

中广核阳江南鹏岛海上风电场项目调整 变更海洋环境影响补充报告书

浙江省环境科技有限公司

2020年5月

目 录

概述	1
1 总论.....	6
1.1 项目背景和评价目的.....	6
1.2 编制依据.....	7
1.3 环境影响评价标准.....	11
1.4 评价工作等级和评价范围.....	15
1.5 环境保护目标和环境敏感目标.....	19
1.6 评价工作重点.....	31
1.7 评价工作程序.....	31
2 原工程方案概述	32
2.1 工程总体概况.....	32
2.2 工艺说明.....	32
2.3 原工程方案环境影响评价结论.....	45
2.4 环评批复要求.....	50
3 工程方案调整情况	53
3.1 方案调整原因及必要性.....	53
3.2 工程调整方案.....	56
3.3 工程施工.....	65
3.4 项目申请用海情况.....	76
3.5 工程管理及运行维护	81
4 工程分析	82
4.1 生产工艺与过程分析.....	82
4.2 工程方案调整涉及的环境影响因素分析.....	83
4.3 环境影响识别及评价因子.....	91
5 区域自然环境和社会环境概况	93
5.1 区域自然环境概况.....	93

5.2	海域开发利用现状.....	97
6	海洋环境质量现状调查与评价	102
6.1	水文动力环境现状调查与评价.....	102
6.2	地形地貌及冲淤环境现状调查与评价.....	105
6.3	海水水质现状调查与评价.....	112
6.4	海洋沉积物现状调查与评价.....	122
6.5	海洋生态现状调查与评价.....	124
6.6	生物质量调查与评价.....	140
6.7	渔业资源现状调查与评价.....	145
6.8	鸟类现状调查与评价.....	158
6.9	声环境现状调查与评价.....	170
6.10	海洋环境质量回顾性评价.....	172
7	环境影响预测与评价	178
7.1	水文动力环境影响分析.....	178
7.2	地形地貌与冲淤环境影响分析。.....	202
7.3	海水水质环境影响预测与评价.....	208
7.4	海洋沉积物环境影响分析与评价.....	218
7.5	海洋生态环境影响分析与评价.....	219
7.6	水下噪声及电磁辐射环境影响评价.....	226
7.7	工程建设对敏感目标的影响分析.....	231
7.8	其他环境影响预测与评价.....	234
8	环境事故风险评价	236
8.1	环境风险评价述.....	236
8.2	风险类型识别.....	237
8.3	环境风险预测结果.....	238
8.4	环境风险评价.....	239
8.5	海上溢油事故风险防范措施.....	241
8.6	海上溢油事故应急措施.....	242
8.7	其他风险评价.....	246

9	环境保护对策措施	247
9.1	海域污染环境保护对策措施	247
9.2	海洋生态保护对策措施	251
9.3	海缆环境保护措施	253
9.4	通航安全环境保护措施	253
9.5	自然岸线保护措施	254
9.6	环境保护措施汇总	255
10	环境影响经济损益分析	261
10.1	环保投资	261
10.2	环境保护经济损益分析	261
10.3	环境经济损益综合分析	262
11	海洋工程的环境可行性	263
11.1	与《广东省海洋功能区划》的符合性	263
11.2	与海洋生态红线制度的符合性	270
11.3	与相关规划的符合性分析	282
11.4	建设项目的政策符合性	282
11.5	环境影响可接受性分析	283
12	工程生态用海方案分析	285
13	环境管理和监测计划	286
13.2	环保验收清单	287
14	环境影响评价结论	289
14.1	工程分析	289
14.2	主要环境影响预测	290
14.3	环境事故风险	293
14.4	环境保护对策措施	293
14.5	综合评价结论	294

概述

一、建设项目的特点

中广核阳江南鹏岛海上风电场工程位于阳江市阳东区东平镇南侧、海陵岛东南侧海域，规划装机总容量为 400MW，场址面积约 83km²，外围风机包络海域面积不超过 64.0km²。水深在 22m~31m 之间，距离陆地最近距离约 19.5km。项目拟布置 73 台 5.5MW 风电机组（1 台限发 4MW），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 16 回 35kV 集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆输送到陆上集控中心。

原环评已于 2017 年 12 月取得广东省海洋与渔业厅的批准意见，但在项目详勘阶段，由于现场水文条件、地质条件等的限制，对原环评中的海上升压站位置、风机位置、风机桩基以及 220kV 海缆进行了微调，建设规模不变。

其中，海上升压站位置南移约 1km；220kV 海底电缆路由相应的有所调整，同时，为了避开礁石区，登陆端路由也进行了微调，2 回海缆总体增加 5.2km；风机优化布置后，对风机位置也进行了微调，风机基础结构由原来的四桩导管架结构变更为非嵌岩四桩导管架基础 41 台、非嵌岩单桩基础 29 台、嵌岩单桩基础 3 台；35kV 集电线路路由也有所调整，长度增加 11.58km。

二、环境影响评价的工作过程

工程方案调整后，中广核阳江海上风力发电有限公司委托我公司（即浙江省环境科技有限公司）承担了本项目的环境影响评价工作。评价单位接受委托后，立即组织项目组评价技术人员对项目登陆点及周边区域进行了现场踏勘，并收集了工程海域海洋环境质量现状资料、环境功能区划及与本工程相关的规划文件，并委托深圳中检联检测有限公司开展了工程海域海洋环境质量现状调查。

本项目环评阶段，中广核阳江海上风力发电有限公司通过网站公示、报纸公示、现场张贴公告等方式公示了项目环境影响评价信息，编制了《中广核阳江南鹏岛海上风电场项目调整变更公众参与说明》。

在上述工作的基础上，评价单位依据项目设计总说明及相关专题报告，针对工程特点和区域海洋水质、生态环境现状，对方案调整后的项目建设主要海洋环境影响进行了预测、分析和评价，给出有针对性的污染防治措施和生态影响减缓措施，提出了环境管理与监测计划要求，明确了建设项目方案调整后可行与否的

结论，编制完成了《中广核阳江南鹏岛海上风电场项目调整变更海洋环境影响补充报告》。

三、分析判定相关情况

(1) “三线一单” 符合性分析

①生态保护红线

本项目风电场不涉及海洋生态红线区，220kV 海缆路由穿越东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区（105），220kV 海缆登陆占用的大陆自然岸线为三丫港基岩岸线（60）。根据《广东省海洋生态红线登记表》注解，明确“海洋生态红线区允许海上风电项目海底送出工程经过”，本项目登陆段施工采取直埋敷设，登陆后通过水平定向钻方式穿越省道，敷设电缆沟接入集控中心，不破坏岸滩地形地貌和生态环境。因此，本项目海底电缆及风电场建设、岸线的利用与广东省海洋生态红线中各相关红线区的管理要求是相符的。

②环境质量底线

项目所在区域的环境质量底线为：环境空气质量目标为《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级；海水环境质量目标为《海水水质标准》（GB3097-1997）中的第一类标准；工程周边声环境质量目标为《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类标准。

本项目对产生的废水、废气、噪声、固废等均采取了规范合理的处理措施。

根据废水、废气、固废影响分析，采取本环评提出的相关防治措施后，本项目排放的污染物不会对区域环境质量底线造成冲击。

③资源利用上线

本项目建成后通过内部管理、设备选择、原辅材料的选用和管理、废物回收利用、污染治理等多方面采取合理可行的防治措施，以“节能、降耗、减污”为目标，有效地控制污染。项目的资源利用不会突破区域的资源利用上线。

④环境准入负面清单

本工程不属于负面清单中的项目。

(2) 相关规划符合性

项目建设符合国家产业政策，项目选址、建设规模符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030）（修编）》。工程位于全国海洋主体功能区规划中的优化开发海域（珠江口及其两翼海域），位于广东省海洋主体功能区规划中的限制开发区

域（海洋渔业保障区）。工程建设符合《广东省海洋功能区划》（2011-2020年）中的所在海域海洋环境保护要求和海域使用管理要求。工程海缆及风场用海、岸线利用符合广东省海洋生态红线中各相关红线区的管理要求。项目建设符合《可再生能源中长期发展规划》、《能源发展“十三五”规划》及《阳江市海洋经济发展“十三五”规划》。

四、关注的主要环境问题及环境影响

项目重点关注方案调整后，项目建设对生态（包括鸟类、渔业等）、水质、水动力与冲淤环境影响和环境保护措施。生态环境影响重点分析了工程建设运营对海域鸟类迁徙、生存活动以及栖息地的影响，以及对渔业资源的损害评估。环境保护措施重点提出了施工期悬浮沙、废水、噪声污染防治措施以及工程建设阶段和运营阶段的生态保护措施。

（1）水生生态影响及减缓措施

①对鸟类的影响及保护措施

施工期海上作业对鸟类的影响主要是海上施工噪声、灯光对鸟类生存活动的直接影响，以及海缆敷设悬浮沙导致鱼类资源量减少从而间接影响鸟类觅食。施工时鸟类可在周边海域栖息活动，且施工时长有限，属于短期影响，不会对工程海域鸟类栖息活动产生长期不利影响。

运营期风电场址区离岸较远，不在鸟类主要迁徙路线上，对鸟类迁徙活动影响有限，但对在此区域迁飞觅食鸟类的正常生存活动有一定的负面影响。不利影响主要是风机噪声、光影响、碰撞效应和电磁场对鸟类活动的直接影响，以及风电场占海对鸟类生存栖息造成的间接影响。结合风机噪声预测和主要受影响鸟类噪声忍受阈值，风机运行噪声对距风机400m内鸟类的迁飞活动将产生一定影响，但鸟类间的沟通交流基本不会受风电场低频噪声的影响。此外，场址内灯光照明可能导致鸟类趋光撞击死亡，不良气象条件下，风电场的建设也会增加鸟类与风机相撞概率。风电场包络海域会在一定程度上导致鸟类栖息地破碎化，造成鸟类栖息地的损失。

针对工程建设对鸟类的影响，本次提出生态保护措施要求包括：1）合理安排施工时间，尽量在鸟类非迁徙季节安装风机，候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过施工区时应降低施工强度；2）严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少漏光量；3）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；4) 施工期对鸟类通过量和死亡率进行监测，一旦发现海上施工设施与鸟类撞击率较高时，应暂停施工，风电场运营期采用雷达或视频、录音等监控手段监测鸟类迁徙活动，探明鸟类是否有避让风机的行为，并对鸟撞事件作出预警。聘请专人在候鸟迁徙高峰期，定期在风电场开展调查监测，发现情况立即提供反馈和救助。

2) 对渔业资源的影响及减缓措施

根据预测分析，本项目施工产生悬浮沙共计造成游泳生物 775.21kg，鱼卵 9.21×10^7 粒，仔稚鱼 4.02×10^6 尾，浮游植物 1.51×10^{14} cell，浮游动物 21555.22kg 受损；基础结构施工占用海床底土及生态资源空间造成受损底栖生物 0.184t。电缆施工管沟开挖造成底栖生物损失 281.46t，潮间带生物损失 0.712t。项目基础结构用海破坏底质和渔业资源空间对生物造成了不可逆影响，生物资源损害的补偿年限应不低于 20 年，按 20 年进行赔偿，悬浮泥沙及施工期管沟开挖对海洋生物产生持续性影响的年限低于 3 年，按 3 年进行补偿；由此计算，本工程造成的生态损失总赔偿额为 1231.38 万元。

针对工程建设对渔业资源的影响，本次提出生态保护措施要求包括：建设单位应按照生态补偿原则，根据农业部《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007) 的有关规定，对项目附近水域的生物资源恢复做出经济补偿，生态补偿款主要用于人工增殖放流、资源养护与管理以及生态环境跟踪调查及补偿方案的效果评估。增殖放流物种应结合工程所在海域的海洋生物种类分布特征和目前人工育苗、增殖放流技术合理选取，确保生态补偿措施落实到位以取得预期恢复效果。

(2) 水质环境影响及减缓措施

三维潮流泥沙输运扩散模型预测结果显示：底层超 I、II 类海水水质(>10mg/L) 的面积为 92.244km²；增量浓度 >20mg/L 的面积为 5.398km²；增量浓度 >50mg/L 的面积为 1.985km²、超 III 类(>100mg/L) 的面积为 1.013km²、超 IV 类(>150mg/L) 海水水质的面积为 0.331km²。

中层超 I、II 类海水水质(>10mg/L) 的面积为 56.486km²；增量浓度 >20mg/L 的面积为 3.424km²；增量浓度 >50mg/L 的面积为 1.175km²、超 III 类(>100mg/L) 的面积为 0.018km²、超 IV 类(>150mg/L) 海水水质的面积为 0.001km²。

表层超 I、II 类海水水质(>10mg/L) 的面积为 4.581km²；增量浓度 >20mg/L

的面积为 1.901km²；增量浓度 >50mg/L 的面积为 0.638km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.000 km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.000km²。

针对工程建设对海水水质的影响，本次提出生态保护措施要求包括：施工作业期间，在整体施工计划框架下，根据季节性海流条件，合理优化调整各施工作业区施工计划，将重点悬浮沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱的季节和潮期内；在施工前制定严格的作业规程，加强施工质量管理；严格按照施工方案作业，控制施工强度，减缓入海悬浮沙增量；水上作业时，施工船舶机舱油污水及作业人员生活污水、生活垃圾严禁排海，运回陆地处理。

(3) 水动力与冲淤环境影响及减缓措施

风电桩基完成以后，桩基群对水流的整体阻挡并不明显，由于涨落潮流的主流向以东南-西北向为主，因此在风电桩基东南-西北向的流速减小，导致在桩基群的附近和东南-西北两侧产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.08m/a 左右，而在桩基群的东北侧和西南侧，由于水动力的增强，则表现出略有冲刷，最大冲刷幅度为 0.05m/a 左右。整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 3cm/a 的范围不超过桩基区 0.2m。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

不考虑海床的自然冲刷和桩基修筑以后的一般冲刷，由经验公式得出桩基的局部冲刷深度为 3.9m，叠加一般冲刷（最大 0.15m）后风电桩基处的最大冲刷深度可达到 4.2m 左右。

针对工程建设对海域冲淤环境的影响，工程设计阶段采取了预留冲刷深度的措施，可以保证风电桩基稳定性。

五、环境影响评价的主要结论

本工程建设符合我国可持续发展能源战略，增加电力供应并改善地区电源结构，社会效益、经济效益和环境效益明显。本工程性质、场址、规模、生产工艺和原环评相比维持不变，仅海上升压站位置、风机位置及海缆路由发生调整。工程方案调整后，项目实施对海域自然、生态环境和渔业资源造成的影响和损失以及环境风险程度与原环评的环评结论相比基本一致，通过采取渔业资源修复补偿措施、风险防范措施和各项环境保护措施可予以减轻。在落实本报告提出的各项环保措施并实行跟踪监督管理的前提下，不存在制约本工程建设的环境因素。从环境影响角度评价，工程调整方案环境可行。

1 总论

1.1 项目背景和评价目的

中广核阳江南鹏岛海上风电场工程场址位于阳江市阳东县东平镇南侧、海陵岛东南侧海域，拟建设内容包括：73 台单机装机容量 5.5MW 海上风机（其中一台限发 4MW），设计装机容量 440MW，一座 220kV 海上升压站。敷设 35kV 场内集电海缆，2 回 220kV 送出海缆。本项目于 2016 年 3 月开展工程海洋环境影响评价工作，并于 2017 年 12 月取得广东省海洋与渔业厅的批准意见（附件 1）。作为广东省首批海上风电示范项目，本项目于 2018 年 8 月开工建设，截止 2020 年 4 月，工程已完成海上升压站、登陆点、1 条海底电缆、8 台风机以及首回 35kV 集电电缆的建设。

根据地质勘查和水文监测结果，原海上升压站位置地质条件较差，不适合布置升压站，再结合集电线路的总体布置，将海上升压站往南移动约 1km；同时，本项目将与西侧的中节能阳江南鹏岛海上风电项目共用一个登陆点，220kV 海底电缆登陆点发生变化，北移约 60m；路由登陆段周边有礁石区分布，路由布置需尽量避开礁石区，登陆部分南移；由此，220kV 海缆长度比原设计增加约 2.04km，16 回 35kV 集电海缆也由于海上升压站位置调整而重新布置，风机位置根据海缆重新布置及现场水深情况作微调。

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《建设项目环境保护管理条例》等法律法规，本项目需针对工程方案调整开展环境影响评价。浙江省环境科技有限公司承担本项目方案调整变更环境影响补充评价工作，委托函见附件 2。本项目登陆点至陆上集控中心的电缆及陆上集控中心已另行编报环境影响评价文件，因此本报告不包含陆域电缆及陆上集控中心的环境影响评价内容。

在已批准的环境影响报告书的基础上，本项目环境影响评价补充工作目的如下：

（1）在海域开发利用现状调查及环境质量现状评价的基础上，掌握工程海域的环境特点，并对原工程方案进行回顾。

（2）针对工程方案调整内容开展工程分析，确定工程方案调整后工程的主

要环境影响因子及污染源强，对调整后方案在施工期和运营期可能产生的环境影响进行分析和预测，对调整前后的环境影响性质、程度和范围进行对比分析。

(3) 针对工程施工及运行可能存在的主要环境影响，提出切实可行的环境保护对策措施，将工程建设的环境影响减少到最低。

(4) 提出工程方案调整后工程环境管理与监测要求以及工程建设环境可行性结论和建议，为工程环境可行性决策、建设和运行中实施环境保护措施、跟踪监测和环境监督管理提供依据。

1.2 编制依据

1.2.1 法律、法规依据

- 《中华人民共和国环境保护法》，2015.1；
- 《中华人民共和国海洋环境保护法》，2017.11；
- 《中华人民共和国海域使用管理法》，2002.1；
- 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018年修正），2018.12；
- 《中华人民共和国水污染防治法》，（2017年修正），2018.1；
- 《中华人民共和国噪声污染防治法》（2018年修订），2018.12；
- 《中华人民共和国大气污染防治法》（2015年修订），2016.1；
- 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2016年修正），2016.11；
- 《中华人民共和国可再生能源法》，2010.4；
- 《中华人民共和国渔业法》，2013.12；
- 《中华人民共和国野生动物保护法》，2018.10；
- 《中华人民共和国清洁生产促进法》，2012.7；
- 《中华人民共和国海上交通安全法》，2016.11；
- 《海洋工程环境影响评价管理规定》，2016.7；
- 《中华人民共和国防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2017.3（修订）；
- 《中华人民共和国防止海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，国务院第507号，2018.03；
- 《防治船舶污染海洋环境管理条例》，2017.03；
- 《产业结构调整指导目录（2019年本）》，2020.1；

- 《中华人民共和国船舶污染海洋环境应急防备和应急处置管理规定》，2015.05；
- 《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》，2011.2；
- 《国家船舶溢油应急设备库设备配置管理规定（试行）》，2008.11；
- 《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》，2007.5；
- 《建设项目环境保护管理条例》，2017.10；
- 《中华人民共和国自然保护区条例》，2011.1；
- 《海洋自然保护区管理办法》，1995.5；
- 《国务院办公厅关于加强湿地保护管理的通知》，2004.6；
- 《关于涉及自然保护区的开发建设工程环境管理工作有关问题的通知》，1999.8；
- 《关于进一步加强涉及自然保护区开发建设活动监督管理的通知》，2015.5；
- 《水产种质资源保护区管理暂行办法》，2011.3；
- 《关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知》，2012.8；
- 《海上风电开发建设管理办法》，2016.12；
- 《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》，2016.11；
- 《近岸海域环境功能区管理办法》，1999.12；
- 《国家重点保护野生动物名录》，2003.02；
- 《海底电缆管道保护规定》，2004.3；
- 《关于印发<输变电建设项目重大变动清单（试行）>的通知》，2016.8。

1.2.2 地方法规

- 《广东省环境保护条例》，广东省人大 2018.11；
- 《广东省建设项目环境保护管理条例》，2012.7；
- 《广东省海域使用管理条例》，2007.3；
- 《广东省湿地保护条例》2006.6；
- 《广东省渔业管理条例》2003.7；
- 《广东省固体废物污染环境防治条例》，2012.7；
- 《广东省实施<中华人民共和国海洋环境保护法>办法》，2009.3。

1.2.3 规划与区划

- 《全国海洋功能区划（2011~2020年）》，2012.4；
- 《全国海洋经济发展“十三五”规划》，2017.5；
- 《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，2012；
- 《广东省海洋生态红线》，2017.9.29；
- 《广东省海洋环境保护规划（2006~2015年）》，2006.3；
- 《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020年）》，2017.11；
- 《广东省海洋经济发展“十三五”规划》，2017.4；
- 《广东省现代渔业发展“十三五”规划》，2017.4；
- 《广东省环境保护规划纲要（2006-2020年）》，2006.4
- 《阳江市海洋经济发展“十三五”规划》，2016.12。

1.2.4 中国加入的有关国际公约

- 《国际防止废物和其它物质倾倒入海洋公约》，联合国；
- 《经1978年议定书修正的1973年国际防止船舶污染海洋公约（MARPOL73/78）》（V2011年修正），国际海事组织；
- 《中华人民共和国政府和日本政府保护候鸟及其栖息环境的协定》，1981.3.3；
- 《中华人民共和国和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》，1986.10.20；
- 《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》，1982.3.12 议定书修订；
- 《生物多样性公约》，1992.6.5，签订于里约热内卢。

1.2.5 技术依据

1.2.5.1 规程规范

- 《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）；
- 《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》，（HJ2.1-2016）；
- 《海上风电工程环境影响评价技术规范》，2014.4；
- 《环境影响评价技术导则 大气环境》，（HJ2.2-2018）；
- 《环境影响评价技术导则 地表水环境》，（HJ2.3-2018）；

- 《环境影响评价技术导则 声环境》，（HJ2.4-2009）；
- 《环境影响评价技术导则 生态影响》，（HJ19-2011）；
- 《建设项目环境风险评价技术导则》，（HJ69-2018）；
- 《环境影响评价技术导则输变电工程》（HJ24-2014）；
- 《船舶污染海洋环境风险评价技术规范》（试行）；
- 《辐射环境保护管理导则电磁环境影响评价方法与标准》，（HJ/T10.3-1996）；
- 《海水水质标准》（GB3097-1998）；
- 《渔业水质标准》（GB11607-89）；
- 《海洋沉积物质量标准》（GB18668-2002）；
- 《海洋生物质量标准》（GB18421-2001）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；
- 《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- 《海洋监测规范》（GB17378-2007）；
- 《近岸海域环境监测规范》（HJ442-2008）；
- 《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）；
- 《声学 水下噪声测量》（GB/T5265-2009）；
- 《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》（海洋出版社，1986）；
- 《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）。

1.2.5.2 建设项目相关文件

- 《中广核阳江南鹏岛海上风电场工程海域使用补充论证报告书》（报批稿），国家海洋局南海调查技术中心，2017.12；
- 《中广核阳江南鹏岛海上风电场工程环境影响报告书》（报批稿），上海勘测设计研究院有限公司，2017.11；
- 《关于批准中广核阳江南鹏岛海上风电场工程环境影响报告书的函》，广

东省海洋与渔业厅，粤海渔函[2017]1428号。

1.3 环境影响评价标准

本工程方案调整主要对海上升压站位置、风机位置及海缆路由进行调整，风电场场址位置未发生变化，原环评批复后相关海域海洋功能区划未发生调整，工程主体涉及的功能区仍为湛江-珠海近海农渔业区，项目周边海域的功能区和环境敏感性也与原环评基本一致，因此工程方案调整后，执行的环境质量标准与原环评保持一致，本报告结合项目实际，对环境质量标准和污染物排放标准进行了更新和补充分析，具体为：

1.3.1 环境质量标准

1.3.1.1 海洋功能区划与海域环境质量标准

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，本工程主体位于湛江-珠海近海农渔业区，明确要求海水水质执行《海水水质标准》第一类标准；根据《广东省近岸海域环境功能区划》，评价海域涉及寿长河口排污区，海水水质执行《海水水质标准》第三类标准；故海水水质执行《海水水质标准》第一类标准；沉积物执行《海洋沉积物质量》第一类标准；双壳类海洋生物质量执行《海洋生物质量标准》第一类标准，非双壳类海洋生物体内污染物质（Hg、Zn、Pb、Cd、Cu）含量评价标准采用《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。相应标准限值见表 1.3-1~表 1.3-5。

表 1.3-1 海水水质标准（mg/L，pH 无量纲）

项目	第一类	第二类	第三类	第四类
SS	人为增加的量≤10		人为增加的量≤100	人为增加的量≤150
pH	7.8~8.5		6.8~8.8	
DO>	6	5	4	3
COD≤	2	3	4	5
无机氮≤	0.20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐≤	0.015	0.030	0.030	0.045
Hg≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
Cd≤	0.001	0.005	0.01	0.01
Pb≤	0.001	0.005	0.010	0.050
Cu≤	0.005	0.010	0.050	0.050
Zn≤	0.020	0.050	0.10	0.50
As≤	0.020	0.030	0.050	0.050

项目	第一类	第二类	第三类	第四类
总 Cr _≤	0.05	0.10	0.20	0.50
石油类 _≤	0.05	0.05	0.30	0.50
粪大肠菌群 _≤	2000	2000	2000	-

表 1.3-2 沉积物质量标准

序号	项目	第一类	第二类	第三类
1	汞 ($\times 10^{-6}$) _≤	0.20	0.50	1.00
2	镉 ($\times 10^{-6}$) _≤	0.50	1.50	5.00
3	铅 ($\times 10^{-6}$) _≤	60.0	130.0	250.0
4	锌 ($\times 10^{-6}$) _≤	150.0	350.0	600.0
5	铜 ($\times 10^{-6}$) _≤	35.0	100.0	200.0
6	铬 ($\times 10^{-6}$) _≤	80.0	150.0	270.0
7	砷 ($\times 10^{-6}$) _≤	20.0	65.0	93.0
8	有机碳 ($\times 10^{-2}$) _≤	2.0	3.0	4.0
9	硫化物 ($\times 10^{-6}$) _≤	300.0	500.0	500.0
10	石油类 ($\times 10^{-6}$) _≤	500.0	1000.0	1500.0

表 1.3-3 海洋生物（双壳贝类）质量标准值（鲜重）（单位：mg/kg）

序号	项目	第一类	第二类	第三类
1	总汞 _≤	0.05	0.10	0.30
2	镉 _≤	0.2	2.0	5.0
3	铅 _≤	0.1	2.0	6.0
4	铬 _≤	0.5	2.0	6.0
5	砷 _≤	1.0	5.0	8.0
6	铜 _≤	10	25	50（牡蛎 100）
7	锌 _≤	20	50	100（牡蛎 500）
8	石油烃 _≤	15	50	80

表 1.3-4 生物质量评价标准（单位：mg/kg）

生物类别	铜	铅	锌	镉	总汞	石油烃
鱼类	≤20	≤2.0	≤40	≤0.6	≤0.3	≤20
甲壳类	≤100	≤2.0	≤150	≤2.0	≤0.2	≤20
软体动物	≤100	≤10	≤250	≤5.5	≤0.3	≤20

1.3.1.2 大气环境

根据《阳江市大气环境功能分区图》，本工程登陆点区域环境空气执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准，环境空气质量标准值见表 1.3-5。

表 1.3-5 环境空气质量标准（单位：μg/m³）

序号	项目	平均时间	浓度限值	
			一级	二级
1	SO ₂	年平均	20	60
		24 小时平均	50	150

序号	项目	平均时间	浓度限值	
			一级	二级
2	NO ₂	1 小时平均	150	500
		年平均	40	40
		24 小时平均	80	80
		1 小时平均	200	200
3	TSP	年平均	80	200
		24 小时平均	120	300
4	PM ₁₀	年平均	40	70
		24 小时平均	50	150
5	PM _{2.5}	年平均	15	35
		24 小时平均	35	75

1.3.1.3 声环境

根据《声环境质量标准》(GB3096-2008),本工程海缆登陆点区域为集镇区域,执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)2类标准。相应标准限值见表 1.3-6。

表 1.3-6 声环境质量标准 (单位: dB(A))

类别	昼间	夜间
2	60	50

1.3.1.4 电磁环境

根据《电磁环境控制限值》(GB8702-2014),以工频电场强度 4kV/m、工频磁感应强度 0.1mT 作为公众曝露控制限值。

1.3.2 污染物排放标准

1.3.2.1 污废水

工程方案调整后污废水产生量及排放去向基本不变,因此,陆上污水纳管排放仍执行广东省地方标准《水污染物排放限值》(DB44/26-2001)的三级标准(第二时段);陆上施工污水、生活污水回用标准执行《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)。

工程方案调整前,船舶生活污水和船舶垃圾排放执行《船舶污染物排放标准》(GB3552-1983)。由于《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)于 2018 年 1 月 16 日发布,2018 年 7 月 1 日实施,代替《船舶污染物排放标准》(GB3552-1983)。因此,工程方案调整后,船舶水污染物和船舶垃圾执行新的标准。

污废水排放限值见表 1.3-7,船舶水污染物排放规定见表 1.3-8。

表 1.3-7 广东省水污染物排放标准 (单位: mg/L)

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

表 1.3-8 船舶水污染物排放控制标准

污染物	水域类别	船舶类别	排放控制要求
船舶含油废水	沿海	400 总吨及以上船舶	油污水处理装置出水口石油类限值为 15mg/L (排放应在船舶航行中进行) 或收集并排入接收设施。
		400 总吨以下非渔业船舶	
船舶生活污水	距最近陆地 3 海里以内海域	400 总吨及以上的船舶, 以及 400 总吨以下且经核定许可载运 15 人及以上的船舶	不得直接排入环境水体 利用船载收集装置收集, 排入接收设施; 利用船载生活污水处理装置处理; 2012 年 1 月 1 日以前安装 (含更换) 生活污水处理装置的船舶, 执行 $BOD_5 \leq 50\text{mg/L}$, $SS \leq 150\text{mg/L}$, 耐热大肠菌群数 ≤ 2500 个/L; 2012 年 1 月 1 日及以后安装 (含更换) 生活污水处理装置的船舶, 执行 $BOD_5 \leq 25\text{mg/L}$, $SS \leq 35\text{mg/L}$, 耐热大肠菌群数 ≤ 1000 个/L, $COD_{Cr} \leq 125\text{mg/L}$, $pH 6 \sim 8$, 总氯 (总余氯) $< 0.5 \text{ mg/L}$
	3 海里 < 与最近陆地间距离 ≤ 12 海里的海域		同时满足: (1) 使用设备打碎固体物和消毒后排放; (2) 船速不低于 4 节, 且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。
	与最近陆地间距离 > 12 海里的海域		船速不低于 4 节, 且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。
船舶垃圾	在任何海域, 应将塑料废弃物、废弃食用油、生活废弃物、焚烧炉灰渣、废弃渔具和电子垃圾收集并排入接收设施		
	对于食品废弃物, 在距最近陆地 3 海里以内 (含) 的海域, 应收集并排入接收设施; 在距最近陆地 3 海里至 12 海里 (含) 的海域, 粉碎或磨碎至直径不大于 25 毫米后方可排放; 在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。		
	对于货物残留物, 在距最近陆地 12 海里以内 (含) 的海域, 应收集并排入接收设施; 在距最近陆地 12 海里以外的海域, 不含危害海洋环境物质的货物残留物方可排放。		
	对于动物尸体, 在距最近陆地 12 海里以内 (含) 的海域, 应收集并排入接收设施; 在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。		
	在任何海域, 对于货舱、甲板和外表面清洗水, 其含有的清洁剂或添加剂不属于危害海洋环境物质的方可排放; 其他操作废弃物应收集并排入接收设施。		

表 1.3-9 污水回用标准

项目及执行标准	污染指标	单位	建筑施工回用限值
《城市污水再生利用 城市杂用水水质》 (GB/T 18920-2002)	pH	无量纲	6~9
	浊度	NTU	20
	五日生化需氧量	mg/L	15
	氨氮		20
	溶解氧		1.0

1.3.2.2 废气

原环评登陆点区域执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)中的新污染源无组织排放监控浓度限值；经核实，广东省地方标准《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)已于2002年实施，因此，本报告采用广东省地方标准《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)判定登陆点区域大气标准。

工程方案调整后登陆点北移约60m，根据广东省地方标准《大气污染物排放限值》，登陆点区域大气执行第二时段二级标准，具体见表1.3-10。

表 1.3-10 广东省地方标准《大气污染物排放限值》摘录(mg/m³)

标准	SO ₂	NO _x	颗粒物
第二时段二级标准	500	120	120

1.3.2.3 噪声

施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)。见表1.3-11。

表 1.3-11 建筑施工场界噪声限值 (Leq) (单位: dB(A))

噪声排放限值	昼间	70
	夜间	55

1.3.2.4 固废

船舶垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)，见表1.3-8。

1.4 评价工作等级和评价范围

由于工程方案调整前后，工程性质、规模、总体位置和环境敏感性基本未发生变化，环境影响评价工作等级、范围与原环评一致，具体为：

1.4.1 评价工作等级

1.4.1.1 海洋环境评价

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》(GB/T19485-2014)和《海上风电工程环境影响评价技术规范》，综合确定本项目工作等级为：海洋水文动力1级、水质1级、沉积物1级、海洋生态1级、海底地形地貌与冲淤环境1级。具体判定情况见表1.4-1和表1.4-2。

表 1.4-1 海洋水文动力、水质、沉积物和生态环境影响评价等级判据

技术导则	海洋工程分类	工程类型和工程内容	工程规模	工程所在海域特征和生态环境类型	单项海洋环境影响评价等级			
					水文动力环境	水质环境	沉积物环境	生态和生物资源环境
海洋工程环境影响评价技术导则	海上潮汐电站、波浪电站、温差电站等海洋能源开发利用工程	风电发电、太阳能发电及其输送设施及网络等工程	大型 ≥100MW	生态环境敏感区	1	1	2	1
	海底管道、海底电(光)缆工程	海上和海底电(光)缆工程	长度 >100km		1	1	1	1
海上风电工程环境影响评价技术规范	海上风电项目	海上风电机组工程	大型 ≥300MW	海洋生态环境敏感区	1	1	1	1
		海底电缆工程	长度 ≥100km		1	1	1	1
综合判定评价等级					1	1	1	1

表 1.4-2 海洋地形与冲淤环境影响评价等级判据

技术导则	等级	工程类型和工程内容
海洋工程环境影响评价技术导则	1	面积 $50 \times 10^4 \text{m}^2$ 以上的围海、填海、海湾改造工程，围海筑坝、防波堤、导流堤（长度大于等于 2km）等工程；其他类型海洋工程中不可逆或严重改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生较严重冲刷、淤积的工程项目
海上风电工程环境影响评价技术规范	1	海上风电项目所有工程类型总占海面积超过 $50 \times 10^4 \text{m}^2$ 以上的或严重改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生较严重冲刷、淤积的工程项目
综合判定评价等级	1	/

1.4.1.2 环境风险

工程方案调整后,溢油风险类型仍为施工期和运营期存在船舶碰撞造成燃料舱漏油事故,最大漏油量不变,漏油点位置及与环境敏感目标位置关系基本不变,本报告按照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)重新界定环境风险评价等级。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)附录 C,危险物质总量与临界量的比值 Q 按下式进行计算:

$$Q = \frac{q1}{Q1} + \frac{q2}{Q2} + \dots + \frac{qn}{Qn}$$

式中: q1, q2……qn—每种危险物质的最大存在量, t;

Q1, Q2……Qn—每种危险物质的临界量, t。

当 Q<1 时,该项目环境风险潜势为 I。

当 Q≥1 时,将 Q 值划分为:(1) 1≤Q<10;(2) 10≤Q<100;(3) Q≥100。

本项目主要施工船舶中最大为 10000 吨的运输驳船,所带的燃料油舱为 744m³,燃料油密度按 0.95t/m³ 计算,约合 706.8t,其他施工船舶为 1000t 以下至 10000t 不等,运输作业、安装作业及海缆铺设均分阶段进行,因此施工船舶所载燃料油量小于临界量;项目运营期海上升压站主变(单台)载油量约 37t,柴油发电机柴油罐容量约 6000L,约 5t,运营期设备最大存油量小于临界量。

由以上可知,本项目 Q<1,项目环境风险潜势为 I。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169—2018)评价工作等级划分要求,参照表 1.4-3,本项目环境风险潜势为 I,环境风险评价工作等级为简单分析。

表 1.4-3 评价工作等级划分

环境风险潜势	IV、IV+	III	II	I
评价工作等级	一	二	三	简单分析 ^a

^a 是相对于详细评价工作内容而言,在描述危险物质、环境影响途径、环境危害后果、风险防范措施等方面给出定性的说明。见附录 A

1.4.1.3 电磁环境

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》(2014),本工程建设 220kV 海上升压站一座,海上升压站为户内式,电磁环境评价等级为 3 级;220kV 海底

电缆电磁环境评价等级也为 3 级。

1.4.1.4 其它

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

本项目主体工程位于海上，项目建设前后无受到影响的声环境敏感目标，因此确定声环境评价等级为三级。

1.4.2 评价范围

本次评价工作主要围绕海上升压站及海底电缆路由调整工程内容，鉴于调整内容均发生在风电场厂址范围内部，补充评价范围与已批准的原环评报告书一致，评价范围面积约 2980km²。



图 1.4-1 本项目海域评价范围示意图

表 1.4-1 评价范围控制点坐标一览表

控制点	东经	北纬
-----	----	----

控制点	东经	北纬
A	112°0'06.62"	21°45'34.30"
B	115°59'51.62"	21°16'44.60"
C	112°28'18.83"	21°16'47.10"
D	112°28'23.83"	21°48'56.77"

1.5 环境保护目标和环境敏感目标

本工程方案调整主要为海上升压站位置及海底电缆路由布设，其中海上升压站和风机调整内容均在风电场场址范围内部；登陆点北移 60m。与已核准工程方案相对比，工程与环境保护目标和环境敏感目标位置关系变化较小。本次评价阶段对工程海域保护和敏感目标进行了补充和核实，增加项目周边的海洋生态红线和海洋功能区作为敏感目标。

1.5.1 环境保护目标

海上风电场位于湛江-珠海近海农渔业区、平岗-东平农渔业区部分海域，根据功能区划，海洋环境保护对象包括海水水质、沉积物、海洋生态（包括渔业资源），具体保护目标如下：

（1）控制工程实施对工程及周边海域海洋生态环境（包括鸟类等海洋动物）的影响，确保海域生态环境质量不因本工程建设而变劣，确保工程区域周围鸟类种类等海洋动物生境条件等不因本工程建设而发生明显变化；

（2）控制工程实施对工程及周边海域渔业资源的影响，保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道。

（3）控制海缆铺设对区域航道通航安全的影响；

（4）控制海缆登陆工程对近岸养殖区及砂质海岸线、基岩海岸线和近岸海域生态环境的影响。

（5）确保项目实施后工程海域水质保持现有类别，不因工程建设而变劣。

（6）确保项目实施后工程海域沉积物质量保持现有类别，不因工程建设而变劣。

1.5.2 环境敏感目标

本工程所涉及的各环境敏感目标见表 1.5-1 和图 1.5-1。

表 1.5-1 工程建设涉及的海洋环境敏感目标

序号	敏感目标		位置关系	概况	敏感要素
	类型	名称			
1	自然保护区	南鹏列岛海洋省级自然保护区	主路由西侧约 2.3km	省级自然保护区，主要保护海岛周边海域国家级、省级重点保护水生野生动物，渔业资源及海洋生物多样性。东至：112°12'11"，西至 112°04'00"，南至 21°31'29"，北至 21°39'11"	海洋水质、沉积物、生态环境；重要经济水产资源种苗
2		阳东县头芦排海洋生态县级自然保护区	主路由东侧约 2.3km	县级自然保护区，主要保护海洋生物多样性、渔业资源。东至：112°16'59"，西至：112°14'54"，南至：21°32'30"，北至：21°34'35"	海洋水质、沉积物、生态环境；重要经济水产资源种苗
3	海洋功能区	大帆石海洋保护区	风机东侧约 1.8km	海洋功能区划划定海洋保护区，保护大帆石领海基点。东至：112°24'03"，西至：112°18'09"，南至：21°23'27"，北至：21°31'25"	海洋水质、沉积物、生态环境；大帆石领海基点
4		南鹏列岛海洋保护区	主路由西侧约 2.3km	东至：112°12'11"，西至：112°04'00"，南至：21°31'29"，北至：21°39'11"	海洋水质、沉积物、生态环境；重要经济水产资源种苗
5		头芦排海洋保护区	主路由东侧约 2.2km	东至：112°16'59"，西至：112°14'54"，南至：21°32'30"，北至：21°34'35"	海洋水质、沉积物、生态环境；重要经济水产资源种苗
6		海陵岛东北海洋保护区	主路由西侧约 15km	东至：112°02'14"，西至：112°00'00"，南至：21°40'59"，北至：21°42'29"	海洋水质、沉积物、生态环境
7	生态红线	海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（100）	主路由紧贴	112°4'27.57"-112°11'34.17" E； 21°44'36.87"-21°48'2598"N	砂质岸线和自然景观
8		南鹏列岛省级海洋自然保护区禁止类红线区（101）	主路由西侧约 4.7km	112°5'24"-112°12'12"E； 21°31'30"-21°39'12.03"N	海洋物种种质资源、珍稀濒危生物生态系统
9		南鹏列岛省级海洋自然保护区限制类红线区（102）	主路由西侧约 2.3km	112°5'24"-112°12'12"E； 21°31'30"-21°39'12.03"N	海洋物种种质资源、珍稀濒危生物生态系统

序号	敏感目标		位置关系	概况	敏感要素
	类型	名称			
10		寿长河重要河口生态系统限制类红线区 (103)	海缆登陆端北侧约 0.3km	112°10'16.92"-112°12'52.69"E; 21°47'2.07"-21°49'52.98"N	红树林、河口生态系统
12		珍珠湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区 (104)	主路由东侧约 0.7km	112°11'36.2"-112°12'45.33"E; 21°43'18.93"-21°44'45.45"N	沙滩、海洋自然景观
13		东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区 (105)	电缆路由穿越	112°7'51"-112°18'11.18"E; 21°30'28.51"-21°41'30.3"N	中华白海豚、海龟等珍稀濒危物种
14		东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 II 区限制类红线区 (106)	风电场南侧约 5.4km	112°7'54.12"-112°18'3.62"E; 21°13'56.26"-21°21'9.95"N	中华白海豚、海龟等珍稀濒危物种
15		头芦排海洋自然保护区禁止类红线区 (107)	主路由东侧约 2.6km	112°15'4"-112°16'51"E; 21°32'39"-21°34'26"N	海洋生态系统和海洋生物多样性
16		头芦排海洋自然保护区限制类红线区 (108)	主路由东侧约 2.3km	112°14'55"-112°16'59.98"E; 21°32'30"-21°34'35"N	海洋生态系统和海洋生物多样性
17		大帆石特别保护海岛限制类红线区 (109)	风电场东侧约 2km	112°18'11"-112°24'3"E; 21°23'27"-21°31'25.01"N	海岛生态系统、渔业资源
18		大帆石特别保护海岛禁止类红线区 (110)	风电场南侧约 5.5km	112°21'8.29"-112°21'46.35"E; 21°27'28.4"-21°28'4.3"N	海岛生态系统、渔业资源
19		三丫港基岩岸线	电缆路由穿越	位于北津港, 起点坐标: 112°11'57.210"E, 21°45'55.804"N; 终点坐标: 112°11'47.508"E, 21°47'02.065"N	自然岸线及潮滩
20		金线鱼产卵场	风电场南侧外海	海南岛到汕尾 40~80 米, 产卵期 3~8 月	生态环境
21	三场一通道	南海北部幼鱼繁育场保护区	风电场及电缆路由穿越	南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线水域, 禁止在保护区内进行底拖网作业	
22		南海区幼鱼、幼虾保护	电缆路由穿越	广东省沿岸 20m 水深以内的海域, 保护期为 3 月 1 日	

序号	敏感目标		位置关系	概况	敏感要素
	类型	名称			
		区		至 5 月 31 日	
23	旅游区	阳江市阳东县珍珠湾海滨浴场项目	主路由东侧约 2.0km	阳江市超麒旅游开发有限公司，海滨浴场	海洋水质、沉积物、生态环境；景观生态
24	海域生物资源（渔业资源）	开放式养殖用海-雷自兵（筏式吊蚝养殖）	与本项目路由重叠	开放式养殖用海	海洋水质、沉积物、生态环境
25		阳江市海纳水产养殖有限公司大镬岛大型抗风浪深水网箱开放式养殖用海项目	主路由西侧约 10.2km	阳江市海纳水产养殖有限公司	
26		阳江市大镬岛二期、二镬岛深水网箱建设项目	主路由西侧约 10km	阳江市海纳水产养殖有限公司	
27	港航设施	北津航道	主路由相交	2000 吨级	水文动力环境、地形冲淤条件、施工期通航安全
28		东平航道	主路由相交	2000 吨级	
29		潯州岛北航道	主路由相交	3000 吨级	
30		潯州岛南航道	主路由相交	3000 吨级	
31		围阳航道	主路由相交	3000 吨级	
32		寿长航道	主路由相交	2000 吨级	
33		阳江港 2 号中型船舶候潮锚地	主路由西侧约 1.3km	-	
34		阳江港大型船舶候装卸锚地	风电场西侧约 6.6km	-	
35	其他	阳江核电厂工程	主路由东侧约 4.0km	电厂填海造地、码头、取排口和温排水用海	水文动力环境、地形冲淤条件、施工期通航安全
36		东平渔港仓储物流加工服务基地	主路由东侧约 4.4km	填海造地	
37		新型浮式防波设施关键技术研究示范	主路由东侧约 0.37km	浮式透水构筑物	

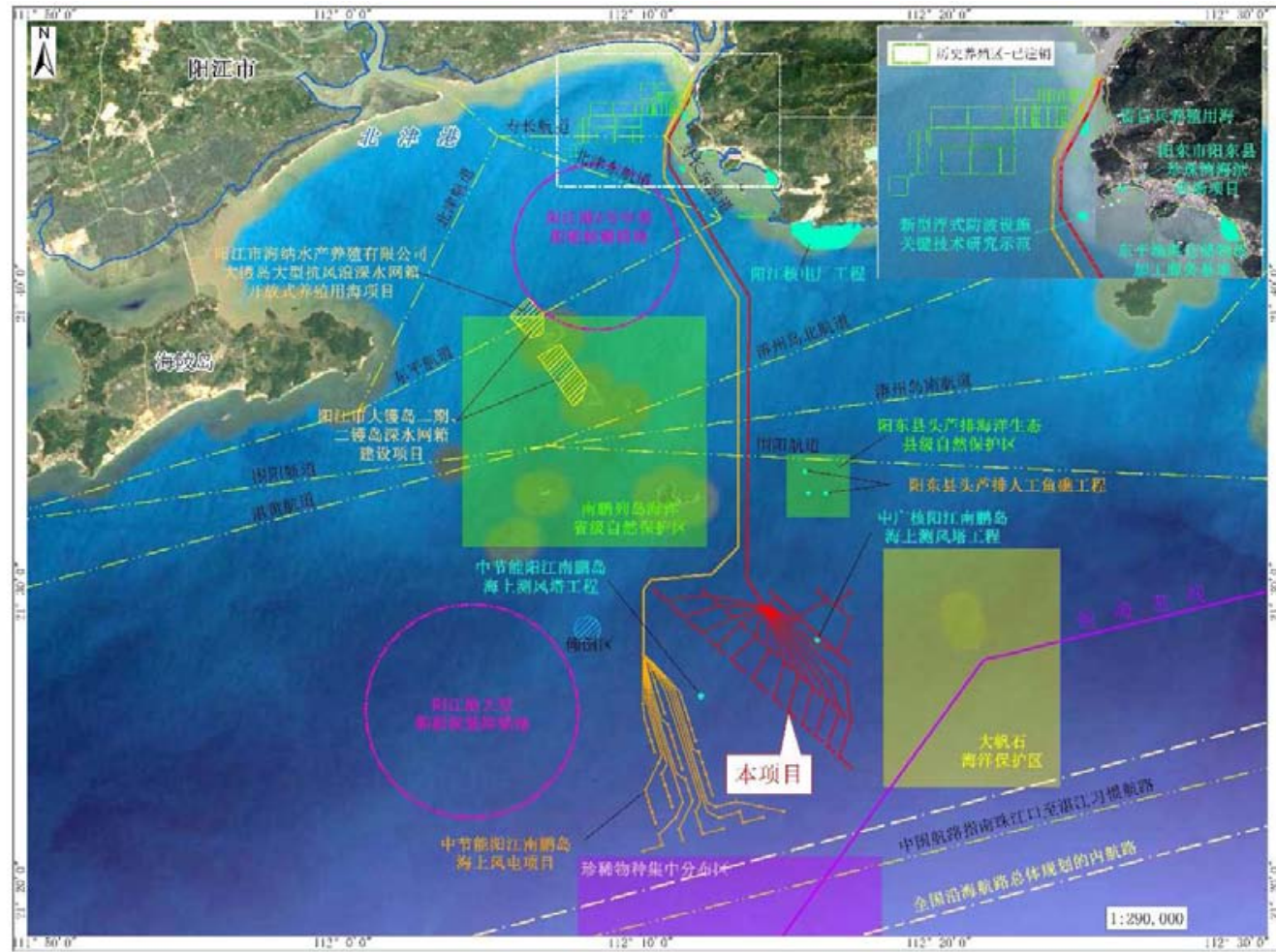
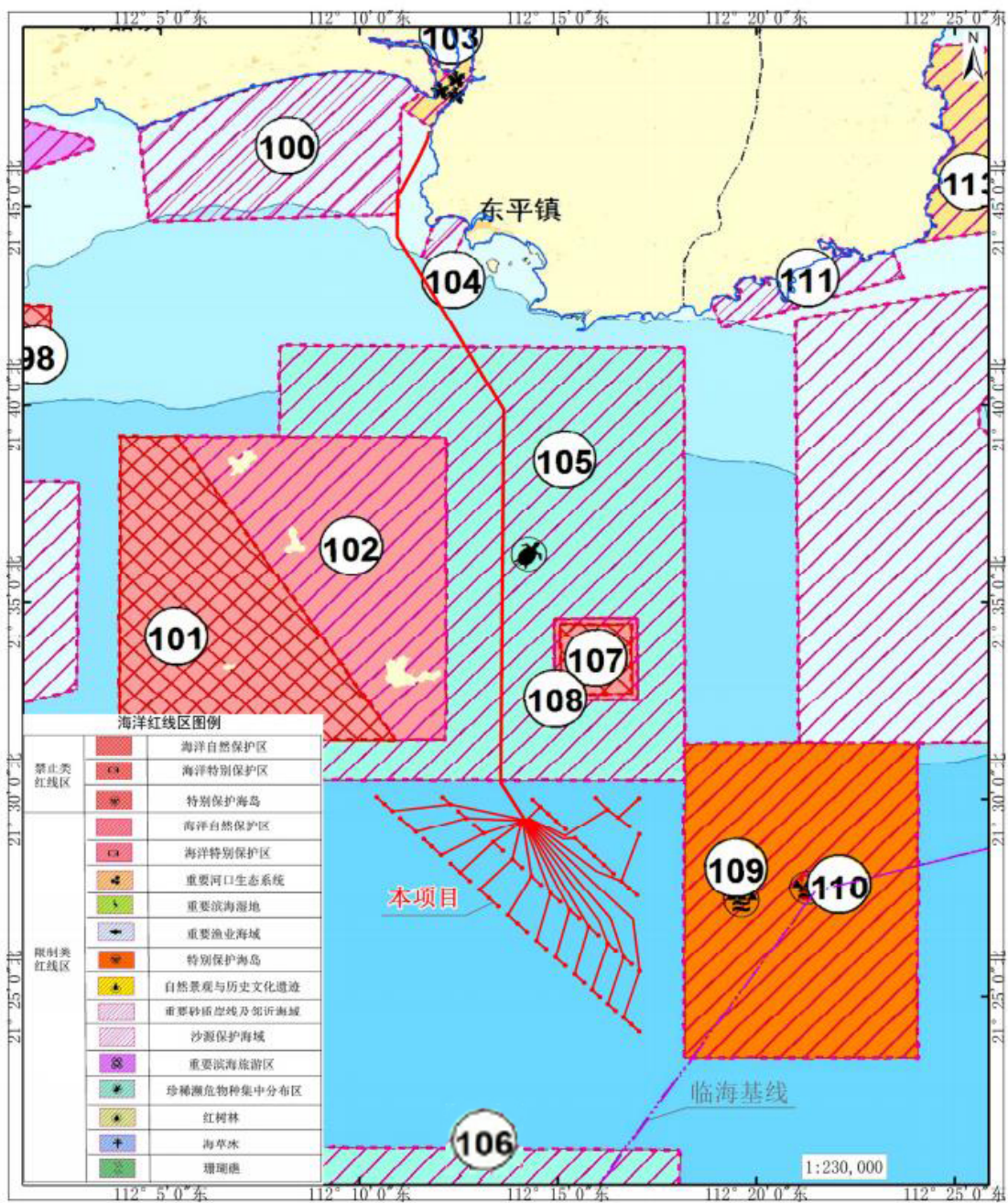


图 1.5-1a 环境敏感目标分布图



图 1.5-1b 项目周边海洋功能区



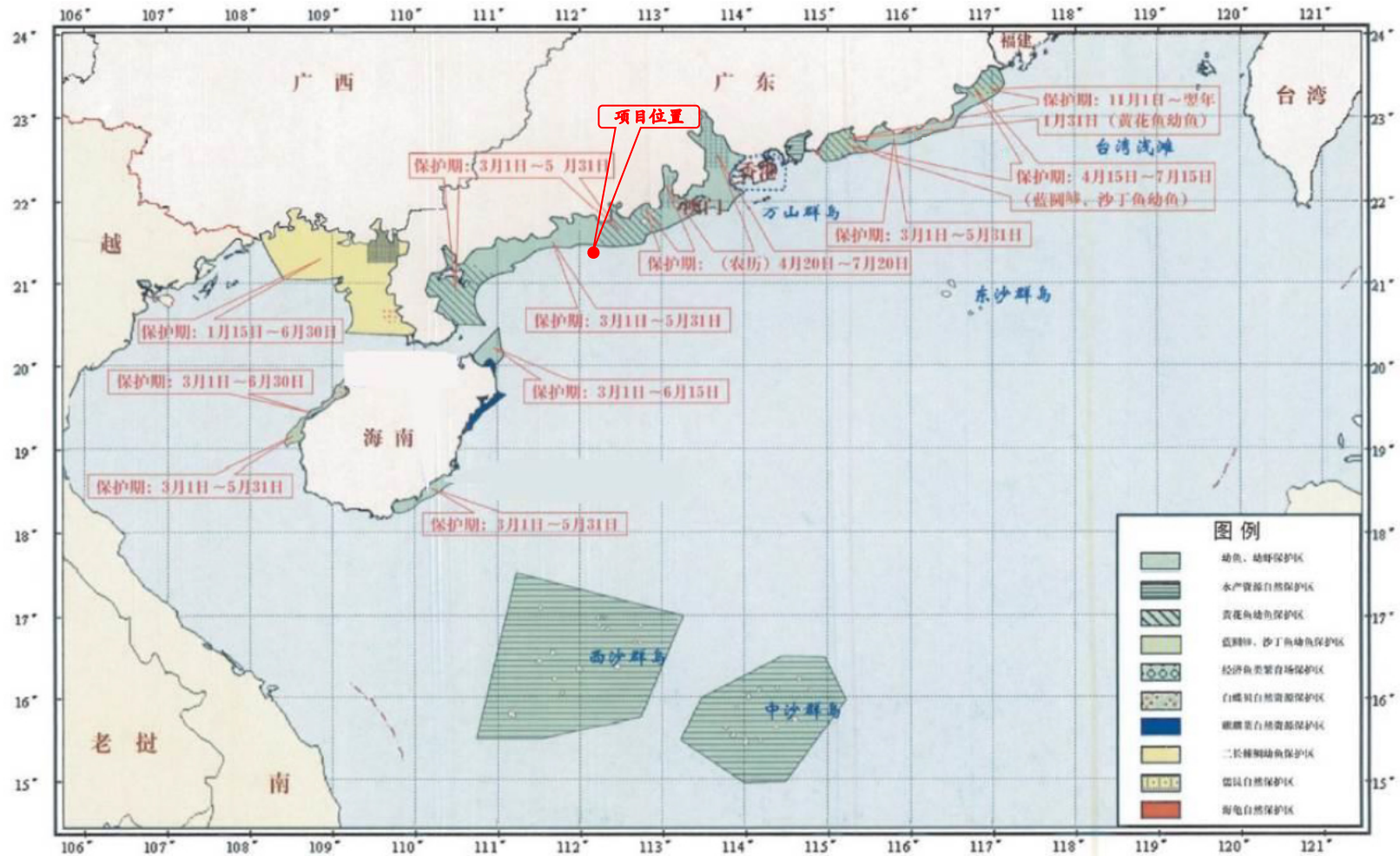


图 1.5-1d 工程与南海国家级及省级保护区位置关系示意图

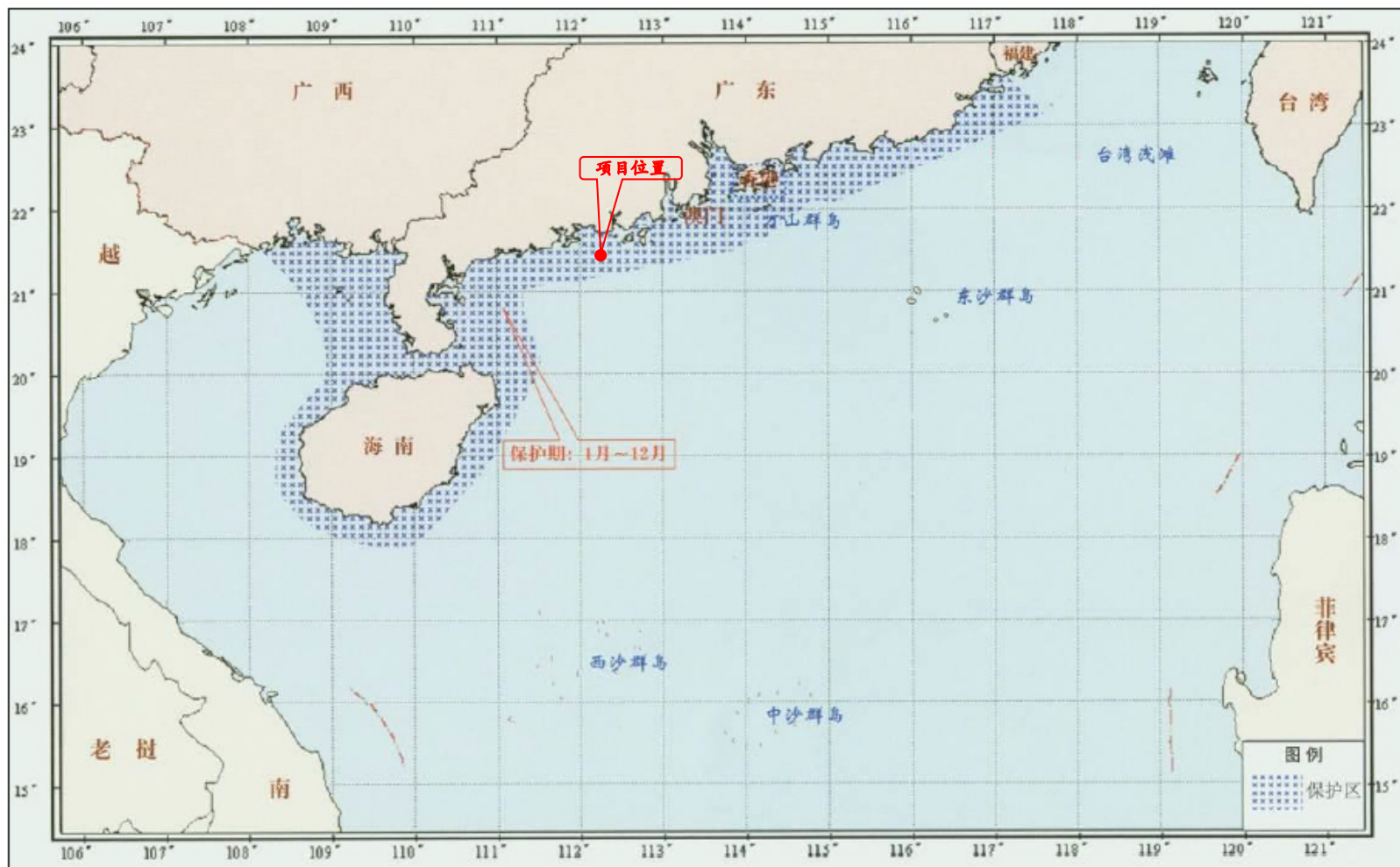


图 1.5-1e 项目与南海北部幼鱼繁育场保护区位置关系示意图

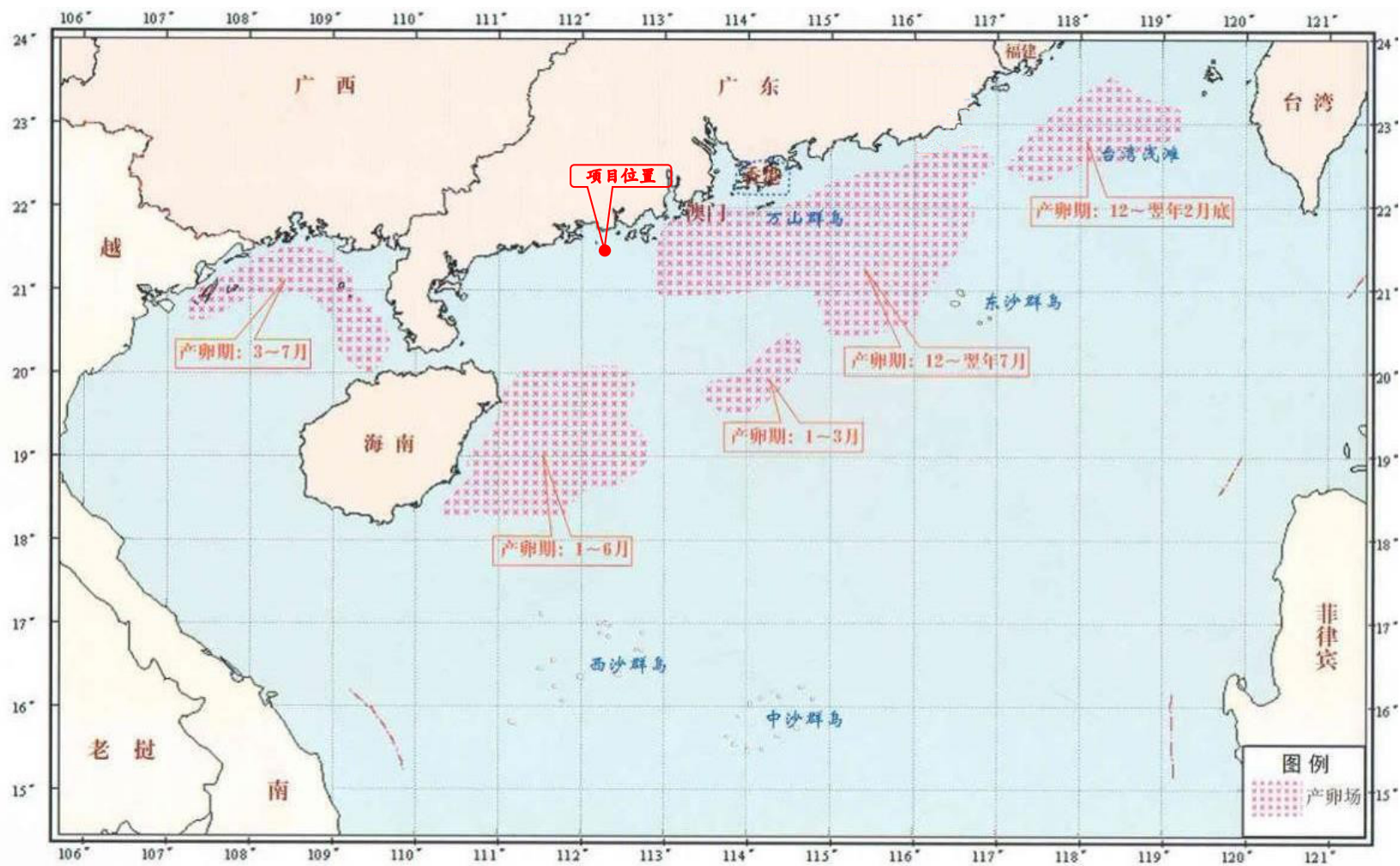


图 1.5-1f 工程与南海中上层鱼类产卵场位置关系示意图

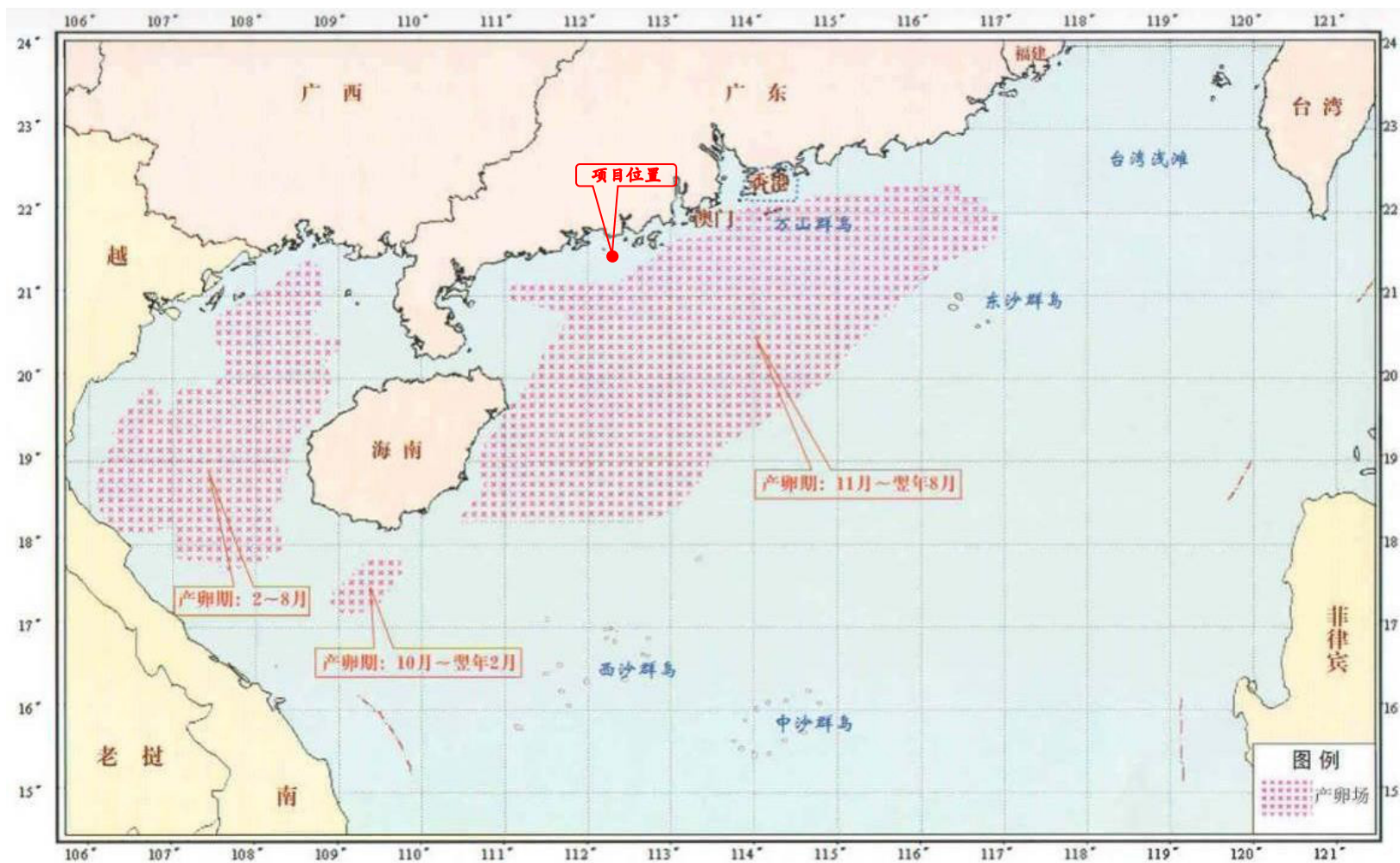


图 1.5-1g 工程与南海底层、近地层鱼类产卵场位置关系示意图



图 1.5-1h 阳江市大陆海岸线自然岸线保有示意图

1.6 评价工作重点

本环评的评价重点为工程方案调整对海洋环境和敏感目标的影响变化及工程环境可行性，具体为：

- (1) 工程方案变更前后污染源强位置及非污染影响变化分析；
- (2) 施工期及营运期海域水文动力、海水水质及生态环境影响变化分析；
- (3) 项目建设对自然保护区、生态红线和珍稀濒危物种（白海豚、海龟等）的影响预测与分析；
- (4) 环境保护对策措施变化及有效性分析；
- (5) 工程方案调整方案必要性与环境合理性分析。

1.7 评价工作程序

本评价工程程序见图 1.7-1。

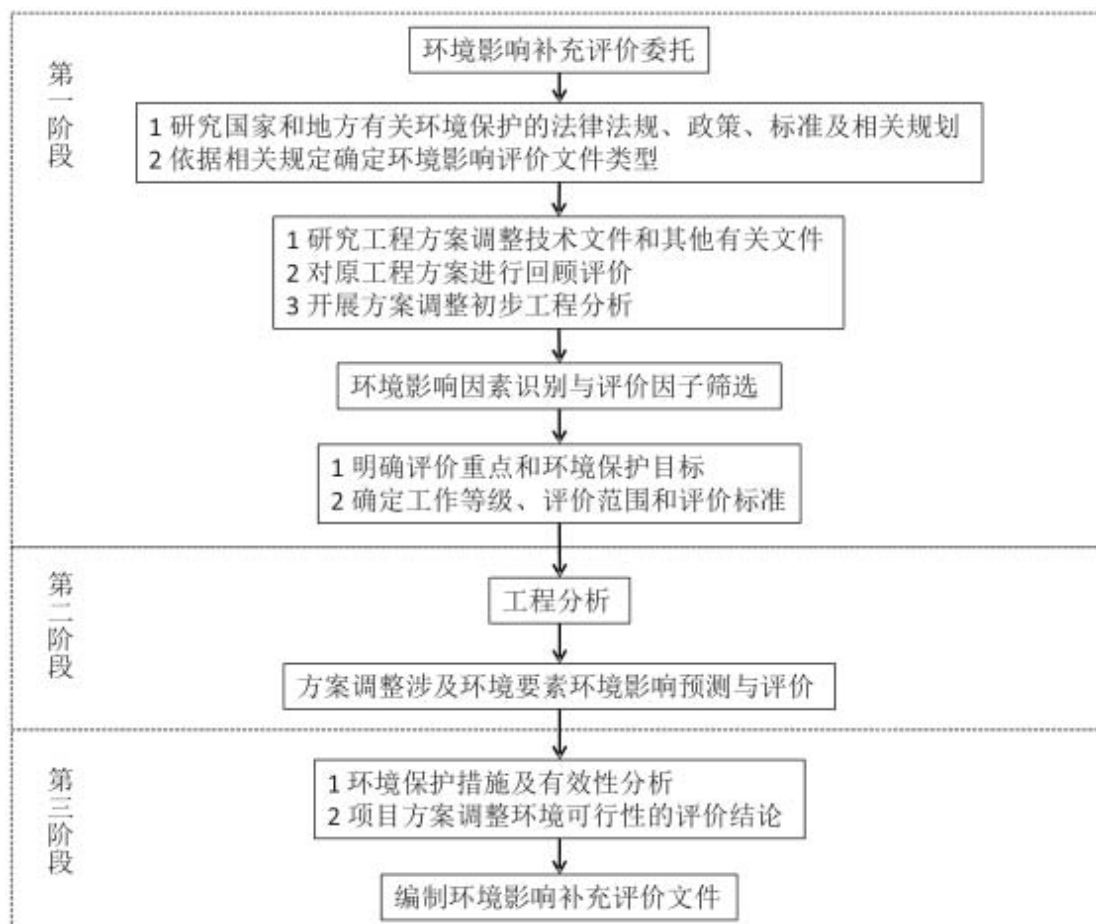


图 1.7-1 环境影响补充评价工作程序

2 原工程方案概述

2.1 工程总体概况

中广核阳江南鹏岛海上风电场工程场址位于阳江市阳东县东平镇南侧、海陵岛东南侧海域，风机包络海域面积约为 61.2km²。项目设计装机总容量为 400MW，计划布置 73 台 5.5MW 风电机组(其中 1 台限发 4MW)，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 16 回 35kV 集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆输送到陆上集控中心。风机年上网电量为 1049.53GWh。具体地理位置见图 2.1-1。

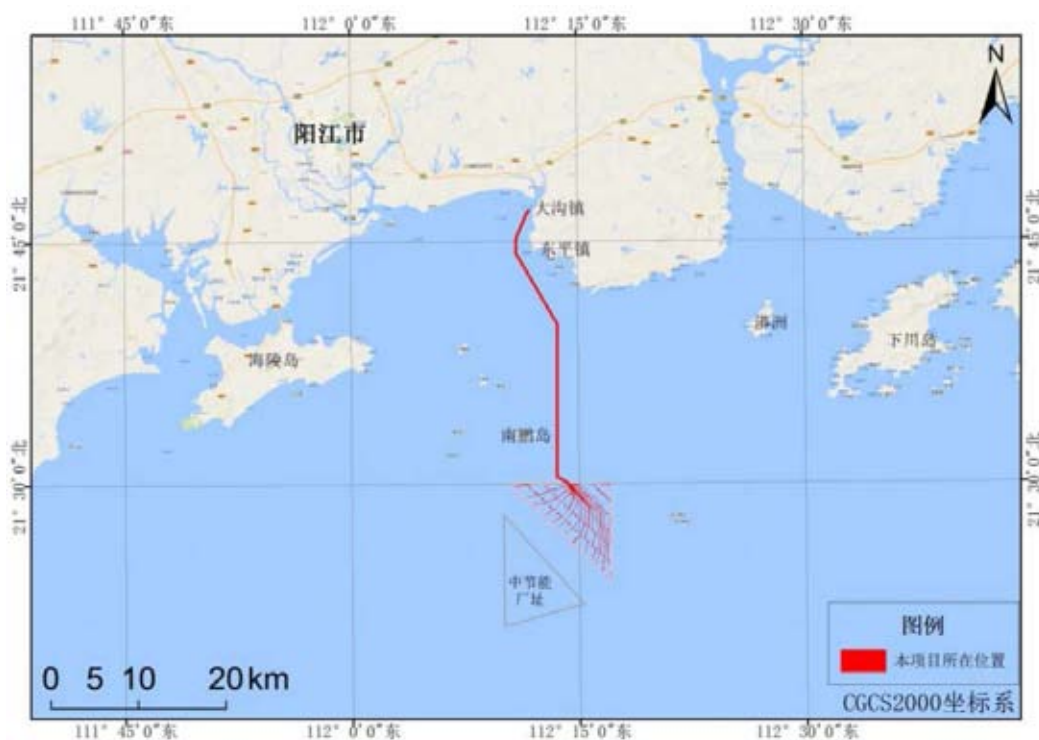


图 2.1-1 地理位置图

2.2 工艺说明

本工程主要由海上风力发电机组、35kV 风电场电气接线、220kV 海上升压站、220kV 送出海缆等组成。

风力发电机组的风机叶片在风力带动下将风能转变为机械能，在齿轮箱和发电机作用下机械能转变为电能，风电机组出口电压为 690V。经升压至 35kV 后接集电线路，通过海上升压站输送到陆上集控中心，就近送入阳江 220kV 电力系

统。

2.2.1 工程等级与标准

本工程属于大（1）型工程，机组塔架地基基础设计级别为 1 级，塔架基础结构安全级别为一级，升压站结构安全等级为一级，建筑物抗震防烈度为 VII 度区，III 类场地基础地震加速度值为 0.125g，IV 类场地基础地震加速度值为 0.12g，工程风机基础抗震设防类别为丙类。

2.2.2 工程总平面布置

风电场共布置 73 台 5.5MW 风机（其中一台限发 4MW），各行风机间距约为 11D，各列风机间距为 4.2D，D 为叶轮直径，约 155m。项目申请用海面积 571.1796hm²，其中风机和海上升压站用海面积为 103.8904 hm²，海底电缆用海总面积约为 467.2892 hm²，海底电缆登陆占用自然岸线 21.8m。工程总平面布置图见图 2.2-1~图 2.2-4。

