上，风电建设会对候鸟迁徙形成一定阻隔，从而缩窄候鸟飞行通道，如 Nysted & Horns Res 海上风电场（Masden EA, Haydon DT, Fox AD, Furness RW, 2010）通过雷达监测发现雁群逐渐避开离岸风力发电机组所在海域（图 3.3-8）。Krijgsvel 等（2010）在对鸟类穿过风电场飞行路线研究中也发现，在风电场建成后该区域鸟类的通量较之于风电场建设之前明显下降。但海上鸟类迁徙通道一般较宽，以垂直海岸线 5 公里范围内鸟类密度最大，上海地区为多个临港风电场址作统一规划时为鸟类和鱼类活动预留的通道也为 5km 宽。

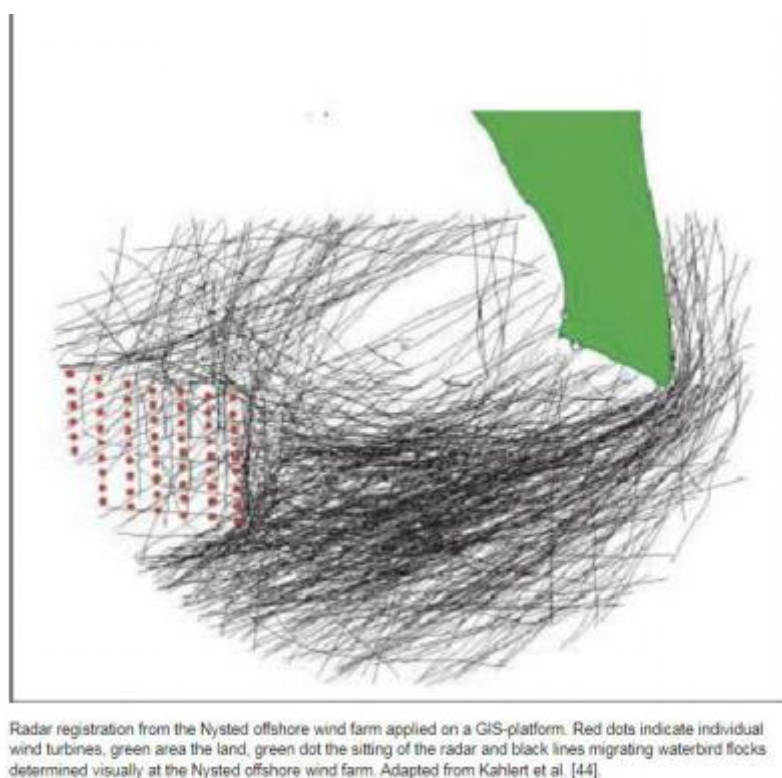


图 3.2.10-5 雷达监测长尾鸭和海鸭对风机组的回避情况（引自 Masden EA, Haydon DT, Fox AD, Furness RW, 2010）

据研究资料显示候鸟迁徙季节的迁飞高度一般超过 300m：普通鸟类迁徙过程中飞翔高度在 400m 以下，鹤类在 300-500m，鹤、雁等最高可达 900m（卞兴忠和蒋志学, 2010）。本区主要沿海岸迁徙飞行种类为鸕鹚类、鹭类、小型雁鸭类、鸥类，基本没有大型的鸕鹚类，飞行高度一般为 300m-400m 之间。其中有部分鸟类飞行高度与风扇范围重合，比如一些猛禽和大嘴乌鸦。（植田睦之, 馬田勝義, 三田長久, 2011）。

而对于鸟类的日常飞行（如往返于休息地与觅食地、饮水地等）来说，飞行高度会较长途迁徙低，尤其是在觅食等情况下，一般低于 100m。小型雀形目鸟类很少在海面飞行，项目范围可能涉及的种类中，猛禽和鸥形目是较常见在海面活动的类型。在西班牙南部的 Tarifa 研究发现（Barrios and Rodriguez, 2004），猛禽在风场区域翱翔

时，会选择避开叶片旋转能达到的高度范围，如繁殖期和冬季选择在较低的高度飞行（平均在 57-59m 之间），其余时期是飞行高度则在 110m 左右，在其他区域其高度差异不明显（繁殖期 68.20m，越冬期 60.07m，非繁殖季节 79m）。且观察到大部分鸟类在穿过风机列时会显著提升飞行高度，以避免碰撞。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）。

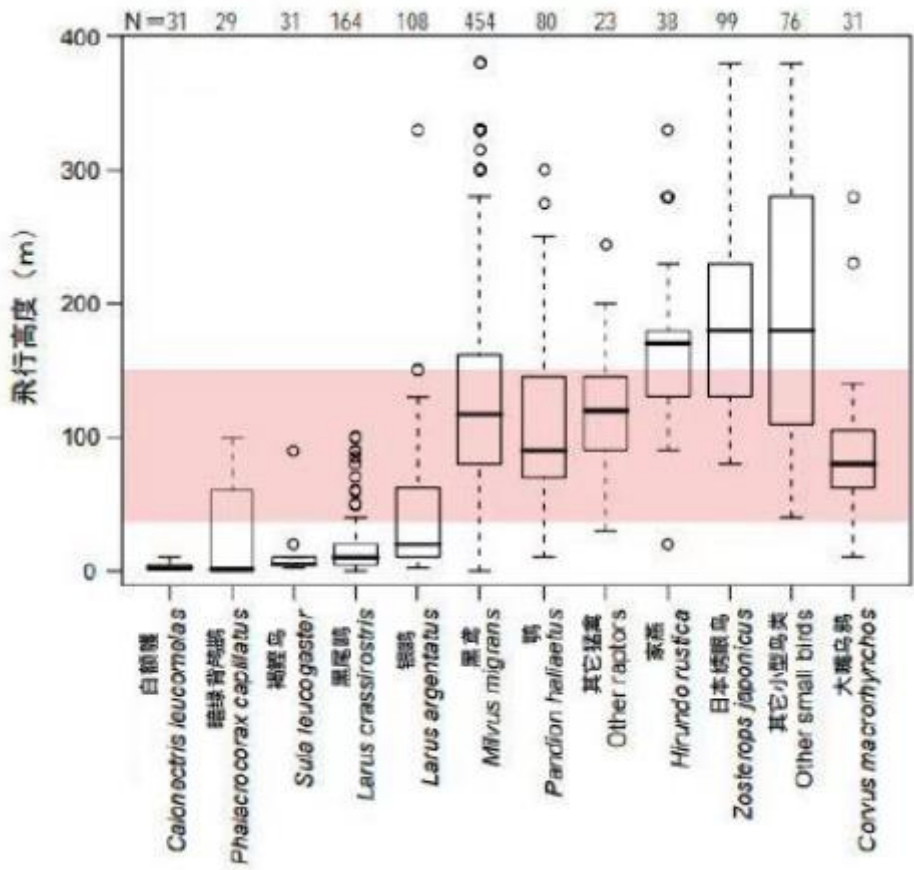


图 3.2.10-6 东亚海域鸟类飞行高度(引自植田睦之,馬田勝義,三田長久. 2011)

3.2.11 海洋自然灾害

3.2.11.1 雷暴

年平均雷暴日数为 76.5 次，占全年天数的 20.96%。雷暴天数最多的年份可达 104 次，占总天数的 28.49%，发生在 1972 年；雷暴天数最少的年份也有 34 次，占总天数的 9.32%，发生在 2005 年。平均雷暴天数最多的 6 月和 8 月份，有 13 天。11 月到翌年的 2 月基本没有雷暴。

表 3.2.11-1 各月平均雷暴日数（天）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
日数	0	0	1	3	9	9	10	13	13	5	0	0	63

3.2.11.2 灾害性海浪

海南省夏、秋季产生灾害性海浪的因素主要为热带气旋，春、冬季产生灾害性海浪的因素主要为冷空气。2010~2018 年期间，南海出现巨浪（浪高大于 4m）的年平均日数为 64.1 天，出现大浪（浪高大于 3m）的年平均日数为 142 天。其中，2015 年出现灾害性海浪的日数较少，大浪日数为 116 天，巨浪日数为 47 天；2011 年出现灾害性海浪的日数较多，大浪日数为 167 天，巨浪日数为 91 天，其中，因热带气旋影响产生的巨浪日数为 19 天；因冷空气影响产生的巨浪日数为 62 天。

表 3.2.11-2 2010~2018 年南海灾害性海浪日数分布表（天）

年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	平均
大浪	134	167	143	162	128	116	132	159	137	142
巨浪	65	91	67	65	51	47	70	68	53	64.1

以万宁气象站最大风速达 6 级或瞬时风速达 8 级为影响标准，统计 2000~2019 年期间登陆或影响万宁的热带气旋(不含热带低气压)（表 3.2-80、表 3.2-81），共有 28 个，年平均 1.4 个，其中登陆万宁地区的热带气旋有 7 个，年平均为 0.35 个。

热带气旋登陆或影响万宁地区的最早时间是 6 月 22 日，最晚时间是 11 月 10 日；登陆或影响的热带气旋最多的是 7~10 月，共占总数的 89.29%。按热带气旋强度统计，登陆或影响万宁地区的热带气旋有 17 个，年平均 0.85，强热带风暴 6 个，年平均 0.3 个，热带风暴 5 个，年平均 0.25 个。其中 0518 是 20 年中影响万宁地区最强的热带气旋，0518 号热带气旋“达维”登陆时中心最大风速达 55m/s。

表 3.2.11-3 2000~2019 年登陆或影响万宁的热带气旋统计（单位：个）

	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	合计	年平均
热带气旋		3	1	7	5	1	17	0.85
强热带风暴	1	4	1				6	0.3
热带风暴	1	2	1	1			5	0.25
小计	2	9	3	8	5	1	28	1.4
%	7.14	32.14	10.71	28.57	17.86	3.57	100	

其中登陆或影响万宁的热带气旋主要是 1508 号鲸鱼(STS)、1603 号银河(STS)、1621 号莎莉嘉 (TY)、1809 号山神 (TS)、1904 号木恩 (TS)、1914 号剑鱼 (TS)。

表 3.2.11-4 2011-2019 年登陆海南的热带气旋统计(单位：个)

年份	我国编号	中文名	海南登录地点	登录时强度等级
2011	1108	洛坦	文昌	强热带风暴 (STS)
	1117	纳沙	文昌	热带气旋 (TY)
	1119	尼格	乐东	强热带风暴 (STS)
2012	—	—	—	—
2013	1305	贝碧嘉	琼海	热带风暴 (TS)

	1309	飞燕	文昌	强热带风暴 (STS)
2014	1409	威马逊	文昌	超强热带气旋 (SuperTY)
	1415	海鸥	文昌	强热带气旋 (STY)
2015	1508	鲸鱼	万宁	强热带风暴 (STS)
2016	1603	银河	万宁	强热带风暴 (STS)
	1621	莎莉嘉	万宁	热带气旋 (TY)
2017	—	—	—	—
2018	1804	艾云尼	海口	热带风暴 (TS)
	1809	山神	万宁	热带风暴 (TS)
	1816	贝碧嘉	琼海	热带低压 (TD)
2019	1904	木恩	万宁	热带风暴 (TS)
	1907	韦帕	文昌	热带风暴 (TS)
	1914	剑鱼	万宁	热带风暴 (TS)

3.2.12 三场一通道

3.2.12.1 主要产卵场分布

根据农业部公告第 189 号《中国海洋渔业水域图》(第一批), 南海中上层鱼类产卵场主要为: 蓝圆鲹北部湾产卵场位于东经 107°15′~109°40′, 北纬 20°00′~21°30′, 水深 40m 以内海域, 产卵期 3~7 月。该产卵场与本项目距离很远。见图 3.2.4-6。

南海底层、近底层鱼类产卵场主要为:

北部湾金线鱼产卵场: 一处为东经 107°15′~108°5′, 北纬 19°10′~20°55′, 水深 40~75m, 产卵期 2~6 月; 另一处为东经 106°05′~107°20′, 北纬 18°15′~19°55′, 水深 20~80m, 产卵期 4~8 月。

二长棘鲷产卵场位于北部湾东经 107°20′~109°15′, 北纬 20°00′~近岸, 水深 60m 以内海域, 产卵期 1~3 月。

红笛鲷两处产卵场均位于北部湾, 一处为东经 107°25′~108°43′, 北纬 19°12′~20°20′, 水深 20~70m; 另一处为东经 106°55′~107°56′, 北纬 17°45′~19°00′, 水深 65~85m, 产卵期 4~7 月。

绯鲤类北部湾产卵场位于东经 107°20′~108°15′, 北纬 18°15′~21°15′, 水深 20~100m, 产卵期 2~8 月。

长尾大眼鲷北部湾产卵场分别为: 一处为东经 107°30′~108°50′, 北纬 20°15′~21°20′; 第二处位于东经 107°35′~139°05′, 北纬 19°35′~20°25′; 第三处位于东经 107°35′~108°25′, 北纬 18°25′~19°25′, 5~7 月。

以上产卵场距离本项目距离很远。根据历年调查所掌握的资料, 将调查水域主要

经济鱼类的产卵期列于表 3.2.12-1。从表可知，各种鱼类的产卵期主要集中与 3 月～6 月份。

表 3.2.12-1 主要经济鱼类的产卵期

种 名	产卵期(月份)	种 名	产卵期(月份)
海鳗	3～4	鰺	2～6
带鱼	3～11(盛期 3～5)	黄带鲱鲤	3～5
皮氏叫姑鱼	3～7	日本金线鱼	5～7
丽叶鲹	5～8	黄吻棱鲷	3、7～8
六指马鲛	2～5	鰺	4～6
中国鲳	4～7	刺鲳	1～7
黄鲫	3～7	长棘银鲈	3～5

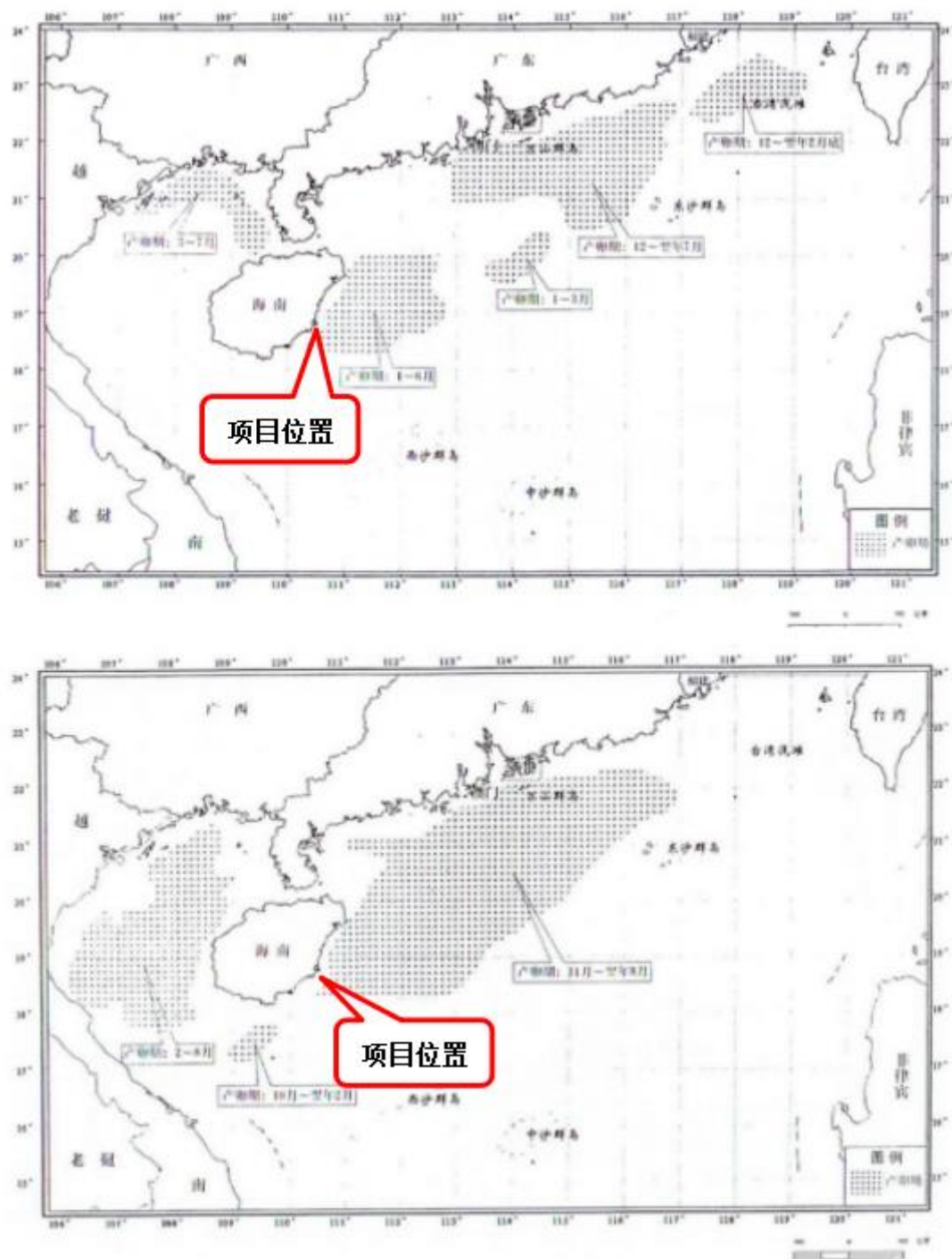


图 3.2.12-1 南海产卵场示意图

3.2.12.2 南海北部幼鱼繁育场

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（见图 3.2.12-2），保护期为 1~12 月。项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区范围内。



图 3.2.12-2 南海北部幼鱼繁育场保护区示意图

4 资源生态影响分析

4.1 生态评估

4.1.1 资源生态敏感目标

根据项目用海基本情况和所在海域资源生态基本特征分析，项目用海周边主要有生态保护红线、重要渔业水域等资源生态敏感目标。具体分布见表 4.1.1-1，生态保护红线分布见图 4.1.1-1。

表 4.1.1-1 项目周边资源生态敏感目标分布表

序号	敏感目标		位置关系		保护对象/保护要求
	类型	名称	方位	最近距离	
1	生态保护红线区	海南岛东南部重要渔业资源产卵场	送出海缆穿越	/	保护海域自然生态环境；保护近海渔业资源。
2		博鳌-港北海岸防护物理防护极重要区	送出海缆穿越	/	保护海域地形地貌；保护砂质岸线
3		英豪半岛海岸侵蚀极脆弱区	南侧	11.1km	保护海域地形地貌；保护砂质岸线
4		小海重要滩涂及浅海水域	南侧	12.6km	保护海域地形地貌；保护砂质岸线
5		博鳌海岸防护物理防护极重要区	北侧	10.8km	保护海域地形地貌；保护砂质岸线
6	重要渔业水域	南海底层、近底层鱼类产卵场	紧邻	/	保护金线鱼、深水金线鱼、脂眼鲱产卵场
7		南海北部幼鱼繁育场保护区	在其中	/	保护幼鱼繁育场
8		南海中上层鱼类产卵场	在其中	/	保护蓝圆鲹、鲐鱼产卵场
9	鸟类迁徙通道		项目东侧海域	/	避免对鸟类迁徙产生严重影响
10	砂质岸线		登陆海缆穿越	/	保护砂质岸线

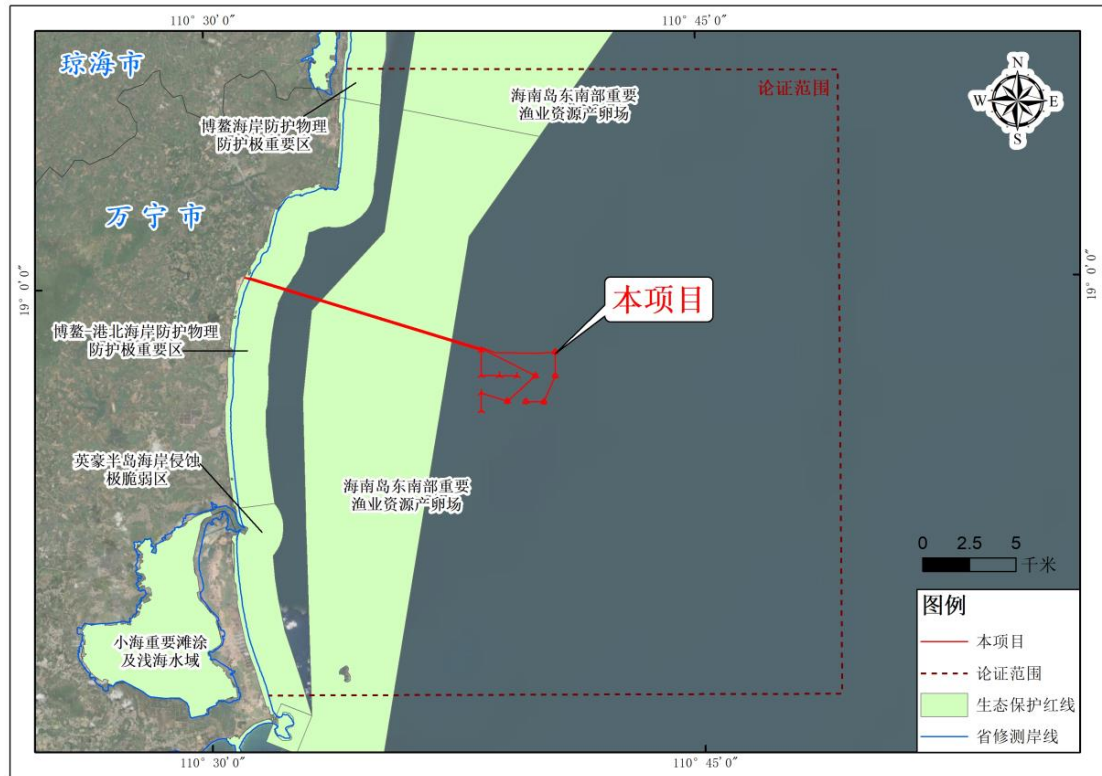


图 4.1.1-1 项目周边资源生态敏感目标分布图（生态保护红线）

4.1.2 生态保护红线

根据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142号），生态保护红线是国土空间规划中的重要管控边界，生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许对生态功能不造成破坏的十大类有限人为活动。

项目 66kV 送出海缆穿越海南岛东南部重要渔业资源产卵场和博鳌-港北海岸防护物理防护极重要区。

4.1.3 重要渔业水域

项目所在海域位于南海北部幼鱼繁育场保护区、南海中上层鱼类产卵场。详见。

4.1.4 重点和关键预测因子

项目为海上风电项目，根据项目用海特征以及周边敏感目标分布情况，项目建设对水动力、地形地貌与冲淤以及水质环境方面均有一定影响，确定项目的重点和关键预测因子如下：

- （1）水动力环境：流速、流向、水动力影响范围；
- （2）地形地貌与冲淤环境：冲淤变化；
- （3）水质环境：悬沙扩散。

4.1.5 用海方案工况设计

项目拟安装 12 台单机容量 16MW~18MW 海上风力发电机组，其中在场区东南部水深相对较深区域布置 6 台漂浮式样机；在场区西北部水深相对较浅的区域布置 6 台固定式风电机组。项目配套建设 1 座 220kV 陆上升压站，一期工程风电机组发出的电能通过 3 回 66kV 海底电缆直接接入配建的 220kV 陆上升压站。

4.1.6 水动力影响预测对比分析

4.1.6.1 项目前后潮流场的变化和分析

根据《水运工程模拟试验技术规范》(JTS/T231-2021)的要求，建立工程海域二维流模型。用有限体积元方法对二维潮流运动基本方程组(如下)进行离散，得到离散方程组，从而得出流速、流向、潮位。考虑滩地随涨、落潮或淹没或露出，采用活动边界技术，以保证计算的精度和连续性。

(1) 控制方程

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - R_b \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} u + fv + \tau_{sx} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - R_b \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} v - fu + \tau_{sy} \quad (3)$$

式中： A_h 水平方向扩散系数， η 为平均海面起算的海面高度， u 、 v 为垂向平均流的东、北分量， $H=\eta+h$ 总水深， h 为平均海面起算的水深， f 为体现地球自转效应的科氏参数， R_b 为海底摩擦系数， g 为重力加速度，

τ_{sx}, τ_{sy} 为风对自由水面的剪切力在 X、Y 方向的分量；

$$\tau_{sx} = f_s \rho_a u_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}, \quad \tau_{sy} = f_s \rho_a v_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}$$

f_s 为风阻力系数； ρ_a 为空气密度， u_w, v_w 风速在 X、Y 方向的分量。

(2) 边界条件和初始条件

1) 边界条件

在本研究采用的数值模式中，需给定两种边界条件，即闭边界条件和开边界条件。

所谓开边界条件即水域边界条件，可以给定水位、流量或调和常数。对于本次数

值模拟方案, 计算域外海开边界条件给定潮汐调和常数。潮汐现象可视作为许多不同周期振动的叠加, 分潮振幅(H)和专用迟角(g)只与地点有关, 称潮汐调和常数。从理论上讲, 分潮的数目是很多的, 但大部分影响不大, 一般以 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 分潮最大, 其值根据历史调查资料计算的调和常数和有关文献提供, 并根据部分水文观测站的实测潮位结果进行调整。开边界条件由流量进行控制。

所谓闭边界条件即水陆交界条件, 计算域与其它水域相通的开边界 Γ_1 上有:

$$\zeta(x, y, t)|_{\Gamma_1} = \zeta^*(x, y, t) \quad (4)$$

或

$$\left. \begin{aligned} u(x, y, t)|_{\Gamma_1} &= u^*(x, y, t) \\ v(x, y, t)|_{\Gamma_1} &= v^*(x, y, t) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

计算水域与陆地交界的固边界上有:

$$\vec{U} \cdot \vec{n}|_{\Gamma_2} = 0 \quad (6)$$

式中: $\vec{n}$ 为固边界法向; $\zeta^*(x, y, t)$ 、 $u^*(x, y, t)$ 和 $v^*(x, y, t)$ 为已知值(实测或准实测或分析值)。式(4.1-6)中的 $\vec{U}$ 为流速矢量($|\vec{U}| = \sqrt{u^2 + v^2}$), 其物理意义为流速矢量沿固边界的法向分量为零。

2) 初始条件

$$\left. \begin{aligned} \zeta(x, y, t)|_{t=t_0} &= \zeta_0(x, y, t_0) \\ u(x, y, t)|_{t=t_0} &= u_0(x, y, t_0) \\ v(x, y, t)|_{t=t_0} &= v_0(x, y, t_0) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式中: $\zeta_0(x, y, t_0)$ 、 $u_0(x, y, t_0)$ 和 $v_0(x, y, t_0)$ 为初始时刻 t_0 的已知值。

