国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目

增容项目

海域使用论证报告书

（公示稿）

国家海洋局南海调查技术中心

中国·广州

二〇二四年七月

信用页

关于《国家电投揭阳靖海150MW海上风电项目增容项目海域使用论证报告书》全文公示删减内容及理由的说明

根据《自然资源部关于规范海域使用论证材料编制的通知》（自然资规〔2021〕1号）、《广东省省管用海项目海域使用论证报告技术审查工作流程规范》等的相关要求，对《国家电投揭阳靖海150MW海上风电项目增容项目海域使用论证报告书》全本予以公示。

在此次公示中，我单位按要求删除或模糊处理其中涉及技术秘密、商业秘密等内容。现将删除或模糊处理内容说明如下：

1.删除或模糊处理工程具体位置，具体平面布置情况等敏感信息。

原因：此部分内容属于项目建设的商业秘密部分。

2.模糊处理本项目投资、发电量等主要经济指标。

原因：此部分内容属于项目的商业秘密。

3.删除或模糊处理有关引用材料的编制单位信息。

原因：影响第三方商业秘密。

4.删除数模计算过程，保留结果。

原因：影响第三方的商业秘密。

5.公示内容不包含环境监测、现场踏勘详细数据记录。

原因：详细数据涉及监测单位和评价单位的商业秘密。

6.删除项目工程地质勘察、地形地貌调查的具体分析内容及数据，保留分析结论。

原因：此部分内容属于项目建设的商业部分。

7.删除附件内容。

原因：此部分内容涉及用海单位、利益相关者及有关管理部门的管理要求，附件文件未经同意不允许公开。

8.删除编制单位的资质文件等材料。

原因：此部分内容属于编制单位的商业秘密。

项目基本情况表

<table>
<tr><td>项目名称</td><td colspan="4">国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目</td></tr>
<tr><td>项目地址</td><td colspan="4">广东省揭阳市惠来县</td></tr>
<tr><td>项目性质</td><td colspan="2">公益性（　　）</td><td colspan="2">经营性（√）</td></tr>
<tr><td>用海面积</td><td colspan="2">340.3343 ha</td><td>投资金额</td><td>511558 万元</td></tr>
<tr><td>用海期限</td><td colspan="2">27 年</td><td>预计就业人数</td><td>人</td></tr>
<tr><td rowspan="4">占用岸线</td><td>总长度</td><td>20 m</td><td>邻近土地平均价格</td><td>万元/ha</td></tr>
<tr><td>自然岸线</td><td>20 m</td><td>预计拉动区域经济产值</td><td>万元</td></tr>
<tr><td>人工岸线</td><td>0 m</td><td rowspan="2">填海成本</td><td rowspan="2">（不涉及）万元/ha</td></tr>
<tr><td>其他岸线</td><td>0 m</td></tr>
<tr><td>海域使用类型</td><td colspan="2">工矿通信用海-可再生能源用海</td><td>新增岸线</td><td>0 m</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>用海方式</td><td>面积</td><td>具体用途</td></tr>
<tr><td>海底电缆管道</td><td>51.9109 ha</td><td>66kV 海底集电线路</td></tr>
<tr><td>透水构筑物</td><td>2.0662 ha</td><td>海上升压站</td></tr>
<tr><td>海底电缆管道</td><td>237.8605 ha</td><td>220kV 海底电缆送出工程</td></tr>
<tr><td>透水构筑物</td><td>48.4967 ha</td><td>海上风机</td></tr>
<tr><td colspan="3">注：邻近土地平均价格是指用海项目周边土地的价格平均值。</td></tr>
</table>

目录

附录

附录一 2021年11月秋季调查潮间带生物种类名录

附录二 2022年9月秋季调查海洋生物种类名录

附录三 2022年3月春季调查海洋生物种类名录

附录四 周边海域和近岸陆域鸟类名录

附件

附件1 检验检测机构分析测试报告（单独成册）

附件2 用海申请者与利益相关者已达成的协议

附件3 海洋测绘资质证书(正本)复印件

附件4 检验检测机构资质认定证书复印件

附件5 重要图件名录

附件6 工作委托书

附件7 单位技术负责人审核意见

附件8 广东省能源局关于国家电投揭阳靖海150MW海上风电项目增容项目申请前期工作的复函

附近9 广东省发展改革委关于揭阳靖海海上风电场址调整的复函

附件10 海上风电项目海底电缆管道登陆点调研会议纪要

附件11 关于同意成立揭阳惠来风电有限公司等3家全资子公司的批复

附件12 揭阳市交通运输局关于对《关于恳请支持国家电投揭阳90万千瓦海上风电场项目建设的函》的复函

附件13 增容后论证报告书专家评审意见及签到表

附件14 增容后论证报告书专家复核意见表

摘要

国家电投揭阳神泉二 350MW 海上风电项目增容项目位于揭阳市惠来县靖海镇东南面海域，风电场的场址距离惠来县沿海最短距离约 16km，最远约 24km，场址水深范围 31~35m；送出海缆由升压站发出，向西北方向延伸至惠来县前詹镇港寮湾一处砂质海滩登陆。

本项目原规划装机容量 150MW，为适应风电平价的政策要求，经广东省能源局同意，建设单位将该项目总装机容量由 150MW 增容至 400MW，于 2022 年 10 月 17 日取得揭阳市自然资源局出具的用海预审意见，后因军事部门要求，场址发生调整，并取得广东省发展改革委的同意意见。

场址调整后，设计单位按照调整后的场址范围重新进行设计，按照风机发展趋势，拟安装单机容量为 14MW 的风力发电机组 29 台，同时配套建设 1 座 220kV 海上升压站和陆上集控中心。风电机组发出的电能通过 6 回 66kV 集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆输送到揭阳市惠来县前詹镇的陆上集控中心。项目总申请用海面积 340.3343 公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积 48.4967 公顷，海上升压站（透水构筑物）用海面积 2.0662 公顷，220kV 海底电缆用海面积 237.8605 公顷，集电线路用海面积 51.9109 公顷。海底电缆登陆点保护带涉及海岸线长度约 20.0m，风机外包络线占海面积 23.5km^2。申请用海期限 27 年。项目用海分类为工矿通信用海（一级类）之可再生能源用海和海底电缆管道用海（二级类）。

工程建设后对潮流的影响主要体现在涨落潮时桩基背水面的流速减小，减幅 2~5cm/s；工程对于流场的影响主要在每个风机周围 600m 内，对其他海域流场没有影响。对流向影响很小，涨急时刻流速以减小为主，落急时刻流速同样减小为主，流速变化 1~2cm/s，风电场外基本不变。

风电桩基完成以后，桩基群对水流主要涡流，在风机周边产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.1m/a 左右，而在桩基群之间，冲刷不明显。整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

项目施工期悬浮物增量值大于 100mg/L 的最大可能影响面积为 104.91km^2，大于 50mg/L（超二类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 57.86km^2，大于

100mg/L（超三类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 29.09km^2，大于 150mg/L（超四类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 12.43km^2。施工悬沙对周围的环境和敏感目标影响很小，将随着施工的结束而消失。

项目施工期造成底栖生物累计损失量为 9.5098 吨，鱼卵的累计损失量 4.17×10^8 粒，仔稚鱼的累积损失量为 1.46×10^8 尾，游泳生物的累积损失量为 6.00×10^3kg；运营期桩基压占造成的底栖生物累计损失为 0.0688 吨。项目的施工和运营将对当地的渔业生产产生一定的影响，但桩基础将形成人工鱼礁，一定程度上有利于渔业资源的恢复。

项目用海对鸟类资源将会产生一定的影响，主要包括风机噪声影、光、碰撞、栖息地破碎化、生境质量下降等。应采取一定措施尽量减少对鸟类的影响。

项目风电场和海底电缆设计时已避开相关岛礁，正常施工和营运不会对岛礁产生不利影响。

本项目的协调责任部门为航道、海事主管部门，利益相关者为有关鲍鱼养殖场养殖户。利益相关者具有可协调性。建设单位正在与利益相关者和有关主管单位进行协商，部分已取得协调意见。

本项目建设符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》《广东省国土空间生态修复规划（2021—2035 年）》《揭阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《惠来县国土空间总体规划（2021-2035 年）》等国土空间规划文件要求；项目 220kV 海底电缆穿越前詹珍稀濒危物种分布区属于“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”情形，符合生态保护红线的管控要求。

项目风电场位于珠海-潮州近海农渔业区，送出海底电缆穿越前詹港口航运区、田尾山-石碑山农渔业区、珠海-潮州近海农渔业区，项目建设符合《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》的管控要求。

项目建设符合国家产业政策要求，符合《全国海洋功能区划（2011 年-2020 年）》《广东省海洋主体功能区规划》，符合《广东省海上风电发展规划》（2017-2030 年）（修编）、《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》、《广东省海洋经济发展“十四五”规划》、《揭阳港总体规划（2035 年）》、《揭阳市海洋经济发展“十四五”规划》等相关规划。

项目所在区域的区位和社会条件能满足项目建设的要求；与自然资源和生态环境相适宜，风资源较丰富；场地稳定性和工程地质条件较好，在采取必要的桩基础结构和合理的施工方案等工程措施的前提下，项目选址能满足相应场地要

求；项目选址符合国土空间规划、海洋功能区划；项目建设有利于该区域海洋经济的协调发展，对周边海域的资源环境影响较小；项目在协调好与周边利益相关者的关系前提条件下，选址与周边其它用海活动是适宜的。通过对宏观选址和微观选址的分析，项目用海选址是合理的。

项目平面布置方案能充分利用海域的空间资源和风能资源，产生最大的发电效益，在划定的场址范围内集约节约用海；海底电缆经过优化后，用海面积和铺设施工对资源环境的影响相对更小，提高了项目的用海合理性。项目用海平面布置方案合理。

本项目主要水工建筑物是风机基础、海底电缆和海上升压站，风机基础和海上升压站采用桩基础的结构方案，用海方式分别为透水构筑物和海底电缆管道，用海方式能满足本项目的使用功能，符合有关规范的规定，符合国土空间规划，海洋功能区划的管理要求，能最大程度对资源生态的影响，用海方式合理。

项目 22kV 海底电缆登陆时涉及占用岸线 20 米，电缆登陆采用定向钻的施工方式，电缆埋设于海床以下，不会改变岸线的自然属性和自然风貌。实际上，项目 220kV 海底电缆的直径约 26cm，即使加上保护设施后，2 回 220kV 海底电缆涉及的海岸线长度仅 1m 左右，其余为保护距离，不实际占用岸线。

建设单位应加强施工管理和营运期维护工作，施工期和运营区可采取有效的污染防治对策措施和生态保护措施，尽量减少对海洋生态环境的影响。建设单位应按要求开展生态跟踪监测，及时监督、处理和解决施工和运营过程中出现的资源生态问题。项目建设和运营过程造成的生物资源损失可通过增殖放流的方式予以弥补。

项目总用海面积为 340.3343 公顷，其中透水构筑物用海面积共 50.5629 公顷（风机用海面积 48.4967 公顷、海上升压站用海面积 2.0662 公顷），海底电缆管道用海总面积 289.7714 公顷（220kV 送出海底电缆用海面积 237.8605 公顷，66kV 集电线路海底电缆 51.9109 公顷）。项目设计符合相关行业标准和规范，能满足项目的建设需求，宗海图按照规范绘制，用海面积按规范量算，现阶段，不存在减少用海面积的可行性，从集约节约用海角度考虑，用海面积合理。

本项目风机基础结构防腐蚀设计按 27 年考虑，风机的设计服务年限为 25 年，申请用海期限 27 年，符合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定，用海期限合理。

1 概述

1.1 论证工作来由

广东省省内电源装机以火电机组为主，节能减排压力巨大，大力发展核电、风电等新能源产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。首先，广东省大陆海岸线较长，东迄闽粤相交的饶平县界山，西止粤桂交界的英罗港洗米河口，海域面积广阔；其次，广东沿海风能资源多数达到3级～6级，年平均风功率密度为300 W/m^2～600W/m^2，是全国海上风能资源最丰富区域之一。开发利用海上风能资源，对于满足广东省电力需求、优化能源结构、减少环境污染、应对气候变化、促进经济可持续健康发展具有重要的作用。

为推进海上风电开发利用，促进广东省节能减排工作，推动新能源产业快速、稳定发展。揭阳市人民政府与国家电投集团广东电力有限公司于2017年3月签订了《揭阳海上风电及相关项目合作框架协议》；为深化合作，进一步推进项目进程，2017年6月，揭阳市人民政府与国家电投集团广东电力有限公司及明阳智慧能源集团股份有限公司签订了《揭阳海上风电项目投资合作协议》。根据合作框架协议，国家电投集团广东电力有限公司组织实施揭阳神泉、靖海海上风电场工程项目各项准备工作。

2018年2月10日，建设单位委托国家海洋局南海调查技术中心（下称论证单位）承担本项目的海域使用论证工作，编制完成《国家电投揭阳靖海150MW海上风电场项目海域使用论证报告书》（下称《论证报告书》）。2018年6月14~15日，原广东省海洋与渔业厅委托广东省海洋发展规划研究中心在广州市组织召开了该项目《论证报告书》专家评审会，报告书通过评审。2018年7月4日，《论证报告书》经修改完善后，通过专家组长复核，形成报批稿。专家组意见和复核意见见附件。

2018年8月17日，原广东省海洋与渔业厅出具该项目用海预审意见（粤海渔函〔2018〕675号）。因军事等问题，该项目用海一直未予报批。截止目前，该

项目《论证报告书》已超过3年有效期，用海预审意见已过期。

随着海上风电装备技术革新与进步、施工技术的优化与调整和海上风电管理政策的变化，大功率海上风机已成为海上风电装机未来主流机型。为适应风电平价的政策要求，经广东省能源局同意，建设单位拟将该项目总装机容量由 150MW 增容至 400MW，由原方案建设 28 台 5.5MW 风机变为建设 33 台 12MW 风机，风机间集电线路由原方案 6 回 35kV 海底电缆调整为 8 回 66kV 海底电缆，位置亦相应发生调整，送出工程由建设 1 回 220kV 海底电缆调整为 2 回 220kV 海底电缆，但风电场规划场址、220kV 海底电缆路由位置、海上升压站位置及登陆点未变。2022 年 4 月 2 日，建设单位再次委托论证单位承担本项目的海域使用论证工作，编制完成《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目海域使用论证报告书》，该论证报告书于 2022 年 9 月 20 日通过专家评审；修改完善后，于 9 月 22 日通过专家组长复核。2022 年 10 月 17 日，揭阳市自然资源局出具调整后的项目用海预审意见（揭市自然资函〔2022〕805 号）。

后续项目在协调军事部门意见过程中，军事部门提出要求调整项目场址范围。建设单位将风电场场址往西侧适当调整，并取得广东省发展改革委关于调整场址的支持性意见。调整后的场址面积约 24km^2，离岸距离 16km-24km，水深 31m-33m，总装机容量仍为 400MW。

设计单位按照调整后的场址范围重新进行设计，按照风机发展趋势，拟安装单机容量为 14MW 的风力发电机组 29 台，同时配套建设 1 座 220kV 海上升压站和陆上集控中心。风电机组发出的电能通过 6 回 66kV 集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆输送到揭阳市惠来县前詹镇的陆上集控中心。

相比 2022 年的建设方案，本次调整后，项目用海情况发生较大变化。根据《中华人民共和国海域使用管理法》规定，在中华人民共和国内水、领海持续使用特定海域三个月以上的排他性用海活动，在向海洋行政主管部门申请使用海域时，必须出具海域使用论证材料，论证该海域使用是否可行。根据上述规定，建设单位再次委托国家海洋局南海调查技术中心按照场址调整后的项目开展海域使用论证工作，重新编制海域使用论证报告书。

接受委托后，国家海洋局南海调查技术中心组成了项目组，开展调整后的现

场踏勘工作，收集相关资料，了解本项目附近区域的自然环境条件，查清工程区附近最新的海洋资源开发利用现状；根据调整情况重新分析界定利益相关者，并提请业主与利益相关者进行协调；进行涉海工程综合分析研究，量算工程用海面积等工作。在此基础上重新编制了本次调整后的海域使用论证报告书。

1.2 论证依据

1.2.1 法律法规及文件

1) 《中华人民共和国海域使用管理法》（2002 年 1 月 1 日起实施）；

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

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

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

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

6) 《中华人民共和国渔业法》（2013 年 12 月 28 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第六次会议修订）；

7) 《中华人民共和国可再生能源法》（2009 年 12 月 26 日第十一届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议修订，自 2010 年 4 月 1 日起施行）；

8) 《中华人民共和国野生动物保护法》(2018 年 10 月 26 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第六次会议《关于修改〈中华人民共和国野生动物保护法〉等十五部法律的决定》第三次修正)；

9) 《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》（2017 年 3 月 1 日根据《国务院关于修改和废止部分行政法规的决定》修订）；

10) 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》（国务院令第 475 号 2006 年 11 月 1 日起施行，根据 2018 年 3 月 19 日《国务院关于修改和废止部分行政法规的决定》第二次修订）；

11)《国务院关于<广东省国土空间规划（2021—2035 年）>的批复》（国函〔2023〕76 号），2023 年 8 月 8 日；

12)《财政部、国家海洋局关于加强海域使用金征收管理的通知》，财综[2007]10 号（财政部、国家海洋局，2007 年 3 月 1 日实施）；

13)《关于印发<调整海域 无居民海岛使用金征收标准>的通知》（财综〔2018〕15 号，2018 年 3 月 13 日）；

14)《海域使用权管理规定》（国家海洋局，2006 年 10 月 13 日发布，2007 年 1 月 1 日起实施）；

15)《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》（2013 年 12 月 7 日第二次修订）；

16)《海岸线保护与利用管理办法》（国家海洋局，2017 年 3 月 31 日执行）；

17)《铺设海底电缆管道管理规定》（中华人民共和国国务院令第 27 号，1989 年 3 月 1 日起施行）

18)《海底电缆管道保护规定》（国土资源部令第 24 号，2003 年 12 月 30 日国土资源部第 12 次部务会议通过，2004 年 3 月 1 日起施行）；

19)《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》（国家海洋局第十四次局务会议通过，1992 年 8 月 26 日发布施行）；

20)《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，2016 年 12 月 27 日；

21)《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；

22)《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；

23)《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》，国家海洋局，国海规范[2016]6 号，2016 年 10 月 31 日；

24)《广东省人民政府办公厅关于推动我省海域和无居民海岛使用“放管服”改革工作的意见》，粤府办〔2017〕62 号，2017 年 10 月 15 日；

25)《自然资源部关于印发<国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南>的通知》，自然资发〔2023〕234 号，2023 年 11 月 22 日；

26)《自然资源部关于规范海域使用论证材料编制的通知》(自然资规〔2021〕1 号)，2021 年 1 月 8 日；

27)《自然资源部办公厅关于进一步做好海域使用论证报告评审工作的通知》（自然资办函〔2021〕2073 号），2021 年 11 月 10 日；

28)《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），2022 年 4 月 15 日；

29)《广东省海域使用管理条例》（2007 年 3 月 1 日实施，2021 年 9 月 29 日修订）；

30)《广东省湿地保护条例》（2020 年 11 月 27 日广东省第十三届人民代表大会常务委员会第二十六次会议修订，自 2021 年 1 月 1 日起施行）；

31)《广东省环境保护条例》（2019 年 11 月 29 日广东省第十三届人民代表大会常务委员会第十五次会议第二次修正，自 2015 年 7 月 1 日起施行）；

32)《广东省财政厅 广东省自然资源厅关于印发<广东省海域使用金征收使用管理办法>的通知》（粤财规〔2019〕2 号，2019 年 5 月 10 日）；

33)《关于印发<广东省海域使用金征收标准（2022 年修订）>的通知》（粤财规〔2022〕4 号，2022 年 6 月 17 日）；

34)《广东省自然资源厅关于印发<广东省自然资源厅省管用海项目审查审批工作规范>的通知》，广东省自然资源厅，2020 年 8 月 12 日；

35)《广东省自然资源厅关于印发<广东省项目用海政策实施工作指引>的通知》（粤自然资函〔2020〕88 号），广东省自然资源厅，2020 年 2 月 28 日；

36)《广东省自然资源厅关于印发海岸线占补实施办法（试行）的通知》，广东省自然资源厅，2021 年 7 月 2 日；

37)《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），2022 年 8 月 16 日；

38)《自然资源部关于进一步做好用地用海要素保障的通知》（自然资发〔2023〕89 号），2023 年 6 月 13 日；

39)《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），2022 年 10 月 14 日；

40)《广东省自然资源厅 广东省生态环境厅 广东省林业局关于严格生态保护红线管理的通知（试行）》，2023 年 11 月 28 日；

41)《自然资源部关于探索推进海域立体分层设权工作的通知》，自然资规〔2023〕8 号，2023 年 11 月 13 日；

42)《自然资源部办公厅关于印发<海域立体分层设权宗海范围界定指南（试行）>的通知》，自然资办函〔2023〕2234 号，2023 年 11 月 17 日；

43)《广东省自然资源厅关于推进海域使用权立体分层设权的通知》，2023 年 9 月 18 日。

1.2.2 相关规划和区划

1) 《广东省国土空间规划（2021—2035 年）》，2023 年 8 月 8 日；

2) 《揭阳市国土空间总体规划（2021—2035 年）》，粤府函〔2023〕198 号，2023 年 8 月 26 日；

3) 《惠来县国土空间总体规划（2021—2035 年）》，粤府函〔2023〕284 号，2023 年 11 月 16 日；

4) 《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》（粤府〔2021〕28 号），2021 年 4 月；

5) 《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》（粤府办〔2021〕31 号），2021 年 9 月 29 日；

6) 《广东省生态文明建设“十四五”规划》（粤府〔2021〕61 号），2021 年 10 月 9 日；

7) 《广东省人民政府关于培育发展战略性支柱产业集群和战略性新兴产业集群的意见》（粤府函〔2020〕82 号，2020 年 5 月 18 日）；

8) 《广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划（2021-2025 年）》，2020 年 9 月 25 日印发；

9) 《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，2012 年 11 月；

10)《全国海洋功能区划（2011~2020 年）》，2012 年 4 月；

11)《全国海洋主体功能区规划》，2015 年 8 月 1 日；

12)《中国航路指南》A103，海军司令部航海保证部；

13)《全国沿海船舶航路总体规划》（2011 年 11 月 18 日印发）；

14)《广东省海上风电发展规划》（2017-2030 年）（修编），2018 年 4 月 11 日；

15)《揭阳市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》（揭府〔2021〕24 号），2021 年 5 月 17 日；

16)《揭阳市惠来县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》（惠府〔2021〕2 号），2021 年 3 月 10 日；

17)《广东省海洋经济发展"十四五"规划》，2021 年 9 月；

18)《揭阳港总体规划（2035 年）》；

19)《"十四五"现代能源体系规划》，2022 年 1 月；

20)《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》，2017 年 10 月；

21)《广东省海洋主体功能区规划》，2017 年 12 月；

22)《揭阳市海洋经济发展"十四五"规划》，2021 年 12 月。

1.2.3 标准规范

1）《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）；

2）《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）；

3）《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）；

4）《海洋监测规范》（GB 17378-2007）；

5）《海水水质标准》（GB 3097-97）；

6）《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）；

7）《海洋生物质量》（GB 18421-2001）；

8）《海域使用分类》（HY/T123-2009）；

9）《海域使用面积测量规范》（HY/T 070-2022）；

10）《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（中华人民共和国农业部，SC/T 9110-2007）；

11）《宗海图编绘技术规范》（国家海洋局，HY/T251-2018）；

12）《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）；

13）《海洋监测技术规程　第 1 部分：海水》（HY/T 147.1-2013）；

14）《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018）；

15）《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)(2009 年版);

16）《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016 年版）；

17）《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）；

18）《风电场风能资源评估方法》（GB/T18710-2002);

19）《海上风力发电场设计标准》（GB/T 51308-2019）；

20）《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）；

21）《危险化学品重大危险源辨识》（GB18218-2018）；

22）《海底电力电缆输电工程设计规范》（GB/T 51190-2016）；

23）《油气田及管道岩土工程勘察规范》(GB 50568-2019)。

1.2.4 项目技术资料

1) 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目可行性研究报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2024 年 5 月；

2) 《国电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目冬季全潮水文观测报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 4 月；

3) 《国电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目夏季全潮水文观测报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 9 月；

4) 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》，厦门大学，2018 年 7 月；

5) 《国家电投揭阳靖海150MW海上风电场项目通航安全影响分析报告（审定稿）》，广州中洋航海技术研究所，2018 年 5 月；

6) 《揭阳靖海海上风电场项目鸟类现状调查及评价专题报告》，广东省生物资源应用研究所，2018 年 7 月；

7) 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场泥沙与海床稳定性分析专题报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 7 月；

8) 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目春季海洋环境现状调查监测报告》，国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站，2022 年 4 月；

9) 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目秋季海洋环境现状

调查监测报告》，国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站，2022 年 9 月；；

10)《国家电投揭阳神泉二海上风电场项目秋季海洋环境现状调查监测报告》，国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站，2021 年 12 月。

1.3 论证等级和范围

1.3.1 论证等级

本次调整后，项目建设仍然为风电场、海上升压站、风机间集电线路海底电缆、220kV 海底电缆，项目用海类型为工业用海-电力工业用海，用海方式有构筑物用海-透水构筑物用海、其他方式-海底电缆管道用海（海底电（光）缆）。风电场透水构筑物用海的总面积为 50.5629 公顷，论证等级为一级；海底电缆管道的用海总面积按照新修测海岸线计算为 289.7714 公顷，由于 220kV 海底电缆穿越海洋生态保护红线，属于敏感海域，论证等级为二级。根据海域使用论证技术导则的“同一项目用海按不同用海方式、用海规模和海域特征判定的等级不一致时，采用就高不就低的原则确定论证等级”。本项目的论证等级为一级。

表 1.3.1-1 论证等级分析表

<table>
<tr><th>用海单元</th><th>一级用海方式</th><th colspan="2">二级用海方式</th><th>用海规模</th><th>所在海域特征</th><th>论证等级</th></tr>
<tr><td rowspan="2">风机、海上升压站</td><td rowspan="2">构筑物</td><td colspan="2" rowspan="2">透水构筑物</td><td>构筑物总长度大于（含）2000m 或用海总面积大于（含）30ha</td><td rowspan="2">所有海域</td><td rowspan="2">一</td></tr>
<tr><td>本次调整后透水构筑物用海面积共 50.5629 公顷</td></tr>
<tr><td rowspan="3">海底电缆</td><td rowspan="3">其它方式</td><td rowspan="3">海底电缆管道</td><td rowspan="3">海底电（光）缆</td><td rowspan="2">所有规模</td><td>敏感海域</td><td>二</td></tr>
<tr><td>其他海域</td><td>三</td></tr>
<tr><td>本次调整后海底电缆用海面积 289.7714 公顷（按照新修测海岸线计算）</td><td>敏感海域</td><td>二</td></tr>
</table>

1.3.2 论证范围

根据《海域使用论证技术导则》的规定：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，二级论证 8km，三级论证 5km；跨海桥梁、海底管线、航道等线性工程项目用海的论证范围划定，一级论证每侧向外扩展 5km，二级论证 3km，三级论证 1.5km。

综合项目用海情况和所在海域特征等因素，确定项目论证范围如下图所示，论证范围四至坐标见下表，面积约 2000km^2。

表 1.3.2-1 论证范围四至坐标

图 1.3.2-1　论证范围示意图

1.4 论证重点

根据工程海域的自然环境条件、海洋资源分布及开发利用现状等特点，结合项目用海性质、可能造成的环境影响及一级论证的要求，确定论证工作的重点。本项目用海类型属于工业用海-电力工业用海。参考《海域使用论证技术导则》附录的规定，确定本项目的海域使用论证重点如下：（1）用海必要性；（2）选址（线）合理性；（3）平面布置合理性；（4）用海方式合理性；（5）资源生态影响；（6）生态用海对策措施。

2 项目用海基本情况

2.1 用海项目建设内容

2.1.1 项目建设内容

项目名称：国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目

项目性质：新建大型生产性项目

投资主体：揭阳靖海风电有限公司

投资额度：工程静态投资 500716 万元，单位千瓦静态投资 12333 元/kW，其中，施工辅助工程 7879 万元，设备及安装工程 283100 万元，建筑工程 165814 万元，其他费用 27046 万元，基本预备费 9677 万元，储能系统 7200 万元。工程动态总投资 511558 万元，单位千瓦动态投资 12600 元/kW，其中：建设期利息 10842 万元。据现行海上风电上网价格相关规定，(1)本项目按上网电价 0.453 元/kWh 进行财务评价得出：项目投资财务内部收益率为 6.86%（税后，下同），资本金财务内部收益率为 11.78%，投资回收期为 12.74 年，总投资收益率为 4.83%，项目资本金净利润率为 14.74%。（2）按上网电价 0.438 元/kWh 进行财务评价得出：项目投资财务内部收益率为 6.41%（税后，下同），资本金财务内部收益率为 10.49%，投资回收期为 13.22 年，总投资收益率为 4.46%，项目资本金净利润率为 13.25%。综上，该项目经济效益良好。

地理位置：国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目场址位于揭阳市惠来县靖海镇东南面海域（见图 2.1.1-1），连陆海缆登陆点位于惠来县前詹镇，风电场场址离岸距离最近约 16km，最远约 24km，场址水深范围约 31-35 米。场址范围角点坐标见下表。

表 2.1.1-1 风电场场址范围角点坐标

工程内容：本项目用海主要分为两部分：一部分为风机基座及升压站用海，

一部分为风机间集电线路及连陆海缆用海；主要用海方式包括构筑物用海-透水构筑物用海和其他用海方式-海底电缆管道用海。

图 2.1.1-1 项目地理位置图

2.1.2 用海工程建设规模及主要工程量

本项目用海工程内容见下表。

表 2.1.2-1　用海项目工程内容

序号	项目	单位	本次调整后
1	海上升压站	座	1
2	风机数量	台	29
3	220kV 海底电缆	回/公里	2/75.79
4	66kV 集电线路	回/公里	6 回/29.93
5	风机功率	MW	14
6	总装机容量	MW	406

2.2 平面布置和主要结构、尺度

2.2.1 平面布置方案

本项目总平面布置图见下图。

图 2.2.1-1　总平面布置示意图

2.2.1.1 风电机组布置

风电场机型选择应考虑适合风电场场址的风资源条件，有利于提高风电场的发电效益。目前，国内外海上的风力发电设备制造技术已日趋成熟，针对不同区域风资源条件，各风机设备制造厂家已经开发出不同结构型式、不同控制调节方式的风力发电机组，并已进入商业运行阶段。国内各主要风机制造商为迎合国内海上风电场的发展趋势，积极进行海上风机机型的技术引进和技术研发。因此，根据场址风资源条件和风况特征及海上的特殊水文气象条件，结合国内外海上风机的认证状况、制造水平、技术成熟程度、运行业绩、设备制造的可行性和设备采购的积极性等，进行风电场机组型式选择。

风电机型一般应满足以下基本要求：

（1）风机机组应满足一定的安全等级要求根据台风影响专题对设计风速的分析计算，场址 150m 高度处 50 年一遇 10min 平均最大风速为 54.9m/s、3s 瞬时极大风速为 74.1m/s。按照 IEC 标准《Wind turbines–Part 1:Design requirements》（IEC 61400-1），风电场区域的极端风速较大，考虑极端荷载下机组的安全，本阶段推荐极端载荷能满足极端风况 50 年一遇 3s 平均极大风速为 74.1m/s 的 IEC I 类或 S 类的海上型风机。因此本风电场宜选择I级或达到I级风机极端风速标准的 S 级风力发电机组。

根据海上测风塔的资料统计分析，20m~100m 高度的 15m/s（14.5~15.5m/s）风速对应的特征湍流强度在 0.057～0.078，均小于 0.1，且湍流强度随高度的增加而减小，因此本工程海域湍流强度较低。本项目规模较大，考虑风电场运行期间尾流影响，根据《Wind turbines –Part 1:Design requirements》（IEC 61400-1），本风电场建议选择湍流强度等级 C 类及以上类别的风力发电机组。

（2）风电机组的机组性能应满足场址区特殊环境、气候等条件要求本风电场位于海上，风电机组须具备较强的抗台风、抗潮湿、防盐雾腐蚀等性能。此外，本区域年平均雷暴日数 54.0d，故风电机组宜具有适当防雷保护。风电场附近气象站多年平均气温为 21.8℃，极端温度在 1.5℃~38.4℃之间，因此本项目选择常温型风电机组（-20℃~+40℃）即可满足环境温度要求。

（3）风电机组的机组性能应满足低、高电压穿越能力测试的技术要求，具有电网适应性。

（4）风电场应满足国家能源主管部门的要求

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

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

3）所选风电机型应通过相关部门的电能质量测试，所发电能符合电网相关要求。

4）风电场应严格执行国家能源局《风电场功率预测预报管理暂行办法》。

（5）工程进度保证

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

（6）运行可靠性

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

（7）易维护性

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

（8）单机容量

从国外海上风电场的发展现状看，海上风电采用的主流机组单机容量已发展到 8MW 及以上，目前单机 8-10MW 机组也已投入运行，12MW 以上机组已进入供货阶段，且多数风电机组厂商及研究部门开发更大容量的风电机组。可见，

风电机组走大型化是今后海上风电发展的必然趋势。

根据上述原则，推荐 28 台 14.0MW 风电机组，风机参数见下表。

表 2.2.1-1 推荐机型的设计参数

项 目	单 位	WTG01
风机型号		MySE14-260
机组认证		型式认证
机组类型		半直驱
额定功率	kw	14000
功率调节方式		变速变桨
轮毂高度	m	150
安全风速(3s)	m/s	79.8
设计等级		IEC S
叶片数	个	3
叶片长度	m	126
风轮直径	m	258
扫风面积	m^2	52279
转速范围	rpm	2.30~8.72
切入风速	m/s	3
切出风速	m/s	28 (21-28m/s 软切出)
理论静态额定风速	m/s	11.6
发电机类型		永磁同步发电机
发电机额定电压	V	1380
发电机功率因数		0.93（容性）
发电机防护		IP54
齿轮箱		3 级
塔架型式		钢制柱状塔筒
机舱重量	T	460
发电机重量	T	31
叶片重量	T	51.5*3
轮毂重量	T	135.7
塔架重量	T	830

在布置风电机组时，应充分考虑风电机组之间相互的尾流影响，确定各风电机组的间距，把尾流影响控制在合理范围内。风电机组间距的变大会使风电机组间的尾流影响降低，但同时也会降低对风能资源的利用率，增加机组间电缆的长

度，增大电量损耗。海上风电场风电机组应主要根据风电场区域内风能资源条件和海底地形地质条件进行布置，布置原则为：

1) 首先应充分考虑规划使用海域的周边环境限制条件，协调与港口、航道、油气管道等之间的关系。由于周边紧邻多个规划场址，根据场址形状和当地风资源特点，选择整体最优布置方案。

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

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

4) 严格执行国家海洋局《关于进一步规范海上风电场用海管理的意见》(国海规范〔2016〕6 号)文件中关于海上风电场外缘边线包络用海面积的限定标准。

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

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

7）现阶段风机布置主要从发电效益角度出发，充分利用风能资源，且不与用海和环保冲突。

考虑到规划海域的风资源情况、风机间相互影响和尾流损失，本次调整后 29 台风机分 5 排布置。推荐的 14MW 风机风轮直径 258m，风机排与排的间距为 4.7~5.5D，排内风机最小间距为 2.9D。本工程总装机容量 400MW，共布置 29 台 14MW 风电机组。经计算，风电场年理论发电量 2140.6GWh，年上网电量 1378.8GWh，年等效满负荷利用小时数为 3396h，容量系数 38.8%。

图 2.2.1-4 风机平面布置示意图

2.2.1.2 海底电缆布置

1、220kV 海底电缆平面布置

本次调整后，220kV 海底电缆平面布置总体未发生变化，但由 1 回海缆调整为 2 回海缆，在电缆登陆时按照新修测海岸线重新考虑。根据《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目海缆预选路由选择依据说明材料（报批稿）》

（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2023 年 12 月），推荐路由方案：从海上升压站三 AC1 点出发，向西北方向延伸，穿越航路警戒圈，穿越前詹珍稀濒危物种分布区到达三 AC2 拐点靠近神泉海缆管廊带，继而转向三 AC3 拐点，避开前詹锚地，距离前詹锚地最近距离 550m，到达通用码头防波堤东南侧拐点三 AC4，避开大堆尾西侧海域附近礁石，到达拐点三 AC5，最后到达登陆点三 AC6。海洋功能区划上，该方案在近岸段穿越珠海-潮州近海农渔业区、前詹港口航运区。航道航路方面，在风电场西侧穿过揭阳近海航路警戒圈，近岸海域穿过中小型船舶航路。生态保护红线方面，路由穿过前詹珍稀濒危物种分布区，登陆点位于大陆自然岸线保护段港寮湾段内。方案避开了前詹海洋保护区及神泉海洋保护区，未穿越已建管线、风景区、倾倒区等活动区域。送出海底电缆具体路由及长度以路由勘察报告为准。各拐点处布置及间距见图 2.2.1-5。

风电场送出线路采用 2 回三芯 220kV 送出海底电缆，根据《海底电力电缆输电工程设计规范》（GB/T 51190-2016）第 3.2.9 节“平行敷设的海底电缆应避免交叉重叠，电缆间距不宜小于该处最大水深的 1.2 倍，登陆段间距可适当缩小，但应满足电缆载流量和保护的要求”，根据《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》（GB 50168-2006）第 5.5.4 条“水底电缆平行敷设时的间距不宜小于最高水位水深的 2 倍；当埋入河床（海底）以下时，其间距按埋设方式或埋设机的工作活动能力确定。”结合本项目 220kV 海底的施工方式，考虑到拐点处施工难度，2 回 220kV 海底电缆间距总体以 50 米间距考虑。从海上升压站送出时，两回海缆逐渐分开至间距为约 50 米；即将登陆时，两回海缆从 50 米间距逐渐收缩。

表 2.2.1-2 路由预选报告推荐路由拐点坐标表

图 2.2.1-5　 220kV 主海缆平面布置图

2、集电海底电缆平面布置

集电线路型号为 66kV 海底电缆。根据风电机组布置及考虑每个 66kV 母线段所带风电机组数量尽量平衡和 66kV 海缆的材质特点，每回路布设 4-5 台风机。风电场共设置 6 回 66kV 集电海底电缆。集电线路平面布置见图 2.2.1-6。集电线路选择见表

各回路连接的风机如下：

1 号回路：F1、F2、F3、F4、F5	4 号回路：F26、F27、F28、F21、F20
2 号回路：F15、F8、F7、F6、F12	5 号回路：F23、F24、F25、F18、F19
3 号回路：F29、F22、F14、F13	6 号回路：F17、F16、F9、F10、F11

表 2.2.1-3 集电线路选型表

连接风机数	风机计算电流(A)	电缆截面选择（mm^2）	电阻（Ω/km)	电容（uF/km)	电感（mH/km)
1	129	3×95	0.246	0.119	0.492
2	258	3×185	0.127	0.147	0.438
3	387	3×400	0.06	0.191	0.387
4	516	3×630	0.0397	0.238	0.356

图 2.2.1-6　集电线路平面布置示意图

2.2.1.3 海上升压站布置

本工程配套建设一座 220kV 海上升压站。从风电场集电线路角度考虑，海上升压站需布置在风电场中央以及靠近陆地地带，这样整个场区集电线路长度最短、线损最小。升压站布置在风电场场址北侧偏西方向，选址区域水深约-32m。海上升压站根据国标要求，不考虑常驻人员，按照无人值班、无人值守方式运行。

本工程总装机规模 400MW，升压站电压等级 220kV，考虑建筑物的重要性和建筑物破坏后果的严重性，并考虑与本工程风机基础的设计标准相匹配，本工程海上升压站结构设计使用年限为 50 年，结构安全等级为一级。

海上升压站采用整体式布置，包括上部结构和下部结构。下部结构采用导管架型式，并设置了 4 根钢管桩。上部结构拟整体安装，即整个升压站包括其内部的电气设备在陆上建造、组装后整体运输和安装,本工程升压站暂不考虑布置直升机平台。

海上升压站为四层布置。一层布置主变集油罐间、临时休息室、生活水泵房、楼梯，靠近甲板边缘处布置有救生设备。二层布置主变室、GIS 室、配电室、蓄电池室、消防设备间、楼梯。三层布置低压配电室、通信蓄电池室、柴油机房、二次设备间、暖通机房、楼梯。

底层平台下部设登船小平台，登船小平台应高于最大潮位和 8 级风浪影响之上，通常可利用导管架施工灌浆平台统一设置。登船平台与底层平台通过 45°钢梯

联系，登船平台与靠船橡胶护玄立柱连接，通过直梯登船。

海上升压站底层甲板梁顶高程定为 21m。升压站布置时考虑波浪、海流和风的方向、太阳角度等因素，平台长边位于正北偏西 22.5°方向。

海上升压站升压站布置两台 220/66kV 容量为 240MVA 的主变压器，220kV 侧采用线变组加辅助开关接线，66kV 侧采用单母分段接线。

2.2.1.4 陆上集控中心布置

本工程集控中心与神泉二、神泉一风电场集控中心进行合建。合建集控中心站址位于前詹电厂规划场址内部永久宿舍区处，对集控中心总体规划影响不大。

2.2.2 主要水工构筑物的结构、尺度

本次增容后，本项目总装机容量由 150MW 变为 400MW。本工程风机基础抗震设防类别为丙类。本工程风机基础设计使用寿命为 25 年，防腐蚀设计使用年限按 27 年考虑。对于海上风机基础主体结构的设计，本阶段按照 500t 级运维船进行事故船舶撞击分析。

2.2.2.1 风机基础设计

本项目可行性研究报告从结构、施工、防腐蚀、工程量等因素综合考虑，对风机基础采用高桩承台基础、四桩导管架基础、水上三桩基础方案进行了综合比选。**项目风机基础推荐采用钢管桩桩基础，推荐采用四桩导管架结构。**

具体设计方案为：4 根钢管桩定位于海底，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。基础塔筒与导管架四桩腿之间由 4 个变截面箱梁连接。导管架基础不考虑抛石、砂被等桩基防护措施，设计中预留冲刷深度暂按 1.5 倍桩径考虑。

根据工程海域的水深情况，现阶段设计导管架桩顶标高为-25~-27m，导管架顶法兰标高均为 24m，灌浆连接段长度统一为 6 米。用 4 根钢管桩定位于海底，桩径 3.2~3.5m，平均桩长约 90m，呈正方形均匀布设。下部导管架根开为 30~32 米，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过灌浆，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，并将荷载传递给垂直打入海底的钢管桩。

采用 SACS 海洋工程大型软件进行了多个钻孔的静力计算分析与校核。通过桩-土-上部结构详细静力计算分析，得到了杆件应力、桩身应力、结构变形、桩头最大荷载等成果，基于《码头结构设计规范》进行不同区域的基桩承载能力计算校核，确定各区域的钢管桩入土深度。

四桩导管架基础结构模型见图 2.2.2-1，四桩导管架基础方案布置见图 2.2.2-2。

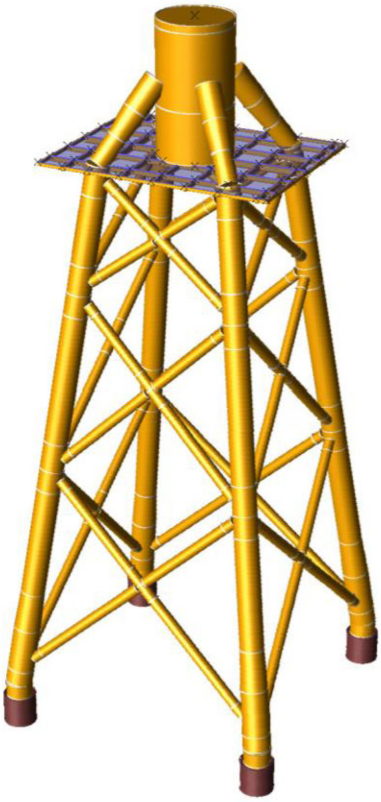


图 2.2.2-1　四桩导管架基础计算模型图

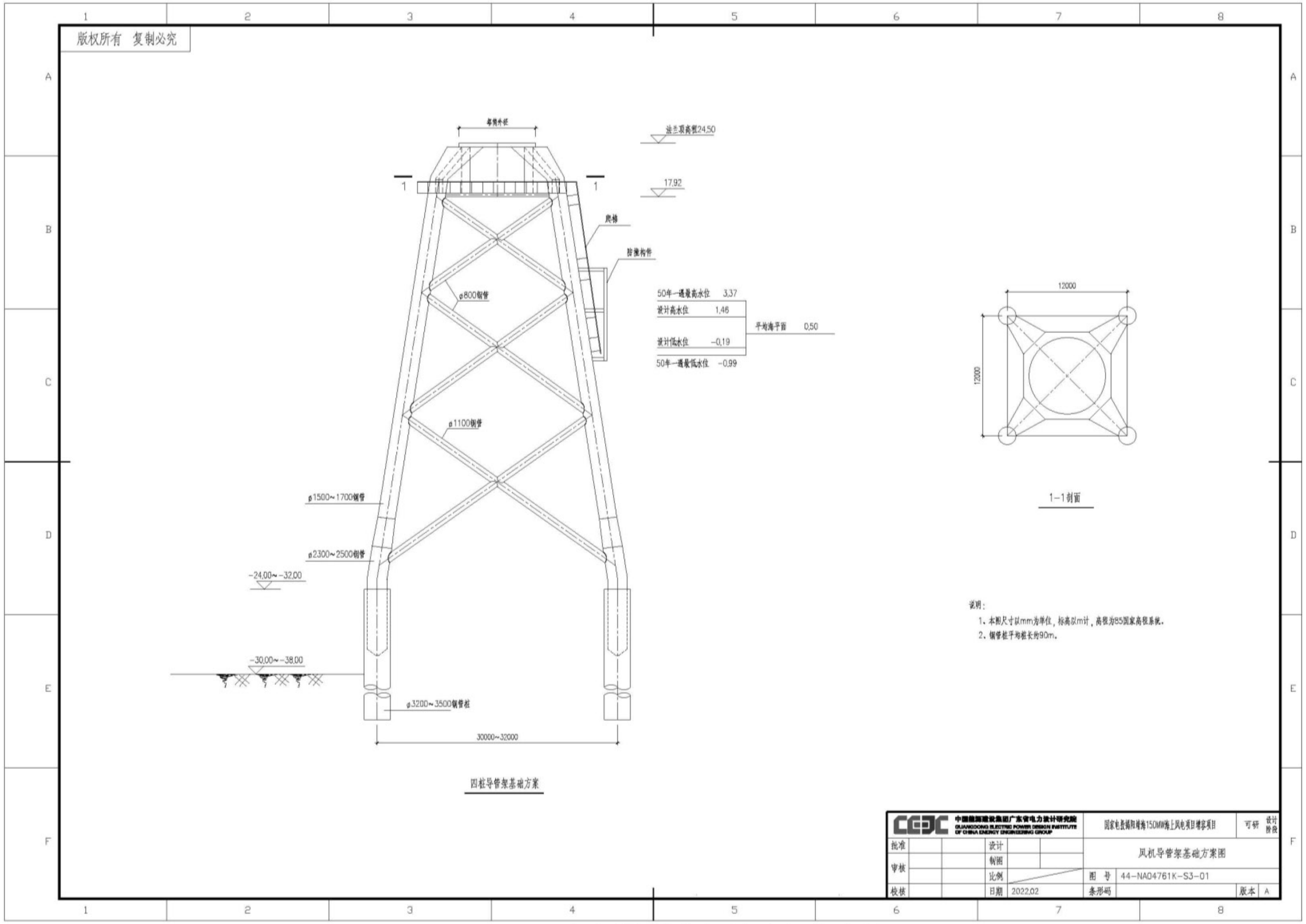


图 2.2.2-2 风机四桩导管架基础方案布置

2.2.2.2 海上升压站

1、设计原则

目前专门的海上升压站标准主要为《风电场工程 110kV~220kV 海上升压变电站设计规范》 (NB/T 31115-2017)，该标准对升压站结构的总体布置，结构设计，电气设计，给排水设计，消防设计，疏散逃生，建造等提出原则性要求，细节则主要借鉴相关海洋平台标准，例如《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法》(API RP-2A-WSD)，《石油和天然气工业固定式海上钢结构》(ISO 19902: 2007)，Norsok N-004《Design of Steel Structures》以及挪威船级社相关规范。由于海洋平台和海上升压站特点不同、国内与国外标准适用自性不同，给海上升压站设计、施工带来困扰。

海上升压站作为海上风力发电场的重要构筑物，其重要性等级高于一般风机基础结构。参照《风电场工程 110kV~220kV 海上升压变电站设计规范》 (NB/T 31115-2017)第 3.0.5 条规定，海上升压变电站应按照“无人值守”方式设计，并按照无人驻守平台设计。本工程总装机规模 400MW，升压站电压等级 220kV，考虑建筑物的重要性和建筑物破坏后果的严重性，并考虑与本工程风机基础的设计标准相匹配，本工程海上升压站结构设计使用年限为 50 年，结构安全等级为一级。

按照《风电场工程 110kV~220kV 海上升压变电站设计规范》 (NB/T 31115-2017)第 3.0.6 条规定，海上升压变电站的潮位、波浪、海流、海冰和风速的设计重现期应为 100 年。参照中国船级社《浅海固定平台规范》(2003 版)第 2 篇第 3 章 3.2.2 节，海洋平台极端环境条件以保证平台安全为标准，极端环境条件的重现期不宜小于 50 年，对小型无人平台，重现期可取为平台设计使用年限的 2~3 倍，但不宜小于 30 年。综合上述规范的规定，考虑海上升压站的重要性及失效后果，并考虑防护对象的安全等级，海上升压站环境荷载设计标准取 100 年一遇。根据《建筑工程抗震设防分类标准》（GB50223）第 3.0.2 条的规定，根据建筑物的重要性和地震破坏后可能造成的危害，本工程抗震设防类别为重点设防类（丙类）。

2、海上升压站总体布置

海上升压站采用整体式布置，包括上部结构和下部结构。下部结构采用导管

架型式，并设置了 4 根钢管桩。上部结构拟整体安装，即整个升压站包括其内部的电气设备在陆上建造、组装后整体运输和安装,本工程升压站暂不考虑布置直升机平台。

海上升压站为四层布置。一层布置主变集油罐间、临时休息室、生活水泵房、楼梯，靠近甲板边缘处布置有救生设备。二层布置主变室、GIS 室、配电室、蓄电池室、消防设备间、楼梯。三层布置低压配电室、通信蓄电池室、柴油机房、二次设备间、暖通机房、楼梯。底层平台下部设登船小平台，登船小平台应高于最大潮位和 8 级风浪影响之上，通常可利用导管架施工灌浆平台统一设置。登船平台与底层平台通过 45°钢梯联系，登船平台与靠船橡胶护玄立柱连接，通过直梯登船。

图 2.2.2-3　海上升压站总体结构模型

3、高程设计

海上升压站平台底计算得到高程为 18.77m，考虑 1.5m 的底层甲板结构高度后，确定海上升压站平台底层甲板梁顶高程为 20.27m。本工程场址范围内水深变化较大，且缺乏长期的实测海洋水文资料，水文参数具有一定程度的不确定性，根据以往经验并综合考虑潮位、波浪、基础沉降、施工等因素，本工程海上升压站底层甲板梁顶高程定为 21m。

4、上部组块布置

海上升压站上部组块采用三层布置，平面尺寸约为 40.4m×36m（不包含局部外挑吊装平台），顶层标高约 40m（不包括吊机），最高点距海平面约 42.5m 以上。上部结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成。上部组块主梁采用焊接 H 型钢 H1000、H900、H800 及热轧 H 型钢 HM700、HM600、HM500，次梁采用热轧 H 型钢 HN400、HN300 等。立柱采用 φ1524 钢管，两层主甲板间斜撑采用 φ508、φ406 和 φ356 钢管，底层甲板之上满铺 8mm 厚钢板，在立柱、撑杆与主梁交点

处管节点用 Z 向钢钢材 DH36 加强。上部结构设计剖面见图 2.2.2-4，各层平台的结构见图 2.2.2-5~图 2.2.2-8。

上部组块舾装设计参考海上石油平台舾装，依据《海上固定平台安全规则》等规范设计，舾装所有材料都应提供 SOLAS 防火等级证书，同时具有 CCS 的认可证书。上部结构在陆上工厂制作，完成焊接、涂装、电气设备安装调试等工序后运输至现场安装。整个上部结构在结构、建筑、暖通、电气设备安装等施工完成并调试结束后整体吊装到升压站基础上。升压站上部组块钢结构重量为 2280t，舾装设施和全部电气、暖通、消防、给排水设备重量约 1363t，上部组块总重约 3643t。

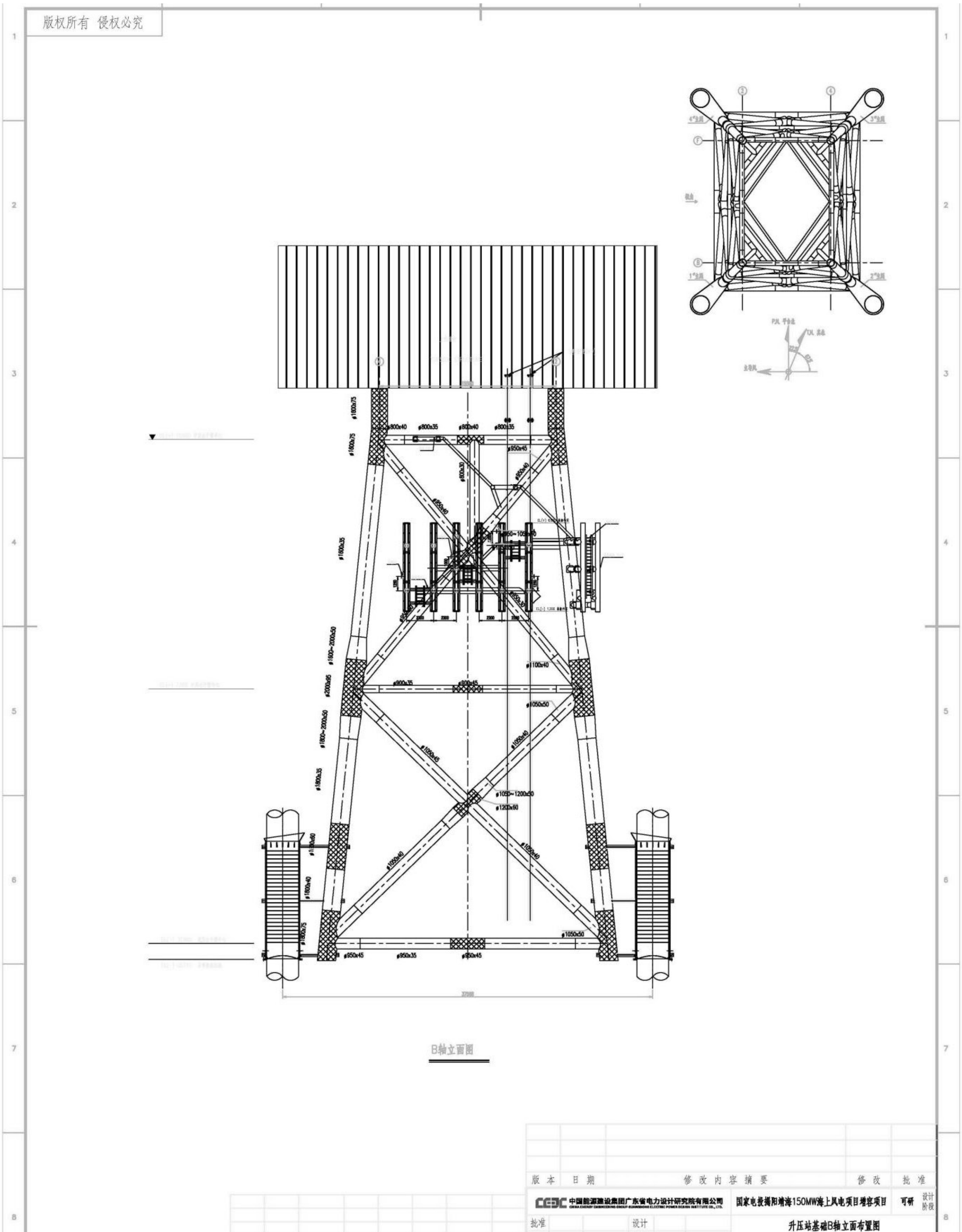


图 2.2.2-4 海上升压站上部结构设计剖面示意图（B 轴）

图 2.2.2-5　海上升压站上部结构底层甲板示意图

图 2.2.2-6　海上升压站上部结构二层甲板示意图

图 2.2.2-7　海上升压站上部结构三层甲板示意图

图 2.2.2-8　海上升压站上部结构顶层甲板示意图

5、下部基础布置

导管架采用 4 腿导管架型式，导管架主腿采用倾斜段。其中，倾斜段导管架 4 个腿的斜度约为 1：10。导管架顶标高 17.0m，底标高-35.71m。主导管采用 φ1800 钢管，成矩形布置，在标高-32.06m，-7.50m，15.00m 处设水平圆管 φ1100，φ850，φ800 钢管及斜拉圆管 φ1000，φ900 钢管，导管架局部节点用钢材 DH36--Z25 加强。导管架上设靠船构件、登船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等。导管架总约重 2712t（不含附属构件）。

海上升压站基础采用 φ3300 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚分别为 40~80mm，桩长约为 101m，桩顶高程为-21.56m，桩底高程为-119.56m，桩入泥约 86m，以⑧粉质层为桩基持力层，单根桩重 487.5t，4 根桩总重约 1950t。

在海上升压站两侧沿导管架分别布置 φ365mm 的 66kV 海缆保护 J 型套管和 φ508mm 的 220kV 海缆保护 J 型套管。66kV 海缆和 220kV 海缆沿 J 型套管登入、登出海上升压站平台。电缆保护 J 型套管固定在导管架上，上部延伸到一层甲板，下面伸到泥面处，采用电缆柔性保护限制器固定。

待钢管桩沉桩到位之后，导管架与钢管桩采用水下灌浆方式连接。

海上升压站导管架方案图设计见图 2.2.2-9。

6、其它布置

其它布置主要包括逃生和安全疏散系统布置、检修维护系统布置、靠船件布置等。

图 2.2.2-9　海上升压站导管架方案示意图（2 轴）

2.2.2.3 220kV 海底电缆

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆和海上升压站与陆上集控中心之间的 220kV 海底电缆。工程海域海床表层土为新近沉积淤泥土，登陆部分为海涂和浅滩，推荐的海缆敷设方式为埋设方式。

推荐采用的 220kV 海底电缆为两回三芯 $3\times500mm^2$ 海缆，127/220kV，交联聚乙烯（XLPE）绝缘，分相铅护套，光电复合，钢丝铠装，$3\times500mm^2$，电缆外

直径约 26cm。根据设计单位提供的信息，该海缆结构的型式见下图，具体的海缆信息需根据实际海缆招标情况确定。

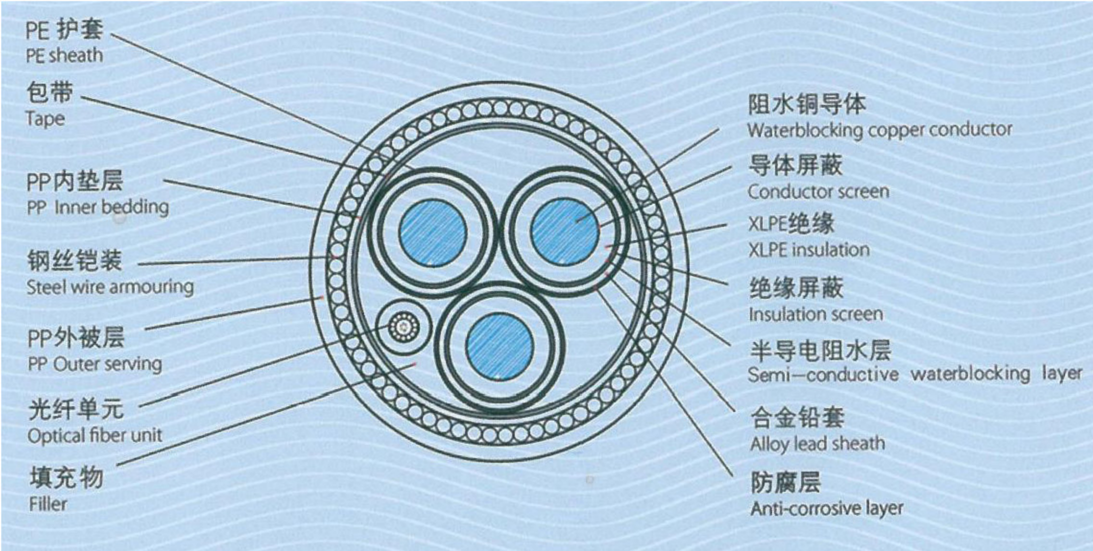


图 2.2.2-10 三芯 127/220kV 海底电缆结构剖面图（供参考）

2.2.2.4 风机间集电线路

为适应大功率风机的发展要求，本次风机间集电线路为 66kV 海缆。66kV 海底电缆初拟选用交联聚乙烯绝缘，分相铅护套，钢丝铠装，光电复合，三芯海底电缆，电缆截面从 3×（95、150、240、400）mm^2不等。同时考虑便于采购，电缆截面不宜过多。

根据 2.2.1 节的分析，本项目集电线路一回路主要连接风机数为 4 台-5 台。根据业主提供的信息，该海缆结构的型式见下图，具体的海缆信息需根据实际海缆招标确定。

表 2.2.2-1 三芯 66kV 海底电缆主要技术参数（供参考）

序号	海缆规格	海底直埋敷设载流量/A 海床最高温度 25 度，热阻系数 1k.m/W,埋深：3m	电缆外径/mm	电阻/Ω/km（20℃时直流电阻）	电感 mh/km	电容 uf/km	单重 kg/m
1	HYJQF41-3X70 38/66kV	232	137.7	0.268	0.53	0.109	37.6
2	HYJQF41-3X95 38/66kV	275	142.5	0.193	0.51	0.118	40.5
3	HYJQF41-3X120 38/66kV	309	143	0.153	0.49	0.125	41
4	HYJQF41-3X150 38/66kV	343	145	0.124	0.47	0.132	42.6
5	HYJQF41-3X185 38/66kV	382	148.3	0.0991	0.46	0.141	45.2

6	HYJQF41-3X240 38/66kV	434	152	0.0754	0.44	0.153	48.4
7	HYJQF41-3X300 38/66kV	480	156.7	0.0601	0.42	0.162	51.7
8	HYJQF41-3X400 38/66kV	532	163.4	0.0470	0.41	0.176	56.9
9	HYJQF41-3X500 38/66kV	586	168.3	0.0366	0.39	0.191	62.1
10	HYJQF41-3X630 38/66kV	642	177.2	0.0283	0.38	0.208	69.9
11	HYJQF41-3X800 38/66kV	694	186	0.0221	0.36	0.225	78.6

图 2.2.2-11 三芯 66kV 海底电缆结构剖面图（供参考）

2.2.3 主要配套工程

2.2.3.1 陆上集控中心

本工程集控中心与神泉二、神泉一期风电场集控中心进行合建。合建集控中心站址位于前詹电厂规划场址内部永久宿舍区处，对集控中心总体规划影响不大。站址周边地势较平坦。

2.2.3.2 电气

1、电气一次

（1）风机配套升压设备

每套风电机组配置一套升压设备，14MW 机型的升压变压器选用体积紧凑，耐湿度、耐盐雾的变压器，变压器可选择干式变压器或高燃点可降解的油浸式变压器。高压侧初拟选用 66kV GIS。

（2）集电线路电压

集电线路采用海底电缆，结合站址内风机及升压站的布置，集电线路电压可

采用66kV。

（3）集电线路的布置

集电线路采用66kV三芯海底电缆，水平段电缆埋设在海底沙层3米深处，采用机械敷设。

（4）主变压器

建设一座220kV海上升压站，设置在场址西北侧靠中间位置，布置2台240MVA主变压器，220kV侧采用线变组接线，66kV侧采用单母分段接线。

海上升压站站用电采用380/220V，采用单母线分段的接线方式，两段工作段电源分别取自两台互为备用的站用变压器，站用变压器电源分别取自主变附加绕组，容量暂定为800kVA。

另外设一段应急段，升压站应急柴油发电机组接入应急段。工作负荷由工作段供电，应急负荷由应急段供电，正常运行时应急段母线与其中一段工作段母线联络闭合，当全站停电，启动柴油发电机组供应急负荷运行。应急柴油发电机容量暂定为500kW。

（5）220kV配电装置接线

海上升压站220kV配电装置共2回进线，2回出线，从灵活简洁的角度考虑，推荐采用“2进2出”单母线接线。

2、电气二次

本工程拟设置陆上集控中心和海上升压站，陆上集控中心按照“有人值班”的运行方式设计，海上升压站按照“无人值班、无人值守”的运行方式设计。

陆上集控中心布置有计算机监控系统操作员站，风电机组监控系统主机、海上升压站计算机监控系统主机/操作员站、视频监视系统服务器、火灾自动报警控制柜、海事监视管理系统等电气二次主要设备。海上升压站设置升压站主设备状态监测设备、视频安防监控系统、火灾报警系统等电气二次主要设备。

2.2.3.3 消防设计

1) 消防设计严格遵循《中华人民共和国消防法》及国家有关法规政策、规范标准。本工程消防设计考虑海上升压站、陆上升压站、风力发电机组等各类火灾的防止和扑灭，立足“预防为主，外援为辅”的自救原则。

2) 贯彻“预防为主，防消结合”的消防工作方针，针对本工程的具体情况，积

极采用行之有效的防火技术和措施，做到保障安全，使用方便，经济合理，以保障海上升压站的安全生产及人员的安全疏散。

3) 根据有关消防标准规定，海上升压站同一时间内的火灾起数按一起考虑。

4) 海上升压站根据不同的保护对象分别采用高压细水雾灭火系统、火探管式自动探火灭火装置、移动式灭火器、消防装备箱等。

5) 本工程陆上升压站与神泉一、神泉二风电场项目陆上升压站合建，用地红线面积为 5.8814hm²，根据有关消防标准规定，神泉一+神泉二+靖海陆上升压站同一时间内的火灾起数按一起考虑。

6) 陆上升压站在神泉一项目建设时，已设置独立的消防给水系统，包括消防供水设备、室内外消火栓系统、水喷雾灭火系统、湿式自动喷水灭火系统，同时设置七氟丙烷气体灭火系统、移动式灭火器等，因此本工程无需新建消防给水系统，本期消火栓给水管由神泉一已建的站区室外消防给水管网接出。

7) 陆上升压站总体布置、各建筑物安全间距、消防车道设计等均满足《建筑设计防火规范》、《火力发电厂与变电站设计防火标准》、《风电场设计防火规范》的要求。

8) 设置有效的疏散标志、疏散通道及事故照明等。

9) 对重要的建筑物及设备，设计安装火灾监测自动报警装置。对容易发生火灾的部位除上述措施外，还考虑分隔、封堵等阻燃措施，防止火灾向邻近蔓延，设计可靠的防雷接地系统。

2.2.3.4 给排水设计

（1）给水

海上升压站采用船运淡水的供水方式，补水期间船舶通过自带的加压泵，将淡水分别输送至生活水箱和消防水箱内，在平台一层设置国际通岸给水接头供船舶接口使用，分别为 2 个 Dg80 的生活给水接头和 2 个 Dg100 的消防给水接头。

海上升压站设有变频生活给水装置 1 套，含 3 台生活水泵，1 座生活水箱，有效容积取 10m^3，生活水箱贮水时间建议在 48h 内，当运维人员离开升压站平台时，应将生活水箱内的水放空，放空水可供平台甲板冲洗用。生活给水箱配套水箱自洁消毒装置，为保证水质指标要求，水箱必须定期清洗消毒，每半年不得少于一次。

由于海上升压站所处自然环境恶劣，因此给水设备、阀门及管道外壁均须进行防盐雾腐蚀措施，同时内壁涂层须满足生活饮用水标准要求。

（2）排水

海上升压站排水系统分为雨水排水、含油排水及生活污水排水系统，采用开式排放系统和闭式排放系统。

1）开式排放系

一般由甲板、围堰、地漏、水封、开排管线等组成。进入开排系统的排放源包括房间室内地面排水以及各层甲板甲板汇集的地面雨水，该类水不会对海洋环境造成污染，可以直接排海。

2）闭式排放系统

一般由油坑、围堰、地漏、水封、闭排管线等组成。主要收集海上含油设备的事故排油或检修排油，然后排入主变集油罐进行储存，污油定期由船舶运至陆上进行处理。

海上升压站含油废水来源于主变压器的事故排油，柴油油箱的临时排油、柴油发电机检修时候的冲洗油水，以及散热器油坑的日常雨水，其排水性质呈周期性、间断性。

当主变发生火灾事故时，立即自动关闭电动排水阀，事故油罐收纳主变火灾后的排放废油、废液。火灾结束后，打开手动事故排油阀，排放废油及废液，由船舶外运至陆上进行处理，事故废油废液不外排。

主变集油罐容积按高压细水雾灭火系统一次消防用水量与一台主变压全部油量之和来确定，有效容积约为 $100m^3$。事故油罐排油管采用钢管，焊接连接，管道须做好防盐雾腐蚀处理。

海上升压站生活污水来源于洗手间排水，该类排水由污水管统一收集后，自流排至污水处理装置内，污水经处理设施处理合格后达标排放。

海上升压站污水处理装置处理拟选用 4500L/d，工艺采用生物接触氧化+序批式反应器+膜反应器+紫外线消毒。处理后水质应符合国际海事组织规定的最新排放标准，国际海协环保会的 MEPC227（64）决议：《2012 年生活污水处理装置排出物标准和性能试验实施导则》。

2.2.3.5 运维码头

根据现阶段设计资料，本风电场规划在揭阳港前詹作业区通用码头西侧附近建设一座运维码头，码头单独建设，不在本风电场项目考虑。

2.2.3.6 灌浆连接设计

本工程风机基础腿柱和钢管桩之间以及海上升压站导管架套筒与钢管桩之间采用灌浆连接。通过腿柱与钢管桩之间的环形空间内灌浆，可以把导管架段荷载传递给钢管桩。试验表明，荷载传递机理是水泥浆与钢管桩表面之间的粘合和密闭摩擦的综合作用，以及水泥浆对于诸如剪切键一类机械装置的承压作用。插入灌浆段的导管架腿柱外表面和钢管桩内表面设置剪切键，带有剪切键的灌浆连接段大样如图 2.2.3-1 所示。

一般而言，灌浆连接材料有普通水泥浆、环氧胶泥及高强灌浆料等。普通水泥浆灌浆价格低廉、材料易得，在海洋工程中得到广泛应用，但水泥浆结石体易收缩，抗压强度和粘结强度较低；环氧胶泥物理力学性能良好，但其价格昂贵；高强灌浆料具有大流动度、无收缩、早强及高强等特点，28d 抗压强度可达 130MPa 以上，与钢材的粘结强度可达 6MPa 以上，且配制简单，价格适中，满足导管架灌浆对材料指标的要求。专为海上风电应用开发的超高强灌浆材料，它具有极高的机械强度和低收缩率，能兼顾初始强度和抗疲劳性能。

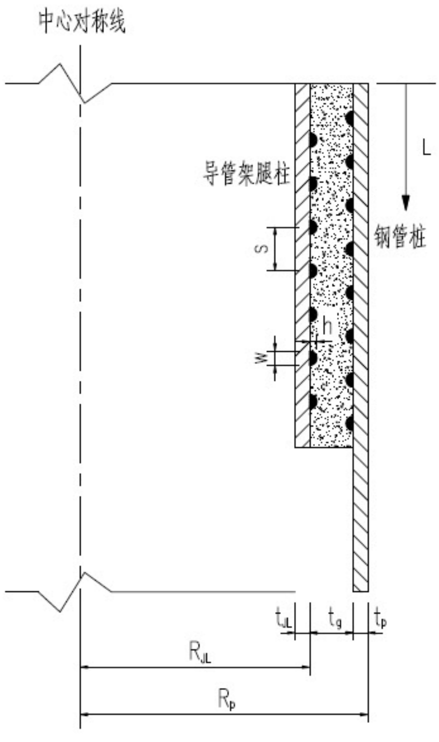


图 2.2.3-1 灌浆连接段大样示意图

2.2.3.6 其它设计

1、基础防腐设计

本工程风机基础及海上升压站基础的涂层防腐蚀设计按27年考虑。风机基础及海上升压站结构在防腐蚀设计中根据水位、波浪条件，可分为大气区、浪溅区、水位变动区、水下区、泥下区，不同部位采用不同的防腐蚀设计。

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

水下区考虑桩基冲刷及一定高程裕量，下边界按照桩基冲刷面以下 5 米计算，考虑到基础施工可能采用的各种防腐蚀设计以及各区域腐蚀严重性的不同，最终确定风电场各腐蚀环境分区如下：

大气区：∇11.72m以上区域；

浪溅、水位变动区：∇11.72m~∇-8.22m区域；

水下区：∇-8.22m~桩基冲刷面以下5m区域。

泥下区：桩基冲刷面以下5m~桩端区域

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

根据《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》进行计算，并根据相关防腐蚀设计经验，大气区的钢结构单面腐蚀裕量为1.20mm，浪溅区（包含了水位变动区）的钢结构单面腐蚀裕量为 4.80mm，水下区的钢结构单面腐蚀裕量为 1.44mm，泥下区的钢结构单面腐蚀裕量为0.85mm。根据计算结果并考虑建造加工的实际情况，最终确定大气区的钢结构单面腐蚀裕量为1.20mm，浪溅区（包含了水位变动区）为5.30mm，水下区为1.94mm，泥下区为1.10mm。

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

工包裹材料。防腐蚀涂料的质量和配套性是选择海洋优质防腐涂料所需考虑的首要条件，除此之外，选用涂料还需从涂膜性能、作业性能和经济合理几个方面综合考虑。

电化学防护是根据腐蚀微电池原理人为提高待保护材料电位来达到保护目的，通过在金属表面通以足够的阴极电流，使金属表面阴极极化，成为电化学电池中电位均一的阴极，从而防止其表面腐蚀的防腐技术，阴极保护措施一般适用于水下部位，对水位变动区也有一定的保护作用。

根据牺牲阳极和外加电流两种阴极保护技术特点比较，考虑风机基础结构防腐蚀可靠性、风电场场址水环境条件和运行管理因素，本工程电化学防腐推荐采用外加电流系统保护。

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

2、防冲刷设计

海上风机基础常用的结构防冲刷处理方案有预留冲刷深度和采取防冲刷保护措施两种方法。其中，预留冲刷深度的办法可从结构设计方面解决冲刷造成的稳定、强度和变形的安全性影响，可靠性较高，本项目可行性研究报告暂时推荐采用预留冲刷深度的设计方法。

3、靠船和防撞设计

（1）运维船只和小型渔船靠船和防撞措施

海上风机基础主要针对运维船只及可能的小型渔船进行防撞分析与设计，包括运维船只的正常操作靠泊和事故碰撞；对于比最大允许运维船舶更大的船舶的罕见巨大偶然碰撞，风机基础结构设计时并未考虑，一般通过采取相应的防撞安全措施，避免此类船舶撞击事故的发生。

（2）大中型非运维船只的防撞措施

针对工程水域通航环境的特性，应对该水域安全状态实施全天候监控，工程配设远程控制的 CCTV 系统等；与航标部门联系，在工程海域布设助航、警示

标志，如设置航标、雷达应答器等助航标志和“保持 1000 米安全距离”、“禁止攀爬”等警示标志。

综合立体监视风电场周边海面来往船只，实时分析船只与升压站、风机的位置关系，实时监控显示和预判船只动态；必要时与船只通话警告驱逐，达到提早预警示警目的；全天候海面视频监控，便于事故中肇事船只取证。

4、空中导航标志

距离场址最近的机场为位于揭阳市揭东县的潮汕国际机场。潮汕机场位于市区东北部，距离市区大约 5km，为国家 4D 级机场，可起降波音 757 等类型各种飞机。开通了北京、上海、广州、长沙、贵阳、海口、深圳、汕头南京、香港等地的航班。对于风电机组，应按下列原则装设空中导航标志：

1) 在风电机组机舱顶部设置中光强障碍标志灯，应为红色玻璃灯罩，可采用 LED 光源；考虑障碍灯的同步闪烁，以达到明显的警示作用。

2) 在风电机组叶片的叶尖部位涂红白相间的反光漆。

3) 标志灯供电电源类型，属宝安类，宜由塔筒内部不间断电源供电，电缆采用铜芯塑料绝缘铠装电缆。标志灯回路，不允许“T”接其他用电负荷。

4) 标志灯的控制，宜采用光电自动控制。光电自动控制箱和自动换泡装置以及闪光装置构成全自动航空障碍灯装置。

5、监测设计

本风电场采用 29 台 14MW 风电机组，所有风机基础均需进行不均匀沉降监测及冲刷监测。全场选取选择 3 台风机基础及塔架做重点监测。重点监测的风机基础及塔架设置的监测项目主要有：倾斜监测、振动监测、振动位移监测、钢构件的应力应变监测，其中塔筒及上部过渡段应变监测、倾斜监测、振动监测及振动位移监测应实现动态监测。

2.3 项目主要施工工艺与方法

2.3.1 总体施工方案

本工程施工的主要项目有基础施工、风机机组及海上升压站安装、66kV 场内海缆敷设、220kV 送出海缆敷设、大型钢结构制作等。现结合工程条件及特点，针对海上风电场的主要施工项目的施工方案进行介绍说明。

本阶段项目初步选用四桩导管架基础，桩基础施工方案见图2.3.1-1，后续以推荐基础形式叙述，其施工总工艺流程见图2.3.1-2。

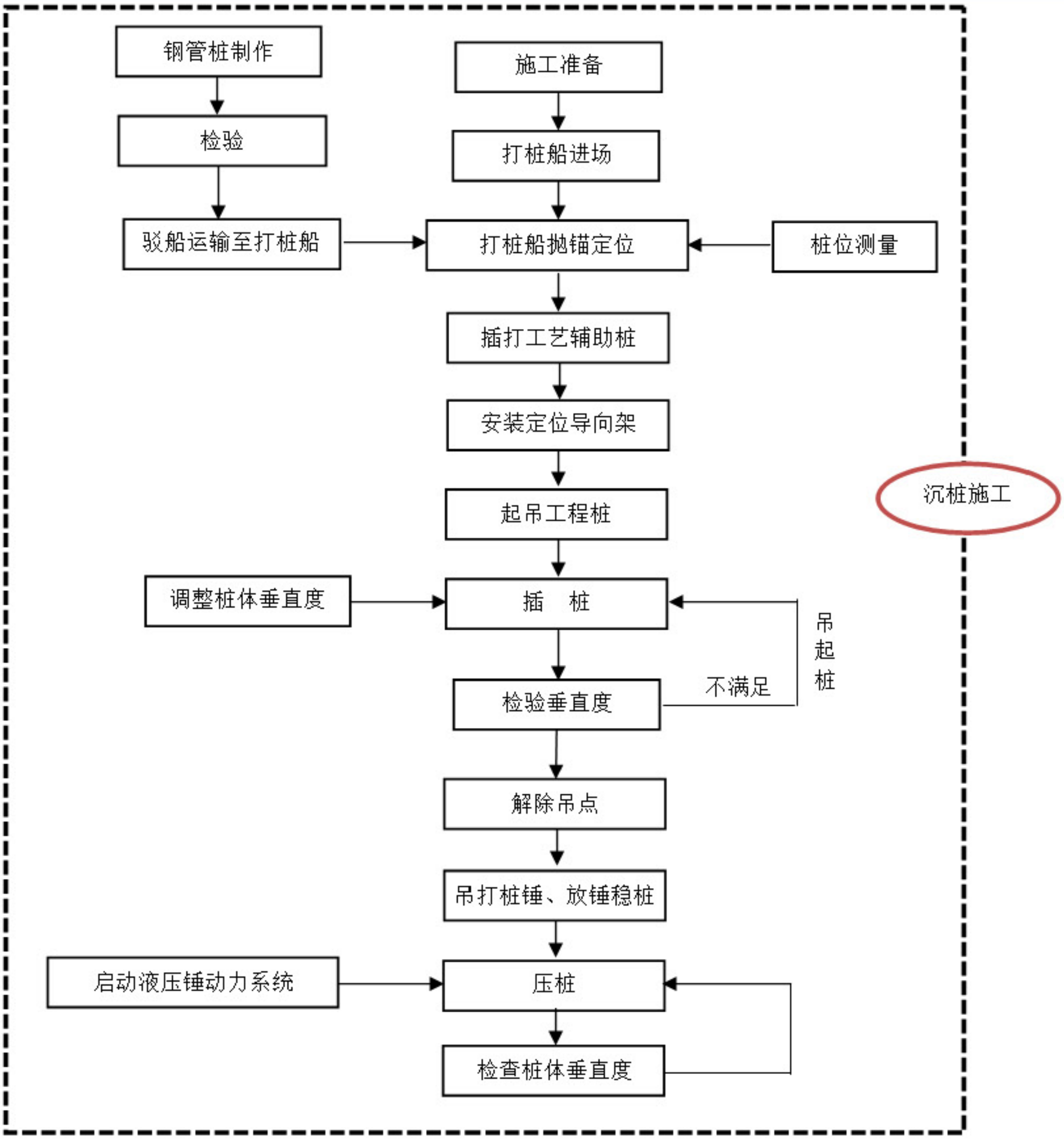


图2.3.1-1 桩基础施工流程

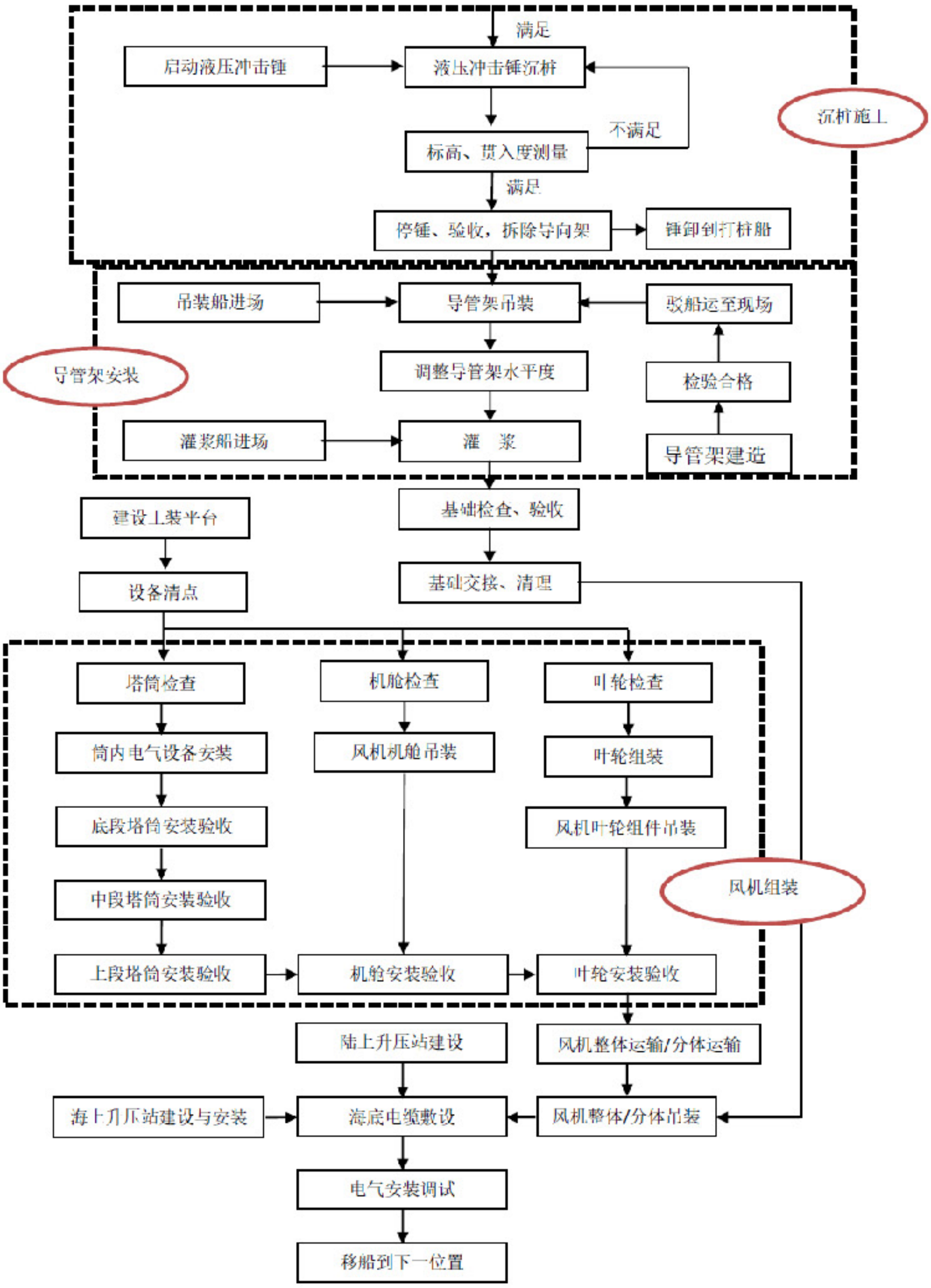


图 2.3.1-2　施工工艺总流程图

2.3.2 施工布置

本项目包括海上施工部分及陆上施工部分，施工现场覆盖范围较广，周边条件复杂。结合工程条件及施工条件，本工程施工期间规划 2 个施工基地及 4 大施工作业区。2 个施工基地分别是施工主基地和施工辅助基地；4 大施工作业区分

别是海上风电场施工区、220kV 送出海缆施工区、陆上升压站施工区、钢结构加工制作区。

2.3.3 施工条件

2.3.3.1 材料供应条件

本工程项目所需的物资材料主要为水泥、钢材、油料、等，揭阳市的上述建筑材料的建材市场均具有较大规模，供应条件非常好，为本工程的施工提供了非常便利的条件。

2.3.3.2 施工交通运输

海上风电场施工交通规划分为两大部分内容：对外交通运输规划布置与场内交通规划布置。结合本工程实际情况，以施工主基地码头或港口作为场内外交通运输的分界点，施工期内的外来物资至港口或直接到达施工区的交通运输称为场外交通运输，港口风电场工程施工基地、现场以及现场内部各工区、生产生活区之间的交通称为场内交通运输。

本工程场外交通运输主要通过海路与陆上交通系统连接，陆路交通主要依靠公路为主，陆路物资及设备拟全部运至惠来周边港口或中转货运码头基地，然后通过海运运至施工现场。通过海路运输的物资及设备全部运至施工主基地临时存放或施工现场，大件设备的接卸主要利用码头吊机或起重船。

本工程场内交通运输的主要有风机基础构件、海上风机主要部件或整机、各种施工设备、零星材料及构配件从施工主基地到风场内各个施工点的运输。运输工具主要为各类运输船、施工专用船舶等，接卸设备主要为码头吊机、船舶自带起重设备或专用起重船等。

2.3.3.3 施工水电、通讯供应条件

工程施工期间规划 2 个施工基地及 4 大施工作业区。施工主基地位于前詹电厂规划用地，水电供应条件便利。可以直接接入附近的前詹电厂规划基地；或者在基地内设置配电房一座。施工辅助基地的施工期用水可从现有供水管网接驳，用电可考虑从神泉镇 380V 供电电网接入。

海上风场施工区的施工用水主要依靠供水船进行供给，施工用电主要依靠工程船舶的自发电或配备的移动式柴油发电机解决。

220kV 送出海缆施工区内的施工项目主要为海缆敷设施工项目。施工可以利用海水辅助海缆敷设，施工用电主要依靠海缆敷设船的自备发电机供应。

本工程的施工通讯方式主要为有线通讯及无线通讯两种。施工基地全部接入有线互联网络、闭路电视。各施工区内部主要采用对讲机进行通讯，不同施工区之间的通讯主要依靠移动电话。鉴于海上施工区网络通信信号较弱，建议利用本工程前期测风塔平台设立基站，加强海上施工区的通信质量。

2.3.3.4 船舶避风方案

本工程的主要施工施工项目为海上施工项目，工程船舶数量较多，揭阳市沿海属于受台风影响的海域，为确保工程实施期间的船舶作业及航行安全，应采取一定的措施保证施工船舶在大风、台风期间能顺利进入避风锚地避风。预报风力超过 8 级，船舶便须选择锚地避风，风力小于 8 级，船舶可选择工程海域周边的天然槽沟区域抛锚避风。

施工船舶应根据风向及海况，选择场址周边的锚地进行锚泊，工程厂区附近主要锚地为神泉港船舶锚地。若遇热带气旋（台风）天气后，所有施工船舶应提前航行至神泉港港区防风避台，同时人员上岸。另外，施工船舶的防风防台也应并接受当地海事部门统一安排。

2.3.4 风机主要施工工艺和方法

2.3.4.1 施工准备工作

施工准备工作主要包括钢结构加工及制作、导管架制造、钢结构防腐、导管架及钢管桩运输、测量工程等。

导管架场外运输利用 10000t 驳船进行，每次装载 2 台，通过拖轮拖带，将装有导管架的驳船运送至风电场安装或施工主基地临时存放；钢管桩在加工厂生产完并经验收合格后，利用龙门吊或台车运至码头前沿进行出运，利用设置在出运码头的回转吊、履带吊或起重船进行装船，采用 10000t 以上运输货船运输，每次运输 8 根或更多钢管桩至风电场，至少供 2 台风机基础施工使用；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。本工程实施初期，可在风电场内的测风塔平台上设置GPS测量基站平台，并在平台上设置供电系统。

2.3.4.2 常规沉桩施工

沉桩施工为海上工程施工项目一个非常重要的施工项目，国内的施工设备较多，施工工艺已经非常成熟。但是，导管架基础对基础沉桩的精度要求相对较高，为了确保沉桩施工精度，需要首先施打工艺辅助桩搭建导向架平台，然后插桩并利用打桩锤进行施工。

1、常规沉桩施工工艺

国内典型的常规沉桩施工工艺如下：

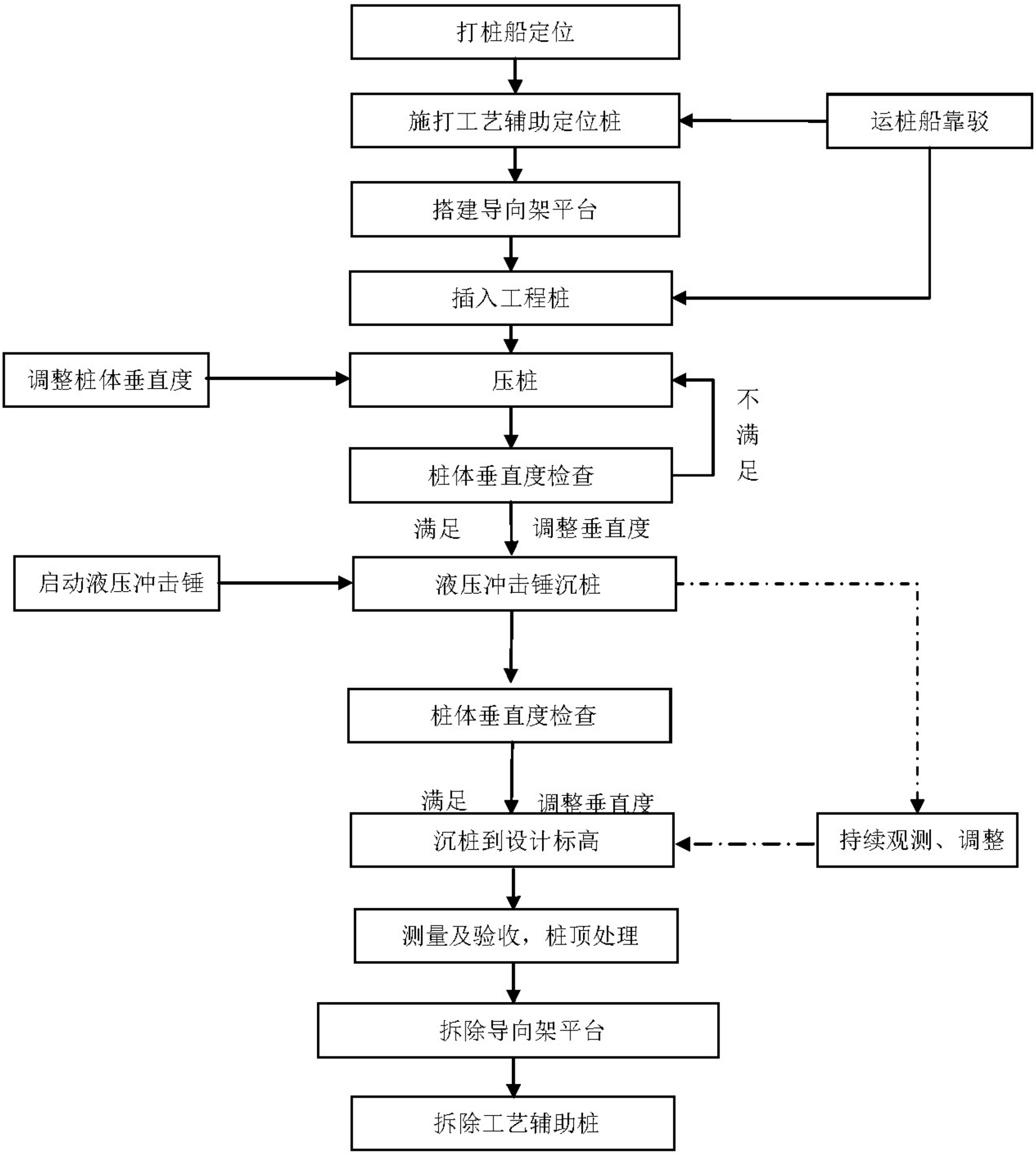


图 2.3.4-1　常规钢管桩沉桩施工工艺图

2、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四根钢管桩的桩位平面位置及垂直度。

每台基础沉桩施工设置 4 根工艺辅助桩，工艺辅助桩布置在导管架每边的中

心，形成一个对角线长 26m，边长 18.38m 的正方形。辅助桩直径为 1.2m，钢管桩壁厚为 16mm，周转使用。

工艺辅助桩顶部设置整体式工艺定位架，工艺定位架高 5m，边长为 26m，重量约 150t，顶标高+4m，采用型钢与四个定位桩套筒制作，桩套筒内径比设计钢管桩直径大 15cm，工艺定位导向架布置如下图所示。

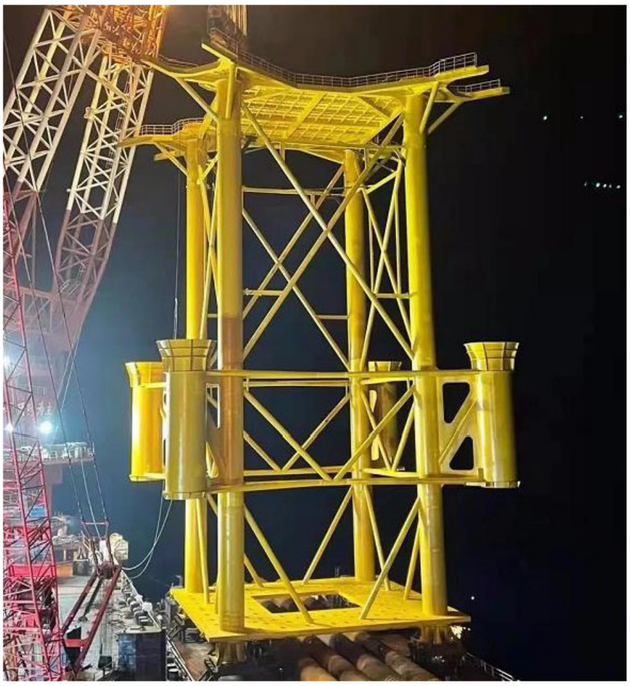


图 2.3.4-2　工艺定位架示意图

3、沉桩

钢管桩沉桩分为三个阶段：

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

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

第三阶段采用起重船吊离液压锤，吊除定位导向，拆除工艺辅助桩。

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

4、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 50 mm 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。

5、测量、验收

分别精确测量 4 根桩的桩顶高程、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。

本节将选用 IHC-2000S 锤型对单桩基础进行分析。采用 IHC-2000S 锤打 Φ3300 钢桩，钢管桩可顺利沉桩至设计深度，最大输入能量 1669.9kJ，沉桩分析的最大桩身应力不会超过屈服应力的 90%。故对于本项目单桩基础施工可以推荐采用不小于 2000kJ 液压锤。

2.3.4.3 四桩导管架基础施工

四桩导管架是一种正四边形的钢结构棱台体，整个由不同规格型号钢管构成整个桁架结构，整个四桩导管架结构主要分上部导管架、基础工程桩两部分，基础工程桩呈正四边形分布在海床之上，顶位于海平面以下，导管架通过底部的四根桩腿与基础工程桩相连，然后通过接缝灌浆的形式连成整体。

1、导管架施工流程

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

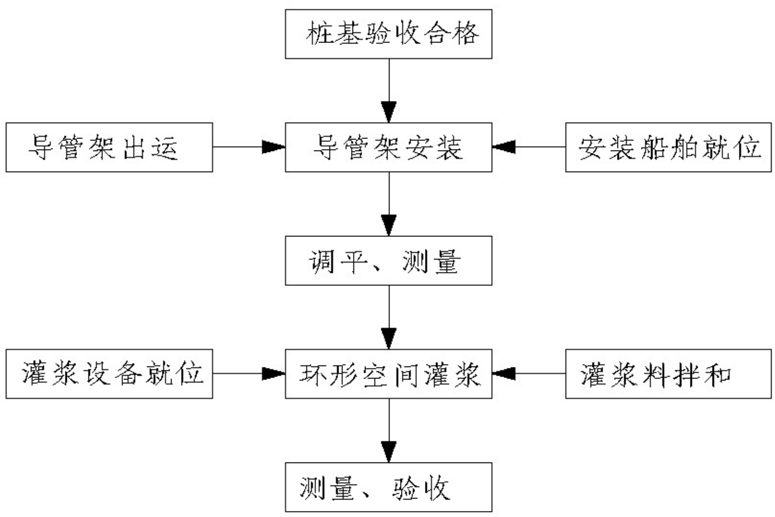


图 2.3.4-3　四桩导管架施工工艺流程图

2、导管架施工步骤

（1）导管架海上吊装及调平施工

3000t 起重船、导管架运输船分别抛锚就位 → 竖直起吊连接段，运输船起锚驶出，工作船驶入、锚泊就位 → 工作船安装监控仪，3000t 起重船下放连接段 → 通过监控及工作船上揽风控制连接段位置，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。

（2）灌浆施工

导管架吊装完成后，灌浆工作船立即驶入锚定 → 利用预留注浆管道，向灌浆段腔体底部压注清水，冲洗灌浆腔体 → 连接注浆管，向底部灌注高强灌浆材 → 通过水下视频监控，当导管架上灌浆溢流孔有浓浆溢出，即可完成灌浆 → 灌浆材料强度达标后，方可进入下一工序。

灌浆导管上端设在导管架平台上，下端与导管支撑腿末端一起插入钢桩上端的端口内。灌浆导管末端设有两根分叉管，包括插入连接缝隙上部的高位注浆管和插入连接缝隙底部的低位注浆管，低位灌浆管伸至环形橡胶垫附近，从灌浆区域底部进行灌浆。高位灌浆管伸至钢桩端部附近，从灌浆区域顶部进行灌浆。灌浆时先使用低位注浆管进行灌浆作业，从底部开始灌浆，由于水泥砂浆的密度比海水大，灌浆腔内的海水逐渐从海底桩顶端管口排出，水泥浆不会被稀释，不容易产生空洞，从而保证了灌浆施工质量；待灌浆到一定高度后，采用高位注浆管灌浆，这样可以避免灌浆机械压力不足而引起的注浆口堵塞。

当其中一根叉管出现堵塞、损坏等问题时可通过另外一根叉管进行灌浆，从而确保灌浆施工的顺利进行，同时两根灌浆导管管可以使混凝土浆料快速将导管架支撑腿与钢桩的连接缝隙填塞满，提高工作效率。