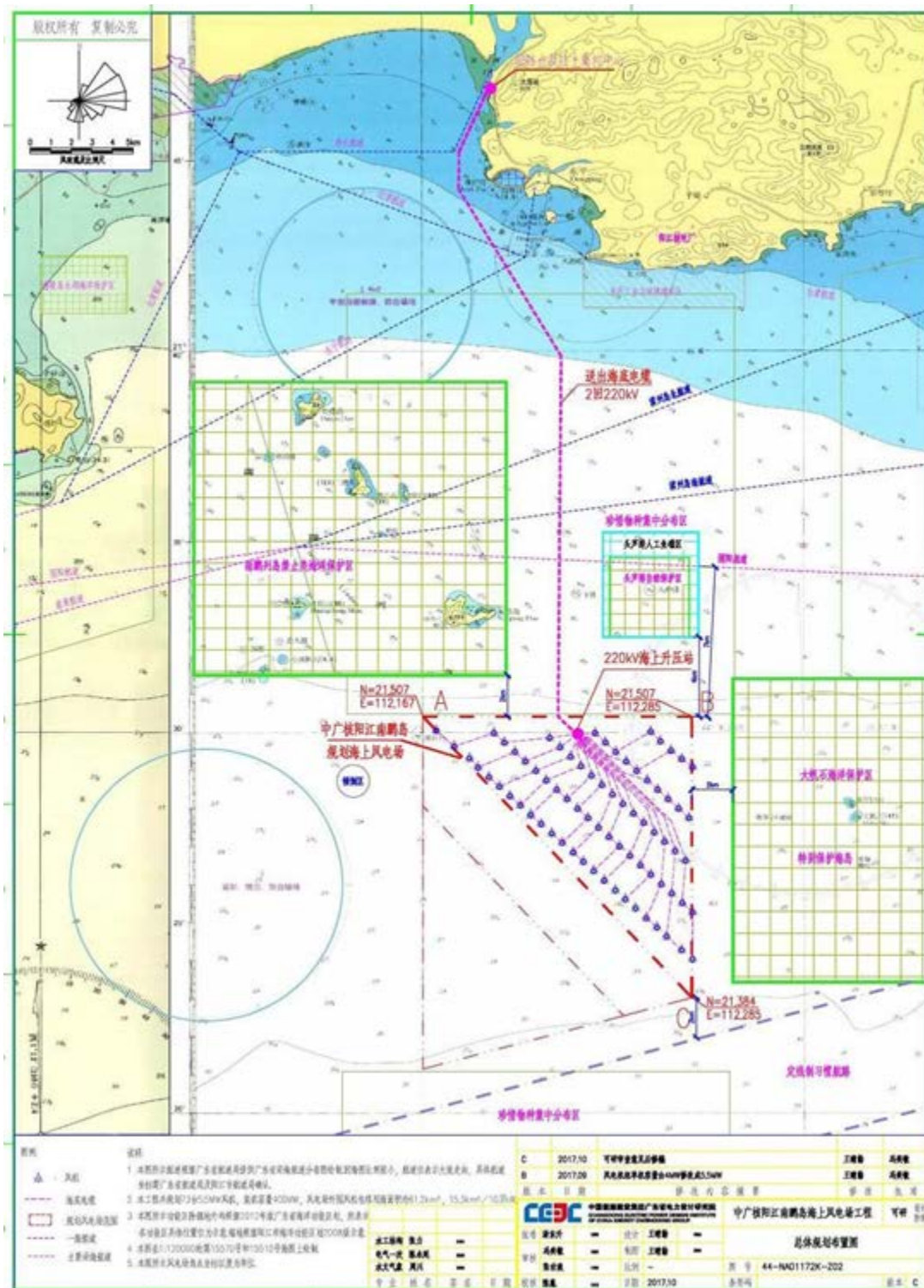


图 2.2-1a 原环评风电场总布置示意图

中广核阳江南鹏岛海上风电项目宗海界址图

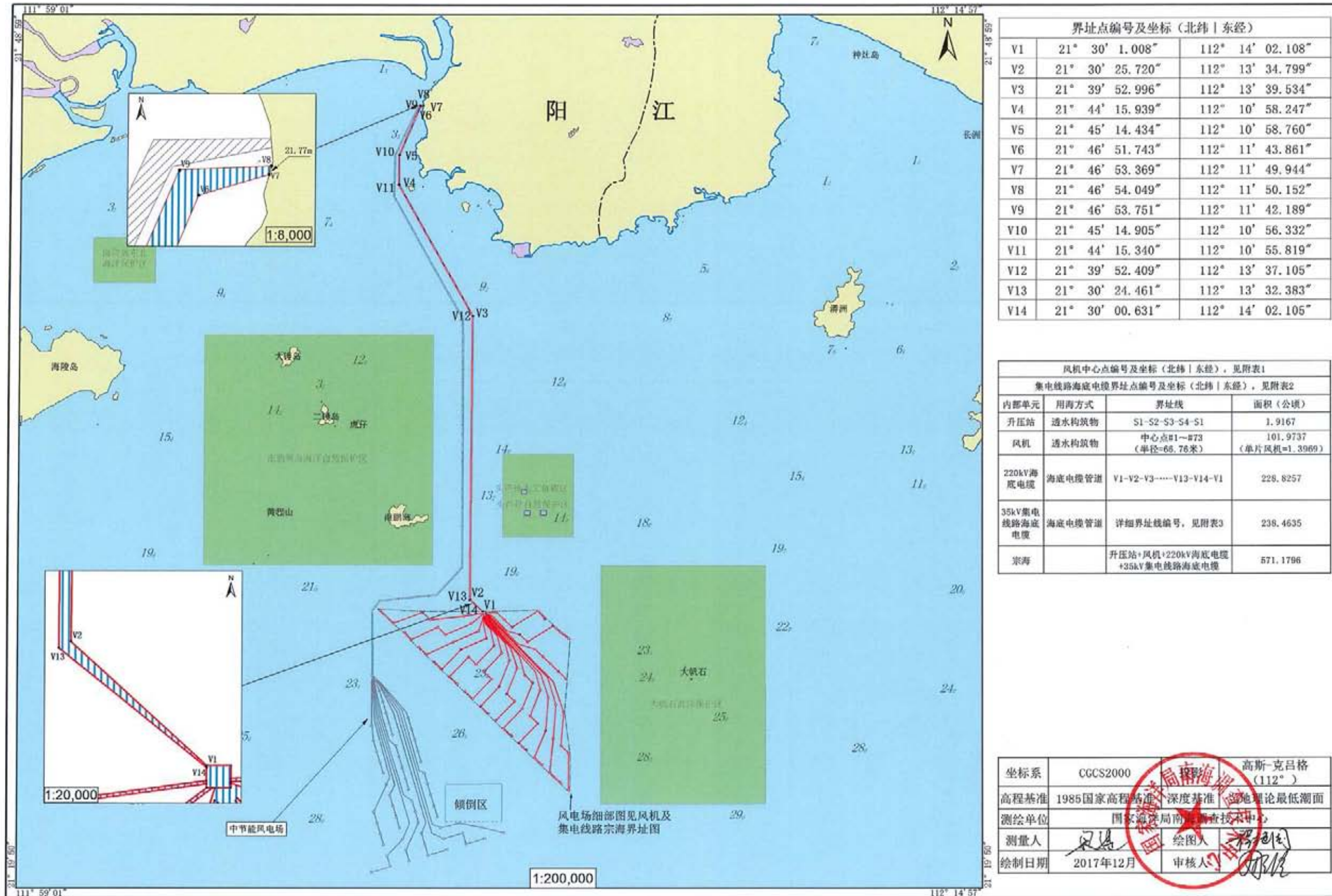


图 2.2-1b 原环评风电场平面布置图

2.2.3 风电机组设计及发电量

原环评推荐采用四桩导管架基础方案，基础结构型式为：用 4 根桩径 2.4m 的钢管桩定位于海底，4 根桩呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础，见图 2.2-3。导管架承受波浪、海流荷载风机荷载及风机塔架传递的风荷载，并将荷载传递给 4 根垂直打入海底的钢管桩。风机轮毂高度为 100m。风电场的年上网电量为 1049.53GWh。

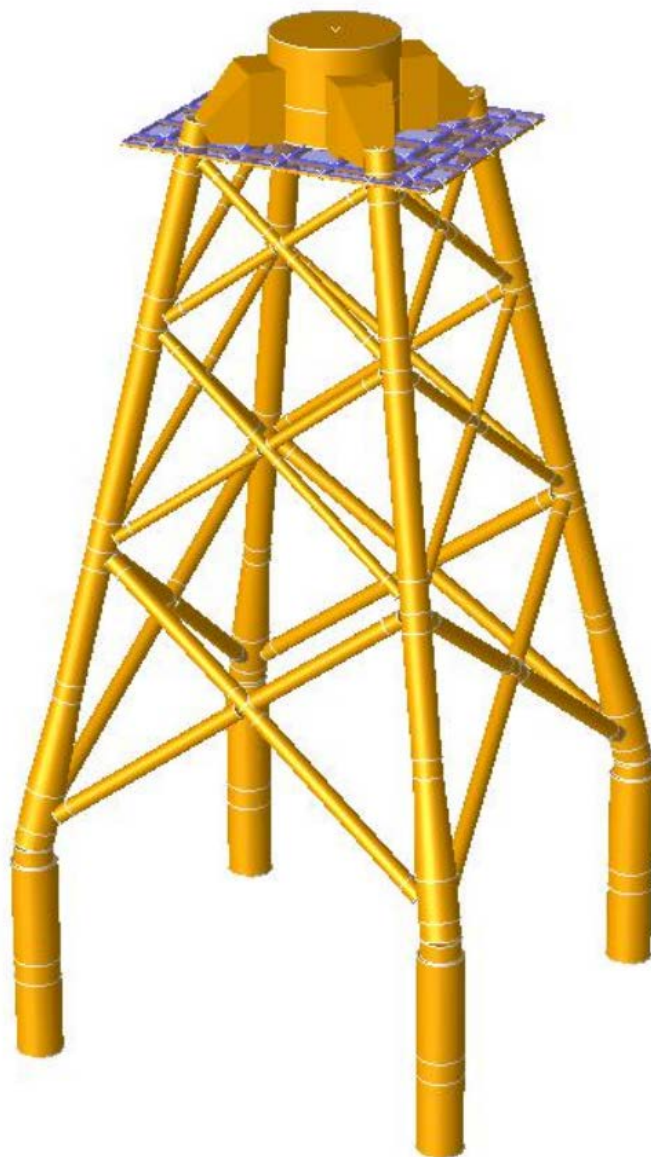


图 2.2-3 导管架基础模型

2.2.4 电气

73 台风力发电机组通过 16 回 35kV 集电海底电缆汇流后接至 220kV 海上升压站，海上升压站位于风电场场区北侧中部，通过 2 回 220kV 海底电缆连接至

陆上集控中心,集控中心采用 1 回 220kV 线路就近接入阳江电网系统。敷设 35kV 场内集电海缆 128km, 敷设 2 回 220kV 送出海缆约 66.30km。

2.2.5 海上升压站

海上升压站上部平台为三层,平面尺寸约为 34.9m×33.0m (不包含局部外挑吊装平台),顶层标高约 30.5m (不包括吊机),最高点距海平面约 33.0m 以上。上部结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成。升压站下部基础结构初步选择四桩导管架基础。拟采用在导管架四个腿上设置桩套筒,先安放导管架后打桩的方法进行基础设计及施工,在导管架腿的底部设有防沉板,用来保证安放导管架时的稳定性和水平度,桩与桩套筒之间灌注高强度灌浆料,保证桩与导管架结构的共同工作。该方案桩径约为 2.2m,入土深度约 71.0m。参考港口桩基规范,以中砂作为桩持力层。

2.2.6 工程施工回顾分析

截至 2020 年 4 月,工程已完成 1 回 220kV 海缆敷设、登陆点施工、海上升压站施工、8 台风机机组安装以及首回 35kV 集电海缆敷设;正在进行 59 台风机基础的施工。

2.2.6.1 风机基础施工

截至 2020 年 4 月已开展 59 台风机基础施工,导管架基础 35 台,非嵌岩单桩基础 24 台。

(1) 导管架基础

利用钢管桩定位导向钢架辅助钢管桩沉桩,沉桩完成后进行桩顶处理及数据测量,将数据反馈至导管架加工厂对导管架桩腿部分进行适用性调整,然后进行导管架安装并进行灌浆施工,导管架基础施工总体流程见图 2.2-4。

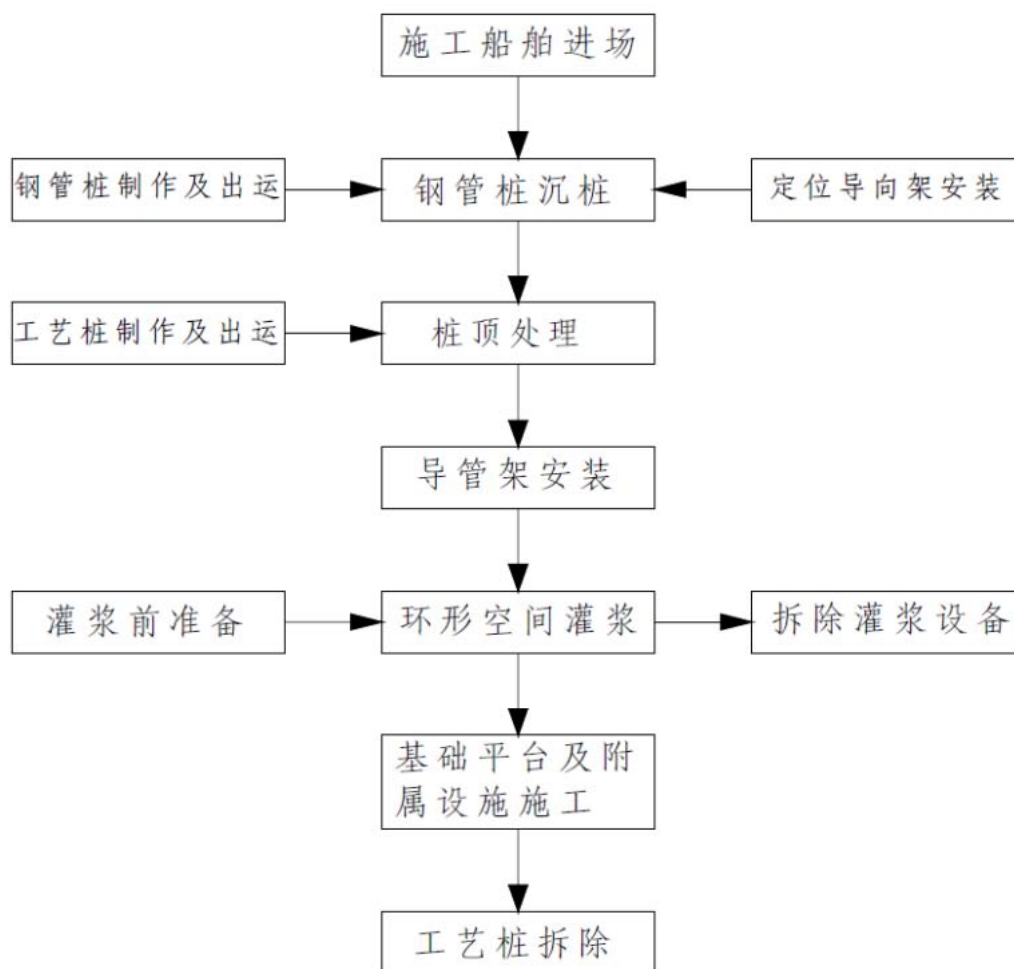


图 2.2-4 风机导管架基础施工流程图

(2) 非嵌岩单桩基础

船机及导向架就位起重船趁潮移至施工区基础附近，利用抛锚艇辅助下抛锚后绞锚进行初定位，钢管桩运输船进入风电场机位附近就位→钢管桩起吊→钢管桩立桩、入龙口→钢管桩自重下沉定位→初次调整垂直度→纠偏、稳桩、精调垂直度→吊锤→锤击沉桩→停锤控制。

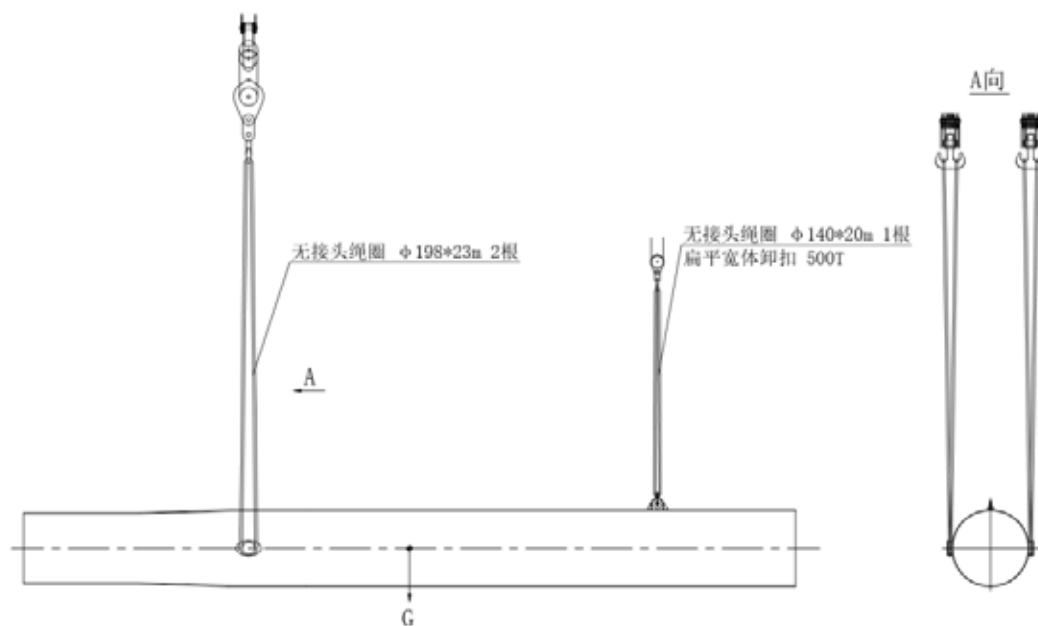


图 2.2-5 单桩起吊示意图

2.2.6.2 风电机组安装

风机机组安装采用海上风机分体安装方案，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，见图 2.2-6。

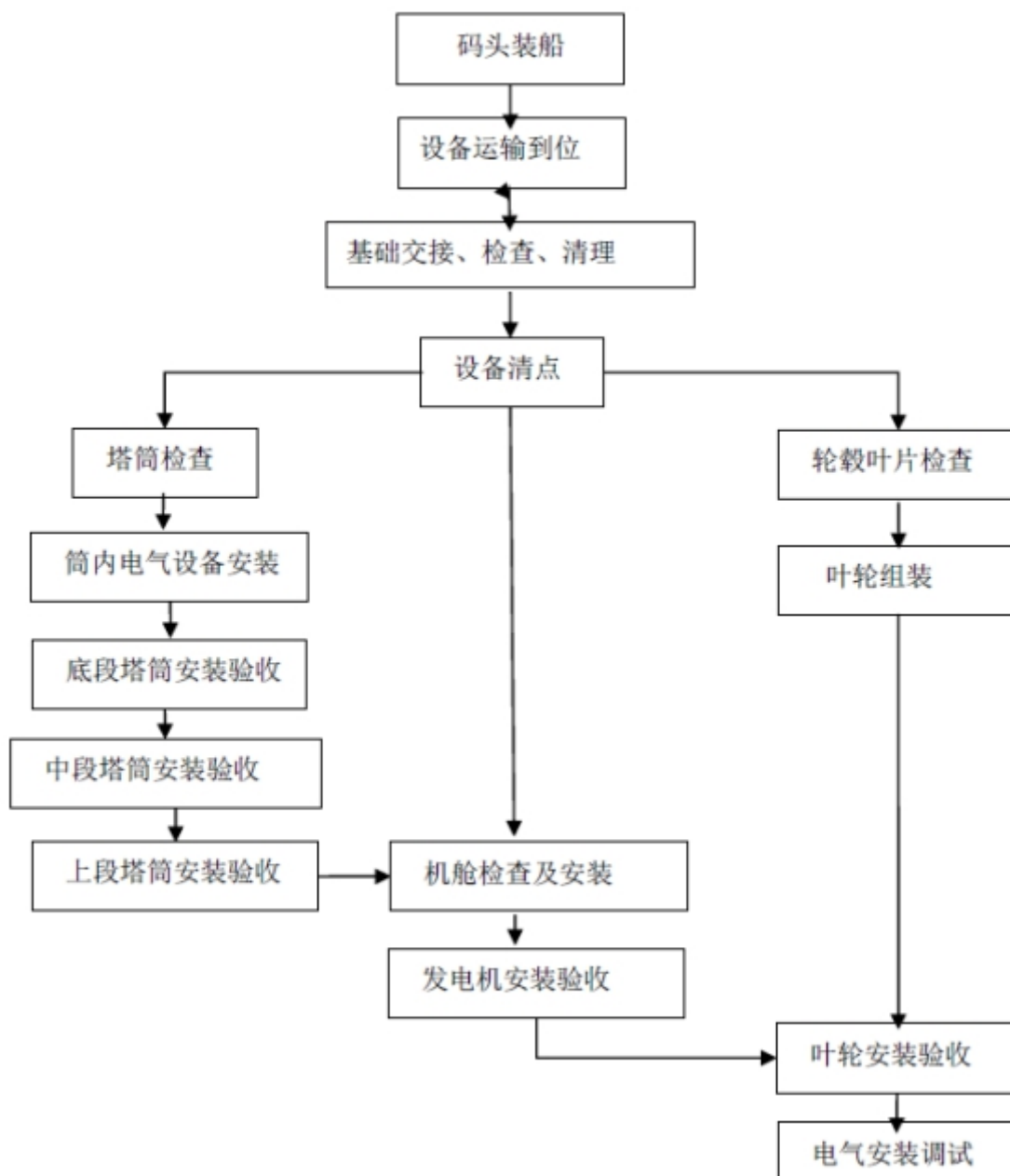


图 2.2-6 风机分体安装施工工艺流程图

2.2.6.3 海上升压站

(1) 海上升压站下部基础施工

海上升压站下部基础施工流程见图 2.2-7。

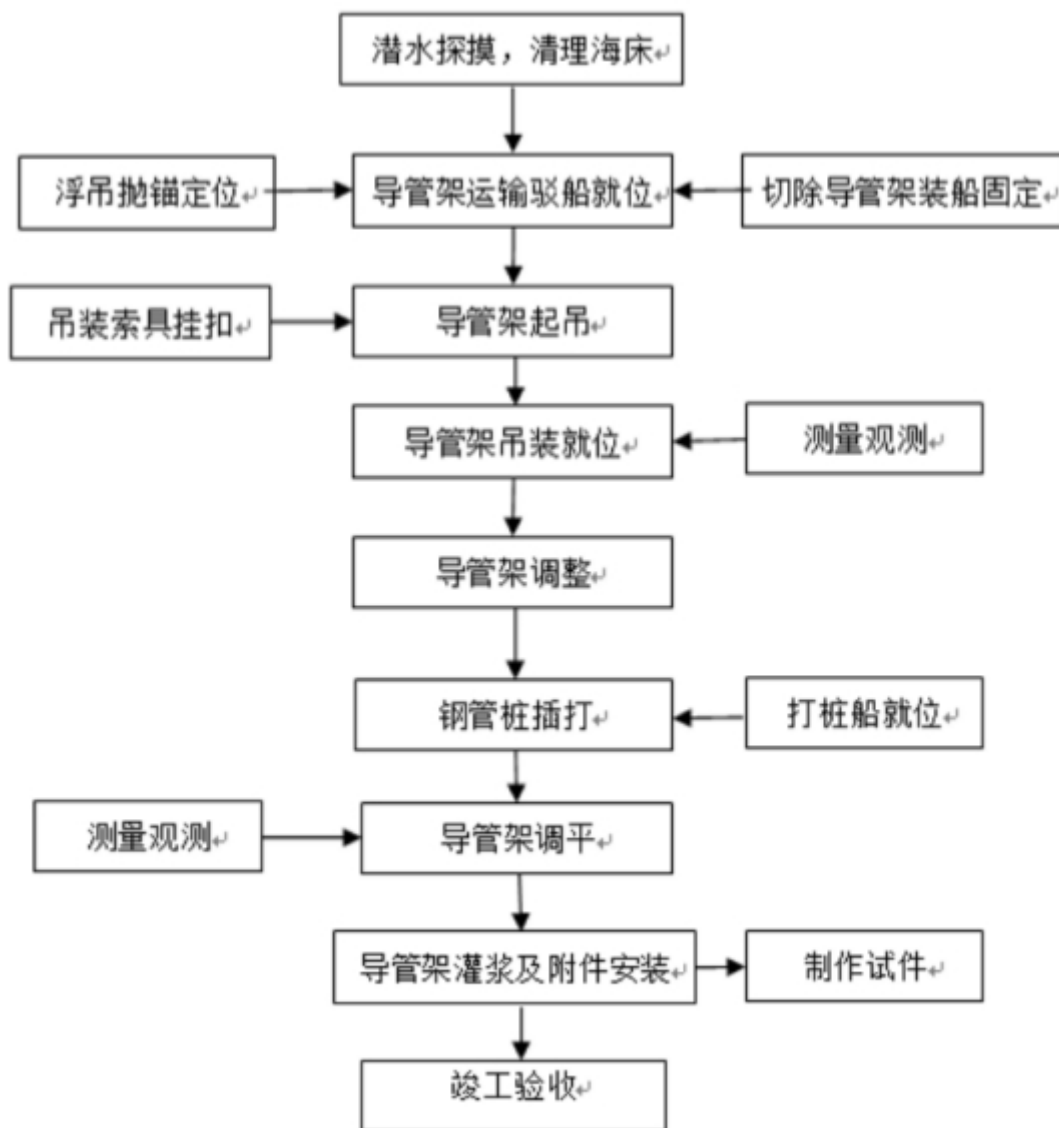


图 2.2-7 升压站桩基础导管架施工流程图

(2) 海上升压站上部结构施工

海上升压站上部组块在加工现场整体制作完毕后，现场进行一次性吊装，见图 2.2-8。

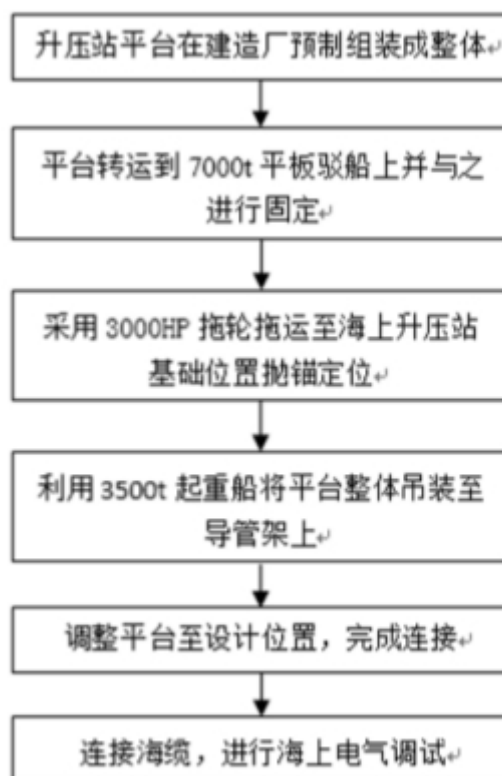


图 2.2-8 升压站平台整体安装流程图

2.2.6.4 海底电缆敷设

35kV 集电海缆和 220kV 送出海缆敷设工艺流程总体相似，施工流程见图 2.2-9。

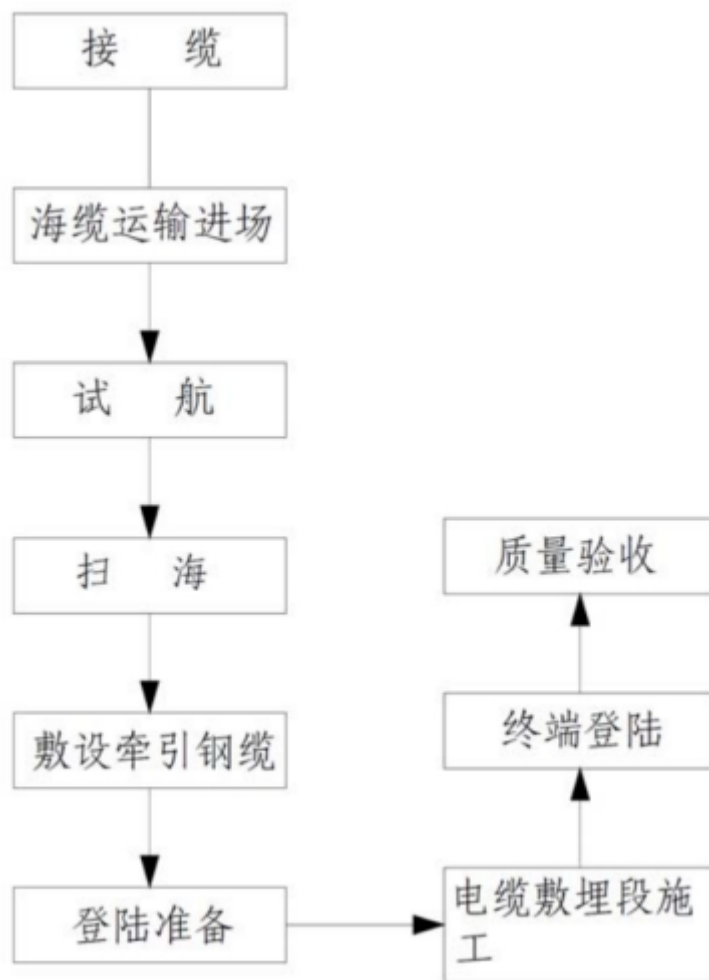


图 2.2-9 海缆敷设施工方法示意图

220kV 登陆段海缆采用开挖回填的方式进行敷设：

采用两栖挖掘机对电缆路由进行清扫工作；使用两栖挖掘机及人工开挖结合的方式预先开挖海缆沟槽，缆沟开挖深度大于 2m；沟底填砂操平后，由设置在陆上登陆点处的卷扬牵引电缆进行敷设，并采用球墨铸铁套管进行保护；电缆沉入沟底后由两栖挖掘机进行回填施工。见图 2.2-10。



图 2.2-10 220kV 海缆登陆段保护套管

2.3 原工程方案环境影响评价结论

根据已批准的《中广核阳江南鹏岛海上风电场工程环境影响报告书》，本工程建设对海洋环境主要影响包括：

2.3.1 沉积物环境

风机桩基础吸出的淤泥总体属于清洁疏浚物，此类淤泥直接倾倒不会对倾倒区海域沉积物质量造成明显不利影响。

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。

2.3.2 水文水动力环境

风电场工程的建设对风电场周边海域潮流特性影响甚小，周边海域流速变幅

基本在 0.5% 以内，流向变化不超过 1°；工程前后风电场内部的流速有所变化，并以流速减小为主，涨落潮平均流速变幅在 0.01m/s 左右，涨落潮平均流速变率为 3%，潮流流向变化幅度基本在 10° 以下。

2.3.3 地形地貌与冲淤环境

随着冲淤过程的深入和地形向适应工程实施后动力环境方向的调整，其冲淤强度将逐年较小。冲淤平衡后，最大平衡淤积幅度在 0.8m 左右，发生在升压平台桩基基础两侧，其他风机附近最大淤积幅度在 0.4m~0.6m 之间，最大平衡冲刷幅度在 0.5m 左右。两排风机之间形成 0.1m~0.3m 的冲刷条，风电场周围 2km 以外冲淤变化幅度均在 0.1m 以下。

2.3.4 水质环境

海缆施工期间 10mg/L 浓度悬浮泥沙（超二类水质标准）最大包络面积为 129.86km²，在此范围内，会对浮游生物的生长和繁殖造成一定影响；但施工结束后，水体中悬浮物含量会很快恢复到施工前的水平。

2.3.5 海洋生态和渔业资源

2.3.5.1 施工期

（1）对浮游生物的影响

桩基施工和电缆沟开挖会引起海底泥沙再悬浮，海底泥沙中有害物质也会再溶出，从而可能对周围水域的浮游生物产生不利影响。保守估计在桩基施工和电缆沟开挖影响范围内受影响的浮游植物数量 3.2×10^{14} 个；受影响的浮游动物生物量为 136.02t。

（2）对底栖生物的影响

桩基施工、电缆沟开挖完全改变施工区附近底栖生物的生境。施工期电缆沟开挖、基础占压造成底栖生物损失经济价值为 829.66 万元。

（3）对潮间带生物的影响

各电缆登陆段施工需要经过一段潮间带，电缆沟开挖对潮间带底栖生物造成伤害。估计底栖动物经济损失为 2.13 万元。

（4）对渔业资源的影响

高浓度悬浮物水域中的海洋生物的仔幼体可能造成的伤害。本项目施工悬浮物浓度增量大于 10mg/L 的最大包络线面积为 129.86km²。

悬浮泥沙扩散浓度为 10~50mg/L、50~100mg/L、>100mg/L 的影响水域中鱼卵仔鱼损失率分别取为 15%、30%和 50%，幼鱼、幼虾和幼蟹的损失率分别取 10%、20%和 30%。鱼卵折成鱼苗按 1%成活率计，仔鱼折成鱼苗按 5%成活率计；从幼体长成鱼虾蟹的成熟的个体均按 50%成活率计，成鱼和成蟹按 100g/尾计，成虾按 7g/尾计，经济损失按 3 年计算，则本项目施工期渔业资源直接经济损失总计为 530.29 万元。

(5) 对渔业生产的影响

海缆施工会破坏路由沿线的网箱等养殖器具，进而造成养殖产量、产值的下降，海缆施工造成的悬浮泥沙扩散会对上述养殖的渔业资源造成损失。施工期间，禁止渔船进入施工海域捕捞生产，由此导致作业渔场范围减少；施工的扰动影响，使渔获率降低，最终影响捕捞产量。

2.3.5.2 运营期

(1) 对海洋生态的影响

本风电场工程运营期对海洋生态的影响主要是每台风机桩基周围的底栖生物的生境遭到永久的破坏，按风机布置方案，73 台风机桩基群的影响范围为 1.825hm²，在该范围内的原有泥质型的底栖生物类群不可恢复，相应的生物资源经济损失为 27.06 万元。

(2) 对渔业生产影响

在风电场运营期时段，这一海域渔业捕捞将受到负面影响，难以进行大规模捕捞作业。风电场运营期的人工鱼礁效应对渔业资源的保护是有利的。

2.3.6 水下噪声及电磁辐射对海洋生态影响

2.3.6.1 水下噪声海洋生态影响

海上风电场在运营期的总体的噪声比较低，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。

噪声对鱼类等海洋生物的实验研究表明，运营期水下噪声强度就本实验中所提及的海洋生物实验条件下没有显著影响，对海域中典型鱼类（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）等影响不明显。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 110dB，已低于海上风电场在该频段上的背景噪声，风电运营中的水下噪声是否会对幼鱼大黄鱼的通讯产生影响还有待研究。

风电场运营期水下噪声谱级分布强度较小，基本上与海洋环境背景噪声谱级相当，风电场运营中频率在 5kHz 以上的噪声谱级均在 95dB 以下，因此，不会对该海域中海洋哺乳动物的行为活动产生影响。

2.3.6.2 电磁辐射海洋生态影响

海洋生物能够感知强度为 1.0mT 以上交流电磁场的存在，并做出不同的生理反应，磁感应强度在 0.3mT 以下的交流电磁场对海洋生物作用 48h 后，其体内的碱性磷酸酶，酸性磷酸酶以及超氧化物歧化酶的比活力变化不显著。

从现有资料分析，35kV 海底电缆在埋设海底下 2~3m 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。综合类比实验分析：对该海域中主要的海洋生物资源的影响不明显。

2.3.7 鸟类及陆生动植物资源影响

2.3.7.1 陆生动植物资源影响

(1) 施工期

项目建设过程和建成后，该方面的损失可以通过补植、扩种人工林降低，亦可替代性种植乡土小乔木树种，达到生态修复的效果。

施工干扰会使得一些喜欢栖息在阴暗潮湿环境的两栖类、爬行类动物如黑眶蟾蜍、泽蛙、蛇类等的生活环境遭到破坏，导致施工区的陆生动物的栖息和取食环境恶化，它们将被迫离开原来的领域。但一些伴人生活的啮齿目动物如黄胸鼠等可能不受影响，而且数量有可能增加。

(2) 运行期

运营时期对周边植被产生的影响很小，由于建设项目占用陆地面积不大，不会对陆生动物造成显著影响。

2.3.7.2 鸟类及其生境影响

(1) 施工期

海上风电场施工期间，大型船只和机械活动一方面会对鸟类造成干扰，使鸟类远离施工区域，减少鸟类活动范围，另一方面会影响海洋和底栖生物分布，从

而影响鸟类的食物分布；施工产生的噪声会对在施工区及邻近区域觅食的鸟产生影响，使该区域鸟类的数量减少、多样性降低；晚上施工的照明系统会干扰夜间迁徙的鸟类，吸引鸟类与工程设施相撞。

（2）营运期

鸟类对噪声具有较高的敏感性，受影响种类主要为留鸟和中途停歇觅食的候鸟，对飞行迁徙经过的候鸟因从高空经过时，与风电机的垂直距离已超过 250m（按飞行高度 400m 算），基本不会受到风机噪声影响。

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。在工程区域可能受光影响的主要是夜间迁徙的鸟，需采取防护措施尽可能减少光对其产生的干扰。

候鸟在迁徙中途停歇和觅食时，以及遇到不良气象条件时飞行高度一般都低于 100m。由于此时飞行高度较低，旋转着的巨大风电机叶轮将会阻止鸟类在风电场范围内飞行和停留；同时，风机叶片旋转的范围在离地面 30~130m 之间，是鸟类飞行通过风机的高风险区域，有被风机叶片撞击的危险。根据本项目的鸟类现状调查，本风电场发生碰撞效应的受影响对象主要是夜行性的隼形目鸟类。

风电场因占用一定场地，对鸟类栖息地造成多方面的影响，会间接影响在此区域栖息的鸟类种群数量，包括栖息地损失和破碎化和生境质量下降。各方面的作用是相互的，既有协同性的（如建设用地既造成栖息地损失，也引起食物资源的减少），也会互相抵消（如干扰会导致鸟类远离栖息地，但也减轻了碰撞风机的机会）。

2.3.8 其他环境影响

2.3.8.1 声环境影响

（1）施工期

本工程主体施工位于海上，施工场地周围 1km 范围内业基本无声环境敏感目标分布，因此区域施工噪声对周围环境影响有限。

（2）运行期

在距离轮毂 100m 处，风机运行噪声影响为 54dB（A），可满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准要求。而随距离衰减至 500m

处时，噪声影响为 40.0dB (A)，可满足声环境质量 1 类标准要求。

对于 125Hz、250Hz、500Hz 低频噪声达标距离分别为 480m、2km 和 2.2km，低频噪声的影响范围较远，风机产生的噪中低频噪声对环境的影响较大，不可忽视。

2.3.8.2 电磁辐射环境影响

由于距离衰减和建筑物的屏蔽作用，工程建成后工频电场强度、工频磁场强度及综合电场完全可以满足国家的相关标准和规定。

工程电缆输电过程中，其产生的工频电场强、工频磁感应强度以及无线电干扰场强均符合评价标准的要求，电缆线路运行对周围电磁环境无明显影响。

2.4 环评批复要求

《中广核阳江南鹏岛海上风电场工程环境影响报告书（报批稿）》已于 2017 年 12 月得到广东省海洋与渔业厅的批准。批准意见如下：“中广核阳江南鹏岛海上风电场项目选址于阳江市阳东县东平镇南侧、海陵岛东南侧海域，距离大陆岸线最近距离约 19.5 千米。项目规划装机总容量为 400 兆瓦，拟布置 73 台 5.5 兆瓦风电机组（其中 1 台限发 4 兆瓦），配套建设 1 座 220 千伏海上升压站和陆上集控中心，同时敷设 16 回 35 千伏集电海底电缆（总长 33.17 千米）和 2 回 220 千伏海底电缆（总长 66.30 千米）。项目申请用海总面积为 571.1796 公顷，其中风机和海上升压站用海面积为 103.8904 公顷，海底电缆用海总面积约为 467.2892 公顷，海底电缆登陆占用自然岸线 21.8 米。”

“经审查，《中广核阳江南鹏岛海上风电场工程环境影响报告书（报批稿）》（以下简称《报告书》）基本符合国家环境保护有关法律法规的要求，在《报告书》提出的各项污染防治对策、生态保护与补偿对策措施和应急措施得到落实的前提下，工程建设对环境产生的不利影响可得到减缓，从海洋环境保护的角度考虑，工程建设可行。我厅同意批准《报告书》。”

批准意见中提出工程在建设运营过程中应重点做好的环境保护工作要求及执行情况详见表 2.4-1。

表 2.4-1 批复中环境保护工作要求及执行情况

编号	工作要求	执行情况
1	项目开工前应制定工程环境监理	现已制定工程环境监理和环保措施实施方案，

编号	工作要求	执行情况
	和环保措施实施方案，并报省、市海洋主管部门；认真落实施工期及运行期海洋环境、水下噪声、鸟类及其栖息地等专项监测工作，定期向市级海洋主管部门报送环境监测及其它环保措施落实情况。	并报省、市海洋主管部门；项目施工期海洋环境已于 2019 年 5 月完成首次调查，水下噪声、鸟类及其栖息地跟踪监测将于 2020 年下半年开始实施；项目施工期及运营期将认真落实施工期及运行期海洋环境、水下噪声、鸟类及其栖息地等专项监测工作，定期向市级海洋主管部门报送环境监测及其它环保措施落实情况。
2	严格按照《报告书》中确定的地点、性质、规模进行建设，从有利于资源环境保护出发，合理制定施工计划、安排施工进度、划定施工范围，确保工程各项监管措施得到落实。	目前已完成登陆点、一条 220kV 电缆、海上升压站、8 台风机以及首回 35kV 集电电缆的施工，在施工过程中严格按照《报告书》中确定的地点、性质、规模进行建设；相较于原环评，方案调整后登陆点北移约 60m，海上升压站南移约 1km，相应的 220kV 海缆以及 35kV 海缆长度也略有变化，已施工的 59 台风机基础，位置有微调，规模不变；项目施工过程中严格划定施工作业范围尽量避开渔业敏感季节，合理制定施工计划、安排施工进度，确保工程各项监管措施得到落实。
3	切实采取悬浮泥沙污染防范措施，控制桩基建设和海底电缆埋设施工强度，减少悬浮泥沙的扩散及影响；采取有效措施防止桩基施工过程中泥浆溢漏；桩基作业过程中产生的淤泥、钻屑必须按要求收集，妥善处置，禁止随意抛弃入海。	目前已完成登陆点、一条海底电缆、海上升压站、8 台风机以及首回 35kV 集电电缆的施工，在施工过程中通过合理制定施工计划、安排施工进度、控制施工强度等减少悬浮泥沙的产生、扩散及影响；在施工过程中采取有效措施防止桩基施工过程中泥浆溢漏，目前已施工部分未发生泥浆遗漏事故；桩基作业过程中产生的淤泥、钻屑基本按照要求，妥善处置。
4	施工期间产生的生产废水、生活污水及固体废弃物（含扫海清障过程产生的海底垃圾、风机安装工程产生的工业垃圾）等污染物不得随意排放、丢弃入海，应统一收集上岸，分类处理；作业船舶含油污水应严格按照规定收集，由专业机构处理。	施工期间产生的生产废水处理达到城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002)中相应用途的回用标准后储存回用；生活污水利用区域现有污水收集处理设施统一收集后纳管排放；船舶生活污水、船舶垃圾及时收集，船舶含油污水及时铅封，运回陆地，交给有资质单位处理。
5	水下打桩应采用“软启动”方式，以驱赶海洋鱼类游离作业区，减缓水下噪声对鱼类的影响；桩基施工时需采用气泡帷幕等屏蔽措施降低施工噪音，并采用观察手段，发现中华白海豚出现在施工区时应采取暂停施工、避让等措施，减少对中华白海豚的影响。	本项目进行桩基施工时采用了“软启动”方式，在打桩时先轻轻的敲打桩头，利用轻微响声驱赶鱼群后再开始按设计值沉桩，以减缓水下噪声对鱼类的影响；同时采用观察手段，发现中华白海豚出现在施工区时采取暂停施工、避让等措施，以减少对中华白海豚的影响。
6	施工安排应充分考虑中华白海豚的繁殖期、鱼类产卵洄游期和鸟类大规模迁徙期，确保对中华白海豚等海洋珍稀动物及鸟类等不造成影响。控制施工船舶数量及航行速度，防止误撞中华白海豚事故。对施工海域设置明显警示标志，明示禁止捕捞活动的范围、时间。	施工过程中，合理安排施工期，控制施工船舶数量和航行速度，确保对中华白海豚等海洋珍稀动物及鸟类不造成影响

编号	工作要求	执行情况
7	加强施工船舶管理和风险防范，定点作业、船舶停泊应根据施工作业场地采取合理的环保措施，确保不发生船舶污染事故；制定切实可行的应急预案，落实施工监管和安全生产保障措施，避免环境事故和安全事故发生。	项目施工过程中未发生船舶污染事故；本项目已制定切实可行的应急预案，并在具体施工过程中落实该项要求。
8	项目完工后需按规定开展项目竣工环保验收工作，验收合格后方可投入运行。	项目尚未完工，后续将按规定开展项目竣工环保验收。

3 工程方案调整情况

3.1 方案调整原因及必要性

本工程方案调整涉及海上升压站位置、部分 220kV 海底电缆及 35kV 集电线路路由调整和风电机组位置，调整原因如下：

根据地质勘察结果，原海上升压站位置地质条件较差，不适合布置升压站，因此需调整海上升压站的位置，以保证升压站的结构安全；由此 220kV 海缆路由有所调整，同时，为了避开礁石区，登陆端路由也进行了微调；根据风机的载荷、风机叶轮直径等参数，考虑到风机发电量最大、风机间尾流最小、风机最安全等因素，开展了风机优化布置，对风机位置进行了微调，35kV 集电海缆路由也进行了相应的调整。

调整后的平面布置见图 3.1-1。



图 3.1-1 工程方案调整后的平面布置图

表 3.1-1 工程方案调整情况一览表

工程内容及特性		原批准方案	调整方案	变化情况	实施情况	
登陆点	位置	新建登陆点	与西侧的中节能阳江南鹏岛海上风电项目共用一个登陆点	北移约 60m	已完成	
	占用自然岸线	21.8m	10.6m	减少 11.2m		
风机机组	台数	73	73	不变	现施工 59 台, 完成 8 台	
	单机容量	5.5MW	5.5MW	不变		
	风机机位			根据优化方案进行调整		
	基础型式	四桩导管架基础	32 台单桩 (3 台嵌岩); 41 台四桩导管架基础	根据底质勘察结果及水深情况进行的调整		
海上升压站	站址			向南偏移约 1km	已安装完成并通电	
	基础型式	四桩导管架基础	四桩导管架基础	不变		
	上部组块	四层结构, 平面尺寸约为 36.9×36.4 m (不包含局部外挑吊装平台)	四层结构, 平面尺寸约为 40.4m×36.0m (不包含局部外挑吊装平台)			
	主变压器	两台, 单台容量 240MVA	两台, 单台容量 240MVA	不变		
海底电缆	35kV 海缆	结构型式	单根三芯	单根三芯	不变	已完成首回路 (3 号风机至升压站、1-3、2-3、4-3、4-5 号风机) 敷设, 剩余 15 回路
		海缆路由			风机间海缆布置改变	
		海缆长度	128km	121.7km	减少 6.3km	
	220kV 海缆	结构型式	1 回三芯	1 回三芯	不变	已完成第一回路 (升压站至集控中心段) 敷设
		海缆路由			根据海上升压站位置和登陆端情况, 对路由进行了微调	
		海缆长度	66.30km	68.34km	增加 2.04km	

3.2 工程调整方案

3.2.1 风电场发电量

风电场总装机仍为 400MW，采用的风机机型和风机数量不变。根据风机厂家提供的现场空气密度下的风机功率曲线和推力系数。施工阶段采用风能资源分析软件 WAsP 计算得 73 台机组考虑尾流损失后年发电量为 1056.7GWh，年上网电量为 1014.765GWh，容量系数 28.9%，年等效满负荷小时数为 2642h，较原环评升高 18h。

3.2.2 风电机组调整方案

相较于原环评，风机设备未发生变化，仍为 MySE5.5-155；风机基础结构由原来的四桩导管架结构变更为非嵌岩四桩导管架基础 41 台（图 3.2-2）、非嵌岩单桩基础 29 台（图 3.2-3）、嵌岩单桩基础 3 台（图 3.2-4）。

其中四桩导管架基础的风机结构跟原方案一致：钢管桩桩径 2.4m，桩中心距 22m；而单桩桩径 7.8~8.7m 不等。

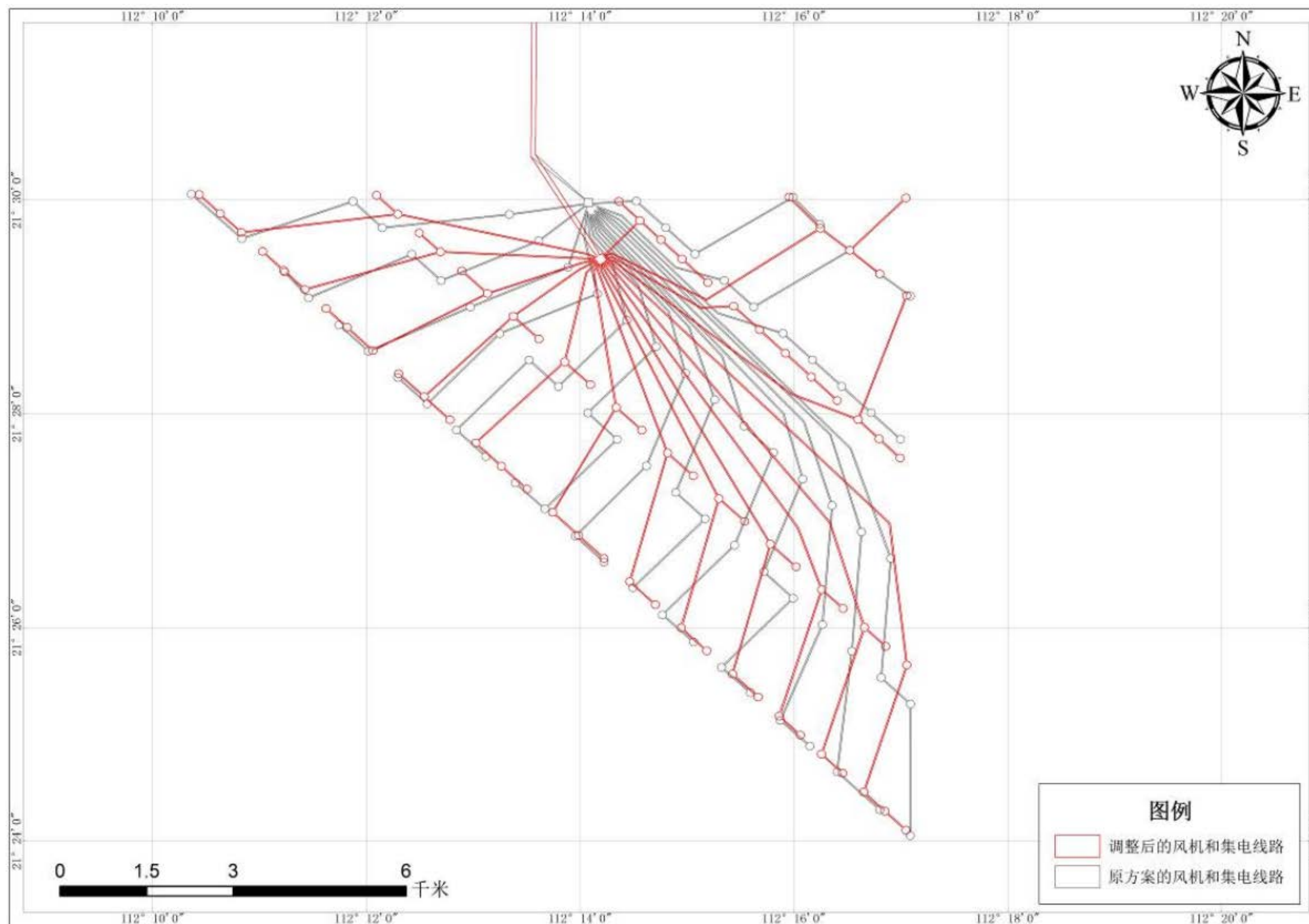


图 3.2-1 调整后风机和 35kV 集电线路图

图 3.2-2 风机导管架基础主体结构图

图 3.2-3 风机单桩基础主体结构图

图 3.2-4 风机单桩基础（嵌岩）主体结构图

3.2.3 海上升压站调整方案

与原工程方案相比，海上升压站调整至原址南部约 1km 处，此区域水深和地质条件良好，满足升压站施工条件；上部组块仍为四层布置，三层结构，平面尺寸变更为 40.4m×36.0m（不包含局部外挑吊装平台），下部结构仍采用四桩导管架型式。

（1）上部平台结构

海上升压站上部组块采用四层布置，平面尺寸约为 40.4m×36.0m（不包含局部外挑吊装平台），一层~顶层甲板梁顶标高分别为 20.50m，26.50m，31.50m，36.50m。上部结构由主柱、甲板、梁格和斜撑组成。上部组块主梁采用焊接 H 型钢 H1200、H1000、H900、H800 及热轧 H 型钢 HN700、HM588、HM488，次梁采用热轧 H 型钢 HN400、HN300 等。主柱采用 $\phi 1524$ 钢管，两层主甲板间斜撑采用 $\phi 406$ 和 $\phi 356$ 钢管，各层甲板之上满铺 8mm 厚钢板，外走道铺钢格栅。在主柱、撑杆与主梁交点处管节点用 Z 向钢钢材 DH36 加强。

（2）下部基础结构

导管架采用 4 桩导管架型式，导管架可分为竖直段和倾斜段两部分。其中，倾斜段导管架 4 个面的斜度约为 1:5.6。导管架顶标高 17.0m，底标高-21.41m。主导管采用 $\phi 2200$ 钢管，成矩形布置，在标高-20.1m，-9.5m，-2.0m，16.0m 处设水平圆管 $\phi 1000$ ， $\phi 1200$ 钢管及斜拉圆管 $\phi 900$ ， $\phi 1100$ 钢管，导管架局部节点用钢材 DH36--Z25 加强。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等。

海上升压站基础采用 $\phi 2600$ 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚分别为 55、40、30、55mm，桩长约为 97m，桩顶高程为-14 m，桩底高程为-111m，桩入泥约 90m，以全风化花岗岩层为桩基持力层。

在海上升压站两侧沿导管架分别布置 $\phi 325\text{mm}$ 的 35kV 海缆保护 J 型套管和 $\phi 508\text{mm}$ 的 220kV 海缆保护 J 型套管。35kV 海缆和 220kV 海缆沿 J 型套管登入、登出海上升压站平台。电缆保护 J 型套管固定在导管架上，上部延伸到一层甲板，下面伸到泥面处，采用电缆柔性保护限制器固定。

待钢管桩沉桩到位之后，导管架与钢管桩采用水下灌浆方式连接。

3.2.4 海缆调整方案

3.2.4.1 220kV 海缆调整

由于海上升压站往南调整约 1km，登陆点位置也有所调整，同时为了避开礁石区，对 220kV 海缆路由进行布置优化。调整后 220kV 海缆总长度为 68.34km，增加 2.04km；占用岸线 10.6m，减少 21.8m。

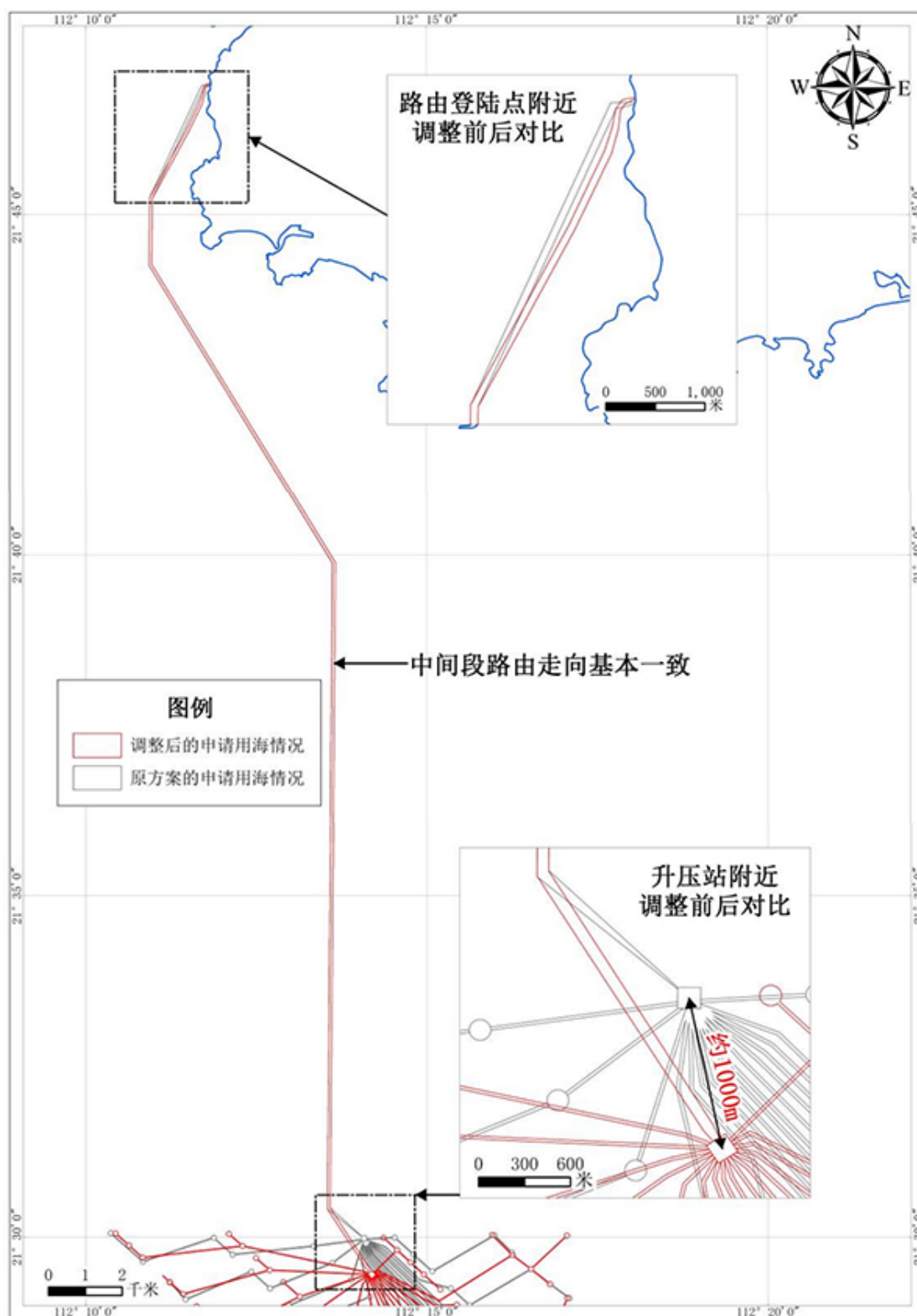


图 3.2-5 调整后 220kV 海缆路由图

3.2.4.2 35kV 海缆调整

风机与风机之间采用 16 回 35kV 海缆送至 220kV 海上升压站，相对于原环评，35kV 海缆发生了变化，变化示意图见图 3.2-1，调整后海缆长度为 121.7km，

较原环评减少 6.3km。

3.2.4.3 海缆保护

(1) 海缆防护施工

1) 穿越航道区

目前对于 35kV 海缆，按照埋深 3m 考虑；对于 220KV 海缆，非航道段按照埋深 2.5m 考虑，航道段埋深根据《广东省沿海通航标准》确定，但考虑到目前设备机具敷设深度的能力限制，航道段海缆埋深建议为 3.0~4.3m，在施工能力满足的前提下，尽量深埋。结合通航单位的要求，本工程共下穿 6 个航道，其中海缆在寿长东航道埋深为 4.0m；北津东航道、东平航道的埋深均为 3.5m，潯洲岛北航道、潯洲岛南航道的埋深均为 3.0m，在围阳航道的埋深为 4.3m。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。根据《海底电缆管道保护规定》划定海底电缆防护区：本项目位于沿海开阔海域，划定电缆两侧各 500m 范围为电缆保护区范围。电缆防护区周围还应设置禁锚标志，以提醒过往船舶不得在防护区内锚泊。

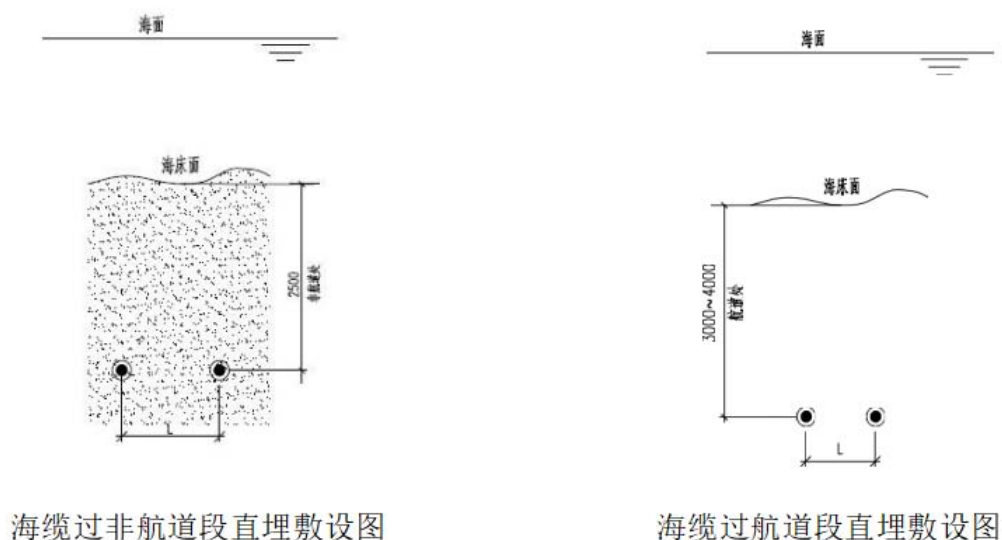


图 3.2-6 海缆防护施工示意图

同时，需要评估往来船只船锚的最大重量和尺寸，对于船只活动频繁区域，还将采用铸铁材质的海缆保护套管来保护海缆。

2) 近海岸登陆段浅水区

海缆近海岸登陆段浅水区，一般船只和人类活动较为密集。因此，需要划定

海底电缆防护区，海缆防护区周围还应设置禁锚标志，以提醒他人不得在防护区内作业。

海缆登陆段采用球墨铸铁套管保护。根据水深及地质条件海缆登陆段采用两种不同回填防护方案。

i. 淤泥质土浅水区域：海缆敷设埋深 3m；

ii. 近岸段浅水区域：采用球墨铸铁套管+水泥沙袋防护方案，水泥沙袋覆盖厚度为 1m。

3) 场内海缆

场内的海缆保护主要集中在基础附近部分海缆保护，该部分海缆是海缆保护的重点区域。由于海缆挖沟犁和海缆船无法靠近导管架基础桩腿部分，因此，该部分在靠近桩腿的海缆上面覆盖砂被保护垫，同时，海缆通过 J 型管固定在风机基础上，在 J 型管喇叭口位置安装海缆弯曲限位器，保护海缆不致于弯曲过大，以防止海缆弯曲破坏和摆动磨损。

(2) 海缆交越施工

海缆交越施工工艺和方法与原环评保持一致，此小结不再赘述，具体见图 3.2-7。

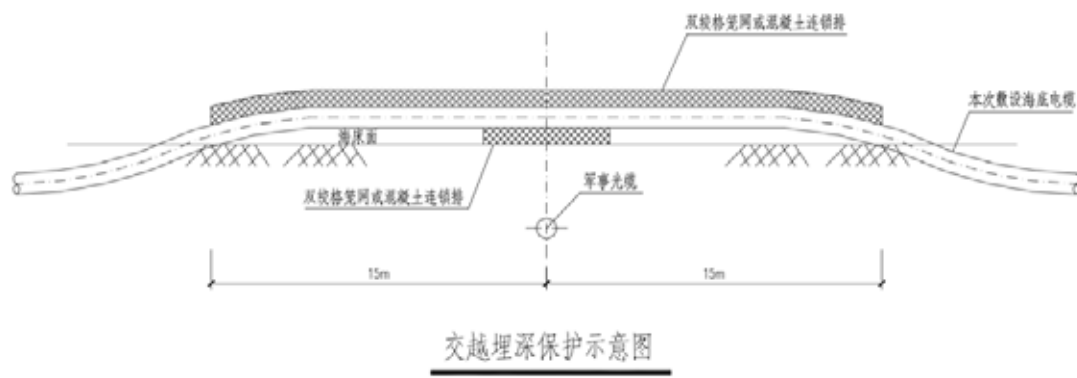


图 3.2-7 交越埋深保护示意图

3.3 工程施工

3.3.1 施工条件

3.3.1.1 自然条件

自然条件与原环评方案一致。

3.3.1.2 施工交通运输

(1) 场外交通

调整方案中的施工交通运输方案在原环评的基础上进行了进一步的细化，具体如下：

1、根据风机选型所推荐风机类型，风机主要设备的生产厂家位于阳江或珠海相关生产基地。

2、风机基础钢结构、钢管桩、海上升压站平台采用沿海钢结构制造企业进行加工制造，加工厂家的备选地点主要为珠海高栏、深圳赤湾、福建漳浦或江苏南通附近，两处具备生产能力的钢结构生产厂家全部具有自备码头。相较于原环评，风机基础结构、钢管桩等设备不需要转运到施工主基地，由生产厂家自自备码头运输至施工现场。

3、常规建筑材料计划在阳江市或阳东县就近采购，这些材料初步考虑通过陆路运输至陆上集控中心施工区，海上用的建筑材料可通过海路直接运至施工现场。

交通运输规划见表 3.3-1。

表 3.3-1 交通运输规划方案表

序号	运输物资	运输方式 1	转运地点	运输方式 2	运达地点
1	风机塔筒、机舱、叶片等	陆路	施工主基地	海路	施工现场
		海路			
2	基础钢结构	海路			施工现场
3	钢管桩	海路			施工现场
4*	海缆	海路			施工现场
5	升压站上部结构	海路			施工现场
6	集控中心建材	陆路			施工现场

注：*根据实际施工情况、海况明确是否需要运至施工主基地临时存放、中转。

(2) 场内交通

场内交通与原环评方案一致。

3.3.2 施工布置

施工布置与原环评方案基本一致，仅将施工辅助基地由原环评方案中的风电场陆上集控中心附近，调整为东平镇的东平渔港。

3.3.3 施工方法

方案调整后，风机基础中四桩导管架基础施工未发生变化，因此 3.3.3.1 节

主要补充非嵌岩单桩基础及嵌岩单桩基础的施工方法，并对四桩导管架基础施工方法进行简单介绍；风电机组安装由原环评的整体安装变更为分体式安装，3.3.3.2 节着重介绍了风电机组分体式安装的施工方法；海上升压站上部结构和下部结构基本与原环评保持一致，3.3.3.3 节仅对海上升压站施工方法进行简单回顾；海底电缆海上段施工工艺不变，3.3.3.4 节仅做简单回顾，并着重介绍了海缆登陆段的施工方法。

3.3.3.1 风机基础施工

本工程项目共有 73 座风机基础，结合地质资料及初步计算结果，将场区分为三个区域：单桩方案区、导管架方案区、嵌岩区。非嵌岩导管架基础 41 台、非嵌岩单桩基础 29 台、嵌岩机位 3 台，嵌岩机位的基础形式基本确定为单桩嵌岩。

(1) 单桩基础施工

i. 单桩加工及运输

单桩的钢管桩及过渡段在工厂生产完并经验收合格后运至码头前沿进行出运，利用设置在出运码头的回转吊及起重船进行装船，运输采用 8000 吨运输货船，视运输条件及进度需求，每次运输 1 根单桩基础，从厂家基地码头运到施工现场。

ii. 非嵌岩施工

船机及导向架就位起重船趁潮移至施工区基础附近，利用抛锚艇辅助下抛锚后绞锚进行初定位，钢管桩运输船进入风电场机位附近就位→钢管桩起吊→钢管桩立桩、入龙口→钢管桩自重下沉定位→初次调整垂直度→纠偏、稳桩、精调垂直度→吊锤→锤击沉桩→停锤控制。

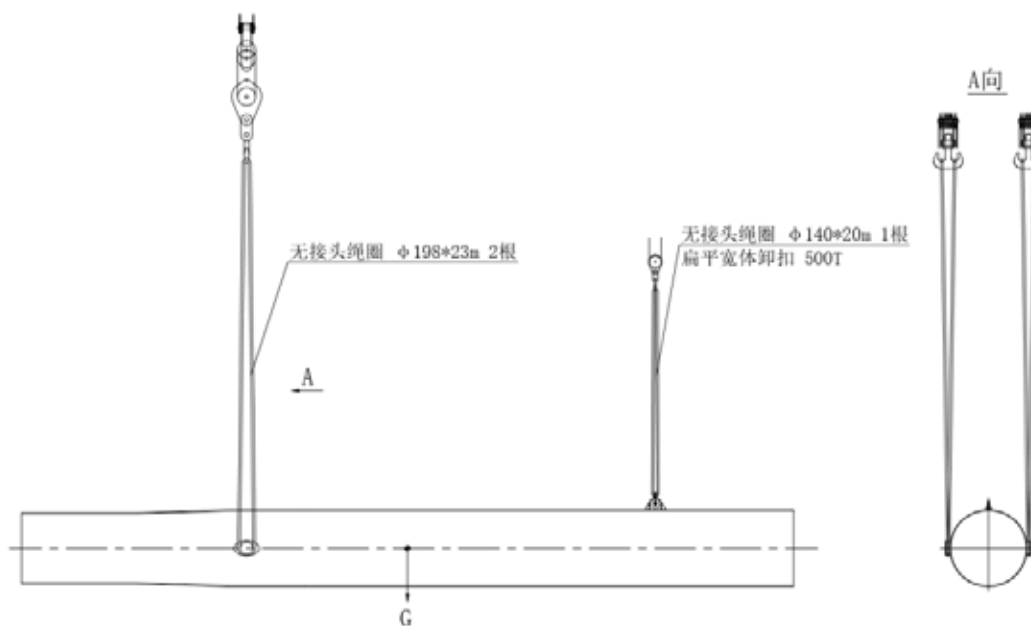


图 3.3-1 单桩起吊示意图

iii. 嵌岩单桩施工

单桩嵌岩施工属于海上基桩施工中的一个专业的施工项目，施工技术难度及风险相对较高，本次就嵌岩桩的常规施工方法进行简单阐述。本工程基础工程桩为直桩，回旋钻机和冲击钻机均可用来成孔。嵌岩桩施工的一个重要特点是海底地质情况复杂，施工进度控制风险高，成桩时间较长。

先搭设稳桩下层平台，再进行工程桩的定位与沉桩：工程桩抬吊、竖桩、入龙口、定位抱紧、沉桩。在桩自重入土的前调整好桩身垂直度，然后用液压振动锤进行沉桩。

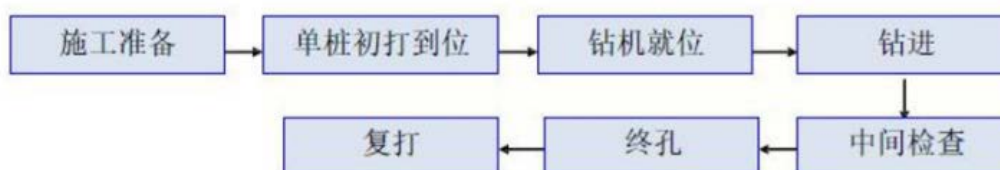


图 3.3-2 钻孔施工流程图

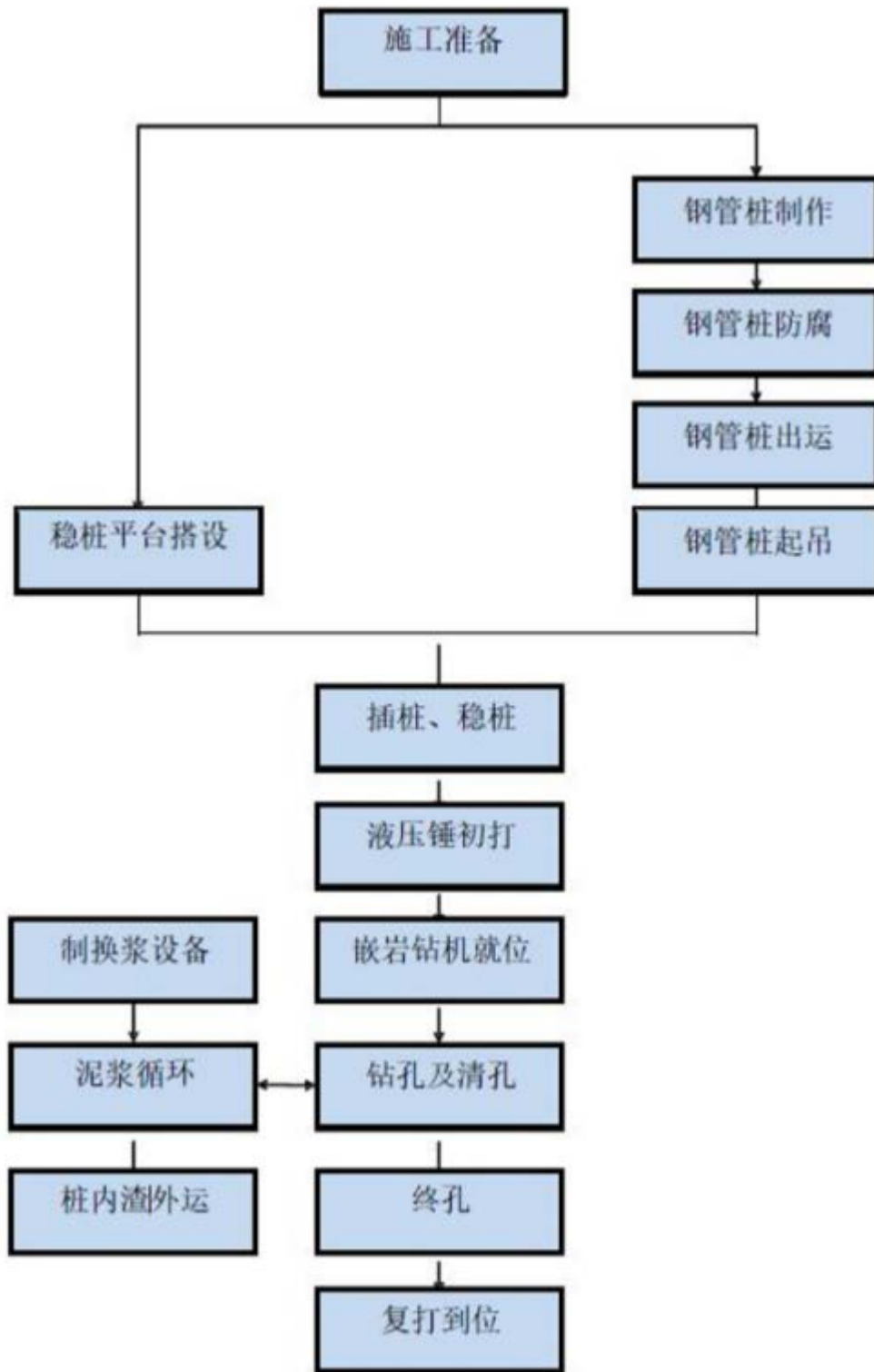


图 3.3-3 嵌岩单桩施工流程图

单桩基础施工施工船机设备见下表：

表 3.3-1 单桩基础施工施工船机设备表

序号	名称及规格	单位	数量	备注
1	3000t 及以上主起重船	艘	2	配备导向架
2	1500t 及以上辅助起重船	艘	2	辅助翻桩
3	3000KJ 及以上液压打桩锤	个	2	钢管桩插打
4	8000t 工程驳	艘	4	单桩运输
5	3000HP 拖轮	艘	4	
6	抛锚艇	艘	6	
7	300 匹交通船	艘	4	