3) 活动边界处理

本模型采用干湿点判断法处理潮滩活动边界, 在岸边界处, 将邻近计算点的水位等值外推, 根据潮滩“淹没”与“干出”过程同潮位变化的相关关系, 当水深 $h \leq 0$ 时, 潮滩露出, 当水深 $h \geq 0$ 时, 潮滩淹没。如果在某一时刻一节点干出, 那么将此格点从有效计算域中去掉, 同时, 对流速做瞬时垂直壁处理, 将与此水位点相邻的流速点设置为零流速; 如果某个水位点判断为淹没, 则将此点归入计算域。为了确保潮流方程不失去物理意义, 选取一个最小水深 $h_{\min}$ 作为判断值, 若 $h \leq h_{\min}$, 则认为格

点干出。

(3) 计算域的确定及网格剖分

从满足工程研究需要出发,选定计算区域包括海南岛东部近海大部分区域:西边界到 $109^{\circ} 48' E$ 经度线,东边界至 $111^{\circ} 53' E$ 经度线,北边界至 $19^{\circ} 50' N$ 纬度线,南边界至 $17^{\circ} 28' N$ 纬度线。本模型采用三角形网格剖分计算域,工程区域三角形网格节点数为 16899 个,三角形个数为 32990 个;由于不存在海陆变迁和岸线变化,工程前后采用相同的网格,由于风电为漂浮形式,工程前后不存在水深变化和岸线变迁,因此只描述现状流场。相邻网格节点最大间距为 3500m,位于外海边界处;最小间距为 6m,位于风电系泊系统处,工程前网格剖分见图 4.1.1-1,工程后计算网络见图 4.1.1-2 (局部放大)。

计算域东、西、南、北开边界根据历史调查资料计算的调和常数和有关文献确定,选取 8 个主要分潮 (M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 、 Q_1),并根据水文观测站的实测潮位结果进行调整。

(4) 模型的验证

模型的验证有两部分,包括用项目区域附近 2022 年 7 月 28~7 月 29 日的 7 个站点(站位编号为 C1~C7,观测站位见图 4.1.1-3)的潮流资料和 3 个站(T1 博鳌站、T2 清澜站和 T3 乌场站,观测站位见图 4.1.1-3)的潮位资料与计算结果比较,绘制潮位曲线图 4.1.1-4 和流向、流速曲线如图 4.1.1-5 至图 4.1.1-11。由于实测流速为表、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底六层,验证时采用垂向平均实测流速、流向资料。

从验证结果可以看出,各站位的模拟潮位与实测潮位基本吻合。比较各站流速流向验证结果,模拟流速流向与实测值的趋势大体一致,其中最大流速时拟合较好,转流时刻流向有些差别,由于项目所在的海南岛东部海区潮流较弱,实际海流受风应力、波浪力等多种因素的影响,部分时刻验证效果一般。总体来说,数学模型对于工程水域具有重现能力,大体上能够反映工程区域的水动力特征。因此,本模型可用于项目海区的水动力场分析和物质输运分析。

(5) 潮流场模拟结果

太平洋潮波传入南海后,在海南岛附近分成两支,一支沿海南岛东部折向东北,另一支进入北部湾向北传播。大洲岛所在的附近海域是两支潮流的分流位置,其潮流动力很弱。风海流和近岸处的波生流于潮流的量值相近,甚至大于潮流作用,本海区

的实际海流在风应力较大时主要表现为风海流，而在近岸处则以波生流占优，由于受多种海洋动力的影响，因此实际海流的流速大小和流向都变化较大，规律性也较差。

本次模拟选取了潮汐动力较强的大潮情况（2022 年 7 月 28 日至 7 月 29 日），每小时输出流场。为能反映项目附近海域的潮流特征，报告给出 2 个时刻（涨急、落急）的潮流流场图，见图 4.1.1-12 至图 4.1.1-15（图中矢量箭头所示方向为潮流方向，箭头长短代表流速大小，等值线为流速大小等值线）。由于本项目工程风电为漂浮形式，其引起的流场改变只局限于风机浮体附近的很小范围内，对于大范围海域潮流场的影响很小，因此对于项目区潮流场的改变也很小，除了项目工程附近局部小范围的流场有较小改变，其余大范围的计算域内的流场改变几乎不存在。

流场的模拟结果显示：

(1)项目附近海区为弱潮海区，潮流动力较弱，风机浮体所在海域的涨急最大流速在 10cm/s 左右，落急最大流速在 15cm/s 左右，涨潮时由东北向西南方向，落潮时由西南往东北方向。

(2)近岸区部分岬角处流速略有增大，存在一定的挑流作用，如大洲岛的西北角、大花角以东海域最大落急流速可达到 35cm/s 左右，但流速较大的范围较小，只局限在岬角附近的局部小范围内。

总体来说，项目所在海域的潮流动力较弱，大潮期最大涨急落急流速小于 20cm/s。

4.1.6.2 波浪场的变化和分析

采用前面章节获得的深水波浪参数，计算工程区多年一遇的各向波浪在各种设计水位的条件下向岸传播到工程附近的波浪情况。

各种设计水位的参数如下（相对 85 高程）：

极端（校核）高水位：2.763m

设计高水位：1.863m

设计低水位：-0.081m

极端（校核）低水位：-0.881m。

(1) SWAN 模型介绍

SWAN 为第三代海浪模型。荷兰 Delft 理工大学的 Ris and Booji 等总结了历年来的波浪能量输入、损耗及转换的研究成果，提出并发展了适用于海岸、河口地区的 SWAN 浅水波浪数值模型，全面合理地考虑了波浪浅水效应、折射、绕射、底摩擦、

破碎、白浪、风能输入以及波浪非线性效应。SWAN 模型可应用于陆，架、浅海及近岸海浪的模拟研究，目前已被广泛应用于水库、河口、港口工程等海浪模拟。新版本的 SWAN (4.81) 增加了波浪的绕射效应，有效提高了 SWAN 模型在港口工程中的波浪模拟能力。SWAN 模型采用基于能量守恒原理的平衡方程，除了第三代海浪模型共有的特点外，它还充分考虑了浅水中的各种波浪变形。

SWAN 模型所包含的主要波浪传播过程如下：波浪在空间中的传播、海底地形和流场空间变化所引起的折射、传播过程中的绕射问题、由于底部和流场的空间变化引起的浅水变形、由于逆向流动产生的阻碍和反射、遇到建筑物时的反射和透射机制。SWAN 模型包含了如下波浪的产生和耗散过程：风能输入、白浪耗散、水深变浅引起的波浪破碎、底摩擦引起的耗散、波-波相互作用。

SWAN 模型的计算域边界可以是陆地边界和/或水域边界。陆地边界不产生波浪，认为其主要吸收入射波而不产生波浪反射；对于水域边界而言，边界条件一般可根据现场观测得到或通过大范围的波浪模型数值模拟得到，通常现场观测只能得到个别点的波浪数据，而大尺度波浪模型能得到网格边界上所有点的数据，在一定程度上保证计算结果的精度。

SWAN 模型采用全隐式有限差分格式，允许较大的时间步长，无条件稳定。

SWAN 解的是动谱平衡方程，方程本身不包含绕射项，但可以通过增加绕射系数来模拟绕射。在谱模型中加入绕射项有如下的优势：(1) 可以进行大范围的计算；(2) 波谱本身包含多种周期波浪；(3) 方程本身包含波浪的折射、绕射、耗散和波与波之间的相互作用。在谱方程中增加绕射项有两种方法，一是在几何空间上或谱空间上模拟绕射，但是这种方法只能模拟绕射的一部分现象(这种方法不能模拟绕射产生的波浪转向)，并且这种数值格式有时不稳定。另外的方法就是在谱方程中增加波浪绕射产生的转向，这种方法又叫做相位解耦法，是用能量密度来代替振幅，以消除相位的信息、减小相位的震荡。这种方法不能模拟驻波现象，这与抛物型缓坡方程的特点相似。

SWAN 也可以在球坐标系下求解，在同一坐标系下还可以进行嵌套计算，嵌套时较大的模型可以是 SWAN 模型也可以是 WAM 或者是 WAVEWATCH III 模型，这就为 SWAN 进行大区域的计算提供了方便。Ris 等采用线性波浪理论和现场资料对 SWAN 模型进行了验证，结论表明，该模型能准确合理地模拟复杂潮流、地形、风场环境下的波浪场。

由于 SWAN 模型已在全球范围内进行了大量的验证, 本研究中不对模型进行验证。

1) 基本方程

波作用守恒方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

在球坐标下波作用守恒方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial \lambda} c_\lambda N + (\cos \varphi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \varphi} c_\varphi \cos \varphi N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}$$

能量源项 S 由 4 项组成:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot}$$

式中各项意义类似于海洋波浪数学模式, 但非线性作用项除了在海洋模式所考虑的使谱成长的 4 波相互作用外, 还考虑了 3 波相互作用。3 波相互作用在浅水区域作用明显, 它使波能向高频转移, 导致高阶波。

2) 波能的源汇项

a. 风能输入

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta)$$

其中:

$$A = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{g^2 2\Pi} [U_* \max[0, \cos(\theta - \theta_w)]]^4 H \quad ,$$

$$H = \exp\left(-(\sigma/\sigma_{PM}^*)^{-4}\right) \quad \text{with} \quad \sigma_{PM}^* = \frac{0.13g}{28U_*} 2\Pi \quad ,$$

$$B = \max\left[0, 0.25 \frac{\rho_a}{\rho_w} \left[28 \frac{U_*}{C_{ph}} \cos(\theta - \theta_w) - 1\right]\right] \sigma \quad ,$$

b. 波能耗散

波能耗散包括白冠的波能耗散和底摩擦。

白冠的波能耗散:

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \tilde{\sigma} \frac{k}{k} E(\sigma, \theta) \quad (3-7)$$

其中:

$$\Gamma = \Gamma_{KJ} = C_{ds} \left((1-\delta) + \delta \frac{k}{\tilde{k}} \right) \left(\frac{\tilde{S}}{\tilde{S}_{PM}} \right)^p$$

$$\tilde{S} = \tilde{K} \sqrt{E_{tot}}$$

$$\tilde{\sigma} = \left(E_{tot}^{-1} \int_0^{2\Pi\infty} \int_0^{\frac{1}{\sigma}} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \right)^{-1}$$

$$\tilde{k} = \left(E_{tot}^{-1} \int_0^{2\Pi\infty} \int_0^{\frac{1}{\sqrt{k}}} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \right)^{-2}$$

$$F_{tot} = \int_0^{2\Pi\infty} \int_0^{\frac{1}{\sigma}} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta$$

底摩擦:

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta)$$

$$U_{rms}^2 = \int_0^{2\Pi\infty} \int_0^{\frac{1}{\sigma}} \frac{\sigma^2}{\sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta$$

底摩擦系数 C_{bottom} 可选 Colins (1972):

$$C_{botom} = C_f g U_{rms}$$

或 Madsen et al. (1988):

$$C_{botom} = f_w \frac{g}{\sqrt{2}} U_{rms}$$

$$\frac{1}{4\sqrt{f_w}} + \log_{10} \left[\frac{1}{4\sqrt{f_w}} \right] = m_f + \log_{10} \left[\frac{a_b}{K_N} \right]$$

$$a_b^2 = 2 \int_0^{2\Pi\infty} \int_0^{\frac{1}{\sigma}} \frac{1}{\sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta$$

c. 水深引起的波破碎

采用 Eldeberky and Battjes (1995) 为基础的公式:

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = D_{tot} \frac{E(\sigma, \theta)}{E_{tot}}$$

其中

$$D_{tot} = -\frac{1}{4}\alpha_{BJ}Q_b\left(\frac{\bar{\sigma}}{2\Pi}\right)H_m^2$$

$$\frac{1-Q_b}{\ln Q_b} = -8\frac{E_{tot}}{H_m^2}$$

$$\bar{\sigma} = E_{tot}^{-1} \int_0^{2\Pi\infty} \int_0^\infty \sigma E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta$$

d. 波浪的非线性作用

该模型考虑了 3 个和 4 个波-波的非线性作用, 4 个波-波的非线性作用的计算同 WAVEWATCH III。3 个波-波的非线性作用的计算采用 Eldeberky(1996)的 LTA 法:

$$S_{n13}(\sigma, \theta) = S_{n13}^-(\sigma, \theta) + S_{n13}^+(\sigma, \theta)$$

其中:

$$S_{n13}^+(\sigma, \theta) = \max\{0, \alpha_{EB} 2\Pi C C_g J^2 |\sin(\beta)| \{E^2(\sigma/2, \theta) - 2E(\sigma/2, \theta)E(\sigma, \theta)\}\}$$

$$S_{n13}^-(\sigma, \theta) = -2S_{n13}^+(2\sigma, \theta)$$

$$\beta = -\frac{\Pi}{2} + \frac{\Pi}{2} \tanh\left(\frac{0.2}{Ur}\right)$$

$$Ur = \frac{g}{8\sqrt{2}\Pi^2} \frac{H_s \bar{T}^2}{d^2}$$

$$J = \frac{k_{\sigma/2}^2 (gd + 2c_{\sigma/2}^2)}{k_\sigma d \left(gd + \frac{2}{15} gd^3 k_\sigma^2 - \frac{2}{5} \sigma^2 d^2 \right)}$$

(2) 台风浪计算网格

台风浪模型计算区域如图 4.1.2-1 所示。选定计算域包括: 西至越南海岸线 105°E, 东至吕宋海峡 120°E, 北至台湾海峡 23°N, 南边界至 9°N, 模型计算区域见图 4.1-1, 计算网格为相互不重叠的三角形单元, 每个三角形网格由三个节点、一个中心和三条边组成。网格节点数为 34577 个, 三角形个数为 67027 个, 相邻网格节点最大间距为 30km, 工程区域最小间距为 200m,。模型计算水深见下图。

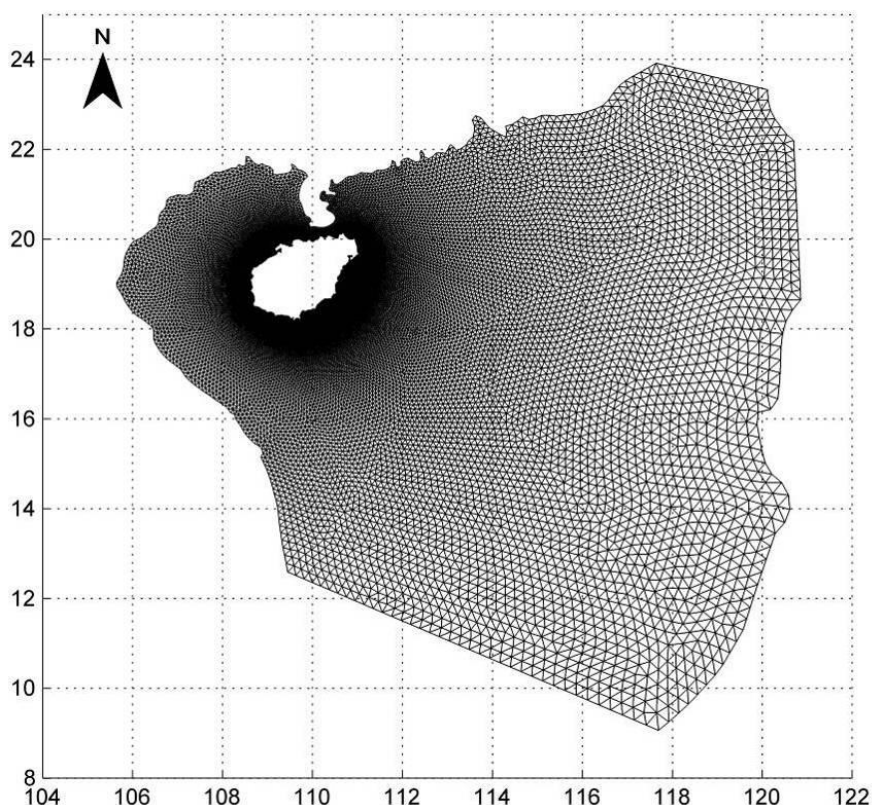


图 4.1.6-1 计算网格图

图 4.1.6-2 计算水深图

(3) 台风浪计算与验证

风场采用 ERA5 数据集，ERA5 是欧洲中期天气预报中心（ECMWF）第五代全球气候再分析数据集，其利用数据同化原则将模型数据和来自世界各地的观测数据组合成一个全球完整且一致的数据集。

采用 4.1.2.1 节台风浪模型计算了工程水域 25（1994~2018）年波浪场，驱动力为风。为了验证模型的可靠性，选择 2014 年 9 号台风“威马逊”波高过程进行验证。

威马逊台风 2014 年 7 月 9 日在西北太平洋海面上生成，并于 2014 年 7 月 15 日 15 时加强为强台风，穿越菲律宾中部，并进入南海。7 月 17 日，继续向西北偏西移动，移动速度在每小时 22 至 25 公里。7 月 18 日，威马逊继续增强，并向西北移动，于 14 时加强为超强台风。并于当日 15 时 30 分，在海南省文昌龙楼镇东部沿海登陆，登陆时中心附近最大风力 17 级以上（60 米/秒）、最低气压 910 百帕。威马逊登陆后进入琼州海峡。19 时 30 分，威马逊再次于中国广东省徐闻县龙塘镇沿海登陆，登陆时中心附近最大风力仍有 17 级（60 米/秒），中心最低气压仍为 910 百帕，并继续向西北偏西的路径移动，掠过雷州半岛，移入北部湾。7 月 19 日 7 时左右，“威马逊”

三次于广西防城港市光坡镇沿海登陆，登陆时中心附近最大风力有 15 级（48 米/秒）中心最低气压 950 百帕，降为强台风级别。取其中 2014 年 7 月 18 日 0 时至 2014 年 7 月 21 日 0 时的模拟数据与东方海洋环境监测站（ $108^{\circ} 38' E$ ， $19^{\circ} 07' N$ ）实测数据进行比较。

图 4.1.2-3 为东方海洋环境监测站位置图，图 4.1.2-4 为威马逊台风路径图，图 4.1.2-5 为威马逊台风 17 日 0 时、18 日 0 时、19 日 0 时风场分布图，图 4.1.2-6 为图 4.1.2-5 相应时段模拟的有效波高波浪场，图 4.1.2-7 为模拟波高与东方海洋环境监测站实测波高对比图。计算值和实测值符合良好，实测波高最大值和计算波高最大值基本一致，能够满足工程水域计算波要素计算精度的要求。