灌浆施工前严格按照各工序进行，对灌浆材料进行检验，并进行灌浆试验，灌浆过程中进行实时监测，保证施工质量。

3、主要施工船机设备

根据前述施工工艺及施工步骤，基础施工所需的船机设备见下表：

表 2.3.4-1　导管架基础施工主要船机配置表

序号	名称及规格	单位	数量	用　途	备　注
1	主起重船	艘	1	钢管桩打桩	起升高度 100 米以上，起重能力 3000t 以上
2	液压打桩锤	个	1	钢管桩插打	2000kJ 级以上
3	主起重船	艘	1	上部基础吊装、稳桩平台安装	起重能力 3500t 级以上
4	甲板驳船	艘	2	钢管桩运输	10000t 级以上，每次运输 8 根，自航

序号	名称及规格	单位	数量	用　途	备　注
5	甲板驳船	艘	1	上部基础运输	10000t 级以上，每次运输 2 个，自航
6	拖轮	艘	4	拖运、移位船只	3000HP 及以上
7	抛锚艇	艘	4	驳船、起重船等起抛锚	
8	交通艇	艘	2	接送人员	
9	灌浆船	艘	1	导管架灌浆	2000t 级以上

2.3.4.3 风电机组安装

本工程共安装 29 台 14MW 风力发电机组，按照海上风机安装工艺不同，海上风机机组设备安装主要可为整体吊装方式和分体吊装方式两种。本项目可行性研究报告推荐分体吊装方式，现介绍如下：

1、风机分体安装方案

海上分体吊装方案是将风电机组各组件各自完成自身的预组装后，运至风场机位，在现场依次进行塔筒、机舱、轮毂与叶片组合件的安装。采用液压升降系统支腿顶升的自升式平台船是为了避免船只受涌浪的影响，达到稳定的作业工况，实现静对静吊装作业的目的，该方法受风浪、潮汐影响小，吊装定位精确，但对海床地质要求较高。

2、风机分体安装主要设备

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

表 2.3.4-2　拟配备的主要施工船机设备表

序号	船型	单位	数量	配置设备	船舶用途	备注
1	自升平台船	艘	1	1000t 主吊、250t 辅助吊，插腿长 108m 以上，吊高不小于 130m（甲板面以上）	风机吊装	
2	自航驳	艘	2	10000t 级	风机部件运输	
3	供给船	艘	2		淡水、油料	自航
4	交通艇	艘	2		场内交通	自航
5	多功能驳	艘	2		材料运输	自航

风机分体安装施工流程如下：

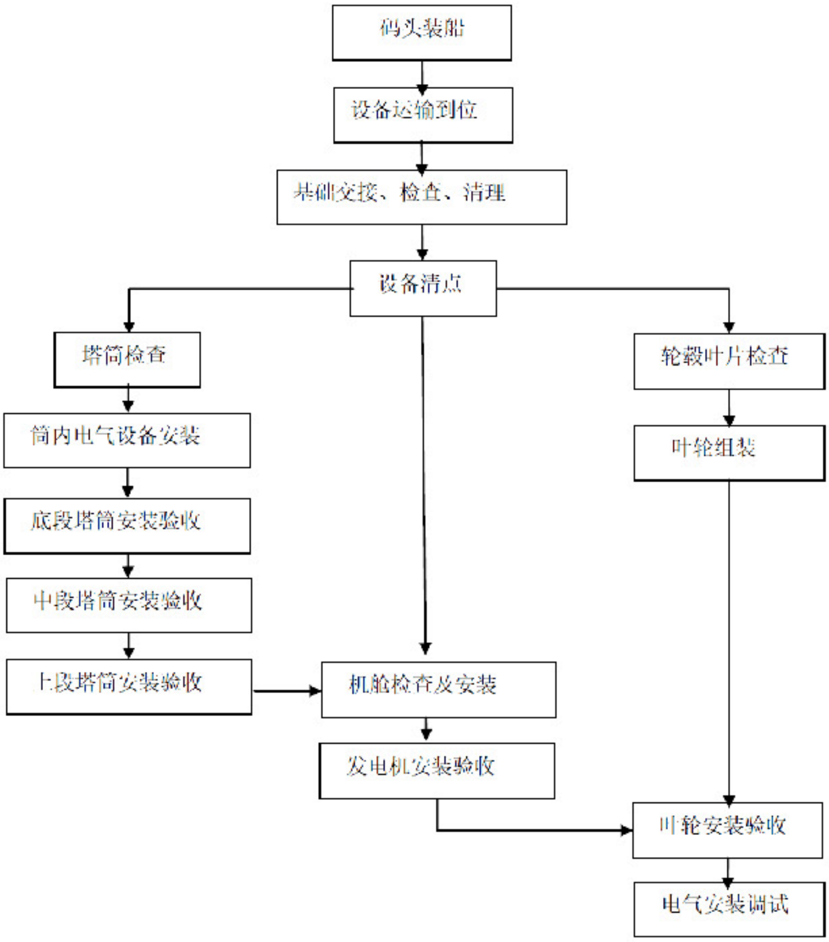


图 2.3.4-4　风机分体吊装安装施工工艺流程图

2.3.5 海上升压站主要施工工艺和方法

海上升压站的施工内容包括钢结构制作、基础施工、上部组块安装三大部分。一般来说，主要施工工艺流程为：钢结构加工与制作—→电气设备安装、调试—→导管架沉放—→钢管桩沉桩施工—→上部平台整体安装—→电气设备联动调试。

1、海上升压站桩基础导管架施工

海上升压站桩基础导管架施工流程如下：

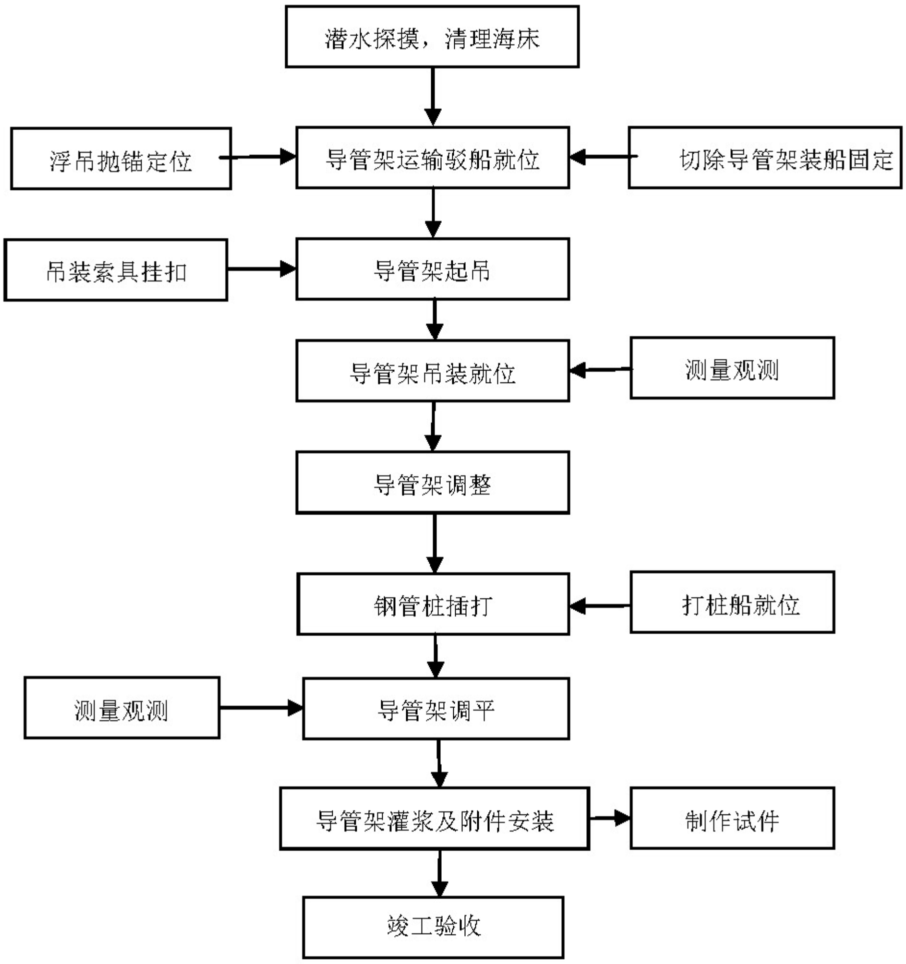


图 2.3.5-1　升压站桩基础导管架施工流程图

2、海上升压站上部结构整体安装

海上升压站各电气设备按照功能需求设置在不同隔层范围内，本工程升压站上部组块结构类同于海上石油类钻井平台上部组块结构，因此本阶段上部组块结构参考成熟的钻井平台上部组块结构的施工方案进行考虑，一般都在加工现场整体制作完毕后，现场进行一次性吊装。

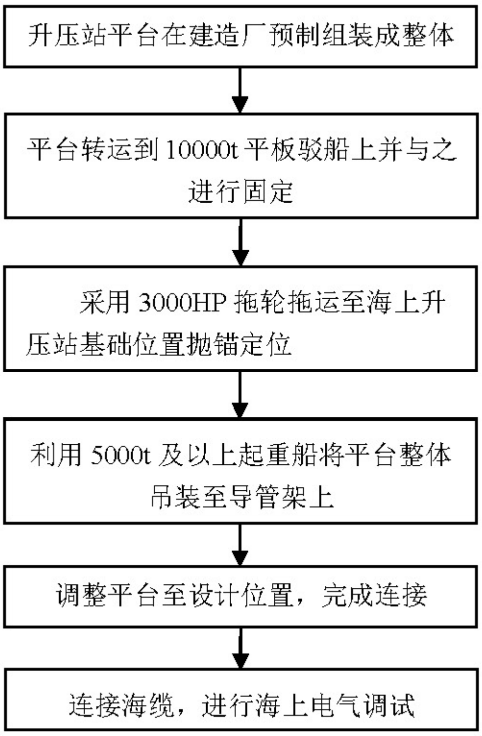


图 2.3.5-2 升压站平台整体安装流程图

3、220kV 海上升压站主要施工设备配置表

220kV 海上升压站主要施工设备配置见下表。

表 2.3.5-1 220kV 海上升压站主要施工设备配置表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备　注
1	浮式起重船	4500t 级及以上	艘	1	导管架基础施工，配置 S-1900 型液压打桩锤
2	起重船	5000t 级及以上	艘	1	上部组块装船及现场安装
3	甲板驳船	5000t 级	艘	1	钢管桩、导管架的运输
4	甲板驳船	8000t 级	艘	1	上部组块运输
5	拖轮	3000HP	艘	1	拖运船舶
6	抛锚艇		艘	2	打桩船、起重船等抛锚
7	交通艇		艘	2	

2.3.6 海缆敷设施工

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆；海上升压站与陆上升压站之间的 220kV 海底电缆。根据水深要求，本场地采用深埋方式。

路由场址海域海床表层基本为淤泥质土，路由区的海底沉积物类型主要为陆源碎屑沉积，从风电场到登陆点海缆路由地质情况依次为粗砂（CS）、细砂（FS）、

黏土质粉砂（YT）、粉砂质黏土（TY）。路由海域陆源碎屑沉积主要来源于韩江、榕江、练江河水泥沙及沉积物。

工程场址海域海床表层基本为淤泥质土，电缆敷设深度应不小于泥面以下3m~4m，铺缆正常海况条件为六级以下风力，海上正常条件下的敷设速度为（6~8）m/min。

2.3.6.1 海底电缆敷设施工工艺

海缆深埋敷设施工可以分为施工准备、海缆敷设、后续保护和电缆试验 4 个主要阶段。本报告按照三芯 220kV 海缆敷设施工为主要研究对象进行施工方案设计，其施工难度更大。66kV 海缆是对风机与风机、风机与海上升压站进行连接，因此不包括始登陆段施工，其敷设工主要包括施工前准备、电缆始端登陆、中间海域施工、电缆终端登陆共 4 个方面，其主要工艺与 220kV 海缆施工相同。常规海缆敷设主要施工工艺如下：

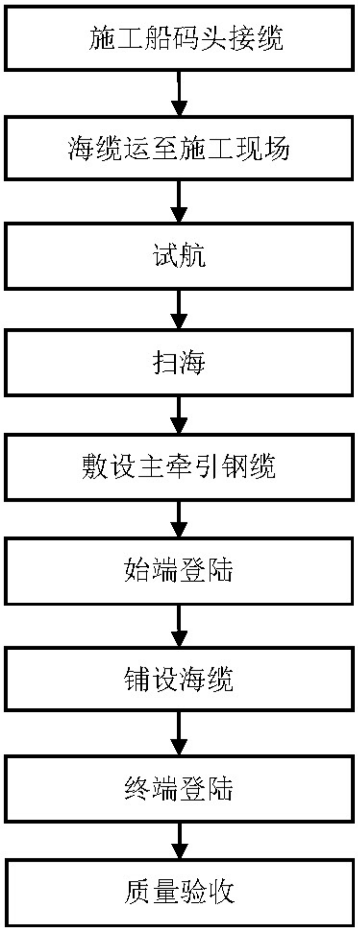


图 2.3.6-1　海缆敷设施工工艺

2.3.6.2 海底电缆敷设施工过程

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

1、扫海作业

扫海作业是在主铺设操作开始以前，由施工船尾拖专业扫海锚具，沿设计埋设路由按一定的速度，清除路由埋设段的海床表层废物和障碍物，以保证埋设作业的顺利进行。

扫海作业时在海底只在路由中心线左右 0.5m 范围内进行扫海，摸清、扫除路由上有碍埋设作业的所有障碍物。扫海使用 50kg 五齿锚，用锚链连接钢丝绳，由施工船尾拖扫海锚具，沿设计埋设路由按一定的速度（不大于每小时 2km），清除路由要求埋设段上的海床表层的障碍物，以保证埋设作业的顺利进行。

在扫海操作开始以前，施工单位应完成路由上正在生产的渔网和渔具的清除工作，并维持施工期间路由的清洁。若所选路由与其他管线发生交越，施工船将在其他管线两侧各 500m 范围外回收和重新施放扫海锚具以保证其他管线的安全。在扫海过程中回收上来的垃圾将储存在施工船上，等施工船施工完毕，靠岸后再拉到岸上进行处理。根据建设单位提供资料，扫海产生的垃圾统一运往神泉港进行处理。

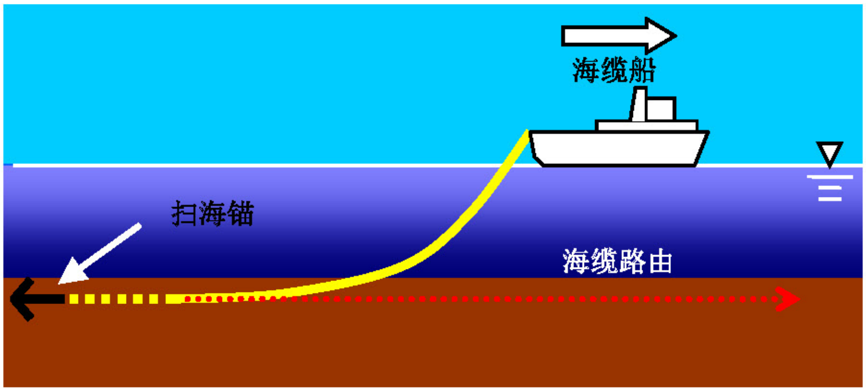


图 2.3.6-2　扫海清障示意图

图 2.3.6-3　扫海清障锚链示意图

2、海缆始端登陆

海缆始端登陆有多种方式，本项目可行性研究报告推荐采用定向钻登陆方式。

在登陆段禁止采用开挖等施工方式时可采用定向钻施工方式。主要工艺流程为：施工准备——导向孔施工——反拉扩孔、成孔——牵引管道——基坑开挖——砌检查井——回填——验收清场——施工结束。

①施工准备

在禁止开挖施工区域外各开挖一个工作坑和接收坑，在管道的起点设置工作坑，终点设置接收坑。定向钻施工布置示意如下图所示。

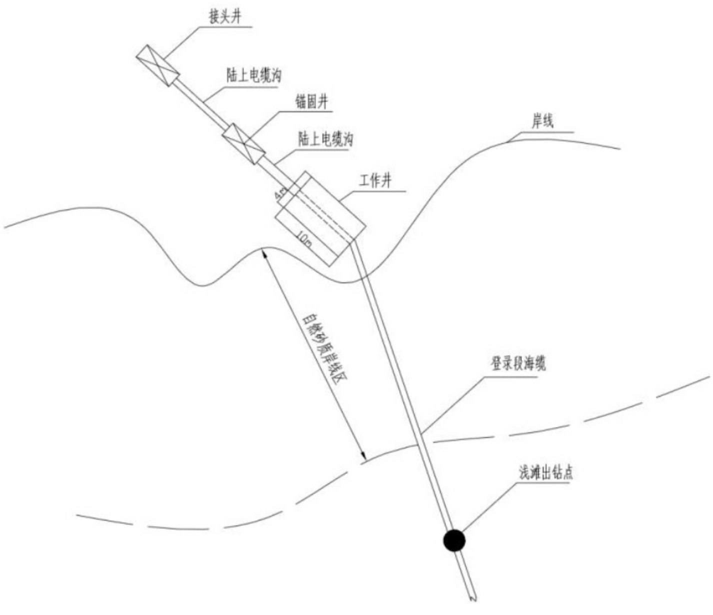


图 2.3.6-4 工作坑和接收坑布置示意图

考虑到本项目海底电缆登陆时，一端位于海床上，一端位于陆地上，两点之间有一定的坡度，因此本项目登陆施工时只考虑在陆地上建设工作坑，海上接收坑使用海缆冲埋施工终点的电缆沟（底宽 0.3m，上部宽 0.5m，暂定深度为 2.5m），从陆上工作井往海床上的接收坑钻孔。

在施工过程中，钻孔内将会涌出大量的泥浆，为了观察孔内土质变化及保护施工环境，工作井内的泥浆必须及时抽出运走，施工过程中两侧工作井旁必须配备一台挖掘机及泥浆泵，进行泥浆清理，以保证回拖拉管工序连续进行。钻孔产生的钻屑和泥浆从陆上工作井排出后，装载于汽车上，运往前詹通用码头工程的场区用于场区平整。

陆上工作坑还需要停放施工机械以及导管拆装施工操作面，需占用 10m×4m 的陆域，出钻点暂定距登陆点 200m~400m，具体根据海缆乘潮近岸的最小距离确定。

根据设计单位提供的说明，目前定向钻的施工距离可达 500 米以上，具体长度要依据地质条件确定。由于本项目海底电缆勘察工作暂未完成，现阶段，无法准确计算工作井的开挖深度和定向钻的具体长度和路径。根据现有资料，初步估算定向钻在海岸线向海一侧的施工长度约 100m~200m，在海岸线向陆一侧的施工长度约 200m~400m，施工时尽量避开沙滩范围。具体根据路由勘察情况确定。

②管材准备

管材采用 HDPE 平壁管，具有防腐蚀性好、流体阻力小、化学性能稳定、柔韧性好等优点，施工时采用对接热熔接口，管径暂定为 50cm。

③施工测量

正确无误的测量是保证定向钻施工工艺完成的首要保证条件之一，各项测量误差必需在允许值以内。

④导向孔轨迹设计

导向孔轨迹由造斜直线段、曲线段、水平直线段组成。入土角不宜超过 15°，出土角不宜超过 20°。

⑤钻孔施工

利用比钻杆外径略大的箭咀式小钻头打导向孔，钻杆从海床钻入，海上仪器接受由地下钻头内传感器发出的消息，控制钻头的方向和深度，钻成准确的定位导向孔。再利用导向孔，反向回扩，回扩时将设计孔径内的原状土搅碎。最后利

用清孔设备清出孔道内泥土，形成安管的通道。扩孔搅碎原状土时要将孔内土搅拌成塑性泥浆，在清孔时借助于机具的挤压，在孔壁形成光滑的护壁泥皮，最终形成稳定光滑的安管通道。孔道成型后，利用拉力机将管节拖入孔道内，完成安装工作。

⑥海缆登陆施工

在高潮时将施工船锚泊于登陆点附近，用DGPS定位；在终端设置绞磨机；待电缆头牵引出施工船后，在电缆头上设置活络转头，并与设置在终端登陆点处绞磨机的牵引钢丝联结，启动绞磨机牵引电缆，最终实现电缆从管材内穿越禁止开挖施工区域

考虑到本工程海底电缆登陆时穿越港寮湾砂质岸线，工程设计单位推荐采用定向钻的施工方式。

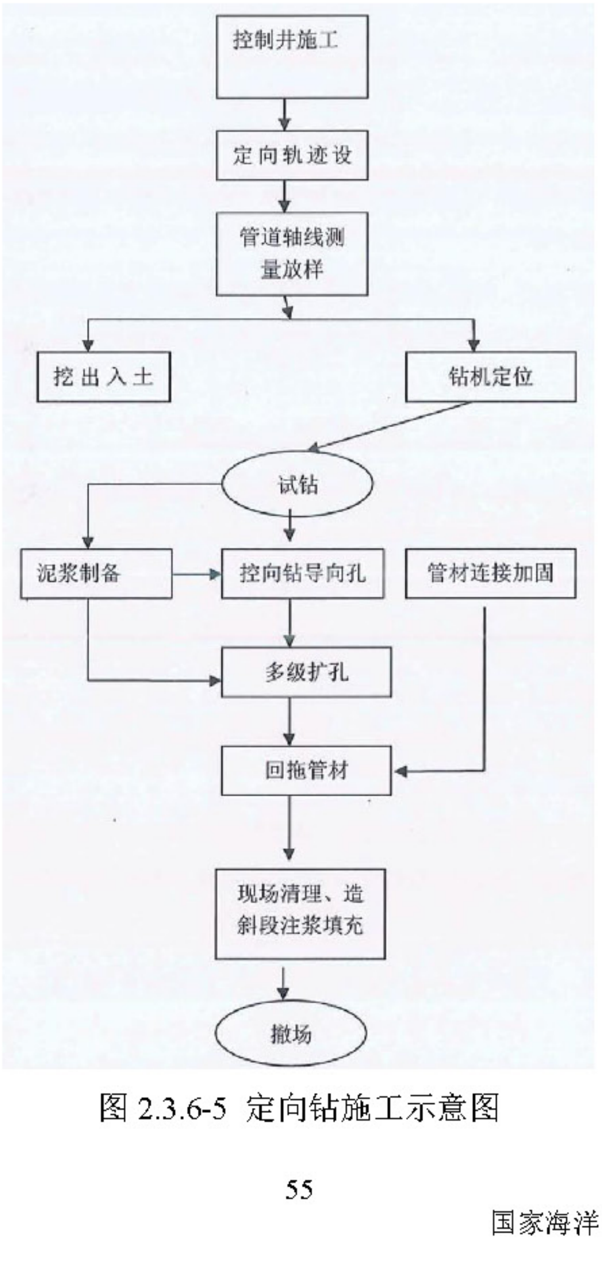


图 2.3.6-5 定向钻施工示意图

3、中间段敷埋

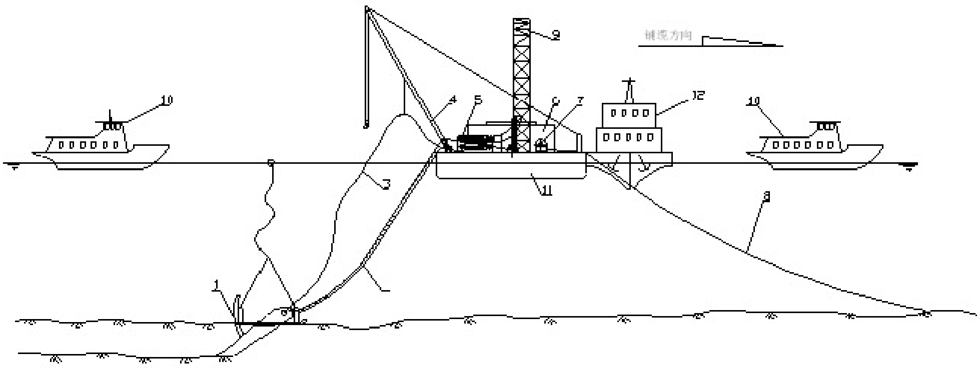
海缆中间段敷埋过程中，根据海缆敷设和深埋先后顺序，分为先敷后埋和敷埋同步 2 种方式。

（1）先敷后埋方式

施工船舶根据设计路由，将海缆抛放在海床上面，再由潜水员或 ROV 利用水下设备对海床上的海缆进行深埋和后续保护操作。这种施工方式一般适用在地质较差的海底，或大型施工船舶无法进入的较浅海域。

（2）敷埋同步方式

敷埋同步方式根据主施工船舶的前进动力不同，可分为翻锚作业敷设、慢绞牵引钢丝敷设和自航式敷设等方式。



1.水力喷射埋设机，2.导缆笼，电缆及拖曳钢丝绳，3.高压输水胶管，4.起重把杆，5.履带布缆机，计米器，入水槽等，6.储缆圈，7.牵引绞车，8.牵引钢丝绳，9.退扭架，10.警戒船，11.电缆敷埋施工船，12.拖轮。

图 2.3.6-6　海缆敷设示意图

（3）海缆交越施工

本工程海缆路由若与其它管线存在交越施工问题，在上述交越点施工时，应在交越点前后一定距离内停止敷埋作业，结合海缆交越点设计方案制定专业施工方案，并采取相应的安全措施后进行海缆交越点施工。本报告提供解决方案仅供参考，具体方案以与被交越管线权属方协商确定。

施工前应对交越点进行实测及经纬度坐标复核，并做好相应识别。当海缆敷埋至交越点前规定位置时，距离交越缆前后各 100 米停止敷埋作业。海缆敷设船“八字”开锚锚泊定位，抛锚位置须离开原有缆线距离 100 米以上，并开始回收提升水下埋设机，当埋设机出泥至一定高度后，绞锚向前移船，同时布缆机以相应速度布放电缆进行抛放敷设。待水下埋设机越过交越点 100 米后重新投放埋设机

进行敷埋作业，在跨越布缆施工过程中，潜水员必须水下全程进行监护，确保海缆的安全，详见下图。

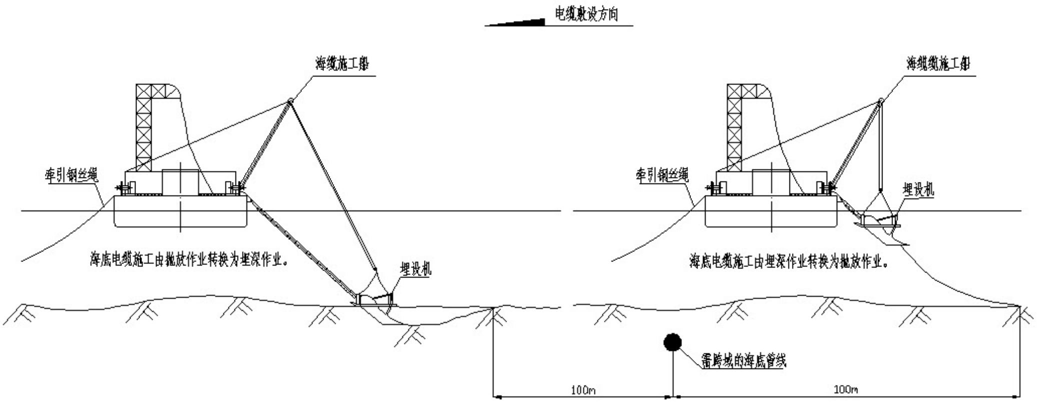


图 2.3.6-7　海缆跨越管线施工示意图

另外，为了避免后期敷设的海缆搁置在原有缆线上而产生悬荡，需要将原有缆线同时冲埋深才能确保新建海缆的埋设深度。

海缆抛放完毕后，施工船在交越点位置抛锚就位，抛锚时所有锚位均采用 DGPS 定位。采用潜水员水下空气吸泥冲沟的工艺对 40m 长度的交越段海缆埋设 2m 以下。

潜水员下水后，从提升埋设机的位置开始持高压水枪冲埋海缆，同时开启空压机进行吸泥，形成 2 米深的沟槽后海缆自然下沉至沟底；如在冲埋过程中遇到原有缆线，将交越点两侧各 15 米的原有缆线冲埋深 2~3m 后，再对新敷设海缆进行冲埋 2m 保护。为避免交越海缆之间因直接接触而产生电磁相互干扰，因此在交越点两缆线之间抛填 50cm 厚的水泥沙袋予以隔离，详见下图：

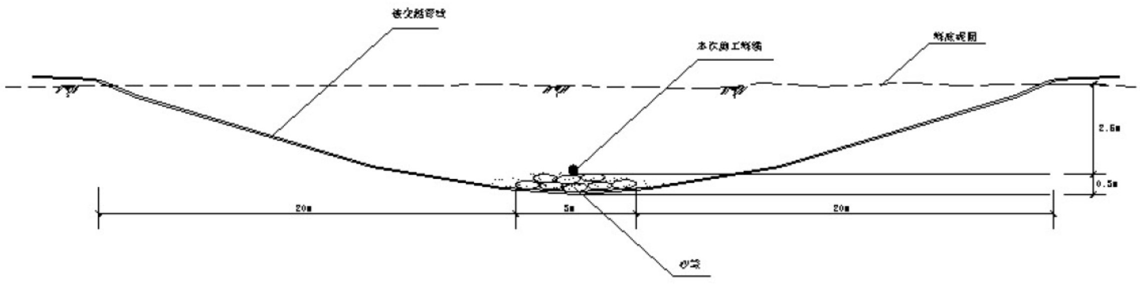


图 2.3.6-8　交越埋深保护示意图

4、终端登陆

在海缆终端登陆前，已完成终端登陆的施工准备工作，具备登陆条件。准确测量登陆长度后，在施工船上截下余缆，并对截断海缆两端进行铅包封堵工作，

防止海缆截断后外界环境对电缆造成电气性能及绝缘影响，确保海缆埋设及后续工作质量海缆截断封堵结束后，进行海缆的终端登陆。

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

5、主要电缆埋深设备

主要电缆埋深设备见下表。

表 2.3.6-1 主要电缆埋深设备

序号	名称	用途
1	电缆埋设机	海底电缆埋深，非航道段：220kV 海底电缆的埋设深度 3m，航道段：220kV 海底电缆的埋设深度需根据通航报告确定
2	高压水泵	供水，扬程 300 米以上
3	高压水管	将高压水输送至埋设机
4	导缆笼	保证埋设机至船舷间电缆的张力和弯曲半径
5	海缆埋深监测系统	监测电缆的张力、埋深、偏差、缆长及水深、流速等
6	拖曳式潜水器综合监控导航系统	埋设机综合监控与水下导航定位系统
7	定向钻钻机	电缆登陆施工

2.3.6.3 海缆保护

海底电缆防护主要有两种方式：电缆自身外防护和电缆掩埋。本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 66kV 海底电缆和海上升压站与陆上升压站之间的 220kV 海底电缆。工程海域海床表层土为新近沉积淤泥土，登陆部分为海涂和浅滩，建议根据实际情况采取以下防护措施进行海缆保护。

（1）建设单位应按照国家法律法规，维护自己的合法权益，保护海底电缆的安全。

（2）对于穿越航道区的海缆可加大电缆的埋深，在航道内施工时，需向海事主管机关申请交通管制，同时尽量避免航道封航。

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

（4）为保护交越段的原有光缆、电缆安全，需制定合理的交越保护方案。管道和电缆交越处的海床应与已铺管线单位协商确定，并采取详细的措施以避免

管道和电缆铺设中对双方的铺设造成损害。

（5）登陆段海缆是局部无法完成敷设的路径段，登陆段海缆由于环境及人为活动的影响，出现故障的可能性较高。为了提高登陆段海缆的安全性，海缆敷设后应按要求进行保护作业。比如海缆登陆段可采用球墨铸铁套管保护，陆上段，海缆敷设在预制混凝土槽内，再回填细沙，盖上盖板，深度取 1.0m。

图 2.3.6-9　水泥压块保护示意

图 2.3.6-10　弯曲限制器示意

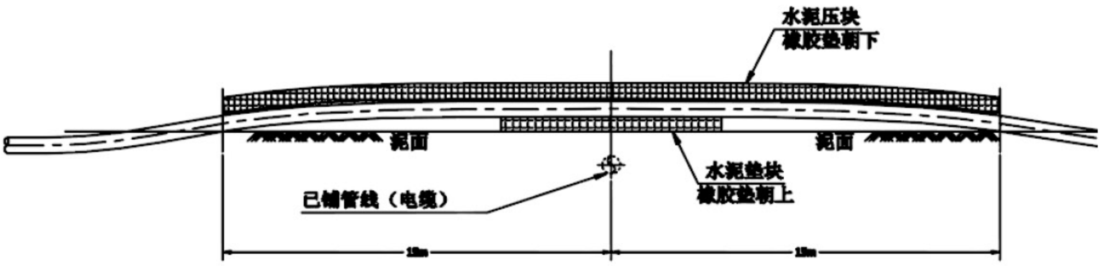


图 2.3.6-11　交越段电缆保护方案

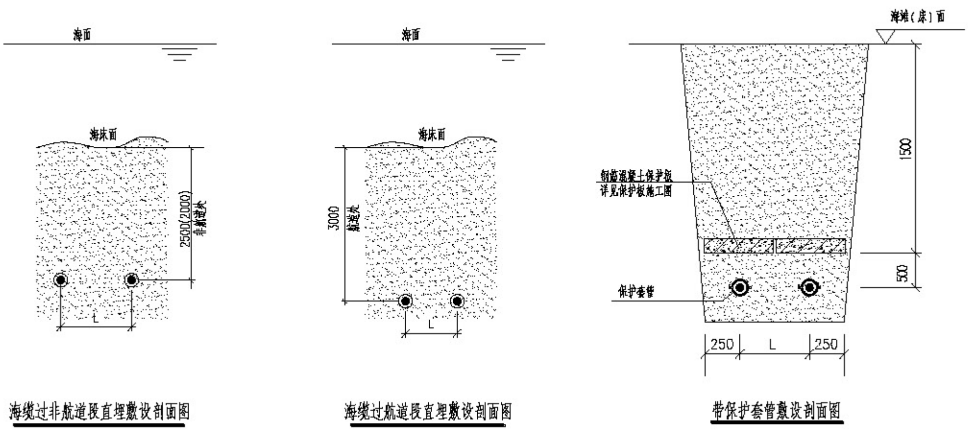


图 2.3.6-12　海缆保护示意图

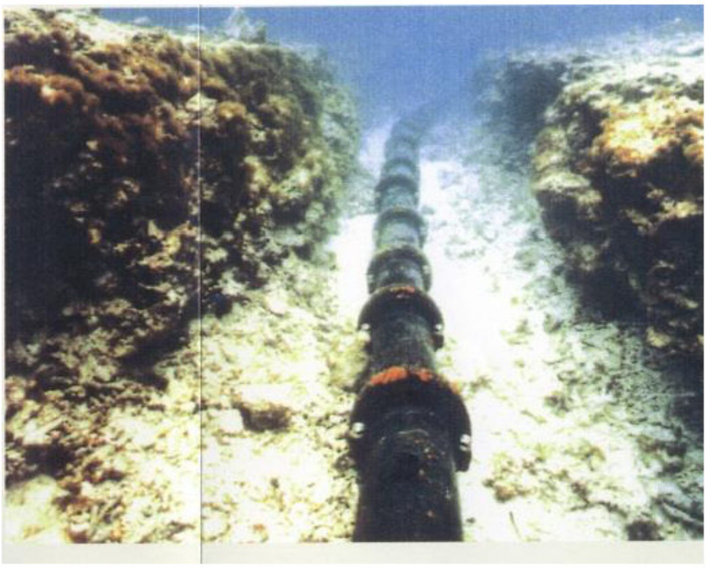


图 2.3.6-13　海缆保护套管示意图

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

2.3.7 风电场运行退役后初步拆除和清理方案

风电场运行退役后拟进行拆除，拆除范围包括但不限于组成海上风电场的风力发电机组、塔架、基础、220kV 升压变电站以及其他相关设施、器材、配件、厂房及设备、原材料、全部改建设施等。拆除及清理拟由项目公司负责进行。

参考《海洋石油平台弃置管理暂行办法》（国家海洋局，2002 年 6 月 24 日）第十二条的规定“废弃的平台妨碍海洋主导功能使用的必须全部拆除。在领海以内海域进行全部拆除的平台，其残留海底的桩腿等应当切割至海底表面 4 米以下。在领海以外残留的桩腿等设施，不得妨碍其它海洋主导功能的使用。”，本项目风机均位于领海，在风电场运行退役后，需拆除海面以上风机设备塔架等，风机基础拆除至海底表面 4 米以下。基本恢复本风电场建设前的海底地貌。风机拆除方案考虑采用整体拆除，由于风机拆除对船体稳定性要求不高，可采用起重船实施整体拆除。风机基础的拆除主要将钢管桩在水下切割。

根据《海洋工程环境影响评价技术导则（GB/T 19485-2014）》的要求，海洋工程（水工构筑物）和设施的废弃、拆除等需编制海洋工程环境影响报告书并报主管部门审批。因此，本工程风电场运行退役后初步拆除和清理方案需编制海

洋工程环境影响报告并报主管部门审批后实施。

2.3.8 施工进度

工程准备期主要包括规划的施工基地建设、钢管桩加工制作、风电场场内扫海、施工供水、施工供电、施工通信等准备工程建设。工程准备工作完成以后，开展主体工程的施工。

（1）钢管桩沉桩施工工效

根据本阶段设计资料，工程共安装 29 台风机基础。计划配备 2 艘运输驳船，每艘每次运输 8 根，单桩基础配备 2 艘运输驳船，每次各运输一根。钢管桩海上沉桩施工有效天数为 4 天×29= 116 天。根据施工窗口期分析，年施工有效天数约为 110 天，考虑两个工作面进行常规钢管桩施工，则常规钢管桩的施工工期约 7 个自然月。

（2）导管架安装施工工效

本工程共安装 29 个导管架结构，计划配备 2 艘运输驳船，每次运输 4 台导管架，到场后进行安装、灌浆等作业，所需施工总有效天数=3 天×29 ＝ 87 天。根据施工窗口期分析，其年施工有效天数为 100 天，考虑两个工作面进行导管架安装施工，则导管架安装的施工工期约 6 个自然月。

（3）风机安装施工工效

按照前述风机分体安装方案，29 台风机分体安装共需有效作业时间=3 天×29 天=87 天。根据施工窗口期分析，揭阳海域可进行风机分体安装的年有效施工天数约为 100 天，考虑海上施工时按两个工作面进行风机安装施工，则施工工期约 6 个自然月。

关键节点：本工程总工期计划为15个月，其中工程主体施工总工期为13个月。本工程主体工程开始施工后，第T+12个月后首批9台风机投产发电，第T+15个月后全部29台风机投产发电。

表 2.3.8-1 项目总体施工进度表

序号	项 目	工期（月）	计划开工（月）	计划结束（月）	备 注
1	施工准备	2	T+1	T+2	配置临建设施
2	导管架及钢管桩制造加工	9	T+3	T+11	
3	非嵌岩四桩导管架沉桩施工	7	T+6	T+12	2 个工作面

序号	项 目	工期（月）	计划开工（月）	计划结束（月）	备 注
4	导管架基础安装施工	6	T+8	T+13	2 个工作面
5	首批风机机组安装	3	T+10	T+12	2 个工作面
	剩余风机机组安装	3	T+13	T+15	
6	66kV 海缆敷设	5	T+11	T+15	工期跨度
7	220kV 送出海缆敷设	2	T+10	T+11	
8	海上升压站加工制作	8	T+3	T+10	
9	海上升压站基础施工与上部安装调试	1	T+10	T+10	下部基础施工
		1	T+11	T+11	上部组块安装
		2	T+11	T+12	调试
10	陆上集控中心	9	T+3	T+11	土建施工
		1	T+12	T+12	电气设备调试
11	风机并网调试	5	T+11	T+15	
12	全部风机投产发电			T+15	里程碑

2.3.9 工程运行

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

考虑到风电场自动化程度很高，项目公司的人员编制定员按 60 人计，可与神泉一、神泉二海上风电项目一并考虑。项目公司负责海上风电场的运营管理；为充分利用社会资源，风电场的维护可委托相关专业单位进行。

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

计划维修工作主要包括更换齿轮油、轴承、转子等部位的润滑油，更换废旧的蓄电池、熔断器及制动片等。

2.3.10 土石方平衡

根据可行性研究报告，本工程共建设 29 台海上风机和 1 台海上升压站，根据厂址区工程地质勘查资料和工程设计资料，所有风机均为常规桩施工，无需嵌岩桩施工。海上升压站按目前设计深度采用后桩法的四桩导管架，按照目前地质资料，施工过程不会产生弃渣。

海上风机四桩导管架基础施工时涉及桩内清淤，**每根桩基础平均清淤深度约为 4m，桩径最大为 3.5m，每根桩清淤量=4m×桩横截面积=4m×π×1.75m×1.75m=38.5m³，单台风机清淤量约为 154.0 m³，29 台风机总计清淤约 4466m³。海上升压站每根桩基础平均清淤深度为 4m，桩径为 3.3m，每根桩清淤量=4m×桩横截面积=4m×π×1.65m×1.65m=34.2m³，单台升压站桩基础清淤量约为 137 m³。**该部分淤主要为淤泥，淤泥不在海区排放，拟先存于驳船上，之后就近运输到前詹通用码头项目需填方的施工区。

淤泥通过泥浆泵抽到驳船上，达到一定的量后，船运到本项目的施工码头，再通过泥浆泵转载于汽车上，运往前詹通用码头工程的场区用于场区平整。

此外，本工程海底电缆登陆采用定向钻施工工艺，出钻点暂定距登陆点 200m~400m，定向钻施工工艺将产生淤泥，保守估计，定向钻孔尺寸按 50cm 考虑，长度按 500m 考虑（考虑到坡度和陆上长度），则两条海缆定向钻施工产生的淤泥总量为 **500m×π×0.25m×0.25m×2≈200 m³**。在工作井附近布置泥浆泵，将钻孔内的淤泥抽出，存储于汽车上，运往前詹通用码头工程的场区用于场区平整。

根据建设单位与惠来县人民政府签订的征地协议，揭阳港前詹作业区通用码头工程项目总规划征地面积 1144.25 亩，其中一期用地 531.7935 亩、二期用地 612.4565 亩，位于前詹镇沟疏村与赤沃村间，征地范围内有足够的空间用于本项目土石方平衡。

土石方平衡如下表。

表 2.3.10-1 土石方平衡表

土石方类型	产生量	处理方式	消纳量
钢管桩清淤淤泥	4603 m³	运到前詹通用码头工程场区处理	4603
定向钻清淤	200 m³	运到前詹通用码头工程场区处理	200 m³
合计	4803 m³	运到前詹通用码头工程场区处理	4803 m³

2.4 项目用海需求

根据海域使用分类体系，本项目用海类型为“工业用海”中的“电力工业用海”。项目用海方式分为透水构筑物和海底电缆管道用海两种方式。

根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕

234 号），项目用海分类为工矿通信用海（一级类）之可再生能源用海和海底电缆管道用海（二级类）。

本项目海域部分共建设 29 台风机、1 座海上升压站，6 回 66kV 集电海底电缆、2 回 220kV 连陆海底电缆。装机总容量为 400MW。根据新修测海岸线计算，项目需申请总用海面积为 340.3343 公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积 48.4967 公顷，海上升压站（透水构筑物）用海面积 2.0662 公顷，220kV 海底电缆用海面积 237.8605 公顷，集电线路用海面积 51.9109 公顷。海底电缆登陆点保护带涉及新修测海岸线长度约 20.0m，风机外包络线占海面积 23.5km^2。项目风机基础结构防腐蚀设计按 27 年考虑，风机的设计服务年限为 25 年，总工期计划为 15 个月，其中工程主体施工总工期 13 个月，考虑到海上施工可能受到恶劣天气影响需延长时间，申请的用海期限为 27 年。项目宗海图见图 2.4-1。

表 2.4-1　项目用海变化情况

用海内容	用海情况
海上风机（公顷）	48.4967
海上升压站（公顷）	2.0662
66kV 集电线路（公顷）	51.9109
220kV 海底电缆送出工程（公顷）	237.8605
总用海面积（公顷）	340.3343
涉及岸线使用（m）	20
用海期限（年）	27
集电线路总长度（公里）	29.93
220kV 海底电缆路线总长度（公里）	2 回，75.79

2.5 项目用海必要性

2.5.1 项目建设必要性

1、适应新常态下我国能源革命形势、优化能源结构的需要，符合国家能源发展战略和规划的要求

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

因此，建设国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目是适应新常态下能源革命形势、符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。

2、是广东省能源结构调整、提升全省能源生产供应能力的需要

广东省是全国能源消费大省，煤炭和石油仍是主要的能源消费方式。广东省能源资源匮乏，省内煤、气等资源大量依靠省外输入，水电仅有的开发量已基本开发完毕，一次能源供应主要依靠外省调入或进口解决。同时，广东的外省调入能源主要包括来自西部地区的“西电东送”和“三西”及贵州的煤炭，随着这些地区自身用电需求和煤炭消费的快速增长，未来对广东省的电力和煤炭供应存在不确定性。《广东省海上风电发展规划（2017-2030）》确定广东省近海浅水区海上风电场址 15 个，装机容量共计 9850MW。

3、是改善环境质量，促进广东节能环保、可持续发展的需要

风能被誉为二十一世纪最有开发价值的绿色环保新能源之一，我国海上风能资源丰富，近年来呈现发展迅速的趋势。国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目有利于开发揭阳地区的海上风电资源，符合国家能源产业发展方向，有效提高风能资源的利用。

广东省风力资源丰富，风电不仅是广东省能源供应的有效补充，而且作为绿色电能，风电的迅速发展将会大幅度减少有害气体的排放量，降低污染，减少煤

炭消费及二氧化硫、氮氧化物、二氧化碳排放等。

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

4、有利于提高相关产业水平，推进广东海上风电发展

国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目位于揭阳市惠来县靖海镇东南海域，具备良好的开发条件。项目的开发建设，有利于加快海上风电技术水平的发展，有利于促进海上风电设备国产化，有利于促进海上风机基础选型与施工技术的创新。本项目的开发将以点带面带动全省海上风电开发，为后续海上风电建设和广东省海上风电规模化开发提供宝贵经验和示范。

5、开发海洋经济增长点，促进地区经济社会发展

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

2.5.2 项目增容的必要性

1、行业发展趋势要求

项目原计划 2021 年前投产，先前设计推荐机型为当时（2018 年）最主流的 5.5-7MW 机型，依据《广东省人民政府办公厅关于印发促进海上风电有序开发和相关产业可持续发展实施方案的通知》（粤府办〔2021〕18 号），要求加快大容量机组研发，现阶段应用大容量风机是行业发展必然趋势。如使用大容量风机，在不调整装机总容量的前提下，在规划场址范围内仅需建设原方案一半的风机，不能充分利用海域的风能资源，也是对海域资源的极大浪费，不符合集约集约用海的政策。因此，增加规划场址的总装机容量是行业发展的必然趋势。

2、海上风电平价开发需要

原国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目未能在计划时间内投产，根据《国家发展改革委关于完善风电上网电价政策的通知》（发改价格〔2019〕882 号），2022 年及以后全部机组完成并网的，执行并网年份的指导价，不再享受国补。鉴于项目实行平价上网，为了保障基本收益率，适应海上风电平价上网的目标要

求，应进行大容量机型应用，增加装机总容量，尽可能在规划的场址范围之内产生更大的发电效益，减少度电成本，适应海上风电平价开发需要。

3、充分开发利用场址海域风能资源

原靖海海上风电场项目规划装机容量 150MW，规划面积 24 平方公里，于 2018 年 11 月核准，因在核准有效期内用海手续未能成功办理，因此需要重新核准和报建。按照军事部门要求，本项目场址形状为不规则四方形，且长边与主导风向垂直，有利于风机排布，且在去补贴时代背景条件下，保持 150MW 容量开发远不能满足项目经济性。同时，近年来风电机组大型化发展非常迅速，经测算本项目增容至 400MW，对风机安全性、尾流效应等均在安全区间范围内，也可以很好的满足项目经济性。建设单位经与省发改委、市发改部门、自然资源部门、电网公司等沟通协调，可以在原规划场址范围内增加项目规模，项目经济性可行，因此拟增加至开发 400MW 海域风能资源，充分利用海域的风能资源。

2.5.3 项目用海必要性

本项目为海上风电建设项目，该项目的海域使用是由其场地的建设条件和工程建设的特殊要求决定的。

1、海上风电一般优于陆上风电

（1）海上风能资源较陆上大，同高度风速海上一般比陆上大 20%，发电量高 70%，而且海上少有静风期，风电机组利用效率较高。目前，海上风电机组年利用小时数一般在 3000 小时以上，有的高达 4000 小时左右。

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

（3）海上风的湍流强度低，海面与海上的空气温差比陆上的小，特别是白天。且没有复杂地形对气流的影响，因此作用在风电机组上的疲劳负荷减少，可延长其使用寿命。

（4）海上风电项目仅占用少量的土地资源，远离城镇及居民生活区，对环境及景观的负面影响相对较小。海上风电机组转速一般比陆上高 10%，风机利用效率相应提高 5%～6%。

2、本项目所在海域风能资源丰富，适宜开发建设海上风电

根据本报告 3.3.6 节分析，项目所在海域风能资源属于 5 级，资源丰富；可利用有效风速小时数高；风向与风能方向相对集中，有利于风电场机组的总体布置；风速和风能分布较为集中；风速年内变幅较大，而日变化幅度较小。根据场址内测风塔周年资料，20m~100m 测风塔各层全年平均风速在 7.52m/s~8.65m/s 之间，平均风功率密度在 443 W/m^2~620 W/m^{2}之间。经长年代风资源分析并订正，水平年 100m 高平均风速为 8.72m/s，平均风功率密度为 625W/m^2。轮毂高度 140m 平均风速为 8.80m/s，平均风功率密度为 632W/m^2。。区域风资源适宜建设海上风电，具有较好的开发前景。

3、本项目的建设特点

本项目的主体工程全部位于海上，将建设 29 台风机、1 座海上升压站、6 回 66kV 海底电缆和 2 回 220kV 海底电缆。风机和海上升压站基座为桩基础结构，属于“透水构筑物用海-其他透水构筑物用海”，桩基插入海床，风机架设在海面上方，必将占用一定的海域。项目建设 6 回 66kV 海底电缆，用于收集 29 台风机生产的电力，并经过海上升压站升压后，通过 2 回 220kV 的海底电缆输入陆上集控中心，最终输入电网，海底电缆埋入海床以下，属于“海底电缆管道-海底电（光）缆用海”，必将占用一定的海床及底土。因此，从项目的建设特点来看，本项目海上风机、海上升压站及电缆铺设将占用一定的海域，项目用海是必要的。

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

综上所述，本项目的建设和用海是必要的。

3 项目所在海域概况

3.1 海洋资源概况

项目区附近海域的海洋资源主要有渔业资源、海岸线资源、旅游资源、港口资源、锚地和航道资源、风能资源、海岛（礁）资源等。

3.1.1 渔业资源

揭阳市惠来县沿海主要渔获种类有马鲅、龙头鱼、叫姑鱼、小公鱼、白姑鱼、黄姑鱼、大黄鱼、蓝子鱼、海鳗、棱鳀类、鰳鱼、方头鱼、蛇鲻、灰鲳、中国鲳、带鱼、金线鱼、鲐鱼、马鲛、细鳞鯻、小沙丁鱼、鲱鱼、石斑鱼、鲷科鱼类、蓝圆鲹、马面鲀、竹荚鱼、鲻鱼、宽突赤虾、对虾、鹰爪虾、近缘新对虾、三疣梭子蟹、红星梭子蟹、锈斑蟳、日本蟳、虾蛄类、猛虾蛄、杜氏枪乌贼、目乌贼和双斑蛸等。

3.1.1.1 渔业资源现状调查概况

国家海洋局南海调查技术中心委托国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站分别于 2022 年 3 月 3 日至 3 月 5 日、2022 年 9 月 1 日至 9 月 3 日开展了该项目春季、秋季渔业资源等的调查工作，春季鱼卵仔稚鱼站位 14 个，游泳生物调查站位 14 个，站位详见表 3.1.1-1，分布图见图 3.1.1-1；秋季鱼卵仔稚鱼站位 12 个，游泳生物调查站位 12 个，站位详见表 3.1.1-2，分布图见图 3.1.1-2。

表 3.1.1-1 2022 年 3 月春季调查站位表

表 3.1.1-2 2022 年 9 月秋季调查站位表

图 3.1.1-1 2022 年 3 月调查站位图

图 3.1.1-2 2022 年 9 月调查站位图

调查项目包括鱼卵仔稚鱼和游泳生物。

鱼卵仔稚鱼：分析种类组成、数量分布（时间和空间的分布）、优势种，并提供其种类名录；

游泳生物：分析种类组成、渔获物生物学特征、优势种分布、渔获量分布和资源密度（重量、尾数），以及渔业生产情况。

渔业资源调查依据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）和《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）相关要求进行。

当观测船只进入预定站位，使用GPS进行定位，测量水深。

鱼卵仔鱼：定量分析样品采用浅水I型浮游动物网采集，每站取自底层至表层做一次垂直拖网的方法采集浮游动物样品。定性分析样品采用大型浮游生物网于表层水平拖曳10分钟取得，拖速约1.5节。采集到的样品用5%福尔马林溶液固定后，带回实验室进行湿重生物量称重，并用镜检分析法和个体计数法进行浮游动物的种类鉴定和计数。

游泳生物：采用单船有翼单囊拖网进行拖网采样，拖网采样船速3 kn ~4 kn（根据实际情况确定），拖网时长0.5h~1h（根据实际情况确定），同时记录网口长度、网口宽度、网具长度、网眼大小。每网样品按种分类，各站的渔获样品均在现场进行初步分析和测定；渔获样品较少（<40kg）时，将全部样品进行分析测定；渔获物较多时，先挑选个体较大和稀有种类的样品，其余小杂鱼样品随机取样，再进行分析测定；当不能进行现场分析和测定时，将样品按类别装于聚乙烯袋中，冷冻保存带回实验室分析和测定。

预处理、保存及监测分析方法按照《海洋调查规范》（GB/T12763.6-2007）、《海洋监测规范》（GB17378－2007）和《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）进行，见表3.1.1-3。

表3.1.1-3　海洋生态及渔业资源调查项目监测分析方法

序号	监测项目	样品预处理及保存方法	样品测定方法
1	鱼卵仔稚鱼	加入占样品体积5%的甲醛溶液固定	计数框计数；体视显微镜鉴定；计算丰度 GB/T 12763.6-2007　9 鱼类浮游生物调查
2	游泳生物	现场分析和测定或者装入聚乙烯袋中冷冻保存	人工鉴定种类、计数、测定生物量 《海洋调查规范 第6部分：海洋生物调查》GB/T 12763.6-2007

序号	监测项目	样品预处理及保存方法	样品测定方法
			14 游泳动物调查

游泳生物的评价方法采用优势度、多样性指数和均匀度等，计算公式与海洋生物调查时采用的计算公式一致。

游泳生物资源密度采用底拖网扫海面积法（Shindo，1973 转引自 Aoyama，1973；Nguyen，2005）估算。计算公式为：

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

式中：d 为资源密度；y 为拖网渔获率；v 为平均拖速；l 为网口宽度（取上纲的 0.67 倍）；E 为逃逸率（取 0.5）。

3.1.1.2 秋季渔业资源调查结果及分析

3.1.1.2.1 鱼卵仔稚鱼

秋季调查共布设 12 个站位。

（1）本次共采获鱼卵 5 种（包括属以上）37 粒，详见附录。垂直拖网采获 5 种 23 粒，各站位密度变化范围为（0～1.902）ind./m^3，平均为 0.442 ind./m^3。水平拖网采获 2 种 14 粒，各站位数量变化范围为 0～10。

（2）本次共采获仔稚鱼 7 种（包括属以上）27 尾，详见附录。其中垂直拖网捕获 2 种 6 尾，各站位密度变化范围为（0～0.435）ind./m^3，平均为 0.095 ind./m^3。水平拖网捕获 7 种 21 尾，各站位数量变化范围为 0～6。

3.1.1.2.2 游泳生物

2022 年 9 月游泳生物租用单囊拖网渔船开展（粤南澳渔 31080，吨位 107 吨，船长 25.4m）。调查使用的网具为单拖网，为渔业生产作业时使用的网具，其上纲为 24m，网囊网目尺寸 20mm。每站拖网约 1h，，拖速约为 3km。

秋季调查共布设 12 个站位。

1、种类组成和总渔获量

调查海区内共捕获游泳生物 27 种，其中鱼类隶属于 5 目 15 科 16 种，甲壳类隶属于 2 目 4 科 10 种，头足类隶属于 1 目 1 科 1 种，渔获种类名录见附录。

游泳生物的总渔获量为 263.505 kg，平均渔获率为 21.959 $kg\cdot h^{-1}$。其中，S19 站位渔获率最高，为 50.830 $kg\cdot h^{-1}$；S12 站位渔获率最低，为 6.450 $kg\cdot h^{-1}$。

鱼类的平均渔获率为 16.740 $kg\cdot h^{-1}$，总渔获量为 200.885 kg，占游泳动物总渔获量的 76.24%。甲壳类的平均渔获率为 4.838 $kg\cdot h^{-1}$，总渔获量为 58.050 kg，占 22.02%。头足类的平均渔获率为 0.381 $kg\cdot h^{-1}$，总渔获量为 4.570 kg，占 1.74%。

鱼类在渔获物中占优势，甲壳类次之，头足类最少。调查海区出现的主要经济种类有二长棘鲷（*Paerargyrops edita*）、日本绯鲤（*Upeneus japonicus*）、蓝圆鲹（*Decapterus maruadsi*）、红星梭子蟹（*Portunus sanguinoleutus*）、拥剑梭子蟹（*Portunus gladiator*）、琼带鱼（*Trichiurus minor*）、长蛇鲻（*Saurida elongata*）、宽突赤虾（*Metapenaeopsis palmensis*）、淡鳍兔头鲀（*Lagocephalus wheeleri*）、口虾蛄（*Oratosquilla oratoria*）等。

2、资源密度

本次调查各站位游泳生物尾数获率范围为（97～1488）$ind.h^{-1}$，平均尾数渔获率为 597 $ind.h^{-1}$；各站位游泳生物重量渔获率为（6.450～50.830）$kg\cdot h^{-1}$，平均重量渔获率为 21.959 $kg\cdot h^{-1}$。各站位尾数资源密度范围为（2.182～33.477）$\times10^3$ $ind.km^{-2}$，平均尾数资源密度为 13.426×10^3 $ind.km^{-2}$；各站位重量资源密度范围为（145.1～1143.6）$kg\cdot km^{-2}$，平均重量资源密度为 494.0 $kg\cdot km^{-2}$。

根据公式估算，调查海区游泳生物的平均资源密度为 494.0 $kg\cdot km^{-2}$。因为中上层鱼类未在此次采样范围，故调查结果应该低于本地区实际渔业资源密度。

3、相对重要性指数 IRI 分析

利用相对重要性指数 IRI 分析渔获物在群体数量组成中的生态地位，依次确定优势种。公式如下：

IRI=（N+W）·F

式中：N——某一种类的尾数占渔获总尾数的百分比；

W——某一种类的重量占渔获总重量的百分比；

F——某一种类出现的频率。

监测海区渔获物中 IRI 大于 0.01 的游泳动物共 10 种，见表 5.7-2。第一优势种为二长棘鲷。

表 3.1.1.2-1 渔获重量和个体数量渔获率及组成

序号	中文名	拉丁名	平均个体渔获率（$ind \cdot h^{-1}$）	平均重量渔获率（$kg \cdot h^{-1}$）	数量百分比（%）	重量百分比（%）	出现频率	IRI
1	二长棘鲷	*Paerargyrops edita*	164	5.883	27.5	26.8	0.67	0.362
2	日本绯鲤	*Upeneus japonicus*	133	3.292	22.3	15.0	0.50	0.187
3	蓝圆鲹	*Decapterus maruadsi*	103	3.833	17.3	17.5	0.33	0.116
4	红星梭子蟹	*Portunus sanguinoleutus*	24	1.921	3.9	8.7	0.75	0.095
5	拥剑梭子蟹	*Portunus gladiator*	30	1.117	5.0	5.1	0.50	0.050
6	长蛇鲻	*Saurida elongata*	8	0.542	1.3	2.5	0.58	0.022
7	琼带鱼	*Trichiurus minor*	3	0.556	0.5	2.5	0.58	0.018
8	宽突赤虾	*Metapenaeopsis palmensis*	50	0.500	8.4	2.3	0.17	0.018
9	淡鳍兔头鲀	*Lagocephalus wheeleri*	6	1.083	1.0	4.9	0.25	0.015
10	口虾蛄	*Oratosquilla oratoria*	15	0.368	2.5	1.7	0.33	0.014

4、鱼类的资源状况

海区共捕获鱼类 16 种，分属于 5 目 15 科。以鲈形目种类数最多，捕获 10 种，其次为仙鱼目，出现 3 种。

调查渔获的鱼类总重量为 200.885 kg，占游泳生物总重量的 76.24%。鱼类的平均资源密度为 376.6 $kg \cdot km^{-2}$。其中，S19 站位鱼类的资源密度最高，为 1091.2 $kg \cdot km^{-2}$；S09 站位鱼类资源密度最低，为 36.0 $kg \cdot km^{-2}$。大部分站位主要由二长棘鲷和日本绯鲤组成。二长棘鲷：调查中，二长棘鲷的平均重量渔获率为 5.883 $kg \cdot h^{-1}$，渔获量约占总渔获量的 26.8%，渔获重量居第一位；其平均个体渔获率为 164 $ind \cdot h^{-1}$，个体数量约占总渔获物个体的 27.5%，渔获数量居第一位。日本绯鲤：调查中，日本绯鲤的平均重量渔获率为 3.292 $kg \cdot h^{-1}$，渔获量约占总渔获量的 15.0%，渔获重量居第二位；其平均个体渔获率为 133 $ind \cdot h^{-1}$，个体数量约占总渔获物个体的 22.3%，渔获数量居第二位。

5、甲壳类的资源状况及密度分布

调查共渔获的甲壳类经鉴定共有 10 种，分属 2 目 4 科。十足目 9 种，口足目 1 种。梭子蟹科、对虾科均出现 4 种，虾姑科、馒头蟹科均出现 1 种。

调查渔获的甲壳类共 58.050 kg，占总渔获量的 22.02%，甲壳类平均资源密度为 108.8 $kg{\cdot}km^{-2}$。其中，S11 站位甲壳类资源密度最高，为 186.7 $kg{\cdot}km^{-2}$；S15、S16 站位甲壳类资源密度最低，为 49.5 $kg{\cdot}km^{-2}$。大部分站位主要由宽突赤虾（*Metapenaeopsis palmensis*）和红星梭子蟹（*Portunus sanguinoleutus*）组成。

红星梭子蟹：调查中，红星梭子蟹的平均渔获率为 1.921 $kg{\cdot}h^{-1}$，渔获量占总渔获量的 8.7%。平均个体渔获率为 24 $ind.{\cdot}h^{-1}$，个体数量占总个体数量的 3.9%。

拥剑梭子蟹：调查中，拥剑梭子蟹的平均渔获率为 1.117 $kg{\cdot}h^{-1}$，渔获量占总渔获量的 5.1%。平均个体渔获率为 30 $ind.{\cdot}h^{-1}$，个体数量占总个体数量的 5.0%。

6、头足类的资源状况及密度分布

调查渔获的头足类经鉴定仅 1 种。调查海区渔获的头足类共 4.570 kg，占总渔获量的 1.74 %，平均资源密度为 8.6 $kg{\cdot}km^{-2}$。其中，S02 站位头足类资源密度最高，为 90.0 $kg{\cdot}km^{-2}$。仅由中国枪乌贼（*Uroteuthis chinensis*）组成。

7、渔获物幼体比

2022 年 9 月渔获物中，鱼类平均幼体比例为 44.11%，虾类平均幼体比例为 33.77%，蟹类平均幼体比例为 51.30%，虾姑类平均幼体比为 19.32%，头足类平均幼体比例为 23.26%。

表 3.1.1.2-2　2022 年 9 月渔获物幼体比例

类群	渔获尾数	幼体尾数	幼体比%
鱼类	5529	2439	44.11
虾类	684	231	33.77
蟹类	729	374	51.30
虾姑类	176	34	19.32
头足类	43	10	23.26

3.1.1.3 春季渔业资源调查结果及分析

3.1.1.3.1 鱼卵仔稚鱼

春季调查共布设 14 个站位。

（1）春季调查共采获鱼卵 15 种（包括属以上）742 粒，详见附录。垂直拖网采获 4 种 8 粒，各站位密度变化范围为（0.00～0.71）ind./m^3，平均为 0.121 ind./m^3。水平拖网采获 14 种 734 粒，各站位数量变化范围为 0～268，均值为 52，最大值出现在 26 站位。见表 5.6-1。其中，鳊科鱼卵 238 粒，鲹属鱼卵 180 粒，笛鲷科鱼卵 158 粒。

（2）春季调查，共采获仔稚鱼 17 种（包括属以上）74 尾，详见附录。其中垂直拖网捕获 6 种 7 尾，各站位密度变化范围为（0.00～0.84）ind./m^3，平均为 0.121 ind./m^3。水平拖网捕获 13 种 67 尾，出现在 2、15、18、24、27、30 站位。

3.1.1.3.2 游泳生物

2022 年 3 月游泳生物租用单囊拖网渔船开展（粤惠来 41228，吨位 48 吨，船长 20.5m）。调查使用的网具为单拖网，为渔业生产作业时使用的网具，其上纲为 12m，网囊网目尺寸 20mm。每站拖网约 1h，拖速约为 3km。

春季现场调查共布设 14 个站位。

1、种类组成和分布

春季调查，调查海区内共捕获游泳生物 44 种，其中鱼类隶属于 7 目 26 科 31 种，甲壳类隶属于 2 目 5 科 8 种，头足类隶属于 3 目 4 科 5 种，渔获种类名录见附录。

游泳生物的总渔获量为 112.568 kg，平均渔获率为 8.041 kg·h^{-1}。其中，14 站位渔获率最高，为 25.048 kg·h^{-1}；3 站位渔获率最低，为 2.430 kg·h^{-1}。

鱼类的平均渔获率为 3.690 kg·h^{-1}，总渔获量为 51.658 kg，占游泳动物总渔获量的 45.89%。头足类的平均渔获率为 2.412 kg·h^{-1}，总渔获量为 33.767 kg，占 30.00%。甲壳类的平均渔获率为 1.939 kg·h^{-1}，总渔获量为 27.143 kg，占 24.11%。

鱼类在渔获物中占优势，头足类次之，甲壳类最少。调查海区出现的主要经济种类有火枪乌贼、宽突赤虾、扁鰤、长蛇鲻、红星梭子蟹、白斑乌贼、横带长鳍天竺鲷、拥剑梭子蟹、口虾姑、短蛸、二长棘鲷等。

2、渔获率和资源密度

春季调查，各站位游泳生物尾数渔获率范围为（75～730）ind.h^{-1}，平均尾数渔获率为 238 ind.h^{-1}；各站位游泳生物重量渔获率为（2.430～25.048）kg·h^{-1}，平均重量渔获率为 8.041 kg·h^{-1}。各站位尾数资源密度范围为（3.375～32.847）

×10³ind.km⁻²，平均尾数资源密度为 10.687×10³ind.km⁻²；各站位重量资源密度范围为（109.3～1127.1）kg·km⁻²，平均重量资源密度为 361.8 kg·km⁻²。

根据公式估算，调查海区游泳生物的平均资源密度为 361.8 kg·km⁻²。因为中上层鱼类、贝类和螺类未在此次采样范围，故调查结果应该低于本地区实际渔业资源密度。其中，资源密度最大值出现于 14 站位，最小值出现于 3 站位。

3、相对重要性指数 IRI 分析

利用相对重要性指数 IRI 分析渔获物在群体数量组成中的生态地位，依次确定优势种。公式如下：

IRI=（N+W）·F

式中：N——某一种类的尾数占渔获总尾数的百分比；

W——某一种类的重量占渔获总重量的百分比；

F——某一种类出现的频率。

监测海区渔获物中 IRI 大于 0.01 的游泳动物共有 16 种。第一优势种为火枪乌贼（*Loliolus beka*）。

表 3.1.1.2-3 渔获重量和个体数量渔获率及组成

序号	中文名	拉丁名	平均个体渔获率（$ind·h^{-1}$）	平均重量渔获率（$kg·h^{-1}$）	数量百分比（%）	重量百分比（%）	出现频率	IRI
1	火枪乌贼	*Loliolus beka*	35	1.297	14.83	16.13	92.86	0.287
2	宽突赤虾	*Metapenaeopsis palmensis*	53	0.536	22.15	6.66	57.14	0.165
3	扁䲗	*Callionymus palnu*	18	0.473	7.47	5.88	64.29	0.086
4	长蛇鲻	*Saurida elongata*	25	1.343	10.73	16.70	28.57	0.078
5	红星梭子蟹	*Portunus sanguinoleutus*	6	0.565	2.41	7.03	64.29	0.061
6	白斑乌贼	*Sepia latimanus*	1	0.777	0.24	9.66	57.14	0.057
7	横带长鳍天竺鲷	*Archamia fucata*	23	0.235	9.83	2.92	42.86	0.055
8	拥剑梭子蟹	*Portunus gladiator*	5	0.312	2.29	3.88	78.57	0.048
9	口虾蛄	*Oratosquilla oratoria*	8	0.216	3.56	2.69	71.43	0.045
10	短蛸	*Octopus fangsiao*	6	0.279	2.68	3.47	57.14	0.035

序号	中文名	拉丁名	平均个体渔获率（$ind \cdot h^{-1}$）	平均重量渔获率（$kg \cdot h^{-1}$）	数量百分比（%）	重量百分比（%）	出现频率	IRI
11	二长棘鲷	*Paerargyrops edita*	7	0.156	2.77	1.95	64.29	0.030
12	逍遥馒头蟹	*Calappa philargius*	2	0.232	0.81	2.89	50.00	0.019
13	鹿斑仰口鲾	*Secutor ruconius*	9	0.093	3.98	1.16	35.71	0.018
14	淡鳍兔头鲀	*Lagocephalus wheeleri*	1	0.217	0.60	2.70	42.86	0.014
15	龙头鱼	*Harpadon nehereus*	2	0.159	0.96	1.97	42.86	0.013
16	条纹叫姑鱼	*Johnius fasciatus*	5	0.104	2.17	1.29	35.71	0.012

4、鱼类的资源状况

（1）海区共捕获鱼类31种，分属于7目26科。以鲈形目的种类数量最多，捕获16种，其次为鲽形目，出现5种。

（2）调查渔获的鱼类平均渔获率为3.690 $kg \cdot h^{-1}$，总渔获量为51.658 kg，占游泳动物总渔获量的45.89%。鱼类的平均资源密度为166.0 $kg \cdot km^{-2}$。其中，13站位鱼类的资源密度最高，为589.4 $kg \cdot km^{-2}$；27站位鱼类资源密度最低，为2.0 $kg \cdot km^{-2}$。大部分站位主要由长蛇鲻（*Saurida elongata*）和扁䲗（*Callionymus palnu*）组成。

扁䲗：调查中，扁䲗的平均重量渔获率为0.473 $kg \cdot h^{-1}$，渔获量约占总渔获量的5.5.88%；其平均个体渔获率为18 $ind \cdot h^{-1}$，个体数量约占总渔获物个体的7.47%。

长蛇鲻：调查中，长蛇鲻的平均重量渔获率为1.343 $kg \cdot h^{-1}$，渔获量约占总渔获量的16.70%，渔获重量居第一位；其平均个体渔获率为25 $ind \cdot h^{-1}$，个体数量约占总渔获物个体的10.73%，渔获数量居第三位。

5、甲壳类的资源状况

（1）调查共渔获的甲壳类经鉴定共有8种，分属2目5科。十足目7种，口足目1种。梭子蟹科出现2种，对虾科出现3种，虾姑科、管鞭虾科、馒头蟹科均出现1种。

（2）调查渔获的甲壳类平均渔获率为1.939 $kg \cdot h^{-1}$，总渔获量为27.143 kg，占24.11%。甲壳类的平均资源密度为87.2 $kg \cdot km^{-2}$。其中，14站位资源密度最高，为207.0 $kg \cdot km^{-2}$；5站位甲壳类资源密度最低，为35.3 $kg \cdot km^{-2}$。大部分站位主要由宽突赤虾（*Metapenaeopsis palmensis*）和红星梭子蟹（*Portunus sanguinoleutus*）组成。

宽突赤虾：调查中，宽突赤虾的平均渔获率为 0.536 $kg \cdot h^{-1}$，渔获量占总渔获量的 6.66 %，渔获重量居第五位。平均个体渔获率为 53 $ind. \cdot h^{-1}$，个体数量占总个体数量的 22.15%。渔获数量居第一位。

红星梭子蟹：调查中，红星梭子蟹的平均渔获率为 0.565 $kg \cdot h^{-1}$，渔获量占总渔获量的 7.03%，渔获重量居第四位。平均个体渔获率为 6 $ind. \cdot h^{-1}$，个体数量占总个体数量的 2.41%。

6、头足类的资源状况

（1）调查渔获的头足类经鉴定共有 5 种，分属 3 目 4 科。

（2）调查海区渔获头足类的平均渔获率为 2.412 $kg \cdot h^{-1}$，总渔获量为 33.767 kg，占 30.00%。头足类的平均资源密度为 108.5 $kg \cdot km^{-2}$。其中，14 站位头足类资源密度最高，为 378.0 $kg \cdot km^{-2}$，8 站位头足类资源密度最低，为 1.8 $kg \cdot km^{-2}$。大部分站位主要由火枪乌贼（*Loliolus beka*）组成。

火枪乌贼为调查海区游泳动物的第一优势种。平均渔获率为 1.297 $kg \cdot h^{-1}$，渔获重量占总渔获重量的 16.13%，渔获重量居第二位。平均个体渔获率为 35 $ind. \cdot h^{-1}$，个体数量占总个体数量的 14.83%。渔获数量居第二位。

3.1.2 海岸线资源

揭阳市港口岸线分为榕江两河岸线与沿海岸线两部分，这两部分岸线地理位置不同，榕江（榕江大桥至出海口段）岸线属于感潮河段岸线，一个是沿海岸线。本工程位于沿海岸线，以下重点介绍沿海岸线资源。

惠来沿海岸线已建港口较少，主要有神泉、靖海作业区等。本段岸线位于惠来县东南沿海，跨海门湾和甲子、石湾两个海区，北邻汕头港，西南毗邻甲子港，东南面临南海。神泉湾像一个半月形的浅海湾，由于龙江河改道入海，神泉湾没有龙江河水冲刷，现在处于严重淤积状态；靖海湾呈半耳形海湾，等深线稳定，10m、20m 等深线都离岸线较近，水上少礁盘，但地质条件比较复杂，上部覆盖第四纪海相沉积物主要由淤泥、淤泥质土、粘性土、砂性土交互层，土层变化较大，层位与土层的性质不稳定，厚薄不均，土层连续性差。下部为燕山晚期入侵花岗岩残积土，花岗岩强风化层，岩面变化较大；惠来沿海岛屿众多，暗礁和浅滩零星分布，大部分岸线比较平顺，深水岸线较长且近岸，有多处是天然的避风港，

是建港的优良海湾。沿海岸线大部分面向开敞的外海，如建港则需要建设防波堤，港寮湾及附近岸线虽有掩护，但礁石也较多，如果建港需勘察好地形，合理清礁。

本项目登陆点位于东坑仔至前詹段岸线，现状为砂质岸线，陆域密布鲍鱼养殖场，岸滩有一定的坡度，登陆点附近海域有零星的大型礁石分布，陆域有植被分布。

3.1.3 旅游资源

揭阳市旅游资源比较丰富，历史文化游、绿色生态游、滨海风情游、田园风光游、温泉度假游五大特色产品，构成了揭阳旅游的亮点。揭阳海域的海滨旅游资源包括金海滩娱乐旅游区、客鸟风景旅游区、绿洲娱乐旅游区和澳角娱乐旅游区（现名惠来海滨度假村）。揭阳市的滨海旅游区分布如图 3.1.3-1。

仙庵镇的金海湾娱乐旅游区拥有绵延 7km 的洁净细软的优良海滩，充分利用沿海荒滩，大面积营造自然生态林，建成集科研、科普、生态环境保护、高档运动娱乐、海滨度假于一体的综合型度假旅游区，海滩上建设了具国际标准的高尔夫球场。

客鸟尾石笋风景区位于靖海湾东部，距县城约 30km，因海滨形成了形态各异的石笋而成为旅游区。惠来县靖海镇石碑山岬角的海上航标灯塔初建于 1882 年，数建数毁，现在的灯塔为 1989 年建成，钢筋混凝土结构，塔高 68m，塔顶灯光视距 24.5 海里，并配有雷达应答器和无线电导航系统等设备，是中国 16 个导航台中最高者，有“亚洲第一航标塔”之称。

绿洲度假村位于揭阳市惠来县靖海镇绿洲临海沙滩林带，处海滩沙地，有森林覆盖，保持原始植被，自然绿化良好，空气清新。

澳角娱乐旅游区（现名惠来海滨度假村）位于惠来县神泉镇华家村至溪东村一带海滨，拥有长约 3000 米的海滨浴场柔沙绵绵，水清滩缓，空气清新，环境优雅，可观大海、看日出、赏明月、避酷暑，它风光旖旎、看海听浪，并具备完善的休闲服务设施，是惠来县乃至广东省内不可多得的海滨浴场。

本工程所在海域未开发形成旅游景点。

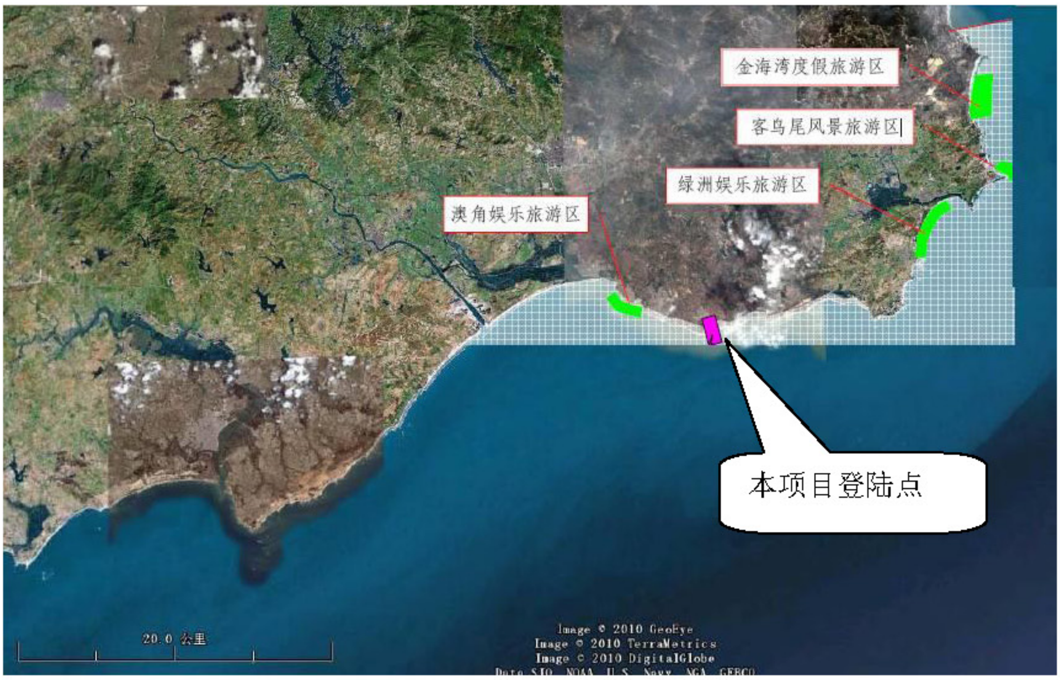


图 3.1.3-1　揭阳市的滨海旅游区分布

3.1.4 港口资源

《揭阳港总体规划（2035 年）》已经广东省交通运输厅批准，该规划明确了揭阳港的性质：揭阳港是广东沿海地区性重要港口和地区综合运输体系的重要枢纽，以发展能源、原材料和散杂货运输为主，适时拓展集装箱运输，大力促进公共港区集约发展，支撑石油化工、装备制造等大型临港产业发展。

揭阳港发展目标是：揭阳港以发展能源、原材料和通用散杂货运输为主，依托临港产业体系打造全国重要的重化工业基地，逐步发展成为大型绿色工业港。

规划揭阳港维持了“两港十区”的总体格局，即惠来沿海港区和榕江港区，惠来沿海港区包括南海、神泉、前詹、资深、靖海 5 个作业区，榕江港区包括仙桥、炮台、石头、青屿、地都 5 个作业区和光大枫口作业点，并在南河、北河等合适位置规划客运码头岸线。揭阳港力争到 2025 年揭阳港泊位通过能力基本满足 1 亿吨的运输需求，成为亿吨产业大港；到 2035 年泊位通过能力适度超前，成为超 1.5 亿吨的现代化港口。

揭阳港主要任务是：打造支撑世界级石化基地发展的泊位群。以服务大南海石化产业集群为指引，打造世界级规模化专业化泊位群。规划南海作业区到 2025

年建成生产性泊位 21 个；到 2035 年建成全部 40 个生产性泊位。规划资深作业区到 2025 年建成 2 个生产性泊位；到 2035 年建成全部 4 个生产性位。

有序推进前詹作业区和靖海作业区服务临港产业的公共码头建设。积极发展公共物流码头，集约高效利用港口资源，做大做强海洋装备和大宗散货等运输业务，为临港工业快速发展提供有力支撑。规划前詹作业区到 2025 年新建 4 个生产性泊位；到 2035 年建成全部 15 个生产性泊位。规划靖海作业区到 2025 年新建 2 个生产性泊位；到 2035 年建成全部 7 个生产性泊位。

推进榕江港区规模化集约化发展。按照政府引导、市场主导、合法有序的原则，通过城市管理、水利防洪、安全消防等要求，有序推进榕江港区老旧码头资源整合并引导和推进榕江港区 5 个作业区规模化集约化发展。

稳步拓展港口腹地，提升港口区域影响力。进一步发挥大型港口企业的品牌引领和业务网络的优势，加强揭阳港与广州港等沿海大港的联系，拓展业务范围，开拓港口腹地，稳步提升港口对周边地区的辐射力和影响力。

惠来沿海港区是揭阳港规模化、综合性港区，以油气化工品、散货、件杂货运输为主，兼顾 LNG、集装箱运输和旅游客运，包括南海、神泉、前詹、资深、靖海 5 个作业区。各作业区功能划分如下:

1.南海作业区主要为大南海石化产业服务，以油气化工品等液体散货运输为主，兼顾 LNG、件杂货、汽车滚装和集装箱运输。

2.神泉作业区主要为惠来粤东新城服务，以客运为主，兼顾件杂货、散货运输。

3.前詹作业区主要为惠来临港产业园服务，以件杂货、散货和 LNG 运输为主，兼顾油气化工品运输。

4.资深作业区主要为大南海石化产业和原油储备服务，以原油运输为主，兼顾成品油运输

5.靖海作业区主要服务临港产业，以散货运输为主，兼顾件杂货运输。

本项目海底电缆登陆点附近有前詹作业区，本项目海底电缆登陆段距离前詹作业区最近约 400 米。本项目与惠来沿海港区总体布局规划图叠图见图 3.1.4-1。

图 3.1.4-1　惠来沿海港区总体布局规划图

3.1.5 锚地和航道资源

3.1.5.1 锚地资源

根据《揭阳港总体规划（2035）》，惠来沿海港区前詹作业区粤东LNG锚地（锚地圆心坐标22°50′00.52″N；116°22′11.61″E，半径600米）维持现状，其他锚地全部取消，规划布置7个新锚地。榕江港区原有2个锚地取消，规划布置2个新锚地，新锚地具体方案如下。锚地分布见图3.1.4-1。

（1）南海作业区和神泉作业区

南海作业区与神泉作业区规划布置#1~#3锚地，总面积约3060公顷。

（2）前詹作业区和资深作业区

前詹作业区、资深作业区规划布置#4~#5锚地，其中#4锚地为2万~20万吨级普通船舶锚地，#5锚地为30万吨级危险品船锚地（包含2个15万GT LNG船舶锚位），锚地总面积约1917公顷。

（3）靖海作业区

靖海作业区规划布置#6~#7锚地，锚地面积约472公顷。

（4）榕江港区

结合榕江港区水域现状及自然条件，榕江港区规划2个锚地，分别是榕江港区1#锚地和榕江港区2#锚地，锚地面积约27.6公顷。根据锚地建设情况及水深条件，也可利用汕头湾现状锚地。

3.1.5.2 航道（路）资源

1、《揭阳港总体规划（2035）》航道

（1）南海作业区

南海作业区1#港池进港航道规划为10万吨级航道，满足10万吨级油船通航要求。航道通航宽度为293m，设计底高程为-16.1m，轴线方位角10°0'0″～190°0'0″。

南海作业区2#港池进港航道规划为10万吨级航道，满足10万吨级油船通航要求。航道通航宽度为265m，设计底高程为-16.1m，轴线方位角10°0'0″～190°0'0″。

（2）神泉作业区

神泉作业区进港航道规划为10万吨级航道，满足8万总吨客轮通航要求。航

道通航宽度为180m，设计底高程为-9.8m，轴线方位角30°0'0″～210°0'0″。

（3）前詹作业区

前詹作业区1#港池进港航道规划为15万吨级航道，满足15万总吨LNG船通航要求。航道通航宽度为345m，设计底高程为-14.7m，轴线方位角0°0'0″～180°0'0″。

前詹作业区2#港池进港航道规划为20万吨级航道，满足20万吨级散货船通航要求。航道通航宽度为242m，设计底高程为-20.2m，轴线方位角35°00'00″～215°00'00″。

（4）资深作业区

资深作业区进港航道规划为30万吨级航道，满足30万吨级油船通航要求。航道通航宽度为320m，设计底高程为-24.0m，轴线方位角65°0'0″～245°0'0″。

（5）靖海作业区

靖海作业区进港航道规划为15万吨级航道，满足15万吨级散货船通航要求。航道通航宽度为242m，设计底高程为-19.4m，轴线方位角168°0'0″～348°0'0″。

（6）榕江港区

榕江汕头礐石大桥至双溪咀39km为I级航道，现状通航5000吨级海轮航道，规划为通航10000吨级海轮航道。榕江北河1双溪咀至榕东大桥4km为I级航道，通航3000吨级海轮；榕江北河2榕东大桥至梅东大桥10km为III级航道，通航1000吨级海轮。榕江南河双溪咀至榕华大桥19km为I级航道，通航3000吨级海轮航道。

以上航道分布见图3.1.4-1。

2、中国航路指南推荐航路

（1）中、小型船舶航路

船舶从北方驶至弟岛130°、距离4.2海里处，取航向225°，航行31.8海里，经南澎列岛北侧（外籍船舶不得在南澎岛北侧航行和锚泊），驶至芹澎岛灯桩西2.4海里处；取航向241°，航行44.3海里，驶至石碑山灯塔353°、距离4.9海里处；取航向250°航行81.4海里，驶至针头岩北4.6海里处。

（2）中型船舶航路

船舶从北方驶至东碇岛灯塔321°、距离12海里处，取航向229°，航行74.4海里，驶至南澎岛灯塔312°、距离5海里处；取航向246°，航行51.3海里，驶至石碑山灯塔353°、距离4.9海里处，取航向250°，插入中、小型船舶航路。

（3）大型船舶航路

船舶从北方驶至乌丘屿 309°、距离 15.6 海里处，取航向 231°，航行 161 海里，驶至南澎岛灯塔 312°、距离 10 海里处；取航向 241°，航行 53.2 海里，驶至石碑山灯塔 353°、距离 14.9 海里处；取航向 251°，航行 82.4 海里，驶至针头岩南 4 海里处。

3、全国沿海船舶航路总体规划

广东沿海水域内航路规划方案：

①南下航路

第一航段：接石碑山南定线制，以 22°46′.4N/116°19′.8E 与 22°37′.5N/115°51′.6E 两点连线为中心线，航向 250°，航程约 27.4 海里；

第二航段：以 22°37′.5N/115°51′.6E 与 22°25′.8N/114°52′.0E 两点连线为中心线，航向 258°，航程约 56.9 海里；

第三航段：以 22°25′.8N/114°52′.0E 与 22°08′.5N/114°21′.6E 两点连线为中心线，航向 239°，航程约 33.2 海里，接担杆水道西行通航分道。

②北上航路

第一航段：接担杆水道东行通航分道，以 22°07′.5N/114°21′.6E 与 22°14′.5N/114°38′.6E 两点连线为中心线，航向 066°，航程约 17.0 海里；

第二航段：以 22°14′.5N/114°38′.6E 与 22°22′.6N/114°53′.0E 两点连线为中心线，航向 059°，航程约 15.5 海里；

第三航段：以 22°22′.6N/114°53′.0E 与 22°34′.7N/115°52′.8E 两点连线为中心线，航向 078°，航程约 57.0 海里；

第四航段：以 22°34′.7N/115°52′.8E 与 22°43′.5N/116°21′.0E 两点连线为中心线，航向 070°，航程约 27.5 海里，接石碑山南定线制。

4、粤东沿海定线制规划方案

为改善粤东海区海上交通安全形势，规划在南澎列岛和石碑山附近海域设立定线制。

石碑山南警戒圈：

以点 22°49.7′N、116°34.2′E 为圆心，半径 5 海里；

通航分道：

石碑山南警戒圈西南方：航向 070°/250°，分道宽 2 海里，分隔带宽 1 海里，长度 9 海里；石碑山南警戒圈与汕头港外警戒圈之间：航向 040°/220°，分道宽 2 海里，分隔带宽 1 海里，长度 18.5 海里。

根据《船舶定线制的一般规定》，船舶定线制是船舶交通管理系统的一个重要组成部分，它是由岸基部门用法规或推荐的形式指定船舶在海上某些区域航行时应遵循或采用的航线、航路、或通航分道，以增进船舶的航行安全。

警戒区：由一个规定界限的区域构成的一种定线措施，该区域可能有推荐的交通流方向，船舶航行时必须特别谨慎地驾驶。警戒圈，就是海事部门设立的，用于管控船舶流量较大，易发生交通事故的地方，用于警戒附近航经的船舶要注意通航安全。管控要求：分道航行，按指示航行，谨慎慢行，注意瞭望。

根据《粤东沿海定线制规划方案》，石碑山南警戒圈为分道宽 2 海里，主要用于通航分道使用，以点 23°10.4′N、116°52.9′E 为圆心，半径 3.5 海里，通航船舶在石碑山南警戒圈要分道航行，按指示航行，谨慎慢行，注意瞭望。

5、广东省航道图推荐航道

根据广东省航道局和广东省地图院合编，由广东省地图出版社于 2015 年 1 月出版发行的《广东省航道图》，本项目 220kV 海底电缆穿越海甲航道，与神泉港进港航道最近约 4.0km。

图 3.1.5-2 本项目与规划或推荐航路（道）的相对位置示意图

3.1.6 风能资源

3.1.6.1 区域风资源概况

本风电场处于揭阳市惠来县靖海镇东南面海域，海域开阔，风能资源较丰富。由于受不同天气和地形的影响，场址所在区域全年盛行风向为东北方向，春、秋冬季，也多为东北风和东北偏东风；夏季，以西南风居多。风速季节变化也较明显，从月平均风速来看，冬季风速大于夏季风速。

3.1.6.2 风能资源测量

本项目场址中心处建有一座自立式测风塔，地理坐标为：116°41' 24.47"E，22°49' 42.33"N，塔高 100m，水深约 38m。靖海测风塔现场测风从 2018 年 6 月 21

日开始，现收集到 2018 年 06 月 21 日～2020 年 06 月 30 日连续二周年的测风资料。本次二周年观测分析报告选取测风塔的 2018 年 07 月 01 日～2020 年 06 月 30 日的二周年测风资料进行统计分析。

图 3.1.6-1　海上测风塔与本工程的相对位置关系图

1) 风电场风能资源丰富

根据场址内测风塔周年资料，20m~100m 测风塔各层全年平均风速在 7.52~8.65m/s 之间，平均风功率密度在 443~620 W/m^2 之间。经长年代风资源分析并订正，水平年 100m 高平均风速为 8.72m/s，平均风功率密度为 625W/m^2。轮毂高度 140m 平均风速为 8.80m/s，平均风功率密度为 632W/m^2。根据《风电场风能资源评估方法》（GB/T18710-2002)和《海上风力发电场设计标准》（GB/T 51308-2019）风功率密度等级评判标准，本风电场风能资源属于 5 级，风能资源丰富。

2）风向较为稳定

轮毂高度处主导风向为 ENE，相应风向频率为 30.6%；主导风能风向亦为 ENE，相应频率为 44.8%。

3）风速和风能分布较为集中

轮毂高度风速主要集中在 3~13m/s 的区间中，频率约占 80%，而风能主要集中在 8~17m/s 的风速区间中，频率约占 82%。风速和风能分布均比较集中。

4）风速年内变幅较大，而日变化幅度较小

轮毂高度风速与风功率年内变化幅度较大，在年内 10 月至翌年 3 月风速相对较大，其中 11 月平均风速为全年最高，平均风速为 9.39m/s，风功率密度 1179W/m^2；4～9 月风速相对较小，其中 6 月份为全年风速最低的月份，平均风速为 6.18m/s，风功率密度 194W/m^2。

轮毂高度风速日内变化较小，变化范围为 8.44~9.08m/s 之间；平均风功率密度日内变化小，变化范围为 548~686W/m^2。一日中 02~07、18~21 时风速相对较大，08~16、21~23 时风速相对较小；风功率密度与风速的变化规律基本一致。

5) 湍流强度和风切变指数均较小

各测风高度风速 V=15.0m/s 时湍流强度在 0.057～0.078 之间。湍流强度随高度的增加而减小，随着风速增大而呈现减少的趋势，测风塔综合切变指数为 0.08。

6）重现期风速

风电场轮毂 140m 高度处 50 年一遇 10min 平均风速为 54.5m/s，50 年一遇 3s 极大风速为 73.6m/s。

3.1.7 海岛（礁）资源

本项目风电场区域和离岸段均无海岛（礁），在登陆点附近海域有五个岛（礁），分别是大堆尾、南心仔、山礁、山礁外岛和山礁内岛，均属于无居民海岛，与本项目的相对位置如下图所示。

图 3.1.7-1 本项目附近海岛位置示意图

大堆尾：海岛地理坐标为北纬 22°55′54.6″，东经 116°23′21″，为基岩岛，保有自然岸线长度为 217.2m。

南心仔：海岛地理坐标为北纬 22°55′54.7″，东经 116°23′20.9″，为基岩岛，保有自然岸线长度为 49m。

山礁：海岛地理坐标为北纬 22°55′58.6″，东经 116°24′16.3″，为基岩岛，保有自然岸线长度为 52.9m。

山礁外岛：海岛地理坐标为北纬 22°56′3.4″，东经 116°24′14.6″，为基岩岛，保有自然岸线长度为 26.5m。

山礁内岛：海岛地理坐标为北纬 22°55′59.8″，东经 116°24′14.8″，为基岩岛，保有自然岸线长度为 22.5m。

3.2 海洋生态概况

3.2.1 区域气候与气象

本项目场址所在区域地处亚热带气候区，海洋性气候明显，夏无酷热，冬无严寒，气候温和，阳光充足，雨量充沛。

由于受不同天气和地形的影响，场址所在区域全年盛行风向为东北方向，春、秋冬季，也多为东北风和东北偏东风；夏季，以西南风居多。风速季节变化也较

明显，从月平均风速来看，冬季风速大于夏季风速。本风电场处于揭阳市惠来县靖海镇东南海域，海域开阔，风能资源较丰富。

本工程场址范围内无长期气象站，场址西北约 45km 有惠来气象站，场址东北约 75km 有南澳气象站。

由于惠来气象站位于内陆区域，与风电场场址下垫面不同，不能完全代表本海上风电场的气象条件。考虑到南澳气象站在地理及气候条件上更接近场址现状，对场址的气象条件代表性较好。本阶段场址气象要素特征值参考南澳站的资料。

根据南澳县气象站多年观测气象资料统计，年平均气温 21.8°C，平均气温最高月份 7 月和 8 月 27.7°C，平均最低月份 1 月 14.4°C，极端最高气温 37.8°C（2004 年 7 月 2 日），极端最低气温 2.5°C（1999 年 12 月 24 日）。平均雨量为 1417.1mm，雨季始于 3 月下旬，终于 10 月上旬。年平均日照时数 2135.7 小时，平均雾 11.4 天，岛上≥≥级大风日数 73.5 天，5～8 月盛行西南风，9 月至翌年 4 月盛行东北风。7～10 月为热带气旋影响盛行，平均每年对南澳有影响的约 5～6 个。

1）气温

南澳各地平均气温在 20～22°C之间，县城区、滨海、洼地略高。山区略低。全年变化趋势：2 月上旬最低，2 月中旬至 3 月下旬缓慢回升，4 月上旬明显上升，至 4 月下旬走 22°C以上。7 月中旬气温为 27.6°C，8 月中旬气温最高为 27.7°C。9 月下旬逐渐下降，至 11 月上旬降至 22°C以下。一般年份气温最高值为 33～35°C，最低值为 4～6°C。

表 3.2.1-1 南澳气象站气温要素表（单位：°C）

项目 \ 月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
南澳	平均	14.4	14.8	16.9	20.6	24.2	26.6	27.7	27.7	27	24.4	20.6	16.4	21.8
	极端最高	26.4	28.2	27.7	30.2	32.9	35.3	37.8	35.4	35.3	33.4	30.6	27.8	37.8
	极端最低	3.4	5.5	4.4	8.1	14.3	16.9	21.9	22	18	12.9	6.9	2.5	2.5

2）气压

南澳县年平均气压为 1012.7 hPa，年际变化不大，最高年为 1013.6hPa，最低年为 1011.8 hPa，年内 12 月最高 1020.1 hPa，逐月降至 8 月，为 1004.8hPa 后又回升。日极值为 1032.8hPa（2005 年 3 月 5 日），最低 959.2hPa（2006 年 5 月 18 日）。

表 3.2.1-2 南澳气象站各月气压表（单位：hPa）

项目＼月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
平均	1020.0	1018.4	1016.0	1012.8	1009.1	1006	1005.5	1004.8	1008.5	1013.7	1017.3	1020.1	1012.7
最高	1032.1	1031.3	1032.8	1028.1	1019.8	1014	1015.2	1014.5	1018	1024.1	1032.6	1032.1	1032.8
最低	1006.2	1004.3	1002.7	1000.5	959.2	986.1	961.1	983.6	990	986.9	1002	1005.8	959.2

3）降水

南澳因受大气环流的变化和地形等因素的影响，各地的雨量略有差异。南澳县各地平均降水量在 1300～1500mm 之间，因地域小，差异不大，分布状况：滨海地区的青澳，深澳，长山尾略多于后宅县城，云澳略少于后宅县城。主岛略多于南澎列岛，全县平均雨量 1448.2mm，云澳 1400mm 左右，青澳，深澳，长山尾，1500mm 左右，南澎列岛 1300mm 左右。

南澳县一年四季干湿分明，降水主要集中于 4～9 月，雨量 1134.4 毫米，占全年 78%，10 月～次年 3 月，雨量 313.8 毫米，占全年 22%。南澳县各地月雨量分布基本呈单峰型 2～7 月逐月增多，6 月达到高峰 247.8mm，最多达到 722.9mm，8 月～翌年 1 月逐步减少，1 月最少为 24.3mm。

南澳雨量变化很大，最多年雨量 2502.5mm（1990 年），最少 874.1mm（2009 年）。1 日最大降水量为 336.1mm（1990 年 6 月 30 日）。