(2) 导管架基础施工

导管架基础施工工艺和方法与原环评方案基本一致。具体施工工艺如下：

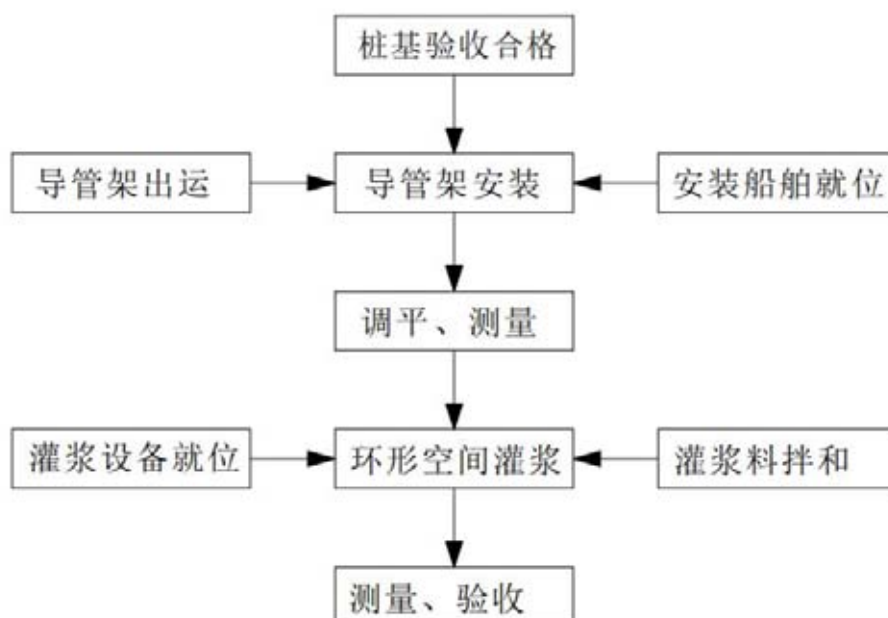


图 3.3-4 四桩导管架施工工艺流程图

施工船机设备如下表：

表 3.3-2 四桩导管架施工船机设备表

序号	名称及规格	单位	数量	用途	备注
1	起重船	艘	2	钢管桩打桩	起升高度 90 米以上，对应起重能力 800 吨以上，均配置 IHCS-800 液压打桩锤
2	起重船	艘	2	导管架吊装	起重能力 2000t 级以上
3	甲板驳船	艘	4	钢管桩运输	5000t 及以上，每次运输 8 根
4	甲板驳船	艘	4	导管架运输	5000t 及以上，每次运输 2 个
5	拖轮	艘	6	拖运、移位船只	3000HP 及以上
6	抛锚艇	艘	6	驳船、起重船等起抛锚	
7	交通艇	艘	2	接送人员	

3.3.3.2 风电机组安装

原环评方案采用整体安装方式，由于本工程风电场所在的阳江南鹏岛海域海况条件复杂，涌浪较大，整体安装所需的施工窗口期较少，整体安装对施工主基地要求很高；而采用自升式平台船分体式安装对涌浪不敏感的特点使得其更为适合作为本工程风机安装的主选方案。同时经调研，目前国内可适应本工程水深及海床地质条件情况的平台船可选来源较多。因此调整方案采用分体式安装。

调整后的风电机组安装方案如下：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。

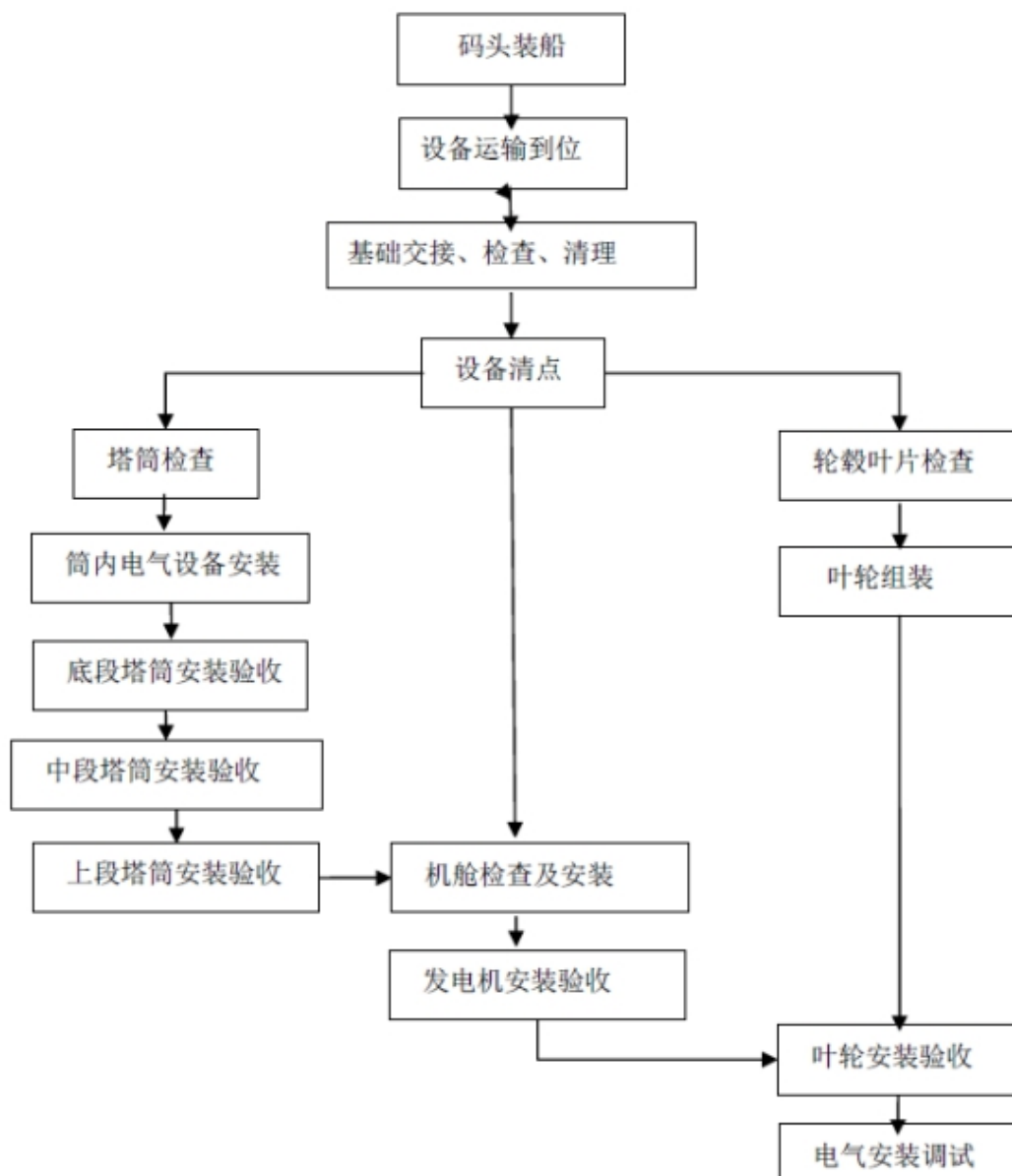


图 3.3-5 风机分体安装施工工艺流程图

风机分体吊装主要施工船机设备见下表：

表 3.3-3 风机分体吊装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	2	800t 主吊、50t 辅助吊	风机吊装	国内已有
2	起重船	艘	2	800t 以上海工吊	配合风机吊装	自航
3	平板驳	艘	2	5000t	风机运输	平板驳
4	拖轮	艘	4		拖航	自航
5	供给船	艘	2		淡水、油料	自航
6	交通艇	艘	2		场内交通	自航
7	多功能驳	艘	1		材料运输	自航
8	锚艇	艘	6		起抛锚	自航

3.3.3.3 海上升压站

本工程方案调整后，海上升压站下部结构仍由四桩导管架及钢管桩组成，其中导管架总重 2155t，4 根钢管桩重 1020t，施工工艺和方法与原环评保持一致。

海上升压站上部结构调整为四层空间钢框架结构，结构全高（底层甲板至顶层甲板）20.5m 米，平面尺寸约为 40.4m×36.0m（不包含局部外挑吊装平台），上部结构总重约 3545t（含设备）。在加工现场整体制作完毕后，现场进行一次性吊装。

升压站主要施工设备见下表：

表 3.3-4 升压站主要施工设备表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	浮式起重船	3000t 级及以上	艘	1	导管架基础吊装施工，配置 S-800 型液压打桩锤作为首选桩锤，S-1200 型液压打桩锤作为备选桩锤
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	2	钢管桩、导管架的运输
4	甲板驳船	10000t 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	

3.3.3.4 海底电缆铺设

本工程方案调整后，海底电缆铺设施工工艺不变。常规海缆敷设主要施工工艺如下：

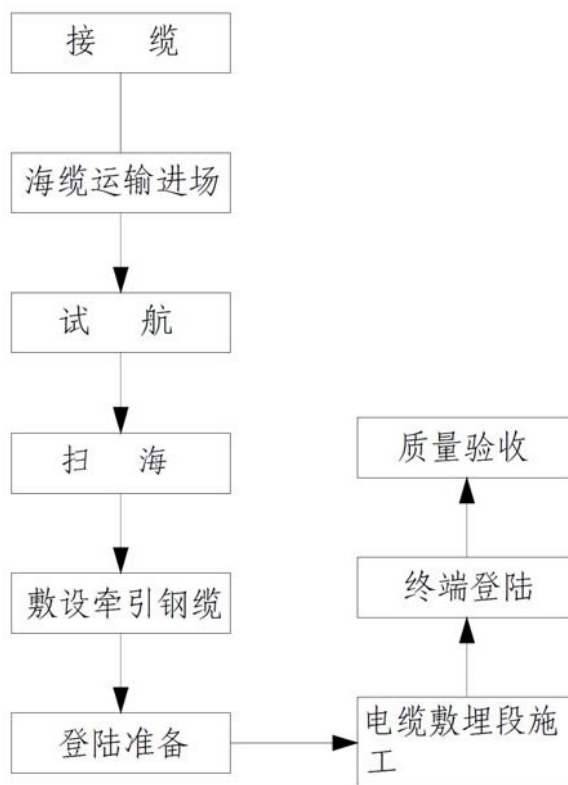


图 3.3-6 海缆敷设施工方法示意图

220kV 登陆段海缆采用开挖回填的方式进行敷设：

采用两栖挖掘机对电缆路由进行清扫工作；使用两栖挖掘机及人工开挖结合的方式预先开挖海缆沟槽，缆沟开挖深度大于 2m；沟底填砂操平后，由设置在陆上登陆点处的卷扬牵引电缆进行敷设，并采用球墨铸铁套管进行保护；电缆沉入沟底后由两栖挖掘机进行回填施工。

本工程现已完成 1 回 220kV 海缆施工，海缆沟槽已形成，第 2 回 220kV 海缆敷设时仅需揭开盖板敷设至已形成的沟槽内即可，无需再次开挖。电缆采用球墨铸铁套管进行保护；电缆沉入沟底后由两栖挖掘机进行回填。

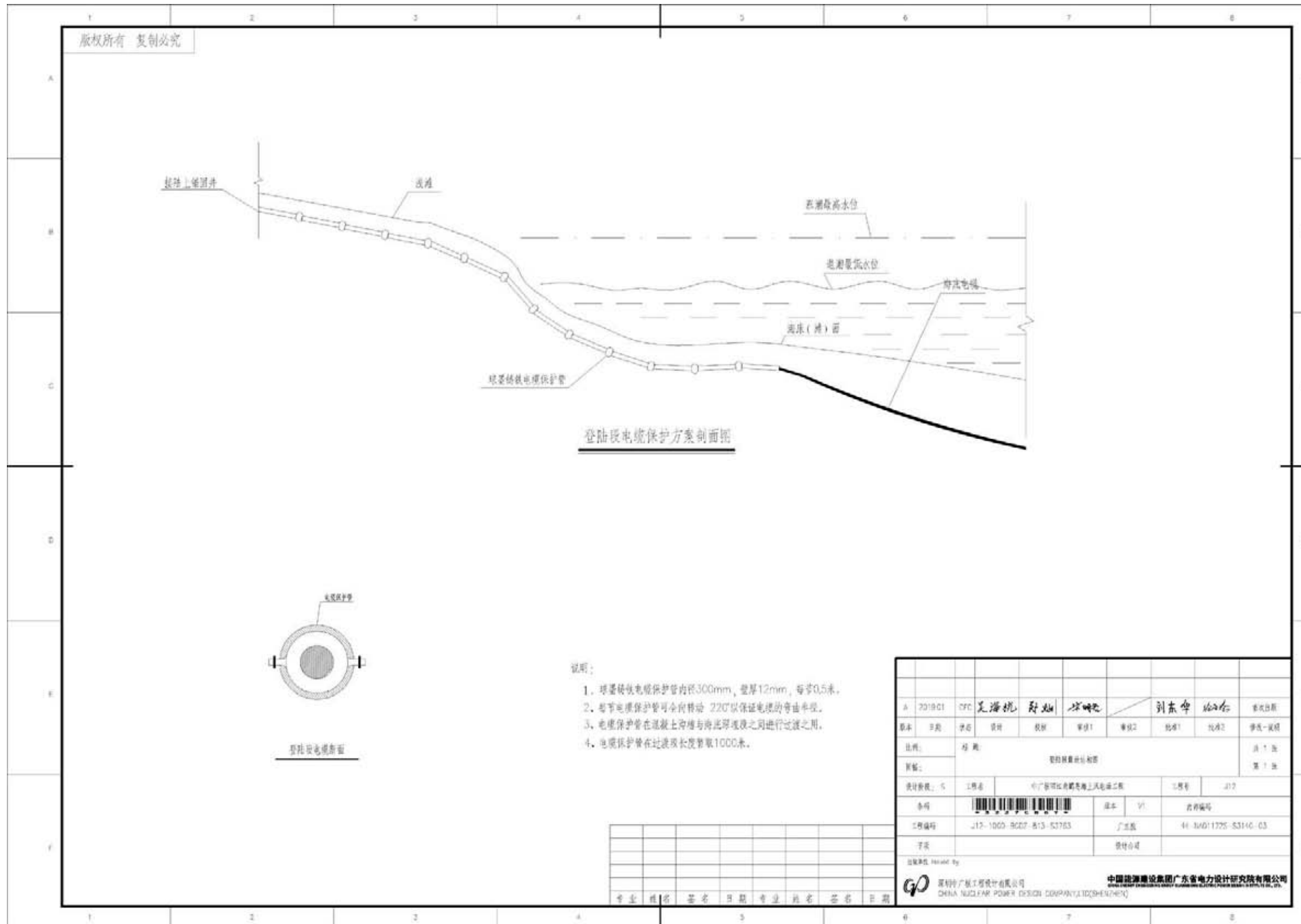


图 3.3-7 登陆段敷设结构图

3.3.4 施工进度

工程方案调整后，工程施工总工期不变，仍为 26 个月。

3.4 项目申请用海情况

项目前期申请用海面积为 571.1796hm^2 ，工程方案调整后，申请用海面积 547.1021hm^2 ，减少 24.0775hm^2 。

中广核阳江南鹏岛海上风电场工程宗海位置图

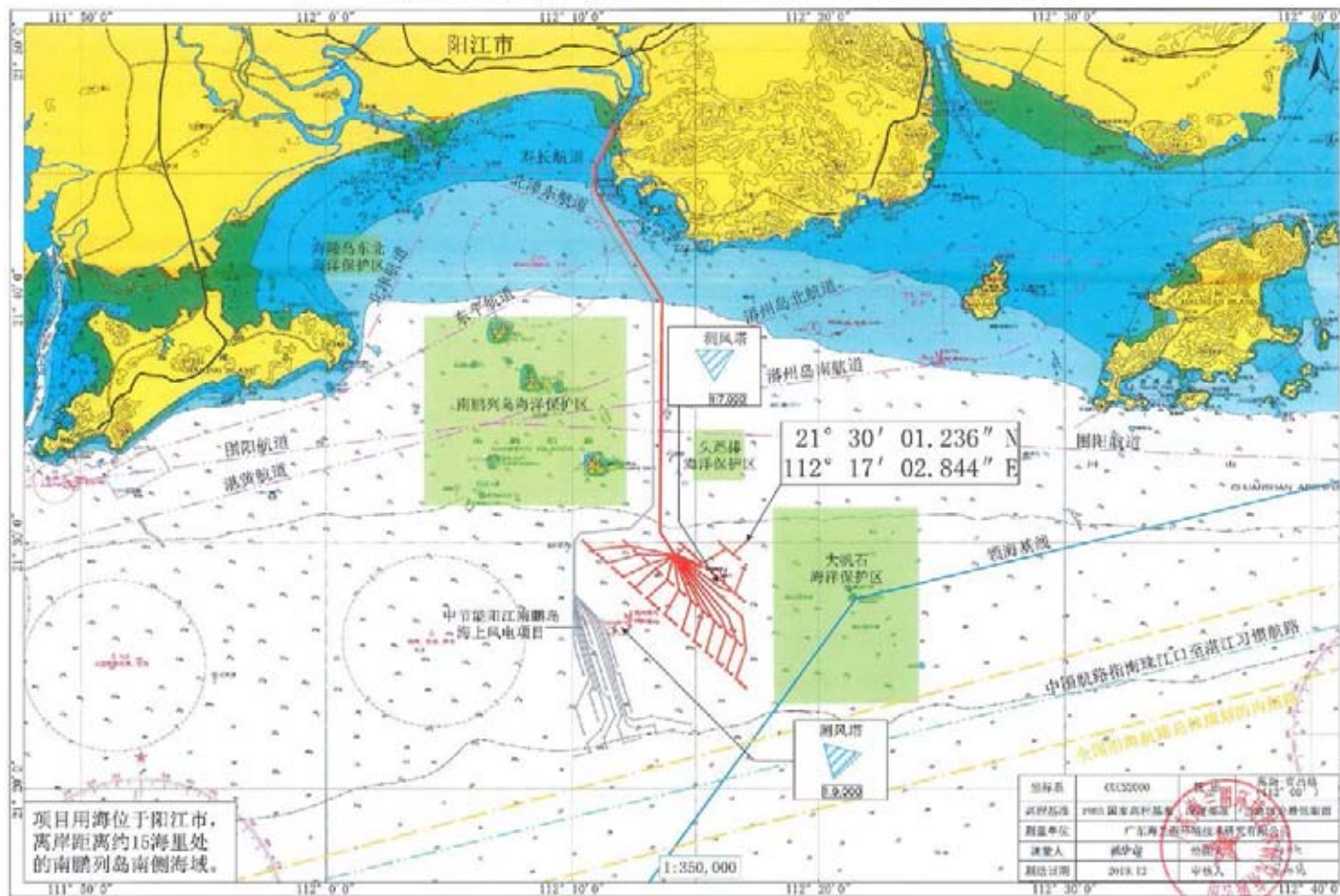


图 3.4-1 工程方案调整后的宗海平面布置图

中广核阳江南鹏岛海上风电场工程宗海平面布置图

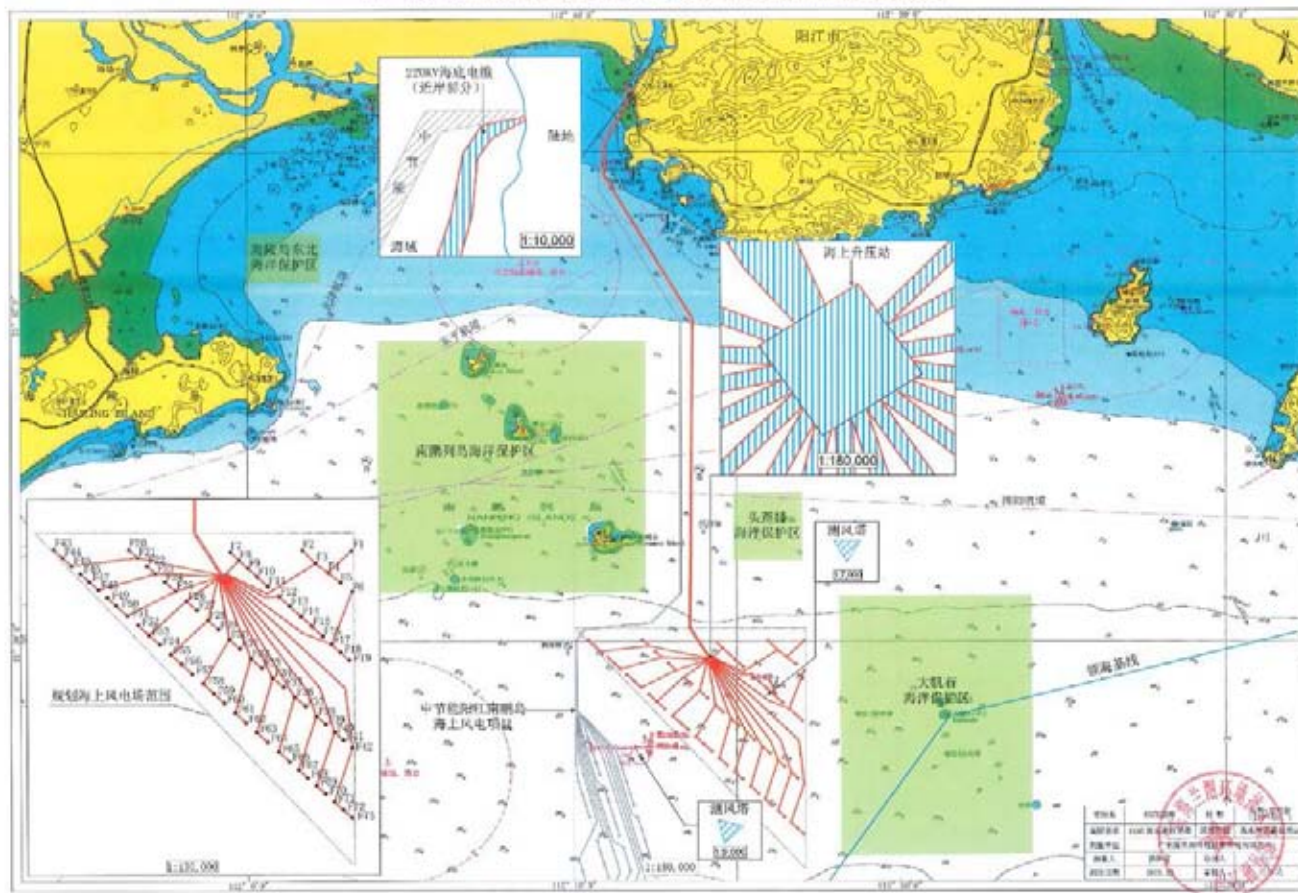


图 3.4-2a 工程方案调整后风电场宗海界址图

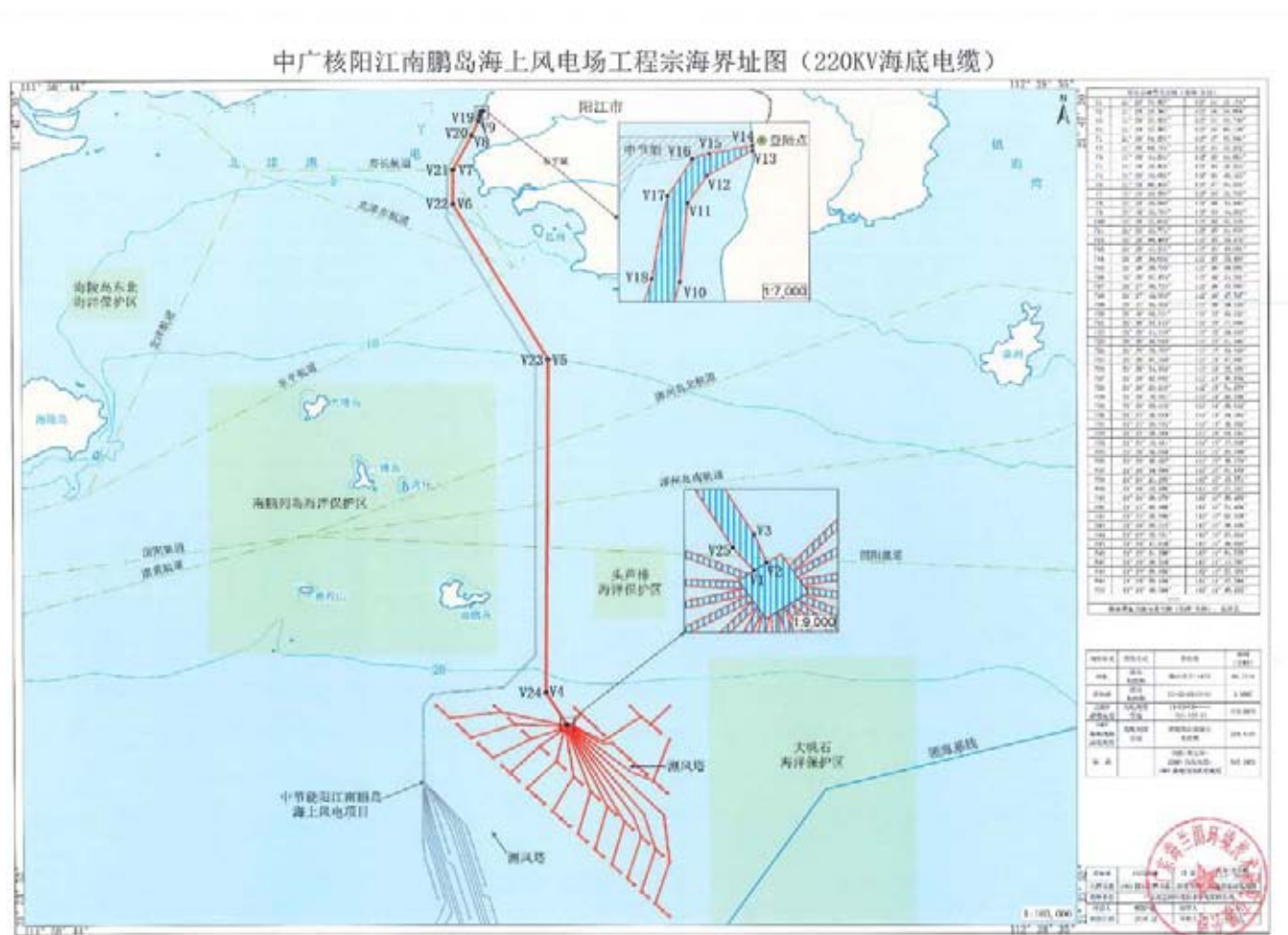
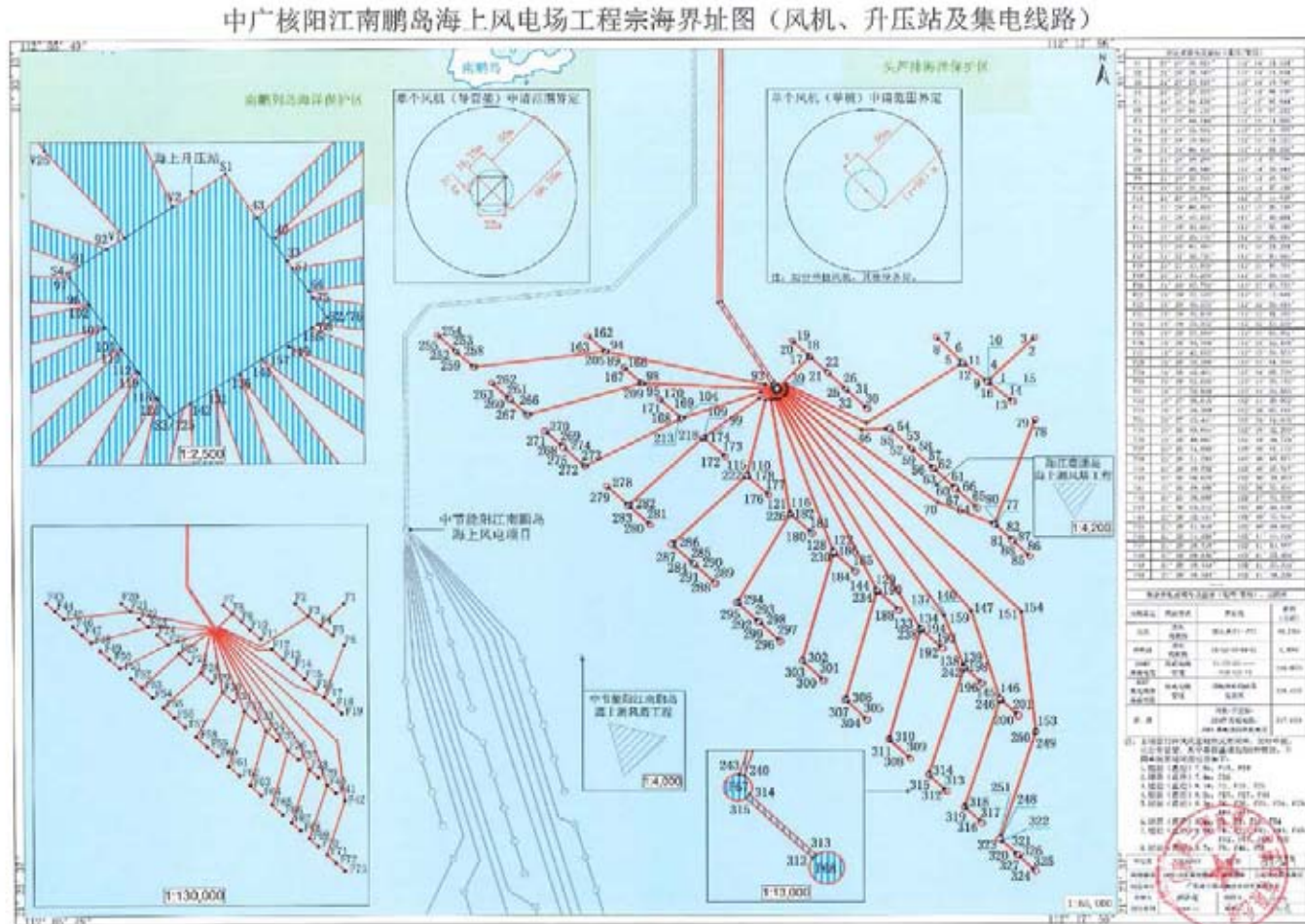


图 3.4-2b 工程方案调整后风电场宗海界址图



3.5 工程管理及运行维护

工程方案调整后，工程管理及运行维护工艺不变。

4 工程分析

4.1 生产工艺与过程分析

工程方案调整主要涉及海上升压站位置、风机位置、风机基础和海缆路由。风机机组施工、海上升压站施工工序和产污环节与原环评基本一致；工程方案调整未涉及发电规模和风机型号，因此运营期风电场主要运行工序和产污环节与原环评保持一致；详见图 4.1-1-图 4.1-4。

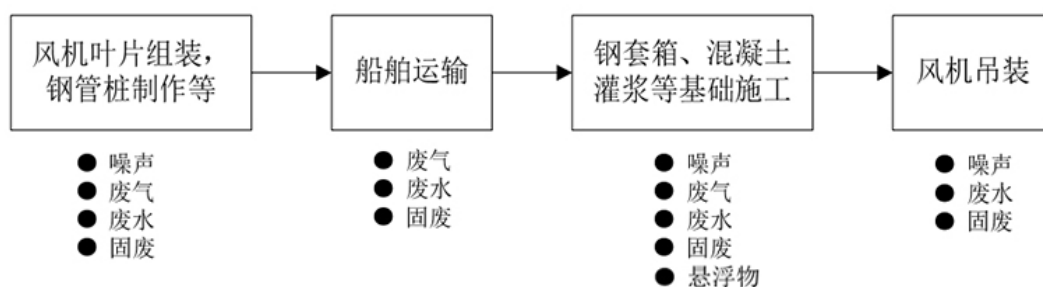


图 4.1-1 风机机组施工工序及产污环节

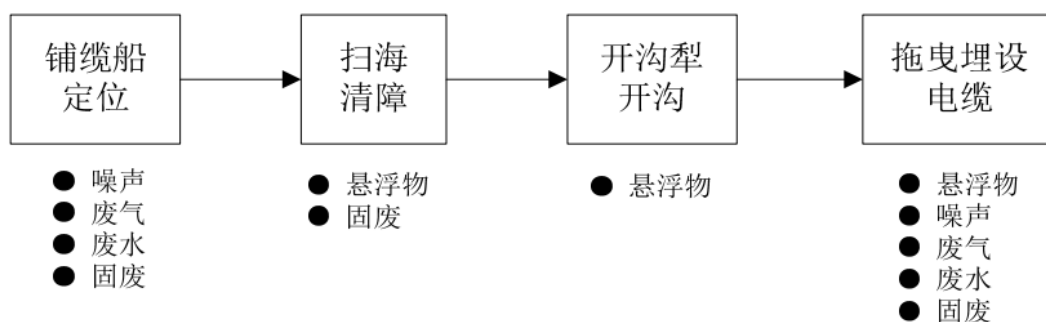


图 4.1-2 海缆施工工序及产污环节

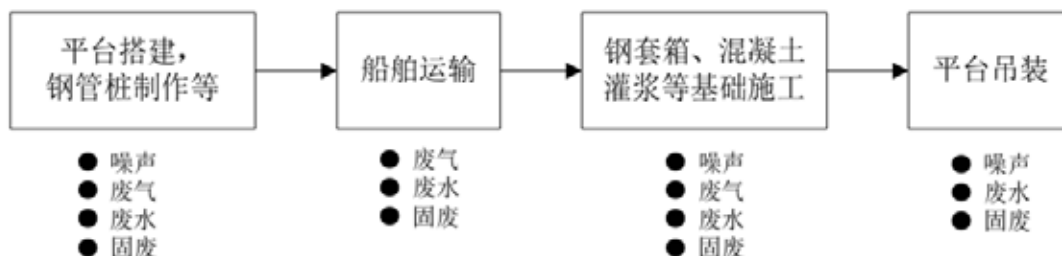


图 4.1-3 升压站施工工序和产污环节

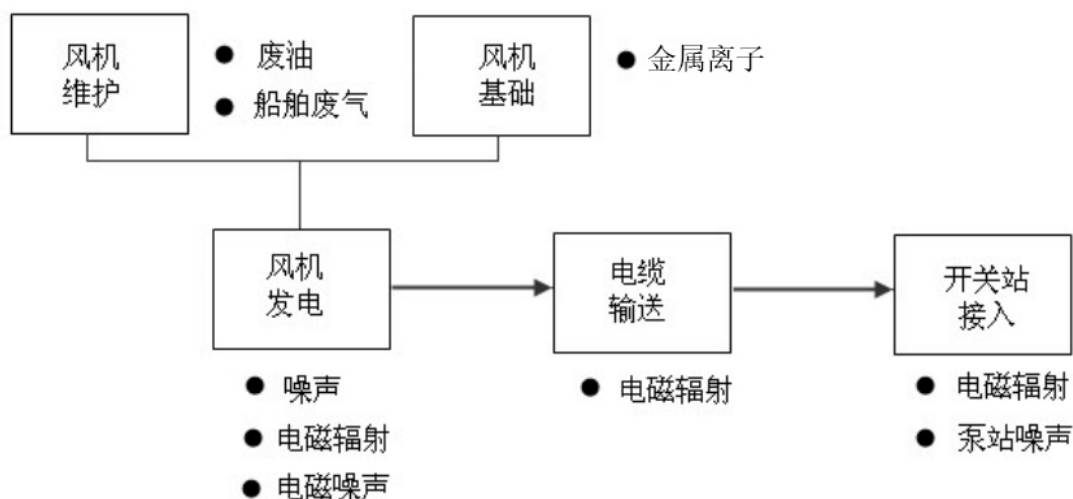


图 4.1-4 风电场主要运行工序及产污环节

4.2 工程方案调整涉及的环境影响因素分析

4.2.1 施工期环境影响因素分析

4.2.1.1 对海域水质和沉积物影响

(1) 风机基础沉桩

本工程风机钢管桩基用 IHS-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。根据东海大桥海上风电实际施工经验，开挖和打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加（>10mg/L）范围一般在半径在 100m 内。

本工程 41 台导管架基础风机单根钢管桩直径 2.4m，每根桩基础壁厚为 35~55mm，平均入土深度为 75m；32 台单桩基础风机钢管桩平均直径约为 8.4m，桩基础厚为 70~95mm，平均入土深度约为 53m。工程打桩时产生的悬浮物泥沙量采取如下公式进行计算：

$$M = \pi \times (0.25 \times D^2 - (0.5 \times D - d)^2) \times h \times \rho \times n$$

其中，M：桩基施工时产生的泥沙量；

D：钢管桩直径，根据工程方案，导管架基础钢管桩直径 2.4m，单桩基础钢管桩直径 8.4m；

d：钢管桩厚度，根据工程方案，导管架基础钢管桩厚度 0.055m，单桩基础钢管桩厚度 0.095m；

h：桩基深度，根据工程方案，导管架钢管桩深度取 75m，单桩基础钢管桩

深度取 53m;

ρ : 覆盖层泥沙浓度, 根据有关资料, 取值为 1309kg/m^3 ;

n : 泄漏量, 按照垢工量的 5% 估算。

根据施工设计和施工进度安排, 每个桩打桩施工时间约为半天, 按每天工作 8 小时计算。根据上述公式, 钢管桩基础打桩施工产生的悬浮物源强为 0.11kg/s , 单桩基础打桩产生的悬浮物源强为 0.25kg/s 。

(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。同时, 在海缆敷设前, 会将旧有废弃缆线、插网、渔网等小型障碍物进行扫海清除, 一般仅在泥面上层操作, 引起的海底扰动较小, 远小于与“埋设犁”敷设产生的扰动, 因此, 扫海产生的悬浮物与“埋设犁”敷设过程一并考虑。

工程方案调整后, 海上升压站位置变化, 由此造成 220kV 和 35kV 海缆做了相应变更, 海缆布置及长度均发生改变, 本次调整对变更后的施工悬浮物源强进行重新计算。220kV 海缆施工强度由调整前的开挖深度 2~3m 确定为 2.5m, 35kV 集电海缆施工强度由调整前的开挖深度 2~3m 确定为 3m, 因此海缆施工悬浮物源强略有变化, 具体计算方法如下:

本工程 220kV 海底电缆敷设埋深 2.5m (原环评取 3m, 本报告根据现阶段施工方案确定为 2.5m), 35kV 集电海缆敷设埋深 3m (原环评取 3m), 根据同类工程, 设海缆沟槽底宽约 0.3m, 顶宽约 0.5m, 正常铺设速度为 1~5m/min, 按不利条件考虑, 单条 220kV 电缆施工的悬浮物 $5\text{m}^3/\text{min}$, 折合 $300\text{m}^3/\text{h}$, 电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 20% 计算, 则为 $60\text{m}^3/\text{h}$; 35kV 集电海缆施工的悬浮物为 $6\text{m}^3/\text{min}$, 折合 $360\text{m}^3/\text{h}$, 电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 20% 计算, 则为 $72\text{m}^3/\text{h}$ 。

泥沙干容重按照公式 $\gamma_s = 1750D_{50}^{0.183}$ 计算, D_{50} 为泥沙中值粒径。根据《中广核阳江南鹏岛海上风电工程环境影响报告书》的内容, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司编制的《中广核阳江南鹏岛海上风电场项目夏季全潮水文观测报告》, 本次调查海域沉积物中值粒径主要集中在 0.01~0.02mm 之间, 本次公式中中值粒径取 0.02mm, 计算得到泥沙干容重为 855.32kg/m^2 。由此计算单条 220kV 电缆施工的悬浮物源强为 14.26kg/s ; 35kV 集电海缆施工的悬浮物源强为

17.12 kg/s。

落潮后水深小于 3m 的区域，采用两栖挖掘机进行挖沟和回填。工程开挖直埋段的断面为 1000m×0.8m×2m，施工期约为 3d（每天 8h），施工产生的土方量约为 66.67 m³/h；开挖施工的悬浮物源强以施工土方量的 20% 计算，泥沙干容重为 855.32kg/m³，因此，开挖施工产生的悬浮物源强为 3.17kg/s，源强较小。

（3）钢管桩吸泥排放及灌浆连接

钢管桩插打完成后，需用水泵抽出钢管桩及送桩钢管内海水，清除多余泥土，此部分泥水混合物若就地排放，产生的悬浮物对海洋水质将造成影响。按照泥浆泵流量为 10m³/h，泥沙干容重为 855.32kg/m³，导管架基础施工钢管桩吸泥的排放源强为 9.5kg/s（干容重）。

同时，桩基础与风机导管架间需进行灌浆连接，所灌注混凝土砂浆可能发生泄漏、溢出，进而可能对桩基附近水质和沉积物环境造成污染。

（4）施工污废水

①船舶污废水

工程方案调整后，海上施工船舶数量及种类较原环评有一定的变化，经核实，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 91.63kg/d。船舶机舱含油污水前锋后上岸送至有资质单位统一处理，不排海。

表 4.2-1 船舶油污水产生量

船舶吨级 (t)	船舶数量 (艘)	舱底油污水产生量 (t/d·艘)	油污水产生总量 (t/d)
500	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	15.4
合计			36.65

施工期，海上作业平均人数仍按 200 人计，船舶作业人员生活污水排放量和原环评报告中相同，生活污水排放量为 17m³/d，COD_{Cr}、BOD₅、和 SS 的排放量分别为 5.1kg/d、2.6kg/d 和 2.6kg/d。

②陆上施工废水

陆上施工废水量和污染物排放量与原环评相比无变化，主要包括各类机械维护冲洗废水、混凝土拌和废水等，主要集中在施工基地等。

4.2.1.2 对海洋生态和渔业资源影响

本工程施工期对海洋生态和渔业的影响主要来自于以下三方面。

(1) 底栖及潮间带生境破坏

风机基础及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖及潮间带生境造成直接破坏，进而引起底栖生物和潮间带生物量的损失。工程方案调整后，风机基础及风机布置较原环评有所变化。根据工程初步设计总说明，导管架基础桩基为2.4m，单台导管架基础占用海域面积约为18.09m²，41台导管架基础占用海域面积为741.69m²；32台单桩基础桩径分布为7.8m有2台，7.9m有1台，8.1m有3台，8.2m有3台，8.3m有7台，8.4m有4台，8.5m有9台，8.7m有3台，计算32台单桩基础占用海域面积为1746.18m²；73台风机底栖生境破坏面积为2487.87m²。

工程方案调整后，220kV海底电缆长度增加约2.04km，同时35kV海底电缆长度减少约6.3km，本工程总体减小潮下带底栖生境影响长度约4.26km，潮间带底栖生境影响长度基本不变。考虑潮下带单根电缆开挖过程中的悬浮物再沉降的边际效应，单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围约为20m，则调整后总长约190.04km海缆施工造成的底栖生境破坏面积约379.58hm²，潮间带生境破坏面积约0.5hm²。

表 4.2-2 调整前后工程施工底栖（潮间带）生境影响范围

项目	底栖生境破坏面积 (hm ²)			潮间带生境破坏面积 (hm ²)		
	原环评	调整后	变化值	原环评	调整后	变化值
风机基础压占	1.825	0.2488	-1.5762	-	-	0
海缆敷设破坏	371.14	379.58	8.44	0.5	0.5	0
合计	372.97	379.83	6.86	0.5	0.5	0

(2) 悬浮泥沙扩散影响

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由沿线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。

(3) 水下噪声影响

施工水下噪声污染源包括海底电缆埋设噪声、运输船只行驶噪声及桩基打桩噪声，水下噪声对海洋生物存在一定影响，根据预测，本项目导管架基础桩柱施

打时水下噪声源强可达 220dB re1 μ Pa-m; 单桩基础桩柱施打是水下噪声源强可达 250dB re1 μ Pa-m。

(4) 海域临时占用影响

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

4.2.1.3 对鸟类及陆生动植物资源影响

工程施工期间,由于人类活动、交通运输工具、施工机械的机械运动产生的噪声、灯光等可能对鸟类和其他陆生动物的栖息、觅食产生一定影响。工程方案调整后,工程总体位置未发生变化,施工工艺及强度基本与原环评一致,因此鸟类及陆生动植物资源的影响程度、范围与原环评相比不会有明显变化。

4.2.1.4 对声环境影响

(1) 海上施工噪声源强

1) 水上噪声源强

水上施工噪声主要来源于施工材料的运输、风机设备的组装等施工活动,与原环评相比没有变化。本工程所采用的 IHC S-800 液压打桩锤在配备荷兰研究所 TNO/TPD 开发的隔声外壳后 7m 处的噪声级为 85dB (A),噪声源强约为 102dB (A)。

2) 水下噪声源强

施工水下噪声污染源包括海底电缆埋设噪声、运输船只行驶噪声及桩基础打桩噪声,与原环评相比没有变化。桩基施工产生的水下噪声与桩径有关,方案调整后,导管架桩基施工产生的水下噪声声源级源强为 220dB1 μ Pa-m,单桩桩基施工产生的水下噪声声源级源强为 250dB1 μ Pa-m,海底电缆埋设造成的水下噪声相对较小。

(2) 陆上施工噪声源强

陆上施工噪声主要来源于土方开挖、浇筑以及施工材料的运输等施工活动,与原环评相比没有变化,具体见表 4.2-3。

表 4.2-3 陆上施工机械噪声源强 单位: dB (A)

序号	设备名称	噪声源强 (距声源 10m)
----	------	----------------

1	打桩机	105
2	推土机	85
3	挖掘机	80
4	插入式振捣器	75
5	运输汽车	80
6	混凝土泵	80
7	装载机	78
8	压路机	75

4.2.1.5 固体废弃物影响

(1) 海上施工固废

工程方案调整后，海上施工作业固废主要来自导管架基础施工时表层淤泥清理，结合工程底质情况，平均每个机位清淤量约 40m³，总计清淤量 1640m³，清淤淤泥原位堆积在风机基座周边，在海流作用下自然运移重分布。

(2) 陆上施工固废

工程方案调整后，施工人数未发生变化，因此，施工期间生活垃圾总产生量仍为 0.5t/d。船舶生活垃圾靠岸后定点集中收集，陆上施工人员生活垃圾在施工区集中收集，收集后均由环卫部门定时清运。但若处置不当，会对工程区域的土壤和水环境造成污染，并影响环境卫生。

4.2.1.6 对环境空气影响

本工程施工期大气污染源主要为各施工基地及施工区各类施工船舶、车辆、机械设备及施工供电柴油发电机等，各类机械设备均以柴油或汽油为燃料。施工机械和车辆运行会产生一定量废气，主要污染物质包括 NO_x、CO、SO₂ 等。

4.2.1.7 对通航环境的影响

工程水域分布众多航道、水道，本工程海域附近的航道主要有北津航道、东平航道、潯洲岛北航道、潯洲岛南航道、围阳航道、寿长航道；同时工程海域附近锚地较多，与风电场水域距离较近的锚地主要为阳江港 2 号中型船舶候潮锚地、阳江港大型船舶候装卸锚地。本工程施工期间大量施工、运输船舶将往来穿梭于工程海域，造成海域船舶密度短期内增加，因此将对该海域航运造成一定的不利影响。

4.2.1.8 施工期污染物排放量汇总

工程方案调整前后施工期污染物排放与原环评基本一致，详见表 4.2-4。

表 4.2-4 施工期污染物排放量

污染物种类	污染源	发生量	主要污染物	排放方式
悬浮泥沙	扫海清障	小于 1kg/s	SS	自然排放
	桩基施工	少量		
	电缆铺设	220kV 海缆 14.26kg/s		
		35kV 海缆 17.12kg/s		
220kV 电缆埋设	3.17kg/s			
污水	船舶生活污水	17m ³ /d	COD、BOD ₅ 、SS、 氨氮、动植物油	上岸交由有资质的船舶 污染物接收处理单位达 标处理
	船舶含油污水	21.25t/d	石油类	
	陆域生活污水	30m ³ /d	COD、BOD ₅ 、SS、 氨氮、动植物油等	收集后经处理系统粗粒 达到广东省地方标准《水 污染物排放限制》 (DB44/26-2001)三级标 准后纳入施工区周围现 有污水处理系统处理排 放
	陆域施工废水	65m ³ /d	石油类、SS	
固体废弃物	生活垃圾	0.5t/d	食品残渣、包装袋	集中收集交由环卫部门 处理
	其它固废	1640m ³	导管架基础施工清 淤	原位堆积排放
噪声	桩基施打（水面）	102dB（A）	-	自然排放
	导管架桩基施打 （水下）	220 dB(re 1μPa)	-	自然排放
	单桩桩基施打（水 下）	250 dB(re 1μPa)	-	自然排放

4.2.2 运营期环境影响因素分析

风力发电的工艺流程是利用自然风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程。在生产过程中不消耗燃料，不产生污染物。本工程建设不会改变已核准工程方案的风电机组机型，仅改变海上升压站位置和海缆敷设，风机位置微调，方案调整不会对运营期各项环境影响程度、范围及对各环境敏感目标影响程度造成较大改变。

4.2.2.1 对海域水动力影响

本项目建成后，风机墩柱及升压站基础在一定程度上改变局部海底地形，因此可能对工程海域附近潮流场尤其是风机墩柱周围的流场产生一定影响，表现为海域局部流速、流向及潮位的变化。海上升压站位置调整后，工程对水文动力及周边敏感目标的影响程度可能有所改变。

4.2.2.2 对海域地形地貌与冲淤影响

本风电场在区域海域内呈斑点状分布，风机之间间距较大。由于底流在钢管桩周围产生涡流，将海底泥沙搅动悬浮带走，因此将在一定程度上改变局部海床自然性状，使该区域的冲淤情况发生一定改变。海上升压站位置调整后，工程对冲淤及周边敏感目标的影响程度可能有所改变。

4.2.2.3 对区域海域水质影响

方案调整后，工程运营期油类污染物、生产废水以及生活污水产生量不变，不会改变对海域水质环境的影响。

工程运行期对海水水质环境的重金属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。方案调整后，单桩基础风机阳极锌释放量为 119.17kg/a，导管架基础风机阳极锌释放量为 45.4kg/a，整个风电场阳极锌释放量为 5.67t/a，释放的锌按 87% 进入海水中随潮流扩散，则每年进入海水中的锌为 345.60kg/a，较原环评增加 181.74kg/a。

4.2.2.4 对沉积物环境影响

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。本工程钢管桩采用铝锌钢镁钛合金作为本工程的防腐牺牲阳极材料，牺牲阳极化学成分及电化学性能分别见表 4.2-5 和表 4.2-6。

表 4.2-5 Al-Zn-In-Mg-Ti 合金牺牲阳极的化学成分

阳极种类	化学成分/%							Al
	Zn	In	Mg	Ti	杂质，不大于			
					Si	Fe	Cu	
铝-锌-钢-镁-钛合金牺牲阳极	4.0~7.0	0.020~0.050	0.50~1.50	0.01~0.08	≤0.1	≤0.15	≤0.01	余量

表 4.2-6 Al-Zn-In-Mg-Ti 合金牺牲阳极电化学性能

项目	工作电位 V	实际电容量 A·h/kg	电流效率 %	消耗率 kg/A·a	溶解状况
电化学性能	-1.12~-1.05	≥2600	≥90	≤3.37	腐蚀产物容易脱落表面溶解均匀

导管架基础牺牲阳极每根桩选用 2 块约 198kg 的高效铝合金，单桩基础牺牲

阳极选用 21 块约 198kg 的高效铝合金。根据设计，单块高效铝合金年消耗率为 3.37kg/A·a，电流效率≥90%，设计使用年限内每块阳极的平均输出电流为 1.871A，计算导管架基础单根桩的阳极消耗（溶解）量为 11.35kg/a；单桩基础阳极消耗（溶解）量为 119.17kg/a；则 73 台风机年消耗（溶解）总量为 5.67t/a。阳极含锌量按表 4.2-5 中最高含量 7.0% 计算，则整个风电场阳极锌释放量为 397.24kg/a，按 13% 进入海底沉积物，运行期 25 年计，本工程锌释放至海底沉积物总量约为 1.29t，较原环评增加 0.679t。

4.2.2.5 其他环境影响

营运期其他环境影响包括对海洋生态和渔业资源影响、对鸟类的影响、声环境影响、电磁环境影响和固体废弃物影响。由于调整方案不改变风机机型及风机数量，海缆长度略有改变，因此营运期其他环境影响与调整前基本一致。

4.3 环境影响识别及评价因子

根据以上分析，工程方案调整后本工程施工期和营运期环境影响因素及影响因子列表 4.3-1 和表 4.3-2。

表 4.3-1 施工期环境影响评价因子一览表

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

环境要素	影响原因	影响性质	影响范围	评价因子	评价程度
渔业生产	渔业资源受施工影响损失、业生产面积减小	部分不可逆, 较大	风机及海底电缆沿线周边海域	渔业生产面积、捕捞生产	-2
环境卫生	施工人员生活垃圾	可逆, 较小	陆上、海上工程施工区域	-	-1
人群健康	施工人员进驻	可逆, 较小		-	-1

注：+有利影响；-不利影响；/无影响；

1：表示环境要素所受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析与预测；

2：表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行影响分析；

3：环境要素所受影响程度为较大或较为敏感，进行重点评价。

表 4.3-2 运行期环境影响评价因子一览表

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

注：+有利影响；-不利影响；/无影响；

1：表示环境要素所受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析与预测；

2：表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行影响分析；

3：环境要素所受影响程度为较大或较为敏感，进行重点评价。

5 区域自然环境和社会环境概况

5.1 区域自然环境概况

5.1.1 气象特征

阳江市地处北回归线以南，南临南海，属亚热带季风性气候。冬半年处于冷高压的东南边缘，受冬季风影响，干燥少雨；夏半年处于西南季风与副热带东南季风的过程区，受来自海洋的夏季风影响，温暖多雨，同时南海的热带辐合带和台风活动有时也带来大风暴雨的天气。

据阳江气象站和闸坡海洋站的长期观测资料统计，本地区多年平均气温为22~23℃，一月份平均气温最低，为14.8~15.4℃；七月份平均气温最高，为28.1~28.6℃。历年极端最高气温阳江站为38.3℃，闸坡站为36.2℃。历年极端最低气温阳江站为-1.4℃，闸坡站为1.5℃。相对湿度的多年平均值都为81%，相对湿度和季风现象密切相关，最高值发生在3~9月份的春季和夏季。

阳江市是广东省多雨地区之一。年雨量分布呈双峰型，即冷空气降水和热带气旋(台风)降水，两者的量级相当。多年平均年降水量阳江站为2347.2mm，闸坡为1819.8mm。在一年中，各月的降水差异较大。4~9月为雨季，在这6个月中的降水量占全年总降水量的85%。在雨季，有明显的两个汛期。4~6月为前汛期，以冷空气降水为主；7~9月为后汛期，以热带气旋(台风)降水为主。这两个峰期都有着同等重要的影响。10月至次年3月为旱季，降水较少，平均每月不足100mm，尤其是11、12月和次年1月，其月平均降水不足50mm。

冬半年受蒙古冷高压影响，东北季风气流越过南岭后南下影响到本区。由于冷高压南移是周期性的，一旦南下的冷高压东移出海减弱，本地区处于脊后槽前天气形势，就会转吹偏东南风，因此冬半年常出现NE与偏SE风交替，但主导风向为NE风。夏半年冷高压开始减弱，太平洋副热带高压加强，NE风频率减少。夏季本地区处于西南季风与副热带东南季风的过程区，主要为SW风和ESE风。随着西太平洋副热带高压的周期性东退和西进，出现了两种气流的交替影响，水文特征同时南海的热带辐合带和台风活动有时也带来大风暴雨的天气。秋季SW风已减弱，东北季风开始强盛，出现了东北季风与东南季风交替的天气现象，偶有台风影响。

根据阳江气象站 1953-2009 年气象资料统计分析得风电场各主要气象要素见表 5.1-1。

表 5.1-1 阳江气象站主要气象要素特征值（1953-2009 年）

项目	单位	指标	发生时间
气温	多年平均	°C	22.5
	多年极端最高	°C	38.3
	多年极端最低	°C	-1.4
气压	对年平均	hPa	1010.0
	多年平均水气压	hPa	23.1
湿度	多年平均	%	80
降水量	多年平均年总量	mm	2336.1
	年最大降雨量	mm	3611.3
风速	多年最大风速	m/s	34.6
	多年极大风速	m/s	52.5
雷暴	多年平均	d	85.7

5.1.2 地形地貌

风电场场区位于阳江南鹏岛以南 4.7km 海域，海域宽阔，附近未见岛屿、礁石分布，海底高程在 -30.2~-21.6m 之间。水下地形平坦，属海积地貌单元。地层主要为全新统海相沉积层、海陆过渡相沉积层(Q^m_4 、 Q^{m+al}_4)、晚更新统海陆交互沉积层(Q^{m+al}_3)，基岩为寒武系八村群片岩(ϵ)、印支期花岗岩(γ_{15})。

5.1.3 工程地质

2018 年 2 月 19 日~2018 年 9 月 5 日，中国能源建设集团广东省电力设计研究院开展了场区工程地质钻探、取样、原位测试、波速测试以及海床岩土体电阻率测试等外业工作，完成钻孔 80 个。

根据区域地质及钻孔资料，风电场地层覆盖层主要四个大层，即全新统海相、海陆过渡相沉积层(Q_4^m 、 Q_4^{m+al})、晚更新统海陆交互沉积层(Q_3^{m+al})和残积层(Q^el)。下伏基岩为寒武系八村群片岩、印支期侵入花岗岩；场区覆盖层厚度自西北向东南逐渐增大，一般大于 80m。

5.1.4 水文条件

5.1.4.1 潮汐

本工程已于 2015 年 5 月 14 日~2016 年 5 月 16 日完成潮位（大澳站）周年观测与分析专题。潮位周年观测得到的潮位特征值见表 5.1-2。大澳站各基面间

的关系见图 5.1-1。其中理论深度基准面为理论上可能出现的最低潮面由周年观测资料计算得到。

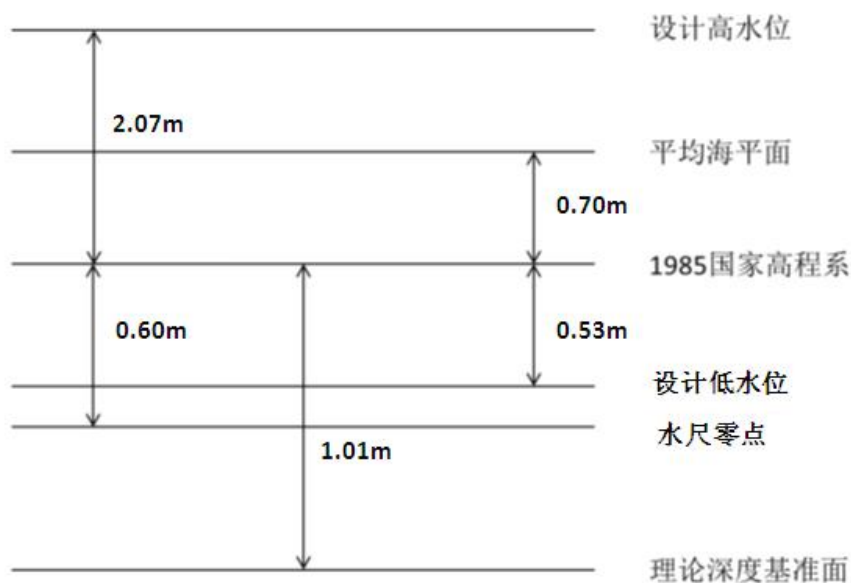


图 5.1-1 当地基面关系图

表 5.1-2 潮汐特征表（1985 国家高程基面下）

项目	指标
年最高潮位	2.33m
年最低潮位	-1.12m
年平均高潮位	1.25m
年平均低潮位	-0.17m
年平均潮位	0.55m
年平均潮差	1.42m
最大潮差	5.18m
平均涨潮历时	5h37min
平均落潮历时	6h59min

5.1.4.2 波浪

本风电场离岸 20km 以上、南临广阔的南海海面，四周没有岛屿等遮挡，风电场所处海区受波浪影响显著，尤其是南海频繁的台风浪。根据观测结果，本海区主要受西南季风、热带气旋、东北季风三种天气系统所影响。其中，冬季波高最大，全年最大波高与有效波高的极值分别为 1289cm 与 681cm；年平均有效波高与平均波高分别为 92cm 与 58cm。整个观测期间，观测海域的常浪向为 ESE，出现频率为 44.24%；次常浪向为 S，出现频率为 21.15%。强浪向主要位于 S 和

SE 区间。

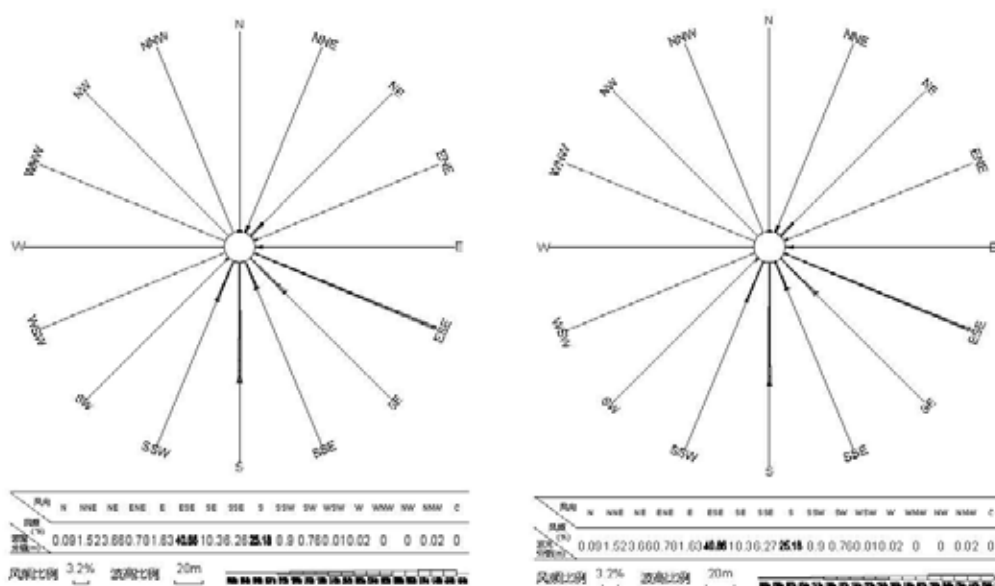


图 5.1-3 全年 1/10 大波玫瑰图（左侧）、全年有效波玫瑰图（右侧）

5.1.4.3 海流

夏季水文测验期间，实测涨、落潮段平均流速分别为 17.0cm/s 和 15.5cm/s，大潮期间落潮段流速小于涨潮段流速，中潮和小潮期间涨潮段流速大于落潮段流速；其中，大潮分别为 15.0m/s 和 20.8cm/s；中潮为 14.0cm/s 和 12.4cm/s；小潮分别为 22.2m/s 和 13.4m/s。涨潮流速表现为小潮大于大潮、中潮，落潮表现为大、中潮大于小潮。

冬季水文测验期间，实测涨、落潮段平均流速上层分别为 25cm/s 和 14cm/s，下层分别为 13cm/s 和 10cm/s，均表现为涨潮段流速大于落潮段流速；其中，大潮上层分别为 24cm/s 和 14cm/s，下层分别为 14cm/s 和 11cm/s；中潮上层为 24cm/s 和 14cm/s，下层为 12cm/s 和 10cm/s；小潮上层分别为 26cm/s 和 14cm/s；下层分别为 13cm/s 和 8cm/s，垂线平均流速均表现为上层大于下层，上层水体涨潮流速表现为小潮大于大潮、中潮，落潮表现为大、中、小潮流速差异不大，下层涨潮流速表现为大潮大于小潮、中潮，落潮流速表现为大、中潮大于小潮。

5.1.5 泥沙

沉积物以粘土质粉砂为主，占 68%，其次是砂质粉砂，占 27%，粉砂质砂最少，占 5%。粘土质粉砂主要分布在离岸不远处，砂质粉砂主要在集中风电场

的南部和东南部海域。

泥沙来源主要为：工程区周围海岸多为砂质弧形海湾，在台风浪的影响下，易带侵蚀泥沙入海，是不可忽略的沉积物源；整个海域适应底栖生物，特别是贝、螺、蚬、蛤类繁殖，沉积物中富含底栖生物活体、残体及贝类碎屑，是现代沉积物的重要组成部分。

场址水深在 22~31m 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，年平均含沙量仅在 0.0011~0.004kg/m³ 之间，年输沙量较少，海水含沙量较低。场址 22~23m 深海域的海床形态存在一定淤积，其余海域在较长时间内处于相对稳定的状态。

5.2 海域开发利用现状

调整后，项目所在位置在规划风电场范围之内，项目调整内容主要为：对风机位置以及 220kV 路由走向进行了微调。风电场建设规模不变。项目周边海域开发利用活动大部分未发生变化，本报告主要对周边海域开发利用活动的内容进行更新补充分析。

根据现场踏勘以及结合遥感影像、海图以及业主提供的资料，了解了项目路由及风场区域附近海域的开发利用现状，项目评价范围内的开发活动主要有保护区、养殖区、锚地以及航道航路、其他风电项目以及测风塔工程等。

项目周边海域开发利用现状图见图 5.2-1。本项目周边海域开发利用活动统计一览表见表 5.2-1。

(1) 保护区

项目周边涉及到的保护区有南鹏列岛海洋保护区、头芦排海洋保护区、大帆石海洋保护区等。

1) 南鹏列岛海洋保护区

本保护区为省级自然保护区，位于项目电缆西侧约 2.33km，广东省政府 2008 年 11 月 10 日批准建立（《关于同意阳江南鹏列岛海洋生态自然保护区升格为省级自然保护区的复函》粤府办[2008]715 号），主要保护海岛周边海域国家级、省级重点保护水生野生动物，渔业资源及海洋生物多样性。东至：112° 12' 11"，西至 112° 04' 00"，南至 21° 31' 29"，北至 21° 39' 11"。

2) 头芦排海洋保护区

本保护区为县级自然保护区,位于项目电缆东侧约 2.28km,阳东区政府 2004 年 12 月 9 日批准建立(《关于建立阳东区头芦排海洋生态县级自然保护区的批复》东府复[2004]8 号),主要保护保护区内海洋生物多样性、渔业资源。东至: $112^{\circ} 16' 59''$, 西至: $112^{\circ} 14' 54''$, 南至: $21^{\circ} 32' 30''$, 北至: $21^{\circ} 34' 35''$ 。

3) 大帆石海洋保护区

本保护区为海洋功能区划划定自然保护区,位于风机基础东侧,约 1.81km,主要保护大帆石领海基点。东至: $112^{\circ} 24' 03''$, 西至: $112^{\circ} 18' 09''$, 南至 $21^{\circ} 23' 27''$, 北至 $21^{\circ} 31' 25''$ 。

(2) 养殖区

本项目路由登陆点附近历史上存在有较多的养殖区,根据实地调访和查询海洋管理部门统计数据,目前项目路由登陆点周边的养殖区大部分均已注销权证,仅雷自兵的养殖权证未被注销,但其权证已过期。其中本项目路由与雷自兵的开放式养殖用海相重叠。

本项目路由西侧约 8.74km 为阳江海纳水产有限公司的阳江市大镬岛二期、二镬岛深水网箱建设项目,路由西侧约 10.22km 还有海纳水产有限公司的阳江市海纳水产养殖有限公司大镬岛大型抗风浪深水网箱开放式养殖用海项目,两项目均为深水网箱养殖用海项目。

(3) 锚地及航道航路

本项目风电场西侧约 6.61km 为阳江港大型船舶候装卸锚地,路由西侧约 1.28km 为阳江港 2 号中型船舶候潮锚地。

本项目路由由南向北穿过了 6 条航道,该 6 条航道分别为:围阳航道、潯州岛南航道、潯州岛北航道、东平航道、北津东航道以及寿长东航道。上述 6 条航道均非经过疏浚和建设的专用航道,主要为沿海小船舶习惯性航道和商船推荐航道。

(4) 其他风电项目以及测风塔工程

项目风电场厂址内为阳江南鹏岛海上测风塔工程,该测风塔工程业主为中广核风电有限公司华南分公司,该测风塔为本风电项目的测风塔工程,用海方式为透水构筑物;本项目风电场西南侧约 2.76km 为中节能阳江南鹏岛海上测风塔工程,该测风塔工程西侧紧邻为中节能阳江南鹏岛海上风电场项目。

(5) 项目周边其他用海项目

除上述海洋保护区、锚地以及航道航路、其他风电项目以及测风塔工程等用海项目外，本项目周边其他用海项目主要为：项目风电场西侧约 3.75km 的倾倒区，项目路由东侧约 2.03km 的阳江市阳东县珍珠湾海滨浴场项目，项目路由东侧约 0.37km 的新型浮式防波设施关键技术研究示范，项目路由东侧约 3.97km 的阳江核电厂工程以及路由东侧约 4.41km 的东平渔港仓储物流加工服务基地。

新型浮式防波设施关键技术研究示范属于科研教学用海，其用海主体为中山大学，主要设置浮式透水构筑物，研究其对波浪的影响情况。

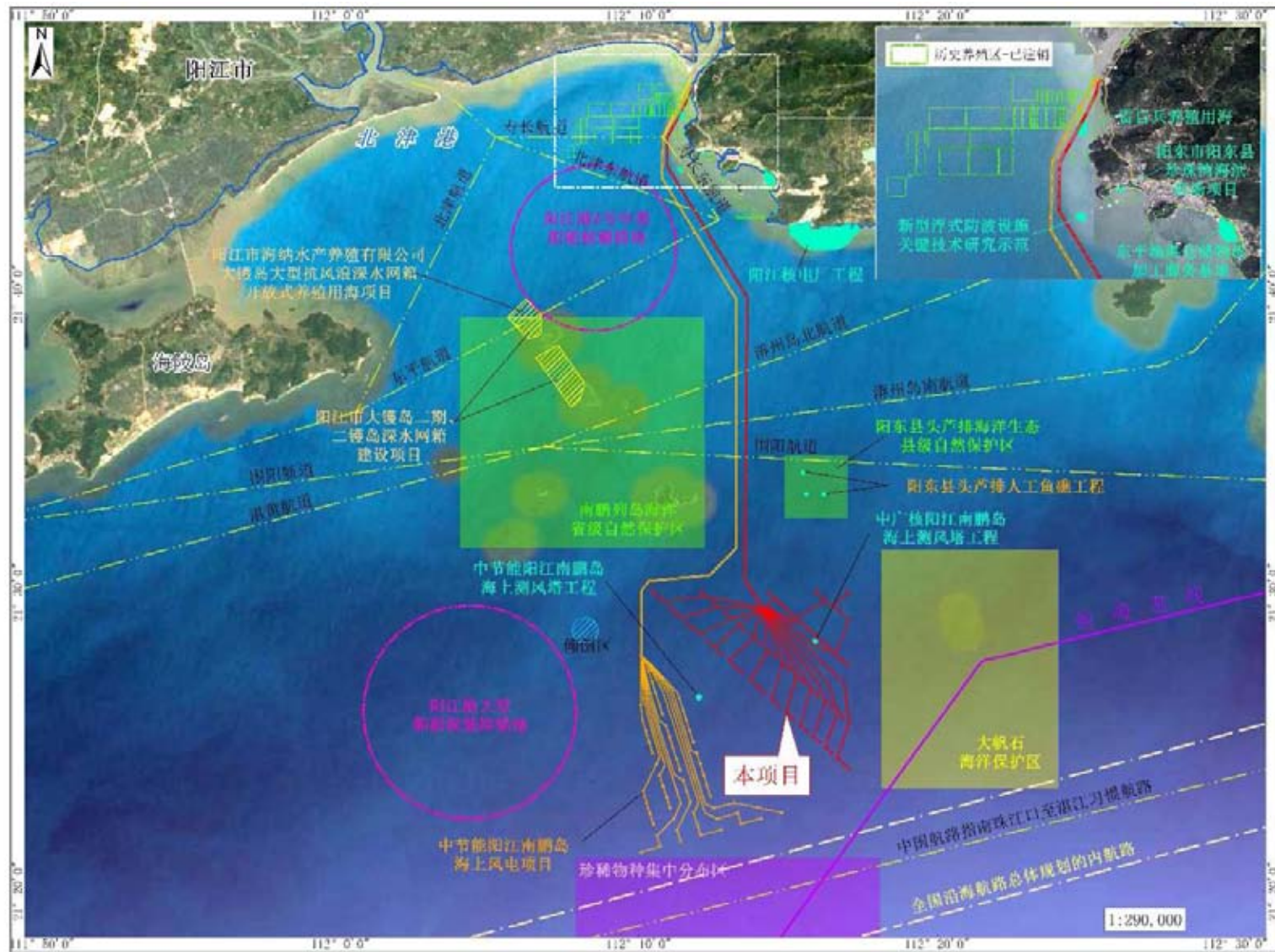


图 5.2-1 项目周边开发活动示意图

表 5.2-1 项目周边海域使用现状统计表

序号	项目名称	与本项目的位关系	项目业主
保护区	南鹏列岛海洋保护区	主路由西侧约 2.33km	/
	头芦排海洋保护区	主路由东侧约 2.28km	/
	大帆石海洋保护区	风电场东侧约 1.81km	/
	珍惜物种集中分布区	风电场南侧约 5.47km	/
养殖区	海水养殖用海(筏式吊蚝养殖)	与本项目路由重叠	雷自兵
	阳江市海纳水产养殖有限公司大镬岛大型抗风浪深水网箱开放式养殖用海项目	主路由西侧约 8.74km	阳江市海纳水产养殖有限公司
	阳江市大镬岛二期、二镬岛深水网箱建设项目	主路由西侧约 10.22km	阳江市海纳水产养殖有限公司
港航设施	寿长东航道	主路由相交	/
	北津东航道	主路由相交	
	东平航道	主路由相交	
	潯州岛北航道	主路由相交	
	潯州岛南航道	主路由相交	
	围阳航道	主路由相交	
	阳江港 2 号中型船舶候潮锚地	主路由西侧约 1.28km	/
阳江港大型船舶候装卸锚地	风机西侧约 6.61km	/	
风电场	中节能阳江南鹏岛海上风电项目	项目西侧, 相衔接	中节能风力发电股份有限公司
	中节能阳江南鹏岛海上测风塔工程	风电场西南侧约 2.76km	中节能风力发电股份有限公司
	中广核阳江南鹏岛海上测风塔工程	风电场区内	中广核风电有限公司华南分公司
其他	阳江核电厂工程	主路由东侧约 4.7km	阳江核电有限公司
	东平渔港仓储物流加工服务基地	主路由东侧约 5.0km	阳江市阳东区渔港建设管理服务中心
	新型浮式防波设施关键技术研究示范	主路由东侧约 0.37km	中山大学
	倾倒区	风电场西侧约 3.75km	/
	阳江市阳东县珍珠湾海滨浴场项目	电缆东侧约 2.03km	阳江市超麒旅游开发有限公司

6 海洋环境质量现状调查与评价

6.1 水文动力环境现状调查与评价

6.1.1 调查概况

水文动力环境现状调查结果引用原环评调查结果，故本节对水文动力环境评价仅简单阐述。中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司分别为 2015 年 1 月 26 日至 2015 年 2 月 13 日（冬季）、2015 年 6 月 27 日至 2015 年 7 月 15 日（夏季）进行了水文动力调查。调查内容包括潮位、流速、流向、含沙量及颗粒物分等。

冬季和夏季均布设 9 个海流站点，进行了大、中、小潮 3 个潮次的海流观测，同时布设 3 个临时验潮站，分别位于闸坡、大澳和浪鸡脚。三次水文测验的站点布置见表 6.1-1~表 6.1-2 和图 6.1-1。



图 6.1-1 水文泥沙测验实际水文站位及验潮站示意图

表 6.1-1 水文泥沙测验水文站位坐标表（WGS-84）

站位	东经	北纬	水深 m（理论深度）
C1	112°03.687'	21°36.416'	15
C2	112°11.486'	21°40.162'	10
C3	112°07.341'	21°28.722'	22.5
C4	112°13.474'	21°35.009'	15.5
C5	112°15.525'	21°29.692'	21

站位	东经	北纬	水深 m (理论深度)
C6	112°11.699'	21°26.023'	26
C7	112°22.399'	21°32.134'	19
C8	112°21.178'	21°29.642'	22.5
C9	112°19.066'	21°24.377'	29

表 6.1-2 潮位观测临时验潮站坐标 (WGS-84)

站位	东经	北纬	地理位置
T1	111°48.754'	21°34.232'	闸坡
T2	112°14.482'	21°42.686'	大澳
T3	112°35.576'	21°45.622'	浪鸡脚

6.1.2 潮位

6.1.2.1 短期潮位特征

水文测验期间，大、中、小潮平均高潮位，T3 站最高，为 0.94m，T2 站最低，为 0.90m；平均低潮位则相反，T2 站最高，为 0.185m，T3 站最低，为-0.12m。

冬季实测结果表明：三个验潮站平均高潮位，T1 最大，T3 次之，T2 最小；平均低潮位，T1 最高，T2 次之，T3 最低。三个验潮站平均潮差，T1 最大，T2 次之，T3 最小。观测海域三个验潮站位实测涨、落潮历均表现为涨潮历时小于落潮历时，T1、T2、T3 站涨、落潮历时差分别为 2 小时 15 分、1 小时 26 分以及 45 分。

夏季实测结果表明：三个验潮站平均高潮位，T3 最大，T2 次之，T1 最小；平均低潮位，T2 最高，T3 次之，T1 最低。三个验潮站平均潮差，T3 最大，T1 次之，T2 最小。观测海域三个验潮站位实测涨、落潮历均表现为涨潮历时小于落潮历时，T1、T2、T3 站涨、落潮历时差分别为 2 小时 13 分、1 小时 28 分以及 1 小时 11 分。

6.1.2.2 潮汐调和分析

通过短期验潮站 T1（闸坡）、T2（大澳）、T3（浪鸡脚）的潮位数据，分别采用最小二乘法进行潮汐调和分析，求出 11 个分潮的调和常数。根据《海港水文规范》计算公式计算出 F 值，如下：