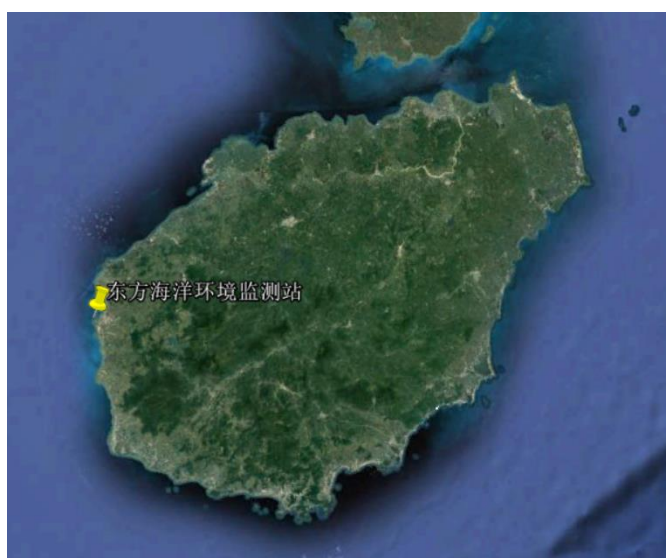


图 4.1.2-3 东方海洋环境监测站位置图

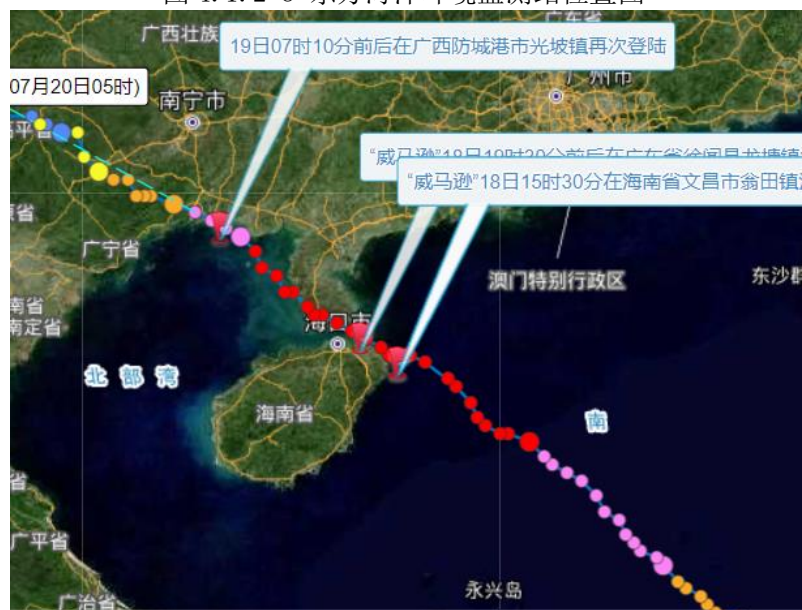


图 4.1.2-4 威马逊台风路径图

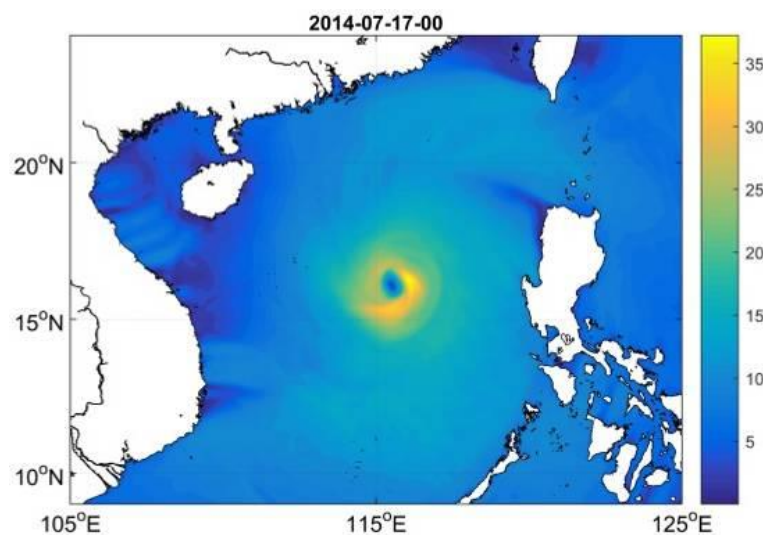


图 4.1.2-5a 2014 年 7 月 17 日 0 时威马逊台风风场分布图

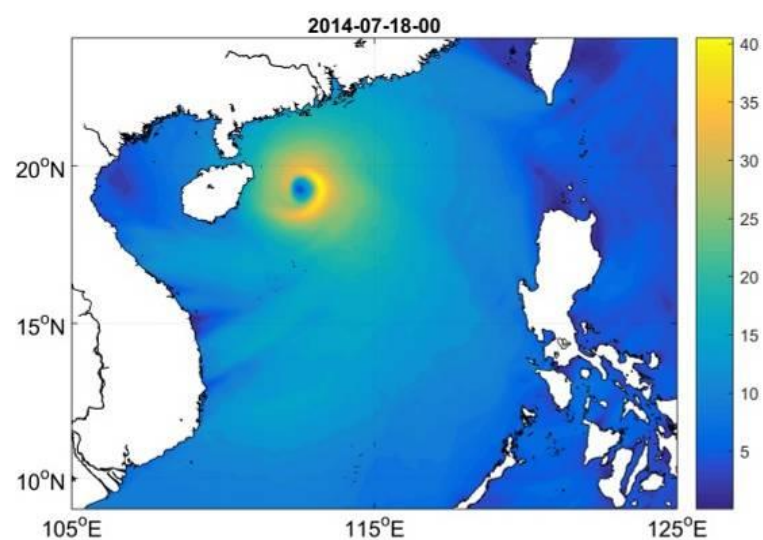


图 4.1.2-5b 2014 年 7 月 18 日 0 时威马逊台风风场分布图

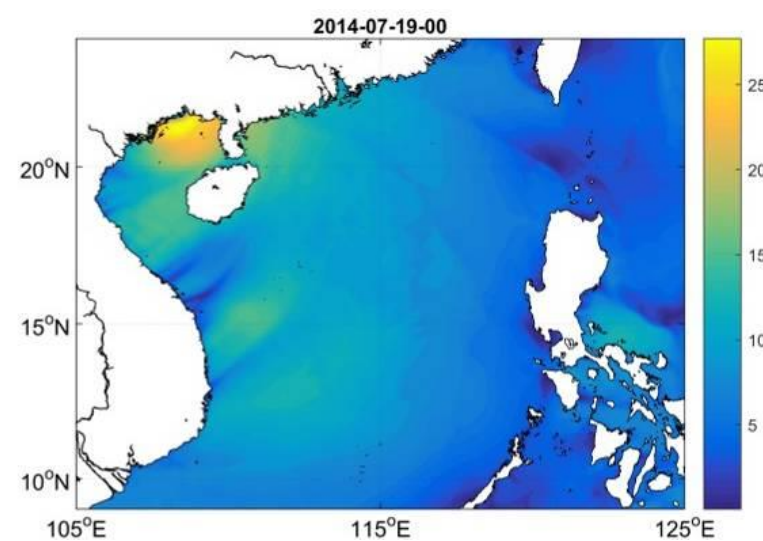


图 4.1.2-5c 2014 年 7 月 19 日 0 时威马逊台风风场分布图

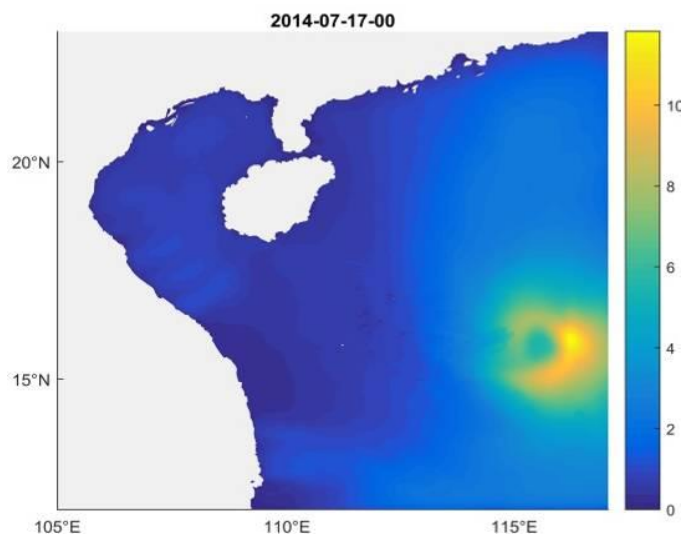


图 4.1.2-6a 2014 年 7 月 17 日 0 时威马逊台风有效波高分布图

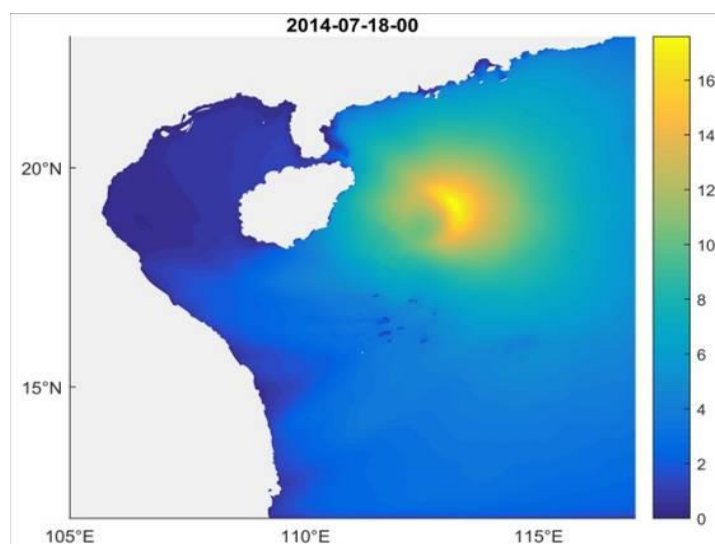


图 4.1.2-6b 2014 年 7 月 18 日 0 时威马逊台风有效波高分布图

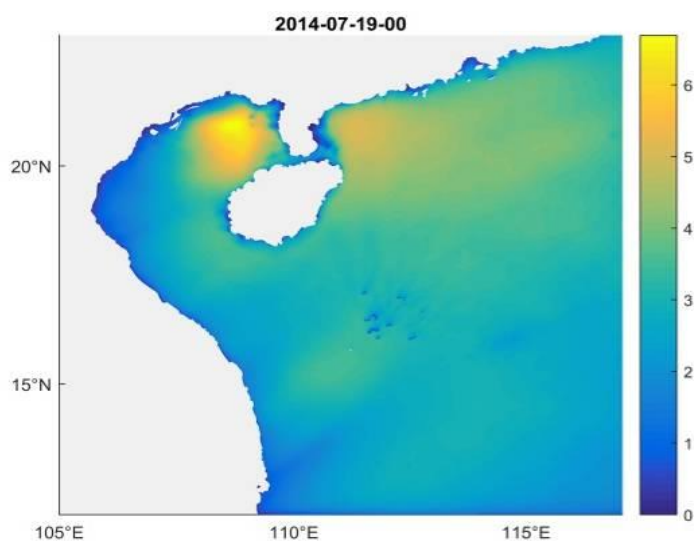


图 4.1.2-6c 2014 年 7 月 19 日 0 时威马逊台风有效波高分布图

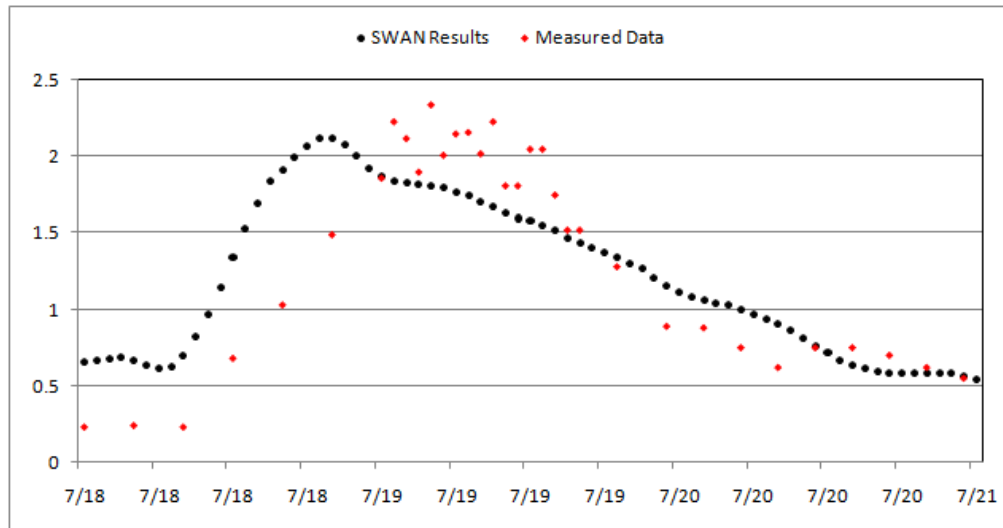


图 4.1.2-7 2014 年 9 号台风威马逊波高对比图（东方）

（4）外海波要素

依据 4.1.2.3 节模拟的 1994~2018 年共 25 年的波浪场结果,提取工程区域波高、周期值,如图 4.1.2-8 所示,提取点(图中 W 点)约位于风机群中部。根据项目附近波浪观测站的历史实测资料,可知项目区域的常浪向变化幅度不大,春秋冬三季常浪向为 SE,夏季常浪向为 SSE,其他发生频率浪向均集中在 ENE~SSE 之间。因此本次选取了 ENE、E、ESE、SE、SSE 和 S 共 6 个波向进行 P-III 频率曲线进行拟合推算,获得工程区域设计波高。

表 4.1.2-1 外海设计波要素重现期推算表

重现期\波向	ENE		E		ESE		SE		SSE		S	
	H _s	T _m	H _s	T _m	H _s	T _m	H _s	T _m	H _s	T _m	H _s	T _m
100 年一遇	9.1	10.7	11.8	13.0	12.7	13.8	12.3	13.4	12	13.2	11.1	12.4
50 年一遇	8.4	10.1	11	12.3	11.5	12.8	11.1	12.4	10.9	12.2	10.1	11.6
25 年一遇	7.7	9.5	10.2	11.6	10.4	11.8	9.8	11.3	9.7	11.2	9.1	10.7
10 年一遇	6.6	8.6	8.9	10.6	8.7	10.4	8.1	9.8	8	9.8	7.6	9.4
2 年一遇	4.3	6.6	6.1	8.1	5.1	7.2	4.4	6.7	4.5	6.8	4.4	6.7

如表 4.1.2-1 所示,100 年一遇、50 年一遇、25 年一遇、10 年一遇和 2 年一遇最大有效波高分别为 12.7m (ESE 向)、11.5m (ESE 向)、10.4m (ESE 向)、8.9m (E 向) 和 6.1m (E 向)。

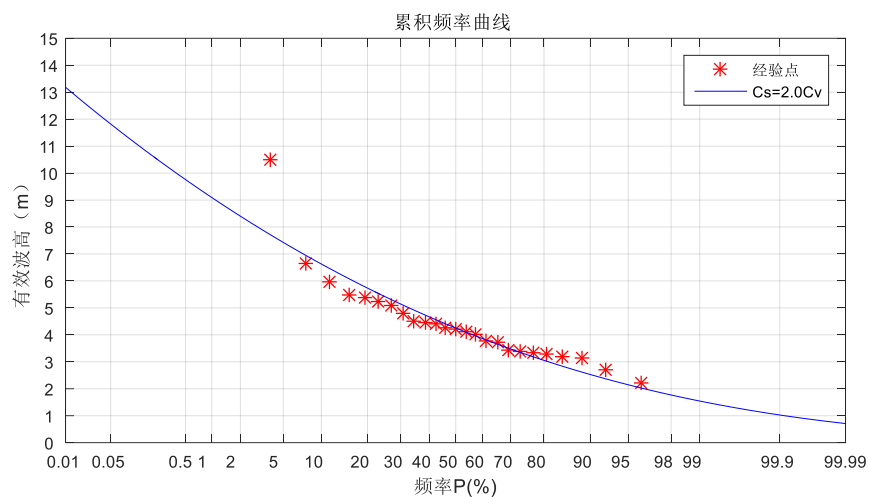


图 4.1.2-2a ENE 向浪有效波高 P-III 型频率曲线

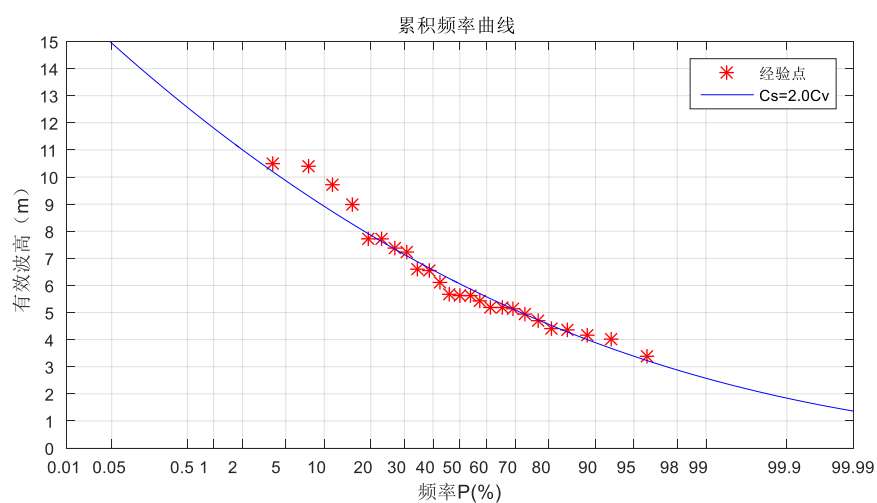


图 4.1.2-2b E 向浪有效波高 P-III 型频率曲线

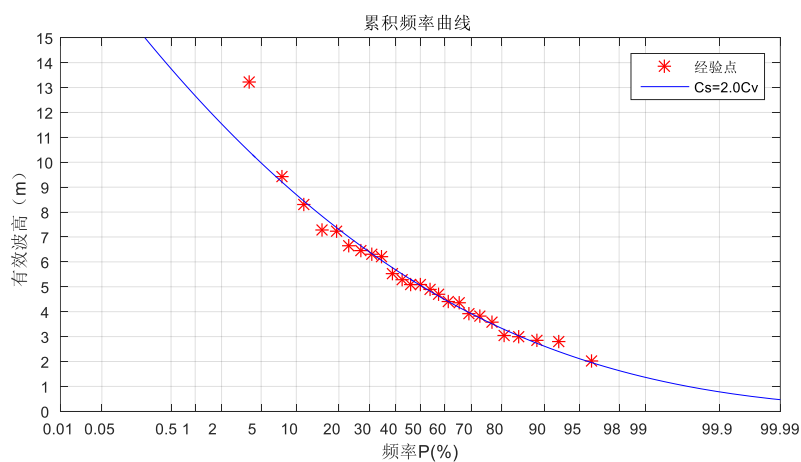


图 4.1.2-2c ESE 向浪有效波高 P-III 型频率曲线

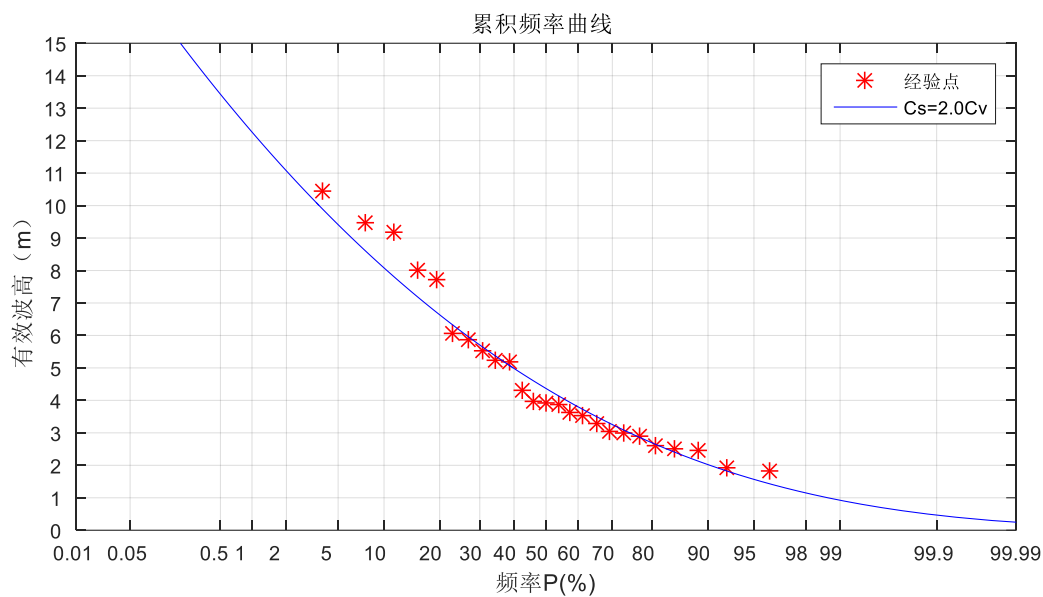


图 4.1.2-2d SE 向浪有效波高 P-III 型频率曲线

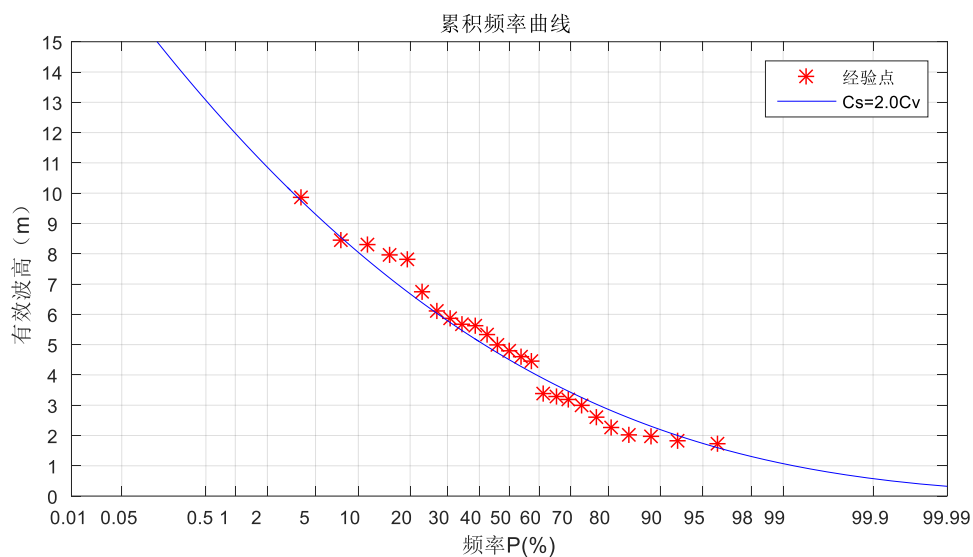


图 4.1.2-2e SSE 向浪有效波高 P-III 型频率曲线

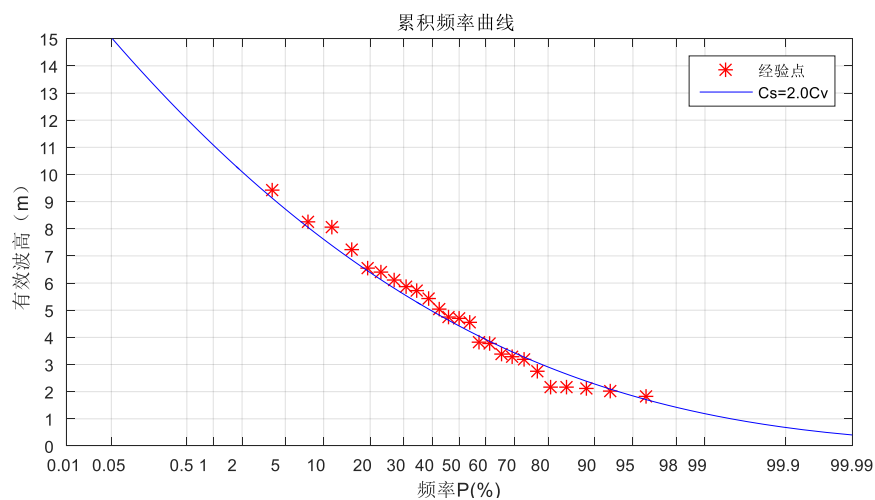


图 4.1.2-2f S 向浪周期 P-III 型频率曲线

4.1.6.3 小结

(1) 风机群所处海域约 60-75m 水深, 设计波要素在 10 年一遇以下, 最大波高对应波向来自东向, 10 年以上, 最大波高对应波向来自东南东向;

(2) 100 年一遇、50 年一遇、25 年一遇、10 年一遇和 2 年一遇最大有效波高分别为 12.7m、11.5m、10.4m、8.9m 和 6.1m。

4.1.7 水质环境影响预测对比分析

项目用海对于资源、生态的损耗主要在于海底电缆铺设施工过程中产生的悬浮物泥沙的影响, 因此主要研究海底电缆铺设工程施工过程中悬浮物的扩散范围和强度。

4.1.7.1 水环境的影响因子

本项目工程对海域环境产生影响的决定因素, 主要是悬浮泥沙的产生量和该海域的自净能力。通常, 悬浮泥沙产生量越大, 水质越混浊, 对环境的影响也就越大。再则, 其影响程度还取决于海域的环境容量(负荷限度), 即海域的地理条件和水体的活跃程度。后者主要是指海流的输运、扩散能力和海水的更新率。一般来说, 海域越封闭, 水域容积越小, 海水交换能力越弱, 稀释能力越低, 环境负荷能力也就越低。

环境影响预测的目的, 在于将上述原则与系统工程的方法联系起来, 预测项目施工过程中所形成的悬浮物影响浓度场和定量地描述项目施工作业可能产生的环境后果, 为采取防范措施提供科学依据。

4.1.7.2 二维潮流泥沙输运扩散方程

根据《水运工程模拟试验技术规范》(JTS/T231-2021) 及有关研究方法。建立工程海域二维潮流泥沙输运扩散模型。用差分方法对二维潮流泥沙输运扩散基本方程组(如下)进行离散, 得到离散方程组, 根据潮流模型计算出的水位、流速, 从而得出在潮流动力作用下的水体含沙量分布。考虑滩地随涨、落潮或淹没或露出, 采用活动边界技术, 以保证计算的精度和连续性。

二维潮流泥沙输运扩散基本方程:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (D_x \frac{\partial S}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_y \frac{\partial S}{\partial y}) + F_s / H + Q_s / H \quad (1)$$

$$Q_s = Q_0 - S\omega (1 - R)$$

$$R = \begin{cases} \frac{\alpha D_{50}}{\beta + D_{50}} (u_* - u_{*cr}) & (u_* \geq u_{*cr}) \\ 0 & (u_* \leq u_{*cr}) \end{cases}$$

$$u_{*cr} = 0.04 \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} \sqrt{g D_{50}}$$

S 为铅直方向积分的水体含沙浓度 S ； D_x 、 D_y 分别为 x 、 y 方向的泥沙扩散系数； F_s 为泥沙源汇函数或床面冲淤函数， Q_0 为海底产生的悬浮泥沙量； ρ_s 为悬砂密度(取石英密度为 1.68g/cm^3)； ρ_0 为海水密度(取为 1.035g/cm^3)； γ 为海水分子运动粘性系数(取为 $10^{-3}\text{cm}^2/\text{s}$)； u_* 、 u_{*cr} 分别为摩擦速度和泥沙再悬浮速度； R 为沉降泥沙的再悬浮率($0 \leq R \leq 1$)； D_{50} 为泥沙的中值粒径(取为 0.008mm)。

由于工程区域海底沉积物粒径变化较大,因此泥沙源函数按下面方法确定:
底部切应力计算公式:

$$\tau = \rho f_b U U \quad (2)$$

当 $\tau \leq \tau_d$ 时,水中泥沙处于落淤状态,则:

$$F_s = \alpha \omega S (1 - \frac{\tau}{\tau_d}) \quad (3)$$

当 $\tau_d < \tau < \tau_e$ 时,海底处于不冲不淤状态,则:

$$F_s = 0 \quad (4)$$

当 $\tau \geq \tau_e$ 时,海底泥沙处于起动状态,则:

$$F_s = -M (\frac{\tau}{\tau_e} - 1) \quad (5)$$

上各式中: U 为平均流速;

ω 为泥沙沉降速度;

S 为水体含沙量;

α 为沉降几率;

τ_d 为临界淤积切应力;

τ_e 为临界冲刷切应力;

M 为冲刷系数。

悬浮泥沙沉降速度采用张瑞谨(1998)提出的泥沙沉降速度的通用公式:

$$\omega = \sqrt{(13.95 \frac{v}{d_s})^2 + 1.09 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g d_s} - 13.95 \frac{v}{d_s}$$

其中, γ γ_s 分别为水、泥沙的容重; d_s 为悬浮泥沙的中值粒径; v 为黏滞

系数。

关于临界淤积切应力 τ_d ，这里采用窦国仁(1999)提出的计算公式：

$$\tau_d = \rho f_b U_c U_c \quad (6)$$

其中 U_c 为临界海底泥沙起动速度。

$$U_c = k \left[\ln 11 \frac{h}{\Delta} \right] \left(\frac{d'}{d_*} \right)^{\frac{1}{6}} \sqrt{3.6 \frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d_s + \left(\frac{\gamma_0}{\gamma'_0} \right)^{1/2} \frac{\varepsilon_0 + g h \delta (\delta / d_s)^{1/2}}{d_s}} \quad (7)$$

式中： $k=0.32$ ；

$d_* = 10$ ；

$\varepsilon_0 = 1.75 \text{ cm}^3 / \text{s}$ ，为综合泥沙粘结力，一般泥沙取该值；

$\delta = 2.31 \times 10^{-5} \text{ cm}$ ，是薄膜水厚度参数，

γ_0 为海底泥沙干容重；

γ'_0 泥沙颗粒的稳定干容重；

h 为水深；

ρ_s 为泥沙密度；

$$d' = \begin{cases} 0.5 \text{ mm} & \text{当 } d \leq 0.5 \text{ mm} \text{ 时} \\ d & \text{当 } 0.5 \text{ mm} \leq d \leq 10 \text{ mm} \text{ 时} \\ 10 \text{ mm} & \text{当 } d \geq 10 \text{ mm} \text{ 时} \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{cases} 1.0 \text{ mm} & \text{当 } d \leq 0.5 \text{ mm} \text{ 时} \\ 2d & \text{当 } 0.5 \text{ mm} \leq d \leq 10 \text{ mm} \text{ 时} \\ 2d_*^{1/2} d^{1/2} & \text{当 } d \geq 10 \text{ mm} \text{ 时} \end{cases}$$

4.1.7.3 定解条件

(1) 初始条件

$$S(x, y, t) \Big|_{t=t_0} = S_0(x, y, t_0) \quad (8)$$

式中： $S_0(x, y, t_0)$ 为初始时刻 t_0 的已知值。

(2) 边界条件

计算水域与陆地交界的固边界 Γ_1 上有：

$$\begin{aligned} S(x, y, t) \Big|_{\Gamma_1} &= S^*(x, y, t) \quad (\text{当水流流入计算域时}) \\ \frac{\partial(HS)}{\partial t} + \frac{\partial(HSu)}{\partial x} + \frac{\partial(HSv)}{\partial y} &= 0 \quad (\text{当水流流出计算域时}) \end{aligned} \quad (9)$$

计算水域与陆地交界的固边界上有：

$$\frac{\partial S}{\partial \vec{n}} = 0 \quad (10)$$

式中： $S^*(x, y, t)$ 为已知值(实测或准实测或分析值)， $\vec{n}$ 为陆地边界的单位法向矢量，式(4-10)的物理意义为泥沙沿固边界的法向通量为零。

4.1.7.4 数值方法

将一个时间步长分为两个半步长，在每个半时间步长内，依下述求解过程计算潮位及 x, y 方向流速。离散差分方程如下：

前半步长：

$$As1S_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} + Bs1S_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + Cs1S_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} = Ds1 \quad (11)$$

后半步长：

$$As2S_{i,j-1}^{n+1} + Bs2S_{i,j}^{n+1} + Cs2S_{i,j+1}^{n+1} = Ds2 \quad (12)$$

上式中 $As1, Bs1, Cs1, Ds1, As2, Bs2, Cs2, Ds1, Ds2$ 为已知系数。

4.1.7.5 悬浮泥沙源强

本项目风电机采用漂浮式结构，因此在海上风电的建设过程中，产生悬浮泥沙扩散的施工主要是电缆铺设时引起。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 1~5m/min，按最不利条件考虑，单条海底电缆铺设正常施工土方量为 6.0m³/min 计，折合 360m³/h；单条电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 5% 计，则为 18m³/h。本工程海域的沉积物湿容重约 1800kg/m³，由此计算得单条电缆施工的悬浮物源强为 9kg/s。

模拟计算过程中仅仅考虑工程施工产生的悬浮泥沙增量的影响，潮流对底床作用产生的泥沙将不计算。选择风机与陆上集控中心的连线上的 29 个源点，预测施工产生的悬浮泥沙对水质环境的影响范围与程度。

4.1.7.6 海缆施工悬浮泥沙预测结果

自电缆铺设施工作业的初始时刻起，源点附近由于沉降、掺混过程所形成的悬浮物混浊云团，在海流作用下扩散迁移形成“污染区”。由于不停作业，云团核心浓度(中心含沙量)随着时间的推移而不断升高，云团面积不断扩大。在初始阶段，这一过程演变很快，但经过一定时间后，浓度随时间的变化变缓，指某一时间不再升高，即达到所谓“平衡态”。它表征了各种因素(源强、自净能力)对环境水质的影响程度。潮混合使核心浓度达到平衡态的时间，决定于水域的地形特征和流场的强弱以及流

态。通常，水域小，流场强，达到平衡态的时间就短。

云团核心浓度在电缆铺设施工作业开始后，很快达到平衡态，由于施工所在海域的水深较大，虽然源强较大，但在二维水深平均后单位水体的浓度并不大；此后，随着电缆铺设施工的继续，核心浓度在潮流和潮汐的共同作用下发生波动式振荡；作业停止后，挖泥点的核心浓度(含沙量)将迅速下降到零。

图 4.1.3-2 为电缆铺设施工过程中悬沙扩散的包络范围。泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流输运作用影响，因此泥沙的扩散方向与潮流的方向相同。从图中可以看出，项目施工过程中引起的悬浮泥沙对水质的影响较小，除了近岸区的 4 个源点引起的悬浮泥沙扩散范围顺潮流方向延伸的距离约为 1.9km，其它源点引起的悬沙扩散范围顺潮流方向的延伸距离都小于 1km。因此，近岸区的影响较大，而风机所在海区的影响较小。