表 3.2.1-3 南澳气象站各月降水表（mm）

项目＼月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
平均	24.3	60.1	91.7	133.2	171.3	247.8	174.1	255.3	153.5	40.7	34.6	30.5	1417.1
最多	68.6	287.1	375.8	362.6	543.1	722.9	426.3	773.3	392.2	396.3	185.3	112.1	2502.5
年份	1983	1998	1983	1990	2006	1990	1995	1995	2010	1998	1986	1997	1990
最少	0	0.2	8.8	5.2	7.6	20.3	8.3	16.9	4	0	0	0	874.1
年份	2009	1999	2008	2002	2009	2002	2007	2010	1995	1992	2 年	2003	2009

4）雷暴

南澳县雷暴每年平均有 48.4d，最多 73d（1973 年），最少 22d（1995 年）。雷暴每月都可出现，最多为 3～9 月，11 月至次年 1 月极少出现。

表 3.2.1-4 南澳气象站各月雷暴日数（d）

项目＼月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
雷暴日数	0.1	0.8	3.1	5.1	7.6	8.5	7.9	9.1	5.3	0.8	0.1	0.2	48.4

5）湿度

南澳县年各月平均绝对湿度（水气压）的变化呈单峰型、夏天大于冬天，最

大值出现在 7 月，最小值出现在 1 月。

南澳县年均相对湿度 78%，年平均相对湿度，以 6 月最大 87%。11~12 月最小为 70%。4～8 月均大于 80%，日极值是：最小为 11%。（1959 年 3 月 27 日），最大为 100%。

表 3.2.1-5　南澳气象站各月相对湿度(%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
平均	72	76	78	80	84	87	86	85	79	71	70	70	78
最小	14	13	11	14	21	25	39	32	26	14	20	17	11

6）雾

南澳年平均雾日 12.3d。最多 24d（1973 年）。最少 2d（1963 年），除 9～10 月外，其余月份均可出现，多集中于 2～5 月。300m 以上山地，春季和初夏常为低云雾笼罩，终日不散，几米处看不见人。海面每年雾日为 25d。

表 3.2.1-6　南澳气象站各月雾日数（d）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
雾日	0.7	1.6	3.3	3.1	1.8	0.5	0.3	0.4	0	0	0	0.5	12.3

3.2.2 水文动力

3.2.2.1 潮汐及水位

1、基面换算关系

根据本工程周年潮位观测资料计算调和常数，按我国长期沿用的弗拉基米尔法推算。图 3.2.2-1 给出了平均海面、理论深度基准面和 1985 国家高程之间的基面转换关系。平均海面为 0.56m，最高天文潮位为 152cm，最低天文潮位为-53cm。除特殊说明外，本小节一律采用 1985 国家高程系。

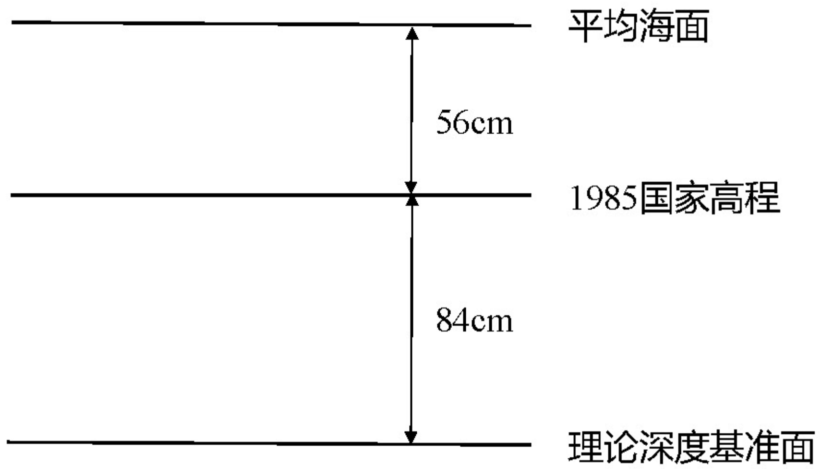


图 3.2.2-1 基面换算关系

2、潮型

风电场处无长期水文观测站，场址北侧约 40km 有海门潮位站，以及东北侧约 70km 有云澳海洋站，具体站点位置见图 3.2.2-2，两站均为长期站，其中云澳海洋站观测项目有潮位、表层水温、盐度等。除特殊说明外，本小节一律采用 1985 国家高程系。

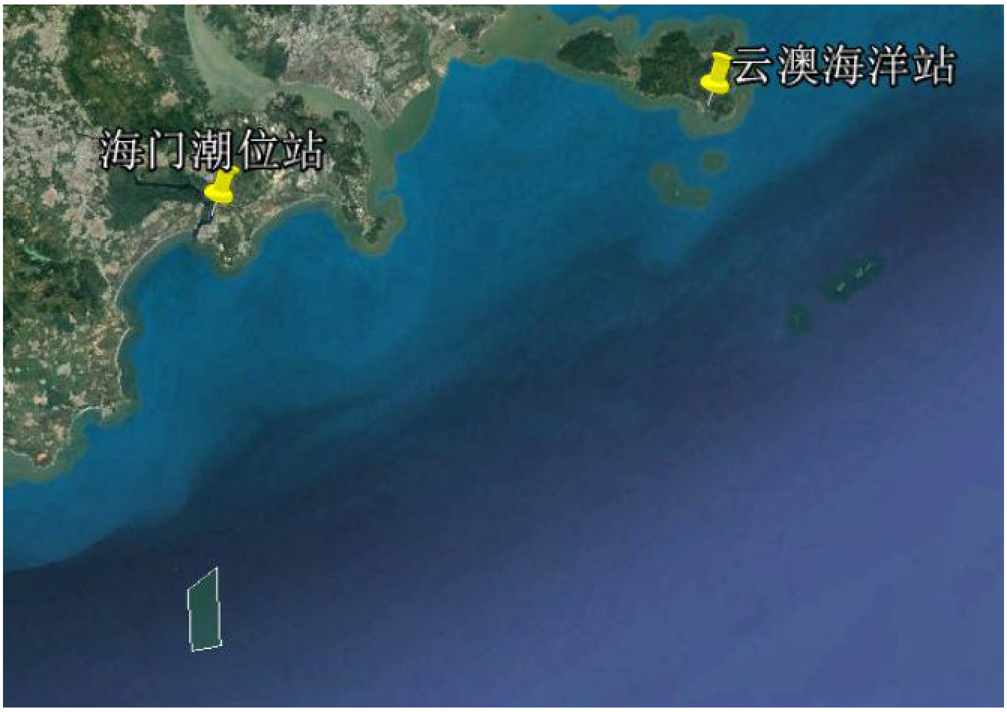


图3.2.2-2 场址与潮位站相对位置图

以海门潮位站（116°37′E，23°11′N）为参证站进行潮汐分析，海门站所处位置属于不正规半日潮型，由 1955～2016 年的实测潮位资料统计分析，得特征值如下：

实测最高潮位：	3.44 m
实测最低潮位：	-0.98 m
多年平均高潮位：	0.93 m
多年平均低潮位：	0.14 m
多年平均潮位：	0.50 m
实测最大潮差：	2.68 m
实测最小潮差：	0.01 m
多年平均潮差：	0.79 m

多年平均涨潮历时：　　　　　　　6h 48min

多年平均落潮历时：　　　　　　　5h 55min

3、特征潮位及设计水位

从工程安全角度考虑，设计潮位值采用如下结果，待相关专题结束后再对成果进行复核：

百年一遇高潮位：　　　　　　3.71m

百年一遇低潮位：　　　　　　-1.01m

五十年一遇高潮位：　　　　　3.37 m

五十年一遇极端低潮位：　　　-0.99 m

设计高潮位：　　　　　　　　1.46m

设计低潮位：　　　　　　　　-0.19m

3.2.2.2 海流

实测海流资料引用自《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目冬季全潮水文观测报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 4 月）和《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目夏季全潮水文观测报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 9 月）。

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司于 2017 年 12 月 7 日 7 时至 2017 年 12 月 8 日 8 时（大潮期）、2017 年 12 月 9 日 17 时至 2017 年 12 月 10 日 18 时（中潮期）、2018 年 3 月 7 日 13 时至 2018 年 3 月 8 日 14 时（小潮期），在项目所在海域进行枯水期水文全潮观测。中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司于 2018 年 6 月 29 日 10 时至 2018 年 6 月 30 日 11 时（大潮期）、2018 年 7 月 2 日 10 时至 2018 年 7 月 3 日 11 时（中潮期）、2018 年 7 月 6 日 10 时至 2018 年 7 月 7 日 11 时（小潮期），在项目所在海域进行丰水期水文全潮观测。

布设周日连续观测站 8 个，编号为 S1～S8，分别在各测站进行海流、水温、盐度、悬沙含量等项目连续观测。同时，在全潮观测期间，在划定海区内布设潮位观测站 3 个，编号为 T1～T3。

站位布设示意图见图 3.2.2-3，各站经纬度见表 3.2.2-1。

图 3.2.2-3 水文调查站位示意图

表 3.2.2-1 水文调查站位坐标

潮位：潮位基准面统一采用“1985 国家高程基准”，验潮站工作水准点高程采用按四等水准测量精度进行高程联测。

潮位观测采用 WLR7 型安德拉水位计进行测量记录。潮位仪器每间隔 10 分钟采集一次观测数据，每次观测数据为 24s 连续采样的平均值，潮位记录至 0.01m。

流速、流向：流速、流向使用安德拉 RCM-11 型海流计进行测量。流速、流向每个小时进行一次观测，观测层次按测点水深进行计算，测点水深≥5m 时采用六点法（即表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底层），测点水深＜5m 时采用三点法（即表层、0.6H、底层）。表层为水面下 0.5m，底层为海底上 0.5m。测船定位采用 GPS 于测验前按设计船位引航就位，定位误差小于（5＋1.5H）m，H 为测流点水深（m）。各个测站同步进行单船定点周日连续观测，观测时间 26 小时以上。

海洋气象：选取场址东北的惠来气象站的资料进行风速、风向等气象要素分析。

盐度、温度：盐度、温度观测使用安德拉海流计，与测流同步进行测量，按“六点法”（或按“三点法”）计算水深，摘取“六点法”（或按“三点法”）分层数据。盐度和水温观测资料以报表形式提供。

3.2.2.2.1 枯水期实测海流情况

1、流速、流向统计分析

将各个测站的垂线平均流速以落潮为正、涨潮为负绘制潮位及垂线平均流速流向过程线图。相关潮位采用就近代表性原则匹配，所有测站采均采用 T2 站潮位。

（1）潮流历时

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

（2）潮段平均流向

根据各站涨、落潮潮段垂线平均流向计算结果（表 3.2.2-2，图 3.2.2-4～图 3.2.2-6），各测站涨潮流向为 33°~109°之间，落潮流向为 193°~258°之间。

表 3.2.2-2 观测海域涨、落潮垂线平均流向统计表 （°）

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1	41	42	37	40	208	196	228	211
S2	85	47	33	55	202	233	236	224
S3	62	60	49	57	196	220	258	225
S4	96	56	79	77	193	247	250	230
S5	99	50	51	67	219	230	239	229
S6	79	42	72	64	221	220	254	232
S7	78	43	85	69	232	197	239	223
S8	92	96	109	99	247	204	257	236
平均	117	96	64	93	169	151	245	189

图 3.2.2-4　大潮垂线平均流速矢量图

图 3.2.2-5　中潮垂线平均流速矢量图

图 3.2.2-6　小潮垂线平均流速矢量图

（3）潮段平均流速

对测验期内各个测站的垂线平均流速进行统计，按涨潮段、落潮段分别求矢量平均值得到各测站不同潮段垂线平均流速（见表 3.2.2-3）。

1）水文测验期间，实测涨、落潮段平均流速分别为 0.26 m/s 和 0.24 m/s。其中，大潮期间落潮平均流速 0.30 m/s，大于涨潮平均流速 0.24 m/s；中潮期间落潮平均流速 0.19 m/s，小于涨潮平均流速 0.34 m/s；小潮期间落潮平均流速 0.23 m/s，小于涨潮平均流速 0.26 m/s。

2）涨潮段平均流速最大值发生在中潮 S4 测站，为 0.42 m/s，最小值在大潮 S8 测站，为 0.17 m/s；落潮段平均流速最大值发生在大潮 S4 测站，为 0.32 m/s，最小值在中潮 S8 测站，为 0.14 m/s。

表 3.2.2-3 各测站潮段平均流速统计表　　（m/s）

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1	0.29	0.32	0.19	0.27	0.24	0.24	0.29	0.26
S2	0.31	0.35	0.23	0.30	0.3	0.17	0.23	0.23
S3	0.3	0.31	0.22	0.28	0.31	0.18	0.23	0.24
S4	0.34	0.42	0.2	0.32	0.32	0.24	0.19	0.25
S5	0.27	0.3	0.19	0.25	0.29	0.15	0.21	0.22
S6	0.23	0.32	0.2	0.25	0.3	0.18	0.23	0.24
S7	0.27	0.32	0.18	0.26	0.21	0.21	0.24	0.22
S8	0.24	0.2	0.17	0.20	0.21	0.14	0.23	0.19
平均	0.24	0.34	0.20	0.26	0.30	0.19	0.23	0.24

（4）垂线平均最大流速

对本期测验各测站的垂线平均最大流速进行统计（见表 3.2.2-4）。总体来看，水文测验期间，垂线平均最大流速涨潮段出现在中潮 S4 测站，为 0.70 m/s，流向为 63°；落潮段垂线平均最大流速出现在中潮 S1 测站，为 0.58 m/s，流向 221°。

表 3.2.2-4　各测站涨落潮段垂线平均最大流速统计表

站号	潮段	大潮		中潮		小潮	
		流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）
S1	涨潮	0.45	44	0.58	32	0.39	49
	落潮	0.46	206	0.49	202	0.58	221
S2	涨潮	0.46	34	0.59	45	0.56	4
	落潮	0.52	18	0.38	227	0.41	223
S3	涨潮	0.46	39	0.49	57	0.37	346
	落潮	0.52	18	0.39	219	0.38	221
S4	涨潮	0.50	43	0.70	63	0.37	35
	落潮	0.49	39	0.47	241	0.37	223
S5	涨潮	0.39	61	0.47	45	0.28	46
	落潮	0.40	221	0.35	236	0.38	228
S6	涨潮	0.37	26	0.54	36	0.45	346
	落潮	0.47	216	0.35	233	0.36	223
S7	涨潮	0.38	28	0.52	40	0.35	28
	落潮	0.38	223	0.39	234	0.38	231
S8	涨潮	0.43	89	0.34	324	0.30	89
	落潮	0.41	259	0.32	270	0.37	257

（5）最大流速特征值

统计各测站涨、落潮最大流速特征值，水文测验期间，大潮实测最大流速为 0.76 m/s，流向为 111°，出现在 S4 涨潮段的表层；中潮实测最大流速为 0.82 m/s，流向为 78°，出现在 S4 涨潮段的 0.2H；小潮实测最大流速为 0.65 m/s，流向为 157°，出现在 S5 测站涨潮段的表层。

2、潮流调和分析

近岸带实测的海流包括由天体引力所产生的潮流以及主要由水文，气象条件所造成的非潮流（也称余流）两部份。潮流是海水受日、月等天体引潮力作用后产生的周期性水平流动。潮流分析的目的是根据海流周日观测资料，分离潮流和非潮流，同时算得潮流调和常数，进而计算其潮流特征值，并判断海区的潮流性质。

（1）潮流椭圆要素

各主要分潮流基本以 M_2 半日分潮流为主，其次是 K_1 和 O_1 日分潮流， S_2 半日分潮流、MS_4 复合潮和 M_4 四分之一分潮较小。

（2）潮流类型

海区的潮流类型取决于半日潮流成分和全日潮流成分的相对比重，即主要分潮流的振幅比，如半日潮流占绝对主导地位即为正规半日潮流，反之如全日潮占绝对主导即为正规全日潮流，其判别式如下：

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

式中的 W_{O_1}、W_{K_1}、W_{M_2} 分别为主太阴日分潮流、太阴太阳赤纬日分潮流和主太阴半日分潮流的椭圆长半轴长度（cm/s）。

当 F≤0.5 时为规则半日潮流

当 0.5＜F≤2.0 时为不规则半日潮流

当 2.0＜F≤4.0 时为不规则全日潮流

当 4.0＞F 时为规则全日潮流

计算结果见表 3.2.2-5，各站垂线平均的 F 值在 0.56~2.10 之间，平均为 0.97。由表可知，除 S8 站表层以不规则全日潮流为主外，其余各站潮流类型以不规则半日潮流为主。

表 3.2.2-5　各站各层示性系数 F 值统计表

层次	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
表层	0.95	0.75	1.08	1.73	0.80	1.54	1.04	2.10
0.2H	0.74	0.77	0.80	1.39	0.78	1.68	0.67	1.24
0.4H	0.85	0.56	0.75	1.28	0.65	1.49	0.73	1.26
0.6H	0.90	0.73	0.74	1.02	0.71	1.22	0.80	1.00
0.8H	0.83	0.83	0.95	1.05	0.72	0.90	0.74	0.89
底层	0.92	0.68	1.03	0.94	0.79	0.90	1.08	0.69
垂线平均	0.87	0.69	0.77	1.07	0.71	1.19	0.78	1.11

3、潮流的可能最大流速

根据《海港水文规范》，对于规则半日潮流海域，潮流的可能最大流速可由下式计算：

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

根据《海港水文规范》，对于不规则全日潮流海域和不规则半日潮流海域，潮流的可能最大流速可取下两式计算后的最大值：

$$\vec{V}_{\max} = \vec{W}_{M_2} + \vec{W}_{S_2} + 1.600\vec{W}_{K_1} + 1.450\vec{W}_{O_1}$$
$$\vec{V}_{\max} = 1.295\vec{W}_{M_2} + 1.245\vec{W}_{S_2} + \vec{W}_{K_1} + \vec{W}_{O_1} + \vec{W}_{M_4} + \vec{W}_{MS_4}$$

计算结果见表 3.2.2-6。

潮流的可能最大流速以 S3 测站的 0.2H 层为最大，达 1.24 m/s。各测站各层潮流的可能最大流速介于 0.35 m/s～1.24 m/s 之间。

表 3.2.2-6　各测站潮流可能最大流速表

站点＼层次		表层	0.20H	0.40H	0.60H	0.80H	底层	垂线平均
S1	流速（m/s）	0.89	1.01	0.93	1.14	1.07	1.04	1.04
	流向（°）	39.00	46.80	46.00	42.00	43.40	40.30	39.10
S2	流速（m/s）	1.03	0.86	1.02	0.95	0.93	0.85	0.87
	流向（°）	50.50	52.50	53.90	42.50	51.40	44.10	44.10
S3	流速（m/s）	0.82	1.24	1.11	0.84	1.10	0.96	1.04
	流向（°）	62.40	42.10	49.90	37.40	41.30	36.50	39.10
S4	流速（m/s）	0.77	0.97	0.89	0.90	0.85	0.61	0.80
	流向（°）	115.50	51.10	47.80	54.90	55.70	59.00	51.10
S5	流速（m/s）	0.54	0.90	0.92	0.74	0.70	0.62	0.85
	流向（°）	51.90	55.00	42.00	50.40	39.40	46.20	37.80
S6	流速（m/s）	0.65	0.83	0.95	0.78	0.72	0.65	0.75
	流向（°）	53.70	43.90	43.70	45.10	44.40	31.70	41.20
S7	流速（m/s）	0.84	0.94	1.00	1.03	0.95	0.54	0.81
	流向（°）	49.80	35.60	35.50	40.10	32.20	39.70	37.70
S8	流速（m/s）	0.60	0.77	0.74	0.83	0.86	0.94	0.72
	流向（°）	95.10	90.40	82.90	79.70	65.50	68.20	71.50

4、潮流的运动形式

潮流的运动形式由潮流的椭圆旋转率 K 值来描述，K 值为潮流椭圆的短轴和长轴之比。当 K 大于 0.25 时，潮流表现出较强的旋转性，即旋转流；当 K 小于 0.25 时，潮流表现为往复流。根据前述的分析，由于施测海域潮流类型主要属于不规则半日潮流性质，且半日分潮流中，M2 分潮最具有代表性，因此我们根据 M2 分潮流的椭圆旋转率 K 值来分析施测海域潮流的运动形式。根据表 3.2.2-7 所列的 M2 分潮的 K 值可以看出：大部分测站 K 均小于 0.25，表现为往复潮流性质，水深较大的 S6 和 S7 站表现出较强的旋转性。

表 3.2.2-7　各测站 M2 分潮的 K 值

站位	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
底层	0.09	0.01	0.00	0.16	0.16	0.29	0.23	0.49
0.8H	0.14	0.31	0.32	0.04	0.05	0.11	0.26	0.20
0.6H	0.15	0.00	0.11	0.02	0.06	0.22	0.04	0.09

0.4H	0.04	0.19	0.14	0.26	0.24	0.27	0.41	0.08
0.2H	0.02	0.21	0.12	0.02	0.07	0.18	0.52	0.10
表层	0.10	0.20	0.09	0.09	0.03	0.19	0.13	0.05
垂线平均	0.01	0.14	0.02	0.10	0.09	0.19	0.09	0.01

5、余流

（1）余流一般指实测海流扣除周期性潮流后所剩留部分，从计算结果来看（见表 3.2.2-8），季节因素和潮型对余流影响较大。垂线平均各潮次观测海域余流速度大潮平均为 0.08 m/s，中潮平均为 0.12 m/s，小潮平均为 0.06 m/s。

（2）观测海区余流流速，大潮以 S4 测站 0.8H 层为最大，为 0.19 m/s。中潮以 S4 测站 0.4H 层最大，为 0.22 m/s。小潮以 S7 测站表层最大，为 0.22 m/s。

表 3.2.2-8　　观测海域各测站余流统计表

站号	层次	大潮		中潮		小潮	
		流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）
S1	底层	0.07	10.43	0.12	16.50	0.06	242.26
	0.8H	0.08	35.26	0.13	39.47	0.07	251.52
	0.6H	0.09	60.29	0.14	58.38	0.07	239.19
	0.4H	0.09	94.04	0.13	71.40	0.09	231.93
	0.2H	0.06	104.31	0.12	72.89	0.11	234.09
	表层	0.10	212.42	0.01	224.86	0.16	208.14
	垂线平均	0.04	87.49	0.09	58.88	0.08	233.95
S2	底层	0.14	4.43	0.09	53.18	0.05	303.53
	0.8H	0.15	25.23	0.14	35.42	0.05	327.29
	0.6H	0.14	41.42	0.14	37.43	0.03	327.02
	0.4H	0.13	26.71	0.15	47.15	0.02	292.85
	0.2H	0.11	29.33	0.14	36.32	0.04	296.02
	表层	0.08	217.34	0.13	51.31	0.06	221.09
	垂线平均	0.12	26.15	0.13	43.74	0.04	299.52
S3	底层	0.12	3.77	0.11	52.55	0.09	355.59
	0.8H	0.13	22.35	0.12	55.62	0.09	4.85
	0.6H	0.11	48.15	0.15	76.38	0.05	351.41
	0.4H	0.11	28.32	0.14	77.59	0.08	5.89
	0.2H	0.10	19.43	0.12	80.44	0.08	351.07
	表层	0.07	220.87	0.08	95.02	0.05	265.93
	垂线平均	0.11	28.57	0.11	74.67	0.07	350.74
S4	底层	0.14	30.23	0.19	46.36	0.06	337.38
	0.8H	0.19	46.44	0.21	50.00	0.07	350.77
	0.6H	0.13	66.36	0.21	58.91	0.04	341.78

站号	层次	大潮		中潮		小潮	
		流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）
	0.4H	0.10	71.26	0.22	60.35	0.05	351.39
	0.2H	0.03	55.34	0.20	68.79	0.05	334.36
	表层	0.02	166.66	0.05	95.07	0.05	242.03
	垂线平均	0.11	51.94	0.19	58.03	0.05	333.13
S5	底层	0.04	27.06	0.09	47.39	0.04	345.56
	0.8H	0.04	18.36	0.14	37.71	0.06	341.44
	0.6H	0.03	34.30	0.15	36.87	0.03	334.08
	0.4H	0.04	29.93	0.14	41.33	0.04	276.75
	0.2H	0.03	32.19	0.11	47.40	0.05	245.73
	表层	0.11	210.63	0.08	92.00	0.14	205.09
	垂线平均	0.03	29.39	0.11	45.47	0.03	278.82
S6	底层	0.05	39.14	0.12	30.95	0.06	271.12
	0.8H	0.07	38.74	0.14	24.89	0.03	268.56
	0.6H	0.04	22.34	0.12	33.99	0.04	1.90
	0.4H	0.06	199.42	0.13	42.68	0.08	332.88
	0.2H	0.10	242.43	0.12	35.64	0.10	330.06
	表层	0.15	204.43	0.04	56.23	0.09	295.44
	垂线平均	0.02	237.29	0.11	38.17	0.06	317.19
S7	底层	0.07	24.44	0.07	39.84	0.06	322.85
	0.8H	0.11	2.23	0.15	34.89	0.02	301.95
	0.6H	0.05	34.74	0.17	44.04	0.04	227.77
	0.4H	0.08	12.36	0.16	41.76	0.06	220.82
	0.2H	0.06	6.42	0.14	44.37	0.10	217.51
	表层	0.06	225.54	0.07	61.52	0.22	34.55
	垂线平均	0.07	5.29	0.12	40.42	0.06	297.98
S8	底层	0.08	105.43	0.03	240.95	0.01	166.63
	0.8H	0.07	100.91	0.03	66.85	0.04	158.70
	0.6H	0.07	100.10	0.05	52.75	0.04	210.93
	0.4H	0.06	113.98	0.05	53.29	0.05	246.94
	0.2H	0.05	113.67	0.05	75.15	0.07	251.43
	表层	0.08	219.62	0.02	332.91	0.10	236.85
	垂线平均	0.07	115.31	0.04	61.73	0.04	228.33

根据各测站的实测数据计算三个潮次各测站六层的余流，并将各测站垂向平均余流及各层余流绘制成图3.2.2-7至图3.2.2-12。除个别近岸站外，大、中、小潮期流速大小差别不大，中潮期受海面风力较大影响，余流流速略大。大潮和中潮期观测期间风力较弱无持续稳定风向，风海流对海域余流影响较小，因此施测海域余流以潮汐余流为主。小潮期观测海域海面东北风风力较大，所测余流中尤其

是上层的水体余流主要成分是风生海流。但总体来说，观测海域的余流速度相对较小，基本在 0.15 m/s 以下。

图 3.2.2-7　大潮各层余流矢量图

图 3.2.2-8　中潮各层余流矢量图

图 3.2.2-9　小潮各层余流矢量图

图 3.2.2-10　大潮垂线平均余流矢量图

图 3.2.2-11　中潮垂线平均余流矢量图

图 3.2.2-12　小潮垂线平均余流矢量图

3.2.2.2.2 丰水期实测海流情况

1、流速、流向统计分析

将各个测站的垂线平均流速以落潮为正、涨潮为负绘制潮位及垂线平均流速流向过程线图。相关潮位采用就近代表性原则匹配，所有测站采均采用 T2 站潮位。

（1）潮流历时

受月赤纬变化和地形等因素的影响，不同水域的涨、落潮历时不同。观测期间，根据实测资料统计，大、中和小潮期实测海域落、涨潮流平均历时分别为 17h 和 9h。

（2）潮段平均流向

根据各站涨、落潮潮段垂线平均流向计算结果（表 3.2.2-9，图 3.2.2-13～图 3.2.2-15），各测站涨潮流向为 38°~99°之间，落潮流向为 190°~271°之间。

表 3.2.2-9　观测海域涨、落潮垂线平均流向统计表　（°）

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1	59	38	38	45	223	237	227	229
S2	40	99	70	70	230	230	217	226
S3	64	45	45	51	223	219	202	215
S4	57	53	56	55	229	252	224	235
S5	82	66	57	68	220	231	214	222
S6	70	52	54	59	190	217	196	201
S7	49	47	53	50	240	241	206	229
S8	75	78	90	81	271	268	234	258
平均	62	60	58	60	228	237	215	227

图 3.2.2-13　大潮垂线平均流速矢量图

图 3.2.2-14　中潮垂线平均流速矢量图

图 3.2.2-15　小潮垂线平均流速矢量图

（3）潮段平均流速

对测验期内各个测站的垂线平均流速进行统计，按涨潮段、落潮段分别求矢量平均值得到各测站不同潮段垂线平均流速（见表 3.2.2-10）。

①水文测验期间，实测涨、落潮段平均流速分别为 0.29 m/s 和 0.21 m/s，且三个潮次均表现为涨潮平均流速大于落潮平均流速。其中，大潮期间涨、落潮平均流速分别为 0.35 m/s 和 0.25 m/s，中潮期间涨、落潮平均流速分别为 0.26 m/s 和 0.22 m/s，小潮期间涨、落潮平均流速分别为 0.28 m/s 和 0.15 m/s。

②涨潮段平均流速最大值发生在大潮 S4 测站，为 0.44 m/s，最小值在中潮 S2 测站，为 0.20 m/s；落潮段平均流速最大值发生在大潮 S4 测站，为 0.30 m/s，最小值在小潮 S8 测站，为 0.13 m/s。

表 3.2.2-10 各测站潮段平均流速统计表　　（m/s）

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1	0.39	0.29	0.31	0.33	0.26	0.23	0.15	0.22
S2	0.31	0.20	0.27	0.26	0.23	0.20	0.16	0.20
S3	0.35	0.26	0.28	0.30	0.27	0.22	0.15	0.21
S4	0.44	0.29	0.30	0.34	0.30	0.23	0.17	0.23
S5	0.31	0.26	0.28	0.28	0.22	0.26	0.15	0.21
S6	0.35	0.27	0.27	0.30	0.28	0.21	0.15	0.21
S7	0.38	0.28	0.29	0.32	0.22	0.21	0.15	0.19
S8	0.25	0.21	0.23	0.23	0.21	0.18	0.13	0.17
平均	0.35	0.26	0.28	0.29	0.25	0.22	0.15	0.21

（4）垂线平均最大流速

对本期测验各测站的垂线平均最大流速进行统计（见表3.2.2-11）。总体来看，水文测验期间，垂线平均最大流速涨潮段出现在大潮S4测站，为0.62 m/s，流向为57°；落潮段垂线平均最大流速出现在中潮S5测站，为0.76 m/s，流向222°。

表3.2.2-11　各测站涨落潮段垂线平均最大流速统计表

站号	潮段	大潮		中潮		小潮	
		流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）
S1	涨潮	0.60	42	0.44	40	0.49	38
	落潮	0.57	42	0.39	44	0.40	39
S2	涨潮	0.46	310	0.38	32	0.40	48
	落潮	0.50	286	0.33	219	0.33	54
S3	涨潮	0.55	39	0.41	47	0.46	44
	落潮	0.60	49	0.39	50	0.33	60
S4	涨潮	0.62	57	0.42	55	0.49	56
	落潮	0.68	63	0.41	58	0.41	64
S5	涨潮	0.51	45	0.38	53	0.43	63
	落潮	0.54	61	0.76	222	0.35	65
S6	涨潮	0.58	46	0.41	49	0.42	47
	落潮	0.64	72	0.40	62	0.35	60
S7	涨潮	0.56	41	0.42	40	0.44	48
	落潮	0.56	51	0.40	47	0.34	57
S8	涨潮	0.37	70	0.29	71	0.36	84
	落潮	0.38	80	0.29	83	0.33	88

（5）最大流速特征值

统计各测站涨、落潮最大流速特征值，水文测验期间，大潮实测最大流速为0.87 m/s，流向为70°和75°，分别出现在S6涨潮段和落潮段的表层；中潮实测最大流速为0.88 m/s，流向为223°，出现在S5落潮段的底层；小潮实测最大流速为0.56 m/s，流向为67°，出现在S2测站涨潮段的表层。

2、潮流调和分析

近岸带实测的海流包括由天体引力所产生的潮流以及主要由水文，气象条件所造成的非潮流（也称余流）两部份。潮流是海水受日、月等天体引潮力作用后产生的周期性水平流动。潮流分析的目的是根据海流周日观测资料，分离潮流和非潮流，同时算得潮流调和常数，进而计算其潮流特征值，并判断海区的潮流性质。

（1）潮流椭圆要素

各主要分潮流基本以M_2半日分潮流为主，其次是K_1和O_1日分潮流，S_2半日分潮流、MS_4复合潮和M_4四分之一分潮较小。

（2）潮流类型

海区的潮流类型取决于半日潮流成分和全日潮流成分的相对比重，即主要分潮流的振幅比，如半日潮流占绝对主导地位即为正规半日潮流，反之如全日潮占绝对主导即为正规全日潮流，其判别式如下：

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

式中的W_{O_1}、W_{K_1}、W_{M_2}分别为主太阴日分潮流、太阴太阳赤纬日分潮流和主太阴半日分潮流的椭圆长半轴长度（cm/s）。

当 F≤0.5 时为规则半日潮流

当 0.5＜F≤2.0 时为不规则半日潮流

当 2.0＜F≤4.0 时为不规则全日潮流

当 4.0＞F 时为规则全日潮流

计算结果见表 3.2.2-12，各站垂线平均的 F 值在 0.13~0.42 之间，平均为 0.24。由表可知，除 S1、S2、S5 和 S6 的个别层次表现为不规则半日潮流外，其余测站各层均以规则半日潮流性质为主。

表 3.2.2-12　各站各层示性系数 F 值统计表

层次	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
表层	0.61	0.65	0.33	0.36	0.65	0.41	0.33	0.46
0.2H	0.16	0.45	0.36	0.16	0.50	0.68	0.39	0.24
0.4H	0.15	0.41	0.25	0.16	0.44	0.45	0.28	0.20
0.6H	0.18	0.37	0.22	0.15	0.27	0.33	0.22	0.22
0.8H	0.16	0.44	0.17	0.17	0.17	0.31	0.22	0.27
底层	0.14	0.51	0.26	0.19	0.15	0.32	0.30	0.23
垂线平均	0.17	0.42	0.22	0.14	0.21	0.38	0.24	0.13

3、潮流的可能最大流速

根据《海港水文规范》，对于规则半日潮流海域，潮流的可能最大流速可由下式计算：

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

根据《海港水文规范》，对于不规则全日潮流海域和不规则半日潮流海域，潮流的可能最大流速可取下两式计算后的最大值：

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

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

计算结果见表 3.2.2-13。

潮流的可能最大流速以 S1 测站的表层为最大，为 1.04 m/s。各测站各层潮流的可能最大流速介于 0.44 m/s～1.04 m/s 之间。

表 3.2.2-13　各测站潮流可能最大流速表

站点 \ 层次		表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
S1	流速（m/s）	1.04	0.80	0.80	0.78	0.70	0.60	0.78
	流向（°）	40	43	41	42	40	41	41
S2	流速（m/s）	0.68	0.84	0.75	0.68	0.59	0.51	0.65
	流向（°）	62	52	49	56	50	48	56
S3	流速（m/s）	0.81	0.73	0.77	0.65	0.57	0.52	0.64
	流向（°）	47	55	41	45	49	54	47
S4	流速（m/s）	0.93	0.84	0.80	0.79	0.71	0.58	0.77
	流向（°）	59	58	59	57	56	63	57
S5	流速（m/s）	0.70	0.74	0.80	0.61	0.58	0.55	0.66
	流向（°）	60	52	55	58	57	55	53
S6	流速（m/s）	0.74	0.74	0.73	0.64	0.52	0.51	0.64
	流向（°）	65	64	60	59	63	53	60
S7	流速（m/s）	0.76	0.64	0.70	0.65	0.54	0.50	0.63
	流向（°）	47	55	45	51	50	51	46
S8	流速（m/s）	0.68	0.66	0.63	0.57	0.55	0.44	0.58
	流向（°）	75	83	83	85	96	86	83

4、潮流的运动形式

潮流的运动形式由潮流的椭圆旋转率 K 值来描述，K 值为潮流椭圆的短轴和长轴之比。当 K 大于 0.25 时，潮流表现出较强的旋转性，即旋转流；当 K 小于 0.25 时，潮流表现为往复流。根据前述的分析，由于施测海域潮流类型主要属于不规则半日潮流性质，且半日分潮流中，M2 分潮最具有代表性，因此我们根据 M2 分潮流的椭圆旋转率 K 值来分析施测海域潮流的运动形式。根据表 3.2.2-14 所列的 M2 分潮的 K 值可以看出：大部分测站 K 均小于 0.25，表现为往复潮流性质，仅 S2 站表现出较强的旋转性。。

表 3.2.2-14　各测站 M2 分潮的 K 值

站位	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
表层	0.01	0.46	0.21	0.10	0.07	0.20	0.12	0.13
0.2H	0.04	0.46	0.10	0.06	0.18	0.25	0.19	0.05
0.4H	0.08	0.51	0.09	0.09	0.15	0.21	0.15	0.11
0.6H	0.07	0.60	0.07	0.09	0.16	0.16	0.10	0.05
0.8H	0.05	0.62	0.04	0.03	0.17	0.15	0.09	0.03
底层	0.06	0.67	0.11	0.05	0.13	0.10	0.10	0.02
垂线平均	0.05	0.54	0.09	0.06	0.15	0.18	0.13	0.06

5、余流

（1）余流一般指实测海流扣除周期性潮流后所剩留部分，从计算结果来看（见表 3.2.2-15），季节因素和潮型对余流影响较大。垂线平均各潮次观测海域余流速度大潮平均为 0.19 m/s，中潮平均为 0.10m/s，小潮平均为 0.15m/s。

（2）观测海区余流流速，大潮以 S6 测站表层为最大，为 0.46 m/s；中潮以 S5 测站表层最大，为 0.18 m/s；小潮以 S1 测站表层最大，为 0.24 m/s。

表 3.2.2-15　　观测海域各测站余流统计表

站号	层次	大潮		中潮		小潮	
		流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）	流速（m/s）	流向（°）
S1	表层	0.40	75	0.17	70	0.24	55
	0.2H	0.23	54	0.14	42	0.20	47
	0.4H	0.23	33	0.12	27	0.18	51
	0.6H	0.21	28	0.11	26	0.18	28
	0.8H	0.18	23	0.10	21	0.16	18
	底层	0.16	26	0.09	16	0.13	18
	垂线平均	0.21	41	0.12	34	0.18	38
S2	表层	0.29	266	0.10	74	0.22	81
	0.2H	0.20	284	0.05	34	0.14	51
	0.4H	0.16	302	0.05	358	0.13	60
	0.6H	0.15	310	0.06	348	0.12	22
	0.8H	0.13	319	0.04	336	0.11	19
	底层	0.11	326	0.03	314	0.10	22
	垂线平均	0.16	297	0.04	9	0.12	45
S3	表层	0.30	71	0.14	65	0.16	70
	0.2H	0.20	58	0.12	50	0.15	70
	0.4H	0.18	42	0.11	40	0.14	54

	0.6H	0.17	37	0.10	32	0.13	40
	0.8H	0.14	27	0.08	35	0.12	36
	底层	0.12	30	0.07	32	0.11	30
	垂线平均	0.17	46	0.10	43	0.13	51
S4	表层	0.34	87	0.14	72	0.22	74
	0.2H	0.27	76	0.13	61	0.16	72
	0.4H	0.29	64	0.13	48	0.17	72
	0.6H	0.30	48	0.13	40	0.19	59
	0.8H	0.27	45	0.11	30	0.19	39
	底层	0.25	38	0.10	26	0.14	27
	垂线平均	0.27	60	0.12	47	0.17	59
S5	表层	0.37	73	0.18	92	0.24	76
	0.2H	0.24	66	0.07	76	0.17	70
	0.4H	0.20	40	0.07	56	0.15	70
	0.6H	0.18	38	0.06	51	0.14	53
	0.8H	0.17	29	0.05	60	0.13	43
	底层	0.15	39	0.03	63	0.12	39
	垂线平均	0.20	50	0.07	70	0.15	61
S6	表层	0.46	80	0.17	77	0.21	78
	0.2H	0.26	69	0.15	69	0.14	72
	0.4H	0.20	54	0.12	48	0.14	62
	0.6H	0.19	45	0.11	49	0.15	46
	0.8H	0.18	46	0.11	39	0.12	43
	底层	0.18	46	0.09	47	0.10	40
	垂线平均	0.22	59	0.12	56	0.14	58
S7	表层	0.42	75	0.16	65	0.21	77
	0.2H	0.20	53	0.14	38	0.16	60
	0.4H	0.21	41	0.13	28	0.16	51
	0.6H	0.19	34	0.10	31	0.13	43
	0.8H	0.17	34	0.09	29	0.13	39
	底层	0.14	26	0.08	35	0.10	36
	垂线平均	0.20	47	0.11	37	0.14	52
S8	表层	0.19	94	0.15	115	0.17	89
	0.2H	0.12	90	0.09	90	0.15	92
	0.4H	0.12	69	0.08	60	0.14	106
	0.6H	0.11	64	0.08	55	0.15	92
	0.8H	0.10	55	0.07	49	0.13	75
	底层	0.08	59	0.06	48	0.09	67
	垂线平均	0.11	73	0.08	72	0.14	90

根据各测站的实测数据计算三个潮次各测站六层的余流，并将各测站垂向平均余流及各层余流绘制成图 3.2.2-16 至图 3.2.2-21。总体来说，观测海域的余流速度相对较小，多在 0.30 m/s 以下，流向偏东。整体上以大潮流速最大，小潮次之，中潮余流流速最小。大潮期受西南风的影响，余流流速略大。中潮和小潮期观测期间风力较弱无持续稳定风向，风海流对海域余流影响较小，余流以潮汐余流为

主。

图 3.2.2-16　大潮各层余流矢量图

图 3.2.2-17　中潮各层余流矢量图

图 3.2.2-18　小潮各层余流矢量图

图 3.2.2-19　大潮垂线平均余流矢量图

图 3.2.2-20　中潮垂线平均余流矢量图

图 3.2.2-21　小潮垂线平均余流矢量图

3.2.2.3 悬沙

3.2.2.3.1 枯水期悬沙调查

悬浮沙观测时间、层次与海流观测一致。采样间隔为 1 小时一次，连续采样 26 小时（27 个数据）。悬浮沙调查结果包括悬浮沙的含量和悬沙的中值粒径。

悬移质含沙量采用“三点法”计算水深，使用竖式采水器采取现场水样。

1、潮段平均含沙量

观测海区位于广东省揭阳市附近海域，在水文测验时段内，海水较清，水体含沙浓度较低。

（1）水文测验期间施测海域实测涨、落潮垂线平均含沙量分别为 0.0135 kg/m^3 和 0.0137 kg/m^3；涨、落潮平均含沙量：大潮为 0.0129kg/ m^3，中潮为 0.0169 kg/m^3，小潮为 0.0116 kg/m^3，中潮最大，大潮次之，小潮最小。

（2）水文测验期间潮段平均含沙量，大潮介于（0.0072~ 0.0239）kg/m^3 之间，中潮介于（0.0092 ~ 0.0309）kg/m^3 之间，小潮介于（0.0083 ~ 0.0169）kg/m^3 之间。大潮期间 S8 涨潮段含沙量均最大，为 0.0239 kg/m^3；中潮期间以 S4 落潮段含沙量均最大，为 0.0309 kg/m^3；小潮期间 S7 测站涨潮段最大，为 0.0169 kg/m^3。

（3）水体含沙浓度平面分布来看，水体含沙浓度平面分布来看，以近岸的 S8、S1 和 S4 等测站的含沙量相对较高。

表 3.2.2-16 各测站涨、落潮段垂线平均含沙量统计表　(kg/m^3)

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1	0.0190	0.0164	0.0116	0.0156	0.0141	0.0181	0.0135	0.0152
S2	0.0140	0.0133	0.0112	0.0127	0.0115	0.0152	0.0116	0.0128

S3	0.0093	0.0117	0.0138	0.0115	0.0096	0.0119	0.0154	0.0123
S4	0.0150	0.0235	0.0083	0.0162	0.0189	0.0309	0.0095	0.0184
S5	0.0097	0.0108	0.0085	0.0095	0.0086	0.0137	0.0094	0.0105
S6	0.0082	0.0092	0.0102	0.0094	0.0072	0.0109	0.0127	0.0100
S7	0.0100	0.0107	0.0169	0.0126	0.0093	0.0122	0.0149	0.0120
S8	0.0239	0.0262	0.0084	0.0206	0.0187	0.0301	0.0098	0.0186
平均	0.0136	0.0158	0.0111	0.0135	0.0122	0.0169	0.0121	0.0137

2、垂线平均最大含沙量

通过对本期测验各个测站的垂线平均含沙量进行统计，按涨潮段、落潮段分别求其最大值得到各测站涨、落潮段的垂线平均最大含沙量（见表3.2.2-17）。

表中显示，水文测验期间垂线平均最大含沙量，大潮为0.0368 kg/m^3，出现在S8测站涨潮段；中潮为0.0483 kg/m^3，出现在S8测站落潮段；小潮为0.0252 kg/m^3，出现在S7测站涨潮段。

表3.2.2-17 各测站涨、落潮段垂线平均最大含沙量统计表 （kg/m^3）

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	最大	大潮	中潮	小潮	最大
S1	0.0317	0.0229	0.0160	0.0317	0.0259	0.0254	0.0199	0.0259
S2	0.0207	0.0208	0.0148	0.0208	0.0145	0.0190	0.0193	0.0193
S3	0.0176	0.0133	0.0209	0.0209	0.0122	0.0179	0.0238	0.0238
S4	0.0200	0.0321	0.0099	0.0321	0.0266	0.0461	0.0170	0.0461
S5	0.0174	0.0152	0.0122	0.0174	0.0120	0.0184	0.0169	0.0184
S6	0.0173	0.0153	0.0185	0.0185	0.0099	0.0179	0.0223	0.0223
S7	0.0177	0.0130	0.0252	0.0252	0.0150	0.0187	0.0216	0.0216
S8	0.0368	0.0316	0.0120	0.0368	0.0333	0.0483	0.0175	0.0483
最大值	0.0368	0.0321	0.0252	0.0368	0.0333	0.0483	0.0238	0.0483

3、最大含沙量特征值

水文测验期间大潮实测最大含沙量为0.0409 kg/m^3，出现在12月7日10:00的S8测站涨潮段的0.6H，处于涨初时段；中潮实测最大含沙量为0. 0883 kg/m^3，出现在12月9日23:00的S8测站涨潮段的底层，处于落憩时段；小潮实测最大含沙量为0.0298kg/m^3，出现在3月7日21:00的S6测站落潮段的0.6H层，对应垂线平均流速为0.31 m/s，流向为227°，接近落憩时段。

3.2.2.3.2 丰水期悬沙调查

悬浮沙观测时间、层次与海流观测一致。采样间隔为1小时一次，连续采样26小时（27个数据）。悬浮沙调查结果包括悬浮沙的含量和悬沙的中值粒径。

悬移质含沙量采用“三点法”计算水深，使用竖式采水器采取现场水样。

1、潮段平均含沙量

观测海区位于广东省揭阳市附近海域，在水文测验时段内，海水较清，水体含沙浓度较低。

（1）水文测验期间施测海域实测涨、落潮垂线平均含沙量均为 0.0140 kg/m^3；涨、落潮平均含沙量：大潮为 0.0145kg/ m^3，中潮为 0.0133 kg/m^3，小潮为 0.0141 kg/m^3，大潮最大，小潮次之，中潮最小。

（2）水文测验期间潮段平均含沙量，大潮介于（0.0117~ 0.0192）kg/m^3 之间，中潮介于（0.0109～0.0164）kg/m^3 之间，小潮介于（0.0118～0.0166）kg/m^3 之间。大潮期间 S4 涨潮段含沙量均最大；中潮期间以 S6 涨潮段含沙量均最大；小潮期间 S6 测站涨潮段最大。

（3）水体含沙浓度平面分布来看，以 S6、S1 和 S4 等测站的含沙量相对较高。

表 3.2.2-18 各测站涨、落潮段垂线平均含沙量统计表 (kg/m^3)

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	平均	大潮	中潮	小潮	平均
S1	0.0180	0.0148	0.0164	0.0164	0.0183	0.0148	0.0164	0.0165
S2	0.0121	0.0109	0.0121	0.0117	0.0123	0.0111	0.0118	0.0117
S3	0.0117	0.0114	0.0127	0.0119	0.0118	0.0111	0.0127	0.0119
S4	0.0192	0.0125	0.0155	0.0157	0.0192	0.0124	0.0157	0.0158
S5	0.0127	0.0110	0.0136	0.0124	0.0122	0.0111	0.0136	0.0123
S6	0.0146	0.0164	0.0166	0.0158	0.0145	0.0164	0.0164	0.0158
S7	0.0123	0.0137	0.0122	0.0127	0.0123	0.0138	0.0126	0.0129
S8	0.0160	0.0151	0.0139	0.0150	0.0157	0.0157	0.0132	0.0149
平均	0.0146	0.0132	0.0141	0.0140	0.0145	0.0133	0.0140	0.0140

2、垂线平均最大含沙量

通过对本期测验各个测站的垂线平均含沙量进行统计，按涨潮段、落潮段分别求其最大值得到各测站涨、落潮段的垂线平均最大含沙量（见表 3.2.2-19）。

表中显示，水文测验期间垂线平均最大含沙量，大潮为 0.0198 kg/m^3，出现在 S3 测站落潮段；中潮为 0.0173 kg/m^3，出现在 S6 测站涨潮段和落潮段；小潮为 0.0172 kg/m^3，出现在 S1 测站涨潮段。

表 3.2.2-19 各测站涨、落潮段垂线平均最大含沙量统计表 （kg/m^3）

站名	涨潮				落潮			
	大潮	中潮	小潮	最大	大潮	中潮	小潮	最大
S1	0.0187	0.0152	0.0172	0.0187	0.0192	0.0153	0.0171	0.0192
S2	0.0122	0.0118	0.0130	0.0130	0.0128	0.0117	0.0128	0.0128
S3	0.0123	0.0130	0.0130	0.0130	0.0124	0.0115	0.0129	0.0129
S4	0.0194	0.0130	0.0162	0.0194	0.0198	0.0128	0.0163	0.0198
S5	0.0128	0.0116	0.0144	0.0144	0.0126	0.0118	0.0140	0.0140
S6	0.0148	0.0173	0.0169	0.0173	0.0150	0.0173	0.0168	0.0173
S7	0.0128	0.0148	0.0132	0.0148	0.0127	0.0148	0.0132	0.0148
S8	0.0164	0.0166	0.0157	0.0166	0.0169	0.0164	0.0145	0.0169
最大值	0.0194	0.0173	0.0172	0.0194	0.0198	0.0173	0.0171	0.0198

3、最大含沙量特征值

水文测验期间大潮实测最大含沙量为0.0200 kg/m^3，6 月 29 日 15:00 的 S4 测站落潮段的表层，对应垂线平均流速为 0.19 m/s；中潮实测最大含沙量为 0.0179 kg/m^3，出现在 7 月 2 日 23:00 的 S6 测站涨潮段的底层，对应垂线平均流速为 0.37 m/s；小潮实测最大含沙量为0.0175 kg/m^3，出现在 7 月 6 日 15:00 的 S1 测站涨潮段的表层，对应垂线平均流速为0.49 m/s。

3.2.2.4 盐度

3.2.2.4.1 枯水期盐度

对观测海域全部 8 个测站进行分层海水盐度测定，测试结果表明：

（1）本期测验期间，施测海域各测站大、中、小潮期实测盐度较为接近。大潮平均盐度为 32.33，中潮为 31.88，小潮为 33.64。

（2）水文测验期间，各测站最大海水盐度值为 34.40，最小海水盐度值为 26.50，变化量为 7.90，最高值出现在外海 S6 站，最低值出现在 S3 站。

（3）海水盐度平面分布，靠近外海的 S5、S6 和 S7 测站盐度较高。各测站以小潮期间盐度较大。

3.2.2.4.2 丰水期盐度

对观测海域全部 8 个测站进行分层海水盐度测定，测试结果表明：

（1）本期测验期间，施测海域各测站大、中、小潮期实测盐度较为接近。大潮平均盐度为 34.15，中潮为 34.23，小潮为 34.24。

（2）水文测验期间，各测站最大海水盐度值为 34.73，最小海水盐度值为 31.47，变化量为 3.26，最高值出现在外海 S5 站，最低值出现在 S6 站。

（3）海水盐度平面分布，靠近外海的 S3 和 S6 测站盐度相对较高。

3.2.2.5 温度

3.2.2.5.1 枯水期温度

对观测海域全部 8 个测站进行分层海水温度测定，测试结果表明：

（1）本期测验期间，施测海域实测海水温度，各测站基本呈现出大潮温度最高，中潮次之，小潮温度最低的特征。大潮平均温度为 20.09 ℃，中潮为 19.62 ℃，小潮为 18.29 ℃。

（2）水文测验期间，各测站最大海水温度值为 20.45 ℃，最低海水温度值为 15.90 ℃，变化量为 4.55 ℃。

（3）海水温度平面分布，以靠近外海的 S5、S6 测站盐度较高。各测站以小潮期间盐度较大。

3.2.2.5.2 丰水期温度

对观测海域全部 8 个测站进行分层海水温度测定，测试结果表明：

（1）本期测验期间，施测海域实测海水温度整体而言以中潮温度略低，平均为 22.44℃；小潮次之，平均温度为 22.64℃；大潮温度最高，平均温度为 22.78℃。

（2）水文测验期间，各测站最大海水温度值为 29.63℃，最低海水温度值为 20.41℃，变化量为 9.22℃。

（3）海水温度平面分布，以近岸的 S8、S4 和 S1 站的平均温度较高。

3.2.2.6 波浪

波浪资料引用自《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目波浪专题研究》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 5 月）。

1、波浪观测情况

场址附近无长期波浪观测资料，在场址西北侧某近岸工程因工程建设需要进行了周年波浪观测，观测水深约为 15m，地理坐标 22°47.5’N，116°00’E，距离岸边约 4km。波浪观测期间为 2008 年 10 月 26 日 2 时～2009 年 10 月 25 日 23 时，共 365 天，采用 SZF 型波浪仪进行波浪测量。相对位置如下图所示。

图 3.2.2-22 波浪观测站位图

2、波浪基本特征

本海区波浪主要受西南季风、热带气旋、东北季风三种天气系统所影响，观测期间周年的平均 Hs 为 1.02m，周年平均 Ts 为 6.67s。观测期间各月观测波浪的特征值如下表所示。

表 3.2.2-20 波浪基本特征

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

3、联合分布及波浪玫瑰图

从 Hs-Ts 联合分布中可以看出：Hs 波高主要集中在 0.5m-1.49m 范围内，占 80%，Ts 周期主要集中在 5s-7.9s 范围内，占 82.39%；从 $H_{1/10}$-$T_{1/10}$ 联合分布中可以看出：$H_{1/10}$ 波高主要集中在 0.5m-1.99m 范围内，占 87.39%，$T_{1/10}$ 周期主要集中在 6s-8.9s 范围内，占 78.31%；从 Hz-Tz 联合分布中可以看出：Hz 波高主要集中在 0m-0.99m 范围内，占 90.56%，Tz 周期主要集中在 4s-6.9s 范围内，占 94.26%；从 H_{max}-T_{max} 联合分布中可以看出：H_{max} 波高主要集中在 0.5m-2.49m 范围内，占 89.97%，T_{max} 周期主要集中在 5s-9.9s 范围内，占 69.43%。

从波高-波向联合分布中可以看出：波浪主要来自于 NE~ESE 方向，共占到

56.54%，常浪向为 E 向，频率为 18.06%；次常浪向为 ENE 及 NE，频率分别为 15.63% 及 12.25%；强浪向来自于 ENE 和 ESE 向。

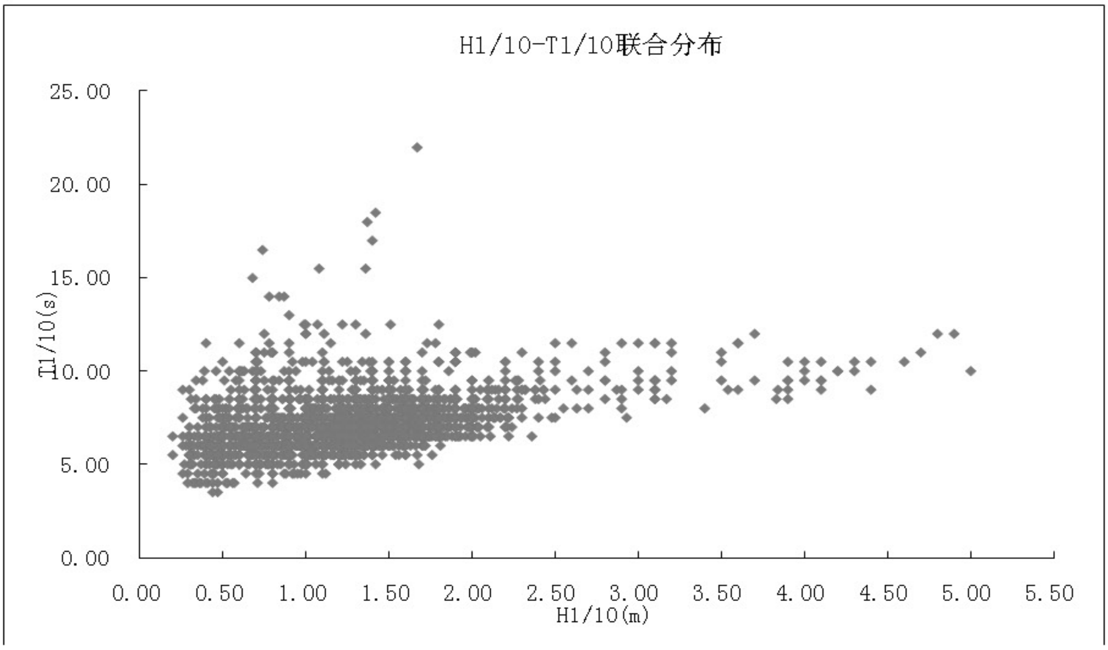


图 3.2.2-23　　$H_{1/10}$-$T_{1/10}$ 联合分布图

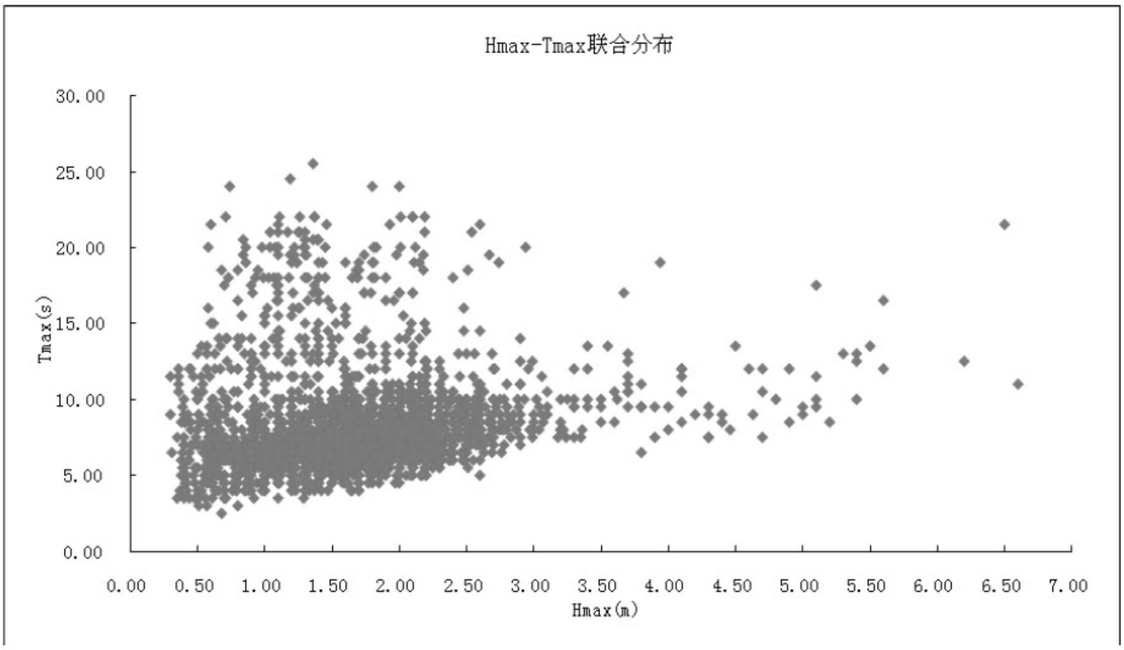


图 3.2.2-24　H_{max}-T_{max} 联合分布图

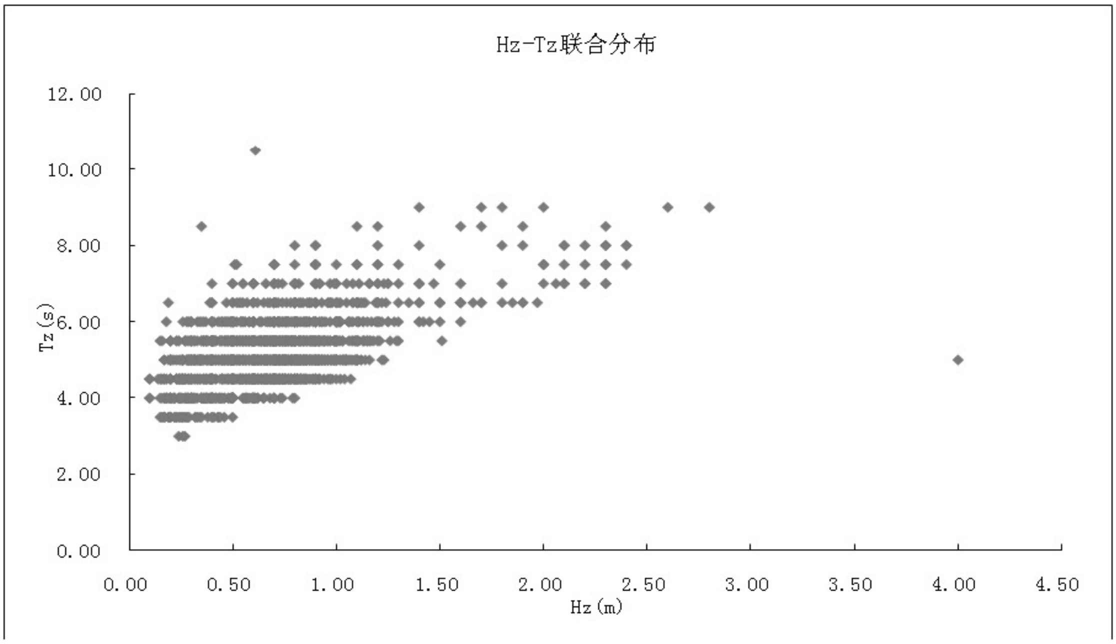


图 3.2.2-25 Hz-Tz 联合分布图

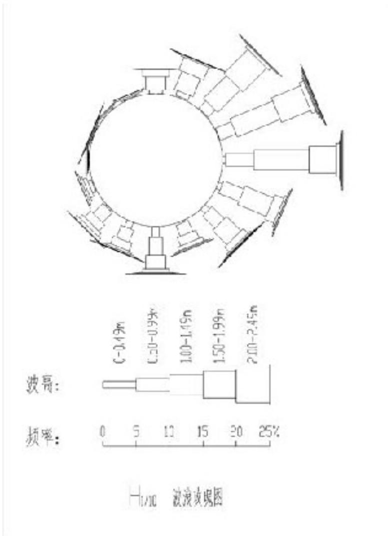


图 3.2.2-26 $H_{1/10}$波浪玫瑰图

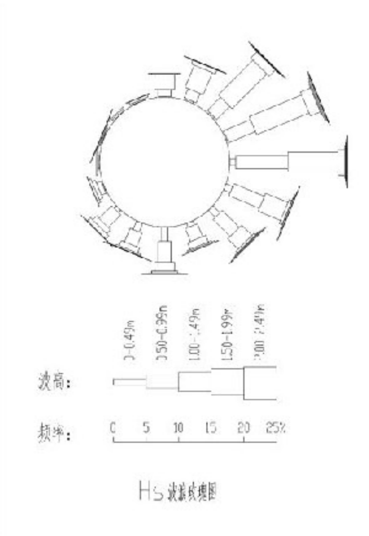


图 3.2.2-27 Hs 波浪玫瑰图

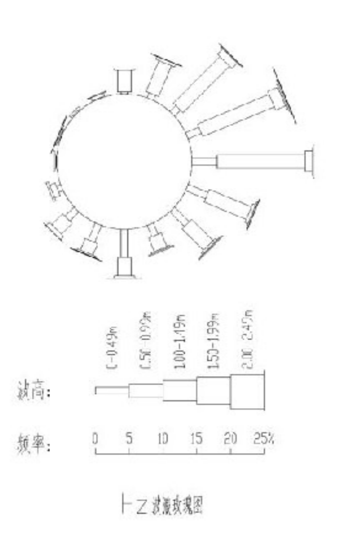


图 3.2.2-28 Hz 波浪玫瑰图

表 3.2.2-21 波浪方向分布

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

4、设计波浪

为了研究工程区外海的波浪，本研究采用基于非结构性网格的 MIKE21-SW 波浪模型，依据中国台风网提供的 1988~2017 年经过珠江口至粤东的 51 场台风风场数据，采用 Holland 经验风场模型进行大范围波浪场的数值计算，在充分验证的基础上，通过大范围模型计算，提取工程区深水处（水深约为 50m）不同方向出现

的年极值波高，进行频率分析，确定工程外海深水波浪要素。

模型的范围包括整个南海海域，台风浪计算域范围为 5.9°~28.5N，103.8°~132.9°E，最大网格精度为 1.5°×1.5°，最小网格精度为 0.3′×0.3′，时间步长为 180s，整个模型范围见图 3.2.2-33。整个计算海域水深采用 MIKE 模型中 C-Map 地形数据库水深资料插值而成，水深起算基面为理论深度基准面。

图 3.2.2-29 大范围波浪模型计算网格

近岸波浪数值模型的计算范围见图 3.2.2-30，在风电场范围内共布置 6 个控制点，控制点布置见图 3.2.2-31。近岸波浪传播模型计算网格范围为 X=380000m~500000m，Y=2460000m~2570000m，网格覆盖工程区所在的 50m 等深线至岸边的海域，共计 18907 个计算点，100079 个网格，最大网格空间步长 3km，最小网格尺度 100m，布置北、东、南和西四侧开敞边界。

图 3.2.2-30 近岸波浪数学模型计算范围

拟建工程主要受 E、ESE、SE、SSE、S、SSW、SW 和 WSW 一共 8 个浪向作用，设计水位考虑主要考虑 100 年一遇高潮位、100 年一遇低潮位、极端高水位、极端低水位、设计高水位和设计低水位 6 组水位，MIKE21-SW 数学模型在不同设计水位、重现期和波向的计算组合为 112 种。

风电场位于外海-30m 等深线外，水深在 30~40m 之间，此处波高较大且衰减缓慢。在 100 年一遇波浪+100 年一遇高潮位作用下，风电场处最大波高 H_{max} 为 13.83m~20.33m。从不同方向外海波浪向工程区传播的波高分布来看，ESE~SSE 方向的波浪对工程水域影响最大，100 年一遇波浪+100 年一遇高潮位条件下最大波高位于 F4 点，其中 ESE 向最大波高 H_{max} 为 20.33m。而有效波高的最大值出现在 ESE 向 100 年一遇波浪+100 年一遇高潮位作用下，F4 点达到 11.08m。50 年一遇波浪+极端高水位作用下最大波高位于 F4 点，其中 ESE 向最大波高 H_{max} 为 19.57m。而有效波高的最大值出现在 ESE 向 50 年一遇波浪+极端高水位作用下，风 F4 点达到 10.63m。ESE 浪向下不同设计水位、重现期和波向的计算结果见表 3.2.2-22。

图 3.2.2-31 风电场范围及控制点位置图

表 3.2.2-22(1)　ESE 向 100 年一遇波浪+100 年一遇高潮位组合

ID	Hmax (m)	$H_{0.1\%}$ (m)	$H_{0.4\%}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	Hm (m)	$T_{13\%}$ (s)	Tp (s)	T (s)	L (m)	D (m)
F1	19.13	17.09	15.60	14.49	10.42	6.86	14.7	15.4	12.8	205.7	36.70
F2	19.71	17.63	16.10	14.95	10.74	7.07	14.8	15.5	12.9	209.8	38.04
F3	20.18	17.97	16.41	15.25	11.00	7.24	14.9	15.6	12.9	211.4	37.92
F4	20.33	18.07	16.51	15.34	11.08	7.29	14.8	15.5	12.9	209.5	37.90
F5	19.78	17.67	16.13	14.99	10.77	7.09	14.7	15.4	12.8	207.8	38.01
F6	19.21	17.10	15.62	14.51	10.46	6.88	14.6	15.3	12.7	203.1	36.28

表 3.2.2-22(2)　ESE 向 100 年一遇波浪+100 年一遇低潮位组合

ID	Hmax (m)	$H_{0.1\%}$ (m)	$H_{0.4\%}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	Hm (m)	$T_{13\%}$ (s)	Tp (s)	T (s)	L (m)	D (m)
F1	17.07	15.15	13.84	12.86	9.28	6.10	14.3	14.9	12.4	188.8	31.98
F2	17.68	15.72	14.35	13.34	9.61	6.32	14.4	15.1	12.5	193.4	33.32
F3	18.18	16.08	14.69	13.66	9.89	6.51	14.5	15.2	12.6	195.3	33.20
F4	18.33	16.17	14.78	13.74	9.97	6.56	14.4	15.1	12.5	193.2	33.18
F5	17.76	15.77	14.40	13.38	9.65	6.35	14.3	14.9	12.4	191.2	33.29
F6	17.17	15.18	13.87	12.90	9.33	6.14	14.1	14.8	12.3	186.0	31.56

表 3.2.2-22(3)　ESE 向 100 年一遇波浪+设计高潮位组合

ID	Hmax (m)	$H_{0.1\%}$ (m)	$H_{0.4\%}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	Hm (m)	$T_{13\%}$ (s)	Tp (s)	T (s)	L (m)	D (m)
F1	18.17	16.18	14.78	13.73	9.89	6.51	14.5	15.2	12.6	197.9	34.45
F2	18.77	16.74	15.28	14.20	10.22	6.72	14.6	15.3	12.7	202.2	35.79
F3	19.25	17.09	15.61	14.51	10.49	6.90	14.7	15.4	12.8	204.0	35.67
F4	19.40	17.19	15.71	14.60	10.57	6.95	14.6	15.3	12.7	201.9	35.65
F5	18.85	16.79	15.33	14.24	10.26	6.75	14.5	15.2	12.6	200.1	35.76
F6	18.26	16.21	14.80	13.76	9.93	6.54	14.4	15.1	12.5	195.2	34.03

表 3.2.2-22(4)　ESE 向 100 年一遇波浪+设计低潮位组合

ID	Hmax (m)	$H_{0.1\%}$ (m)	$H_{0.4\%}$ (m)	$H_{1\%}$ (m)	$H_{13\%}$ (m)	Hm (m)	$T_{13\%}$ (s)	Tp (s)	T (s)	L (m)	D (m)
F1	17.45	15.51	14.16	13.16	9.49	6.24	14.3	15.0	12.5	191.9	32.82
F2	18.05	16.07	14.67	13.63	9.82	6.46	14.4	15.1	12.6	196.5	34.16

F3	18.55	16.42	15.01	13.95	10.10	6.64	14.6	15.3	12.7	198.3	34.04
F4	18.70	16.52	15.10	14.04	10.17	6.69	14.5	15.1	12.6	196.2	34.02
F5	18.14	16.12	14.72	13.68	9.86	6.49	14.3	15.0	12.5	194.3	34.13
F6	17.55	15.54	14.19	13.19	9.54	6.27	14.2	14.9	12.4	189.2	32.40

表 3.2.2-22(5) ESE 向 50 年一遇波浪+极端高潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)
F1	18.45	16.51	15.07	13.99	10.02	6.59	14.1	14.7	12.2	193.0	36.36
F2	19.00	17.03	15.54	14.43	10.32	6.79	14.1	14.8	12.3	196.7	37.70
F3	19.42	17.34	15.83	14.70	10.55	6.94	14.2	14.9	12.4	198.2	37.58
F4	19.57	17.44	15.92	14.79	10.63	6.99	14.1	14.8	12.3	196.5	37.56
F5	19.06	17.07	15.58	14.46	10.35	6.81	14.0	14.7	12.2	195.0	37.67
F6	18.53	16.53	15.09	14.01	10.05	6.61	14.0	14.6	12.1	190.7	35.94

表 3.2.2-22(6) ESE 向 50 年一遇波浪+极端低潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)
F1	16.69	14.84	13.55	12.58	9.04	5.95	13.7	14.3	11.9	178.5	32.0
F2	17.27	15.39	14.04	13.04	9.36	6.16	13.8	14.4	12.0	182.7	33.3
F3	17.74	15.72	14.36	13.34	9.62	6.33	13.9	14.5	12.1	184.4	33.2
F4	17.87	15.81	14.44	13.42	9.69	6.38	13.8	14.4	12.0	182.6	33.2
F5	17.34	15.43	14.08	13.08	9.40	6.18	13.7	14.3	11.9	180.8	33.3
F6	16.78	14.87	13.58	12.61	9.09	5.98	13.6	14.2	11.8	176.1	31.5

表 3.2.2-22 (7) ESE 向 50 年一遇波浪+设计高潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)
F1	17.71	15.80	14.42	13.39	9.61	6.32	13.9	14.6	12.1	186.9	34.4
F2	18.27	16.33	14.90	13.84	9.92	6.52	14.0	14.7	12.2	190.8	35.7
F3	18.72	16.65	15.21	14.12	10.16	6.69	14.1	14.8	12.2	192.4	35.6
F4	18.86	16.75	15.30	14.21	10.24	6.73	14.0	14.7	12.2	190.6	35.6
F5	18.34	16.37	14.94	13.87	9.95	6.55	13.9	14.6	12.1	189.0	35.7
F6	17.79	15.82	14.44	13.42	9.65	6.35	13.8	14.5	12.0	184.5	34.0

表 3.2.2-22 (8) ESE 向 50 年一遇波浪+设计低潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)

F1	17.04	15.17	13.84	12.86	9.24	6.08	13.8	14.4	12.0	181.4	32.8
F2	17.61	15.71	14.34	13.31	9.55	6.29	13.8	14.5	12.0	185.5	34.1
F3	18.07	16.04	14.65	13.61	9.81	6.45	14.0	14.6	12.1	187.2	34.0
F4	18.21	16.13	14.73	13.69	9.88	6.50	13.9	14.5	12.0	185.4	34.0
F5	17.68	15.75	14.37	13.35	9.59	6.31	13.7	14.4	12.0	183.6	34.1
F6	17.13	15.19	13.87	12.89	9.28	6.10	13.7	14.3	11.9	179.0	32.4

表 3.2.2-22(9) ESE 向 5 年一遇波浪+极端高潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)
F1	13.72	12.68	11.51	10.64	7.34	4.83	11.5	12.1	10.0	144.5	36.3
F2	13.95	12.93	11.73	10.84	7.47	4.91	11.6	12.1	10.1	146.4	37.7
F3	14.02	12.99	11.78	10.89	7.51	4.94	11.6	12.2	10.1	147.2	37.5
F4	14.18	13.11	11.90	11.00	7.59	5.00	11.6	12.2	10.1	146.6	37.5
F5	13.98	12.95	11.75	10.86	7.48	4.92	11.6	12.1	10.1	145.9	37.6
F6	13.74	12.68	11.50	10.64	7.35	4.84	11.5	12.1	10.0	143.7	35.9

表 3.2.2-22 (10) ESE 向 5 年一遇波浪+极端低潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)
F1	13.43	12.22	11.11	10.28	7.18	4.72	11.3	11.9	9.8	136.1	32.0
F2	13.73	12.53	11.39	10.54	7.34	4.83	11.4	11.9	9.9	138.5	33.3
F3	13.87	12.64	11.49	10.63	7.42	4.88	11.4	12.0	9.9	139.5	33.2
F4	14.03	12.77	11.61	10.74	7.50	4.94	11.4	11.9	9.9	138.8	33.2
F5	13.77	12.56	11.42	10.56	7.36	4.84	11.3	11.9	9.9	137.8	33.3
F6	13.46	12.22	11.11	10.29	7.19	4.73	11.3	11.8	9.8	135.1	31.5

表 3.2.2-22 (11) ESE 向 5 年一遇波浪+设计高潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)
F1	13.63	12.51	11.36	10.51	7.29	4.80	11.5	12.0	10.0	141.1	34.4
F2	13.88	12.78	11.61	10.73	7.43	4.89	11.5	12.1	10.0	143.2	35.7
F3	13.98	12.86	11.68	10.80	7.48	4.92	11.6	12.1	10.0	144.0	35.6
F4	14.14	12.99	11.79	10.91	7.57	4.98	11.5	12.1	10.0	143.4	35.6
F5	13.92	12.81	11.63	10.75	7.45	4.90	11.5	12.0	10.0	142.6	35.7
F6	13.65	12.51	11.36	10.51	7.30	4.80	11.4	12.0	9.9	140.2	34.0

表 3.2.2-22(12) ESE 向 5 年一遇波浪+设计低潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)
F1	13.51	12.33	11.20	10.37	7.22	4.75	11.4	11.9	9.9	137.9	32.8
F2	13.79	12.63	11.47	10.61	7.38	4.85	11.4	12.0	9.9	140.1	34.1
F3	13.92	12.72	11.56	10.70	7.45	4.90	11.5	12.0	10.0	141.1	34.0
F4	14.08	12.85	11.68	10.81	7.53	4.96	11.4	12.0	10.0	140.4	34.0
F5	13.83	12.66	11.50	10.64	7.40	4.87	11.4	11.9	9.9	139.5	34.1
F6	13.54	12.33	11.21	10.37	7.24	4.76	11.3	11.9	9.9	136.9	32.4

表 3.2.2-22(13) ESE 向 2 年一遇波浪+设计高潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)
F1	9.01	8.57	7.74	7.12	4.77	3.14	9.9	10.3	8.6	111.0	34.4
F2	9.14	8.71	7.86	7.24	4.84	3.18	9.9	10.3	8.6	110.1	35.7
F3	9.15	8.71	7.87	7.24	4.84	3.19	9.9	10.4	8.6	111.1	35.6
F4	9.19	8.75	7.90	7.27	4.86	3.20	9.9	10.4	8.6	111.4	35.6
F5	9.10	8.67	7.83	7.21	4.82	3.17	9.9	10.3	8.6	111.2	35.7
F6	8.97	8.52	7.70	7.09	4.75	3.12	9.8	10.3	8.6	110.9	34.0

表 3.2.2-22 (14) ESE 向 2 年一遇波浪+设计低潮位组合

	Hmax	$H_{0.1\%}$	$H_{0.4\%}$	$H_{1\%}$	$H_{13\%}$	Hm	$T_{13\%}$	Tp	T	L	D
ID	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(s)	(s)	(s)	(m)	(m)
F1	8.99	8.51	7.69	7.08	4.75	3.13	9.8	10.3	8.5	108.6	32.8
F2	9.12	8.66	7.82	7.20	4.83	3.18	9.8	10.3	8.6	109.7	34.1
F3	9.14	8.67	7.83	7.21	4.84	3.18	9.9	10.3	8.6	110.1	34.0
F4	9.19	8.71	7.87	7.25	4.86	3.20	9.8	10.3	8.6	109.8	34.0
F5	9.09	8.63	7.80	7.18	4.81	3.17	9.8	10.3	8.5	109.4	34.1
F6	8.95	8.47	7.65	7.05	4.74	3.12	9.8	10.3	8.5	108.2	32.4

3.2.2.7 表层沉积物类型

3.2.2.7.1 风电场区表层沉积物类型

在枯水期水文测验实测期间，广东省电力设计研究院有限公司开展了项目海区的沉积物取样工作，共计取样 25 个。取样站位置见图 3.2.2-32，取样站坐标见表 3.2.2-23。所取样品全部根据《海洋调查规范-第 8 部分：海洋地质地球物理调查》进行了颗粒分析，样品分析采用筛析法和沉降法。

图 3.2.2-32 沉积物类型取样站位图

表 3.2.2-23 沉积物类型取样站位表

采集样品粒级划分分析结果表明（表 3.2.2-24），样品平均粒级组成为砾含量 6.07%，砂含量 66.68%，粉砂含量 13.18%，粘土含量 14.08%。沉积物粒级组成以砂为主，粘土和粉砂含量次之，砾砂含量最少。

表 3.2.2-24 项目海区沉积物粒级含量成果表单位(%)

采样站点	砾石	砂	粉砂	粘土(泥)	类型	采样站点	砾石	砂	粉砂	粘土(泥)	类型
L1	0.00	93.22	4.53	2.25	细中砂	L14	18.00	82.00	0.00	0.00	细中砂
L2	0.00	84.29	9.98	5.74	中细砂	L15	0.00	0.00	16.47	83.53	粘土
L3	6.04	93.96	0.00	0.00	中细砂	L16	0.00	63.02	22.47	14.51	粉砂质砂
L4	0.00	28.52	49.58	21.90	砂-粉砂-粘土	L17	16.13	79.09	4.11	0.66	中细砂
L5	14.91	83.86	1.23	0.00	细中砂	L18	9.87	87.07	2.84	0.22	中细砂
L6	7.19	92.81	0.00	0.00	细中砂	L19	0.00	9.15	49.40	41.45	粘土质粉砂
L7	6.64	86.70	5.27	1.38	细中砂	L20	0.00	1.30	42.54	56.16	粉砂质粘土
L8	0.00	79.53	9.20	11.27	中细砂	L21	0.00	53.26	27.40	19.35	粉砂质砂
L9	7.27	85.71	5.84	1.19	中细砂	L22	0.00	0.00	42.75	57.25	粉砂质粘土
L10	6.52	88.39	4.33	0.76	细中砂	L23	0.00	68.36	7.73	23.91	粘土质砂
L11	14.44	83.88	1.62	0.06	细中砂	L24	13.62	82.03	3.72	0.63	中细砂
L12	13.44	84.83	1.72	0.02	细中砂	L25	0.00	73.62	16.74	9.63	中细砂
L13	17.71	82.29	0.00	0.00	细中砂						

样品分析结果表明，项目海区沉积物种类较为丰富，由粗至细分别为细中砂、中细砂、粉砂质砂、粘土质砂、粘土质粉砂、砂-粉砂-粘土、粉砂质粘土、粘土共 8 类。从表沉积物沉积类型组成表可以看出，项目海区沉积物以细中砂和中细砂为主，占 68%；其余几类含量较低，共占 32%。从沉积物沉积类型分布图来看，粒径相对较粗的细中砂和中细砂主要集中于离岸较远的区域，其余粒径相对较细的沉积物主要分布在离岸不远处。风电场及其南部和南部海域以细中砂和中细砂为主。

表 3.2.2-25 沉积物沉积类型组成

沉积类型	含样数	百分比（%）
粘土	1	4.0
粉砂质粘土	2	8.0
砂-粉砂-粘土	1	4.0
粘土质粉砂	1	4.0
粘土质砂	1	4.0
粉砂质砂	2	8.0
细中砂	9	36.0
中细砂	8	32.0
合计	25	100.0

图 3.2.2-33　沉积物沉积类型分布图

沉积物的粒度主要受搬运介质、搬运方式及沉积环境等因素的控制，其分布主要受制于泥沙的输入形式和水动力对泥沙颗粒再分配的能力。同样沉积物的粒度参数能够反映海岸动力沉积环境和空间变化的特征。因此粒度参数分析成为揭示沉积环境和判定物质运动方式的主要手段。

根据《海洋调查规范-第 8 部分：海洋地质地球物理调查》中尤登-温德华氏等比制将粒径值转至 φ 值（φ=-$\log_2 d$, d 为 mm 粒径值），采用福克和沃德公式计算沉积物的粒度参数。样品分析结果见表 3.2.2-26。

表 3.2.2-26　项目海区沉积物颗粒分析成果表

采样站点	平均粒径 M_Z（φ）	中值粒径 Md(φ)	分选系数 σi	偏态 S_{ki}	峰态 K_g
L1	2.00	1.97	0.91	-0.33	2.17
L2	2.53	2.31	1.50	-0.54	2.83
L3	1.93	1.97	1.23	0.33	2.43
L4	5.78	6.10	2.58	0.06	0.68
L5	1.06	1.54	1.56	0.44	1.29
L6	1.85	1.89	1.03	0.26	1.76
L7	1.95	1.94	1.48	-0.02	2.59
L8	3.43	2.32	2.47	-0.75	3.15
L9	2.06	2.05	1.64	0.06	3.60
L10	1.88	1.89	1.41	0.18	2.71
L11	1.06	1.52	1.50	0.41	1.36
L12	1.05	1.37	1.37	0.36	1.31
L13	0.85	1.40	1.55	0.44	1.06
L14	0.85	1.40	1.57	0.44	1.06
L15	10.23	10.35	2.09	0.18	0.74
L16	4.01	2.64	2.84	-0.68	0.81
L17	1.22	1.97	2.01	0.52	2.54
L18	1.79	1.95	1.46	0.40	2.43
L19	7.45	7.38	2.44	0.00	0.85
L20	8.24	8.29	1.94	0.07	0.88
L21	4.49	3.16	2.93	-0.63	0.69
L22	8.35	8.24	1.55	-0.08	0.95
L23	4.43	2.51	3.14	-0.79	0.64
L24	1.38	1.90	1.79	0.49	2.29
L25	3.58	2.37	2.49	-0.69	1.13

3.2.2.7.2 220kV 海底电缆路由区表层沉积物类型

在 220kV 海底电缆路由区采集表层沉积物样品 17 个，详细站位信息见表 3.2.2-27 和图 3.2.2-34。对获取的样品进行粒度测试分析，分析方法为激光法。粒度分析的目的是研究沉积物（岩）的粒度大小和粒度分布，它们主要受搬运介质、搬运方式、沉积环境等因素的控制。因此，通过沉积物粒度分析可了解沉积物所处的沉积环境及当时的水动力状况。

沉积物分类命名对阐述沉积物的物质来源、沉积环境具有重要意义。本次分析采用海洋调查规范（GB/T 12763.8-2007/6.3）中推荐的方法对表层沉积物样品进行分类。揭阳靖海海上风电路由区近岸表层沉积物以粘土质粉砂、砂为主，沉积物类型较单一，表明沉积环境相对稳定，主要受波浪和潮流影响。

图 3.2.2-34　表层站位分布图

表 3.2.2-27 表层站位信息

表 3.2.2-28　表层沉积物各组分百分含量和分类命名

样品编号	粒组百分含量				海洋底质调查规范分类	缩写
	砾石	砂	粉砂	粘土		
JHB01	0	5.31	68.58	26.11	粘土质粉砂	YT
JHB02	0	8.66	68.55	22.79	粘土质粉砂	YT
JHB03	0	10.87	68	21.12	粘土质粉砂	YT
JHB04	0	13.37	69	17.62	粘土质粉砂	YT
JHB05	0	17.47	62.47	20.08	粘土质粉砂	YT
JHB06	0	12.04	63.87	24.08	粘土质粉砂	YT
JHB07	0	10.83	62.56	26.6	粘土质粉砂	YT
JHB08	0	10.91	65.02	24.08	粘土质粉砂	YT
JHB09	0	5.33	73.82	20.86	粘土质粉砂	YT
JHB10	0	15.49	66.29	18.22	粘土质粉砂	YT
JHB11	0	17.01	64.63	18.36	粘土质粉砂	YT
JHB12	0	10.47	67.54	22.01	粘土质粉砂	YT
JHB13	3.22	25.5	48.81	22.46	砂-粉砂-粘土（含砾）	STY(G)
JHB14	0	79.15	11.5	9.35	砂	S
JHB15	0	88.39	8.99	2.62	砂	S
JHB16	0.74	82.33	12.9	4.03	砂（含砾）	S(G)
JHB17	0	84.67	11.87	3.47	砂	S

粒度直方图是最常用的粒度分布曲线，能一目了然地表现出样品的粒度变化和各粒级碎屑的百分含量。通常把直方图中突出周围方块之上的高方块称为峰，如果样品只有一个峰，称为单峰；若有两个或两个以上的峰，则称为双峰或多峰。一般情况下，不同沉积环境下形成的沉积物其直方图是有差别的。比如，海滩后滨粒度范围很窄，具有很突出的单峰；河流冲积沉积物粒度分布较宽，峰所在的粒级的百分含量较低，分选不好。

本文选择 3 个代表性表层沉积物站位，绘制粒度直方图。如图 3.2.2-35 所示，B03、B10 站位沉积物为粘土质粉砂，粒径分布范围较宽，集中在 2φ-10φ，单峰所在粒级百分含量较低，分选系数大于 1，分选性差； B16 站位沉积物为砂（含砾），单峰明显，分选系数大于 1，分选性差。各站位沉积物详细粒度参数见表 3.2.2-29.