冬季 T1（闸坡）、T2（大澳）、T3（浪鸡脚）站位分别为 1.31、1.54 和 1.72。从数值上看，可以定性 T1、T2、T3 海域为不正规半日混合潮。

夏季 T1（闸坡）、T2（大澳）、T3（浪鸡脚）站位 分别为 1.19、1.14 和 1.30。从数值上看，可以定性 T1、T2、T3 海域为不正规半日混合潮。

6.1.3 潮流

夏季全潮观测期间，各站涨潮流向主要在 276° ~ 315° 之间，落潮流向主要在 139° ~ 166° 之间；实测涨、落潮段平均流速分别为 17.0cm/s 和 15.5cm/s ，总体上表现为涨潮段流速大于落潮段流速。其中，大潮分别为 15.0cm/s 和 20.8cm/s ；中潮为 14.0cm/s 和 12.4cm/s ；小潮分别为 22.2cm/s 和 13.4cm/s 。涨潮流速表现为小潮大于大潮、中潮，落潮表现为大、中潮大于小潮。潮流最大流速达 78.2cm/s 。观测海域各站位表现出往复潮流性质，余流速度大潮平均为 10.4cm/s ，中潮平均为 6.3cm/s ，小潮平均为 18.0cm/s 。

冬季全潮观测期间，因施测海域上层水体（表层、 0.2H 、 0.4H ）受控于东北风，其流速、流向特征与下层水体（ 0.6H 、 0.8H 、底层）差异显著。上层水体风海流为主，流向基本被东北风控制在 250° ~ 300° ，无明显涨落潮特征。下层水体潮汐流为主，呈现较好的涨落潮特征，涨潮流向约为 300° ，落潮流向约为 120° 。实测涨、落潮段平均流速上层分别为 25cm/s 和 14cm/s ，下层分别为 13cm/s 和 10cm/s ，均表现为涨潮段流速大于落潮段；其中，大潮上层分别为 24cm/s 和 14cm/s ，下层分别为 14cm/s 和 11cm/s ；中潮上层为 24cm/s 和 14cm/s ，下层为 12cm/s 和 10cm/s ；小潮上层分别为 26cm/s 和 14cm/s ；下层分别为 13cm/s 和 8cm/s ，垂线平均流速均表现为上层大于下层，上层水体涨潮流速表现为小潮大于大潮、中潮，落潮表现为大、中、小潮流速差异不大，下层涨潮流速表现为大潮大于小潮、中潮，落潮流速亦表现为大、中潮大于小潮。潮流的可能最大流速达 67cm/s 。

6.1.4 余流

冬季垂线平均，潮次观测海域余流速度大潮平均为 8.6cm/s ，中潮平均为 7.5cm/s ，小潮平均为 13.4cm/s 。余流流向，各站差异较大。夏季垂线平均，潮次观测海域余流速度大潮平均为 10.4cm/s ，中潮平均为 6.3cm/s ，小潮平均为 18.0cm/s 。

6.1.5 泥沙条件

冬季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 0.0011kg/m^3 和 0.0005kg/m^3 ；涨、落潮平均含沙量：大潮为 0.0005kg/m^3 ，中潮为 0.0002kg/m^3 ，小潮为 0.0007kg/m^3 ，小潮最大，大潮次之，中潮最小。

夏季水文测验期间施测海域实测涨、落潮垂线平均含沙量为 0.0004kg/m^3 ；

涨、落潮平均含沙量：大潮为 0.0004kg/m^3 ，中潮为 0.0004kg/m^3 ，小潮为 0.0003kg/m^3 ，大潮和中潮较大，小潮较小。

6.2 地形地貌及冲淤环境现状调查与评价

6.2.1 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于 2015 年 4 月 7 日至 2015 年 6 月 12 日对风电场区进行海底地形测量，测区为风电场厂址区，约 134.26km^2 ，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%；测区海域水深从北到南整体上呈现由浅到深的趋势，其中东北角水深最浅区域水深约 18 米，东南角区域水深较深，水深约为 28 米。

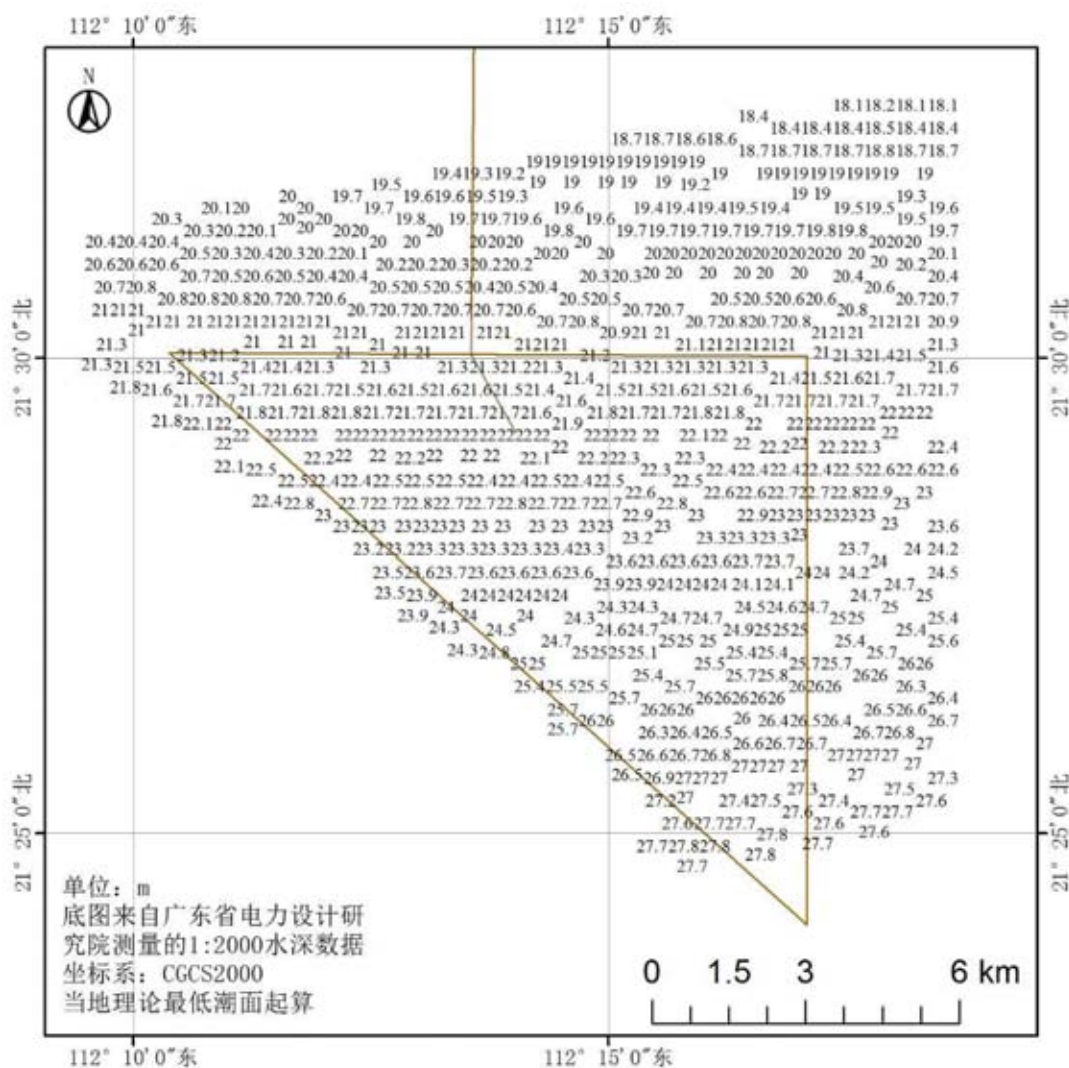


图 6.2-1 风电场区水深示意图

6.2.2 底质类型

在水文测验实测期间,开展了项目海区的沉积物取样工作,共计取样 100 个。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。样品分析结果表明,该海域沉积物中值粒径主要集中在 0.01-0.02mm 的区间之间,占总样品数的 73%,厂址东侧南侧和东南侧的沉积物中值粒径较大,南鹏岛以北的近岸海域的沉积物中值粒径较小。从表层沉积物沉积类型看,沉积物以粘土质粉砂为主,占 68%,其次是砂质粉砂,占 27%,粉砂质砂最少,占 5%。从沉积物沉积类型分布图(图 6.2-2)来看,粘土质粉砂主要分布在离岸不远处,砂质粉砂主要在集中风电场的南部和东南部海域。

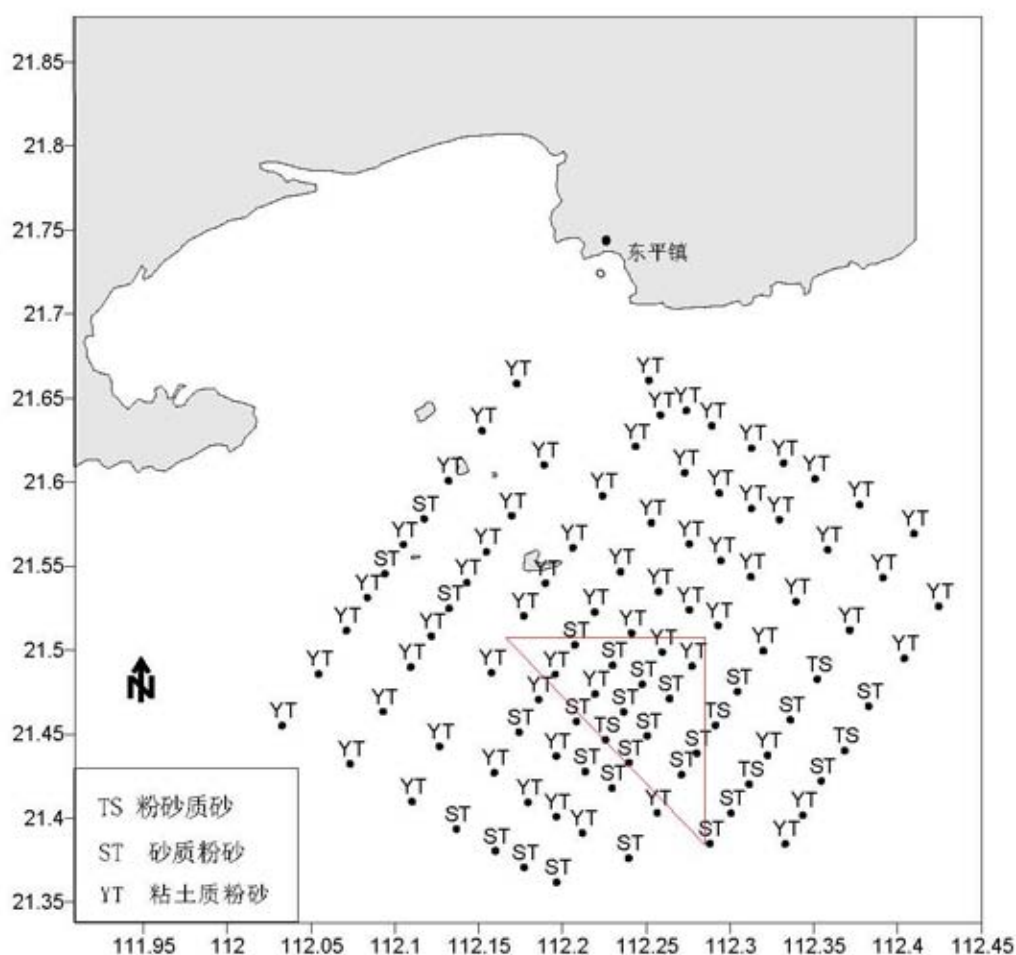


图 6.2-2 沉积物沉积类型分布图

6.2.3 海床稳定性

在海流流速较小,波浪难以影响床底的条件下,海床形态应处于相对稳定的

状态。根据 1966 年工程区域海图以及 2015 年工程海域地形测量的成果，绘制出 1966 年-2015 年间场址海域等深线变化图，从图上可看出，50 年间工程海域 22~23m 等深线向海迁移，其余各等深线位置基本不变，表明场址 22~23m 深海域的海床形态存在一定淤积，其余海域在较长时间内处于相对稳定的状态。

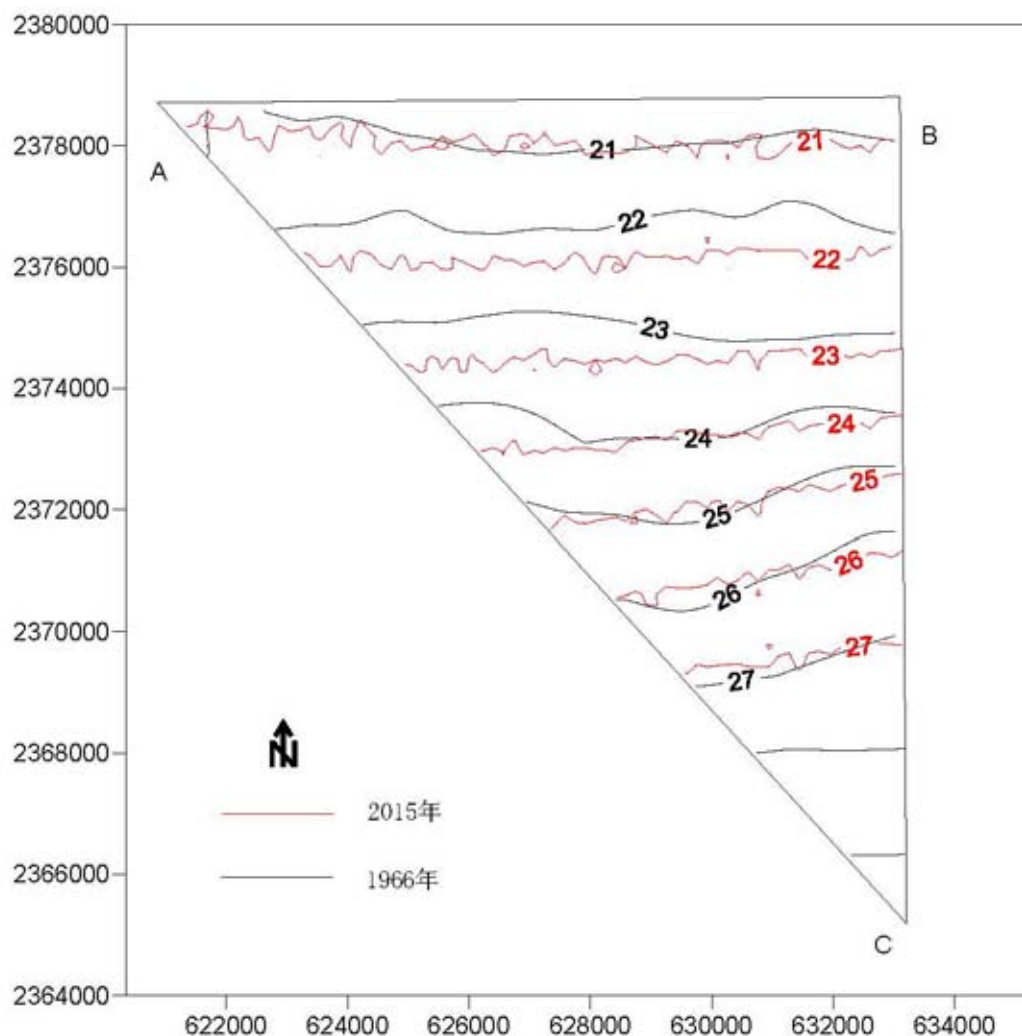


图 6.2-3 1966 年-2015 年间场址海域等深线变化图

6.2.4 登录点周边环境

本项目登陆点位于阳东区大沟镇三丫村三丫河口东岸一处海滩登陆；登陆后，海缆由西向东穿越海滩、海防林、荒草地和 X596 县道至集控中心。登陆点处的海岸为砂质沙滩，海滩南北走向，海岸线比较平直，沙滩宽度 50m~70m，非常平缓，坡度 0.5° ~ 2° ，地面标高介于 1~5m 之间。登陆点穿越生态红线的三丫港基岩岸线。

路由区的地貌类型主要为水下浅滩、水下岸坡及海底平原，海底地形较平缓。

路由区海底沉积物类型以细粒的粘土及粉砂为主，登陆点附近区域分布有小片粗粒的砂质沉积物，离岸海域主要为粘土质粉砂及粉砂质粘土。登陆点向东往陆上集控中心一侧，地貌类型为低山丘陵，地表坡残积土及风化层厚度较大，基岩以花岗岩为主。

沙滩西侧海域分布有多处礁石（含裸露礁石和暗礁），沙滩西南侧约 110m 处礁石出露带上建有一座灯塔。砂质海滩的顶部发育海蚀陡坎，坡度约 70° ，高度约 0.5m，岸线受侵蚀后退的迹象比较明显。陡坎上部分布着沿沙滩走向生长的稀疏的海防林，海防林向陆一侧为人工开挖形成的一片平地，其上已长满杂草，地形比较平坦，平地东侧为 X596 县道。登陆点北侧为玻璃钢造船厂，登陆点东南侧陆域为金海湾渔村（度假区），临海侧为斜坡式护岸登陆点周边环境见图 6.2-4。

6.2.5 岸线冲淤概况

路由大陆登陆点为沙质海滩，滩面泥沙较细，容易受水动力影响而产生运动，而且本工程海域是台风暴浪多发地区，海岸容易发生侵蚀后退，为了分析路由登陆点的海岸稳定性，收集 2005、2016 及 2018 年间的卫星影像图，具体见图 6.2-5 和图 6.2-7。将三个不同时间的卫星图像进行叠加对比得到海岸线对比图（见图 6.2-8），从图上可以看出，登陆端的海岸线在 2005 年~2016 年间存在较为明显的后退，平均侵蚀后退约 10m。2016~2018 年存在有部分淤积。近 10 年间阳江海域多次受强台风的影响，例如 2008 年黑格比，2013 年尤特等，由于本工程海域海底地形平坦，风暴潮大浪容易从远处传至近岸，而且沙滩对外没有防护岸段，因此台风波浪容易对海岸产生较大冲击，由此海岸线也容易出现较为明显的后退过程。

建议本工程在大陆登陆点在台风浪的影响下容易发生冲刷，建议在施工技术允许的条件下适当调整埋设深度并采取相应的保护措施。



图 6.2-5 2005 年登陆点海岸卫星图



图 6.2-6 2016 年登陆点海岸卫星图



图 6.2-7 2018 年登陆点海岸卫星图



图 6.2-8 2005 年、2016 年、2018 年登陆点海岸卫星图



图 6.2-4 登陆点周边环境

6.3 海水水质现状调查与评价

6.3.1 调查时间及调查站位

深圳中检联检测有限公司在 2019 年 11 月 25~29 日(秋季)、2020 年 4 月 4~6 日(春季)对阳江南鹏岛附近海域进行海洋环境现状调查。布设了水质调查站位 20 个,沉积物调查站位 10 个,生态调查站位 12 个(含生物质量),潮间带调查断面 3 条。详见图 6.3-1 及表 6.3-1。

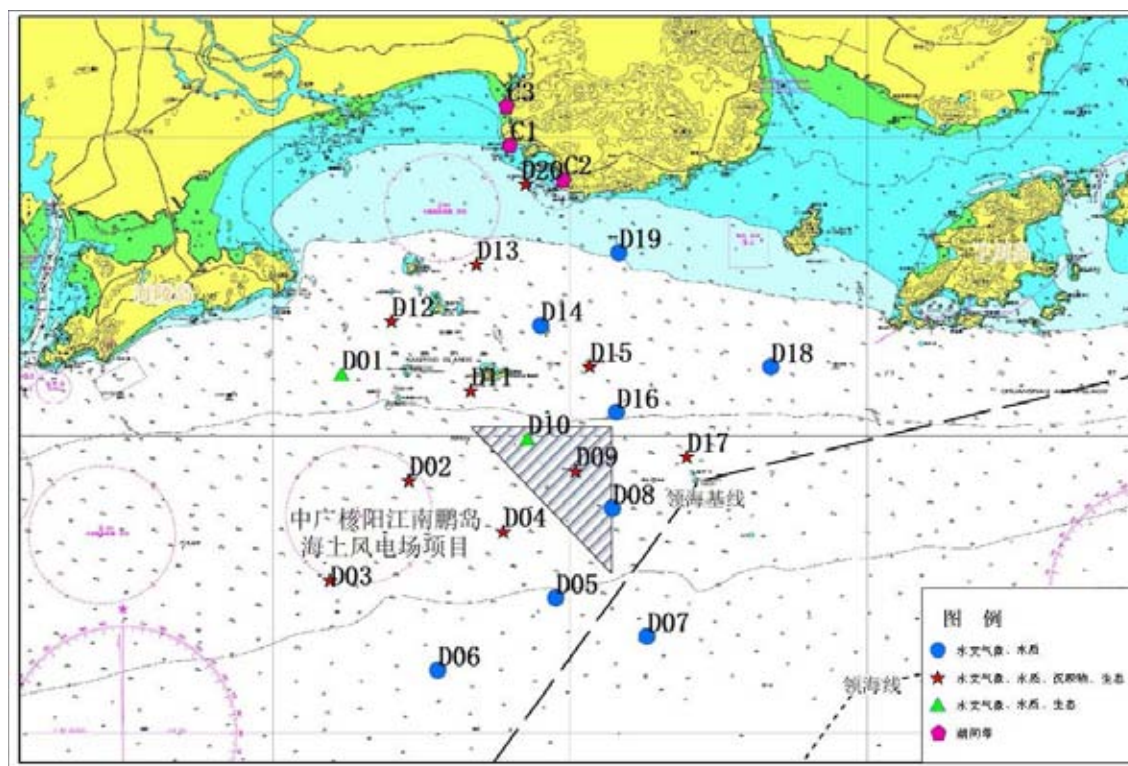


图 6.3-1 阳江南鹏岛附近海域海洋环境调查站位分布图

表 6.3-1 阳江南鹏岛附近海域海洋环境调查站位分布及调查内容

站位号	经度	纬度	调查内容
D01	112°03'28.08"E	21°33'07.02"N	水质、生物体质量、海洋生态
D02	112°06'53.04"E	21°27'45.00"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
D03	112°02'54.06"E	21°22'43.56"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
D04	112°11'39.84"E	21°25'09.78"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
D05	112°14'17.82"E	21°21'49.26"N	水质
D06	112°08'20.04"E	21°18'09.42"N	水质
D07	112°18'54.96"E	21°19'52.38"N	水质
D08	112°17'10.02"E	21°26'19.08"N	水质
D09	112°15'18.42"E	21°28'13.92"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
D10	112°12'52.26"E	21°29'51.84"N	水质、生物体质量、海洋生态

D11	112°10'00.48"E	21°32'17.22"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
D12	112°06'01.02"E	21°35'47.58"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
D13	112°10'18.42"E	21°38'38.88"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
D14	112°13'32.58"E	21°35'33.12"N	水质
D15	112°16'00.72"E	21°33'31.14"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
D16	112°17'21.78"E	21°31'10.08"N	水质
D17	112°20'55.38"E	21°28'57.06"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
D18	112°25'08.94"E	21°33'27.72"N	水质
D19	112°17'29.76"E	21°39'13.08"N	水质
D20	112°12'47.01"E	21°42'41.94"N	水质、沉积物、生物体质量、海洋生态
C1	112°11'59.22"E	21°44'40.02"N	潮间带
C2	112°14'41.58"E	21°42'55.02"N	潮间带
C3	112°11'48.09"E	21°46'37.08"N	潮间带

6.3.2 调查项目及分析方法

调查项目包括 pH、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、无机氮（硝酸盐、亚硝酸盐、氨）、无机磷、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷、硫化物和石油类共 17 项指标。各项调查要素的分析方法列于表 6.3-2。

表 6.3-2 调查项目分析方法

项目	调查方法	检出限
pH	pH 计法	——
悬浮物质	重量法	——
溶解氧 (DO)	碘量法	——
化学需氧量 (COD)	碱性高锰酸钾法	0.01mg/l
氨氮	次溴酸盐氧化法	0.001 mg/L
硝酸盐	锌镉还原法	0.001 mg/L
亚硝酸盐	萘乙二胺分光光度法	0.001 mg/L
活性磷酸盐	磷钼蓝分光光度法	——
铜 (Cu)	无火焰原子吸收分光光度法	0.2 μg/L
铅 (Pb)	无火焰原子吸收分光光度法	0.03 μg/L
锌 (Zn)	火焰原子吸收分光光度法	3.1 μg/L
镉 (Cd)	无火焰原子吸收分光光度法	0.01 μg/L
总铬 (Cr)	无火焰原子吸收分光光度法	0.4 μg/L
汞 (Hg)	原子荧光法	0.007 μg/L
砷 (As)	原子荧光法	0.5 μg/L
硫化物	亚甲基蓝分光光度法	0.2 μg/L
石油类	紫外分光光度法	3.5 μg/L

6.3.3 海水水质调查结果

春、秋两季海水水质调查结果见表 6.3-3 及表 6.3-4。

表 6.3-3 秋季海水水质调查结果

站位	层次	pH	悬浮物质	溶解氧	COD	无机氮	活性磷酸盐	铜	铅	锌	镉	总铬	汞	砷	石油类
		/													
D01	表层														
	底层														
D02	表层														
	底层														
D03	表层														
	10m														
	底层														
D04	表层														
	底层														
D05	表层														
	10m														
	底层														
D06	表层														
	10m														
	底层														
D07	表层														
	10m														
	底层														
D08	表层														
	底层														
D09	表层														
	底层														
D10	表层														
	底层														
D11	表层														
	底层														
D12	表层														

站位	层次	pH	悬浮物质	溶解氧	COD	无机氮	活性磷酸盐	铜	铅	锌	镉	总铬	汞	砷	石油类
		/													
D13	表层														
	底层														
D14	表层														
	底层														
D15	表层														
	底层														
D16	表层														
	底层														
D17	表层														
	底层														
D18	表层														
	底层														
D19	表层														
D20	表层														
最大值															
最小值															
平均值															

注：“ND”表示未检出，“\”表示未检测。

表 6.3-4 春季海水水质调查结果

站位	层次	pH	悬浮物质	溶解氧	COD	无机氮	活性磷酸盐	铜	铅	锌	镉	总铬	汞	砷	石油类
		/													
D01	表层														
	底层														
D02	表层														
	底层														
D03	表层														

站位	层次	pH	悬浮物质	溶解氧	COD	无机氮	活性磷酸盐	铜	铅	锌	镉	总铬	汞	砷	石油类	
		/	mg/L					μg/L								
	10m															
	底层															
D04	表层															
	底层															
D05	表层															
	10m															
	底层															
D06	表层															
	10m															
	底层															
D07	表层															
	10m															
	底层															
D08	表层															
	底层															
D09	表层															
	底层															
D10	表层															
	底层															
D11	表层															
	底层															
D12	表层															
	底层															
D13	表层															
	底层															
D14	表层															
	底层															

中广核阳江南鹏岛海上风电场项目调整变更海洋环境影响补充报告

站位	层次	pH	悬浮物质	溶解氧	COD	无机氮	活性磷酸盐	铜	铅	锌	镉	总铬	汞	砷	石油类	
		/	mg/L					μg/L								
D15	表层															
	底层															
D16	表层															
	底层															
D17	表层															
	底层															
D18	表层															
	底层															
D19	表层															
D20	表层															
最大值																
最小值																
平均值																

注：“ND”表示未检出，“\”表示未检测。

6.3.4 海水水质评价

6.3.4.1 评价标准

根据《广东省海洋功能区划》、《广东省近岸海域环境功能区划》、《广东省海洋生态红线》的管理要求，D20 站位执行二类海水水质标准，其他站位均执行一类海水水质标准。所有站位海洋沉积物及生物质量执行一类标准。

6.3.4.2 评价方法

根据标准指数法计算出的水质各评价因子的标准指数列于表 6.3-4~表 6.3-5。评价结果显示：

参照《海水水质标准》（GB3097-1997），水质参数评价采用标准指数法和超标统计法。

评价因子标准指数一般计算公式为：

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

海水中溶解氧标准指数计算公式：

$$Q_j=10-9C_j/C_o \quad \text{当 } C_j \leq C_o \text{ 时；}$$

$$Q_j=|C_f-C_j| / (C_f-C_o) \quad \text{当 } C_j > C_o \text{ 时。}$$

海水中 pH 值标准指数计算公式：

$$Q_j=|2C_j-C_{ou}-C_{ol}| / (C_{ou}-C_{ol})$$

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；

Q_j ——站 j 溶解氧或 pH 值的标准指数；

C_j ——站 j 溶解氧或 pH 值的实测值；

C_o ——站 j 溶解氧或 pH 值的标准值；

C_f ——现场水温和盐度条件下的溶解氧饱和含量；

C_{ou} ——pH 的评价标准上限；

C_{ol} ——pH 的评价标准下限。

6.3.4.3 评价结果

1、秋季评价结果

秋季调查，无机氮、活性磷酸盐、铜、汞评价因子存在超标站位。其中无机

氮有 24 个站位超标，其中 16 个满足二类水水质，7 个满足三类水质，1 个满足四类水质；活性磷酸盐有 17 个站位超标，其中 8 个满足二、三类水质，3 个满足四类水质，6 个为劣四类水质；铜有 17 个站位超标，超标站位均满足二类水质；汞有 34 个站位超标，超标站位均满足二类水质。调查到的 42 个样品中无机氮超标率为 57.14%；活性磷酸盐超标率为 40.48%；铜超标率为 40.48%；汞超标率为 80.95%。

2、春季评价结果

春季调查，无机氮、活性磷酸盐、铜、汞评价因子存在超标站位。其中无机氮有 10 个站位超标，其中 2 个满足二类水水质，4 个满足三类水质，4 个满足四类水质；活性磷酸盐有 9 个站位超标，其中有 3 个站位满足二、三类水质标准，有 6 个站位满足四类水质标准；铜有 1 个站位超标，但满足二类是指标准；汞有 9 个站位超标，超标站位均满足二类水质标准。调查到的 42 个样品中无机氮超标率为 23.81%；活性磷酸盐超标率为 21.43%；铜超标率为 2.38%汞超标率为 59.52%。

3、超标原因分析

根据《2018 年广东省生态环境状况公报》可知广东省海域超标因子主要为无机氮及活性磷酸盐。本次调查结果本项目所在海域无机氮及活性磷酸盐与《公报》的结果一致。本工程施工期施工船舶生活污水及含油污水均由陆上有资质的单位处置，不排海。施工引起的悬浮泥沙浓度增高，随着施工结束数小时内衰减至背景浓度。因此，本项目施工基本不会影响周边海水水质。综上所述，无机氮、活性磷酸盐、铜、汞超标不是由于本工程已施工部分所导致的。

表 6.3-5 秋季海水水质评价结果

站位	层次	执行标准	pH	溶解氧	COD	无机氮				活性磷酸盐			铜		铅	锌	镉	总铬	汞		砷	石油类
						一类	二类	三类	四类	一类	二、三类	四类	一类	二类					一类	二类		
D1	表层																					0.28
D2	表层																					0.17
D3	表层																					0.39
D4	表层																					0.40
D5	表层																					0.67
D6	表层																					0.42
D7	表层																					0.06
D8	表层																					0.32
D9	表层																					0.11
D10	表层																					0.05
D11	表层																					0.00
D12	表层																					0.06
D13	表层																					0.37
D14	表层																					-
D15	表层																					0.17
D16	表层																					0.34
D17	表层																					0.39
D18	表层																					0.47
D19	表层																					-
D3	10m																					\
D5	10m																					\
D6	10m																					\
D7	10m																					\
D1	底层																					\
D2	底层																					\
D3	底层																					\
D4	底层																					\
D5	底层																					\
D6	底层																					\
D7	底层																					\
D8	底层																					\
D9	底层																					\
D10	底层																					\
D11	底层																					\
D12	底层																					\
D13	底层																					\
D14	底层																					\
D15	底层																					\
D16	底层																					\
D17	底层																					\
D18	底层																					\
D20	表层																					\
超标个数																						
超标率/%																						

注：“-”表示未检出，“\”表示未检测。

表 6.3-6 春季海水水质评价结果

站位	层次	执行标准	pH	溶解氧	COD	无机氮				活性磷酸盐			铜		铅	锌	镉	总铬	汞		砷	石油类
						一类	二类	三类	四类	一类	二、三类	四类	一类	二类					一类	二类		
D1	表层																					
D2	表层																					
D3	表层																					
D4	表层																					
D5	表层																					
D6	表层																					
D7	表层																					
D8	表层																					
D9	表层																					
D10	表层																					
D11	表层																					
D12	表层																					
D13	表层																					
D14	表层																					
D15	表层																					
D16	表层																					
D17	表层																					
D18	表层																					
D19	表层																					
D3	10m																					
D5	10m																					
D6	10m																					
D7	10m																					
D1	底层																					
D2	底层																					
D3	底层																					
D4	底层																					
D5	底层																					
D6	底层																					
D7	底层																					
D8	底层																					
D9	底层																					
D10	底层																					
D11	底层																					
D12	底层																					
D13	底层																					
D14	底层																					
D15	底层																					
D16	底层																					
D17	底层																					
D18	底层																					
D20	表层																					
	超标个数																					
	超标率/%																					

注：“-”表示未检出，“\”表示未测量。

6.4 海洋沉积物现状调查与评价

6.4.1 调查概况

海洋沉积物调查与春季海水水质同步调查，调查站位分布见图 6.3-1 及表 6.3-1。调查项目包括铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、石油类、硫化物和有机碳共 10 项指标。各项调查要素的分析方法列于表 6.4-1。

表 6.4-1 调查项目分析及检出限

项目	方法	检出限
铜 (Cu)	电感耦合等离子体质谱法	0.008 mg/kg
铅 (Pb)	电感耦合等离子体质谱法	0.070 mg/kg
锌 (Zn)	电感耦合等离子体质谱法	0.160 mg/kg
镉 (Cd)	电感耦合等离子体质谱法	0.015 mg/kg
铬 (Cr)	电感耦合等离子体质谱法	0.070 mg/kg
总汞 (Hg)	原子荧光法	0.002×10^{-6}
砷 (As)	电感耦合等离子体质谱法	0.180 mg/kg
石油类	紫外分光光度法	3.0×10^{-6}
硫化物	亚甲基蓝分光光度法	0.3×10^{-6}
有机碳	重铬酸钾氧化-还原容量法	—

6.4.2 调查结果与评价

6.4.2.1 调查结果

调查结果见表 6.4-2。

6.4.2.2 评价方法

沉积物污染程度评价方法：标准指数法，按下列公式计算：

$$I_i = C_i / S_i$$

式中：

I_i —— i 项污染物的标准指数

C_i —— i 项污染物的实测含量

S_i —— i 项污染物评价标准

6.4.2.3 评价结果

根据标准指数法计算出的沉积物各评价因子的标准指数列于表 6.4-3。评价结果显示，各评价因子均满足第一类沉积物质量标准。调查海域沉积物质量良好。

表 6.4-2 沉积物调查结果

站位	铜 ($\times 10^{-6}$)	铅 ($\times 10^{-6}$)	锌 ($\times 10^{-6}$)	镉 ($\times 10^{-6}$)	铬 ($\times 10^{-6}$)	汞 ($\times 10^{-6}$)	砷 ($\times 10^{-6}$)	石油类 ($\times 10^{-6}$)	硫化物 ($\times 10^{-6}$)	有机碳 ($\times 10^{-2}$)
D02										
D03										
D04										
D09										
D11										
D12										
D13										
D15										
D17										
D20										
最大值										
最小值										
平均值										

表 6.4-3 沉积物评价指数

站位	铜	铅	锌	镉	铬	汞	砷	石油类	硫化物	有机碳
	D02									
D03										
D04										
D09										
D11										
D12										
D13										
D15										
D17										
D20										
超标个数										
超标率/%										

6.5 海洋生态现状调查与评价

6.5.1 调查概况

海洋生态调查与海水水质同步调查，调查站位分布见图 6.3-1 及表 6.3-1。

(1) 初级生产力

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

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

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

C_a ——表层叶绿素 a 含量 (mg/m^3)；

Q ——同化系数 ($\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{mgChl-a}\cdot\text{h})$)，这里取 3.7；

L ——真光层的深度 (m)，取透明度的 3.05 倍；

t ——白昼时间 (h)，根据以往调查结果，本文取 11 小时。

(2) 浮游植物

浮游植物采集网样，用浅水 III 型网由底至表层垂直拖网，采集浮游植物样品。浮游植物样品的处理、分析鉴定及数据处理等按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007) 的要求进行。

(3) 浮游动物

采用浅水 II 型浮游生物网进行由底至表层垂直拖网，采集浮游动物样品，并按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007) 的要求进行样品处理、分析鉴定及数据计算分析。浅水 II 型浮游生物网采集的样品用于浮游动物种类组成、个体密度以及生物量的分析计算。

(4) 底栖生物

在调查海域进行 12 个测站的底栖生物调查，使用采泥面积为 0.10 m^2 的采泥器，每站采集 3 次有效样品，经淘洗，用网目孔径为 0.5 mm 的套筛分选出标本，套筛内残渣固定保存带回实验室，在解剖镜下分选出标本。样品的处理、分析鉴定及数据处理均按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007) 的要求进行。

(5) 潮间带生物

根据要求，阳江南鹏岛海域潮间带生物调查共布设 3 条断面，每条断面设置高、中、低潮区，其中中潮区设置 3 个站位。定性样品在断面所在沙滩及附近岩

石岸进行采集，定量样品使用面积为 0.0625 m² 的样方进行采集，每站采集 4 次有效样品。经淘洗，用网目孔径为 0.5 mm 的套筛分选出标本，套筛内残渣固定保存带回实验室，在解剖镜下分选出标本。样品的处理、分析鉴定及数据处理均按照《海洋监测规范》（GB 17378-2007）的要求进行。

6.5.2 叶绿素 a 及初级生产力

1、秋季调查结果

表层海水叶绿素 a 的含量介于 0.88~1.12mg/m³ 之间，平均含量为 0.94mg/m³，各调查站之间表层水体海水叶绿素 a 的含量差异较小，其中 D10 和 D11 号站叶绿素 a 含量最高，为 1.12mg/m³，D01、D02、D04、D09 和 D12 号站最低，为 0.88mg/m³。底层海水叶绿素 a 的含量介于 0.68~1.12mg/m³ 之间，平均含量为 0.83mg/m³。其中 D03 号站叶绿素 a 含量最高，为 1.12mg/m³，D10、D12、D15、D17 和 D20 号站最低，为 0.68mg/m³，差异较大；详见表 6.5-1。

调查海域各调查站海洋初级生产力水平介于 22.84~65.54mg·C/m²·d 之间，平均值为 45.50mg·C/m²·d（表 6.5-1）。其中 D04 号站初级生产力水平最高，为 65.54mg·C/m²·d，D20 号站最低，为 22.84mg·C/m²·d。

综合分析显示，整个调查海区属于贫营养，不存在富营养化现象，调查区域的海域初级生产力相对较低。调查水域的叶绿素 a 和初级生产力分布较为均匀。

表 6.5-1 秋季叶绿素 a 和初级生产力调查结果

调查站位	叶绿素 a 含量 (mg/m ³)		初级生产力 (mg·C/m ² ·d)
	表层	底层	
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
平均值			

2、春季调查结果

表层海水叶绿素 a 的含量介于 1.12~1.80mg/m³ 之间，平均含量为 1.33 mg/m³，

各调查站之间海水叶绿素 a 的含量差异较小，其中 D12 号站叶绿素 a 含量最高，为 1.80 mg/m³，D02、D03、D04、D09 和 D11 号站最低，为 1.12 mg/m³。底层海水叶绿素 a 的含量介于 0.88~1.12 mg/m³ 之间，平均含量为 0.97 mg/m³。其中 D10、D12 和 D13 号站叶绿素 a 含量最高，为 1.12 mg/m³，D01、D02、D03、D04 和 D17 号站最低，为 0.88 mg/m³，差异较小；详见表 6.5-2。

调查海域各调查站海洋初级生产力水平介于 170.93~799.43 mg·C/m²·d 之间，平均值为 549.54 mg·C/m²·d（表 2.4.1-1）。其中 D04 号站初级生产力水平最高，为 799.43 mg·C/m²·d，D20 号站最低，为 170.93 mg·C/m²·d。综合分析显示，调查水域的叶绿素 a 分布均匀，而初级生产力分布不均匀。

表 6.5-2 春季叶绿素 a 和初级生产力调查结果

调查站位	叶绿素 a 含量 (mg/m ³)		初级生产力 (mg·C/m ² ·d)
	表层	底层	
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
平均值			

6.5.3 浮游植物

6.5.3.1 种类组成及分布

1、秋季

秋季调查，共鉴定记录浮游植物 5 门 6 纲 12 目 17 科 45 属 98 种，其中硅藻门 80 种，占总种数的 81.63%；甲藻门 15 种，占总种数的 15.31%；蓝藻门、绿藻门和金藻门各 1 种，占总种数的 1.02%。硅藻的种类占优势，甲藻次之，浮游植物种类名录见附录 I。调查海域 12 个站位浮游植物的种数分布较为均匀，其中最高是 D20 号站，为 38 种，最低是 D17 号站，为 25 种。各站位硅藻种类占优势，甲藻次之。

2、春季

春季调查，共鉴定记录浮游植物 4 门 5 纲 12 目 16 科 42 属 100 种，其中硅

藻门 75 种，占总种数的 75%；甲藻门 23 种，占总种数的 23%；蓝藻门和金藻门各 1 种，占总种数的 1%。硅藻的种类占优势，甲藻次之，浮游植物种类名录见附录II。调查海域 12 个站位浮游植物的种数分布较为均匀，其中最高是 D01 号站，为 46 种，最低是 D02 号站，为 32 种。各站位硅藻种类占优势，甲藻次之。

6.5.3.2 数量分布

1、秋季

调查海域秋季各站位浮游植物细胞总数量平均值为 51.41×10^4 cells/m³，各站位之间相差不大，变化范围为 $(26.32 \sim 74.00) \times 10^4$ cells/m³，其中 D13 号站细胞总数量最高，为 74.00×10^4 cells/m³，D03 号站浮游植物细胞总数量最低，为 26.32×10^4 cells/m³（详见图 6.5-1）。

图 6.5-1 秋季调查海域浮游植物细胞总数量分布图

2、春季

调查海域春季各站位浮游植物细胞总数量平均值为 57.63×10^4 cells/m³，各站位之间相差较大，变化范围为 $(20.60 \sim 111.28) \times 10^4$ cells/m³，其中 D20 号站细胞总数量最高，为 111.28×10^4 cells/m³，D03 号站浮游植物细胞总数量最低，为 20.60×10^4 cells/m³（详见图 6.5-2）。

图 6.5-2 春季调查海域浮游植物细胞总数量分布图

6.5.3.3 优势种及其优势度

1、秋季

根据区域优势种的定义，调查海域秋季浮游植物优势种有 6 种，分别为钟形中鼓藻（*Bellerochea horologicalis*）、中肋骨条藻（*Skeletonema costatum*）、格氏圆筛藻（*Coscinodiscus granii*）、尖刺菱形藻（*Nitzschia pungens*）、琼氏圆筛藻（*Coscinodiscus jonesianus*）和中心圆筛藻（*Coscinodiscus centralis*），其优势度分别为 0.355、0.231、0.062、0.037、0.037 和 0.022。

2、春季

根据区域优势种的定义，调查海域春季浮游植物优势种有 12 种，分别为琼氏圆筛藻（*Coscinodiscus jonesianus*）、北方角毛藻（*Chaetoceros borealis*）、密聚角毛藻（*Chaetoceros coarctatus*）和并基角毛藻（*Chaetoceros decipiens*）等，其优势度分别为 0.168、0.089、0.081 和 0.064 等。

6.5.3.4 种类多样性指数、均匀度和丰富度

1、秋季

调查海域各站位浮游植物多样性指数（ H' ）变化范围为 2.389~3.296，平均值为 3.058；均匀度（ J ）变化范围为 0.501~0.768，平均值为 0.619；丰富度指数（ D ）变化范围为 2.864~3.689，平均值为 3.255（表 6.5-3）。本次调查，该海域在调查期间，浮游植物种类较多，浮游植物多样性指数等级为较好，群落处于较为稳定状态，受环境变化影响较小。

表 6.5-3 秋季调查海域浮游植物多样性、均匀度和丰富度指数

站位	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (D)
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
范围			
平均值			

2、春季

调查海域各站位浮游植物多样性指数（ H' ）变化范围为 3.806~4.492，平均值为 4.224；均匀度（ J ）变化范围为 0.701~0.862，平均值为 0.794；丰富度指数（ D ）变化范围为 3.637~4.604，平均值为 3.997（表 6.5-4）。本次调查，浮游植物多样性指数平均值为 4.224，该海域在调查期间，浮游植物多样性指数等级为好，群落处于较为稳定状态，受环境变化影响较小。

表 6.5-4 春季调查海域浮游植物多样性、均匀度和丰富度指数

站 位	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (D)
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
范 围			
平均值			

6.5.4 浮游动物

6.5.4.1 种类组成及分布

1、秋季

本次秋季调查共鉴定出浮游动物 77 种和浮游幼体 8 类。桡足类种类最多，有 52 种，占总种类数的 61.18%；刺胞动物有 13 种，占总种类数的 15.29%；浮游幼体类有 8 类，占总种类数的 9.41%；毛颚类有 8 种，占总种类数的 9.41%；介形类有 2 种，占总种类数的 2.35%；十足类和被囊类各有 1 种，各占总种类数的 1.18%，种类名录见附录Ⅲ。各站位浮游动物种类数（包括阶段性浮游幼虫及鱼卵仔稚鱼）在 27~46 种之间，各站位种类数分布较均匀，其中 D11 号站种类数最多，为 46 种，D13 号站种类数最少为 27 种。

2、春季

本次春季调查共鉴定出浮游动物 102 种和浮游幼体 16 种。桡足类种类最多，有 58 种，占总种类数的 49.15%；刺胞动物有 25 种，占总种类数的 21.19%；浮游幼体类有 16 类，占总种类数的 13.56%；毛颚类有 8 种，占总种类数的 6.78%；被囊类有 5 种，占总种类数的 4.24%；介形类和枝角类各有 2 种，各占总种类数的 1.69%；十足类和等足类各有 1 种，各占总种类数的 0.85%，种名录见附录Ⅳ。各站位浮游动物种类数（包括阶段性浮游幼虫及鱼卵仔稚鱼）在 41~54 种之间，各站位种类数分布较均匀，其中 D01 和 D15 号站种类数最多，为 54 种，D09 号站种类数最少为 41 种。

6.5.4.2 数量分布

1、秋季

秋季调查期间，各站位浮游动物的丰度介于 224.2~7967.8ind/m³ 之间，平均丰度为 2310.2ind/m³。浮游动物的丰度呈不均匀的斑块状分布，调查海域 D10 号站浮游动物密度最高，为 7967.8ind/m³，D01 号站浮游动物密度最低，为 224.2ind/m³。各站位浮游动物生物量（湿重）变化范围为 3.20~254.00 mg/m³，平均值为 98.87mg/m³。各站位浮游动物生物量分布不均匀，变化幅度较大，最大值出现在 D20 号站，为 254.00 mg/m³，最小值出现在 D01 号站，为 3.20 mg/m³（图 6.5-3）。

图 6.5-3 秋季调查海域浮游动物总生物量的分布图

2、春季

春季调查期间，各站位浮游动物的丰度介于 915.3~ 5948.1ind/m³ 之间，平均丰度为 1986.1ind/m³。浮游动物的丰度呈不均匀的斑块状分布，调查海域 D20 号站浮游动物密度最高，为 5948.1ind/m³，D09 号站浮游动物密度最低，为 915.3ind/m³。各站位浮游动物生物量（湿重）变化范围为 23.69~1250.58 mg/m³，平均值为 222.75 mg/m³。各站位浮游动物生物量分布较不均匀，变化幅度较大，最大值出现在 D20 号站，为 1250.58 mg/m³，最小值出现在 D02 号站，为 23.69 mg/m³（图 6.5-4）。

图 6.5-4 春季调查海域浮游动物总生物量的分布图

6.5.4.3 优势种及其优势度

1、秋季

浮游动物优势种的判定方法和标准与浮游植物相同。秋季调查海域浮游动物的优势种为强额拟哲水蚤（*Paracalanus crassirostris*）、小拟哲水蚤（*Paracalanus parvus*）、微刺哲水蚤（*Canthocalanus pauper*）、驼背隆哲水蚤（*Acrocalanus gibber*）、桡足幼体（Copepodid）、桡足类无节幼体（Copepoda nauplius）、亚强次真哲水蚤（*Subeucalanus subcrassus*）和针刺拟哲水蚤（*Paracalanus aculeatus*），其优势度分别为 0.414、0.079、0.038、0.037、0.035、0.029、0.026 和 0.021。其

中强额拟哲水蚤的优势度最大。

2、春季

春季浮调查海域浮游动物的优势种为繆勒海樽克氏亚种 (*Doliolidae mulleri krohni*)、小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、蔓足类无节幼虫 (*Cirripedia nauplius*)、桡足幼体 (*Copepodid*)、异体住囊虫 (*Oikopleura dioica*)、瘦尾胸刺水蚤 (*Centropages tenuiremis*)、尖尾海萤 (*Cypridina acuminata*)、桡足类无节幼体 (*Copepoda nauplius*) 和锥形宽水蚤 (*Temora turbinata*)，其优势度分别为 0.124、0.123、0.068、0.065、0.041、0.040、0.040、0.035 和 0.025。其中繆勒海樽克氏亚种的优势度最大。

6.5.4.4 种类多样性指数、均匀度和丰富度

1、秋季

秋季调查浮游动物多样性指数 (H') 范围为 2.145~4.018，平均值为 3.276；均匀度指数 (J) 范围为 0.451~ 0.819 之间，平均值为 0.652；丰富度指数 (D) 范围为 2.138~ 3.809 之间，平均值为 2.981 (表 6.5-5)。总体来看，调查海域浮游动物的种类多样性指数处于较高水平，群落结构处于较为稳定的状态。

表 6.5-5 秋季调查海域浮游动物多样性、均匀度和丰富度指数

站位	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
范围			
平均值			

2、春季

本次调查浮游动物多样性指数 (H') 范围为 3.768~ 4.592，平均值 4.153；均匀度指数 (J) 范围为 0.668~0.857 之间，平均值为 0.743；丰富度指数 (D) 范围为 3.649~5.392 之间，平均值为 4.367 (表 6.5-6)。总体来看，调查海域浮游动

物的种类多样性指数处于较高水平，浮游动物物种丰富，群落结构处于较为稳定的状态。

表 6.5-6 春季调查海域浮游动物多样性、均匀度和丰富度指数

站位	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
范围			
平均值			

6.5.5 潮下带底栖生物

6.5.5.1 种类组成和种群结构

1、秋季

本次秋季调查共鉴定出底栖生物 6 大门类 44 种，详见附录V（潮下带底栖生物名录）。其中，环节动物种类数最多，有 31 种，占总种类数的 70.45%；节肢动物次之，有 5 种，占总种类数的 11.36%；其他动物有 4 种，占总种类数的 9.09%；棘皮动物有 2 种，占总种类数的 4.55%；软体动物和脊索动物均有 1 种，各占总种类数的 2.27%。调查海域 12 个站位中，D04 站采集到的底栖生物种类数最多，有 20 种；D15 和 D17 站最少，均为 6 种底栖生物。

2、春季

本次春季调查共鉴定出底栖生物 6 大门类 50 种，详见附录VI（潮下带底栖生物名录）。其中，环节动物种类数最多，有 33 种，占总种类数的 66.00%；节肢动物次之，有 7 种，占总种类数的 14.00%；软体动物和其他动物均有 4 种，各占总种类数的 8.00%；纽形动物和棘皮动物均有 1 种，各占总种类数的 2.00%。调查海域 12 个站位中，D04 站采集到的底栖生物种类数最多，有 25 种；D10 站最少，为 3 种底栖生物。

6.5.5.2 栖息密度及生物量

1、秋季

秋季底栖生物的栖息密度在调查海域的 12 个站位中分布较不均匀（详见表 6.5-7）。调查海域的底栖生物栖息密度变化范围为 46.7~156.7ind/m²，平均栖息密度为 88.1 ind/m²，栖息密度最高的站位为 D04 站，为 156.7 ind/m²；栖息密度最低的站位为 D17 站，为 46.7 ind/m²。底栖生物的生物量在调查海域的 12 个站位中分布不均匀（详见表 6.5-8），生物量变化范围为（1.10~19.40）g/m²，平均生物量为 5.37 g/m²。生物量最高的站位为 D12 站，为 19.40 g/m²；最低值出现在 D01 站，为 1.10 g/m²。

表 6.5-7 秋季底栖生物的栖息密度组成和分布

站号	栖息密度 (ind/m ²)						合计
	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	脊索动物	其他动物	
D01							
D02							
D03							
D04							
D09							
D10							
D11							
D12							
D13							
D15							
D17							
D20							
平均							

表 6.5-8 秋季底栖生物的生物量组成和分布

站号	生物量 (g/m ²)						合计
	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	脊索动物	其他动物	
D01							
D02							
D03							
D04							
D09							
D10							
D11							
D12							
D13							

站号	生物量 (g/m ²)						合计
	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	脊索动物	其他动物	
D15							
D17							
D20							
平均							

2、春季

春季底栖生物的栖息密度在调查海域的 12 个站位中分布较不均匀（详见表 6.5-9）。调查海域的底栖生物栖息密度变化范围为 33.3~343.3 ind/m²，平均栖息密度为 148.9 ind/m²，栖息密度最高的站位为 D03 站，为 343.3 ind/m²；栖息密度最低的站位为 D10 站，为 33.3 ind/m²。底栖生物的生物量在调查海域的 12 个站位中分布不均匀（详见表 6.5-10），生物量变化范围为 4.23~26.03 g/m²，平均生物量为 14.43 g/m²。生物量最高的站位为 D03 站，为 26.03 g/m²；最低值出现在 D17 站，为 4.23 g/m²。

表 6.5-9 春季底栖生物的栖息密度组成和分布

站号	栖息密度 (ind/m ²)						合计
	纽形动物	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其他动物	
D01							
D02							
D03							
D04							
D09							
D10							
D11							
D12							
D13							
D15							
D17							
D20							
平均							

表 6.5-10 春季底栖生物的生物量组成和分布

站号	生物量 (g/m ²)						合计
	纽形动物	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其他动物	
D01							
D02							
D03							
D04							
D09							
D10							

站号	生物量 (g/m ²)						
	纽形动物	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其他动物	合计
D11							
D12							
D13							
D15							
D17							
D20							
平均							

6.5.5.3 优势种及其优势度

1、秋季

底栖生物优势种的优势度（海区）的计算方法与浮游植物相同，秋季优势度（海区） $Y \geq 0.02$ 的为优势种。经统计，调查海区底栖生物的优势种（以栖息密度计）有 5 种，为钩齿短脊虫 (*Asychis gangeticus*)、洼颚倍棘蛇尾 (*Amphioplus depressus*)、伪豆维虫 (*Dorvillea pseudorubrovittata*)、脑纽虫属 (*Cerebratulina* sp.) 和背蚓虫 (*Notomastus latericeus*)，它们的优势度（海区）分别为 0.297、0.167、0.076、0.047 和 0.033。

2、春季

春季优势度（海区） $Y \geq 0.02$ 的为优势种。经统计，调查海区底栖生物的优势种（以栖息密度计）有 8 种，为钩齿短脊虫 (*Asychis gangeticus*)、背蚓虫 (*Notomastus latericeus*)、脑纽虫属 (*Cerebratulina* sp.)、毛头梨体星虫 (*Apionsoma trichocephala*)、全刺沙蚕 (*Nectoneanthes oxypoda*)、中华螺赢蜚 (*Corophium sinensis*)、双唇索沙蚕 (*Lumbrineris cruzensis*) 和伪豆维虫 (*Dorvillea pseudorubrovittata*)，它们的优势度（海区）分别为 0.31、0.18、0.05、0.04、0.04、0.03、0.03 和 0.03。

6.5.5.4 种类多样性指数、均匀度和丰富度

1、秋季

根据各调查站底栖生物的栖息密度计算调查海域的底栖生物群落的种类多样性指数 H' 、均匀度指数 J 和丰富度指数 D ，其计算方法与浮游植物的相同，秋季各站位的计算结果见表 6.5-11。秋季底栖生物群落的种类多样性指数的变化范围为 1.949~3.959，平均为 2.818；均匀度指数的变化范围为 0.669~0.949，平均为 0.827；丰富度指数的变化范围为 1.199~3.421，平均为 2.147。可见，调查海区底栖生物的种类多样性处于中等水平，说明调查海区底栖生物群落种类多样性一

般，受环境变化的影响较大，群落结构稳定性一般。

表 6.5-11 秋季底栖生物多样性、均匀度和丰富度指数

站号	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (D)
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
范围			
平均值			

2、春季

春季各站位种类多样性指数 H' 、均匀度指数 J 和丰富度指数 D 的计算结果见表 6.5-12。底栖生物群落的种类多样性指数的变化范围为 1.157~3.868，平均为 2.904；均匀度指数的变化范围为 0.623~0.869，平均为 0.791；丰富度指数的变化范围为 0.602~3.697，平均为 2.398。可见，调查海区底栖生物的种类多样性处于中等水平，说明调查海区底栖生物群落种类多样性一般，受环境变化的影响较大，群落结构稳定性一般。

表 6.5-12 春季底栖生物多样性、均匀度和丰富度指数

站号	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (D)
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
范围			
平均值			

6.5.6 潮间带底栖生物

6.5.6.1 种类组成和种群结构

1、秋季

本次秋季调查的 3 条潮间带生物调查断面共鉴定出生物 5 大门类 40 种（包含定性样品），详见附录VII（潮间带底栖生物名录）。其中，软体动物的种类数最多，有 16 种，占总种类数的 40.00%；节肢动物次之，有 11 种，占总种类数的 27.50%；环节动物有 8 种，占总种类数的 20.00%；其他动物有 3 种，占总种类数的 7.50%；纽形动物有 2 种，占总种数的 5.00%。在定量样品中，C1 中潮区的种类数最多，有 12 种；C1 低潮区和 C3 中潮区次之，有 11 种；C3 高潮区的种类数最少，仅有 3 种。

2、春季

本次春季调查的 3 条潮间带生物调查断面共鉴定出生物 6 大门类 34 种（包含定性样品），详见附录VIII（潮间带底栖生物名录）。其中，环节动物的种类数最多，有 15 种，占总种类数的 44.12%；软体动物次之，有 12 种，占总种类数的 35.29%；节肢动物有 4 种，占总种类数的 11.76%；纽形动物、刺胞动物和扁形动物各有 1 种，分别占总种数的 2.94%。在定量样品中，C3 中潮区的种类数最多，有 10 种；C2 中潮区次之，有 8 种；C2 高潮区和 C3 高潮区的种类数最少，仅有 2 种。

6.5.6.2 栖息密度和生物量

1、秋季

秋季调查，3 条潮间带生物调查断面底质均为沙质，潮间带生物定量样品的栖息密度在调查海域分布较均匀，平均栖息密度呈现的趋势为： $C3 > C2 > C1$ （详见表 6.5-13）。调查海域潮间带生物的栖息密度变化范围为 28.0~200.0ind/m²，平均栖息密度为 83.6ind/m²，栖息密度最高的站位是 C3 低潮区，为 200.0ind/m²；最低的站位是 C1 高潮区和 C2 高潮期，为 28.0ind/m²。

潮间带生物定量样品的生物量在调查海域分布不均匀，平均生物量呈现的趋势为： $C3 > C1 > C2$ （详见表 6.5-13），调查海域潮间带生物的生物量变化范围为 0.24~57.40g/m²，平均生物量为 7.07g/m²，生物量最高的站位是 C3 低潮区，为 57.40g/m²；最低的站位是 C1 高潮区和 C3 高潮区，为 0.24g/m²。其中 C3 低潮区

采集到个体较大的软体动物，导致该调查海域生物量分布不均。

表 6.5-13 秋季各断面潮间带生物栖息密度和生物量垂直分布状况

断面号	C1			C2			C3			平均
	高潮区	中潮区	低潮区	高潮区	中潮区	低潮区	高潮区	中潮区	低潮区	
潮带										
栖息密度 (ind/m ²)										
生物量 (g/m ²)										

2、春季

春季调查，3 条潮间带生物调查断面底质均为沙质，潮间带生物定量样品的栖息密度在调查海域分布较均匀，平均栖息密度呈现的趋势为：C1>C3>C2（详见表 6.5-14）。调查海域潮间带生物的栖息密度变化范围为 12.0~52.0 ind/m²，平均栖息密度为 34.2 ind/m²，栖息密度最高的站位是 C1 高潮区和 C1 低潮区，为 52.0 ind/m²；最低的站位是 C2 高潮区，为 12.0 ind/m²。

潮间带生物定量样品的生物量在调查海域分布不均匀，平均生物量呈现的趋势为：C1>C2>C3（详见表 2.4.7-1 和图 2.4.7-4），调查海域潮间带生物的生物量变化范围为 0.08~5.96 g/m²，平均生物量为 0.85 g/m²，生物量最高的站位是 C1 低潮区，为 5.96 g/m²；最低的站位是 C2 高潮区，为 0.08 g/m²。其中 C1 低潮区采集到个体较大的刺胞动物，导致该调查海域生物量分布不均。

表 6.5-14 春季各断面潮间带生物栖息密度和生物量垂直分布状况

断面号	C1			C2			C3			平均
	高潮区	中潮区	低潮区	高潮区	中潮区	低潮区	高潮区	中潮区	低潮区	
潮带										
栖息密度 (ind/m ²)										
生物量 (g/m ²)										

6.5.6.3 优势种及其优势度

1、秋季

潮间带生物优势种的优势度的计算方法与底栖生物相同，优势度 ≥ 0.02 的为优势种。经统计，秋季调查，调查海区 3 条断面潮间带的生物优势种（以密度计）有 6 种，分布为模裂虫属（*Typosyllis* sp.）、短鳃伪才女虫（*Pseudopolydora paucibranchiata*）、小相手蟹（*Nanosesarma minutum*）、小拟节糠虾

(*Hemisiriella parva*)、蛛日团水虱 (*Tylos granulatus*) 和双齿围沙蚕 (*Perinereis aibuhitensis*)，优势度分布为 0.197、0.117、0.102、0.076、0.050 和 0.022。

2、春季

经统计，春季调查海区 3 条断面潮间带的生物优势种（以密度计）有 4 种，分布为短鳃伪才女虫 (*Pseudopolydora paucibranchiata*)、双唇索沙蚕 (*Lumbrineris cruzensis*)、腺带刺沙蚕 (*Neanthes glandicincta*) 和日本稚齿虫 (*Paraprionospio japonica*)，优势度（海区）分布为 0.300、0.281、0.055 和 0.051。

6.5.6.4 种类多样性指数、均匀度和丰富度

1、秋季

根据定量样品分析 3 条断面潮间带生物群落的种类多样性指数 H' 、均匀度指数 J 和丰富度指数 D ，其计算方法与底栖生物的相同。秋季各站位的计算结果见表 6.5-15。潮间带生物群落的种类多样性指数的变化范围为 1.333~3.053，平均为 2.214；均匀度指数的变化范围为 0.518~0.975，平均为 0.805；丰富度指数的变化范围为 0.489~2.080，平均为 1.351。从平均值看，调查海区潮间带生物群落的种类多样性处于中等水平，说明调查海区潮间带生物群落种类多样性一般，受环境变化的影响较大，群落结构稳定性一般。

表 6.5-15 秋季底栖生物种类多样性、均匀度和丰富度指数

站号	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (D)
C1 高潮区			
C1 中潮区			
C1 低潮区			
C2 高潮区			
C2 中潮区			
C2 低潮区			
C3 高潮区			
C3 中潮区			
C3 低潮区			
范围			
平均值			

2、春季

春季各站位的计算结果见表 2.4.7-5。潮间带生物群落的种类多样性指数的变化范围为 0.918~2.869，平均为 1.821；均匀度指数的变化范围为 0.785~0.985，平均为 0.868；丰富度指数的变化范围为 0.356~1.649，平均为 1.004。从平均值看，

调查海区潮间带生物群落的种类多样性处于偏低水平，说明调查海区潮间带生物群落种类多样性较差，受环境变化的影响较大，群落结构稳定性较差。

表 6.5-16 春季底栖生物种类多样性、均匀度和丰富度指数

站号	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (D)
C1 高潮区			
C1 中潮区			
C1 低潮区			
C2 高潮区			
C2 中潮区			
C2 低潮区			
C3 高潮区			
C3 中潮区			
C3 低潮区			
范围			
平均值			

6.6 生物质量调查与评价

6.6.1 调查概况

海洋生物质量调查与海洋生态调查同步进行。海洋生物质量调查共设 12 个站位采集 20 个生物样品，样品来自游泳动物的鱼类和甲壳类，贝类未捕获，调查过程中采集的有代表性生物样品。

6.6.2 调查项目及分析方法

调查项目分别为铜、铅、锌、镉、铬、砷、总汞、石油烃共 8 项，各项目分析方法见表 6.6-1。

表 6.6-1 各项目分析方法

调查项目	分析方法	检出限 (mg/kg)
铜 (Cu)	电感耦合等离子体质谱法	0.08
铅 (Pb)	电感耦合等离子体质谱法	0.03
锌 (Zn)	电感耦合等离子体质谱法	1.66
镉 (Cd)	电感耦合等离子体质谱法	0.03
铬 (Cr)	电感耦合等离子体质谱法	0.30
砷 (As)	电感耦合等离子体质谱法	0.10
总汞 (Hg)	原子荧光法	0.002
石油烃	荧光分光光度法	0.2

6.6.3 调查结果

1、秋季

海洋生物质量调查共设 12 个站位采集 20 个生物样品，样品来自游泳动物的鱼类和甲壳类，贝类未捕获，调查过程中采集的有代表性生物样品，各站位的具体种类及调查结果详见表 6.6-2。

表 6.6-2 秋季海洋生物质量调查结果

站位	样品名称	铜	铅	锌	镉	铬	砷	总汞	石油烃
		mg/kg							
D01	矛尾鰕虎鱼								
	口虾蛄								
D02	大鳞舌鳎								
D03	尖尾鳎								
	白姑鱼								
D04	隆线强蟹								
	口虾蛄								
D09	黄斑蓝子鱼								
	卵鳎								
D10	皮氏叫姑鱼								
D11	细巧仿对虾								
	龙头鱼								
D12	矛尾鰕虎鱼								
D13	口虾蛄								
	细巧仿对虾								
D15	龙头鱼								
	卵鳎								
D17	皮氏叫姑鱼								
D20	口虾蛄								
	周氏新对虾								

注：ND 表示未检出。

2、春季

春季各站位的具体种类及调查结果详见表 6.6-3。

表 6.6-3 春季海洋生物质量调查结果

站位	样品名称	铜	铅	锌	镉	铬	砷	总汞	石油烃
		mg/kg							
D01	矛尾鰕虎鱼								
	贪食鼓虾								

站位	样品名称	铜	铅	锌	镉	铬	砷	总汞	石油烃
		mg/kg							
	二长棘鲷								
D02	鲮鱼								
	剑尖枪乌贼								
D03	短吻鲷								
	隆线强蟹								
D04	尖尾鳗								
D09	鲮鱼								
	口虾蛄								
D10	皮氏叫姑鱼								
	红狼牙鰕虎鱼								
D11	矛尾鰕虎鱼								
D12	中华栉孔虾虎鱼								
	隆线强蟹								
D13	宽体舌鳎								
	贪食鼓虾								
D15	鲮鱼								
D17	皮氏叫姑鱼								
D20	周氏新对虾								
	隆线强蟹								

注：“ND”表示未检出。

6.6.4 评价方法

采用标准指数法，公式如下：

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

式中：

Q_{ij} ——站 j 评价因子 i 的标准指数；

C_{ij} ——站 j 评价因子 i 的实测值；

C_{oi} ——评价因子 i 的评价标准值。

6.6.5 评价结果

1、秋季

根据标准指数法计算出的生物体质量各评价因子的标准指数列于表 6.6-4。本次调查，共调查 12 个站位，20 个样品，其中鱼类有 9 种，甲壳类有 4 种。评价结果显示：各站位鱼类、甲壳类样品中铜、铅、锌、镉和总汞均满足《全国海

岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量满足《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》中的生物质量标准。

2、春季

跟据标准指数法计算出的生物体质量各评价因子的标准指数列于表 6.6-5。本次调查，共调查 12 个站位，21 个样品，其中鱼类有 9 种，甲壳类有 4 种，头足类有 1 种。评价结果显示：各站位鱼类、甲壳类样品中铜、铅、锌、镉和总汞均满足《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量满足《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》中的生物质量标准。头足类样品不参与评价。

表 6.6-4 秋季海洋生物体质量评价指数

站位	样品名称	铜	铅	锌	镉	总汞	石油烃
D01	矛尾鰕虎鱼						
	口虾蛄						
D02	大鳞舌鳎						
D03	尖尾鳗						
	白姑鱼						
D04	隆线强蟹						
	口虾蛄						
D09	黄斑蓝子鱼						
	卵鳎						
D10	皮氏叫姑鱼						
D11	细巧仿对虾						
	龙头鱼						
D12	矛尾鰕虎鱼						
D13	口虾蛄						
	细巧仿对虾						
D15	龙头鱼						
	卵鳎						
D17	皮氏叫姑鱼						
D20	口虾蛄						
	周氏新对虾						

注：“-”表示未检出

表 6.6-5 春季海洋生物体质量评价指数

站位	样品名称	铜	铅	锌	镉	总汞	石油烃
D01	矛尾鰕虎鱼						
	贪食鼓虾						
	二长棘鲷						
D02	鲷鱼						
	剑尖枪乌贼						
D03	短吻蝠						
	隆线强蟹						
D04	尖尾鳗						
D09	鲷鱼						
	口虾蛄						
D10	皮氏叫姑鱼						
	红狼牙鰕虎鱼						
D11	矛尾鰕虎鱼						
D12	中华栉孔虾虎鱼						
	隆线强蟹						
D13	宽体舌鳎						
	贪食鼓虾						
D15	鲷鱼						
D17	皮氏叫姑鱼						
D20	周氏新对虾						

站位	样品名称	铜	铅	锌	镉	总汞	石油烃
	隆线强蟹						

注：“-”表示未检出，“/”表示该项不参与评价。

6.7 渔业资源现状调查与评价

6.7.1 调查概况

渔业资源调查与海水水质调查同步进行,调查站位分布见图 6.3-1 及表 6.3-1。

鱼卵和仔稚鱼的调查站位与浮游植物和浮游动物相同,现场调查分别采用水平拖网和垂直拖网两种方式进行采样,采集到的样品用甲醛溶液固定,带回实验室进行镜检分析、种类鉴定和个体数量计数。

渔业资源调查使用的网具为底拖网。在各计划采样站拖网采样 1 次,调查船在各站海域拖曳 0.5 小时,拖网时间的计算,从拖网曳纲停止投放和拖网着底,曳纲拉紧受力时起(为拖网开始时间)至停船起网绞车开始收曳纲时(为起网时间)止。每网次采样均分别测定和记录放网和起网时间、船位(经纬度)、平均拖速(节)和水深等参数。各网次采样的拖速按生产习惯拖速,尽量保持恒定,记取平均拖速约为 3.1 节。

各调查站的渔获样品在现场进行分析和测定。渔获样品较少(<20kg)时,将全部样品进行分析测定;渔获物较多时,先挑出大个体和稀有种类的样品,其余小杂鱼样品随机取样,再进行分析测定。各站的渔获样品均鉴定到种,渔获样品的分析按各调查站进行,分别测定和记录各渔获种类的重量、尾数和体长范围、体重范围,对各调查站的主要经济种类进行生物学测定。

在本次春、秋两季的海洋生态现状调查及渔业资源现状调查过程中,调查单位未在调查海域目击或采集到中华白海豚、海龟等珍稀濒危海洋生物。

6.7.2 鱼卵和仔稚鱼

6.7.2.1 种类组成

1、秋季

本次调查共鉴定出鱼卵和仔稚鱼 6 种,其中,鱼卵 3 种,仔稚鱼 6 种,详见附录 IX。

(1) 鱼卵

本次调查水平拖网出现 1 种鱼卵,为鲮科(Mugilidae);垂直拖网出现三种

鱼卵，分别为鰺科（*Theraponidae*）、鲻科和鲹科（*Caranginae*）。鲻科鱼卵数量最多，占垂直拖网鱼卵数量的 50.00%。

各调查站出现的鱼卵的总种类数范围为 0~1 种，其中 D02、D09、D15、D17 和 D20 号站鱼卵种类数最多为 1 种，D01、D03、D04、D10、D11、D12 和 D13 最少，未捕获。

（2）仔稚鱼

本次调查水平拖网中出现 6 种，鰺科、鲷科（*Sparidae*）、鲹科、鲱科（*Clupeidae*）、鲻科和龙头鱼科（*Harpodontidae*），其中鲹科仔鱼数量最多，占水平拖网仔鱼数量的 38.60%；垂直拖网中出现 1 种，为鰺科。

各调查站出现的仔稚鱼的总种类数介于 0~4 种之间，其中 D17 号站仔稚鱼的总种类数最多，为 4 种；D15 号站最少，未捕获。

2、春季

本次调查共鉴定出鱼卵和仔稚鱼 11 种，其中，鱼卵 10 种，仔稚鱼 7 种，详见附录X。

（1）鱼卵

本次调查水平拖网出现 10 种鱼卵，分别为鲻科（*Leiognathidae*）、鱻科（*Sillaginidae*）、石首鱼科（*Sciaenidae*）、鯷科（*Engraulidae*）、狗母鱼科（*Synodidae*）、鲹科（*Caranginae*）、鲱科（*Clupeidae*）、鲻科（*Mugilidae*）、鲷科（*Sparidae*）和鰺科（*Theraponidae*），其中鲻科鱼卵数量最多，占水平拖网鱼卵总数 63.05%；垂直拖网共出现 7 种鱼卵，分别为鲻科、石首鱼科、狗母鱼科、鲱科、鯷科、鰺科和鲹科。其中鲻科鱼卵数量最高，占垂直拖网鱼卵总数的 60.92%。

各调查站出现的鱼卵的总种类数范围为 2~8 种，其中 D15 号站鱼卵种类数最多，为 8 种；D03、D10、D12 和 D17 号站最少，为 2 种。

（2）仔稚鱼

本次调查水平拖网中出现 7 种，鰺科、鲷科、鲱科、鲻科、鲹科、鯷科和鲱科（*Bothidae*），其中鲱科仔鱼数量最多，占水平拖网仔鱼数量的 44.35%；垂直拖网出现 5 种仔稚鱼，为鰺科、鲱科、鲷科、鲻科和鲹科。其中鰺科仔鱼数量最高，占垂直拖网仔鱼总数的 37.27%。

各调查站出现的仔稚鱼的总种类数介于 2~5 种之间，其中 D13 和 D15 号站

仔稚鱼的总种类数最多，为 5 种；D03 号站最少，为 2 种。

6.7.2.2 数量分布

1、秋季

(1) 鱼卵

本次调查共捕获鱼卵数量为 5 粒，水平拖网捕获 1 粒，平均丰度为 0.43×10^{-3} 粒/ m^3 ；垂直拖网捕获 4 粒，平均丰度为 104.96×10^{-3} 粒/ m^3 ，见表 6.7-1。

水平拖网各调查站鱼卵丰度在 $0.00 \sim 5.12 \times 10^{-3}$ 粒/ m^3 之间，平均值为 0.43×10^{-3} 粒/ m^3 ，其中 D02 号站最高，为 5.12×10^{-3} 粒/ m^3 ；其余站位均未捕获。垂直拖网各调查站鱼卵的丰度在 $0.00 \sim 500.00 \times 10^{-3}$ 粒/ m^3 之间，平均值为 104.96×10^{-3} 粒/ m^3 ，其中 D20 号站最高，为 500.00×10^{-3} 粒/ m^3 ，D01、D02、D03、D04、D10、D11、D12 和 D13 号站最低，未捕获。

(2) 仔稚鱼

本次调查共捕获仔鱼数量为 58 尾，水平拖网捕获 57 尾，平均丰度为 23.34×10^{-3} 尾/ m^3 ；垂直拖网捕获 1 尾，平均丰度为 19.84×10^{-3} 尾/ m^3 ，见表 6.7-1。

水平拖网各调查站仔鱼丰度在 $0.00 \sim 56.35 \times 10^{-3}$ 尾/ m^3 之间，平均值为 23.34×10^{-3} 尾/ m^3 ，其中 D17 号站最高，为 56.35×10^{-3} 尾/ m^3 ，D15 号站最低，未捕获。垂直拖网各调查站仔鱼的丰度在 $0.00 \sim 238.10 \times 10^{-3}$ 尾/ m^3 之间，平均值为 19.84×10^{-3} 尾/ m^3 ，其中 D09 号站丰度最高，为 238.10×10^{-3} 尾/ m^3 ，其余站位均未捕获。