4.1.7.7 悬浮物的影响范围

在此对海底电缆铺设引起的悬沙影响进行估计。为了估计悬浮泥沙的影响大小，根据模型的计算结果，分别计算了不同浓度的覆盖面积，并列入下表 4.1.3-1。

表 4.1.3-1 海底电缆铺设悬浮泥沙各浓度的最大影响范围面积(km²)

浓度	>10mg/L (超 I、II 类水质)	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L (超 III 类水质)	>150mg/L (超 IV 类水质)
面积	5.468	0.992	0.156	0.019	0.002

4.2 资源影响分析

4.2.1 对海洋空间资源影响分析

4.2.1.1 对岸线资源的影响分析

项目 66kV 海底电缆登陆将穿越砂质岸线，穿越岸线总长度为 100.1m，实际穿越岸线宽度为 79.2m。项目对岸线的使用方式为底土穿越，不实际占用岸线。

4.2.1.2 对风能资源的影响分析

项目所在海域风能资源较丰富，适宜开发海上风电项目。项目用海是对该海域风能资源的有效利用，符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，对于满足当地电力负荷需求、促进地区旅游业和带动地方经济快速发展将起到积极作用。

4.2.2 对海洋生物资源的影响分析

风机锚桩占用海域的底栖生物完全被破坏,但由于锚桩占用海域面积很小,占用海域造成的底栖生物几乎可忽略,海缆埋设区域底栖生物遭到部分破坏,部分原有生物可通过迁移方式返回工程区。施工期间产生的悬沙会不同程度影响作业点周围的生物,附近的游泳生物被驱散,浮游动、植物的生长受到影响。采用《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程(SC/T 9110-2007)》进行生态损失量计算。

4.2.2.1 项目建设对底栖生物的影响

工程建设将占用和破坏海洋生物的栖息环境,主要表现在海缆占用海域和海缆开挖作业对底栖生物造成的较大的影响。参照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程(SC/T 9110-2007)》(以下简称《规程》),底栖生物的资源损失按以下公式进行计算:

$$Wi = Di \times Si$$

式中:

Wi 为第 i 种生物资源受损量;

Di 为评估区域内第 i 种生物资源密度;

Si 为第 i 种生物占用的渔业资源水域面积。

根据测量以及海缆施工方案,本项目计算生态损失的海缆主要是登陆段的静态海缆。海上海缆施工机械作业宽度按 5m 计算,影响海域面积约 15hm^2 ,使作业区域的海洋生物丧失。

根据对该海区的春秋两季海洋生物现状调查结果及评价,整个调查区域底栖生物的平均生物量为 $12.09\text{g}/\text{m}^2$ 。

经估算本工程用海造成的底栖的损失量:

海缆造成底栖生物损失量: ****kg

底栖生物按成体生物处理,商品价格按照当地经济贝类市场价格计算(15 元/kg,保守价格),则海缆管沟开挖造成底栖生物直接经济损失额为 ****万元。

当进行生物资源损害赔偿时,应根据补偿年限对直接经济损失总额进行校正。本项目海缆管沟开挖期间的临时占用海域影响是可逆的,资源损害的补偿年限按 3 年计算,则海缆管沟开挖造成底栖生物经济补偿额 ***万元。

4.2.2.2 施工对浮游生物及游泳生物的影响分析

按照《规程》，海底电缆敷设以及系泊系统锚桩打桩过程中在悬浮物扩散范围内对海洋生物产生的持续性损害，按以下公式计算：

$$M_i = W_i \times T$$

$$W_i = \sum_{j=1}^n D_{ij} \times S_i \times K_{ij}$$

式中：

M_i 为第 i 种生物资源累计损害量；

W_i 为第 i 种生物资源一次性平均损失量；

T 为污染物浓度增量影响的持续周期数(以年实际影响天数除以 15)，个；

D_{ij} 为某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源密度；

S_i 为某一污染物第 j 类浓度增量区面积；

K_{ij} 为某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源损失率；

n 为某一污染物浓度增量分区总数。

上述各参数的取值如下：

(1) 污染物浓度增量区面积(S_i)和分区总数(n)

根据水质影响预测结果，表 4.3-1 列出了各分区的面积，本工程施工产生的悬浮物浓度增量分区总数取 4。

表 4.3-1 海缆敷设、锚桩打桩施工产生的悬浮物浓度增量区面积

浓度(mg/L)	10~20	20~50	50~100	≥100
面积(km ²)				
施工产生的悬沙增量区	4.476	0.836	0.137	0.019

(2) 生物资源损失率(K_{ij})

由于悬沙浓度增量小于 10mg/L 对生物影响较小，造成的损失率很小，因此近似认为悬浮泥沙对海生物不产生影响。参照《规程》中的“污染物对各类生物损失率”，近似按超标倍数 $B_i \leq 1$ 倍、 $1 < B_i \leq 4$ 倍及 $4 < B_i \leq 9$ 倍损失率范围的中值确定本工程增量区的各类生物损失率(详见表 4.3-2)。

表 4.3-2 本工程悬浮物对各类生物损失率

分区	浓度增量范围 (mg/L)	超标倍数 (B_i)	各类生物损失率(%)			
			浮游动物	浮游植物	鱼卵和 仔稚鱼	游泳动物

I 区	10~20	$B_i \leq 1$ 倍	5	5	5	1
II 区	20~50	$1 < B_i \leq 4$ 倍	20	20	17	5
III 区	50~100	$4 < B_i \leq 9$ 倍	40	40	40	15
IV 区	≥ 100	$B_i \geq 9$ 倍	≥ 50	≥ 50	≥ 50	≥ 20

(3) 持续周期数(T)和计算区水深

根据项目施工方案,海缆敷设、系泊系统施工工期约为 639 天,算得污染物浓度增量影响的持续周期数为 43,根据工程海域测量资料,项目区所在海域平均水深取 68m。

(4) 生物资源密度(D_{ij})

根据项目区春、秋两季生物现状调查,浮游植物细胞密度平均值为 $250.25 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$,浮游动物生物量平均值为 2.91 mg/m^3 ,鱼卵平均密度为 0.1 粒/m^3 ,仔稚鱼为 0.08 尾/m^3 。游泳动物资源密度平均为 398.73 kg/km^2 。

(5) 悬浮泥沙扩散导致生物损失情况:

浮游植物损失量=***cells

浮游动物损失量

=***kg

鱼卵损失量=***粒

仔鱼损失量=***尾

游泳动物损失量=***kg

(6) 经济损失估算

①鱼卵仔鱼

鱼卵仔鱼经济价值按

$$M = W \times P \times E$$

式中: M 为鱼卵和仔鱼经济损失额, 元;

W 为鱼卵和仔鱼损失量, 个、尾;

P 为鱼卵和仔鱼折算为鱼苗的换算比例, 鱼卵生长到商品鱼苗按 1%成活率计算, 仔鱼生长到商品鱼苗按 5%成活率计算, %;

E 为鱼苗的商品价格, 元/kg, 按市场平均价格计算(0.5 元/尾)。

②成体生物资源

成体生物资源经济价值按

$$M_i = W_i \times E_i$$

式中： M_i 为第*i*种生物成体生物资源经济损失额，元；

W_i 为第*i*种生物成体生物资源损失的资源量，千克(kg)；

E_i 为第*i*种生物成体生物资源的商品价格，元/kg，按市场平均价格计算(30元/kg)。

③直接经济损失

鱼卵直接经济损失=***万元

仔鱼直接经济损失=***万元

游泳生物直接经济损失=***万元

④海洋生物资源损害赔偿额

施工过程中因影响水质造成鱼卵、仔稚鱼及游泳生物的伤害为持续性损害，按3年补偿，则鱼卵、仔稚鱼及游泳生物损害赔偿总额为：***万元。

4.2.2.3 小结

初步估算，系泊锚桩打桩、海缆管沟开挖造成的底栖生物经济补偿额为***万元，悬浮物造成渔业资源损害赔偿额为***万元。

本着损害多少，补偿多少的原则，建议采取人工放流当地生物物种的生态恢复和补偿措施，缓解和减轻工程对所在海域生态环境的不利影响。应在工程结束后由建设单位在工程影响水域投放海洋生物，从而保护海域生态环境的平衡，人工放流应在渔业部门的监督下进行，放流品种以当地优势种为主，放流地点为工程附近的水域。同时，为了解工程实施增殖放流后所达到的效果，应在放流工作实施1年后由建设单位委托相关单位对该海域海洋生物情况进行跟踪监测。

具体人工放流计划应与当地渔业主管部门协商，确认人工放流的时间、地点、投放品种和数量。

4.2.3 对其他海洋资源的影响

项目所在海域风能资源较丰富，适宜开发海上风电项目。项目用海是对该海域风能资源的有效利用，符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，对于满足当地电力负荷需求、促进地区旅游业和带动地方经济快速发展将起到积极作用。此外，项目对滩涂、岛礁、

港口、矿产以及旅游等其他海洋资源基本无影响。

4.3 生态影响分析

4.3.1 水动力影响分析

(1)项目附近海区为弱潮海区，潮流动力较弱，风机浮体所在海域的涨急最大流速在 10cm/s 左右，落急最大流速在 15cm/s 左右，涨潮时由东北向西南方向，落潮时由西南往东北方向。

(2)近岸区部分岬角处流速略有增大，存在一定的挑流作用，如大洲岛的西北角、大花角以东海域最大落急流速可达到 35cm/s 左右，但流速较大的范围较小，只局限在岬角附近的局部小范围内。

总体来说，项目所在海域的潮流动力较弱，大潮期最大涨急落急流速小于 20cm/s。

(3)项目附近海区为弱潮海区，潮流动力较弱，风机浮体所在海域的涨急最大流速在 10cm/s 左右，落急最大流速在 15cm/s 左右，涨潮时由东北向西南方向，落潮时由西南往东北方向。

(4)近岸区部分岬角处流速略有增大，存在一定的挑流作用，如大洲岛的西北角、大花角以东海域最大落急流速可达到 35cm/s 左右，但流速较大的范围较小，只局限在岬角附近的局部小范围内。

总体来说，项目所在海域的潮流动力较弱，大潮期最大涨急落急流速小于 20cm/s。

4.3.2 水质环境影响分析

泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流输运作用影响，因此泥沙的扩散方向与潮流的方向相同。项目施工过程中引起的悬浮泥沙对水质的影响较小，除了近岸区的 4 个源点引起的悬浮泥沙扩散范围顺潮流方向延伸的距离约为 1.9km，其它源点引起的悬沙扩散范围顺潮流方向的延伸距离都小于 1km。因此，近岸区的影响较大，而风机所在海区的影响较小。

4.3.3 沉积物影响分析

项目调查海域内各站位表层沉积物各监测因子均符合第一类海洋沉积物质量标准。项目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(>10mg/L)范围一般在半径在 100m 内。

项目海底电缆分区敷设。浅水区域采用两栖挖掘机乘退潮露滩时机挖沟，挖沟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。深水区域采用射水挖沟犁高压射水挖沟，开沟犁和高压水产生的悬浮沙将沉降覆盖在海底电缆两侧，使原海底沉积物受到一定程度的覆盖和破坏。项目海底电缆敷设过程中只对海底局部沉积物产生部分分选、位移、重组和松动，并没有混入其它污染物，不会对沉积物性质产生明显影响。

4.3.4 生态环境影响分析

4.3.4.1 施工期生态影响分析

对生态环境的直接影响包括生态系统服务功能的破坏和水动力条件的改变两个方面，其中项目建设引起的水动力条件的改变已在环境影响章节做了详细论述，生态系统服务功能的破坏主要表现在：

（1）风机锚桩和电缆敷设对海洋生物的影响对海洋生物的影响

风机系泊系统锚桩安装将产生悬浮泥沙，另外电缆敷设过程中引起局部海域悬浮物浓度提高，悬浮的泥沙颗粒物对鱼类会造成一定的影响，尤其是对于鱼卵、仔幼个体，仔幼体对悬浮物浓度的忍受限度比成体低很多。电缆敷设过程引起的悬浮物影响范围相对较小。

电缆沟敷设过程中的开挖、填埋作业都将对海洋底栖环境造成破坏，使底栖生物丧失。风机锚桩等永久设施占地周围区的底栖生物的生境遭到永久的破坏。

（2）噪声对海洋生物的影响

本工程施工噪声源主要包括以下两类：

1) 施工机械

施工现场的各类机械设备包括液压起重机、挖掘机、电气接线埋设噪声等，这类机械工程噪声是主要的海上施工噪声源。

风机安装过程中吊装、焊接等产生的噪声，系泊系统锚桩安装过程也是本项目施工期间典型主要强噪声来源。

2) 运输船只

施工设备、材料等运输将动用大量运输船只，这些运输船的频繁行驶经过和施工将对施工海域产生较大干扰噪声。船舶噪声包括机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声，其中机械噪声和螺旋桨噪声为主要噪声源。船舶机械噪声是船上各种机械振动通

过基座传递引起船壳振动并辐射至水下产生的噪声，其来源包括机械运动不平衡产生的噪声、机械碰撞噪声以及轴承噪声等。机械噪声与船速的关联度较低，在低速情况下，螺旋桨噪声和水动力噪声的强度相对较小，船舶噪声主要为机械噪声。在高速情况下，螺旋桨噪声成为船舶噪声的主要成分。螺旋桨噪声的来源包括螺旋桨叶片振动以及螺旋桨空化。

本工程系泊系统施工时，桩径 3m 的锚桩在离桩基 66m 处，产生的水下噪声将达到 180 dB，对鲸豚类海洋生物造成直接伤害，因此应确立 66 m 范围内为危险区域，在 1520m 范围内为警告区域（噪声干扰海洋生物行为等）。

PFS 风机锚桩施工对石首鱼科等渔业资源将产生一定的影响。由于石首科鱼类对声音特别敏感，因此打桩施工将对这些鱼类产生较大的影响。在离桩基 1520m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 150 dB，长时间暴露于此噪声下可能会使得石首鱼科幼鱼听力受到损害，受到致死致伤的影响。因此，有石首科鱼类存在、产卵及洄游期应该暂停打桩作业。当施工海域有石首鱼科的仔鱼和产卵场时，本报告以 150 dB 作为影响石首鱼科类的噪声阈值，应确立在离桩基 1520m 的距离范围外为安全距离。

4.3.4.2 运营期生态影响分析

风力发电是可再生能源，其生产过程主要是利用当地自然风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程，不排放任何有害气体，属于清洁能源。根据本工程的实际情况，本工程运营期可能对周围海洋环境产生影响的主要污染因子为风机噪声以及电磁辐射干扰等。

（1）运营期噪声对海洋生物的影响

运营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、风机基础平台等不同路径传入水中而产生了水下噪声。

本工程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（120 Hz~1.5 kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20 dB/1 μ Pa，总体噪声谱级都在 120 dB/1 μ Pa 以下，已和海洋背景噪声相当。因此，运营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。

（2）电磁环境对海洋生物的影响

本工程万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程（PFS-1）拟安装 12 台单机容量为 16MW~18MW 的风力发电机组，所产生的磁场强度远小于评价标准的要求(工频

磁感应强度 $\leq 100 \mu\text{T}$ ，《电磁环境控制限值》(GB8702-2014))，不会对工程附近海域是海洋生物产生影响。

根据类比监测结果，本工程海底电缆所产生的电场强度、磁场强度最大值分别为 $5.034 \times 10^{-3} \text{kV/m}$ 、 $0.307 \mu\text{T}$ ，均远低于《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)规定的工频电场强度 4kV/m 、工频磁感应强度 $100 \mu\text{T}$ 的标准限值，且工频电场、磁场强度随着距离的增加基本呈衰减趋势，由于本工程海缆之间距离相对较远，工频电场、磁场强度之间的叠加影响基本可忽略。

据本项目引用的厦门大学的实验室模拟实验，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）基本上没有影响。另外根据国内外现有电磁场对海洋鱼类的影响研究资料分析，风电场运行期期间，海底电缆经保护层及沉积物屏蔽后，产生的工频电磁场不会改变鱼类的洄游路线及洄游形式。

5 海域开发利用协调分析

5.1 海域开发利用现状

5.1.1 社会经济概况

5.1.1.1 社会环境概况

万宁市域总面积为 4443.6 平方公里，其中陆地面积 1883.5 平方公里，海域面积 2550.1 平方公里，万宁市海岸线近 200 公里。万宁市土地面积中，山地约占一半，丘陵和平原各占四分之一。现辖 12 个镇（含农垦改革后新设立 5 个居）、1 个国营林场、1 个华侨旅游经济区，共有 207 个行政村（社区），全市总人口约 64 万。万宁市人民政府驻地为万城镇。2021 年末全市户籍总人口 624936 人。按地区分，城镇人口 308261 人，乡村人口 316675 人。按性别分，男性 330985 人，女性 293851 人。2021 年全市常住人口 55.30 万人。按地区划分，城镇常住人口 23.46 万人，乡村常住人口 31.84 万人。

5.1.1.2 经济环境概况

① 总体情况

根据万宁市统计局发布的《万宁市 2021 年国民经济和社会发展统计公报》，2021 年全市地区生产总值（GDP）276.03 亿元，按可比价格计算（下同），同比增长 11.6%。其中，第一产业增加值 81.04 亿元，同比增长 4.3%；第二产业增加值 66.59 亿元，同比增长 27.4%，其中，工业增加值 20.50 亿元，同比增长 41.4%，建筑业增加值 46.08 亿元，同比增长 22.5%；第三产业增加值 128.41 亿元，同比增长 9.4%。三次产业结构为 29.4:24.1:46.5。全年全市城镇新增就业岗位 5903 人，城镇登记失业率 2.04% 以内。开发公益性岗位 22 个（目前在岗公益岗保洁员还有 907 人，其中脱贫户 767 人，边缘户 140 人），农村劳动力转移 5096 人。乡村振兴帮扶人口人均可支配收入 14400.63 元，比上年同比增长 24.05%。全年支出财政衔接推进乡村振兴补助资金 20604.7 万元，2021 年底支出进度达 96.42%。

② 农林牧渔业

2021 年全年全市农林牧渔业增加值（现价）82.91 亿元，比上年增长（可比价）4.6%。年末农业机械总动力 54.76 万千瓦，比上年末增长 8.31%。全年农村用电量 1.752 亿千瓦时，比上年末增长 2.14%。农用化肥施用量（折纯）2.77 万吨，比上年下降 5.3%。农田水利有效灌溉面积 17.90 万亩，比上年下降 0.57%。

③工业和建筑业

2021 年全市工业增加值（现价）20.5 亿元，按可比价格计算，同比增长 41.4%。其中规模以上工业增加值同比增长 58.1%。全年全市建筑业增加值（现价）46.08 亿元，按可比价格计算，同比增长 22.5%。

④房地产业

2021 年全市房地产业增加值 27.23 亿元，按可比价格计算，同比增长 14.2%。房地产房屋施工面积 380.07 万平方米，比上年增长 15.94%。累计商品房销售面积 28.41 万平方米，同比增长 116.3%。商品房销售总额 44.56 亿元，同比增长 77.8%。

⑤批发零售业和住宿餐饮业

2021 年全市批发和零售业增加值 21.5 亿元，按可比价格计算（下同），同比增长 15.9%；住宿和餐饮业增加值 15.69 亿元，同比增长 16.6%。社会消费品零售总额 99.42 亿元，同比增长 16.1%。

⑥交通运输邮电业及金融业

2021 年全市交通运输、仓储和邮政业增加值 5.35 亿元，按可比价格计算，同比增长 15.7%。邮电业务总量 22449 万元（不含中国移动），同比增长 7.1%。全年全市金融业完成增加值 11.86 亿元，按可比价格计算，同比下降 2.8%。

⑦固定资产投资及对外经济

2021 年全市固定资产投资在库项目 255 个，其中房地产项目 60 个，非房地产项目 195 个。全市固定资产投资同比增长 16.6%，高于全省平均水平 6.4 个百分点，高于年初预期目标 6.6 个百分点。从投资结构来看，房地产开发投资同比增长 9.5%；非房地产开发投资同比增长 22.7%。非房地产投资占比由 2020 年的 54.4%提高至 57.2%，投资结构优化明显。2021 年全市对外贸易进出口总额 3994.7 万美元，比上年增长 132.2%。

⑧财政及居民收入

2021 年地方一般公共预算收入 15.67 亿元，同口径增长 2.1%。地方一般公共预算支出 50.09 亿元，同比下降 18.3%。2021 年城乡常住居民人均可支配收入 27988 元，比上年同期增加 2028 元，同比增长 7.8%。

⑨旅游、资源与环境

2021 年全市接待游客总数 709.59 万人次，同口径同比增长 107.69%；全市实现旅游总收入 53.42 亿元，同口径同比增长 80.64%。2021 年全年造林绿化面积 243.98

公顷，森林覆盖率 66.7%。2021 年全年全市环境空气质量指数（AQI）日平均范围为 15 至 149，优良天数比例为 98.9%。未出现中度污染及以下的环境空气污染状况。

5.1.2 海域使用现状

项目组对场址及登陆点周边进行了现场踏勘，结合遥感影像、海图以及业主提供的资料，了解了项目路由及风电场区域附近海域开发利用活动主要有航路航道、旅游娱乐用海、特殊用海、交通运输用海和养殖区等，项目与周边海域开发利用现状位置关系如下。

表 5.1.2-1 项目附近海域开发利用现状一览表

序号	开发利用现状	相对位置及最近距离
1	养殖区	送出海缆西南侧，13km
2	海南省海洋灾害预警应急体系建设-海洋站验潮室建设项目（万宁港北港验潮室）	送出海缆西南侧，12.8km
3	海南省万宁市小海流域水环境综合治理纳潮活海工程（港北口门拓宽）	送出海缆西南侧，13.2km
4	万宁市龙舟赛观众看台及配套栈桥工程	送出海缆西南侧，12.6km
5	万宁市港北大桥工程项目	送出海缆西南侧，12.3km

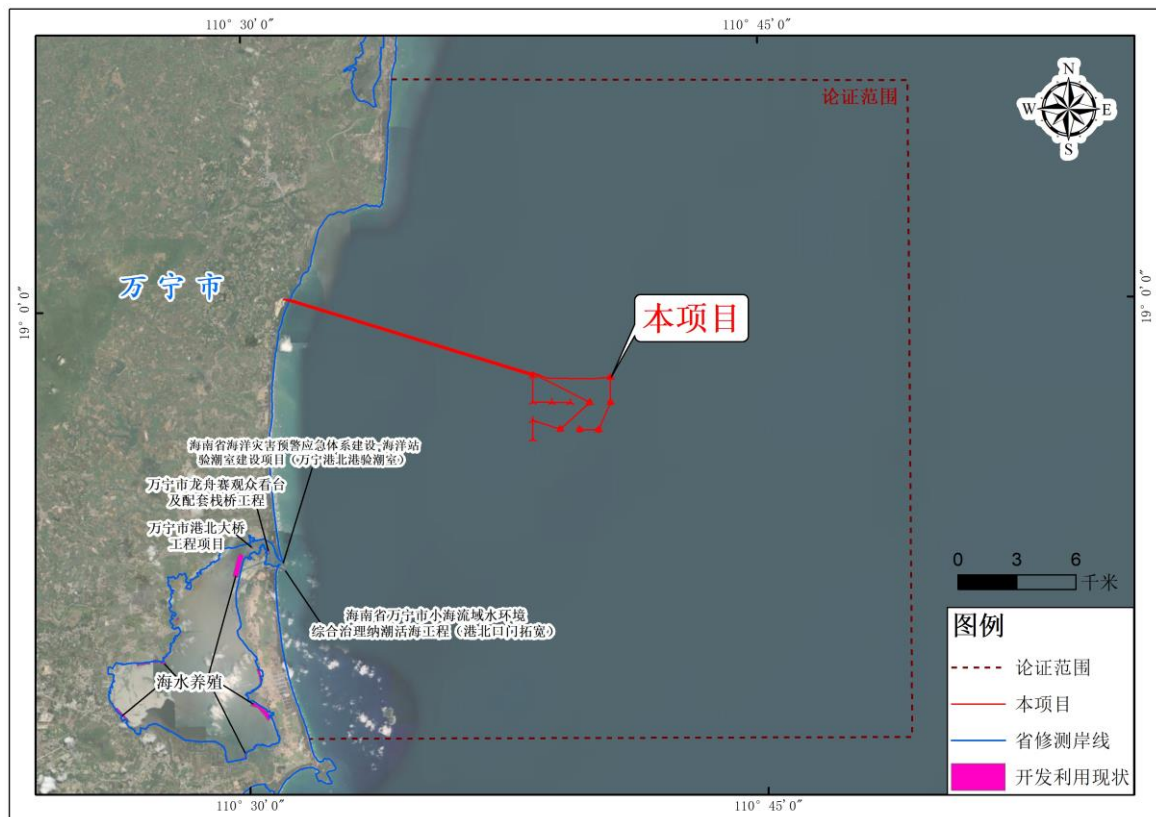


图 5.1.2-1 项目附近海域开发利用现状图

5.1.2.1 旅游娱乐用海

万宁市龙舟赛观众看台及配套栈桥工程用海类型为旅游基础设施用海，距离本项目约 12.6km，用海方式为透水构筑物，项目宗海面积为 2.3999hm²。

5.1.2.2 特殊用海

海南省海洋灾害预警应急体系建设—海洋站验潮室建设项目（万宁港北验潮室）用海类型为科研教学用海，距离本项目约 12.8km，用海方式为透水构筑物，项目宗海面积为 0.1061hm²。

海南省万宁市小海流域水环境综合治理纳潮活海工程（港北口门拓宽）用海类型为海岸防护工程用海，距离本项目 13.2km，用海方式为非透水构筑物，项目宗海面积为 3.9400hm²。

5.1.2.3 交通运输用海

本项目周边交通运输用海为万宁市港北大桥工程项目，距离本项目约 12.3km，用海类型为交通运输用海，用海方式为跨海桥梁、海底隧道等，项目宗海面积为 1.4473hm²。

5.1.3 海域使用权属

项目路由及风电场区域附近海域开发利用活动主要有旅游娱乐用海、特殊用海、交通运输用海和养殖区等，均已确权。

5.2 项目用海对海域开发活动的影响

根据《海南沿海航道规划（2016～2030）》以及海南省航道布局规划等，项目海区附近的航路主要是环岛沿海航路、环岛运输小船航路。项目海底电缆路由于环岛沿海航路、环岛运输小船航路交越。根据交通运输部水运科学研究院 2022 年 6 月编制的《海南海上风电项目场址 PFS 通航安全影响分析报告》分析结果，船舶 AIS 航迹显示，船舶在通过该海域时并未严格按照规划航路航行，多数船舶选择自由航行，穿越了风电场场址，由此项目风电场的建设将对这些规划习惯航路产生影响，对附近水域通航环境产生一定影响。