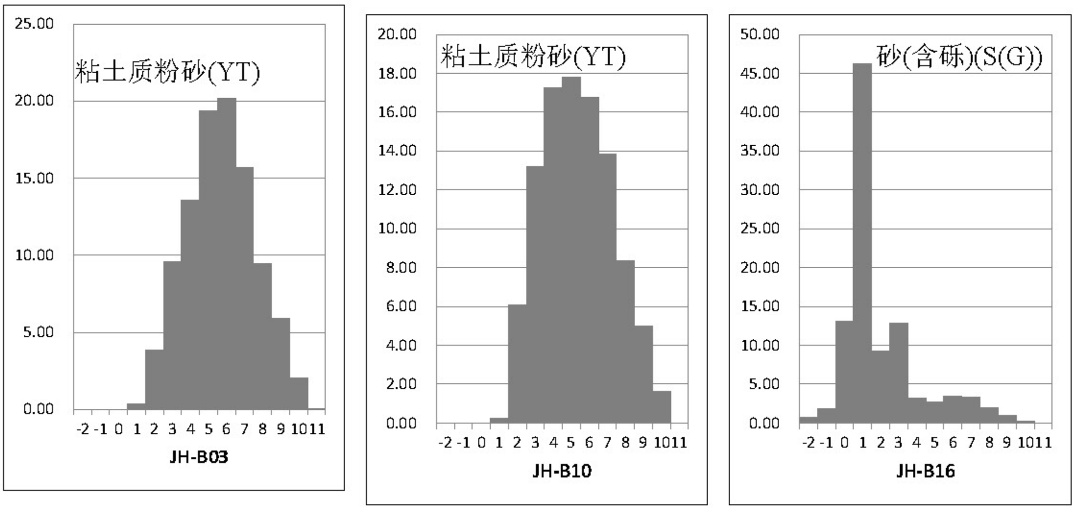


图 3.2.2-35　典型沉积物站位粒度直方图

表 3.2.2-29　　粒度参数一览表

样品编号	粒度参数(φ)				
	平均粒径 M_Z	分选系数 σ_I	偏态 SK_I	峰值 KG	中值粒径 Md
JHB1	6.92	1.75	0.02	1.11	6.90
JHB1	6.92	1.75	0.02	1.11	6.90
JHB2	6.62	1.88	-0.01	1.08	6.64
JHB3	6.41	1.96	0.02	1.02	6.41
JHB4	6.13	1.95	0.06	0.99	6.10
JHB5	6.11	2.14	0.03	0.92	6.14
JHB6	6.54	2.08	-0.04	1.08	6.60
JHB7	6.68	2.06	-0.06	1.04	6.77
JHB8	6.51	2.05	0.01	0.97	6.52
JHB9	6.59	1.72	0.10	1.05	6.50
JHB10	6.06	2.02	0.08	0.92	6.00
JHB11	6.01	2.08	0.06	0.92	5.96
JHB12	6.45	1.99	0.01	1.04	6.43
JHB13	5.47	3.10	-0.30	0.88	6.24
JHB14	3.43	2.42	0.77	1.55	2.13
JHB15	2.79	1.39	0.18	1.38	2.86
JHB16	2.35	1.93	0.57	1.47	1.77
JHB17	2.16	1.81	0.61	2.28	1.61

3.2.3 地形地貌

本项目地形地貌资料包括风电场区和220kV主海缆区。

3.2.3.1 风电场厂址区水深地形

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司对风电场区进行海底地形

测量，测区为风电场场址区，比例尺为1:2000。

测量结果显示：测区海底地形较为平坦，坡度大致为0.07%；测区海域水深从西北到东南整体上呈现由浅到深的趋势，水深最浅区域水深约30.9m，水深最大区域约37.1m，场区平均水深约34.9m。场区水深示意图见下图。

图3.2.3-1　风电场区水深示意图

3.2.3.2 220kV 海底电缆区水深地形

220kV海缆路由海域位于靖海湾和神泉湾外侧海域，神泉湾介于22°47′~22°58′N、116°06′~116°22′E之间，形状近似呈弧形，大部分岸线处于揭阳惠来县地界内。龙江河原入海潮汐通道口（神泉港）居于神泉湾东侧，距离弧形海湾顶约1km，龙江河新开入海口距湾顶约8.8km。神泉湾口门向南开敞，宽度超过20km，海湾风浪遮蔽条件不好。神泉湾岸滩坡度较为平缓，约为1/700。路由近岸段海域附近有礁石分布，其他海域未见岛屿、礁石初露，无沙波分布；水下地貌属冲海积地貌单元。中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司对路由区进行海底地形测量，路由区水深最大约36.6米，路由区水深图见图3.2.3-2。

图 3.2.3-2　220kV 主海缆海图水深地形示意图

3.2.3.3 海床稳定性

3.2.3.3.1 220kV 海缆路由海区冲淤演变

本节海床冲淤分析主要采用中国人民解放军海军海道测量局绘制不同年代的海图资料进行对比，路由近岸段使用图号为 15151 的海图“靖海港至神泉港” 2005 年（1:30000）和 2017 年（1:35000）；路由深水段使用图号为 15110 的海图“表角至田尾角” 2009 年（1:120000）和 2013 年（1:120000），海图基准面统一为理论深度基准面。

图 3.2.3-3 为路由区水下岸坡演变图，通过对比路由区海域 2005 年与 2017 年的 10m、20m 及 30m 的等深线变化可以看出，本海区 10m 以深的水下岸滩坡度较为平缓；近 12 年来路由区 10m 以深的海域等深线变化并不明显，海底地形变化较稳定。路由登陆点附近海岸属于浪控砂质海岸，四周无较大的河流入海，海岸来沙主要为波浪纵向和横向输沙。由于近岸段位于波浪破碎带内，泥沙容易起动，

输运的泥沙颗粒相对较粗；而在波浪破碎的外海，输运的泥沙颗粒相对较细，受季风变化的影响显著。夏季在西南季风作用下，输沙沿岸边向东北方向运移（2013 年 7 月前詹电厂夏季水文观测），冬季在东北季风作用下，输沙沿岸边向西或西北运移进入神泉港（2014 年 1 月前詹电厂冬季水文观测），输沙率约为夏季的 1.5~3 倍。

图 3.2.3-4 为路由登陆点附近水下岸坡演变图。图中显示：2005 年以前，路由海区防波堤、码头、海堤等人工建筑物较少，路由海域等深线分布主要受海岸线的走向影响。沿路由登陆点向海 0m~2m 等深线宽度约 10m，2m~5m 等深线宽度约 140m，5m~10m 等深线宽度约 230m。

从 2005 年起至 2017 年，沿路由登陆点向西北方向的海岸线上相继建成了前詹电厂海堤、粤东 LNG 的海堤、防波堤、码头等人工建筑物，分别距离登陆点约 430m、2.0km、2.1km、2.2km。受此影响，神泉湾弧形海岸以粤东 LNG 右侧岬角为界，沿岸泥沙输运向西北运移受到阻挡，防波堤右侧出现淤积，等深线向外海延伸，防波堤口由于流速增加，产生局部冲刷。同时，由于防波堤的外延切断了西北方向的泥沙输运导致粤东 LNG 码头西侧海域产生冲刷，2m 等深线向岸边推进，在波浪作用下泥沙产生横向输运，0m 等深线向外略有延伸；前詹电厂海堤建成后，岬角以右至登陆点岸线形成了局地小弧形海岸形态，上下岬角之间间隔约 1.2km，受此影响弧形小海湾的 5m 等深线由 S 型调整至与小海湾的岸线平行，沿路由线 0m~2m 等深线宽度变宽约为 120m，2m~5m 等深线宽度约 10m，5m~10m 等深线宽度约 250m。

可以看出相较于 2005 年，沿路由线 0~2m 等深线向外海推进约 110m，2m~5m 等深线宽度则缩短了 130m，5m~10m 等深线变化较小。这表明路由区 0~2m 海域为淤积带，2m~5m 的海域为冲刷带，5m~10m 冲淤变化相对较小。从水动力角度分析，等深线为 2m~5m 为波浪破碎发生的主要区域，在横向输沙作用泥沙向岸堆积所导致的。

未来在登陆点西侧将兴建前詹电厂西、东防波堤及码头，可以预计东防波堤右侧登陆点路由 5m 以浅的近岸段将会发生淤积，由于路由海域缺少泥沙供给，5m~10m 的海域将发生冲刷。根据以往经验，工程建成后海床所需的稳定时间约为 5-8 年。

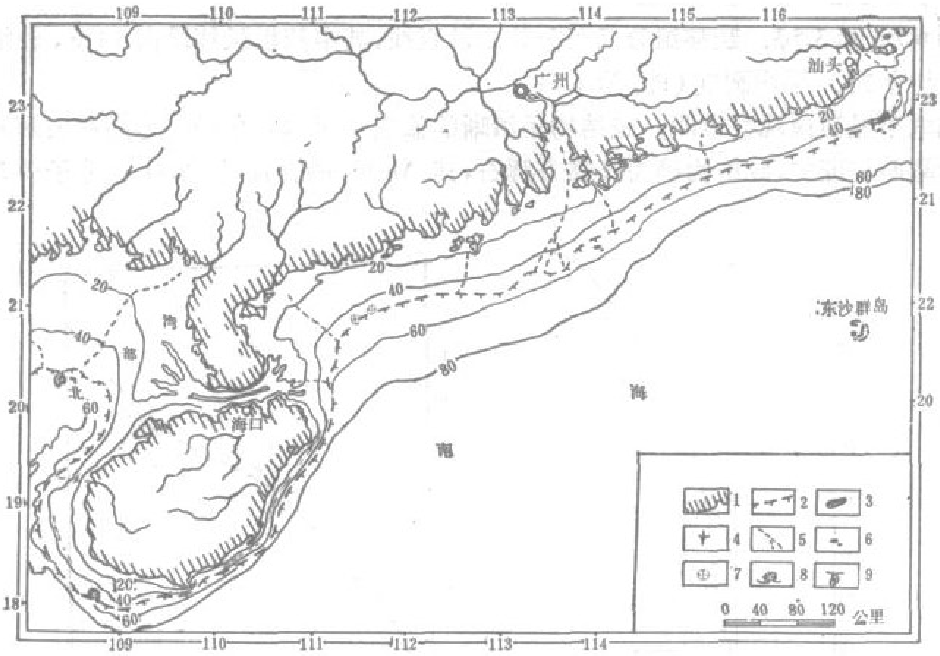
图 3.2.3-3 路由区水下岸坡演变图（2005~2017 年）

图 3.2.3-4 路由登陆点附近水下岸坡演变图（2005~2017 年）

3.2.3.3.2 风电场区海床稳定性分析

风电场区海床稳定性引用自《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场泥沙与海床稳定性分析专题报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 7 月）。

第四纪以来，全球性气候剧烈变化而引起世界洋面相应的升降变动，对华南东部陆架的形成和演变有着深刻的影响。华南沿岸分布的海拔 60-80m、30-50m、15-20m 和 3-5m 的四级海成阶地，以及海蚀遗迹的存在，说明南海北部沿岸至少有四次以上规模较大的海陆相对变迁（冯文科，黎维峰，1994）。



1 现代海岸线；2 -50m 古海岸线；3 沉溺的古海滩岩；4 树叶化石；

5 溺谷；6 砾石；7 红树孢粉；8 古潟湖；9 古连岛坝

图 3.2.3-5 南海北部陆架地貌沉积分类图

调查资料表明，现代韩江带来的陆源物质—浅灰色或灰色粘土质粉砂，仅分布在水深 25m 以内。水深 25m 以外的海底没有或者很少有现代沉积物，而水深 35m 以外的海底却广泛地分布着残留的陆架砂(以中细砂为主，含较多的贝壳碎片)。水流终年为北东向密度流，流向稳定，流幅宽，因受台湾海峡强潮流影响，平均流速超过 1 节（0.51m/s）（赵希涛，1982）。

从潮汐分量来看，M2分潮从巴士海峡西传到116° E附近，然后分成两部分：一部分转向东北，与台湾海峡西传的M2分潮相遇，造成等潮时线非常密集；另一部分转向西北，向珠江口方向传递。在甲子的麒麟山（116°05′54″E，22°49′00″N）以东、石碑山附近（116°29′48″E，22°56′06″N）以西这个海域是M2潮能辐散区，所以振幅最小。而K1、O1分潮则无振幅降低的现象，故潮型系数F值增大（吴伦宇，2015）。

总体上，拟建工程附近海域的属华南沿海内陆架第二级海成阶地，少受陆源泥沙影响，海床泥沙属内陆架残留沙，泥沙偏粗。现阶段，海岸泥沙活动性较弱，主要受陆架水运动影响。

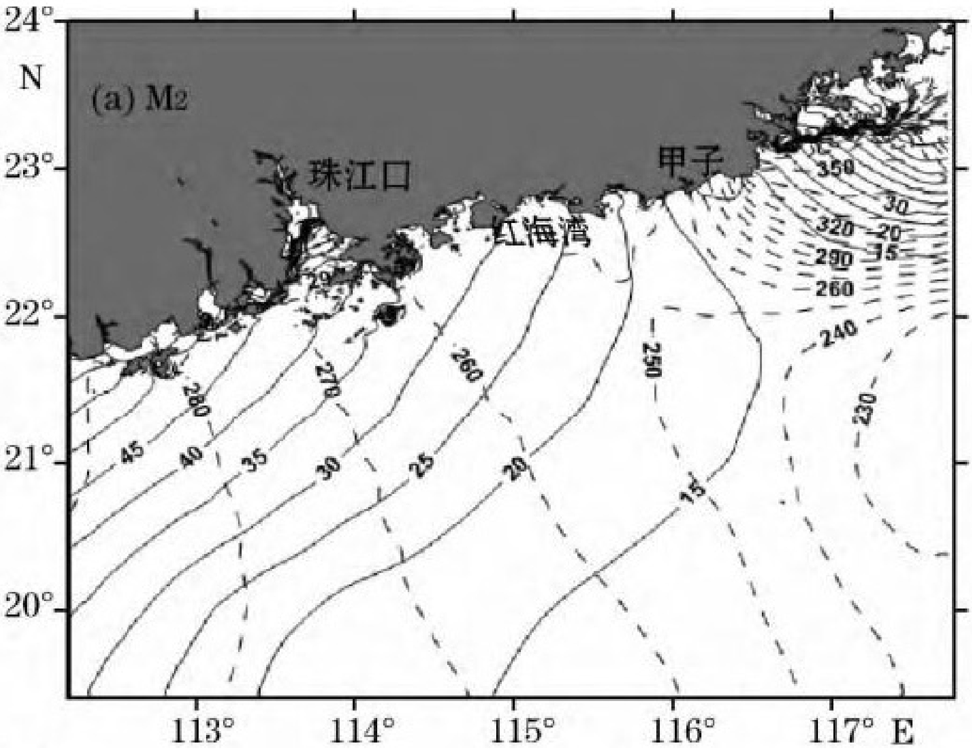


图3.2.3-6　华南沿海M2分潮振幅、等潮时线分布图

根据1970年工程区域海图以及2017年工程海域地形测量的成果,绘制出1970年-2017年间场址海域等深线变化图（见图3.2.3-7），从图上可看出，48年间工程海域工程区域海床高程以冲蚀为主，但强度不大，冲刷深度平均值为2m，平均下降0.04m/a。由于工程海域缺少中间年份的海图资料，进一步收集了本项目周边近岸海域有不同年份的测图地形，用于海床演变分析。图3.2.3-8为靖海港邻近海域2007-2008年测图地形与2011年测图地形等高线比较，等深线在27m以深海域的差别较小，图3.2.3-9为为海门湾邻近海域2003年测图地形与2012年测图地形等

深线比较，等深线在 18m 以深海域的差别就已非常小，由此初步判断，近 15 年来工程周边海域地形变化不大，海床基本稳定。

场址水深在 32~38m 之间，水深较大，而且在海岸周围只有短小河流入海，工程区附近泥沙来源有限，年输沙量较少。周边海床近 15 年来变化较小，水文观测期间的潮流流速较小，深水大浪出现频率不高，波浪和潮流作用下的泥沙运动动力条件较弱。该水域含沙量较低、悬沙细以及沉速较小，工程建设对附近海域床面的冲淤影响较小，工程建设实施后，工程海域的海床基本是稳定的。由此初步判断，工程海域海床处于基本稳定的状态。

由于工程海域历史海图年份久远、比例尺较小、分辨率低，难以精确分析海床的冲淤情况。结合相关文献，工程海域部分海床呈沙波状，但对该海域沙波的特性尚不了解。因此，建议加强对工程海域水动力条件、海床地形地貌的监测，准确评估工程海域的海床稳定性。

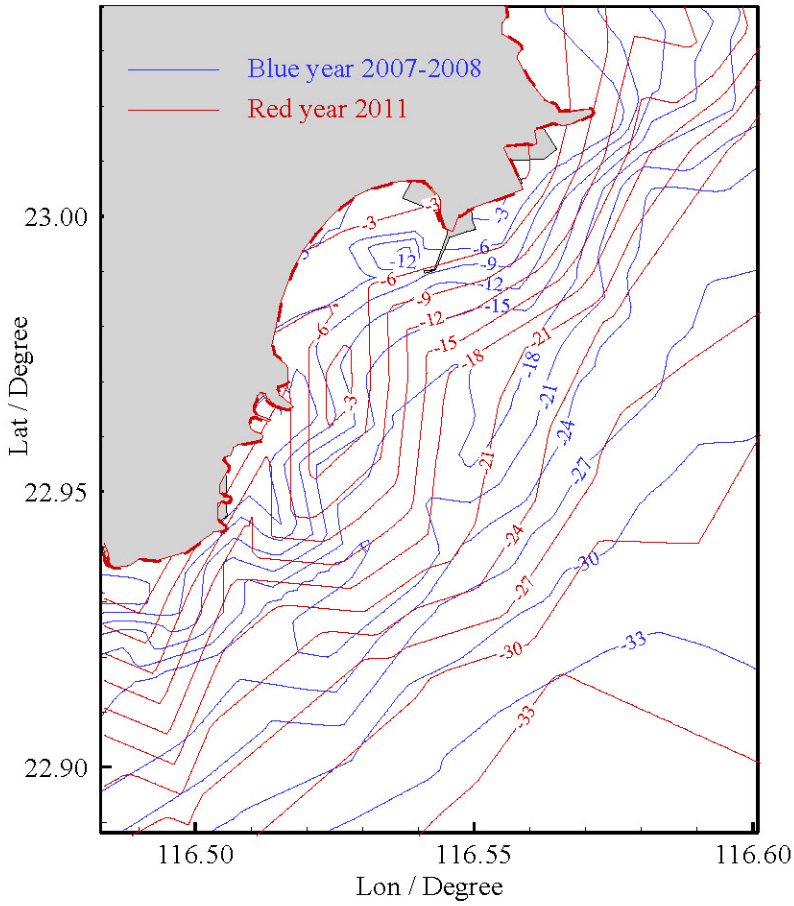


图 3.2.3-7　靖海港邻近海域不同年份海图地形比较

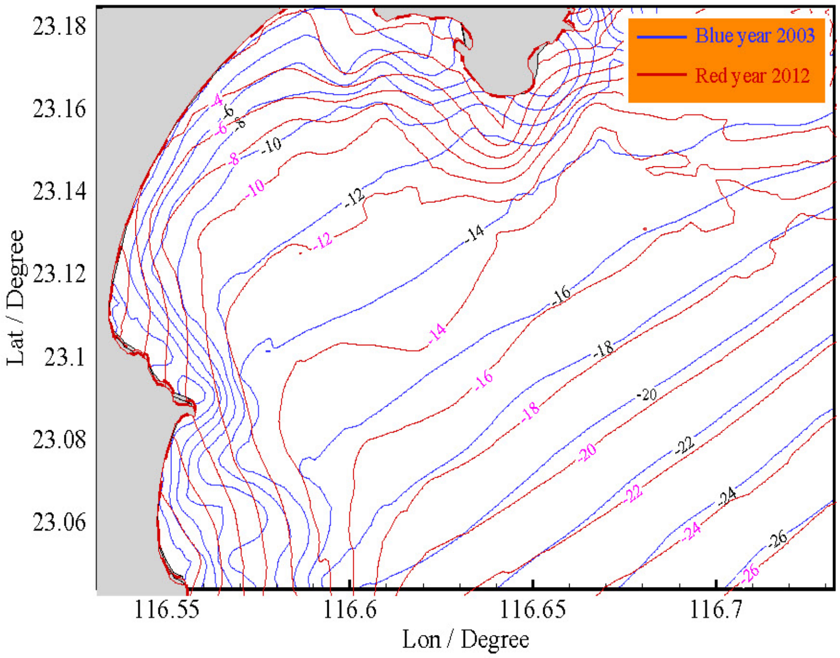


图 3.2.3-8 海门湾邻近海域不同年份海图地形比较

3.2.4 区域大地构造与工程地质

3.2.4.1 区域大地构造

根据区域地质演化、沉积建造及构造发育特点，广东地区在一级构造单元上位于华南加里东褶皱带。对构造单元进一步细分，两风电场区域属粤东—闽东隆起区，区域内断裂广泛发育，北东向最强烈，北西向次之。

拟建风电场场址、陆上升压站附近的区域性深大断裂主要有：(1) 南澳深断裂带（编号(1)）、(2) 汕头—惠来深断裂带（编号(2)）、(3) 高要—惠来深断裂带（编号(9)）、(4) 滨海大断裂（编号⑤）、(5) 普宁大断裂（编号12）、(6) 惠来大断裂（编号13），区域地质构造图见图 3.2.4-1。

图 3.2.4-1　区域地质构造图 (据《广东省地质构造图 1:1800000》)

对各深大断裂特征描述如下：

(1) 南澳深断裂带（编号(1)）

地处粤东沿海前缘的南澳岛，为福建长乐—南澳深断裂带或长乐—厦门深断裂带的一部分，西南方向延入惠来境内，与靖海变质带连接，可能叠加于珠江口外的担杆群岛之上，总体沿 45º—60º 方向延伸，略向东南凸出，广东境内断续延长约 400km。

该带由大致平行的冲断裂、变质带、混合—花岗岩化带所组成，实际上是一条构造、岩浆、变质杂岩带。根据重力和航磁资料：它的东侧是重力高带，西侧是重力低带，莫霍面埋深方面，断裂带恰巧位于东侧上地幔隆起区和西侧上地幔斜坡区的转折线上；从航磁资料表明，该带由三条负磁异常组成，连续性较好。因而，是一条地球物理场的重要分界线。

断裂带所经地段，出露的岩石有晚侏罗世的火山—沉积岩系，花岗岩类，均已遭受了断裂区域变质作用和混合—花岗岩化作用，形成南澳低压型变质岩带，沉积岩系已成为变粒岩，火山岩系成为变质流纹岩和石榴石、绿帘石流纹岩，所见花岗岩已变成片理化、糜棱岩化混合岩，具条带一条纹状构造。该断裂变质带可划分为断裂区域绿片岩相变质亚带、角闪岩相变质亚带。变质作用强度自内陆向沿海逐渐增高，表现为大陆边缘活动带的特征，形成一套高温低压型的红柱石、矽线石变质岩，还有基性岩。混合岩的空间分布有多中心现象。岩石交代作用普遍而强烈，有十多种交代结构，交代作用的类型因地而异，有的以钾交代为主，有的以钠交代为主。由于岩石反复遭受应力的作用，因而压碎、错断、位移、双晶弯曲现象常见。

根据构造特征和沉积相的分析，该断裂带起源于侏罗纪，而以晚侏罗世、早白垩世活动最为强烈，表现在：断裂带控制了晚侏罗世火山岩系的分布，并使这种岩系遭受区域变质作用和混合岩作用；沿断裂带分布的变质交代型混合花岗岩被晚白垩世细粒花岗岩、花岗斑岩所侵入。因此，变质—混合岩化作用的时代应为晚侏罗世之后，晚白垩世之前。推测该断裂最新活动时间为中更新世。

推测该断裂的隐伏部分从风电场西北面通过，距离风电场最近直线距离约为 17 km，距离陆上升压站最近直线距离约为 1km。

(2) 汕头—惠来深断裂带（编号(2)）

该断裂带发育于饶平、汕头、惠来一带。于陆丰甲子镇潜入南海，广东陆地

部分长约 150km，呈 45～50°方向延伸，沿断裂出露基岩广泛发育热变质现象，侏罗系砂页岩、火山岩强烈柔皱和片理化，伴有硅化、劈理化和挤压性透镜体，显示断裂具压性兼剪性。该断裂带形成于燕山运动第三幕，并控制燕山期岩体的分布。以汕头为界，可将断裂分为南、北两段。汕头以北段断裂地貌表现明显，断裂对地貌有控制；断裂不仅控制了第四系厚度分布，对上更新统沉积也有明显控制作用；形变测量断裂两侧有差异沉降；断裂在澄海和汕头发生过 4¾级地震；该段为晚更新世活动断裂。汕头以南段断裂地表形迹不发育；基岩区地表 NE 向断裂形迹均较小且都没有第四纪活动迹象；练江平原内仅存在小规模前第四纪断裂。

该断裂从风电场西北面通过，距离风电场最近直线距离约为 45km，距离陆上升压站最近直线距离约为 23km。

(3) 高要—惠来深断裂带（编号(9)）

该带跨越于北纬 22°40′~23°20′之间，分布于罗定、高要、广州、惠阳、海丰、惠来一线，往东插入台湾浅滩。深断裂带由东西走向的冲断裂、潜伏基底断裂组成，单条长 10—100km，伴随有片理、片麻理、硅化破碎，糜棱岩化带的广泛发育，宽几十米至几百米，并有中、新生代酸性、碱性岩浆的多次喷溢、侵入和构造盆地的发育，还有不同时代褶皱带、隆起、拗陷带的定向分布。断裂带分别被吴川—四会、河源、莲花山深断裂带所分割而出露不甚连续。

在惠阳一海丰一惠来一线，长达 200km 的狭长地带，有一系列东西走向的航磁正异常带，南侧为负值；重力垂向二次导数有异常反映，推测为潜伏的基底断裂所引起，控制了中生代岩浆的多次喷溢和侵入，并以晚侏罗世最为剧烈。基底断裂经过的地段，压碎花岗岩、糜棱岩、硅化，片理化带成群成带分布，宽几十米至 2km。

根据岩相、古地理、古构造资料的分析，高要—惠来深断裂带形成于印支运动，局部地段控制了晚三叠一早侏罗世的沉积。随着燕山运动的来临，该断裂带的活动更为强烈，发生了重熔型和同熔型花岗岩浆喷溢和侵入。追循这条深断裂带，白垩纪、第三纪的罗定加益、高要马鞍—白土、三水、东莞等盆地发育。在三水盆地，西樵山、走马营及钻孔中见到的玄武岩和粗面岩，其同位素年龄值为 64—47Ma，是陆内裂谷微型扩张的产物，它发生于地幔局部隆起的脊部，与超壳深断裂相联系。布格重力异常表现为东西向的重力高带。近时期，现代河流水系循东西向断裂带分布，地热异常相对集中，计有温泉 36 处，热水盆地 1 处，每年

地热释放能量为 721.7TJ，相当于 6.7 级地震释放的能量。全带 M>4 级的地震有 45 次，释放总能量达 8921.4TJ，多集中于沿海地带，是广东地震频度最高的地区之一。地震和地热表现为：东段较强，西段较弱，在温泉、热水盆地分布区，常有小震群重复出现。

该断裂从风电场北面通过，距离风电场最近直线距离约为 28km，距离陆上升压站最近直线距离约为 5km。

(4) 滨海大断裂（编号⑤）

根据已有研究工作（中国地震局地球物理研究所，2006），滨海断裂台湾海峡段不是一条连续的断裂，而是由被一些北西向断裂大致等间距横向分割的、呈北北东向斜列分布的断裂段组成。该断裂带由多条次级断裂斜列组合而成，走向北北东—北东，整体倾向东南，局部倾向北西，倾角较陡，甚至近于直立。滨海断裂是大陆隆起与台湾海峡坳陷盆地的重要分界；新构造期以来断裂活动性较强，晚第四纪以来仍有较强活动；滨海断裂是东南沿海重要的地震活动带，近海的一系列 7～7½级地震都分布在滨海断裂带上。滨海断裂由北向南有平潭海外段、泉州海外段、金门海外段、东山海外段、南澳海外段和汕头海外段等段落，根据前人调查分析结论：滨海断裂汕头海外段具正断性质，最新活动应在早更新世；滨海断裂南澳海外段为第四纪晚期活动断裂。

该断裂从风电场东南面通过，距离风电场最近直线距离约为 25km，距离陆上升压站最近直线距离约为 50km。

(5) 普宁大断裂（编号⑫）

该断裂长期以来均为推测断裂，已有研究工作推测该断裂隐伏于练江盆地的南缘，西端起自普宁以东，东至田心一带，走向北西西，延伸长约 40km。根据“广东省粤东地区核电项目乌屿厂址关键性地震地质问题评价”针对普宁大断裂开展了包括地面地质调查、浅层地震勘探、钻探等多手段综合调查结果（中国地震局地球物理研究所，2006），该断裂在地表基岩出露区内未见断裂形迹；物探及钻探结果表明普宁大断裂沿北西西向延伸隐伏于练江平原第四纪沉积物之下，断裂西段大致位于练江盆地西部普宁—两英之间，由两条规模较大、近于平行的断裂组成，总体表现为正断性质，对第四系底部有控制作用；东段表现为 1 条规模相对较小的断层，为逆断性质，对练江盆地的结构和第四纪地层分布没有控制。普

宁大断裂最新活动时间为中更新世，晚更新世以来不活动。

该断裂从风电场北面通过，距离风电场最近直线距离约为 36km，距离陆上升压站最近直线距离约为 33km。

(6) 惠来大断裂（编号13）

该断裂属河婆—惠来北西向扭压性断裂构造带的中段，走向 315°～340°左右，倾向 50°左右，倾角 65°左右，力学性质扭张性～扭压性。断裂穿行于(J1)地层、(J3)地层及(γ52(3))花岗岩之中，全长约 28km，沿断裂岩石强裂硅化，遭受挤压破碎，矿物晶体模糊，暗色矿物及斜长石常蚀变成绿泥石。沿断裂有石英脉侵入，石英脉沿走向呈锯齿状。断层角砾岩带宽 3～10m 不等。故推断该断裂形成于燕山晚期～喜山期。

该断裂从风电场西北面通过，距离风电场最近直线距离约为 52km，距离陆上升压站最近直线距离约为 40km。

拟建工程场区近区域现代构造活动一般，区域地壳基本稳定，场内无全新世活动断裂通过，风电场及升压站场地与各断裂的最近距离分别为 17km 和 11km，符合《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）(2016 年版)的要求，近区域地震活动水平较弱，可建设风电场及升压站。

3.2.4.2 工程地质

3.2.4.2.1 风电场区工程地质

场址调整后用海单位暂未组织开展调整后场址的岩土工程勘察，暂定在施工图阶段开展详细勘察。风电场区工程地质资料仍引用自《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目可行性研究阶段岩土工程勘测报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院，2018 年 6 月）。

中国能源建设集团广东省电力设计研究院实施本项目风电场区工程地质勘察。本工程外业工作于 2018 年 3 月 24 日正式进场开展外业工作至 2018 年 4 月 30 日结束作业。现场共布置 2 艘作业船，每艘船各布置 1 台 300 型海洋钻机。勘测过程中开展了工程地质钻探、取样、原位测试等外业工作。共完成机械钻孔 6 个，总进尺 512.50m，进行标准贯入试验 241 次，取原状土样 213 件，扰动土样 72 件，水样 6 组。本次勘测主要完成工作量见表 3.2.4-1，钻孔位置示意见图 3.2.4-2。

表 3.2.4-1　海上风电场完成工作量一览表

方　法	工 作 内 容 和 项 目			单位	工作量
工程地质钻探、原位测试及取样	进尺			米/孔	512.50/6
	标准贯入试验			次	241
	取样	土样	原状样	组	213
			扰动样	组	72
		海水水样		组	6
	波速测试			米	170
	土壤电阻率测试			点	170
	海水电阻率测试			点	72

1、岩土层的构成与特征

根据区域地质及钻探结果，风电场钻孔深度范围内主要为全新世海相、海陆过渡相和晚更新世海陆交互相沉积层(Q_4^{m}、Q_4^{m+al}和Q_3^{m+al})。风电场岩土体分层情况见表3.2.4-2，钻孔剖面示意图见图3.2.4-3，钻孔柱状图以JKK04孔示意，见图3.2.4-4。

表 3.2.4-2　工程岩土体分层表

序号	岩土名称	岩土层编号	地层时代及成因
1	淤泥	①	全新世海相沉积(Q_4^{m})
2	粉砂混淤泥	①$_1$	
3	淤泥质土	①$_2$	
4	粉质黏土（软塑）	②$_1$	全新世海陆过渡相沉积(Q_4^{m+al})
5	粉质黏土（可塑）	②$_2$	
6	粉砂	②$_3$	
7	细砂	②$_4$	
8	中砂	②$_5$	
9	粉质黏土（软塑）	③	晚更新世海陆交互相沉积(Q_3^{m+al})
10	粉质黏土（可塑）	③$_1$	
11	粉质黏土（硬塑）	③$_2$	
12	粉砂	③$_3$	
13	细砂	③$_4$	

图 3.2.4-2　钻孔位置示意图

2、岩土层特征

风电场岩土层特征描述如下：

（1）全新世海相沉积层

淤泥(①)：灰黑色，饱和，流塑，质纯，手捏腻滑，含有机质，味臭，局部可见贝壳碎片，粒径 0.2～0.5cm，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为＜1 击（记作 1 击）。该层在钻孔 JKK01、JKK05、JKK06 中有揭露，揭露层厚 3.00m～7.80m，层底面高程为-50.65m～-37.68m，层顶面高程为-43.85m～-34.68m。

粉砂混淤泥(①$_1$)：深灰色，饱和，松散，主要矿物为石英、长石，级配差，混贝壳碎屑，含多量细粒质土，局部呈淤泥混砂状，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 3～11 击。该层在钻孔 JKK01、JKK02、JKK04 中有揭露，揭露层厚 1.00～9.00m，层底面高程为-45.81m～-33.97m，层顶面高程为-41.71m～-31.37m。

淤泥质土(①$_2$)：灰黑色，饱和，流塑，局部软塑，含粉砂颗粒，手捏腻滑，含有机质，味臭，局部可见贝壳碎片，粒径 0.2～0.5cm，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 1～3 击。该层在所有钻孔中均有揭露，揭露层厚为 1.80m～14.60m，层底面高程为-52.82m～-35.77m，层顶面高程为-44.92m～-33.97m。

（2）全新世海陆过渡沉积层

粉质黏土(②$_1$)：深灰色，很湿，软塑，土质黏性一般，韧性中等，含少量有机质，局部可见贝壳碎屑，海陆过渡相沉。该层标准贯入试验实测击数为 3～8 击。该层在 JKK02 和 JKK05 钻孔中均有揭露，揭露层厚为 4.90m～9.15m，层底面高程为-64.65m～-49.67m，层顶面高程为-55.50m～-44.77m。

粉质黏土(②$_2$)：深灰色，湿，可塑，含粉砂颗粒，局部夹粉砂及粉土薄层，土质黏性一般，韧性中等，海陆过渡相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 8～17 击。该层在所有钻孔中均有揭露，揭露层厚为 1.70m～11.20m，层底面高程为-70.71m～-53.05m，层顶面高程为-63.92m～-45.81m。

粉砂(②$_3$)：灰色，饱和，稍密为主，局部松散或中密，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部与黏性土互层，海陆过渡相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 8～25 击。该层在钻孔 JKK01、JKK02、JKK03、JKK04 中有揭露，

揭露层厚为 0.45m～4.10m，层底面高程为-60.41m～-47.08m，层顶面高程为-57.66m～-42.98m。

细砂(②$_4$)：灰色，饱和，中密为主，局部稍密，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部夹黏性土薄层，海陆过渡相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 11～31 击。该层在所有钻孔中均有揭露，揭露层厚为 0.90m～2.45m，层底面高程为-65.70m～-51.17m，层顶面高程为-64.65m～-49.67m。

中砂（②$_5$）：灰色，饱和，中密，主要矿物为石英、长石，级配中等，混多量粗砂和砾石，局部含细粒质土，表现为含细粒土中砂，海陆过渡相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 18。该层仅在钻孔 JKK01 中有揭露，揭露层厚为 1.40m，层底面高程为-48.48m，层顶面高程为-47.08m。

（3）晚更新世海陆交互沉积层

粉质黏土(③)：灰色，很湿，软塑，含粉砂颗粒，局部夹粉砂薄层，土质黏性一般，韧性中等，海陆交互相沉积。该层仅在钻孔 JKK01 中有揭露，揭露层厚为 1.55m，层底面高程为-70.08m，层顶面高程为-68.53m。

粉质黏土(③$_1$)：灰色，湿，可塑，含粉砂颗粒，局部夹粉砂薄层，土质黏性一般，韧性中等，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 11～29 击。该层在所有钻孔中均有揭露，揭露层厚为 1.75m～18.60m，层底面高程为-121.30m～-67.97m，层顶面高程为-119.55m～-58.57m。

粉质黏土(③$_2$)：灰色、灰黄色，稍湿，硬塑，含粉砂颗粒，局部夹粉砂薄层，土质黏性一般，韧性中等，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 22～34 击。该层在钻孔 JKK02、JKK03、JKK04 和 JKK06 中有揭露，揭露层厚为 2.05m～4.40m，层底面高程为-123.07m～-73.87m，层顶面高程为-121.02m～-70.71m。

粉砂(③$_3$)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部与粉土互层，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 31～75 击。该层在钻孔 JKK01、JKK02、JKK03、JKK04、JKK05 中有揭露，揭露层厚为 1.40m～3.90m，层底面高程为-120.85m～-77.77m，层顶面高程为-117.15m～-73.87m。

细砂(③$_4$)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部与粉土互层，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 30～75 击。该层在钻孔 JKK01、JKK04、JKK06 中有揭露，揭露层厚为 2.10m～5.90m，层底面高程为-105.42m～-74.22m，层顶面高程为-102.72m～-69.52m。

中砂(③$_5$)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配中等，混粗砂和砾石，粒径 0.5～1.0cm，局部夹黏性土薄层，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 33～83 击。该层在 JKK02、JKK03、JKK04、JKK05、JKK06 中有揭露，揭露层厚为 0.80m～15.90m，层底面高程为-121.02m～-79.95m，层顶面高程为-115.67m～-77.85m。

粗砂(③$_6$)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配中等～较好，混多量砾石，局部含细粒质土，表现为含细粒土粗砂，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 50～75 击。该层在钻孔 JKK01、JKK02、JKK05 中有揭露，揭露层厚为 3.50m～18.90m，层底面高程为-111.55m～-71.47m，层顶面高程为-102.85m～-67.97m。

砾砂(③$_7$)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配好，磨圆度高，局部含细粒质土，表现为含细粒土砾砂，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 60 击。该层仅在钻孔 JKK02 中有揭露，揭露层厚为 1.90m，层顶面高程为-111.37m，层底面高程为-113.27m。

2、环境水腐蚀性分析评价

风电场风机基础位于海水中，处于长期浸水状态，承台以上结构部分位于海水及其涨落影响区，处于干湿交替状态，海水对桩基结构有可能产生腐蚀。本次勘测共采取 6 组水样，并利用前期测风塔钻孔的 2 组水样进行水质分析。

根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)(2009 年版)第 12.2 有关规定，对海水腐蚀性评价如下：海水对混凝土结构具中等腐蚀性，腐蚀介质为 SO_4^{2-}；对钢筋混凝土结构中钢筋在长期浸水环境下具微腐蚀性，在干湿交替环境下具强腐蚀性，腐蚀介质为 Cl^-。根据《油气田及管道岩土工程勘察规范》(GB 50568-2010)：海水对钢结构具中等腐蚀性。

由于地下水与海水存在较密切的水力联系，地下水对建筑材料的腐蚀性可按海水考虑。

3、环境土层腐蚀性评价

为进行基桩周围土的腐蚀性评价，本次共采取19组代表性样品，综合前期测风塔钻孔8件代表性样品的土壤易溶盐成果进行分析。根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001，2009 年版)分别进行土对混凝土结构、对钢筋混凝土结构中钢筋及对钢结构进行腐蚀性评价，其中软土、黏性土及粉土层按弱透水层考虑，砂土

层按强透水层考虑。

由于本阶段取样孔数及样品数量较少，勘测过程中未能取得①、$②_5$、③以及$③_7$层土样，建议在下一阶段中应加强对上述土层的取样工作，进一步查明各风机机位的岩土腐蚀等级。

桩周土$①_2$、$②_2$、$②_3$、$③_1$、$③_2$、$③_4$、$③_5$、$③_6$层对混凝土结构具弱腐蚀性，腐蚀介质为SO_4^{2-}；桩周土$①_1$、$①_2$、$②_1$、$②_2$、$②_3$、$②_4$、$③_1$、$③_2$、$③_3$、$③_4$、$③_5$层对钢筋混凝土结构中钢筋具中等腐蚀性，腐蚀介质为Cl^-。

4、不良地质作用

风电场附近范围未见海底滑坡、海底崩塌等不良地质作用发育迹象及海底泥流等地质灾害问题。场区不良地质作用主要为软土震陷和饱、饱和砂土液化和浅层气。

（1）软土震陷

本次勘测钻探资料表明，场地软土主要为全新统海积的淤泥和淤泥质土(①、$①_2$)，具有分布广、厚度较大、高压缩性、高灵敏度的特点；多为欠固结、稳定性极差的土体，承载力特征值＜80kPa，因此，在7度地震作用下存在发生震陷的可能。桩基基础设计时应考虑软土震陷、软土固结和下沉对桩身会产生负摩擦力作用的不利影响。

（2）砂土液化

本次勘测钻探结果显示，风电场位置泥面以下20m深度范围内存在时代为全新世(Q_4)的饱和粉砂混淤泥层$①_1$、粉砂$②_3$层、细砂$②_4$层及中砂$②_5$层。根据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)(2016年版)4.3.3条的规定，需进行液化判别。采用理正软件进行液化判别，判别时按抗震设防烈度7度，地震加速度0.15g，最高地下水位高程0m考虑。判别结果显示当发生烈度为7度地震时，场地风电场地段20m深度内$①_1$层粉砂混淤泥层会发生液化，液化等级为中等~严重；$②_3$层粉砂层会发生液化，液化等级为轻微~中等；$②_4$层细砂层局部会发生液化，液化等级为轻微；$②_5$层中砂层局部会发生液化，液化等级为轻微。

按《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）（2016年版），各钻孔不同深度饱和砂土层液化影响折减系数应根据表4.3-18确定，具体为饱和粉砂混淤泥层($①_1$)的实际标贯锤击数/临界标贯锤击数一般小于0.6，深度d_s介于0～10m时，液化影响折减系数取0；饱和粉砂层($②_3$)的实际标贯锤击数/临界标贯锤击数一般小于0.6，

深度d_s介于10～20m时，液化影响折减系数取1/3；饱和细砂层(②$_4$)的实际标贯锤击数/临界标贯锤击数有小于0.6、介于0.6和0.8之间、介于0.8和1.0之间者，深度d_s介于10～20m时，对应的液化影响折减系数分别取1/3、2/3和1；饱和中砂层（②$_5$）的实际标贯锤击数/临界标贯锤击数介于0.8和1.0之间，深度介于10～20m时，对应的液化影响折减系数取1。

进行基础设计时，应根据风机的抗震设防类别、地基土的液化等级，结合具体情况采取相应的措施。由于本阶段钻孔数量较少，下阶段应进一步查明场地砂土层的液化情况。

（3）浅层气

场地内广泛分布淤泥（①）、淤泥质土（①$_2$）和粉质黏土（②$_1$、②$_2$、③$_1$、③$_2$），上述土层含有机质，且局部地段腐殖质含量较高，容易产生沼气并转移赋存于砂土层。在后期桩基施工时应考虑沼气的不利影响，如易造成塌孔等成桩困难，且沼气具易燃性及毒性可危及施工人员安全，遇见沼气应及时采取相应安全保护措施。

5、地基适宜性评价

不同类型的场地土对建（构）筑物具有不同的适宜性，现根据不同场地土的类型分别叙述如下：

1） 软弱土

淤泥、淤泥质土层（①、①$_2$）：土层力学性质差，强度极低，且属高压缩性土，埋藏浅，不能满足地基变形和承载力的要求，不能作为任何建（构）筑物的基础持力层。

粉砂混淤泥层（①$_1$）：土层力学性质差，强度低，水平连续性差，埋藏浅，不能满足地基变形和承载力的要求，不能作为任何建（构）筑物的基础持力层。

软塑状粉质黏土（②$_1$、③）：土层力学性质差，强度较低，水平分布不连续，不能满足地基变形和承载力的要求，不能作为任何建（构）筑物的基础持力层。

2）中软土

可塑状粉质黏土层（②$_2$）：土层力学强度一般，承载力一般，压缩性中等~较高，且埋藏深度不大，不宜直接作为建（构）筑物的基础持力层。

可塑状粉质黏土层（③$_1$）：力学强度一般，承载力一般，压缩性中等，埋藏较深，在承载力及变形满足设计要求的条件下，可考虑作为风机端承摩擦桩持力

层。

稍密~中密状粉、细、中砂层（②3、②4、②5）：土层力学强度一般，承载力一般，压缩性中等，且埋藏深度不大，在发生7 度的地震时，粉、细、中砂层(②3、②4、②5)会发生不同等级的砂土液化，不宜直接作为建（构）筑物的基础持力层。

3）中硬土

硬塑状粉质黏土层（③2）：力学强度和地基承载力较高，压缩性中等，且埋深大，可作为风机桩基持力层。

密实状粉砂、细砂、中砂、粗砂和砾砂层（③3、③4、③5、③6、③7）：土层力学强度较高~高，地基承载力较高~高，压缩性较低~低，且埋深大，可作为风机桩基持力层。

7、基础选型及建议

场地表层分布有全新统海相沉积的流塑淤泥及淤泥质土，该软弱土层分布连续，厚度较大，强度低。而风电场为高耸构筑物，重心高，需承受来着各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，对基础不均匀沉降要求较高，上部土层的承载力和变形均不能满足结构上的要求，故不宜采用天然地基，建议采用桩基础。

根据本次勘察揭露的地层情况及类似工程经验，本项目可供选择的桩型有钢管桩或钻孔灌注桩，应根据上部结构要求和施工条件、经济性等综合选择桩型和桩长。

建议本工程桩基础以除③层的第三大层晚更新统海陆交互相沉积层(③1~③7)作为桩端持力层，且应确保桩端进入持力层一定深度，桩径及桩长需根据竖向及水平方向受力情况确定，具体的桩基设计参数应以试桩报告为准。若采用钢管桩时，桩身需进入或穿越中密~密实砂土层，且局部混砾石，沉桩阻力大，需要选择合适的沉桩设备和沉桩工艺。若采用灌注桩，尚应采取合适的施工工艺，严格控制成桩质量。

图 3.2.4-3(a) 风电场区钻孔剖面示意图

图 3.2.4-3 (b) 风电场区钻孔剖面示意图

图 3.2.4-3(c) 风电场区钻孔剖面示意图

图 3.2.4-3(d) 风电场区钻孔剖面示意图

图 3.2.4-3(e) 风电场区钻孔剖面示意图

图 3.2.4-4(a) 风电场区钻孔柱状示意图

图 3.2.4-4(b) 风电场区钻孔柱状示意图

图 3.2.4-4(c) 风电场区钻孔柱状示意图

图 3.2.4-4(d) 风电场区钻孔柱状示意图

图 3.2.4-4(e) 风电场区钻孔柱状示意图

3.2.4.2.2 220kV海底电缆路由区工程地质

结合区域地质资料和历史资料，以及工程地球物勘察的初步成果，在路由区布设工程地质勘察站位（见图3.2.2-34），勘察内容包括：工程钻探、重力采样、表层沉积物取样，所取得样品安排进行相关的土工测试以及腐蚀性因子测试。对所获取的样品进行现场描述、现场测试以及分样和保存等工作，确保所获取的样品可以满足相应的土工测试以及腐蚀性因子测试。其中沉积物柱状样采集使用重力柱状取样器。按技术要求，沿路由中心测线进行取样，取样间隔约2km。柱状样最多取三次，三次未取到样品时改取表层样，表层样最多取两次。对采集的柱状样进行现场拍照、描述，包括沉积物组成、颜色等，并对细颗粒沉积物进行微型十字板剪切试验。

本次工程地质调查揭露的地层与浅地层剖面地层相吻合，岩土特性自上而下主要分布有淤泥类土、粉土、粉质粘土、砂土及全风化花岗岩等。该区地层岩土特征详细情况如下：

本次柱状样揭露的地层与浅地层剖面地层相吻合，岩土特性自上而下主要分布有淤泥、含淤泥粉砂、含淤泥粗砂、含淤泥砾砂、淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土、粉质粘土、粉土、含粘性土粉砂、含粘性土中砂。该区地层岩土特征详细情况如下：

①层

主要为淤泥、含淤泥粉砂、含淤泥粗砂、含淤泥砾砂、淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土。

淤泥：浅灰色~灰色，饱和，流塑。该层在Z01~Z11站位均有出现，且为主要沉积物。

含淤泥粉砂：灰色，饱和，流塑。该层在Z02、Z03、Z05站位出现。

含淤泥粗砂：灰色，饱和，流塑。该层仅在Z06站位1.0~1.5m处出现。

含淤泥砾砂：深灰色，潮湿，流塑。该层仅在Z10站位1.5~2.5m处出现。

淤泥质粘土：灰色，饱和，流塑。该层在Z05~Z07、Z10、Z11、Z15站位底部出现。

淤泥质粉质粘土：灰色，饱和，流塑。该层在Z03、Z06、Z11站位底部出现。

②层

主要为粉质粘土、粉土、含粘性土粉砂、含粘性土中砂。

粉质粘土：灰色，饱和，软塑~硬塑。该层在Z12~Z15站位均有出现，其中Z13站位粉质粘土中含贝壳碎屑。

含粘性土粉砂：灰色，饱和，硬塑。该层仅在Z15站位0~1m处出现。

含粘性土中砂：灰色，饱和，可塑，含贝壳碎屑。该层仅在Z16站位出现。

图3.2.4-6 钻孔柱状图示意图（JHZ01）

图3.2.4-7 钻孔柱状图示意图（JHZ-3）

图3.2.4-8 钻孔柱状图示意图（JHZ-10）

3.2.5 海洋生态现状

3.2.5.1 调查概况

3.2.5.1.1 调查站位与时间频次

国家海洋局南海调查技术中心委托国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站于 2022 年 3 月 3 日至 3 月 5 日开展了该项目春季海洋生物生态调查工作，包括海洋生物生态站位 14 个，潮间带断面 3 条。具体站位详见表 3.1.1-1，分布图见图 3.1.1-1。

国家海洋局南海调查技术中心委托国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站于 2022 年 9 月 1 日至 3 日开展了该项目秋季海洋生物生态调查工作，包括海洋生物生态站位 12 个，潮间带断面 3 条。具体站位详见表 3.1.1-2，分布图见图 3.1.1-2。

受疫情影响，秋季调查时潮间带生物 C1 站位无法进入开展调查，本报告书同时引用 2021 年 11 月国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站在本项目附近海域进行国家电投揭阳神泉二 350MW 海上风电项目增容项目 3 条断面秋季潮间带生物调查的资料进行分析，2021 年 11 月的潮间带生物调查断面与 2022 年 9 月的调查站位完全一致。根据现场调查，3 次潮间带生物调查所布设的潮间带站位相同，其生境均为沙滩，底质类型境为砂。

3.2.5.1.2 调查项目

海洋生物：叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物。

叶绿素 a：分析水体内叶绿素 a 的质量浓度；

初级生产力：测量水体透明度，根据该处水体内叶绿素 a 的质量浓度计算初级生产力；

浮游植物：分析其种类组成、数量分布和密度、主要优势种，并提供其种类名录；

浮游动物：分析其种类组成、数量分布和密度、主要优势种，并提供其种类名录；

底栖生物：分析其种类组成、数量分布、主要优势种的生物量和栖息密度，并提供其种类名录；

潮间带生物：分析其种类组成、数量分布、主要优势种的生物量和栖息密度，并提供其种类名录。

3.2.5.1.3 调查和分析方法

生态调查按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）进行。

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

叶绿素 a 和初级生产力

叶绿素 a：与海水水质采样层次一致。采集海水样品 1000ml，经 0.45μm 滤膜过滤后放干燥冷藏箱保存，采用分光光度法进行分析，以 mg/m^3 表示。

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

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

P ——初级生产力（mgC/(m^2·d)）；

C_a ——叶绿素 a 质量浓度（mg/m^3）；

Q ——同化系数（mgC/(mgChl-a·h)），取 3.7；

L ——真光层的深度（m）；

t ——白昼时间（h），取 12 小时。

浮游植物

浮游植物样品用浅水III型浮游生物网或小型浮游生物网取样。自底层（距底 1m）至表层垂直拖网取得。

浮游动物

浮游动物样品用浅水I型浮游生物网或大型浮游生物网取样。自底层（距底 1m）至表层垂直拖网取得。

底栖生物

用 0.05m^2 的抓泥斗采泥器采集底栖生物样品，获得泥样经二层套筛冲洗，

上层套筛孔径 1mm，下层套筛孔径 0.5mm。

潮间带生物

定量采样用 25 cm×25 cm×30 cm 采样框取定量样品，先拾取采样框内底质表面的生物，再挖掘至 30cm 深，样品倒入孔径 1mm 的套筛中用海水冲洗，拣出所有样品，装样品瓶编号登记，并用 5%中性福尔马林溶液固定，带回实验室进行样品分析、种类鉴定、生物量的称重及栖息密度的计算；定性采样尽量搜集齐全定量采样站位周围出现的动物、植物，样品冷冻保存后带回实验室种类鉴定、计数。

3.2.5.1.4 样品预处理及保存方法

预处理、保存及监测分析方法按照《海洋调查规范》（GB/T12763.6-2007）、《海洋监测规范》（GB17378－2007）和《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）进行，见表 3.2.5.1-1。

表 3.2.5.1-1　海洋生态及渔业资源调查项目监测分析方法

<table>
<tr><th>序号</th><th>调查项目</th><th>分析方法</th><th>分析仪器/出厂编号</th><th>执行标准</th></tr>
<tr><td>1</td><td>叶绿素 a</td><td>8.2 分光光度法</td><td>UV-2800 紫外可见分光光度计/SQU1411011</td><td rowspan="10">《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB 17378.7-2007</td></tr>
<tr><td>2</td><td>初级生产力</td><td>根据叶绿素 a 同化系数换算</td><td>—</td></tr>
<tr><td>3</td><td>浮游植物</td><td>5.3.2 浮游植物样品的处理与分析；</td><td>Nikon AZ100 生物显微镜/2006789</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">浮游动物</td><td rowspan="2">5.3.3 浮游动物样品的处理与分析</td><td>LEICA M165C 荧光体视显微镜/2006789</td></tr>
<tr><td>MP2002 电子天平/SHP0100278828</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">大型底栖生物</td><td rowspan="2">6 大型底栖生物调查</td><td>OLYMPUS SZ2-ILST 显微镜/7D11885</td></tr>
<tr><td>MP2002电子天平/SHP0100278828</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">潮间带生物</td><td rowspan="2">7 潮间带生物调查</td><td>OLYMPUS SZ2-ILST 显微镜/7D11885</td></tr>
<tr><td>MP2002电子天平/SHP0100278828</td></tr>
<tr><td>7</td><td>鱼类浮游生物</td><td>9 鱼类浮游生物调查</td><td>OLYMPUS SZ2-ILST 显微镜/7D11885</td><td>《海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查》GB/T</td></tr>
</table>

序号	调查项目	分析方法	分析仪器/出厂编号	执行标准
8	游泳动物	14 游泳动物调查	OLYMPUS SZ2-ILST 显微镜 /7D11885	12763.6-2007
			MP2002电子天平/ SHP0100278828	

3.2.5.1.5 分析评价方法

多样性指数、均匀度、丰度和单纯度是生物群落特征数值的研究指标。一般情况下，种类越丰富，种间数量分布越均匀，多样性指数值就越高，也就预示生物群落受外界干扰越少或生物群落较为稳定。一般来说，在水体交错区或稳定成熟发展的水体中，浮游植物的多样性高。本文中计算公式如下：

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

$$P_i = n_i/N$$

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

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

$$C = \mathrm{Sum}\,(n_i/N)^2$$

式中：S 为种类数；C 为单纯度；H'为多样性指数；J'为均匀度；d 为丰富度；n_i 是第 i 个物种的个体数；N 是全部物种的个体数。

对于某一调查海域的优势度，计算公式如下：

$$Y = n_i/N \bullet f_i$$

式中：n_i 为第 i 种的数量；N 为群落中所有种的数量；f_i 为第 i 种在各站出现的频率。

本文定义优势度 Y≥0.02 的种类为优势种。

3.2.5.2 秋季航次海洋生物调查结果

3.2.5.2.1 叶绿素 a

秋季调查共采集 20 个站位的叶绿素 a 样品。各站位叶绿素 a 质量浓度见表 3.2.5.2-1。

各站位表层海水中的叶绿素 a 含量为（0.11～6.16）mg/m^3，均值为 1.23 mg/m^3；中层海水中的叶绿素 a 含量为（0.06～2.94）mg/m^3，均值为 0.50 mg/m^3；

底层海水中的叶绿素 a 含量为（0.05～4.75）mg/m^3，均值为 1.28 mg/m^3。

整体看来，海水中叶绿素 a 含量表现为：底层>表层>中层。因 S01、S04、S07、S09、S11 站位水深小于 25m，未进行中层海水样品采集，在此不予以讨论。

表 3.2.5.2-1　调查海域的叶绿素 a 质量浓度及初级生产力水平

站位	叶绿素（mg/m^3）				初级生产力（mg•C/(m^2•d)）
	表层	中层	底层	均值	
S01	0.98	—	2.21	1.54	555.47
S02	0.54	0.42	1.56	0.66	/
S03	0.32	0.06	0.05	0.14	/
S04	3.74	—	2.38	2.94	969.38
S05	0.28	0.56	0.55	0.46	304.49
S06	0.38	0.34	0.35	0.35	/
S07	2.65	—	3.55	2.98	804.49
S08	0.41	0.81	1.00	0.70	378.59
S09	4.36	—	3.91	4.01	480.50
S10	0.55	0.62	0.66	0.60	375.64
S11	6.16	—	4.75	5.31	636.18
S12	0.22	0.18	0.72	0.29	/
S13	0.61	0.45	0.33	0.47	/
S14	1.93	2.94	2.54	2.50	898.98
S15	0.17	0.18	0.17	0.17	/
S16	0.28	0.25	0.20	0.25	/
S17	0.11	0.11	0.05	0.10	/
S18	0.68	0.33	0.51	0.47	/
S19	0.16	0.12	0.06	0.12	/
S20	0.11	0.06	0.06	0.07	/

站位	叶绿素（mg/m^3）				初级生产力（$mg{\bullet}C/(m^2{\bullet}d)$）
	表层	中层	底层	均值	
最小值	0.11	0.06	0.05	0.07	304.49
最大值	6.16	2.94	4.75	5.31	969.38
均　值	1.23	0.50	1.28	1.21	600.41

注：“——”表示该层未采样。

3.2.5.2.2 初级生产力

本次调查初级生产力见表 3.2.5.2-1。各站位初级生产力范围为（304.49～969.38）$mg{\bullet}C/(m^2{\bullet}d)$，平均值为 600.41 $mg{\bullet}C/(m^2{\bullet}d)$。最大值出现在 S04 站位，最小值出现在 S05 站位。

根据贾晓平等的《海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨》（中国水产科学，第 10 卷第 2 期，2003 年 4 月），将初级生产力水平划分为 6 个等级，见表 3.2.5.2-2。调查海域 4 个站位初级生产力处于超高水平，1 个站位处于高水平，1 个站位处于中高水平，3 个站位处于中等水平。

表 3.2.5.2-2 初级生产力水平分级表

项目	等级					
	1	2	3	4	5	6
水平状况	低水平	中低水平	中等水平	中高水平	高水平	超高水平
初级生产力（$mg{\bullet}C/(m^2{\bullet}d)$）	＜200	200~300	300~400	400~500	500~600	600

3.2.5.2.3 浮游植物

秋季调查共进行了 12 个站位的浮游植物调查。

（1）共鉴定出 3 门 99 种（含变种、变型），详见附录。其中，硅藻种类最多，80 种，占总种类数的 80.81%；甲藻 18 种，蓝藻 1 种。各站位浮游植物种类数的变化范围为 50～78，平均每个站位的种类数为 66 种，最大值出现在 S04 站位，最小值出现在 S12 站位。

（2）各站位浮游植物细胞密度的变化范围为（151.83～7924.38）$\times10^3$ cell/m^3，平均每个站位的浮游植物细胞密度为 2417.29$\times10^3$ cell/m^3，最大值出现在 S04 站位，最小值出现在 S12 站位。

（3）本报告定义优势度 Y≥0.02 的种类为优势种。调查结果显示：浮游植物优势种共 8 种。其中，硅藻 7 种，蓝藻 1 种。菱形海线藻（*Thalassionema nitzschioides*）优势度最大，为调查海区的第一优势种。

（4）调查海域浮游植物单纯度的变化范围为 0.06～0.27，均值为 0.12；多样性指数的变化范围为 2.99～4.73，均值为 4.03；均匀度的变化范围为 0.50～0.81，均值为 0.67；丰富度的变化范围为 2.85～3.53，均值为 3.24。

3.2.5.2.4 浮游动物

秋季调查共进行了 12 个站位的浮游动物调查。

（1）浮游动物经鉴定共有 112 种（包括属以上），分类学上隶属于 13 个类群，详见附录。此次调查中，桡足类最多，31 种，占总种类数的 27.68%；水母类 17 种，占总种类数的 15.18%；被囊类 8 种，多毛类 5 种，翼足类、毛颚类各 4 种，介形类、樱虾类各 3 种；其他类群种类数均不超过 3 种。此外，共鉴定浮游幼体（包括鱼卵仔稚鱼）30 种。各站位浮游动物种类数的变化范围为 55～92，平均每个站位的种类数为 71 种，最大值出现在 S02 站位，最小值出现在 S04 站位。

（2）各站位浮游动物密度的变化范围为（133.48～596.63）ind./m^3，平均每个站位的浮游动物密度为 308.84 ind./m^3，最大值出现在 S02 站位，最小值出现在 S12 站位。

（3）浮游动物优势种共 5 种。其中，桡足类 3 种，枝角类、被囊类各 1 种。锥形宽水蚤（*Temora turbinata*）为第一优势种。

（4）各站位浮游动物生物量的变化范围为（123.12～479.17）mg/m^3，均值为 213.17 mg/m^3。最大值出现在 S02 号站位，最小值出现在 S12 号站位。

（5）各站位浮游动物单纯度的变化范围为 0.06～0.41，均值为 0.19；多样性指数的变化范围为 2.85～4.78，均值为 3.87；均匀度的变化范围为 0.49～0.78，均值为 0.63；丰富度的变化范围为 6.80～9.87，均值为 8.60。

3.2.5.2.5 底栖生物

秋季调查在 12 个站位进行底栖生物定量调查。

（1）在定量样品分析中，调查海域共获底栖生物 7 大类 13 种，详见附录。其中环节动物 5 种，节肢动物 3 种，蠕虫动物、脊索动物、软体动物、棘皮动物、星虫动物各 1 种。

（2）调查海域底栖生物各站位定量样品分析中，平均生物量为 2.51 g/m^2，组成以环节动物为主，其中，环节动物>脊索动物>螠虫动物>棘皮动物>节肢动物>软体动物>星虫动物。平均栖息密度为 11.7 ind./m^2，组成以环节动物、脊索动物为主，其中，环节动物>脊索动物>节肢动物>螠虫动物=棘皮动物=软体动物=星虫动物。

（3）底栖生物优势种共 2 种。其中，环节动物 1 种，脊索动物 1 种。白氏文昌鱼（*Branchiotoma belcheri*）为第一优势种（优势度 0.127），平均栖息密度为 4.5 ind./m^2。

在本次调查的 12 个底栖生物站位中，白氏文昌鱼仅出现在 S13、S15、S16、S17 四个站位，出现频率为 33.33%。其中，S13、S17 站位栖息密度均为 6.7 ind./m^2，生物量分别为 0.20 g/m^2 和 0.33 g/m^2。S15、S16 站位栖息密度均为 13.3 ind./m^2，生物量分别为 1.40 g/m^2 和 2.53 g/m^2。

3.2.5.2.6 潮间带生物

2021 年 12 月潮间带生物调查结果如下：

（1）本次调查潮间带生物监测的定性、定量样品经鉴定共有 2 门 10 种，详见附录。种类组成以软体动物为主，7 种，占总种类数的 70%；节肢动物 3 种。

（2）定量调查中，平均栖息密度为 378.7 ind./m^2，软体动物最高，为 224.0 ind./m^2，节肢动物为 154.7 ind./m^2；平均生物量为 1201.65 g/m^2，节肢动物最高，为 988.27 g/m^2，软体动物为 213.39 g/m^2。水平分布上，潮间带断面生物栖息密度表现为 C3>C1>C2，生物量表现为 C3>C2>C1；垂直分布上，潮间带断面生物栖息密度、生物量均表现为中潮带>低潮带>高潮带。

（3）定性调查中，监测区域潮间带生物共采获生物 2 大类 10 种 286 个。其中，软体动物 7 种 177 个，节肢动物 3 种 109 个。C1 和 C3 潮带种类数表现为低潮带=中潮带>高潮带，C2 潮带种类数表现为低潮带>中潮带>高潮带；C1 潮带生物数量表现为低潮带=中潮带>高潮带，C2 和 C3 潮带生物数量表现为低潮带>中潮带>高潮带。

（4）定性调查中，监测区域潮间带生物的优势种共 6 种。软体动物 4 种，节肢动物 2 种。肯氏隔贻贝（*Septifer keenae*）为该调查区域第一优势种。

（5）定性调查中，潮间带生物各站位种类数的变化范围为 3～7，均值为 6；各站位生物出现数量的变化范围为 15～159，均值为 95；单纯度的变化范围为

0.23～0.58，均值为 0.37；多样性指数的变化范围为 1.05～2.35，均值为 1.85；均匀度的变化范围为 0.66～0.84，均值为 0.75；丰度的变化范围为 0.51～0.88，均值为 0.74。

2022 年 9 月潮间带生物调查结果如下：

（1）本次潮间带生物监测的定性、定量样品经鉴定共有 2 门 9 种，详见附录 IV。软体动物 6 种，节肢动物 3 种。

（2）定量调查中，平均栖息密度为 62.2 ind./m²，节肢动物最高，为 35.1 ind./m²，软体动物为 27.1 ind./m²；平均生物量为 282.91 g/m²，节肢动物最高，为 233.97 g/m²，软体动物为 48.94 g/m²。水平分布上，潮间带断面生物栖息密度表现为：C2>C3，生物量表现为：C3>C2；垂直分布上，潮间带断面生物栖息密度、生物量均表现为：低潮带>中潮带>高潮带。

（3）定性调查中，监测区域潮间带生物共采获生物 2 大类 8 种 177 个。其中，软体动物 5 种 92 个，节肢动物 3 种 85 个。C2 和 C3 潮带种类数表现为：低潮带=中潮带>高潮带；C2 潮带生物数量表现为：中潮带>低潮带>高潮带，C3 潮带生物数量表现为：低潮带>中潮带>高潮带。

（4）定性调查中，监测区域潮间带生物的优势种共 6 种。软体动物 4 种，节肢动物 2 种。肯氏隔贻贝（*Septifer keenae*）为该调查区域第一优势种。

（5）定性调查中，潮间带生物各断面种类数的变化范围为 6～8，均值为 7；各断面生物出现数量的变化范围为 88～89，均值为 89；单纯度的均值为 0.27，多样性指数的均值为 2.20，均匀度的均值为 0.79，丰富度的均值为 0.93。

3.2.5.3 春季航次海洋生物调查结果

3.2.5.3.1 叶绿素 a

春季调查共采集 23 个站位的叶绿素 a 样品。各站位叶绿素 a 质量浓度见表 3.2.5.3-1。各站位表层海水中的叶绿素 a 含量为（0.56～4.67）mg/m^3，均值为 1.69 mg/m^3；中层海水中的叶绿素 a 含量为（0.72～3.91）mg/m^3，均值为 1.77 mg/m^3；底层海水中的叶绿素 a 含量为（0.62～3.63）mg/m^3，均值为 1.56 mg/m^3。整体看来，海水中叶绿素 a 含量表现为：中层>表层>底层。因 2~5、21、25 站位水深小于 25m，未进行中层海水样品采集，在此不予以讨论。

表 3.2.5.3-1　调查海域的叶绿素 a 质量浓度及初级生产力水平

站位	叶绿素（mg/m³）				初级生产力（mg•C/(m²•d)）
	表层	中层	底层	均值	
2	1.02	—	1.29	1.11	133.07
3	1.25	—	0.77	0.97	58.14
4	1.03	—	0.80	0.88	63.30
5	1.61	—	1.07	1.29	216.50
7	0.61	0.72	0.62	0.66	205.71
8	0.78	0.96	0.78	0.85	254.75
9	0.67	0.80	1.19	0.82	255.58
10	0.88	1.21	0.87	1.03	246.95
13	1.48	0.88	1.32	1.13	372.53
14	2.74	1.24	2.46	1.91	363.24
15	2.50	2.84	2.62	2.65	/
18	4.67	2.51	1.48	2.95	1060.94
19	1.97	1.02	1.16	1.33	/
21	1.85	—	1.19	1.49	375.10
22	2.50	2.61	2.17	2.45	734.27
23	1.46	2.79	3.18	2.41	/
24	1.12	0.95	2.29	1.24	/
25	1.32	—	1.01	1.14	170.83
26	1.05	2.21	0.99	1.59	466.99
27	1.97	1.95	1.33	1.82	/
28	0.56	0.73	0.92	0.70	/
29	3.32	3.91	3.63	3.62	/
30	2.46	2.80	2.67	2.63	/
最小值	0.56	0.72	0.62	0.66	58.14
最大值	4.67	3.91	3.63	3.62	1060.94
均　值	1.69	1.77	1.56	1.59	331.86

注：“——”表示该层未采样。“/”表示因监测开展时间为夜间，未进行透明度观测，故该站位不进行初级生产力计算。

3.2.5.3.2 初级生产力

春季调查初级生产力见表 3.2.5.3-1。各站位初级生产力范围为（58.14～1060.94）mg•C/(m²•d)，平均值为 331.86 mg•C/(m²•d)。最大值出现在 18 站位，最小值出现在 3 站位。根据《海洋渔场生态环境质量状况综合评价方法探讨》（贾晓平等，中国水产科学，第 10 卷第 2 期，2003 年 4 月），将初级生产力水平划分为 6 个等级。调查海域 2 个站位初级生产力处于超高水平，1 个站位处于中高水平，3 个站位处于中等水平，5 个站位处于中低水平，4 个站位处于低水平。

3.2.5.3.3 浮游植物

春季调查共进行了 14 个站位的浮游植物调查。

（1）浮游植物共鉴定出 4 门 80 种（含变种、变型），详见附录。其中，硅藻种类最多，57 种，占总种类数的 71.25%；甲藻 18 种，蓝藻 3 种，金藻 2 种。各站位浮游植物种类数的变化范围为 16～33，平均每个站位的种类数为 22 种，最大值出现在 27 站位，最小值出现在 13 站位。

（2）本海域浮游植物密度分布范围在（69.23～23230.58）$\times10^3$ cell/m^3，平均每个站位的浮游植物细胞密度为 2754.15$\times10^3$ cell/m^3，最大值出现在 13 站位，最小值出现在 2 站位。

（3）优势度 Y≥0.02 的种类为优势种。调查海域浮游植物优势种共 2 种，细弱海链藻（*Thalassiosira subtilis*）为调查海区的绝对优势种。

（4）浮游植物 Shannon-Weaner 多样性指数分布范围在 0.11～3.57，平均为 2.34，均匀度的变化范围为 0.03～0.87，均值为 0.53。

3.2.5.3.4 浮游动物

本次调查共进行了 14 个站位的浮游动物调查。

（1）本海域浮游动物经初步鉴定共有 126 种（包括属以上），分类学上隶属于 15 个类群，详见附录。此次调查中，桡足类最多，47 种，占总种类数的 37.30%；水母类 21 种，占总种类数的 16.67%；端足类 8 种，被囊类、毛颚类各 7 种，糠虾类、樱虾类、介形类各 3 种；其他类群种类数均不超过 3 种。此外，共鉴定浮游幼体（包括鱼卵仔稚鱼）20 种。各站位浮游动物种类数的变化范围为 17～51，平均每个站位的种类数为 33 种，最大值出现在 15 站位，最小值出现在 25 站位。

（2）本海域各采样站浮游动物分布不均匀。各站位浮游动物总密度的变化范围为（35.49～416.86）ind./m^3，平均每个站位的浮游动物密度为 165.77 ind./m^3，最大值出现在 15 站位，最小值出现在 25 站位；生物量的变化范围为（41.25～261.60）mg/m^3，均值为 159.35 mg/m^3。最大值出现在 15 号站位，最小值出现在 5 号站位。

（3）Shannon-Weaner 多样性指数 H' 范围为 2.20～3.79，均值为 3.01；均匀度的变化范围为 0.47～0.75，均值为 0.61。

（4）浮游动物优势种共 6 种（类），分别为中华哲水蚤、长尾类幼体、五角水母、叉真刺水蚤、桡足类幼体、肥胖箭虫。其中，桡足类、浮游幼体各 2

种，水母类、毛颚类各 1 种。中华哲水蚤（*Calanus sinicus*）优势度远大于其他优势种，为调查海区绝对优势种。

3.2.5.3.5 底栖生物

本次调查在 14 个站位进行底栖生物调查。

（1）春季定量调查，共获底栖生物 5 大类 8 种，详见附录。其中环节动物 3 种，节肢动物 2 种，棘皮动物、脊索动物、软体动物各 1 种。

（2）春季调查，底栖生物优势种共 3 种。其中，环节动物、节肢动物、脊索动物各 1 种。东方内卷齿蚕（*Aglaophamus orientalis*）为第一优势种。

（3）春季调查，底栖生物的总平均生物量为 3.47 g/m^2，组成以棘皮动物为主，其中，棘皮动物>环节动物>节肢动物>脊索动物>软体动物。平均栖息密度为 14.3 ind./m^2，组成以环节动物、节肢动物、棘皮动物为主，其中，节肢动物>环节动物>棘皮动物>脊索动物>软体动物。

3.2.5.3.6 潮间带生物

（1）春季调查，潮间带生物的定性、定量样品经鉴定共有 4 门 11 种，详见附录。种类组成以软体动物为主，5 种，节肢动物 4 种，环节动物 1 种，绿藻门 1 种。

（2）定量调查中，平均栖息密度为 46.2 ind./m²，软体动物最高，为 27.5 ind./m²，节肢动物为 17.8 ind./m²，环节动物为 0.9 ind./m²；平均生物量为 25.77 g/m²，节肢动物最高，为 17.65 g/m²，软体动物为 7.80 g/m²，环节动物为 0.32 g/m²。水平分布上，潮间带断面生物栖息密度表现为 C1>C2>C3，生物量表现为 C1>C3>C2；垂直分布上，潮间带断面生物栖息密度表现为中潮带>低潮带>高潮带，生物量表现为高潮带>中潮带>低潮带。

（3）定性调查中，监测区域潮间带生物共采获生物 2 大类 9 种 40 个。其中，软体动物 5 种 27 个，节肢动物 3 种 12 个，绿藻门 1 种 1 个。C2 和 C3 潮带种类数表现为低潮带>高潮带=中潮带，C1 潮带种类数表现为中潮带>低潮带>高潮带；C1 潮带生物数量表现为中潮带>低潮带>高潮带，C2 和 C3 潮带生物数量表现为低潮带>高潮带>中潮带。

（4）定性调查中，监测区域潮间带生物的优势种共 4 种。软体动物 3 种，节肢动物 1 种。楔形斧蛤（*Latona cuneata*）为该调查区域第一优势种。

（5）定性调查中，潮间带生物各站位种类数的变化范围为 3～6，均值为 5；

各站位生物出现数量的变化范围为 7～24，均值为 13；单纯度的变化范围为 0.28～0.39，均值为 0.32；多样性指数的变化范围为 1.45～2.13，均值为 1.88；均匀度的变化范围为 0.83～0.91，均值为 0.88；丰度的变化范围为 0.71～1.26，均值为 1.02。

3.2.6 珍稀濒危生物及重要渔业水域

3.2.6.1 海洋保护区

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020）》，项目附近海域的保护区有神泉海洋保护区和前詹海洋保护区。

1、前詹海洋保护区

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020）》，前詹海洋保护区的海域管理要求是 1. 相适宜的海域使用类型为特殊用海；2. 严格按照国家关于海洋环境保护以及自然保护区管理的法律、法规和标准进行管理；3. 禁止炸岛等破坏性活动。生态环境保护要求是 1. 保护龙虾、海龟、鲎及其生境，保护人工鱼礁礁体及礁盘生态系统；2. 加强保护区海洋生态环境监测；3. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

2、神泉海洋保护区

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020）》，神泉海洋保护区的海域管理要求是 1. 相适宜的海域使用类型为特殊用海；2. 严格按照国家关于海洋环境保护以及自然保护区管理的法律、法规和标准进行管理。生态环境保护要求是 1. 保护人工鱼礁礁体及海域生态环境；2. 加强保护区海洋生态环境监测；3. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

3.2.6.2 重要经济生物三场一通道

重要经济生物三场一通道包括产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道。根据农业部 189 号文公布的《中国海洋渔业水域图（第一批）-南海区渔业水域图（第一批）》，本项目所在海域涉及到南海北部幼鱼繁育场保护区和幼鱼幼虾保护区，不涉及产卵场。

图 3.2.5-1 南海中上层鱼类产卵场示意图

图 3.2.5-2 南海底层、近底层鱼类产卵场示意图

图 3.2.5-3 幼鱼幼虾保护区示意图

图 3.2.5-4 南海北部幼鱼繁育场保护区示意图

根据国家农业科学数据共享中心——渔业科学数据分中心公布的数据，本工程所在海域不涉及到索饵场、越冬场和洄游通道。距离最近的索饵场为闽南、粤东近海群系鲐鱼索饵场，闽南、粤东近海鲐鱼群系不作长距离洄游，整个生命过程包括生殖、索饵等基本在闽南、粤东近海渡过。

3.2.6.3 珍稀濒危生物

本项目所在海域及附近海域可能存在印太江豚、宽吻海豚、海龟等海洋珍稀濒危动物的目击记录。根据底栖生物调查结果，本海域存在白氏文昌鱼，属于中国二级野生保护动物。现将其生活习性介绍如下：

1、白氏文昌鱼

秋季调查，在 12 个底栖生物站位中，白氏文昌鱼仅出现在 S13、S15、S16、S17 四个站位，出现频率为 33.33%。其中，S13、S17 站位栖息密度均为 6.7 ind./m^2，生物量分别为 0.20 g/m^2 和 0.33 g/m^2。S15、S16 站位栖息密度均为 13.3 ind./m^2，生物量分别为 1.40 g/m^2 和 2.53 g/m^2。

春季调查，在 14 个底栖生物站位中，14、18、30 号站位发现白氏文昌鱼，出现频率为 21.43%。其中 14 站位栖息密度为 6.7 ind./m^2，生物量 0.33 g/m^2，18 站位栖息密度为 6.7 ind./m^2，生物量 0.53 g/m^2，30 站位栖息密度为 6.7 ind./m^2，生物量 0.73 g/m^2。

白氏文昌鱼隶属头索纲、文昌鱼目、文昌鱼科，中文异名文昌鱼，俗称蛞蝓鱼、海虫、松担物、无头鱼、鳄鱼虫。暖温性海洋鱼类，主要分布于福建厦门市的刘五店，山东的青岛、河北的秦皇岛、广东的汕头和阳江、茂名、湛江等地沿海也时有出现。

主要生活在水质澄清、潮流缓慢、底质为沙的海区，营潜居生活；潜沙时，

倒卧潜入疏松的沙质滩里，然后再把前端露出滩面。盐度低于 15 时不能正常生活，适宜生长的盐度为 21.0～31.6。植物食性，摄食硅藻，主要种类有圆筛藻、小环藻、舟形藻等。以过滤方式取食。

1 龄时部分个体达性成熟，3 龄时全部个体达性成熟；雄雌异体，体外受精。2 龄的成熟雌体，1 年内产卵 2 次，第一次在 6～7 月，第二次在 12 月上旬；3 龄的成熟雌体，年初有部分个体开始产卵，5 月进入产卵高峰期，到了 11 月下旬仍有部分个体在产卵。4 龄个体性腺完全消失，并于每年的 4 月以后全部死亡。

2、印太江豚

印太江豚是鼠海豚科、江豚属的海洋动物。平均体长 1.7 米，体重 70 千克。全身灰黑色，体型较小。头部钝圆，额部隆起稍向前凸起；吻部短而阔，上下颌几乎一样长，吻较短阔。牙齿短小，左右侧扁呈铲形。眼睛较小，很不明显。身体的中部最粗，横剖面近似圆形。背脊上没有背鳍，鳍肢较大，具有 5 指。尾鳍较大，呈水平状。两尾叶水平宽约为体长的四分之一。背的后关部对尾鳍有较明显的隆起鳍，在应该有背鳍的地方生有宽 3-4 厘米的皮肤隆起，并且具有很多角质鳞。

生活于靠近海岸线的浅水区。主要是在沿海水域，包括浅海湾，红树林沼泽，河口和一些大的河流中。喜欢单只或成对活动，结成群体一般不超过 4-5 只。最常见于包括雌性和或成对及其他几个小豚组成的小群。它们一般静静地游泳，很少跳跃，飞溅。食物包括各种鱼类和鱿鱼、章鱼、虾、乌贼等，随着所处的环境不同而改变。

分布于西亚、南亚、东南亚的印度洋西部与东部和西太平洋西部和西北部沿岸海域，西至波斯湾，东至马祖列岛。

印太江豚已列入《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》（IUCN）2017 年 ver3.1——易危（VU），列入《濒危野生动植物种国际贸易公约附录I、附录II 和附录III》（CITES）2019 年版，属于中国二级野生保护动物。

2022 年春季和秋季调查未项目调查海域发现印太江豚。

3、宽吻海豚

宽吻海豚是海豚科宽吻海豚属的一种动物。又叫尖嘴海豚，瓶鼻海豚。主要分布在温带和热带的各大海洋中，包括中国的黄海、渤海等海域。宽吻海豚常在靠近陆地的浅海地带活动，较少游向深海，和所有海豚一样，宽吻海豚长着和鱼

一样的流线型身体。皮肤光滑无毛，体背面是发蓝的钢铁色和瓦灰色，腹部有很明显的凸起。吻较长，嘴短小，嘴裂外形似乎总是在微笑，为中国二级保护动物。雌性宽吻海豚的寿命在 80 年左右，而雄性宽吻海豚由于生活压力更大，不容易过 50 年。

成年宽吻海豚的雌性身长为 1.9 米～2.1 米，体重为 170 千克～200 千克，雄性体长为 2.5 米～3.9 米，体重为 300 千克～650 千克。宽吻海豚的身体为流线型，中部粗圆，从背鳍往后逐渐变细，额部有很明显的隆起。由于额部较大，所以头部吻突的实际长度较短。宽吻海豚的上下颌较长，因此获得了瓶鼻海豚的别名，它真正的鼻孔是头上的喷气孔。宽吻海豚的脸看上去像在微笑。宽吻海豚上下颌每侧各有大型牙齿 21～26 枚，长度为 4～5 厘米，直径为 1 厘米，是海豚科中牙齿最大的一种。宽吻海豚的背鳍为三角形，略微后屈，位于体背的中部附近。尾鳍和背鳍由致密的结缔组织构成。鳍肢基部宽，梢端尖。宽吻海豚依靠上下摆动尾鳍来前进。体侧的胸鳍用来控制方向。鳍肢的位置很靠前。胸鳍中含有和其它鲸目一样在五千万年前进化过来的骨胳，这些骨胳和在陆地上生活的哺乳动物的前肢同源。

宽吻海豚通常的游速为每小时 5～11 千米；在短时间内，游速最高可以达到每小时 70 千米。宽吻海豚的食物主要包括带鱼、鲅鱼、鲻鱼、沙丁鱼等群栖性的鱼类，偶尔也吃乌贼或蟹类，以及其他一些小动物。

宽吻海豚分布于大西洋、印度洋、南太平洋、地中海、黑海、红海等温带和热带海洋中。在中国主要分布在渤海、黄海、东海、南海、香港、和台湾海峡等海域。

2022 年春季和秋季调查未项目调查海域发现宽吻海豚。

4、海龟

海龟隶属龟鳖目、海龟科、海龟属。广布于大西洋、太平洋和印度洋。中国海龟北起山东、南至北部湾近海均有分布。长可达 1 米多，寿命最大为 150 岁左右。头顶有一对前额鳞。四肢如桨，前肢长于后肢，内侧各有一爪。头、颈和四肢不能缩入甲内。为国家二级保护动物。海龟适应在水中生活，四肢变成鳍状，利于游泳。一般仅在繁殖季节离水上岸。雌龟将卵产在掘于沙滩的洞穴中。

海龟以鱼类、头足纲、甲壳纲动物及海藻为食。4—10 月为繁殖季节，雌、雄海龟常在礁盘或沿岸水域交配，交尾时间长达 3—4 小时，交配后雌龟于晚间

爬上岸边沙滩掘坑产卵，先以前肢挖一深度与体高相当的大坑，伏于坑内，再藉后肢交替动作挖一口径 20cm、深 50cm 左右的“卵坑”，产卵于坑内，产卵一般在夜晚 10 时至翌晨 3 时进行，卵产毕后，将卵坑用沙覆盖后离滩返海。每年可产卵 23 次，每产 91—157 枚，多可达 238 枚。卵白色，圆球形，卵壳革质而韧软，卵径 35—58mm。孵化期 30 一 90 天，通常 45—60 天，幼龟自出壳即爬归海水中生活。

海龟生活于亚热带近海上层，终身生活于海洋中。大多数海龟居住在沿岸的浅滩水域，有些种类的海龟冬季居住在食物丰富的水域，到了季产卵季节会作一次长途迁徙。食性很杂，以鱼类、头足纲动物、甲壳动物、软体动物以及海藻等为食。主要分布于太平洋、大西洋及印度洋中的温暖海域。我国广东省惠东、海南的西沙群岛沿岸均为海龟产卵繁殖地。

海龟被列入《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》（IUCN 2004 年 ver 3.1）——濒危（EN），列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》（CITES）——附录I，列入《中国国家重点保护野生动物名录》—— I级，列入《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷》（爬行类）——极危（CR）。

2022 年春季和秋季调查未项目调查海域发现宽吻海豚。

3.2.7 鸟类及其栖息地

3.2.7.1 调查方法

为了解本工所在区域的鸟类资源现状，建设单位委托原广东省生物资源应用研究所（广东省动物研究所）按照《海上风电工程环境影响评价技术规范》要求在工程海域开展鸟类现状调查。

本报告引用《揭阳靖海海上风电场项目鸟类现状调查及评价专题报告》（广东省生物资源应用研究所，2018 年 7 月）分析本项目海上风电场区域的鸟类资源情况和评价。

1、调查范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014 年 4 月），鸟类生态环境现状调查范围应至少涵盖工程边界线（红线）向外扩展 8km 区域，并视受保护鸟类受影响程度适当增加。结合本项目实际情况，调查范围以下图绿

线区域为主，辅以距离风电场最近的揭阳陆地海岸线（浅蓝色线区域）近 3 年鸟类现状调查资料（由本单位提供）。其中绿线区域需开展一个连续完整季节周期的鸟类现状调查，生境主要为浅海区域，又以红线范围内的项目场址为重点调查区域。样线布设如图黄色线所示。每季度调查一次上述区域内的鸟类物种及其栖息地生态环境现状。

本次场址范围虽然发生调整，但调整后的场址与原场址仍处于邻近海域，原调查外扩范围已基本包含调整后的场址，有关鸟类及其栖息地类型基本一致，因此未重新进行鸟类及其栖息地调查。

图 3.2.7-1　靖海海上风电场鸟类生态环境调查范围示意图

2、调查内容

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

3、调查时间与频次

依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（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，由现有资料未发现区域内有鸟类迁徙地、繁殖地、越冬地分布，因此制定调查频次为每季度 1 次，以 2017 年 11 月、2018 年 1 月、4 月和 6 月（秋、冬、春、夏四季）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 400 m 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。

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，主要以周边小型岛屿及场址端点、测风塔为重点选择对象。通过望远镜调查岛上栖息鸟类。

3）繁殖鸟类调查法

在调查区域内发现具有繁殖和育雏行为的主要种类为岩鹭和黑鸢，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。

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

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

6、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。

3.2.7.2 区域概况分析

1、鸟类种类特征

本次调查共记录鸟类66 种，隶属10 目28 科（附录一表）。优势类群为雀形目PASSERIFORMES（30 种），其次为鸻形目（CHARADRIIFORMES）16 种。由于本调查主要调查地为海上和沿岸湿地区域，湿地水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分。湿地水鸟是指在生态上依赖于湿地，即某一生活史阶段依赖于湿地，且在形态和行为上对湿地形成适应特征的鸟类。根据Howes 等（1988）对水鸟的定义，广义的水鸟包括鸊鷉科(Podicipedidae)、鹭科(Ardeidae)、鸭科(Anatidae)、秧鸡科(Rallidae)、反嘴鹬科(Recurvirostridae)、鸻科(Charadriidae)、鹬科(Scolopacidae)、燕鸻科(Glareolidae)、鸥科(Laridae)、燕鸥科(Sternidae)、翠鸟科(Alcedinidae)等鸟类，其他统称为陆生鸟类。按上述定义，本次调查的鸟类中，水鸟有28 种，其他38 种为陆生鸟类种，主要为各种生境广泛分布的广布种以及多数在湿地活动的湿地依赖种类。按主要居留型划分，留鸟共有37 种，迁徙鸟共29 种，其中冬候鸟17 种，迁徙过境鸟4 种，夏候鸟8 种，可以看出在本区域越冬的物种比较多。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有55 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有13 种，主要包括苍鹭（*Ardea cinerea*）、大白鹭（*Ardea alba*）、白鹭（*Egretta garzetta*）、牛背鹭（*Bubulcus ibis*）、池鹭（*Ardeola bacchus*）、夜鹭（*Nycticorax nycticorax*）、西伯利亚银鸥（*Larus vegae*）、红嘴鸥（*Larusridibundus*）、普通燕鸥（*Sterna hirundo*）、白额燕鸥（*Sterna albifrons*）、褐翅燕鸥（*Sterna anaethetus*）、灰翅浮鸥（*Chlidonias hybridus*）、白翅浮鸥（*Chlidoniasleucopterus*）；国家重点保护陆生动物中的二级保护动物的有5 种，包括岩鹭（*Egretta sacra*）、黑鸢（*Milvus migrans*）、普通鵟（*Buteo buteo*）、褐翅鸦鹃（*Centropus sinensis*）和小鸦鹃（*Centropus bengalensis*）；列入国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物49 种；列入IUCN 红皮书的有两种，分别为灰尾漂鹬（*Heteroscelus brevipes*）和红颈滨鹬（*Calidris ruficollis*），均属于近危（NT）级别；列入CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种两种，为黑鸢和普通鵟。《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录（以下简称中日候鸟保护协定）和《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录（以下简称中澳候鸟保护协定）是中国分别和日本、澳大利亚签订的有关候鸟保护的协定，目的是尽力减

少对两国间候鸟所到之主要地区的伤害。本地区中，属于中日候鸟保护协定的有20 种，中澳候鸟保护协定种类有16 种，详见附录。

2、鸟类数量概况

数量方面，共记录鸟类3598 只次。其中，以红嘴鸥数量最多，全年共观察到1230 只次，占总调查数量的34.2%，其次为白鹭387 只次，占10.8%，这两种是本次调查的优势种。常见种（占总数量1%—10%）有15 种，分别为家燕（*Hirundo rustica*）、灰翅浮鸥、池鹭、白额燕鸥、大白鹭、普通鸬鹚（*Phalacrocoraxcarbo*）、环颈鸻（*Charadrius alexandrinus*）、白头鹎（*Pycnonotus sinensis*）、麻雀（*Passer montanus*）、灰背椋鸟（*Sturnia sinensis*）、夜鹭、褐翅燕鸥、八哥（*Acridotheres cristatellus*）、白喉红臀鹎（*Pycnonotus aurgaster*）、鹊鸲（*Copsychussaularis*）。可见在本调查区域红嘴鸥优势度十分明显，其中单点单次记录超过500 只。居留型方面，数量最多的是冬候鸟，占总调查数量的42.8%，种类最多的留鸟其数量占总调查数量的36.0%，迁徙过境鸟和夏候鸟分别占1.3%和20.0%。

《国际重要湿地公约（Ramsar）》对重要湿地的评价标准中有这样一条："如果一块湿地定期栖息有一个水禽物种或亚种某一种群1%的个体，就应被认为具有国际重要意义"。生态专家认为，水鸟栖息具有混群性，占全球种群数量1%以上的水鸟物种，往往可以作为同类水鸟的代表物种，反映整个水鸟的丰富程度，从而反映栖息地的生态环境质量。因此，国际上通常将鸟类的丰富程度作为衡量一个地区生态环境质量优劣的重要标志。本项目所调查鸟类物种的全球种群数量1%数量估计来自于湿地国际的水鸟种群数量估计（Wetlands International 2016）。

经对比分析，项目用地和周边区域没有记录到单次鸟类调查数量超过占全球种群数量1%以上的物种。除红嘴鸥外，基本没有鸟类大量集群的记录，而红嘴鸥在全球数量丰富，本次单点最大记录不到全球种群数量的0.5%。

表 3.2.7-1　调查区域水鸟种群数量与全球种群 1%数量对比

目	科	种	学名	1%标准	调查最大值
鸊鷉目	鸊鷉科	小鸊鷉	*Tachybaptus ruficollis*	10000	7
鹈形目	鸬鹚科	普通鸬鹚	*Phalacrocorax carbo*	1000	83
鹳形目	鹭科	苍鹭	*Ardea cinerea*	10000	6
		大白鹭	*Ardea alba*	1000	53
		白鹭	*Egretta garzetta*	10000	113
		岩鹭	*Egretta sacra*	10000	9
		牛背鹭	*Bubulcus ibis*	10000	20
		池鹭	*Ardeola bacchus*	10000	73
		夜鹭	*Nycticorax nycticorax*	10000	40
鸻形目	鸻科	环颈鸻	*Charadrius alexandrinus*	1000	60
		铁嘴沙鸻	*Charadrius leschenaultii*	790	17
	鹬科	青脚鹬	*Tringa nebularia*	1000	1
		翘嘴鹬	*Xenus cinereus*	500	1
		矶鹬	*Actitis hypoleucos*	500	4
		灰尾漂鹬	*Heteroscelus brevipes*	440	6
		翻石鹬	*Arenaria interpres*	1000	8
		红颈滨鹬	*Calidris ruficollis*	3200	11
		青脚滨鹬	*Calidris temminckii*	1000	20
	鸥科	西伯利亚银鸥	*Larus vegae*	610	26
		红嘴鸥	*Larus ridibundus*	20000	799
	燕鸥科	普通燕鸥	*Sterna hirundo*	10000	12
		白额燕鸥	*Sterna albifrons*	1000	147
		褐翅燕鸥	*Sterna anaethetus*	10000	31
		灰翅浮鸥	*Chlidonias hybrida*	1000	159
		白翅浮鸥	*Chlidonias leucopterus*	10000	5

3.2.7.3 各季节调查结果详述

1、2017 年 11 月调查情况

2017 年11 月为秋季调查，本次调查共记录鸟类38 种，隶属9 目25 科。优

势类群为雀型目，有18 种。水鸟16 种，其余22 种为陆鸟。数量上，共记录758只次，优势种为红嘴鸥和白鹭，数量分别占该月调查总数量的56.9%和10.3%。常见种为池鹭、大白鹭、青脚滨鹬、普通鸬鹚、麻雀（*Passer montanus*）、家燕（*Hirundo rustica*）、西伯利亚银鸥等7 种，共占当季调查数量的21.1%。居留型方面，本月以留鸟为主，共有25 种在本地区有留鸟种群，10 种在本地区有冬候鸟种群，夏候鸟和迁徙过境鸟分别有2 种和1 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上则是冬候鸟占优，占总数量的64.6%，迁徙过境鸟鸟最少，占0.5%。可以看出在该季节已经有较多越冬种类到达本地，尚有少量夏候鸟未迁离。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有33 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有7 种，主要包括苍鹭、大白鹭、白鹭、池鹭、西伯利亚银鸥、红嘴鸥、灰翅浮鸥；国家重点保护陆生动物中的二级保护动物的有5 种，包括岩鹭、黑鸢、褐翅鸦鹃和小鸦鹃；列入国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物28 种；没有列入IUCN 红皮书的物种；列入CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种1 种，为黑鸢。属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有8 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有7种。

2、2018 年 1 月调查情况

2018 年1 月为冬季调查，本次调查共记录鸟类34 种，隶属8 目19 科。优势类群为雀型目，有18 种。其中水鸟14 种，其余20 种为陆鸟。数量上，共记录1177只次，优势种为红嘴鸥，数量占该月调查总数量的67.9%。常见种为白鹭、普通鸬鹚、大白鹭、西伯利亚银鸥、池鹭、暗绿绣眼鸟（*Zosterops japonicus*）、环颈鸻等7 种，共占当季调查数量的24.5%。居留型方面，留鸟种类最多，有22 种。候鸟共有17 种，其中冬候鸟种群占11 种，夏候鸟和迁徙过境鸟分别有6 种和0 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上则是冬候鸟占绝对优势，占总数量的79.7%，没有纯过境的种类。可以看出在该季节在本区域的候鸟以集大群形式聚集，数量优势十分明显。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有27 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有6 种，包括苍鹭、大白鹭、白鹭、池鹭、西伯利亚银鸥、红嘴鸥；国家二级保护动物的有2 种，包括岩鹭和普通鵟；列入国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物24 种；没有列入IUCN 红皮书的物种；

列入CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种1 种，为普通鵟。属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有7 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有5 种。

3、2018 年 4 月调查情况

2018 年4 月为春季调查，本次调查共记录鸟类38 种，隶属8 目20 科。优势类群为雀型目，有16 种，鸻形目有12 种。其中水鸟17 种，其余21 种为陆鸟。数量上，共记录857 只次，优势种为灰翅浮鸥、家燕和白鹭，数量分别占该月调查总数量的18.6%、16.9%和12.8%。常见种为池鹭、灰背椋鸟、夜鹭、褐翅燕鸥、白头鹎、八哥、牛背鹭、麻雀、鹊鸲、铁嘴沙鸻、白喉红臀鹎、普通燕鸥、红颈滨鹬、环颈鸻、小白腰雨燕（*Apus nipalensis*）、白鹡鸰（*Motacilla alba*）等16 种，共占当季调查数量的43.4%。居留型方面，留鸟种类最多，有22 种。候鸟共有16 种，其中冬候鸟种群占6 种，夏候鸟和迁徙过境鸟分别有6 种和4 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留鸟数量最多，占总数量的35.9%，其次为夏候鸟。可以看出在该季节以留鸟为主，已有部分夏季繁殖鸟到达开始进行营巢繁殖。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有34 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有9 种，包括白鹭、牛背鹭、池鹭、夜鹭、普通燕鸥、白额燕鸥、褐翅燕鸥、灰翅浮鸥、白翅浮鸥；国家二级保护动物的有2 种，包括岩鹭和黑鸢；列入国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物32种；列入IUCN 红皮书的物种有两种，为灰尾漂鹬和红颈滨鹬；列入CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种1 种，为黑鸢。属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有14 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有14 种。

4、2018 年 6 月调查情况

2018 年6 月为夏季调查，本次调查共记录鸟类32 种，隶属7 目19 科。优势类群为雀型目，有15 种，鸻形目有7 种。其中水鸟14 种，其余18 种为陆鸟。数量上，共记录806 只次，优势种为白额燕鸥、白鹭和家燕，数量分别占该月调查总数量的18.2%、14.0%和13.5%。常见种为灰翅浮鸥、环颈鸻、池鹭、白头鹎、麻雀、灰背椋鸟、八哥、褐翅燕鸥、白喉红臀鹎、鹊鸲、夜鹭、白鹡鸰（*Motacillaalba*）、

普通燕鸥、大白鹭、牛背鹭等15 种，共占当季调查数量的46.3%。居留型方面，留鸟种类最多，有21 种。候鸟共有11 种，其中冬候鸟种群占2 种，夏候鸟和迁徙过境鸟分别有7 种和2 种，其中部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留鸟数量最多，占总数量的46.2%，其次为夏候鸟，占43.8%。可以看出在该季节留鸟和夏候鸟占主要组成部分，进入繁殖盛期。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有30 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有9 种，包括苍鹭、大白鹭、白鹭、牛背鹭、池鹭、夜鹭、普通燕鸥、白额燕鸥、褐翅燕鸥、灰翅浮鸥；国家二级保护动物的有1 种，为岩鹭；列入国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物29 种；列入IUCN 红皮书的物种有1 种，为灰尾漂鹬；没有列入CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种。属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有11 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有10 种。

5、季节动态综合分析

从鸟类种类上看，调查区域的鸟类物种数季节差异不大，以春季种类最多，夏季最少，但从物种组成来说，存在季节性更替。数量方面则存在较明显的季节异，以冬季数量占优，各种居留型中以也以冬候鸟数量分布最集中。以下通过不同尺度的物种多样性分析物种季节动态变化。

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）。春秋季物种最为丰富，其中春季物种多样性最高，夏季则是均匀度最高的季节。冬季由于部分物种数量优势明显，导致物种多样性和均匀度降低。

β多样性指沿环境梯度不同生境群落之间物种组成的相异性或物种沿环境梯度的更替速率，也被称为生境间的多样性(between habitat diversity)。控制β多样性的主要生态因子有土壤、地貌以及干扰等。表5 结果显示冬-春季节和夏-秋季节之间的鸟类物种相似度较高。其余季节间的相似度在0.4-0.6 之间，即有超过40%的物种发生季节变化，物种更替速率较高。

3.2.7.4 海域鸟类现状

风电场所在区域以及周边8 km 缓冲区域内均为浅海海域，调查主要通过乘船沿样线观察，期间仅发现极少量燕鸥科鸟类飞行。将调查范围扩展至沿岸浅海海域，则在海域中共发现鸟类4 目目6 科13 种，共1490 只次，以红嘴鸥为主，其中绝大多数个体在离岸2 km 范围内发现。

鸥科和燕鸥科鸟类是在海面活动较多的种类，这类鸟类喜集群在海面低空飞行觅食，也会跟随渔船尾部啄食被海浪翻滚至水面的鱼类，秋冬季以鸥科鸟类为主，其中红嘴鸥数量较多，在多个港口有集群活动，春夏季以燕鸥科鸟类为主，还发现有鸻形目鸟类在水面停留。普通鸬鹚也是冬季记录到会在海上活动的鸟类，主要在海边岩石上集群栖息。岩鹭主要位于近岸的岩礁海岸，多在岩岸周边低空开展飞行活动，并不飞出外海，大白鹭和白鹭则广泛见于各种海岸、农田，偶见有在近岸海面飞行。

保护状况方面，岩鹭、黑鸢和普通鵟是主要的保护物种，属于国家二级保护动物。鹭科、鸥科和燕鸥科的鸟类属于广东省重点保护陆生动物，主要分布在多个港口和渔船停靠点。

3.2.7.5 沿岸鸟类现状

本区域多为岩礁海岸，泥质滩涂稀少，有部分沙质海滩，其中部分为度假休闲区域，加上多个渔港码头，总体上人为活动较多，适宜鸟类分布和活动的海岸不多。主要有一些喜在岩礁栖息的种类，如岩鹭、翻石鹬（*Arenaria interpres*）等。在近海分布较多的红嘴鸥也常到岸边停歇，而大型的银鸥则较少到岸上停留。四季调查共记录近岸鸟类10 目28 科62 种，占总调查种类的93.9%。数量方面记录到2108 只次。

根据在广东沿海开展的迁徙水鸟分布调查，结果显示距离项目场址超50 公里远的汕头海岸湿地，和超过90 公里远的汕尾海丰是鸟类保护区和迁徙鸟类主要集中分布地，其种类分别达到203 种和243 种，数量每年均上万计，本区域和这两处鸟类栖息地相比，可供鸟类觅食的滩涂湿地较少，因此种类和数量均远小于以上两处地区，可以认为本地区不是沿海迁徙鸟类的主要途径地。

3.2.7.6 鸟类迁飞路线与飞行高度分析

风力资源的地理分布大多与鸟类迁徙通道相重叠，尤其在我国，在沿海、岛

屿、内陆湖泊、河流、水库地区的附近是风力资源最丰富的地区，也是水鸟迁徙的主要停歇地带（卞兴忠和蒋志学, 2010）。鸟类在全球的迁徙路线可分为8 个主要迁飞区（Bamford *et al*, 2008），我国东南沿海位于其中最大的"东亚-澳大利西亚迁徙通道"上（如下图），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。揭阳靖海沿岸位于我国广东东部沿海，其东侧的汕头海岸湿地和西侧的汕尾海丰湿地是东亚-澳大利亚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。两地距离本项目场址均超过50 km。

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，鸻鹬类则多沿海岸绕行（张孚允和杨若莉, 1997）。

根据靖海的地形地貌、景观类型、鸟类栖息生境等分布情况，结合实际观察，迁徙鸟类在揭阳靖海及周边近岸海域没有聚集停歇点，仅在沿岸岩礁和湿地零散分布，在港口区域较为集中，迁徙路线主要沿海岸迁徙。

由于沿海湿地和岛屿位于候鸟迁徙通道上，风电建设会对候鸟迁徙形成一定阻隔，从而缩窄候鸟飞行通道，如Plonczkier & Simms（2012）通过四年雷达监测发现雁群逐渐避开离岸风力发电机组所在海域（图5）。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5 km 宽。揭阳靖海海上风电场距离靖海镇陆岸有20km，可满足鸟类飞行需要，对鸟类迁徙通道的阻隔作用较小。

图 3.2.7-2　东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线示意图

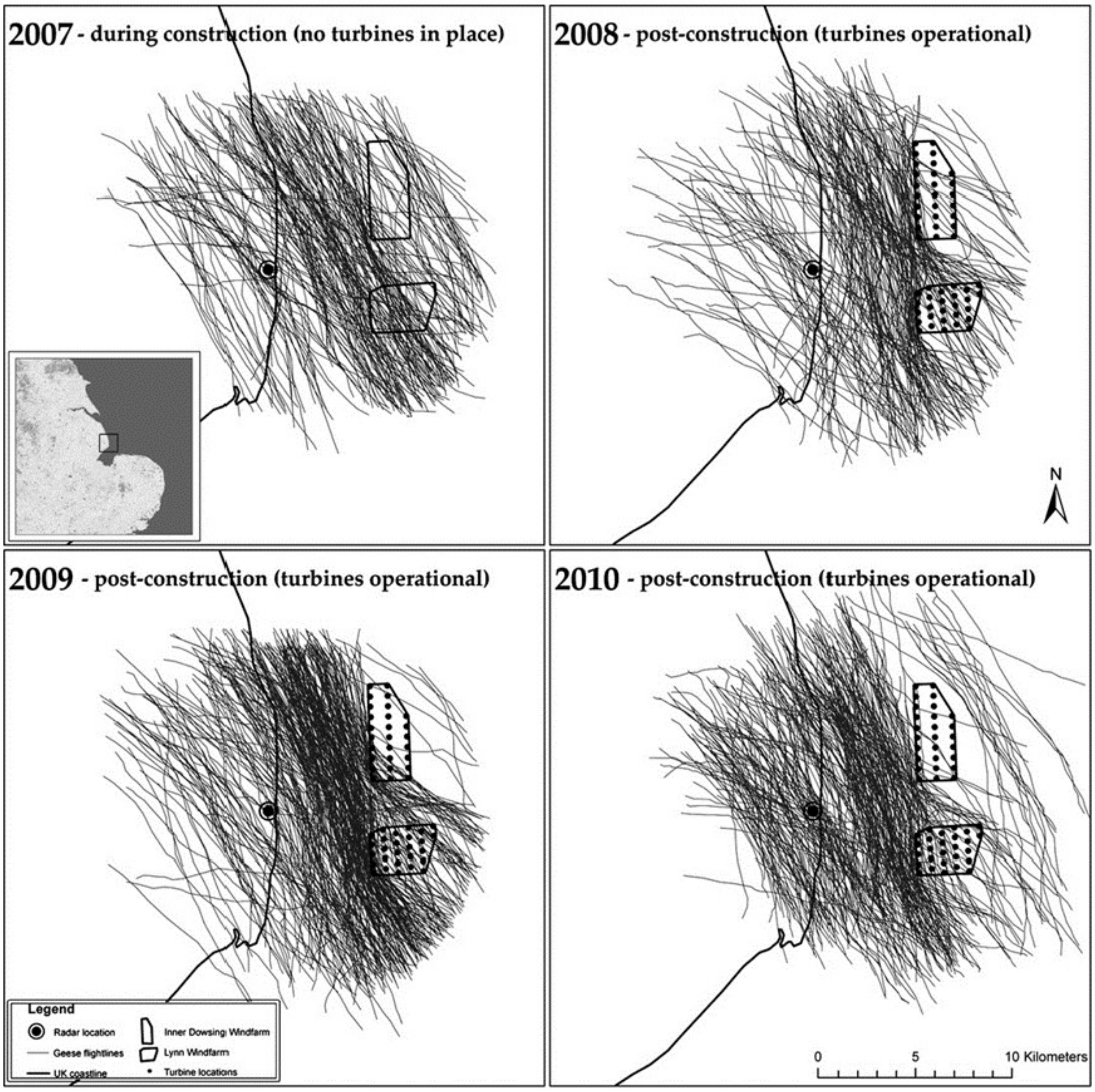


图 3.2.7-3　雷达监测雁群对风机组的回避情况（引自 Plonczkier & Simms 2012）

据研究资料显示（图 3.2.7-4，候鸟迁徙季节的迁飞高度一般超过 300 m：普通鸟类迁徙过程中飞翔高度在 400 m 以下，鹤类在 300-500 m，鹳、雁等最高可达 900 m（卞兴忠和蒋志学, 2010）。本区主要沿海岸迁徙飞行种类为鸻鹬类、鹭类、小型雁鸭类、鸥类，基本没有大型的鹳鹤类，飞行高度一般为 300 m-400 m 之间。