表 6.7-1 秋季鱼卵和仔稚鱼数量分布

调查站位	鱼卵		仔稚鱼	
	水平拖网 ($\times 10^{-3}$ 粒/ m^3)	垂直拖网 ($\times 10^{-3}$ 粒/ m^3)	水平拖网 ($\times 10^{-3}$ 尾/ m^3)	垂直拖网 ($\times 10^{-3}$ 尾/ m^3)
D01				
D02				
D03				
D04				
D09				
D10				
D11				
D12				
D13				
D15				
D17				
D20				
平均值				

2、春季

(1) 鱼卵

本次调查共捕获鱼卵数量为 1566 粒，其中水平拖网捕获 1329 粒，平均丰度为 565.24×10^{-3} 粒/ m^3 ；垂直拖网捕获 237 粒，平均丰度为 7105.28×10^{-3} 粒/ m^3 ，见表 6.7-2。

水平拖网各调查站鱼卵丰度在 $69.48 \times 10^{-3} \sim 1573.22 \times 10^{-3}$ 粒/ m^3 之间，平均值为 565.24×10^{-3} 粒/ m^3 ，其中 D15 号站最高，为 1573.22×10^{-3} 粒/ m^3 ；D10 号站最低，为 69.48×10^{-3} 粒/ m^3 。垂直拖网各调查站鱼卵的丰度在 $450.00 \times 10^{-3} \sim 29230.77 \times 10^{-3}$ 粒/ m^3 之间，平均值为 7105.28×10^{-3} 粒/ m^3 ，其中 D20 号站丰度最高，为 29230.77×10^{-3} 粒/ m^3 ，D09 号站最低，为 450.00×10^{-3} 粒/ m^3 。

(2) 仔稚鱼

本次调查共捕获仔鱼数量为 225 尾，水平拖网捕获 115 尾，平均丰度为 49.14×10^{-3} 尾/ m^3 ；其中垂直拖网捕获 110 尾，平均丰度为 2671.65×10^{-3} 尾/ m^3 ，见表 6.7-2。

水平拖网各调查站仔鱼丰度在 $0.00 \sim 124.07 \times 10^{-3}$ 尾/ m^3 之间，平均值为 49.14×10^{-3} 尾/ m^3 ，其中 D15 号站最高，为 124.07×10^{-3} 尾/ m^3 ，D03 号站最低，未捕获。垂直拖网各调查站中，仔鱼的丰度在 $830.00 \times 10^{-3} \sim 6153.85 \times 10^{-3}$ 尾/ m^3 之间，平均值为 2671.65×10^{-3} 尾/ m^3 ，其中 D20 号站丰度最高，为 6153.85×10^{-3} 尾/ m^3 ，

D13 号站最低，为 830.00×10^{-3} 尾/ m^3 。

表 6.7-2 春季鱼卵和仔稚鱼数量分布

调查站位	鱼卵		仔稚鱼	
	水平拖网 ($\times 10^{-3}$ 粒/ m^3)	垂直拖网 ($\times 10^{-3}$ 粒/ m^3)	水平拖网 ($\times 10^{-3}$ 尾/ m^3)	垂直拖网 ($\times 10^{-3}$ 尾/ m^3)
D01				
D02				
D03				
D04				
D09				
D10				
D11				
D12				
D13				
D15				
D17				
D20				
平均值				

6.7.2.3 主要种类

1、秋季

秋季调查主要种类有鲷科和鲈科鱼类等。

鲷科为鲈形目的鱼类，代表物种有鲷鱼、细鳞鲷等。本次调查中，鱼卵、仔鱼均有出现。鱼卵平均丰度为 0.02 粒/ m^3 ，仔鱼平均丰度为 0.02 尾/ m^3 。鱼卵共捕获 1 粒，占鱼卵总数的 20.00%，水平拖网未捕获，垂直拖网捕获 1 粒，出现在 D09 号站。仔鱼共捕获 20 尾，占仔鱼总数的 34.48%，水平拖网出现 19 尾，出现在 D01、D02、D09、D10、D11 和 D17 号站。垂直拖网出现 1 尾，出现在 D09 号站。

鲈科为鲈形目的鱼类，代表物种有蓝圆鲈、竹筴鱼等。本次调查中，鱼卵有出现，平均丰度为 0.02 粒/ m^3 。鱼卵共捕获 1 粒，占鱼卵总数的 20.00%，水平拖网未捕获，垂直拖网捕获 1 粒，出现在 D17 号站。仔鱼共捕获 22 尾，占仔鱼总数的 37.93%，水平拖网出现 22 尾，出现在 D02、D04、D11、D12、D17 和 D20 号站。垂直拖网未捕获。

2、春季

春季调查主要种类有鳎科和鲱科鱼类等。

鳎科为鲈形目的鱼类，代表物种有短吻鳎、鹿斑鳎和条鳎等。本次调查中，出现有鱼卵，但仔鱼未捕获。鱼卵平均丰度为 5433.12×10^{-3} 粒/ m^3 。鱼卵共捕获

998 粒，占鱼卵总数的 63.73%，水平拖网出现 838 粒，出现在 D01、D02、D03、D04、D09、D13、D15 和 D20 号站。垂直拖网出现 160 粒，出现在 D01、D02、D03、D13、D15 和 D20 号站。

鲱科为鲱形目的鱼类，代表物种有青鳞小沙丁鱼、斑鰹等。本次调查中，鱼卵、仔鱼均有出现，鱼卵平均丰度为 49.97×10^{-3} 粒/ m^3 ，仔鱼平均丰度 747.63×10^{-3} 尾/ m^3 。鱼卵共捕获 19 粒，占鱼卵总数的 1.21%，水平拖网中出现 17 粒，出现在 D02、D10、D11 和 D13 号站。垂直拖网出现 2 粒，出现在 D02 和 D11 号站。仔鱼共捕获 81 尾，占仔鱼总数的 36.00%，水平拖网出现 51 尾，出现在 D02、D04、D10、D11、D12、D13、D15、D17 和 D20 号站。垂直拖网出现 30 尾，出现在 D01、D02、D03、D10、D11、D12、D15 和 D20 号站。

6.7.3 游泳动物

6.7.3.1 种类组成

1、秋季

调查海区共捕获游泳生物 54 种，隶属 15 目 34 科 46 属。其中，鱼类 24 种，隶属 8 目 18 科；甲壳类 22 种，隶属 2 目 8 科；头足类 2 种，隶属 2 目 2 科；贝类 6 种，隶属 3 目 6 科；详见附录 XI。各调查站游泳生物种类数的变化范围为 19~35 种，D02 和 D04 号站出现的种类数最多，为 35 种；D20 号站出现的游泳生物种类数相对较少，为 24 种。

图 6.7-1 秋季各站位出现的游泳生物的种类数

(1) 鱼类生物种类组成

本次调查共捕获鱼类生物 24 种，隶属 8 目 18 科。各调查站鱼类种类数的变化范围为 8~13 种，D04 号站出现的种类数最多，为 13 种；D12 号站出现的鱼类生物种类数相对较少，为 8 种。详见图 6.7-1。

(2) 甲壳类生物种类组成

本次调查共捕获甲壳类 22 种，隶属 2 目 8 科。各调查站甲壳类种类数的变化范围为 12~18 种，D03 号站出现的种类数最多，为 18 种；D20 号站出现的甲壳类生物种类数较少，为 12 种。详见图 6.7-1。

(3) 头足类生物种类组成

本次调查共捕获头足类 2 种，隶属 2 目 2 科。各调查站头足类种类数的变化范围为 0~1 种，仅 D01、D02 和 D15 号站出现，各 1 种，其余站位均未出现。详见图 6.7-1。

(4) 贝类生物种类组成

本次调查共捕获贝类生物 7 种，分属 4 目 7 科。各调查站软体类种类数的变化范围为 2~6 种，D11、D12 和 D17 号站出现的种类数最多，均为 6 种；D09 号站出现的贝类生物种类数较少，均为 2 种。详见图 6.7-1。

2、春季

调查海区共采获游泳生物 69 种，隶属 15 目 37 科 45 属。其中，鱼类 33 种，隶属 7 目 20 科；甲壳类 26 种，隶属 2 目 8 科；头足类 5 种，隶属 3 目 4 科；贝类 5 种，隶属 3 目 5 科；详见附录XII。各调查站游泳生物种类数的变化范围为 27~38 种，D04 号站出现的种类数最多，为 38 种；D13 和 D20 号站出现的游泳生物种类数相对较少，为 27 种。

(1) 鱼类生物种类组成

本次调查共捕获鱼类 33 种，隶属 7 目 20 科。各调查站鱼类种类数的变化范围为 10~15 种，D02 和 D04 号站出现的种类数最多，为 15 种；D09 和 D20 号站出现的鱼类生物种类数相对较少，为 10 种，详见图 6.7-2。

(2) 甲壳类生物种类组成

本次调查共捕获甲壳类 26 种，隶属 2 目 8 科。各调查站甲壳类种类数的变化范围为 13~19 种，D02 和 D09 号站出现的种类数最多，为 19 种；D12 号站出现的甲壳类生物种类数较少，为 13 种，详见图 6.7-2。

(3) 头足类生物种类组成

本次调查共捕获头足类 5 种，隶属 3 目 4 科。各调查站头足类种类数的变化范围为 0~2 种，D03、D04 和 D15 号站出现的种类数最多，为 2 种，D10、D12、D13 和 D20 号站未出现，详见图 6.7-2。

(4) 贝类生物种类组成

本次调查共捕获软体类生物 5 种，分属 3 目 5 科。各调查站软体类种类数的变化范围为 1~3 种，D03、D04、D09、D11、D15 和 D17 号站出现的种类数最多，均为 3 种；D01 号站出现的甲壳类生物种类数较少，均为 1 种，详见图 6.7-2。

图 6.7-2 春季各站位出现的游泳生物的种类数

6.7.3.2 资源密度

1、秋季

调查海域秋季各站位渔获物现存资源密度和资源尾数密度的计算结果见表 6.7-3。由表可见，调查海区游泳生物的资源密度平均为 $589.738\text{kg}/\text{km}^2$ ，范围为 $337.649\sim 862.254\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中，资源密度最高值出现于 D20 号站，最小值出现在 D03 号站；资源尾数密度范围为 $48770.3\sim 79193.7\text{ind}/\text{km}^2$ ，平均值为 $64466.8\text{ind}/\text{km}^2$ ，最高值出现在 D15 号站，最小值出现在 D13 号站。

鱼类的资源密度平均值为 $84.565\text{kg}/\text{km}^2$ ，范围为 $63.510\sim 108.618\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中，资源密度最高值出现于 D17 号站，最小出现在 D10 号站；资源尾数密度平均值为 $6505.1\text{ind}/\text{km}^2$ ，范围为 $4528.7\sim 8639.3\text{ind}/\text{km}^2$ ，最高值出现在 D15 号站，最小值出现在 D13 号站（表 6.7-3）。

甲壳类资源密度平均值为 $475.321\text{kg}/\text{km}^2$ ，范围为 $220.567\sim 778.754\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中，资源密度最高值出现于 D20 号站，最小值出现在 D03 号站；资源尾数密度平均值为 $49543.9\text{ind}/\text{km}^2$ ，范围为 $38493.7\sim 62815.0\text{ind}/\text{km}^2$ ，最高值出现在 D15 号站，最小值出现在 D03 号站（表 6.7-3）。

头足类资源密度平均值为 $2.151\text{kg}/\text{km}^2$ ，范围为 $0\sim 22.351\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中，资源密度最高值出现于 D02 号站，D03、D04、D09、D10、D11、D12、D13、D17 和 D20 号站未捕获；资源尾数密度平均值为 $44.0\text{ind}/\text{km}^2$ ，范围为 $0\sim 180\text{ind}/\text{km}^2$ ，最高值出现在 D15 号站，D03、D04、D09、D10、D11、D12、D13、D17 和 D20 号站未捕获（表 6.7-3）。

贝类资源密度平均值为 $27.702\text{kg}/\text{km}^2$ ，范围为 $9.794\sim 37.358\text{kg}/\text{km}^2$ ，其中，资源密度最高值出现于 D10 号站，最低值出现在 D13 号站；资源尾数密度平均值为 $8373.7\text{ind}/\text{km}^2$ ，范围为 $4139.7\sim 15676.2\text{ind}/\text{km}^2$ ，最高值出现在 D09 号站，最低值出现在 D20 号站（表 6.7-3）。

表 6.7-3 秋季游泳生物出现种数、现存资源密度统计数据

站号	鱼类		甲壳类		头足类		贝类		总渔获物	
	重量密度	尾数密度	重量密度	尾数密度	重量密度	尾数密度	重量密度	尾数密度	重量密度	尾数密度
D01										
D02										

D03										
D04										
D09										
D10										
D11										
D12										
D13										
D15										
D17										
D20										
平均值										

备注：重量密度 (kg/km²)；尾数密度 (ind/km²)；“-”表示未捕获。

2、春季

调查海域春季各站位渔获物现存资源密度和资源尾数密度的计算结果见表 6.7-4。由表可见，调查海区游泳生物的资源密度平均为 330.786 kg/km²，范围为 250.495~414.168 kg/km²，其中，资源密度最高值出现于 D12 号站，最小值出现在 D10 号站；资源尾数密度平均值为 32241.4 ind/km²，范围为 27560.3~38319.5 ind/km²，最高值出现在 D02 号站，最小值出现在 D10 号站。

鱼类的资源密度平均值为 70.219 kg/km²，范围为 47.159~106.589 kg/km²，其中，资源密度最高值出现于 D13 号站，最小出现在 D09 号站；资源尾数密度平均值为 5095.9 ind/km²，范围为 4064.2~6502.7 ind/km²，最高值出现在 D02 号站，最小值出现在 D13 号站（表 6.7-4）。

甲壳类资源密度平均值为 248.745 kg/km²，范围为 176.089~317.942 kg/km²，其中，资源密度最高值出现于 D02 号站，最小值出现在 D10 号站；资源尾数密度平均值为 23651.6 ind/km²，范围为 18958.5~26772.9 ind/km²，最高值出现在 D01 号站，最小值出现在 D20 号站（表 6.7-4）。

头足类资源密度平均值为 3.667 kg/km²，范围为 0~13.005 kg/km²，其中，资源密度最高值出现于 D15 号站，D10、D12、D13 和 D20 号站未捕获；资源尾数密度平均值为 281.4 ind/km²，范围为 0~1045.1 ind/km²，最高值出现在 D17 号站，D10、D12、D13 和 D20 号站未捕获（表 6.7-4）。

贝类资源密度平均值为 8.155 kg/km²，范围为 3.915~18.251 kg/km²，其中，资源密度最高值出现于 D02 号站，最低值出现在 D10 号站；资源尾数密度平均值为 3212.5 ind/km²，范围为 1687.4~5225.4 ind/km²，最高值出现在 D02 号站，最低值出现在 D01 号站（表 6.7-4）。

表 6.7-4 春季游泳生物出现种数、现存资源密度统计数据

站号	鱼类		甲壳类		头足类		贝类		总渔获物	
	重量密度	尾数密度	重量密度	尾数密度	重量密度	尾数密度	重量密度	尾数密度	重量密度	尾数密度
D01										
D02										
D03										
D04										
D09										
D10										
D11										
D12										
D13										
D15										
D17										
D20										
平均值										

备注：重量密度 (kg/km²)；尾数密度 (ind/km²)；“-”表示未捕获。

6.7.3.3 优势种群

1、秋季

秋季调查游泳动物 *IRI* 值大于 1000 的优势种有 6 种，均为甲壳类，依次为长叉口虾蛄、隆线强蟹 (*Eucrater crenata*)、口虾蛄、阿氏强蟹 (*Eucrater alcocki*)、细巧仿对虾 (*Parapenaeopsis tenella*)、直额螳 (*Charybdis truncatus*)。 *IRI* 值在 100~1000 的主要种类有 16 种，包括 7 种鱼类、7 种甲壳类和 2 种贝类。其中长叉口虾蛄为整个调查海域的优势度最高的种类，其 *IRI* 值为 2852 (表 6.7-5)。

表 6.7-5 秋季调查海域游泳生物优势种群的相对重要性指数 *IRI*

序号	优势种	渔获率比例 (%)	渔获密度比例 (%)	出现频率 (%)	<i>IRI</i>
1	长叉口虾蛄	19.50	9.02	100	2852
2	隆线强蟹	14.79	9.89	100	2468
3	口虾蛄	15.45	9.00	100	2445
4	阿氏强蟹	11.65	6.85	100	1850
5	细巧仿对虾	1.74	11.94	100	1368
6	直额螳	5.06	8.33	100	1340
7	假奈拟塔螺	1.26	6.99	100	824
8	变态螳	2.60	4.63	100	724
9	笋锥螺	2.55	4.54	100	709
10	矛形梭子蟹	1.48	4.00	100	548
11	豆形拳蟹	1.20	2.95	100	414
12	白姑鱼	2.18	2.01	91.67	384
13	周氏新对虾	1.16	2.42	100	358
14	矛尾鰕虎鱼	1.43	2.12	100	355
15	贪食鼓虾	0.81	2.24	91.67	280

序号	优势种	渔获率比例 (%)	渔获密度比例 (%)	出现频率 (%)	IRI
15	断脊口虾蛄	2.84	1.53	58.33	255
17	中华管鞭虾	0.87	1.71	91.67	237
18	卵蜆	0.94	0.94	100	187
19	龙头鱼	1.61	0.78	75.00	179
20	大鳞舌鳎	1.52	0.50	83.33	168
21	皮氏叫姑鱼	1.30	0.68	83.33	165
22	黄斑蓝子鱼	1.10	0.71	75.00	136
合计		93.05	93.77	-	-

2、春季

春季调查游泳动物 IRI 值大于 1000 的优势种有 6 种，均为甲壳类，依次为口虾蛄、长叉口虾蛄、阿氏强蟹 (*Eucrater alcocki*)、隆线强蟹 (*Eucrater crenata*)、断脊口虾蛄 (*Oratosquilla interrupta*)、贪食鼓虾 (*Alpheus rapacide*)。IRI 值在 100~1000 的主要种类有 19 种，包括 8 种鱼类、9 种甲壳类和 2 种贝类。其中口虾蛄为整个调查海域的优势度最高的种类，其 IRI 值为 2278 (表 6.7-6)。

表 6.7-6 春季调查海域游泳生物优势种群的相对重要性指数 IRI

序号	优势种	渔获率比例 (%)	渔获密度比例 (%)	出现频率 (%)	IRI
1	口虾蛄	15.33	7.46	100.00	2278
2	长叉口虾蛄	12.63	6.38	91.67	1742
3	阿氏强蟹	8.66	5.83	100.00	1450
4	隆线强蟹	9.15	5.05	100.00	1421
5	断脊口虾蛄	8.57	4.18	100.00	1275
6	贪食鼓虾	2.92	7.82	100.00	1074
7	近缘新对虾	3.22	5.38	100.00	861
8	变态蜆	3.14	5.35	100.00	849
9	直额蜆	2.70	5.35	83.33	671
10	笋锥螺	1.61	4.39	100.00	600
11	短吻蝠	3.29	3.16	91.67	591
12	假奈拟塔螺	0.74	5.14	91.67	540
13	皮氏叫姑鱼	2.62	1.86	108.33	486
14	宽突赤虾	1.53	4.54	75.00	455
15	细巧仿对虾	0.96	4.09	83.33	421
15	矛形梭子蟹	1.01	2.92	100.00	393
17	矛尾鰕虎鱼	1.04	1.35	100.00	239
18	日本蜆	1.12	2.41	58.33	206
19	豆形拳蟹	0.60	1.41	91.67	184
20	黄斑蓝子鱼	1.35	0.75	83.33	175
21	日本关公蟹	1.23	1.11	66.67	157
22	海鳗	1.59	0.30	75.00	142
23	大鳞舌鳎	1.04	0.81	66.67	124

序号	优势种	渔获率比例 (%)	渔获密度比例 (%)	出现频率 (%)	IRI
24	卵鳎	0.61	0.60	83.33	101
25	白姑鱼	1.15	0.57	58.33	101
	合计	87.80	88.24	-	-

6.7.3.4 多样性指数

1、秋季

秋季调查渔业资源多样性指数 (H') 范围为 3.243~4.481, 平均值为 3.877; 均匀度指数 (J) 范围为 0.682~0.903 之间, 平均值为 0.787; 丰富度指数 (D) 范围为 2.728~4.004 之间, 平均值为 3.481 (表 6.7-7)。三项指数在各调查站间的差异较大。总体来看, 调查海域渔业资源种类多样性指数处于较好水平, 群落结构处于比较稳定的状态。

表 6.7-7 秋季调查海域浮游动物多样性、均匀度和丰富度指数

站位	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
范围			
平均值			

2、春季

春季调查渔业资源多样性指数 (H') 范围为 4.160~4.707, 平均值为 4.393; 均匀度指数 (J) 范围为 0.851~0.921 之间, 平均值为 0.885; 丰富度指数 (D) 范围为 3.200~4.648 之间, 平均值为 3.751 (表 6.7-8)。种类多样性指数和均匀度指数在各调查站间的差异较小, 而丰富度指数在各调查站间的差异较大。总体来看, 调查海域渔业资源种类多样性指数处于较好水平, 群落结构处于比较稳定的状态。

表 6.7-8 春季调查海域浮游动物多样性、均匀度和丰富度指数

站位	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
D01			
D02			
D03			
D04			
D09			
D10			
D11			
D12			
D13			
D15			
D17			
D20			
范围			
平均值			

6.8 鸟类现状调查与评价

鸟类现状调查引用原环评调查结果，本报告仅进行简单概述。本次调查共记录鸟类 83 种，隶属 10 目 27 科，共计 3131 只次。以越冬水鸟为主要组成部分，优势种为黑腹滨鹬和铁嘴沙鸻。本次调查的鸟类中，水鸟有 46 种，其他 37 种陆生鸟类中，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 46 种，其中冬候鸟 29 种，迁徙过境鸟 6 种，夏候鸟 11 种，说明本区域是多种迁徙候鸟的越冬地和中途停歇地。列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 54 种，国家二级保护动物有 6 种。调查中没有发现种群数量超过占全球种群数量 1% 以上的物种。

6.8.1 季节动态分析

从鸟类种类上看，调查区域的鸟类物种数季节差异不大，在 44-50 种之间变化，其中春秋季物种数较多，分别为 49 和 50 种，夏季和冬季相对较少，均为 44 种。但从物种组成来说，存在季节性更替。其中春秋季物种相似度最高，冬夏季最低。数量按季节划分，以冬春季数量占优，其中冬季是全年鸟类数量最多的季节。

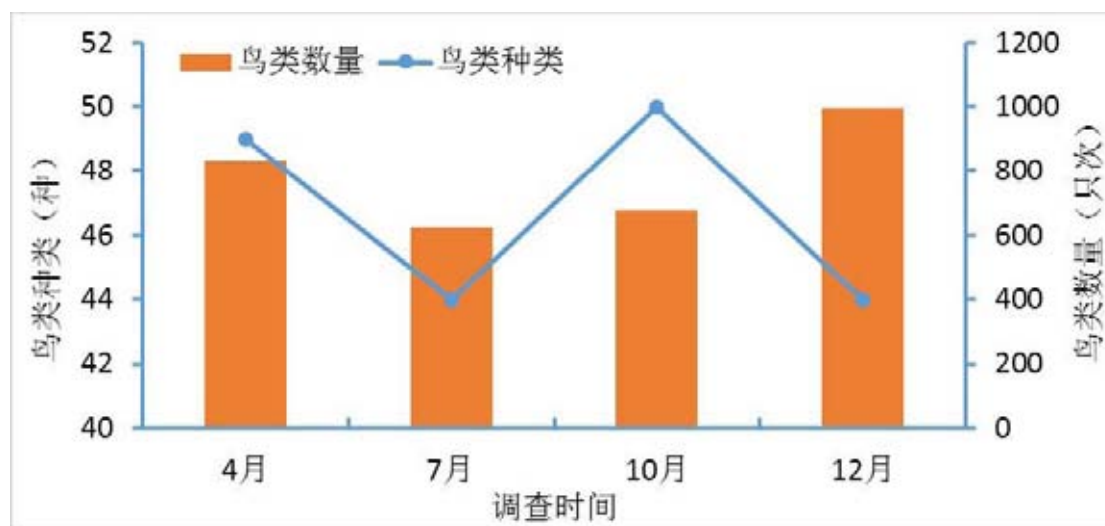


图 6.8-1 调查区域鸟类季节动态变化

6.8.2 海上风电场场区鸟类现状

海上风电场场区完全为海域，调查期间，仅发现有普通燕鸥、褐翅燕鸥、黑枕燕鸥 (*Sterna sumatrana*) 等在上空飞过，合计记录鸟类一目两科 4 种，共计 46 只次。以上种类多为零星出现，距离水面约 2-10m，飞行速度略高于船速或相

当。结果显示，其中7月份场区内的鸟类数量最多，主要由于该时期为燕鸥繁殖期后期，燕鸥活动较为活跃。

表 6.8-1 海上风电场场址鸟类调查统计

调查季节	普通燕鸥	褐翅燕鸥	黑枕燕鸥	黑尾鸥
4月(春季)	2	0	0	0
7月(夏季)	0	30	6	0
10月(秋季)	1	2	0	0
12月(冬季)	2	0	0	3

6.8.3 海上风电场周边岛屿和海域鸟类现状

海上风电场周边主要岛屿有南鹏岛、大镬岛、二镬岛等8个岛屿，本调查在岛屿和海域共记录鸟类9目17科30种，684只次。其中南鹏岛为项目周边面积最大、距离项目所在地最近的一个离岸岛屿，而且岛上有人居住，并可提供临时住宿，因此选取南鹏岛作为本次调查主要代表岛屿。经过四次调查，在南鹏岛上共记录到鸟类27种，491只次。各季度的物种数和个体数量见图6.8-2。

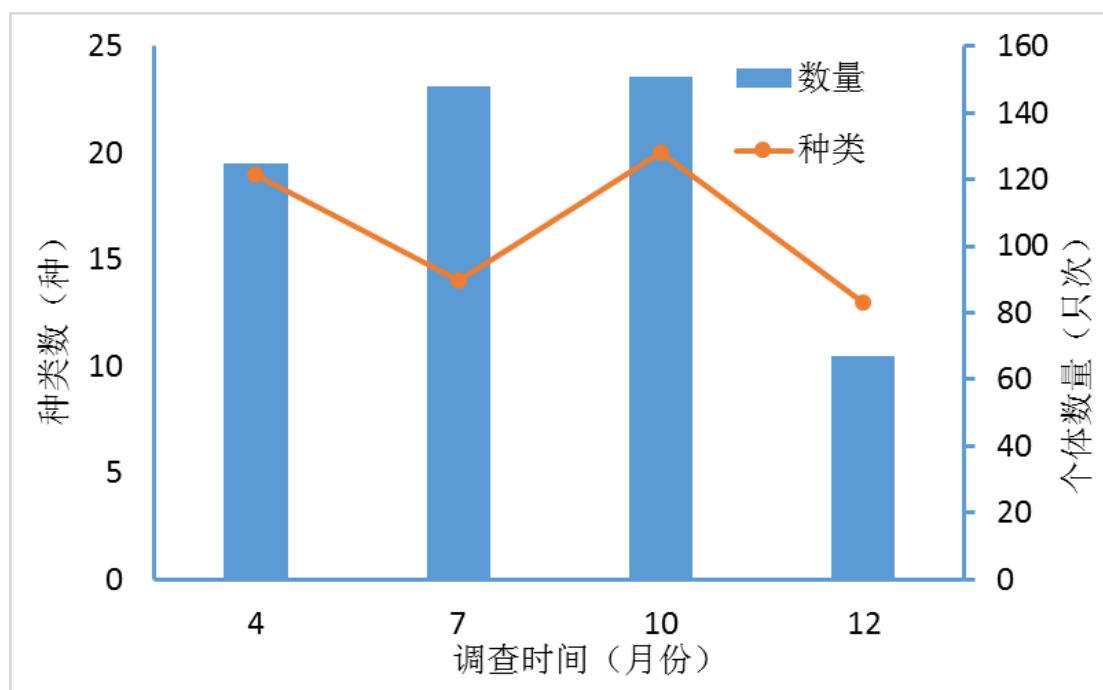


图 6.8-2 南鹏岛鸟类调查季节性记录

另在虎仔岛、鸡心石、大西帆石和小西帆石等4座岛屿上发现燕鸥繁殖活动，其中以二镬岛旁的鸡心石所发现数量最多，种类包括褐翅燕鸥、粉红燕鸥和黑枕燕鸥。这些岛屿的特征多为面积小、岩礁地貌为主、无人上岛干扰等。而大镬岛、

二镬岛等由于有人类活动（包括岛上旅游和周边渔船），并未发现燕鸥繁殖和活动的迹象。

表 6.8-2 周边岛屿燕鸥繁殖情况

岛屿	褐翅燕鸥	粉红燕鸥	黑枕燕鸥	合计
虎仔岛	20		5	25
鸡心石	50	6	10	66
小西帆石	8			8
大西帆石	10		9	19

6.8.4 沿岸鸟类现状

和海上调查相比，沿岸鸟类在物种和数量上均远高于海上风电场场区及周边海域。在陆域海岸共记录种类 69 种，数量 2401 只次，主要分布在海陵大桥东侧红树林和滩涂。沿海湿地鸟类以春季种类最为丰富，而数量则以冬季为最高。除夏季以铁嘴沙鸨数量最多外，其他季节数量最占优的均是黑腹滨鹬。整体上以越冬候鸟为主要组成部分，红树林区域外侧滩涂在低潮滩涂出露时常有多种鸟类集大群觅食，是评价范围内鸟类的最主要的觅食和栖息地。

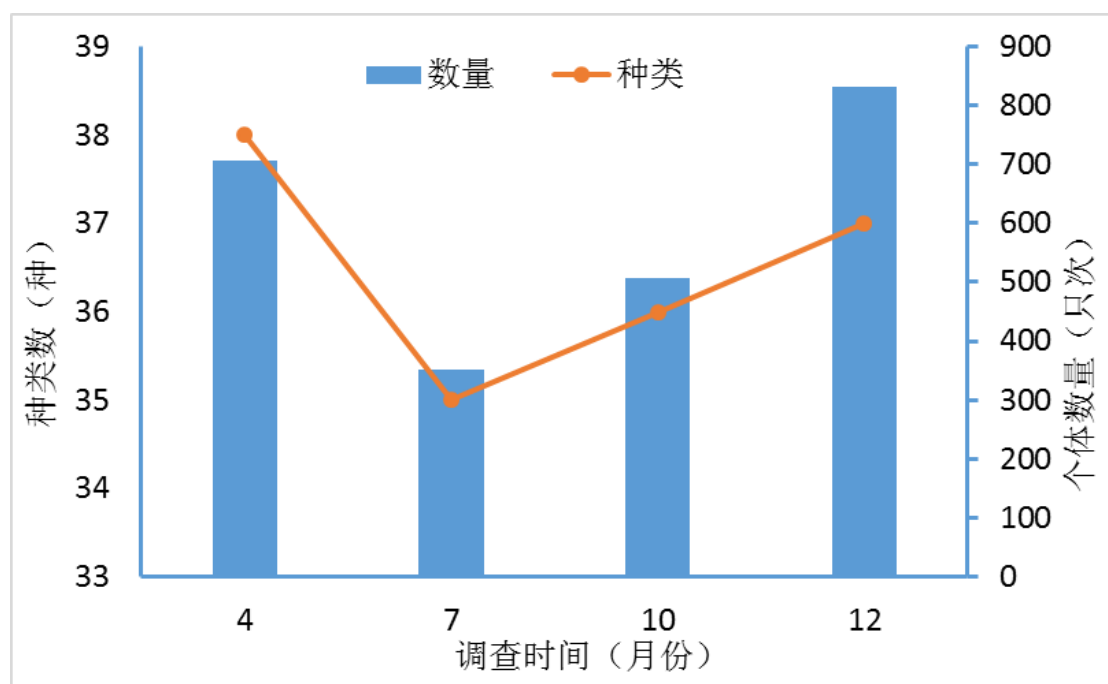


图 6.8-3 沿岸鸟类调查季节性记录

该地区沿海鸟类种类丰富，生态环境良好。其中大部分鸟类分布于红树林区和滩涂区域，主要是由于近岸湿地底栖动物丰富，是多种涉禽（包括鹭科鸟类、鸬鹚类等）的主要食物来源。而南鹏风电场场址所在地距离鸟类分布主要区域约

20km，大于大部分鸟类活动的半径范围，且没有底栖动物分布，对红树林区和滩涂区域的鸟类基本没有影响。

6.8.5 受保护及代表性物种分析

根据调查结果，选取记录中的国家级保护物种 6 种、其他保护物种中与海洋关系较为密切的、具有区域特色的鸥科和燕鸥科鸟类 10 种、以及调查数量最多的两个物种（黑腹滨鹬和铁嘴沙鸨），一共 18 种鸟类作为本区域具有代表性的指标物种作详细分析，阐明其识别特征和栖息习性，并简要说明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

识别：岩鹭为鸻形目（Ciconiiformes）鹭科的鸟类。体长 55~64cm。有炭灰色和白色两种色型，其中炭灰色型较常见，体羽清一灰色并具短冠羽，近白色的颈在野外清楚可见。虹膜黄色，与其他鹭的区别为腿偏绿色且相对较短，嘴浅黄色，习性也不同。

习性：岩鹭是典型的海岸鸟类，为留鸟。主要生活于岩壁海岸或海岛上，尤其喜欢栖息在多岩礁的海岛和海岸岩石上，飞行时速度缓慢，常在海上及岩礁上低空飞翔。站立时身体呈驼背状，停立于海边岩石上或飞跃于浪花间，贴近海面飞行，颈部缩成“S”形，两翅鼓动缓慢。大多单独活动，有时 3、5 成群。捕捉生存于石缝中之蟹类及啄食潮间带里的小型脊椎动物和无脊椎动物。

岩鹭每年 4-6 月繁殖，主要营巢于海岛岩壁的缝隙或平台上，也在树上或低矮的灌木上营巢。巢较为简陋，通常由枯枝和草茎构成盘状。每窝产卵 2-5 枚，卵的颜色为淡青色或淡绿色。

项目影响：岩鹭在项目评价范围内为留鸟，在四次调查中均有记录，种群数量约为 5-8 只。主要分布在岛屿岩岸生境，白天多停留在礁石岸边伺机捕食，偶尔在不同的海岛、礁石之间作短距离迁移飞行。由于其主要在白天活动，飞行速度低且飞行高度低，少有集大群出现，海上风机对其影响较轻微，影响时段集中在非繁殖期。

(2) 黑翅鸢 (*Elanus caeruleus*) 保护状况：国家二级保护

识别：黑翅鸢为鹰科（Accipitridae）小型猛禽，体长约 33 cm，上体蓝灰色，下体白色。眼先和眼周具黑斑，肩部亦有黑斑，飞翔时初级飞羽下面黑色，和白色的下体形成鲜明对照。尾较短，平尾，中间稍凹，呈浅叉状。脚黄色，嘴黑色。

习性:黑翅鸢通常栖息于有树木和灌木的开阔原野、农田、疏林和草原地区。一般单独活动，活动在白天，多在早晨和黄昏活动，叫声细而尖，但一般不善于鸣叫。常见停歇在树梢、电线杆或岩石凸出处，偶尔猛冲飞翔捕食。飞翔的高度较低，采用盘旋、翱翔等方式。白天单独活动，多在晨昏进行。主要以鼠类、昆虫、小鸟、野兔、昆虫和爬行动物等为食。3~4 月间繁殖，营巢于树上或较高的灌木上。巢较松散而简陋，主要由枯树枝构成，内垫物为细草根和草茎。每窝产卵 3~5 枚，孵化期为 25~28 天。

项目影响:黑翅鸢在项目调查区域为夏候鸟，本次调查仅在 7 月份发现一只次，属于偶见种类，遇见频次不高。主要活动于大陆沿岸，白天多停在乔木顶部或电线杆上，在沿海湿地和周边农田上空飞行。

(3) 黑鸢 (*Milvus migrans*) 保护状况: 国家二级保护

识别:黑鸢为鹰科中型猛禽，体长 54~69 cm。上体暗褐色，下体棕褐色，均具黑褐色羽干纹，尾较长，呈鱼尾叉状，具宽度相等的黑色和褐色相间排列的横斑；飞翔时翼下左右各有一块大的白斑。

习性:主要栖息于开阔平原、草地、荒原和低山丘陵地带，也常在城郊、村屯、田野、港湾、湖泊上空活动。白天活动，常单独在高空飞翔。主要以小鸟、鼠类、蛇、蛙、鱼、野兔、蜥蜴和昆虫等动物性食物为食。繁殖期 4-7 月。营巢于高大树上，也营巢于悬岩峭壁上。巢呈浅盘状，结构较为松散。雌雄亲鸟共同营巢。每窝产卵 2-3 枚，雌雄亲鸟轮流孵卵，孵化期 38 天。雏鸟晚成性。

项目影响:黑鸢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。本次调查除冬季外均有记录，观测地点在近岸陆地和南鹏岛上均有记录，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) 松雀鹰 (*Accipiter virgatus*) 保护状况: 国家二级保护

识别:松雀鹰是鹰科中等体型猛禽，体长 28~38 cm。雄鸟上体黑灰色，喉白色，喉中央有一条宽阔而粗著的黑色中央纹，其余下体白色或灰白色，具褐色或棕红色斑，尾具 4 道暗色横斑。雌鸟个体较大，上体暗褐色，下体白色具暗褐色或赤棕褐色横斑。虹膜、蜡膜和脚黄色，嘴在基部为铅蓝色，尖端黑色。

习性:栖息于山地针叶林、阔叶林和混交林中，冬季时则会到海拔较低的山区，在较为空旷处活动和觅食，常单独或成对活动。喜在 6~13 米高的乔木上筑

巢，以树枝编成皿状。主要捕食鼠类、小鸟、昆虫等动物。繁殖期间每窝可产卵4~5枚。卵为浅蓝白色，并带有明显的赤褐色斑点，孵化期约1个月左右。

项目影响：松雀鹰在项目调查区域仅冬季和春季出现，即12-4月，属垂直迁徙类型。主要活动于近岸灌木林和岛上山林，不在海面飞行。调查记录仅在4月近岸海岛记录到一只次，属偶见种。海上风机对其栖息基本不产生影响。

(5) 普通鵟 (*Buteo buteo*) 保护状况：国家二级保护

识别：普通鵟为鹰科中型猛禽，体长50~59 cm。体色变化较大，上体主要为暗褐色，下体主要为暗褐色或淡褐色，具深棕色横斑或纵纹，尾淡灰褐色，具多道暗色横斑。飞翔时两翼宽阔，初级飞羽基部有明显的白斑，翼下白色，仅翼尖、翼角和飞羽外缘黑色（淡色型）或全为黑褐色（暗色型），尾散开呈扇形。翱翔时两翅微向上举成浅‘V’字形。

习性：普通鵟春季迁徙时间多在3-4月，秋季多在10-11月。繁殖期间主要栖息于山地森林和林缘地带，秋冬季节则多出现在低山丘陵和山脚平原地带、耕地和村落，以小型哺乳动物为食。大多单独活动，性情机警，视觉敏锐，善于飞翔。繁殖期为5-7月份。通常营巢于林缘或森林中高大的树上，巢结构简单。5-6月产卵，每窝产卵2-3枚，孵化期大约28天，雏鸟为晚成性。

项目影响：普通鵟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，在调查期间仅于12月在陆域海岸记录到一只次。未见于在项目场址内部飞行，项目对其种群不构成影响。

(6) 褐翅鸦鹃 (*Centropus sinensis*) 保护状况：国家二级保护

识别：褐翅鸦鹃为鸦鹃科中型鸟类，属攀禽，体长40~52 cm，嘴粗厚、黑色，尾羽呈长而宽的凸状，通体除两翅、肩和肩内侧为栗色外全为黑色。头、颈和胸部闪耀紫蓝色的光泽，胸、腹、尾部等逐渐转为绿色的光泽。其叫声为一连串深沉的boop声，是主要辨认特征。

习性：广泛栖息于1000 m以下的低山丘陵和平原地区，喜林缘地带、次生灌木丛、多芦苇河岸及红树林。常下至地面，但也在小灌丛及树间跳动。单个或成对活动，善于隐蔽，飞行时急扑双翅，尾羽张开，上下摆动，主要以动物性食物为食，有时还吃一些杂草种子和果实等植物性食物。

项目影响：褐翅鸦鹃在项目调查区域为常见留鸟，主要活动于沿岸湿地灌丛，

但通常较隐蔽，只凭鸣声识别。本次调查在 4、7、10 月均有记录，除项目场址外在沿岸陆域和近岸岛屿上都观测到，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。

(7) 铁嘴沙鸻 (*Charadrius leschenaultii*) 保护状况：中日协定和中澳协定收录

识别：铁嘴沙鸻是鸻科中小型涉禽，体长 23 cm，羽毛的颜色为灰、褐及白色，脸具黑色斑纹，前额白色。繁殖羽特征为胸具棕色横纹，越冬期和其他越冬鸻类对比缺少胸横纹或领环。嘴短，跗蹠修长，趾间具蹼或不具蹼。翅形尖长，尾形短圆。

习性：铁嘴沙鸻栖息于海滨沙滩、河口、内陆河流、湖泊岸边以及附近沼泽和草地上。通常沿海岸线、河道迁徙。常呈 2—3 只的小群活动，偶尔也集成大群，多喜欢在水边沙滩或泥泞地上边跑边觅食，特别喜欢海岸沙滩。喜欢在地上奔跑，且奔跑迅速，常常跑跑停停。主要以昆虫、昆虫幼虫、小型甲壳类和软体动物为食。繁殖期为 4—7 月，营巢于有稀疏植物的沙地或沙石地上，巢甚简单，每窝产卵 3—4 枚。

项目影响：铁嘴沙鸻在项目调查区域为迁徙过境鸟，9 月-翌年 4 月可见，主要活动于沿海红树林外侧滩涂，极少出现在岩质海岸。常结小群与其他鸻鹬类混合活动。在 4 次调查中均有记录，以 12 月记录数量最多，有 120 只，估计在本区域种群规模较大，约 100-150 只，较常见。由于其主要在近岸滩涂觅食，飞出近海活动几率较小，此时风机对其影响较小。但迁徙期间有可能飞越海面至澳大利亚越冬，有机会穿越风电场所在地。但就本次调查期间没有发现其确切迁徙路线，须在项目建成后持续观测。

(8) 黑腹滨鹬 (*Calidris alpina*) 保护状况：中日协定和中澳协定收录

识别：黑腹滨鹬为鹬科小型涉禽，是北半球最常见的鸻形目鸟类之一，体长约 20 cm。夏季上体棕色，下体白色，头灰褐色，有白色眉纹；颈与胸具黑褐色纵纹，腹部有大型黑斑。尾中央黑色，两侧白。冬季上体灰色，下体白色，颈和胸侧有灰褐色纵纹。虹膜暗褐色。嘴黑色，较长而微向下弯。脚绿灰色。

习性：黑腹滨鹬栖息于冻原、高原和平原地区的湖泊、河流、水塘、河口等水域岸边和附近沼泽与草地上。常成群活动于水边沙滩，泥地或水边浅水处。性活跃、善奔跑，常沿水边跑跑停停，飞行快而直。有时也见单独活动。主要以甲

壳类、软体动物、蠕虫、昆虫、昆虫幼虫等各种小型无脊椎动物为食。单独或成小群，常与其他涉禽混群。繁殖期为5—8月。雌雄成对营巢于苔原沼泽和湖泊岸边苔藓地上和草丛中。每窝产卵4枚孵化期21—22天。雏鸟早成性。

项目影响：黑腹滨鹬在项目调查区域为常见冬候鸟，9月-翌年4月可见，主要活动于近岸滩涂，常结大群与其他鹬类涉禽混群觅食。在4、10、12月调查中均有记录，观测地点均位于陆域海岸，最大数量为12月份记录到的310只，其种群规模为本次调查物种中最大，估计最多可超过500只。由于其活动区域距离风电场超过20 km，受风机影响较少。

(9) 黑尾鸥 (*Larus crassirostris*) 保护状况：省级保护

识别：鸥科中型水禽，体长43~51 cm。夏羽头、颈、腰和尾上覆羽以及整个下体全为白色；背和两翅暗灰色。翅上初级覆羽黑色，其余覆羽暗灰色，大覆羽具灰白色先端。冬羽和夏羽相似，但头顶至后颈有灰褐色斑。虹膜黄色，嘴黄色，脚粉红色。

习性：黑尾鸥主要栖息于沿海海岸沙滩、悬岩、草地以及邻近的湖泊、河流和沼泽地带。常成群活动。成天在海面上空飞翔或伴随船只觅食。也常群集于沿海渔场活动和觅食。有时也到河口、江河下游和附近水库与沼泽地带。偶尔栖息于沿海海岸沙滩、悬崖或在水面停歇，繁殖于草地以及邻近的湖泊、河流和沼泽地带，以底栖动物、鱼类为食。繁殖期为4~7月。通常营巢于人迹罕至的海岸悬崖峭壁的岩石平台上，也营巢于海边小岛和海岸附近内陆湖泊和沼泽地中的土丘上。巢呈浅碟状，由枯草构成。最早于4月下旬开始产卵。每窝产卵通常2枚，孵化期为25~27天。

项目影响：黑尾鸥在12月冬季于项目调查区域内曾有一次记录，同时10月和12月在南鹏岛周边海面也有记录，但由于种群数量较小（2-9只），风电场建设对其影响不大。此外，根据邻近福建省的岛屿调查记录，黑尾鸥也有在海岛繁殖可能，须保持对该物种的关注。

(10) 西伯利亚银鸥 (*Larus vegae*) 保护状况：省级保护，中日协定收录

识别：鸥科大型水禽，体长55~67 cm。夏羽头、颈白色。背、肩、翅上覆羽和内侧飞羽鼠灰色，肩羽具宽阔的白色端斑，腰、尾上覆羽和尾羽白色。初级飞羽黑褐色，羽端白色，第一枚和第二枚初级飞羽具宽阔的白色次端斑和白色端斑。内翮基部具灰白色楔状斑，依次往后初级飞羽基部灰白色楔状斑变为蓝灰色，

且扩展到内外翮，而且越往内灰色范围越大，黑色范围越小，到最内一枚初级飞羽全为灰色，仅具黑色次端斑和白色端斑。次级和三级飞羽灰色，具白色端斑。下体白色，翅下覆羽和腋羽亦为白色。冬羽和夏羽相似，但头和颈具褐色纵纹。虹膜黄色，嘴黄色，下嘴先端具红斑，脚粉红色或淡红色。

习性：常成对或成小群活动在水面上飞翔，亦善游泳，在陆地上多栖于海岛岩礁或沿海滩涂，以底栖动物、鱼类为食。其分布范围与黑尾鸥相似。

项目影响：西伯利亚银鸥在项目调查区域为冬候鸟，主要活动于沿海湿地，退潮时于滩涂停歇、觅食，亦可在海面停歇。种群规模较小，仅冬季在陆域海岸记录到 16 只，属偶见种。由于在本区域不存在繁殖可能性，风电场对其影响较小。

(11) 红嘴鸥 (*Larus ridibundus*) 保护状况：省级保护，中日协定收录

项目：红嘴鸥为鸥科中型水禽，体长 37~43 cm。嘴和脚皆呈红色，身体大部分的羽毛是白色，尾羽黑色。繁殖期深巧克力褐色的头罩延伸至顶后，非繁殖期眼后具黑色点斑。翼前缘白色，翼尖的黑色并不长，翼尖无或微具白色点斑。

习性：栖息于沿海、内陆河流、湖泊，常成大群活动，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。于陆地时，常停栖于出露滩涂或陆地上，以鱼虾、昆虫为食。

项目影响：红嘴鸥在项目调查区域为常见冬候鸟，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，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。本次调查仅在 12 月有记录，地点包括陆域海岸和近岸海岛，种群规模约 50 只。海上风电场距离其主要活动区域较远，基本不产生影响。

(12) 鸥嘴噪鸥 (*Gelochelidon nilotica*) 保护状况：省级保护

识别：鸥嘴噪鸥为燕鸥科中型水禽，体长 31~39 cm。夏羽额、头顶、枕和头的两侧从眼和耳羽以上黑色。背、肩、腰和翅上覆羽珠灰色。后颈、尾上覆羽和尾白色，中央一对尾羽珠灰色。尾呈深叉状。冬羽头白色，头顶和枕缀有灰色，并具不明显的灰褐色纵纹。眼前有一小的黑色条纹；耳区有一烟灰色黑斑。后颈白色。

习性：鸥嘴噪鸥在繁殖期主要栖息于内陆淡水或咸水湖泊、河流与沼泽地带。非繁殖期主要栖息于海岸及河口地区。单独或成小群活动。常出入于海滨、河口

及湖边沙滩和泥地。飞行轻快而灵敏。两翅振动缓慢。频繁的在水面低空飞翔。主要以小型鱼类、底栖动物、昆虫、水生草本为食。

项目影响：鸥嘴噪鸥在项目调查区域为冬候鸟，10月-翌年4月可见，主要活动于沿海滩涂。本次调查仅4月春季在陆域海岸记录到30只，种群规模较小，属偶见种。由于其很少远离海岸飞行，风电场对其影响较小。

(13) 红嘴巨燕鸥 (*Hydroprgne caspia*) 保护状况：省级保护，中澳协定收录

识别：红嘴巨燕鸥为燕鸥科大型水鸟，体长47~55 cm。夏羽前额、头顶、枕和冠羽黑色。后颈、尾上覆羽和尾白色，尾呈叉状。背、肩和翅上覆羽银灰色。眼先和眼及耳羽以下头侧白色；颈、喉和整个下体也为白色。冬羽和夏羽大致相似，但额和头顶白色，具黑色纵纹。虹膜暗褐色，嘴粗厚，长而直，颜色为鲜红色，幼鸟橙色，脚和爪黑色。

习性：主要栖息于海岸沙滩、平坦泥地、岛屿和沿海沼泽地带。也栖息于河口、内陆平原和荒漠中的湖泊与河流中。常单独或成小群活动。频繁的在水面低空飞翔。飞行敏捷而有力，两翅煽动缓慢而轻。善有用。如有危险时，则成群在天空上盘旋飞翔，并发出高声鸣叫。主要以小鱼为食。觅食主要在水面上空盘旋、翱翔，两翅频频煽动停息于空中，然后突然落下，潜入水中捕食。但通常潜的不深。

项目影响：红嘴巨燕鸥在项目调查区域为冬候鸟，10月-翌年2月可见，主要活动于近岸滩涂和海域，通常与其他鸥类和燕鸥类混群。种群规模较小，仅在10月秋季在陆域海岸记录到3只，属罕见种。

(14) 粉红燕鸥 (*Sterna dougallii*) 保护状况：省级保护，中日协定收录

识别：粉红燕鸥为燕鸥科中型水禽，体长31~38 cm。喙直，燕形尾。擅长俯冲潜水，但多不常游泳。眼先被羽；嘴细而直；颈和脚均较长，胫的下部裸出；趾间蹼不发达，结群。在繁殖季节，它们的胸呈粉红色。成年以后，尾巴深叉，头顶呈黑色，翅膀珍珠色，脚红色。

习性：粉红燕鸥主要栖息于海岸、岩礁、海中岛屿和开阔的海洋上。常成群活动，或与其他燕鸥混群。多在水边浅水处或频繁的在水面上空飞翔寻觅食物。飞翔时两翅煽动频繁，并不时的降落到岸礁上休息。冬季多活动在开阔的海洋。主要以小鱼为食。觅食在水面或潜入水下捕食。也抢劫其它鸥类的食物，能垂直

的潜入水中捕食，也常常侵袭其它浮鸥，逼使它们吐出已经吞咽的食物。

项目影响：粉红燕鸥在项目调查区域有繁殖记录，于4-7月可见，繁殖地主要位于距离风电场址约10 km的鸡心石，与褐翅燕鸥和黑枕燕鸥混群。但种群规模较小，仅于4月和10月在近岸岛屿分别记录到6只和4只，也没有在场址内部的飞行记录，需要在风电场建成后开展持续观测。

(15) 黑枕燕鸥 (*Sterna sumatrana*) 保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

识别：黑枕燕鸥是燕鸥科的中型水禽，体长31 cm，是一种体型略小而非常白的燕鸥。自眼前近嘴基处开始有一条黑带穿过眼到后枕相连，并向下扩展，在枕和后颈形成大块黑斑，其余头部白色，后颈基部有一条白色领圈。腰、尾上覆羽和尾白色。尾呈深叉状。冬羽和夏羽相似，但枕部黑色带斑少而窄。

习性：黑枕燕鸥为典型海洋鸟类。主要栖息于海岸、岩礁和海中岛屿上，从不进到内陆水域。常成群活动。频繁的在海面上空飞翔，休息时多栖息于岩石或沙滩上。主要以小鱼为食。也吃甲壳类，浮游生物和软体动物等海洋动物为食。繁殖期为5-6月。常成群在一起营巢。通常营巢于海岛和海岸岩石上，有时也在海滨沙滩营巢。每窝产卵通常为2枚。

项目影响：黑枕燕鸥在项目调查区域有繁殖记录，在虎仔岛、鸡心石和大西帆石上均有记录。多与褐翅燕鸥混群，但数量较少，仅7月在近岸岛屿和项目场址内部记录到，且主要分布在近岸岛屿，多在繁殖岛屿周边环绕飞行，偶有在海上观测到飞行个体，飞行高度距离海面10 m以下。

(16) 普通燕鸥 (*Sterna hirundo*) 保护状况：省级保护，中日协定和中澳协定收录

识别：普通燕鸥为燕鸥科中型水禽，体型略小约35 cm，繁殖期整个头顶黑色，胸灰色，尾深叉型。非繁殖期上翼及背灰色，尾上覆羽、腰及尾白色，额白，头顶具黑色及白色杂斑，颈背最黑，下体白。飞行时，非繁殖期成鸟及亚成鸟的特征为前翼具近黑的横纹，外侧尾羽羽缘近黑。嘴冬季黑色，夏季嘴基红色；脚偏红，冬季较暗。

习性：主要栖息于平原、草地、荒漠中的湖泊、河流、水塘和沼泽地带，也出现于河口、海岸和沿海、沼泽与水塘，常呈小群活动。频繁的飞翔于水域和沼泽上空。飞行轻快而敏捷，两翅煽动缓慢而轻微，并不时的在空中翱翔和滑翔，

窥视水中猎物，如发现猎物，则急冲直下，捕获后又返回空中。主要以小鱼、虾、甲壳类、昆虫等小型动物为食。

项目影响：普通燕鸥在项目调查区域为冬候鸟，于10月-翌年4月可见，多发现于海面飞行，单只或小群活动。四次调查均有记录，其中4、10、12月在项目场址内部和小型海岛上均有记录、4月和7月在陆域海岸有记录。据其飞行姿态判断，风电场建成后，普通燕鸥会选择回避该区域，从而减少碰撞的几率，总体上风机对其影响不大，但须在风电场建成后作持续观测。

(17) 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

识别：白额燕鸥为燕鸥科中小型水禽，体长22~27 cm。夏羽头顶、颈背及贯眼纹黑色，额白。冬羽头顶及颈背地黑色减少至月牙形。幼鸟似非繁殖期成鸟但头顶及上背具褐色杂斑，尾白而尾端褐。虹膜褐色；夏季嘴黄色，尖端黑色；冬季嘴黑色，基部黄，夏季脚橙黄色，冬季黄褐色或暗红色。

习性：白额燕鸥栖息于内陆湖柏、河流、水库、水塘、沼泽，以及沿海海岸、岛屿、河口和沿海沼泽与水塘等咸、淡水水体中。常成群活动。频繁的在水面低空飞翔。寻觅水中食物。主要以小鱼、甲壳类、软体动物和昆虫为食。

项目影响：白额燕鸥在项目调查区域为夏候鸟，主要活动于近岸滩涂，4、7、10月均有记录，其中7月记录位于陆域海岸，4和10月记录位于近岸海岛，但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，本次调查也没有繁殖记录，风电场对其影响十分轻微。

(18) 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

识别：褐翅燕鸥为燕鸥科中型水禽，体长40 cm。额白，连接白色眉纹，延伸至眼后方；头顶和枕及后颈黑色，上体黑褐色，双翅颜色更深浓，尾呈深叉状；穿眼纹黑色，在后方与头顶黑色相连，颈侧及下体白色；飞羽腹面黑褐色；飞行时翅的前缘及外侧尾羽白色；嘴和脚黑色。

习性：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。单独或成小群活动，频繁地在海面上空飞翔和降落于水面上。飞行轻盈有力，嘴部垂直朝向水面，缓缓煽动双翅搜索海面食物。一旦发现即收翅直插水中，然后又直线升入空中，不善潜水。有时低飞触及水面，也常栖于海面

漂浮物上休息，晚上常栖停在航船桅杆宿夜。繁殖期一般为是 5-6 月，集群营巢繁殖，通常营巢于海岛和海岸岩石上，食物主要是鱼类、甲壳类和海洋软体动物。

项目影响：褐翅燕鸥在项目调查区域为主要繁殖鸟类，在四个有繁殖记录的岛屿上均有分布。其个体较大，体色较深，容易辨认，常与黑枕燕鸥和粉红燕鸥混群活动。该物种在风电场区、周边岛屿上均有记录，记录时间为 7 月和 10 月，但在陆域海岸湿地则没有分布，是主要利用海域活动的种类，也是风电场最有可能影响的鸟种。因此需在风电场建设期和运行期均加强对周边有褐翅燕鸥繁殖种群的岛屿进行监测，分析种群变化是否有受海上风电场的影响。

6.9 声环境现状调查与评价

声环境现状调查与评价引用原环评调查结果。厦门大学课题组于 2016 年 12 月 5 日对中广核阳江南鹏岛海上风电场项目工程海域的声环境质量进行了现场调查。根据国家海洋局关于《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014.4）的通知要求，在工程海域共设置 8 个噪声调查站点（各站点均开展水上、水下声测量），各站点经纬度坐标见表 6.9-1。

表 6.9-1 噪声调查站位坐标

站位	北纬	东经
1	21°28'57.42"N	112°01'04.83"E
2	21°27'44.66"N	112°06'28.95"E
3	21°30'57.08"N	112°10'09.52"E
4	21°27'04.72"N	112°13'28.11"E
5	21°29'39.02"N	112°16'01.42"E
6	21°33'16.51"N	112°20'12.38"E
7	21°25'16.87"N	112°17'55.27"E
8	21°23'51.05"N	112°10'10.06"E

2016 年 12 月 5 日课题组对中广核阳江南鹏岛 400MW 海上风电场项目工程海域开展了声环境现场调查。声环境调查期间，天气晴，海况 1-2 级，调查站位详见图 6.8-1。



图 6.9-1 工程海域声环境调查站点

(1) 水上噪声环境调查结论

由海上声环境现场调查结果可知，该工程海域海面环境噪声无计权等效噪声级主要分布在 80~97dB 之间，算术平均值为 90.4dB；最大声级的算术平均值为 111.6dB；在 20Hz~20kHz 的频率分布范围内，各频带噪声级的最大动态范围为 49dB。

(2) 水下噪声环境调查结论

中广核阳江南鹏岛海上风电场项目所处海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 137dB，噪声谱级的总动态变化范围是 81dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 36dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 118dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 104dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 99dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 69dB 以下。

6.10 海洋环境质量回顾性评价

6.10.1 回顾性评价历史资料的选取

截至 2020 年 4 月，本项目已完成海上升压站、8 台风机、登陆点、1 回 220kV 海缆、35kV 首回路的施工。为了充分了解项目海域环境变化情况，本次对工程周边海域海洋环境质量进行回顾。主要选取原环评 2015 年 4 月国家海洋局南海调查技术中心在工程所在海域环境质量现状调查的结果进行对比分析。具体资料概况见表 6.10-1。

表 6.10-1 本次回顾引用资料调查概况

编号	调查时间	站位数量		调查单位	调查内容	调查单位资质	本次评价引用因子
1	2015年4月	水质	28	国家海洋局南海调查技术中心	水质、沉积物、生物质量和海洋生态环境	有 CMA 认证	1. 水质：石油类、活性磷酸盐、无机铜、汞、锌 2. 沉积物：石油类、铜、砷、铬和锌 3. 海洋生态环境：浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物 4. 生物质量：石油类、锌
		沉积物	17				
		生态	17				
2	2020年4月	水质	20	深圳中检联检测有限公司	水质、沉积物、生物质量和海洋生态环境	有 CMA 认证	
		沉积物	10				
		生态	12				

2015 年 4 月共布设海洋水质调查站位 28 个，沉积物调查站位 17 个，海洋生态调查站位 17 个，具体调查站位见图 6.10-1。

2020 年 4 月共布设海洋水质调查站位 20 个，沉积物调查站位 10 个，海洋生态调查站位 12 个，具体调查站位见图 6.10-2。

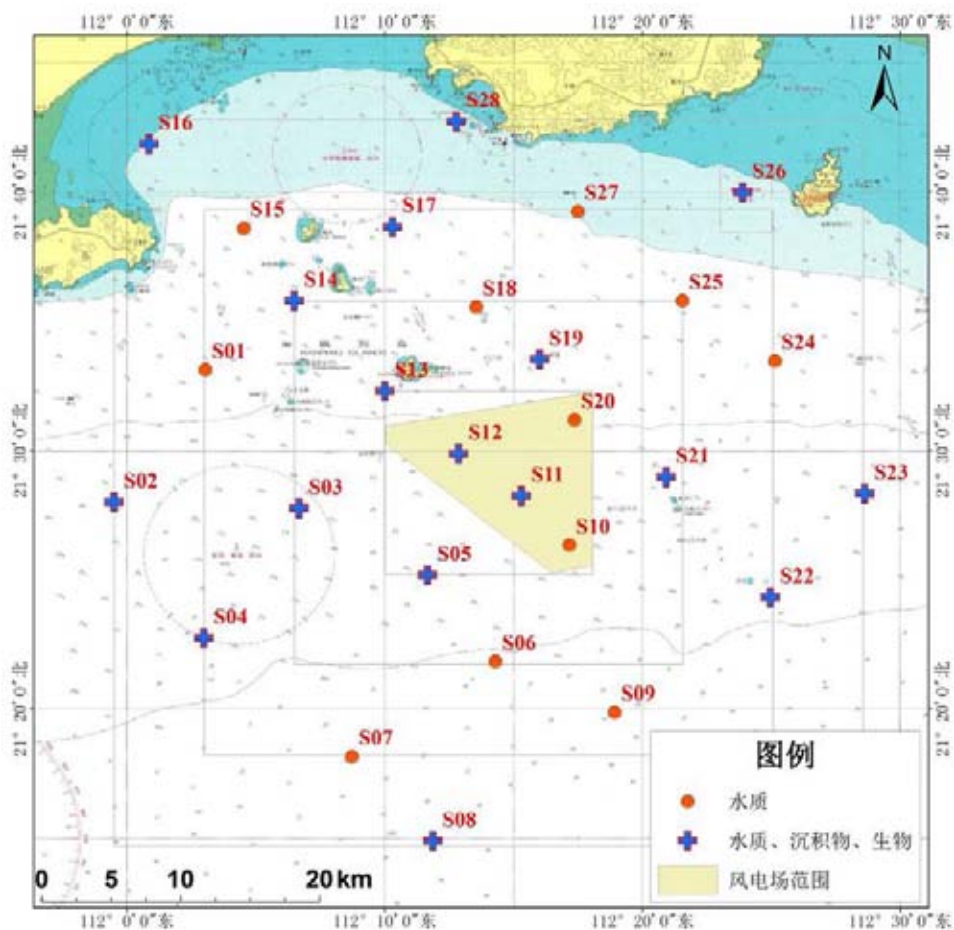


图 6.10-1 2015 年 4 月海洋环境质量调查站位分布

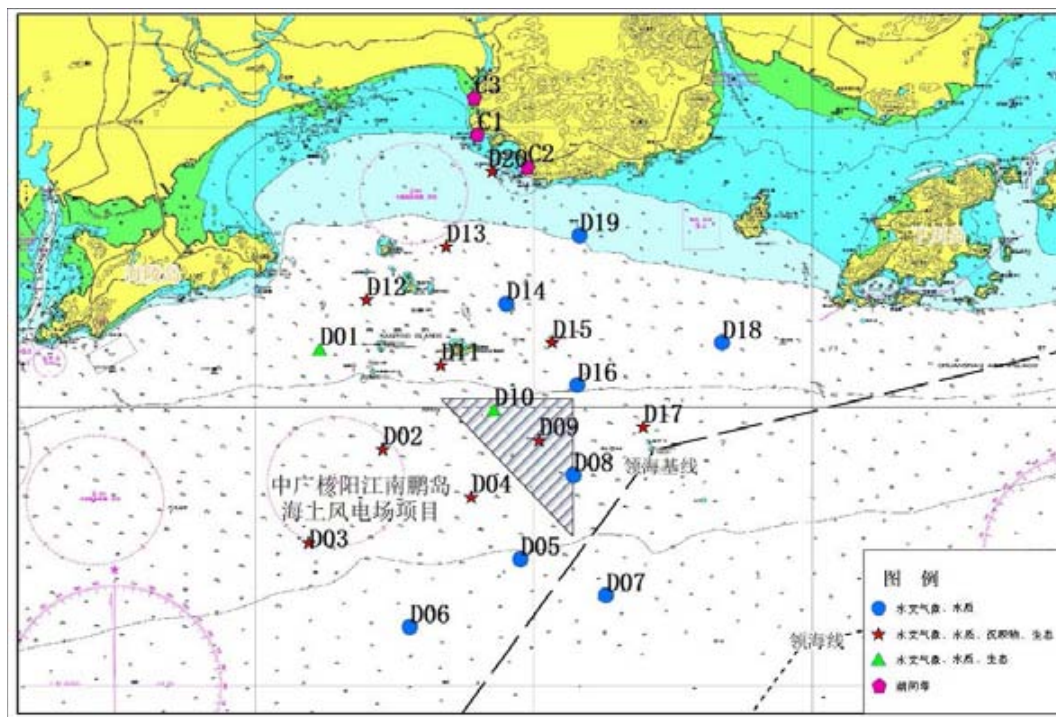


图 6.10-2 2020 年 4 月海洋环境质量调查站位分布

6.10.2 评价标准

海水水质评价标准采用《海水水质标准》中的一类标准。海洋沉积物质量评价采用《海洋沉积物质量》中的一类标准。

6.10.3 海水水质环境回顾评价

2015年4月和2020年4月调查站位水质监测结果统计见表6.10-2。

表 6.10-2 海域海水水质历史数据表

项目	一类海水水质标准	调查时间	最小值	最大值	平均值	最大超标倍数
无机氮 ($\mu\text{g/L}$)	$\leq 200\mu\text{g/L}$	2015年春季	60	307	141	0.54
		2020年春季	129	462	220	1.31
活性磷酸盐 ($\mu\text{g/L}$)	$\leq 15\mu\text{g/L}$	2015年春季	<1	3	1	0
		2020年春季	ND	38	11	1.53
铜 ($\mu\text{g/L}$)	$\leq 5\mu\text{g/L}$	2015年春季	0.9	4.6	2.0	0
		2020年春季	1.65	8.85	3.48	0.71
汞 ($\mu\text{g/L}$)	$\leq 0.05\mu\text{g/L}$	2015年春季	未检出	0.013	0.005	0
		2020年春季	未检出	0.162	0.083	2.23

分析调查区海域无机氮、磷酸盐、铜、汞等因子的变化情况。相较于2015年春季，2020年春季海水水质中无机碳、活性磷酸盐、铜和汞含量有一定程度的增加。

本项目目前已完成海上升压站、8台风机、登陆点、1回220kV海缆、35kV首回路的施工，在施工过程中各类污染物均得到有效的处置和处理，不排海，不会对周边环境造成影响；施工引起的悬浮泥沙浓度增高，随着施工结束数小时内衰减至背景浓度。因此，本项目施工基本不会影响周边海水水质。综上所述，无机氮、活性磷酸盐、铜、汞超标不是由于本工程施工所导致，可能与陆源污染物排放入海有关。

6.10.4 沉积物调查结果

2015年4月和2020年4月调查站位沉积物监测结果统计见表6.10-3。

表 6.10-3 项目周边海域海洋沉积物调查历史数据表

项目	评价标准	调查时间	最小值	最大值	平均值	最大超标倍数
铜 ($\times 10^{-6}$)	$\leq 35.0 \times 10^{-6}$	2015年	11.9	40.0	27.4	0.14
		2020年	19.5	35.0	19.0	0
砷 ($\times 10^{-6}$)	$\leq 20.0 \times 10^{-6}$	2015年	12.06	25.01	18.04	0.25
		2020年	6.5	11.4	7.6	0

铬 ($\times 10^{-6}$)	$\leq 80.0 \times 10^{-6}$	2015年	29.6	106.1	51.6	0.33
		2020年	20.2	33.9	22.9	0

根据调查海域沉积物代表年份监测数据，2020年沉积物质量中铜、砷、汞含量相较于2015年含量有所降低，均符合《海洋沉积物质量标准》中的一类标准，项目海域沉积物质量较好。

6.10.5 海洋生态环境

6.10.5.1 浮游植物

2015年4月和2020年4月浮游植物调查结果列于表6.10-4中。由表6.10-4可见，2015年4月和2020年4月浮游植物种群优势种均为硅藻，相比2015年，2020年浮游植物细胞平均数量变低。在两年的监测结果中，虽然浮游植物种类数存在一定的差异，但多样性指数、均匀度差别较小，说明该海域浮游植物群落具有稳定性。

表 6.10-4 浮游植物历年调查结果

项目	浮游植物	
	2015年4月	2020年4月
调查时间	2015年4月	2020年4月
种类数(种)	77	100
主要类群及所占比例	硅藻 53.25%	硅藻 75%
细胞数量平均值($\times 10^4 \text{cells/m}^3$)	98.51	57.63
多样性指数	3.26	4.224
均匀度	0.72	0.794

6.10.5.2 浮游动物

2015年4月和2020年4月浮游动物主要指标结果列于表6.10-5中。由表6.10-5可见，相较于2015年，2020年浮游动物种类数变多，生物量及丰度均变大。在两年监测结果中，虽然浮游动物种类数存在一定的差异，但多样性指数、均匀度差别较小，说明该海域浮游动物群落具有稳定性。

表 6.10-5 浮游动物历年调查结果

项目	浮游动物	
	2015年4月	2020年4月
调查时间	2015年4月	2020年4月
种类数(种)	45	102
生物量平均值(mg/m^3)	122.31	222.75
平均丰度(ind/m^3)	215.74	1986.1
多样性指数	4.01	4.153
均匀度	0.83	0.743

6.10.5.3 底栖生物

2015年4月和2020年4月底栖生物调查结果列于表6.10-6中。由表6.10-6可见，2020年底栖生物种类相较于2015年变多，但底栖生物生物量与栖息密度均有所降低。在两年监测结果中，虽然底栖生物植物种类数存在一定的差异，但多样性指数、均匀度差别较小，说明该海域底栖生物群落具有稳定性，未因周边海域近年来的开发利用导致不可逆的影响。

表 6.10-6 底栖生物历年调查结果

项目	底栖生物	
	2015年4月	2020年4月
调查时间	2015年4月	2020年4月
种类数(种)	48	50
生物量平均值(g/m ²)	120.96	14.43
栖息密度平均值(个/m ²)	167.65	148.9
多样性指数	2.5334	2.904
均匀度	0.8942	0.791

6.10.5.4 潮间带生物

潮间带生物调查监测数据如表6.10-7。相较于2015年4月，2020年4月所调查潮间带生物的种类数有所增加，平均生物量及平均栖息密度均有所降低。

表 6.10-7 潮间带生物历年调查结果

项目	潮间带生物	
	2015年4月	2020年4月
调查时间	2015年4月	2020年4月
种类数(种)	7	34
生物量平均值(g/m ²)	100.37	0.85
栖息密度平均值(个/m ²)	44.44	34.2
多样性指数	1.0742	1.821
均匀度	0.9202	0.868

6.10.5.5 小结

综上所述，调查海域生物多样性维持较好，未因周边海域近年来的开发利用导致不可逆的影响。

6.10.6 生物质量

生物质量调查结果列于表6.10-8。由表知2015年春季海洋生物质量调查结果显示，调查海域生物质量良好，鱼类及甲壳类均未出现超标情况。2020年春季调查，未捕获贝类。鱼类和甲壳类生物质量良好，均满足标准要求。相较于2015年生物质量，2020年生物质量锌及石油烃略有升高，但均满足标准要求。

说明调查海域生物质量良好，本项目施工未对海洋生物质量造成不可逆影响。

表 6.10-8 生物质量历史数据表

项目	评价标准	调查时间	最小值 (mg/kg)	最大值 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	最大超 标倍数
锌	鱼类≤40mg/kg	2015年春季	4.4	25	13.74	0
	甲壳类≤150mg/kg	2020年春季	3.10	36.80	10.60	0
石油 烃	鱼类、甲壳类 ≤20mg/kg	2015年春季	1.01	4.3	1.91	0
		2020年春季	ND	19.60	6.88	0

7 环境影响预测与评价

7.1 水文动力环境影响分析

7.1.1 潮流数学模型

根据《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规范》的要求。建立工程海域二维潮流模型。用有限体积元方法对二维潮流运动基本方程组（如下）进行离散，得到离散方程组，从而得出流速、流向、潮位。考虑滩地随涨、落潮或淹没或露出，采用活动边界技术，以保证计算的精度和连续性。

7.1.1.1 控制方程

模式垂向采用 σ 坐标系，与 Z 坐标系的变换关系如下：

$$x^* = x, \quad y^* = y, \quad \sigma = \frac{z - \zeta}{H + \zeta} = \frac{z - \zeta}{D}, \quad t^* = t$$

式中， x, y, z 分别是笛卡尔坐标系的空间变量， t 是时间变量； x^*, y^* 分别是 σ 坐标系的空间自变量， t^* 是 σ 坐标系的时间自变量； H 是水深， ζ 是海平面波高。这样，海底 $\sigma = -1$ ，表面为 $\sigma = 0$ 。

模型控制方程组由动量方程、连续方程、温度方程、盐度方程和密度方程组成，在 σ 坐标系下分别为：

(1) 连续方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Du}{\partial x} + \frac{\partial Dv}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \sigma} = 0$$

(2) 动量方程

$$\begin{aligned} & \frac{\partial uD}{\partial t} + \frac{\partial u^2 D}{\partial x} + \frac{\partial uvD}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial \sigma} - fvD \\ & = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gD}{\rho_0} \left[\frac{\partial}{\partial x} (D \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma') + \sigma \rho \frac{\partial D}{\partial x} \right] + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_m \frac{\partial u}{\partial \sigma}) + DF_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial vD}{\partial t} + \frac{\partial uvD}{\partial x} + \frac{\partial v^2 D}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial \sigma} + fuD \\ & = -gD \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gD}{\rho_0} \left[\frac{\partial}{\partial y} (D \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma') + \sigma \rho \frac{\partial D}{\partial y} \right] + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_m \frac{\partial v}{\partial \sigma}) + DF_y \end{aligned}$$

(3) 温度、盐度和密度方程

$$\frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TuD}{\partial x} + \frac{\partial TvD}{\partial y} + \frac{\partial Tw}{\partial \sigma} = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_h \frac{\partial T}{\partial \sigma}) + D \hat{H} + DF_T$$

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SuD}{\partial x} + \frac{\partial SvD}{\partial y} + \frac{\partial Sw}{\partial \sigma} = \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_h \frac{\partial S}{\partial \sigma}) + DF_S$$

$$\rho = \rho(T, S)$$

(4) 湍流闭合方程

$$\frac{\partial q^2 D}{\partial t} + \frac{\partial q^2 u D}{\partial x} + \frac{\partial q^2 v D}{\partial y} + \frac{\partial q^2 w}{\partial \sigma} = 2D(P_s + P_b - \varepsilon) + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_q \frac{\partial q^2}{\partial \sigma}) + DE_q$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q^2 l D}{\partial t} + \frac{\partial q^2 l u D}{\partial x} + \frac{\partial q^2 l v D}{\partial y} + \frac{w}{\sigma} \frac{\partial q^2 l w}{\partial \sigma} \\ & = l E_l D (P_s + P_b - \frac{\tilde{W}}{E_l} \varepsilon) + \frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} (K_q \frac{\partial q^2 l}{\partial \sigma}) + DF_l \end{aligned}$$

在 σ 坐标系中，水平扩散项定义为：

$$DF_x \approx \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_m H \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_m H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

$$DF_y \approx \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_m H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_m H \frac{\partial v}{\partial y} \right]$$

$$D(F_T, F_S, F_{q^2}, F_{q^2 l}) \approx \left[\frac{\partial}{\partial x} (A_h H \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h H \frac{\partial}{\partial y}) \right] (T, S, q^2, q^2 l)$$

其中， u 、 v 和 w 是 x 、 y 和 z 三个方向上的速度分量； T 是位温； S 为盐度； ρ 为密度； P 为压力； f 为科氏参数； g 是重力加速度；

$$\sigma = \frac{z - \zeta}{D}, \quad D = H + \zeta;$$

A_m 、 K_m 分别是水平与垂向黏性系数；水平方向扩散系数取值为 $1.15 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{s}$ ，垂向方向扩散系数取值为 $0.65 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{s}$ 。