因此，建议建设单位向海事主管部门申请发布航行通（警）告，在风电场建设及营运期间，按照相关规范标准做好导助航设施配布工作，严禁除本工程施工维护船以外的其他船舶穿越风电场区水域。针对对外公布的习惯航路，做好沿海规划航路和习惯航路的普及工作，督促船舶按照航路行驶，与风电场保持距离。同时建议工程施工

后设置管线标助航标志，提示过往船舶在管线区域禁止抛锚，避免挂缆等水上事故的发生，以保障缆线的安全。

工程附近水域存在渔船出海穿行捕鱼行为频繁，渔汛期间，部分渔船在本工程风电场附近进行捕捞作业。此外，仍有大量渔船并未配备 AIS，对于这部分渔船，难以监督其是否遵守水上交通安全管理规定。尤其在捕鱼及养殖旺季，大量渔船活动于优化场址附近水域，容易诱发水上交通事故，对本工程的施工及营运均构成威胁。

但同时，项目建设后，风场场址和海缆保护范围内禁止渔业底拖捕捞、张网、养殖作业等，由于风机桩的分割造成渔业捕捞面积缩小，使得该海域从事渔业捕捞生产的渔民的捕捞空间减少，在一定程度上降低了渔业捕捞量，从而引起经济收入下降，对渔民的生活产生一定影响。

因此，建设单位积极争取渔业管理部门和渔业生产单位的配合，加大对渔船的宣传力度，确保渔业生产不会对风电工程的建设、运营造成影响。本工程施工期间应设置相应的警示标志，竣工后还应对本工程设置禁航区，禁止其他船舶进入，警示过往船舶，加强风电场水域管理。

5.3 利益相关者界定

利益相关者是指受到项目用海影响而产生直接利益关系的单位和个人，界定的利益相关者应该是与用海项目存在直接利害关系的个人、企事业单位或其他组织或团体。

根据项目用海对所在海域开发活动的影响分析结果，本项目涉及的利益相关者为****，同时需要与****、****等相关涉海部门加强沟通与协调。

5.4 相关利益协调分析

建议项目申请单位通过当地政府和村民委员会进行沟通，加大对渔船渔民的宣传力度，让当地的渔民了解项目建设的位置、内容、规模及其项目建设的重要意义，应对受影响的渔民可以优先提供就业机会，参与项目建设，支持渔民转产转业。同时在地政府的协调下，通过沟通取得渔民对项目的理解和支持，以确保社会的稳定和项目顺利落地。

5.5 项目用海与国防安全 and 国家海洋权益的协调性分析

项目所在海域及附近海域无国防、军事设施和场地，项目建设、生产经营不会对国防产生不利影响。因此，项目用海不涉及国防安全问题。

根据《中华人民共和国海域使用管理法》规定，海域属于国家所有，任何单位及个人使用海域，必须向海洋行政主管部门（自然资源主管部门）提出申请，获得海域使用权后，依法按规定缴纳海域使用金，确保国家作为海域所有权者的利益。在严格按照上述相关事项之后，对国家海洋权益无碍。

6 国土空间规划符合性分析

6.1 所在海域国土空间规划分区基本情况

6.1.1 海洋空间功能布局

《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》提出：“加强陆海空间协同，服务海洋强省建设。坚持陆海统筹，发展海洋经济，建设海洋强省。提高海洋资源开发保护水平。科学谋划海洋开发，实现可持续开发利用，构建陆海统筹、人海和谐的海洋空间保护开发格局。”

“构建‘两空间内部一红线’近岸海域总体布局，对近岸海域开发保护功能进行引导。‘两空间’包括海洋生态空间和海洋开发利用空间，‘一红线’为海洋生态保护红线。构建‘陆海相辅相成、协同有序’的海岸带开发利用格局，优化空间功能布局，节约集约利用浅海近岸，有序开拓利用深水远岸，推动形成沿海区域发展新局面。”

海洋生态空间：在近岸海域将“双评价”中生态保护“极重要”的区域、部分生态保护“重要”但无矛盾冲突的区域划入海洋生态空间。海洋生态空间重点恢复海洋典型生态系统，加大重要海洋生物资源及其栖息地保护力度。

海洋开发利用空间：在近岸海域依据海洋开发利用现状和适宜性，衔接海洋发展战略，划定海洋开发利用空间。海洋开发利用空间允许集中开展海洋渔业、海洋交通运输业、海洋工矿通信业、海洋旅游业等活动。

海洋生态保护红线：在海洋生态空间内，将 863 平方千米（129.45 万亩）海域自然保护地全部纳入生态保护红线，在此基础上，将“双评价”中生态保护“极重要”的区域、部分生态保护“重要”但无矛盾冲突的区域，以及目前虽不能确定但具有潜在生态价值的区域划入海洋生态保护红线。海洋生态保护红线重点保护红树林、珊瑚礁、海草床、重要河口、重要滩涂及浅海水域、特别保护海岛、重要渔业资源产卵场、海岸物理防护极重要区、海岸侵蚀极脆弱区。

项目位于海洋空间功能布局中的海洋开发利用空间和海洋生态保护红线。

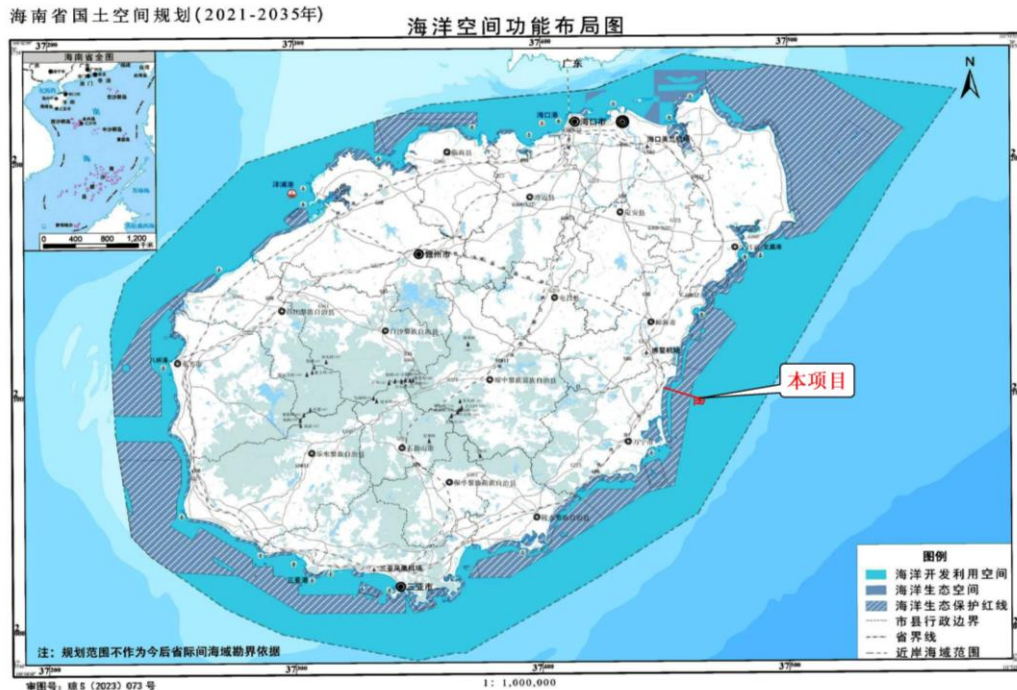


图 6.1.1-1 项目与《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》海洋空间功能布局图叠图

6.1.2 海岸带保护利用功能分类

根据海南省近岸海域及相邻陆域的资源特点、环境状况和地理区位，统筹岸段两侧开发利用现状和社会经济发展需要，划定严格保护、限制开发和优化利用 3 类功能岸线。

严格保护岸线：将自然形态保持完好、生态功能与资源价值显著的自然岸线划定为严格保护岸线。主要包括自然保护区核心保护区、生态保护红线海岸防护极重要区所在岸线。严格保护岸线按照生态保护红线有关要求进行管理，确保生态功能不降低、长度不减少、性质不改变。

限制开发岸线：将自然形态保持基本完整、生态功能与资源价值较好、开发利用程度较低的岸线划定为限制开发岸线。限制开发岸线严格控制改变海岸自然形态和影响生态功能的活动，适度发展旅游、休闲渔业等产业，严格海域使用审批。

优化利用岸线：将集约利用人工化程度较高、海岸防护与开发利用条件较好的岸线划定为优化利用岸线。主要包括港口工业岸线、城镇生活岸线、渔业发展岸线和旅游娱乐岸线等。优化利用岸线为沿海地区产业集聚、产业升级和产城融合提供空间，要统筹规划、集中布局确需占用海岸线的建设项目，推动海域资源利用方式向绿色化、生态化转变。

项目 66kV 海缆登陆段穿越砂质岸线，属于海岸带保护利用功能分类中的严格保

护岸线。

海南省国土空间规划(2021-2035年)

海岸带保护利用规划图

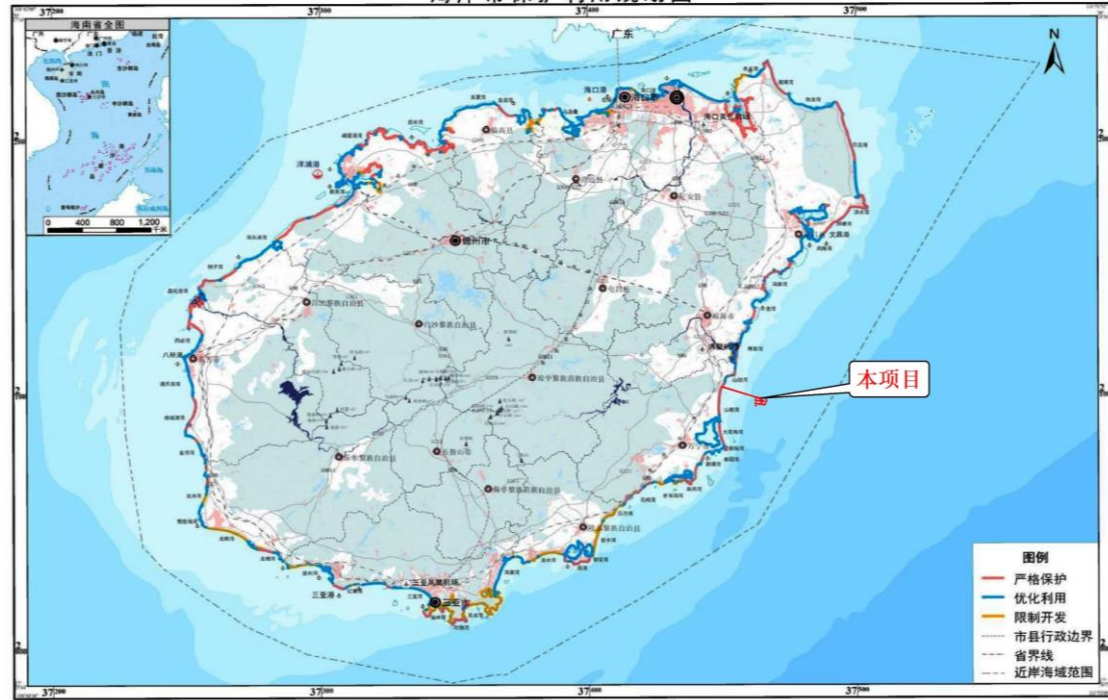


图 6.1.2-1 项目与《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》海岸带保护利用规划图叠图



图 6.1.2-2 项目与生态保护修复重大工程布局图叠图（海岸带）叠图

6.1.3 生态保护与修复

项目位于生态保护修复重大工程布局图中的海岸线生态系统修复重点项目区域，项目建设对海岸线生态系统无影响。

统筹陆海生态保护与修复。保护海岸带生态廊道，依据海岸带生态系统演化和生物活动规律，识别典型物种的传播、迁移路径，维护水系畅通、绿带绵延、生态功能完整，确保自然保护地之间的连通性。保护好野生动物繁殖、育幼和觅食区域，加强对迁徙鸟类经停的河口、湿地、海岛，以及鱼类等洄游途经的海域、水域的保护。通过恢复原有水系、绿化岸滩等方式，提升生态廊道的连通功能，防止生态空间破碎化。水利、道路等基础设施建设应避免影响生态廊道畅通。保护中华白海豚、中华鲎、海龟、白蝶贝、尖鳍鲤、花鳗鲡等珍稀濒危物种，对于自然种群数量少、生存繁衍能力弱的物种，坚持就地保护。加强陆海交互区域综合整治修复，在市县国土空间规划中划定河口、潟湖、半封闭海湾等海岸带生态敏感区的范围，保护和恢复其生态功能。

6.2 对周边海域国土空间规划分区的影响分析

根据《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》海洋空间功能布局，项目部分送出海缆穿越了生态保护红线。根据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号），送出电缆属于“对生态功能不造成破坏的有限人为活动”中的第 6 项，即：“6.必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施、通讯和防洪、供水设施建设和船舶航行、航道疏浚清淤等活动；已有的合法水利、交通运输等设施运行维护改造”。

项目海底电缆铺设于海底，送出海缆登陆段的海岸为砂质沙滩，登陆段施工采用定向钻的施工方式，该施工方式地底穿过岸线，无需开挖，对沙滩基本无影响，不影响自然岸线形态及原有生态功能。项目海上施工期间会产生一定量的生活污水，项目施工船舶设置有生活污水和含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理能力的单位接收后统一处理。因此，项目建设期间施工船舶将污水收集统一处理后基本不会对水质环境造成影响。项目营运期运维会产生少量生活污水，由运维船舶收集后运至陆域集中处理，不会对所在国土空间内海域水质环境造成影响。

施工期间产生的悬沙只在工程施工过程中产生，工程结束后，悬浮泥沙的影响将会消失。项目施工期间产生的悬浮物对渔业资源的影响拟通过增殖放流以补偿并恢复海洋生物资源。

6.3 项目用海与国土空间规划的符合性分析

项目位于海洋空间功能布局中的海洋开发利用空间和，根据《规划》，“海洋开发利用空间：在近岸海域依据海洋开发利用现状和适宜性，衔接海洋发展战略，划定海

洋开发利用空间。海洋开发利用空间允许集中开展海洋渔业、海洋交通运输业、海洋工矿通信业、海洋旅游业等活动。”项目海域使用类型为工矿通信用海，项目建设符合《海南省国土空间规划（2021-2035年）》中海洋开发利用空间的管控要求。

项目 66kV 海缆登陆段穿越砂质岸线，属于海岸带保护利用功能分类中的严格保护岸线，登陆段施工采用定向钻的施工方式，该施工方式地底穿过岸线，无需开挖，对沙滩基本无影响，不影响严格保护岸线的自然岸线形态及原有生态功能。

项目送出海缆穿越博鳌-港北海岸防护物理防护极重要区和海南岛东南部重要渔业资源产卵场，海缆登陆段穿越砂质岸线，属于海岸带保护利用功能分类中的严格保护岸线，登陆段施工采用定向钻的施工方式，该施工方式地底穿过岸线，无需开挖，对沙滩基本无影响，不影响严格保护岸线的自然岸线形态及原有生态功能。

综上，项目建设与《海南省国土空间规划（2021-2035年）》是相符的。

程。积极发展海上风电，在东方、万宁、文昌、乐东、儋州、临高等海域建设海上风电项目。优化电力生产和输送通道布局，构建 500 千伏主网架，适时新建海口东、西部、三亚、琼海、儋州等 500 千伏变电站，逐步形成环岛 500 千伏“日”字型双环网目标网架结构；优化 220 千伏输电网，逐步解环分层分区运行，形成 220 千伏变电站“手拉手”互联格局。

专栏十二：“十四五”期间电网基础设施建设重点任务

电源：建成昌江核电（3#、4#机组）、昌江小堆。建成万宁气电、洋浦热电、海口气电、三亚西气电等项目。建成迈湾和天角潭水电站，建设光伏、海上风电、生物质发电项目。

电网：新建海口东、西部、三亚、琼海、儋州等 500 千伏变电站，构建环岛 500 千伏主网；新建（改扩建）碧海、藤桥等 220 千伏变电站；新建（改扩建）110 千伏变电站、35 千伏变电站，完善高压配电网。

智能电网综合示范项目：在海口江东现代服务业示范区、博鳌乐城、三亚中央商务区、琼海博鳌等地区建设智能电网综合示范项目。

图 6.3-1 引自《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》

6.4 项目用海与生态保护红线的符合性分析

6.4.1 项目所在及周边海域生态保护红线

2022 年 10 月,《自然资源部办公厅关于北京等省(区、市)启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》发布,标志着“三区三线”正式启用。海南省人民政府于 2016 年 9 月 1 日实施了《海南省生态保护红线管理规定》(以下简称《规定》),并于 2022 年 5 月 31 日海南省第六届人民代表大会常务委员会第三十六次会议修正,自公布之日起施行。为了进一步贯彻落实习近平生态文明思想和习近平总书记视察海南时的重要讲话和批示指示精神,结合近年来中共中央办公厅、国务院办公厅陆续出台的一系列关于生态保护红线的政策文件精神,《规定》中关于生态保护红线的概念内涵、划定范围、划定程序、调整情形及管控要求等方面的内容及作出修改,以便更好地为当前生态保护红线管理工作提供法治保障。

生态保护红线,是指在生态空间范围内具有特殊重要生态功能、应当强制性严格保护的区域。生态保护红线划分为自然保护地核心保护区和其他区域。自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动,经依法批准的科学研究观测、调查监测、生态修复等法律、法规和国家有关规定允许的活动除外。其他区域严格禁止开发、生产性建设活动,除国家重大战略项目外,仅允许对生态功能不造成破坏的下列人为活动。

根据海南省“三区三线”数据,项目 66kV 送出海缆穿越了博鳌-港北海岸防护物理防护极重要区和海南岛东南部重要渔业资源产卵场。

表 6.4.1-1 项目与所在及周边海域生态保护红线相对位置关系

序号	生态保护红线	管控类型	红线类型	与项目最近距离、相对位置
1	海南岛东南部重要渔业资源产卵场	自然保护地以外区域	重要渔业资源产卵场	送出海缆穿越
2	博鳌-港北海岸防护物理防护极重要区	自然保护地以外区域	海岸防护物理防护极重要区	送出海缆穿越
3	英豪半岛海岸侵蚀极脆弱区	自然保护地以外区域	海岸侵蚀极脆弱区	项目南侧, 11.1km
4	小海重要滩涂及浅海水域	自然保护地以外区域	重要滩涂及浅海水域	项目南侧, 12.6km
5	博鳌海岸防护物理防护极重要区	自然保护地以外区域	海岸防护物理防护极重要区	项目北侧, 10.9km

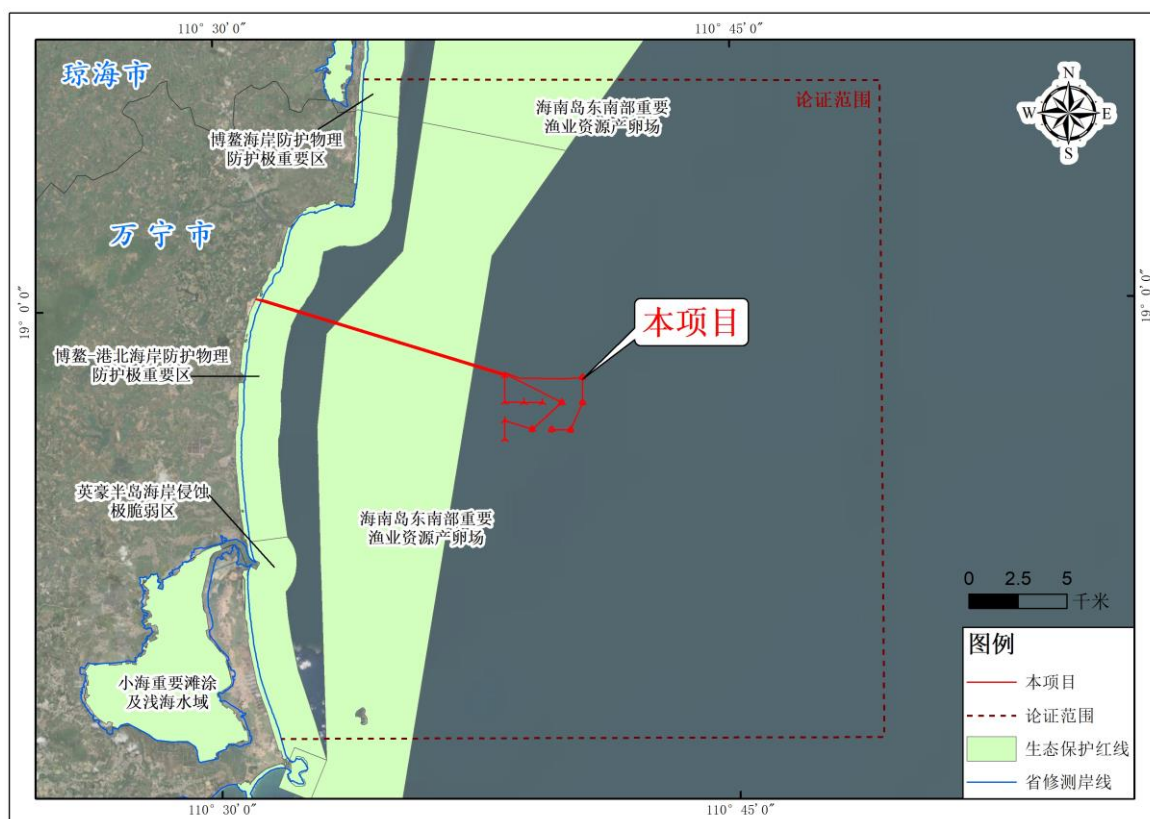


图 6.4.1-1 项目所在海域及周边海域生态保护红线区分布示意图

6.4.2 项目用海对海洋生态红线的影响分析

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

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

6.4.3 项目用海与海洋生态红线的符合性分析

根据海南省“三区三线”数据，项目 66kV 送出海缆穿越了博鳌-港北海岸防护物理防护极重要区和海南岛东南部重要渔业资源产卵场。

项目建设产生的悬浮泥沙会随潮流扩散至生态保护红线，但影响是暂时的，随着施工的结束悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减背景浓度值，在施工结束后不会影响生态红线区功能。项目送出电缆工程属于“必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施”，即“自然资发〔2022〕142 号”文中提出的“对生态功能不造成破坏的有限人为活动”中的第 6 项，即：“6.必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施、通讯和防洪、供水设施建设和船舶航行、航道疏浚清淤等活动；已有的合法水利、交通运输等设施运行维护改造”，且对生态红线的影响在可控、可接受范围。项目应取得海南省人民政府出具的海底电缆穿越生态保护红线有限人为活动认定意见后方可开工建设。

因此，项目建设符合生态保护红线管理要求。

7 项目用海合理性

7.1 用海选址合理性分析

7.1.1 项目所在区域的社会条件适宜性分析

(1) 地区经济、电力条件

海南省定位自由贸易岛，随着自由贸易岛的建设深入，其电力负荷越来越大，本工程的开发建设可以在一定程度上缓解当地电网供电，有助于改善电网的电源结构，推动当地经济发展和自由贸易岛建设。

(2) 电网条件

PFS 场址拟分两期开发建设。其中一期工程 PFS-1 装机容量 20 万 kW，通过 3 回 66kV 海缆敷设上岸后通过 66kV 陆缆接至陆上升压站。PFS-1 及 PFS-2 合建 1 座陆上升压站，本工程陆上升压站一期（即 PFS-1 部分）拟以 1 回 220kV 线路接至 220kV 红石变。结合海南电网结构，目前推荐风电场以 220kV 电压等级接入电网。若后期海上风电发展规模较大，海南省 500kV 环网建设完毕，可考虑建设 500kV 汇集站，将升压站以 220kV 线路转接至 500kV 汇集站后通过 500kV 线路接入海南电网 500kV 系统。本工程的建设对电网影响较小，风电场所发电量完全能够被电网就近消纳。

(3) 交通运输条件

本工程建设所需的大型钢结构和主机设备可在福建、广东、广西等沿海建造基地加工制作和采购，通过拖航浮运至工程现场，途径的海南岛沿岸各个港口可以作为中转、补给站或临时避风港。常规建筑材料计划在万宁市就近采购，这些材料直接通过陆路运输至陆上施工现场。

(4) 施工条件

本风电场位于海南省万宁市东部海域。施工条件较为优越，因此，大大降低了工程的施工难度和投资成本。因此，项目选址区位和社会条件能满足项目建设和营运要求。

7.1.2 选址区域的环境条件适宜性分析

(1) 工程地质条件适宜性分析

根据工程区域的地质勘查结果，项目海区海底地形开阔平坦，覆盖层较厚，暂未

发现活动性断层、大型海底滑坡等因素。场址区域及周边区域一般不存在大的不良地质体，其不良物理地质作用主要为粉土(砂土)的液化、场址局部存在礁灰岩以及埋藏较深的活断层和埋藏古河道。由于海底地形和洋流的活动较复杂，浅表部受海潮的影响常有一定的变化，应注意海底移动沙坡、埋藏古河道、浅层气和基岩埋深变化对工程建设的影响。

根据《中国地震动参区划图》(GB18306-2015)，在 II 类场地条件下基本地震动峰值加速度为 0.05g，相应抗震设防烈度为 VI 度。拟建场区场地类别为 III 类，调整后基本地震动峰值加速度为 0.065g，参考《水电工程区域构造稳定性勘察规程》(NBT35098-2017)相关要求，拟建工程区区域构造稳定性较好。

风力发电机组为高耸构筑物，具重心高、对沉降要求敏感的特点。本工程场区地表土层厚度较大，故场区风力发电机组不宜采用天然地基。本工程场地水深较大，风力发电机组适宜采用半潜式漂浮基础。

(2) 水动力条件适宜性分析

根据工程区外海流速较小，根据工程海域 2022 年水文观测实测资料显示，大潮期间各站表层最大实测海流为 68.1cm/s，中潮期间各站表层最大实测海流为 68.8cm/s，小潮期间各站表层最大实测海流为 63.9cm/s，流速随水深增加而减小，呈上层流速大，下层流速小，不过梯度变化不大。流向随潮位涨落规律不明显。

根据乌场临时测波站 2011 年 9 月的观测结果，大潮期观测波列波向为 SSE、S 和 SW 向，均为混合浪。SSE 向浪出现频率较多，为 57.14%，波高在 0.5~1.5m 之间，其次为 SW 向浪，出现频率为 28.57%，波高在 0.5~1.5m 之间。中潮期观测波列波向为 E 和 SW 向，亦为混合浪。E 向浪出现频率较多，为 54.34%，波高在 0.5~1.5m 之间，小部分出现于 1.5~3m 之间。小潮期观测波列波向为 SW 和 S 向，均为涌浪。SW 向浪出现频率较多，为 71.42%，波高在 0.5~1.5m 之间，其次为 S 向浪，出现频率为 28.58%，波高亦在 0.5~1.5m 之间。项目海区大浪都是由热带气旋引起，项目海区面向东南，正好是热带气旋袭击方向，因此很容易引起强浪。