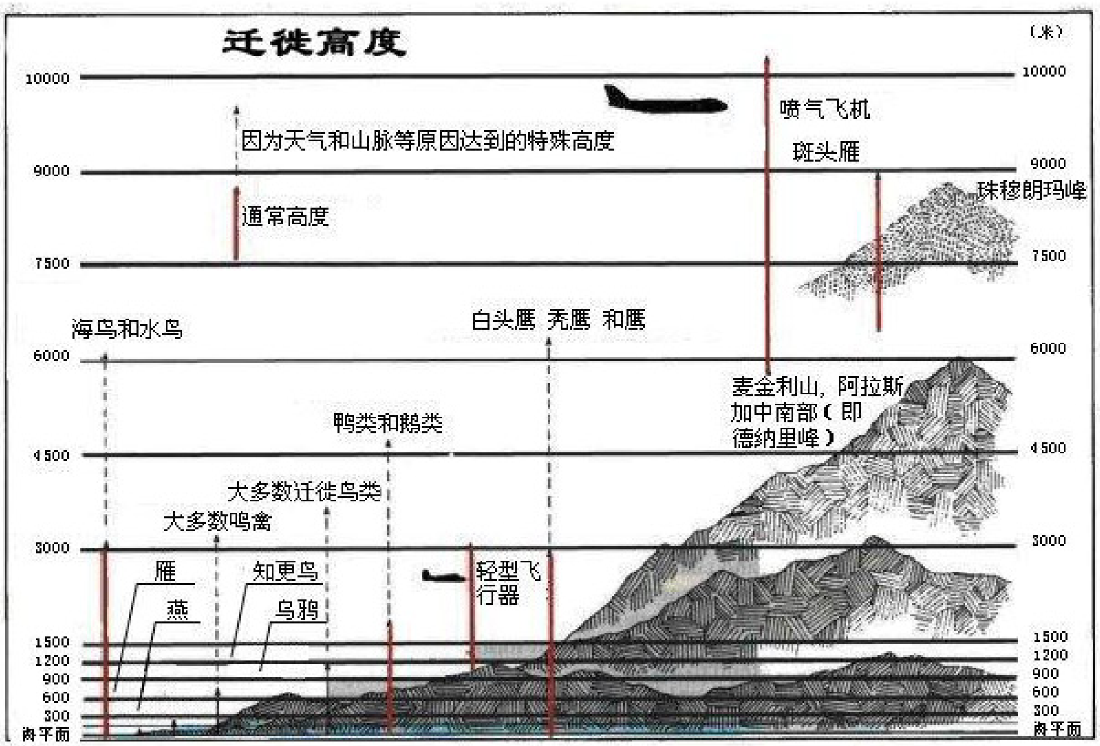


图 3.2.7-4　不同鸟类类群的飞行高度示意图

而对于鸟类的日常飞行（如往返于休息地与觅食地、饮水地等）来说，飞行高度会较长途迁徙低，尤其是在觅食等情况下，一般低于 100 m。小型雀形目鸟类很少在海面飞行，项目范围可能涉及到的种类中，猛禽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 57-59 m 之间），其余时期是飞行高度则在 110 m 左右，在其他区域其高度差异不明显（繁殖期 68.20 m，越冬期 60.07 m，非繁殖季节 79 m）。且观察到大部分鸟类在穿过风机列时会显著提升飞行高度，以避开碰撞。

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）。

3.2.8 海水水质现状

3.2.8.1 监测时间及站位

国家海洋局南海调查技术中心委托国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站于 2022 年 3 月 3 日至 3 月 5 日开展了该项目春季海洋环境包括海水水质、海洋沉积

物、海洋生物生态、渔业资源和海洋生物质量的现状调查工作。春季调查共设海水水质调查站位23个，海洋沉积物监测站位12个，海洋生物生态站位14个，潮间带断面3条。具体站位详见表3.1.1-1，分布图见图3.1.1-1。

国家海洋局南海调查技术中心委托国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站于2022年9月1日至9月3日开展了该项目秋季海洋环境包括海水水质、海洋生物生态、渔业资源和海洋生物质量的现状调查工作。秋季调查共设海水水质调查站位20个，海洋生物生态站位12个，潮间带断面3条。具体站位详见表3.1.1-2，分布图见图3.1.1-2。

3.2.8.2 采样时间和频次

根据现场水深决定采样层次，水深≤10m，采表层水样；10m＜水深≤25m，采用表、底两层水样；25m＜水深≤50m，采用表层为距表面0.5m，中层为离底部0.6h（h为水深），底层为离底2.0m；>50m取表层、10m、30m和底层。

3.2.8.3 调查项目及采样分析方法

调查项目共22项，包括：水深、pH、盐度、水温、悬浮物、溶解氧(DO)、化学需氧量（COD_{Mn}）、油类、重金属（总汞、铜、铅、锌、镉、砷、铬）、营养盐（NO_3-N、NO_2-N、NH_4-N、PO_4-P）、挥发酚、硫化物、透明度。

采样和分析方法按《海洋调查规范》(GB/T12763-2007)和《海洋监测规范》（GB17378-2007）、《海洋监测技术规程　第1部分：海水》（HY/T 147.1-2013）进行，见表3.2.8-1。

表3.2.8-1　水质监测项目分析方法一览表

序号	项目	分析方法	检出限	分析仪器/出厂编号	引用标准
1	pH	26 pH计法	—	PHSJ-3F pH计/600811N0018060129	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》（GB 17378.4-2007）
2	DO	31 碘量法	—	测定管/FL0922	
3	COD	32 碱性高锰酸钾法	—		
4	油类	13.2 紫外分光光度法	2.9μg/L	UV-2800紫外可见分光光度计/SQU1411011	
5	悬浮物	27 重量法	—	BS224S电子天平	

序号	项目	分析方法	检出限	分析仪器/出厂编号	引用标准
				/23590378 DHG-9053A 精密鼓风干燥箱 /170618558	《海洋监测规范 第 4 部分：海水分析》（GB 17378.4-2007）
6	亚硝酸盐	37 萘乙二胺分光光度法	0.5μg/L	UV-2350 紫外可见分光光度计 / KBT1610020	
7	硝酸盐	38.1 镉柱还原法	5μg/L		
8	氨	36.次溴酸盐氧化法	5μg/L		
9	无机磷	39.1 磷钼蓝分光光度法	1.4μg/L		
10	硫化物	18.1 亚甲基蓝分光光度法	0.2μg/L		
11	锌	9.2 阳极溶出伏安法	0.1μg/L	797 VA Computrace 伏安极谱仪 /1797001027124	
12	镉	8.2 阳极溶出伏安法	0.05μg/L		
13	铜	6.2 阳极溶出伏安法	0.10μg/L		
14	铅	7.2 阳极溶出伏安法	0.12μg/L		
15	汞	5.1 原子荧光法	0.003μg/L	AFS-8330 原子荧光光度计 /8330-1304084Z9	
16	砷	11.1 原子荧光法	0.06μg/L		
17	挥发性酚	19 4-氨基安替比林分光光度法	1.1μg/L	UV-2600 紫外可见分光光度计	
18	铬	10.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.4μg/L	240Z AA 无火焰原子吸收分光光度计	

3.2.8.4 评价标准及方法

根据评价海域的特征和《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》（2012 年 12 月），本次评价执行《中华人民共和国海水水质标准》(GB 3097-1997)，见表 3.2.8-2，以各站位所处的功能区的管理要求来确定评价标准，部分站位以位于领海以外，不在区划标准范围之内，统一以一类标准进行评价。2022 年 3 月的站位具

体见表 3.2.8-3 和图 3.2.8-1； 2022 年 9 月的站位具体见表 3.2.8-4 和图 3.2.8-2。

表 3.2.8-2 海水水质标准

序号	项目	第一类	第二类	第三类	第四类
1	pH	7.8~8.5 同时不超出该海域正常变动范围的 0.2pH 单位		6.8~8.8 同时不超出该海域正常变动范围的 0.5pH 单位	
2	溶解氧＞	6	5	4	3
3	化学需氧量（COD_{Mn}）≤	2	3	4	5
4	无机氮（以 N 计）≤	0.20	0.30	0.40	0.50
5	活性磷酸盐（以 P 计）≤	0.015	0.030		0.045
6	总汞≤	0.00005	0.0002		0.0005
7	镉≤	0.001	0.005	0.010	
8	铅≤	0.001	0.005	0.010	0.050
9	砷≤	0.020	0.030	0.050	
10	铜≤	0.005	0.010	0.050	
11	锌≤	0.020	0.050	0.10	0.50
12	石油类≤	0.05		0.30	0.50
13	挥发酚≤	0.005		0.010	0.050
14	总铬≤	0.05	0.10	0.20	0.50
15	悬浮物质	人为增加的量≤10		人为增加的量≤100	人为增加的量≤150
16	硫化物（以 S 计）≤	0.02	0.05	0.10	0.25
注：单位均为 mg/L（pH 除外）；无机氮为亚硝酸盐、硝酸盐和铵盐的和。					

图 3.2.8-3 2022 年 3 月各站位所处的海洋功能区图

表 3.2.8-3 2022 年 3 月各站位所处的海洋功能区管理要求

站位	所属功能区（代码）	海洋环境保护		
		海水水质	海洋沉积物	海洋生物质量
7、8、9、10、13、14、15、21、22、23、25、26、27、29、30	珠海-潮州近海农渔业区（B1-2）	一类	一类	一类
18、19、24、28	领海外	一类	一类	一类

2	神泉海洋保护区（B6-33）	一类	一类	一类
4	前詹海洋保护区（B6-34）	一类	一类	一类
3	前詹港口航运区（A2-26）	**三类**	二类	二类
5	靖海港口航运区（A2-27）	**三类**	二类	二类

图 3.2.8-4　2022 年 9 月各站位所处的海洋功能区图

表 3.2.8-4　2022 年 9 月各站位所处的海洋功能区管理要求

站位	所属功能区（代码）	海洋环境保护		
		海水水质	海洋沉积物	海洋生物质量
S02、S05、S08、S10、S11、S12、S14、S15、S16、S18、S19	珠海-潮州近海农渔业区（B1-2）	一类	一类	一类
S03、S06、S13、S17、S20	领海外	一类	一类	一类
S04	神泉海洋保护区（B6-33）	一类	一类	一类
S09	前詹海洋保护区（B6-34）	一类	一类	一类
S07	前詹港口航运区（A2-26）	**三类**	二类	二类
S01	田尾山-石碑山农渔业区（A1-17）	二类	一类	一类

2、评价方法

根据监测结果，采用单项指数法对水质现状进行评价。

① 单项水质参数 i 在第 j 点的标准指数

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

式中：$S_{i,j}$— i 污染物在 j 点的污染指数；

$C_{i,j}$—i 污染物在 j 点的实测浓度，mg/L；

$C_{s,j}$—i 污染物的评价标准，mg/L。

② DO 的标准指数为：

$Q_{ij} = C_{oi} / C_{ij}$　　　　当 $C_{ij} \le C_f$时

$Q_{ij}=|(C_f\text{-}C_{ij})|/(C_f\text{-}C_{oi})$　　　　当 $C_{ij}>C_f$ 时

$C_f=$（491-2.65S）/（33.5+T）

式中：Q_{ij} ——站 j 评价因子 i 的污染指数；

C_{ij} ——站 j 评价因子 i 的实测值；

C_{oi} ——评价因子 i 的评价标准值；

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

S——实用盐度符号，量纲一；

T——水温，℃；

③ pH 的标准指数为：

$$SpH=\frac{|pH-pHsm|}{DS}$$

其中：$pHsm=\dfrac{pHsu+pHsd}{2}$ ，$DS=\dfrac{pHsu-pHsd}{2}$

式中：SpH — 评价因子的质量指数；

pH — 测站评价因子的实测值；

$pHsu$ — pH 评价标准的上限值；

$pHsd$ — 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。

3.2.8.5 水质调查结果及统计

2022 年 3 月春季水质调查共 23 个站位，各调查要素统计结果见表 3.2.8-5。2022 年 9 月秋季水质调查共 20 个站位，结果及统计见表 3.2.8-6。

表 3.2.8-5　2022 年 3 月春季水质调查结果统计表

注：1. 无机氮为亚硝酸盐、氨和硝酸盐浓度的总和；油类仅采集表层样品，未采集中层和底层样品；2. 在区域性监测中，检出率占样品频数的 1/2(包括 1/2)以上或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 或 1/4 量参与统计计算；3. “△”表示未检出；透明度“—”表示未观测。

表 3.2.8-6　2022 年 9 月秋季水质调查结果统计表

注：1. 无机氮为亚硝酸盐、氨和硝酸盐浓度的总和；油类仅采集表层样品，未采集中层和底层样品；
2. 在区域性监测中，检出率占样品频数的 1/2(包括 1/2)以上或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 或 1/4 量参与统计计算；
3. “△”表示未检出；透明度“—”表示未观测。

3.2.8.6 水质调查结果评价

1、春季水质调查结果评价

以各站位所处的海洋功能区的环境保护要求进行评价，各水质调查要素评价结果见表 3.2.8-7~表 3.2.8-9，评价值分析如下。

所有调查站位表、中和底层的海水 pH、DO、COD、无机氮、汞、砷、镉、铅、铜、铬、硫化物、挥发性酚等 12 项调查因子的单项标准指数均小于 1，符合所在海域海洋功能区划水质要求，且上述调查因子的含量均符合一类海水水质标准；部分站位无机磷和油类的单项标准指数大于 1，超出所在海域海洋功能区划水质要求，超过一类海水水质标准，但均符合二类海水水质标准。

表层样品：有 8 个站位（2、4、7、8、10、13、15 和 25 号站位）的表层海水无机磷含量的标准指数大于 1，超出其所在海域海洋功能区划水质要求（一类海水水质标准），站位超标率为 34.8%（8/23），超标站位主要位于珠海-潮州近海农渔业区、神泉海洋保护区和前詹海洋保护区；有 1 个站位（2 号站位）的表层油类含量的标准指数大于 1，超出其所在海域海洋功能区划水质要求（一类海水水质标准），站位超标率为 4.4%（1/23），超标站位于神泉海洋保护区。

中层样品：有 4 个站位（7、8、10 和 22 号站位）中层海水无机磷含量的单项标准指数大于 1，超出其所在海域海洋功能区划水质要求（一类海水水质标准），站位超标率为 23.5%（4/17），超标站位均位于珠海-潮州近海农渔业区。

底层样品：有 8 个站位（2、4、7、8、10、13、21 和 25 号站位）的底层海水无机磷含量的标准指数大于 1，超出其所在海域海洋功能区划水质要求（一类海水水质标准），站位超标率为 34.8%（8/23），超标站位主要位于珠海-潮州近海农渔业区、神泉海洋保护区和前詹海洋保护区。

2、秋季水质调查结果评价

水质评价以各站位所处的海洋功能区的环境保护要求进行评价，各水质调查要素评价指数结果见表 3.2.8-10~表 3.2.8-12，评价值分析如下。

所有调查站位表、中和底层的海水 pH、无机氮、无机磷、油类、汞、砷、锌、镉、铅、铜、铬、硫化物、挥发性酚等 13 项调查因子的单项标准指数均小于 1，符合所在海域海洋功能区划水质要求，且上述调查因子的含量均符合一类

海水水质标准；部分站位 DO 和 COD 的单项标准指数大于 1，超出所在海域海洋功能区划水质要求。

表层样品：有 7 个站位（S01、S02、S04、S05、S08、S13 和 S14 号站位）的表层海 DO 含量的标准指数大于 1，超出其所在海域海洋功能区划水质要求（一、二类海水水质标准），站位超标率为 35.0%（7/20），超标站位主要位于珠海-潮州近海农渔业区（4 个站位）、神泉海洋保护区（1 个站位）、田尾山-石碑山农渔业区（1 个站位）和海洋功能区外海域（1 个站位）。

中层样品：有 5 个站位（S03、S08、S14 、S17 和 S20 号站位）的中层海 DO 含量的标准指数大于 1，超出其所在海域海洋功能区划水质要求（一类海水水质标准），站位超标率为 33.3%（5/15），超标站位中有 2 个站位位于珠海-潮州近海农渔业区内，其余 3 个位于海洋功能区外海域。

底层样品：有 3 个站位（S08、S11 和 S14 号站位）的底层海 DO 含量的标准指数大于 1，超出其所在海域海洋功能区划水质要求（一类海水水质标准），站位超标率为 15.0%（3/20），超标站位均位于珠海-潮州近海农渔业区；有 2 个站位（S05 和 S13 号站位）的底层海水 COD 含量的标准指数大于 1，超出其所在海域海洋功能区划水质要求(一类海水水质标准)，站位超标率为 10.0%(2/20)，超标站位中 1 个站位位于珠海-潮州近海农渔业区内，另外 1 个位于海洋功能区外海域。

表 3.2.8-7　2022 年 3 月春季水质调查结果评价指数表（表层）

注：1.在区域性监测中，检出率占样品频数的 1/2(包括 1/2)以上或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参与统计计算。

表 3.2.8-8　2022 年 3 月春季水质调查结果评价指数表（中层）

注：1.在区域性监测中，检出率占样品频数的 1/2(包括 1/2)以上或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参与统计计算。

表 3.2.8-9　2022 年 3 月春季水质调查结果评价指数表（底层）

注：1.在区域性监测中，检出率占样品频数的 1/2(包括 1/2)以上或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参与统计计算。

表 3.2.8-10　秋季水质调查结果评价指数表（表层）

注：1.在区域性监测中，检出率占样品频数的 1/2(包括 1/2)以上或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参与统计计算。

表 3.2.8-11　秋季水质调查结果评价指数表（中层）

注：1. 在区域性监测中，检出率占样品频数的 1/2(包括 1/2)以上或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参与统计计算。

表 3.2.8-12　秋季水质调查结果评价指数表（底层）

注：1.在区域性监测中，检出率占样品频数的 1/2(包括 1/2)以上或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参与统计计算。

3.2.9 海洋沉积物现状调查与评价

3.2.9.1 调查站位

论证单位委托国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站于 2022 年 3 月进行一次春季调查。本次外业调查在论证范围内设沉积物调查站位 12 个，调查站位图及站位表见图 3.1.1-1 和表 3.1.1-1。

3.2.9.2 调查时间

2022 年 3 月进行。用 $0.05m^2$ 的抓泥斗采表层沉积物样品。

3.2.9.3 调查项目

调查 15 项，包括粒度、pH、温度、氧化还原电位、石油类、硫化物、汞、砷、铜、铅、镉、铬、锌、有机碳、含水率等。

3.2.9.4 调查项目分析方法

沉积物样品的采取和分析方法按按《海洋监测规范》（GB17378.5－2007）和《海洋调查规范》（GB/T12763.8－2007）的要求进行。

表 3.2.9-1　沉积物项目分析方法一览表

序号	监测项目	保存方法	样品测定方法	检出限 10^{-6}
1	硫化物	1ml 乙酸锌固定	GB17378.5/17.3 碘量法	4.0×10^{-6}
2	总汞（Hg）	聚乙烯袋装，冷藏避光保存	GB17378.5/5.1-2007 原子荧光法	0.006×10^{-6}
3	铜（Cu）		GB17378.5/6.2 火焰原子吸收分光光度法	2.0×10^{-6}
4	铅（Pb）		GB17378.5/7.1-2007 无火焰原子吸收分光光度法	1.0×10^{-6}
5	镉（Cd）		GB17378.5/8.1-2007 无火焰原子吸收分光光度法	0.04×10^{-6}
6	锌（Zn）		GB17378.5/9-2007 火焰原子吸收分光光度法	6.0×10^{-6}
7	石油类		GB17378.5/13.2-2007 紫外分光光度法	2.9×10^{-6}
8	有机碳		GB17378.5/18.1-2007 重铬酸钾氧化-还原容量法	0.03%
9	铬（Cr）		GB17378.5/10.1-2007 无火焰原子吸收分光光度法	2.0×10^{-6}
10	砷		GB17378.5/11.1-2007 原子荧光法	0.12×10^{-6}

11	pH	现场测定	GB/T12763.8/6.7.2-2007 电位法	——
12	粒度	聚乙烯袋装，常温保存	GB/T12763.8/6.3-2007 沉积物粒度分析	——
13	含水率	聚乙烯袋装，冷藏避光保存	GB17378.5/19-2007 重量法	——
14	氧化还原电位	现场测定	GB17378.5/20-2007 电位计法	——
15	温度	现场测定	温度计法	——

3.2.9.5 评价标准及方法

1、评价方法

沉积物现状评价采用单项指数法进行，其指数计算方法如下：

$$Q_j = \frac{C_j}{C_o}$$

式中： Cj — 评价因子实测值

Co — 评价因子的评价标准值

Qj —j 站评价因子的质量分指数

Qj≤1 属清洁；

Qj>1 属污染；

2、评价标准

根据评价海域的特征和《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》（2012 年 12 月），本次评价执行《中华人民共和国国家标准海洋沉积物质量》(GB 18668-2002)，见表 3.2.9-2，以各站位所处的功能区的管理要求来确定评价标准，部分站位以位于领海以外，不在区划标准范围之内，统一以一类标准进行评价。

表 3.2.9-2　海洋沉积物质量

序号	项目		第一类	第二类	第三类
1	硫化物≤	$\times10^{-6}$	300	500	600
2	铜≤		35	100	200
3	铅≤		60	130	250
4	锌≤		150	350	600
5	镉≤		0.5	1.5	5.0
6	汞≤		0.2	0.5	1.0
7	砷≤		20	65	93
8	石油类≤		500	1000	1500
9	总铬		80	150	270

序号	项目		第一类	第二类	第三类
10	有机碳≤	10^{-2}	2.0	3.0	4.0

3.2.9.6 沉积物调查结果及分析

1、沉积物粒度调查结果及分析

本次调查，各站位沉积物粒度分析结果见表 3.2.9-3。该区域沉积物主要以粉砂和砂为主：其中砾含量（0.00~1.74）%，平均为 0.35%；砂含量变化于（0.03~96.29）%，平均为 31.54%；粉砂含量变化于（0.28～81.79）%，平均为 53.18%；粘土含量变化于（2.37～24.42）%，平均为 14.93%。沉积物类型包括粘土质粉砂（YT）、砂质粉砂（ST）、粉砂（T）和含砾砂（（g）S）。

中值粒径 Md 是粒度参数之一，可表征沉积物粒度频率分布的中心趋势，其大小反映了沉积物在自然界中的平均水流动能情况，一般 Md 的大小往往与输运泥沙的水动力成反相关，即 Md 越大，该地沉积环境水动力状态越弱。该调查区域的样品沉积物中值粒径在 7.71μm 至 135.26μm 之间，平均值为 45.06 μm。

表 3.2.9-3 沉积物粒度分析结果统计表

站位	层次（cm）	粒级含量（%）				名称及代号	中值粒径
		砾	砂	粉砂	粘土		
		(>2 mm)	(2 mm～0.063 mm)	(0.063 mm～0.004 mm)	(<0.004 mm)		（μm）
2	0~2	0.00	0.82	75.55	23.63	粉砂 T	8.36
4	0~2	0.00	0.03	76.72	23.25	粉砂 T	7.71
5	0~2	1.59	94.40	0.97	3.04	含砾砂（g）S	127.54
8	0~2	0.00	3.25	72.32	24.43	粘土质粉砂 YT	8.86
14	0~2	0.00	4.82	73.05	22.13	粘土质粉砂 YT	9.52
15	0~2	0.00	23.98	66.09	9.93	砂质粉砂 ST	23.84
18	0~2	0.00	45.69	46.64	7.67	砂质粉砂 ST	57.90
22	0~2	0.00	12.04	69.08	18.88	粘土质粉砂 YT	10.95
24	0~2	0.00	0.88	81.79	17.33	粉砂 T	9.81
25	0~2	0.00	1.25	74.76	23.99	粘土质粉砂 YT	8.61
27	0~2	0.90	96.29	0.28	2.53	含砾砂（g）S	135.26
30	0~2	1.74	95.02	0.87	2.37	含砾砂（g）S	132.31

2、沉积物化学调查结果及分析

本次沉积物调查结果统计表见表 3.2.9-4。

- pH

调查区域表层沉积物的 pH 值介于 7.82～8.40，平均值为 8.18， pH 分布相对较均匀，分布无明显趋势。

- 氧化还原电位

调查区域表层沉积物的氧化还原电位值介于（-37.1～455.3），平均值为 203.8，离岸较近站位的氧化还原电位值要低于离岸较远站位。

- 含水率

调查区域表层沉积物的含水率介于（21.29～61.53）%，平均值为 34.44%。

- 有机碳

调查区域表层沉积物的有机碳含量介于（0.07～0.90）$\times10^{-2}$，平均值为 0.38×10^{-2}，该区域沉积物中有机碳含量整体较低，离岸较近站位有机碳含量要明显高于远岸站位的有机碳含量。

- 油类

调查区域表层沉积物的油类含量介于（3.1～229）$\times10^{-6}$，平均值为 53.0×10^{-6}，该区域沉积物中表层沉积物中油类含量整体相对较低，离岸较近站位油类含量要高于远岸站位的油类含量，离岸较远的站位表层沉积物中油类含量相对较低。

- 硫化物

调查区域表层沉积物的硫化物含量介于（11.5～158）$\times10^{-6}$，平均值为 45.0×10^{-6}，该区域沉积物中硫化物含量整体较低，离岸较近站位的硫化物含量要明显高于远岸站位的硫化物含量。

- 锌

调查区域表层沉积物中锌含量介于（29.0～124）$\times10^{-6}$ 之间，平均值为 67.2×10^{-6}，该区域沉积物中锌含量整体较低，离岸较近站位表层沉积物中锌含量要高于远岸站位的锌含量，离岸较远的站位表层沉积物中锌含量相对较低。

- 铜

调查区域表层沉积物中铜含量介于（5.2～22.3）$\times10^{-6}$ 之间，平均值为

11.6×10^{-6}，该区域沉积物中锌含量整体较低，离岸较近站位表层沉积物中铜含量要高于远岸站位的铜含量，离岸较远的站位表层沉积物中铜含量相对较低。

- 铅

调查区域表层沉积物中铅含量介于（13.0～39.0）$\times10^{-6}$之间，平均值为21.2×10^{-6}，该区域沉积物中铅含量整体较低，分布相对均匀。

- 镉

调查区域所有站位的表层沉积物中镉均为未检出，即含量小于0.04×10^{-6}。

- 铬

调查区域表层沉积物中铬含量介于（＜2.0～76.1）$\times10^{-6}$之间，平均值为30.4×10^{-6}，离岸较近站位的铬含量要明显高于远岸站位的铬含量，离岸较远的站位表层沉积物中铬含量相对较低，部分站位的铬含量未检出。

- 汞

调查区域表层沉积物中汞含量介于（＜0.006～0.050）$\times10^{-6}$之间，平均值为0.019×10^{-6}，该区域沉积物中汞含量整体较低，离岸较近站位的铬含量要明显高于远岸站位的汞含量，离岸较远的站位表层沉积物中汞含量相对较低，部分站位的汞含量未检出。

- 砷

沉积物中砷含量介于（2.64～10.3）$\times10^{-6}$之间，平均值为4.93×10^{-6}，该区域沉积物中砷含量整体较低，离岸较近站位的砷含量要明显高于远岸站位的砷含量，离岸较远的站位表层沉积物中砷含量相对较低。

表 3.2.9-4 沉积物化学调查结果统计表

注：1.沉积物锌、铜、铅、镉和铬测试结果为全溶值；

2.当检出率大于 50%时，未检出样品计算时用检出限的 1/2 代替；当检出率小于 50%时，未检出样品计算时用检出限的 1/4 代替，下同。

3、沉积物化学调查结果评价

本次沉积物调查结果评价值统计表见表 3.2.9-5。

由表可以看出：所有调查站位的有机碳、油类、硫化物、汞、砷、锌、镉、铜、铅、铬等 10 项调查因子的单项标准指数均小于 1，符合所在海域海洋功能区划沉积物质量要求，且上述调查因子的含量均符合第一类海洋沉积物质量标准，表明监测海域沉积物质量良好。

表 3.2.9-5　本次沉积物调查结果评价指数统计表

3.2.10 海洋生物质量现状调查及评价

论证单位委托国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站于 2022 年 3 月进行一次春季调查，于 2022 年 9 月进行一次秋季调查。春季外业调查在项目附近海域设海洋生物质量调查站位 14 个，调查站位图及站位表见图 3.1.1-1 和表 3.1.1-1，秋季外业调查在项目附近海域设海洋生物质量调查站位 12 个，调查站位图及站位表见图 3.1.1-2 和表 3.1.1-2。

3.2.10.1 调查方法

1、样品采集

春季调查，在 14 个站位采集 16 个样品。海洋生物体质量分析样品包括阿氏拖网获得的底栖生物和渔业资源拖网获得游泳动物，主要为鱼类、软体类（头足类和腹足类）和甲壳类，均挑选成熟个体进行分析测试。共选取 13 种共 16 个生物样品，包括脊索动物、节肢动物和软体动物三大门类，其中节肢动物类样品 3 种共 5 个样品，包括口虾姑、拥剑梭子蟹和逍遥馒头蟹；脊索动物样品 4 种共 4 个样品，包括琼带鱼、大头白姑鱼、竹荚鱼和二棘长鲷；软体动物类样品 6 种共 7 个样品，包括火枪乌贼、扁玉螺、黄芋螺、短鞘、帽粒蚶（双壳贝类）和栉江珧（双壳贝类）。

秋季调查，在 12 个站位采集 6 种共 12 个生物样品，包括脊索动物和节肢动物两大门类，其中脊索动物样品 3 种共 9 个样品，包括二长棘鲷、尖鳍魣和长蛇鲻；节肢动物类样品 3 种共 3 个样品，包括拥剑梭子蟹、红星梭子蟹和逍遥馒头蟹。样品经冷冻保存后带回实验室进行分析测定。

2、检测和分析方法

测定项目包括铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、汞（Hg）、砷（As）、铬（Cr）和石油烃（TPHs），各项目的测定方法（表 3.2.10-1）参照海洋监测规范-第 6 部分：生物体分析（GB 17378.6-2007）。

表 3.2.10-1 海洋生物质量各检测项目的测定方法与检出限

序号	调查项目	分析方法	检出限	分析仪器/出厂编号	执行标准
1	锌	9.1 火焰原子吸收分光光度法	0.4×10^{-6}	AAS ZEEnit 700P 原子吸收分光光度计/150Z7P0379	《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》GB 17378.6-2007
2	铜	6.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.4×10^{-6}		
3	铅	7.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.04×10^{-6}		
4	镉	8.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.005×10^{-6}		
5	铬	10.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.04×10^{-6}		
6	汞	5.1 原子荧光法	0.002×10^{-6}	AFS-8330 原子荧光光度计/8330-1304084Z9	
7	砷	11.1 原子荧光法	0.06×10^{-6}		
8	石油烃	13 荧光分光光度法	0.2×10^{-6}	RF-5301PC 荧光分光光度计/A40194702535SA	

按照评价技术的要求，贝类（双壳软件类）的铜、铅、锌、镉、汞、铬、砷和石油烃含量参照《海洋生物质量》（GB 18421-2001）中规定的生物质量标准；鱼类、甲壳类和软体类（头足类和腹足类，非双壳类软体动物）铜、铅、锌、镉和汞含量的评价标准采用《全国海岸和海涂资源综合监测简明规程》中推荐的生物质量标准，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线监测技术规程》（第二分册）中推荐的生物质量标准。鱼类、甲壳类（头足类和腹足类，非双壳类软体动物）和软体类的铬和砷、甲壳类的石油烃等污染指标无相应评价标准，在此不进行评价。各调查站位的评价执行标准如表 3.2.10-2 所示。

表 3.2.10-2 生物质量评价各评价因子及其评价标准（mg/kg）

标 准		锌	镉	铅	铜	铬	汞	砷	石油烃
双壳贝类	一类	20	0.2	0.1	10	0.5	0.05	1.0	15
	二类	50	2.0	2.0	25	2.0	0.10	5.0	50
	三类	100	5.0	6.0	50	6.0	0.30	8.0	80
鱼 类		40	0.6	2.0	20	/	0.30	/	20.0
甲壳类		150	2.0	2.0	100	/	0.20	/	/

软体类	250	5.5	10.0	100	/	0.30	/	20.0

3、评价方法

（1）超标率计算

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

式中：*POS*——超标率；

SC——超标的样品数；

TSC——总样品数。

（2）质量指数

采用单项因子质量指数法进行评价,评价因子质量指数计算公式为：

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

式中：Q_{ij}—站 j 评价因子 i 的标准指数；

C_{ij}—站 j 评价因子 i 的实测值；

C_{oi}—评价因子 i 的评价标准值。

3.2.10.2 春季调查监测结果

1、潮下带海洋生物体污染物检测结果总体情况

从调查监测结果看（表 3.2.10-3），不同类别的生物体内的污染物含量有所不同，此次调查中，甲壳类生物体中的锌、镉、铜、铬、汞、砷等污染因子的平均含量在三者中最高，鱼类的锌、镉、铜、铬、砷和石油烃等污染因子的含量均要明显低于甲壳类和和软体类动物体，而软体动物的大部分污染因子的含量介于两者之间。

在不考虑不同各类生物对污染物的富集能力差异的情况下，底栖生物中鱼类体内各污染物的平均含量一般比甲壳类和软体类低，这主要与其活动能力较强有关；而甲壳类的活动能力相对较弱，接触沉积物的时间较长，对污染物的富集程度也就相对较高。

表 3.2.10-3　生物体污染物检测结果

2、生物体质量评价

本次调查，所有站位的生物体中铅、铜、汞、石油烃等 4 项生物体污染物的

单项标准指数值小于 1，满足相应的生物质量标准的要求。

部分部位的监测因子出现超标现象：14 号站位的栉江珧（双壳贝类）的生物体锌和镉含量的单项标准指数大于 1，样品超标率均为 6.2%，超出一类海洋生物体质量标准，但均符合二类海洋生物体质量标准；2 个双壳贝类生物体样品（14 号站位的栉江珧和帽粒蚶）的砷含量的单项标准指数均大于 1，样品超标率为 100%，超出一类海洋生物体质量标准，但均符合二类海洋生物体质量标准。（表 3.2.10-4）。

表 3.2.10-4　生物质量指数

3.2.10.3 秋季调查监测结果

1、海洋生物体污染物检测结果总体情况

从调查监测结果看（表 3.2.10-5），不同类别的生物体内的污染物含量有所不同，甲壳类生物体中锌、镉、铜、砷等污染因子的平均含量明显高于鱼类，鱼类的铬的含量均要高于甲壳类，其他污染因子包括铅、汞、石油烃等相差不大。所有受检生物体样品中的铅和大部分镉含量均低于检出限，含量较低。

在不考虑不同各类生物对污染物的富集能力差异的情况下，底栖生物中鱼类体内各污染物的平均含量一般比甲壳类和软体类低，这主要与其活动能力较强有关；而甲壳类的活动能力相对较弱，接触沉积物的时间较长，对污染物的富集程度也就相对较高。

表 3.2.10-5　生物体污染物检测结果（湿重，$\times10^{-6}$）

注：1. 在区域性监测中，检出率占样品频数的 1/2(包括 1/2)以上或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参与统计计算；2. 未检出的样品的浓度用"＜检出限"表示。

2、生物体质量评价

秋季调查，所有站位的生物体中锌、镉、铅、铜、汞、石油烃（不包括甲壳类）等 6 项生物体污染物的单项标准指数值小于 1，满足相应的生物质量标准的要求，表明此次调查中海洋生物体质量情况良好。

表 3.2.10-6　生物质量指数

3.2.11 地震

区域范围内记录到 Ms≥4.7 破坏性地震 24 次，其中 7.0～7.9 级地震 2 次，6.0～

6.9 级地震 8 次，5.0～5.9 级地震 8 次；4.7～4.9 级地震 6 次。区域范围内的地震活动表现出东北强西南弱的分区特征，以练江平原为界，西南地区地震活动较弱，仅有零星中强地震分布，东北地区是区域内破坏性地震主要分布区，且相对集中分布于潮汕盆地中的韩江和榕江平原地区以及滨海断裂上。现代微震震中分布显示与强震活动同样特征。根据地震统计成果，距场址 40 公里外地震活动水平较高，但厂址 25km 范围内地震活动较弱。

根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015），靖海镇II类场地条件下 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度为 0.15g，对应的地震基本烈度均为VII度。国家标准《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）是对陆域地震动峰值加速度进行的分区，海域地震动参数目前还没有相应的划分。考虑到拟建风电场场地位于靖海镇附近的海域，建议靖海风电场II类场地条件下 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度按 0.15g 考虑，对应的地震基本烈度均为VII度。

结合勘测成果，拟建风电场地段的场地类别属IV类，按《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)附录 E 中地震动峰值加速度调整系数表，建议风电场 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度按 0.165g 考虑，对应的地震基本烈度均为VII度。

陆上升压站位于前瞻镇，根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015），前瞻镇II类场地条件下 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度为 0.10g，对应的地震基本烈度均为VII度。根据本次勘测结果，陆上升压站地段的场地类别属II类，建议场地 50 年超越概率 10%的地震动峰值加速度按 0.10g 考虑，对应的地震基本烈度均为VII度。

最终的地震动参数及场区地震烈度应以场地的地震安全性评价报告为准。

3.2.12 主要海洋自然灾害

本项目所在位置地处华南暴雨中心，年降雨量大且集中，因而洪涝较多；由于地处南海，热带气旋较多。本海域海洋灾害主要有热带气旋、雷暴等。

1、热带气旋

影响场址的灾害性天气系统主要有热带气旋、暴雨以及强对流天气带来的龙卷、雷击和短时雷雨大风。其中，热带气旋强度大，频率高、灾害重，是影响工

程设计、建设和营运最具威胁的自然灾害之一。据研究，该地区的致灾大风也几乎由热带气旋天气系统造成。影响本海域的热带气旋有两类，一类是来自西太平洋的热带气旋，另一类是在南海生成的热带气旋（又称南海台风）。

以本工程海上风电场为中心，设置一个半径 150km 的圆形区域为本报告的工程海域历史台风统计研究区域。

根据 CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集，1949~2017 年间共有 117 个热带气旋中心经过研究区域，年平均为 1.7 个；最多的如 1999 年有 5 个热带气旋进入该区域；无热带气旋进入该区域的年份有 8 年。年际、年代际变化显著，呈现出周期性变化的形态。其中，上世纪 60 年代为热带气旋活动高发期，共有 21 个热带气旋影响本工程海域；其次为上世纪 70 年代，有 19 个热带气旋进入本工程海域；进入本世纪后，本工程海域内的热带气旋活动基本保持平稳，但出现频数较上世纪 60、70 年代的高峰期显著回落。

从年内月季分布看，在全年的 5~12 月均有出现。其中，8004 号热带气旋出现时间最早，为 5 月 23 日；7427 号强热带风暴出现时间最晚，为 12 月 2 日。大部分热带气旋集中出现在 7~9 月，并在 8 月达到全年热带气旋活动的最高峰，占全年的 27.4%，7 月为全年热带气旋活动次高峰，占 24.8%。

1949-2017 年间中心经过研究区域的热带气旋涵盖了从热带低压到超强台风的全部强度等级。以进入研究区域内的最大 2min 风速进行统计，台风（TY）出现频率最高，占比达 29.5%；其次是强热带风暴（STS），占比为 26.7%；再次是热带风暴（TS），占比为 19.0%。而台风及其以上强度等级样本总计占比近 39%，比例可观。此外，强烈的冬季寒潮大风和热带气旋还可以引起巨浪，将会对风机基础造成巨大的载荷，同时将引起海底泥沙骤冲骤淤。

2013年第19号超强台风“天兔”于2013年9月17日02时在菲律宾以东的西北太平洋洋面上生成。9月22日19时40分，强台风天兔的中心在中国广东省汕尾市南部沿海登陆，登陆时中心附近最大风力14级（45米每秒），中心最高持续风速每小时162公里，登陆后继续西北行深入内陆进一步减弱。据广东省民政厅统计，截至2013年9月24日17时，受“天兔”影响造成的全省死亡人数为29人。其中汕尾市16人（陆丰5人、海丰3人、城区1人、中铁11局工人7人），汕头6人（濠江区3人、澄海市1人濠江区3人、潮阳区2人），潮州市2人（潮安区1人、枫溪区1人），

揭阳市惠来县3人，河源市紫金县1人，惠州1人惠东县1人。共有922.96万人受灾，因灾失踪1人，已造成直接经济损失177.6亿元人民币。

图3.2.6-1　2013年第19号超强台风“天兔”

2014年第7号热带风暴“海贝思”为2014年太平洋台风季第七个被命名的风暴。2014年6月11日，一个低压区在海南岛东南方海面上生成，6月15日，海贝思开始稳定向北移动，时速10公里。下午4时50分，中央气象台表示海贝思于广东省汕头市濠江区河浦镇登陆。晚上8时，中央气象台将其降格为热带低气压。晚上9时，联合台风警报中心对其发出最后警报。受“海贝思”影响，粤东汕头市、揭阳市、潮州市、汕尾市15日均降大暴雨。截至2014年6月18日统计，此次灾害造成广东省和福建省2省8市19个县区市35.6万人受灾，3.7万人紧急转移安置，近5500人需紧急生活救助，200余间房屋倒塌，600余间不同程度损坏；农作物受灾面积23.1千公顷，其中绝收近900公顷，直接经济损失8.1亿元。

2015年第10号台风“莲花”为2015年登记的第10个热带气旋。2015年7月2日20时，莲花在菲律宾以东的西北太平洋的洋面上生成。2015年7月4日早晨，莲花加强为强热带风暴。2015年7月8日20时，莲花加强为台风。“莲花”于2015年7月9日12时15分在广东省陆丰市甲东镇沿海地区登陆，登陆后继续向偏西方向移动，登陆时中心附近最大风力有12级，中心最低气压为970百帕。2015年7月10日5时，中央气象台对其停止编号。受“莲花”影响，9日，粤东沿海市县及海面已出现9级～12级，阵风14级～15级的大风，揭阳市惠来岐石镇录得全省最大阵风47.5米/秒(15级)，陆丰陂洋镇录得最大平均风34 .3米/秒(12级)。汕头、潮州、揭阳、汕尾和丰顺出现暴雨到大暴雨。据全省气象站网监测，8日17时至9日17时，全省共

有75个气象站录得100毫米～250毫米的大暴雨，有120个气象站录得50毫米～100毫米暴雨，有82个气象站录得25毫米～50毫米大雨。据统计，广东有165.17万人受灾，5.6万人紧急转移安置，288间房屋倒塌，46.5千公顷农作物受灾，直接经济损失12.99亿元。

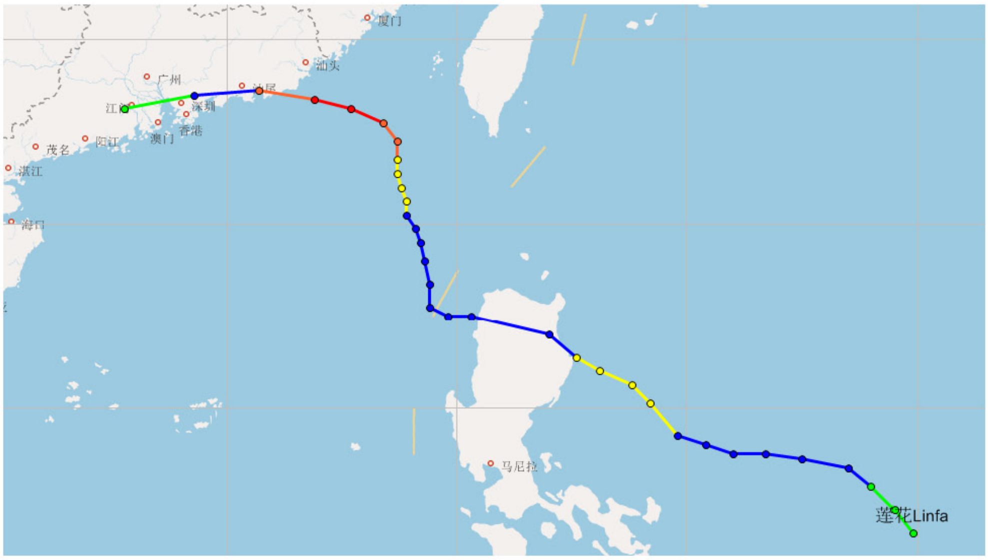


图3.2.6-2　2015年第10号台风“莲花”

2016年第4号台风“妮妲”为2016年登记的第4个热带气旋，2016年7月30日17时起编，8月3日8时停编，2016年8月2日凌晨3时35分，在广东省深圳市大鹏半岛登陆，影响到海南、广东、广西区域。受“妮妲”的影响，8月1日上午到2日中午，福建省厦门至广东省汕头沿海出现30到60厘米的风暴增水，广东省汕尾到惠州沿海将出现50到120厘米的风暴增水。

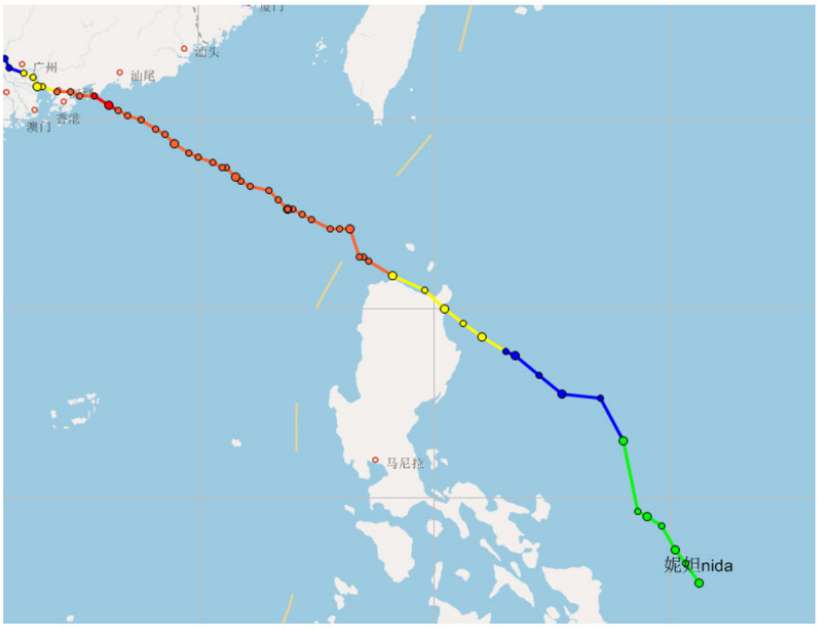


图3.2.6-3　2016年第4号台风“妮妲”

2016 年 22 号超强台风“海马”，10 月 19 日深夜登陆吕宋岛，20 日白天进入南海东北部并减弱为强台风，而后在接近华南的期间继续减弱。21 日 12:40，“海马”以台风强度（38 米每秒、970 百帕）在汕尾市海丰县鲘门镇沿海地区登陆，而后继续北上深入内陆。

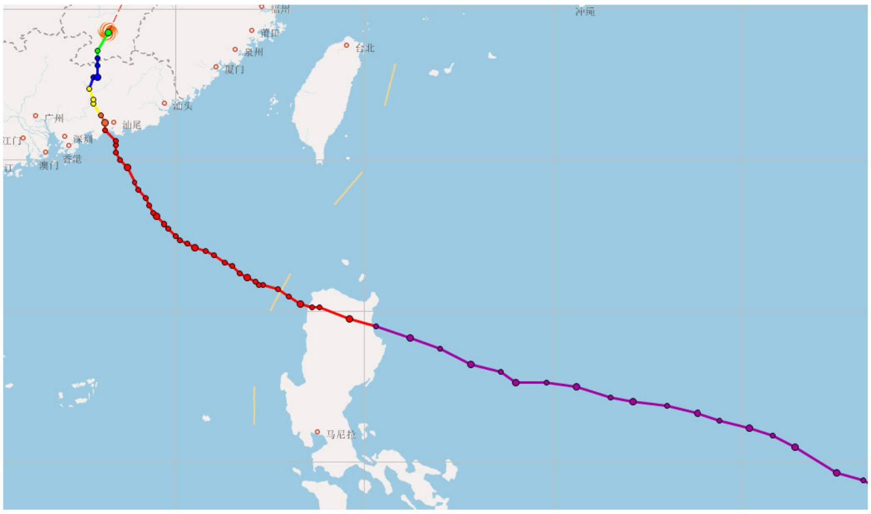


图 3.2.6-4　2016 年 22 号超强台风“海马”

2017年第16号强热带风暴“玛娃”2017年登记的第16个热带气旋，2017年9月3日21时30分前后，“玛娃”在广东省汕尾市陆丰市登陆，影响到本工程所在海域。

2018年第22号台风“山竹”的中心16日17时前后在广东省江门市台山沿海登陆，是2018年来登陆我国最强台风，给惠来县带来暴雨。

2019年有影响的台风有2个，1907号台风“韦帕” 和1911号台风“白鹿”，给惠来县带来强降水，但未造成直接经济损失，台风“韦帕”影响期间，惠来沿海出现6-7级、阵风9-10级的大风。

2020年有影响的台风有2个，06号台风“米克拉” 和07号台风“海高斯”，给惠来县带来暴雨，但未造成直接经济损失。

2、雷暴

暴雨是指日量≥50 毫米的强降水过程，日雨量≥100 毫米为大暴雨；日雨量≥250 毫米为特大暴雨。近年来惠来县雷击灾害时有发生，对供电设施（变压器）、家用电器（电脑、电视机）、人畜等造成过危害。根据惠来县气象站多年统计成果，1956～2012 年，惠来年平均雷暴日数 54d。

3、风暴潮

风暴潮灾害是由台风强烈扰动造成的潮水位急剧升降，是一种严重的海洋灾害，主要危害沿海地区。在广东地区，台风暴潮灾害的特点是：发生次数多、强度大、连续性明显，影响范围广，突发性强，灾害损失大，且主要危害经济发达的沿海地区。影响工程水域的台风平均每年出现 2 次左右，多出现于 7~9 月。

影响风暴增水的因子主要是风和气压，而在北半球，风从所有方向螺旋式的向台风中心吹，形成绕台风中心的逆时针方向的总环流，最大风速出现在沿着台风前进路径方向的右边。因此，台风登陆的地点不同，风电场在台风中处的位置也不同，所受到的风的作用也不相同，这直接影响到风暴产生的正负增水的大小。

台风暴潮是由强烈的大气扰动而引起的水位异常升降现象。观测的潮位通常为天文潮、风暴潮、海啸及其它长波振动引起海面变化的综合特征。场址所在的海域是粤东地区，面临南海受南海潮汐的影响，在夏天是受台风侵袭频繁的地区，平均每年有 2～3 个台风较为严重地影响该地区。热带气旋带来风暴潮位增高的灾害，据 1979～2007 年间登陆粤东沿海的台风暴潮资料统计，产生显著的风暴潮增水共 29 次，平均每年约 1 次。历史上该地区受到较为严重影响的年份有 1922 年、1969 年、2001 年等，附近的海门镇的历史风暴潮水位是 1922 年的风暴潮为历史调查第一，其实测的是 2001 年第二，1969 年为第三。如果从破坏及受灾影响来讲是 1969 年的 6903 号台风最大。海门站各级风暴增水情况如表 3.2.6-1 所示。

表 3.2.6-1 海门站多年各等级风暴增水（△H）统计

增水（△H）	△H＞100（cm）	△H＞150（cm）	△H＞200（cm）	实测极值（建站～2007 年）	
				增水 cm	潮位 cm
海门站	19	8	1	219	262
次/年	0.83	0.35	0.04	0104 台风	0104 台风

注：本表潮位基面为珠江基面；最高潮位和最大增水值单位为 cm。

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

根据本项目用海基本情况和所在海域资源生态基本特征分析，本项目用海周边主要有生态保护红线、海洋功能区划保护区、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。生态保护红线见图 4.1.1-1，重要渔业水域见图 3.2.15-3 和 3.2.15-4。

表 4.1.1-1 项目周边生态敏感目标分布

类型	名称	与项目相对位置	敏感要素
海洋生态保护红线	惠来县人工鱼礁重要渔业资源产卵场	220kV 海底电缆西侧约 2.7km	重要渔业资源产卵场
	鸡椒礁特别保护海岛	220kV 海底电缆登录段东侧约 9.3km	特别保护海岛(领海基点所在海岛)
	客鸟尾重要滩涂及浅海水域	风场西北侧，约 18.0km	重要滩涂及浅海水域
	绿洲海岸防护物理防护极重要区	风场西北侧，约 17.3km	海岸防护物理防护极重要区
	前詹海岸防护物理防护极重要区	登陆电缆东侧约 0.5km	海岸防护物理防护极重要区
	神泉芦园湾重要滩涂及浅海水域	登陆电缆西北侧约 4.6km	重要滩涂及浅海水域
	神泉珍稀濒危物种分布区	220kV 海底电缆西侧约 5.6km	珍稀濒危物种分布区
	汕头深水重要渔业资源产卵场	风电场东北侧，约 8.5km	重要渔业资源产卵场
	粤东沿海丘陵平原水土保持生态保护红线	风电场西北侧，约 19.5km	水土保持
	粤东沿海丘陵平原水土保持生态保护红线	风电场西北侧，约 19.5km	水土保持
	粤东沿海丘陵平原水土保持生态保护红线	风电场西北侧，约 19.5km	水土保持
	前詹珍稀濒危物种分布区	220kV 海底电缆穿越	珍稀濒危物种分布区

类型	名称	与项目相对位置	敏感要素
海洋功能区划保护区	前詹海洋保护区	220kV 海底电缆西侧，约 5.6km	保护龙虾、海龟、鲎及其生境，保护人工鱼礁礁体及礁盘生态系统
	神泉海洋保护区	220kV 海底电缆北侧，约 2.2km	保护人工鱼礁礁体及海域生态环境
重要渔业水域	南海北部幼鱼繁育场保护区	项目所在	渔业资源、海洋水质、生态环境
	幼鱼幼虾保护区	项目所在	渔业资源、海洋水质、生态环境

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）

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。

本项目送出海缆穿越生态保护红线中的“前詹珍稀濒危物种分布区”。

4.1.1.1 海洋功能区划保护区

有关管理要求见报告书第 3.2.6.1 节。

4.1.1.2 重要渔业水域

（1）南海北部幼鱼繁育场保护区

南海北部幼鱼繁育场保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线水域，保护期为 1-12 月，管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内。

（2）幼鱼幼虾保护区

幼鱼幼虾保护区的保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日。本项目位于南海区幼鱼、幼虾保护区内。

4.1.2 重点和关键影响因子

本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，确定本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。

4.2 资源影响分析

4.2.1 项目用海对岸线资源的影响分析

本项目220kV海底电缆登陆时将涉及自然岸线资源，历史上全部为砂质岸线，海底电缆登陆点保护带涉及新修测海岸线长度约20米。实际上，项目220kV海底电缆的直径约26cm，即使加上保护设施后，2回220kV海底电缆涉及的海岸线长度仅1m左右，其余为保护距离，不实际占用岸线。本项目海底电缆登陆推荐采用定向钻的施工方式。施工结束后对定向钻工作坑进行回填，恢复施工场区的地形地貌，避免对地形地貌和生态环境造成损害。在运营期，登陆电缆位于沙滩以下，不会改变此处自然岸线的自然景观和自然属性。

除采用先进的施工工艺外，施工和建设单位还应执行更为详细的自然岸线保护措施，主要包括：

(1)登陆点施工时，根据路由走向和登陆点坐标确定钻孔工作坑位置，严格在登陆点北侧陆域范围划定施工作业区，不得占用或开挖沙滩，尽可能缩小施工作业区面积，并向行政主管部门报备；

(2)施工开始前，确定施工项目组环保责任人，并对施工进场人员进行环保意识教育，明确环保责任；

(3)在施工现场，设置明显的警示牌，警示施工人员保护岸滩环境；

(4)施工生产生活污水、生产生活垃圾和机械设备冲洗水，禁止随意排放，需统一收集后集中处置；

(5)施工结束后对工作坑进行回填，恢复施工场区的地形地貌，并做好场地卫生清理工作。

本项目海底电缆登陆时将从沙滩底下穿越，根据《海底电缆管道保护规定》的要求划定保护范围，并按照规定设立显著标志，海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其它可能破坏海底电缆管道安全的海上作业，是对岸线资源的有序利用和保护，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。

图 4.2.1-1　登陆点涉及岸线示意图

4.2.2 项目用海对旅游资源的影响分析

根据本报告 3.1.3 节的分析，本工程风电场、海底电缆及其登陆点附近 5km 范围海域无已开发形成的旅游景点，离最近的旅游区距离已超过 5km，本工程的建设不会对惠来县的旅游资源产生不利影响。

4.2.3 项目用海对风能资源的影响分析

根据本报告 3.1.6 节的分析，本项目所在海域风能资源较丰富，适宜开发海上风电项目。本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。

4.2.4 项目用海对港口资源的影响分析

根据本报告 3.1.4 节的分析，本项目 220kV 海底电缆邻近有《揭阳港总体规划（2035 年）》中的“前詹作业区”，登陆段距离最近约 400 米。

工程施工过程中，施工船舶较多，施工船只的增多将给这一区域的船舶航行安全带来较大困难，可能会增加天然气码头有关船舶的航行、避让困难，对有关船舶进出港产生不利影响。另外，来往作业区的船只如果抛锚不准和航线运行不

准，也可能对电缆造成破坏。本项目海底电缆登陆时施工时间较短，不会对区域港口资源造成较大影响。

4.2.5 项目用海对锚地和航道资源的影响分析

根据本报告 3.1.5 节和 5.1.2 节的分析，本工程海底电缆与粤东液化天然气项目一期工程锚地（LNG 锚地）最近约 4.5km，距离其他锚地的距离均在 6km 以上，工程施工过程中，施工船舶较多，施工船只的增多将给这一区域的船舶航行安全带来较大困难，可能会增加锚地有关船舶的航行、避让困难，对有关船舶进出锚地产生不利影响。此外，船舶抛锚不准和发生走锚事故，也可能对埋设的海底电缆造成破坏。由于本项目海底电缆的施工时间较短，项目施工时应按要求向海事部门报备，发布通航公告，并做好海上警戒，制定相应的应急预案，避免对进出锚地的船只产生不利影响。

本项目用海范围未与《揭阳港总体规划（2035 年）》规划的航道重叠，穿越中国航路指南：台湾海峡至横澜岛 中、小型船舶航路，全国沿海航路规划内航路琼州海峡至台湾海峡（南下和北上），广东省航道图海甲航道，风电场距离中国航路指南：台湾海峡至横澜岛 大型船舶和外国船舶航路较近，广东省航道图-海甲航道。工程施工过程中，施工船舶较多，施工船只的增多将给这一区域的船舶航行安全带来较大困难，可能会增加有关船舶的航行、避让困难，对有关船舶通航产生不利影响。此外，船舶抛锚不准和发生走锚事故，也可能对埋设的海底电缆造成破坏。由于本项目海底电缆的施工时间较短，项目施工时应按要求向海事部门报备，发布通航公告，并做好海上警戒，制定相应的应急预案，避免对航线通行的船只产生不利影响。

本项目 220kV 海底电缆穿越石碑山南警戒圈，建议 220kV 海底电缆穿越石碑山南警戒圈时，增加海底电缆的埋深（具体埋深根据路由勘察报告，并结合通航安全和航道通航条件等专题报告确定），并严格执行通航安全影响评价和航道通航条件影响评价等专题报告提出的风险范围对策措施。

此外，应加强宣传和监控，同时在风机塔架基座上应完善航标等识别设备并采取基桩防护措施（包括安装显著的警示标志和防撞设施等），以降低被碰撞的可能性，减少损失。

4.2.6 项目用海对渔业生产和渔业资源的影响分析

4.2.6.1 工程建设对渔业生产和渔业资源的影响

①施工期间产生悬浮泥沙对渔业生产和渔业资源的影响

悬浮物对鱼类和其它水生生物的影响可分为两大类：一类是悬浮固体在水中的影响，一类是悬浮固体沉降到水底后产生的影响。主要包括：

A 造成生物栖息环境的改变或破坏，引起食物链（网）和生态结构的逐步变化，导致生物多样性和生物丰度下降。

B 造成水体溶解氧、透光率和可视性下降，使光合作用强度和初级生产力发生变化，影响某些种类的生长发育（如鱼卵和幼体）。

C 混浊的水体使某些种类的游动、觅食、躲避敌害、抵抗疾病和繁殖的能力下降，降低生物群体的更新能力。

D 影响基础饵料生物生长，使鱼类得不到充足的食物。

E 影响鱼类的正常活动和洄游。

②施工噪声对渔业资源的影响分析

施工过程中由于施工现场的作业船舶过于频繁，会惊扰或影响部分仔幼鱼索饵、栖息活动，但绝大部分可能受到影响的鱼类可以回避。由于春夏季节是鱼、虾类产卵、仔幼鱼索饵季节，建议打桩作业尽量避开这一季节。

4.2.6.2 施工期生态损失量估算

1、桩基施工、电缆沟开挖对浮游生物的影响

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

桩基施工和电缆沟开挖会引起海底泥沙再悬浮，海底泥沙中有害物质也会再溶出，从而可能对周围水域的浮游生物产生不利影响。

根据渔业水质标准，第一、二类海水水质人为增加悬浮物浓度应≤10mg/L，悬浮物浓度增量大于 10mg/L，可能对鱼类生长造成影响；根据三维数模悬沙预测结果，本项目底层悬沙的扩散范围已包括其余各层悬沙的扩散范围，施工期底

层悬浮物浓度增量大于 10mg/L 的最大包络线面积为 104.91km^2。表 4.2.6-1 为秋季和春季海洋生物调查的资源统计。

表 4.2.6-1　秋季和春季调查海洋生物资源统计表

	单位	2022.9	2022.3	2021.11	平均值
浮游植物	个/m^3	2417290	2754150	/	2585720
浮游动物	mg/m^3	213.17	159.35	/	186.26
底栖生物	g/m^2	2.51	3.47	/	2.99
潮间带生物	g/m^2	282.91	25.77	1201.65	503.4433
鱼卵	粒/m^3	0.442	0.121	/	0.2815
仔鱼	尾/m^3	0.095	0.121	/	0.108
游泳生物	kg/km^2	494	361.8	/	427.9

按在桩基施工和电缆沟开挖影响范围内（悬浮物浓度>10mg/L）最大影响面积 104.91km^2，浮游植物平均生长速率降低 10%，浮游动物平均 30%受损，平均水深 30m，浮游植物和浮游动物的数量按表 4.2.6-1 估算，则受直接影响的浮游植物数量 8.14×10^{14} 个、浮游动物生物量为 175.86 t。

2、桩基施工、电缆沟开挖对潮下带底栖生物的影响

桩基础施工及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖生境造成直接破坏，进而引起底栖生物生物量的损失。

①计算公式

风机和海上升压站基础长期占压海域底质，对底栖生物及生态系统造成了长久的影响。辅助桩施打及海底电缆的铺设造成底栖生物一次性破坏。参照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程（SC/T 9110-2007）》（以下简称《规程》），底栖生物的资源损失按以下公式进行计算：

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中：

W_i 为第 i 种生物资源受损量，此处为底栖生物资源受损量；

D_i 为评估区域内第 i 种生物资源密度，此处为底栖生物平均生物量；本次平均生物量取春、秋两次调查的平均值。

S_i 为第 i 种生物占用的水域面积，此处为破坏面积。

②海域占用面积

风机基础：本工程共安装 29 台海上风机，均采用四桩导管架基础，钢管桩

直径约 3.2~3.5m，计算损失量时取值 3.5m，则全部风机钢管桩基础占用海域面积约为 1116m^2。

海上升压站基础：本工程海上风电场内建设 1 座 220kV 海上升压站，采用四桩导管架基础，钢管桩直径约 3.3m，则升压站钢管桩基础占用海域面积 34m^2。

辅助桩：本工程桩基施工时需采用辅助桩定位，桩基施工完成后拆除，辅助桩桩径约 2.2m，则辅助桩临时占用海域的面积 1824m^2。

送出及集电海缆：针对海缆施工，考虑单根电缆开挖及其悬浮物再沉降的边际效应，本工程海底电缆开挖埋设的底栖生物生境破坏范围按照电缆两侧各 5m 计算。以单根计，工程海底电缆总长度约 105.72km(送出海缆 2 回 75.79km、集电海缆 6 回共 29.93km)，底栖生物生境破坏面积为 105.72hm^2(送出海缆 71.68hm^2、集电海缆 43.64hm^2)。

③底栖生物损失量估算结果

表 4.2.6-2　　底栖生物损失量估算表

工程	破坏面积（hm^2）	底栖生物平均生物量（g/m^2）	底栖生物直接损失量（t）	影响年限（年）	累计损失量（t）
风机基础压占	0.1116	2.99	0.00334	3	0.0100
海上升压站基础压占	0.0034		0.00010	3	0.0003
辅助桩	0.1824		0.00545	3	0.0164
66kV 集电海缆	29.93		0.89491	3	2.6847
220kV 送出海缆	75.79		2.26612	3	6.7984
合计			3.16992	3	9.5098

本工程推荐采用的定向钻登陆施工方式，正常施工不会造成潮间带生物的损失。

3、对渔业资源的影响

风机桩基施工、电缆沟开挖对渔业资源的影响主要表现在对开挖区附近高浓度悬浮物水域中的海洋生物的仔幼体可能造成的伤害。

根据渔业水质标准，第一、二类海水水质人为增加悬浮物浓度应≤10mg/L，悬浮物浓度增量大于 10mg/L，可能对鱼类生长造成影响。本项目底层悬沙的扩散范围已包括表层和中层悬沙的扩散范围，施工期底层悬浮物浓度增量大于 10mg/L 的水域范围内，部分鱼卵、仔鱼及游泳生物因高浓度的含沙量而发生死亡。

参照农业部颁布并于 2008 年 3 月 1 日起施行的《建设项目对海洋生物资源

影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）（以下简称规程）中关于污染物对各类生物损失率的描述（表 4.2.6-3），依据本报告增量悬沙扩散面积计算的结果，悬沙扩散过程中浓度迅速衰减，因此高浓度面积大大低于低浓度面积，而且高浓度面积随着扩散以几何级数递减。

本工程生态损耗评估采用的具体方法如下：

本工程的施工污染物为产生的悬浮泥沙，由于海底电缆施工属于移动源，其悬沙最大包络线浓度增量区域存在时间少于 15d，故界定为一次性损害。生物资源损害量按以下公式计算：

$$W_i = \sum_{j=1}^{n} D_{ij} \times S_j \times K_{ij}$$

式中：D_{ij}—某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源密度，单位为尾/km^2、个/km^2、kg/km^2；

S_j—某一污染物第 j 类浓度增量区面积，单位为 km^2；

K_{ij}—某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源损失率（%），生物资源损失率取值参见附录 B；

n —某一污染物浓度增量分区总数。

计算以年为单位的生物资源的累计损害量按以下公式计算：

$$M_i = W_i \times T$$

式中：

Mi——第*i*种类生物资源累计损害量，单位为尾（尾）、个（个）、千克（kg）；

Wi——第*i*种类生物资源一次平均损害量，单位为尾（尾）、个（个）、千克（ kg）；

T——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），单位为个（个）。

2）占用水域造成的生物资源损失

工程建设需要占用一定的渔业水域，使渔业水域功能被破坏或海洋生物资源栖息地丧失。各种类生物资源损害量评估按以下公式计算：

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中：W_i—第 i 种类生物资源受损量，单位为尾、个、kg；

D_i—第 i 种类生物资源密度，单位为尾（个）/km^2、尾（个）/km^3、kg/km^2；

S_i—第 i 种类生物占用的渔业水域面积或体积，单位为 km^2 或 km^3。

基于规程中关于污染物对各类生物损失率的描述，本报告中不同扩散浓度范围内生物损失率取值见表 4.2.6-4。

表 4.2.6-3　　工程施工对渔业资源损失评估

污染物 i 的超标倍数（Bi）	各类生物损失率（%）			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
$Bi \leq 1$ 倍	5	<1	5	5
$1 < Bi \leq 4$ 倍	5～30	1～10	10～30	10～30
$4 < Bi \leq 9$ 倍	30～50	10～20	30～50	30～50
$Bi \geq 9$ 倍	≥50	≥20	≥50	≥50

注：
1.污染物 i 的超标倍数（Bi），指超出《渔业水质标准》或超II类《海水水质标准》的倍数，对标准中未列的污染物，科参考相关标准或按实际污染物种类的毒性试验数据确定；当多种污染物同时存在，以超标准倍数最大的污染物为评价依据；
2.损失率是指考虑污染物对生物繁殖、生长或造成死亡，以及生物质量下降等影响因素的综合系数；
3.本表列出的对各类生物损失率作为工程对海洋生物损害评估的参考值。工程产生各类污染物对海洋生物的损失率可按实际污染物种类，毒性试验数据作相应调整。
4.本表对 pH、溶解氧参数不适用。

表 4.2.6-4 海洋生物损失率取值

污染物 i 的超标倍数（Bi）	各类生物损失率（%）		
	鱼卵	仔稚鱼	成体
$Bi \leq 1$ 倍	5	5	0.5
$1 < Bi \leq 4$ 倍	10	5	1
$4 < Bi \leq 9$ 倍	30	30	10
$Bi \geq 9$ 倍	50	50	20

秋季和春季海洋生物调查结果见表 4.2.6-1，以两次调查平均值作为评估依据进行评估。分风电场区 66kV 海底电缆施工悬浮泥沙扩散影响和 220kV 海底电缆施工悬沙扩散影响分别计算生物损失量。根据 3.2.3 的水深实测数据，本项目风电场及 220kV 海底电缆平均水深按 30m 计算。项目施工对渔业资源损失评估见表 4.2.6-5。

鱼卵的直接损失量 1.39×10^8 粒，仔稚鱼的直接损失量为 4.86×10^7 尾，游泳生物的直接损失量为 2.00×10^3kg。

累计损失按 3 年计算，则本项目施工期造成鱼卵的累积损失量为 4.17×10^8

粒，仔稚鱼的累积损失量为 1.46×10^8 尾，游泳生物的累积损失量为 6.00×10^3kg。

同时，上述渔业资源生物量损失随着施工的结束，慢慢可以得到恢复，因此施工对渔业资源的影响是暂时的、可逆的。

表 4.2.6-5 项目施工对渔业资源损失评估

影响区域	悬浮物扩散浓度	渔业资源	影响面积 km^2	资源密度	平均水深m	损失率%	直接损失量
施工期悬沙扩散影响	10～20mg/L	鱼卵（粒/m^3）		0.282	30	5	1.99×10^7粒
		仔鱼（尾/m^3）		0.108	30	5	7.62×10^6尾
		游泳生物（kg/km^2）		427.9	30	0.5	1.01×10^2kg
	20～50mg/L	鱼卵（粒/m^3）		0.282	30	10	2.43×10^7粒
		仔鱼（尾/m^3）		0.108	30	5	4.66×10^6尾
		游泳生物（kg/km^2）		427.9	30	1	1.23×10^2kg
	50～100mg/L	鱼卵（粒/m^3）		0.282	30	30	4.22×10^7粒
		仔鱼（尾/m^3）		0.108	30	30	1.62×10^7尾
		游泳生物（kg/km^2）		427.9	30	10	7.13×10^2kg
	>100mg/L	鱼卵（粒/m^3）		0.282	30	50	5.25×10^7粒
		仔鱼（尾/m^3）		0.108	30	50	2.01×10^7尾
		游泳生物（kg/km^2）		427.9	30	20	1.06×10^3

4、对渔业生产的影响

在施工期，由于工程施工阶段所涉及的区域较大，对在这一带渔业生产活动产生一定的影响。

此外，施工期间将禁止渔船进入施工海域捕捞生产，由此导致作业渔场范围减少；施工扰动影响，使渔获率降低，最终影响捕捞量。但作业船有限，且集中在风机施工点附近，施工作业对渔业资源捕捞活动的影响是有限的。

4.2.6.3 运行期生态损失量估算

1、桩基础压占海洋生态影响

本风电场工程运营期对海洋生态的影响主要是每台桩基占压的底栖生物的生境遭到永久的破坏，29 台风机的和 1 台升压站底栖生境破坏面积分别为 0.1116hm²，和 0.0034 hm²，在桩基群占海部分范围内的原有底栖生物类群不可恢

复。

以春季和秋季 2 次调查的底栖生物平均生物量为 2.99g/m^2 作为评估依据（表 4.2.6-1）。

根据规程，项目占用年限 20 年以上的，按不低于 20 年补偿，则本工程风电场建设造成底栖生物的长期累积损失为 0.0688t。

表 4.2.6-6　　永久压占底栖生物损失汇总表

破坏性质	名称	破坏面积（hm^2）	底栖生物量（g/m^2）	底栖生物直接损失量（t）	影响年限（年）	累计损失量（t）
永久压占	桩基础	0.1150	2.99	0.00344	20	0.0688

2、对渔业资源及渔业生产的影响

根据国家能源局和国家海洋局联合发布的《海上风电开发建设管理办法》规定，单个风电机组塔架用海面积按塔架中心点至基础外缘线点再向外扩 50m 为半径的圆形区域计算；海底电缆用海面积按电缆外缘向两侧各外扩 10m 宽为界计算。在此范围内，不允许捕捞，挖泥等生产作业。由此可见，在风电场营运期时段，这一海域渔业捕捞将受到负面影响，难以进行大规模捕捞作业。

从 2017 年开始，南海近海海域在 5 月 1 日-8 月 15 日禁渔，就是从保护产卵场和索饵场这一角度出发制定的措施。这一海域捕捞生产主要以底拖网、笼捕、流刺网作业为主，对渔业资源破坏较大。风电场风机桩基的存在，增加了海底的粗糙度，造成紊流的出现，起到人工鱼礁的作用。虽然其建设理论上影响所在水域的捕捞作业，但从形成人工鱼礁的角度来看，一定程度上有利于鱼类的繁殖和生长，对渔业资源的影响更可能产生正面效应。

尽管营运期风机的桩基占有水面有限，而且不可避免对渔业捕捞产生影响。但这类影响若与有关利益相关方协商，并予以适当补偿，是可以接受的。风电场运营期的人工鱼礁效应对渔业资源的保护是有利的。

4.3 生态影响分析

4.3.1 水文动力环境影响

本项目用海环境影响分析数值模拟由浙江省环境科技有限公司完成，本报告书引用其内容。

4.3.1.1 潮流计算

4.3.1.1.1 模型介绍

为研究人工鱼礁对工程海域中层和底层流态的影响，本研究潮流部分采用MIKE 3模型进行了计算，MIKE 3是基于雷诺平均化的Navier-Stokes方程，满足Boussinesq假设和静水压力分布。

连续方程：

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=S \tag{1.1-1}$$

运动方程：

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial u^2}{\partial x}+\frac{\partial vu}{\partial y}+\frac{\partial wu}{\partial z}=fv-g\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x}-\\ \frac{g}{\rho_0}\int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x}dz-\frac{1}{\rho_0 h}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right)+F_u+\frac{\partial}{\partial z}\left(\nu_t\frac{\partial u}{\partial z}\right)+u_sS\end{aligned} \tag{1.1-2}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial v^2}{\partial y}+\frac{\partial uv}{\partial x}+\frac{\partial wv}{\partial z}=-fu-g\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y}-\\ \frac{g}{\rho_0}\int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y}dz-\frac{1}{\rho_0 h}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right)+F_v+\frac{\partial}{\partial z}\left(\nu_t\frac{\partial v}{\partial z}\right)+v_sS\end{aligned} \tag{1.1-3}$$

式中：

t：时间。

g：重力加速度(m/s^2)；

η：自由水面水位(m)；

$h=\eta+d$：总水深(m)，d 为海底到静止海面的距离；

S_{xx}、S_{xy}、S_{yx}、S_{yy} 辐射应力张量的分量值；

u,v：x,y 方向垂线平均流速分量；

ρ：水体密度；

ρ_0：水体相对密度；

P_a：大气压力；

S：源汇项流量值；

u_s、v_s：源汇项流速值；

$f=2\omega\sin\varphi$，其中 ω 是地球自转角速度，φ 是地理纬度；

(τ_{sx},τ_{sy})、(τ_{bx},τ_{by}) 是 x、y 方向表面风和海底剪切应力的分量；

T_{xx}、T_{xy}、T_{yx}、T_{yy} 横向应力，包括粘性摩擦、湍流摩擦、平流摩擦。

$$F_u=\frac{\partial}{\partial x}\left(2A\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(A\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right) \tag{1.1-4}$$

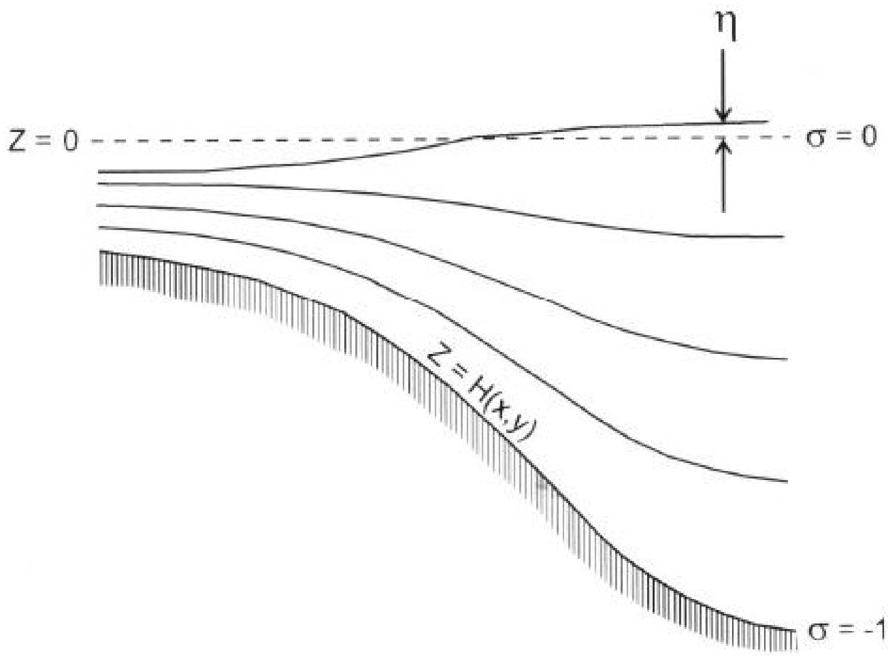
$$F_v=\frac{\partial}{\partial x}\left(A\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(2A\frac{\partial v}{\partial y}\right) \tag{1.1-5}$$

A 为水平涡粘系数。

（1）垂向坐标

垂向网格划分有两种类型：基于 sigma 坐标分层和 sigma/z 坐标组合分层。sigma 分层包括三种模式：均匀分层（Eidistant）、相对分层（Layer thickness）、可变分层（Variable）。x，y，z 坐标系在不等深海区附近有明显的缺陷。引入新的独立变量，将表面和底层转换到新坐标面（Phillips，1957）σ面上。外部和内部控制方程由(x,y,z,t)坐标系变为(x^*,y^*,z^*,t^*)：

$$x^*=x,y^*=y,\sigma=\frac{z-\eta}{H+\eta},t^*=t \tag{1.1-6}$$



令$D \equiv H + \eta$同时应用链式法则，下面的关系将旧坐标系的导数变为新坐标系的导数：

$$\frac{\partial G}{\partial x}=\frac{\partial G}{\partial x^*}-\frac{\partial G}{\partial \sigma}\left(\frac{\sigma}{D}\frac{\partial G}{\partial x^*}+\frac{1}{D}\frac{\partial \eta}{\partial x^*}\right) \quad (1.1\text{-}7a)$$

$$\frac{\partial G}{\partial y}=\frac{\partial G}{\partial y^*}-\frac{\partial G}{\partial \sigma}\left(\frac{\sigma}{D}\frac{\partial G}{\partial y^*}+\frac{1}{D}\frac{\partial \eta}{\partial y^*}\right) \quad (1.1\text{-}7b)$$

$$\frac{\partial G}{\partial z}=\frac{1}{D}\frac{\partial G}{\partial \sigma} \quad (1.1\text{-}7c)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t}=\frac{\partial G}{\partial t^*}-\frac{\partial G}{\partial \sigma}\left(\frac{\sigma}{D}\frac{\partial D}{\partial t^*}+\frac{1}{D}\frac{\partial \eta}{\partial t^*}\right) \quad (1.1\text{-}7d)$$

在这里G是任意的变量，在$z=\eta$时，$\sigma=0$；$z=-H$时，$\sigma=-1$。此处定义了新的垂直速度。

4.3.1.1.2 模型设置

（1）计算域设置及模拟方案

本项目所建立的海域数学模型计算域范围见，风电工程附近海域潮流数学模型的计算区域、工程区位置如图4.3.1-1~4.3.1-2所示。本研究采用非结构三角形网格可以较好地贴合风机和升压站的桩基的形式，提高计算精度和计算效率，并便于各种工程情况的准确布置，用动边界的方法对干、湿网格进行处理。工程前后在风机、升压站附近桩基处进行网格加密。计算空间步长在风机附近海域精确

到 3m，工程后网格单元 57612 个，网格节点 29423 个。

图 4.3.1-1 大海域计算范围和网格分布

图 4.3.1-2 风电工程扩建前附近海域计算网格分布

（2）水深和岸界

工程附近海域选取中国人民解放军海军航海保证部制作的海图以及航道附近海域水深地形调查测量资料，采用的地形资料分别为：厦门港至汕头港海图 1：250000（C1314300）中华人民共和国海事局，2023 年 8 月；汕头港至碣石港海图 1：250000（C1315100）中华人民共和国海事局，2017 年 10 月；台湾浅滩及附近 1：250000（C1314301）中华人民共和国海事局，2018 年 8 月；表角至田尾角 1：120000（C1415110）中华人民共和国海事局，2023 年 1 月；靖海港至神泉 港海图 1：30000（C1515151）中华人民共和国海事局，2023 年 1 月。

岸线采用采用以上海图中岸界和 Google 岸线资料以及工程附近海岸线勘测资料。计算大海域水深如图 4.3.1-3 **错误!未找到引用源。**所示。

图 4.3.1-3 大海域水深分布

（3）模型边界条件

开边界：潮汐在开边界的振幅、迟角和潮流流速等要素使用 TPXO9 数据。TPXO9 是 2018 年最新发布的版本，共包括(M2、S2、N_2、K2、K1、O1、P1、Q1)八个基本分潮，两个长周期分潮(Mf 和 Mm)，以及 M4、Ms4、Mn4、2N2、S1 等分潮。本项目在开边界通过潮位输入了 M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1 共 8 个分潮。

$$\zeta=\sum_{i=1}^{N}\{f_i H_i \cos[\sigma_i t+(V_{oi}+V_i)-G_i]\}$$

这里，fi、si 是第 i 个分潮（这里共取八个分潮：M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1）的交点因子和角速度；Hi 和 Gi 是调和常数，分别为分潮的振幅和迟角；V0i+Vi 是分潮的幅角。

闭边界：所谓闭边界条件即水陆交界条件。在该边界上，水质点的法向流速为 0。

干湿边界处理：模型中对干湿边界的处理采用的是动边界技术，在计算过程中，会对每一个单元的水深变化值，根据对干边界（dry），漫水区（flood）和湿水区（wet）预先所设定的不同水深值，实时判断出计算单元的水深类型，从而采取相应的处理方法。简单地说，如果检测到单元的水深值小于干边界值，则系统将把该单元从计算中移除，输入该单元的动量通量为 0。

（4）计算时间步长和底床糙率

模型计算时间步长根据 CFL 条件进行动态调整，确保模型计算稳定进行，最大时间步长为 120s，最小时间步长 0.1s。底床糙率通过曼宁系数进行控制。根据文献和观测结果，本次计算曼尼系数 n 取 $56m^{1/3}/s$。

（5）水平涡动粘滞系数

采用考虑亚尺度网格效应的 Smagorinsky (1963) 公式计算水平涡粘系数，表达式如下：

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

式中：c_s 为常数，l 为特征混合长度，由 $S_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$，（i，j=1，2）计算得到。

4.3.1.1.3 模型验证

为了验证模型的准确性，利用水动力模型模拟了工程海域的潮位和潮流状况。利用收集到的 2024 年 2 月在风电场周边海域开展的水文测验潮流实测数据和实测潮位资料对模型参数进行率定和对模型进行验证。站位布设如图 4.3.1-4 **错误!未找到引用源。**所示，经纬度坐标如表 4.3.1-1 所示。水位模拟实测对比曲线如图 4.3.1-5 所示，大潮期间各层海流模拟实测对比曲线如图 4.3.1-6~图 4.3.1-8 所示。

通过对比验证结果表明，对应观测点上潮位和潮流模拟结果与实测潮位和潮流资料基本吻合，能够较好地反映项目周边海域水位和潮流状况。

表 4.3.1-1　观测站坐标表

图 4.3.1-4 实测站位分布图

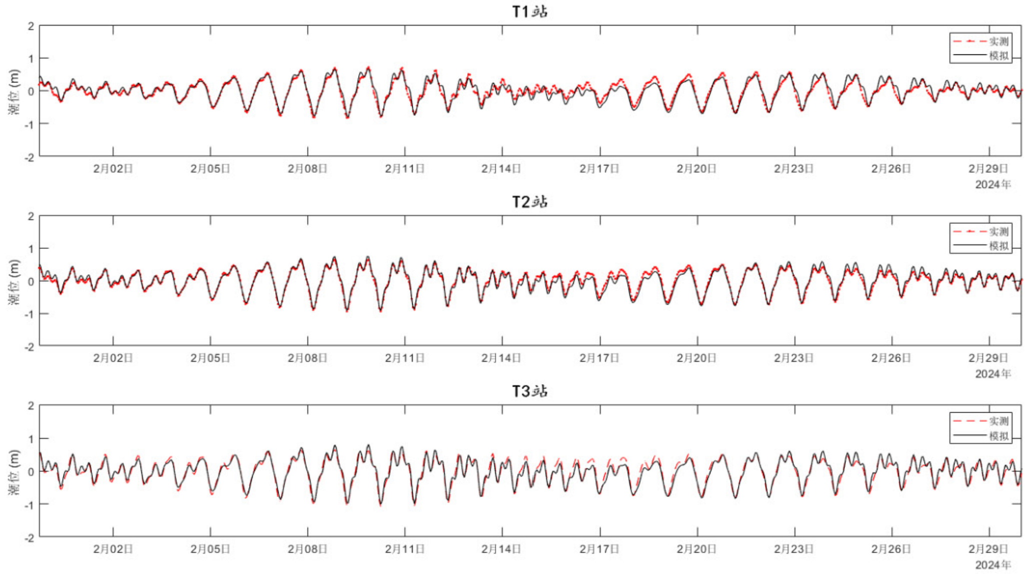


图 4.3.1-5　T1~T3 站位潮位模拟实测对比曲线(2024 年)

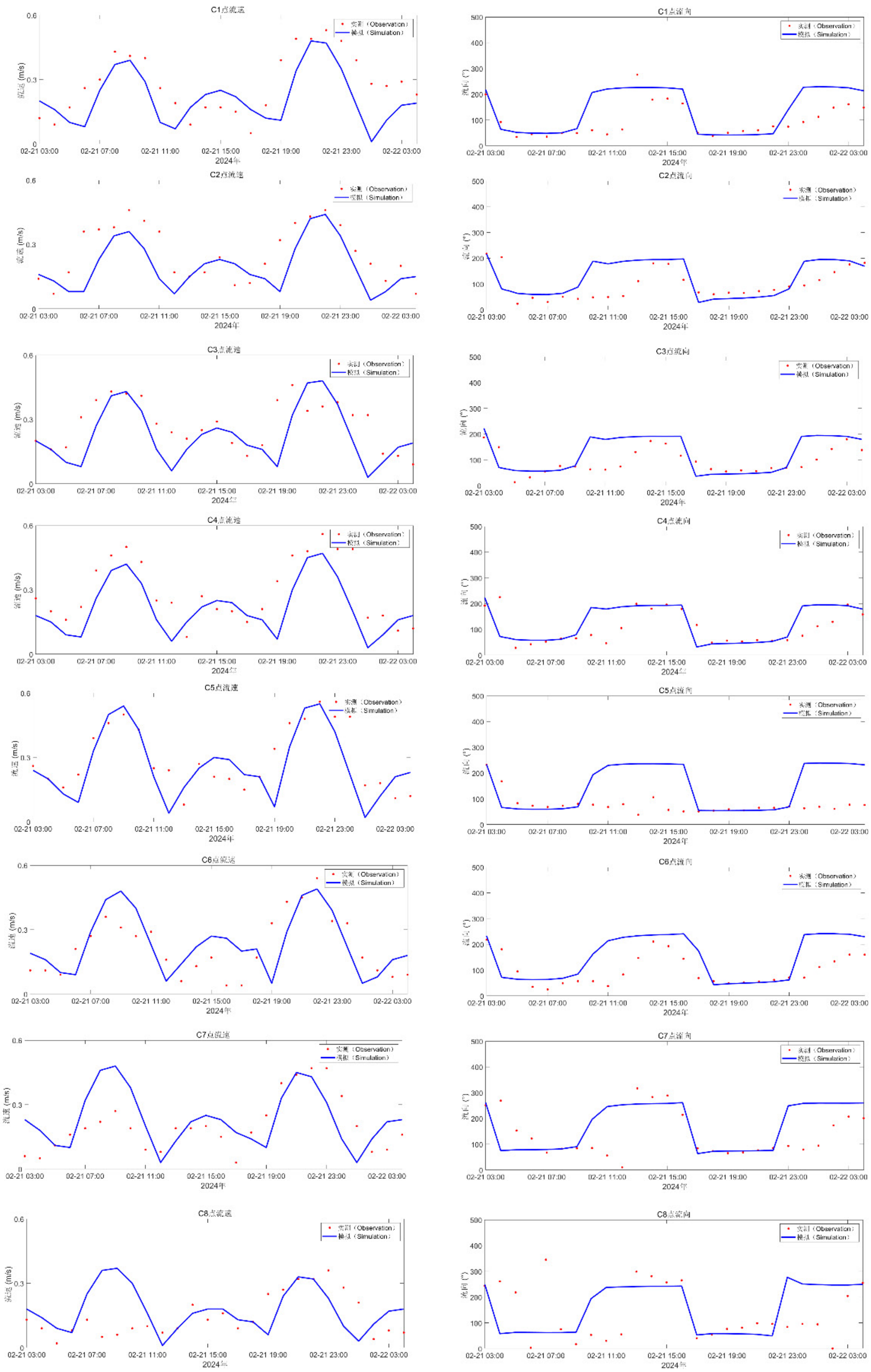


图 4.3.1-6　C1~C8 站位流速流向验证图(2024 年 2 月大潮表层)

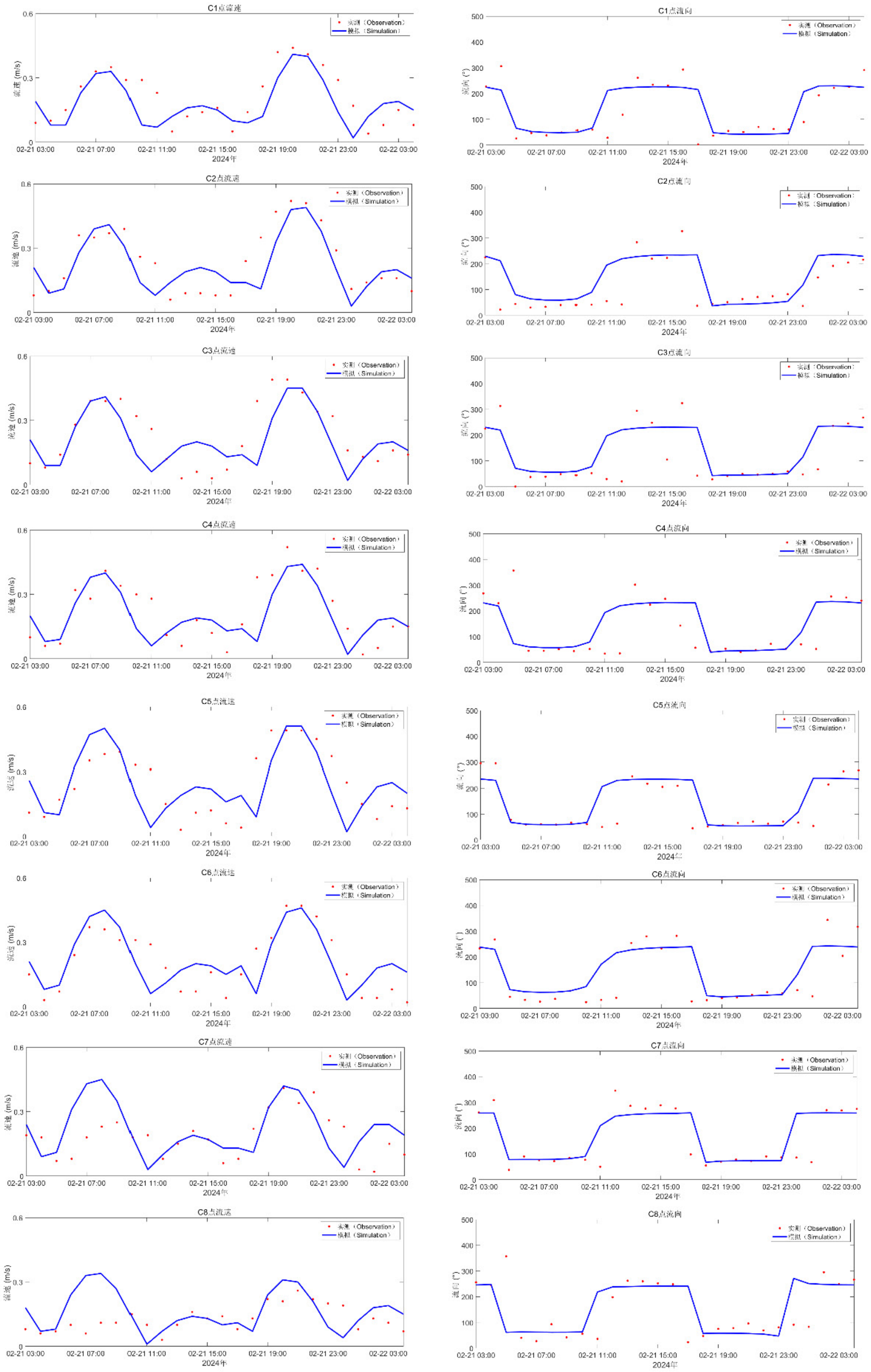


图 4.3.1-7　C1~C8 站位流速流向验证图(2024 年 2 月大潮中层)

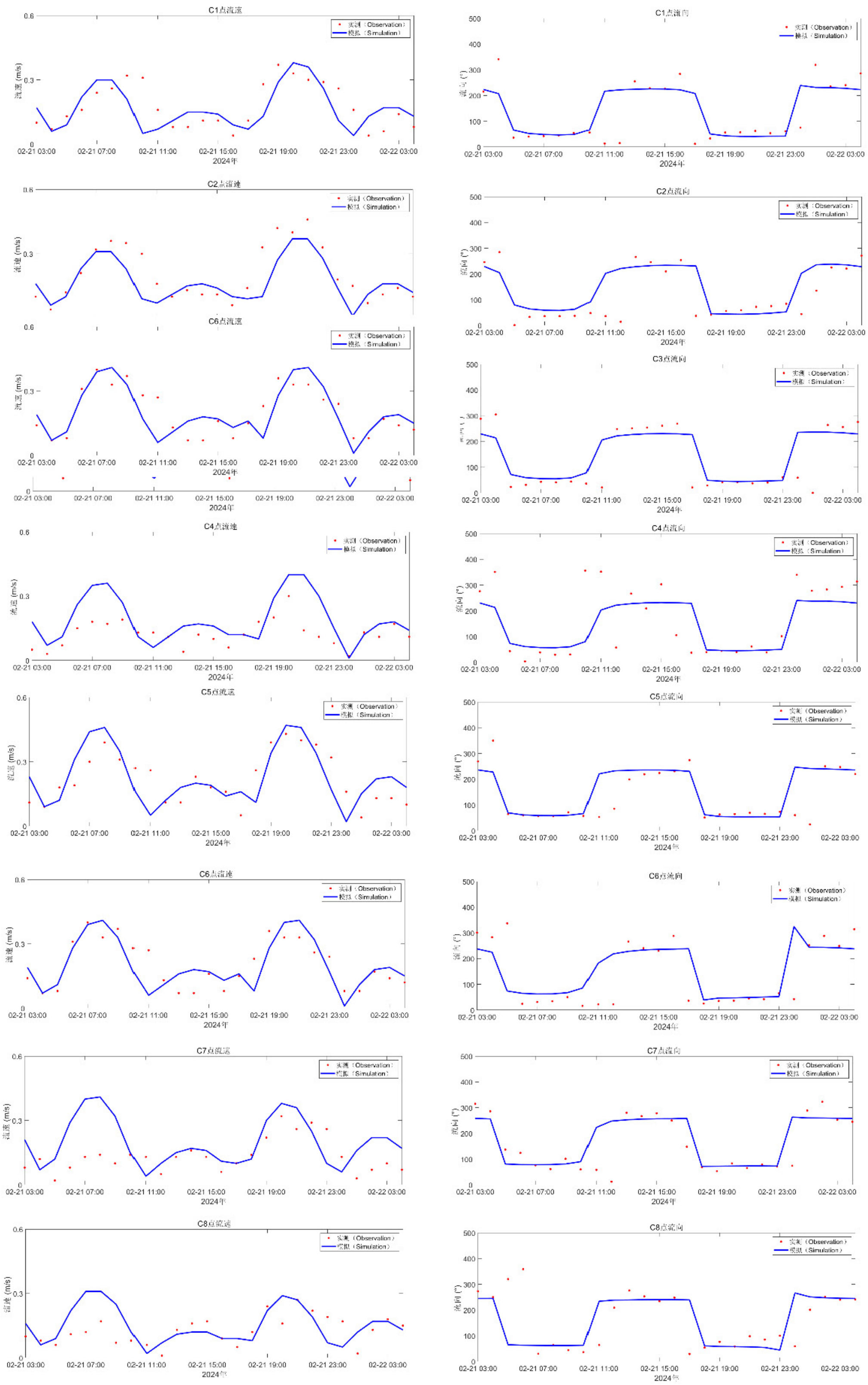


图 4.3.1-8　C1~C8 站位流速流向验证图(2024 年 2 月大潮底层)

4.3.1.1.4 风电工程附近海域潮流场模拟分析

太平洋潮波经吕宋海峡传入南海后在靖海、甲子分开两支，一支继续往西沿

广东海岸传播、一支折向北朝台湾海峡传播，并在靖海、甲子外海形成半日分潮的无潮点；往西传播的潮波在粤东沿海形成弱潮海域、折向北朝台湾海峡传播潮波为半日潮、进入台湾海峡过程形成强潮海域。

本工程位于揭阳市对外海域，项目所在海域受外海潮流影响明显，外海域大潮涨、落急流场如图所示。模拟结果显示，外海潮流运动受外海潮流动力作用，主要体现为 NE~SW 向往复流，涨急时刻外海潮流总体流向 NE，表层流速为 0.3~0.5m/s；中层流速为 0.3~0.4m/s；底层流速为 0.2~0.4m/s。落急时刻外海潮流总体流向 SW，表层流速为 0.36~0.55m/s；中层流速为 0.3~0.5m/s；底层流速为 0.25~0.45m/s。

图 4.3.1-9 表层涨急时刻大海域流场图

图 4.3.1-10 表层落急时刻大海域流场图

图 4.3.1-11 中层涨急时刻大海域流场图

图 4.3.1-12 中层落急时刻大海域流场图

图 4.3.1-13 底层涨急时刻大海域流场图

图 4.3.1-14 底层落急时刻大海域流场图

4.3.1.1.5 风电工程周边潮流特征点流速、流向变化

图给出了工程前后风电场区附近平均流速变化，由图可知，工程建设后对潮流的影响主要体现在涨落潮时桩基背水面的流速减小，减幅 2~5cm/s。工程对于流场的影响主要在每个风机周围 600m 内，对其他海域流场没有影响。

为从流速和流向上比较疏浚工程前后的变化情况。选取风机和升压站附近共计 30 个特征点的流速流向进行对比分析。可以看出，工程后对流向影响很小，涨急时刻流速以减小为主，落急时刻流速同样减小为主，流速变化 1~2cm/s，风电场外代表点基本不变。