A_h 、 K_h 是水平与垂向热力涡动摩擦系数；

q^2 和 l 分别是湍动能和湍动的长度尺度。

K_m 、 K_h 、 K_q 分别由下列公式确定： $K_m = lqS_m$ ， $K_h = lqS_h$ ， $K_q = 0.2lq$

S_m 、 S_h 为稳定函数。根据 mellor 和 yamada， S_m 、 S_h 由下列方程组确定：

$$S_m = \frac{0.4275 - 3.354G_h}{(1 - 34.676G_h)(1 - 6.127G_h)}$$

$$S_h = \frac{0.494}{1 - 34.676G_h}$$

$$G_h = \frac{l^2 g}{q^2 \rho_0} \rho_z$$

7.1.1.2 边界条件和初始条件

(1) 海面边界条件 $\sigma=0$:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma}\right) = \frac{D}{\rho_o K_m} (\tau_{sx}, \tau_{sy}), \quad w = \frac{\hat{E} - \hat{P}}{\rho}, \quad \frac{\partial T}{\partial \sigma} = \frac{D}{\rho c_p K_h} [Q_n(x, y, t) - SW(x, y, 0, t)]$$

$$\frac{\partial S}{\partial \sigma} = -\frac{S(\hat{P} - \hat{E})D}{K_h \rho}$$

(2) 海底边界条件 $\sigma=-1$:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma}\right) = \frac{D}{\rho_o K_m} (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

$$w = \frac{Q_b}{\Omega}$$

$$\frac{\partial T}{\partial \sigma} = \frac{A_H D \tan \alpha}{K_h - A_H \tan^2 \alpha} \frac{\partial T}{\partial n}$$

$$\frac{\partial S}{\partial \sigma} = \frac{A_H D \tan \alpha}{K_h - A_H \tan^2 \alpha} \frac{\partial S}{\partial n}$$

式中, \hat{P} 、 \hat{E} 分别是降雨量和蒸发量;

(τ_{sx}, τ_{sy}) 为表面风应力在 x, y 向的分量;

$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = C_d \sqrt{u^2 + v^2} (u, v)$ 为底部剪切力在 x, y 向的分量;

Q_b 为底部淡水通量;

C_d 为底应力拖曳系数, 由近海底 z_{ab} 处的流速呈对数分布计算:

$$C_d = \max \left(\frac{\kappa^2}{\ln \left(\frac{z_{ab}}{z_0} \right)^2}, 0.0025 \right), \quad \text{其中 } k \text{ 为卡门常数, } \kappa = 0.4; z_0 \text{ 为海底粗糙度,}$$

一般取为 0.001~0.002m。

(3) 固体侧边界条件:

$$v_n = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial n} = 0; \quad \frac{\partial S}{\partial n} = 0$$

(4) 开边界条件:

模型可以采用两种方法指定开边界条件:

(1) 在开边界指定有实测得到的水位或者嵌套的大区域网格计算所得到的水位。

(2) 利用开边界上各分潮的调和常数计算得到强迫水位。公式如下:

$$\zeta_o = \bar{\zeta}_o + \sum_{i=1}^{N_o} \hat{\zeta}_i \cos(\omega_i t - \theta_i)$$

其中: $\bar{\zeta}_o$ 是相对于静止水平面的平均水位;

$\hat{\zeta}_i$, ω_i , θ_i 分别是第 i 分潮的振幅、频率和位相;

N_o 是分潮总数。

所谓开边界条件即水域边界条件, 可以给定水位、流量或调和常数。对于本次数值模拟方案, 计算域外海大网格开边界条件给定潮汐调和常数。潮汐现象可视作为许多不同周期振动的叠加, 分潮振幅 (H) 和专有迟角 (g) 只与地点有关, 称潮汐调和常数。本次计算域外海开边界选取 8 个主要分潮 (M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 、 Q_1) 叠加, 其值根据历史调查资料计算的调和常数和有关文献提供, 根据部分水文观测站的实测潮位结果进行调整, 并且在模型计算和调试过程中根据部分水文观测站的实测潮位结果进行实时调整, 以尽可能拟合潮位过程线。

7.1.1.3 潮流模型范围

数学模型的网格剖分与本工程方案尺度相适应, 对本工程方案进行合理概化, 对潮流运动进行详细的模拟。模型计算区域选择由 $20^{\circ}24.8'N \sim 21^{\circ}55.6'N$, $110^{\circ}43.2'E \sim 113^{\circ}15.3'E$ 为外海开边界构成的区域。

模型采用三角形网格剖分计算区域, 工程前三角形网格节点数为 21752 个, 三角形网格数为 35136 个, 由于工程后不存在岸线变化, 工程后与工程前采用相同的网格, 最大网格长 1.0km, 位于外海边界处; 最小网格长 3m, 位于风电桩基处。大范围网格剖分见图 7.1-1a, 工程区局部网格剖分见图 7.1-1b。

桩基附近的模型计算网格见图 7.1-1b, 风电桩基类似于陆点, 工程后将风电

桩基处理成陆点不参与计算，即工程前后的网格相同，工程后桩基和海上集控中心处的水深改变为负数成为陆点。

模型水深由以下海图给出：中国人民解放军海军司令部航海保证部 2015 年出版的珠江口及附近（海图编号 15440，比例尺 1: 150000）、2016 年出版的香港至海防（海图编号 10016，比例尺 1: 1000000）、2010 年出版的小襟岛至潯洲（海图编号 15519，比例尺 1: 75000）；2014 年出版的河北港区、水东港区及附近（海图编号 15711，比例尺 1: 40000）。并采用项目区域实测地形进行局部调整，所有水深都经过绘图水深和平均海平面的转化。模型的计算水深见图 7.1-2。

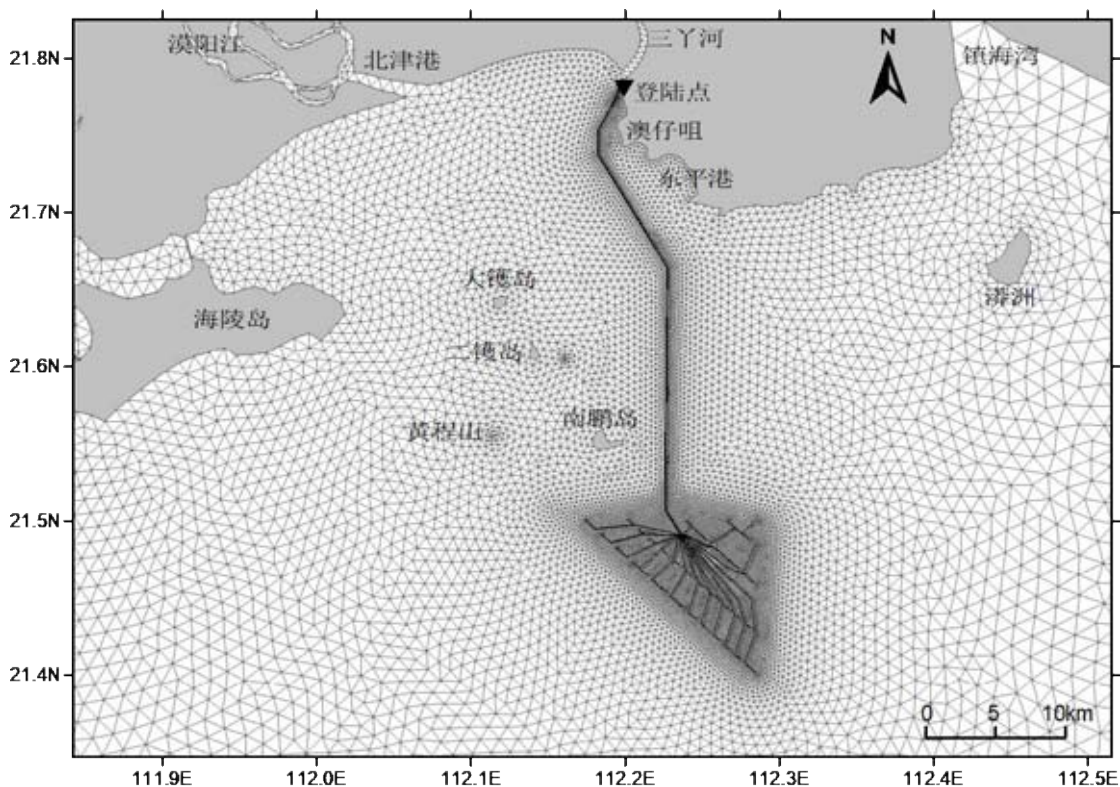


图 7.1-1a 模型计算网格

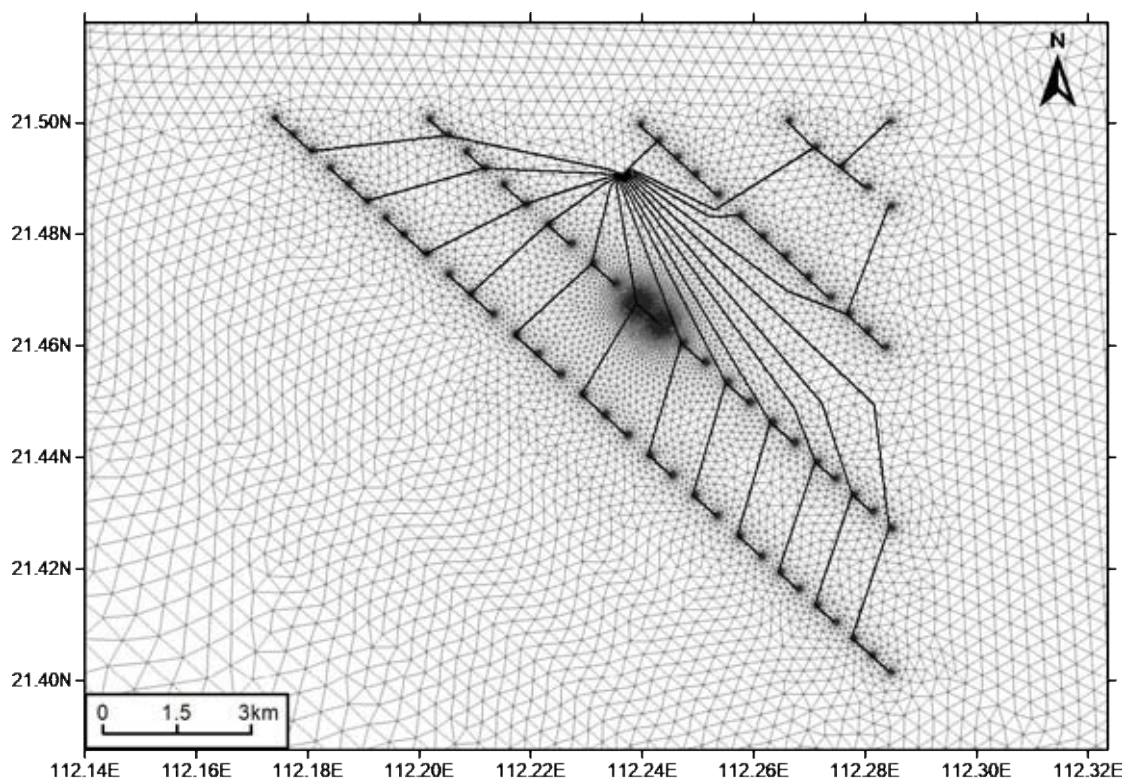


图 7.1-1b 工程后模型计算网格（桩基附近）

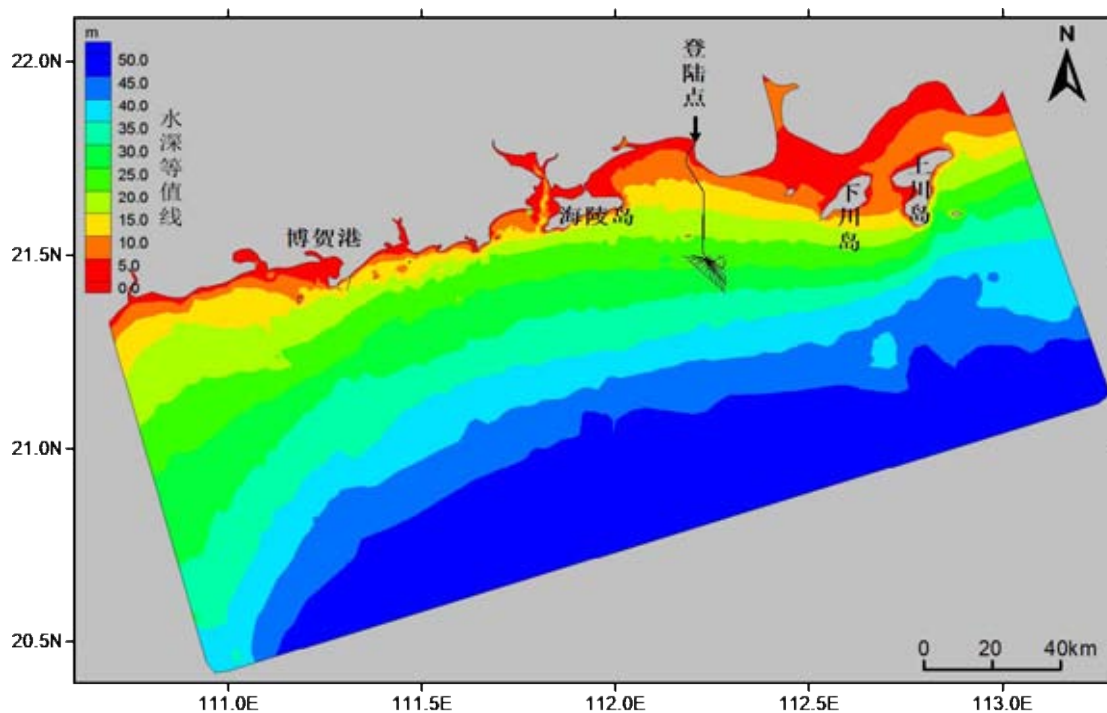


图 7.1-2 模型计算水深

7.1.2 模型的验证和潮流场结果分析

7.1.2.1 模型的验证

模型的验证有两部分，包括用项目区域附近 2015 年 7 月 3~4 日的 9 个站点（站位编号为 C1~C9）的潮流资料和 3 个站（T1 站、T2 站和 T3 站，观测站位见图 7.1-3）的潮位资料与计算结果比较，绘制潮位曲线图 7.1-4 和流向、流速曲线如图 7.1-5 至图 7.1-13。实测流速为五层，验证时采用垂向平均实测流速、流向资料。

由潮位和潮流的计算数据和实测数据的对比情况分析，潮位验证的平均绝对误差为 7.1cm，流速和流向的验证也基本上与实测资料一致。从潮位过程（图 7.1-4）和流速、流向验证曲线图（图 7.1-5 至图 7.1-14）对照可以看出，模拟结果与实测数据基本吻合，各站位为不规则半日潮流，实测海流受潮流与风应力共同作用，计算中叠加了 5.5/s 的东南风。根据潮位和潮流流速、流向的验证效果可知本模型可以用于本项目工程的动力场和物质输运分析。

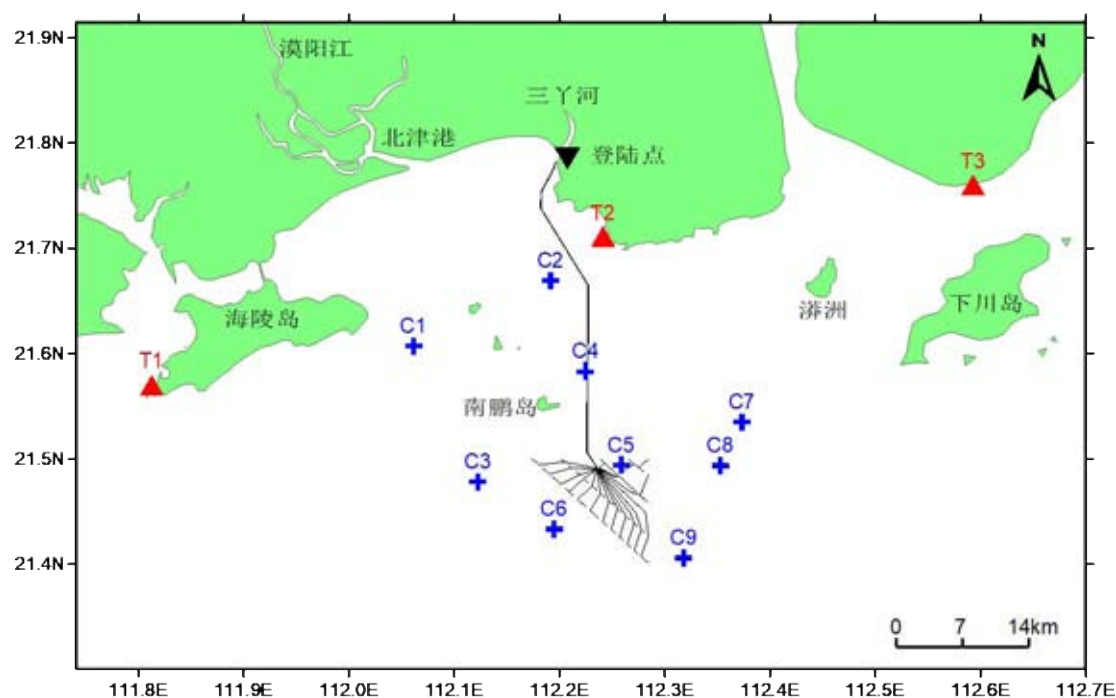


图 7.1-3 测流站点图

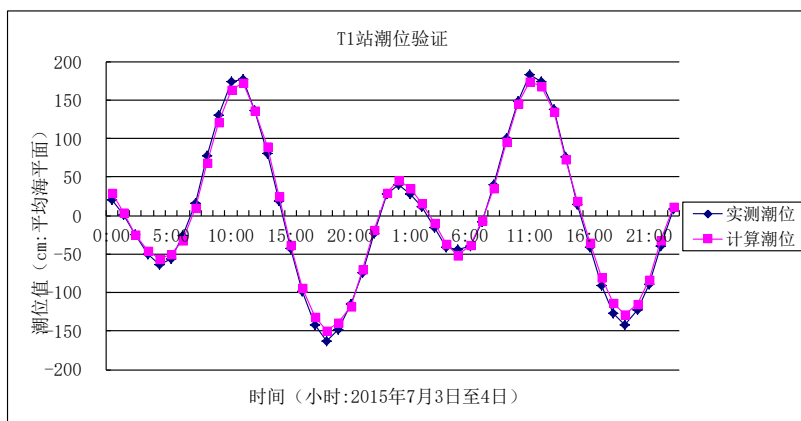


图 7.1-4a T1 站潮位过程验证

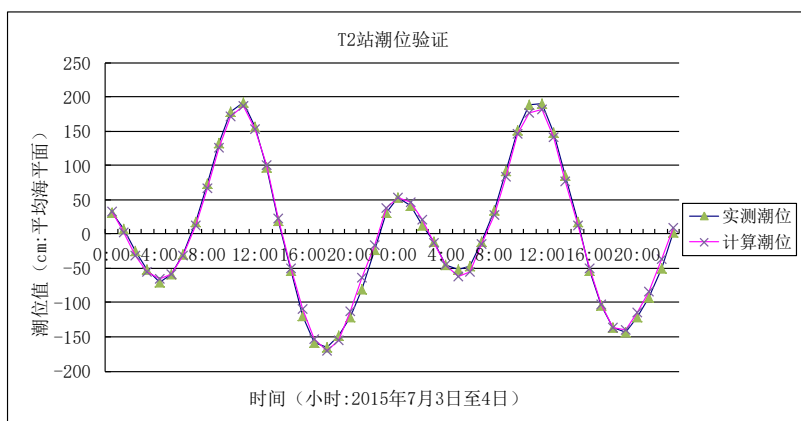


图 7.1-4b T2 站潮位过程验证

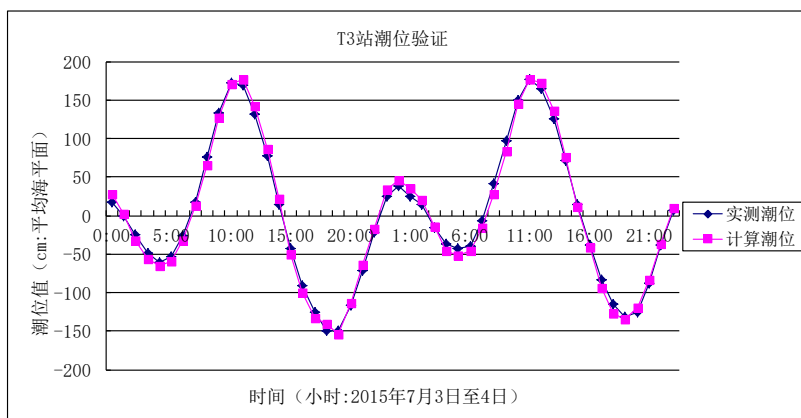


图 7.1-4c T3 站潮位过程验证

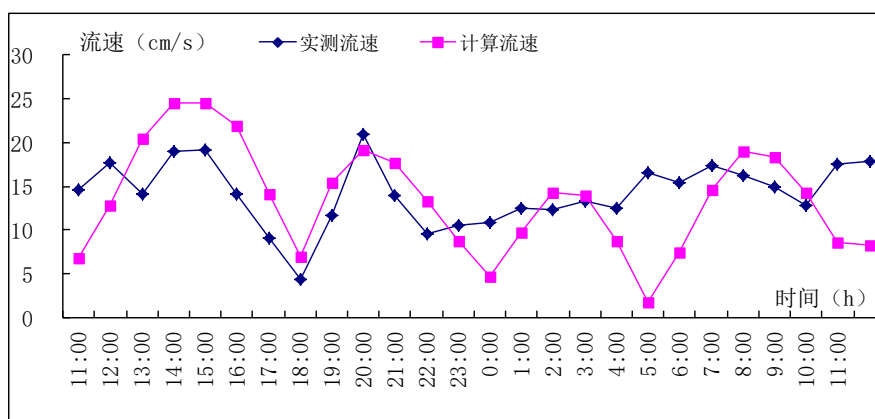


图 7.1-5a C1 站实测流速与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

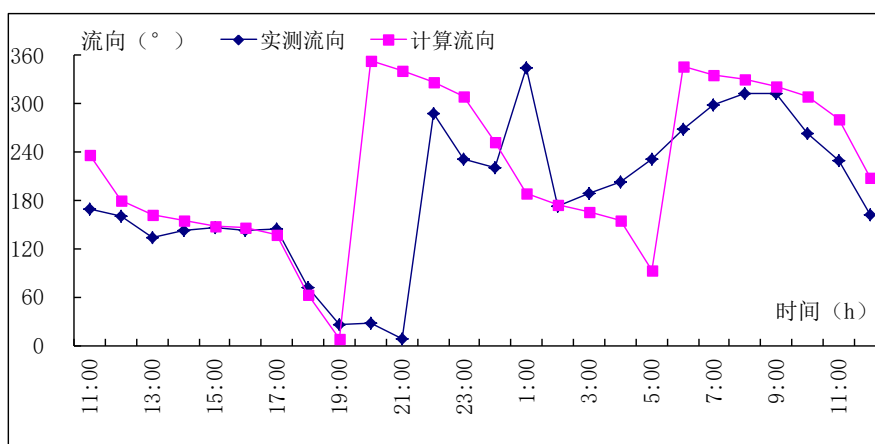


图 7.1-5b C1 站实测流向与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

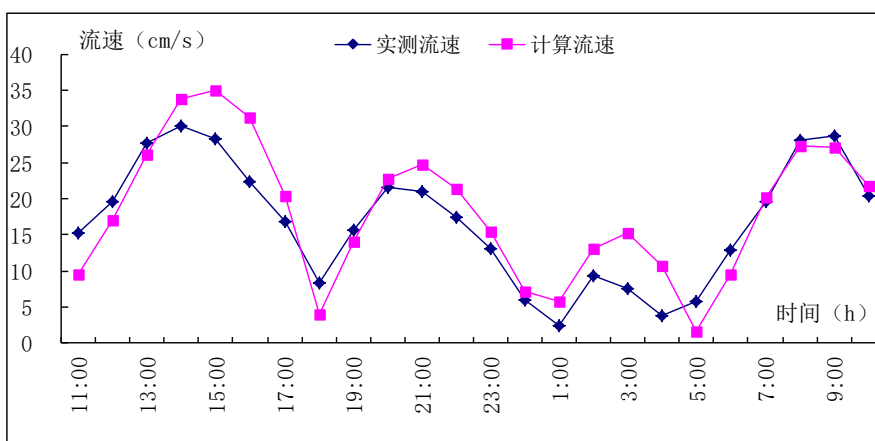


图 7.1-6a C2 站实测流速与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

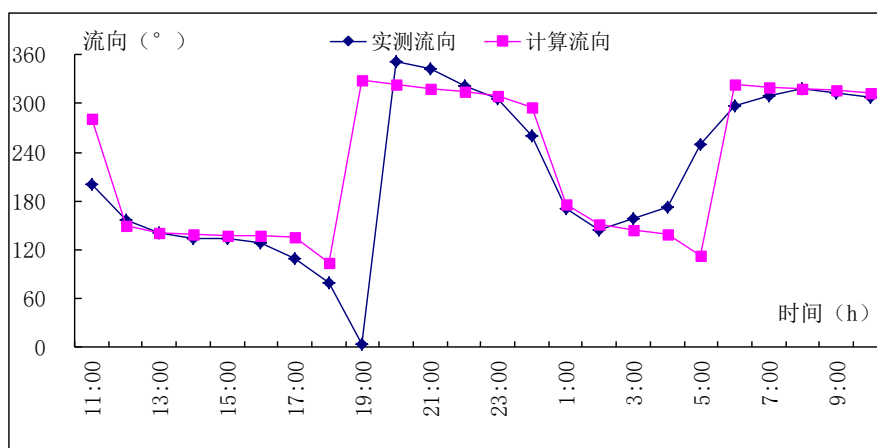


图 7.1-6b C2 站实测流向与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

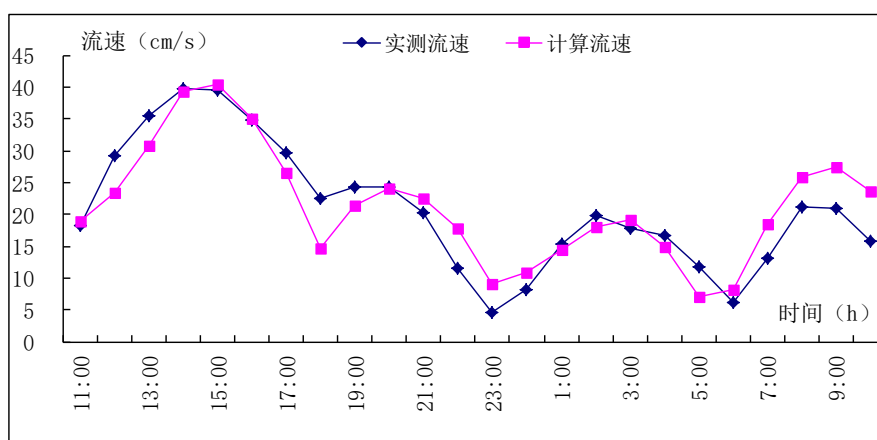


图 7.1-7a C3 站实测流速与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

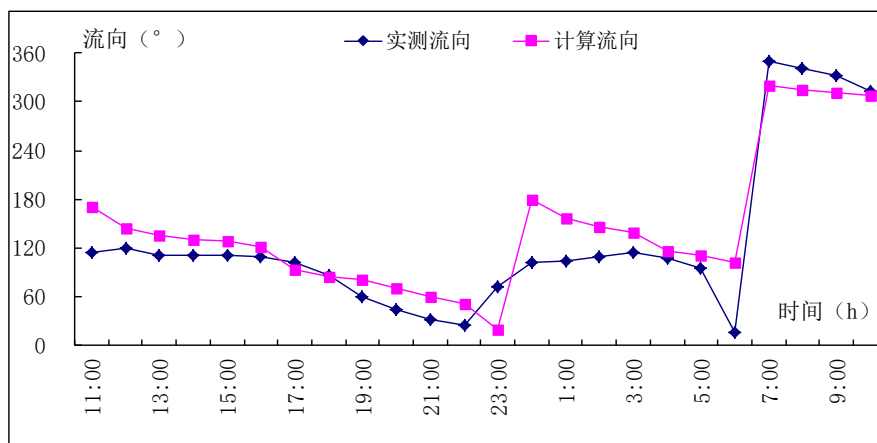


图 7.1-7b C3 站实测流向与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

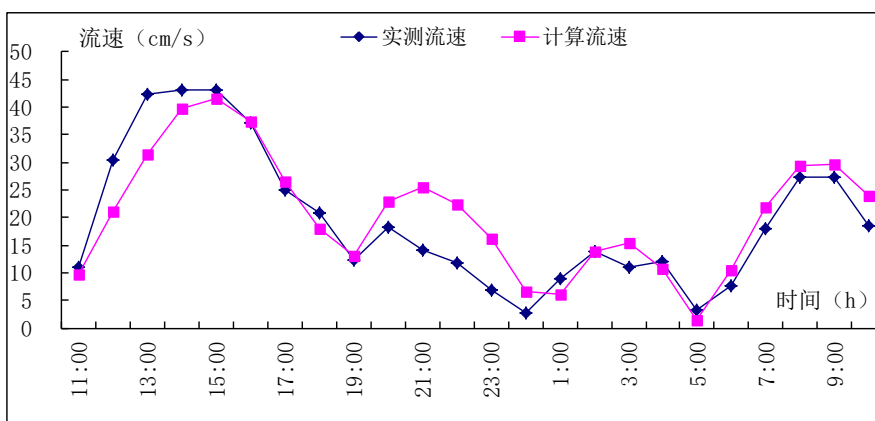


图 7.1-8a C4 站实测流速与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

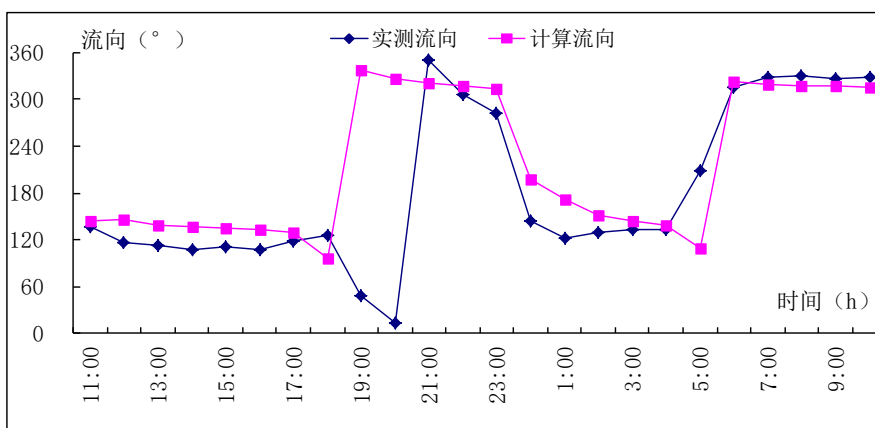


图 7.1-8b C4 站实测流向与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

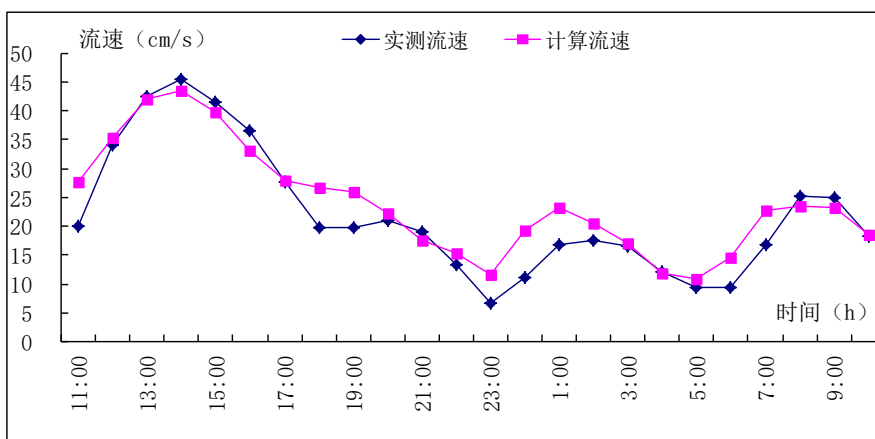


图 7.1-9a C5 站实测流速与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

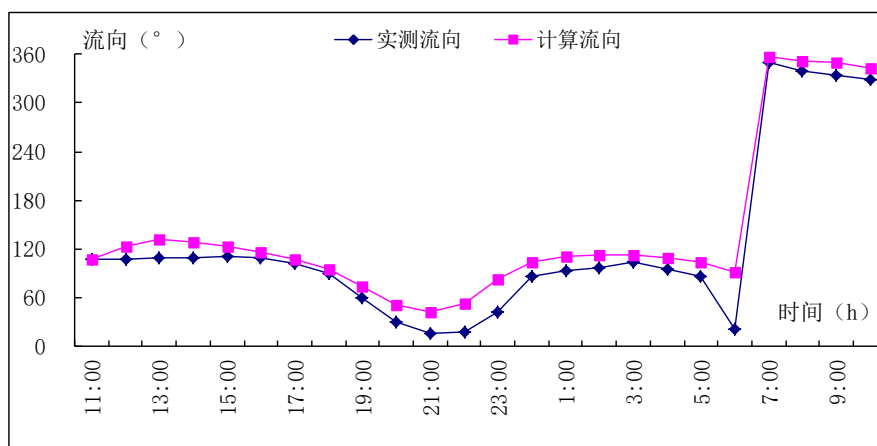


图 7.1-9b C5 站实测流向与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

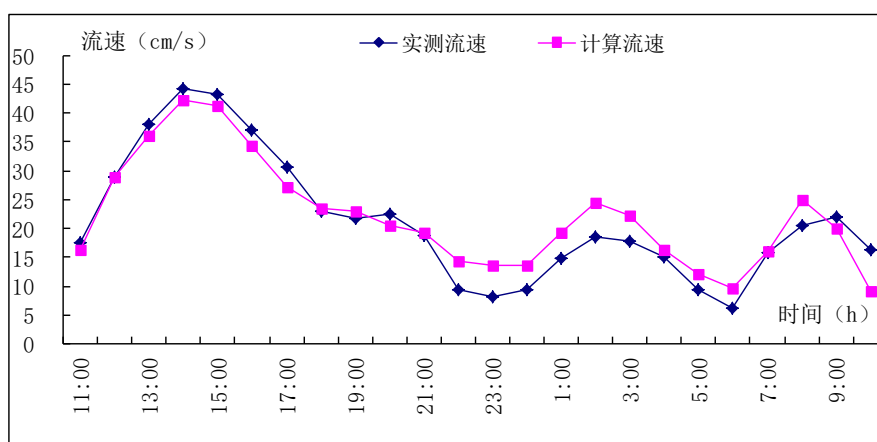


图 7.1-10a C6 站实测流速与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

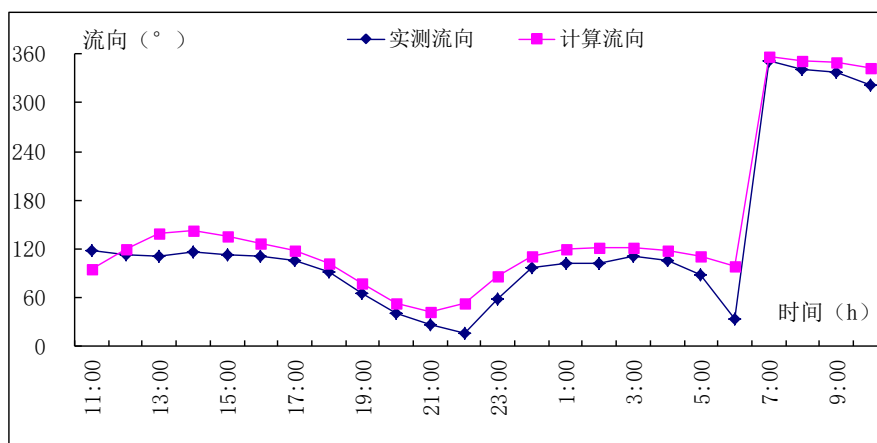


图 7.1-10b C6 站实测流向与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

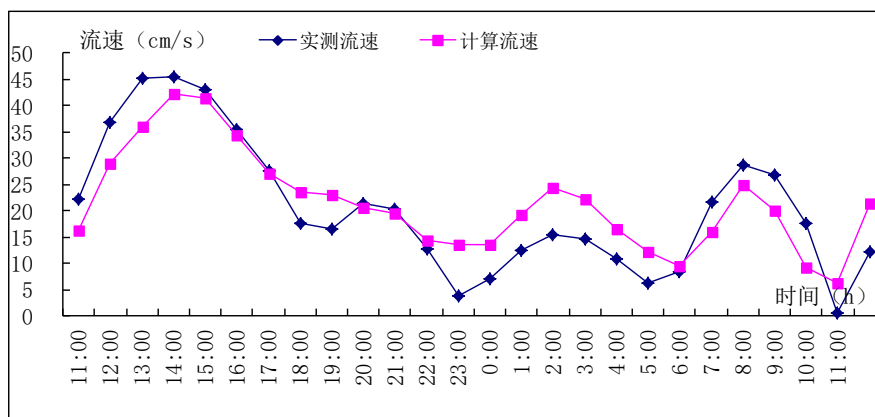


图 7.1-11a C7 站实测流速与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

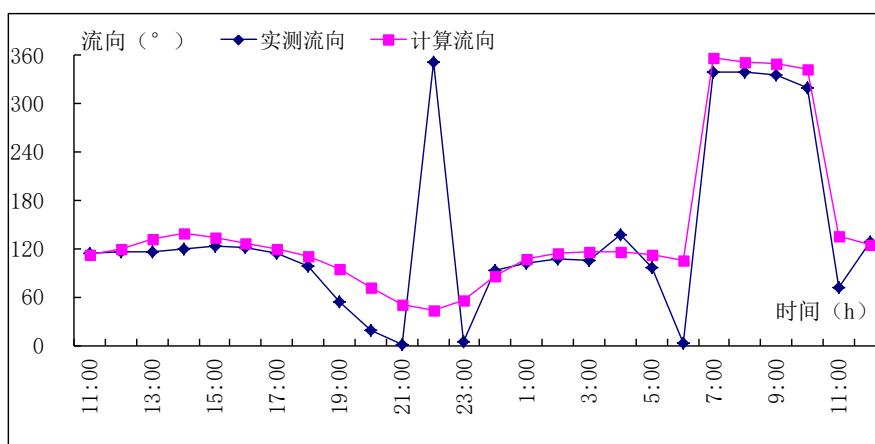


图 7.1-11b C7 站实测流向与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

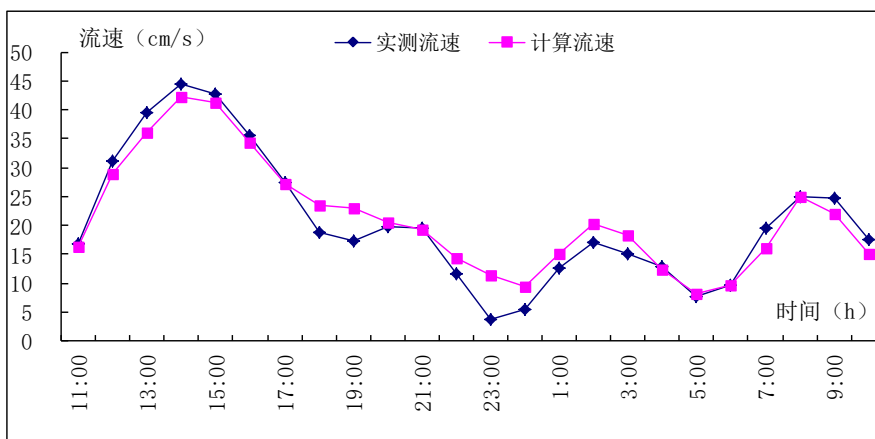


图 7.1-12a C8 站实测流速与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

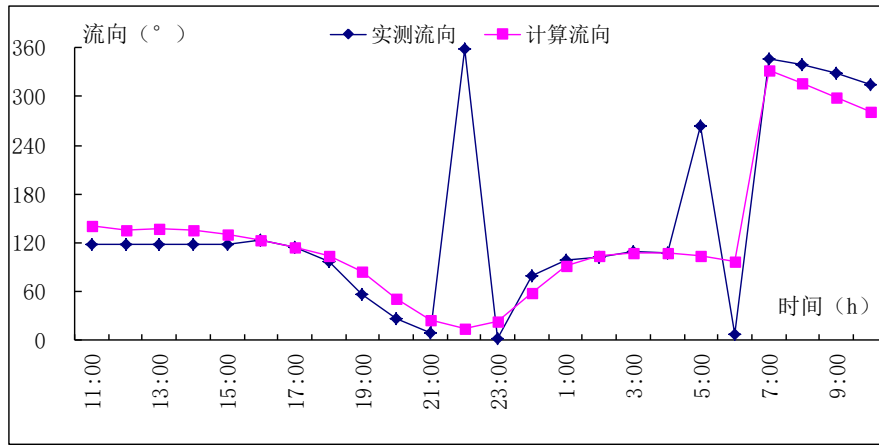


图 7.1-12b C8 站实测流向与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

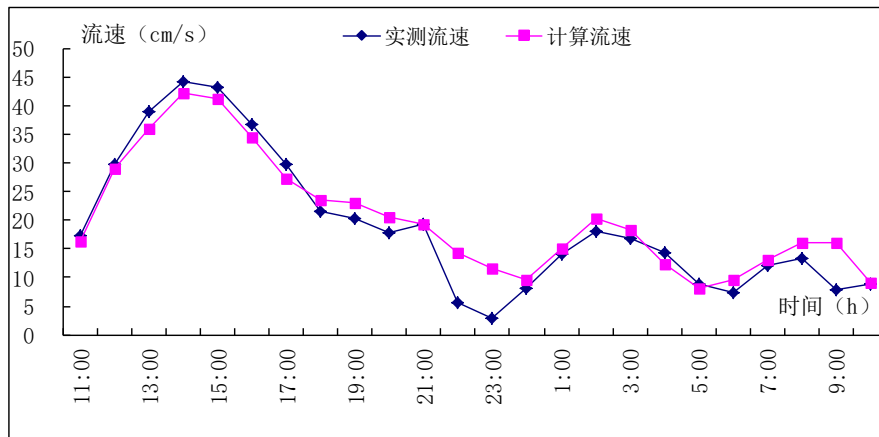


图 7.1-13a C9 站实测流速与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

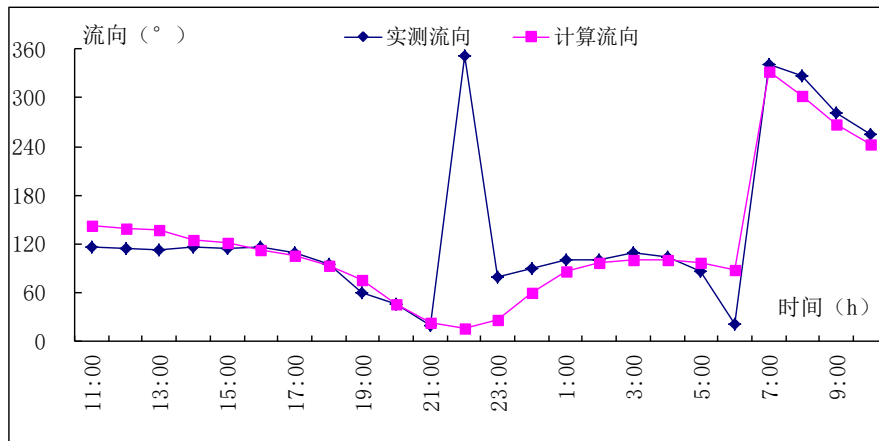


图 7.1-13b C9 站实测流向与计算结果比较(2015 年 7 月 3~4 日, 大潮期)

7.1.2.2 潮流流场模拟结果

为了分析项目所在区域工程实施前后的动力场变化情况, 现绘出项目附近海区落急、涨急典型时刻的流场见图 7.1-14 至图 7.1-15。模拟结果显示:

(1) 项目附近海域的涨急表层流速最大在 55cm/s 左右，叠加了夏季东南风的影响，中层最大流速在 35cm/s 左右，底层最大流速在 20cm/s 左右；落急时刻流速比涨急时刻略大，最大表层流速可达到 65cm/s，中层最大流速可达到 45cm/s，底层为 25cm/s 左右，涨急流速略小于落急流速。

(2) 流向以东南-西北向为主，涨潮流由东南往西北方向，落潮流由西北往东南方向。

(3) 涨平、落平时刻，流速微弱，流速小于 15cm/s。

整体分析，通常条件下，本项目所在海区为中潮海区，潮差中等，水动力较弱，海流同时受到其他驱动力的影响，如风应力、波浪应力和温盐斜压力等，因此，实测海流的规律性一般，特别是表层流容易受到风应力的直接影响。

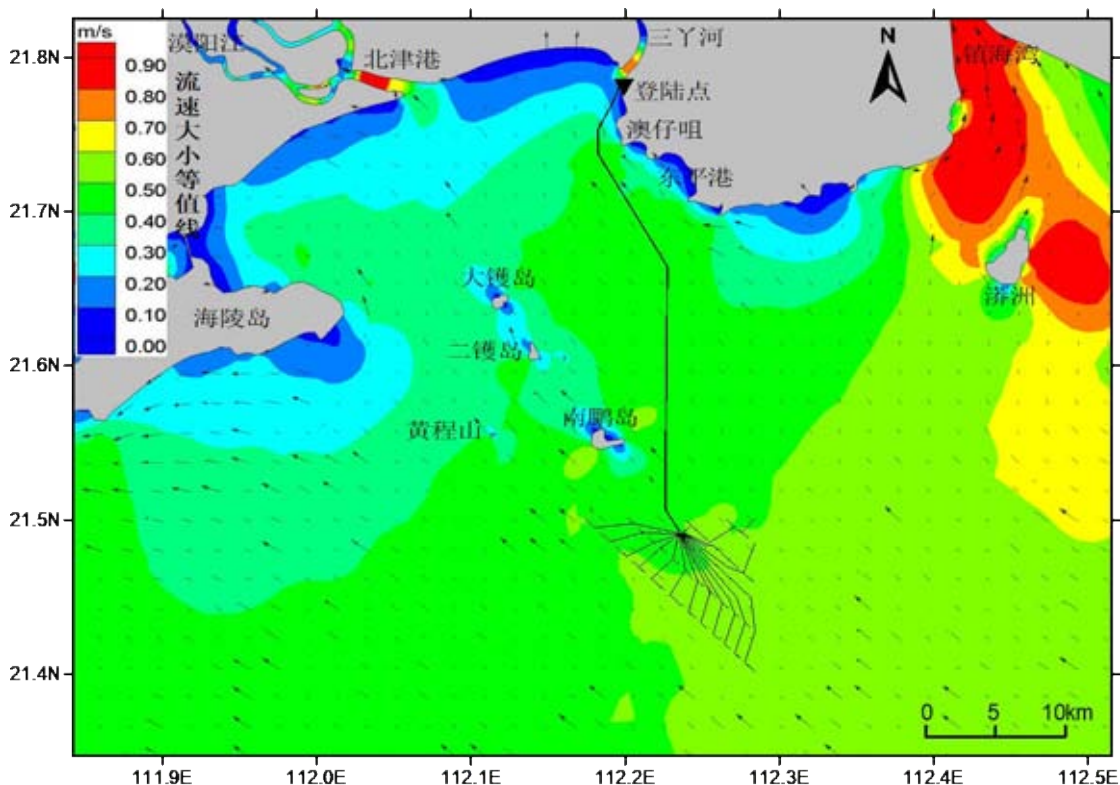


图 7.1-14a 现状涨急时刻潮流场（表层）

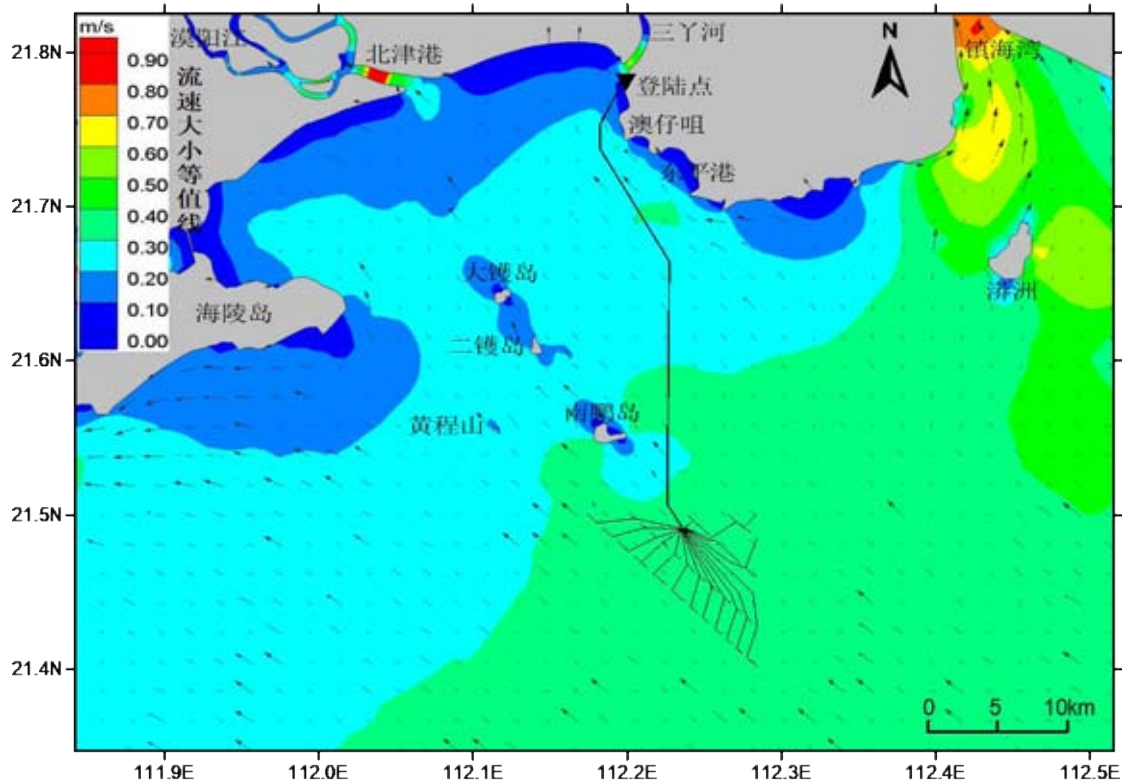


图 7.1-14b 现状涨急时刻潮流场（中层）

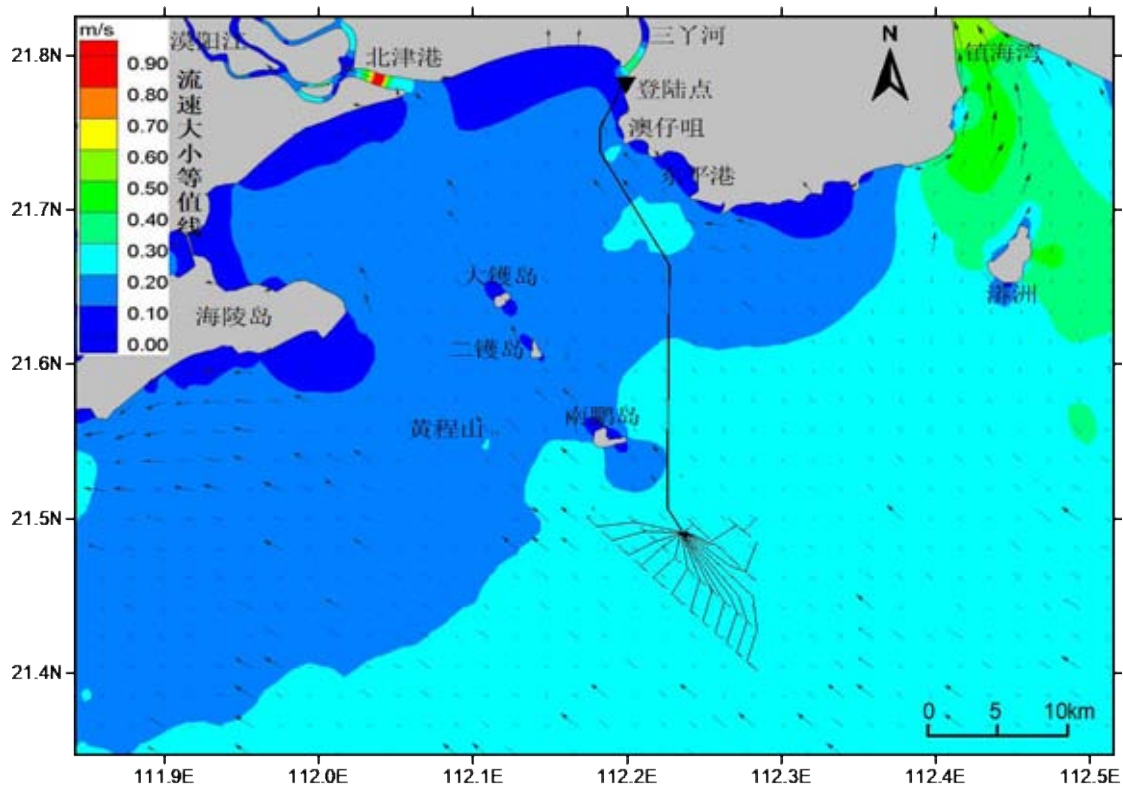


图 7.1-14c 现状涨急时刻潮流场（底层）

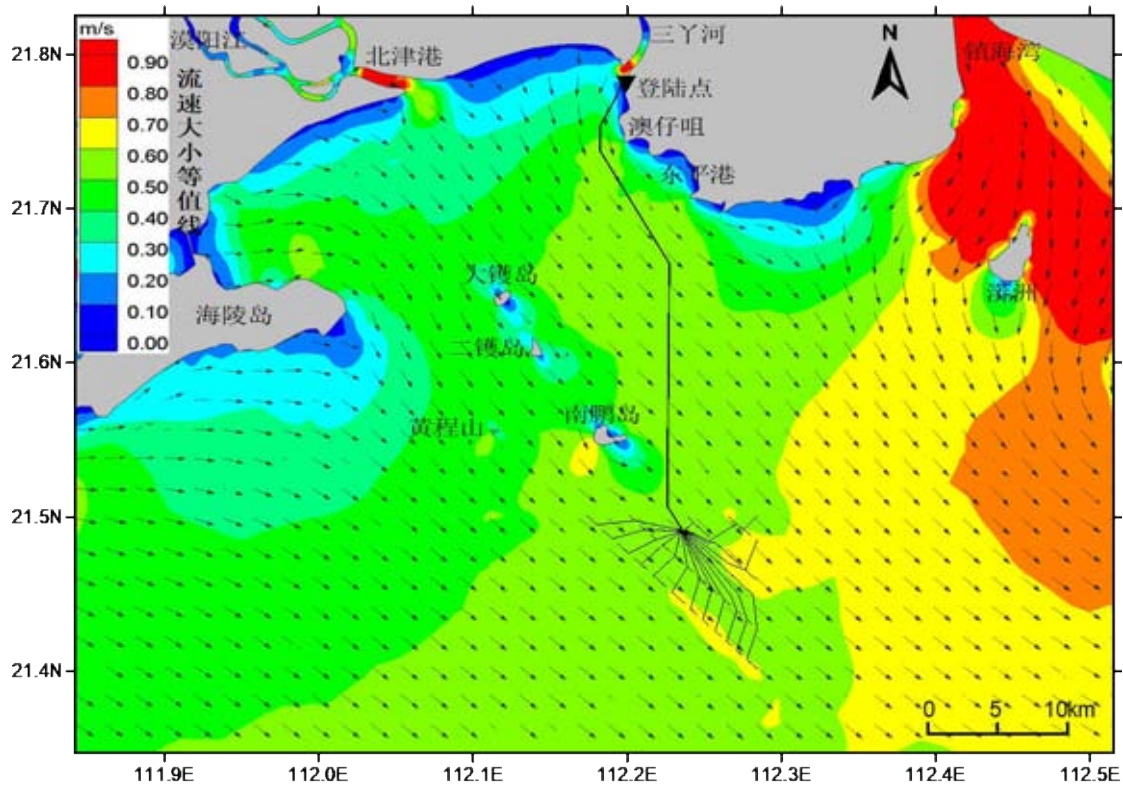


图 7.1-15a 现状落急时刻潮流场（表层）

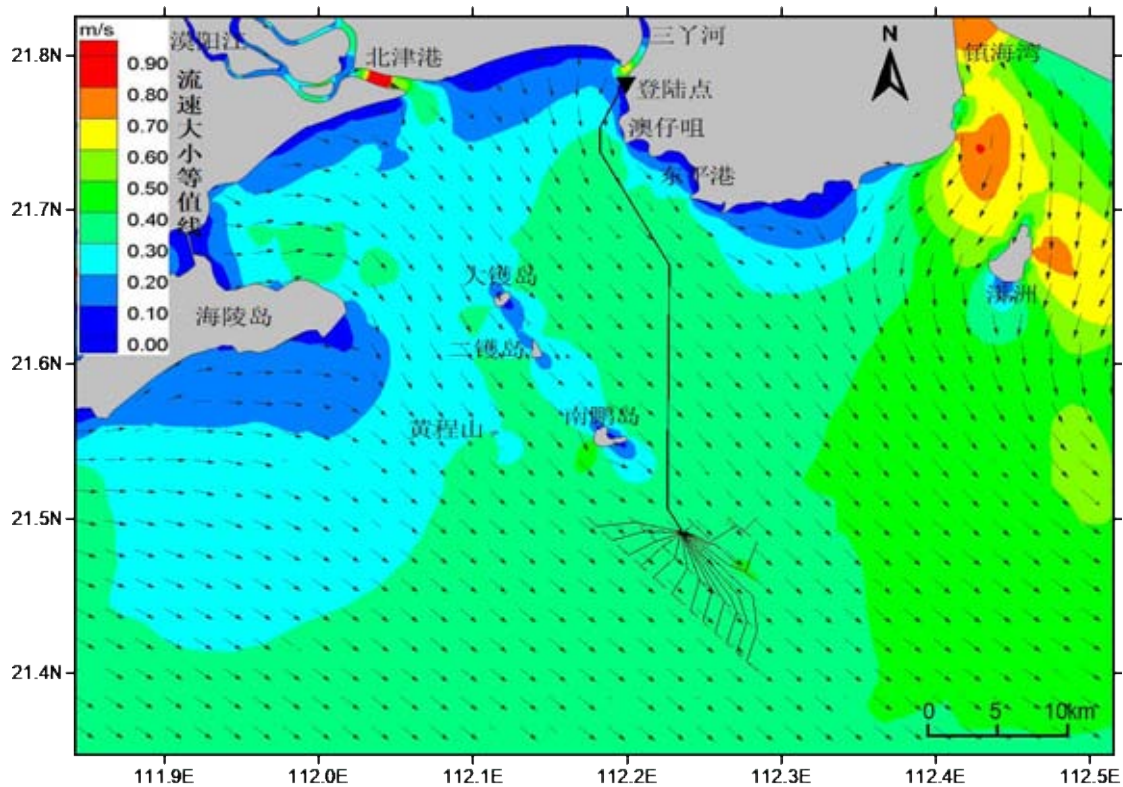


图 7.1-15b 现状落急时刻潮流场（中层）

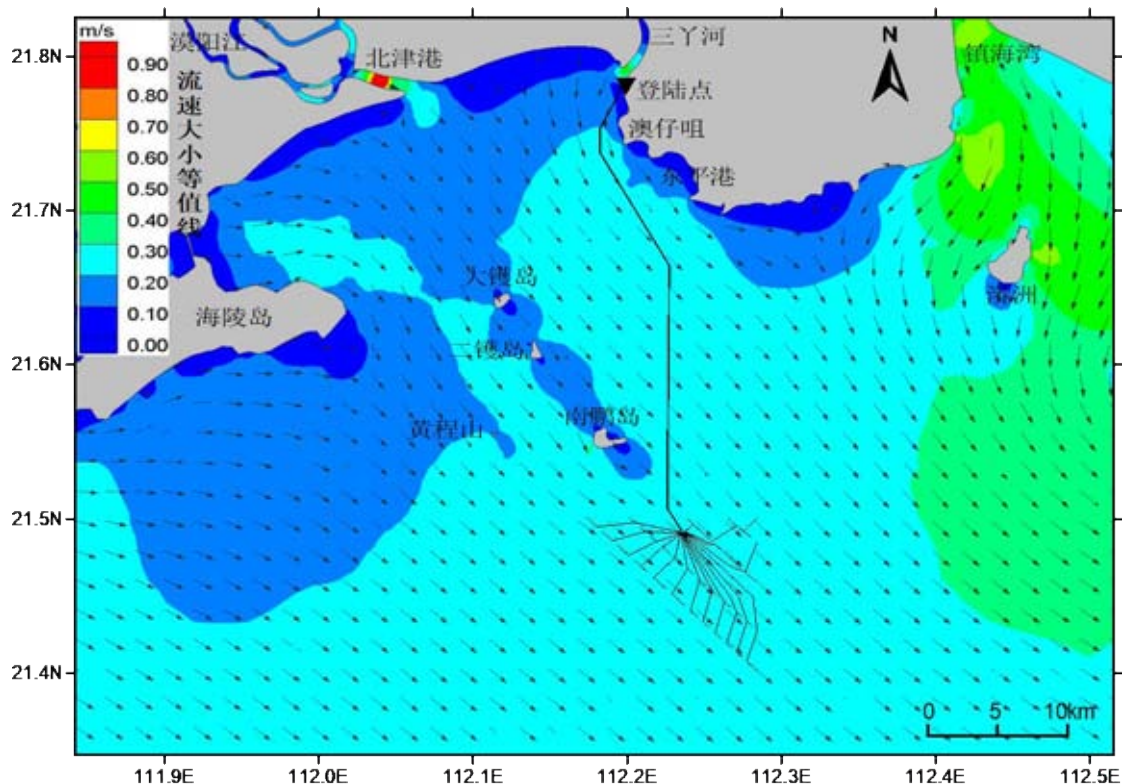


图 7.1-15c 现状落急时刻潮流场（底层）

7.1.3 风电桩基附近流场模拟结果

为了比较工程前后风电桩基引起的流场改变，在此绘制工程前后涨急、落急时刻的流速改变图进行分析，见图 7.1-16 和图 7.1-17。由于风电桩基的直径相对于开阔海洋环境来说较小，因此，对于大范围的流场基本没有影响（见图 7.1-16d 和图 7.1-17d），大范围的流场图也不能清晰地反映风电桩基局部区域的流场，需要将风电桩基附近的小范围流场放大进行比较，桩基直径取 9m。

在此选取风电桩基区小范围的流场进行分析，本节选取 30、31 号风机桩基进行分析。由图 7.1-16 和图 7.1-17 可以看出，在风电桩基的顺流方向，由于桩基的阻挡，形成了缓流区，流速最大减小幅度为 15cm/s 左右，涨急时刻流速减小幅度大于 3cm/s 的范围向顺流方向东南-西北向延伸的最远距离为 190m 左右，落急时刻流速减小幅度大于 3cm/s 的范围延伸的最远距离为 210m 左右，流速减小的范围呈长条形，为顺流方向。而在桩基的顺流方向两侧，涨急时刻流速增大，最大增幅为 7cm/s；桩基群的整体阻挡效应并未显现，这主要是由于桩基直径较小，只有 9m，而桩基之间的距离远大于桩基，因此桩基之间对水动力不存在相互叠加的影响。

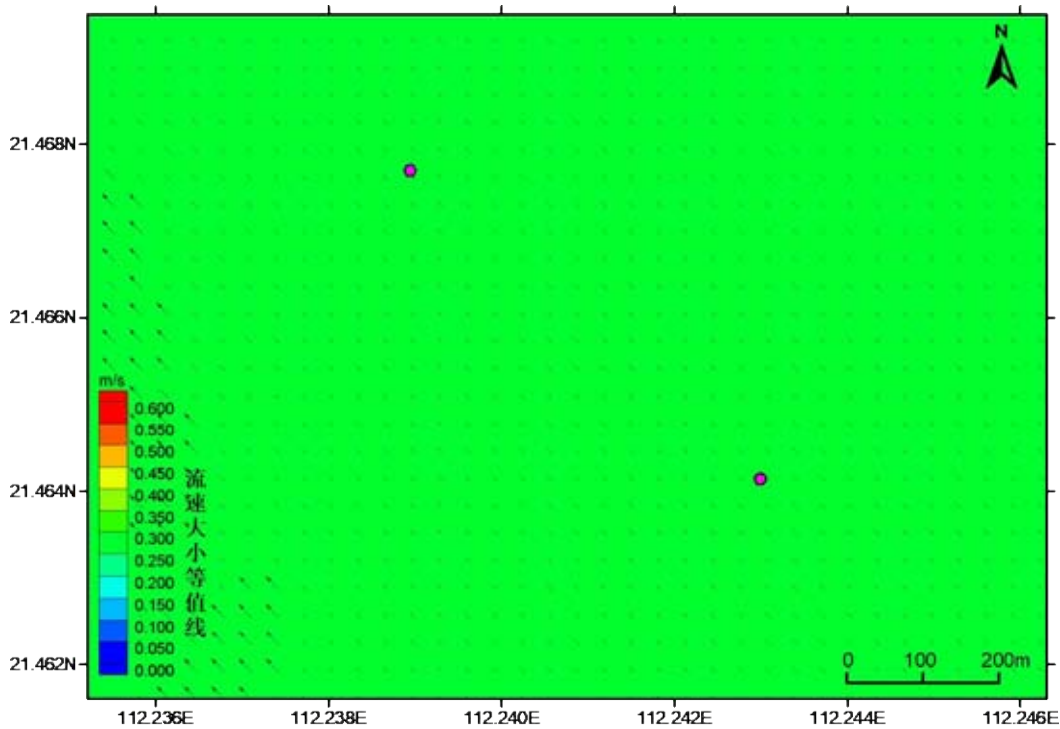


图 7.1-16a 工程前桩基附近涨急图

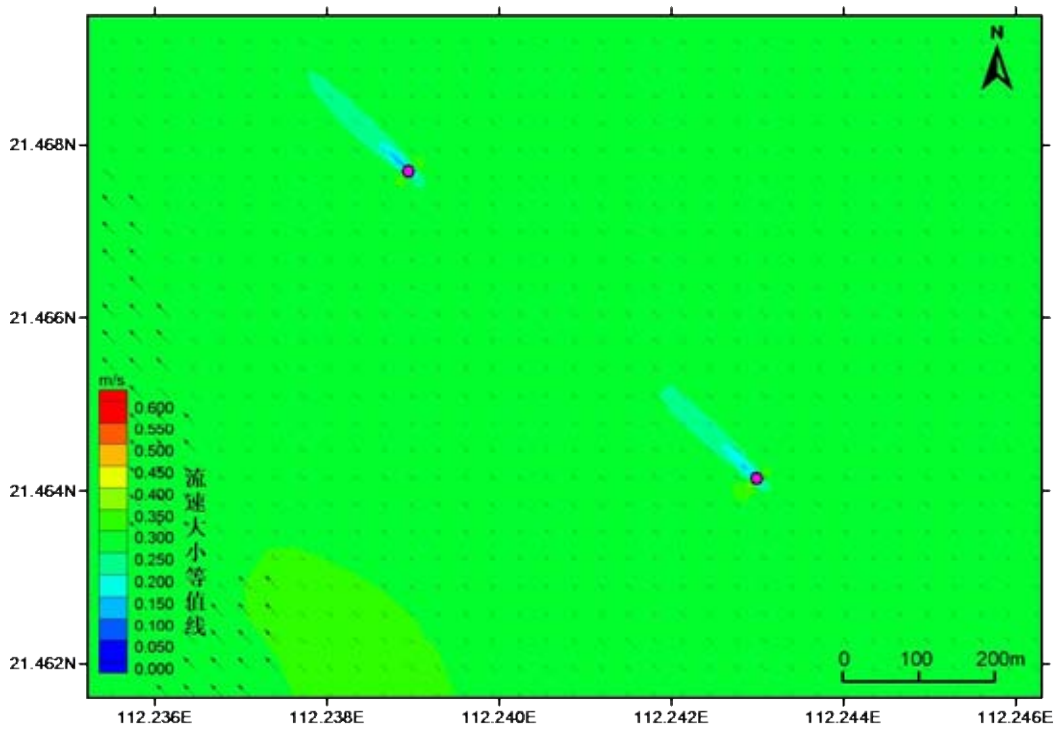


图 7.1-16b 工程后桩基附近涨急图

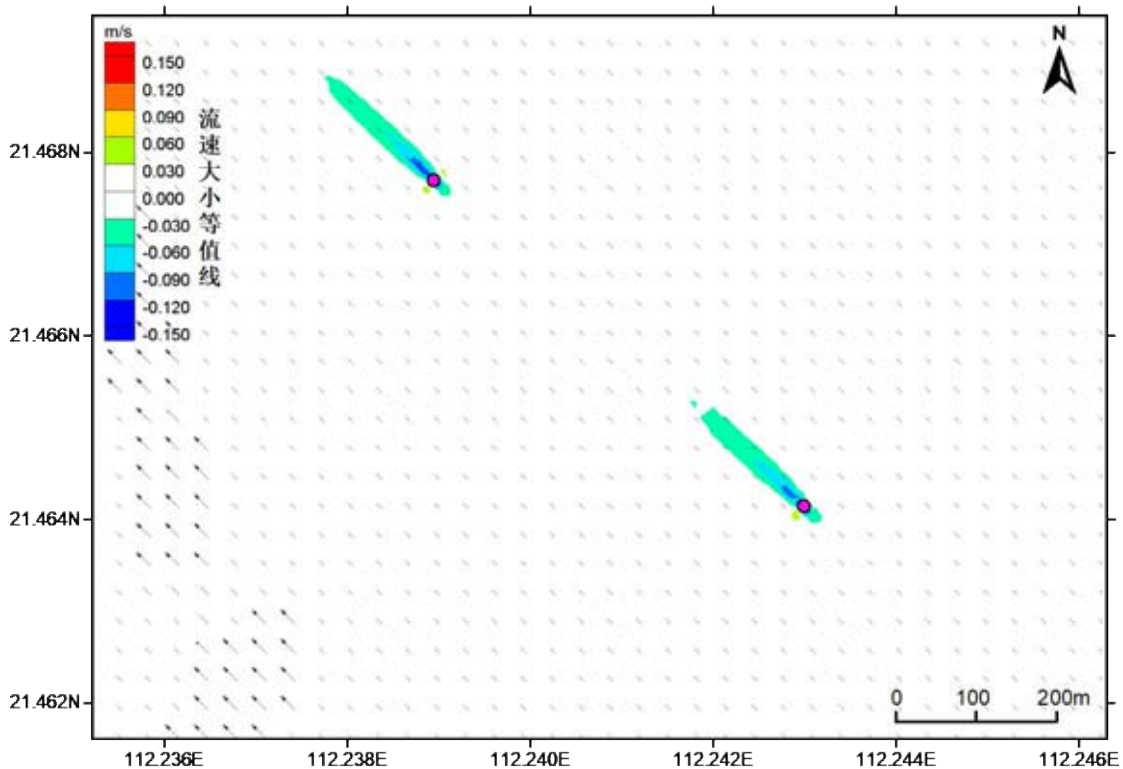


图 7.1-16c 桩基附近涨急流速改变图

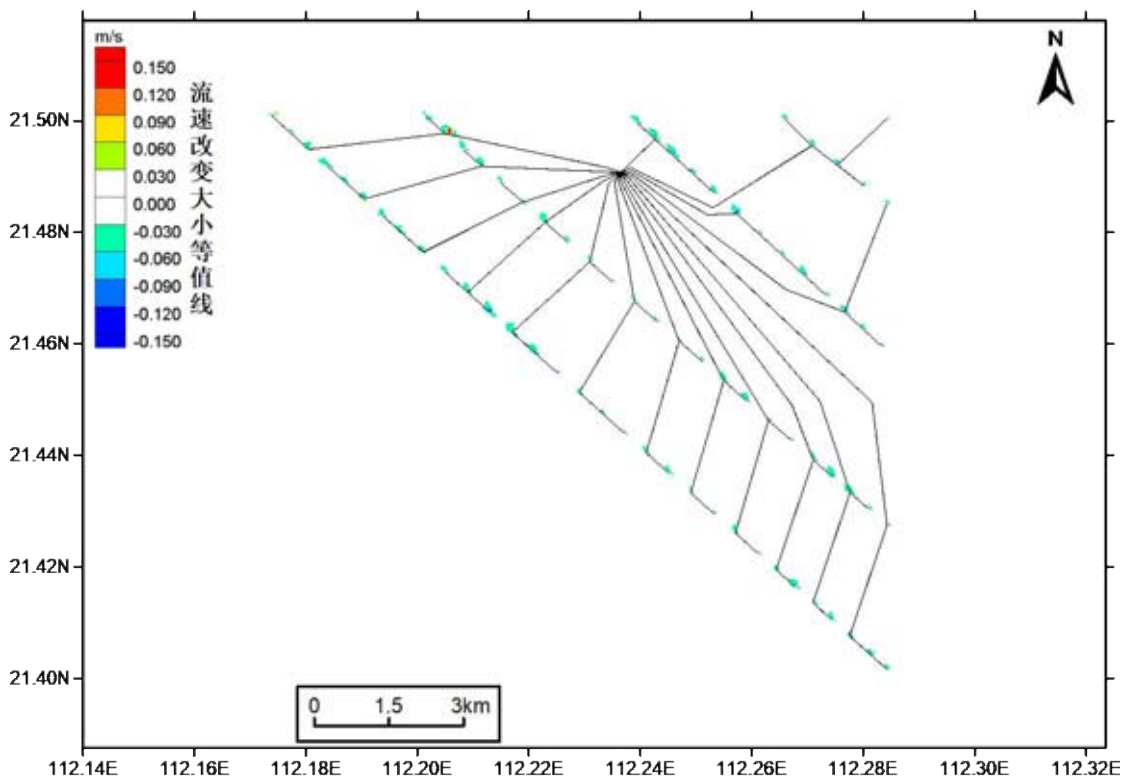


图 7.1-16d 全部桩基附近涨急流速改变图

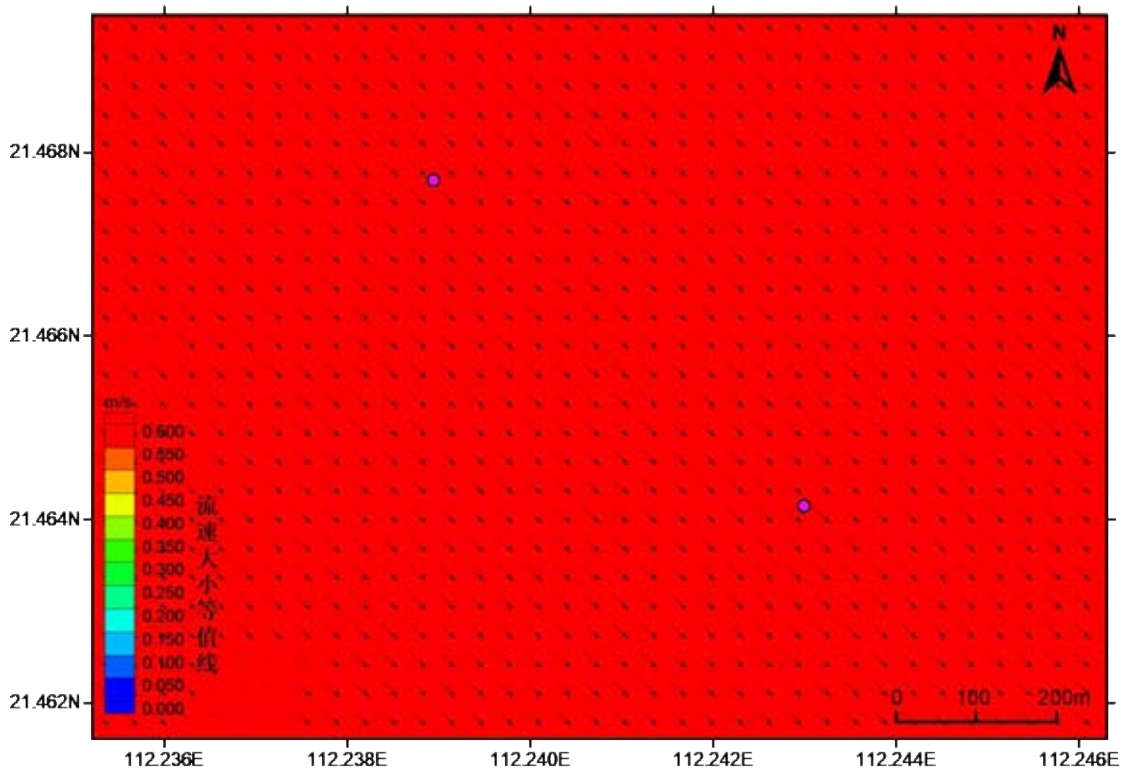


图 7.1-17a 工程前桩基附近落急图

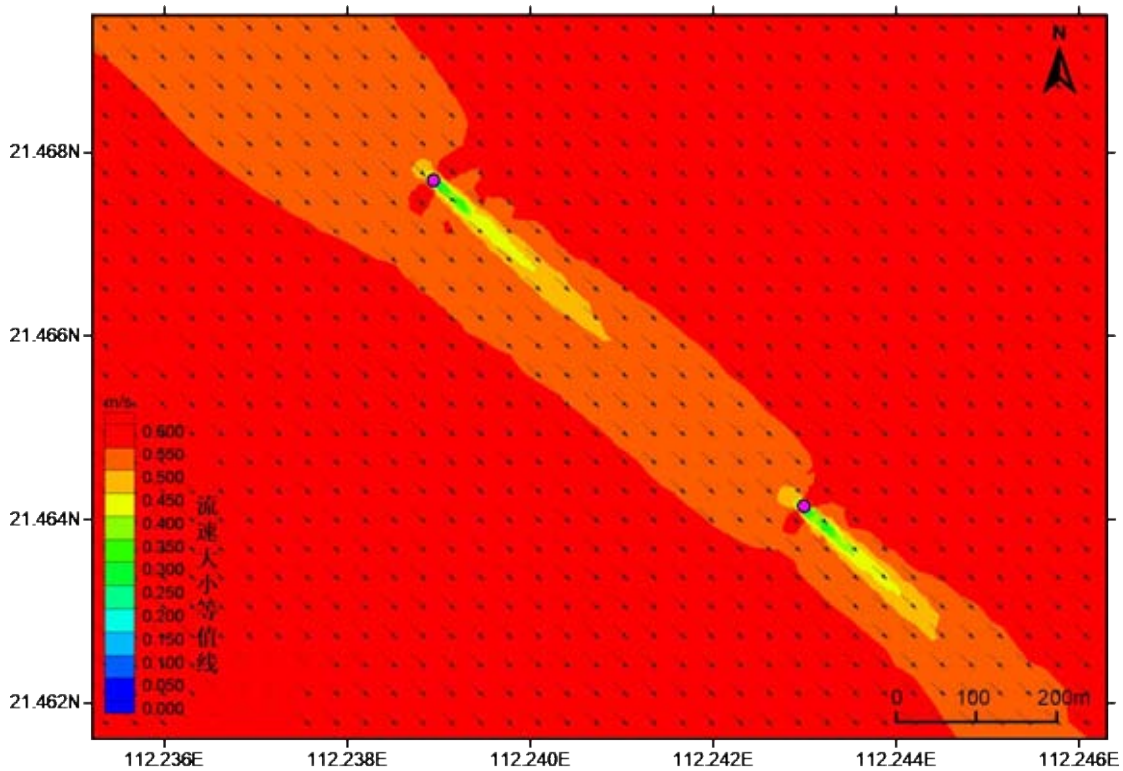


图 7.1-17b 工程后桩基附近落急图

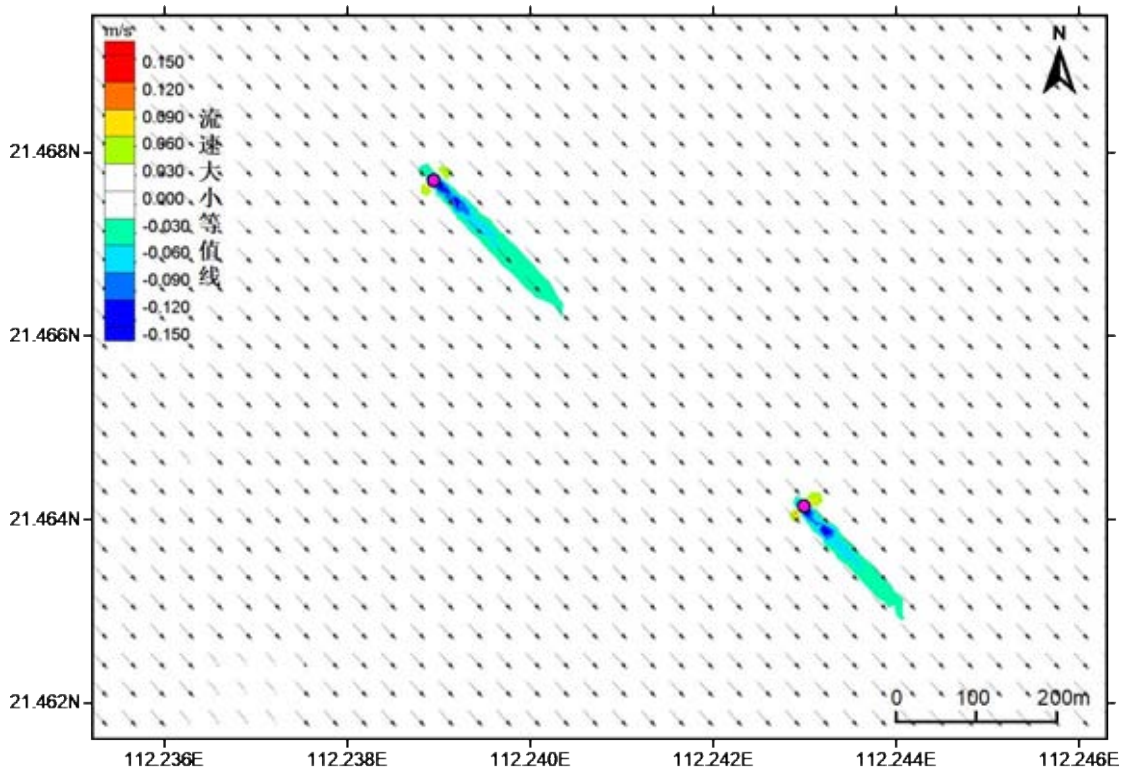


图 7.1-17c 桩基附近落急流速改变图

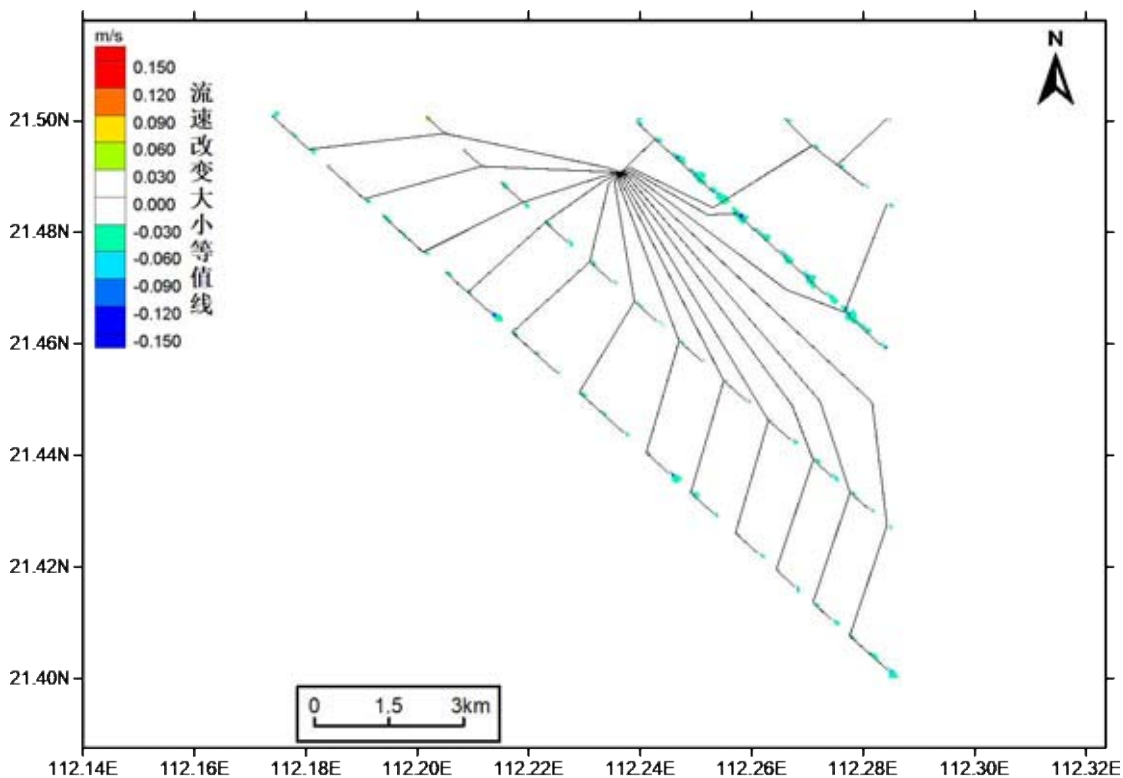


图 7.1-17d 全部桩基附近落急流速改变图

通过与原环评预测结果对比可知，风电场平面布置的改变对周边海域潮流特征影响较小。工程建设对海域潮流影响主要集中在工程区内，桩基位于涨潮流方

向流速减小，桩基位于涨潮流流向两侧流速增大，工程区内流速以减小为主。本项目海上升压站、8 台风机、220kV 海缆一回、35kV 首回路等已施工完成。有预测可知完成施工部分对周边海域潮流影响较小，仅桩基附近潮流有所变化。