本项目可研阶段风机基础结构安全性、经济性以及施工可行性方面已充分考虑水文动力环境的影响，本项目选址与水动力条件是适宜的。

(3) 地形地貌与冲淤条件适宜性分析

项目所在海区近岸段地形较陡，海底地形相对平坦。场区水深约 60-75m，位于

外陆架堆积平原，南部场址位于一个长 35km，宽约 8km 的水下洼地。项目海区海域整体来说地形条件较好，总体地形特点为水深缓慢向东南方向逐渐增大。

综合海域水动力条件可知，波浪和潮流作用下的泥沙运动动力条件较弱。沿岸沙滩并不发育，由于岬角的阻断，波浪沿岸输沙作用不显著。海岸附近没有大的河流注入，河流来沙很少，岸滩整体稳定，在冬季偏北向风浪作用下，略有冲蚀，但冲淤变化很小，海床及岸线长期以来一直维持稳定的状态。适宜进行本项目工程建设。

（4）风能资源

根据可研报告，本风电场以 S 向风向风能频率最大，风电场风向分布相对较为集中，主风向和主风能方向明显。风速年内变化以春季风速相对较大，夏季相对偏小，风速变化幅度较大，日内变化幅度较小。风电场风电机组轮毂高度代表年年平均风速为 8.91m/s，年平均风功率密度为 619.6W/m²。根据《风电场工程风能资源测量与评估技术规范》(NB/T31147-2018)风功率密度等级评判标准，本风电场风功率等级为 4 级，风能资源丰富，具备一定的开发价值。

（5）生态环境条件的适宜性

海上施工活动对渔业的影响主要为施工对鱼类产生的惊扰作用以及悬浮物含量的增高，影响了鱼类的生存环境，但是鱼类在受到影响的时候会游离到其它安全的区域，而且这种影响是暂时的，随着施工结束而消失，对区域的渔业资源影响不大。同时，本项目还会对该海域的海洋生态环境进行生态补偿。

（6）不良地质因素条件（工程地质、物探）

选址区的地质背景较为稳定，工程地质条件整体较好，海底地形较为平坦，研究区三级地貌主要有 3 种类型，分别是水下岸坡、陆架堆积-侵蚀平原和陆架堆积平原，海底沉积物类型主要有砾质砂、砂质粉砂、粉砂质砂等，其中粉砂质砂是该区最主要的表层沉积物。

选址区海底地形开阔平坦，覆盖层较厚，暂未发现活动性断层、大型海底滑坡等因素。场址区域及周边区域一般不存在大的不良地质体，其不良物理地质作用主要为粉土(砂土)的液化、场址局部存在礁灰岩以及埋藏较深的活断层和埋藏古河道。由于海底地形和洋流的活动较复杂，浅表部受海潮的影响常有一定的变化，应注意海底移动沙坡、埋藏古河道、浅层气和基岩埋深变化对工程建设的影响。

(7) 海域海底腐蚀性环境条件

本项目选址区主要在南海北部陆架海域，所以主要会受到海水腐蚀和沉积物腐蚀的影响：

选址区海域的海底腐蚀对海缆的整体影响较小。根据海缆施工的经验，轻型海缆的外层防腐层物质主要为天然中密度聚乙烯和阻水填充物。中密度聚乙烯可抗常规浓度硫化氢的腐蚀；阻水填充物可防止里面金属钢线被腐蚀。铠装海缆的外层防腐层金属钢线镀锌和沥青尼龙线。沥青尼龙线可抗常规浓度硫化氢的腐蚀，金属钢线镀锌可避免海缆接头处的金属线被腐蚀。其它海缆连接装置材料，其外部保护外壳均为铜合金，不需要阴极镀层保护即可起到防腐作用。

因此建议选择合适的海底海缆的防腐材料与方式，使海底腐蚀环境对海缆的威胁影响降至最低，保证运营期内海缆内的金属物质不会腐蚀溶解。

项目所在海域的海洋生态环境较好，可以满足本项目用海的要求，可见选址区域的环境条件较为适宜。

7.1.3 项目选址与周边用海活动的适应性分析

根据项目用海资源影响分析内容以及项目以后运营情况分析，项目用海对周边海域开发活动的影响主要是项目用海施工期对水质环境的影响以及施工运营期对通航环境以及渔民渔船渔业生产活动的影响。

根据本报告第五章海域开发利用协调分析结果，项目用海与周边用海活动的影响都具有可协调性，不会产生重大功能冲突。

7.1.4 项目选址与相关规范、意见符合性分析

(1) 与《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》相符合

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）的要求：“深入贯彻落实生态文明建设要求，统筹考虑开发强度和资源环境承载能力，科学选定风电建设区域。鼓励海上风电深水远岸布局，在当前和未来开发强度低的海域选址建设，原则上应在离岸距离不少于 10 公里、滩涂宽度超过 10 公里时海域水深不得少于 10 米的海域布局。在各种海洋自然保护区、海洋特别保护区、自然历史遗迹保护区、重要渔业水域、河口、海湾、滨海湿地、鸟类迁徙通道、栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域，以及划定的生态红线区内不得规划布局海上风电场。”

本项目选址于海南省万宁市东部海域，项目不占用海洋自然保护区、海洋特别保

护区、自然历史遗迹保护区、重要渔业水域、河口、海湾、滨海湿地、鸟类迁徙通道、栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域等区域。因此，项目选址符合《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》的选址要求。

(2) 与《海上风电开发建设管理办法》相符合

根据《海上风电开发建设管理办法》（国能新能[2016]394号）的要求：“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。”

总体来看，在与项目利益相关者协商一致的基础上，工程的选址与周边主要的用海活动具有较好的适宜性，本工程用海能够充分利用该海域及周边资源，发挥该海域的综合优势，项目用海与自然条件和社会条件适宜性好，项目选址是科学、合理的。

7.1.5 项目用海选址方案分析

7.1.5.1 海上风电场选址方案

国家能源局综合司关于《海南省海上风电场工程规划》的复函（国能综函新能〔2022〕6号）指出，海南省附近海域海上风能资源条件整体较优，开发建设条件较好。为加快海南省海上风电产业发展，促进海南省能源结构调整和经济社会发展，实现“双碳”目标任务，支持海南省在做好与国家《“十四五”可再生能源发展规划》衔接基础上，按照规划科学组织海上风电开发建设。按照规划布局和建设条件有序推进《规划》报告中《海南省海洋功能区划（2011-2020年）》范围内150万千瓦风电场项目建设，力争2025年底建成并网70万千瓦以上。

“十四五”规划选择其中开发条件最优的11个场址进行分析，场址编号为CZ1～CZ10和PFS，规划面积约1902km²，规模为1230万kW。场址平均水深位于11m～90m之间，离岸距离位于10km～47km之间，涉及临高、儋州、东方、乐东和万宁共5个县市。

根据《海南省海上风电场工程规划》，工程实施过程中，穿越保护区的海缆拟采用定向钻或顶管敷设方案等工程防护措施，减少开挖泥面等施工影响范围，减少对保护区的影响。《海南省海上风电场工程规划》中“风电场开发顺序规划”明确，优先

开发前期工作条件相对成熟的风电场，如已有海上测风塔资料，并取得海南省发展和改革委员会同意开展前期工作的场址，国家能源局综合司关于《海南省海上风电场工程规划》的复函中明确，有条件有序推进《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》范围内 150 万千瓦风电场的建设，本项目为 PFS 漂浮式海上风电示范，是位于海南省功能区划范围内的风电场之一，具有条件较好且前期工作较充分。因此评价认为风电场选址总体满足国家对海上风电开发建设管理的要求。

7.1.5.2 海缆路由方案

根据《海底电缆管道路由勘察规范》（GB17502-2009）要求以及路由选择工作应遵循的原则，项目开展海底路由选择依据说明材料工作提出了两个路由方案，方案中所涉及路由位置均是指以场区为单元，每三回送出海缆的中轴线位置。

预选方案一

PFS-1 路由方案 1：由登陆点 1 出发沿着预选方案 1 的廊道延伸 23.32km，到达 2 期的海上升压站附近的拐点 2；沿南偏东延伸 0.50km，拐向一期的方向，避免拐角小于 90 度，到达拐点 3；向南偏西延伸 8.18km，避开风机，到达拐点 4，向南偏西延伸 2.54km，避开风机，到达拐点 5，向南偏西延伸 0.23km，到达 48 号风机。全长 37.61km。

PFS-2 路由方案 1：由登陆点 1 出发直达海上升压站。全长 24.00km。

预选方案二

PFS-1 路由方案 2：由登陆点 2 出发直达 48 号风机。全长 19.25km。

PFS-2 路由方案 2：由登陆点 2 出发，垂直海岸向东偏南方向延伸 19.04km 到达拐点 2，避开大花角自然保护区、甘蔗岛珊瑚礁，拐向一期场址；向东偏北方向延伸 0.17km，拐向二期场址，到达拐点 3。向东北方向延伸 2.54km，避开风机，到达拐点 4；向东北方向延伸 2.57km，避开风机，到达拐点 5；向东北方向延伸 8.68km，避开风机，到达拐点 6；向东偏北方向延伸 0.32km，到达海上升压站。全长 33.50km。

由于 PFS-1 和 PFS-2 在预选路由方案 1，预选路由方案 2 中，都是通过共用廊道，因此本章节后文图例中直接用预选路由方案 1，预选路由方案 2 来表示，不在图例中细分 PFS-1 和 PFS-2。

根据路由条件评价结果，预选路由区工程地质条件和自然环境条件整体良好，两条预选路由方案之间没有特别明显的差别。因此，本节将从项目用海的可行性、投资的经济性、自然条件及地质稳定性、用海的协调性等方面对预选路由进行综合比选，

得出最优的海缆路由方案。

通过对预选路由区的工程地质条件、自然环境条件、海洋开发活动、环境保护、功能区划等的分析，推荐路由方案 2 作为首选路由，方案 1 作为备选路由。

7.2 用海平面布置合理性分析

7.2.1 风机布置方案

本项目采用 12 台单机容量为 16kW-18kW 的风力发电机组，相应总装机容量 200MW。

根据对测风资料的分析，本工程风向、风能主要集中在偏东北方向和偏南方向，为了充分利用场址范围、并且减少机组间尾流相互影响，本阶段主要比较了多种西北-东南向和东西向的机组布置方案。

7.2.2 海缆布置方案

在风力发电机组位置确定的情况下，集电系统平面布置主要考虑拓扑布局形式和开关配置方案。

在拓扑布局上，主要有链形、环形、星形三种形式。集电系统的拓扑布局方案中，链形布局投资少，结构简单，能够满足可靠性要求，在国内外工程中应用最多。综合考虑本项目风力发电机组布机，在本项目中暂推荐链形为主的方案，少数风机支路采用星型方案。

在开关配置上，综合考虑成本和可靠性，采用完全开关配置。在风机与风机之间安装一组断路器，以便在集电海底电缆故障时，通过远方操作切除该断路器，剩余部分风力发电机组短时停电后可恢复发电。综合考虑本项目风力发电机组布机，在本项目中暂推荐链形为主的方案，少数风机支路采用星型方案。

通过分析，本项目 PFS-1 的最优集电拓扑方案为风机按 3 个回路布置，风机连接电缆不交叉重叠。

综上所述，本工程场址水深较深，因此拟采用 66kV 动静态海缆。水平段海底电缆敷设在水下 2~3 米深处，通过浮筒的动态海缆附件对垂直短部分进行稳固，减少水流带来的振动影响，进一步在垂直段沿 J 形管敷设至机组配套升压设备高压侧。因此，平面布置唯一且合理。

综上所述，项目平面布置已考虑了技术、经济、发电量、占用海域面积等因素，避开锚地、航道等敏感海域，最大可能减小对水文动力环境、冲淤环境的影响，既满

足了项目建设、开发需求，同时有利于保持自然岸线和海域自然属性，平面布置合理。用海方式对海域环境及周边开发活动影响小，用海方式合理。

7.3 用海方式合理性分析

根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》，本项目用海类型为工矿通信用海中的可再生能源用海和海底电缆管道用海。而根据海域使用分类体系中用海方式的界定方法，项目海域使用类型为工业用海中的电力工业用海（又为海上风电用海），用海方式为透水构筑物（风机）和海底电缆管道（又为输电缆用海），项目用海方式不损害海洋功能区基本功能或不造成不可逆的改变

（1）用海方式是否有利于维护海域基本功能

本项目用海涉及海上风机和海底电缆，用海方式为透水构筑物用海（风机）和海底电缆管道用海，本风电场为《海南省海上风电场工程规划》已获得国家能源局批复的项目，本工程选址是在《海南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。同时本项目选址避开了自然保护区等资源环境敏感海域，上述用海方式均没有改变用海区的海域自然属性，有利于维护海域基本功能，符合海洋功能区划管控要求。

（2）用海方式能否最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响

根据数模分析，由于本项目工程风电为漂浮形式，其引起的流场改变只局限于风机浮体附近的很小范围内，对于大范围海域潮流场的影响很小，因此对于项目区潮流场的改变也很小，除了项目工程附近局部小范围的流场有较小改变，其余大范围的计算域内的流场改变几乎不存在。本项目风机采用半潜式漂浮结构，风机基底采用锚链系泊方式，通过波浪数模的计算，项目用海对区域波浪场的影响很小。

风力发电机组为高耸构筑物，具重心高、对沉降要求敏感的特点。本工程场区地表土层厚度较大，故场区风力发电机组不宜采用天然地基。本工程场地水深较大，风力发电机组适宜采用半潜式漂浮基础。而项目半潜式浮式基础采用系泊缆锚固，悬链线系泊。另外，本项目海缆埋设过程中不炸礁，不改变海域基本属性，建成后海缆将埋设于海床底土之下一定深度，不在水体中形成任何构筑物。因此，项目用海方式对区域冲淤环境影响较小。

（3）用海方式是否有利于保持自然岸线和海域自然属性

风力发电的工艺流程是利用自然能转变为机械能，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。综合海域水动力条件可知，波浪和潮流作用下的泥沙运动动力条件较弱。沿岸沙滩并不发育，由于岬角的阻断，波浪沿岸输沙作用不显著。海岸附近没有大的河流注入，河流来沙很少，岸滩整体稳定，在冬季偏北向风浪作用下，略有冲蚀，但冲淤变化很小，海床及岸线长期以来一直维持稳定的状态。本项目风机采用半潜式浮式基础即采用系泊缆锚固，悬链线系泊，不改变海域自然属性。

由于风电场地处海上，风力发电机组为高耸构筑物，具重心高、对沉降要求敏感的特点，本工程场区地表土层厚度较大，场地水深较大，风力发电机组不宜采用天然地基，适宜采用半潜式漂浮基础。本项目海上 66kV 输电线路采用海底电缆，缆沟开挖深度大于 2 米，沟底填砂操平后将海缆敷设，并及时进行回填施工。海底电缆施工过程中会产生悬浮泥沙，但电缆的铺设为分段施工，故悬沙扩散影响面积较为有限，而且随着施工结束该影响也随之消失。利用海底电缆传输的方式对海洋资源进行立体开发，充分利用了海底空间资源，与架空线的传输方式相比经济性较好，故电缆的用海方式是合理的。

本项目海底电缆登陆时将埋设于此处沙滩，按照规定设置显著标志，登陆区域禁止打桩、抛锚、挖砂等，是对岸线资源的有序利用，运营期不会破坏此处岸线的地形结构，也不会破坏此处岸线的自然风貌，有利于保持自然岸线。

（4）用海方式是否有利于保护和保全区域海洋生态系统

海上风电场风机基础采用半潜式浮式结构，不改变海域自然属性，本项目正式运营后，场区范围禁止捕捞作业，对改善海域生态环境，营造海洋生物栖息的良好环境，为鱼类等提供了繁殖、生长、索饵和庇敌的场所，一定程度上起到了保护、增殖和提高渔获量的目的。

对于海缆路由穿越的相关功能区，海缆铺设除了会在施工期造成短期、可逆的海水水质及海洋生态环境不利影响外，均可满足相应功能区海洋环境保护要求。

（5）用海方式的比选确定

透水构筑物

海上风机基础受波浪、流、风等荷载作用，安装设备要求高，工艺复杂。风机基础设计时，影响风机基础选型的因素包括：海床地质条件、离岸距离、水深、海上风、浪、流等荷载作用以及生态环境的影响等。同时，海水环境对基础结构有腐蚀作用，

要达到设计年限还必须采取适当的防腐措施。

结合国内外已建海上风电场及类似工程，适宜于不同水深条件下的海上风力发电机基础型式主要有重力式基础/负压桶、大直径单桩基础、导管架基础、高桩承台基础、漂浮式基础。

因海上风机为高耸构筑物，重心高，需承受 360° 方向重复荷载和大偏心受力，承受的水平风力和倾覆弯矩较大，且风力发电机组对基础的沉降变形及倾斜度具有较高的控制要求，对基础不均匀沉降要求较高。根据工程区工程地质条件，本工程场区地表土层厚度较大，故场区风力发电机组不宜采用天然地基。本工程场地水深较大，风力发电机组适宜采用半潜式漂浮基础。即采用透水构筑物用海方式。

海底电缆管道

由于本项目采用漂浮式风机型式，需要采用动态海缆进行集电线路连接。由于漂浮式基础的运动以及波浪流的影响，动态海缆将承受长期往复的拉伸弯曲载荷，极易发生拉伸、弯曲或者疲劳破坏，因此动态海缆在结构设计上，需要充分考虑环境载荷所带来的影响。动态海缆与静态海缆的主要区别是采用抗水树绝缘材料，进而取消了铅套的使用。铅套的抗疲劳性能较差，在长期应用过程中，极易发生断裂，造成电缆损坏。

本工程风机与风机之间距离较短，若采用动态海缆加静态海缆的方式，在静态海缆两端需加动态海缆至静态海缆的转换接头，该转换接头目前费用在五六十万/个水平，增加两个转换接头的费用远超过把动态缆换成静态缆的费用，而且增加转换接头对比整根海缆可靠性较差，因此，从经济上与运行可靠性上考虑，风机与风机之间采用全动态海缆；登陆段海缆距离较长，全段采用动态缆，费用较高，为节省投资，采用动静态海缆结合的方式。动态缆海床段与静态缆拟采用直埋和覆盖相结合的方式。风机动态缆沿主洋流方向布置，与锚链角度按大于 30° 进行配合，以减少相互之间干涉。即采用海底电缆管道用海方式

综上所述，项目采用透水构筑物用海（风机）和海底电缆管道用海的方式是合理的。

7.4 占用岸线合理性分析

项目 66kV 海底电缆登陆将穿越砂质岸线，穿越岸线总长度为 100.1m，实际穿越岸线宽度为 79.2m。项目对岸线的使用方式为底土穿越，不实际占用岸线。

项目利用岸线为砂质岸线，属自然岸线，周边滩涂低潮时宽度约在 30m~80m 之间，坡度平缓，约在 5° ~ 10° 左右。登陆点所在位置为伸向海湾的一处尖角的东侧滨海位置；尖角的宽度约为 380m~900m 之间，长度约为 1000m。海缆登陆点向陆侧为乔木林地，为宽度约为 300m 左右的沿海防风林带，防风林带有简易通行道路；防护林与沙滩滩涂之间有与 2m~4m 的台地高差，较陡。登陆点向陆侧面南北两侧区域内无建筑物，无养殖渔业活动等，也无渔船靠泊等，只是偶尔有独木舟形式的船舶停靠。

本项目海底电缆登陆时将埋设于此处沙滩，并按照规定设立显著标志，登陆区域禁止打桩、抛锚、挖砂等，是对岸线资源的有序利用，能充分发挥此处岸线的有利作用，也能禁止其他破坏行为破坏此处沙滩。本工程在施工期会对此处岸线进行挖掘和填埋，短期内会破坏登陆点处的岸线形态，但在运营期不会破坏此处岸线的地形结构，也不会破坏此处岸线的自然风貌，符合节约利用岸线资源原则。因此工程用海占用岸线是合理的。

7.5 用海面积合理性分析

7.5.1 用海面积合理性分析

7.5.1.1 项目用海面积是否满足项目用海需求

项目申请用海面积为 221.6275 公顷，其中透水构筑物 33.6313 公顷，海底电缆管道用海面积为 187.9962 公顷。根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》，项目用海类型为工矿通信用海（一级类）中的可再生能源用海（二级类）；根据《海域使用分类》（HY/T 123-2009），项目用海类型为工业用海（一级类）中的电力工业用海（二级类），用海方式包括构筑物（一级方式）中的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）中的海底电缆管道（二级方式）。

表 7.5.1-1 项目论证后各单元组成用海面积组成列表

序号	单元组成		论证后用海面积 (公顷)	用海方式	论证后用海面积合计 (公顷)
1	风机	固定式风机	18.6683	透水构筑物	221.6275
2		A 型浮体基础漂浮式风机	4.5318		
3		F 型浮体基础漂浮式风机	10.4312		
4	66kV 海底电缆		187.9962	海底电缆管道	

风电场透水构筑物用海需求：风机平面布置是决定海域使用面积大小的一个主要因素，风机行内间距与发电量、尾流影响、建设成本密切相关。布置风机的关键是

根据区域的特点，确定各行和行内各风机的合理间距，并把尾流影响控制在合理的范围内。

根据风电场布置优化结果，采用国内外广泛使用的 WAsP 软件计算各方案的理论发电量、尾流影响和净电量。考虑空气密度、控制和湍流、叶片污染、风机利用率、功率曲线保证率、气候停机影响、厂用电和线损等折减修正，除尾流影响不同外，各比选机型均采用标准空气密度下的动态功率曲线，综合折减按 80.75%考虑，根据对测风资料的分析，本工程风向、风能主要集中在 S 和 NE 扇区，为了充分利用场址范围、并且减少机组间尾流相互影响，本阶段布机主要沿场址形状分布进行优化布置，优化后的布置方案有效地降低了风电场尾流损失，尾流相对较小；同时，该方案减少了集电线路海缆长度，相应节省了投资，该风机平面布置方案是比较合理的，据此确定的用海面积可满足项目用海需求。

海底电缆用海需求：根据项目需要，风电机组发出的电能通过 3 回 66kV 海底电缆直接接入配建的 220kV 陆上升压站。根据《海籍调查规范》中海底工程用海对电缆管道的规定：“以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为界”，再结合海底电缆的路由布置，确定海底电缆用海是满足项目需要以及合理的。本项目的最优集电拓扑方案为风机按 2 个回路布置，风机连接电缆不交叉重叠。

因此，项目用海面积满足项目用海需求。

7.5.1.2 项目用海面积是否符合相关用海控制性指标要求

根据国家海洋局《关于进一步规范海上风电用海管理的意见》，要充分发挥海洋空间规划控制性作用，优化海上风电场选址，原则上应在离岸距离不少于 10km、滩涂宽度超过 10km 时海域水深不得少于 10m 的海域布局；坚持集约节约用海，严格控制用海面积，单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万 kW 控制在 16km² 左右。

万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程场址规划面积 15km²，规划容量为 200MW，属于集中布置，统一规划海上送出工程输电电缆通道和登陆点，体现集约节约利用海域和海岸线资源，符合国家海洋局规定的用海控制要求。

7.5.1.3 项目用海面积是否符合相关行业的设计标准和规范

(1) 与《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》相符合

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)的要求:“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,除因避让航道等情形以外,应当集中布置,不得随意分块。规划建设海上风电项目较多的地区,风电场应集中布局,统一规划海上送出工程输电电缆通道和登陆点,集约节约利用海域和海岸线资源。”

本项目漂浮式海上风电项目场址规划面积 15km²,规划容量为 200MW(即 20 万千瓦),即每 10 万千瓦用海面积 7.5 平方公里。因此,符合《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》的要求。

(2) 与《海上风电开发建设管理办法》相符合

根据《海上风电开发建设管理办法》,“海上风电项目建设用海面积和范围按照风电设施实际占用海域面积和安全区占用海域面积界定。海上风电机组用海面积为所有风电机组塔架占用海域面积之和,单个风电机组塔架用海面积一般按塔架中心点至基础外缘线点再向外扩 50m 为半径的圆形区域计算;海底电缆用海面积按电缆外缘向两侧各外扩 10m 宽为界计算;其他永久设施用海面积按《海籍调查规范》的规定计算。各种用海面积不重复计算”。

本项目风机塔架基础最外缘线再外扩 50m 为半径的圆为界确定用海范围和面积,海底电缆以其外缘线向两侧外扩 10m 距离为界确定用海范围及面积。初次外扩后,海底电缆用海面积与风机用海面积存在部分重叠,海底电缆用海面积去除和风机的用海面积重叠部分后确定。因此,本项目拟申请用海面积的界定符合《海上风电开发建设管理办法》。

(3) 与其他行业规范相符合

本项目风电场的设计按照《风力发电机组设计要求》(GB/T18451.1-2012)、《风力发电场设计技术规范》(DL/T 5383-2007)、《风电场工程等级划分及设计安全标准》(FD002-2007)、《风电机组地基基础设计规定》(FD003-2007)、《风力发电场设计规范》(GB51096-2015)、《海上风电场工程施工组织设计技术规范》(NB/T31033-2012)等专业技术规范标准进行,海底电缆的布设满足《海底电力电缆输电工程设计规范》(GB/T51190-2016)、《海底电缆管道路由勘察规范》(GB17502-2009)等的要求,项目设计合理。

项目用海面积设计符合有关的设计标准和规范,符合《中华人民共和国海域使用

管理法》等有关法律法规对该工程的要求。

7.5.1.4 项目用海减少海域使用面积的可能性

本项目风电场的设计在满足风电工程尾流控制和安全性等需求的基础上，已经按照集约节约用海的原则，并以尽可能减少风电场占用海域面积为目标，对本项目的平面布置做了优化；同时，考虑到本工程周边海域开发利用现状的用海需求，设计单位对本项目的风机机组和海底电缆路由进行了优化。因此现阶段，不存在减少用海面积的可能性。

7.5.2 立体确权合理性分析

《中华人民共和国海域使用管理法》中将海域主要分为水面、水体、海床和底土 4 层，每个层面的海域资源都有其特定的开发利用价值。空间本身也是一种资源，主要体现为承载功能，如船舶航行、海上构筑物 and 敷设电缆等；容纳功能，如排水和倾废等。进行海域立体化开发利用，将会大大提高海域资源的集约利用效率。