从流向的变化比较情况看，工程后流向变化不大，风机群对潮流的影响表现

为风机下游流速及周边，模拟结果显示，风电场外 6.0km 外流场可恢复原来状态。

图 4.3.1-15　特征点分布图

表 4.3.1-2　**特征点序号及坐标**

图 4.3.1-16　工程前后涨急时刻平均流速变化图

图 4.3.1-17 工程前后落急时刻平均流速变化图

图 4.3.1-18 工程前后涨急时刻平均流向变化图

图 4.3.1-19 工程前后涨急时刻平均流向变化图

表 4.3.1-3　工程前后各特征点涨急流速流向变化

代表点	表层						中层						底层					
	流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
P1	0.45	0.44	0.00	56	56	0	0.40	0.40	0.00	55	55	0	0.39	0.39	0.00	55	55	0
P2	0.44	0.44	0.00	56	56	0	0.39	0.39	0.00	56	55	0	0.39	0.38	0.00	55	55	0
P3	0.44	0.44	0.00	56	56	0	0.39	0.39	0.00	56	56	0	0.38	0.38	0.00	56	56	0
P4	0.43	0.43	0.00	56	56	0	0.39	0.39	0.00	56	56	0	0.38	0.38	0.00	56	56	0
P5	0.43	0.43	0.00	56	56	0	0.39	0.38	0.00	56	56	0	0.38	0.38	0.00	56	56	0
P6	0.43	0.43	0.00	56	56	0	0.38	0.38	0.00	56	56	0	0.38	0.38	0.00	56	56	0
P7	0.43	0.43	-0.01	55	55	0	0.39	0.38	-0.01	55	54	0	0.38	0.37	-0.01	55	55	0
P8	0.43	0.43	0.00	55	55	0	0.38	0.38	0.00	55	55	0	0.38	0.37	0.00	55	55	0
P9	0.43	0.42	-0.01	56	56	0	0.38	0.37	-0.01	55	55	0	0.37	0.37	-0.01	55	55	0
P10	0.42	0.42	0.00	56	56	0	0.38	0.38	0.00	55	55	0	0.37	0.37	0.00	55	55	0
P11	0.42	0.42	0.00	56	56	0	0.38	0.38	0.00	56	56	0	0.37	0.37	0.00	56	56	0
P12	0.42	0.43	0.00	54	54	0	0.38	0.38	0.00	54	54	0	0.37	0.37	0.00	54	54	0
P13	0.41	0.41	0.00	54	54	0	0.37	0.37	0.00	53	53	0	0.36	0.36	0.00	53	53	0
P14	0.42	0.42	0.00	54	54	0	0.37	0.37	0.00	54	54	0	0.36	0.36	0.00	54	54	0
P15	0.41	0.41	0.00	55	55	0	0.37	0.37	0.00	54	54	0	0.36	0.36	0.00	54	54	0
P16	0.41	0.41	0.00	55	55	0	0.37	0.37	0.00	55	55	0	0.36	0.36	0.00	55	55	0
P17	0.41	0.41	0.00	56	56	0	0.37	0.37	0.00	55	55	0	0.36	0.36	0.00	55	55	0
P18	0.41	0.41	-0.01	56	56	0	0.37	0.37	-0.01	56	56	0	0.36	0.36	-0.01	56	56	0
P19	0.41	0.41	0.00	53	53	0	0.36	0.37	0.00	53	53	0	0.36	0.36	0.00	53	53	0

代表点	表层						中层						底层					
	流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
P20	0.41	0.40	0.00	54	54	0	0.36	0.36	0.00	53	54	1	0.36	0.35	0.00	53	53	0
P21	0.40	0.39	-0.01	55	55	0	0.36	0.35	-0.01	54	55	0	0.35	0.34	-0.01	54	54	0
P22	0.41	0.40	-0.01	55	55	0	0.37	0.36	-0.01	55	55	0	0.36	0.35	-0.01	55	55	0
P23	0.41	0.40	-0.01	55	55	0	0.37	0.36	-0.01	55	55	0	0.36	0.35	-0.01	55	55	0
P24	0.41	0.40	-0.01	55	55	0	0.37	0.36	-0.01	55	55	0	0.36	0.35	-0.01	55	55	0
P25	0.40	0.39	-0.01	53	53	0	0.36	0.35	-0.01	52	53	0	0.35	0.35	-0.01	52	52	0
P26	0.40	0.40	-0.01	53	53	0	0.36	0.36	-0.01	52	53	0	0.35	0.35	-0.01	53	53	0
P27	0.40	0.39	-0.01	54	54	0	0.36	0.35	-0.01	53	53	0	0.35	0.34	-0.01	53	53	0
P28	0.40	0.39	0.00	55	55	0	0.36	0.35	0.00	54	54	0	0.35	0.35	0.00	54	54	0
P29	0.40	0.40	0.00	55	55	0	0.36	0.36	0.00	54	54	0	0.35	0.35	0.00	54	54	0
P30	0.40	0.40	0.00	55	55	0	0.36	0.36	0.00	54	54	0	0.35	0.35	0.00	54	54	0

表 4.3.1-4　工程前后各特征点落急流速流向变化

代表点	表层						中层						底层					
	流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
P1	0.52	0.52	0.00	232	232	0	0.46	0.46	0.00	232	232	0	0.44	0.44	0.00	231	231	0
P2	0.52	0.52	0.00	232	232	0	0.46	0.46	0.00	232	232	0	0.44	0.44	0.00	231	231	0
P3	0.51	0.52	0.00	232	232	0	0.46	0.46	0.00	232	232	0	0.44	0.44	0.00	231	231	0

代表点	表层						中层						底层					
	流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
P4	0.51	0.51	0.00	232	232	0	0.46	0.46	0.00	232	232	0	0.44	0.44	0.00	231	231	0
P5	0.51	0.51	0.00	232	232	0	0.45	0.46	0.00	232	232	0	0.43	0.43	0.00	231	231	0
P6	0.50	0.51	0.01	232	232	0	0.45	0.46	0.01	232	232	0	0.43	0.44	0.01	231	231	0
P7	0.51	0.51	0.00	231	231	0	0.45	0.46	0.00	231	231	0	0.44	0.44	0.00	231	231	0
P8	0.51	0.50	0.00	231	231	0	0.45	0.45	0.00	231	231	0	0.43	0.43	0.00	231	231	0
P9	0.50	0.50	0.00	232	232	0	0.45	0.45	0.00	232	231	0	0.43	0.43	0.00	231	231	0
P10	0.50	0.50	0.00	232	232	0	0.45	0.45	0.00	232	232	0	0.43	0.43	0.00	231	231	0
P11	0.50	0.50	0.00	232	232	0	0.45	0.45	0.00	232	232	0	0.42	0.43	0.00	231	231	0
P12	0.50	0.50	0.00	230	230	0	0.45	0.44	0.00	230	230	0	0.43	0.42	0.00	230	230	0
P13	0.49	0.49	0.00	230	230	0	0.43	0.43	0.00	230	230	0	0.42	0.42	0.00	230	230	0
P14	0.50	0.49	0.00	230	230	0	0.44	0.43	0.00	230	231	0	0.42	0.42	0.00	230	230	0
P15	0.50	0.49	0.00	231	231	0	0.44	0.44	0.00	231	231	0	0.42	0.42	0.00	230	230	0
P16	0.49	0.49	0.00	231	231	0	0.44	0.44	0.00	232	232	0	0.42	0.42	0.00	231	231	0
P17	0.49	0.49	0.00	232	232	0	0.44	0.44	0.00	232	232	0	0.42	0.42	0.00	231	231	0
P18	0.49	0.49	0.00	232	232	0	0.44	0.44	0.00	232	233	0	0.42	0.42	0.00	231	231	0
P19	0.49	0.49	0.00	230	230	0	0.43	0.43	0.00	230	230	0	0.42	0.42	0.00	230	230	0
P20	0.49	0.46	-0.03	231	231	0	0.43	0.42	-0.02	230	230	0	0.41	0.40	-0.01	230	230	0
P21	0.48	0.47	-0.01	231	231	0	0.43	0.42	-0.01	231	232	0	0.41	0.40	-0.01	231	231	0
P22	0.49	0.49	0.00	232	232	0	0.44	0.44	0.00	232	232	0	0.42	0.42	0.00	231	231	0
P23	0.49	0.49	0.01	232	232	0	0.44	0.44	0.01	232	232	0	0.42	0.42	0.01	231	231	0

代表点	表层						中层						底层					
	流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)			流速(m/s)			流向(°)		
	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值	工程前	工程后	变化值
P24	0.49	0.49	0.01	232	232	0	0.44	0.45	0.01	232	232	0	0.42	0.42	0.01	231	231	0
P25	0.48	0.48	0.00	230	230	0	0.43	0.43	0.00	230	230	0	0.41	0.41	0.00	229	229	0
P26	0.49	0.49	0.00	230	230	0	0.43	0.43	0.00	230	230	0	0.42	0.41	0.00	229	229	0
P27	0.48	0.48	0.00	231	231	0	0.43	0.43	0.00	230	230	0	0.41	0.41	0.00	230	230	0
P28	0.48	0.48	0.00	231	231	0	0.43	0.42	0.00	231	231	0	0.41	0.41	0.00	231	231	0
P29	0.48	0.47	0.00	231	231	0	0.43	0.43	0.00	231	231	0	0.41	0.41	0.00	231	231	0
P30	0.48	0.48	0.00	231	231	0	0.43	0.43	0.00	231	231	0	0.41	0.41	0.00	230	230	0

4.3.2 地形地貌与冲淤环境影响分析

从上节海流与波浪分析结果分析可知，本工程实施后海流影响主要在工程风电场桩基内部海域，而对离工程区较远的海域流态影响较小，波浪在桩基产生向下的水流，波浪影响主要在风机导管架周边。因此，可初步分析认为风机导管架周边有一定的冲淤变化，风机导管架较远处冲淤影响则较小。

风电场塔基建成后，破坏了原来的水流平衡，水流在墩柱周围形成马蹄形漩涡区，不断地进行横向、竖向和前后摆动，剧烈淘刷墩柱迎水面和周围泥沙，形成局部冲刷坑。本报告引用工可报告研究成果，采用桩基局部极限冲刷的计算公式进行预测分析。

海岸地貌是在河流、海洋动力作用下，在既定地质基础上所产生的侵蚀或堆积作用的产物。工程的建设会改变原有的岸线形态，引起波浪和潮流等水动力改变，导致海底产生蚀淤变化。通过沿岸输砂计算分析工程建成后附近海域岸滩冲淤变化，进而分析其对周边环境的影响。

（1）海岸带泥沙运动规律

1）泥沙来源

海岸带附近泥沙来源有四个方面：河流来沙、由邻近岸滩搬运而来、由当地崖岸侵蚀而成、海底来沙。

2）泥沙运移形态

沙质海岸的泥沙运移形态有推移和悬移两种。淤泥沙海岸的泥沙运移形态以悬移为主，底部可能有浮泥运动或推移运动。海岸带泥沙运动方式可分为与海岸线垂直的纵向运动和与海岸线平等的横向运动。

（3）影响海底泥沙冲淤变化的动力因素

海底泥沙冲淤变化是在波浪和海流等动力因素综合作用下的结果。

1）波浪的作用

在沙质海岸，波浪是造成泥沙运动的主要动力。大部分泥沙运动发生在波浪破碎区以内。当波浪的传播方向与海岸线斜交时，波浪破碎后所产生的沿岸流将带动泥沙顺岸移动。沿岸泥沙流若遇到突堤等水工建筑物则将从其上游根部开始淤积。

在粉砂淤泥质海岸，波浪掀起的泥沙除随潮流进出港口和航道外，在风后波浪减弱的过程中会形成浮泥。此种浮泥除自身可能流动外，又易为潮流掀扬，转化为悬移质，增加潮流进港和航道的泥沙数量。

2）海流的作用

在淤泥质海岸，潮流是输沙的主要动力，在波浪较弱的海岸区，潮流可能是掀沙的主要因素，潮流携带泥沙入港和航道后。由于动力因素减弱，降低了携沙能力，导致落淤。在沙质海岸的狭长海湾等特定地形条件下，海流流速较大，可对泥沙运动起主导作用。这里的海流不仅起输沙作用，还起着掀沙作用。

桩基建成以后，除了海床的自然演变以外，还有由于桩基压缩桩基之间的过水断面引起流速改变造成的冲淤变化以及桩基阻挡水流引起的冲淤，各种冲淤交织在一起同时进行，过程较为复杂。通常情况下，海床的自然演变冲刷认为已达到冲淤平衡状态，即自然演变冲淤幅度为零，因此本报告只计算桩基建成后风电场的一般冲淤，为了定量地研究本项目工程完成以后周边近岸区的泥沙回淤情况，在完成潮流数值计算以后，对于泥沙的淤积影响进行计算分析。回淤强度的计算采用以下公式进行计算：

$$p = \frac{\alpha s w t}{\gamma_d}[1-(\frac{V2}{V1})^{2m}]$$

式中，ω 为泥沙沉速，单位 m/s，根据相关粒度分析资料，本项目拟建工程周边海区沉积物粉砂和细沙，在此取沉速为 0.5cm/s。

计算参数：

为沉降几率，取 0.67；

t 为年淤积历时，单位取秒（S），一年即为 31557600 秒；

S 为水体平均悬沙含量，单位：kg/m^3，根据 2017 年 12 月同步的实测悬沙含量资料，桩基附近海区的平均含沙量为 0.011kg/m^3；

$_d$为泥沙干容重，按照公式 $_d$ 1750 $D_{50}^{0.183}$ 计算，单位为 kg/m^3，D50 为泥沙中值粒径，根据表层沉积物的取样结果，本海区沉积物类型主要为砂，其次为砂质粉砂和粉砂质砂，泥沙中值粒径取实测风电场中沉积物中值粒径为 0.1mm；

V1，V2 分别为数值计算工程前、工程后全潮平均流速，单位为 m/s，全潮平均流速的取值采用流速大小绝对值的平均值；M 根据当地的流速与含沙量的关系

近似取作 1。

根据以上的设定和潮流数值模拟计算的结果，计算得到工程后每年回淤强度情况，工程后达到冲淤平衡时的冲淤强度等值线见图 4.3.2-1。

图 4.3.2-1 工程后拟建工程附近海区冲淤图

由图可以看出，风电桩基完成以后，桩基群对水流主要涡流，在风机周边产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.1m/a 左右，而在桩基群之间，冲刷不明显。整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

4.3.3 施工期水质环境影响分析

本工程涉海部分施工环境影响主要有海底电缆铺设工程。电缆铺设施工采用冲射式挖沟，边高压水冲射开沟，电缆边下沉，自然回填方式。海底电缆埋深一般在 2.0～3.0m 以上，电缆铺设海洋环境影响主要是产生的悬浮泥砂。以下采用数值模拟对工程施工造成的悬沙影响进行计算。

4.3.3.1 三维泥沙控制方程及参数

Sigma 坐标系下三维泥沙平流扩散、沉降控制方程为：

$$\frac{\partial CD}{\partial \mathrm{t}}+u\frac{\partial CD}{\partial x}+v\frac{\partial CD}{\partial y}+w_{\mathrm{f}}\frac{\partial C}{\partial \sigma}=K_M\frac{\partial}{\partial x}\left(D\frac{\partial C}{\partial x}\right)+K_M\frac{\partial}{\partial y}\left(D\frac{\partial C}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial \sigma}\left(\frac{K_v}{D}\frac{\partial C}{\partial \sigma}\right)+DS_{\mathrm{c}}$$

其中：C 为水体悬沙含量，Sc 为输入源强，w_f为泥沙有效沉速，$w_f=w-w_s$，w_s 为泥沙静水中沉速。K_M为水平扩散系数，采用欧拉公式

$$K_{MX}=5.93\sqrt{g}H|u|/C_Z \qquad K_{MY}=5.93\sqrt{g}H|v|/C_Z$$

Cz 为 chezy 系数，kV 为垂直扩散系数。

岸界边界条件： $\frac{\partial C}{\partial \vec{n}}=0$

侧开边界的边界条件：

入流时 $C|_{\Gamma}=p_0$ ；

Γ 为水边界，P_0 为边界上浓度，计算冲射式挖沟施工悬沙增量时，因本底悬沙浓度不大，不考虑本底值，取 $P_0=0$。

出流时 $\frac{\partial C}{\partial t}+U_n\frac{\partial C}{\partial \vec{n}}=0$ Un 为边界法向流速；

自由表面上： $w_f C+K_V\frac{\partial C}{\partial z}=0$

海底床面：

$$-K_V\frac{\partial C}{\partial z}-w_{fb}C_b=\begin{cases} M\left(\frac{v^2}{v_e{}^2}-1\right) & v\ge v_e \\ 0 & v_d<v<v_e \\ w_{fb}C_b\left(\frac{v^2}{v_d{}^2}-1\right) & v\le v_d \end{cases}$$

式中：M 为冲刷系数，取曹祖德实验参数，$M=6.4\times10^{-3}$ ；w_{fb} 为近底层泥沙有

效沉速，$w_{fb}=w_s-w$，w_s为泥水静水沉速，$w_{fb}\times C_b$为悬沙垂直沉降通量，$K_V\dfrac{\partial C}{\partial z}$ 为近底层泥沙在湍流运动作用下的上扬通量；V为底层流速， V_d为泥沙从悬浮状态落淤的临界流速，Ve 为床面泥沙悬扬临界流速。

泥沙沉速 w_s采用张瑞瑾通用泥沙沉速公式计算；

$$w=\sqrt{(13.95\frac{v}{D})^2+1.09\alpha gD}-13.95\frac{v}{D}$$

其中，v为水运动粘滞系数，取值 0.01146cm^2/s；D为泥沙粒径（mm）；α为重率系数，取 1.7。

泥沙起动用窦国仁的泥沙起动公式：

悬扬临界流速：$V_e=k\ (\ln 11\frac{h}{\Delta})(\frac{d'}{d_*})^{1/3}\sqrt{3.6\frac{r_s-r}{r}gD+(\frac{r_0}{r_*})^{5/2}\frac{\varepsilon\ +g\delta h(\delta/D)^{1/2}}{D}}$

落淤的临界流速：$V_d=k\ (\ln 11\frac{h}{\Delta})(\frac{d'}{d_*})^{1/3}\sqrt{3.6\frac{r_s-r}{r}gD}$

泥沙起动公式中各参数取值为，$k=0.41$，g=981cm/s^2，当泥沙粒径$D<0.05cm$，床面糙率$\Delta=0.1cm$，d′=0.05cm，d*=1.0cm，泥沙粘结系数 ε＝1.75cm^3/s^2，薄膜水厚度参数 δ＝2.31×10^{-5} cm，h 水深(cm)，r_0床面泥沙干容重(g/cm^3)，r*床面泥沙稳定干容重(g/cm^3)，泥沙容重 r_s=2.65 g/cm^3，海水容重 r_s=1.025 g/cm^3。

初始条件：

模拟施工期本底值均置为 0，仅考虑悬沙增量。

数值网格形式：

模拟计算在小区域上，网格同小区流场一致，垂直分层与小区流场一致，在 Arakawa‘ C ’网格上采用迎风格式求解方程。

4.3.3.2 源强设置

根据工程分析，海缆正常铺设速度为 5m/min，24 小时敷设 7.2km，风电场 66kV 海底电缆铺缆需 5.53 天内完成，220kV 海底电缆铺缆需 2×5.83 天内完成；

采用近似于实际铺缆开沟的方式模拟施工过程悬沙扩散，即沿电缆线逐时逐段释放悬沙源强。模拟计算风电场 66kV 海底电缆铺缆约在 5.53 天内完成，取 265 个代表点、每代表点源强持续时间 0.5 小时，海床沉积物中值粒径 0.255 mm，沉

速取 0.25cm/s，考虑水流的高压冲射上扬海床沉积物，按最不利方式考虑，悬浮物源强为 2×13.63kg/s；

双回路 220kV 路由在 2×5.83 天内完成，模拟从升压站始发到登陆点，然后折返，取 2×280 个代表点，每代表点源强持续时间 0.5 小时，由于该路由底质沉积物粒径变化较大，近岸段中值粒径 0.016mm，沉速 0.0155cm/s，悬浮物源强为 2×8.21kg/s，离岸段取中值粒径 0.255 mm，沉速取 0.25cm/s，悬浮物源强为 2×13.63kg/s。

4.3.3.3 海底电缆铺缆过程悬沙影响分析与评价

表层、中层和底层悬沙增量包络线浓度场分布见图 4.3.3-1~4.3.3-3，整体铺缆过程超标包络线面积见表 4.3.3-1。由计算结果可知，表层大于 10mg/L（超一类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 5.9km^2，大于 50mg/L（超二类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 3.54km^2，大于 100mg/L（超三类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 1.93km^2；中层大于 10mg/L（超一类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 71.05km^2，大于 50mg/L（超二类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 7.35km^2，大于 100mg/L（超三类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 3.33km^2；底层大于 10mg/L（超一类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 104.91km^2，大于 50mg/L（超二类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 57.86km^2，大于 100mg/L（超三类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 29.09km^2，大于 150mg/L（超四类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 12.43km^2。

表 4.3.3-1　风电场海底电缆铺缆过程悬沙增量面积(km^2)

层次	>10mg/L	>50mg/L	>100mg/L	>150mg/L
表层	5.9	3.54	1.93	0.00
中层	71.05	7.35	3.33	0.00
底层	104.91	57.86	29.09	12.43
垂向平均	60.62	22.92	11.45	4.14

图 4.3.3-1 风电场铺缆过程表层悬沙增量包络线

图 4.3.3-2　风电场铺缆过程中层悬沙增量包络线

图 4.3.3-3　风电场铺缆过程底层悬沙增量包络线

从风电场海底电缆铺缆过程影响范围来看，220kV 路由东西两侧影响距离最远距离分别为 2.1km 和 2.5km，风电场内距离 66kV 路由最远约 1.5km。惠来人工鱼礁基本不受 220kV 铺缆施工影响，由于 220kV 路由跨越前詹珍稀物种红线区，该区水质受 220kV 铺缆施工影响，最高浓度超四类水质，时间长度累计约 6 天。

4.3.3.4 钢管桩灌浆泄漏对水质影响分析

本工程桩基础施工时，钢管桩插打完成后需对其进行高强度砂浆浇筑，海上升压平台施工时钢套筒与钢管桩需灌浆连接，灌浆作业利用钢套箱进行水泥砂浆浇注作业。为保证浇筑质量，钢套箱为半封闭结构，一般情况下不会发生水泥砂浆泄漏。但由于钢套箱需反复利用，可能发生因结构安装造成钢套箱的局部破损从而发生泄漏的情况。

本工程灌注的高强度砂浆，主要由胶凝材料（水泥）、拌和水和细骨料（细砂石）组成。水泥砂浆泄漏入海后与经海水稀释扩散会逐渐水化形成凝胶体，并不断把周围散粒的或块状的材料胶结成一个整体最终由原先的液态或半固定状态硬化为砼。一般水泥吸水饱和 45 min 后, 水泥浆逐渐失去塑性,出现凝结现象，而凝结后的砼颗粒较大，且水泥浆密度较高一般在 1800 kg/m^3~2000 kg/m^3，因此在发生水泥砂浆泄漏的情况下，砂浆及其固化形成的砼会快速沉入海底，其对海洋水质的影响将集中在泄漏口位置，而其对海洋水质的污染则主要表现为局部水体透明度下降，悬浮物浓度升高，但随着砂浆硬化沉降，对水质的影响会迅速减小。砂浆沉入海底后可能进一步与沉积物扩展凝结形成高强度的砼，由于水泥砂浆中不含重金属、营养盐等物质，因此砂浆沉降也不会对沉积物环境造成不利影响。

因此只要在发现砂浆泄漏后及时停止灌注，并对泄漏处进行有效封堵，水泥浆泄漏对海水水质和沉积物环境较小。

4.3.3.5 施工污废水排放影响分析

风电场海上施工需动用较大量的海上施工船舶进行作业，施工过程中各类施工船舶将产生一定的船舶污废水、船上人员生活污水及船舶油污水，若随意排放将对海水水质和生态环境产生一定的影响。

根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018）船舶舱底油污水水量表，

计算船舶油污水产生量见下表，船舶油污水的含油浓度按 3000mg/L 计算，按平均值计算，根据施工组织计划，本工程施工船舶油污水产生量为 36.65t/d，油类污染物产生量为 109.95kg/d。

表 4.1.2.5-1　船舶油污水产生量

船舶吨级（t）	船舶数量（艘）	舱底油污水产生量（t/d·艘）	油污水产生总量（t/d）
500	10	0.14	1.40
500~1000	10	0.21	2.10
1000~3000	20	0.54	10.80
3000~7000	5	1.39	6.95
7000-15000	5	3.08	15.40
合计			36.65

1980 年起，交通部所属单位在港船舶进行三废回收，并在船上设含油污水分离器，废水经处理后含油量小于 10ppm，航行船舶由回收船回收。无力处理船舶含油污水、生活污水的施工船舶，其污水也可通过回收船交海事部门指定的处置单位接收并处理，在落实上述措施后，船舶油污水对海域环境影响有限。

此外，施工期船舶作业人员生活污水产生量按海上作业人员 200 人，人均生活污水排放量 85L/(人·d)计，则船舶作业人员生活污水排放量为 17m³/d。

本工程施工船舶均设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集处理装置，生活污水和船舶含油污水均收集贮存于船上，定期运回陆地交具有处理资质的单位接收后统一处理，正常施工对工程海域水质带来的影响是很小的，一旦施工结束，影响即可消除。风机承台混凝土采用水泥与粉煤灰拌和制作，无废水排放，对工程海域水质无污染影响。

4.3.4 沉积物环境影响分析

4.3.4.1 施工期沉积物环境影响分析

（1）风机基础沉桩

本工程风机桩基用 IHC S-800 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。

（2）海底电缆敷设

海底输电电缆敷设时，开沟犁开槽会导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污

染局部海水水质，影响局部沉积物环境。

（3）钢管桩灌浆连接

桩基础与风机导管架间需进行灌浆连接，所灌注混凝土砂浆可能发生泄漏、溢出，进而可能对桩基附近水质和沉积物环境造成污染。

4.3.4.2 运营期沉积物环境影响分析

工程运行期对沉积物环境影响主要来自桩基础牺牲阳极金属中的金属锌等金属的溶出。本工程钢管桩拟采用高效铝合金（铝基）牺牲阳极保护，牺牲阳极化学成分及电化学性能分别见表 4.1.4-1 和表 4.1.4-2。

表 4.1.4-1　　牺牲阳极化学成分

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

表 4.1.4-2　　牺牲阳极电化学性能

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

根据项目工可报告，本工程 14MW 风机四桩导管架基础所采用的牺牲阳极材料均为 18t/台、海上升压站基础牺牲阳极材料用量为 70t，故牺牲阳极材料总用量为 592t，使用年限为 27 年。

根据《铝-锌-铟系合金牺牲阳极》(GB/T 4948-2002)，锌成分含量最大为 7.0%，本次计算按最大含量 7.0%计算，假设锌在使用年限 27 年内以离子态形式全部析出，锌离子析出的速率相同并向周围水体均匀扩散，其中锌进入沉积物中为 13%，则每年进入沉积物中的锌为：592×0.07×0.13/27=0.20t/a，剩余 87%进入海水中，即每年进入海水中的锌为 1.34t/a。

牺牲阳极的锌溶解后易随海水扩散进入大范围的循环，且锌也是海水中的最常见的物质之一，其不易形成稳定物质而在 27 年内持续累积，因此工程实际运行中对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。同时，锌性质较为稳定，不易在水中、沉积物中与其他物质发生化学反应，对水质和沉积物影响较小。

4.3.5 海洋生物影响分析

4.3.5.1 施工期影响分析

本工程施工期对海洋生态和渔业的影响主要来自于以下几方面。

本工程风机及海上升压站的桩基础长期占压海域底质，对底栖生物及生态系统造成了长久的影响。施工期辅助桩使用期内占压海域底质，会对底栖生物及生态系统造成影响，随着辅助桩拆除，会慢慢恢复周边海洋生态环境。海底电缆的铺设造成底栖生物一次性破坏。桩基周围由于水动力改变导致产生的淤积和冲刷，会对底栖生物生境产生一定的影响。

(1)生态影响类型和范围的判定

生态影响途径可以包括直接影响和间接影响两个方面。项目风电场桩基施工直接占用并减少海域，完全破坏底栖生物生境，掩埋底栖生物栖息地；海底电缆沿线内底栖生物等活动能力弱的生物遭受损失，但施工结束后可恢复。间接影响是由于施工使得局部水域悬浮物增加， 对附近海域水生生物造成毒害等。项目施工活动直接、 间接生态影响判定表见表 4.3.5-1。

表 4.3.5-1　施工活动直接、间接影响判定表

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

(2)底栖生物的影响

风机基础及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖生境造成直接破坏，进而引起底栖生物的损失。

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

本项目海底电缆敷设等海上作业施工，改变了底栖生物原有的栖息环境，局

部施工海域将彻底改变其底质环境，使得少量活动能力强的底栖生物逃往他处，而大部分底栖种类将被掩埋、覆盖，除少量能够存活外，绝大部分种类诸如贝类、多毛类、线虫类等都难以存活。

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

通过分析可以看出，本工程桩基础建设对底栖生物栖息环境的彻底破坏，且是永久的、不可恢复的；海底电缆敷设作业将使作业区所在海域底栖生物的栖息环境破坏，施工结束后，随着新的底栖生物等植入而产生新的、可恢复栖息环境。

(3)浮游生物及游泳生物的影响

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由沿线较大范围海域的含沙量暂时上升。钢管柱打桩产生悬浮泥沙也会对海洋生物将产生一定的影响。

施工悬浮物使工程附近局部海域混浊度增加，降低了水体的透光率，限制了浮游植物和底栖植物的光合作用率，导致该水域内初级生产力下降。初级生产力的降低将通过食物链影响到整个生态系统的各个环节。透光率的降低还会改变某些靠光线强弱而进行垂直迁移的浮游动物的生活规律。

对部分游泳生物来讲，悬浮物的影响也较为显著。悬浮固体，细微的固体颗粒会粘附在动物的表面，干扰动物的感觉功能；有些粘附甚至引起动物表皮组织溃烂；通过动物的呼吸，悬浮物会阻塞鱼类的鳃组织，造成呼吸困难；滤食性浮游动物及鱼类会吞食适当粒径的悬浮颗粒，造成内消化系统混乱。水体的浑浊还会降低水中溶解氧含量，进而对用于生物和浮游动物产生不利影响。

由于水质浑浊，阳光透射率下降，在这里栖息、生长的一些地方性种类以及幼体、在浅水区索饵成长的幼鱼幼虾，其正常的分布规律被扰乱，导致部分鱼群改变原有的集群和正常的洄游路线。

施工悬沙浓度增加导致海水水质变差，鱼卵和仔稚鱼将受到悬浮泥沙的影响而死亡。悬浮泥沙对鱼卵的影响很大，水体中若含有过量的悬浮固体，细微颗粒会粘附在鱼卵的表面，妨碍鱼卵呼吸，不利于鱼卵的孵化，从而影响鱼类繁殖。据研究，当悬浮固体物质含量大到 1000mg/L 以上，鱼类的鱼卵能够存活的时间将很短。从水环境影响预测结果来看，施工悬沙增量大于 10mg/L 超Ⅱ类海水水质标

准）的最大影响在施工区域附近，施工期这一范围内，初级生产力下降，渔业资源受到一定的影响。根据类似工程产生的悬浮物的影响程度来看，悬浮物对水质的影响在工程结束后延续 4~5h 可基本消除。因此，施工悬沙对水质的影响属于短期环境效应，随着施工作业的结束，水质将逐渐恢复，随之而来的便是生物的重新植入。

4.3.5.2 运行期影响分析

营运期影响主要是风机基础占压影响。在风机桩基群占用海域范围内，原有泥质型的底栖生物类群在很长一段时间内不可恢复。

此外，本项目运营期产生的污染物主要有风机、海上升压站检修产生的少量变压器油污水和固体废物，本工程运营中的油污水如果直接排海，对该海域的海洋水质造成严重污染，危害海洋生态环境。风电场在日常检修中少量的油污水和固废通过收集带回陆上处理，对海洋环境影响很小。

4.3.5.3 对海洋生态系统服务功能的影响分析

海上风电场工程建设对海洋生态和渔业的影响最终体现在生态系统服务功能的破坏或丧失。海洋生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。工程建设所在海域的生态系统服务功能可划分为物种栖息地、捕捞生产、污染净化、旅游等 4 个方面的主导功能。

（1）物种栖息地

工程建设所在海域是多种野生水生动物栖息、繁殖、洄游场所，也是候鸟的迁徒区。海上风电场工程建设施工期会对该栖息地的野生水生动物栖息、繁殖、洄游会产生较大的干扰，对幼体造成一定程度的伤害，对成体造成回避。对于迁徙过境的鸟类，由于其飞行时高度一般较高，与风机发生碰撞的概率很小，但在天气较为恶劣、能见度较低的时候，迁徙鸟类的飞行高度降低，存在与风机碰撞的风险，但发生的概率总的来说较低，不会对区域鸟类的数量种类造成明显影响。但在运行期，该海域作为物种栖息地的生态服务功能基本不受影响，但风电场对候鸟的迁徒仍会产生一定影响。

（2）捕捞生产

海洋生态系统通过初级生产与次级生产，合成与生产人类生存必需的有机质及产品。该海域作为捕捞水域具有提供海产品的功能，工程建设会占用该海域，

使捕捞生产面积减小，渔获率下降，捕捞生产受到影响。同时，由于风机桩的存在，特别是在迷雾天气，渔船与风机桩相撞的概率大大增加，对渔船和风机都存在一定的安全隐患。

（3）污染物净化

海洋是一个巨大的净化器，对入海污染物具有一定的稀释、扩散、氧化、还原和降解的综合能力。工程建设施工期使海域悬浮泥沙增加，水体透光性下降，光合作用减弱，水体溶解氧质量浓度下降，对污染物净化功能会产生一定影响。但在运行期，污染物净化功能不会改变。

（4）旅游

本风电场数十台风机矗立在工程海域及周边视觉景观产生一定影响。不同观察者对事物的形式、线条、颜色和构造特征的认识与喜好不尽相同，因此同一事物在不同观察者眼中可能产生孑然不同的视觉影响。对视觉景观影响主要从生动性、自然性、独特性和统一性等角度进行评价。

首先从生动性方面评价，本项目风机均为钢结构构筑物，主体色块为白色为主，与海域背景景观相对比性强，在空间视域上，由于风电场总体占据海域面积较大，且为成规模的矩阵式布置，对近距离观赏者视觉冲击较大，但对位于临近海域上的观赏者而言，在视距加大的情况下，视觉冲击有所减弱；其次从自然性角度评价，由于本风电场行列布置有序，因此整体秩序感较强，但本项目作为人造的大体积钢结构构筑物，其自然性较弱，然而风机与周围的船舶等人造构筑物相结合能组成较强的秩序感。

总体评价认为，本风电场建成后排列整齐、美观的风机，与周围的航船、蓝天、白云相结合，将成为当地一道特有的风景，但对于以自然景观为特色的旅游休闲娱乐区而言，风电场建设将对其的自然景观带来一定影响。

4.3.6 水下噪声及电磁辐射生态影响分析

为评价本项目在施工期、营运期所产生的水下噪声和电磁环境对海洋生态环境的影响，本项目环评单位单位浙江省环境科技有限公司委托厦门大学按照《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）制定的方法，开展了本工程水下噪声和电磁环境对海洋生物影响的专题研究，本节内容引用自

《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》（厦门大学，2018 年 7 月）。

专题研究报告评估了本工程在施工期、营运期所产生的水下噪声和电磁环境对海洋生物的影响。在施工期水下噪声影响评估中，以福建省莆田平海湾海上风电场一期工程、港珠澳大桥主体工程和厦门五缘湾游艇码头水下工程等施工期水下打桩噪声的实地监测实例，分析施工期水下打桩噪声的声源级和时频分布，预测本工程采用四桩导管架基础打桩施工时所产生的水下噪声源强以及影响距离；在营运期水下噪声评估中，分别对我国已建成的海上风电场—上海东海大桥海上风电场、福建莆田平海湾海上风电场一期工程、江苏如东风海上风电场（一期）、福建福清嘉儒风电场近海风机在营运期的水下噪声进行了实测，分析了海上风电场在营运期的水下噪声强度。在实验室中构建了水下噪声对施工海域几种典型海洋生物影响的模拟实验；综合国内外现有研究最新成果，分析和评估了本项目在施工期和营运期所产生的水下噪声和电磁环境对工程海域海洋生物可能带来的影响，并提出减缓水下噪声对海洋生物影响的具体措施。

4.3.6.1 施工期水下噪声对海洋生物的影响分析

1、施工期水下噪声分析

本工程施工噪声源主要包括以下三类：施工机械、运输船只、桩基打桩噪声。本工程桩基础施工拟全部采用冲击式打桩方式。冲击式水下打桩为海上风电场施工期间最大的水下噪声源强。桩基施打的所产生的水下噪声源强主要取决于桩柱管径、重锤敲击能量、海域水深、海底地质等参量。

水下冲击打桩的噪声传播路径如下图所示。图中第 1 径为海面反射路径，撞锤冲击桩体产生的噪声经过海面反射后传至噪声接收端；第 2 径为水下直达路径，桩体产生的噪声通过该路径直接传至接收端；第 3 径为海底反射路径，噪声经过海底反射后传至接收端；第 4 径为海底传播路径，撞锤冲击桩体对海底施加冲击力产生压缩波和切变波在海底传播，其中部分噪声能量将传入水中。

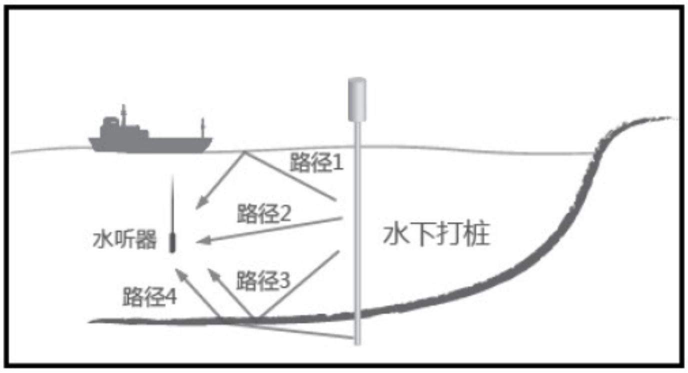


图 4.3.6-1　水下冲击打桩的噪声传播路径

施工中设备、材料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。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。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。机械噪声分布在 10Hz 至 5kHz 频率范围内，螺旋桨空化噪声的频率范围较广，从 50Hz 开始扩展至 100kHz。

2、工程施工噪声对海洋生物影响分析

本工程风电场风机基础采用四桩导管架桩风机基础，钢管桩布置 4 根，桩径 3.2m-3.5m。水下打桩施工将产生较高声源级的水下噪声源强，打桩所产生的冲击波噪声在多方面将对海洋动物产生影响，这些影响包括改变动物行为，对动物造成物理性损伤或死亡率提高。影响的严重程度受到多种因素影响，如水下噪声的声强和声频特性、动物所遭受到噪声时与噪声源的相对距离和位置、噪声的作用时间，对鱼类来说，噪声的影响与鱼群的密度和鱼类的体积大小，以及鱼本身的解剖构造有。因此，施工期应注意海洋生物的保护措施。

目前在水下噪声对海洋哺乳动物和鱼类影响相关阈值判断中，根据水下工程噪声对海洋生物影响的危害性程度进行分级。其中声源级高于 180 dB 的水下噪声为危险级，可能会对海豚的听觉系统造成伤害，主要有打桩噪声和水下爆破噪声；声源级在 120~180 dB 范围的水下噪声为警告级，可能会对海豚行为产生影响，主要有施工船舶噪声以及钻孔噪声和疏浚噪声；声源级低于 120 dB 的水下噪声强度基本接近海洋环境噪声，因此评定为安全级。

目前我国尚未颁布海洋噪声对海洋哺乳动物或鱼类可承受的噪声声压级标

准。不同鱼类对声压的忍受力不同，其中石首科鱼类对声压最为敏感。本报告以对声音最为敏感的石首科鱼类—大黄鱼为研究对象，以实验方法研究了不同大小的大黄鱼的发声信号特点和噪声对其影响。课题组在福建闽威水产实业有限公司进行的大黄鱼声学实验表明：大黄鱼幼苗的敏感频率在 800Hz，声压级约 140dB/re 1μPa 时幼苗对声波即有明显反应，当声压级达到 172dB/re 1μPa 时有些幼苗直接死亡；大黄鱼小鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声强达到 150dB/re 1μPa 以上小鱼有主动避开声源的行为，当声源强度达到 187dB/re 1μPa，在声源正上方的小鱼开始变得十分迟钝进而死亡；大黄鱼成鱼的声敏感频率也在 600Hz 附近，当声源达到 192dB/re 1μPa 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，虽未产生直接死亡，但在其后行为发生明显变化，出现不进食等现象，并在后续的半个月时间中出现 90%的死亡。

研究表明强噪声对鱼类的影响程度有：

• 改变鱼的行为模式，包括：摄食、捕获，规避和离开某个区域；遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。

• 损害物种的耳朵听觉细胞。

• 大黄鱼的发声强度分别大约为（大鱼：140dB、 中鱼 130dB 、小鱼 110dB）。施工期水下噪声当超过这些强度后，也将会影响大黄鱼之间的交流。

虽然相关测量数据及研究表明中小幅度的撞击式桩基施工不会对一定距离外(如 200m 左右)的鲸豚类动物及海洋鱼类造成直接致死或致伤，但长时间较高声压水平的桩基施工对海洋鱼类的累积效应可能造成慢性影响。研究表明：长时间水下噪声对鲸豚类动物可能造成的慢性威胁包括：遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。

施工期噪声可能会对鱼类的交流、行为、觅食和避敌产生短期的有害影响。施工船将会对在这一带水域活动的鱼类、特别是石首科鱼类造成滋扰，受影响的鱼类将因回避而离开施工区。

3、施工噪声安全距离分析

专题研究报告中分析了本工程打桩施工的噪声影响范围。对于本工程在四桩导管架风机基础水下打桩施工时，应确立在 210m 范围内为危险区域，在 1.7km 范围内为警告区域。打桩施工中在这些海域范围内应对鱼类活动需要进行可能的驱赶、搬移等工作。

当海域中有石首科鱼类时，考虑鱼群在海域中游动性，以155dB作为对石首鱼如大黄鱼、白姑鱼、叫姑鱼等产生影响为阈值，可算出对应桩径3.2m-3.5m的四桩导管架风机基础打桩施工，与施工风机的对应距离为2.9km。因此，当施工海域有石首鱼科的仔鱼和产卵场时，针对本工程的四桩导管架风机基础施工，应确立在离桩基2.9km的距离范围外为安全距离。

当海域中有中华白海豚和江豚时，针对本工程四桩导管架风机基础水下打桩施工，应确立：在210m范围为危险区域，在1.7km范围内为警告区域。在这些施工海域中对中华白海豚的活动需要进行观测、驱赶等工作。

本工程的其他水下施工噪声，如船舶、钻孔，噪声声源级可达到150 dB，可能对该海域中的鱼类行为产生某些干扰；而一般的水下噪声，如抛沙等噪声，噪声声压级基本上已低于120dB，和海洋环境噪声相当，不会对鱼类和海豚等的行为产生影响。

4、结论

（1）本海上风电场采用的四桩导管架风机基础钢管桩撞击施工所产生的水下冲击波噪声将对周围海域的海洋渔业资源带来一定影响。对于冲击式的非连续性水下脉冲噪声，目前国际导则要求对海洋哺乳动物的声压阈值超过180dB/μPa为危险级。对于本工程3.2m-3.5m管径的钢管桩撞击施工，水下打桩噪声在离桩基中心210m的距离范围内为危险级（噪声将损伤海洋哺乳动物的听觉，引起听阈改变）；在离桩中心1.7km左右距离范围内为警告级（噪声将干扰海洋生物行为等）。在这些距离内，施工打桩等水下噪声将对海洋生物造成一定影响。施工中应确立在离桩基210m距离范围内为危险级，对鱼类活动进行可能的驱赶、搬移等工作，在1.7km距离范围内为警告级。

（2）风机基础打桩作业对渔业资源将产生一定的影响。工程附近海域主要经济物种有白姑鱼、叫姑鱼和大黄鱼等石首鱼，由于石首科鱼类对声音特别敏感，因此打桩施工将对这些鱼类产生较大的影响。当离桩基施工距离小于420m范围内，打桩噪声将可能致石首鱼科（如大黄鱼、白姑鱼）的直接伤亡。因此，有石首科鱼类存在、产卵及洄游期应该暂停打桩作业。当施工海域有石首鱼科的仔鱼和产卵场时，本报告以155dB作为影响石首鱼科类的噪声阈值，应确立在离桩基2.9km的距离范围外为安全距离。

（3）水下噪声的累加效应影响：虽然相关测量数据及研究表明撞击式桩基施

工不会对一定距离外的鱼类等海洋生物造成直接的影响，但长时间较高声压水平（160dB以上）的桩基施工对海洋生物特别是石首科鱼类可能造成慢性影响；长时间暴露于水下噪声对海洋哺乳动物、海洋鱼类等海洋生物可能造成的慢性威胁包括：遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。水下打桩等的弱重复冲击波，可使鱼类等海洋生物的损伤呈现累积效应，其表现在：损伤的发生率升高，阈值降低和程度加重，导致不可逆转性损伤。且随着暴露次数增加，不仅损伤的发生率升高，而且损伤的阈值降低，程度加重，机体的潜在性病变等对致伤更为敏感。

（4）施工期其他一般施工活动如抛沙、抛石及航运等水下施工和海上运输活动将使水下噪声级在某些低频段上有所提高。如抛石、抛沙在离施工较近的海域（10m范围）的水下噪声谱级可达105 dB～115dB；不同船型及运行速度产生的船舶噪声强度不同，但船运噪声主要在较低频率上，且噪声随着传播距离增大而逐渐衰落。 根据目前国际上对连续存在的水下噪声可能对海洋生物的行为干扰的安全级阈值设定120dB的导则要求，本工程所采用的一般水下施工等活动基本上不会对海洋生物带来影响。

（5）由于施工期相对时间较短，同时某些鱼类可以采用游离避开噪声源等方法远离施工区，在施工结束后再返回该区域。建议施工单位一方面应该尽量缩短总的施工时间，另一方面在打桩中每分钟的打桩次数尽量减少。在进行首次水下打桩时先进行小强度的“软启动”，以达驱赶海洋鱼类游离作业区，到达一定距离外的安全海域。

4.3.6.2 运行期水下噪声对海洋生物影响

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

1、运营期风电场水下噪声分析

厦门大学对我国已建的莆田平海湾一期海上风电场、上海东海大桥海上风电场、福建福清嘉儒风电场、江苏如东海上风电场等海上风电场在营运期的水下噪声监测，并结合英国 4 个海上风电场营运期的监测资料进行分析。结果表明：风机在营运期中所产生的水下噪声级总体比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景

噪声 10~20dB/1μPa，总体噪声谱级都在 120dB/1μPa 以下。基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。在这些特定频段上(120Hz~1.5kHz) 的噪声级提高并没有比因自然状况变化所带来的噪声级提高更多，如下雨噪声、动物自身的移动、船运噪声。

不同风速下，风机在水下产生的噪声强度变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）的风机在水下辐射的噪声强度不同，高风速（13m/s）时在低频段（63Hz 以下）风机噪声与海洋环境背景噪声相当（淹没在背景噪声中），高风速（13m/s）时在 125Hz 频点上比低风速(6m/s)的风机辐射水下噪声谱级高 10dB/1μPa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

营运期的水下噪声主要由风机运转而产生，尤其是低频噪声通过结构振动经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生了水下噪声。欧洲一些国家的海上风电项目水下噪声测量资料表明：营运期的风机运转噪声远低于施工期的打桩噪声，风电场在营运时所产生的噪声比较低。风机运行中向水下辐射噪声的主要途径是风机运行的噪声源从空气中直接通过海面折射到水下、通过风机塔架传导到水中、从风机塔架到海底再辐射到水中三条声传播路径组成，如下图所示。

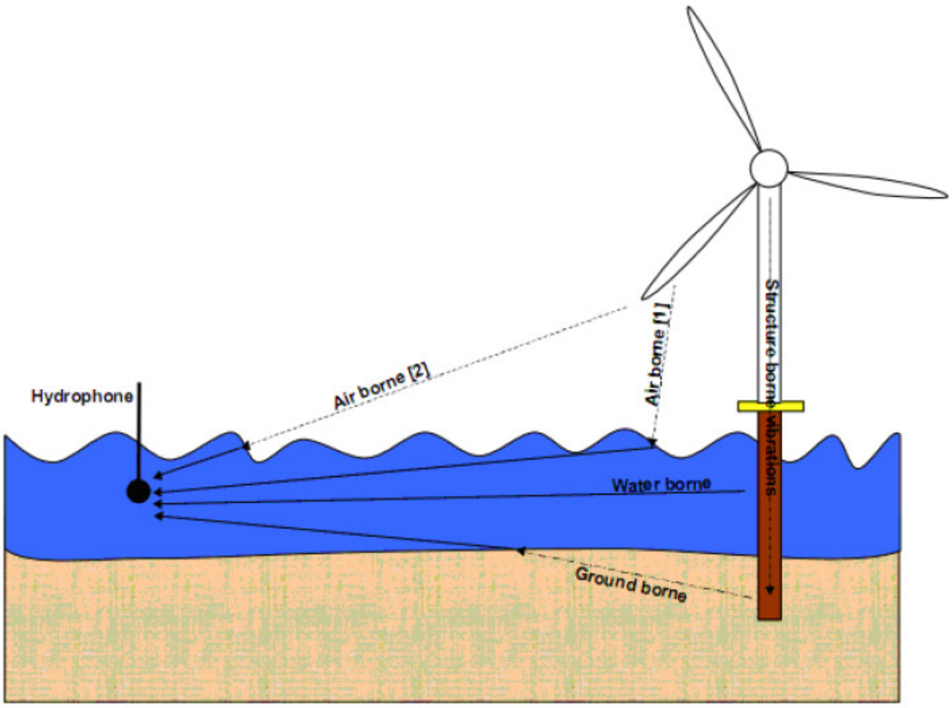


图 4.3.6-3 风机运行水下噪声传播路径

本工程运行期主要噪声源为风机运行产生的噪声。风机运行过程中产生的噪声主要有机械(结构)噪声和空气动力学噪声。

当风速达到或超过额定风速时，风机噪声源强（主要为空气动力噪声）亦达到最高。当环境风速进一步升高时风机噪声不会进一步增强，而周围自然风和树木等的背景噪声会进一步提高，因此风电机组在额定转速条件下的噪声影响最为明显。

2、水下噪声海洋生物影响评价

（1）水下噪声对典型海洋生物影响实验

厦门大学在厦大海洋与地球学院生态场中进行水下噪声对典型海洋生物影响实验，实验海上不同强度声压的水下噪声对水池中鱼类和底栖的影响。实验开始前先在养殖池中 4 个位置用水听器测量水下背景噪声，再将发射换能器置于水池中，发射水下声信号，采用丹麦 B&K 的 PULSE 多通道分析系统，记录和分析水下噪声在 4 个位置中的强度分布，见图 4.3.6-4。

接着分别放置实验用的鱼种和底栖生物，实验用的鱼种经过适当时间的适应后，再把水声发射换能器和水听器置于水池中并静待 10 min。以恢复鱼种因仪器布放过程中所受的惊扰。

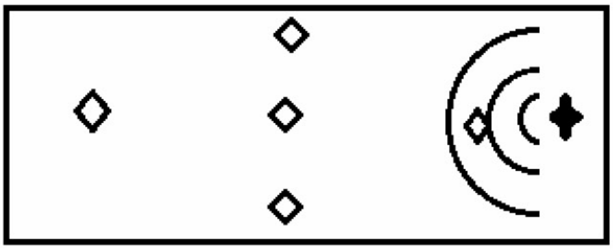


图 4.3.6-4　　测量背景噪声和声场分布的实验布置图

发射噪声信号从低频到高频进行测试，以目前所研究的大多数的石首科鱼类的最高灵敏度 500Hz 为主要频率，观测对不同频率信号的响应。同时改变发射强度，观测鱼类对声信号的响应。

实验水下噪声分两类：

1）把之前记录的原始的海上风电场噪声数据作为噪声源，取其中典型的较大的噪声功率谱数据，使用不同强度的声压级（110dB re 1μPa 、120dB re 1μPa 、130 dB re 1μPa）进行实验，同时用水听器在水池中进行实时跟踪观察噪声数据；

2） 用计算机产生 200Hz~900Hz 的水下低频噪声，使用不用强度的声压级（110dB re 1μPa 、120dB re 1μPa 、130 dB re 1μPa）进行实验，同时用水听器在水池中进行实时跟踪观察噪声数据。

水下噪声生物实验结果显示：

1）行为学参数

运动轨迹：观察了大黄鱼，矛尾鰕虎鱼、半滑舌鳎、斜带石斑鱼、真鲷、卵形鲳鲹、花尾胡椒鲷、凡纳滨对虾等活动状况，在发射上述所提到的不同声源强度噪声，特别是风电场记录的较强的水下噪声时，没有出现回避噪声源的现象。

死亡率：在使用上述的噪声源下，3d 持续发射噪声的时间累加超过 48h，实验组与对照组之间的死亡率数据基本相同，营运期水下噪声辐射没有对鱼类产生直接致死现象。

2）生化指标测量

对大黄鱼、卵形鲳鲹、花尾胡椒鲷、真鲷、斜带石斑鱼、凡纳滨对虾、武士蟳、口虾蛄、棒锥螺、荔枝螺、菲律宾蛤仔、牡蛎、文蛤、翡翠贻贝等 14 种生物 4 个实验组间的碱性磷酸酶（AKP）、酸性磷酸酶（ACP）、超氧化物歧化酶（SOD）的活性以及去甲肾上腺素（NE）的质量浓度分别进行比较分析。

初步结论：

营运期水下噪声强度对仅对缢蛏的碱性磷酸酶活性（AKP）、酸性磷酸酶（ACP）活性有显著影响，对其它物种（大黄鱼、卵形鲳鲹、花尾胡椒鲷、真鲷、斜带石斑鱼、凡纳滨对虾、武士蟳、口虾蛄）的作用不显著。

营运期水下噪声对 5 种鱼类（大黄鱼、卵形鲳鲹、花尾胡椒鲷、真鲷、斜带石斑鱼）血液中去甲肾上腺素的质量浓度影响不明显，除了斜带石斑鱼的对照组和营运期水下噪声之间差异显著，其余各组之间的差异不显著。

营运期水下噪声对鱼类肝脏 SOD 酶活力的影响中，噪声对 5 种鱼类（大黄鱼、卵形鲳鲹、花尾胡椒鲷、真鲷、斜带石斑鱼）SOD 酶活力的影响规律不明显。

（2）噪声对石首鱼科（大黄鱼）影响的实验研究

工程海域中有的大黄鱼、叫姑鱼等属于石首鱼科。石首鱼科对声波特别敏感，容易受到水下强噪声等的直接或间接影响，专题报告中厦门大学对石首鱼科大黄鱼的声学特性进行了现场研究，包括大黄鱼的发声特性以及水下噪声对大黄鱼的影响研究，主要研究结论如下。

①大黄鱼幼苗对声音的敏感频率在 800Hz，声强约 140dB 时对声波即有明显反应，声强 150dB 时有少量幼苗死亡，当声强达到 172dB 时有较多幼苗直接死亡。

②大黄鱼小鱼的测试结果与幼苗明显不同。小鱼的声敏感频率转移至 600Hz，

当声强达到 150dB 以上，小鱼仍未有致死现象，仅有主动避开声源的行为，当声源强度达到 187dB，在声源正上方的小鱼开始变得十分迟钝，当声强达到 192dB 时，仅观察到声源正上方的 2 只小鱼的直接致死，由此说明小鱼最大可承受声压大于幼苗。

③大黄鱼成鱼的声敏感频率也在 600Hz 附近，当声源达到 192dB 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，但未能直接致死。但在声源约为 140dB 时，成鱼对声波就有条件反射行为发生。

可见，不同大小和年龄的大黄鱼对水中声音的反应存在明显差异。三种不同尺寸的鱼对声音的敏感频率集中在 600Hz-800Hz 频带上，与大黄鱼主动发声时的主要谱峰位置相吻合。但不同年龄的大黄鱼的声敏感频率有略微差别，生长年龄越小的鱼，其声敏感频率越高。但大黄鱼的发声信号特征与鱼体耳石大小、生长年龄、雄雌等之间更为定量的关系，还需深入的实验研究。

3、结论

（1） 海上风电场在营运期总体的水下噪声强度比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1μPa，总体噪声谱级都在 120dB/1μPa 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。

（2）所开展的不同强度的水下噪声对鱼类等海洋生物的模拟实验研究结果表明：营运期水下噪声强度对海域中典型鱼类如大黄鱼（成鱼）、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎、斜带石斑鱼、真鲷、卵形鲳鲹、花尾胡椒鲷和等影响不明显，风电场营运期水下噪声对鳗鱼影响不明显。

（3）对石首鱼科大黄鱼的声特性实验结果表明：大黄鱼对声信号的敏感频率在 600~800Hz，不同年龄的大黄鱼对声的敏感性略有区别，年龄越小，敏感频率越高。海上风电场在营运期所产生的 120dB 的水下噪声对大黄鱼等鱼类无明显影响。由于不同海洋生物种群间个体差异较大，特别是石首科中的大黄鱼幼鱼，测试表明：幼鱼大黄鱼的发声谱级在 800Hz 时为 110 dB，已低于海上风电场在该频段上的背景噪声，可能会对大黄鱼幼鱼的通讯声产生影响，但这些幼鱼可以通过游动而远离噪声背景干扰所在海域。

（4）要深入研究风电场对水下噪声的影响除了必须对实际海上风电场的水下

噪声频谱进行实测，更需要调查区域海洋鱼类的听阈值，海洋生物对声信号的敏感性研究等方面需要国家层面、长周期的投入，需要进行大量的基础数据调查和实验。

（5）营运期水下噪声对工程周边海域中的白姑鱼、大黄鱼、 金枪鱼等产卵场的影响还有待进一步深入的研究。要深入研究风电场营运期水下噪声对海洋生物的影响除了必须对该海域实际海上风电场营运中的水下噪声频谱进行实测，还需要调查区域海洋鱼类的听阈值等工作，需要国家层面、长周期的投入，需要进行大量的基础数据调查和研究。

4.3.6.3 电磁辐射对海洋环境影响分析

1、水下电磁辐射影响分析

营运中的海上风电场电缆在每一相导体中均存在 120°的相位差，使得周围导体产生变化的磁场，尽管电缆的护套提供了良好的电场屏蔽，但是无法屏蔽磁场。掩埋电缆能最高效地减小磁场峰值。对于埋设于浅水区的海底电缆，电磁波在海水中的传播的能量衰减速率较空气环境中更大。电磁波在海水中传播时激起的传导电流，致使电磁波的能量急剧衰减，频率愈高，衰减愈快。电磁波的振幅衰减为原来的 1/e 时的传播距离，称为穿透深度 D。根据电磁学麦克斯韦方程组，兆赫级以上的电磁波在海水中的穿透深度 D 小于 25cm，因此海水对交流海底电缆产生的 0.5MHz 磁场的屏蔽作用较空气中更强，浅水区下电缆输电释放的磁场能量会迅速衰减。

采用 Ansoft Maxwell 2D 软件中的交流传导场，评估 6 根平行排列的海底电缆的磁场叠加效应。由麦克斯韦方程组可知，变化的电场将产生磁场，并且通过交流电存在于每一相导线，这些时变的磁场使得周围媒质感应出电场，并且导体中存在涡流，下面采用涡流场求解器仿真磁场强度和磁感应强度。评估得出，并行排列的 6 根电缆磁感应强度的叠加效应将使衰落呈椭圆分布，但总体强度随着距离的增加而减少，而且衰减越来越严重，在离电缆中心点 1m 外的区域中磁感应强度已经降到 10^{-6}T 以下。根据本工程风机机群分布可知，本工程最密集的布放方式为 4 根 66kV 海底电缆并行排列，4 根电缆磁感应强度的叠加效应将衰减更迅速。

2、电磁辐射对海洋生物影响评价

目前学术界对于海底电缆产生的电磁场对海洋生物产生的影响还没有科学的

定论。

行为学研究显示鱼类是能够感觉到电场的，但是目前所知这种影响是较小的。Formicki 等(2004 年)人对很多种鱼进行研究发现，如鲈鱼(*Percafluviatilis*)、白斑狗鱼(*Esox ucius*)、拟鲤(*Rutilus rutilus*)、红眼鱼(*Scardinius rythropthalmus*)、鲷科鱼东方欧鳊(*Abramis brama*)和鲈科鱼梅花鲈(*Gymnocephalus cernuus*)等都趋于选择镶有磁铁的长袋网。但这些研究都是以淡水鱼类为研究对象，因此与海水鱼类相比磁场反应有可能不同。在 Nishi、Kawamura 和 Matsumoto(2004)的研究中发现，无论是在海水中、淡水中还是在养殖区域的日本鳗鲡(*Anguillajaponica*)均会对 12663nT~192473nT 的磁场变化产生反应。以上科研成果为实验研究的结论，仅能说明特定鱼类可能对磁场产生反应。

Westerberg和Begout-Anras(2000)对欧洲银鳗在穿越南波罗的海海底电缆时的洄游形式进行了遥测研究。研究表明，鳗鲡随着持续的磁性罗盘航向迁移，并没有受到电缆产生的电磁异常影响。此外，Westerberg(1994)从研究的角度测试了南波罗的海近岸风力发电机附近的欧洲鳗鲡的洄游形式，在风力发电机500m范围内，鳗鲡的洄游形式没有发生任何改变。

在Westerberg和Lagenfelt的一项未发表的研究中，将60尾正在洄游的银鳗放流于奥兰岛和瑞典大陆之间的132kV交流电缆(AC)北部。其洄游速度在有电缆的间隔中明显降低。虽然能够证实磁场对洄游具有影响，但电缆不会影响其周围鱼类的洄游路线、总体分布和洄游形式。

为了进一步分析海上风电场电磁环境对海洋生物的影响，厦门大学课题组在在临海的厦门大学海洋与地球学院生态养殖场中开展了工频电磁环境对海洋生物短期影响的研究。

初步研究结论如下：

1）海洋生物能够感知强度为 1.0mT 以上交流电磁场的存在，并做出不同生理反应，这种生理反应的持久性未进行进一步评估。

2）强度在 0.3mT 以下的交流电磁场对海洋生物作用 48h 后，其体内的碱性磷酸酶，酸性磷酸酶以及超氧化物歧化酶的比活力变化不显著。

3）磷酸水解酶活力的激活或抑制仅能表明有机体能够感知环境的变化，并不能断定环境条件的变化对生物体是有利还有害。若要进行利或害的判断，必须进行长期（几个月甚至是几个世代）、多因素（成活率，生长速度，抗逆性，繁殖

力等）的综合考虑。

从现有资料分析，66kV 海底电缆在埋设海底下 3m 深时，其在海底面上所辐射的磁感应强度为 10^{-10}~10^{-5}T 数量级。

风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个核内部。对于 66kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 2m 外，磁感应强度已降在 10^{-6}T 以下；对于 220kV 海底电缆，磁感应强度已降在 10^{-5}T 以下。据实验室模拟实验，对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物（大黄鱼、矛尾鰕虎鱼、半滑舌鳎；虾类和贝类有对虾，口虾蛄；菲律宾蛤仔等）基本上无影响。

综合类比实验分析：本项目电磁辐射对该海域中主要的海洋生物资源的影响不明显。

4.7.7 项目用海对鸟类资源影响分析

本报告引用《揭阳靖海海上风电场项目鸟类现状调查及评价专题报告》（广东省生物资源应用研究所，2018 年 7 月）分析本项目海上风电场区域的鸟类资源情况和环境影响。

4.7.7.1 施工期影响

海上风电场施工期间，大型船只和机械活动一方面会对鸟类造成干扰，使鸟类远离施工区域，减少鸟类活动范围，另一方面会影响海洋和底栖生物分布，从而影响鸟类的食物分布；施工产生的噪声会对在施工区及邻近区域觅食的鸟产生影响，使该区域鸟类的数量减少、多样性降低；晚上施工的照明系统会干扰夜间迁徙的鸟类，吸引鸟类与工程设施相撞。

陆上升压站和登陆点的施工期对鸟类影响与对其他陆生动物的影响类似，主要是施工场所永久或临时占用栖息地，道路交通运输和设备安装时造成的环境污染降低生境质量等。除永久用地的影响会持续至运行期，有关工程建设对鸟类的干扰和因环境污染带来的生境质量下降在施工结束后，其影响可以消除。

4.7.7.2 运行期影响

建设项目在运行期会对鸟类造成多方面的影响，有直接的如碰撞、噪声等，

也有间接的如减少食物资源等。按性质分，主要有以下几个方面：

1、对鸟类的直接影响

①风机噪声影响

由于大多数鸟类对噪声具有较高的敏感性，在噪声环境条件下，大多数鸟类会选择回避，减少活动范围。根据项目可研报告推荐，项目设置一座 220kV 海上升压站+一座陆上集控中心，因此本项目运行期噪声主要为风机运转噪声和升压站及集控中心主变噪声。文献研究显示鸟类在开阔范围对噪声的忍受阈值为 47 dB（Hirvonen, 2001），因此每个风机因噪声而对鸟类的产生影响范围噪声衰减至 47 dB 以下所需半径的圆形范围，该范围与视觉影响范围有重叠。海上升压站主变噪声影响类似，因体积较大影响范围大于单个风机噪声。受影响种类主要为在该区域活动的留鸟和中途停歇觅食的候鸟，如黑鸢、白腹海雕等猛禽，以及红嘴鸥、多种燕鸥等鸥形目鸟类。对飞行迁徙经过的候鸟因从高空经过时，与风电机的垂直距离超过 200m（按飞行高度 400 m 算），受到噪声影响较小。

此外，从风机噪声频率角度评价，噪声对主要依靠鸣声进行通讯的鸣禽影响较为严重（Slabbekoorn and Ripmeester, 2008），如吸引配偶、防卫领域、预警、乞食和求救、躲避天敌等。噪声干扰鸟类寻找觅食适合区和追赶猎物并辨别天敌位置的能力，使鸟类的捕食效率和生存力大大下降。在噪声环境中，鸟类可选用特定音节或鸣唱句型传递信息（Kennedy *et al*, 2009）。当环境噪声水平提高时，声信号发出者改变频率和振幅，增大信噪比，降低噪声对声信号的干扰。近年的研究还发现，鸟类还会调节鸣唱时间避开噪声干扰（Hardouin *et al*, 2008）。有研究表明风机噪声频率以低频噪声为主，一般风电场所采用的风机噪声峰值频率出现在 1300~1600Hz。而鸟类鸣声频率主要分布在 2~9 kHz，环境噪声常会影响鸟类鸣声的低频部分。鸟类应对噪声频率干扰的主要方法是提高鸣唱最低频率和主频。一般地，当风速为 8 m/s 时，兆瓦级以下的风电机组声功率级在 98-104 dB(A)之间，其噪声呈现明显的低频特性。随着风电机组输出功率的增大，其产生的噪声增大，并向更低频移动。

以菲尔德斯半岛黑背海鸥为例，幼海鸥“吱”声是由脉冲列与正弦调制波构成的连续波。波形重复频率变化很大，从 0.12-3.3 kHz，频率范围为 200 Hz -4.8 kHz，分别在 1.7、2.5 和 2.9 kHz 处出现谱峰；成体海鸥“咯”声波形具有明显的连续调制特征。波形重复周期约为 0.5 ms，谱峰在 1.1、2 和 3 kHz 处，频率范围为 1-4 kHz；

群体黑背海鸥“哦”和“哦啊”声系由多个波叠加而成的连续波，波形的周期变化较为复杂，谱峰分别出现在 1.2、1.5、1.7 和 3 kHz 处，频率范围为 1-4 kHz。可以看出海鸥鸣声主要频率高于风力发电机组的主要噪声频率。其他如白头鹎等鸣禽，其鸣声各音节的主频范围在 1.6-3.6 kHz，也高于发电机组的主要噪声范围。

以上数据表明，风电场产生的低频噪声基本低于鸟类的最低频率鸣声，鸟类间的互相沟通及交流基本不会受风电场低频噪声的影响。结合本项目建设区域鸟类分布特征，经过风机所在海域的鸟类主要为非鸣禽类的水鸟，受噪音频率影响的可能性较雀形目鸣禽更低。

陆上集控中心噪声参数不详，但由于位于陆地，受影响的鸟类种类会较海面多，且主要为陆生鸟类，如雀形目鸟类等。不是大部分鸟类的适宜生境，因而建设前后在该区域分布的鸟类状况相差不会很大。

②光影响

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

基于实验研究，蓝光等短波光（波长≤405 nm）能刺激候鸟视网膜的隐花色素蛋白，通过光磁感受体作用感受地磁场，从而使鸟类获得地磁定向能力；但红光等长波光会影响隐花色素蛋白的激活，使鸟类失去磁场感受能力。本项目主要使用波长较长的红光和复合光白光，对迁徙鸟类影响较大，容易使候鸟偏离正常的迁徙方向，或增加撞向风电的风险，可尽量采用短波光照明，或延长航空灯闪烁时间间隔等方式减轻影响。

③碰撞效应

一般情况下风电场对鸟类迁徙没有影响。但候鸟在迁徙中途停歇和觅食时，以及遇到不良气象条件时飞行高度一般都低于 100 m。由于此时飞行高度较低，旋

转着的巨大风电机叶轮将会阻止鸟类在风电场范围内飞行和停留；同时，风机叶片旋转的范围是鸟类飞行通过风机的高风险区域，有被风机叶片撞击的危险。但国外有关研究成果表明，候鸟迁徙路线中的风电场年撞鸟概率约为 0.0015%～0.009%。该概率同迁徙候鸟迁徙的规模、气象条件、风电场选址关系很大（Drewitt and Langston, 2006）。大规模的候鸟迁徙也意味着候鸟与风机和输电线路相撞的概率增加；在不良气象条件下，如大雾、降雨或强逆风时，大气能见度降低，鸟类会降低飞行高度，从而增加相撞的概率；风电场选址是最显著影响鸟类死亡的因素，风电场占据的空间范围越大，迁徙鸟类撞击的概率也越大。

同时有研究发现鸟在飞近风电场区域时，能够成功改变迁徙路线以避开塔柱和旋转的叶片，并且白天比夜晚更能精确地改变飞行方向。雷达对丹麦 Nysted 海上风电场鸟类迁徙监测说明，白天鸟类在 3000 m 外，夜间鸟类在 1000 m 外绕开风力发电场飞行，改变飞行方向（Desholm and Kahlert, 2005）。还有研究统计发现，和风电机碰撞的鸟类多为大中体型的鹳形目、隼形目和鸮形目鸟类。根据本项目的鸟类现状调查，本风电场发生碰撞效应的受影响对象主要是夜行性的隼形目鸟类。

2、对鸟类的间接影响

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

①栖息地损失和破碎化

风机直接占风电场的面积很小，大约 2%~5%，但风机可能会让候鸟不敢在附近海域降落生活，影响生活在当地和附近的海鸟繁殖和觅食，导致这些海鸟不得不离开这些活动区域。

②生境质量下降

风机叶片的旋转干扰，迫使鸟类避开原有之飞行路径，使得风机的排列很有可能产生活动区域切割之效应（Drewitt and Langston, 2006）。

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

本工程共安装风机 29 台，单台风机和海上升压站用海面积不大，但整个场址规划面积约 24 km²，实际上大部分鸟类均不能再利用该区域，尤其是喜欢在海面

活动的鸥形目鸟类、部分猛禽、以及海洋性鸟类等。因此，本项目的建设会在一定程度上减少这些类群的活动范围。

3、受保护及代表性物种分析

在沿海地区，迁徙鸟类以水鸟为主，其中大部分为候鸟，尤其是种类最多的鸻鹬类，主要以沿海滩涂生境为主要栖息地，而本项目的登陆点陆域（前詹镇）区域主要为砂质岸线，因此鸻鹬类不会长时间停留在本项目场址相关区域，仅在海面迁飞过程中可能经过风机所在场址（张孚允和杨若莉，1997），比较常出现的种类有翻石鹬、矶鹬等少数种类。鹭科鸟类是会利用岩岸及近岸海面作为栖息觅食的类型，其中岩鹭作为海岛岩岸生境的特有种类，是最有可能受到影响的种类。雁鸭类、鸥类和海洋性鸟类是利用海面较多的水鸟类群，其中雁鸭类主要在近岸浅海区域或内陆鱼塘生境栖息，较少利用远离大陆的海面，本次没有调查到雁鸭类；鸥类也多于浅海区域或近岸滩涂活动，但有时会跟随渔船在海面集群觅食，然而随着风电场的建成鱼类分布发生改变，渔船也不会驶入场址，鸥类与风机发生碰撞的几率也随之降低。海洋性鸟类，如军舰鸟、鲣鸟等，会在海面梭巡，但一般不会集大群，且数量较少，本次调查没有发现。此外，黑鸢、普通鵟等猛禽也发现常于海面上空盘旋，尤其黑鸢属于留鸟，且有繁殖种群，而普通鵟是迁徙越冬类型。但大多数时间猛禽的飞行高度远高于风机运行高度，仅觅食时会靠近海面，当风电场建成后鱼类分布发生改变，其靠近场址的几率也会下降。

根据调查结果，选取记录中的国家级保护物种 5 种、其他保护物种中与海洋关系较为密切的、具有区域特色的鸥科鸟类 2 种、燕鸥科种类 2 种、以及数量较多的物种（白鹭、普通鸬鹚），一共 11 种鸟类作为本区域具有代表性的指标物种，详细分析本项目风机建设对其的影响。

（1）岩鹭 (*Egretta sacra*) **保护状况：国家二级保护，中澳协定收录**

项目影响：岩鹭在项目评价范围内为留鸟，种群数量约为 10 只。主要分布在岩岸生境，距离风电场距离最近约 20 km。白天多停留在礁石岸边伺机捕食，飞行时速度缓慢，常在海上及岩礁上低空飞翔，偶尔在不同的海岛、礁石之间作短距离迁移飞行。由于其主要在白天活动，飞行速度低且飞行高度低，少有集大群出现，海上风机对其影响较轻微。

（2）白鹭 (*Egretta garzetta*) **保护状况：省级保护**

项目影响：白鹭在项目评价范围内为留鸟，种群数量约为 100-120 只。主要分布在港口、海岸和养殖塘和农田，距离风电场距离最近约 20 km。白天多停留在礁石岸边伺机捕食，飞行时速度缓慢，常在海上及岩礁上低空飞翔，偶尔在不同的海岛、礁石之间作短距离迁移飞行。由于其主要在白天活动，飞行速度低且飞行高度低，少有集大群出现，海上风机对其影响较轻微，影响时段集中在非繁殖期。

（3）**黑鸢** (*Milvus migrans*) **保护状况：国家二级保护**

项目影响：黑鸢为中型猛禽，在项目调查区域为常见留鸟，主要于近岸滨海湿地上空飞翔，喜在近岸和海岛上的山林营巢繁殖。本次调查记录在海岸上空飞行，在评价区域内的种群规模约为 3-5 只，而在项目场区内没有发现，估计飞入场区几率较低。而且由于其飞行高度一般较高，风机对其影响不大。

（4）**普通鵟** (*Buteo buteo*) **保护状况：国家二级保护**

项目影响：普通鵟为鹰科中型猛禽，在项目调查区域为冬候鸟，10 月至翌年 3 月可见，主要活动于近岸开阔农田区域，白天多见于高空盘旋飞行。种群规模较小，本次调查在村庄上空飞行，未见在海面活动，项目对其种群不构成影响。

（5）**褐翅鸦鹃** (*Centropus sinensis*) **保护状况：国家二级保护**

项目影响：褐翅鸦鹃为鸦鹃科中型鸟类，在项目调查区域为常见留鸟，主要活动于沿岸湿地灌丛和红树林。常下至地面，但也在小灌丛及树间跳动，通常较隐蔽，只凭鸣声识别。该物种分布广泛，估计整个区域约有 4-6 只的种群，较常见。由于其不会进入海域活动，风电项目对其没有影响。

（6）**小鸦鹃** (*Centropus bengalensis*) **保护状况：国家二级保护**

项目影响：小鸦鹃杜鹃科鸦鹃属的中型鸟类，在项目调查区域为留鸟，和褐翅鸦鹃习性类似，主要活动于沿岸湿地灌丛，也较为隐蔽，只凭鸣声识别。本次调查在冬季有记录，估计整个区域约有 2-3 只的种群。由于其不会进入海域活动，风电项目对其没有影响。

（7）**翻石鹬** (*Arenaria interpres*) **保护状况：中日、中澳协定收录**

项目影响：翻石鹬为鹬科小型鸟类，在项目调查区域为迁徙过境鸟，喜在岩质海岸活动，翻动石块觅食。本次调查在秋季有记录，估计整个区域约有 8-10 只的种群。在本区域停歇时仅在沿岸活动，在迁徙期可能会飞越风电项目所在海域，因此风电场在其迁徙时会产生轻微影响。

（8）**西伯利亚银鸥** (*Larus vegae*) **保护状况：省级保护，中日协定收录**

项目影响：西伯利亚银鸥为鸥科大型水禽，在项目调查区域为冬候鸟，主要活动于沿海湿地，常成对或成小群活动在水面上飞翔，亦善游泳，退潮时于滩涂停歇、觅食。由于在本区域不存在繁殖可能性，繁殖期风电场对其无影响，可能影响出现在迁徙期。

（9）红嘴鸥（*Larus ridibundus*）保护状况：省级保护，中日协定收录

项目影响：红嘴鸥为鸥科中型水禽，在项目调查区域为冬候鸟，10-翌年 3 月可见，主要活动于沿海滩涂和近岸海域，白天多于近岸港口附近海面活动，在海上浮于水面或立于漂浮木或固定物上，或于其它海洋鸟类混群，在鱼类上空盘旋飞行。亦会在渔船及岛礁周围海面活动，偶尔停歇于海面或岛礁岸滩。本次调查在近岸岩石和海面均有发现，且在海面数量较大，是风电场可能影响的主要对象。

（10）白额燕鸥（*Sterna albifrons*）保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

项目影响：白额燕鸥为燕鸥科中小型水禽，在项目调查区域为夏候鸟，4-9 月可见，主要活动于近岸滩涂，停歇处滩涂偏沙质，并在沙滩营巢。本次调查发现的繁殖地在隆江镇，距离项目场址约40 km，繁殖种群共约有100-180 只，主要在养殖塘和近岸2 km 飞行觅食，在项目场址内部没有观测记录。由于其繁殖地多为沙质滩涂，甚少到岩礁海岸筑巢，风电场对其影响十分轻微。

（11）褐翅燕鸥（*Onychoprion anaethetus*）保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

项目影响：褐翅燕鸥为燕鸥科中小型涉禽，主要栖息于大海，是典型的海洋鸟类，仅在恶劣气候及繁殖季节才靠近海岸或岛屿。在项目调查区域为夏候鸟，4-9 月可见，曾在一些离岸礁石上看到少量个体飞行，说明在离岸岛屿上可能有繁殖种群，种群数量约30-80 只，风电场可能会对其觅食飞行有影响。

4.3.8 项目用海对海洋保护区资源的影响分析

1、对海洋保护区的影响

根据报告书 3.2.6 节的介绍，本项目附近的海洋保护区有海洋功能区划划定的神泉海洋保护区及前詹海洋保护区。根据数值模拟计算结果，项目施工产生的大于 10mg/L 的悬浮物增量未扩散进入神泉海洋保护区和前詹海洋保护区，施工结束

后，产生的悬浮物将迅速衰减。理论上来说，电缆施工引起的悬浮物扩散影响，基本不会波及到两个海洋保护区，因此，项目建设期间的悬浮物扩散不会对两个保护区的水质造成明显影响。

2、对海洋保护动物的影响分析

根据底栖生物的调查结果，本项目所在海域有文昌鱼分布。根据新发布的《国家重点保护野生动物名录》，文昌鱼科所有野外种群均被列入国家二级保护野生动物。本项目施工期可能会对文昌鱼造成影响，建议建设单位在施工前对施工范围内的文昌鱼进行详细调查，分析施工范围内是否存在该物种，如存在该物种，应当适当微调施工范围，并降低施工强度，采取适当的保护措施，尽量减少对文昌鱼的影响。

此外，本项目所在海域及附近海域可能存在印太江豚、宽吻海豚、海龟等海洋珍稀濒危动物的目击记录。项目施工过程中可能会对有关保护动物造成影响，本报告书分析了水下噪声对有关海洋哺乳动物的影响。建议在打桩，海底电缆铺设等开始施工前，应密切注意观察施工船舶周围保护生物的活动情况，并设定至少 1.7km 的施工保护范围为警告区域。设立鲸豚等重要保护生物观察员专责观察施工点周围是否有保护生物出现，在开始施工前派遣巡逻船只巡查，确认施工保护范围有无鲸豚等保护生物活动，若发现有鲸豚等保护生物，应暂停施工，采用无害声驱的方法将其驱逐出作业海域，再进行施工作业。在施工期间过往和进出风电场区船只应控制船速，并尽量慢速航行，以防螺旋桨碰撞保护生物致死或受伤。此外，建设单位和施工单位均应该加强对施工人员和船员的生态保护教育，提升施工人员和船员的海洋生态环境保护和海洋生物保护的意识。施工单位应建立保护动物救护预案，一有发现因施工船舶碰撞或船舶螺旋桨致使工程海域鲸豚类等保护动物受到损伤，应立即与保护区管理部门联系，按救护预案开展保护物种的救护工作。

4.3.9 项目用海对海岛（礁）资源的影响分析

根据报告书 3.1.7 节的介绍，在登陆点附近海域有五个岛（礁），分别是大堆尾、南心仔、山礁、山礁外岛和山礁内岛，均属于无居民海岛，本项目海底电缆设计时已避开相关岛礁，正常施工和营运不会对岛礁产生不利影响，但在施工期，

施工不当可能对岛礁造成一定的影响，项目建设单位应加强对岛礁资源稀缺性的认识，做好宣传工作，划定岛礁 100m 范围内为人员和设备禁止进入区域，在施工时施工船舶和器械需避开岛礁禁止区域，不得对岛礁及岛礁 100m 范围内的地形地貌造成直接破坏。

4.3.10 项目用海生态风险分析

4.3.10.1 项目用海生态风险识别

项目用海生态风险主要是船舶溢油事故风险。

（1）本工程溢油事故发生概率

本工程施工过程中，主要以施工船舶与周边船舶因恶劣气象条件或操作不当而发生碰撞后导致的溢油事故为主。另外本工程 220kV 海缆施工会穿过多条规划航线，航线内船流密度较大，船舶碰撞事故可能性将增加。

船舶行驶过程中发生碰撞、泄漏事故的原因多种多样，给事故预防带来一定的难度。但对众多事故发生的原因分析可知，只要加强管理、安全操作，多数船舶碰撞、泄漏事故是可以预防的。

通过对国家运行船舶数量、船舶污染事故发生数量的统计显示，船舶发生碰撞诱发污染事故发生概率相对较低。近年来信息化程度发展较快，给航线管理带来了极大便利，便于及早发现问题，有效的进行安全调度和指挥，因此，船舶碰撞、搁浅等交通事故发生的概率相对较低。

（2）最大可信事故预测

最大可信事故指在所有预测的概率不为 0 的事故中，对环境（或健康）危害最严重的重大事故。本项目最主要的环境风险类型主要包括：海上船舶与施工船舶或者风机碰撞引起的燃料油或货油泄露。

本风电场施工期采用的主要施工船舶为 5000t 级的甲板驳轮，其所带的燃料油舱为 134m^3，燃料油密度按 0.75t/m^3 计算，则 5000t 级甲板驳轮最大载油量约为 100t。运行期根据通航资料显示，工程水域基本没有大中型船舶活动，可能会有小型渔船活动，若发生渔船与风机相撞事故，渔船载油量一般在 5t 以下。运行期海上升压站主要带油设备有主变和柴油机，每台主变本体油量约 37t，共两台主变；柴油机一台，其日用油量约为 6000L，约 5t；由于设备均布置在房间内，发生灾害时不

会产生影响，仅在灾害严重，升压站倾倒时可能会产生泄漏；假设发生灾害事故时，海上升压站主变油全部泄漏，油量按 79t 计。运行期风机主要带油设备为变压器，采用“1 机 1 变”单元接线方式，每台变压器油量约 2.5t，假设发生风机倒塌事故时，风机变压器油全部泄露，油量按 2.5t 计。

由于工程周边通航船舶均为大型船只，按固定航线行驶，本工程海域不具备大型船舶通航的条件，同时根据通航安全论证报告分析，周边通航船舶与风机碰撞概率较低，因此溢油源强考虑最大可信事故为施工期施工船舶与航线船舶相撞导致油舱破损而发生溢油事故。

4.3.10.2 溢油事故影响预测分析

4.3.10.2.1 油品在海上的运动形态及其归宿

不可溶泄漏物多为油状液体，密度比水轻，在空气的蒸发或挥发以及在水中溶解性都很小。因此，不可溶泄漏物溢出到海面以后，存在以下几种运动形态：

(1)扩展由于油品比水轻，将漂浮于水面。在初期阶段由于受重力和表面张力的作用而在水面上向四周散开，范围越扩越大。这个过程称为油的扩展。

(2)漂移是指油膜在海流、风、波浪、潮汐等因素的作用下引起的漂移。

(3)分散油品在海面形成油膜以后，受到破碎波的作用使一部分油品以油滴形式进入水中形成分散油。一部分油滴重新上升到水面，也有部分油滴从海面逸出而挥发到大气中。

(4)乳化由于机械动力，如涡旋、破碎浪花、湍流等因素，使油品和水激烈混合，形成油包水乳化物和水包油乳化物。

(5)吸附沉淀部分油品粘附在海水中的悬浮颗粒上，并随之沉到海底。

(6)生物降解海洋环境中的微生物对水中的油品有降解作用。

油品在海洋环境中的归宿问题是复杂的问题，由于受到各种环境条件(温度、盐度、风、波浪、悬浮物、地理位置和本身的化学组成等)的影响，每一次事故溢出物的归宿也不尽相同。其主要的影响因素有乳化、吸附沉淀和生物降解等。

4.3.10.2.2 预测模型

采用油粒子模式预测燃油的漂流扩散及其影响，粒子模式预测方法是假定海面上漂浮着一定厚度的、较为稠密的表面膜，该膜是由有限个彼此独立、互不干扰的油质点组成。它们分别受风与水流影响，独自漂移，即不会发生碰撞，也不

会发生混合，在海表面漂流过程中由于蒸发粒子数量减少。

粒子漂流模式如下：

$$x = x_0 + \int_{t_0}^{t} u dt \quad y = y_0 + \int_{t_0}^{t} v dt$$

$$u = u_c + \kappa u_w + u_r \quad v = v_c + \kappa v_w + v_r$$

原坐标为(x_0，y_0)油膜经时间$\Delta t = t - t_0$后，漂移到坐标(x，y)。u 和 v 分别是油膜运动的东、北分量，它由流速 Vc、风速 Vw、油膜随机运动速度 Vr 组成，k 为风对油膜拖曳系数，预测模型取值 0.022。通过跟踪各油膜坐标(x，y)的各位置，确定运移范围，统计其数量和质量，可得各坐标网格的化学品膜面积和厚度。

燃油蒸发过程受油性质、油厚度、风及油组分控制。使用 Mackay 等提出的蒸发系数：

$$\theta = \frac{kSt}{V_0}$$

$k = f \times 10^{-3} U_w^{0.78}$，Uw 为海面 10m 风速，S 为表面膜面积，Vo 为化学品体积，t 为时间，f 为不同化学品蒸发系数，取值 1.3；通过上式蒸发系数，计算该粒子质量与厚度，当表面膜厚度少于 0.05mm，该油粒子消失。

通过以上计算，可以确定任意质点在任一时刻的位置和属性，同时也可以反映出这些质点的群体状况，由此来描述燃油漂移扩散的过程。

4.3.10.2.3 溢油位置与源强

本项目可能发生溢油事故的方式是施工船舶相互发生碰撞或施工船舶与附近航道船舶之间碰撞导致的溢油事故，2#点位风电场北侧航路处，1#点位在风电场内，溢油点位置见 4.3.10-1 图。

图 4.3.10-1 溢油点位置示意图

(1) 1#点位溢油源强

考虑到进出风电场施工区的各类船舶发生碰撞的可能性，在风电场区海缆路由与附近航道交汇处确定 1 个溢油点(1#点)。根据本工程可研，风电场施工船舶最大吨位为 1 万吨级的上部基础运输船舶，根据《水上溢油环境风险评估技术导则》中附录 C 表 C6 中 1 万吨级散货船燃油舱单舱燃油量计算，燃料舱单舱燃油量

109m³，即 1#溢油点最可能发生的溢油量 87.2t，本报告取 100t。

(2) 2#点位溢油源强

根据《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目通航安全影响分析报告》，从拟建风电场海域的船舶 AIS 航迹来看，3.5 万吨级及以下船舶多在本风电场北侧海域航行。按照《船舶污染海域环境风险评价技术规范》（海船舶〔2011〕588 号），船舶溢油事故溢油量应选取工程可能的最大水上溢油事故溢油量。本工程施工船舶最大吨位约 1 万吨级，当与风电场北侧航路船舶发生碰撞时，可能最大的溢油量可考虑 3.5 万吨级船舶单个油舱破裂发生的溢油量(2#溢油点)。参照《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017）附录 C 表 C6 中 5 万吨级船舶，燃油总舱容为 2200m³，燃油总量 1760m³(载油率 80%)，燃油舱单舱燃油量为 220m³，即 2#溢油点最可能发生的溢油量 176t。

4.3.10.2.4 预测潮流与风况组合条件

根据附近神泉风电场海上观测塔风向、风速资料统计结果，常风速工况为夏季 SW 风向，5.7m/s；冬季 NE 风向，9.8m/s；另选取施工期两方向极限风速 13.8m/s 作（不利）极限施工工况，与潮流的组合为涨潮初涨、落潮初落，组合情况具体见表 4.3.10-1。

表 4.3.10-1 施工期溢油泄漏扩散预测组合情况

溢油点	工况设置	风向	风速（m/s）	背景流场与潮性	泄漏量（t）
2# 中小型 航路处	常风工况	NE	9.8	冬季流场大潮落潮（低低潮时刻）	176
		NE	9.8	冬季流场大潮涨潮（高高潮时刻）	176
		SW	5.7	夏季流场大潮落潮（低低潮时刻）	176
		SW	5.7	夏季流场大潮涨潮（高高潮时刻）	176
	大风工况 不利风向工况	NE	13.8	冬季流场大潮落潮（低低潮时刻）	176
		NE	13.8	冬季流场大潮涨潮（高高潮时刻）	176
		WSW	13.8	夏季流场大潮落潮（低低潮时刻）	176
		WSW	13.8	夏季流场大潮涨潮（高高潮时刻）	176
1# 风电场内	常风工况	NE	9.8	冬季流场大潮落潮（低低潮时刻）	100
		NE	9.8	冬季流场大潮涨潮（高高潮时刻）	100

		SW	5.7	夏季流场大潮落潮（低低潮时刻）	100
		SW	5.7	夏季流场大潮涨潮（高高潮时刻）	100
	大风工况	NE	13.8	冬季流场大潮落潮（低低潮时刻）	100
		NE	13.8	冬季流场大潮涨潮（高高潮时刻）	100
		SW	13.8	夏季流场大潮落潮（低低潮时刻）	100
		SW	13.8	夏季流场大潮涨潮（高高潮时刻）	100

4.3.10.2.5 常风工况 2#点预测结果

表 4.3.10-2 是平均风速工况，风向 NE、SW 与大潮涨潮、落潮四组合情况下 2#点溢油泄漏 72h 的影响范围统计，图 4.3.10-2~图 4.3.10-5 是溢油后油膜漂移扩散包络线图。

表 4.3.10-2　NE、SW 常风工况 2#点溢油泄漏 72 小时扫海面积(km^2)和残余油量(t)

泄漏后时间	冬季潮流场、NE 风向、风速 9.8m/s				夏季潮流场、SW 风向、风速 5.7m/s			
	大潮落潮		大潮涨潮		大潮落潮		大潮涨潮	
	扫海	残余量	扫海	残余量	扫海	残余量	扫海	残余量
2	2.649	176	0.716	176	0.43	176	0.573	176
6	10.168	171.2	2.291	174.4	1.718	174.8	5.442	174.8
10	11.958	164.5	13.103	172	9.38	173.6	9.881	172.4
18	22.913	150.9	20.335	164	18.617	167.3	25.276	166.8
24	25.92	139.8	37.949	157.4	39.381	161.9	36.804	160.8
48	53.702	99.7	72.677	129.3	88.93	139	88.143	134.4
72	74.395	69.3	95.088	110.1	148.074	121.3	132.608	117.6
影响敏感区与时间								
前詹珍稀物种保护区	0h		0h		0h		0h	
汕头重要渔业保护区	-		-		24h		22h	

图 4.3.10-2 大潮落潮 NE 风向 9.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-3 大潮涨潮 NE 风向 9.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-4 大潮落潮 SW 风向 5.7m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-5 大潮涨潮 SW 风向 5.7m/s 溢油扩散包络线

4.3.10.2.6 不利（大风）工况 2#点预测结果

表 4.3.10-3 是大风风速，不利风向 NE、SW 与涨潮、落潮四组合情况下溢油泄漏 72h 影响范围统计，下图是溢油后油膜漂移扩散包络线。

表 4.3.10-3　NE、SW 不利工况 2#点溢油泄漏 72 小时扫海面积(km^2)和残余油量(t)

泄漏后时间	冬季潮流场、NE 风向、风速 13.8m/s				夏季潮流场、SW 风向、风速 13.8m/s			
	大潮落潮		大潮涨潮		大潮落潮		大潮涨潮	
	扫海	残余量	扫海	残余量	扫海	残余量	扫海	残余量
2	3.151	176	0.43	176	0.573	176	0.644	176
6	12.674	170	1.432	172.8	2.291	172.8	6.587	173.6
10	14.679	161.2	12.387	168.4	11.814	169.6	11.743	166
18	30.789	141.9	22.77	149.4	22.984	152.1	28.498	149.8
24	38.164	127	42.532	133.9	46.542	137.9	40.742	135
48	81.126	65	96.878	78.6	102.893	79.7	95.16	73.2
72	106.401	29.6	124.37	41.8	170.199	40.7	147.286	35.7
影响敏感区与时间								
前詹珍稀物种保护区	0h		0h		0h		0h	
碣石海马珍稀物种区	60h		63h		-		-	
汕头重要渔业保护区	-		-		16h		13h	
南彭列岛保护区					70h		68h	

图 4.3.10-6　大潮落潮风向 NE 风速 13.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-7 大潮涨潮风向 NE 风速 13.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-8 大潮落潮风向 SW 风速 13.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-9 大潮涨潮风向 SW 风速 13.8m/s 溢油扩散包络线

4.3.10.2.7 常风工况 1#点预测结果

表 4.3.10-4 是平均风速工况，风向 NE、SW 与涨潮、落潮四组合情况下 1#点溢油泄漏 72h 的影响范围统计，下图是溢油后油膜漂移扩散包络线图。

表 4.3.10-4　NE、SW 平均风速工况溢油泄漏 72 小时扫海面积(km^2)和残余油量(t)

泄漏后时间	冬季潮流场、NE 风向、风速 9.8m/s				夏季潮流场、SW 风向、风速 5.7m/s			
	大潮落潮		大潮涨潮		大潮落潮		大潮涨潮	
	扫海	残余量	扫海	残余量	扫海	残余量	扫海	残余量
2	2.792	100	0.788	100	0.716	100	0.358	100
6	11.814	98	2.434	98.4	2.22	98.9	5.299	99.2
10	16.182	94.8	14.75	96.4	10.884	98.1	10.096	97.2
18	37.663	87.6	27.209	86.8	19.977	93.3	26.708	92.4
24	40.885	81.3	51.053	79.3	43.033	89.1	40.742	87.6
48	85.135	56.4	91.58	47.8	95.589	71.6	98.024	67.1
72	123.658	38.3	118.216	27.8	153.444	56.7	152.299	55.1
影响敏感区与时间								
前詹珍稀物种保护区	9h		11h		-		-	

图 4.3.10-10　大潮落潮 NE 风向 9.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-11　大潮涨潮 NE 风向 9.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-12　大潮落潮 SW 风向 5.7m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-13　大潮涨潮 SW 风向 5.7m/s 溢油扩散包络线

4.3.10.2.8 不利（大风）工况 1#点预测结果

表 4.3.10-5 是极限风速工况，风向 NE、SW 与涨潮、落潮四组合情况下 1#点溢油泄漏 72h 影响范围统计，下图是溢油后油膜漂移扩散包络线图。

表 4.3.10-15　NE、SW 大风速工况溢油泄漏 72 小时扫海面积(km^2)和残余油量(t)

泄漏后时间	冬季潮流场、NE 风向、风速 13.8m/s				夏季潮流场、SW 风向、风速 13.8m/s			
	大潮落潮		大潮涨潮		大潮落潮		大潮涨潮	
	扫海	残余量	扫海	残余量	扫海	残余量	扫海	残余量
2	2.721	100	0.573	100	0.573	100	0.716	100
6	11.886	96.4	2.005	98	2.363	98	6.158	98
10	15.538	91.1	13.676	94.8	12.244	95.6	11.242	92.4
18	36.374	79.9	24.989	80.6	23.056	81.7	29.715	81.1
24	41.816	68.9	51.339	67.2	48.69	70.9	43.892	67.7
48	82.558	31.4	107.475	20.7	105.757	26.4	107.189	20.4
72	104.898	11.6	138.766	2.3	158.886	4.3	157.955	2.7
影响敏感区与时间								
南彭列岛保护区					70h		68h	

图 4.3.10-14 大潮落潮风向 NE 风速 13.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-15　大潮涨潮风向 NE 风速 13.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-16　大潮落潮风向 SW 风速 13.8m/s 溢油扩散包络线

图 4.3.10-17　大潮涨潮风向 SW 风速 13.8m/s 溢油扩散包络线

由上述常风速工况和不利（大风）工况 2#点溢油预测结果来看，由于溢油点位于前詹珍稀物种保护区，发生溢油必受影响，冬夏季大风工况影响保护区较常规工况多；

1#点溢油离岸较远，冬季溢油影响前詹珍稀物种保护区，夏季大风工况影响南彭列岛保护区。

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 揭阳市社会经济概况

揭阳市位于广东省东南部，地处粤港澳大湾区与海西经济区的地理轴线中心。1991 年设立为地级市，辖榕城、揭东 2 区，揭西、惠来 2 县，代管普宁市，并设揭阳产业园、空港经济区、大南海石化工业区、粤东新城等经济功能区，构建揭阳中心城区、普宁主城区、揭阳滨海新区（惠来）三个粤东城市群城市中心和揭西生态发展示范区“三中心一示范区”区域协调发展布局。全市陆地面积 5240 平方公里，海域面积 9300 平方公里，现有常住人口 705 万人，海外侨胞、港澳台同胞和外出乡贤近 600 万人，是粤东地区面积最大、人口最多的地级市。

揭阳市初步建立起轻工发达、外向带动、民营为主的工业体系，形成纺织服装业、金属行业、化工和矿物加工业、制鞋业、食品业、医药制造业、电气机械和设备制造业等七大支柱产业；拥有规模以上工业企业 1397 家，年产值亿元以上企业 536 家，5 亿元企业 87 家，10 亿元企业 23 家，100 亿元以上企业 2 家；有康美、榕泰、巨轮、高乐、佳隆、柏堡龙、宏光、舜辙等上市公司 8 家；全市获得驰名商标认定保护 15 件，有效注册商标累计 138092 件，居全省第 7 位。空港经济区、大南海石化工业区、中德金属生态城、产业转移工业园等建设步伐加快。荣获“中国五金基地市”“亚洲玉都”“中国玉都”“中国塑料时尚鞋之都”“中国纺织产业基地市（普宁）”“中国医药名城（普宁）”“中国能源工业大县（惠来）”等称号。

根据《揭阳市 2023 年国民经济和社会发展统计公报》（揭阳市统计局 国家统计局揭阳调查队），按照广东省地区生产总值统一核算结果，2023 年揭阳地区生产总值为 2445.03 亿元，同比增长 7.5%。其中，第一产业增加值为 230.09

亿元，同比增长 4.8%；第二产业增加值为 913.79 亿元，同比增长 14.4%；第三产业增加值为 1301.15 亿元，同比增长 3.7%。

一、农业生产稳定增长。2023 年，全市农林牧渔业总产值 364.25 亿元，增长 5%。其中：农业产值 214.35 亿元，增长 4.3%；林业产值 39.56 亿元，增长 7.1%；牧业产值 51.1 亿元，增长 4.1%；渔业产值 32.41 亿元，增长 4.5%。重要农产品供给稳定，蔬菜总产量 236.09 万吨，增长 2.9%；园林水果总产量 80.46 万吨，增长 9.5%；猪肉产量 10.08 万吨，增长 7.2%；禽肉产量 4.66 万吨，增长 3.6%；水产品产量 15.3 万吨，增长 2.6%。