7.1.4 工程建设对周边敏感目标水文动力环境的影响

由前述分析可以得出，风电场工程建设对大范围海域的潮流影响较小，本节主要分析工程建设对风电场周边分布的敏感目标（主要包括工程海域周边的保护区、红线区、航道、养殖区等）水文动力条件的影响。根据模型计算，工程前后敏感目标区大潮涨落潮平均流速变化情况见表 7.1-1 和表 7.1-2。

表 7.1-1 工程前后敏感目标区域大潮涨潮平均流速变化

序号	敏感目标	工程前		工程后		变化情况	
		大小 (m/s)	角度 (°)	大小 (m/s)	角度 (°)	流速变率 (%)	流向差值 (°)
1	南鹏列岛海洋省级自然保护区	30.85	321.85	31.1	321.9	0.25	0.05
2	阳东县头芦排海洋生态县级自然保护区	29.35	320.4	29.65	320.45	0.3	0.05
3	大帆石海洋保护区	31.35	300.20	31.30	300.30	-0.16	0.10
4	南鹏列岛海洋保护区	30.85	321.85	31.1	321.9	0.25	0.05
5	头芦排海洋保护区	29.35	320.4	29.65	320.45	0.3	0.05
6	海陵岛东北海洋保护区	9.40	322.10	9.55	321.80	1.60	-0.30
7	海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	10.5	309.65	10.5	309.65	0	0
8	南鹏列岛省级海洋自然保护区禁止类红线区	34.25	312.35	34.35	312.5	0.1	0.15
9	南鹏列岛省级海洋自然保护区限制类红线区	30.85	321.85	31.10	321.90	0.81	0.05
10	寿长河重要河口生态系统限制类红线区	9.40	258.50	9.40	258.50	0.00	0.00
11	珍珠湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	4.7	302.7	4.7	302.7	0	0
12	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区	15.95	318.80	15.95	318.80	0	0
13	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 II 区限制类红线区	29.5	305.3	29.4	304.6	-0.1	-0.7
14	头芦排海洋自然保护区禁止类红线区	29.35	320.4	29.65	320.45	0.3	0.05
15	头芦排海洋自然保护区限制类红线区	29.35	320.4	29.65	320.45	0.3	0.05
16	大帆石特别保护海岛限制类红线区	32.20	300.70	32.20	300.80	0.00	0.10
17	大帆石特别保护海岛禁止类红线区	29.5	305.3	29.25	304.6	-0.25	-0.7
18	三亚港基岩岸线	-	-	-	-	-	-
19	金线鱼产卵场	29.55	305.2	29.45	304.5	-0.1	-0.7
20	南海北部幼鱼繁育场保护区	23.40	315.35	23.40	314.95	0.00	-0.40
21	南海区幼鱼、幼虾保护区	16.95	319.80	16.95	319.80	0	0
22	阳江市阳东县珍珠湾海滨浴场项目	12.25	309.05	12.25	309.05	0.00	0.00
23	开放式养殖用海-雷自兵（筏式吊蚝养	9.45	323.45	9.45	323.45	0	0

	殖)						
24	阳江市海纳水产养殖有限公司大镬岛大型抗风浪深水网箱开放式养殖用海项目	15.50	319.25	15.50	319.25	0.00	0.00
25	阳江市大镬岛二期、二镬岛深水网箱建设项目	16.95	290.95	16.95	291.00	0.00	0.05
26	北津航道	20.40	318.60	20.50	318.50	0.49	-0.10
27	东平航道	24.15	319.55	24.20	319.40	0.21	-0.15
28	潯州岛北航道	24.45	313.45	24.55	312.75	0.41	-0.70
29	潯州岛南航道	25.85	315.20	25.95	314.45	0.39	-0.75
30	围阳航道	26.95	317.10	27.00	316.20	0.19	-0.90
31	寿长航道	22.50	308.80	22.25	308.75	-1.11	-0.05
32	阳江港2号中型船舶候潮锚地	23.65	319.10	23.65	318.95	0.00	-0.15
33	阳江港大型船舶候装卸锚地	26.65	305.55	26.80	306.85	0.56	1.30
34	阳江核电厂工程	5.55	297.85	5.70	296.45	2.70	-1.40
35	东平渔港仓储物流加工服务基地	20.35	286.15	20.60	285.90	1.23	-0.25
36	新型浮式防波设施关键技术研究示范	19.90	314.35	19.90	314.30	0.00	-0.05

表 7.1-2 工程前后敏感目标区域大潮落潮平均流速变化

序号	敏感目标	工程前		工程后		变化情况	
		大小 (m/s)	角度 (°)	大小 (m/s)	角度 (°)	流速变率 (%)	流向差值 (°)
1	南鹏列岛海洋省级自然保护区	41.40	140.7	41.3	140.7	-0.1	0
2	阳东县头芦排海洋生态县级自然保护区	39.25	139.55	39.15	139.55	-0.1	0
3	大帆石海洋保护区	45.20	120.30	42.50	120.25	0.00	-0.05
4	南鹏列岛海洋保护区	41.4	140.7	41.3	140.7	-0.1	0
5	头芦排海洋保护区	39.25	139.55	39.15	139.55	-0.1	0
6	海陵岛东北海洋保护区	13.05	135.65	13.05	135.40	0.00	-0.25
7	海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	16.7	130.2	16.7	130.2	0	0
8	南鹏列岛省级海洋自然保护区禁止类红线区	46.85	135.05	46.8	135	-0.05	-0.05
9	南鹏列岛省级海洋自然保护区限制类红线区	41.40	140.70	41.30	140.70	-0.24	0.00
10	寿长河重要河口生态系统限制类红线区	4.60	111.85	4.60	111.85	0.00	0.00
11	珍珠湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	7.9	127.1	7.9	127	0	-0.1
12	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区	9.60	23.95	9.60	23.95	0.00	0.00
13	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 II 区限制类红线区	35.15	128.8	35.5	128.55	0.35	-0.25
14	头芦排海洋自然保护区禁止类红线区	39.25	139.55	39.15	139.55	-0.1	0
15	头芦排海洋自然保护区限制类红线区	39.25	139.55	39.15	139.55	-0.1	0
16	大帆石特别保护海岛限制类红线区(109)	13.50	315.95	13.50	315.95	0.00	0.00
17	大帆石特别保护海岛禁止类红线区(110)	35.25	128.75	35.6	128.3	0.35	-0.45
18	三亚港基岩岸线	-	-	-	-	-	-
19	金线鱼产卵场	35.5	128.55	35.5	128.55	0	0
20	南海北部幼鱼繁育场保护区	31.75	139.50	31.75	139.50	0	0
21	南海区幼鱼、幼虾保护区	10.60	23.95	10.60	23.95	0	0

序号	敏感目标	工程前		工程后		变化情况	
		大小 (m/s)	角度 (°)	大小 (m/s)	角度 (°)	流速变 率 (%)	流向 差值 (°)
22	阳江市阳东县珍珠湾海滨浴场项目	19.05	132.35	19.00	132.35	-0.26	0.00
23	开放式养殖用海-雷自兵(筏式吊蚝养殖)	14.65	140.85	14.65	140.85	0.00	0.00
24	阳江市海纳水产养殖有限公司大镬岛大型抗风浪深水网箱开放式养殖用海项目	23.35	144.60	23.30	144.60	-0.21	0.00
25	阳江市大镬岛二期、二镬岛深水网箱建设项目	27.60	113.25	27.60	113.25	0.00	0.00
26	北津航道	28.60	137.45	28.55	137.45	-0.17	0.00
27	东平航道	33.40	138.00	33.45	138.00	0.15	0.00
28	潯州岛北航道	32.30	135.20	32.25	135.30	-0.15	0.10
29	潯州岛南航道	33.20	135.60	33.10	135.70	-0.30	0.10
30	围阳航道	35.10	135.85	35.00	135.95	-0.28	0.10
31	寿长航道	29.20	137.65	29.20	137.65	0.00	0.00
32	阳江港 2 号中型船舶候潮锚地	32.85	139.65	32.85	139.60	0.00	-0.05
33	阳江港大型船舶候装卸锚地	30.95	131.40	31.40	131.25	1.45	-0.15
34	阳江核电厂工程	7.70	115.70	7.75	115.25	0.65	-0.45
35	东平渔港仓储物流加工服务基地	26.30	112.50	26.35	112.40	0.19	-0.10
36	新型浮式防波设施关键技术研究示范	28.90	138.10	28.90	138.10	0.00	0.00

由表可知：由于本工程对敏感目标最大流速变率均在 3% 以下，流向均不发生明显变化。总体上看，工程建设对周边红线区、海洋保护区、航道、锚地和养殖区的水动力影响较小，基本不会改变周边海洋环境敏感目标海域水文动力环境。

7.2 地形地貌与冲淤环境影响分析。

7.2.1 工程前后项目区域冲淤变化分析

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，冲刷过程变得较为复杂。在桩基的冲淤演变过程中，一般将这一复杂的综合冲刷过程分为三个独立的部分：即自然演变冲刷、一般冲刷和局部冲刷，假定三者独立地、相继地进行，分别进行计算，最后叠加，作为桩基的最大冲刷深度。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附近的一般冲刷和局部冲刷，其中局部冲刷参考 7.2.2 节中的局部冲刷公式进行计算，本节仅计算由于桩基压缩和阻挡水流引起的局部冲刷，采用经验公式进行估算。本节计算的一般冲刷和

7.2.2 节计算的局部冲刷叠加得到桩基附近的最大冲刷深度。

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：

$$p = \frac{\alpha s \omega t}{\gamma_d} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{2m} \right]$$

式中， ω 为泥沙沉速，单位 m/s，根据相关粒度分析资料，本项目拟建工程周边海区所含悬沙为粘土质粉砂和粉砂，在此取粘土质粉砂的沉速为 0.05cm/s。

1、计算参数的确定

α 为沉降几率，取 0.67；

t 为年淤积历时，单位取秒 (S)，一年即为 31557600 秒；

S 为水体平均悬沙含量，单位： kg/m^3 ，根据 2015 年 7 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 ；

γ_d 为泥沙干容重，按照公式 $\gamma_d = 1750 \times D_{50}^{0.183}$ 计算，单位为 kg/m^3 ， D_{50} 为泥沙中值粒径，根据表层沉积物的取样结果，本海区 70% 的表层沉积物样品为粘土质粉砂，泥沙中值粒径取实测样品中粘土质粉砂的平均值为 0.015mm；

V_1 ， V_2 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；全潮平均流速为包含大中小潮全潮周期内的平均流速。

M 根据当地的流速与含沙量的关系近似取作 1。

根据以上的设定和潮流数值模拟计算的结果，计算得到工程后每年回淤强度情况，绘制出工程后达到冲淤平衡时的冲淤强度等值线图（图 7.2-1）（+表示淤积，-表示冲刷）。

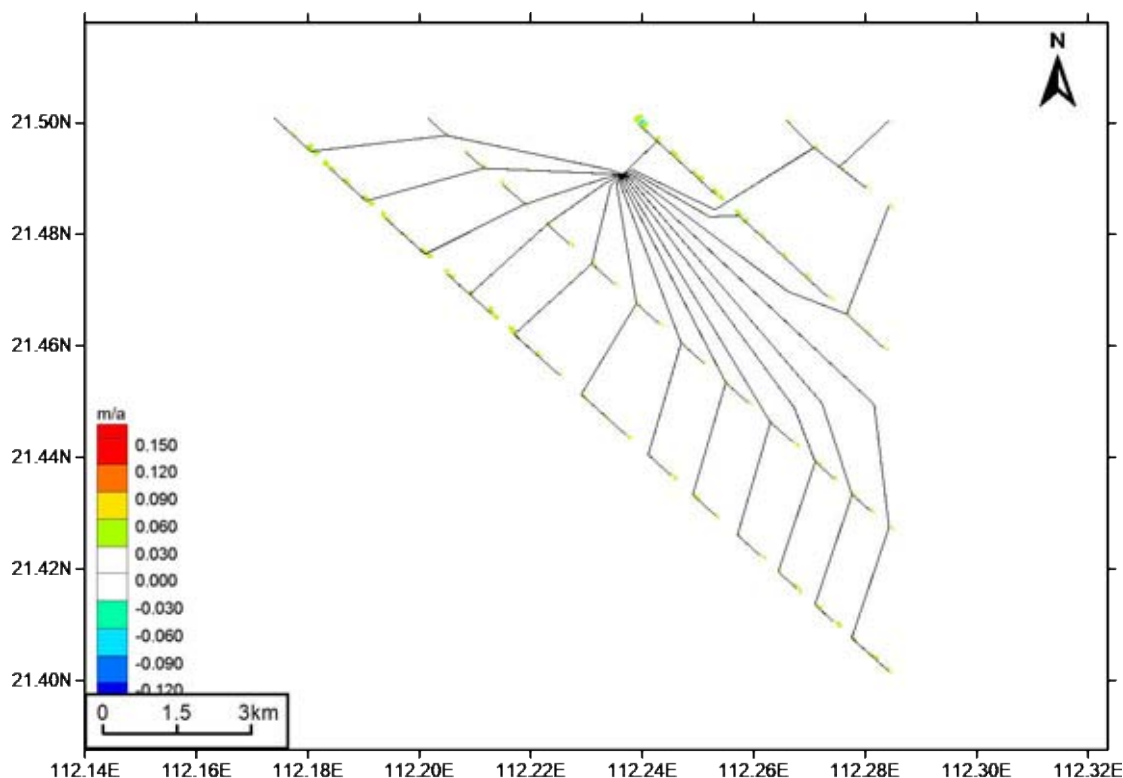


图 7.2-1 工程后拟建工程附近海区冲淤图

2、计算结果分析

由图 7.2-1 可以看出，风电桩基完成以后，桩基群对水流的整体阻挡并不明显，由于涨落潮流的主流向以东南-西北向为主，因此在风电桩基东南-西北向的流速减小，导致在桩基群的附近和东南-西北向产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.08m/a 左右，而在桩基的东北-西南两侧，由于水动力的增强，则表现出略有冲刷，最大冲刷幅度为 0.05m/a 左右。

整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 3cm/a 的范围不超过桩基区 0.2km，桩基群之间基本不存在相互叠加影响。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

7.2.2 风电桩基附近的冲刷深度分析

在桥梁（桩基）引起的泥沙冲刷研究中，建桥（桩基）后，除河床（海床）的自然演变以外，还有桥梁孔径压缩水流和墩台阻挡水流引起的冲刷，各种冲刷交织在一起同时进行，冲刷过程非常复杂。墩台（桩基）周围河床（海床）的最大冲刷深度，是各种冲刷综合作用的结果，直接威胁着墩台（桩基）基础的安全。为了便于研究和计算，把这一复杂综合的冲刷过程，分为独立的三部分，即自然（演变）冲刷、一般冲刷和局部冲刷，并假定它们独立地相继进行，可以分别计

算，然后叠加。在本项目研究当中，桩基的周边地貌为滨海至浅海海积平原，水深在 25m 左右，通常情况下，海床的自然演变已达到平衡状态，即自然冲刷较小。桥梁建设中的一般冲刷是由于桥墩占用过水断面面积而引起，在本项目风电桩基分布中，相邻桩基的距离在 300m 以上，两个桩基之间由于桩基占用过水面积而使流速增加的现象并不明显，根据估算，一般冲刷的最大幅度为 0.15m/a 左右，只分布在桥墩附近的小范围内，其冲刷幅度和范围都较小；局部冲刷为桥墩（桩基）周边由于流速的增加而引起，在桥墩和桩基周边普遍存在。

综合以上分析可知，在本项目当中，主要分析桩基周边的局部冲刷程度。桥墩（桩基）阻挡水流，水流在桥墩（桩基）两侧绕流，形成十分复杂的、以绕流旋涡体系为主的绕流结构，引起桥墩（桩基）周围急剧的泥沙运动，形成桥墩（桩基）周围局部冲刷坑（图 7.2-2）。旋涡体系是一个复杂的综合水流结构，包括两侧绕流旋涡和墩前向下水流在床面附近形成的马蹄形旋涡、桥墩两侧边界层分离形成的尾流旋涡以及床面附近形成的小旋涡。

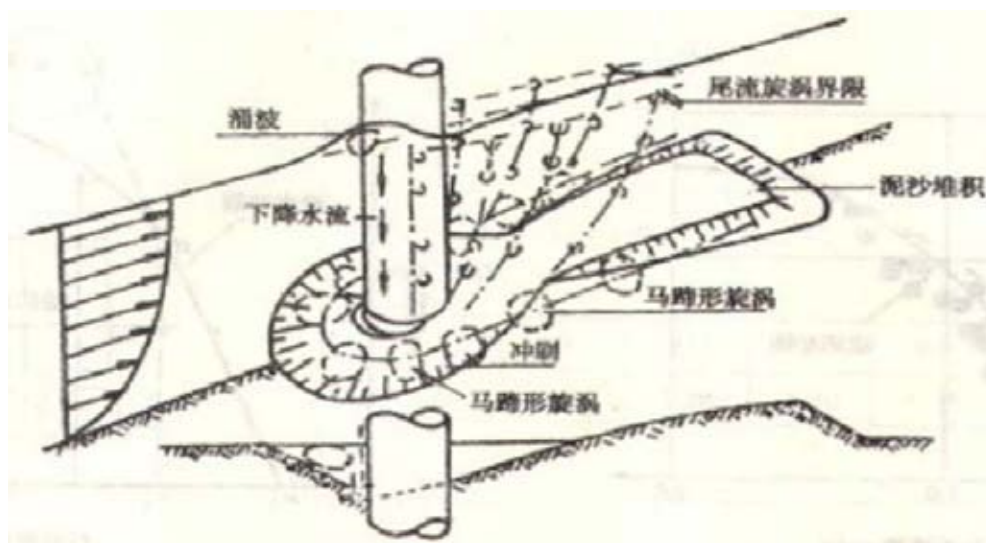


图 7.2-2 墩台（桩基）冲刷示意图

按照沙质海床的桥墩（桩基）冲刷 65-2 计算公式进行计算：

$$h_b = K_\xi K_{\eta 2} B_1^{0.60} h^{0.15} \left(\frac{v - v'_0}{v_0} \right)^n$$

上式中，

h_b —桥墩局部冲刷深度（m），从一般冲刷后床面算起；

K_ξ —墩形系数；根据图 7.2-3，取 0.95。

B_1 —计算墩宽（m）；按照桩基的直径，取 9m。

h —一般冲刷后水深 (m); 由工程前水深可知, 桩基处平均水深为 26m。

$K_{\eta 2}$ —系数, $K_{\eta 2} = \frac{0.0023}{d^{2.2}} + 0.375d^{0.24}$, 其值与冲刷层的平均粒径有关。

d —冲刷层平均粒径 (mm); 取粉砂的平均粒径为 0.032mm。

v —行近流速 (m/s), 取一般冲刷后墩前垂向平均流速; 根据数模和实测结果, 取 0.65m/s。

V_0 —河床泥沙起动流速 (m/s), 由张瑞瑾公式计算, 即:

$$V_0 = \left(\frac{h}{d}\right)^{0.14} (29d + 0.000000605 \frac{10+h}{d^{0.72}}) 0.5;$$

其中:

V_0 —起动流速 (m/s);

h —水深 (m), 取平均水深为 26m;

d —粒径(m), 取粉砂的平均粒径为 0.000032m。

v'_0 —桥墩起冲流速 (m/s)) 一般取 $v'_0 = 0.12(d + 0.5)^{0.55}$

n —指数,

其中 B_l 和 K_ξ 由下图决定。

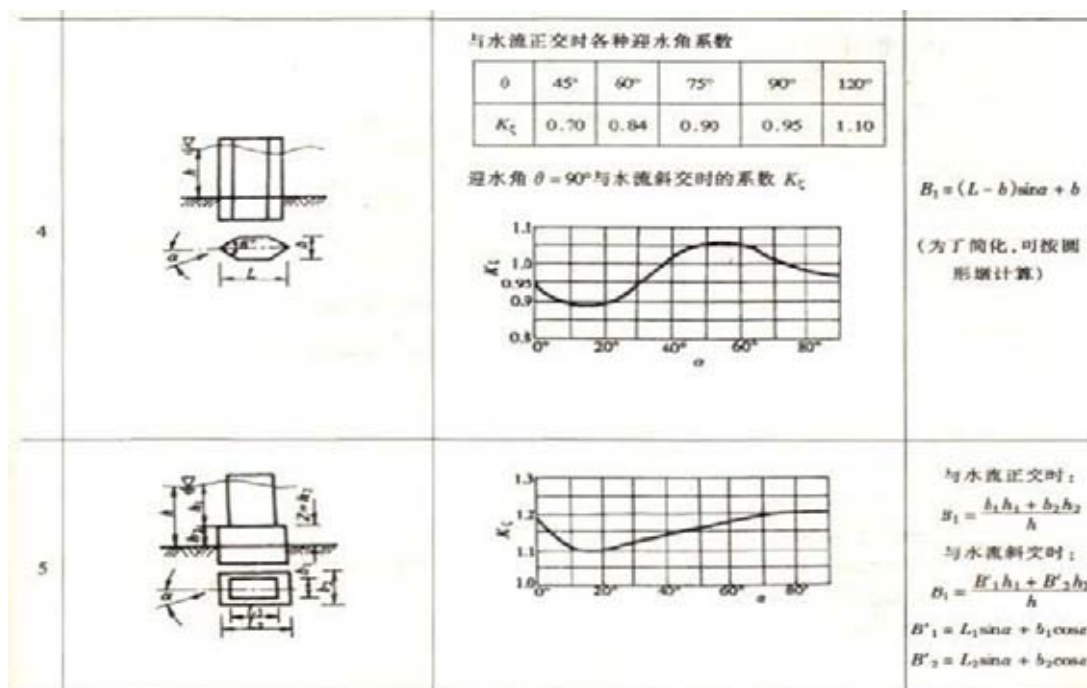


图 7.2-3 桥墩 (桩基) 冲刷的 65-2 公式的参数选取

根据以上的设定, 不考虑海床的自然冲刷和桩基修筑以后的一般冲刷, 由经

验公式得出桩基的局部冲刷深度为 3.9m，叠加一般冲刷（最大 0.15m）后风电桩基处的最大冲刷深度可达到 4.2m 左右。

本项目风机基础采用的结构防冲刷处理方案为预留冲刷深度，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。

工程已预留冲刷深度，因此，桩基冲刷不会对桩基的稳定性产生影响。

7.2.3 冲淤变化对敏感目标的影响

本节主要分析工程建设对评价范围内的敏感目标冲淤情况的影响，工程海域周边涉及对冲淤环境敏感的敏感目标有南鹏列岛海洋保护区、头芦排海洋保护区、大帆石海洋保护区、寿长河重要河口生态系统限制类红线区以及养殖区和航道等多个敏感目标。根据计算，工程前后各敏感目标区域平衡冲淤情况见表 7.2-1。

由表可知，工程实施后冲淤变化对工程区域周边敏感目标的影响较小。由于本工程位于南海北部幼鱼繁育场保护区内，最大影响即为对此敏感目标区的影响，平衡最大冲淤幅度不超过 15cm，其余敏感目标平衡冲淤不超过 0.1cm。可见风电场建设对周边红线区、海洋功能区及海洋保护区和养殖区冲淤影响较小，不会对评价范围内各敏感目标造成明显冲淤影响。

表 7.2-1 工程实施前后敏感目标区域平衡冲淤变化表

序号	敏感目标	年冲淤量(m/a) (+为淤积、-为冲刷)	平衡冲淤量(m) (+为淤积、-为冲刷)
1	南鹏列岛海洋省级自然保护区	<0.001	<0.001
2	阳东县头芦排海洋生态县级自然保护区	<0.001	<0.001
3	大帆石海洋保护区	<0.001	<0.001
4	南鹏列岛海洋保护区	<0.001	<0.001
5	头芦排海洋保护区	<0.001	<0.001
6	海陵岛东北海洋保护区	<0.001	<0.001
7	海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	<0.001	<0.001
8	南鹏列岛省级海洋自然保护区禁止类红线区	<0.001	<0.001
9	南鹏列岛省级海洋自然保护区限制类红线区	<0.001	<0.001
10	寿长河重要河口生态系统限制类红线区	<0.001	<0.001
11	珍珠湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	<0.001	<0.001
12	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区	<0.001	<0.001
13	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 II 区限制类红线区	<0.001	<0.001
14	头芦排海洋自然保护区禁止类红线区	<0.001	<0.001
15	头芦排海洋自然保护区限制类红线区	<0.001	<0.001

序号	敏感目标	年冲淤量(m/a) (+为淤积、-为冲刷)	平衡冲淤量(m) (+为淤积、-为冲刷)
16	大帆石特别保护海岛限制类红线区	<0.001	<0.001
17	大帆石特别保护海岛禁止类红线区	<0.001	<0.001
18	三亚港基岩岸线	<0.001	<0.001
19	金线鱼产卵场	<0.001	<0.001
20	南海北部幼鱼繁育场保护区	<0.05	<0.14
21	南海区幼鱼、幼虾保护区	<0.001	<0.001
22	阳江市阳东县珍珠湾海滨浴场项目	<0.001	<0.001
23	开放式养殖用海-雷自兵（筏式吊蚝养殖）	<0.001	<0.001
24	阳江市海纳水产养殖有限公司大镬岛大型抗风浪深水网箱开放式养殖用海项目	<0.001	<0.001
25	阳江市大镬岛二期、二镬岛深水网箱建设项目	<0.001	<0.001
26	北津航道	<0.001	<0.001
27	东平航道	<0.001	<0.001
28	潯州岛北航道	<0.001	<0.001
29	潯州岛南航道	<0.001	<0.001
30	围阳航道	<0.001	<0.001
31	寿长航道	<0.001	<0.001
32	阳江港 2 号中型船舶候潮锚地	<0.001	<0.001
33	阳江港大型船舶候装卸锚地	<0.001	<0.001
34	阳江核电厂工程	<0.001	<0.001
35	东平渔港仓储物流加工服务基地	<0.001	<0.001
36	新型浮式防波设施关键技术研究示范	<0.001	<0.001

7.2.4 与原环评对比分析

与原环评预测结果对比分析结果可知，风电场平面布置变化后对桩基附近冲淤情况影响变化不大，对工程区以外的海域基本无影响。本项目现已完成海上升压站、8 台风机、登陆点、1 回 220kV 海缆、35kV 首回路的施工。由预测结果可知，完成施工部分对冲淤环境影响集中在桩基附近，对工程区以外海域冲淤环境基本无影响。

7.3 海水水质环境影响预测与评价

项目用海对于资源、生态的损耗主要在于海底电缆铺设施工过程中产生的悬浮物泥沙的影响，因此主要研究海底电缆铺设工程施工过程中悬浮物的扩散包络范围和强度。本项目位于水深在 18~28m 的海域范围内，海域水文条件比较复杂，因此采用三维潮流泥沙输运扩散模型进行预测。与原环评的二维模型相比，预测结果更具体、准确。

7.3.1 水环境的影响因子

本项目工程对海域环境产生影响的决定因素，主要是悬浮泥沙的产生量和该海域的自净能力。通常，悬浮泥沙产生量越大，水质越混浊，对环境的影响也就越大。再则，其影响程度还取决于海域的环境容量（负荷限度），即海域的地理条件和水体的活跃程度。后者主要是指海流的输运、扩散能力和海水的更新率。一般来说，海域越封闭，水域容积越小，海水交换能力越弱，稀释能力越低，环境负荷能力也就越低。

环境影响预测的目的，在于将上述原则与系统工程的方法联系起来，预测项目施工过程中所形成的悬浮物影响浓度场和定量地描述项目施工作业可能产生的环境后果，为采取防范措施提供科学依据。

7.3.2 三维潮流泥沙输运扩散方程

采用数值模拟对铺缆工程施工造成的悬沙影响进行计算。

Sigma 坐标系下三维泥沙平流扩散、沉降控制方程为：

$$\frac{\partial CD}{\partial t} + u \frac{\partial CD}{\partial x} + v \frac{\partial CD}{\partial y} + w_f \frac{\partial C}{\partial \sigma} = K_M \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + K_M \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_v}{D} \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right) + DS_c$$

其中： C 为水体悬沙含量， S_c 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，根据静水单颗粒圆球公式进行计算得到；泥沙沉速 w 由

沙玉清平流公式计算 $w = \frac{1}{24} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{gD^2}{\nu}$ ，其中 γ_s 为泥沙密度，取 $2.4 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ， γ 为水体密度，取 $1.03 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ， D 为泥沙直径，根据实测的海底表层沉积物中值粒径，在此取 0.015mm ， ν 为运动粘滞系数，根据海水温度取 22°C 海水的粘滞系数 $0.958 \text{m}^2/\text{s}$ 。 K_M 为水平扩散系数，采用欧拉公式

$$K_{MX} = 5.93 \sqrt{gH} |u| / C_z \quad K_{MY} = 5.93 \sqrt{gH} |v| / C_z$$

C_z 为 chezy 系数， K_v 为垂直扩散系数，根据广东沿海的研究文献取 0.023 。

岸界边界条件： $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$

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 $P_0 = 0$ 。

$$\text{出流时 } \frac{\partial C}{\partial t} + U_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0;$$

U_n 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:

$$-K_v \frac{\partial C}{\partial z} - w_{fb} C_b = \begin{cases} M \left(\frac{v^2}{v_e^2} - 1 \right) & v \geq v_e \\ 0 & v_d < v < v_e \\ w_{fb} C_b \left(\frac{v^2}{v_d^2} - 1 \right) & v \leq v_d \end{cases}$$

式中: M 为冲刷系数, 取曹祖德实验参数, $M=6.4 \times 10^{-3}$; w_{fb} 为近底层泥沙有效沉速, $w_{fb} = w_s - w$, w_s 为泥水静水沉速, $w_{fb} \times C_b$ 为悬沙垂直沉降通量, $K_v \frac{\partial C}{\partial z}$ 为近底层泥沙在湍流运动作用下的上扬通量; V 为底层流速, V_d 为泥沙从悬浮状态落淤的临界流速, V_e 为床面泥沙悬扬临界流速。

泥沙沉速 w_s 采用武汉水利电力学院静水泥沙沉速公式计算,

$$w = \sqrt{\left(13.95 \frac{v}{D}\right)^2 + 1.09 \alpha g D} - 13.95 \frac{v}{D}$$

其中, v 为水运动粘滞系数, 取值 $0.01146 \text{ cm}^2/\text{s}$; D 为泥沙粒径 (mm), 取实测表层沉积物的中值粒径平均值 0.015 ; 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:

$$V_e = k \left(\ln 11 \frac{h}{\Delta} \right) \left(\frac{d'}{d_*} \right)^{1/3} \sqrt{3.6 \frac{r_s - r}{r} g D + \left(\frac{r_0}{r_*} \right)^{5/2} \frac{\varepsilon + g \delta h (\delta / D)^{1/2}}{D}}$$

落淤的临界流速:

$$V_d = k \left(\ln 11 \frac{h}{\Delta} \right) \left(\frac{d'}{d_*} \right)^{1/3} \sqrt{3.6 \frac{r_s - r}{r} g D}$$

泥沙起动公式中各参数取值为, $k=0.41$, $g=981 \text{ cm/s}^2$, 当泥沙粒径 $D < 0.05 \text{ cm}$, 床面糙率 $\Delta = 0.1 \text{ cm}$, $d' = 0.05 \text{ cm}$, $d_* = 1.0 \text{ cm}$, 泥沙粘结系数 $\varepsilon = 1.75 \text{ cm}^3/\text{s}^2$, 薄膜水厚度参数 $\delta = 2.31 \times 10^{-5} \text{ cm}$, h 水深 (cm), r_0 床面泥沙干容重 (g/cm^3), r^* 床面泥沙稳定干容重 (g/cm^3), 泥沙容重 $r_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$, 海水容重 $r_s = 1.025 \text{ g/cm}^3$ 。

初始条件:

模拟施工期本底值均置为 0，仅考虑悬沙增量。

7.3.3 悬浮泥沙源强度

在海上风电的建设过程中，产生悬浮泥沙扩散的施工主要是电缆铺设时引起。三维分层采用 σ 坐标，分成表、中、底三层，根据水深分别取 $0.3H$ 、 $0.3H$ 和 $0.4H$ 做为分层水深。由三维悬沙的计算结果可以看出，悬沙含量的三维分布与三维分层的水深有关，分层越细，底层泥沙浓度和扩散面积越大。本次计算采用的分层数为三层，未再细化垂向分层。悬沙计算未考虑风应力的作用。潮流余流为纯潮流作用下的余流。

计算工况：海底电缆敷设施工 135 个源点叠加。根据工程分析章节 220kV 电缆段源强 14.26kg/s 、35kV 电缆段源强 17.12kg/s 。

模拟计算过程中仅仅考虑工程施工产生的悬浮泥沙增量的影响，潮流对海底床作用产生的泥沙将不计算。选择桩基周围和连接管线的 135 个源点进行模拟计算(图 7.3-1)，预测施工产生的悬浮泥沙对水质环境的影响范围与程度。

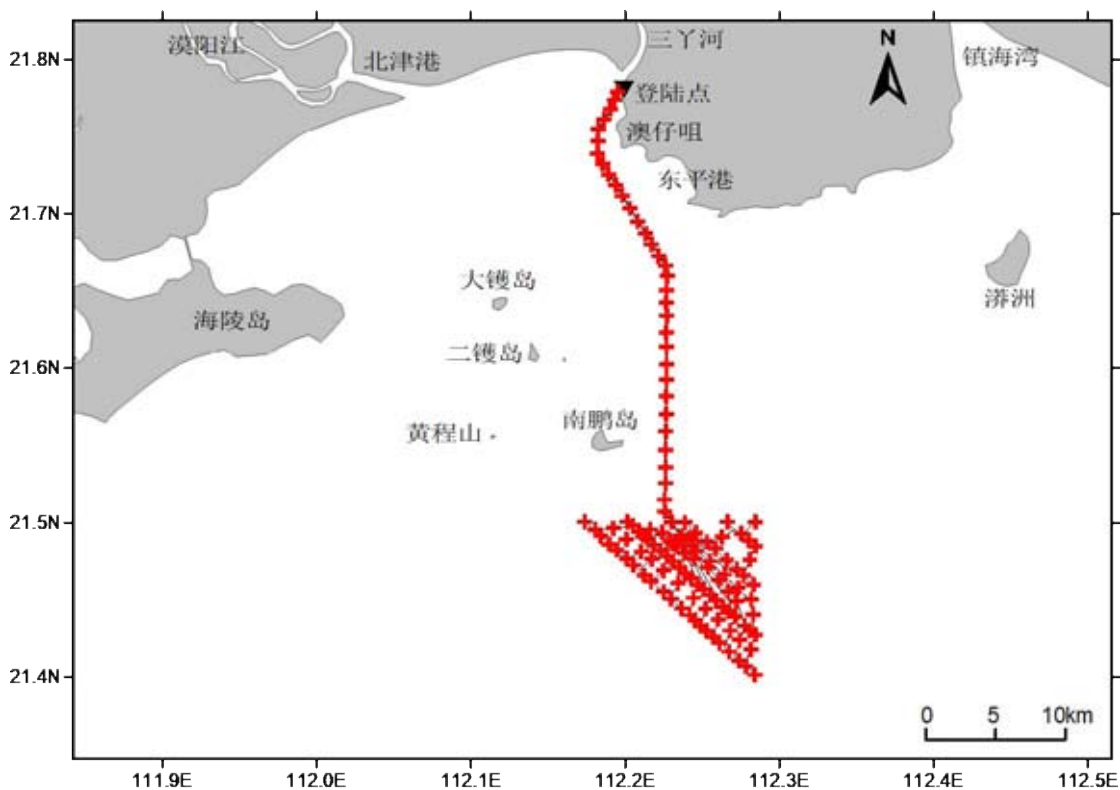


图 7.3-1 模拟铺设源点位置示意图

7.3.4 悬浮物分布的计算结果及分析

自电缆铺设施工作业的初始时刻起，源点附近由于沉降、掺混过程所形成的

悬浮物混浊云团，在海流作用下扩散迁移形成“污染区”。由于不停作业，云团核心浓度（中心含沙量）随着时间的推移而不断升高，云团面积不断扩大。在初始阶段，这一过程演变很快，但经过一定时间后，浓度随时间的变化变缓，指某一时间不再升高，即达到所谓“平衡态”。它表征了各种因素（源强、自净能力）对环境水质的影响程度。潮混合使核心浓度达到平衡态的时间，决定于水域的地形特征和流场的强弱以及流态。通常，水域小，流场强，达到平衡态的时间就短。

图 7.3-2 为电缆铺设施工过程中悬沙扩散的包络范围。泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流输运作用影响，因此泥沙的扩散方向与潮流的方向相同。从图中可以看出，近岸区的悬浮物扩散影响较大，高浓度的水体也主要分布在近岸区，而风电桩基所在海区的影响相对较小。

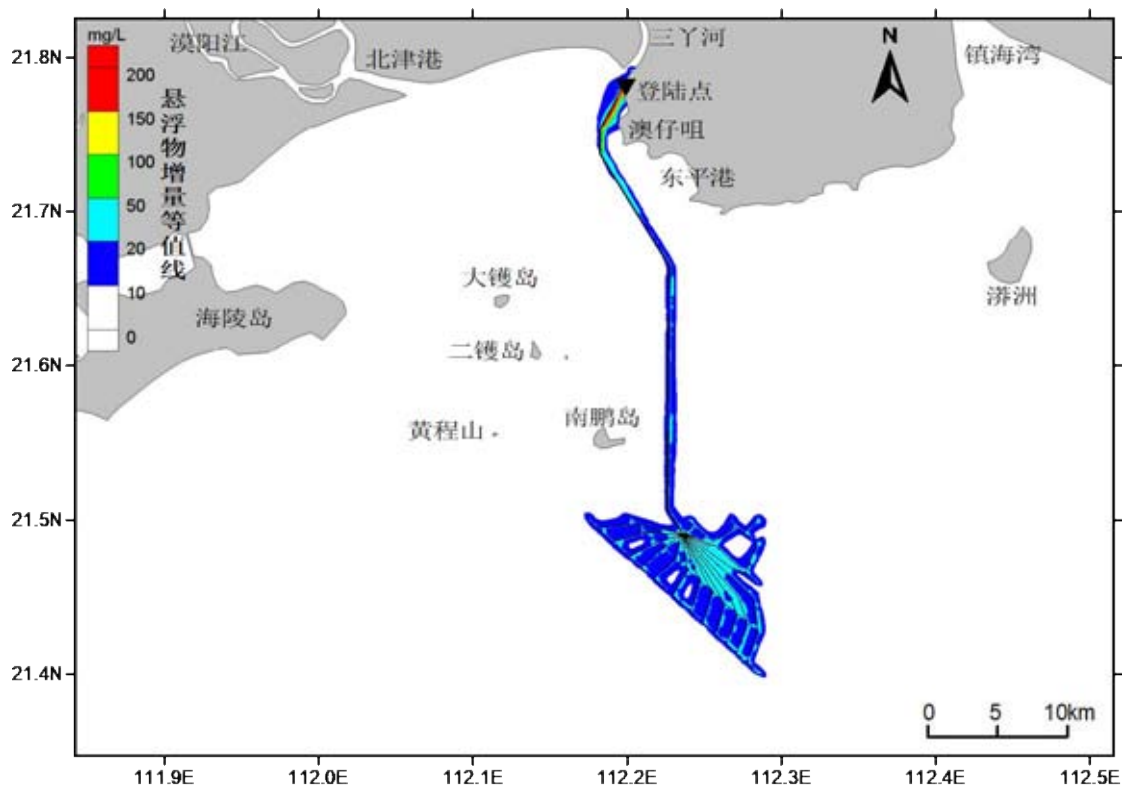


图 7.3-2a 15 个潮周期内底层悬浮泥沙浓度最大分布范围（单位：mg/L）

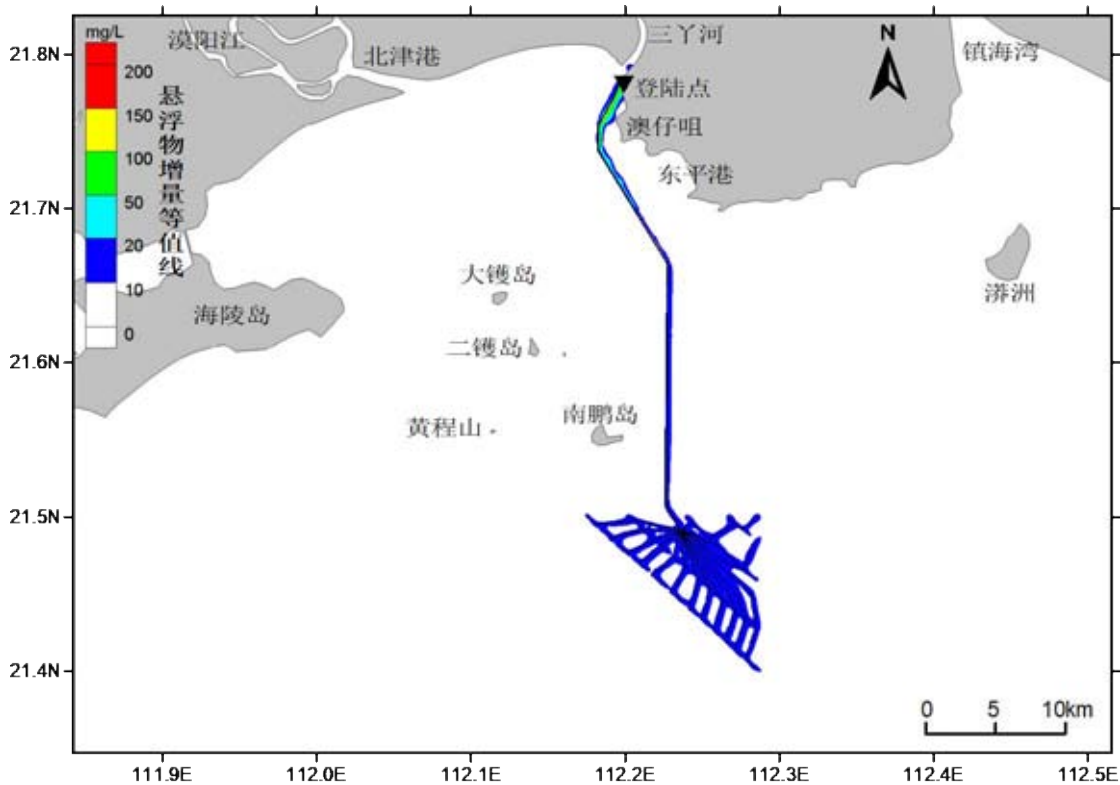


图 7.3-2b 15 个潮周期内中层悬浮泥沙浓度最大分布范围 (单位: mg/L)

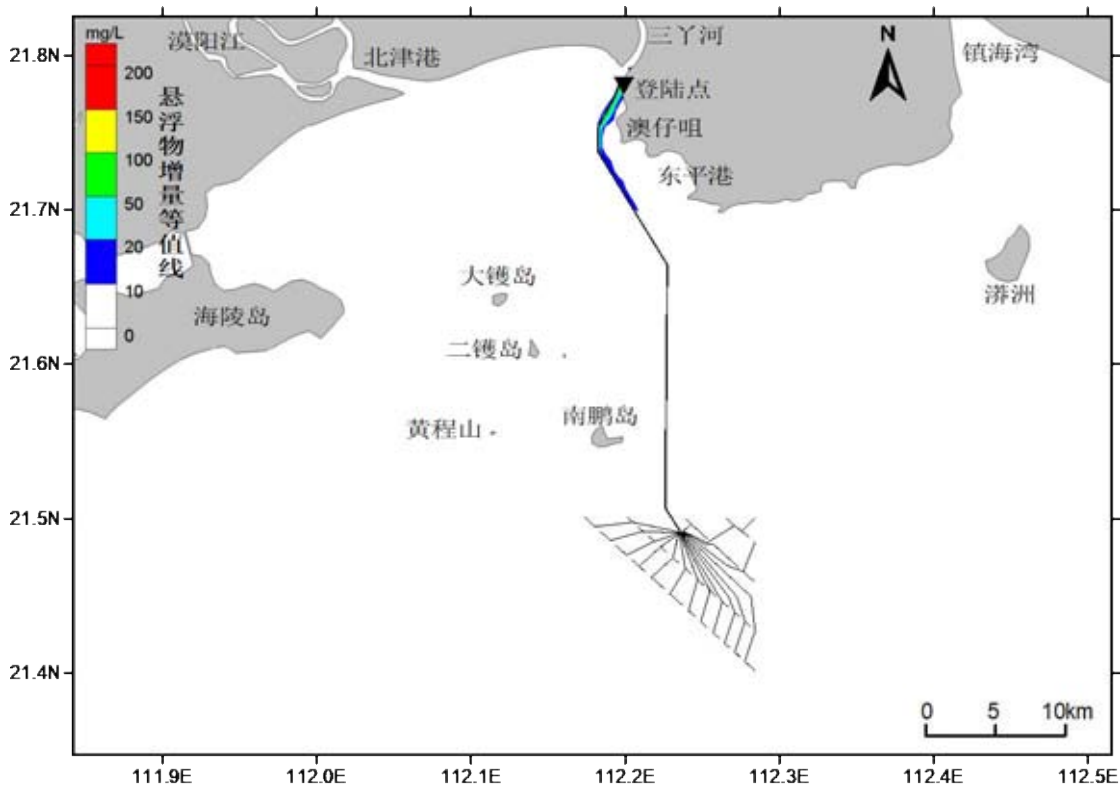


图 7.3-2c 15 个潮周期内表层悬浮泥沙浓度最大分布范围 (单位: mg/L)

7.3.5 悬浮物的影响范围

在此对海底电缆铺设引起的悬沙影响进行估计。为了估计悬浮泥沙的影响大小，根据模型的计算结果，分别计算了不同浓度的覆盖面积和最远扩散距离，并列入下表 7.3-1 和 7.3-2。

表 7.3-1 海底电缆铺设悬浮泥沙各层浓度的最大影响范围面积 (km²)

悬浮泥沙浓度增量	包络面积 (底层)	包络面积 (中层)	包络面积 (表层)
>10mg/L(超 I、II 类海水水质)	92.244	56.486	4.581
>20mg/L	5.398	3.424	1.901
>50mg/L	1.985	1.175	0.638
>100mg/L(超 III 类海水水质)	1.013	0.081	0.0
>150mg/L(超 IV 类海水水质)	0.331	0.001	0.0

表 7.3-2 底层 10mg/L 悬浮泥沙的最大扩散距离(km)

扩散方向	135 个源点叠加
北向	1.85
西向	1.07
南向	0.49
东向	1.26

由表 7.3-1、7.3-2 和图 7.3-2 可以看到，从悬浮物最大浓度增量包络线分布分析可知，底层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 92.244km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 5.398km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 1.985km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 1.013km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.331km²。

中层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 56.486km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 3.424km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 1.175km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.081km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.002km²。

表层超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 4.581km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 1.901km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 0.638km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.000km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.000km²。

7.3.6 施工悬浮物对海域周边敏感目标的影响

工程海域周边的敏感目标有开放式养殖用海区域、南鹏列岛海洋保护区、海陵岛旅游休闲娱乐区、头芦排海洋保护区、大帆石海洋保护区、海陵岛东北海洋保护区等环境敏感目标对海洋水质较为敏感。工程海缆施工期间在敏感目标区产

生的最大悬浮物浓度增量见表 7.3-3。

模型计算结果显示：项目施工期所产生的悬浮泥沙对其所在海域的敏感区应想东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区、南海北部幼鱼繁育场保护区、南海区幼鱼、幼虾保护区为 182.87mg/L，主要是因为本项目 220kV 电缆路由经过此三个敏感区。寿长河重要河口生态系统限制类红线区的悬沙增量为 13.52mg/L，海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区的悬沙增量为 32.57mg/L，其余海洋保护区等敏感区的悬沙增量都小于 10mg/L，影响较大的两个敏感区分别是位于项目区内和距离登陆点较近。对于航道的悬沙增量在 16.9~38.2mg/L，主要是因为航道与本项目 220kV 电缆路由交叉，悬沙增量较大。

虽然工程海缆施工期间对周边临近海区的海水水质产生了不利影响，但是这种影响是暂时的，可逆的，随着海缆施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内（和海流流速、泥沙沉降特性等有关）迅速衰减至背景浓度值，在施工结束后不会影响保护区、养殖区的功能。

表 7.3-3 海缆施工在敏感目标处的最大悬浮物增量（单位：mg/L）

序号	敏感目标	最大悬浮物增量
1	南鹏列岛海洋省级自然保护区	4.68
2	阳东县头芦排海洋生态县级自然保护区	2.36
3	大帆石海洋保护区	5.28
4	南鹏列岛海洋保护区	4.53
5	头芦排海洋保护区	2.36
6	海陵岛东北海洋保护区	0.023
7	海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	32.57
8	南鹏列岛省级海洋自然保护区禁止类红线区	3.62
9	南鹏列岛省级海洋自然保护区限制类红线区	4.65
10	寿长河重要河口生态系统限制类红线区	13.52
11	珍珠湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	9.37
12	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区	182.87
13	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 II 区限制类红线区	<0.01
14	头芦排海洋自然保护区禁止类红线区	2.71
15	头芦排海洋自然保护区限制类红线区	3.26
16	大帆石特别保护海岛限制类红线区	<0.01
17	大帆石特别保护海岛禁止类红线区	<0.01
18	三亚港基岩岸线	<0.01
19	金线鱼产卵场	<0.01
20	南海北部幼鱼繁育场保护区	182.87
21	南海区幼鱼、幼虾保护区	182.87
22	阳江市阳东县珍珠湾海滨浴场项目	8.26
23	开放式养殖用海-雷自兵（筏式吊蚝养殖）	53.8
24	阳江市海纳水产养殖有限公司大镬岛大型抗风浪深水网箱开放式养殖用海项目	<0.01

25	阳江市大镬岛二期、二镬岛深水网箱建设项目	<0.01
26	北津航道	38.2
27	东平航道	35.6
28	潯州岛北航道	28.5
29	潯州岛南航道	25.3
30	围阳航道	25.1
31	寿长航道	16.9
32	阳江港 2 号中型船舶候潮锚地	5.37
33	阳江港大型船舶候装卸锚地	<0.01
34	阳江核电厂工程	<0.01
35	东平渔港仓储物流加工服务基地	<0.01
36	新型浮式防波设施关键技术研究示范	7.64

7.3.7 与原环评对比分析

与原环评预测结果对比分析结果可知，工程变更平面布置后施工悬沙大于 10mg/L 的最大可能面积由原来的 129.86km² 缩小至 92.244km²。平面布置变更前后，海缆施工期间会对周边临近海区的海水水质产生了不利影响，但是这种影响是暂时的，可逆的，随着海缆施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内（和海流流速、泥沙沉降特性等有关）迅速衰减背景浓度值，在施工结束后基本影响保护区等敏感目标的功能。本项目现已完成海上升压站、8 台风机、登陆点、1 回 220kV 海缆、35kV 首回路的施工。220kV 及 35kV 电缆敷设时悬沙扩散导则电缆周边海水悬浮物浓度升高，但是随着施工结束，悬浮物浓度会在数小时内（和海流流速、泥沙沉降特性等有关）迅速衰减背景浓度值。因此，本工程已施工部分对海水水质产生的不利影响已经消失，基本不会影响保护区等敏感目标的功能。

7.3.8 钢管桩灌浆溢流和泄漏对水质影响分析

本工程风机基础施工时，钢管桩插打完成后需对其进行水泥砂浆浇筑，海上升压平台施工时钢套筒与钢管桩需灌浆连接，灌浆作业利用钢套筒进行水泥砂浆浇注作业。为保证浇筑质量，钢套筒为半封闭结构，一般情况下不会发生水泥砂浆泄漏。但由于钢套筒需反复利用，可能发生因结构安装造成钢套筒的局部破损从而发生泄漏的情况。灌浆溢流和泄漏对水质的影响与原环评一致，故引用原环评结论。

本工程灌注的水泥砂浆，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砧。一般水泥吸水饱和 45min 后，水泥浆逐渐失去塑性，出现凝结现象，

而凝结后的砼颗粒较大，且水泥浆密度较高一般在 $1800\sim 2000\text{kg/m}^3$ ，因此在发生水泥砂浆泄漏的情况下，砂浆及其固化形成的砼会快速沉入海底，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。

本工程已施工完成部分施工期间未发生砂浆溢流、泄漏等事故，未对海水水质环境造成不利影响。

7.3.9 施工污水排放影响分析

由于本工程建设不会改变已核准方案的风电场范围，仅对海上升压站、风机位置和海缆路由做调整，且主缆走向不变，因此方案调整后施工人员及施工船舶等未变化，因此施工污水排放影响不变。

陆域施工生产废水、施工生活污水来自施工基地，施工基地施工废水产生量约为 $65\text{m}^3/\text{d}$ ，产生的生活污水为 $30\text{m}^3/\text{d}$ 。施工生产废水拟采用隔油预沉-过滤-沉淀的处理方式，处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002)中相应用途的回用标准后储存回用。施工人员生活污水利用区域现有污水收集处理设施统一收集后纳管排放。陆域施工生产废水、施工生活污水处理后均回用于施工机械、车辆冲洗以及绿地浇灌等，不外排，对周边环境无污染影响。

本工程施工船舶油污水产生量为 $21.25\text{t}/\text{d}$ ，油类污染物产生量为 $53.13\text{kg}/\text{d}$ ，均设置有船舶生活污水和船舶机舱含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，不排海。

本工程已施工完成部分施工过程中严格按照上述处置方式对生产废水、生活污水、含油污水进行处置，不排海。

7.3.10 牺牲阳极对水环境的影响分析

牺牲阳极附着在钢管桩上，均暴露在水中，根据王恕昌等的研究成果，海水中的无机锌 Zn^{2+} 、 $\text{Zn}(\text{OH})^+$ 及 $\text{Zn}(\text{CO}_3)$ 的形式存在，近岸及河口区含量相对

较高。其存在形式有颗粒态、不稳定态、弱结合态和结合态。较大的颗粒态锌会较快沉降下来。

由于风电场区地处开阔海域，牺牲阳极释放的锌将随海水输移扩散，不会在风电场区持续叠加，基本不会对区域海水水质造成显著影响。

7.4 海洋沉积物环境影响分析与评价

7.4.1 施工期对沉积物影响分析

(1) 风机基础施工对沉积物环境的影响分析

根据本次沉积物环境现状调查结果，风机桩基基础附近沉积物环境质量状况符合评价海域目标沉积物质量要求。风机桩基基础施工建设没有疏浚物产生，有少量施工悬沙扩散属于清洁沉积物，不会对附近海域沉积物环境质量造成不利影响。

此外，施工期由于大型施工船舶在工程海域集结，施工船舶将产生一定数量的生产废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶含油机舱水、生活污水等废水未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油等直接弃置入海，将直接污染区域海水水质，进而可能影响工程区域海域沉积物环境质量，造成沉积物中废弃物、大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。

(2) 电缆铺设施工对沉积物环境的影响分析

海底电缆埋设期间搅起来的海底沉积物被堆积在缆沟两侧，在冲埋结束后，在海水运动作用下将回填于缆沟。海底电缆的施工对底质的直接影响就是冲起和覆盖，基本不会对沉积物性质产生明显影响。海底电缆铺设时产生的悬浮沙将沉降覆盖在海底电缆两侧，使原海底沉积物受到一定程度的覆盖和破坏。工程施工除对海底局部沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，并没有混入其它污染物，不会影响海底沉积物质量。

(3) 钢管桩灌浆连接

本项目风机钢管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。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砣，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。

已完成施工部分施工过程中未发生混凝土砂浆泄漏、溢出等事故。风机基础

施工及电缆施工过程中，对海底局部沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，并没有混入其它污染物，因此，已完成施工部分基本不会影响海底沉积物质量。

7.4.2 运行期对沉积物环境的影响分析

由于本工程建设不会改变已核准方案的风电场范围，仅对海上升压站、风机位置和海缆路由做调整，且主缆走向不变，而风机基础防腐措施未改变，因此防腐措施造成的沉积物影响与原环评一致。

运行期，本工程对沉积物环境的不利影响主要来自风机基础防腐措施中用到的牺牲阳极装置中的重金属污染物释放。本工程采用高效铝合金牺牲阳极，其主要成分为 Al、Zn、In，溶解后将随海水扩散进入大范围的海水中，部分沉积于桩基附近沉积物中。

据设计单位提供资料 and 同类项目类比结果，牺牲阳极释放的锌有 13% 进入沉积物中计，整个风电场阳极锌释放量约为 51.64kg/a，平均单根桩基础每年沉积的锌约 0.26kg。牺牲阳极的锌溶解后易随海水扩散进入大范围的循环，锌也是海水中的最常见的物质之一，其不易形成稳定物质而在 25 年内持续累积，因此工程实际运行中对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。

7.5 海洋生态环境影响分析与评价

7.5.1 项目建设对底栖生物和潮间带生物的影响

(1) 计算方法

根据《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》)，风机桩基占用海洋底栖生物生境，使底栖生物资源栖息地丧失，各底栖生物资源损害量评估按下述公式进行计算：

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中：

W_i —第 i 种生物资源受损量，单位为尾、个、千克 (kg)，在这里指底栖生物和潮间带生物资源受损量。

D_i —评估区域内第 i 种生物资源密度，单位为尾 (个) 每平方千米 [尾 (个) / km^2]、尾 (个) 每立方千米 [尾 (个) / km^3]、千克每平方千米 (kg/km^2)。在此为在这里指底栖生物和潮间带生物生物密度。

Si—第 i 种生物占用的水域面积或体积，单位为平方千米（ km^2 ）或立方千米（ km^3 ）。

（2）桩基占海对底栖生物的影响

根据工程初步设计总说明，本工程方案调整后，73 台风机基础型式有 32 台由导管架基础变为单桩基础。单台导管架基础分为 4 个桩径为 2.4m 的桩基，因此单台导管架基础占用海域面积约为 18.09m^2 ，故 41 台导管架基础占用海域面积为 741.69m^2 。32 台单桩基础桩径分布为 7.8m 有 2 台，7.9m 有 1 台，8.1m 有 3 台，8.2m 有 3 台，8.3m 有 7 台，8.4m 有 4 台，8.5m 有 9 台，8.7m 有 3 台。计算 32 台单桩基础占用海域面积为 1746.18m^2 。故本工程 73 台风机占用海域面积为 2487.87m^2 。

（3）电缆沟开挖对底栖生物的影响

海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖及潮间带生境造成直接破坏，进而引起底栖生物和潮间带生物量的损失。根据工程初步设计总说明，本工程方案调整后，海底电缆总长约 190.04km，其中潮间带电缆长度约 0.25km。考虑潮下带单根电缆开挖过程中的悬浮物再沉降的边际效应，单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围约为 20m，则海缆施工造成的底栖生境破坏面积约 379.58hm^2 ，潮间带生境破坏面积约 0.5hm^2 。

根据现状调查结果，本次评估底栖生物及潮间带生物量取值见表 7.5-1。

（4）生物量取值

由于本项目现已完成海上升压站、8 台风机、登陆点、1 回 220kV 海缆、35kV 首回路的施工。2019 年秋季和 2020 年春季的现状调查在项目施工后进行，采用本次现状调查结果计算生物损失无法真实的反应本工程实际导致的生物量损失。因此，本次评估底栖生物及潮间带生物量取值采用工程建设前 2015 年春秋两季调查结果，详见表 7.5-1。

表 7.5-1 底栖生物和潮间带生物量取值

生物资源	调查时间	生物量 (g/m^2)	生物量平均值 (g/m^2)
底栖生物	2015 年 4 月	120.96	74.15
	2015 年 10 月	27.34	
潮间带生物	2015 年 4 月	100.37	142.35
	2015 年 10 月	184.33	

（5）项目建设造成底栖生物和潮间带生物损失量

计算结果见表 7.5-2。由表可知，海底电缆铺设造成的生物资源损失量（一次性损害）估算结果为：底栖生物资源损失 281.46t；潮间带生物 0.712t。风机基础长期压占造成的底栖生物资源损失量估算结果为 0.184t。

表 7.5-2 底栖和潮间带生物直接损失量估算表

工程	破坏性质	破坏面积 (m ²)	平均生物量 (g/m ²)	生物损失量(t)
风机基础压占	长久占用底栖生物生境	2487.87	74.15	0.184
海底电缆铺设	一次性破坏底栖生物生境	3795800	74.15	281.46
	一次性破坏潮间带生境	5000	142.35	0.712

7.5.2 施工悬浮泥沙对海洋生态和渔业资源的影响

(1) 施工悬浮泥沙对渔业资源的影响分析

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。

参照《规程》中关于污染物对各类生物损失率的描述，本报告中悬浮泥沙扩散浓度为 10~20mg/L、20~50mg/L、50~100mg/L、>100mg/L（即污染物 i 的超标倍数 $Bi \leq 1$ 、 $1 < Bi \leq 4$ 、 $4 < Bi \leq 9$ 、 $Bi \geq 9$ ）的影响水域中鱼卵、仔稚鱼和游泳动物损失率取值见表 7.5-3。

表 7.5-3 工程施工悬浮泥沙对各类生物损失率取值

污染物 i 的超标倍数 (Bi)	各类生物损失率 (%)			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
$Bi \leq 1$	5	0.5	5	5
$1 < Bi \leq 4$	20	5	20	20
$4 < Bi \leq 9$	40	15	40	40
$Bi \geq 9$	75	50	75	75

(2) 计算方法

施工期悬浮泥沙对渔业资源的损失应按照《规程》中的相关公式计算。具体公式如下：

$$M_i = W_i \times T$$

$$W_i = \sum_{j=1}^n D_{ij} \times S_j \times K_{ij}$$

式中：

M_i ——第 i 种类生物资源累计损害量，单位为尾、个或千克 (kg)；

W_i ——第 i 种类生物资源一次性平均损失量，单位为尾或个或千克(kg)；

T ——污染物浓度增量影响的持续周期数（以实际影响天数除以 15），单位为个。

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，单位为尾平方千米、个平方千米或千克平方千米 (kg/km^2)；

S_j ——某一污染物第 j 类浓度增量区面积，单位为平方千米 (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，单位为百分之 (%)；

n ——某一污染物浓度增量分区总数。

(3) 参数选取

①**生物资源损失率 (K_{ij})**：根据《规程》中“污染物对各类生物损失率”（附录 B），填海施工过程中悬浮泥沙增量超标倍数及其对应的浓度分区、超标面积和在区内各类生物损失率如表 7.5-2 所示，小于 10mg/L 增量浓度范围内的海域近似认为悬浮泥沙对海洋生物不产生影响。

②**增量影响的持续周期数 (T)**：由于电缆敷设采用后挖沟方式，埋设犁冲切海床后电缆随即沉入沟槽，属于移动源，因此影响周期取 1。

③**海域水深**：工程海域平均水深约 20m。

④生物量取值：

由于本项目现已完成海上升压站、8 台风机、登陆点、1 回 220kV 海缆、35kV 首回路的施工。2019 年秋季和 2020 年春季的现状调查在项目施工后进行，采用本次现状调查结果计算生物损失无法真实的反应本工程实际导致的生物量损失。因此，本次评估浮游植物、浮游动物、鱼卵、仔稚鱼和游泳动物生物量取值采用工程建设前 2015 年春秋两季调查结果，详见表 7.5-4。

表 7.5-5 底栖生物和潮间带生物量取值

生物资源	调查时间	生物量	生物量平均值
浮游植物 (cells/m^3)	2015 年 4 月	98.51×10^4	122.35×10^4
	2015 年 10 月	146.19×10^4	
浮游动物 (mg/m^3)	2015 年 4 月	122.31	174.58
	2015 年 10 月	226.84	
鱼卵 (粒/ m^3)	2015 年 4 月	1454.55×10^{-3}	746.20×10^{-3}
	2015 年 10 月	37.84×10^{-3}	
仔稚鱼 (尾/ m^3)	2015 年 4 月	54.99×10^{-3}	32.53×10^{-3}
	2015 年 10 月	10.07×10^{-3}	

游泳动物 (kg/km ²)	2015年4月	816.374	616.63
	2015年10月	416.876	

(5) 计算结果

本项目施工悬沙造成的浮游及游泳生物损失估算结果见表 7.5-6 和表 7.5-7。

表 7.5-6 项目施工对渔业资源损失评估

污染物 <i>i</i> 的超标倍数	影响面积(km ²)	平均水深(m)	渔业资源	资源密度	损失率	损失量
$Bi \leq 1$	86.846	20	鱼卵	746.20×10^{-3}	5%	6.48×10^7 粒
			仔稚鱼	32.53×10^{-3}	5%	2.83×10^6 尾
			游泳动物	616.63	0.5%	267.76kg
			浮游植物	122.35×10^4	5%	1.06×10^{14} cell
			浮游动物	174.58	5%	15161.57kg
$1 < Bi \leq 4$	3.413	20	鱼卵	746.20×10^{-3}	20%	1.02×10^7 粒
			仔稚鱼	32.53×10^{-3}	20%	4.44×10^5 尾
			游泳动物	616.63	5%	105.23kg
			浮游植物	122.35×10^4	20%	1.67×10^{13} cell
			浮游动物	174.58	20%	2383.37
$4 < Bi \leq 10$	0.972	20	鱼卵	746.20×10^{-3}	40%	5.80×10^6 粒
			仔稚鱼	32.53×10^{-3}	40%	2.53×10^5 尾
			游泳动物	616.63	15%	89.90kg
			浮游植物	122.35×10^4	40%	9.51×10^{12} cell
			浮游动物	174.58	40%	1357.53kg
$Bi \geq 10$	1.013	20	鱼卵	746.20×10^{-3}	75%	1.13×10^7 粒
			仔稚鱼	32.53×10^{-3}	75%	4.94×10^5 尾
			游泳动物	616.63	50%	312.32kg
			浮游植物	122.35×10^4	75%	1.86×10^{13} cell
			浮游动物	174.58	75%	2652.74kg

表 7.5-7 悬浮物对游泳生物直接损失量汇总表

工程	海洋生物种类	直接损失量
施工悬沙扩散	鱼卵 (粒)	9.21×10^7
	仔鱼 (尾)	4.02×10^6
	游泳生物 (kg)	775.21
	浮游植物 (cell)	1.51×10^{14}
	浮游动物 (kg)	21555.22

7.5.3 海域生物资源损失额估算及与原环评对比变化

根据《规程》，进行生物资源损害估算时，应根据补偿年限对直接经济损失进行校正。各类生物资源的损害计算如下：

底栖生物、潮间带生物按成体生物处理，商品价格按照经济贝类市场价格计算（10 元/kg）。

游泳生物按成体生物处理，价格按海鱼的平均价格计算（15 元/kg）。

仔鱼折算成商品鱼苗进行计算，鱼卵生长到商品鱼苗按 1%成活率计算，仔稚鱼生长到商品鱼苗按 5%成活率计算。商品鱼苗价格根据市场调研，取当地市场价 1 元/尾。

根据《规程》，占用年限低于 3 年的，按 3 年补偿；占用年限 3-20 年的，按照实际占用年限补偿；占用 20 年以上的，按不低于 20 年计算。一次性生物资源损害补偿为一次性损害额的 3 倍。因此，本项目鱼卵和仔稚鱼资源损害、游泳生物资源损害和海底电缆铺设所导致的底栖生物资源损害皆为一次性损害，应按损害额的 3 倍进行补偿；风机基础压占所造成的生物资源损害则按实际使用年限 20 年进行补偿。各种海洋生物的直接经济损失额见表 7.5-8。