项目风机占用了水面、水体、海床和底土 4 层海域，因此不进行立体确权。项目海底电缆仅使用了该海域底土层面，不影响海床、水体和水面的功能，因此，考虑海域利用的特点，在基于集约用海的前提下，可以申请立体用海，高程为现状海床高程至海底电缆底部高程。

7.5.3 宗海图绘制

按照《海籍调查规范》（HY/T 124）要求，宗海界址图采用 ArcGIS 软件绘制，CGCS2000 坐标系，中央经线 $110^{\circ} 30'$ ，高斯-克吕格投影，利用建设单位提供的工程设计图纸平面布置图，并结合工程区域数字地形图以及相邻项目宗海界址图，将宗海界址图界定的范围绘制在底图上，形成由地形图和用海布置图等为底图，用海单元界线形成用海区域。并按照《海籍调查规范》要求绘制其他海籍要素，形成项目宗海位置图和宗海平面布置图。

（1）风机基础用海

风机基础所占用的海域属于电力工业用海(海上风电用海)范畴，依据《海上风电开发建设管理暂行办法》的规定，海上风电项目建设用海按风电设施实际占用海域面积和安全区占用海域面积征用。海上风电机组用海面积为所有风电机组塔架占用海域面积之和，单个风电机组塔架用海面积按塔架中心点至塔架基础最外缘点再向外扩 50m 为半径的圆形区域计算。同时，《海籍调查规范》对于风机用海界址的界定也

是如此，见图 7.5.3-1 所示。

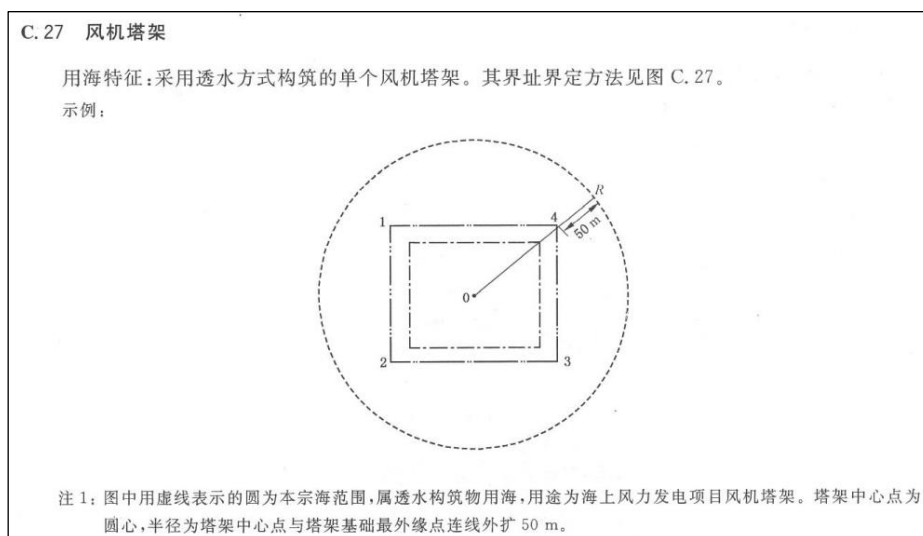


图 7.5.3-1 《海籍调查规范》风机用海界址界定图示

1) 漂浮式风机基础

漂浮式海上风电机组分为 A 型浮体和 F 型浮体，单机基础浮体中心点至浮体最外缘点的距离分别为 59.2m 和 70.3m（不包含锚链）。界址点 3、4、5、9、10、12 为风机中心点，以风机中心点为圆心，半径 109.2m（ $59.2\text{m}+50\text{m}=109.2\text{m}$ ）和 120.3m（ $70.3\text{m}+50\text{m}=120.3\text{m}$ ）的圆围成了单风机用海单元。单风机用海单元面积为 3.7336 公顷（A 型浮体漂浮式风机）和 4.5318 公顷（F 型浮体漂浮式风机），6 个漂浮式风机用海单元总面积为 23.2001 公顷，用海方式为透水构筑物。

2) 固定式风机基础

固定式风机基础采用四桩导管架基础，基础结构外边界半径为 24.53m。界址点 1、2、6、7、8、11 为风机中心点，以风机中心点为圆心，半径 74.53m（ $24.53\text{m}+50\text{m}=74.53\text{m}$ ）的圆围成了单风机用海单元。单风机用海单元面积为 1.7385 公顷，6 个固定式风机用海单元总面积为 10.4312 公顷，用海方式为透水构筑物。

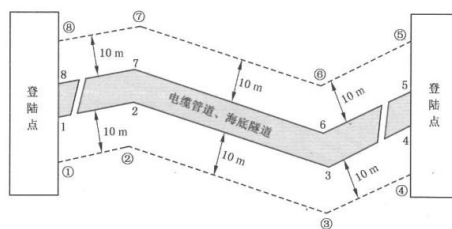
（2）海底电缆用海

海底电缆所占用的海域属于电缆管道用海(输电缆用海)范畴，依据《海籍调查规范》和《海上风电开发建设管理暂行办法》的规定，海底电缆用海面积按电缆外缘向两侧各外扩 10m 为界计算，如下。

C.33 电缆管道和海底隧道用海

用海特征: 占用海床和底土空间铺设的电缆管道或海底隧道等。其界址界定方法见图 C.33。

示例:

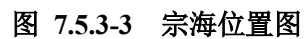


注1: 折线①-②-③-④-⑤-⑥-⑦-⑧-①围成的区域为本宗海的范围。其中电缆管道属海底电缆管道用海,用途为海底电缆管道;海底隧道属跨海桥梁、海底隧道用海,用途为海底隧道。

注2: 折线1-2-3-4和5-6-7-8为电缆管道或海底隧道及其防护设施的外缘连线;折线①-②-③-④和⑤-⑥-⑦-⑧为电缆管道或海底隧道及其防护设施的外缘连线向两侧平行外扩10m的边线。

图 7.5.3-2 《海籍调查规范》电缆管道用海界址界定图示

本项目采用的66kV海底电缆外径为170.9mm,海底电缆外缘向两侧各外扩10m,形成条状的范围,然后扣除该范围与风机用海重叠的部分,剩余的部分就是海底电缆的用海范围。



中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程宗海界址图

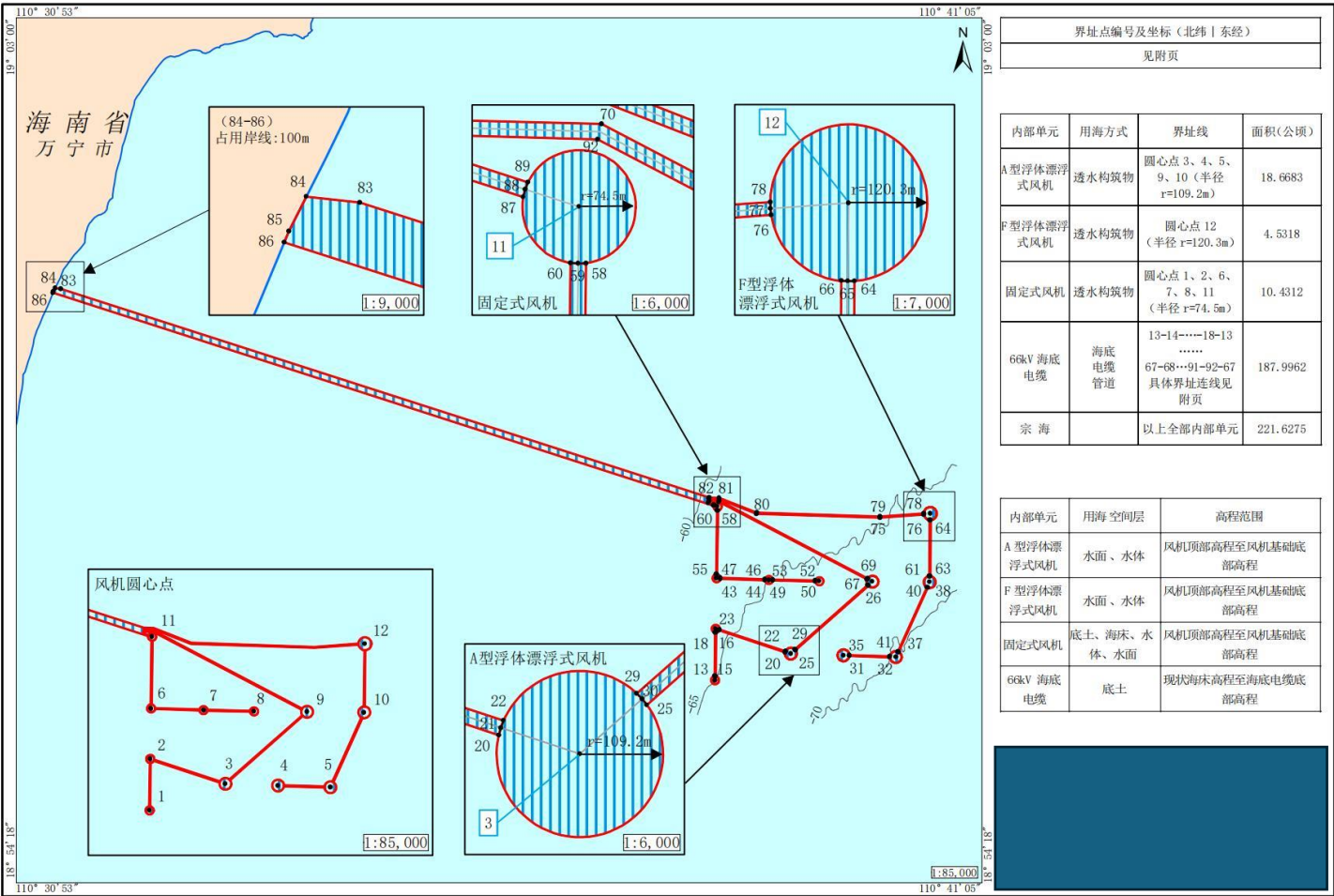


图 7.5.3-4 宗海界址图

中电建万宁漂浮式海上风电试验项目一期工程宗海平面布置图

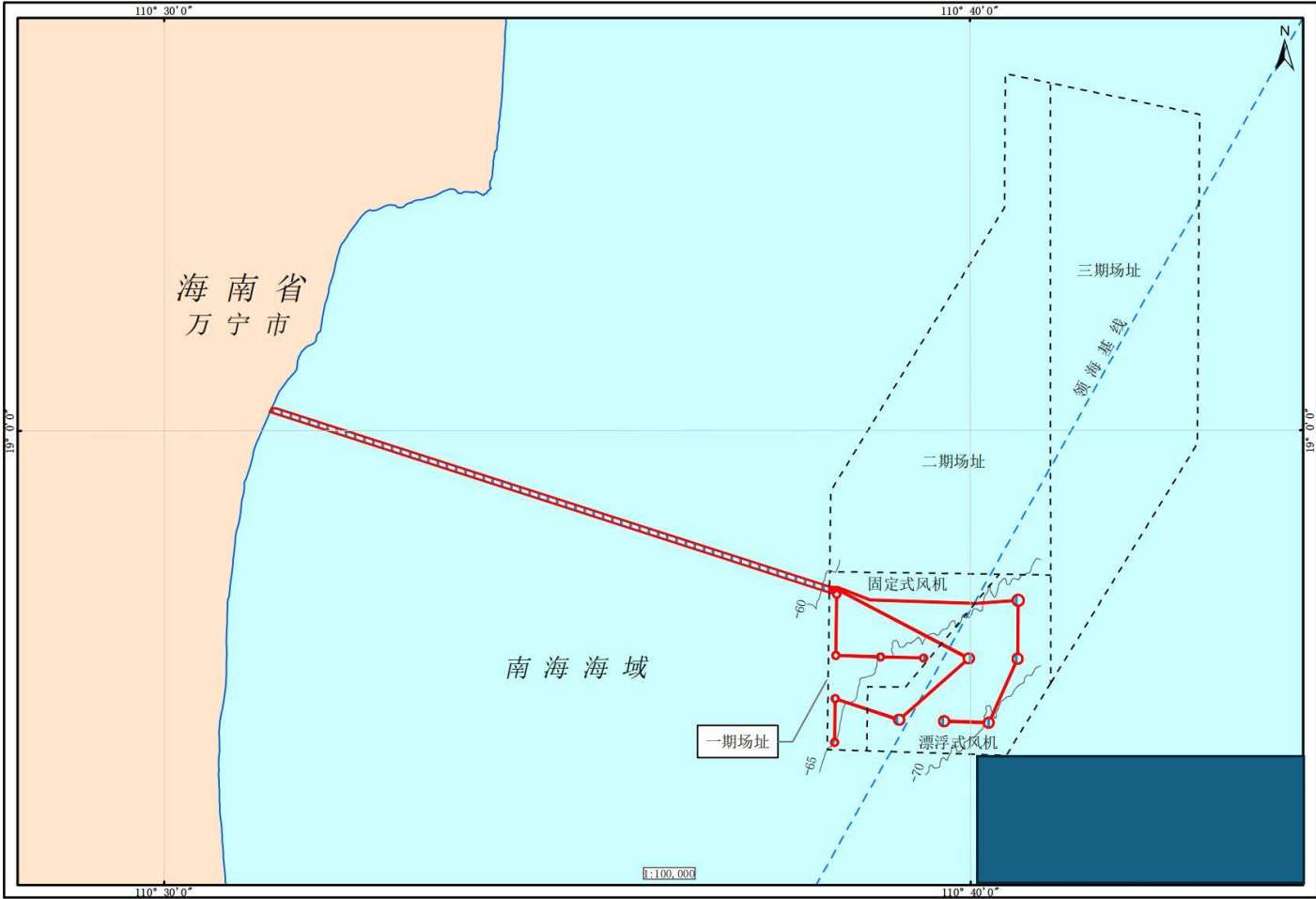


图 7.5.3-5 宗海平面布置图

7.5.4 项目用海面积量算

根据《海域使用面积测量规范》采用坐标解析法进行计算，根据确定的界址点确定的项目用海范围，借助于 ArcGIS 软件直接求得用海面积。经量算，项目申请用海面积为 221.6275 公顷，其中透水构筑物 33.6313 公顷，海底电缆管道用海面积为 187.9962 公顷。

以上项目用海的界址范围的界定和面积量算符合《海籍调查规范》和《海域使用面积测量规范》的要求。

7.6 用海期限合理性分析

(1) 海域法规定

根据《中华人民共和国海域使用管理法》的规定：“海域使用权最高期限，按照下列用途确定：(1)养殖用海十五年；(2)拆船用海二十年；(3)旅游、娱乐用海二十五年；(4)盐业、矿业用海三十年；(5)公益事业用海四十年；(6)港口、修造船厂等建设工程用海五十年。

本工程用海属于建设工程用海，按《海域使用管理法》最高允许申请用海期限为 50 年。

(2) 结构设计服务年限

根据工程的性质和设计要求，设计风机服务使用年限为 25 年。

(3) 本项目申请用海期限

用海期限分析考虑的因素主要有设计使用寿命、业主的用海要求、海域使用权最高年限等，本项目包括 25 年运行期和 2 年施工工期，因此确定项目申请用海期限为 27 年，符合中华人民共和国海域使用管理法的相关要求。

8 生态对策措施

8.1 生态保护对策

8.1.1 生态保护对策

8.1.1.1 生态保护措施

(1) 为减轻工程施工建设对海域底栖生物的影响，建议：

①优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。

②严格限制工程方的施工区域和用海范围，在划定的施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

③施工应避免恶劣天气，保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。

(2) 为减轻工程施工建设对渔业资源和渔业生产的影响，建议：

①春、夏季（5~7 月）是鱼类产卵高峰期，从减缓对渔业资源影响的角度出发，打桩、电缆铺设应避免海洋鱼类产卵高峰期。同时打桩前可采取预先轻轻打几下桩，以驱赶桩基周围的鱼类，为减缓后续正式打桩时产生的水下噪声和悬浮物对鱼类的影响。

②对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

③施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

④施工期对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成捕捞生产净收入减少。因此，为减缓项目实施对渔民的影响，建议建设单位与当地渔业主管部门协商，落实对捕捞渔民的补偿。

(3) 水下打桩生态保护措施

1、打桩时采用软启动方式。即首桩采用小幅度的冲击，而后强度逐渐增强，用于驱赶海中一些游动的鱼群。

2、噪声控制屏（IHC-NMS）系统由带空气填充空间的声学解耦双壁隔离套管组成，此外，NMS 和桩之间的可调节多层气泡幕提供了额外的隔声屏障，因此，NMS 结合了隔离套管和约束气泡幕的特点。

3、BEKA 壳是一个基于隔离套管原理的组合系统，由多层构成，产生屏蔽、反

射和吸收效果,在内壁和桩之间 30cm 宽的空隙内以及两个同心隔离套管层之间产生由不同尺寸气泡组成的双层气泡幕。

4、水声阻尼层(HSD)系统是在网状结构上附着高弹性材料制作的充满空气的薄壳体,HSD 通过薄壳体直接进行水下噪声高阻尼衰减、高散射及调整谐振频率实现降噪,其结构简单,使用便捷,不受海洋潮流的影响,无需供应压缩空气的设备,且适用于不同类型的桩体。

5、中国船舶科学研究中心开展了充气管隔声层的水声隔离机理及效果验证试验研究,后续又开展了模块化水下隔声设计与试验技术研究,并在实验室及湖上外场取得了良好的试验验证效果,其结果表明,采用阻抗失配原理构建的气管隔声层具有较好的水下隔声性能,且隔声层厚度越厚,降噪效果越好。

8.1.1.2 砂质岸线保护措施

项目海底电缆登陆将穿越砂质岸线。工程施工采用定向钻,登陆电缆埋设于沙滩以下,不会破坏此处自然岸线的自然景观和自然属性。运营期岸线的自然形态不会发生变化,正常营运不会对岸线产生不利影响。但是仍应注意在施工中采取以下措施,最大限度地减少对岸线的影响:

(1) 优化施工方案,使用合适的施工机械,明确施工范围,施工机械不得越过施工范围施工;

(2) 对施工人员做好培训,禁止遗弃施工废物和生活废物等在沙滩;

(3) 检查施工器械,不得出现润滑油或燃料油跑、冒、滴、漏于岸线处沙滩;

(4) 施工结束后,应在此处岸线合适位置设立显著标志,登陆区域禁止打桩、抛锚、挖砂等。

(5) 运营期岸线的自然形态不会发生变化,正常营运不会对岸线产生不利影响。

8.1.1.3 鸟类保护措施

1、设计阶段影响减缓措施

(1) 风机叶片颜色设计

为减少鸟类与风机叶片碰撞的风险,提升鸟类飞行或迁徙过程中的视觉判断,根据日本等地的成功经验,风机的叶片建议选用橙红与白色相间的颜色,使鸟类在飞行中能尽早分辨出风机及其位置,及时规避风机,减少鸟类撞机的几率。

(2) 风电场升压站的光源设置

由于风电场风机内部照明设备采用内部照明，因此必须保证风机外部的密闭性，切忌外部透光；外部风机上的航空飞行警示灯应在规划要求范围内，尽可能降低其亮度和闪烁次数。升压站由于建筑位置相对较低，其照明光源禁止使用对鸟类影响较大的金卤灯、高压钠灯、卤钨灯光源、钠蒸气灯等光源设备，保持其光源照明能够为管理和维修人员提供必要的照明强度即可，以减少光源对夜间迁徙鸟类或飞行鸟类的非自然光源的干扰。

2、施工期的减缓措施

1 施工季节和时间的避免：施工时可能很难做到在候鸟集中迁徙的季节停止施工，但海南岛越冬水鸟的迁徙季节持续时间较长，每年的 10 月到次年 4 月是相对集中的迁徙和越冬季，需要在这个时间段内加强鸟类监测，发现大群鸟类经过施工区域时应该降低施工频次和密度，尽可能降低或减缓对风电场区海域出现的鸟类的影响；

2 风机打桩应采取环保措施，避免海水受到打桩施工所引起的污染，采取隔离灌注等方式进行；且避免全时段、大面积打桩施工，采取分批逐渐进行塔基和风机搭建，降低累积性效应影响；

3 施工人员服饰选择，建议施工以暗色调为主的服饰，避免鲜艳的服饰以降低对鸟类的视觉影响；

4 夜间施工，应加强照明灯光的管理，避免使用对鸟类相对影响较大的光源照明，采用局部光强和聚光性较强的 LED 光源，满足施工照明需求的同时，应该有效避免施工灯光对周边海域鸟类或鱼类等产生的负面影响；

5 风电场区风机排列矩阵要严格按照规划进行，不得擅自增加风机数量，保持风机之间间距，为进入风电场运营期的鸟类提供可能潜在的飞行通道；

6 施工期，业主和施工单位应关注作业区域鸟类活动，对鸟类进行观察、记录，可采取视频、照片等方式进行记录，并向相关动物保护主管部门报告。为施工后续和营运管理提供施工期的数据支撑和纠正存在的风险或问题。

7 海底电缆的铺设，应采用先进工艺，尽可能降低对海底底栖生物的扰动。

3、运营期的减缓措施

1 运营期，风机机组如非必要，建议不要设置灯光或光源，如必要进行，建议禁止使用金卤灯、高压钠灯、卤钨灯光源、钠蒸气灯等对鸟类相对影响较大的光源照明，并保持风机内部照明密闭性，不可以外部透光；

2 升压站照明同样禁止使用上述对鸟类影响较大的光源，建议使用 LED 等照明，

并保持相对较弱的光强；

3 运营期，经营方应在风机组选择部分机位安装视频监控设备，监控设备应具有高清、远距离、循环记录，对可能进入风场区的鸟类进行看守监测；

4 运营期，业主单位和运营方开展鸟类监测和跟踪，对鸟类进行观察、记录，可采取视频、照片等方式进行记录，并向相关动物保护主管部门报告。（在澳大利亚使用的 MUSE 系统可以成为很好的参考，该系统采用雷达监控单元记录物种轨迹，利用具备 AI 识别追踪被摄物体能力的红外与日光高清变焦云台采集物种照片，并且将物种轨迹与图像相结合，分析物种对风电场的回避行为）同时根据雷达和视频反馈结果，在监测到大群鸟类将要穿过风电场时，通过系统自动降低风扇转速的方式，减少碰撞的概率。

5 如在运营期发现存在异常情况的发生，如发生鸟类频繁事件、进入风场区海域具有集群的鸟类群体等异常现象的发生，应及时上报相关动物主管部门，开展鸟类救助，开展相关专题研究及合理措施，尽量降低风电场对鸟类的影响。

8.1.1.4 珊瑚保护措施

减轻工程施工建设对珊瑚的影响，建议：

（1）施工期工程施工严格控制在施工作业范围内，不得超出划定的施工作业范围施工。

（2）针对产生悬浮泥沙的施工环节应重点进行污染防治，应选择中、小潮、海况好的时间施工，在出钻点附近设置防污帘，以减少污染物的扩散范围，减少对项目位置附近珊瑚生长区的影响。

（3）定期对周边的珊瑚进行巡视，对沉积到珊瑚表面的悬浮物进行人工清理，主要方式为潜水员定期潜水巡视，如果发现珊瑚表面覆盖有悬浮物，就采用水下吸污机对其进行处理，清除附着在珊瑚表面的沉积物，避免对珊瑚造成影响。

（4）施工部门应采用先进的低噪声低污染船舶、机械设备，各种施工机械和设备选用清洁能源电力或柴油。

（5）加强项目区附近珊瑚跟踪监测。

（6）在项目所在区域珊瑚分布沿岸，建立导视标识、宣传标识、科普标识、指引标识、安全警示标识等完善的标识系统，以便对群众生产、生活、旅游和安全进行管理，提高公众对海洋和珊瑚的保护意识以及加强人们对法律法规的了解。标识系统建设主要包括宣传牌、警示牌两种标识。

8.1.2 施工期污染防治对策措施

1、海上污水处理与防治措施

(1) 对于项目所采用的各类施工船舶，在水上作业时应遵照《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》以及交通运输部发布的《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》中对海上施工船舶的要求管理，即限制船舶油类污染物排放专项铅封行动要求，禁止直接向海域水体排放机舱所处的舱底含油污水、丢弃生活垃圾。

(2) 严格执行国家《船舶污染物排放标准》和 73/78 国际防止船舶污染海洋公约的相关规定，严禁所有施工船只的含油废水等在施工海域排放。项目船只无压舱水排放，大型施工船舶设相应的防污设备和器材，并备油类记录簿，含油污水如实记录；设专用容器，回收施工残油、废油；对船舶油污水进行统一收集运至岸上，委托有能力处置的公司接收处置。

(3) 对海域施工期间，各类供给船、铺缆船和起重作业船等施工船舶上作业人员产生的生活污水，需统一收集运至岸上处理，并委托有能力处置的单位接收处置。

(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）应用锯末或棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱等应收集后运回陆地。注意施工船舶等的清洁，及时维护和修理施工机械，施工机械若产生机油滴漏，应及时采取措施，用专用装置收集并妥善处理。建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等有害物质时，应立即采取措施，控制和消除污染，并向海事局报告。

(5) 加强施工设备的管理与养护，杜绝石油类物质泄漏，减少海水受污染的可能性。

(6) 潮间带电缆沟槽开挖产生的沙土应在电缆入沟槽后及时回填夯实，防止沙土随潮流入海。

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，项目施工期施工人员生活垃圾可统一收集定期运至垃圾压缩站纳入大陆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、废气包装处置

风机塔基与塔架焊接过程产生的废弃焊头和拆卸下来的废弃材料设备包装物不可直接丢弃，应在每个焊接作业点配备收集铁桶，废弃焊头直接放入容器中。在每个施工现场设置废料回收桶，施工结束后统一回收运输至陆上，送往大陆统一处置。

（4）钢管桩吸泥施工产生的淤泥处置措施

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。

3、其他环境保护措施

（1）《MARPOL73/78 附则 VI--防止船舶造成空气污染规则》于 2005 年 7 月 1 日生效，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。

8.1.3运营期污染防治对策措施

1、风机减震降噪措施

风机噪声主要包括机械和结构噪声、空气动力噪声以及通风设备噪声。机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源，这部分噪声是能够控制的，其主要途径是避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件。为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声。

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

部的噪声向外传播。

2、含油废弃物收集措施

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

8.1.4生态跟踪监测

根据《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》（自然资办函〔2022〕640号）的要求，要逐步加强生态监管，认真开展核电、油气、石化和风电等项目用海的生态监管试点工作，加强对相关用海主体开展生态保护修复和生态跟踪监测的监督检查，应及时对比生态跟踪监测与生态本底数据，及时发现有关问题。