二、工业经济快速增长。2023 年，全市规上工业增加值 539.59 亿元，增长 23.6%。制造业持续快增，先进制造业实现翻倍增长。分三大门类看，制造业 482.02 亿元占 89.4%，增长 26.3%；电热水供应业 56.78 亿元占 10.5%，增长 5.8%；采矿业 0.78 亿元占 0.1%，下降 53.5%。在现代产业体系中，高技术制造业增加值 17.95 亿元，下降 34.4%；先进制造业增加值 341.63 亿元，增长 124.6%。重工业增长速度加快，重工业实现增加值 384.49 亿元，增长 123.1%；轻工业实现增加值 155.1 亿元，下降 46.8%。

三、消费市场稳中趋缓。2023 年，全市实现社会消费品零售总额 1098.85 亿元，增长 2.9%。从城乡市场看，实现城镇消费品零售额 785.82 亿元，增长 2.6%；农村消费品零售额 313.03 亿元，增长 3.6%。从消费类型看，商品零售 1052.49 亿元，增长 2.7%；餐费收入 46.35 亿元，增长 6.7%。

四、有效投资继续承压。2023 年，全市固定资产投资下降 19.1%。分类型看，项目投资下降 19%；房地产开发投资下降 19.5%。项目投资中，基础设施投资下降 3%，工业技术改造投资增长 29.8%。从投资主体看，民间投资增长 19.3%。从三次产业看，第一产业投资增长 557.9%；第二产业投资下降 43.4%；第三产业投资下降 0.1%。

五、外贸发展彰显活力。2023 年，全市进出口总额 229.8 亿元，增长 41.3%。其中，出口 131.4 亿元，增长 4.7%；进口 98.4 亿元，增长 164.5%。

六、财税收入保持快增态势。2023 年，全市地方一般公共预算收入 101.08 亿元，首次突破百亿大关，增长 41.6%。其中税收收入 43.85 亿元；增长 50.8%。一般公共预算支出 387.38 亿元，增长 3.4%。基本民生保障有力，民生支出 303.43 亿元，占一般公共预算支出的 78.3%。

七、金融存贷平稳增长。至 12 月底，全市金融机构本外币存款余额 3284.1 亿元，增长 7.7%；本外币贷款余额 1551.52 亿元，增长 9.9%。存贷比为 47.2%。

八、居民收入稳步增长。2023 年，全市全体居民人均可支配收入 25797 元，增长 4.1%，增速比前三季度提高 0.2 个百分点。其中，城镇居民人均可支配收入 31305 元，增长 3.4%；农村居民人均可支配收入 19847 元，增长 4.7%。

九、物价水平相对稳定。2023 年，全市居民消费价格同比下降 0.2%。八大类价格呈“四升三降一持平”：教育文化和娱乐类上涨 1.7%，食品和烟酒类上涨 0.7%，其他用品和服务类上涨 0.4%，医疗保健类上涨 0.3%，生活用品及服务类价格持平，交通和通信类下降 1.5%，衣着类下降 2%，居住类下降 2.1%。

5.1.1.2 惠来县社会经济概况

惠来县地处广东省东南部，位于东经北纬 22°53′30″～23°11′10″，115°54′55″～116°34′10″之间，东连潮阳，西接陆丰，北邻普宁，南濒南海。县境东西相距 67 公里，南北相距 33.5 公里，全县陆地面积 1253 平方公里。

惠来正围绕打造“广东沿海经济带主战场、‘一核一带一区’发展先行区、揭阳副中心和新的发展极”新定位，紧锣密鼓铺开各项工作。其中揭阳滨海新区建设序幕已徐徐拉开，粤东新城、粤东风电产业园、大南海石化工业区三驾马车集中驱动发力，中委广东石化炼油一体化、中海油粤东 LNG、国家电投海上风电、明阳智慧能源、汕汕高铁惠来段、武汉理工大学揭阳校区等一大批重点项目相继落户建设，项目、平台、产业同步发展，惠来现在已迎来了天时地利人和的黄金发展时期，从舞台边缘走到聚光灯下。

2023 年惠来县全域实现地区生产总值 419.13 亿元，同比增长 57%，其中，第一产业增加值 66.19 亿元，同比增长 4.8%，第二产业增加值 242.95 亿元，同比增长 187.4%，第三产业增加值 110 亿元，同比增长 4.5%，三次产业结构为 15.8:58.0:26.2。分行业来看，全县实现农林牧渔业产值 105.86 亿元，同比增长 5.1%，规模以上工业增加值同比增长 292.7%，固定资产投资同比下降 22.9%，实现社会消费品零售总额 108.31 亿元，同比增长 4.4%，常住人口 106.02 万人，全体居民人均可支配收入 22224 元，同比增长 5.3%。

根据《2022 年惠来国民经济和社会发展统计公报》，经揭阳市统计局统一核算，2022 年全县实现地区生产总值 286.28 亿元，同比下降 1.7%。第一产业增加

值 62.94 亿元，增长 4.8%，其中完成农林牧渔业增加值 65.73 亿元，增长 5.3%；第二产业增加值 80.74 亿元，下降 13.2%，其中完成工业增加值 63.63 亿元，下降 8.7%，完成建筑业增加值 17.19 亿元，下降 28.5%；第三产业增加值 142.60 亿元，增长 3.5%，其中完成批发和零售业增加值 41.36 亿元，下降 1.1%，完成房地产业增加值 33.83 亿元，增长 3.8%。三次产业比例为 22.0:28.2:49.8。人均地区生产总值 27203 元，下降 2.3%。

全年地方一般公共预算收入 9.17 亿元，比上年增长 2.4%；其中，税收收入 1.81 亿元，同比下降 56.8%；全年地方一般公共财政预算支出 70.28 亿元，同比增长 15.2%，八项支出 56.21 亿元，同比增长 20.4%，其中民生类支出为 45.82 亿元，占一般公共预算支出比重为 65.2%，其中：教育支出 15.77 亿元；社会保障和就业支出 17.26 亿元；卫生健康支出 11.93 亿元。

2022 年末全县总户数 297434 户，比上年增加 3827 户，总人口 1494938 人，比上年末增加 681 人，其中城镇人口 638686 人，乡村人口 856252 人；全县当年出生人数 19620 人，人口出生率 13.13‰；死亡人数 6931 人，死亡率 4.64‰；自然增长人数 12689 人，自然增长率 8.49‰。全县常住人口 105.47 万人，其中城镇常住人口 47.19 万人，占常住人口比重（常住人口城镇化率）44.74%，比上年末提高 0.46 个百分点。

2022 年全体居民人均可支配收入 21108 元，增长 5.8%，其中城镇居民人均可支配收入 26364 元，增长 3.7%；农村居民人均可支配收入 16931 元，增长 6.0%。

全年全县水产品产量 8.77 万吨，增长 1.3%。其中，海水产品 6.81 万吨，增长 0.8%；淡水产品 1.96 万吨，增长 3.1%。

2022 年以来，全县没有发生较大以上生产安全事故和森林火灾事故、没有发生因自然灾害造成的人员伤亡事故，安全形势平安稳定。全县共发生一般以上道路交通事故 945 宗，同比增加 59 宗、上升 6.66%；死亡 55 人，同比增加 5 人、上升 10.00%； 受伤 1005 人，同比增加 117 人、上升 13.17%；财产损失 64.3 万元，同比增加 3.5 万元、上升 5.75%。

根据《2021 年惠来国民经济和社会发展统计公报》（惠来县统计局，2022 年 8 月 29 日发布），2021 年末全县总户数 293607 户，总人口 1494257 人，比上年末增加 6432 人，其中城镇人口 639996 人，乡村人口 854261 人；全县当年

出生人数 23762 人，人口出生率 15.94‰；死亡人数 4255 人，死亡率 2.85‰；自然增长人数 19507 人，自然增长率 13.08‰。全县常住人口 105.01 万人。

2021 年全体居民人均可支配收入 19945 元，增长 12.7%，其中城镇居民人均可支配收入 25418 元，增长 12.9%；农村居民人均可支配收入 15979 元，增长 13.4%。经市统计局统一核算，2021 年全县生产总值（GDP）完成 293.95 亿元，比上年（下同）增长 7.3%。其中，第一产业增加值 57.26 亿元，增长 3.7%；第二产业增加值 97.73 亿元，增长 4.8%；第三产业增加值 138.96 亿元，增长 10.7%。三次产业结构比重为 19.5：33.2：47.3，第三产业所占比重比上年下降 0.3 个百分点。在第三产业中，批发和零售业增加值增长 7.7%，住宿和餐饮业增加值增长 7.2%，金融业增加值增长 13.1%，房地产业增加值增长 4.2%。其他服务业增长 15.6%。人均地区生产总值 28116 元，增长 7.5%。

全年地方一般公共预算收入 8.96 亿元，比上年增长 44.9%；其中，税收收入 4.19 亿元，下降 3.64%；全年地方一般公共财政预算支出 60.99 亿元，下降 1.47%，八项支出 46.70 亿元，下降 1.47%，

全年全县水产品产量 8.66 万吨，增长 1.1%。其中，海水产品 6.76 万吨，增长 0.7%；淡水产品 1.90 万吨，增长 2.6%。

全年全部工业总产值 277.07 亿元，比上年增长 4.0%。其中，规模以上工业总产值 241.55 亿元，增长 6.3%；规模以下工业总产值 35.52 亿元，增长 17.9%。

2021 年完成港口吞吐量 1112.144 万吨、比增 57.49%，陆运客运量 97.37 万人、比减 24.5%，陆运客运周转量 14011.61 万人公里、比增 4.98%，公路货运量 97.74 万吨、比增 10.42%，公路货物周转量 11597.02 万吨公里、比增 8.61%。

全年固定资产投资 158.21 亿元，比上年下降 7.5%。其中，第二产业投资 35.38 亿元，同比下降 21.8%。全年社会消费品零售总额 102.96 亿元，比上年增长 9.3%。

2021 年雨量为 1260 毫米，比上年多 152.5 毫米，同比偏多 13.7%。全年全社会能源消费总量 98.73 万吨标准煤，比上年增长 28.1%。全社会用电量 14.68 亿千瓦时，增长 19.18%。其中,工业用电量 2.8 亿千瓦时，增长 15.36%。

根据《2020 年惠来国民经济和社会发展统计公报》（惠来县统计局，2021 年 5 月 25 日发布），2020 年末全县总户数 284728 户，总人口 1487825 人，比上年末增加 4061 人，其中城镇人口 639410 人，乡村人口 848415 人；全县当年

出生人数 30896 人，人口出生率 20.79188；死亡人数 13510 人，死亡率 9.09‰；自然增长人数 17386 人，自然增长率 11.7‰。

2020 年全体居民人均可支配收入 17702.6 元，增长 2.2%，其中城镇居民人均可支配收入 22505.4 元，增长 1.2%；农村居民人均可支配收入 14093.2 元，增长 3.3%。经市统计局统一核算，2020 年全县生产总值（GDP）完成 257.69 亿元，比上年（下同）下降 3.5%。其中，第一产业增加值 57.74 亿元，增长 4.8%；第二产业增加值 77.40 亿元，下降 11.7%；第三产业增加值 122.55 亿元，增长 0.3%。三次产业结构比重为 22.4：30.0：47.6，第三产业所占比重比上年提高 2.5 个百分点。全年地方一般公共预算收入 6.18 亿元，比上年增长 33.6%；其中，税收收入 4.35 亿元，增长 42.5%；全年地方一般公共财政预算支出 61.89 亿元，增长 6.0%，

全年全县水产品产量 8.56 万吨，增长 1.2%。其中，海水产品 6.71 万吨，下降 0.9%；淡水产品 1.85 万吨，增长 9.5%。全年全部工业总产值 266.42 亿元，比上年下降 14.1%。全年固定资产投资 170.98 亿元，比上年增长 5.6%。其中，第二产业投资 45.25 亿元，同比下降 23.2%。

全年进出口总额 6.82 亿元，比上年下降 29.6%；其中，出口 5.47 亿元，下降 23%；进口 1.35 亿元，下降 47%。进出口差额 4.12 亿元。全年合同利用外资金额 271 万美元，实际利用外资金额 286 万美元。

全年全社会能源消费总量 77.09 万吨标准煤，比上年下降 12.2%。单位 GDP 能耗下降 9.02%。全社会用电量 12.31 亿千瓦时，增长 16.1%。其中,工业用电量 2.42 亿千瓦时，增长 5.9%。

5.1.2 海域使用现状

本工程风电场位于揭阳市惠来县靖海镇东南面海域，建设400MW海上风电项目，项目海底送出输电电缆的登陆点位于揭阳市惠来县前詹镇南部。

经过现场调研、管理部门调访、海域使用动态监管系统查询，项目周边海域已确定开发利用活动约有41项，具体见图5.1.2-1和表5.1.2-1，登陆段附近海域开发现状见图5.1.2-2和图5.1.2-3，周边风电场示意见图5.1.2-4，登陆点附近养殖情况见图5.1.2-5。

本工程风电场区域现状为海域，周边开发利用内容主要为“中国航路指南推荐的台湾海峡至横澜岛大型船舶和外国船舶航路”， 亚太二号光缆汕头至分支3

段，亚太二号光缆汕头至淡水段，亚欧光缆汕头至支路单元7段，国家电投揭阳靖海海上风电项目测风塔工程；主海缆穿越“中国航路指南推荐的台湾海峡至横澜岛中、小型船舶航路”、全国沿海航路规划的内航路琼州海峡至台湾海峡（北上和南下）、广东省航道图-海甲航道，与中海油LNG锚地距离较近，登陆段与“揭阳港前詹作业区通用码头一期工程”距离较近。

根据《广东省海上风电发展规划》（2017-2030年）（修编），本项目风电场东侧还规划有汕头海门海上风电场。汕头海门海上风电场位于汕头市海门镇南面海域，因欧亚光缆分割成三部分，分别是海门场址一、场址二和场址三，场址间距4公里，场址最近端距离陆岸约20公里，最远端距离陆岸45公里。场址用海面积144平方公里，水深在30-35米之间，规划装机容量90万千瓦，目前均处于前期工作阶段。场址一由三峡集团负责推进，场址二、场址三由华能集团推进。

本项目海底电缆可能与军事海缆有交越，因保密原因，本报告不作介绍。

本项目及揭阳海域的神泉一期风电场和神泉二风电场建设前期工作的测风塔工程——靖海测风塔工程、国家电投揭阳神泉海上风电项目#1和#2测风塔均已取得广东省人民政府的用海批复，并办理海域使用权不动产登记手续，海域使用权人为本项目业主单位的上级公司国家电投集团广东电力有限公司，目前权属已到期，已办理注销手续。

论证范围内揭阳港大南海东岸公共码头防波堤工程、揭阳港大南海东岸公共进港航道工程、揭阳大南海石化工业区海洋放流管工程均已取得用海批复，海域使用权人为揭阳大南海石化工业区管理委员会。中委广东石化2000万吨/年重油加工工程调整用海已取得用海批复，海域使用权人为中国石油天然气股份有限公司广东石化分公司。揭阳港惠来沿海港区前詹作业区蓝水深远海通用码头工程已取得用海批复，用海单位是广东蓝水深远海装备科技有限公司。

表 5.1.2-1　项目周边海域使用现状统计表

序号	项目名称	用海情况	距离本项目方位和距离	备注
1	神泉传统渔港	渔业用海	电缆西侧，约 10.0km	
2	惠来县神泉示范性渔港建设项目	渔业用海	电缆西侧，约 7.6km	
3	资深传统渔港	渔业用海	电缆北侧，约 10.0km	
4	靖海传统渔港	渔业用海	电缆东侧，约 15.5km	
5	揭阳港前詹作业区通用码头一期工程	工业用海	电缆西侧，约 400m	
6	粤东液化天然气项目一期工	工业用海	电缆西侧，约 2.2km	锚地单独统

序号	项目名称	用海情况	距离本项目方位和距离	备注
	程			计
7	中委合资广东石化 2000 万吨/年重油加工工程	工业用海	电缆西侧，约 14.2km 电缆北侧，约 4.0km	
8	广东惠来电厂项目	工业用海	电缆北侧，约 12.5km	
9	神泉海洋保护区	保护区	电缆西侧，约 5.6km	
10	前詹海洋保护区	保护区	电缆北侧，约 2.2km	
11	#1 锚地	规划锚地	电缆西侧，约 15km	1#
12	#2 锚地	规划锚地	电缆西侧，约 10km	1#
13	#3 锚地	规划锚地	电缆西南侧，约 10km	1#
14	#4 锚地	规划锚地	电缆西南侧，约 7.0km	1#
15	#5 锚地	规划锚地	风电场南侧，约 10km	1#
16	#6 锚地	规划锚地	风电场西北侧，约 14km	1#
17	#7 锚地	规划锚地	电缆西北侧，约 11km	1#
18	粤东液化天然气项目一期工程锚地	锚地	电缆西南侧，约 4.5km	LNG，已确权
19	中国航路指南：台湾海峡至横澜岛 中、小型船舶航路	推荐航路	风电场北侧，主电缆穿越	
20	中国航路指南：台湾海峡至横澜岛 大型船舶和外国船舶航路	推荐航路	风电场南侧，与规划风场最近约 5.4km	
21	全国沿海航路规划内航路琼州海峡至台湾海峡（南下）	规划航路	风电场北侧，主电缆穿越	
22	全国沿海航路规划内航路琼州海峡至台湾海峡（北上）	规划航路	风电场北侧，主电缆穿越	
23	广东省航道图 海甲航道	推荐航道	风电场北侧，主电缆穿越	
24	广东省航道图 神泉港进港航道	推荐航道	风电场北侧，主电缆西侧约 4.2km	
25	国家电投揭阳神泉海上风电项目#1 测风塔工程	透水构筑物	电缆西南侧约 27km	风资源测量
26	国家电投揭阳神泉海上风电项目#2 测风塔工程	透水构筑物	电缆南侧约 18km	风资源测量
27	国家电投揭阳靖海海上风电项目测风塔工程	透水构筑物	风电场场址区	风资源测量
28	国家电投揭阳神泉一 400MW 海上风电场项目	工业用海	风电场：厂址西南侧约 40km 主海缆：登陆段西侧约 0.3km	已确权建设
29	国家电投揭阳神泉二 350MW 海上风电场项目增容项目	工业用海	风电场：厂址西南侧约 18.9km 主海缆：登陆段东侧紧邻	已确权建设
30	**鲍鱼养殖场（详见表 5.1.2-2）**	**取排水口**	**登陆点附近**	**未确权**
31	亚太二号光缆汕头至分支 3 段	海底光缆	风电场东侧约 2.9km	已确权
32	亚太二号光缆汕头至淡水段	海底光缆	风电场东侧约 8.3km	已确权
33	亚欧光缆汕头至支路单元 7 段	海底光缆	风电场东侧约 14.1km	已确权
34	规划海门风电场场址三	海上风电场	风电场东侧约 5.1km	正在办理前期工作

序号	项目名称	用海情况	距离本项目方位和距离	备注
35	规划海门风电场场址二	海上风电场	风电场东侧约 10.0km	正在办理前期工作
36	规划海门风电场场址一	海上风电场	风电场东侧约 16.1km	正在办理前期工作
37	揭阳港大南海东岸公共码头防波堤工程	非透水构筑物	电缆西侧，约 14.1km	已确权
38	揭阳港大南海东岸公共进港航道工程	航道用海	电缆西侧，约 14.1km	已确权
39	揭阳大南海石化工业区海洋放流管工程	海底电缆管道	电缆西侧，约 14.1km	已确权
40	中委广东石化 2000 万吨/年重油加工工程调整用海	海底电缆管道	电缆西南侧，约 12.1km	已确权
41	揭阳港惠来沿海港区前詹作业区蓝水深远海通用码头工程	码头工程	电缆西侧，约 1.3km	已确权

本项目共建设2回220kV的连陆海底电缆，登陆点位于前詹镇南部，根据现场踏勘资料，结合自然资源部海域海岛动态监管系统的遥感影像分析，本项目登陆点附近有较多的鲍鱼养殖场，咨询养殖工人得知鲍鱼养殖场通过埋设管道于海床取水，每天24h不间断取水，排水采用管道直接排水；鲍鱼养殖从鲍鱼苗-半成品-成品需一年以上时间，养殖场半成品主要销往福建，用于海上吊养，成品销往全国各地，有关现状照片见图5.1.2-4。

根据惠来县前詹镇赤沃村民委员会查询到的资料，登陆点西侧为方强荣（10）鲍鱼养殖场，东侧为杨永鸿（3）已建运营鲍鱼养殖场。其中方强荣未办理证件，杨永鸿已办理营业执照，但未办理水域滩涂养殖使用证。登陆点正方向有村庙一座。根据惠来县规划，为实施海上风电场项目的送出工程登陆，揭阳海上风电场登陆点附近的鲍鱼养殖场将逐步清退。

表5.1.2-2　鲍鱼养殖场分布表

序号	项目名称	距离本项目方位和距离	利益相关者或协调责任人
1	谢财气养殖场	西侧约 200m	谢财气
2	周明坤养殖场	西侧约 100m	周明坤
3	杨永鸿养殖场	东侧紧邻	杨永鸿
4	詹文开养殖场	东北侧约 50m	詹文开
5	王武养殖场	东北侧约 70m	王武
6	方强荣养殖场	西侧约 20m	方强荣

图 5.1.2-1 项目周边开发活动示意图

图 5.1.2-2　登陆段周边海域现状示意图

图 5.1.2-3　登陆段周边海域现状养殖现状示意图

图 5.1.2-4　周边风电场示意图

登陆点现状沙滩（镜头向南）

登陆点陆域情况（镜头向北）

登陆点陆域情况（镜头向西）

		
登陆点陆域情况（镜头向东）	登陆点附近鲍鱼养殖取排水管	登陆点附近的庙宇

图 5.1.2-5　登陆段陆域图（2018 年 5 月）

图 5.1.2-6　登陆段现状航拍图（2021 年 12 月）

5.1.3 海域使用权属

根据收集到的资料，与本项目用海相邻的已确权用海项目见表 5.1.3-1，各确权项目的分布见图 5.1.3-1。

表 5.1.3-1　项目周围海域使用权属现状

图 5.1.3-1 各确权项目的分布图

5.2 项目用海对海域开发活动的影响

根据 5.1 节开发利用现状的分析，本项目所在附近海域及近岸的主要开发活动有 41 项，结合项目建设和运营情况，项目用海对海域开发活动影响分析如下：

5.2.1 对港口、航线、锚地区的影响分析

本项目风电场及海底电缆距离神泉传统渔港、惠来县神泉示范性渔港建设项目、资深传统渔港、靖海传统渔港等的距离均大于 5km 以上，工程的建设不会对渔港产生不利影响，但来往渔港和航线上的船只如果抛锚不准和航线运行不准，也可能对电缆或者风机基础造成破坏。

本项目 220kV 海底电缆登陆点邻近有《揭阳港总体规划（2035 年）》的“前詹作业区”，登陆段最近约 400 米。工程施工过程中，施工船舶较多，施工船只的增多将给这一区域的船舶航行安全带来较大困难，可能会增加码头有关船舶的航行、避让困难，对有关船舶进出港产生不利影响。另外，来往作业区的船只如果抛锚不准和航线运行不准，也可能对电缆造成破坏。

本工程海底电缆距离粤东液化天然气项目一期工程锚地（LNG 锚地）最近约 4.5km，距离《揭阳港总体规划（2035 年）》规划的其他锚地距离均在 6km 以上，对锚地影响小，但在工程施工过程中，施工船舶较多，施工船只的增多将给这一区域的船舶航行安全带来较大困难，可能会增加锚地有关船舶的航行、避让困难，对有关船舶进出锚地产生不利影响。此外，船舶抛锚不准和发生走锚事故，也可能对埋设的海底电缆造成破坏。

本工程风电场场址范围避开了周边船舶习惯航路与相关的规划航路。本工程海 220kV 海底电缆穿越推荐中小型船舶航路、琼州海峡-台湾海峡内航路北上和南下航路、海甲航道。施工船只的增多将给这一区域的船舶航行安全带来较大困难，可能会增加有关船舶的航行、避让困难，对有关船舶的通航产生不利影响。

各种航路指南中的航路仅为推荐习惯航路，实际中船舶不一定按推荐习惯航路航行，过往商船实际在拟定计划航线时，可根据自身情况作调整，虽

然本拟建风电场不处于过往商船习惯航路航线上，但其占用的海域范围相对较大，风电场所在海域原本是一片开阔的、航行条件优良的通航水域，从实际航迹来看是有过往商船实际航线接近或穿越拟建风电场海域的。因此，本风电场建设对过往商船正常航行有一定的影响，会改变部分船舶习惯航法，需要绕航/避航，使航行时间加长，燃油消耗增大，给船舶营运带来一定的经济损失。

虽然施工会对其周围的通航环境会造成一定的影响，但通过严密、科学的施工组织和合理的生产调度；把工程安全、施工安全和通航安全放在首位，做好施工作业的安全管理工作；施工船运用良好船艺，谨慎驾驶的驾驶员，可以最大限度地减少施工期对通航环境和船舶通航的影响。

5.2.2 对保护区的影响分析

本项目附近的海洋保护区有海洋功能区划划定的神泉海洋保护区及前詹海洋保护区。根据数值模拟计算结果，项目施工产生的大于 10mg/L 的悬浮物增量未扩散进入神泉海洋保护区和前詹海洋保护区，施工结束后，产生的悬浮物将迅速衰减。理论上来说，电缆施工引起的悬浮物扩散影响，基本不会波及到两个海洋保护区，因此，项目建设期间的悬浮物扩散不会对两个保护区的水质造成明显影响。

5.2.3 对测风塔的影响分析

测风塔用于对近地面气流运动情况进行观测，记录的塔形构筑物，为风电厂前期规划采集数据所用。本项目风电场海域建设有 1 座测风塔，属于本项目的前期工作之一，为本项目的设计和建设提供基础数据支撑。据建设单位介绍，该测风塔已拆除，本工程的建设不会对测风塔产生不利影响。

5.2.4 对揭阳港前詹作业区通用码头一期工程的影响分析

本工程海底电缆登陆段距离揭阳港前詹作业区通用码头一期工程最近约 400m，海缆施工时产生的悬浮泥沙会对码头工程产生影响，由于该码头工程对

悬浮物相对不敏感，因此本工程海缆敷设造成的悬浮物影响相对不大。

本项目施工时会增加区域通航密度，对周围的通航环境会造成一定的影响，但通过严密、科学的施工组织和合理的生产调度；把工程安全、施工安全和通航安全放在首位，做好施工作业的安全管理工作；施工船运用良好船艺，谨慎驾驶的驾驶员，可以最大限度地减少施工期对通航环境和船舶通航的影响。

5.2.5 对粤东液化天然气项目一期工程的影响分析

本工程海底电缆登陆段距离粤东液化天然气项目一期工程最近约 2.2km，海缆施工时产生的悬浮泥沙会对码头工程产生影响，会对 LNG 的取水产生一定的影响，由于该码头工程对悬浮物相对不敏感，而且 LNG 取水后需进行过滤，受到本工程海缆敷设造成的悬浮物影响相对不大。

本项目施工时会增加区域通航密度，对周围的通航环境会造成一定的影响，但通过严密、科学的施工组织和合理的生产调度；把工程安全、施工安全和通航安全放在首位，做好施工作业的安全管理工作；施工船运用良好船艺，谨慎驾驶的驾驶员，可以最大限度地减少施工期对通航环境和船舶通航的影响。

5.2.6 对项目所在区域其余海上风电项目的影响分析

本项目、神泉一海上风电项目和神泉二风电项目均属于揭阳地区同期的海上风电建设项目，三者之间的影响是相互的，目前神泉一、神泉二风电项目已建设完成。由于三个项目的建设单位均为同一个母公司国家电投广东电力有限公司在揭阳地区投资的公司，建设单位统筹安排相互的施工时间和施工方式等，可尽可能避免相互影响。

本项目风电场东侧约 5.1km 处规划有汕头海门海上风电场，该风电场的开发单位为华能广东汕头海上风电有限责任公司，目前正处于前期工作阶段。如后续在施工阶段，本项目与海门风电项目同期施工，施工阶段可能会相互影响。在运营期，由于海门三海上风电场距离本项目较远，两个项目之间不会相互影响。

5.2.7 对海底光缆的影响

本项目风电场东侧约 2.9km 建设有亚太二号光缆汕头至分支 3 段。本项目施工过程中，如船舶抛锚不准，可能会对光缆造成损害。项目正常运营过程中不会对光缆造成影响。

5.2.8 对其余工程建设项目的影响分析

本项目距离中委合资广东石化 2000 万吨/年重油加工工程、揭阳港大南海东岸公共码头防波堤工程、揭阳港大南海东岸公共进港航道工程、揭阳大南海石化工业区海洋放流管工程、中委广东石化 2000 万吨/年重油加工工程调整用海和广东惠来电厂项目的最近距离均较远，本项目建设不会对这些工程项目产生影响。

揭阳港惠来沿海港区前詹作业区蓝水深远海通用码头工程被揭阳港前詹作业区通用码头一期工程所掩蔽，本项目建设基本不会对该项目产生影响。

5.2.9 对近岸鲍鱼养殖场的影响分析

本项目登陆段施工时会破坏有关鲍鱼养殖场的取排水设施，海底电缆施工时产生的悬浮泥沙会对养殖场的取水造成一定的影响。

根据现场调研结果，鲍鱼养殖取水为管道取水方式，即取水管布设于海床上，抽水机发动时，海水通过过滤装置后进入取水管，通入养殖场，再通过砂滤等设施处理后最终进入养殖池，这种取水方式取的海水经过多次过滤，可以避免由于恶劣天气等导致的海水浑浊。本项目海底电缆施工时产生的悬浮泥沙虽然会扩散入有关养殖取水区域，但本项目海底电缆施工时间很短，产生的悬浮泥沙将较快沉降，而且悬浮泥沙均为海床原位泥沙的再悬浮，不会引入其他污染物，通过有关鲍鱼养殖场的过滤设施后，实际不会对鲍鱼养殖场的取水产生较大不利影响。

本项目海底电缆登陆时需对杨永鸿鲍鱼养殖场取排水管道进行拆迁，并限制方强荣在建鲍鱼养殖场的取水管道的布置位置。

有关鲍鱼养殖场的示意如图 5.2.9-1。

图 5.2.9-1 鲍鱼养殖场取水系统示意图

5.3 利益相关者界定

利益相关者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益关系的个人、企事业单位或其他组织或团体。

通过对本项目周围用海现状的调查，分析规划用海对周边开发活动的影响情况，按照利益相关者的界定原则，对本工程用海的利益相关者进行了界定，工程建设涉及的利益相关者分析见表 5.3.2-1、表 5.3.2-2 和图 5.3.2-1、图 5.3.2-2。

表 5.3.2-1 项目用海的利益相关者分析表

表 5.3.2-2 近岸陆域鲍鱼养殖场的利益相关者分析表

由表和图可知，本项目的协调责任部门为航道、海事主管部门，利益相关者为有关鲍鱼养殖场养殖户。

本工程的建设会对国家电投揭阳靖海海上风电项目测风塔工程产生较大影响，但由于测风塔工程建设单位为国家电投集团广东电力有限公司，是本工程建设单位的上级公司，且该测风塔已拆除，因此不作为利益相关者。

本工程的建设对国家电投揭阳神泉一 400MW 海上风电场项目和国家电投揭阳神泉二 350MW 海上风电项目增容项目的影响是相互的，由于三个项目的建设单位都属于国家电投集团广东电力有限公司在揭阳市投资设立的子公司（见附件），这些子公司为一体化管理，不增加内设机构和定员，因此不作为利益相关者。

本项目的建设将对限制杨永鸿养殖户和方强荣养殖户取排水管道的建设，对其养殖取排水产生一定影响，因此将杨永鸿养殖户和方强荣养殖户作为利益相关者。本项目建设单位前期在建设神泉一、神泉二海上风电项目时已与相关鲍鱼养殖户进行协商。

综上，本论证报告书确认协调责任部门为航道、海事主管部门，利益相关者为杨永鸿养殖户和方强荣养殖户。

值得注意的是，悬沙扩散数值模拟是模拟理论条件下产生的悬浮泥沙增量，有关参数为经验值，并不一定能完成代表实际情况，有关养殖户或开发利用活动虽然不在模拟影响范围内，但实际施工过程中可能会对其产生影响，这应该引起建设单位的密切注意。

本项目建设单位承诺，如在实际施工过程中，确实因施工产生的悬浮泥沙等因素造成有关鲍鱼养殖户的苗种死亡，建设单位愿意依法承担法律责任。

图 5.3.2-1 利益相关者分布图 1

图 5.3.2-2　利益相关者或协调责任部门分布图 2

5.4 相关利益协调分析

5.4.1 与当地航道、海事主管部门的协调

本工程的建设会对 4 条推荐航线、海甲航道产生一定影响，项目建设期间海域施工船只增多，会给这一区域的船舶抛锚和航行安全带来一定的困难；风电场建设也会对其产生一定的冲淤影响。项目施工前，建设单位应主动与当地航道、海事主管部门进行沟通和协调，按照相关规定，制定相应的通航安全保障措施，并制定溢油等应急预案。

本项目的“通航报告”已编制完成，主要结论如下：**“通过工程建设方案的合理性、可行性分析，本风电场项目选址基本合理。该风电场的建设对所在海域的通航环境和通航安全有一定的影响，在采取本报告提出的相关安全保障和维护措施后，其不利影响和风险将会得到相当程度的缓解。从船舶通航环境和通航安全角度考虑，国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目对附近海域通航环境和通航安全的影响是可控的，工程建设是可行的。”**

建设单位应严格执行“通航报告”提出的对策措施，严格执行有关管理部门的意见。

5.4.2 与有关鲍鱼养殖户的协调

本项目登陆段施工时会破坏有关鲍鱼养殖场的取排水设施，海底电缆施工时产生的悬浮泥沙会对养殖场的取水造成一定的影响。

根据现场调研结果，鲍鱼养殖取水为管道取水方式，即取水管布设于海床上，抽水机发动时，海水通过过滤装置后进入取水管，通入养殖场，再通过砂滤等设施处理后最终进入养殖池，这种取水方式取的海水经过多次过滤，可以避免由于恶劣天气等导致的海水浑浊。本项目海底电缆施工时产生的悬浮泥沙虽然会扩散入有关养殖取水区域，但悬浮泥沙均为海床原位泥沙的再悬浮，不会引入其他污染物，通过有关鲍鱼养殖场的过滤设施后，实际不会对鲍鱼养殖场的取水产生较大不利影响。220kV 海底电缆登陆段用海范围内有部分鲍鱼养殖场的取水管道和排水管道，本项目的建设需对有关管道进行拆迁。

建设单位在实施国家电投揭阳神泉二350MW海上风电项目时已与惠来县前詹镇赤澳村民委员会赤澳经济联合社签订协议（见附件），约定由后者负责协调有关利益相关者，建设单位承诺进行补偿，方强荣和杨永鸿在协议书签字确认。建设单位可采取此模式协调有关利益相关关系。

综上所述，本项目建设单位与有关利益相关者具有可协调性。

5.5 项目用海与国防安全和国家海洋权益的协调性分析

海域属国家所有，单位和个人经营性使用海域，必须按规定交纳海域使用金。本期工程用海属经营性用海，不涉及领海基点，按国家有关规定交纳海域使用金，不损害国家权益。

项目附近海域可能有军用设施，有军事活动，其工程建设、生产经营可能会对军事活动一定影响，建议建设单位加强与军方进行沟通，在有关管理部门的组织下主动征求意见，以保障项目建设过程不会影响军事设施安全和军事活动的进行，未取得军事部门明确同意意见前不得开工建设。

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 省市县国土空间规划

6.1.1.1 《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》

2023 年 8 月 8 日，国务院批准《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》（本节内容简称《规划》）。2024 年 1 月 16 日，广东省人民政府印发《规划》，对全省国土空间开发保护作出总体安排。该规划范围涵盖广东陆域行政管辖范围及省管辖海域范围。

《规划》明确，广东将积极推进国土空间保护、开发、利用和修复，到 2035 年，全面建成安全、繁荣、和谐、美丽的高品质国土；到本世纪中叶，广东全域形成均衡、协调、有序的国土空间格局。

《规划》以“世界窗口、活力广东、诗画岭南、宜居家园”为发展愿景，着力把广东建设成为“中国特色社会主义先行区、高质量发展的引领区、美丽中国建设的典范区、开放包容智慧的宜居家园”。

广东将立足资源环境禀赋和社会经济发展水平，以“三区三线”和主体功能区战略格局为基础，构建“一核两极多支点、一链两屏多廊道”的网络对流型国土空间开发保护总体格局，促进形成“一核一带一区”区域发展格局。

《规划》强调，按照耕地和永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界的优先序统筹划定落实三条控制线，把三条控制线作为调整经济结构、规划产业发展、推进城镇化不可逾越的红线。以三条控制线分别围合的空间为重点管控区域，统筹发展和安全，统筹资源保护利用，优化农业、生态、城镇等各类空间布局。

构建“一核两极多支点”的国土空间开发利用格局，即强化珠三角核心引领带动作用，支持汕头、湛江建设省域副中心城市，建设若干个重要发展支点。构建“一链两屏多廊道”的国土空间保护格局，即构建南部海洋生态保护链，筑牢南岭生态屏障和粤港澳大湾区外围丘陵浅山生态屏障，以陆海主要生物廊道为

主，结合碧道、绿道、古驿道等特色线性廊道，形成通山达海的生态廊道网络系统。

在农业空间安排上，广东将巩固“四区一带”农业空间格局，推动珠三角都市农业区、粤东精细农业区、粤西高效农业区、粤北生态特色农业区四大农业功能片区和南部蓝色农业带建设，提高粮食和重要农产品保障供给能力。

在生态空间安排上，广东将筑牢“三屏五江多廊道”生态空间格局，推进南岭生态屏障、粤港澳大湾区外围丘陵浅山生态屏障、蓝色海洋生态屏障保护修复，强化东江、西江、北江、韩江、鉴江等骨干水系保护，构筑以重要水系、森林带和海岸带为主的生态廊道，强化生态系统多样性、稳定性、持续性。

在城镇空间安排上，广东将完善“一群五圈”城镇空间格局，推动珠三角城市群高质量发展，打造广州、深圳都市圈，促进珠江口西岸、湛茂地区一体化和汕潮揭同城化发展，培育更多高质量发展的增长点增长极。

在海洋空间安排上，广东将强化“六湾区一半岛五岛群”海洋空间格局，跨行政区推动大汕头、大红海、环大亚湾、环珠江口、大广海、大海陵六大湾区和雷州半岛的海洋资源整合，优化珠江口、大亚湾、川岛、粤东、粤西五大岛群功能布局，提升陆海协同发展的持续力。

《规划》还提出，构建充分展现山海相连的地域景观、碧道成网的流域风光、开放包容的人文特质、风格各异的城乡特色等“四位一体”的岭南魅力空间体系，营造自然生境和美好人居诗意共融的美丽图景。同时，健全绿色安全的基础设施支撑体系，建设现代化韧性安全广东。

根据《规划》中的海岸带保护利用规划图，本项目场址范围部分区域（约 17.15km^2）不在规划的海上风电场址区域，主要是根据军事部门要求调整了场址范围，场址调整事宜已取得广东省发展改革委的支持性意见（见附件）。

本项目位于《规划》中的沿海经济带；风电场、66kV 海底电缆、部分 220kV 海底电缆位于海洋空间功能布局图中的海洋开发利用空间，部分 220kV 海底电缆位于海洋空间功能布局中的海洋生态保护红线（前詹珍稀濒危物种分布区），重叠面积 96.4426 公顷。项目附近的海洋生态保护红线有惠来县人工鱼礁重要渔业资源产卵场、鸡椒礁特别保护海岛、客鸟尾重要滩涂及浅海水域、绿洲海岸防护物理防护极重要区、前詹海岸防护物理防护极重要区、神泉芦园湾重要滩涂及浅海水域、神泉珍稀濒危物种分布区、汕头深水重要渔业资源产卵场、粤

东沿海丘陵平原水土保持生态保护红线、粤东沿海丘陵平原水土保持生态保护红线、粤东沿海丘陵平原水土保持生态保护红线。具体位置关系见表 4.1.1-1 和图 6.1.1-1。

图 6.1.1-1　海洋生态保护红线叠加图

6.1.1.2 《揭阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》

2023 年 8 月 26 日，广东省人民政府正式批复了《揭阳市国土空间总体规划（2021—2035 年）》（本节内容简称《规划》）。

《规划》提出，揭阳市城市性质为全国性综合交通枢纽城市、粤东地区新型产业强市、潮客底蕴深厚的岭南山海名城。揭阳市要立足国家战略、区域职能和本地实际，主动融入粤港澳国际一流湾区建设，积极推动汕潮揭同城化发展，提升城市综合治理水平，推进产业共建互促，提升基础设施互联互通水平，建设成为连接粤港澳大湾区与海峡西岸经济区的重要引擎。

《规划》要求严守国土空间安全底线。到 2035 年，揭阳市耕地保有量不低于 587.87 平方公里（88.18 万亩），其中，永久基本农田保护面积不低于 519.15 平方公里（77.87 万亩）；陆域生态保护红线不低于 844.85 平方公里（126.73 万亩）；城镇开发边界面积控制在 477.64 平方公里以内；用水总量不超过上级下达任务，其中 2025 年不超过 13.76 亿立方米；大陆自然岸线保有率不低于国家和省下达任务。

《规划》强调要优化国土空间开发保护格局。要以“三区三线”为基础，整体谋划“一轴三极多点，一带四廊四区”的市域国土空间开发保护格局，以揭普惠发展轴强化中心城区、揭阳滨海新区、普宁中心城区三个区域发展核心，以“一城两园”为主战场建设沿海经济带，打造榕江创新提升走廊、揭西绿色经济走廊、G238-练江整治升级走廊和龙江美丽经济走廊，带动全市融合发展。要落实主体功能区战略，统筹优化农业、生态、城镇等功能空间。推动形成“一主三副多点”的城镇空间结构，引导城镇体系逐步优化。

《规划》强调推进土地高质量开发利用。要以资源环境承载能力为约束，合理控制国土开发强度，坚持节约集约利用土地，高效布局新增建设用地，持续推进多种形式的存量低效用地再开发，引导城镇建设用地混合利用。坚持制造业当

家，以揭东经济开发区国家级园区和大南海石化工业区等省级园区为引领，推动各县（市、区）重点工业园区提质增效，支撑绿色石化、现代轻工纺织、生物医药、临港产业等现代化产业集群高质量发展。

《规划》对营造美好人居环境品质、强化城市运行支撑保障、支撑县镇村高质量发展、统筹自然资源保护利用等做出统筹安排。提出要以 15 分钟社区生活圈为基本单元，构建均衡协调的公共服务体系，加强历史文化保护传承，塑造中心城区“三山两水一古城、两轴一带一半岛”的总体景观风貌格局；构建复合高效的空铁港综合交通网络，统筹保障水、电、气等各类市政基础设施，做好城市安全风险防控，提高城市韧性；引导县域差异化资源配置，提升县城综合承载能力，指引镇级国土空间规划发挥资源要素统筹作用，强化乡村建设用地保障，加快推进“百县千镇万村高质量发展工程”实施；加强榕江等重要流域和矿山、海岸带等生态修复，科学推进造林绿化，加快建设“绿美揭阳”，加强矿产资源和海洋资源保护利用，优化矿产资源开采布局，强化陆海统筹。

因《揭阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》暂未印发公开稿，规划按涉密文件管理，本报告未引用该规划的相关内容。

6.1.1.3 《惠来县国土空间总体规划（2021-2035 年）》

2023 年 11 月 16 日，广东省人民政府批准《惠来县国土空间总体规划（2021-2035 年）》（本节内容简称《规划》）。

《规划》批复要求，严守国土空间安全底线。到 2035 年，惠来县耕地保有量不低于 193.26 平方公里（28.99 万亩），其中永久基本农田保护面积不低于 166.53 平方公里（24.98 万亩）；陆域生态保护红线不低于 139.25 平方公里；城镇开发边界面积控制在 89.73 平方公里以内。用水总量不超过上级下达任务，其中 2025 年不超过 2.60 亿立方米。落实蓝线、绿线、黄线、紫线、历史文化保护线以及洪涝风险控制线等防灾减灾底线，并纳入国土空间规划“一张图”严格实施空间管控。

《规划》批复强调优化国土空间开发保护格局。基于国家级城市化地区的主体功能定位，统筹优化农业、生态、城镇、海洋等功能空间。以“三区三线”为基础，构建以“一带两轴，一城两园”为结构，以五大功能区为本底的县域国土空间开发保护格局，积极融入沿海经济带发展，依托滨海城镇发展轴、揭普惠发

展轴，强化惠来县城、揭阳大南海石化工业区、惠来临港产业园发展带动和核心服务的载体作用，推进揭阳滨海新区、大南山生态屏障区和东部、西部、西南部三个城乡统筹发展区特色化发展。引导城镇体系逐步优化，促进中心城区扩容提质。

《规划》批复要求夯实基础设施保障。做好通用机场、港口、轨道等重大区域交通设施的空间预留管控，完善便捷高效的综合交通网络。统筹保障水、电、气、通信、垃圾处理等各类市政基础设施，确保城市生命线稳定运行。高度重视城市公共安全，做好城市安全风险防控，加强人防、消防设施规划建设和重大危险品管控，增强抵御灾害事故和处置突发事件能力，提高城市安全韧性。

《规划》批复提出提升自然资源保护利用水平。以资源环境承载力为约束，合理控制国土开发强度，全面提升资源节约集约利用水平。坚持保护优先、自然恢复为主，统筹山水林田湖草自然资源保护利用与修复，严格河湖水域空间管控，实施龙江、鳌江和罗溪河等流域生态修复。科学推进造林绿化工作，加快建设“绿美惠来”。加强矿产资源保护利用，优化矿产资源开发布局。做好海洋资源保护利用，加强海岸带保护利用管控，推动海岛分类保护，实现陆海统筹发展。

因《惠来县国土空间总体规划（2021-2035 年）》暂未印发公开稿，规划按涉密文件管理，本报告未引用该规划的相关内容。

6.1.2 所在海域海洋功能区划基本情况

6.1.2.1 《全国海洋功能区划》（2011 年~2020 年）

根据《全国海洋功能区划》（2011 年~2020 年），将我国管辖海域划分了八类海洋功能区，并提出了各类功能区管理要求：农渔业区主要是指适于农业围垦、渔业基础设施建设、养殖增殖、捕捞和水产种质资源保护的区域。重点保障黄海北部、长山群岛周边、辽东湾北部、冀东、黄河口至莱州湾、烟（台）威（海）近海、海州湾、江苏辐射沙洲、舟山群岛、闽浙沿海、**粤东**、粤西、北部湾、海南岛周边等海域养殖用海。**农渔业区开发要控制围垦规模和用途，合理布局渔港及远洋基地建设，稳定传统养殖用海面积，发展集约化海水养殖和现代化海洋牧场。要保护海洋水产种质资源，严格控制重要水产种质资源产卵场、索饵场、越冬场及洄游通道内各类用海活动。**海洋保护区是指专供海洋资源、环境和生态

保护的海域。重点保护海域主要分布在鸭绿江口、辽东半岛西部、双台子河口、渤海湾、黄河口、山东半岛东部、苏北、长江口、杭州湾、舟山群岛、浙闽沿岸、珠江口、雷州半岛、北部湾、海南岛周边等邻近海域。《区划》指出，**要遵循深水远岸布局原则，科学论证与规划海上风电。**

根据《全国海洋功能区划》（2011-2020），海门湾、靖海港、神泉港及周边海域，海岸线长度 119 千米，海域面积 1297 平方千米。主要功能为工业与城镇建设、农渔业和旅游娱乐。重点建设惠来临海现代工业集聚区，推进专业化海洋运输体系和物流中心建设，发展现代海洋渔业、高端滨海旅游业。围填海主要分布在海门湾、神泉等海域。加强惠来临海工业建设对海洋环境污染的防治；开展海门、神泉、资深等渔港综合整治；重点保护石碑山角领海基点、前詹礁盘生态系统，以及龙虾、海龟、鲎及其栖息地。

6.1.2.2 《广东省海洋功能区划》（2011-2020）

根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020），项目位于靖海镇东南部海域，项目建设位置 220kV 海底电缆穿越前詹港口航运区、田尾山-石碑山农渔业区、珠海-潮州近海农渔业区，项目西侧有神泉海洋保护区，北侧有前詹海洋保护区、靖海港口航运区，各个功能区分布位置及与项目的位置关系见图 6.1.2-1、表 6.1.2-1。表 6.1.2-2 给出了项目用海区周边的海洋功能区分布的详细情况。

表 6.1.2-1　项目与海洋功能区相对位置关系

序号	海洋功能区	与本项目最近距离、相对位置	功能区
1	前詹港口航运区	项目所在	港口航运区
2	田尾山-石碑山农渔业区	项目所在	农渔业区
3	珠海-潮州近海农渔业区	项目所在	农渔业区
4	神泉海洋保护区	电缆西侧，约 5.6km	海洋保护区
5	前詹海洋保护区	电缆北侧，约 2.2km	海洋保护区
6	靖海港口航运区	电缆北侧，约 6.2km	港口航运区

图 6.1.2-1 项目所在海域及周边海域海洋功能区分布示意图

表 6.1.2-2 项目所在及周边海洋功能区登记表

序号	代码	功能区名称	地区	地理范围(东经、北纬)	功能区类型	面积（公顷）岸段长度(米)	管理要求	
							海域使用管理	海洋环境保护
133	A2-26	前詹港口航运区	揭阳市	东至:116°24′17″ 西至:116°21′10″ 南至:22°54′45″ 北至:22°56′18″	港口航运区	1196 7813	1. 相适宜的海域使用类型为交通运输用海； 2. 围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源； 3. 工程建设期间采取有效措施降低对揭阳市神泉渔业市级自然保护区、前詹人工鱼礁区的影响； 4. 加强用海动态监测和监管； 5. 维持潮汐通道畅通，维护海上交通安全。	1. 加强港区环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 2. 加强海洋环境监测，建立完善的应急体系； 3. 执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。

序号	代码	功能区名称	地区	地理范围(东经、北纬)	功能区类型	面积（公顷）岸段长度(米)	管理要求	
							海域使用管理	海洋环境保护
130	A1-17	田尾山-石碑山农渔业区	汕尾市、揭阳市	东至:116°30′23″ 西至:115°49′43″ 南至:22°43′05″ 北至:22°59′33″	农渔业区	44281 128331	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海； 2. 严格保护石碑山角领海基点； 3. 保障神泉渔港、澳角渔港、甲子渔港、湖东渔港、深水网箱养殖、人工鱼礁用海需求，保障防灾减灾体系建设用海需求； 4. 适当保障后湖、石碑山角等旅游娱乐用海需求； 5. 适当保障港口航运用海需求； 6. 经严格论证后，适当保障海上风电用海需求； 7. 严禁在曲清河、瀛江、隆江等河口海域围填海，维护防洪纳潮功能，维持航道畅通； 8. 合理控制养殖规模和密度； 9. 保障国防安全用海需求。	1. 保护甲子屿、港寮湾礁盘生态系统，保护龙虾、鲍、鲎、海龟、海胆等重要渔业品种； 2. 严格控制养殖自身污染和水体富营养化，防止外来物种入侵； 3. 加强渔港环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 4. 执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。
220	B1-2	珠海-潮州近海农渔业区	珠海市、深圳市、惠州市、汕尾市、揭阳市、汕头市、潮州市	东至:117°31′36″ 西至:114°26′02″ 南至:21°49′34″ 北至:23°35′10″	农渔业区	1272845	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海； 2. 禁止炸岛等破坏性活动； 3. 40 米等深线向岸一侧实行凭证捕捞制度，维持渔业生产秩序； 4. 经过严格论证，保障交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求； 5. 优先保障军事用海需求。	1. 保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道； 2. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

序号	代码	功能区名称	地区	地理范围(东经、北纬)	功能区类型	面积（公顷）岸段长度(米)	管理要求	
							海域使用管理	海洋环境保护
233	B6-33	神泉海洋保护区	揭阳市	东至:116°20′11″ 西至:116°18′47″ 南至:22°53′38″ 北至:22°54′46″	海洋保护区	492	1. 相适宜的海域使用类型为特殊用海； 2. 严格按照国家关于海洋环境保护以及自然保护区管理的法律、法规和标准进行管理。	1. 保护人工鱼礁礁体及海域生态环境； 2. 加强保护区海洋生态环境监测； 3. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。
234	B6-34	前詹海洋保护区	揭阳市	东至:116°28′59″ 西至:116°25′59″ 南至:22°53′27″ 北至:22°55′59″	海洋保护区	2394	1. 相适宜的海域使用类型为特殊用海； 2. 严格按照国家关于海洋环境保护以及自然保护区管理的法律、法规和标准进行管理； 3. 禁止炸岛等破坏性活动。	1. 保护龙虾、海龟、鲎及其生境，保护人工鱼礁礁体及礁盘生态系统； 2. 加强保护区海洋生态环境监测； 3. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

序号	代码	功能区名称	地区	地理范围(东经、北纬)	功能区类型	面积（公顷）岸段长度(米)	管理要求	
							海域使用管理	海洋环境保护
134	A2-27	靖海港口航运区	揭阳市	东至:116°34′55″ 西至:116°29′51″ 南至:22°55′25″ 北至:23°01′07″	港口航运区	2894 28036	1. 相适宜的海域使用类型为交通运输用海； 2. 保障资深渔港、靖海渔港、防灾减灾体系建设用海需求，适当保障临海能源的用海需求； 3. 保护砂质海岸、基岩海岸，避免破坏海岸防护林； 4. 维持航道畅通，维护海上交通安全； 5. 围填海须严格论证，严格控制在靖海港内围填海，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源； 6. 工程建设期间采取有效措施，严禁对石碑山角领海基点造成影响，降低对前詹人工鱼礁区的影响，改善水动力条件和泥沙冲淤环境； 7. 加强用海动态监测和监管； 8. 优先保障军事用海需求。	1. 严格保护客鸟尾石笋等海蚀地貌； 2. 加强渔港、港区环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 3. 加强海洋环境监测，建立完善的溢油事故处理等应急体系； 4. 执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。

6.1.3 所在海域《广东省国土空间生态修复规划（2021—2035 年）》基本情况

2023 年 5 月 10 日，经广东省人民政府同意，广东省自然资源厅印发《广东省国土空间生态修复规划（2021—2035 年）》（本节内容简称《规划》）。

《规划》在第三节 蓝色海洋生态屏障保护和修复重大工程提出，以“蓝色海湾”综合整治、海岸带保护和修复重大工程、红树林保护修复专项行动计划为抓手，统筹推进海岸带生态保护修复。加强海岸线保护与利用管理，推进海岸线生态修复，实现海岸线占补平衡。对严格保护岸线重点加强自然岸线生态修复，对限制开发岸线重点加强人工岸线的改造，对优化利用岸线重点开展生态化建设。推动红树林、珊瑚礁、海草床等重要海洋生态系统修复，创建万亩级红树林示范区，巩固提升海洋生态系统碳汇能力。保护修复珍稀濒危物种关键栖息地，开展水鸟廊道、鱼类洄游通道等生态廊道建设，保护本土生物物种，防治入侵物种灾害，加强有害生物防控。推进海堤生态化，构筑海岸生态防线，完善沿海防护林体系，提升海岸带防灾减灾能力。

专栏 9—3 蓝色海洋生态屏障保护和修复重大工程——2.重要海湾生态系统保护修复。靖海湾砂质海岸—防护林保护修复：修复湾内受损砂质岸线生态系统，开展环境综合整治修复。建设近自然的海岸立体防护林体系，提高湾内海岸生态防护功能。打造华家村、港仔湾、港寮湾、客鸟尾、排角湾等魅力沙滩，建设神泉港美丽海湾。

本项目送出海底电缆登陆点位于港寮湾。港寮湾区域纳入了蓝色海洋生态屏障保护和修复重大工程——2.重要海湾生态系统保护修复——靖海湾砂质海岸—防护林保护修复。

6.2 对海域国土空间规划分区的影响分析

6.2.1 对国土空间规划分区的影响分析

6.2.1.1 对海洋开发利用空间的影响分析

本项目为海上风电工程，项目建设内容包括海上风电场、海上升压站和海底电缆。本项目建设是对海洋开发利用空间的有效利用，能有效利用海洋开发利用空间的可再生的风能资源；但项目在建设过程中不可避免的会对附近海域的海洋生态环境产生短暂影响。项目建设期间风机基础的开挖、打桩、基床浅层淤泥整平和电缆敷设沿线淤泥形成小范围的悬浮物扩散，扩散区域内，水质下降，悬浮物会造成鱼卵仔稚鱼、游泳生物、底栖生物死亡。

建议在施工过程中采取有效措施，尽量减少悬浮泥沙在水中的扩散范围。施工应尽可能选择在海流平静的潮期，采取相应手段减少海底电缆敷设、桩基础施工过程中对水体的扰动并控制悬浮物的发生量，减轻对水生生物的影响，并采取生态补偿措施，促进生态环境的恢复。

同时，项目施工船只可能会增加区域船舶密度，短暂影响附近海域的水上交通，船只作业完成后，即刻撤离航运区。建议建设方和施工方在施工期间加强与海事航道等主管部门的沟通，落实有关行业主管部门的要求。随着施工结束，上述影响也结束。

6.2.1.2 对海洋生态保护红线的影响分析

（1）项目用海对前詹海岸防护物理防护极重要区的影响

根据施工方案及悬浮泥沙扩散模拟，项目建设所引起的增量大于 10mg/L 悬沙能够影响到前詹海岸防护物理防护极重要区，从而在施工期间影响该区的海洋生态环境。但随着施工完成，悬浮泥沙不断沉淀，影响也随之消失，施工引起的悬浮物扩散主要限于施工时，施工结束后数小时内（与源强、施工结束的时刻有关），人为增加的悬浮物浓度迅速衰减至 10mg/L 以下。项目正常营运不会对该区域产生不利影响。

登陆段的电缆施工由于定向钻施工及机械设备、车辆进出等各种因素，不可避免对岸线和邻近海域造成轻微的损伤。但严格执行保护措施的前提下，施工过程对登陆段周边的自然环境影响程度有限，影响范围也较小。施工完成后，有关影响将会消失。

（2）项目用海对前詹珍稀濒危物种分布区的影响

本项目 220kV 海底电缆穿越前詹珍稀濒危物种分布区。根据施工方案及悬浮泥沙扩散模拟，项目建设所引起的增量大于 10mg/L 悬沙能够影响到该区域，

从而在施工期间影响该区的海洋生态环境。但随着施工完成，悬浮泥沙不断沉淀，影响也随之消失，施工引起的悬浮物扩散主要限于施工时，施工结束后数小时内（与源强、施工结束的时刻有关），人为增加的悬浮物浓度迅速衰减至 10mg/L 以下。

（3）项目用海对自然保有岸线的影响

本项目登陆点位于揭阳市大陆海岸线自然岸线保有岸段港寮湾砂质岸线。项目建设内容为海缆及其登陆点。本项目海底电缆登陆推荐采用定向钻的施工方式，工作坑均远离沙滩，正常施工不会对砂质岸线造成不利影响。

本项目海底电缆登陆点保护带涉及涉及新修测海岸线长度约 20 米，工程施工完成后，登陆电缆位于沙滩面以下，施工期和营运期均不会破坏此处自然岸线的自然景观和自然属性。

本项目海底电缆登陆时将敷设于此处沙滩，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和保护，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。

6.2.2 对周边海洋功能区的影响

6.2.2.1 项目用海对农渔业区的影响

本项目为海上风电工程，项目建设内容包括海上风电场、海上升压站和海底电缆。本项目建设区域占据了两个农渔业区：珠海-潮州近海农渔业区、田尾山-石碑山农渔业区。

项目建设对农渔业区的影响主要为建设期间风机基础的开挖、打桩、基床浅层淤泥整平和电缆敷设沿线淤泥形成小范围的悬浮物扩散，扩散区域内，水质下降，悬浮物会造成鱼卵仔稚鱼、游泳生物、底栖生物死亡。

建议在施工过程中采取有效措施，尽量减少悬浮泥沙在水中的扩散范围。施工应尽可能选择在海流平静的潮期，采取相应手段减少海底电缆敷设、桩基础施工过程中对水体的扰动并控制悬浮物的发生量，减轻对水生生物的影响，并采取生态补偿措施，促进生态环境的恢复。

6.2.2.2 项目用海对港口航运区的影响

本项目登陆电缆穿越前詹港口航运区。除了电缆施工外，本项目不会对前詹港口航运区的主导功能产生不利影响。电缆施工期间的悬浮泥沙扩散会对该区域的水质环境产生一定的影响，导致水质下降，但随着电缆敷设进程，已敷设段悬浮物亦逐渐沉降下来，影响也随之消失。

此外，电缆施工时，施工船只可能短暂影响附近海域的水上交通，船只作业完成后，即刻撤离航运区。施工期间需要与管理部门做好充分的沟通协商。随着施工结束，上述影响也结束，项目运营期间，基本不会港口航运区产生影响。

本项目距离靖海港口航运区最近约 6.2km，距离较远，项目建设不会对靖海港口航运区产生影响。

因此，本项目的建设对前詹港口航运区的水质环境、交通情况具有短时的影响，不会对靖海港口航运区产生影响。

6.2.2.3 项目用海对海洋保护区的影响

本项目附近的海洋保护区有神泉海洋保护区及前詹海洋保护区。根据数值模拟计算结果，项目施工产生的大于 10mg/L 的悬浮物增量未扩散进入神泉海洋保护区和前詹海洋保护区，施工结束后，产生的悬浮物将迅速衰减。理论上来说，电缆施工引起的悬浮物扩散影响，基本不会波及到两个海洋保护区，因此，项目建设期间的悬浮物扩散不会对两个保护区的水质造成明显影响。

综上所述，本项目的建设主要是悬浮物浓度升高短期影响保护区的水质和部分鱼类活动有一定影响，随着施工结束影响即消失。对保护区的物种、生态系统、水文动力和地形冲淤没有明显影响。项目施工过程中，必须加强生态环境保护工作，维护海洋生态环境。工程必须按照《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》的海域使用管理要求和海洋环境保护要求，加强管理，维护海洋功能区的正常运行，可避免或减少对毗邻海洋功能区的影响。见表 6.2.2-1。

表 6.2.2-1 项目对周边海洋功能区的影响情况

序号	受影响的功能类型	影响范围	影响程度
1	珠海-潮州近海农渔业区	项目施工引起的悬浮泥沙扩散范围主要沿电缆两侧、风场及周边分布，主要扩散区域均位于该区	较小。悬浮泥沙扩散造成农渔业区内部分水体浑浊、水质下降，导致鱼卵仔稚鱼、游泳生物的死亡

2	田尾山-石碑山农渔业区	项目施工引起的悬浮泥沙扩散范围主要沿电缆两侧分布	
3	前詹港口航运区	项目施工引起的悬浮泥沙扩散范围进入该区	较小。悬浮泥沙扩散造成农渔业区内部分水体浑浊、水质下降，施工期间施工船只对海上交通有短期影响
4	靖海港口航运区	无影响	无影响

6.2.3 对国土空间生态修复区的影响

本项目送出海底电缆登陆点位于港寮湾。港寮湾区域纳入了蓝色海洋生态屏障保护和修复重大工程——2.重要海湾生态系统保护修复——靖海湾砂质海岸—防护林保护修复。

本项目海底电缆登陆时推荐采用定向钻的施工方式，工作坑均远离沙滩，正常施工不会对砂质岸线造成不利影响。

本项目海底电缆登陆点保护带涉及涉及新修测海岸线长度约 20 米，工程施工完成后，登陆电缆位于沙滩面以下，施工期和营运期均不会破坏此处自然岸线的自然景观和自然属性，不影响靖海湾砂质海岸—防护林保护修复的实施，也不影响打造港寮湾魅力沙滩工程的实施。

6.3 项目用海与国土空间规划的符合性分析

6.3.1 项目用海与国土空间规划的符合性分析

6.3.1.1 项目建设内容已纳入《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》

《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》提出支撑打造绿色能源石化基地。科学有序推进近海风电场开发建设，积极探索深远海风电开发，支持珠三角海上风电研发服务基地、粤东千万千瓦级海上风电基地、粤西千万千瓦级海上风电基地等基地建设，优化海上风电选址，打造世界级风电产业基地。

要求优近用远完善用海布局。统筹各类用海布局，优先保障国防安全、航运交通、能源矿产等资源开发利用的用海需求和安全，严格执行建设项目用海控制标准。推动**海上风电**项目、海洋养殖向深水远岸布局，促进海上风电与海洋油气

开发、深水养殖综合开发利用，**海上风电项目应满足离岸距离 30 公里以上或水深 30 米以上的开发条件限制**。统筹海底油气管道、电缆等线性设施敷设的海底廊道，重点加强海上风电电缆集中布局规划和管理，统筹设置集中登陆点。划定管廊保护范围，加强海底管廊保护，在确保安全的前提下推进管廊复合利用、管线集中铺设。

规划专栏 7-1：海洋开发利用空间重点布局引导——2.工矿通信用海提出，合理安排国家重大项目、重大战略和海洋矿产能源开发利用等工矿用海布局，主要包括：国家重大建设项目，广东自贸区、广东海洋经济综合试验区及粤港澳大湾区等国家重大战略规划用海，洋东、勒门、海门、**靖海**、神泉、后湖、甲子、桂山、港口、南鹏岛、沙扒、外罗、新寮、徐闻等近海浅水区海上风电建设及深水区的海上风电建设用海，海上石油、天然气、天然气水合物等油气资源勘探开发用海，波浪能、潮流能、海上光伏等海洋可再生能源开发用海等。

规划专栏专栏 9-3：能源保障重点工程——1.电厂及配套工程提出，推动惠州、陆丰、廉江、岭澳、台山核电项目及配套送出线路工程建设，加快湛江、阳江、江门、珠海、惠州、汕尾、汕头、**揭阳**、潮州等市**海上风电场开发及配套送出线路工程建设，建设粤东和粤西千万千瓦级海上风电基地。**

综上，本项目位于揭阳市，属于海上风电建设，项目建设内容已纳入《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》，虽然场址范围发生调整，超出海岸带保护利用规划图中的海上风电产业范围，但调整场址事宜已取得广东省发展改革委的支持性意见，调整后的场址仍在海洋开发利用空间，同时，调整后的场址范围水深超过 30 米，符合“海上风电项目应满足离岸距离 30 公里以上或水深 30 米以上的开发条件限制”的管控要求。

6.3.1.2 项目用海穿越海洋生态保护红线的不可避让分析

中共中央办公厅 国务院办公厅印发的《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》，“生态保护红线内，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动，主要包括：零星的原住民在不扩大现有建设用地和耕地规模前提下，修缮生产生活设施，保留生活必需的少量种植、放牧、捕捞、养殖；因国家重大能源资

源安全需要开展的战略性能源资源勘查，公益性自然资源调查和地质勘查；自然资源、生态环境监测和执法包括水文水资源监测及涉水违法事件的查处等，灾害防治和应急抢险活动；经依法批准进行的非破坏性科学研究观测、标本采集；经依法批准的考古调查发掘和文物保护活动；不破坏生态功能的适度参观旅游和相关的必要公共设施建设；**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建设、防洪和供水设施建设与运行维护**；重要生态修复工程。”

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），“规范管控对生态功能不造成破坏的有限人为活动。生态保护红线是国土空间规划中的重要管控边界，生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许以下对生态功能不造成破坏的有限人为活动：……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。”

本项目 220kV 海底电缆属于线性基础设施建设，正常运营期海底电缆埋设于海床以下，不会对海洋生态保护红线区的生态功能造成不利影响。项目建设和用海均具有必要性，如不建设 220kV 海底电缆送出工程，则风电场发出的电能无法送出，本项目 220kV 海底电缆送出工程属于必须建设的线性基础设施。

本项目 220kV 海底电缆的登陆点位于前詹镇，风电场场址位于靖海镇东南海域，前詹珍稀濒危物种分布区位于登陆点和规划场址中间，在风电场和登陆点已确定的情况下，现阶段，220kV 海底电缆无法避让前詹珍稀濒危物种分布区，如强行绕开，电缆路由长度将显著增加，不仅会造成工程投资的显著增加，更重要的是不符合集约节约用海原则，还会增加海底电缆的安全风险。本项目 220kV 海底电缆送出工程穿越有关海洋生态保护红线属于无法避让的线性基础设施。

本项目 220kV 海底电缆符合广东省省、市、县的国土空间规划，符合海洋功能区划管控要求，属于符合县级以上国土空间规划的线性基础设施的情形。

220kV 海底电缆冲埋施工过程中会对底栖生物生境产生一定影响，但施工结束后将较快恢复；施工产生的悬浮泥沙会对区域生态环境产生一定影响，但随着施工完成，悬浮泥沙不断沉淀，影响也随之消失。

因此，本项目 220kV 海底电缆穿越有关海洋生态保护红线属于**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的情形。符合《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》的要求，符合《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），属于允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

综上所述，本项目用海符合广东省有关国土空间规划管控要求。

6.3.2 项目用海与海洋功能区划的符合性分析

根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年），本项目用海范围穿越前詹港口航运区、田尾山-石碑山农渔业区、珠海-潮州近海农渔业区，项目西侧有神泉海洋保护区，北侧有前詹海洋保护区和靖海港口航运区，根据数模计算结果，项目施工产生的增量大于 10mg/L 悬沙扩散范围未进入神泉海洋保护区和前詹海洋保护区。项目用海与各个功能区的符合性分析见表 6.3.2-1。

综合分析，本项目建设内容为海上风电场和海底电缆，需要占用一定的海域。项目建设期间会短时间增加施工船舶数量，对海上交通产生短期的、一定的影响。但经过及时的协调，不会对海上交通产生重要影响。不会影响港口航运区的主导功能。不涉及围填海用海，没有炸岛等破坏性活动。项目建设和营运期间的环境污染和事故风险均较小，项目施工过程仅在局部海域内引发短期的悬浮物增加，会对海水水质、海洋生态环境和底栖生物产生一定的影响，但是随着工程结束，项目施工引起的环境影响均消失。所以本项目只要严格落实环境保护要求，严格遵守《中华人民共和国海洋环境保护法》相关条例，不会对附近海域的海洋功能区的主导功能发挥产生重要影响，也不会违反海洋功能区的环境保护要求。本项目是海洋能利用项目，建成后将促进绿色能源产业的发展，利于环境保护，并带动周边地区的经济发展。

因此，本项目用海与《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年）相符合。

表6.3.2-1 项目用海与海洋功能区划的符合性分析表

名称	管控措施	管控措施符合性分析
珠海-潮州近海农渔业区	**海域使用管理** 1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海； 2. 禁止炸岛等破坏性活动； 3. 40 米等深线向岸一侧实行凭证捕捞制度，维持渔业生产秩序； 4. 经过严格论证，保障交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求； 5. 优先保障军事用海需求。 **海洋环境保护** 1. 保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道； 2. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。	**海域使用管理** 1. 本项目用海工程包括风场与一段海底电缆，占用该功能区域但不改变海域的渔业用海属性，项目施工期间会短时影响项目附近海域的水质，但随着施工结束，影响也逐渐消失，项目运营期间对海域没有明显的影响。 2. 本项目不涉及炸岛等破坏性行为。 3.本项目建设和运营期间，不影响渔业生产秩序。施工期的悬浮泥沙影响范围有限、时间有限，且渔业生物自身具有可移动性，受施工影响程度较小。 4.本项目为海上风电建设，属于海洋能利用工程，属于该区域内优先保障的建设项目。 5.揭阳市政府部门正就本项目征求有关军事部门意见。 **海洋环境保护** 1.风场运营不占用、不影响重要渔业资源产卵场、育幼场、索饵场和洄游通道。工程施工时间应避开鱼类繁殖期，可避免或减轻施工对重要渔业品种繁殖的影响。 2. 施工期间悬浮泥沙扩散区水质可能短暂超标。但这种影响是短暂的，而且主要集中在工程所在海域附近，工程结束后，悬浮泥沙重新沉淀堆积，水质恢复至原态。另外，施工船舶废水、污水、垃圾等妥善处置，不带来其他污染，不影响区域水质。因此，项目的施工和运营不会影响原有功能区的海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量。
田尾山-石碑山农渔业区	**海域使用管理** 1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海； 2. 严格保护石碑山角领海基点； 3. 保障神泉渔港、澳角渔港、甲子渔港、湖东渔港、深水网箱养殖、人工鱼礁用海需求，保障防灾减灾体系建设用海需求； 4. 适当保障后湖、石碑山角等旅游娱乐用	**海域使用管理** 1. 项目有一段海底电缆位于该区内，占用该功能区海域但不改变海域渔业用海属性，工程对渔业用海养殖捕捞等生产活动影响甚少。 2.本项目建设不影响领海基点。 3.本项目施工及运营期间对各个渔港、养殖用海等影响甚少；符合使用管理要求。 4.项目不影响后湖、石碑山角等旅游娱乐用海需求；符合使用管理要求。 5.电缆建成后不影响港口航运用海需求，建设期间只需要做好协调、警示工作，也不会影响港口航

名称	管控措施	管控措施符合性分析
	海需求； 5. 适当保障港口航运用海需求； 6. 经严格论证后，适当保障海上风电用海需求； 7. 严禁在曲清河、瀛江、隆江等河口海域围填海，维护防洪纳潮功能，维持航道畅通； 8. 合理控制养殖规模和密度； 9. 保障国防安全用海需求。 **海洋环境保护** 1. 保护甲子屿、港寮湾礁盘生态系统，保护龙虾、鲍、鲎、海龟、海胆等重要渔业品种； 2. 严格控制养殖自身污染和水体富营养化，防止外来物种入侵； 3. 加强渔港环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 4. 执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。	运用海；风电场建设期间和建成后都应该明确标示，引起过往船只注意。项目运营期间不会影响航运交通，符合使用管理要求。 6.本项目为海上风电项目项目，符合使用管理要求。 7.项目不涉及围填海，符合使用管理要求。 8.项目不涉及养殖，符合使用管理要求。 9.风场场址、管线路由设计已充分考虑本区域军事用海设施，工程施工及风场运营对周边军事用海不构成影响。 **海洋环境保护** 1.本项目建设对海水质量的影响仅限于施工期间的悬浮泥沙扩散影响，影响范围为项目附近海域，面积有限，随着施工逐段完成，扩散消失，因此项目引起的不利影响对该区的生态系统、渔业养殖影响范围、时间均有限。 2.本项目为风电场的风机基础结构施工和电缆敷设，风电项目属于清洁能源，不涉及污染、水体富营养化、外来物种变化。 3.项目运行期间基本不产生生产、生活污染物。 4.风场运营期间，海区水质，沉积物质量及海洋生物质量能维持原有标准，符合环境保护要求。
前詹港口航运区	**海域使用管理** 1. 相适宜的海域使用类型为交通运输用海； 2. 围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源； 3. 工程建设期间采取有效措施降低对揭阳	**海域使用管理** 1. 本项目只有一段海底电缆位于该功能区，施工期间会对该区水质产生短暂影响，建成后，不改变该区域的海域使用类型。 2. 本项目不涉及围填海。 3. 本项目施工期间须采取隔离措施，减小、控制悬浮泥沙扩散的范围，减少对保护区、鱼礁区的影响。

名称	管控措施	管控措施符合性分析
	市神泉渔业市级自然保护区、前詹人工鱼礁区的影响； 4. 加强用海动态监测和监管； 5. 维持潮汐通道畅通，维护海上交通安全。 **海洋环境保护** 1. 加强港区环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 2. 加强海洋环境监测，建立完善的应急体系； 3. 执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。	4.项目建成后应完善用海动态监测工作。 5.项目建设和运营不影响潮汐通道、项目建设和运营期间均需要设立明显标志，做到不影响海上交通安全。 **海洋环境保护** 1.本项目海底管线施工造成的悬浮泥沙影响会随施工结束自然消除；生产、生活废水均有处理措施，符合管理要求。 2.项目建设、运营期间的危险因素较小，且施工方案中具有充分的应急措施，发生海洋环境影响的可能性较小。 3.风场运营期间，对该海域海水，沉积物及生物质量基本不存在影响，可维持三类海水水质、二类海洋沉积物质量和一类海洋生物质量的海洋环境。仅施工期存在一定的悬浮泥沙扩散现象，短期内影响水质。

6.3.3 项目用海与《广东省国土空间生态修复规划（2021—2035 年）》的符合性分析

根据 6.2.3 节的分析，本项目海底电缆登陆时推荐采用定向钻的施工方式，工作坑均远离沙滩，正常施工不会对砂质岸线造成不利影响；海底电缆埋设于沙滩以下，不影响靖海湾砂质海岸—防护林保护修复的实施，也不影响打造港寮湾魅力沙滩工程的实施，符合《广东省国土空间生态修复规划（2021—2035 年）》的要求。

6.4 项目用海与相关规划符合性分析

6.4.1 与《全国海洋主体功能区规划》的符合性分析

《全国海洋主体功能区规划》中提到"海洋工程和资源开发区，是指国家批准建设的跨海桥梁、海底隧道等重大基础设施以及**海洋能源**、矿产资源勘探开发利用所需海域。海洋工程建设和资源勘探开发应认真做好海域使用论证和环境影响评价，减少对周围海域生态系统的影响，避免发生重大环境污染事件。支持海洋可再生能源开发与建设，因地制宜科学开发海上风能。"

《规划》中还提及"海域政策。根据海洋主体功能区功能定位，完善海域管理政策措施。严格落实海洋功能区划，加强围填海总量控制和计划管理。加强用海项目环境影响评价制度、海域使用论证制度和海域有偿使用制度实施情况监督。制定用海工程和围填海建设标准，明确海拔高度、污染排放、防灾减灾等要求，对用海项目建设实行全过程监管。科学划定海水增养殖区域，控制近海养殖密度。严格控制河口行洪区、重点增养殖区域建设用海。沿海地区或海岛大规模风能建设要充分考虑对相关海域影响。"

本项目是《规划》中所支持的海上风电项目，属于海洋能源开发利用项目，项目风电场严格按照规划范围设计，通过严格论证，认真考虑风电项目对相关海域的影响因素，逐一探讨，论证结果为本项目可行。所以本项目符合《全国海洋主体功能区规划》。

6.4.2 与《产业结构调整指导目录（2024 年本）》的符合性分析

《产业结构调整指导目录(2024 年本)》的第一类鼓励类的第五节新能源中提出：1. 风力发电技术与应用：15MW 等级及以上海上风电机组技术开发与设备制造，漂浮式海上风电技术，高原、山区风电场建设与设备生产制造，**海上风电场建设与设备及海底电缆制造**，稀土永磁材料在风力发电机中应用。

本项目为海上风电场的建设，使用的风机是 14MW 风机，属于鼓励类的建设项目，与《产业结构调整指导目录(2024 年本)》的要求相符合。

6.4.3 与《“十四五”现代能源体系规划》的符合性分析

2022 年 1 月 29 日，国家发展改革委、国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》（发改能源〔2022〕210 号）。规划“ 第四章 加快推动能源绿色低碳转型” “九、大力发展非化石能源”提出，加快发展风电、太阳能发电。**鼓励建设海上风电基地，推进海上风电向深水远岸区域布局。**专栏 3 能源绿色低碳转型工程提出，重点建设**广东**、福建、浙江、江苏、山东等**海上风电基地**。提升东部和中部地区能源清洁低碳发展水平。以京津冀及周边地区、长三角、粤港澳大湾区等为重点，充分发挥区域比较优势，加快调整能源结构，开展能源生产消费绿色转型示范。安全有序推动沿海地区核电项目建设，**统筹推动海上风电规模化开发**，积极发展风能、太阳能、生物质能、地热能等新能源。专栏 4 区域能源发展重点及基础设施工程指出，粤港澳大湾区及周边地区，稳步推进惠州核电建设，积极开发海上风电，探索开发海洋能，加快阳江、梅州等抽蓄电站建设，鼓励增加天然气发电规模，完善 LNG 储运和天然气管网体系，积极推动储能电池应用示范。

本项目为揭阳市靖海海上风电场项目，位于粤港澳大湾区周边地区，符合《“十四五”现代能源体系规划》提出的积极开发海上风电要求，符合国家可持续发展政策和国家新能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，对绿色生态将起到积极作用。因此，本项目的建设符合《“十四五”现代能源体系规划》。

6.4.4 与《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的符合性分析

《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》于 2021 年 1 月 26 日经省十三届人大四次会议审议批准。文件提出，大力发展清洁低碳能源。优化能源供给结构，实施可再生能源替代行动，构建以新能源为主体的新型电力系统。**大力发展海上风电**、太阳能发电等可再生能源，推动省管海域风电项目建成投产装机容量超 800 万千瓦，**打造粤东千万千瓦级基地**，加快 8 兆瓦及以上大容量机组规模化应用，促进海上风电实现平价上网。保障能源安全。坚持以保障能源供应安全为首要任务，着力提升能源安全底线保障能力、加强能源储备调节体系建设、完善能源风险应急管控体系。以加大油气等资源勘探开发和大力发展核电、**海上风电**等非化石能源为重点，增强省内能源供应保障能力。

本项目位于粤东揭阳海域，属于“千万千瓦级海上风电基地”重大项目的一部分。属于广东省十四五期间大力发展的项目。项目用海符合《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》。

6.4.5 与《广东省人民政府关于培育发展战略性支柱产业集群和战略性新兴产业集群的意见》的符合性分析

2020 年 5 月 18 日，广东省人民政府以粤府函〔2020〕82 号印发《广东省人民政府关于培育发展战略性支柱产业集群和战略性新兴产业集群的意见》。文件提出十大战略性新兴产业集群，其中之一是“新能源产业集群。大力发展先进核能、**海上风电**、太阳能等优势产业，加快培育氢能等新兴产业，推进生物质能综合开发利用，助推能源清洁低碳化转型，保持非化石能源消费全国领先地位，逐步建立满足全省经济社会发展需求的现代化能源体系。建设沿海新能源产业带，重点打造阳江海上风电全产业链基地，建设珠三角太阳能制造业集聚区，培育广州、深圳、佛山、湛江、茂名、云浮等地市氢能产业基地，形成国内领先、世界一流的新能源产业集群。”

本项目位于揭阳市，为海上风电建设，属于新能源项目，是广东省重点推进的内容，符合《广东省人民政府关于培育发展战略性支柱产业集群和战略性新兴

产业集群的意见》的要求。

6.4.6 与《广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划（2021—2025 年）》的符合性分析

2020 年 9 月 25 日，广东省发展和改革委员会 广东省能源局 广东省科学技术厅 广东省工业和信息化厅 广东省自然资源厅 广东省生态环境厅 6 部门联合印发《广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划（2021—2025 年）》。文件提出“规模化开发海上风电”“海上风电领跑工程。充分利用海上风能资源丰富的优势，加快海上风电规模化开发，基本建成现已规划的浅水区项目，开展省域深水区示范项目，争取国家支持建设专属经济区近海深水区千万千瓦级海上风电基地，出台我省扶持海上风电发展的相关政策，争取 2025 年前海上风电项目实现平价上网，到 2025 年底累计投产海上风电约 1500 万千瓦。”

本项目位于揭阳市，属于海上风电建设，是广东省重点推进的内容，符合《广东省培育新能源战略性新兴产业集群行动计划（2021—2025 年）》的要求。

6.4.7 与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》的符合性分析

2017 年 10 月 27 日广东省人民政府和国家海洋局联合发布《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》（粤府〔2017〕120 号），规划要求统筹海域与陆域产业发展，整体推进海洋经济发展，积极布局新能源、深海矿产等海洋潜力产业。其中，新能源产业主要分布在生产空间，岸线类型主要为优化利用岸线和限制开发岸线。海上风电场址原则上应在离岸距离不少于 10 千米、滩涂宽度超过 10 千米时海域水深不得少于 10 米的海域布局，单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 平方千米左右，主要分布在粤东的汕头洋东、勒门、海门，揭阳神泉、靖海，汕尾甲子、后湖，珠三角的惠州港口，珠海桂山、金湾，粤西的阳江沙扒、南鹏岛、湛江新寮、外罗、徐闻等临近海域，积极探索深远海风电开发。

在规划中，有关推动湾区发展的内容中提到，神泉湾区陆域涉及揭阳市，海域主要为神泉港、靖海湾等海域。产业发展指引为积极推进揭阳大南海石化工业

区、风能成套装备产业园、海洋高端装备产业园等平台建设；重点发展石化、新材料、电力、装备制造、生物医药、电子信息、现代渔业等产业；加快度假、养生、养老等旅游产品开发，推进靖海等地区海水增养殖发展。在神泉、靖海海域布局海上风电。

根据《广东省严格保护岸段名录》，本项目海底电缆登陆点位于港寮湾严格保护岸段，该岸段位于揭阳市惠来县，起点坐标：22°56'36.114"N，116°30'17.942"E，终点坐标：22°56'2.188"N，116°23'30.152"E。

根据《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》，“严格保护岸线针对自然形态保持完好、生态功能与资源价值显著的自然岸线以及军事设施利用的海岸线划定，主要包括优质沙滩、典型地质地貌景观、重要滨海湿地、红树林、珊瑚礁等所在岸段。广东省大陆海岸线共划定严格保护岸线 1583.6 千米，占总长的 38.5%，共 202 段。严格保护岸线要按照生态保护红线有关要求管理，确保生态功能不降低、长度不减少、性质不改变。禁止在严格保护岸线范围内开展任何损害海岸地形地貌和生态环境的活动。广东省人民政府负责发布和定期更新本行政区域内严格保护岸线名录，县（区、市）人民政府负责落实并组织实施，明确保护边界，设立保护标识。”在施工期，根据施工设计，本项目海底电缆登陆采用定向钻的施工方式穿越岸线，登陆电缆位于沙滩面以下，施工设备不会破坏此处自然岸线的自然景观和自然属性，不会损害海岸地形地貌和生态环境。在营运期，本项目海底电缆登陆时将位于沙滩面以下，不会降低其生态服务功能，不会减少其长度、不改变其性质。在海底电缆铺设完成后，根据《海底电缆管道保护规定》的要求划定保护范围，并按照规定设立显著标志，海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其它可能破坏海底电缆管道安全的海上作业，是对岸线资源的有序利用和保护，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。

综上所述，本项目为风电项目，布局于揭阳市靖海镇东南部海域，符合规划对该区域的产业定位，同时项目的选址也符合海上风电场选址原则；本项目海底电缆登陆施工作业方式符合《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》中关于严格保护岸线的管理要求。因此项目与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》是相符合的。

6.4.8 与《广东省海上风电发展规划》（2017-2030 年）（修编）的符合性分析

根据国家《可再生能源发展“十三五”规划》、国家《风电发展“十三五”规划》、《广东省能源发展“十三五”规划》等相关规划，结合广东省省海上风电发展实际，对 2012 年印发的《广东省海上风电场工程规划》进行修编，制定《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年)（修编）》。规划年限为 2017 年到 2030 年，近期至 2020 年，远期至 2030 年。全省规划海上风电场址 23 个，总装机容量 6685 万千瓦。包括：近海浅水区（35 米水深以内）海上风电场址 15 个，装机容量 985 万千瓦，其中粤东海域 415 万千瓦。揭阳靖海海上风电场规划装机容量 15 万千瓦。

本项目为揭阳靖海海上风电场项目。**经广东省能源局同意，增容后的项目装机容量由 150MW 扩增为 400MW；经广东省发展改革委同意，风电场场址发生调整。**符合海上风电机组单机容量不断增大的技术发展要求，有利于提升海洋资源利用效率，集约节约用海，在原规范场址范围内产生更大的经济效益。

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，有利于缓解环境保护压力，实现绿色发展，满足揭阳及周边地区社会经济发展需要，促进地方经济和旅游业的发展，提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。

因此，本项目建设符合《广东省海上风电发展规划》（2017-2030 年）的要求。

图 6.4.8-1　本工程在《广东省海上风电发展规划》（2017-2030 年）的示意图

6.4.9 与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的符合性分析

《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》提出“加快海上风电规模化开发，完善产业链，建设珠三角海上风电研发服务基地和粤东、粤西千万千瓦级海上风电基地，打造海上风电产业集群。”“建设粤东千万千瓦级海上风电基地。争取将粤东千万千瓦级海上风电基地列入国家相关规划，推动开工建设。打造汕头

海上风电创新产业园, 配套一定整机组装产能。推动汕尾(陆丰) 海洋工程基地建设, 设立先进能源科学与技术省实验室汕尾分中心。谋划布局揭阳运维基地。”

本项目位于揭阳市，属于海上风电建设，为广东省重点推进的项目，符合《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》。

6.4.10 与《广东省生态文明建设“十四五”规划》的符合性分析

《广东省生态文明建设“十四五”规划》提出“提高非化石能源占比。大力发展海上风电，建设粤东粤西千万千瓦级海上风电基地，推动项目开发由近海浅水区走向深水区。”“完善海上风电产业链，加快建设粤西海上风电高端装备制造基地、粤东海上风电运维和整机组装基地，支持潮汐能、波浪能、海流能、海洋生物质能、海水制氢等示范工程。”“开工建设惠州港口二期 PA、港口二期 PB，汕尾甲子一、甲子二，揭阳神泉二、靖海，汕头南澳洋东、勒门（一）、海门（场址一）、海门（场址二、三）以及阳江青洲、帆石等场址项目”。“到 2025 年，全省建成海上风电装机容量约 1800 万千瓦”。

本项目已纳入《广东省生态文明建设“十四五”规划》能源结构调整重点工程，属于广东省重点推进的项目，符合《广东省生态文明建设“十四五”规划》。

6.4.11 与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的符合性分析

广东省人民政府办公厅于 2021 年 9 月 30 日印发《广东省海洋经济发展“十四五”规划》。规划提出“依托汕头临港经济区、揭阳滨海新区和潮州港临港产业平台，推动东翼海洋油气、港口物流、海上风电、海工装备等产业协作互补发展”“打造海上风电产业集群。推动海上风电项目规模化开发，基本建成已规划近海浅水区项目，推动省管海域近海深水区项目开工建设，争取粤东千万千瓦级海上风电基地纳入国家相关规划并推动基地项目开工建设”。

本项目为揭阳靖海海上风电项目，属于广东省“十四五”重点推动建设的项目，项目建设及用海符合《广东省海洋经济发展“十四五”规划》。

6.4.12 与《揭阳市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的符合性分析

《揭阳市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出，“推进海上风电发展。围绕国电投揭阳 90 万千瓦海上风电项目和专业码头等项目，加强与国电投、中海油 LNG、明阳集团、通用电气（GE）公司等合作，推进粤电项目落地，推进临港产业园建设，全力打造临港产业园运营载体和平台，建成国电投海上风电和 GE 海上风电机组总装基地，打造全国重要的海上风电研发、总装、运维等全产业链生产基地。”“大力推进国家电投揭阳 900MW 海上风电场项目、国家电投、明阳集团、中广核揭阳近海深水区 5500MW 海上风电场、GE 海上风电机组总装基地、大南海天然气热电联产项目等重大项目建设，形成海上风电、陆上风电、风电研发与设备制造、天然气发电、天然气分布式能源站、光伏发电等新能源产业集群。” “推动现代电力基础设施建设。积极开发沿海地区风电资源，继续推进揭阳靖海及神泉一、二海上风电项目开发建设，配合国家推进粤东千万千瓦级海上风电建设，逐步推进海上风电规模化发展。”

本项目为揭阳靖海海上风电场项目，属于揭阳市继续大力推进的项目，符合《揭阳市国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》。

6.4.13 与《揭阳港总体规划（2035 年）》的符合性分析

经广东省人民政府批准，广东省交通运输厅于 2023 年批复《揭阳港总体规划（2035 年）》。根据本报告书 3.1.4、3.1.5、4.2.4、4.2.5 节等章节的分析，本项目海底电缆登陆点附近有前詹作业区，本项目海底电缆登陆段距离前詹作业区最近约 400 米。除项目建设期增加区域船舶密度，可能会对区域通航环境产生一定影响外，并未影响《揭阳港总体规划（2035 年）》中港口、航道、锚地等功能区的功能，符合《揭阳港总体规划（2035 年）》的要求。

6.4.14 与《揭阳市海洋经济发展“十四五”规划》的符合性分析

揭阳市人民政府于 2021 年 12 月 31 日印发《揭阳市海洋经济发展“十四五”

规划》。规划提出，大力推进粤东千万千瓦级海上风电基地建设，推动海上风电产业规模化发展。加快推进国家电投揭阳 900MW 海上风电场项目、揭阳近海深水区海上风电项目和 GE 海上风电机组总装基地等配套项目建设。利用滨海新区大型深水码头的优势，支持海上风电母港建设。1.新建。国家电投揭阳近海深水区 1700MW 海上风电场项目，揭阳惠来一、四、五海上风电场项目，揭阳前詹三海上风电场项目，揭阳惠来三海上风电场项目，揭阳靖海 150MW 海上风电场扩容项目，揭阳前詹风电分散式陆上风电项目。2.续建。国家电投揭阳 900MW 海上风电场项目，GE 海上风电机组总装基地等。

本项目为揭阳靖海海上风电项目，属于揭阳市“十四五”重点推动建设的项目，项目建设及用海符合《揭阳市海洋经济发展“十四五”规划》。

6.4.15 与《揭阳市惠来县国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》的符合性分析

《揭阳市惠来县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》提出，“积极推进海上风电产业发展。围绕国家电投近海浅水区 90 万千瓦海上风电项目、揭阳近海深水区海上风电等项目建设，有序推进海上风电开发建设，推动海上风电产业发展。”“加强现代电力基础设施建设。积极开发沿海地区风电资源，加快推动国电投 900MW 海上风电场、近海深水区 1700MW 海上风电场，明阳惠来三、前詹三海上风电场，中广核揭阳惠来一、四、五海上风电场，靖海及神泉一、二海上风电，临港产业园 10MW 承载式框架多级风轮发电机安装等风能项目建设，力争早日建成并网发电，逐步推进海上风电规模化发展。”

本项目为揭阳靖海海上风电场项目，属于揭阳市惠来县继续大力推进的项目，符合《揭阳市惠来县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》。

7 项目用海合理性分析

7.1 用海选址合理性分析

广东省沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。开发海上风电资源，能实现海洋风能资源的综合利用，可向电网提供清洁的可再生能源，解决区域稳定供电问题，促进社会经济的可持续发展。

建设风电场，首先要选择合适的场址。国内外的经验教训表明，由于风电场选址的失误造成电量损失和增加维修费用远远大于对风电场场址进行详细调查的费用，因此，风电场选址对于风电场的建设是至关重要的。风电场选址包括宏观选址和微观选址。宏观选址工作在风电场前期规划阶段进行，根据当地气象站的资料进行风资源评估，同时考虑电网、交通、地质等条件。微观选址工作主要在设计阶段进行，根据风电场风资源分布图，同时结合各项限制条件，确认每台风机的机位，以满足业主和相关部门的各项要求，使整个风电场具有较好的经济效益。本报告就宏观选址和微观选址两个方面进行合理性分析。

7.1.1 宏观选址

本次调整后，项目风机和集电线路已超出原规划范围，但仍在原规划邻近海域，220kV 海底电缆送出工程和海上升压站选址总体未发生变化。周边资源环境基本未发生变化。

风电场宏观选址是对一个较大地区的气象条件、风能、湍流、电网、交通、地质、周围环境等多种因素和条件进行综合考察后，选择出一个风能资源丰富，且最有利用价值的小区域的过程。海上风电场选址应以相应规划为基础，结合地区海域海洋开发现状及规划的具体情况，根据选址区域的风能资源、接入系统条件、交通运输和施工安装条件、装机规模、海洋水文和地质条件、社会经济和环境保护要求等多方面因素进行综合考虑。根据《近海风电场工程规划报告编制办法》，海上风电场选址基本原则如下：

1、场址区域具有丰富的风能资源；

2、场址区域具有较好的海洋水文、地质、接入系统、交通运输等建设条件；

3、场址满足海洋功能区划要求；

4、场址符合环境和生态保护要求，尽量减少对鸟类、渔业和自然保护区的影响；

5、场址应避开航道、锚地、禁航区，尽量减少对航路的影响；

6、场址应避开通信、电力、油气等海底管线的保护范围；

7、避开军事设施涉及的范围；

8、考虑基础施工条件和施工设备要求，提高风电场的经济性，场址水深条件一般控制在 5 m～50m(理论深度基准面以下)。

9、侧重规模化开发。

本次调整后，项目海上风电场场址宏观选址已超出《广东省海上风电发展规划（2017-2030 年）（修编）》（粤发改能新〔2018〕193 号，2018 年 4 月）中布局范围，但仍在规划场址邻近海域，选址调整情况见下图。

揭阳靖海海上风电场调整后场址位于揭阳市靖海镇东南海域，最近端距离靖海镇陆岸 16 公里，最远约 24 公里。场址范围占海面积 24 平方公里，水深 31-35 米之间，增容后装机容量 40 万千瓦。本项目场址调整主要是因军事原因而调整，场址调整事宜已取得广东省发展改革委的同意（见附件）。

图 7.1.1-1　宏观选址变化情况

本项目场址调整事宜**已取得广东省发展改革委的支持性意见**，宏观选址具有唯一性。现根据区域风能资源条件、场址的建设条件、地质情况、周边环境制约因素、周边利益相关者可协调机制、与国土空间总体规划及海洋功能区划的符合性、与海洋生态保护红线的符合性

7.1.1.1 风能资源条件

风能资源是风电场选址首要考虑的因素，平均风速、风频及主要风向分布、风功率密度、年风能可利用时间是风电场选址中一定要考虑的几个风能评估参数。一般认为，主导风向的频率在 30%以上是稳定的。风功率密度越高，则该地区风能资源越好。年风能可利用时间是指一年中风力发电机组在有效风速范围（一般为 3～25m/s）内运行的时间。一般年风能可利用小时数大于 2000h 的地

区为风能可利用区。

本风电场处于揭阳市惠来县靖海镇东南海域，本项目所处位置的风能资源丰富，可利用有效风速小时数高，风速、风向与风能相对集中，风资源条件较好，适宜建设海上风电场。

7.1.1.2 风电场场址的建设条件

1、海洋水文动力条件

本项目已完成冬季和夏季全潮水文观测报告。根据本工程全潮水文观测成果，冬季观测涨、落潮段平均流速分别为 0.26m/s 和 0.24m/s，涨潮段流速略大于落潮段流速；实测涨、落潮垂线平均含沙量分别为 0.0135 kg/m^3 和 0.0137 kg/m^3。夏季观测涨、落潮段平均流速分别为 0.29 m/s 和 0.21 m/s，且三个潮次均表现为涨潮平均流速大于落潮平均流速；实测涨、落潮垂线平均含沙量均为 0.0140 kg/m^3。

根据本报告第 4.3 节的分析，风电场工程实施后，由于风机桩基础直径不大，工程实施后风电场内水动力环境变化较小，风电工程的实施不会对附近海域水动力环境产生明显影响。

风机前后风电桩基完成以后，桩基群对水流主要涡流，在风机周边产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.1m/a 左右，而在桩基群之间，冲刷不明显。整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。风电场区风机、升压站桩基础极限冲刷深度为 4.0m~6.8m，设计时桩基础已预留冲刷深度。

根据以上分析，本项目所在海域的水文动力条件适宜建设海上风电场，风电场建成后对周边海域的水文动力环境影响较小，不会对论证范围内敏感目标造成明显影响。

本项目所在海域易受到热带气旋、风暴潮等海洋自然灾害的威胁，设计单位在设计时已考虑到相关自然灾害，建设单位应制定防范自然灾害的应急预案，并严格执行，在做好有关防范措施的前提下，可尽量减少本项目受到自然灾害的威胁和损失。

2、交通运输条件

本海上风电场位于揭阳市靖海镇东南面海域。揭阳市位于广东省东南部，交

通便利。本项目所在位置对外交通运输与场内交通均较便利，能满足本项目设备及施工机械的运输条件。

本工程项目所需的物资材料主要为水泥、钢材、油料、等，揭阳市的上述建筑材料的建材市场均具有较大规模，供应条件非常好，为本工程的施工提供了非常便利的条件。

7.1.1.3 风电场场址的地质情况

本工程已进行规划场址风电场工程地质勘察，暂未组织开展调整后场址的岩土工程勘察，后续施工图阶段将开展详细勘察。**本报告书暂引用规划场址的勘察资料进行分析，后续如在勘察中发现工程地质不适宜时，建议调整场址或采取其他可行的措施，确保场址满足风电场建设需求。**

(1) 拟建工程场区近区域现代构造活动一般，区域地壳基本稳定，风电场场地与各断裂的距离符合《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）(2016 年版)的要求，近区域地震活动水平较弱，适宜建设风电场。

(2) 根据《中国地震动峰值加速度区划图》（GB18306-2015），靖海镇II类场地条件下50 年超越概率10%的地震动峰值加速度为0.15g，对应的地震基本烈度为VII度。按《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)附录E中地震动峰值加速度调整系数表，建议风电场50 年超越概率10%的地震动峰值加速度按0.165g考虑，对应的地震基本烈度为VII度。最终的地震动参数及场区地震烈度应以风电场区的地震安全性评价报告为准。

(3) 风电场位于揭阳市靖海镇东南侧海域，最近端距离靖海镇陆岸16公里，最远端距离陆岸24公里，海域宽阔，附近未见岛屿、礁石分布。水下地形较平缓，属冲海积地貌单元。风电场钻孔深度范围内主要为全新世和晚更新世海相、海陆过渡相、海陆交互相沉积层(Q_4^{m}、Q_4^{m+al}和Q_3^{m+al})。

(4) 海水对混凝土结构在长期浸水和干湿交替环境下均具中等腐蚀性，腐蚀介质为SO_4^{2-}；对钢筋混凝土结构中钢筋在长期浸水环境下具微腐蚀性，在干湿交替环境下具强腐蚀性，腐蚀介质为Cl^-。根据《油气田及管道岩土工程勘察规范》(GB 50568-2010)：海水对钢结构具中等腐蚀性。

(5) 桩周土①$_2$、②$_2$、②$_3$、③$_1$、③$_2$、③$_4$、③$_5$、③$_6$ 层对混凝土结构具弱腐蚀性，腐蚀介质为SO_4^{2-}；桩周土①$_1$、①$_2$、②$_1$、②$_2$、②$_3$、②$_4$、③$_1$、③$_2$、③$_3$、

③$_4$、③$_5$ 层对钢筋混凝土结构中钢筋具中等腐蚀性，腐蚀介质为Cl^-；岩土层对钢结构具强腐蚀性，腐蚀介质为视电阻率。

(6) 风电场附近范围未见海底滑坡、海底崩塌等不良地质作用发育迹象及海底地震地质灾害问题。场区不良地质作用主要为软土震陷、饱和砂土液化和浅层气。

当发生烈度为7 度地震时，场地全新统海积的流塑淤泥和淤泥质土(①、①$_2$)存在发生震陷的可能；20m 深度内饱和粉砂混淤泥层（①$_1$）会发生液化，液化等级为中等~严重；饱和粉砂层（②$_3$）会发生液化，液化等级为轻微~中等；饱和细砂层（②$_4$）和中砂层（②$_5$）会发生液化，液化等级为轻微。桩基基础设计时应考虑软土震陷、软土固结和下沉对桩身会产生负摩擦力作用的不利影响。场地内土层含有机质，且局部地段腐殖质含量较高，容易产生沼气并转移赋存于砂土层。在后期桩基施工时应考虑沼气的不利影响，遇见沼气应及时采取相应安全保护措施。

(7) 按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010) (2016 年版)对场地土的类型划分标准，场地土可划分为3 种类型，即：中硬土、中软土和软弱土。风电场地段场地类别划分为IV类，属对建筑抗震不利地段。

(8) 风电场基础型式不宜采用天然地基。建议采用桩基础，桩型可选择钢管桩或钻孔灌注桩，以除③层的第三大层晚更新统海陆交互相沉积层(③$_1$~③$_7$)作为桩端持力层，且应确保桩端进入持力层一定深度，桩径及桩长需根据竖向及水平方向受力情况确定，具体的桩基设计参数应以试桩报告为准。

(9) 若采用钢管桩时，桩身需进入或穿越中密~密实砂土层，沉桩阻力大，需要选择合适的沉桩设备和沉桩工艺。若采用灌注桩，尚应采取合适的施工工艺，严格控制成桩质量。

根据以上分析，本工程在可行性研究阶段较为详细的查明了厂区的工程地质条件，厂址区的地质条件可建设海上风电场，但建议进行试沉(成)桩试验，以获取相应的沉（成）桩参数，设计时考虑冲淤余量；选择合适的桩基础方案和施工方式。

7.1.1.4 风电场场址的周边环境制约因素

工程建成后将占用一定水域，对现有的通航环境有了一定的改变，对航行在

该水域附近的船舶通航安全产生一定的影响；在施工期间和运作阶段，项目对通航安全的影响有几个方面：影响海上交通、影响雷达和通讯，和改变对搜救的回应措施。要消除或缓解其负面的影响，只能加强水域安全管理，制定一些相应的水上交通管理措施等。

风电场工程的建设对该水域的通航环境有一定的影响，通过管理手段能够解决或缓解施工期间对通航环境的影响。风电场所有人或经营人应充分认识到通航环境和安全生产的关系，投入必要的物力和配套设施，与当地交通海事主管部门进行充分的联系和协调，共同加强对拟建风电场附近水域的安全管理。在各方的共同努力下，拟建风电场工程在施工期间和建成投产后，不会对通航环境和过往船舶航行安全构成很大的妨碍。

7.1.1.5 风电场建设周边利益相关者可协调机制

本项目的协调责任部门为航道、海事主管部门，利益相关者为杨永鸿养殖户和方强荣养殖户。

本项目已编制完成通航安全影响研究报告，评审主要结论显示“专家组认为，风电场场址和海缆路由基本合理，从通航安全方面考虑，通航安全影响风险总体可控，工程建设可行。”建设单位应严格执行“通航报告”提出的对策措施，严格执行有关专家和管理部门的意见。

建设单位可在当地政府的组织下，与有关养殖户签订书面协议，对用海范围内的取排水管道进行拆迁和赔偿。

由此可见，本项目建设单位与各利益相关者之间的利益冲突均可以通过协调利益冲突来解决，建设单位应做好安全防范和应急预案，对用海利益冲突问题进行赔偿，并签署协调意见。

7.1.1.6 风电场用海与国土空间区划的符合性

根据本报告书第 6 章的分析，本项目符合国土空间规划的管控要求，220kV 海底电缆穿越海洋生态保护红线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。项目风电场场址的水深大于 30 米，符合国土空间规划对海上风电场场址的管控要求。

本项目建设内容为海上风电场和海底电缆，需要占用一定的海域。项目建设

期间会增加施工船舶，对海上交通产生短期的、一定的影响。但经过及时的协调，不会对海上交通产生重要影响，不会影响港口航运区的主导功能。不涉及围填海用海，没有炸岛等破坏性活动。项目建设和营运期间的环境污染和事故风险均较小，项目施工过程仅在局部海域内引发短期的悬浮物增加，会对海水水质、海洋生态环境和底栖生物产生一定的影响，但是随着工程结束，项目引起的环境影响均消失。所以本项目只要严格落实环境保护要求，严格遵守《中华人民共和国海洋环境保护法》相关条例，也不会对附近海域的海洋功能区的主导功能发挥产生重要影响，也不会违反海洋功能区的环境保护要求。本项目是海洋能利用项目，建成后将促进绿色能源产业的发展，利于环境保护，并带动周边地区的经济发展。

综上所述，本项目海上风电场选址区域风能资源丰富，建设条件良好，地质条件适宜，与周边环境的制约因素较小，与周边利益相关者有良好的可协调机制，符合国土空间规划的管理要求，宏观选址合理。

7.1.2 微观选址

风电场微观选址是在宏观选址选定的小区域中确定工程位置。

7.1.2.1 220kV 海底电缆微观选址

220kV 海底电缆微观选址引用自《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目海缆预选路由选择依据说明材料（报批稿）》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2023 年 12 月。

1、登陆点选址

经过前期选址和讨论，原广东省海洋与渔业厅调研组推荐的前詹登陆点位于广东省揭阳市惠来县前詹县大堆尾附近，坐标为 116.395°E，22.9325°N。根据本项目实际情况，考虑到揭阳市海域范围内风电场统一在前詹登陆点岸段登陆，结合神泉一、神泉二、靖海、粤东近海深水场址一风电场规模及海缆建设回数，项目组把西至 2017 年 11 月份踏勘登陆点、东至省厅调研组推荐登陆点之间的约 300m 岸段统一为揭阳市海域风电场项目登陆点岸段。本项目风电场位于揭阳规划的近海风电场址最东侧，为避免后续海缆登陆交叉，本项目海缆靠近登陆点岸段右侧登陆，见下图所示。省厅调研组指出，在推荐登陆点附近岸段，具体登陆

点位置可由风电场企业根据实际情况自行选定。

靖海登陆点具体位于岬角靠陆地一侧的西北部，所在位置周边目前为砂质岸线，岸滩宽度约为 30m 至 40m 左右，岸滩较为平滑，附近海域有零星的大型礁石分布，周边无植被分布。登陆点周边沿岸线分布有多处养殖场所，距离海边距离在 50m 左右，养殖对象为鲍鱼，海滩上分布有取水管道（埋深）和明排水渠，距离最近的养殖场位于登陆点东北侧约 15m。登陆点南侧直线距离约 50m 处的海湾夹角处有渔民小渔船临时停靠，登陆点西侧约 50m，旁边建设有两层的钢混结构房屋。登陆点距离北侧的县道 X106 直线距离约为 870m，有成型的土路与之连接，县道为双车道，路面为柏油马路，路况较好。

按照《海上风电开发建设管理办法》和《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》“风电场应集中布局，统一规划海上送出工程输电电缆通道和登陆点，集约节约利用海域和海岸线资源”。按照集约节约用海原则，神泉两个风电场和靖海一个风电场连接陆上集控中心的 220kV 海缆路由尽可能合并，以减少海域使用面积，实现集约节约用海。本项目登陆点选址充分考虑了粤东风电管廊带的需求，经过多次讨论和比选，现阶段选址位置有利于集约节约利用海域和海岸线资源，登陆点微观选址合理。

图 7.1.2-1 本项目 220kV 海底电缆登陆点选址情况示意图

2、路由比选

本项目预选路由选择依据说明材料选定了 3 条路由进行必选分析，具体分布见下图所示。

图 7.1.2-2 预选路由方案示意图

表 7.1.2-1 预选路由方案拐点坐标

路由方案一从海上升压站出发，向西南方向延伸至一 AC2 拐点，与 1 条风机间集电海缆存在交越，转向向西延伸约 27.0km，延伸至一 AC3 拐点靠近神泉海缆管廊带，继而转向西北一 AC4 拐点与神泉海缆管廊带平行，距离管廊带最东侧海缆路由约 200m，随管廊带向北延伸约 6.5km 到达拐点一 AC5，避开前詹

锚地，距离前詹锚地最近距离 550m，到达通用码头防波堤东南侧拐点一 AC6，避开大堆尾西侧海域附近礁石，到达拐点一 AC7，最后到达登陆点。海洋功能区划上，该方案在近岸段穿越珠海-潮州近海农渔业区、田尾山-石碑山农渔业区和前詹港口航运区。航道航路方面，在风电场西侧穿过揭阳近海航路警戒圈，近岸海域穿过中小型船舶航路。生态红线方面，路由穿过前詹珍稀濒危物种分布区，登陆点位于大陆自然岸线保护段港寮湾段内。方案避开了前詹海洋保护区及神泉海洋保护区，未穿越已建管线、风景区、倾倒区等区域。

路由方案二从海上升压站出发，向西延伸约 28km，穿越航路警戒圈，穿越前詹珍稀濒危物种分布区到达二 AC2 拐点，靠近神泉海缆管廊带，继而转向二 AC3 拐点与神泉海缆管廊带平行，随管廊带向北延伸约 4.4km 到达二 AC4 拐点，避开前詹锚地，距离前詹锚地最近距离 550m，到达通用码头防波堤东南侧拐点二 AC5，避开大堆尾西侧海域附近礁石，到达拐点二 AC6，最后到达登陆点。海洋功能区划上，该方案在近岸段穿越珠海-潮州近海农渔业区、田尾山-石碑山农渔业区和前詹港口航运区。航道航路方面，在风电场西侧穿过揭阳近海航路警戒圈，近岸海域穿过中小型船舶航路。生态红线方面，路由穿过前詹珍稀濒危物种分布区，登陆点位于大陆自然岸线保护段港寮湾段内。方案避开了前詹海洋保护区及神泉海洋保护区，未穿越已建管线、风景区、倾倒区等区域。

路由方案三从海上升压站出发，向西北方向延伸约 29km，穿越航路警戒圈，穿越前詹珍稀濒危物种分布区到达三 AC2 拐点，靠近神泉海缆管廊带，继而转向三 AC3 拐点，避开前詹锚地，距离前詹锚地最近距离 550m，到达通用码头防波堤东南侧拐点三 AC4，避开大堆尾西侧海域附近礁石，到达拐点三 AC5，最后到达登陆点。海洋功能区划上，该方案在近岸段穿越珠海-潮州近海农渔业区、田尾山-石碑山农渔业区和前詹港口航运区。航道航路方面，在风电场西侧穿过揭阳近海航路警戒圈，近岸海域穿过中小型船舶航路。生态红线方面，路由穿过前詹珍稀濒危物种分布区，登陆点位于大陆自然岸线保护段港寮湾段内。方案避开了前詹海洋保护区及神泉海洋保护区，未穿越已建管线、风景区、倾倒区等区域。

预选路由选择说明材料从登陆点情况、海底腐蚀性环境、水文气象要素、海洋功能区划等自然环境条件、预选路由经济性（海缆长度、制造及施工条件）、

海洋开发活动中、海洋生态保护红线区、海洋保护区、海缆共用管廊带长度、海缆施工安全性等方面对预选路由进行比选分析。综合对比预选路由方案一、方案二和方案三，其中方案三最短，用海面积最少，经济性最好，方案二其次，方案一最长；方案三较方案一短 5.8km、较方案二短 2km，按现行 220kV 输电海缆造价 700 万人民币/km，方案三造价较方案一节约约 4060 万元，较方案二节约约 1400 万元。三个方案均避开了海底障碍物，其中方案一和方案三距离海底障碍物较远，同时方案三海底地形更平坦，穿越航路距离最短。三个方案距离前詹锚地最近距离相同；根据集约用海原则，三个方案与神泉一、二共用管廊带，共用管廊带水深分别为 27m、25m、20m，20m 水深距离岸线垂直距离约为 6.5km，基本避开了近岸海洋开发活动密集海域。

根据现行海缆施工技术，风电场 220kV 海缆长度超过 40km 需要在海上平台另外加装一套变电装置，即高压并联电抗器，该变电装置在海上无人看守，后期运营时有一定的故障和安全风险。方案一超过 40km 需要加装一套变电装置，方案二、三均不需要加装。

综合上述各条件，方案三海缆长度最短，距离海底障碍物较远，穿越航路距离最短，共用管廊交汇处水深约 20m，基本避开了近岸海洋开发活动密集海域；避开锚地、不用加装变电装置，路由经过海域海底地形更为平坦，有较好的海缆建设施工条件和后期运行安全条件，从故方案三最优，推荐为本项目路由方案。

7.1.2.2 海上升压站微观选址

本项目采用 6 回 66kV 三芯海底电缆将风机发出的电量收集至海上升压站，在升压后，采用 2 回 220kV 三芯海底电缆将电送至陆上集控中心，最终接入陆上电网。

海上升压站作为海上风电场的核心之一，有如下布置要求：

1、从风电场电气接线角度考虑，海上升压站选址需考虑集电线路和 220kV 海缆综合距离最短、线损最小；

2、从海缆路由角度考虑，海上升压站需考虑航道、军事用海和水深等条件制约；

3、从海上升压站基础结构和施工角度考虑，海上升压站需设置在地层稳定、地质条件相对较好、海床相对稳定冲刷较小的海域，为节省基础工程量，水深不

宜太深，为安装方便，水深不宜太浅；

4、从运维角度考虑，海上升压站位置应便于运维船只进入和靠泊。因此水深不宜过浅、流速不宜过大，并且海上升压站与运维船只码头之间应有可靠及距离较短的通航空间；海上升压站也应与海上风机之间保持一定的安全距离，尽可能减少运维船只碰撞风机的安全风险。

调整后，项目海上升压站选择在场址近中央的位置，更有利于布置集电电缆，集电电缆总长度相对较少，占海面积较小，且海底工程地质情况适宜，本阶段推荐海上升压站选择在场址近中央的位置。

7.1.2.3 风机及集电线路微观选址

风机及集电线路的微观选址与风机及集电线路的平面布置密切相关，具体内见 7.2.1 节和 7.2.3 节。

7.2 用海平面布置合理性分析

7.2.1 风电机组用海平面布置合理性

（1）风机布置原则

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

1) 首先应充分考虑规划使用海域的周边环境限制条件，协调与港口、航道、油气管道等之间的关系。由于周边紧邻多个规划场址，根据场址形状和当地风资源特点，选择整体最优布置方案。

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

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

4) 严格执行国家海洋局《关于进一步规范海上风电场用海管理的意见》(国

海规范(2016)6 号)文件中关于海上风电场外缘边线包络用海面积的限定标准。

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

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

7）现阶段风机布置主要从发电效益角度出发，充分利用风能资源，且不与用海和环保冲突。

（2）限制性因素分析

根据《广东省海洋功能区划》（以下简称省区划），本项目风电场场址位于近海农渔业区范围。风电场场址距离西侧警戒区约 2.0km，其余功能区与场址距离相对较远。风电场场址范围避开了周边船舶习惯航路与相关的规划航路。

本风电场区域主要风能方向为 ENE，由于本项目离大陆距离较远，风电场内风能资源差异较小。

本场址规划容量为 400MW。根据以上风机布置原则，本项目可行性研究报告编制单位中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司分别对 14MW、14.3MW、16MW 和 16.2MW 共 4 种方案机型进行布置。本次比选的 6 个机型中，WTG01 和 WTG02 机型单机容量均为 14MW，WTG04 和 WTG05 机型单机容量均为 16MW，两对机型的叶轮直径大小比较接近，故采用相同的布置方案。

利用中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司自主开发的海上风电场风机阵列自动排布优化软件(Guangdong Offshore windfarm Layout Designer, GOLD v2.0）实现上述原则对风机排布进行优化布置，各方案行间距按 5-20 倍 RD，列间距按 3-5 倍 RD 试算，个别机位进行调整。

（1）WTG01 和 WTG02 机型布置

WTG01 和 WTG02 机型单机容量为 14.0MW，叶轮直径分别为 258m 和 252m，全场总共布置 29 台风机，总装机容量 406MW，布置 5 排风机，风机排与排的间距为 4.7~5.5D，排内风机最小间距为 2.9D。具体见图 7.2.1-1。

（2）WTG03 机型布置

WTG03 机型单机容量为 14.3MW，叶轮直径为 252m，全场总共布置 28 台风机，总装机容量 400.4MW。布置 5 排风机，风机排与排的间距为 5.5~6.0D，排内风机最小间距为 2.9D。具体见图 7.2.1-2。

图 7.2.1-1　WTG01 和 WTG02 风机布置示意图

图 7.2.1-2　WTG03 风机布置示意图

（3）WTG04 和 WTG05 机型布置

WTG04和WTG05机型单机容量为16.0MW，叶轮直径分别为252m和256m，全场总共布置25台风机，总装机容量400MW。布置4排风机，风机排与排的间距为6.0~11.0D，排内风机最小间距为2.9D。具体见图7.2.1-3。

图 7.2.1-3　WTG04 和 WTG05 风机布置示意图

（4）WTG06 机型布置

WTG06机型单机容量为16.2MW，叶轮直径为266m，全场总共布置25台风机，总装机容量405MW。布置5排风机，风机排与排的间距为5.5~10.5D，排内风机最小间距为2.8D。具体见图7.2.1-4。

图 7.2.1-4　WTG06 风机布置示意图

根据以上各布置方案的优化布置结果，考虑尾流损失除外的综合折减系数为76%，计算出各比选机型的年上网电量、平均尾流损失及年等效满发小时数，详见表7.2.1-1。

由表可知，从发电效益来看，单机容量为14MW的WTG01和WTG02两个机型的发电效益明显优于16MW机型，WTG01机型的年上网电量和满发电小时数最优，其次是WTG02机型，16.2MW的WTG06机型发电效益则略优于16MW机型。

表 7.2.1-1　各比选机型发电量计算结果

方案	WTG01	WTG02	WTG03	WTG04	WTG05	WTG06
额定功率（MW）	14.0	14.0	14.3	16.0	16.0	16.2
台数（台）	29	29	28	25	25	25
设计容量（MW）	406	406	400.4	400	400	405
理论年发电量(GWh)	2140.6	2092.5	2000.1	1886.1	1966.2	2029.4

方案	WTG01	WTG02	WTG03	WTG04	WTG05	WTG06
净发电量（GWh）	1898.0	1883.0	1792.2	1720.4	1798.6	1848.5
平均尾流损失率（%）	11.35	10.02	10.39	8.78	8.53	8.91
最大尾流损失率（%）	15.79	13.85	14.33	12.83	12.33	12.85
其他综合折减率（%）	76	76	76	76	76	76
年上网电量（GWh）	1442.5	1431.1	1362.1	1307.5	1366.9	1404.8
满发小时数（h）	3553.0	3524.9	3401.8	3268.8	3417.3	3468.8
容量系数(%)	40.6	40.2	38.8	37.3	39.0	39.6
排序	1	2				3

工程可行性研究单位综合考虑发电效益、投资和经济效益等因素，本阶段拟推荐 WTG01 机型，即选择安装 29 台 14.0MW 风机。

7.2.2 海上升压站平面布置合理性

海上升压站分上部结构和下部基础。下部基础的平面布置方案考虑到波浪的影响，上部结构的平面布置方案考虑到风向的影响。

本项目风电场所在海域波浪主要来自于 NE~ESE 方向，共占到 56.54%，常浪向为 E 向，频率为 18.06%；次常浪向为 ENE 及 NE，频率分别为 15.63%及 12.25%；强浪向来自于 ENE 和 ESE 向。因此，下部基础桩四桩导管架采取平行主浪向和主方向的布置方式。

本项目风电场所在海域主导风向为 ENE，相应风向频率为 30.6%；主导风能风向亦为 ENE，相应频率为 44.8%。因此，上部结构采取错开主风向的布置方式。

本项目海上升压站的平面布置方式能尽量减少下部基础受波浪冲刷的影响和上部结构受风能冲击的影响，平面布置方式合理。

7.2.3 集电线路平面布置合理性

在风力发电机组及海上升压站位置确定的情况下，集电系统平面布置方案主要考虑拓扑布局形式。在拓扑布局上，主要有链形，环形，星形三种形式。由于链形布局投资少，结构简单，能够满足可靠性要求，在国内外工程中应用最多。在本工程中推荐此方案。

集电线路采用海底电缆，结合站址内风机及升压站的布置，集电线路电压等级可采用 35kV 或 66kV。

针对本项目拟选机型，35kV 海缆输送容量不大，每回路最多只可连接 3 台风机，回路数和电缆数量多，占海面积大，同时 35kV 电缆输电方案损耗和压降也较大，与采用 66kV 相比，66kV 海底电缆单回路输送容量大，线路回路少，占海面积小，路由好解决。在同等截面下，66kV 导线的电压损失小，功率损耗也小。且 66kV 海底电缆已全部实现国产化，市场供货充足，风机及升压站侧 66kV 电气配套设备成熟可靠，供应充足，推荐集电线路采用 66kV 电压等级。

本项目的集电线路各个回路考虑功率分布平衡，连接 4~5 台风机，风机连接电缆不交叉重叠，集电拓扑方案为风机按 6 个回路布置，各回路压降均在 5%以内，满足要求。集电线路平面布置合理。

7.2.4 220kV 主海缆平面布置合理性

本报告在 220kV 主海缆微观选址方案已确定的基础上讨论其平面布置合理性。

本工程为两回三芯 220kV 海底电缆，初步布置方案为 2 回电缆平行布置，每回电缆之间一般保持间隔 50m 的安全距离。推荐布置方案见图 2.2.1-5，根据水深确定电缆之间的安全距离。

根据《海底电力电缆输电工程设计规范》（GB/T 51190-2016）第 3.2.9 节“平行敷设的海底电缆应避免交叉重叠，电缆间距不宜小于该处最大水深的 1.2 倍，登陆段间距可适当缩小，但应满足电缆载流量和保护的要求”，根据《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》（GB 50168-2006）第 5.5.4 条“水底电缆平行敷设时的间距不宜小于最高水位水深的 2 倍；当埋入河床（海底）以下时，其间距按埋设方式或埋设机的工作活动能力确定。”

220kV 海底电缆推荐布置方案充分考虑到了区域的水深环境和施工方式的要求，能满足项目电能送出要求，符合《海底电力电缆输电工程设计规范》（GB/T 51190-2016）和《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》（GB 50168-2006）的规定，从集约节约用海角度考虑，220kV 海底海缆送出工程平面布置合理。

7.2.5 小结

综上所述，本次场址调整后的项目风机机组、海上升压站、66kV 集电线路和 220kV 主海缆经过了充分设计和多次优化，能充分利用海域的空间资源和风能资源，产生最大的发电效益，在规定的风电场范围内集约节约用海，用海平面布置体现了节约集约用海原则；海底电缆经过优化后，提高了项目的用海合理性，有利于生态保护；风电场场址避开了生态敏感目标，虽然 220kV 海底电缆穿越生态保护红线，但属于不可避让的线性基础设施，且符合国土空间规划要求；结合用海选址及数模分析，用海平面布置能最大程度减少对周边海域水文动力环境和冲淤环境的影响；用海平面布置已尽可能避让周边其他用海活动，在采取适宜的通航安全措施，协调好利益相关者的情况下，能最大程度减少对周边航道（线）、养殖设施的影响；海上升压站布置位置能尽量减少海底海缆的长度及用海面积，线损较小，利于施工，便于维护。因此，现阶段，本报告书认为项目用海平面布置方案合理。

7.3 用海方式合理性分析

本项目主要水工建筑物是风机基础、海底电缆和海上升压站，用海方式分别为透水构筑物和海底电缆管道。

7.3.1 风机用海方式合理性分析

根据风电场的岩土工程勘察报告，推荐本风电场选择的风机基础为桩基础结构方案，推荐采用四桩导管架基础，用海方式属于透水构筑物。

风机为高耸构筑物，重心高，需承受来着各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，对基础不均匀沉降要求较高。根据本项目的岩土工程勘察报告，场地表层分布有全新统海相沉积的流塑淤泥及淤泥质土，该软弱土层分布连续，厚度较大，强度低。而风电场为高耸构筑物，重心高，需承受来着各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，对基础不均匀沉降要求较高，上部土层的承载力和变形均不能满足结构上的要求，故不宜采

用天然地基，建议采用桩基础。以除③层的第三大层晚更新统海陆交互相沉积层(③1~③7)作为桩端持力层。

从结构、施工、防腐蚀、工程量、经济性等因素综合考虑，项目可行性研究报告对风机基础采用单桩基础、、水上三桩基础、高桩承台基础、水下三桩基础、导管架基础、重力式基础、吸力桶基础、浮式基础方案进行了计算分析，见表 7.2.2-1。

重力式基础和高桩承台基础适用的水深范围较浅，本场址水深相对较深，平均水深在 35m 以上，上述两种基础型式很难在该水深条件下进行设计。因此，本场址不推荐上述两种基础型式。

水上和水下三桩基础，由于其结构本身的局限性，受力节点非常复杂，导致应力集中现象明显，结构的抗疲劳性能较差。11MW 以上大容量风机对应的极限荷载和疲劳荷载均较大，上述基础型式设计很难开展，且工程量并无优势。因此，本场址不推荐水上和水下三桩基础型式。

漂浮式风机我国现在也有三个正在实施的示范项目。其中三峡阳江示范项目，水深在 30 米左右，整体造价相比其他固定式基础型式至少高出 1.5 倍。主要原因是漂浮式基础的设计属于刚起步阶段，技术尚未完全成熟，难以降低建造和施工成本，且一般情况下，漂浮式基础在深水区（水深大于 50m），才会突显出它的经济优势。本项目水深在 50m 以内，以目前国内外技术水平漂浮式风机很难做到平价上网，故本场址不推荐漂浮式基础型式。

- 单桩基础

单桩基础通常应用在 40 米水深以内。现阶段，风机厂家提供的 10MW 以上机型塔筒存在整体刚度不足、疲劳损伤较大等问题。而且随着水深增加，工程量增大，起吊扶正、溜桩等方面的施工风险相对增大。另外，现阶段由于条件限制，未与风机厂家进行迭代配合，单桩评估荷载存在较大幅度变动的风险，后续须通过与风机厂家进一步配合（结合详勘进行迭代、增加塔筒直径等）准确评估并降低疲劳荷载，方可进一步论证单桩基础适用性，因此现阶段暂不推荐单桩基础。

目前国内已经开展的项目，单桩最大设计直径在 9.5m 左右，最大桩重超过 2000t，最长桩长超过 110m。对单桩基础的运输、施工过程中的吊高要求、打桩过程中的防溜桩控制，都有较高的要求。

- 吸力桶基础

吸力桶基础的应用受到地质条件的影响较大。吸力桶基础往往对海床表层的地质条件要求较高。以现阶段的地勘资料来看，场区上部分布有较厚软土（淤泥、淤泥质土），上述地层属欠固结土，具有高压缩性、高灵敏度的特点，承载力低，工程性质差。因此对于是否适合做吸力桶基础型式，需进一步根据具体机位，结合 CPTU 和钻孔资料，分析其开展吸力桶基础设计的可行性。

- 导管架基础

导管架基础是常用的海上风电基础型式之一，该基础型式具有很好的刚度和承载能力，设计、建造和施工技术均比较成熟，对不同的水深范围、地质条件和风机荷载（特别是大容量风机）的适应性较强，因此，现阶段优先推荐采用四桩导管架基础型式。

综上，现阶段在未进行详细荷载迭代的条件下，综合考虑施工建造能力，对于 10MW 以上机型拟推荐四桩导管架基础作为主要的基础型式。本着平价上网的原则，后续将结合详勘并通过与风机厂家进一步的迭代配合降低荷载，优化工程量，并充分论证 10MW 以上单桩基础及吸力桶基础设计的可行性，推荐适合的基础形式，以降低整体造价。

表 7.3.1-1　风机基础适用条件及优缺点对照表

基础型式	适用条件	优　点	缺　点
单桩基础	水深 0-40m	制造简单，钢材用量较少，且无需做任何海床准备。	受海底地质条件和水深的约束较大，水太深易出现弯曲现象；安装时需要专用的设备，施工安装费用较高；对冲刷敏感，在海床与基础相接处，需做好防冲刷防护。
水上三桩基础（Tripile）	水深 0-30m	较大的底盘可提供巨大的抗倾覆弯矩；构件数量较少，结构受力明确；钢管桩桩顶在水面以上，容易调平，灌浆施工便利，其灌浆质量容易控制；水面以下构件少，受波浪作用小。	主要受力节点较复杂，局部应力集中现象明显同时建造难度较高；桩基悬空长，基础重心高，整体抗扭刚度低；对冲刷较敏感，基础周围一定范围内的海床，需采取可靠的防冲刷防护措施。
高桩承台基础	水深 0-30m	国内施工工艺成熟；基础结构整体刚度大；对船只、设备要求低。	海上施工作业时间长，风险较大；打桩的工作量较大；桩基悬空长，基础重心高。
水下三桩基础（Tripod）	水深 0-30m	较大的底盘提供了较大的抗倾覆弯矩能力，在水深较浅海域有一定优势，具备单桩	主要受力节点非常复杂，局部应力集中现象明显，对结构的抗疲劳性能不利。受海底地质条件约

基础型式	适用条件	优　点	缺　点
		基础的优点，但几乎不需要冲刷防护。	束较大；在较浅海域，安装或维修船有可能会与水下导管架结构发生碰撞；建造与安装成本高。
导管架基础	水深 0-60m	较大的底盘提供了较高的抗倾覆弯矩能力，基础刚度大，导管架的建造和施工方便，受波浪和水流的荷载较小，对地质条件要求不高。	相对节点最多，需要进行大量的焊接与处理。
重力式基础	通常应用在水深小于 20 m、海床较为坚硬的海域	结构简单，采用相对便宜的混凝土材料，抗风暴和风浪袭击性能好，稳定性和可靠性是所有基础中最好的。	需要预先做海床准备；体积、重量均大,安装起来不方便；适用水深范围太过狭窄，水深增加，经济性得不到体现，造价反高于其它基础。
吸力桶基础	水深 0-60m	节省钢用量，节约成本；负压施工，速度快，便于在海上恶劣天气的间隙进行施工；可事先安装好，便于运输和安装；由于筒基插入较浅，只须勘察海床浅部地质；风电场寿命终止即可拔出，进行二次利用。	在负压作用下，筒内外的水压差将引起土体渗流,虽然渗流能大大降低下沉阻力，但是过大的渗流将导致筒内土体渗流大变形，形成土塞，甚至有可能使筒内土体液化而发生流动，使吸力桶在下沉过程中容易产生倾斜，需频繁矫正。
浮式基础	水深大于 50m 的深海海域	安装与维护成本低；在其寿命终止时，拆除费用也低；对水深不敏感，安装深度可达 50 m 以上;波浪荷载较小。	稳定性差，平台与锚固系统的设计有一定难度。

综合本区域地层变化较大特点以及设计、施工、造价三方面分析，现阶段，项目可行性研究单位推荐四桩导管架基础作为推荐方案，用海方式为透水构筑物用海，用海方式是合理的。

7.3.2 电缆管道用海方式合理性分析

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的集电线路海底电缆和海上升压站与陆上集控中心之间的 220kV 海底电缆。工程海域海床表层土为沉积淤泥土，登陆部分为海涂和浅滩，推荐的海缆敷设方式为直埋方式，相比架空电缆的方式，电缆埋设于海床以下对海洋资源环境及开发现状的影响更小。

从海底电缆的建设特征和用途考虑，其用海方式为海底电缆管道用海是合理的。

7.3.3 升压站用海方式合理性分析

结合风电场区的地质条件，本风电场推荐的海上升压站基础为四桩导管架基础，用海方式属于透水构筑物。

海上升压站结构上部平台为四层（包括顶部平台），主体结构为钢框架，主要由四根主腿杆，竖向及斜向支撑，平台主、次梁组成。根据现阶段项目所在场地的地质条件，结合基础结构特点，考虑海上升压站的重要性，为了保证其安全，下部基础结构初步选用四桩导管架结构；从结构设计的角度，导管架基础方案刚度大，结构超静定次数高，一般可以不用做抛石等防冲刷措施，同类工程施工案例较多，风险较低。考虑到该区域表面土层变异性较大，为保证海上升压站结构安全，本阶段推荐采用刚度较大的四桩导管架基础海上升压站方案，用海方式为透水构筑物用海，用海方式是合理的。

表 7.3.3-1　海上升压站下部基础结构方案比较

层数	优势	劣势
单桩	1. 成本较低； 2. 国外已有成熟的案例以及设计方法； 3. 对海床变化不敏感； 4. 安装便捷，建造简单； 5. 运输需求空间最低； 6. 单桩内部空间可作为油储罐等容器。	1. 电缆及电缆 J 形护管拥挤； 2. 过渡段灌浆时的临时稳定性可能是一个问题； 3. 对甲板偏心（例如：变压器等大型设备更替、外挑直升机甲板等）的适应性较差； 4. 结构刚度低、环境力作用下产生侧向位移较大，运行期间产生的加速度可能会影响电气设备的正常运转。
四桩导管架	1. 电缆接入较为便捷； 2. 平台登入更方便； 3. 对荷载偏心具有更强的适应性； 4. 保证未来平台运行的灵活性（可新增、更替大型设备）； 5. 结构冗余度较高。	1. 同单桩结构比较，建造复杂； 2. 增加了安装时间及成本； 3. 海床变化及打桩前临时稳定性可能是个问题； 4. 低潮时桩靴是潜在的风险（若有桩靴）； 5. 由于构件尺寸缩小，更易受损；

7.3.4 小结

综上所述，结合项目选址和平面布置方案分析，本项目的用海方式为透水构筑物用海和海底电缆管道用海，不涉及填海和非透水构筑物用海；现阶段项目用海已最大程度集约节约用海，除桩基础区域一定程度上改变海域自然属性外，海底电缆管道埋设于海床以下，不改变海域自然属性，项目用海方式能最大程度减

少对海域自然属性的影响，有利于维护海域基本功能；项目在施工期会对区域海洋生态系统造成一定的影响，但影响短暂，施工完毕后影响将较快消失；在运营期，海上升压站、海上风机等维护产生的废水、固体废物均不在海区排放，正常运营基本不会对区域海洋生态系统产生影响；项目对水文动力环境和冲淤环境的影响主要集中在桩基础附近，对周边海域的影响小，能最大程度减少对水文动力环境和冲淤环境的影响。因此，现阶段，本报告书认为本项目透水构筑物用海和海底电缆管道用海的用海方式合理。

7.4 占用岸线合理性分析

根据揭阳海上风电场群集中登陆规划，本项目登陆点位于惠来县前詹镇砂质海滩。与神泉一、神泉二和规划的揭阳近海深水场址是同一登陆点。本项目占用是 220kV 海底电缆登陆时穿越海域自然岸线，全部为砂质岸线，穿越岸线长度约 20m。本项目 220kV 海底电缆从底土穿越岸线，在设计上并行排布两回路电缆，从沙滩底部穿越式定向钻穿越施工，不改变自然岸线类型，不影响自然岸线生态功能。

图7.4-1 本项目申请用海范围与岸线关系示意图

7.4.1 对周边岸线资源的影响分析

靖海登陆点具体位于岬角靠陆地一侧的西北部，所在位置周边目前为砂质岸线，岸滩宽度约为 30m 至 40m 左右，岸滩较为平滑，附近海域有零星的大型礁石分布，周边无植被分布。登陆点周边沿岸线分布有多处养殖场所，距离海边距离在 50m 左右，养殖对象为鲍鱼，海滩上分布有取水管道（埋深）和明排水渠，距离最近的养殖场位于登陆点东北侧约 15m。登陆点南侧直线距离约 50m 处的海湾夹角处有渔民小渔船临时停靠，登陆点西侧约 50m，旁边建设有两层的钢混结构房屋。登陆点距离北侧的县道 X106 直线距离约为 870m，有成型的土路与之连接，县道为双车道，路面为柏油马路，路况较好。

本项目不涉及采挖砂围填海、倾倒废渣等诱发沙滩蚀退的行为，电缆管线登

陆区施工采用定向钻工艺，无需开挖，定向钻有一定深度，尽量保存自然岸线的原态。对原砂质岸线的类型和生态功能不造成长久性影响，不会影响其自然岸线形态及原有生态功能。更不会诱发沙滩蚀退，不改变沙滩自然属性，不会对岸线的稳定性产生影响。

此外，按照规定登陆点处将设立显著标志，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岸线。因此，本项目送出海底电缆对所在自然岸线的影响很小，对周边岸线资源基本没有影响。

7.4.2 占用岸线的必要性与合理性

（1）占用岸线的必要性

本项目作为海上风电项目，布置 29 台 14MW 的风力发电机组，风机发出的电能通过 6 回 66kV 集电电缆接入 220kV 海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆输送到陆上集控中心。风电场的场址与惠来县沿岸最短距离约 16km，海上升压站集中送出的电能必须通过 220kV 送出海缆输送到陆上集控中心，因此，220kV 送出海底电缆必须穿越登陆点所在海岸线，项目穿越岸线是必要的。

（2）占用岸线方式的合理性

本项目 220kV 送出海底电缆采用定向钻形式穿越砂质岸线登陆，在登陆点两回电缆进行收缩。

本项目采用的定向钻施工工艺为非开挖施工，避免了对所在砂质岸线的开挖，有利于对所在岸线的生态环境保护，也相应的减少了基础埋设、地面恢复等的费用。同时，采用定向钻的施工工艺具有施工周期短、作业迅速、综合成本低的优势，施工完成后基本不会对所在岸线造成破坏，具有较高的社会和经济效益。

本项目 220kV 送出海底电缆登陆段施工采用定向钻技术进行电缆埋设，不涉及围填海，不进行采挖海砂、倾废等活动，220kV 海缆由底土穿越岸线，可保持自然岸线的原态，项目建设后不会对所占岸线造成明显不利影响，基本不会改变海域自然属性。因此，本项目利用岸线方式是合理的。

7.4.3 岸线占补分析

根据《广东省自然资源厅关于印发海岸线占补实施办法（试行）的通知》，“海岸线占补是指项目建设占用海岸线导致岸线原有形态或生态功能发生变化，要进行岸线整治修复，形成生态恢复岸线，实现岸线占用与修复补偿相平衡。”本项目采用定向钻技术进行电缆埋设，220kV 海底电缆由底土穿越岸线，营运期间电缆埋设有一定深度，基本不会导致岸线原有形态或生态功能发生变化。根据《广东省自然资源厅关于进一步做好海岸线占补台账管理的通知》（粤自然资海域〔2023〕149）号，“用海项目从空中跨越或底土穿越海岸线，不改变海岸线原有形态和生态功能，不造成海岸线位置、类型变化的，可免于落实海岸线占补。”因此，本项目无需进行海岸线占补。

7.5 用海面积合理性分析

场址调整后，本项目海域部分共建设 29 台 14MW 风机、1 座海上升压站，6 回 66kV 集电海底电缆、2 回 220kV 连陆海底电缆。装机总容量为 400MW。基于新修测海岸线计算，项目申请总用海面积为 340.3343 公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积 48.4967 公顷，海上升压站（透水构筑物）用海面积 2.0662 公顷，220kV 海底电缆用海面积 237.8605 公顷，集电线路用海面积 51.9109 公顷。海底电缆登陆点保护带涉及新修测海岸线长度约 20m，风机外包络线占海面积 23.5km^2。项目风机基础结构防腐蚀设计按 27 年考虑，风机的设计服务年限为 25 年，总工期计划为 15 个月，其中工程主体施工总工期为 13 个月，考虑到海上施工可能受到恶劣天气影响需延长时间，申请的用海期限为 27 年。

7.5.1 项目用海面积量算和分析

国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目风电场场址位于揭阳市惠来县靖海镇东南部海域。场址调整后，共规划 29 台 14MW 海上风机，装机容量 400MW。根据海籍调查规范 5.4.2.5 电力工业用海——f）海上风力发电项目用海，单个风机塔架以塔架中心点为圆心，中心点至塔架基础最外缘点外扩 50m 为半径的圆为界；g）海上风力发电使用的海底电缆，以电缆管道外缘线向两侧外扩

10m 距离为界。

（1）风机基础

根据《海籍调查规范》计算单个风机基础的用海面积，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。

本项目风电机组基础为四桩导管架基础方案，两种型号风机桩基础结构一致。基础塔筒与导管架四桩腿间由 4 根变截面钢管连接，四根桩按正方形布置，桩与桩之间的中心点距 30mm，平均桩径 3.2m-3.5m。塔架中心点至塔架基础最外缘点的距离最大为 22.96m，以外扩 50m 后的距离，即 72.96 为半径的圆即为单个风机基础的申请用海范围，单个风机基础用海面积为 π×72.96m×72.96m = 1.6723 公顷，29 台风力发电机组的总基础用海面积是 48.4967 公顷。风机用海范围界定示意图如下。

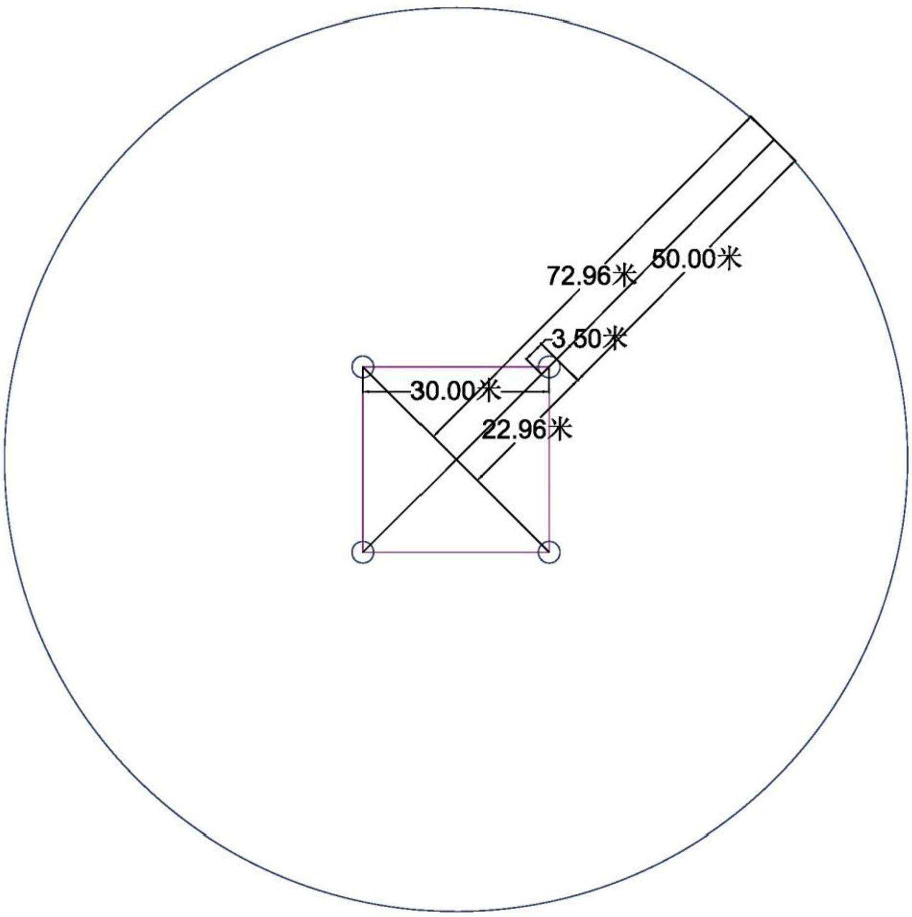


图 7.5.1-1 风机用海范围界定示意图

（2）集电线路

根据海籍调查规范，海上风力发电使用的海底电缆用海面积按照电缆管道外

缘线向两侧外扩 10m 计算，因此集电线路用海面积与风机基础用海面积有部分重叠，因风机基础为透水构筑物，海域使用收费标准高，所以集电线路用海面积中应去除和风机基础重叠部分。本项目集电线路采用单根三芯的海底电缆，因海底电缆暂未招标，未确定型号，根据 2.2.2.4 节介绍，保守计算，电缆自身直径取 20cm，根据规范要求，电缆用海以边界两边外扩 10m 为限，所以集电线路用海通道宽度约为 20.20m；用海面积按照电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 计算，集电线路申请用海面积为 51.9109 公顷。

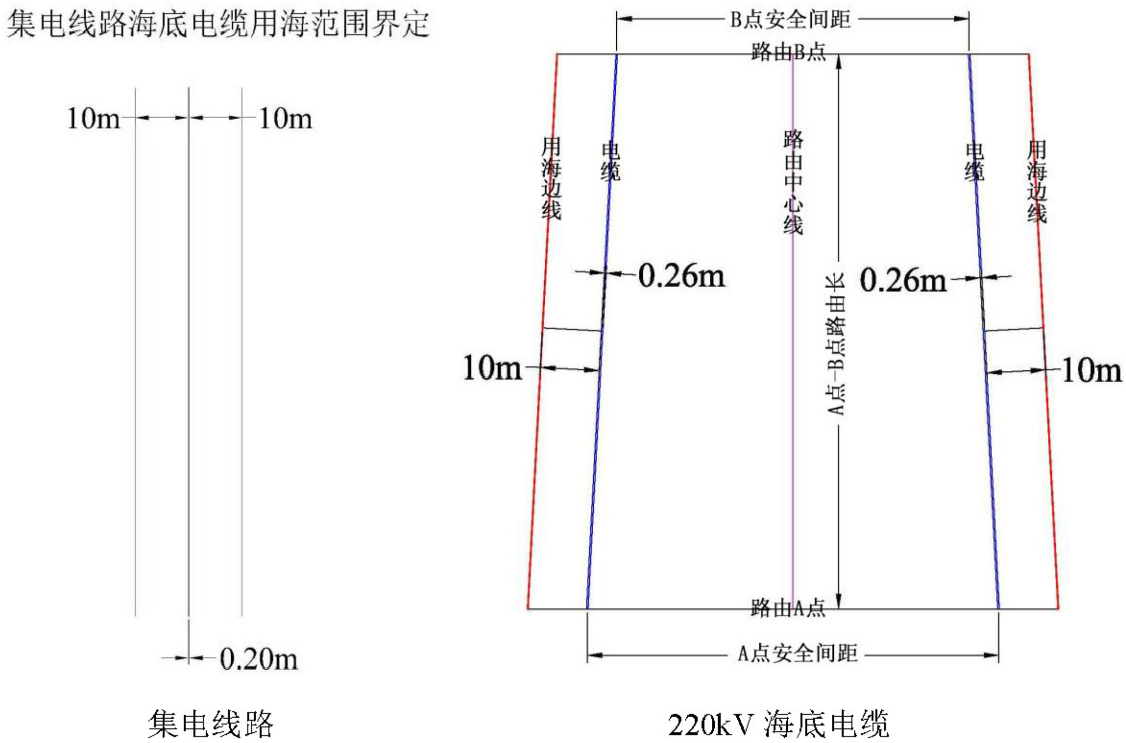


图 7.5.1-2　海底电缆用海范围界定示意图

（3）220kV 主海缆

本项目 220kV 海底电缆是连陆主海缆，根据设计要求，采用两回三芯的海底电缆连陆，电缆自身宽度暂定 26cm，根据水深确定两回电缆间的安全距离，在登陆和送出时两根海缆逐渐集中共用一个登陆点和一个送出点。根据规范要求，电缆用海以边界两边外扩 10m 为限，由于海缆之间的间距范围内已限制其它项目使用，造成实际用海，本次一并申请，示意图见图 7.5.1-2；在电缆登陆段，有部分区域与国家电投揭阳神泉二 350MW 海上风电项目增容项目登陆段电缆重叠，本项目申请用海范围扣除重叠部分，见图 7.5.1-3。最后得出 220kV 海底电缆用海总面积为 237.8605 公顷。

图 7.5.1-3 海底电缆用海范围界定示意图

（4）海上升压站

本项目海上升压站采用四桩导管架结构，根据设计要求，海上升压站采用整体式布置，分上部结构和下部结构，上部结构共三层，根据本报告 2.2.2.2 节的介绍，上部结构最大投影尺寸为 45.3m×42.2 m，具体见图 2.2.2-4~2.2.2-8。

下部结构为四桩基础，桩直径 3.3m，B 轴根开 37.568m，2 轴根开 40.668m，因此，下部结构的投影尺寸为 40.868m×43.968m，2 轴与真北方向夹角 22.5°，具体见图 2.2.2-9。对比上部结构和下部结构，上部结构的投影尺寸更大，因此以上部结构的投影尺寸为 45.3m×42.2 m 为海上升压站垂直投影的外缘线。

根据《海籍调查规范》5.3.2.3“透水构筑物用海以构筑物及其防护设施垂直投影的外缘线为界。有安全防护要求的透水构筑物用海在透水构筑物及其防护设施垂直投影的外缘线基础上，外扩不小于 10m 的保护距离为界。”

由于海上升压站为高压带电设施，其安全防护要求较高，参照广东省其他海上风电项目海上升压站的安全防护范围，以外扩 50m 的保护距离为界，因此，海上升压站占海面积为 2.0662 公顷。

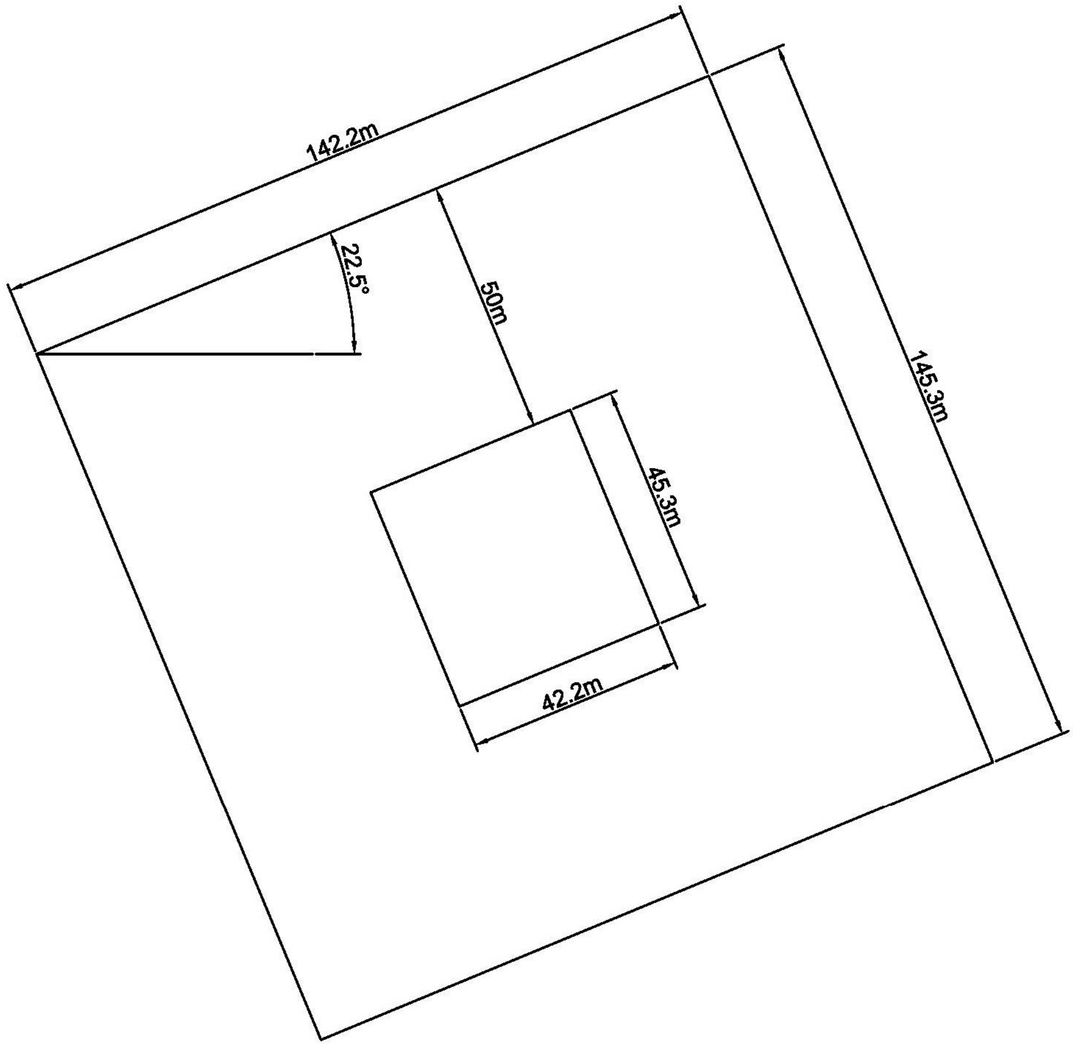


图 7.5.1-3 海上升压站用海范围界定示意图

本项目申请总用海面积为 340.3343 公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积 48.4967 公顷，海上升压站（透水构筑物）用海面积 2.0662 公顷，220kV 海底电缆用海面积 237.8605 公顷，集电线路用海面积 51.9109 公顷。

7.5.2 宗海图绘制

本项目宗海图根据《宗海图编绘技术规范》（HY/T251-2018）绘制，采用 CGCS2000 坐标系，高程基准为 1985 国家高程基准，深度基准为当地理论最低潮面，高斯-克吕格投影，中央经线 116.5°E。

宗海位置图是以中国人民解放军海军司令部航海保证部和中国航海图书出版社发行的 15100 汕头港至碣石湾为底图绘制，宗海界址图是以广东省基础地理

矢量数据经符号化成图作为底图绘制，使用岸线为 2022 年 1 月经广东省政府同意的新修测海岸线。

宗海图位置图和宗海界址图均在 ACRGIS 中绘制成图，用海面积的量算在选定的坐标系统下，采用 ACRGIS 直接量算。

登陆点海底电缆登陆点保护带涉及新修测海岸线约 20m，为界址点 L8-L9-L10 的连线；界址点 S1-S2-S3-S4-S1 连成的线为海上升压站界址线。集电线路的界址点为集电线路与风机用海范围的相接点，具体界址线见宗海图。

本项目界址点坐标列表见表 7.5.2-1~表 7.5.2-4，界址线列表见表 7.5.2-5。

表7.5.2-1　风机中心坐标

表7.5.2-2　海上升压站坐标

表7.5.2-3　220kV海底电缆界址点坐标

表 7.5.2-4　集电线路海底电缆界址点坐标（1）

表7.5.2-4　集电线路海底电缆界址点坐标（2）

表 7.5.2-4　集电线路海底电缆界址点坐标（3）

表 7.5.2-5　界址线列表

<table>
<tr><th>内部单元</th><th>用海方式</th><th colspan="2">界址线</th><th>面积（公顷）</th></tr>
<tr><td>风机</td><td>透水构筑物</td><td colspan="2">圆心点 F1~F29
（半径=72.96m）</td><td>48.4967
（单风机=1.6273）</td></tr>
<tr><td>海上升压站</td><td>透水构筑物</td><td colspan="2">S1-S2-S3-S4-S1</td><td>2.0662</td></tr>
<tr><td>220kV 海底电缆</td><td>海底电缆管道</td><td colspan="2">L1-L2-L3-…-L17-L1</td><td>237.8605</td></tr>
<tr><td>66kV 集电线路海底电缆</td><td>海底电缆管道</td><td>1-2-3-4-5-6-1
7-8-9-10-11-12-7
13-14-15-16-17-18-13
19-20-21-22-23-24-19
25-26-27-28-29-30-25
31-32-33-34-35-36-31
37-38-39-40-41-42-37
43-44-45-46-47-48-43
49-50-51-52-53-49
54-55-56-57-58-54
59-60-61-62-63-64-59
65-66-67-68-69-70-65
71-72-73-74-75-76-71
77-78-79-80-81-82-77
83-84-85-86-87-88-83</td><td>89-90-91-92-93-94-89
95-96-97-98-99-100-95
101-102-103-104-105-106-101
107-108-109-110-111-112-107
113-114-115-116-117-118-113
119-120-121-122-123-124-119
125-126-127-128-129-130-125
131-132-133-134-135-136-131
137-138-L1-139-140-141-137
142-143-144-145-146-142
147-148-149-150-151-152-147
153-154-155-156-157-158-153
159-160-161-162-163-164-159
165-166-167-168-169-170-165</td><td>51.9109</td></tr>
<tr><td colspan="2">宗海</td><td colspan="2">海上风机+海上升压站+220kV 海底电缆+66kV 集电线路海底电缆</td><td>340.3343</td></tr>
</table>

7.5.3 项目用海面积合理性分析

（1）项目用海面积符合项目用海需求

本项目属于海上风电建设项目，项目的建设符合规划。项目用海类型为工业用海-电力工业用海，用海方式有构筑物用海-透水构筑物用海（其他透水构筑物用海）、其他用海方式-海底电缆管道用海（海底电（光）缆）。考虑工程需求，同时也要按照《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）和《宗海图编绘技术规范》（HY/T251-2018）来确定其用海范围。

本工程的用海面积是在建设单位提供的工程可行性研究报告基础上根据规范确定，用海面积能满足本工程的建设需求。

（2）项目用海面积符合相关行业的设计标准和规范

本工程在工程可行性研究阶段，设计是严格根据《海上风电场工程可行性研究报告编制规程》(BN/T 31032-2012)、《海上风力发电场设计标准》（GB/T 51308-2019）、《海上风电场工程风电机组基础设计规范》（NB/T10105-2018）、《海上风电场工程防腐蚀设计规范》（NB/T 10626-2021）、《海上风电场工程施工安全技术规范》（NB/T 10393-2020）、《风电场接入电力系统技术规定》(GB/T19963-2011)、《大型风电场并网设计技术规范》(NB/T31003-2011)、《风力发电场设计技术规范》(DL/T 5383-2007)、《导体和电器选择设计技术规定》(DL /T 5222-2005)、《电力工程电缆设计规范 》(GB 50217-2007)、《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》(GB/T 50064-2014)、《交流电气装置的接地 》(GB/T 50065-2011)、《220kV～750kV 变电站设计技术规程》(DL/T 5218-2012)、《变电站总布置设计技术规程》(DL/T 5056-2007)、《220kV～500kV 变电所所用电设计技术规程》(DL/T 5155-2002)、《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(试行)》（FD 003-2007）、《港口工程荷载规范》(JTS 144-1-2010)、《港口工程桩基规范》(JTS 167-4-2012)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)、《浅海钢质固定平台结构设计与建造技术规范》(SY-T4094-2012)、《海上风电场钢结构防腐蚀技术标准》(NB/T 31006-2011)等现行有关行业标准，确定了各项技术指标的。设计中同时考虑国家通用规范、行业规范对本工程进行论证分析，确保结构安全、经济、适用并满足安全性、抗灾害性等要求。因此项目用海面积符合相关行业的设计标准和规范。

（3）项目用海面积界定与平面布置方案一致

本项目用海面积与风机、海上升压站、66kV 海底电缆和 220kV 海底电缆的平面布置方式密切相关。

风机平面布置是决定海域使用面积大小的一个主要因素，风机行内间距和行间距与发电量、尾流影响、建设成本密切相关。布置风机的关键是根据工程区域的特点，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。根据风电机组布置优化的分析，风电机组的布设合理，风机基础的选择根据海底工程地质特征选择四桩导管架形式。风机用海面积按照有关规范量算，因此，风

电机组的用海面积合理。

风机间集电海底电缆采用 66kV 三芯电缆，根据风电机组布置及考虑每个 66kV 母线段所带风电机组数量尽量平衡。风电场共设置 6 回 66kV 集电海底电缆风机集电线路，电压等级为 66kV，采用链形拓扑结构，每条电缆连接 4-5 台风机。统筹考虑了本项目及后期的其他风电场工程，送出线路采用 2 回三芯 220kV 送出海底电缆，因 2 回 220kV 海底电缆为单回分别施工，为确保施工安全，2 回海底电缆的间距约 50 米（间距在近岸登陆段和海上升压站送出段逐步缩减），在此区域已形成实际排他性用海。初步判断对所经过海域海洋功能区的主导功能影响不大；同时对周边海洋功能区产生的不利影响不大，与周边的主导海洋功能也不产生排它性冲突。海底电缆设计综合考虑风电场的功能、布设及周边环境、功能区种种因素，电缆设计合理。海底电缆的面积量算根据海籍调查规范进行，并按照海域使用金管理要求，减去与风电机组的用海面积重叠部分。海底电缆的用海面积合理。

海上升压站的设计综合考虑了风电场的发电效益、风机布设优化方案、海底地形地质特征等因素，采用四桩导管架基础。由于海上升压站为高压带电设施，其安全防护要求较高，参照广东省其他海上风电项目海上升压站的安全防护范围，以外扩 50m 的保护距离为界，用海面积量算按照海籍调查规范等执行。海上升压站的用海面积合理。

综上所述，本项目的海上风机基础、海上升压站、66kV 海底电缆和 220kV 海底电缆的用海面积合理。

7.5.4 减少用海面积的可能性分析

本项目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，并以尽可能在风电场规划范围内充分利用海域的空间资源和风能资源，产生最大的发电效益，对本项目的平面布置做了多次优化；同时，考虑到本工程周边海域航道、锚地、保护区等开发利用现状的用海需求，设计单位对本项目的平面布置做了优化。因此现阶段，不存在减少用海面积的可行性。

7.5.5 是否符合相关用海控制指标要求

根据《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》（国海规范[2016]6 号），海上风电的规划、开发和建设，应坚持集约节约的原则，提高海域资源利用效率。充分考虑地区差异，科学论证，单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 平方公里左右。以风电场最外围风机用海范围的外切线连线作为本项目风电场外缘线包络海域范围，示意见图 7.5.5-1，增容后，本项目风电场总容量 40 万千瓦，风电场外缘线包络海域总面积约 23.5 平方公里，每 10 万千万的外缘线包络面积为 5.875 平方公里（<16 平方公里），符合原国家海洋局规定的用海控制要求。

本项目风电场场址区域的水深均大于 30 米，风电场场址离大陆海岸线的最近距离约 16 公里>10 公里，符合“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 10m 的海域布局”，也符合《广东省国土空间规划》中“海上风电项目应满足离岸距离 30 公里以上或水深 30 米以上的开发条件限制”的规定。

本项目风电场场址及周边 10 公里范围海域内没有海洋自然保护区、海洋特别保护区、自然历史遗迹保护区，风电场场址不属于重要渔业水域、河口、海湾、滨海湿地，不涉及鸟类迁徙通道、栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域，未占用海洋生态红线区。本项目 220kV 海底电缆送出工程穿越前詹珍稀濒危物种分布区海洋生态保护红线，属于《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）中“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”的情形，除施工期对海洋生态保护红线的海洋生态环境造成短时影响外，正常运营不会对海洋生态保护红线的海洋生态环境产生不利影响。

图 7.5.5-1 本项目风电场外缘线包络海域范围示意图

7.6 用海期限合理性分析

项目风机基础结构防腐蚀设计按 27 年考虑，风机的设计服务年限为 25 年，

总工期计划为 15 个月，其中工程主体施工总工期 13 个月，考虑到海上施工可能受到恶劣天气影响需延长时间，申请的用海期限为 27 年。

本项目用海属于《中华人民共和国海域使用管理法》中的建设工程用海，根据《中华人民共和国海域使用管理法》第二十五条规定，建设工程用海的海域使用权最高期限按照用途确定，其中港口、修造船厂等建设工程用海五十年。

结合国家对项目用海年限的规定，国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目拟申请使用海域 27 年，符合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定。期满后，如有需要可按照有关规定再行申请续期。

因此，本项目用海期限是合理的。

8 生态用海对策措施

8.1 生态用海对策

8.1.1 生态保护对策

8.1.1.1 污染物排放与控制

8.1.1.1.1 施工期污染防治对策措施

1、海上污水处理与防治措施

（1）对于本项目所采用的各类施工船舶，在水上作业时应遵照交通部发布的《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》中对海上施工船舶的要求管理，禁止直接向海域水体排放机舱所处的舱底含油污水、丢弃生活垃圾。

（2）严格执行国家《船舶水污染物排放控制标准》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。本项目船只无压舱水排放，大型施工船舶设相应的防污设备和器材，并备油类记录簿，含油污水如实记录；设专用容器，回收施工残油、废油；对船舶油污水进行统一收集运至岸上，委托有资质的公司接收处置。

（3）对海域施工期间，各类供给船、铺缆船和起重作业船等施工船舶上作业人员产生的生活污水，需统一收集运至岸上处理，并委托有资质的单位接收处置。

（4）甲板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。

2、海上固体废物污染防治措施

（1）施工垃圾和生活垃圾的处置

对于施工期船舶施工人员产生的生活垃圾，应设立定点生活垃圾收集装置，定期运至陆上，由当地环卫部门规定的垃圾场统一处置。根据地方环卫部门制定的垃圾收运方案，本项目施工期施工人员生活垃圾可统一收集定期运至垃圾压缩站纳入陆域市政公用垃圾处置系统。

（2）扫海清障固体废弃物的处置

对于海缆施工前扫海清障打捞产生的固体废弃物，应在施工船舶上设置专门的收集装置，打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理，禁止在海上随意弃置从而造成海洋环境的二次污染。

（3）废弃焊头、废气包装处置

风机塔基与塔架焊接过程产生的废弃焊头和拆卸下来的废弃材料设备包装物不可直接丢弃，应在每个焊接作业电配备收集铁桶，废弃焊头直接放入容器中。在每个施工现场设置废料回收桶，施工结束后统一回收运输至陆上，送往大陆统一处置。

（4）吸泥施工产生的淤泥处置措施

由于本项目所倾倒淤泥均来自工程海域底泥，根据工程设计文件，钢管桩施工产生的淤泥吸出后将储存于驳船上，统一运回陆地，不在海区进行排放。

（5）定向钻钻屑的处置措施

定向钻穿越施工需要采用泥浆循环工艺，对于钻进过程中的钻屑，通过泥浆循环带至起钻工作井，用专用的收集箱存储，再交由有资质的单位送至垃圾填埋场填埋处理。

3、其他环境保护措施

（1）《MARPOL 73/78 附则 VI --防止船舶造成空气污染规则》于 2005 年 7 月 1 日生效，本项目施工船舶大气污染物应按该附则规定实施。

（2）施工船舶应采取有效措施控制主辅机噪声排放，包括：在发动机排气管安装弹簧吊架加以固定，在机舱路口上布置主、辅机消声器；合理设置消声器结构和机舱室结构，达到理想的消声量和隔声量，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛声。

（3）加强施工船只管理，避免施工区域船舶拥堵，加剧噪声和废气等污染物产生。

8.1.1.1.2 运行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。

8.1.1.2 生态保护措施

8.1.1.2.1 施工期生态保护措施

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，建议尽量降低在海洋鱼类产卵高峰期的施工强度。同时打桩前可采取预先轻轻打几下桩，以驱赶桩基周围的鱼类，为减缓后续正式打桩时产生的水下噪声和悬浮物对鱼类的影响。

②对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

③施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

④施工期对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成捕捞生产净收入减少。因此，为减缓本工程实施对渔民的影响，建议建设单位与当地渔业主管部门协商，落实生态补偿措施。

3、定向钻工作井修复方案

根据定向钻施工工艺，在施工期将在海岸线附近的陆域建设约 4m×10m 的工作井，在施工结束后，需用原状土填平工作井，并恢复场地地貌至原状。

4.为减轻对海缆对周边生态保护红线的影响，施工期间禁止向海域排放污染物，控制海缆敷设速度，尽可能减小悬浮泥沙的起悬和扩散。

5.为减轻海缆施工对生态岸线的影响，海缆敷设时应尽量避免采用开挖施工，登陆段建议采用推荐的定向钻施工技术。

6.加强对重要海洋保护生物的保护。对于文昌鱼，建议业主单位在正式施工前组织对施工范围内及施工影响范围内的文昌鱼分布情况进行详细调查，摸清分布文昌鱼具体分布情况，根据调查结果详细分析施工活动对文昌鱼的影响情况，必要时进行文昌鱼专项生态修复。对于印太江豚、宽吻海豚、海龟等保护生物，建议在打桩，海底电缆铺设等开始施工前，应密切注意观察施工船舶周围保护生物的活动情况，并设定至少 1.7 km 的施工保护范围为警告区域。设立鲸豚等重要保护生物观察员专责观察施工点周围是否有保护生物出现，在开始施工前派遣巡逻船只巡查，确认施工保护范围有无鲸豚等保护生物活动，若发现有鲸豚等保护生物，应暂停施工，采用无害声驱的方法将其驱逐出作业海域，再进行施工作业。在施工期间过往和进出风电场区船只应控制船速，并尽量慢速航行，以防螺

旋浆碰撞保护生物致死或受伤。此外，建设单位和施工单位均应该加强对施工人员和船员的生态保护教育，提升施工人员和船员的海洋生态环境保护和海洋生物保护的意识。施工单位应建立保护动物救护预案，一有发现因施工船舶碰撞或船舶螺旋桨致使工程海域鲸豚类等保护动物受到损伤，应立即与保护区管理部门联系，按救护预案开展保护物种的救护工作。

7.鸟类保护。为减轻对鸟类资源的影响，建议采取如下减缓措施（1）施工时尽量减少施工范围，减少对潮间带生境的破坏；并对风电场施工机械及人员进行严格管理。（2）合理安排施工时间，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过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。

8.1.1.2.2 运行期生态保护措施

建议运行期采取如下对策措施，加强对鸟类资源的保护。

（1）根据研究鸟类通常以视觉判断飞行路线中的障碍物，为减少鸟类碰撞风机叶片的机会，根据日本等地的成功经验，风机的叶片应当用橙红与白色相间的警示色，使鸟类在飞行中能及时分辨出安全路线，及时规避，以减少鸟只碰撞风机的几率。建议在风机上加设红色闪烁灯，以减少在夜间迁徙的鸟类碰撞风机的几率。由于蓝光能吸引鸟类，应避免在风机和升压站上使用蓝色灯光，以及设施外层蓝色涂装。此外，为减少反射阳光对雀鸟的影响，风力发电机的机件使用非反光涂料。

（2）针对风电场建设导致导致海域栖息地丧失，通过在其他海域制定鱼类、甲壳类、贝类增殖放流计划，以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率作为补偿。

（3）加强运行期风场对鸟类影响观测；特别在候鸟迁徙高峰的时候，及时观测鸟类动向。在候鸟大规模迁徙期间，如遇到大群候鸟停歇风电场内及附近，可以采取驱赶措施，必要时应当停机驱赶。如发现鸟类伤亡，应及时救治受伤鸟只。鸟类观察救助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。

（4）使用干扰设备驱吓鸟类，使其远离特定的区域，这种方法在野生动物管理中广泛使用。其中，生物声学技术较为有效，但在长期使用的过程中，鸟类会习惯相关刺激，其作用会随着时间的延长逐渐降低。激光干扰是阻止鸟类夜间碰撞的一种方法。

8.1.2 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，并有鸟类活动，生态环境相对敏感而脆弱，且存在风机墩柱局部冲刷的风险。建设单位应制定具体的海域使用动态监测计划。监测计划的实施由业主委托具备计量认证资质的单位开展，技术要求按照有关环境监测规范的规定执行，并在施工完成后及时向海洋环境主管部门提交符合要求的跟踪监测计量认证分析测试报告，以备查。通过动态监测，了解和掌握该项目施工过程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。

跟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海洋行政主管部门审核同意后才可实施。监测采样及分析方法需满足《海洋调查规范》(GB/T12763-2007)和《海洋监测规范》（GB17378-2007）等有关规范的要求。

项目建设期和运营期应对海水水质、沉积物质量、海洋生物质量、海洋生态、地形地貌与冲淤、水下噪声、电磁环境进行监测，如有问题应及时采取防治措施。建议建设单位委托有资质的技术单位开展生态跟踪监测。

生态跟踪监测选取海水水质监测站位 20 个，沉积物质量监测站位 10 个，海洋生态监测站位 12 个，海洋生物质量监测站位 3 个，水下噪声监测站位 10 个。此外，布设电磁环境监测站位 9 个。监测过程中可视情况做适当的调整。

表 8.1.2-1 生态跟踪监测站位坐标表

图 8.1.2-1 跟踪监测站位示意图

（1）海水水质

监测项目：水深、水温、盐度、pH、悬浮物、COD、BOD_5、DO、无机氮、活性磷酸盐、石油类、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、硒、镍、挥发性酚等，具体项目可根据实际情况确定。

监测站位：共布设 20 个监测站位，见表 8.1.2-1 和图 8.1.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

（2）沉积物质量

监测项目：粒度、有机碳、pH、石油类、硫化物、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷等，具体项目可根据实际情况确定。

监测站位：共布设 10 个监测站位，见表 8.1.2-1 和图 8.1.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季。

（3）海洋生物质量

监测项目：总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、石油烃等，具体项目可根据实际情况确定。

监测站位：共布设 3 个监测站位，见表 8.1.2-1 和图 8.1.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季。

（4）海洋生态

监测项目：鸟类、叶绿素 a、浮游植物、浮游动物（含鱼卵仔稚鱼）、底栖生物，具体项目可根据实际情况确定。

监测站位：共布设 12 个监测站位，见表 8.1.2-1 和图 8.1.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季。

鸟类可按照如下要求开展监测：

监测内容：工程建设区及邻近地区鸟类的种类组成、数量、分布以及迁徙、迁飞特征、穿越风电场、与风机发生撞击的情况等。

监测时间：在项目营运初期（5 年），加强对区域鸟情、鸟类与风机撞击情况的观测研究。

监测频率：调查监测频次根据季节划分，在鸟类数量较集中的迁徙期，可进行强化监测。

（5）水下噪声

监测项目：噪声频带有效声压级、噪声声压谱级。

监测位置：在风电场区域选定 F14、F16、F20 共 3 台风机，每台风机以风机塔架为中心，分别外扩 0m、100m、500m 进行水下噪声观测，合计 9 个站位，同时，在风电场规划场址外约 5km 布设 1 个点进行背景噪声观测。以上站位合计 10 个，具体可根据实际情况确定。

监测频率：每年 1 次，低、中和额定风速输出时观测。

（6）电磁环境

监测项目：工频电场强度、工频磁感应强度。

监测位置：布设 9 个监测点，监测点位见表 8.1.2-2 和图 8.1.2-2。

监测频率：每年 1 次。

表 8.1.2-2 电磁环境监测站位坐标

图 8.1.2-2 电磁环境监测站位图

（7）地形地貌与冲淤

监测项目：水深地形、风机墩柱局部冲刷监测（冲刷深度、冲刷坑直径和冲刷坑形状等参数，若有必要，应对风机墩柱局部冲刷进行加测。在风暴潮等恶劣气象条件过后对风机墩柱局部冲刷情况进行必要的加测）。

监测位置：以工程外扩边界 2km 的海域，测量比例按照 1：5000；2km-15km 的海域，测量图比例尺按照 1：10000；送出海底电缆登陆段选择两个断面监测岸线冲淤变化。

监测时间及频次：工程运营期前 5 年内，每年监测 1 次，遇灾害性天气加密监测；5 年之后根据前期监测分析结果，可 2~3 年监测 1 次。

（8）生态跟踪监测评价

根据生态跟踪监测结果，进行现状评价，将各类监测数据与本论证报告采用的现状调查数据进行比较，对是否突破相应指标合理变化范围进行评价。在监测完成后，开展趋势评价，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。在完成现状评价和趋势评价后，应进行综合评价，综合生态本底调查数据、各监测要素的现状评价和趋势评价结论，对项目周边海域的海洋生态和环境存在的问题、潜在风险进行评估。

本项目应严格执行生态跟踪监测，根据实际情况可适度调整部分站位和监测项目，全面监督和检查各施工单位环境保护措施的落实和效果，根据评价结果，及时监督、处理和解决施工和运营过程中出现的资源生态问题，保证项目环境保护措施得以全面落实并达到预期效果，并通过生态跟踪监测和评价，检验海洋生态修复措施的可行性和有效性。

8.2 生态保护修复措施

8.2.1 主要生态问题

根据第 4 章分析，本项目建设主要造成的生态问题为因桩基占海和施工造成的海洋生物资源损失。本项目施工期造成底栖生物累计损失量为 9.5098 吨，鱼卵的累计损失量 4.17×10^{8} 粒，仔稚鱼的累积损失量为 1.46×10^{8} 尾，游泳生物的累积损失量为 6.00×10^{3}kg；运营期桩基压占造成的底栖生物累计损失为 0.0688 吨。

8.2.2 生态修复目标

生态保护修复本着“损害什么，修复什么”以及项目“边建设边修复”的基本原则，保护修复的总体目标是具有自然形态和生态功能的岸线总长度不减少，海洋生物资源逐步得到恢复。本项目建设造成海洋生物资源损失的恢复目标是通过开展增殖放流等生态保护修复措施，补偿因项目建设造成的海洋生物资源损失。

结合项目周边海域状况，建议本项目通过增殖放流措施对受损的海洋生境进行生态修复。以下生态保护措施供参考，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。

海洋生物资源恢复重点是修复食物网的营养层级，提高食物链长度，增加食物网复杂性，逐步恢复生态系统结构。

增殖放流的修复方案应严格按照《中国水生生物资源养护行动纲要》（国发〔2006〕9 号）、《水生生物增殖放流管理规定》（中华人民共和国农业部令第 20 号，2009）、《水生生物增殖放流技术规程》（SCT 9401-2010）、《农业部办公厅关于进一步规范水生生物增值放流工作的通知》（2017）、《海水鱼类增殖放流技术规范》（DB44/T 2280-2021）的要求。

增殖放流工程应在主管部门的指导下科学进行，也可以将本项目的增殖放流工程纳入揭阳市增殖放流管理保护工作整体中完成。

（1）放流物种选择

参照揭阳市惠来县近年来已成功开展的增殖放流，增殖放流鱼苗、贝苗种类跟农业农村主管部门沟通确认后选定，避免投放品种单一，保障海洋生物资源的

多样性。

（2）增殖放流海区选择

根据《海水鱼类增殖放流技术规范》（DB44/T 2280-2021），增殖放流地点应选择 a）产卵场、索饵场、洄游通道或人工鱼礁、牧场；b）远离排污口，非海洋倾废区，非港口，非盐场、电厂、养殖场等进排水区，非管制海区。本项目拟选择惠来县人工鱼礁重要渔业资源产卵场或本项目风电场区域作为增殖放流海区。

（3）放流物种质量

①亲本

亲本应符合以下要求：

a.来源于自然海域或原良种场；

b.体质健壮、无病、无伤、无畸形；

c.原则上要以野生或经人工选育的纯种作为亲本；

d.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物种。

②苗种来源

增殖放流苗种应当是本地中的原种或 F1 代，人工繁育的增殖放流苗种应由具备资质的生产单位提供。其中，水生经济生物苗种供应单位需持有《水产苗种生产许可证》；珍稀、濒危生物苗种供应单位需持有《水生野生动物驯养繁殖许可证》。禁止增殖放流外来种、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。

③苗种规格

苗种规格应符合以下要求：

a.鱼苗苗种全长≥4 cm；贝苗苗种壳高≥4 mm

b.标志增殖放流鱼苗苗种全长≥5 cm。

④苗种质量

增殖放流苗种质量应符合下表要求。

表 8.2.2-1 增殖放流苗种质量要求

项目	指标
感官质量	规格整齐，游动活泼、对外界刺激反应灵敏，摄食良好，体色正常、形态自然
可量化指标	规格合格率>95%，死亡率、伤残率、畸形率之和<5%

疫病	农业部公告第 1125 号规定的水生动物疫病不得检出
药物残留	国家、行业颁布的禁止使用的药物不得检出，其他药物残留应符合 NY 5070 要求

（4）投放

①投放时间

本项目拟在取得海域使用权证后 5 年内开展增殖放流，增殖放流时间选择在休渔期。

②投放方法

根据鱼苗的习性，确定适合的时间和合适的气象条件，选择合适的方法进行投放。

苗种投放过程中，应按照相关管理要求和技术规范观测并记录增殖放流情况以及投放水域的水文参数、气象参数，并经现场验收、监督人员确认。

（5）增殖放流规模

增殖放流前，对损害增殖放流生物的作业网具进行清理。增殖放流过程中，要观测并记录投放海域的水域状况，包括水温、盐度、pH 值、溶解氧、流速和流向等水文参数，以及记录天气、风向和风力等气象参数。增殖放流后，对增殖放流水域组织巡查，防止非法捕捞增殖放流生物资源。根据 GB/T 12763 和 SC/T9102 的方法，定期监测增殖放流对象的生长、洄游分布及其环境因子状况。

本项目建设造成底栖生物累计损失量为 9.5098 吨+0.0688 吨=9.5786 吨=9578.6kg，增殖放流按贝类计，按照 1kg 贝苗约 200 粒计算，底栖生物损失换算为贝类约为 191.572 万粒。考虑到运输途中和放流途中的损失，本报告书建议增殖放流的贝类总数不低于 200 万粒。

本项目建设造成鱼卵的累计损失量 4.17×10^8 粒，仔稚鱼的累积损失量为 1.46×10^8 尾，按照鱼卵发育为鱼苗的成活率 1%计算，仔稚鱼发育为鱼苗的成活率 5%计算，则鱼卵仔稚鱼换算成鱼苗的损失量为 1147 万尾。本项目建设造成游泳生物的累积损失量为 6.00×10^3kg，成鱼价格按 20 元/kg 计算，则游泳生物货币损失量为 12 万元，当地鱼苗价格按 1 元/尾计算，增殖放流的鱼苗数量为 12 万尾。考虑到运输途中和放流途中的损失，本报告书建议增殖放流的鱼苗总数不低于 1200 万尾。

表 8.2.2-2 增殖放流规模

保护修	保护修	工程量	实施计划	备注

复类型	复内容			
海洋生物资源恢复	增殖放流	1. 贝类放流 200 万粒。 2. 鱼苗放流 1200 万尾	用海确权后 5 年内每年实施，在休渔期开展增殖放流	1、放流规格、位置、数量供参考，可根据当年市场苗种情况进行合理调整，且不少于报告所列数量； 2、具体实施方案、周期在实施过程中可结合实际情况进行适当调整。

图 8.2.2-1 本项目生态保护修复措施总体布置图

（6）加强渔业资源和生态保护宣传

在进行海洋生物增殖放流建设时，举行仪式，以保护海域生态环境为主题，一方面加强社会环境保护教育，一方面树立项目建设单位的环保形象。

综上所述，建议建设单位切实落实管理部门、本报告书及有关专题研究报告提出的海洋生态用海建设方案，切实保护海洋生态环境，保护海洋资源。

9 结论与建议

9.1 结论

9.1.1 项目用海基本情况

本项目为大型海上风电新建项目，拟建设 1 座海上升压站、29 台 14 MW 风机、三芯 2 回共二条 220kV 连陆海底电缆、三芯 6 回 66kV 风机间集电线路海底电缆、一座陆上集控中心。项目涉海建设内容包括海上升压站、海上风机、海底电缆。项目用海类型为工业用海-电力工业用海，用海方式有构筑物用海-透水构筑物用海（其他透水构筑物用海）、其他用海方式-海底电缆管道用海（海底电（光）缆）。本项目风电场外缘边线包络海域面积约 23.5 平方公里，基于新修测海岸线，项目总申请用海面积 340.3343 公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积 48.4967 公顷，海上升压站（透水构筑物）用海面积 2.0662 公顷，220kV 海底电缆用海面积 237.8605 公顷，集电线路用海面积 51.9109 公顷，海底电缆登陆点保护带涉及新修测海岸线长度约 20 米。项目申请用海年限为 27 年。风电场工程动态总投资 511558 万元。

9.1.2 项目用海必要性分析结论

本项目的建设是适应新常态下我国能源革命形势、优化能源结构的需要，符合国家能源发展战略和规划的要求；是广东省能源结构调整、提升全省能源生产供应能力的需要；是改善环境质量，促进广东节能环保、可持续发展的需要；有利于提高相关产业水平，推进广东海上风电发展；有利于开发海洋经济增长点，促进地区经济社会发展。

经广东省能源局同意，本项目总装机容量由 150MW 增容至 400MW；经广东省发展改革委同意，本项目风电场场址发生调整。应用大容量风机是行业发展必然趋势，能充分利用海域的风能资源，尽可能在规划的场址范围之内产生更大的发电效益，减少度电成本，适应海上风电平价开发需要，符合集约节约用海的

原则。

项目所在地的地质条件适宜，交通便利，风能资源丰富，资源环境能满足本项目建设的需要。本项目的主体工程全部位于海上，将建设 29 台风机、1 座海上升压站和多条海底电缆。风机基座为桩基础结构，属于"透水构筑物用海-其他透水构筑物用海"，桩基插入海床，风机架设在海面上方，必将占用一定的海域。项目建设多条 66kV 海底电缆，用于收集 29 台风机生产的电力，并经过海上升压站升压处理后，通过 220kV 的海底电缆输入陆上集控中心，最终输入电网，海底电缆埋入海床以下，属于"海底电缆管道-海底电（光）缆用海"，必将占用一定的海床及底土。因此，从项目的建设特点来看，本项目海上风电场建设及电缆铺设将占用一定的海域，项目用海是必要的。

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

9.1.3 项目用海资源生态影响分析结论

本项目附近海域的资源生态敏感目标主要为生态保护红线、渔业水域等。项目建设对区域水动力、地形地貌与冲淤以及水质环境方面均有一定影响。

工程建设后对潮流的影响主要体现在涨落潮时桩基背水面的流速减小，减幅 2~5cm/s；工程对于流场的影响主要在每个风机周围 600m 内，对其他海域流场没有影响。对流向影响很小，涨急时刻流速以减小为主，落急时刻流速同样减小为主，流速变化 1~2cm/s，风电场外基本不变。

风电桩基完成以后，桩基群对水流主要涡流，在风机周边产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.1m/a 左右，而在桩基群之间，冲刷不明显。整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。风机基础结构设计时需预留一定的防冲刷深度并做好基础结构的防冲刷保护措施。

项目施工期悬浮物增量值大于 100mg/L 的最大可能影响面积为 104.91km^2，大于 50mg/L（超二类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 57.86km^2，大于

100mg/L（超三类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 29.09km^2，大于 150mg/L（超四类水质）增量浓度悬浮泥沙最大扩散范围 12.43km^2。施工悬沙对周围的环境和敏感目标影响很小，将随着施工的结束而消失。

风机桩基础吸出的淤泥不在海区排放；在严格施工管理条件下，施工船舶将产生生产废水、生活污水和垃圾经收集处理后运至陆上处置，海上工程施工不会对海洋沉积物质量产生明显影响；本工程采用铝基牺牲阳极保护引起的锌溶解对沉积物环境的累积影响有限，工程运营对区域海洋沉积物环境无明显不利影响。

本项目海底电缆登陆点保护带涉及新修测海岸线长度约 20m，全部为砂质岸线，海底电缆埋设于沙滩以下，采用定向钻的施工方式不改变海岸线的自然属性和自然风貌。

本项目施工期造成底栖生物累计损失量为 9.5098 吨，鱼卵的累计损失量 4.17×10^8 粒，仔稚鱼的累积损失量为 1.46×10^8 尾，游泳生物的累积损失量为 6.00×10^3kg；运营期桩基压占造成的底栖生物累计损失为 0.0688 吨。项目的施工和运营将对当地的渔业生产产生一定的影响，但桩基础将形成人工鱼礁，一定程度上有利于渔业资源的恢复。

施工期风机基础打桩作业会对渔业资源将产生一定的影响，运行期风机产生的噪声会对部分海洋生物产生一定的影响，需采取一定的防范措施，尽可能降低对海洋生物的影响。风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显，该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物基本上没有影响。

项目用海对鸟类资源将会产生一定的影响，主要包括风机噪声影、光、碰撞、活动范围破碎化、生境质量下降等，最可能影响类群为红嘴鸥，应采取一定措施尽量减少对鸟类的影响。

在登陆点附近海域有五个岛（礁），分别是大堆尾、南心仔、山礁、山礁外岛和山礁内岛，均属于无居民海岛，本项目海底电缆设计时已避开相关岛礁，正常施工和营运不会对岛礁产生不利影响。

项目用海生态风险主要是船舶事故溢油后的生态风险等。本项目位于广东省揭阳市惠来县靖海镇东南部海域，工程附近敏感目标较多，施工期间在工程海域发生溢油事故后，油膜在较短的时间内可到达周边敏感目标，溢油事故的应急处置工作难度较大。因此，应严格加强施工期施工船舶的安全管理，杜绝事故的发

生。同时要加强突发事故的风险防范和应急处置能力建设，一旦发生溢油事故，应尽快采取阻拦措施，并组织人员进行油品的回收工作，尽量减小污染。

9.1.4 海域开发利用协调分析结论

本项目周边开发利用内容主要有传统渔港（神泉、靖海、资深）、惠来县神泉示范性渔港建设项目、揭阳港前詹作业区通用码头一期工程、粤东液化天然气项目一期工程、中委合资广东石化 2000 万吨/年重油加工工程、广东惠来电厂项目、神泉海洋保护区、前詹海洋保护区、惠来电厂煤码头锚地、靖海锚地、前詹锚地、澳角锚地、中委 5 千吨级锚地、中委 5 万吨级锚地、粤东液化天然气项目一期工程锚地、原油码头锚地、中国航路指南：台湾海峡至横澜岛 中、小型船舶航路、中国航路指南：台湾海峡至横澜岛 大型船舶和外国船舶航路、全国沿海航路规划内航路、琼州海峡至台湾海峡（南下）、全国沿海航路规划内航路、琼州海峡至台湾海峡（北上）、广东省航道图-海甲航道/神泉港进港航道、国家电投揭阳神泉海上风电项目#1 测风塔工程、国家电投揭阳神泉海上风电项目#2 测风塔工程、国家电投揭阳靖海海上风电项目测风塔工程、国家电投揭阳神泉一 400MW 海上风电场项目、国家电投揭阳神泉二 350MW 海上风电场项目增容项目、规划汕头海门风电场场址一、场址二、场址三、亚太二号光缆汕头至分支 3 段、亚太二号光缆汕头至淡水段、亚欧光缆汕头至支路单元 7 段、揭阳港大南海东岸公共码头防波堤工程、揭阳港大南海东岸公共进港航道工程、揭阳大南海石化工业区海洋放流管工程、中委广东石化 2000 万吨/年重油加工工程调整用海、揭阳港惠来沿海港区前詹作业区蓝水深远海通用码头工程等；220kV 海底电缆登陆点附近有较多鲍鱼养殖场。

本项目的协调责任部门为航道、海事主管部门，利益相关者为有关鲍鱼养殖场养殖户（杨永鸿养殖户和方强荣养殖户）。建设单位正在与利益相关者和有关主管单位进行协商，部分已取得协调意见，本报告建议与利益相关者达成一致意见后，用海可行。

本项目用海属经营性用海，按国家有关规定交纳海域使用金，不存在损害国家权益的问题。本项目的建设和营运可能会对周边海域的军事活动产生一定的影响，建议建设单位加强与军方进行沟通，在有关管理部门的组织下主动征求意见，

以保障项目建设过程不会影响军事设施安全和军事活动的进行，未取得军事部门明确同意意见前不得开工建设。

9.1.5 项目用海与国土空间规划的符合性分析结论

本项目建设符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》《广东省国土空间生态修复规划（2021—2035 年）》《揭阳市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《惠来县国土空间总体规划（2021-2035 年）》等国土空间规划文件要求。项目 220kV 海底电缆穿越前詹珍稀濒危物种分布区属于“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”情形，符合生态保护红线的管控要求。

项目用海符合符合《全国海洋功能区划（2011 年-2020 年）》《广东省海洋主体功能区规划》《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》。

项目施工期会对周边海域的海洋生态环境造成一定的影响，但影响较小，随着施工结束将迅速消失；海底电缆定向钻方式正常登陆施工不会对岸线造成不利影响，不会破坏此处自然岸线的自然景观和自然属性，符合海岸线保护与利用管理要求。

本项目的建设符合国家产业政策，符合《广东省海上风电发展规划》（2017-2030 年）（修编）、《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》、《广东省海洋经济发展“十四五”规划》、《揭阳港总体规划（2035 年）》、《揭阳市海洋经济发展“十四五”规划》等相关规划。

9.1.6 项目用海合理性分析结论

本工程风电场场址区位于揭阳市惠来县南部海域，风电场场址选址具有唯一性。所在区域的区位和社会条件能满足项目建设的要求；与自然资源和生态环境相适宜，风资源较丰富；场地稳定性和工程地质条件较好，在采取必要的桩基础结构和合理的施工方案等工程措施的前提下，项目选址能满足相应场地要求；项目选址符合国土空间规划；项目建设有利于该区域海洋经济的协调发展，对周边海域的资源环境影响较小；项目在协调好与周边利益相关者的关系前提条件下，选址与周边其它用海活动是适宜的。通过对宏观选址和微观选址的分析，项目用

海选址是合理的。

本工程的风机机组、海上升压站、集电线路和 220kV 主海缆经过了充分设计和多次优化，能充分利用海域的空间资源和风能资源，产生最大的发电效益，在规划的风电场范围内集约节约用海；海底电缆经过优化后，用海面积和铺设施工对资源环境的影响相对较小，提高了项目的用海合理性。项目用海平面布置方案合理。

本项目主要水工建筑物是风机基础、海底电缆和海上升压站，风机基础和海上升压站采用桩基础的结构方案，用海方式分别为透水构筑物和海底电缆管道，用海方式能满足本项目的使用功能，符合有关规范的规定，符合国土空间规划的管理要求，用海方式合理。

本项目风电场外缘边线包络海域面积约 23.5 平方公里，项目总申请用海面积 340.3343 公顷，其中风机（透水构筑物）用海面积 48.4967 公顷，海上升压站（透水构筑物）用海面积 2.0662 公顷，220kV 海底电缆用海面积 237.8605 公顷，集电线路用海面积 51.9109 公顷。海底电缆登陆点保护带涉及新修测海岸线长度约 20m，不改变海岸线自然属性。项目设计符合相关行业标准和规范，能满足项目的建设需求，宗海图按照规范绘制，用海面积按规范量算，符合海上风电相关用海控制指标，现阶段，不存在减少用海面积的可行性，从集约节约用海角度考虑，用海面积合理。

项目风机基础结构防腐蚀设计按 27 年考虑，风机的设计服务年限为 25 年，总工期计划为 15 个月，其中工程主体施工总工期 13 个月，考虑到海上施工可能受到恶劣天气影响需延长时间，申请的用海期限为 27 年，符合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定，满足项目用海需求，用海期限合理。

9.1.7 项目用海可行性结论

本项目的建设有利于促进揭阳及粤东地区经济增长；项目所在地的地质条件适宜，交通较便利，风能资源较好，资源环境能满足本项目建设的需要；项目增容和场址调整已取得主管部门同意；项目用海对周边海域的资源环境影响较小，资源损失可通过生态补偿的方式进行补偿；在做好有关安全防范对策措施的前提下，项目风险可控；项目用海的利益相关者可协调；符合所在区域国土空间规划；

项目用海选址适宜，用海方式符合有关规范的规定，平面布置方案经过多次优化后布置合理，有利于集约节约用海；海底电缆穿越海岸线，不改变岸线自然属性，符合海岸线保护利用要求；项目宗海图按照规范绘制，申请用海期限符合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定，用海期限合理。

在项目建设方做好本报告书提出的相关对策措施的前提下，本报告书认为国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目用海可行。

9.2 建议

1、建议建设单位按照军事部门要求实施本项目，未取得军事部门正式同意意见前不得开工建设；

2、本项目 220kV 海底电缆的路由勘察工作暂未完成，如路由勘察后 220kV 海底电缆的位置发生较大变化，项目用海情况可能发生变化，建议按照要求开展海域使用论证工作。

说明：资料来源说明

1、引用资料

[1] 邓绍云.桩柱水流绕流阻力特性及其计算，中国港湾建设，2007，1：4-6；

[2] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目可行性研究报告（送审稿）》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2024 年 5 月；

[3] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目海缆预选路由选择依据说明材料（报批稿）》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2023 年 12 月；

[4] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目地形测量技术报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 4 月；

[5] 《国电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目冬季全潮水文观测报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 4 月；

[6] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场工程可行性研究阶段岩土工程勘测报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 6 月；

[7] 《国电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目夏季全潮水文观测报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 9 月；

[8] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》，厦门大学，2018 年 7 月；

[9] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目波浪专题研究》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 5 月；

[10] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场项目通航安全影响分析报告（审定稿）》，广州中洋航海技术研究所，2018 年 5 月；

[11] 《揭阳靖海海上风电场项目鸟类现状调查及评价专题报告》，广东省生物资源应用研究所，2018 年 7 月；

[12] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电场泥沙与海床稳定性分析专题报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 7 月；

[13] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目春季海洋环境

现状调查监测报告》，国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站，2022 年 4 月；

[14] 《国家电投揭阳靖海 150MW 海上风电项目增容项目秋季海洋环境现状调查监测报告》，国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站，2022 年 9 月；

[15] 《国家电投揭阳神泉二海上风电场项目秋季海洋环境现状调查监测报告》，国家海洋局汕尾海洋环境监测中心站，2021 年 12 月。

[16] 《南海地质地球物理图系（1:200 万）》，中国地质调查局广州海洋地质调查局组织编制，中国航海图书出版社，2016 年；

[17] 《揭阳市 2023 年国民经济和社会发展统计公报》（揭阳市统计局 国家统计局揭阳调查队）；

[18] 《2022 年惠来国民经济和社会发展统计公报》（惠来县统计局）。

2、现场勘查记录

受业主委托，国家海洋局南海调查技术中心承担该工程海域使用论证报告的编制工作。根据海域使用论证工作的要求，对该工程及其周边区域进行了现场调访、踏勘及收集资料等工作。