8.1.4.1生态跟踪监测

项目区及附近海域渔业资源较丰富，品种繁多，生态环境敏感，且存在风机墩柱局部冲刷的风险。建设单位应制定具体的海域使用动态监测计划。监测计划的实施由业主委托具备CMA计量认证资质的单位开展，技术要求按照有关环境监测规范的规定执行，并在施工完成后及时向生态环境主管部门提交符合要求的跟踪监测计量认证分析测试报告，以备查。通过动态监测，了解和掌握该项目施工过程中产生的影响范围和程度，验证海域使用论证报告书的有关预测结果，并提出相应的海域使用管理对策措施。

根据风电场环境特点及工程特征，制定海洋生态及渔业环境调查计划、海水水质及沉积物环境监测计划、鸟类观测计划和流场及局部冲刷观测计划。以下监测方案供参考，具体的监测方案需经生态环境主管部门审核同意后方可实施。监测采样及分析方法需满足《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)和《海洋监测规范》(GB 17378-2007)等有关规范的要求。

根据用海批复中生态跟踪监测的指标、站位和频率要求，结合项目实际情况，确定具体监测范围、站位（测线）布局、监测时间、监测方法、全过程质量控制措施等。具体要求如下：

（1）监测范围

监测范围原则上与论证范围一致，监测范围应细化为具体坐标。

(2) 站位布设

跟踪监测站位的数量和位置，原则上与海域使用论证报告中生态调查站位的数量和位置保持一致，确需减少的应要做出合理说明。

(3) 监测时间与频率

根据监测指标的不同，监测频率也不尽相同。

根据《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》（自然资办函〔2022〕640号）的要求，核电、油气、石化和风电等项目，应开展针对性的生态跟踪监测（表 8.1.4-1）。结合项目的性质，项目生态跟踪监测方案包括海洋生态、海洋水质、沉积物质量、海洋生物质量、地形地貌与冲淤、电磁环境和水下噪声等跟踪监测。

表 8.1.4-1 海上风电用海项目生态跟踪监测具体要求一览表

海域适用类型	海洋生态	海水水质	沉积物质量	海洋生物质量	地形地貌与冲淤	电磁环境	水下噪声
海上风电用海	监测站位：12个。 监测频次：每年代表性一季。 监测内容：鸟类、叶绿素a、浮游植物、浮游动物（含鱼卵仔鱼）、底栖生物。	监测站位：不少于20个站。 监测频次：每年代表性一季。 监测内容：常规项目。	监测站位：不少于10个站。 监测频次：每年代表性一季。 监测内容：常规项目。	监测站位：不少于3处。 监测频次：每年代表性一季。 监测内容：常规项目。	以工程外扩边界2km的海域，测量比例按照1:5000；2~15km的海域，测量图比例尺按照1:10000。	监测站位：不少于9个站。 监测频次：每年代表性一季。 监测内容：工频电场、工频磁场。	监测站位：不少于9个站。 监测频次：每年代表性一季。 监测内容：噪声频带有效声压级、噪声升压谱级。

8.1.4.2 海水水质、沉积物、生物质量、生物生态与渔业资源监测

为了解项目施工期悬浮物的污染状况，桩基施工及电缆沟开挖对海洋水质环境的影响，监测施工过程中悬浮物影响程度和范围，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，对项目施工期水环境质量进行跟踪监测。

(1) 监测布点：海水水质、沉积物、生物质量、生物生态与渔业资源环境监测范围及站点布设如图 8.5-1 所示。

(2) 监测项目：①水质：水深、层次、水温、盐度、pH、溶解氧、悬浮物、COD、

BOD₅、无机氮、活性磷酸盐、石油类、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、硒、镍、挥发性酚、硅酸盐；②沉积物：粒度、pH、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬和砷；③生物质量：铜、铅、锌、镉、汞、砷、铬、石油烃；④生物生态：叶绿素 a 及初级生产力、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物；⑤渔业资源：资源密度、渔获种类、渔获量、渔获率、鱼类资源状况。

(3) 监测时间：施工期、营运期。

(4) 监测频率：施工前期春、秋季各监测一次；施工期间每年春、秋季各监测一次；营运期每年春、秋季各监测一次，共监测 2 年。每次监测月份应保持一致。

8.1.4.3 地形地貌与风机墩桩局部冲刷监测

(1) 监测项目：水深地形、场址内海缆冲刷监测。

(2) 监测位置：集电电缆和登陆电缆两侧各 50m~100m 宽走廊范围内；

(3) 监测频率：施工前期监测一次；工程运营期前 5 年内，每年监测 1 次，5 年之后根据前期监测分析结果，可 2~3 年监测 1 次。

8.1.4.4 水下噪声监测

(1) 监测布点：水下噪声监测范围及站点布设和本次声环境调查范围及站点布置一致。

(2) 监测项目：监测项目：噪声频带有效声压级 (dB_{re1 μPa})、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。

(3) 监测频率：施工期开展 2 年的监测，每季 1 次，共 2 次；营运期开展 2 年的监测，每季 1 次，共 2 次

8.1.4.5 电磁环境监测

(1) 监测项目：工频电场强度、工频磁感应强度。

(2) 监测位置：调查站位与水下环境噪声监测站位相同。

(3) 监测频率：施工期开展 2 年的监测，每季 1 次，共 2 次；营运期开展 2 年的监测，每季 1 次，共 2 次。

8.1.4.6 鸟类及其栖息地监测

鸟类监测需由相关单位的鸟类专业人员进行，建设单位也可以在专业人员的指导下，参加风电场范围内和近岸鸟类聚集地的鸟类监测工作，并做好观测记录。

（1）施工期鸟类监测计划

①调查时间

施工期（验收时）每年冬季监测一期。

②调查方法

主要采用样线法和样点法，主要集中在风电场及海缆登陆点。海上调查样线和陆地调查样线布设参照本报告现状调查。

③调查要求

开展鸟类种类和数量监测

（2）运营期鸟类监测计划

①调查时间

运行初期 5 年，前 2 年每年 1 次，后期根据跟踪监测情况适时调整跟踪监测计划

②调查方法

主要采用样线法和样点法，主要集中在风电场及海缆登陆点。海上调查样线和陆地调查样线布设参照本报告现状调查 3.3.10 章节。

③调查要求

按规范开展鸟类种类和数量监测，记录候鸟迁徙及在区内活动、撞击数量、种类及致死率情况。

（3）鸟类（包括金丝燕）生态监测和管理措施

①施工期生态监理和环境教育

在整个施工期内，由建设单位委托的环保专职人员承担生态监理。通过制定相应的环保手册对施工人员、施工区域、施工方式、施工时间进行有效的指导。开工前，在工地及周边设立爱护鸟类、鱼类和自然植被的宣传牌。在整个施工期内，由建设单位委托的环保专职人员承担生态监理，采用巡检监理的方式，对材料堆放、施工方式、施工机械和宿营地进行环境监理，检查生态保护措施落实及施工人员的生态保护行为。施工人员进场后，立即进行生态保护教育。明确禁止施工人员进入候鸟群分布区，杜绝猎杀鸟类的行为。同时，严格控制车辆噪声，夜间禁止鸣笛，减少噪声对鸟类的惊扰，并尽量避免在鸟类大规模迁徙时段施工。

②运营期监督管理和效果检验

运营期应该注意监督建设单位的生态保护措施是否到位，观察生态补偿措施效

果；风电场运营的时候，在候鸟迁徙高峰来临时应该关闭风机。要对风电场的管理人员进行鸟类知识的宣传和相关指导，并和大洲岛保护区建立必要的工作联系，使其对鸟类的干扰降低到最低程度。

在施工前期、施工期间和运营期应分别开展鸟类种类和数量的监测，以比较分析风电场对鸟类造成的影响，密切关注变化较大的种类。鸟类监测是一项专业性很强且工作量很大的任务，要求运营单位与大洲岛保护区建立联系，组织专业人员开展鸟类监测工作，建设单位也可以在专业人员的指导下，参加风电场范围内及周边地带的鸟类监测工作。

监测时段应主要安排在鸟类迁徙高峰，开展不少于一年的鸟类监测，分别在近岸鸟类聚集地和在海上监测候鸟动向，并做好观测记录。可利用鸟类观察救助站作为固定监测点，并和保护区人员合作，根据日常观测记录调整监测时间。

8.1.5 生态跟踪监测评价

8.1.5.1 现状评价

在监测完成后，将本期各类监测数据与监测范围所涉及的各级规划、红线等关于海洋生态和环境的管控要求或底线要求的指标进行比较，就是否突破管控要求或底线要求作出评价。

将各类监测数据与海域使用论证报告中施工期或运营期相应指标的合理变化范围进行比较，就是否突破合理变化范围作出评价。

8.1.5.2 趋势评价

在监测完成后，结合生态本底调查数据和长期监测数据，就各类指标的变化趋势、特别是逐步恶化趋势作出评价。

8.1.5.3 综合评价

应在完成现状评价和趋势评价后，综合生态本底调查数据、各监测要素的现状和趋势评价结论，评价监测范围内的海洋生态和环境存在的问题和潜在风险。

8.1.5.4 相关性分析

对于突破管控要求或底线要求、突破合理变化范围、存在逐步恶化趋势、监测范围内海洋生态和环境存在问题和潜在风险的，应明确配合监管部门开展生态调查的表述，应作出是否与项目建设和运行相关的评价，并明确评价依据。如果确与项目相关的，应提出处置措施。

8.1.6 监测数据管理

海洋生态本底和管控信息上传至生态用海信息平台(www.hysylz.org.cn/styh), 此后监测指标、站位(测线)调整信息、计划监测时间、计划评价时间等信息以及各指标的监测数值、监测时间、监测人员、监测单位等信息, 应进行标准化录入。监测完成后 30 日内。其中, 现状评价、趋势评价、综合评价发现的问题及其相关性分析结论和判定依据, 以及对应相关性问题的处置措施等信息, 应进行标准化录入。如监测评价中发现重大生态问题, 应第一时间向监管部门报告。

8.2 生态保护修复措施

8.2.1 施工期生态环境保护

a) 优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下，尽可能减少开挖面、开挖量，选择环境友好的施工方案，减少对海洋生物的影响。

b) 严格限制施工使用的场区范围。在使用范围内划定施工作业范围，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。在满足施工技术要求的前提下尽可能减少两栖施工设备对滩涂压占范围，划定两栖设备的作业施工行驶带，禁止两栖设备在行驶带外穿行。

c) 当海底电缆铺设完成后，应及时平整并压实滩涂地面，以有利于加快滩涂植被的自然修复。

d) 加强施工管理，采用环保型的施工机械和施工工艺，缩短工程施工时间，尽可能减少因工程施工对水生生物和渔业资源所造成的影响。

e) 优化施工进度安排，电缆铺设应选择海况良好的低潮位露滩干地施工，尽量避免涉水施工，以减少悬浮泥沙扩散对渔业资源的影响。

f) 对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞、养殖作业活动的范围、时间，尤其禁止施工人员在鱼类产卵高峰期抓捕鱼类。

g) 合理安排实施施工计划，施工工期的选择应尽可能地避开鱼类的产卵期和休渔期。

8.2.2 运行期生态环境保护

以下运行期生态保护实施措施供参考，具体的生态保护方案需经海洋行政主管部门审核同意后方可实施。

1、增殖放流措施

国内外长期从事渔业资源研究的专家研究证实，在渔业资源衰退或受损的情况下，除了降低捕捞强度和减少海洋环境污染及生境破坏之外，从根本上恢复渔业资源、改良资源结构、增加渔业生产，进行渔业资源的人工增殖放流是重要、快捷的有效措施。通过增殖放流，可以迅速弥补本项目施工和营运等因素对海洋渔业资源造成的损失。

(1) 增殖放流品种选择原则

本地原种或子一代的苗种或亲体；能大批量人工育苗；品质优良（属优质经济鱼、

虾类、贝类)；适应工程附近海域生态环境且生势良好；工程附近海域自然生态状况中曾经拥有的种类，确需放流其他苗种的，应当通过省级以上海洋或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、检验机构认可。

(4) 增殖放流计划

在施工期间根据实际情况开始实施海洋生物增殖放流，增殖放流的期限为 5 年，每年 1 次。每年的增殖放流工作安排在南海区伏季休渔期间内的 5 月下旬至 7 月上旬，以避免高强度捕捞压力时间，提高增殖放流效果。

(5) 增殖放流前后的管理

放流前后的现场管理主要由渔政管理部门承担。放流前清理放流区域的作业，并划出一定范围的临时保护区，放流后加强巡逻管理。

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。

8.2.3 鸟类生态环境保护

为了减轻海上风电场对鸟类生存的影响，对本建设项目在施工和运营期间对生态环境可能带来的不利影响提出以下的生态恢复措施和替代补偿方案：

(1) 施工期生态环境补偿措施

施工时尽量减少占地，减少开挖面积，减少植被破坏；应对风电场施工机械及人员进行严格管理，合理安排施工时间，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过场址

应适当停工等待；同时合理布置施工运输路线，减小施工期对鸟类的影响。

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，以减少鸟只碰撞风机的几率。同时，在风机上加设使鸟类回避的灯光，以减少在夜间迁徙的鸟类碰撞风机的几率。此外，为减少反射阳光对雀鸟的影响，风力发电机的机件使用非反光涂料。

（2）运行期生态环境补偿措施

本项目可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。

在运行期，通过设立鸟类观察救助站，采用雷达监控设备，持续监测风场对鸟类的影响；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。万一发现鸟类伤亡，应及时救治受伤鸟只，鸟类观察救助站人员应当接受专业鸟类知识培训，并将伤亡记录及时向有关单位汇报。

除采取生态恢复措施和替代补偿方案之外，还需要对鸟类影响进行生态监测。

（1）施工期生态监理和环境教育

在整个施工期内，由建设单位委托的环保专职人员承担生态监理。通过制定相应的环保手册对施工人员、施工区域、施工方式、施工时间进行有效的指导。开工前，在工地及周边设立爱护鸟类、鱼类和自然植被的宣传牌。在整个施工期内，由建设单位委托的环保专职人员承担生态监理，采用巡检监理的方式，对材料堆放、施工方式、施工机械和宿营地进行环境监理，检查生态保护措施落实及施工人员的生态保护行为。施工人员进场后，立即进行生态保护教育。明确禁止施工人员进入候鸟群分布区，杜绝猎杀鸟类的行为。同时，严格控制车辆噪声，夜间禁止鸣笛，减少噪声对鸟类的惊扰，并尽量避免在鸟类大规模迁徙时段施工。

（2）运营期监督管理和效果检验

运营期应该注意监督建设单位的生态保护措施是否到位，观察生态补偿措施效果；风电场运营的时候，在候鸟迁徙高峰来临时应该关闭风机。要对风电场的管理人员进行鸟类知识的宣传和相关指导，并和鸟类管理保护单位建立必要的工作联系，使其对鸟类的干扰降低到最低程度。

在施工前期、施工期间和运营期应分别开展鸟类种类和数量的监测，以比较分析

风电场对鸟类造成的影响，密切关注变化较大的种类。鸟类监测是一项专业性很强且工作量很大的任务，需由相关单位的鸟类专业人员进行，建设单位也可以在专业人员的指导下，参加风电场范围内及周边地带的鸟类监测工作。

由于海洋性鸟类不易观测、部分鸬鹚类的迁徙期飞行路线有可能越过海面等因素，需要开展长期观测获取确切数据。监测时段应主要安排在鸟类迁徙高峰，开展不少于 5 年的鸟类监测，分别在近岸鸟类聚集地和在海上监测候鸟动向，并做好观测记录。可利用鸟类观察救助站作为固定监测点，并和救助站人员合作，根据日常观测记录调整监测时间。

8.2.4 水下噪声监测

为具体了解本项目风机水下噪声影响，在海上风电场营运期开展水下噪声监测。

1、监测时间及布点

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 70m 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。

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。

8.2.5 长期监测与评估

根据《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》要求，为及时了解和掌握本项目在其建设期间对海洋水质、沉积物和生态产生的影响，以便对可能造成环境影响的关键环节事先进行制度性的监测，使可能造成环境影响的因素得以及时发现，需要对项目建设对海洋环境产生的影响进行长期监测和评估。

根据本建设项目的工程特征和区域环境现状、环境规划要求，制定本项目的环境监测计划，包括环境监测的项目、频次、分析方法和评价标准等具体内容，详见报告 8.1 章节。

9 结论

9.1 项目用海基本情况

本项目位于海南省万宁市东部海域，场址水深 60~75m，场址中心离岸距离为 16km，规划面积约 15km²。

本次论证主要内容是一期工程（PFS-1），本期工程拟安装 12 台单机容量 16MW~18MW 海上风力发电机组，其中在场区东南部水深相对较深区域布置 6 台漂浮式样机，在场区西北部水深相对较浅的区域布置 6 台固定式风电机组。项目配套建设 1 座 220kV 陆上升压站，一期工程风电机组发出的电能通过 3 回 66kV 海底电缆直接接入配建的 220kV 陆上升压站。本项目一期工程计划施工工期为 18 个月。

项目拟申请用海面积为 221.6275 公顷，其中透水构筑物 33.6313 公顷，海底电缆管道用海面积为 187.9962 公顷。申请用海期限为 27 年。

9.2 项目用海必要性结论

万宁漂浮式海上风电试验项目是试验性质的风电场，主要为推动我国漂浮式风电场进入商业应用阶段，工程的开发建设具有一定有利条件和资源优势。目前，海南已初步形成以海口港、洋浦港、八所港、三亚港、清澜港的“四方五港”为主体，临高金牌、昌江、乐东、琼海龙湾和三沙等港口码头为补充的总体发展格局。整体来讲，海南海域面积大、港口资源丰富，同时海南东部海域离岸 20km~30km 水深即可达 60m~90m，漂浮式风电场开发潜力超过 2000 万 kW，开发空间广阔，具备开发漂浮式海上风电的良好条件。

本风电场风能资源丰富且离岸距离近，水深满足漂浮式基础建设要求，是开展漂浮式风电场建设的优良场址，开发本风电场符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，对于促进地区旅游业，带动地方经济快速发展将起到积极作用。

本项目风电场工程的风机基础型式采用半潜式基础，项目的建设涉及了海上风机、海底输电电缆等涉海工程，其中海上风机位于海中，海底输电电缆部分采用埋设海底的方式，这些涉海工程建设均需占用一定的海域，因此，本项目用海是必需的。

9.3 项目用海资源环境影响分析结论

（1）潮流场的变化和分析

由于本项目工程风电为漂浮形式，其引起的流场改变只局限于风机浮体附近的很小范围内，对于大范围海域潮流场的影响很小，因此对于项目区潮流场的改变也很小。

（2）波浪场的变化和分析

由计算结果可知，风机群所处海域约 60-75m 水深，设计波要素在 10 年一遇以下，最大波高对应波向来自东向，10 年以上，最大波高对应波向来自东南东向。100 年一遇、50 年一遇、25 年一遇、10 年一遇和 2 年一遇最大有效波高分别为 12.7m、11.5m、10.4m、8.9m 和 6.1m。

（3）水质环境影响分析

项目施工过程中引起的悬浮泥沙对水质的影响较小，除了近岸区引起的悬浮泥沙扩散范围顺潮流方向延伸的距离约为 1.9km，其它区域引起的悬沙扩散范围顺潮流方向的延伸距离都小于 1km。因此，近岸区的影响较大，而风机所在海区的影响较小。从悬浮物最大浓度增量包络线分布分析可知，超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 5.468km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 0.992km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 0.156km²；超 III 类(>100mg/L)的面积为 0.019km²；超IV类(>150mg/L)海水水质的面积为 0.002km²。

（4）水下噪声及电磁辐射环境影响评价

①施工期水下噪声影响

本项目施工期水下噪声主要是项目系泊系统的施工产生的噪声。系泊系统安装主要分为锚桩施工和系泊缆施工，其中锚桩需采用水下打桩技术。

项目施工噪声可能对临近的海洋生物造成一定的影响，如鱼类的交流、觅食、繁殖等。因此，施工期应对鱼类等动物进行可能的驱赶、保护等工作。由于幼鱼的影响阈值更低，施工作业期间，应避开产卵期。在施工作业中应同步开展水下噪声现场监测，使施工噪声源的强度缓慢增强，能驱使海洋生物离开施工水域，减小对海洋生物的影响程度。

②营运期水下噪声影响

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（120 Hz~1.5 kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20 dB/1 μ Pa，总体噪声谱级都在 120 dB/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。根据风电场水下噪声监测结果和国外数据分析,风电场营运期总体的水下噪声强度比较低,与原海洋环境背景噪声基本上相当,对海域内的哺乳动物影响程度有限。但营运期水下噪声对产卵场、索饵场和洄游通道的不同鱼类目前研究不多,因此在营运期水下噪声对工程周边海域中大头银姑鱼、杜氏叫姑鱼等产卵场的影响还有待进一步深入的研究。

③电磁场的影响

本工程单机容量 16-18MW 的风力发电机组,所产生的磁场强度远小于评价标准的要求(工频磁感应强度 $\leq 100 \mu\text{T}$,《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)),不会对工程附近海域是海洋生物产生影响

根据类比监测结果,本工程海底电缆所产生的电场强度、磁场强度最大值分别为 $5.034 \times 10^{-3} \text{kV/m}$ 、 $0.307 \mu\text{T}$,均远低于《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)规定的工频电场强度 4kV/m 、工频磁感应强度 $100 \mu\text{T}$ 的标准限值,且工频电场、磁场强度随着距离的增加基本呈衰减趋势,由于本工程 3 根海缆之间距离相对较远,工频电场、磁场强度之间的叠加影响基本可忽略。

据本项目引用的厦门大学的实验室模拟实验,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)基本上没有影响。另外根据国内外现有电磁场对海洋鱼类的影响研究资料分析,风电场运行期期间,海底电缆经保护层及沉积物屏蔽后,产生的工频电磁场不会改变鱼类的洄游路线及洄游形式。

(5) 鸟类及其生境影响分析

项目施工期间对鸟类的影响主要是海上施工活动的直接影响、陆上施工的直接影响、噪音与光污染。风电运行期对鸟类的影响可以分成下述几种:风电机噪声影响对鸟类的影响;日间风机叶片反射阳光和晚上风电场区域的照明对鸟类的光影响;风电场对鸟类迁徙的阻挡、干扰作用、撞击的风险;风机可能使鸟类栖息地损失和破碎化、生境质量下降。项目风电建设对对爪哇金丝燕的觅食区域和繁殖区域影响较小,对金丝燕的声音交流和回声定位等行为影响较小。

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)。

(6) 用海资源、生态影响分析

海域使用类型为工业用海中的电力工业用海，用海方式为透水构筑物和海底电缆管道。项目占用海洋空间资源 221.6275 公顷，对该海域其它开发利用活动具有排他性。项目涉及岸线为海缆登陆点，项目 66kV 海底电缆登陆将穿越砂质岸线。初步估算，系泊锚桩打桩、海缆管沟开挖造成的底栖生物经济补偿额为***万元，悬浮物造成渔业资源损害补偿额为***万元。

本着损害多少，补偿多少的原则，建议采取人工放流当地生物物种的生态恢复和补偿措施，缓解和减轻工程对所在海域生态环境的不利影响。应在工程结束后由建设单位在工程影响水域投放海洋生物，从而保护海域生态环境的平衡，人工放流应在渔业部门的监督下进行，放流品种以当地优势种为主，放流地点为工程附近的水域。同时，为了解工程实施增殖放流后所达到的效果，应在放流工作实施 1 年后由建设单位委托相关单位对该海域海洋生物情况进行跟踪监测。

9.4 海域开发利用协调分析结论

根据项目用海对所在海域开发活动的影响分析结果，本项目涉及的利益相关者为***。

项目用海不存在引发重大利益冲突的可能，与利益相关者具有可协调性。项目用海属经营性用海，按国家有关规定交纳海域使用金，不存在损害国家权益的问题；项目所在海域及周边没有国防设施，其工程建设、生产经营不会对国防安全产生不利影响。

9.5 项目规划符合性分析结论

根据《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》，项目位于海洋空间功能布局中的海洋开发利用空间和海洋生态保护红线，项目用海类型为电力工业用海，项目建设符合《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》中海洋开发利用空间的管控要求。

根据海南省“三区三线”成果，项目海底电缆工程穿越了博鳌-港北海岸防护物理防护极重要区和海南岛东南部重要渔业资源产卵场，海缆登陆段采用定向钻穿越海岸线，施工和运营对生态保护红线影响较小。项目建设过程中引起的悬浮泥沙含量升高，会对生态红线区造成影响，待施工结束后，影响也随之消失，海底电缆工程建设不改变海域自然属性，通过采取积极有效的污染防治措施，能将悬沙扩散对岸线的影响降至最低。因此，项目建设符合海南省生态保护红线管控的要求。

9.6 项目用海合理性分析结论

项目海域使用类型为“工业用海”（一级类）中的“电力工业用海”（二级类），用海方式为构筑物（一级方式）中的透水构筑物（二级方式）和其他方式（一级方式）中的海底电缆管道（二级方式）。其用海方式与用海单元的功能需求相适应，生态影响可控。因此，项目的用海方式是合理的。

项目设计尺度满足项目用海需求，同时符合行业相关技术规范。宗海单元界址点界定、用海面积的量算符合《海籍调查规范》；项目平面布置设计遵循节约空间的原则，严格控制利用范围。

项目建设与项目所在区域的自然环境和社会环境相适宜，与周边开发利用活动不冲突；与利益相关者有较好的协调性；与国家宏观政策、地方城市发展战略规划相一致；项目用海与国土空间规划相符合；工程选址、用海方式、用海面积和期限合理；项目建成后有利于经济发展和产业结构调整，具有良好的社会效益，能够较好地发挥该海域的自然环境和社会优势，风电场的建设为海南省海上风电产业建设发挥重要作用。

综上所述，项目用海选址、用海方式和平面布置、利用岸线和生态化建设、用海面积和用海期限界定等是合理的。

9.7 项目用海可行性结论

项目建设与项目所在区域的自然环境和社会环境相适宜，与周边海域开发利用活动不冲突；与利益相关者有较好的协调性；与国家宏观政策、地方城市发展战略规划相一致；项目用海与国土空间规划相符合；用海选址、用海方式和平面布置、利用岸线和生态化建设、用海面积和用海期限界定合理；工程建成后有利于经济发展和产业结构调整，具有良好的社会效益，能够较好地发挥该海域的自然环境和社会优势，风电场的建设为海南省海上风电产业建设发挥重要作用。

因此，项目建设方案可行、利益相关者可协调，从海域使用角度分析，项目建设是必要的，项目用海是可行的。