表 7.5-8 海洋生物资源损失汇总及生态赔偿额估算

影响因素	生物资源	直接损失量		单价	直接经济损失额（万元）	补偿年限	经济赔偿额（万元）
占用海域	底栖生物	0.184 t		10 元/kg	0.18	20	3.6
电缆施工 管沟开挖	底栖生物	281.46 t		10 元/kg	281.46	3	844.38
	潮间带生物	0.712 t		10 元/kg	0.71	3	2.13
悬浮泥沙	游泳生物	775.21 kg		15 元/kg	1.16	3	3.48
	鱼卵	9.21×10 ⁷ 粒	1.122×10 ⁶ 尾	1 元/尾	112.2	3	336.6
	仔鱼	4.02×10 ⁶ 尾					
	浮游植物	1.51×10 ¹⁴ cell	9151.855 kg	15 元/kg	13.73	3	41.19
浮游动物	21555.22kg						
合计						/	1231.38

①浮游植物的单个细胞鲜重按孙军等《浮游植物生物量研究》（海洋学报，1999 年 21 卷第 2 期 75-85）确定：取值约为 1.39×10⁶pg/cell。

②《建设项目对国家级水产种质资源保护区（海水）影响专题论证报告编制指南》，“10kg 浮游动物生产 1kg 鱼”及“30kg 浮游植物生产 1kg 鱼”

根据前述计算，将本项目施工期及运行期对海域生物资源影响的经济价值进行汇总，约合计 1231.38 万元。本项目建设单位在项目施工前，根据已批准的原环境影响报告书中提出将 1430.11 万元海洋与渔业资源环境损失补偿款交至广东省海洋与渔业厅。本工程方案调整后，工程造成的生物资源损失略有减小，由原来的 1430.11 万元降低为 1231.38 万元，共减小 198.73 万元，详见汇总表 7.5-9。

表 7.5-9 海域资源影响损失汇总表

环境损失	金额（万元）		
	原环评	调整后	增减量
浮游生物	40.97	41.19	+0.22
底栖生物	856.72	847.98	-8.74
潮间带生物	2.13	2.13	0
渔业资源	530.29	340.08	-190.21
总计	1430.11	1232.49	-198.73

7.5.4 对重要海洋生物影响

由于本工程建设不会改变已核准方案的风电场范围，仅对海上升压站、风机位置和海缆路由做调整，且主缆走向不变，因此方案调整不会对豚类影响程度造成改变。本报告主要引用前期相关评价结论。

(1) 根据原环评，施工中应确立在距离桩基 1km 范围内为危险区域，对鱼类活动需要进行可能的驱赶、搬移等工作。

(2) 打桩噪声由于高频噪声传播衰减大，因此噪声能量在传播一定距离后，主要分布于较低的频段。

对 Click 信号的影响：豚类的 Click 信号的频率高（峰值频率为 100kHz 左右），Click 声信号的峰值频率远高于打桩脉冲的主要声能频段，且豚类发出 Click 探测信号的重复周期远高于冲击打桩的重复周期，因而打桩噪声对 Click 的干扰较小。

对 Burst pulse 信号的影响：由于豚类所发出的应急信号（Burst Pulse）主要集中在中、低频段（如 15kHz 左右），因此对豚类所发出的 Burst pulse 声信号的相当一部分能量将造成掩蔽。

对 Whistle 信号的影响：由于豚类的 Whistle 信号较低（3~8kHz 左右），因此打桩噪声的掩蔽性较强，几乎可以将 Whistle 的主要声频完全覆盖。由此打桩噪声对豚类 Click 和 Burst pulse 的最大影响是妨碍其信号传播距离，Burst Pulse 紧急信号的警示范围缩小，并且对低频的掩蔽有可能使豚类对 Click 信号的识别和信息提取造成影响；而打桩噪声几乎能完全掩蔽豚类的 Whistle 声信号，对豚类的群体活动的交流声信号造成严重干扰。声音干扰屏蔽带来后果有：(a) 不能听到远处发声的潜在配偶；(b) 不能有效沟通，母子间的沟通和区分会受到影响；(c) 动物无法侦察到猎物或动物合作狩猎时不能有效沟通，觅食就会受到影响；(d) 不能侦测到天敌或其它威胁。另外，暴露在高强度的声音之下可能导致海豚出现暂时性听觉缺失或暂时性的听觉灵敏度减弱，甚至身体损伤。以上噪声影

响是可逆的，随着施工结束而消失。

(3) 风机基础打桩、海底电缆槽挖掘以及大量施工船舶活动对豚类的迁徙等行为会造成干扰，主要包括施工船舶挤占水面空间和产生噪声等。根据堆施工船舶的监测，施工船舶引起的噪声声源级略高于 120dB，会对海豚的行为造成一定干扰。

(4) 工程运行期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/1 μ Pa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

7.6 水下噪声及电磁辐射环境影响评价

水下声环境是声音与水动力活动的综合体，水下噪声影响程度主要取决于噪声频率、声音压力、声音间隔、声音扩散场及消音效应和距声源距离等。

水下声环境敏感目标主要为水中的鱼类和海洋哺乳动物。鱼类及海洋哺乳动物经过长时期的演变，形成了一套水动态—声音感知系统，使得其感知不可识别的扰动和水下声音的格局以进行捕食、躲避掠食动物或躲开障碍物。鱼类水下感声器官为侧线、鳔及内耳，研究表明声音压力的高低变化会使鳔发生收缩或膨胀变化，超过一定压力便可使鳔胀破，此外肝、肾等器官也可能受水下噪声影响而发生损伤。长期暴露于噪声等应激状态下会导致生物体处于一种异平衡负荷，生物体适应异平衡付出的代价是造成能量的消耗，进而造成机体各项机能的下降。

由于本工程建设不会改变已核准方案的风电场范围，仅对海上升压站、风机位置和海缆路由做调整，且主缆走向不变，因此方案调整不会对水下噪声影响造成改变。本报告主要引用原环评相关评价结论。

7.6.1 施工期水下噪声对海洋生物影响分析

7.6.1.1 水下施工噪声的安全距离估计

根据原环评，由于项目施工中的时间有限，施工打桩作业中产生的水下噪声具有不连续，持续时间有限，无多声源叠加等特点，但打桩施工噪声将对临近的

海洋生物资源造成明显的影响。因此，施工中应确立在距离桩基 1km 范围内为危险区域，对鱼类活动需要进行可能的驱赶、搬移等工作。

7.6.1.2 施工水下噪声对渔业资源影响

根据厦门大学在威水产实业有限公司进行的大黄鱼声学实验，大黄鱼幼苗的敏感频率在 800Hz，当声压级达到 172dB/ μ Pa 时有些幼苗直接死亡；大黄鱼成鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声源达到 192dB/ μ Pa 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，虽未产生直接死亡，但在其后行为发生明显变化，出现不进食等现象，并在后续的半个月时间中出现 90% 的死亡。因此风机基础打桩作业对渔业资源将产生一定的影响，主要体现于对游动鱼类的驱赶作用。如果这一水域有石首鱼科种类产卵，打桩作业对石首鱼科种类产卵的影响不可避免。因此在鱼类产卵期应该暂停打桩作业。施工工期对产卵场、索饵场和洄游通道的影响是负面的，主要是打桩和电缆铺设产生的增量悬沙，风机打桩形成的噪声。但是产卵场、索饵场和洄游通道功能的作用有一定的季节性，每年 5-7 月是主要季节。只要工程中作业顺序安排得当，电缆铺设和风机打桩尽可能的避开渔业敏感季节，施工对产卵场、索饵场和洄游通道的影响程度可以得到减缓和消除。

7.6.1.3 施工水下噪声对海洋哺乳动物影响

根据原环评结论，本工程施工期可能造成海洋哺乳动物在工程海域数量分布减少，但施工结束后相应生物资源量会逐渐恢复。总体上施工中水下噪声对鱼类、海洋哺乳动物的影响主要表现为噪声干扰导致鱼类或海洋哺乳动物暂时游离施工水域，在打桩作业中应采取“软启动”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，即前几桩使用小强度的打桩措施，能驱使鱼类或海洋哺乳动物离开施工水域，可达到减小水下噪声导致渔业资源的损失，不会造成大范围鱼类死亡。

7.6.2 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。

7.6.2.1 运行期风电场水下噪声分析

参照原环评，根据厦门大学在上海东海大桥海上风电场类比监测结果表明：

风机运行中水下噪声的频谱级基本上都相似，总体强度随频率增加而明显较小，在 1~20kHz 中功率谱级分布在 140dB/1 μ Pa 到 65dB/1 μ Pa 之间，在 120 到 1.5kHz 有一较宽的裙带状谱，强度增加为 10~20dB/1 μ Pa。在离风机 3 号风机 200m 靠近桥梁及航道上，100Hz 点上的功率谱级达到最大为 128dB/1 μ Pa，比同样深度不同距离的功率谱提高 10~20dB/1 μ Pa。由于水下噪声的时间-空间-频率等随时变化的特性，测量船只在远离风电场近 4km 处也测量到裙带状的低频背景噪声分布，因此总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。同时该结果与参照类比的英国 4 个海上风电场的水下噪声实测分析结论相近。

7.6.2.2 水下噪声对海洋生物影响评价

由于本工程建设不会改变已核准方案的风电场范围，仅对海上升压站、风机位置和海缆路由做调整，且主缆走向不变，因此方案调整后风机运行时产生的水下噪声对周边的海洋生物的影响没有变化。根据原环评的结果表明，海上风电场在营运期的总体的噪声比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1 μ Pa，总体噪声谱级都在 120dB/1 μ Pa 以下。风电场营运期水下噪声谱级分布强度较小，基本上与海洋环境背景噪声谱级相当，风电场营运中频率在 5kHz 以上的噪声谱级均在 95dB 以下，因此，不会对该海域中海洋哺乳动物的行为活动产生影响。

7.6.3 电磁辐射对海洋环境影响分析

7.6.3.1 海底电缆电磁环境影响分析

由于本工程建设不会改变已核准方案的风电场范围及装机总容量，仅对海上升压站、风机位置和海缆路由做调整，且主缆走向不变。因此，电磁辐射产生的影响与原环评基本无变化。

根据原环评，营运中的海上风电场电缆在每一相导体中均存在 120°的相位差，使得周围导体产生变化的磁场，尽管电缆的护套提供了良好的电场屏蔽，但是无法屏蔽磁场。根据专题预测，35kV 电线空间磁感应强度在电缆线中心距离上的磁感应强度为 22 μ T，综合量最大值出现在距电缆中心线投影 5m 处，其值为 24.91 μ T，之后随与此点距离的增加，其值逐步降低。

本工程风机机群分布可知，最密集的布放方式为 6 根 35kV 海底电缆并行排列，所获得的叠加效应最明显。选择 6 根平行排列的海底电缆进行分析。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。

从现有资料分析，35kV 海底电缆在埋设海底下 2~3m 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。综合类比实验分析：对该海域中主要的海洋生物资源的影响不明显。

7.6.3.2 海上升压站电磁环境影响分析

升压站内的主变压器及各种高压电气设备会对周围电磁环境产生一定的改变，包括工频电磁场。但由于升压站内电气设备较多，布置复杂，其产生的工频电磁场难于用模式进行理论计算，因此采用类比测量的方法进行环境影响评价。择相似的 220kV 菊城变电站的电磁环境监测进行类比分析。

变电站产生的电磁场大小与电压等级、设备性能、平面布置、地形条件等均密切相关。本项目海上升压站与菊城变电站可比性分析见表 7.6-2。

表 7.6-2 变电站可比性分析

变电站		220kV 菊城变电站 (类比变电站)	本项目海上升压站
电压等级		220kV	220kV
主变压器	容量	本期 2×240MVA 终期 3×240MVA	2×240MVA
	形式	三相有载调压变压器	三相、低压侧分裂绕组、铜线圈、有载调压、油浸式、分体式、自然油循环自然冷却、低损耗的升压电力变压器
电气布置形式	220kV 电气布置	户内 GIS 布置	户内 GIS 布置
站区地形		东、南侧为池塘；西、北侧为农田，地形开阔	海上

从表 7.3-1 可见，菊城变电站主变容量、总平面布置、地形等方面均与本项目海上升压站较为相似。根据变电站工频电场强度产生的原理，其强度仅与电压等级有关，主变容量对工频电场强度基本无影响；工频磁感应强度与主变容量有关，其强度与主变电流大小成正比，可通过外推法进行类比预测。类比监测时，220kV 菊城变电站正常运行。因此，选用 220kV 菊城变电站作为类比对象是合

适的。

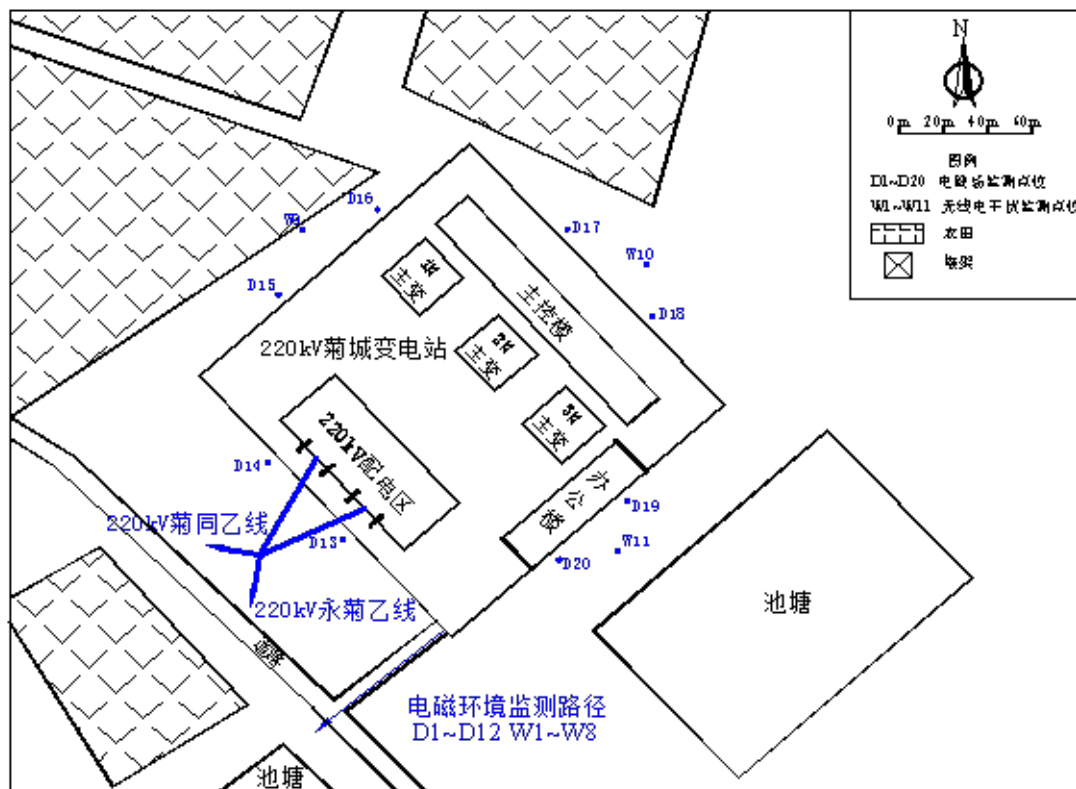


图 7.6-1 220kV 菊城变电站平面布置及监测点位图

(1) 类比监测结果

220kV 菊城变工频电磁场类比监测结果见表 7.6-3。由表可以看出，菊城变电站四周厂界的工频电场强度在 9.36~460.28V/m 之间，其中南侧围墙外 5m 处 (220kV 配电装置区侧) 电场强度值最高，达到 460.28V/m；磁感应强度在 31.35~361.5nT 之间，均低于《电磁环境控制限值》(GB8702-2014) 控制限值(工频电场强度 $\leq 4\text{kV/m}$ ，工频磁感应强度 $\leq 0.1\text{mT}$)。由于受 220kV 出线影响，菊城变围墙工频电场强度随着距离的增加呈先减少后增大再减少的趋势，工频磁感应强度随着围墙距离的增加总体呈衰减趋势。

表 7.6-3 菊城变工频电磁场监测结果一览表

序号	监测点位	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (nT)	备注
D1	南侧围墙外	5m	50.38	287.09
D2		10m	33.88	269.16
D3		15m	25.18	237.49
D4		20m	26.32	217.69
D5		25m	31.30	196.71

序号	监测点位	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (nT)	备注
D6	30m	36.96	182.91	
D7	35m	45.11	166.48	
D8	40m	51.77	161.21	
D9	45m	56.62	154.36	
D10	50m	58.80	153.04	
D11	55m	57.44	146.25	测点上方有 220V 线路
D12	60m	40.72	150.08	
D13	南侧围墙外 5m	181.45	283.35	靠近 220kV 配电装置区
D14	南侧围墙外 5m	460.28	361.50	
D15	西侧围墙外 5m	33.60	62.77	
D16	西侧围墙外 5m	25.84	54.56	
D17	北侧围墙外 5m	11.35	31.35	
D18	北侧围墙外 5m	10.77	35.70	
D19	东侧围墙外 5m	9.36	57.07	
D20	东侧围墙外 5m	11.45	58.63	受上方低压线路影响

(2) 电磁场影响预测分析

根据类比分析，菊城变电站外电场强度最大值 460.28V/m，比《电磁环境控制限制》(GB8702-2014)中标准（4kV/m）的要求小接近一个数量级；菊城变围墙外的磁感应强度最大为 361.5nT，220kV 海上升压站最大磁感应强度将远小于《电磁环境控制限制》(GB8702-2014)中评价标准(0.1mT)要求。本工程 220kV 海上升压站主变容量同为 2×240MVA，所产生的电场强度及工频磁感应强度与菊城变电站类比监测结果相类似，因此，可以预测，220kV 海上升压站的最大电场强度及最大磁感应强度均能满足《电磁环境控制限制》(GB8702-2014)中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

7.7 工程建设对敏感目标的影响分析

7.7.1 工程建设对保护区的影响

本工程附近保护区有南鹏列岛海洋省级自然保护区、阳东县头芦排海洋生态县级自然保护区、大帆石海洋保护区、南鹏列岛海洋保护区、头芦排海洋保护区、海陵岛东北海洋保护区。根据前述预测结果，本工程建设对敏感目标最大流速变率均在 3% 以下，流向均不发生明显变化。工程实施后冲淤变化对工程区域周边保护区的影响较小。施工期间海洋保护区的悬沙增量都小于 10mg/L，对保护区

内海水水质影响较小，且随着海缆施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内（和海流流速、泥沙沉降特性等有关）迅速衰减至背景浓度值，在施工结束后不会影响保护区的功能。本项目陆域施工生产废水、施工生活污水处理后均回用于施工机械、车辆冲洗以及绿地浇灌等，不外排，船舶生活污水和船舶机舱含油污水收集收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，不排海。综上，本工程施工基本不会对项目周边保护区水质产生影响。

7.7.2 工程建设对生态保护红线的影响

本工程附近生态红线有海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区、南鹏列岛省级海洋自然保护区禁止类红线区、南鹏列岛省级海洋自然保护区限制类红线区、寿长河重要河口生态系统限制类红线区、珍珠湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区、东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区、东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 II 区限制类红线区、头芦排海洋自然保护区禁止类红线区、头芦排海洋自然保护区限制类红线区、大帆石特别保护海岛限制类红线区、大帆石特别保护海岛禁止类红线区。根据上述预测分析，工程建设基本不会改变周边海洋环境敏感目标海域水文动力环境。本项目建设对周边红线区冲淤影响较小，不会对评价范围内各敏感目标造成明显冲淤影响。项目施工期所产生的悬浮泥沙对其所在海域的红线区除了东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区为 182.87mg/L，寿长河重要河口生态系统限制类红线区的悬沙增量为 13.52mg/L，海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区的悬沙增量为 32.57mg/L，其余红线区均小于 10mg/L。虽然工程海缆施工期间对周边临近海区的海水水质产生了不利影响，但是这种影响是暂时的，可逆的，随着海缆施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内（和海流流速、泥沙沉降特性等有关）迅速衰减至背景浓度值，在施工结束后不会影响保护区、养殖区的功能。本项目陆域施工生产废水、施工生活污水处理后均回用于施工机械、车辆冲洗以及绿地浇灌等，不外排，船舶生活污水和船舶机舱含油污水收集收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，不排海。综上，项目施工基本不会对项目周边生态红线水质产生影响。

工程 220kV 电缆穿越东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区，主要保护目标为中华白海豚、海龟等濒危物种。根据现状调查，调查期间未在调查海域目视到中华白海豚及海龟等濒危物种。震动打桩锤作业会对中华白海豚产

生一定程度的影响。项目作业时尽量避开海豚等动物的繁殖期。本项目中对于钢管桩桩基施工时所对应的水下施工噪声的危险距离为 1km, 在该危险距离范围内应对中华白海豚、海龟和石首鱼类等尽可能地驱赶, 在进行风机桩基打桩前派遣巡逻船只巡查, 确认施工保护范围有无对噪声敏感动物活动。海缆铺设穿过东平镇南珍稀濒危物种集中分布区时, 尽可能驱赶中华白海豚、海龟。采用环保型液压式打桩机, 采用软启动的作业方式, 即开始轻打几下, 让潜在的水生动物有时间逃离回避, 再逐步增强施工强度。本工程在采取上述驱赶和保护措施后, 对其影响可大大改善。

7.7.3 对渔业资源“三场一通道”的影响

本工程位于南海北部幼鱼繁育场保护区、幼鱼幼虾保护区内, 本项目施工期产生的悬浮沙对南海北部幼鱼繁育场保护区、幼鱼幼虾保护区范围内海水水质的影响是暂时的, 随着施工的结束, 其影响也随之消失, 因此施工期对南海北部幼鱼繁育场保护区、幼鱼幼虾保护区不会造成不可逆的不利影响; 本项目营运期对渔业资源的影响主要为基础结构占海造成其栖息地的减少, 本项目风电电场场址桩基等占用海床约 2487.87 m², 相对保护区所占比例很小, 且冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区, 冲淤幅度大于 3cm/a 的范围不超过桩基区 0.2km。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

因此, 工程建设不会对鱼类的产卵、索饵、洄游活动造成明显影响。

7.7.4 工程建设对其他敏感目标的影响

本工程还涉及旅游区、开放式养殖区、航道锚地及其他一些项目工程。本项目建设对周边红线区冲淤影响较小, 不会对评价范围内各敏感目标造成明显冲淤影响。本工程各敏感目标平衡冲淤不超过 0.1cm。不会对评价范围内各敏感目标造成明显冲淤影响。对开放式养殖用海区最大悬沙增量为 53.8mg/L, 及各航道最大悬沙增量在 16.9~38.2mg/L, 原因是由于本项目 220kV 电缆路由经过开放式养殖用海区。本项目陆域施工生产废水、施工生活污水处理后均回用于施工机械、车辆冲洗以及绿地浇灌等, 不外排, 船舶生活污水和船舶机舱含油污水收集收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理, 不排海。综上, 项目施工基本不会对项目周边敏感目标产生大的影响。

7.8 其他环境影响预测与评价

7.8.1 大气环境影响评价

(1) 施工期大气环境影响

工程施工中由于土方的开挖、建材堆放和施工车辆的行驶，在作业面及其附近区域将产生粉尘和二次扬尘，造成局部区域的空气污染。施工粉尘和扬尘总量不大，工程区域周围无居民区、学校等环境敏感目标，且施工区域的地形条件有利于粉尘和扬尘的扩散，故不会对周围空气环境产生明显影响。

(2) 运行期大气环境影响

升压站设有备用柴油发电机，在应急情况下柴油发电机启动发电过程中会产生一定量的燃油废气。由于备用柴油发电机只在停电的应急情况下才使用，运行期使用时间数少，废气排放量较少，而且采用含硫量小于 0.2% 的轻质柴油作燃料，污染物排放量较少。燃油废气经配套的净化处理器处理后，通过预留排烟管引至高空排放，对周围环境影响较小。

7.8.2 固体废物影响评级

7.8.2.1 施工期固体废物影响

由于本工程打桩所产生的的淤泥均来自工程海域底泥，本工程嵌岩施工会产生钻屑。打桩产生的泥浆及嵌岩施工产生的钻屑均经过集中收集后统一运至陆上，交由有资质的单位处理，不外排。

7.8.2.2 运行期固体废物影响

本工程营运期间变电站主变压器出于绝缘和冷却的需要，其外壳内装有变压器油，正常运行时不产生危险废弃物，一旦发生突发性事故或检修时，可能产生少量油渣（HW08）、油垢（HW08）、废油（HW08）等危险废弃物，对于上述危废，建设单位应委托具有相应资质的单位统一回收处置、处理，不外排，不会造成环境污染。

此外，升压站运行期需配备一定数量的蓄电池，在电池寿命期满后，对于更换下来的电池（HW31），如不加收集随意弃置可能会对弃置区的土壤环境、地表水及地下水环境造成污染，导致重金属等污染物含量升高，因此建设单位需委托具有相应资质的单位统一回收处置、处理，在落实危废收集处置措施后，本工

程危险废弃物不会对环境质量造成不利影响。

7.8.3 鸟类环境影响分析

由于本工程建设不会改变已核准方案的风电场范围及装机总容量，仅对海上升压站、风机位置和海缆路由做调整，且主缆走向不变。因此，本项目对鸟类环境影响基本无变化。本报告引用原环评结论。选取本区域具有代表性的鸟类作分析，简要说明本项目风机建设对其的影响。

岩鹭主要分布在岛屿岩岸生境，白天多停留在礁石岸边伺机捕食，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。

黑鸢主要于近岸滨海湿地上空飞翔。由于其飞行高度一般较高，风机对其影响不大。松雀鹰主要活动于近岸灌木林和岛上山林，不在海面飞行，海上风机对其栖息基本不产生影响。普通鵟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，项目对其种群不构成影响。

铁嘴沙鸨主要活动于沿海红树林外侧滩涂，极少出现在岩质海岸。常结小群与其他鸨鹬类混合活动。由于其主要在近岸滩涂觅食，飞出近海活动几率较小，此时风机对其影响较小。但迁徙期间有可能飞越海面至澳大利亚越冬，有机会穿越风电场所在地，须在项目建成后持续观测。

黑腹滨鹬主要活动于近岸滩涂，常结大群与其他鸨鹬类涉禽混群觅食。由于其活动区域距离风电场超过 20km，受风机影响较少。

8 环境事故风险评价

本项目现已完成海上升压站、8 台风机、登陆点、1 回 220kV 海缆、35kV 首回路的施工，施工期未造成重大海洋环境质量影响，亦未发生施工船舶碰撞及船舶燃油泄漏等重大风险事故。工程方案调整后，220kV 海缆路由未发生大的改变，施工船舶航行路线未发生变化，故本工程方案调整后不会增加本项目施工期环境风险，本补充报告书不再赘述预测过程，引用原环评风险预测结果。另根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）的要求，对环境风险评价内容和环境风险评价等级等内容进行了补充、更新。

8.1 环境风险评价述

8.1.1 评价目的、评价内容

（1）评价目的

环境风险评价的目的是以突发性事故导致的危险物质环境急性损害防控为目标，对建设项目的环境进行分析、预测和评估、提出环境风险预防、控制、减缓措施，明确环境风险监控及应急建议要求，为建设项目环境风险防控提供科学依据。

（2）评价内容

本项目环境风险评价主要工作内容为：识别涉及环境风险的事故类型；分析事故风险概率；预测风险事故对环境的影响；制定相应的风险防范措施、应急对策以及设备配置方案。

表 8.1-1 环境风险评估内容一览表

序号	程序	主要内容
1	风险识别	污染风险事故类型
2	源项分析	事故发生概率、源强及事故高发区
3	风险影响预测	事故危害程度
4	风险评价	综合评价风险可接受水平
5	降低风险对策	减少事故概率和危害后果对策
6	应急能力评估	综合评估本项目污染风险能力，提出应急能力建设方案
7	评估结论	得到风险评估结论

8.1.2 环境风险评价等级

按照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)的要求,环境风险等级判定如下:

(1) 风险潜势初判

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)附录 C,危险物质总量与临界量的比值 Q 按下式进行计算:

$$Q = \frac{q1}{Q1} + \frac{q2}{Q2} + \dots + \frac{qn}{Qn}$$

式中: q1, q2……qn—每种危险物质的最大存在量, t;

Q1, Q2……Qn—每种危险物质的临界量, t。

当 $Q < 1$ 时,该项目环境风险潜势为 I。

当 $Q \geq 1$ 时,将 Q 值划分为:(1) $1 \leq Q < 10$; (2) $10 \leq Q < 100$; (3) $Q \geq 100$ 。

本项目主要施工船舶中最大为 10000t 的运输驳船,所带的燃料油舱为 744m³,燃料油密度按 0.95t/m³ 计算,约合 706.8t,其他施工船舶为 1000t 以下至 10000t 不等,运输作业、安装作业及海缆铺设均分阶段进行,因此施工船舶所载燃料油量小于临界量;项目运营期海上升压站主变(单台)载油量约 37t,柴油发电机柴油罐容量约 6000L,约 5t,运营期设备最大存油量小于临界量。

由以上可知,本项目 $Q < 1$,项目环境风险潜势为 I。

(2) 评价等级

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169—2018)评价工作等级划分要求,参照表 8.1-2,本项目环境风险潜势为 I,环境风险评价工作等级为简单分析。

表 8.1-2 评价工作等级划分

环境风险潜势	IV、IV+	III	II	I
评价工作等级	一	二	三	简单分析 ^a

^a 是相对于详细评价工作内容而言,在描述危险物质、环境影响途径、环境危害后果、风险防范措施等方面给出定性的说明。见附录 A

8.2 风险类型识别

本工程施工期主要通过船舶进行海上作业,本工程运行期需通过船舶进行风机监测检修,需动用一定数量的各类施工船舶、车辆和机械,其均需携带一定数

量的燃料油，根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）中给出的“物质危险性标准”和《重大危险源辨别》GB 18218-2018，燃料油属易燃物质，海上施工过程中各类船舶由于恶劣的自然条件、人为操作失当等发生通航安全事故及进而可能引发的溢油事故。同时本工程海域周边航道较多，海域有一定数量的船只通航及停泊，涉海施工期间各类施工存在与运输船舶发生碰撞并造成油品泄漏的可能。

本工程升压站设置在海上，升压站内有两台主变和一台柴油机为带油设备，由于设备均布置在房间内，发生灾害时一般不会产生影响，但遇严重灾害，升压站倾倒时可能会产生油品泄漏。

综上，本工程涉及的溢油风险类型为风电场施工期间发生的施工船舶与航行船舶的碰撞事故和风电场运营期间航行船舶碰撞风机事故以及发生灾害时海上升压站主变油泄漏事故。

8.3 环境风险预测结果

工程方案调整后，220kV 海缆路由未发生大的改变，施工船舶航行路线未发生变化，故方案调整不改变工程施工环境风险预测结果，本补充报告书不再赘述预测过程，引用原环评风险预测结果。

本工程海域周边的环境风险敏感目标有开放式养殖用海区域、南鹏列岛海洋保护区、头芦排海洋保护区、大帆石海洋保护区、海陵岛东北海洋保护区、东平镇南珍惜濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区等环境敏感目标，一旦发生溢油事故将会对这些区域发生不利影响，通过分析溢油各种工况下的计算结果如下。

在不利潮型条件下，溢油事故发生后，油膜将立即到达东平镇南珍惜濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区；到达南鹏列岛海洋保护区最短时间分别为 5h、扫海面积 9.25km²；到达头芦排海洋保护区的最短时间为 0.5h、扫海面积 3km²；到达大帆石海洋保护区的最短时间为 1h、扫海面积 3.75km²；到达海陵岛东北海洋保护区的最短时间约为 15h、扫海面积 32km²；到达阳江市大镬岛二期、二镬岛深水网箱建设项目海域、阳江市海纳水产养殖有限公司大镬岛大型抗风浪深水网箱开放式养殖用海区的最短时间分别约为 11h 和 13h、扫海面积分别为 17.75km² 和扫海面积 20.25km²；到达阳东县养殖用海开放式养殖用海（雷自兵）的最短时间为 5h、扫海面积为 8.25km²。可见，风电场评价范围内敏感目标较多，施工期

间在工程海域发生溢油事故后，油膜在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。同时要加强突发事件的风险防范和应急处置能力建设，一旦发生溢油事故，应尽快采取阻拦措施，并组织人员进行油品的回收工作，尽量减小污染。

8.4 环境风险评价

根据初步设计总说明现场踏勘，本工程 220kV 海缆施工会穿过潞州岛南北航道、围阳航道、北津东航道、寿长东航道和东平航道，航道内船流密度较大，船舶碰撞事故可能性将增加。工程方案调整后，220kV 海缆路由未发生大的改变，施工船舶航行路线未发生变化，故方案调整不改变工程施工环境风险，因此本节引用原环评报告中溢油事故对海洋生态和渔业的影响。

船舶溢油事故发生后，将对海洋生物和渔业资源造成很大影响。

（1）对浮游生物的影响

溢油事件发生后，油膜会破坏浮游植物细胞，损坏叶绿素及干扰气体交换，从而妨碍他们的光合作用。破坏程度取决于油类物质的类型，浓度及浮游植物的种类。根据国内外毒性实验结果，作为鱼、虾类饵料基础的浮游植物，对各种油类的耐受能力都很低。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为 0.1~10mg/L，一般为 1mg/L。对于更敏感的种类，油浓度低于 0.1mg/L 时，也会妨碍细胞的分裂和生长的速率。

（2）对浮游动物的影响

浮游动物石油急性中毒致死浓度范围一般为 0.1~15mg/L, *Mironov* 等曾将黑海某些桡足类、和枝角类暴露于 0.1ppm 的石油海水中，当天浮游动物全部死亡。当石油含量降至 0.05ppm，小型拟哲水蚤 *Paracalanus sp.* 的半致死时间为 4 天，而胸刺镖蚤 *CentroPages*、鸟缘尖头蚤和长腹剑水蚤 *Oithona* 的半致死天数依次为 3 天、2 天和 1 天。另外，*Mironov* 对不同浓度对桡足类幼体的影响实验表明，永久性（终生性）浮游动物幼体的敏感性大于阶段性（临时性）的底栖生物幼体，而它们各自的幼体的敏感性又大于成体。

（3）对底栖生物的影响

底栖生物随种类的不同而产生对石油浓度适应的差异，多数底栖生物石油急

性中毒致死浓度范围在 2.0~15mg/L，其幼体的致死浓度范围更小些。软体动物双壳类能吸收水中含量很低的石油，如：0.01ppm 的石油则可能使牡蛎呈明显的油味，严重的油味可持续达半年之久。受石油污染的牡蛎会引起因纤毛鳃上皮细胞麻痹而破坏其摄食机制并进而死亡。象海胆、寄居蟹、海盘车等底栖生物的耐油污性很差，即使海水中石油含量只有 0.01ppm，也可使其死亡。而千分之一浓度的乳化油即可使海胆在 1 小时内死亡。某些底栖甲壳类动物幼体（无节幼虫）当海水中石油浓度在 0.1~0.01ppm 时，对藤壶幼体和蟹幼体有明显的毒效。据吴彰宽报导，胜利原油对对虾 *Penaeus orientalis* 各发育阶段影响的最低浓度分别是受精卵 56mg/L，无节幼体 3.2mg/L、蚤状幼体 0.1mg/L，糠虾幼体 1.8mg/L，仔虾 5.6mg/L，其中蚤状幼体为最敏感的阶段。胜利原油对对虾的幼体的 96h-LC50 为 11.1mg/L。

（4）石油污染对鱼类的影响

国内外许多的研究均表明高浓度的石油会使鱼卵、仔幼鱼短时间内中毒死亡，低浓度的长期亚急性毒性可干扰鱼类摄食和繁殖，具毒性随石油组分的不同而有差异。根据东海水产研究所近年来对几种不同油类对鲮鱼仔鱼 *Mugilcaphalus* 的毒性试验结果表明，阿拉伯也门麦端波原油、镇海炼油厂的混合废油、胜利原油和东海平湖原油对鲮鱼的 96h—LC50 值分别为 15.8mg/L，1.64mg/L、6.5mg/L 和 2.88mg/L。陈民山等报导，胜利原油对真鲷仔鱼 *Pagrassonius major* 和牙鲆仔鱼 *Paralichthy olovaceus* 的 96h—LC50 值分别为 1.0mg/L 和 1.6mg/L。20 号燃料油对黑鲷 *Spares macrocephaius* 的 96h-LC50 值为 2.34mg/L，而对黑鲷的 20 天生长试验结果，其最低影响浓度（LOEC）和无影响浓度分别为 0.096mg/L 和 0.032mg/L。

（5）石油对水产动、植物的油臭影响

海洋中一旦发生油污染，扩散的油分子会迅速随风及水的流动而扩散，水产动、植物一旦与其接触，即会在短时间内发生油臭，从而影响食用价值。以 20 号燃料油为例，当油浓度为 0.004mg/L 时，5 天就能对对虾产生油味，14 天和 21 天分别使文蛤和葛氏长臂虾产生异味。

综上所述，溢油事故一旦发生将对海洋生态系统造成极大的影响。回顾溢油事故实际案例，1999 年珠江口水域发生的“3.24 特大溢油事故”，事故溢油量超过 500t，事故发生当年事故海域的海洋生态系统变化显著，直到事故第二年生态

系统才开始逐步恢复，次年的鱼类资源和捕捞量损失约 40%，此后的 3、4 年渔业资源和捕捞量仍明显劣于事故前，直到事故后事故后 7 年渔业资源方恢复到原有水平。可见溢油事故对海洋生态系统、渔业资源的影响是显著的、长期的。

8.5 海上溢油事故风险防范措施

由于本工程方案调整后，220kV 海缆路由未发生大的改变，施工船舶航行路线未发生变化，因此方案调整不改变工程施工环境风险，故原环评风险防范措施对于方案调整后依旧适用。

8.5.1 施工期海上溢油风险事故防范措施

本项目施工具有一定的通航环境风险，从而存在一定油料泄漏的风险，为保证工程施工安全，防止油污事故发生，施工单位必须有水上施工经验，施工过程中需科学合理安排施工工序，周密考虑工程施工期间的安全措施，应主要包括：

(1) 工程施工期间需制订切实有效的安全管理措施和一旦发生空发性事故的应急预案。

(2) 要加强对施工作业船舶的安全管理。参加施工作业的船舶必须经过相关的安全检查，有关人员必须经过水上作业的相关安全培训和教育，并认真落实施工作业的安全措施和发生突发情况的应急措施。

(3) 要加强工程施工期间施工区附近水域的通航环境的安全管理。需根据工程施工方案，分析工程施工对船舶通航环境的影响，提出加强施工期间水上通航秩序安全管理的对策和措施，确保工程施工和船舶通航的安全。

(4) 施工船进行打桩作业时，应于明易显见处，显示港口规定信号（白天显示旗号、夜间显示灯号）。

(5) 施工作业期间作业船舶应配置有效的通讯工具，指派专人守听，密切注视周围船舶动态。

(6) 施工作业船应派专人值班了望，当发现来船动向不明或危及施工船舶安全时，应立即通过扩音喇叭向来船发出警告。必要时停止施工，立即松缆避免事故的发生。

(7) 为避免工程施工船所抛所开锚对过往船舶造成危害影响，应白天在艏悬挂经旗，夜间用探照灯向开锚锚位处水面照射。但灯光不能外射，以免影响过往船舶驾驶人员的正常了望。

(8) 当风力达到施工船舶的抗风等级前, 施工船应停止施工作业, 当气象预报风力超过施工船抗风等级前, 应提前撤离施工现场, 择地避风。

(9) 施工作业附近, 应安排一艘拖轮停泊待命, 以便随时出动进行应急抢救等救助工作。

(10) 由于工程施工时所占用的可通航水域面积很大, 因此在施工作业期, 施工建设单位需向海事主管机关申请划定施工作业区, 设置航行警戒标, 配置现场警戒船。

(11) 为确保海上风电场工程顺利进行和航经附近水域船舶的通航安全, 施工建设单位应拟定施工期间水上交通安全维护方案, 通过印制、发放宣传资料和利用报刊、广播、电视等媒体开展广泛的宣传教育, 使有关航运单位、航行船舶及从事捕捞作业的渔民, 都了解工程内容、施工范围和工期等, 取得社会各方面的理解、支持和配合。

(12) 认真落实施工船舶防污染措施, 做好船舶垃圾、残油、含油污水等污染特、废弃物的接收和处置工作。施工船舶一旦发生污染水域事故, 应尽力采取控制和消除污染的措施, 同时向海事主管机关报告, 接受调查处理。

8.5.2 运行期海上溢油风险事故防范措施

为防范运行期船舶碰撞及溢油事故风险, 必须采取相应的安全措施。

(1) 海上风机应涂有醒目的警示色、夜间需采用灯光照射的办法。在风电场场界连线外侧考虑设置一排黄色间距 1.0n mile 的航行警示标, 以警示船舶有效避让。

(2) 应设立专门机构负责警戒, 安装海上风机监视系统随时掌握风电场设施水域周围的船舶航行动态。并配置有效的通讯设备, 与海事主管机关随时保持通讯联系, 以在发生突发事件时能及时获得海事主管机的应急救援。

(3) 向海事主管机关申请发布航行通告和航行警告, 提出协助进行水上安全维护申请。并在以后出版的有关海图上进行标记。

8.6 海上溢油事故应急措施

由于本工程方案调整后, 220kV 海缆路由未发生大的改变, 施工船舶航行路线未发生变化, 因此方案调整不改变工程施工环境风险, 故原环评溢油事故的应急措施适用于工程方案调整后。

根据国家环保局(90)环管字057号8文要求,通过对污染事故的风险评价,制定防止重大环境污染事故发生的工作计划,消除事故隐患的措施及突发性事故应急处理办法等,一旦出现重大事故,能有效的组织救援,及时控制污染、减少污染损失。

风险事故发生后,能否迅速而有效地作出应急反应,对于控制污染,减少污染损失以及消除污染等都起着关键性的作用。为使本工程施工和运行期对于一旦发生的溢油事故能快速作出反应,最大限度地减少事故污染对工程海域的灾害性损失。建立应付突发性事故的抢险指挥系统,组织制定一份可操作的风险应急行动计划,定期进行演习是非常必要的。此外,建设单位应委托有资质的单位编制应急预案。

8.6.1 应急计划区

本工程应急计划区主要为风电场区、电缆敷设线路附近。应急事件包括船舶碰撞、倾翻、海上升压站油品泄漏等突发性海上溢油事故。

8.6.2 应急指挥组织

项目公司成立船舶污染预防及事故应急指挥部(以下简称应急指挥部),下设运行监督办公室,负责风电场日常运行安全监管及船舶污染事故上报、应急响应、支持保障和善后处理等工作。运行监督办公室设在项目公司中控室,应急指挥部应服从阳江海事局。

应急指挥部按各自职责设立溢油应急处置小组:通信组、工艺组、溢油清理组、现场救护组、警戒组、后勤保障组、防火组、油污处理组。各小组主要职责包括:

通信组:负责应急指挥与事故现场的通信联络,确保应急救援指令的下达和现场各种信息的反馈及通信的畅通。

工艺组:及时关闭相关阀门,控制溢油源,防止事故进一步扩大。

溢油清理组:做好溢油堵截围控工作,回收泄漏油品,对溢油现场进行清理。

现场救护组:做好伤病员的接受和医疗,提供现场进行救护等。

警戒组:保持交通畅通,注意现场警戒,实行隔离,注意溢油漂移动向,并及时向指挥部报告。

后勤保障组:提供应急所需的器材、材料及生活用品,保障应急电力供给,

负责应急设备的维修。

防火组：防止火灾发生，一旦发生火灾立即实施灭火应急计划。

油污处理组：负责处置油污物的工作，防止二次污染。

8.6.3 预警和报告

(1) 信息收集与预警

运行监督办公室应通过监视系统及时收集掌握在风电场海域发生的船舶污染事故信息，发现或接报污染事故后立即向应急指挥中心报告，通知应急指挥部的成员到达事故现场。总指挥到达事故现场后，立即成立现场指挥部，总指挥根据现场情况预测可能造成的后果和污染危害程度、紧急程度、发展事态，判断环境污染事件危险性，将预警信息向阳江海事局水上安全指挥中心逐级上报，由上安全指挥中心确定预警等级。

预警信息包括突发事故的类别、起始时间、可能影响范围、警示事项、应采取的措施和发布机关。预警信息的发布、调整和接触可通过广播、电视、报刊、通信、信息网络、警报器、宣传车或组织人员逐户通知等方式进行，对老幼病残孕等特殊人群以及学校等特殊场所和警报盲区应当采取有针对性的公告方式。

特别重大或者重大突发事故发生后，要立即报告，通报有关地区和部门，应急处置过程中，要及时续报有关情况。

(2) 上报程序

运行监督办公室在中控室监视发现污染事故发生后应立即向应急指挥部报告，由应急指挥部向阳江海事局水上安全指挥分中心报告，最多不超过 5min。报告内容应包括：发现污染事故的时间、地点，船名，污染物品名，污染范围，当时海况等。同时应急指挥部通知项目周边的企业单位进行应急准备，调配其应急设施。

8.6.4 应急响应及行动

船舶溢油污染事故发生后，应急处置中心应在第一时间获取事故的相关信息，并立即向海事局水上安全指挥中心、海上搜救中心或防汛指挥中心报告，应急决策部门根据事件信息和监测数据，开展应急评估，进行综合分析，确定应急等级。根据海上船舶污染事故专项应急预案及海塘管理相关文件确定应急响应等级。

应急决策部门在确定应急响应等级后，立即实施相应的应急计划，迅速开展具体的应急行动，包括人员组织和应急处置资源调配、现场的控制和清理、水上交通管制、应急监测、信息公开发布等。风险事故应急反应程序如图 8.3-1。

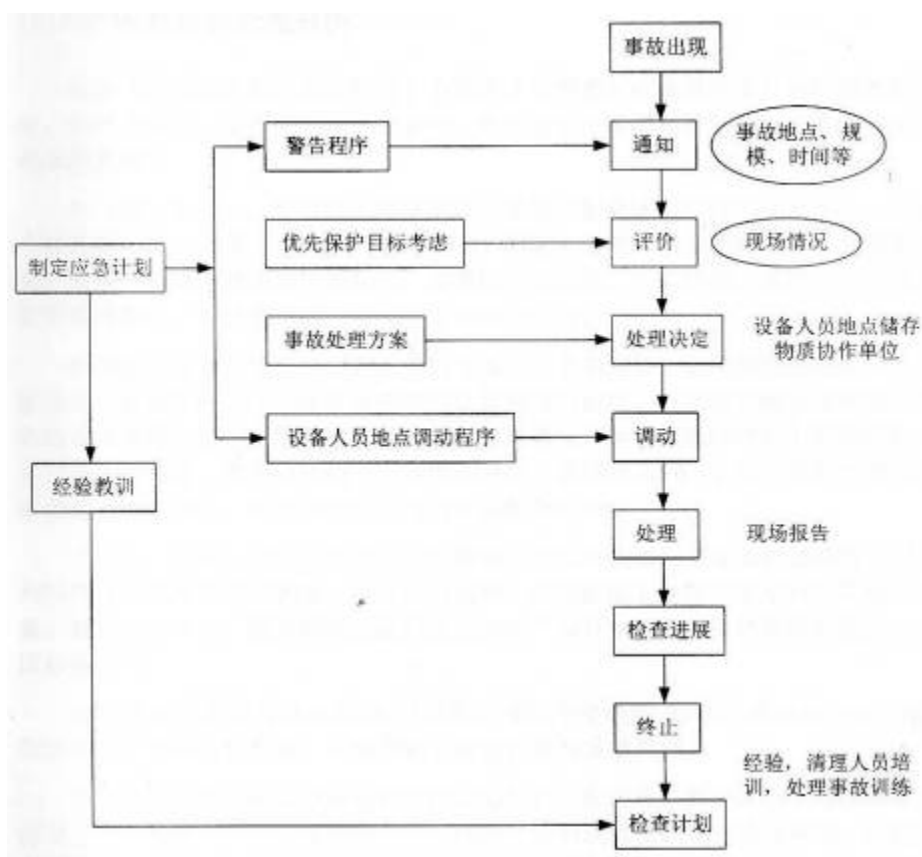


图 8.3-1 风险事故应急反应程序

8.6.5 应急保障

本项目位于阳江市近海海域，风电场附近有阳江港港区，经统计，阳江港溢油应急设施、器材包括表 8.3-1 所列清单。

表 8.3-1 阳江港港口企业及溢油设备清单

单位名称	广东粤电集团阳江港港务公司	海洋石油阳江码头有限公司	阳江良港码头有限公司	
溢油应急设备情况	围油栏	1000m	1000m	
	收油机	2 台, 总收油能力 6m ³ /小时	2 台, 总收油能力 20m ³ /小时	2 台, 总收油能力 6m ³ /小时
	油拖网	1 套, 总容量 6m ³	2 套, 总容量 4m ³	1 套, 总容量 6m ³
	吸油材料	0.5 吨	1.5 吨	0.5 吨
	溢油分散剂	0.4 吨	2 吨	0.4 吨
	溢油分散剂喷洒装置	1 套, 速度 0.25 吨/小时	1 套, 速度 0.19 吨/小时	1 套, 速度 0.4 吨/小时

储存池	1 个, 有效容积 60m ³	1 个, 有效容积 20m ³	1 个, 有效容积 3m ³
围油栏布放艇	1 艘	1 艘	1 艘
浮油回收艇	1 艘, 舱容 80m ³ , 收油能力 40m ³ /小时	1 艘, 舱容 40m ³ , 收油能力 20m ³ /小时	1 艘, 舱容 60m ³ , 收 油能力 40m ³ /小时

综上所述,目前阳江港在内的广东海事局管辖海域已配备了相当的溢油应急设备。阳江港港口距本工程大约有 40 公里,一旦发生溢油可以在 1h 内到达事故现场。但由于本项目的实施将在一定程度上增加海域船舶溢油事故发生的可能,因此需进一步提高海域溢油防范的能力。建议建设单位可联合阳江海事局等单位、企业共同构建溢油风险方法网络体系,在依托现有设施的基础上,进一步在本工程施工船舶配备围油栏、吸油毡、消油剂等防污器材,提高溢油风险防范能力。

8.7 其他风险评价

由于本工程方案调整后,220kV 海缆路由未发生大的改变,施工船舶航行路线未发生变化,故方案的调整不改变本工程存在的其他风险评价结果。根据原环评,本工程还存在海底电缆及风机、升压站基础泥沙冲刷掏空风险、自然灾害风险、鸟类飞行碰撞飞机风险等,应执行原环评提出的环境事故风险防范措施。此外,对于基础局部冲刷的保护需在基础承载设计中预留必要的冲刷余量,并在营运期必要时采取基础抛石回填等措施。

9 环境保护对策措施

针对本次工程方案仅涉及海上升压站、风机及海缆施工的调整，因此重点提出海域施工期及运营期的环境保护措施，各环境保护对策措施与原环评基本保持一致。鉴于本次调整内容均发生在风电场厂址范围内部，因此鸟类和渔业资源的增殖放流环境保护措施参照原环评执行。

9.1 海域污染环境保护对策措施

9.1.1 施工期污染防治措施

在施工阶段产生的主要污染有水下施工产生的悬浮泥沙，项目施工产生的污水、固体废物、噪声和废气等，对于施工期的污染防治措施如下：

9.1.1.1 悬浮沙污染防治措施

①施工前应结合项目周边及项目自身施工进度，合理安排施工整体进度计划，制定好施工主要节点流程图。项目在各个阶段施工作业时，严格按照施工方案执行，保证施工进度和控制施工强度，以免增加悬浮沙增量；

②施工作业期间，在整体施工计划框架下，根据季节性海流条件，合理优化调整各施工作业区施工计划，将重点悬浮沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱等不利于悬沙扩散的潮期内。

③海底电缆在潮间带施工时间尽量选在低潮时段，且电缆沟槽开挖时产生的砂土在电缆入沟槽后及时回填夯实，防止沙土随潮流入海。

9.1.1.2 废水污染防治措施

(1) 船舶含油污水

①施工期间作业船舶产生的含油污水按照《沿海海域船舶排污设备铅封程序规定》（交海发〔2007〕165号）、73/78 国际防止船舶造成污染公约以及《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）的相关要求，船舶含油污水铅封后，运回陆地交由有资质单位处理。

②加强施工船舶的管理，定期维护船载机械设备，防止出现跑冒滴漏，严禁施工船舶向施工海域直接排放任何油类物质；

③船舶、机械等定期上岸在有资质单位清洗并检修。

(2) 生活污水

水上作业时，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。

9.1.1.3 固废废物污染防治措施

本项目在施工过程中拟对施工固体废弃物采取如下措施：

(1) 生活垃圾

对于施工期船舶施工人员产生的生活垃圾，由施工船舶收集后运至陆域，交由当地环卫部门收运处理。

(2) 扫海清障固体废弃物的处置

海缆施工前扫海清障打捞产生的固体废弃物（废弃缆线、插网、渔网等），在施工船舶上设置专门的收集装置，海底废弃物打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理。

(3) 废弃焊头、废弃包装物的处置

风机塔基与塔架等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随意丢弃，在各风机以及产污作业点设置废料回收桶，废弃物统一收集在容器中，施工结束后统一送往陆上进行回收再利用或处置。

(4) 含油废物

船舶水上作业和航行期间，甲板上偶尔出现的少量机械设备残油（HW08），应采用锯末或棉纱吸净残油后，将含油废物统一收集在含油废物箱，运回陆地，交给有资质单位处理。

9.1.1.4 噪声污染防治措施

(1) 加强施工船只管理，避免施工区域船舶集中并拥堵导致局部声级过高。

(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，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛声。

9.1.1.5 废气污染防治措施

(1) 通过合理布置施工方案，提高施工船舶的使用率，提高一次施工成功率，避免船舶返工导致废气污染物产生。

(2) 施工船舶严格执行《交通运输部<关于印发船舶大气污染物排放控制区实施方案>的通知》(交海发[2018]168号)的相关要求,应使用硫含量不大于0.5% m/m 的船用燃油,降低硫氧化物和颗粒物的排放。2022年1月1日起,海船进入沿海控制区海南水域,应使用含硫量不大于0.1% m/m 的船用燃油。可优先使用清洁能源、新能源、船载蓄电装置或尾气后处理的船舶。

9.1.2 营运期污染防治措施

本工程营运期产生的污染主要有废水、固体废物、噪声环境的影响,具体污染防治措施如下:

9.1.2.1 废水污染防治措施

(1) 生活污水

对于维护人员产生的少量生活污水在船舶上统一收集,运至岸上,交由有资质单位处理。

(2) 含油污水

对于升压站维修产生的油污水,统一储存在收集桶内,运至岸上后交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理。

(3) 牺牲阳极溶出的锌

在项目施工过程中,应利用最新技术,使用环保材料,以减少海上风机基础钢桩牺牲阳极阴极保护溶出的锌。

9.1.2.2 固体废物污染防治措施

(1) 含油废物

①对风机及相关设备进行检修时产生油渣(HW08)、油垢(HW08)、废油(HW08)等含油废物,将其收集在日常维修油污水收集桶内,运至陆上,交由有资质单位处理。

②风电场相关设备维修时,产生少量废油(HW08)应用锯末或棉纱吸净,将含油废物等收集在含油废物箱中,运至陆上交由有资质单位处理,避免污染项目海域生态环境。

③为防止变压器油泄漏至外环境,本工程变压器附近设置一座事故油罐。变压器事故排油时,通过含油排放管道排至事故油罐内(1座,油罐容积 $1m^3$),统一收集至运维船上,待船舶靠岸后交由有资质的单位处理。

(2) 生活垃圾

营运期运维人员产生的生活垃圾随船携带，统一收集，船舶靠岸后由环卫部门清运处理。

(3) 废旧蓄电池

升压站内运行过程中产生的废旧蓄电池将统一收集至陆上后交由有资质单位处理，不随意丢弃。

9.1.2.3 风机减振降噪和升压站噪声污染防治措施

(1) 机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源，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润滑条件。对于风机噪声，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，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪声向外传播，以降低振动噪声。

(2) 对于海上升压站噪声，选用低噪声变压器并置室内，保证主变噪声小于 70dB。建议升压站主变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板，并将铝合金接地。

9.1.2.4 海上升压站电磁环境保护措施

随着升压站运行时间的加长，高压设备、配件等会逐渐老化、损坏和受到环境污染，都会使升压站的电磁场增强。为尽量减小变电设备产生的磁场对环境的影响，提出以下防护措施：

(1) 宜在产生电磁辐射量较大的设备(如主变压器等)外设置电磁辐射防护罩等以减少电磁辐射对周围环境的影响。

(2) 对升压站设备的金属构件，如吊夹、保护环、保护角、垫片、接头、螺栓等应做到表面光滑，尽量减少毛刺的出现，以减小尖端放电产生火花。

(3) 做好变电站的维护保养工作，保证带电设备具有良好的接地，减少电力设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电。

9.2 海洋生态保护对策措施

9.2.1 施工期生态保护措施

9.2.1.1 海洋生物保护措施

①由于海豚等海洋哺乳动物繁殖期是每年 4-8 月为主要季节，项目作业时应该尽量避免海豚等繁殖期或者减少施工强度对其的影响。

②施工期应严格确立距离桩基一定范围为海洋动物受水下噪声影响的危险区域，基于前述分析在本项目中对于钢管桩桩基施工时所对应的水下施工噪声的危险距离为 1km。在该危险距离范围内应石首鱼类、中华白海豚及海龟等敏感动物尽可能地驱赶，在进行风机桩基打桩前派遣巡逻船只巡查，确认施工保护范围有无对噪声敏感动物活动。

③本项目海缆铺设穿过东平镇南珍稀濒危物种集中分布区时，尽可能驱赶中华白海豚、海龟，确认施工范围内无敏感生物活动，若发现中华白海豚出现在施工区时应采取暂停施工、避让等措施。

通过合理优化施工工艺和设备选型，最大程度减少悬浮沙影响程度，并控制海缆的敷设路线和速度，以减缓悬浮沙对海洋生物的影响以及防止误撞海洋动物。

④水上桩基础施工应避免采用撞击式的打桩作业方式，建议采用环保型液压式打桩机，采用液压式打桩也应采用软启动的作业方式，即开始轻打几下，让潜在的水生动物有时间逃离回避作业区，再逐步增强施工强度。同时鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出控制，在时间上控制一次一桩。

⑤在项目整个施工过程中，限定施工船舶航行路线和航行速度，以减缓船舶噪声对海洋生物的影响以及防止误撞海洋生物。

9.2.1.2

9.2.1.3 渔业生产和渔业资源保护措施

①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”，以达到驱赶鱼类游离作业区，到达一定距离之外

的安全海域。

②对于桩基打桩和海缆敷设，优化施工工艺，尽量避开鱼类产卵洄游期（每年4-6月为主要季节）或减少施工强度对其的影响，要针对施工对海洋环境影响较大的作业环节制定作业规程，尽量避免由于操作技术不当导致的入海悬浮沙增大，作业时要求施工精准定位，提高作业精准度，从而降低悬浮泥沙对周边海域水质环境、生态环境的影响。

③施工期间对项目附近的生态环境及渔业资源进行跟踪监测，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。

9.2.1.4 海域底栖生物保护措施

①优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。

②严格限制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。

9.2.2 营运期海洋生态保护措施

9.2.2.1 增殖放流的措施

国内外长期从事渔业资源研究的专家研究证实，在渔业资源衰退或受损的情况下，除了降低捕捞强度和减少海洋环境污染以及生境破坏之外，从根本上恢复渔业资源、改良资源结构、增加渔业生产，进行渔业资源的人工增殖放流是重要、快捷的有效措施。通过增殖放流，可以迅速弥补本项目施工和营运等因素对海洋渔业资源造成的损失。原环评针对增殖放流品种、规格质量、放流计划、管理等给出了详细建议，本补充报告不作具体分析。

9.2.2.2 加强渔业资源和生态监测及保护宣传

在施工期间和运营期间，应根据实际情况安排开展项目邻近海域渔业资源和生态环境监测工作，评估工程在施工期和营运期周围海域渔业资源和生态环境的

变动情况，评估生态补偿措施的实施效果，为更好地恢复和保护海域渔业资源和生态环境提供科学依据。在进行海洋生物增殖放流时，举行仪式，以保护海域生态环境为主题，一方面加强社会环境保护教育，另一方面树立项目建设单位的环保形象。

9.3 海缆环境保护措施

(1) 海缆登入、登出海上升压站平台时，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。

(2) 为保证本工程海底电缆安全，应对风电场桩基础局部冲刷进行观测，如发现冲刷严重，应采取抛石回填等措施，避免冲刷导致海缆掏空。

(3) 建议在航道港区增加海缆埋设深度，防止船舶锚泊威胁海底电缆安全。

(4) 划定海底电缆防护区，禁止在海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业。

(5) 对海底电缆管道保护区和海底电缆管道的线路等设置标识，并向县级以上人民政府海洋行政主管部门备案。同时，可以对海底电缆管道采取定期复查、监视等其他保护措施。

(6) 海缆交越施工工艺与原环评保持一致，则相应的保护措施参照原环评执行。

9.4 通航安全环境保护措施

为保证项目施工安全和最大程度降低对附近海域航行的不利影响，施工过程中需严密、科学合理安排施工工序，把施工安全和通航安全放在首位，根据《中广核阳江南鹏岛海上风电场工程通航安全影响分析报告》，本工程要最大限度地减少施工和运营期对通航环境影响的措施如下：

(1) 项目在航道内施工时，需向海事主管机关申请交通管制，同时尽量避免航道封航。

(2) 风电场建设完成后，需在适当的位置设置相应的助航（航标灯）、警示标志、雷达应答器等，禁止过往船只进入风电场。通过设置适当的导助航标志及警示标志等，使得风电场范围目标显著，易于过往船舶从远处发现风电场的存在，

便于及早采取避让措施，这种不利影响将会得到克服或大大缓解。

(3) 导助航标志的设置应与工程建设“三同时”，避免附近船舶误入工程海域范围，保证附近海域船舶通航安全和工程自身安全。

(4) 为了防止渔船误碰撞风机基础，在各种类型基础外侧指定方向设置防撞设施。另外，考虑到风机运行及检修的靠船需要，为保证风机基础结构安全，在风机基础设置防碰撞设施（碰垫）。

(5) 申请设置以海底电缆两侧各 500m 宽的保护区，向社会发布海底电缆公告，禁止在海底电缆保护区内从事挖砂、钻探、打桩、底托捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底管道安全的海上作业。

(6) 工程建成后应将海底电缆、具体位置、走向、埋深以及风电场位置海域范围等报请海事局等部门及时更新航海图书资料，发布相应《航海通告》。

(7) 工程营运方应制定相应的日常检查养护制度和防风、防台等应急预案。特别是在恶劣天气以后应及时检查风电场风机基础、设备的安全状况及导助航设施等的工作状况，减少影响通航安全的因素发生。出海检查时，应选择良好的气象、水文和海浪条件，保证执行检查工作船舶的航行和作业安全。

(8) 业主经检查发现存在影响附近海域通航安全的情况和安全隐患时应及时处理，应及时通知海事主管部门，申请发布相应的航行警告。

9.5 自然岸线保护措施

本项目路由登陆点位于“三丫港基岩岸线”。《关于批准中广核阳江南鹏岛海上风电场工程环境影响报告书的函》已批准原环评中采用开挖回填的方式进行登陆点的施工，现已施工完毕。为保护该段自然岸线，将工程建设对岸线的影响降至最低，在进行第 2 条 220kV 海缆登陆施工时，应敷设在已完成建设的管廊带内，不得再次开挖，施工结束后尽快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。

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划定施工作业区，尽可能缩小施工作业区面积，并向海洋行政主管部门报备；

(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) 施工结束后尽快恢复施工场区的地形地貌，并做好场地卫生清理工作。

9.6 环境保护措施汇总

结合原环评所提出的各种环保措施，各环境保护对策措施与原环评基本保持一致，工程需采取的各项环保对策措施见表 9.6-1。

表 9.6-1 环境保护对策措施、生态保护对策措施

建设阶段	项目	环境保护对策措施	环境保护措施具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入使用时间	责任主体及运行机制
施工期	废水	陆域施工生产废水处理	生产废水处理设施	20m ³ /d, 设置隔油池, 预沉池各 1 座, 加药及混凝沉淀设备 1 套	回用部分: 生产废水经处理达《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002) 后回用于道路洒水、设备清洗	施工基地, 进场时同步设置	建设单位监制, 施工单位使用和管理、维护
		陆域施工期生活污水处理	移动厕所	统一收集	纳管部分: 达到广东省《水污染物排放限值》(DB44/26-2001) 三级标准后纳管排放		
		陆域施工期及运营期食堂废水、其他洗涤废水	隔油池、沉淀池	食堂废水经过隔油池处理后与其他洗涤废水一并排至沉淀池	处理后, 用于站区绿化浇灌		
		船舶含油污水	施工船舶设置含油污水收集装置		污染物不排海, 交由有资质单位处理	施工船舶, 施工期	
	船舶生活污水	施工船舶设置生活污水收集装置		污染物不排海, 交由有资质单位处理			
	固废废物	船舶生活垃圾	垃圾收集装置		统一收集后委托当地环卫部门清运处理	施工船舶, 施工期	建设单位监制, 施工单位使用和管理、维护
		扫海清障固体废弃物	设置专门的收集装置		统一收集后委托当地环卫部门清运处理	施工船舶, 施工期	
		废弃焊头、废弃包装物的处置	废料回收桶		施工结束后统一送往陆上进行回收再利用或处置	施工区域, 施工期	
		废弃锯末或棉纱含油废物 (HW08)	含油废物箱 1 个		污染物不排海, 交由有资质单位处理	施工区域, 施工期	

建设阶段	项目	环境保护对策措施	环境保护措施 具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入 使用时间	责任主体及 运行机制	
	噪声	施工船舶噪声	加强施工船只管理，避免施工区域船舶拥堵		将噪声和废气污染控制到最小	施工区域，施工期	建设单位监制，施工单位使用和管理、维护	
			施工船舶应采取有效措施控制主辅机噪声排放					
			避免不必要的船舶汽笛声					
	废气	施工船舶废气	施工船舶废气严格执行《交通运输部<关于印发船舶大气污染物排放控制区实施方案>的通知》（交海发[2018]168号）的相关要求					
			海洋生态保护	中华白海豚、海龟等海洋动物	尽量减缓在海豚等海洋哺乳动物繁殖高峰期打桩作业施工强度	减少对海豚繁殖和幼豚成长的滋扰	风电场，施工期	施工单位、建设单位实施和管理
	桩基础 1km 安全范围内尽可能驱赶，若发现中华白海豚出现在施工区时应采取暂停施工、避让等措施	确认施工保护范围内无海洋动物的活动						
	桩基础施工采用软启动作业方式	减缓噪声对海洋动物的影响						
	控制每日打桩数量和打桩的持续时间							
	限定施工船舶航行路线和航行速度	减缓噪声对海洋动物影响以及防止误撞海洋动物						
	限定海缆船敷埋电缆路线和速度	减缓悬浮沙对海洋动物影响以及防止误撞海洋动物			送出海缆区，施工期			
渔业生产和渔业资源保护	打桩和电缆铺设尽可能避开鱼类繁殖高峰期	减缓对渔业资源繁殖影响			工程海域，施工期	施工单位、建设单位实施和管理		
		采用软启动的打桩作业方式	减缓水下噪声对鱼类的影响					
		施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止捕捞的范围和时间	减缓对渔业捕捞作业的干扰					
		做好施工期海洋生态环境和渔业资源跟踪监测	及时了解工程施工队生态环境及渔业资源的实际影响					

建设阶段	项目	环境保护对策措施	环境保护措施具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入使用时间	责任主体及运行机制
	通航安全保护	通航安全保护	①适当位置设置助航（航标灯）、警示标志、雷达应答器等；②风机基础设置防碰撞设施；③划定海底电缆保护区；④发布相应《航海通告》		避免对附近通航安全造成影响	工程海域，施工期	建设单位落实
	海底电缆保护	海底电缆保护	加大航道港区海域海缆埋深		防止船舶锚泊威胁海底电缆安全	路由穿越航运区段	施工单位、建设单位实施和管理
			对海底电缆路线设置标识		预防海底电缆突发事故	海底电缆路由区域	
		海缆交越段保护	①采用潜水员水下空气吸泥冲沟的工艺；②海底电缆外部包裹橡胶护垫，与原有光缆之间填充水泥砂浆袋垫层，厚度 0.3m		避免对已敷设的海缆造成损害	海缆交越段区域	施工单位、建设单位实施和管理
运营期	废水	船舶生活污水	施工船舶设置含油污水收集装置		污染物不排海，交由有资质单位处理	工程海域，运营期	建设单位建设、使用和管理
		升压站维修含油污水（HW08）	日常维修油污水收集桶	设置 0.1m ³ 收集桶 1 个，集中收集统一外运，50kg/a。	交由有资质单位处理	升压站，与升压站建设同步	
	固体废物	风机维护时含油废物（HW08）	含油废物箱	日常维护含油废物箱 1 个，36kg/a	统一外送具有相应资质的单位进行处置	风电机组，与风电机组建设同步	
		变压器事故排放废油（HW08）	事故油罐	1 座事故油罐容积 1m ³ ，事故油收集后运至岸上。	统一外送具有相应资质的单位进行处置	升压站内，与升压站建设同步	
		废旧蓄电池（HW31）	——	——	将产生的废旧蓄电池收集运至岸上，交由有资质单位处理	升压站内，与升压站建设同步	
废气	燃油废气处理装置	柴油发电机尾气水喷淋处置	烟气处理量 2.0m ³ /s、1 套	尾气处理达到广东省《大气污染物排放限值（DB44/27-2001）（第二时段）二级标准	升压站柴油备用发电机出口，与升压站建设同步		

建设阶段	项目	环境保护对策措施	环境保护措施 具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入 使用时间	责任主体及 运行机制	
	噪声防治	噪声防治	①使风电机组内良好润滑条件；以弹性连接代替刚性连接或在机舱内表面贴附高阻尼材料；②选用低噪声变压器；③建议升压站主变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板，并将铝合金接地		降低噪声对周围环境的影响	风电机组和升压站，与主体工程同步建设		
	电磁环境防治	电磁环境防治	①设置电磁辐射防护罩；②设备金属构件应做到表面光滑；③带电设备良好接地；④电力设备及其连接线路接触良好		降低电磁对周围环境的影响	升压站，与升压站同步建设		
	海洋生态保护	渔业资源补偿	采用增殖放流方法补偿			按照相关主管部门的要求，按时完成增殖放流的品种、数量，不会对工程海域生物资源造成明显影响。	风电场影响海域，施工完成后的2年内完成	建设单位落实，可委托专业单位
		鸟类保护	叶片涂装采用非反光材料	73台风机的叶片全部涂色		为减少反射阳光对鸟类视线的影响，减少鸟类撞击的概率	风机叶片，与风机安装同步	建设单位、风机生产厂商
			设立鸟类观察救助站	采用雷达监控设备，持续监测风场对鸟类的影响和动向		及时观测鸟类动向，依据具体情况，采取驱赶措施，或及时救治受伤鸟只；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	施工期结束后，在运营期开始前，建设好鸟类观察救助站	建设单位落实，可委托专业单位
	通航安全保护	通航安全保护	①工程营运方应制定相应的日常检查养护制度和防风、防台等应急预案；②发现存在安全隐患时应及时处理，应及时通知海事主管部门。			避免对附近通航安全造成影响	工程海域，运营期	建设单位落实
海底电缆保护	海底电缆保护	加强风电场桩基础局部冲刷观测			避免冲刷导致海缆掏空	风电场，运营期	建设单位落实	

10 环境影响经济损益分析

10.1 环保投资

工程方案调整后，仅海洋生物资源修复补偿费用发生变化，环保投资总额为2593.04万元（不含渔业生产补偿费用），其中海洋生物资源修复补偿1231.38万元，较原环评减少198.73万元。

10.2 环境保护经济损益分析

10.2.1 经济效益

风能资源是国家规定的可再生能源，风力发电是新能源中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一。本项目为国内首座海上风电场，工程装机容量400MW，设计年平均上网发电量约为1014.765GWh。项目的经济效益主要为风力发电收入。风力发电收入计算方法如下：

$$\text{发电收入} = \text{上网电量} \times \text{上网电价}$$

上网电量是指在经过变压器送到电网的电量，扣除各项损耗之后的电量。

根据国家发改委印发的《关于海上风电上网电价政策的通知》（发改价格〔2014〕1216号文），“2017年以前（不含2017年）投运的近海风电项目上网电价为每千瓦时0.85元（含税，下同），潮间带风电项目上网电价为每千瓦时0.75元。”根据《国家能源局关于2018年度风电建设管理有关要求的通知》（国能发新能〔2018〕47号），“已印发2018年度风电建设方案的省（自治区、直辖市）和已经确定投资主体的海上风电项目2018年可继续推进原方案。”（即执行0.85元/千瓦时电价）。根据新出台的《中华人民共和国可再生能源法》，风能发电上网电价由国务院价格主管部门根据不同类型可再生能源发电的特点和不同地区的情况，按照有利于促进可再生能源开发利用和经济合理的原则确定，并根据可再生能源开发利用技术的发展适时调整。目前，本项目预可研时海上风电场上网电价为0.85元/kWh，因此预计项目生产期内年均产生经济效益约86255.03万元/a。

10.2.2 环境收益

目前世界上的太阳能、风能、海洋能等作为可再生能源正处于飞速发展时期，但我国电力能源结构以火电为主，水电、核电、风电、太阳能发电所占比重较少。为此，本报告对比燃煤发电技术评价本项目实施所具有的环境效益。

本项目总装机 400MW，年上网电量约为 1014.765GWh。根据《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》（环发〔2015〕164 号），全国平均发电煤耗以 315gce/kWh 计。与同等发电量的火电相比，本项目运行期可节约原煤约为 31.97 万 t/a。风力发电作为一种清洁能源，相比火电工业在运行过程中不会产生包含烟尘、SO₂、NO_x 等大气污染物。污染物的减排情况见表 10.2-1。

表 10.2-1 节煤及污染物减排情况

装机规模	节标煤量 (10 ⁴ t/a)	污染物减排量 (t/a)			
		SO ₂	NO _x	烟尘	CO ₂
400MW	31.97	117.49	167.84	33.57	85.18×10 ⁴

此外本项目实施不会消耗冷却水和排放含油废水、锅炉酸洗水、化学处理水等废水；也没有锅炉煤渣和粉煤灰需要处理。可见风电场具有明显的环境效益。

10.2.3 环境损失

本项目实施造成的环境损失主要包括施工造成的底栖生物损失和渔业资源损失、渔业生产海域减少引起的经济损失以及鸟类栖息地减少和鸟类撞击风机造成的损失。根据本报告 7.5 节，项目建设造成的环境损失为 1231.38 万元。

10.3 环境经济损益综合分析

根据上述计算，本项目具有明显的环境效益，体现在减少污染物和温室气体排放量，节约能源和原材料消耗等，同时能有效调整资源结构，促进风力发电这一清洁能源在我国的发展，具有一定社会效益。本项目在建设和运行过程中会不可避免的造成生态渔业资源、鸟类和海洋生态方面的环境损失，但其主要发生在施工期，且可通过跟踪监测、补偿措施进行恢复。

11 海洋工程的环境可行性

工程方案调整后，整体用海位置、海域使用方式和用途未发生改变，与各环境敏感目标位置关系不变。根据原环评分析，风电场选址具有较高合理性，风机机型选择和海上升压站布置经过多次优化，既满足集约节约用海，又充分利用海域空间资源和风能资源，产生最大发电效益，平面布置合理。工程方案调整后，仍然是按照原环评中推荐的最优方案，机组选型和海上升压站布置较为合理。

11.1 与《广东省海洋功能区划》的符合性

1、项目所在及周边海域海洋功能区分布

本工程位于阳江市阳东县东平镇南侧、海陵岛东南侧海域。根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，项目风电场区、部分 220KV 海底电缆位于湛江-珠海近海农渔业区，部分 220KV 海底电缆穿越平岗-东平农渔业区。项目周边海域海洋功能区划有：田尾山工业与城镇用海区、湖东-甲子工业与城镇用海区、碣石湾近海海洋保护区等。各功能区的分布详见图 11.1-1 及表 11.1-1，海洋功能区划登记表见表 11.1-2。

表 11.1-1 项目所在及周围海域海洋功能区划分布状况

编号	海洋功能区划名称	与本项目的方位关系及最近距离	功能区
1	湛江-珠海近海农渔业区	风电场、海底电缆项目所在	农渔业区
2	平岗-东平农渔业区	海底电缆穿过	农渔业区
3	南鹏列岛海洋保护区	电缆西侧，约 2.3km	海洋保护区
4	头芦排海洋保护区	电缆东侧，约 2.2km	海洋保护区
5	东平工业与城镇用海区	电缆东侧，约 1.5km	工业与城镇用海区
6	海陵岛东北海洋保护区	西侧，约 15km	海洋保护区
7	大矾石海洋保护区	风电场东侧，约 1.8km	海洋保护区
8	山川群岛农渔业区	东侧，约 8.7km	农渔业区



图 11.1-1 项目所在海域及周边海域海洋功能区分布示意图

表 11.1-2 项目周边海洋功能区划一览表（广东省海洋功能区划）

序号	代码	功能区名称	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
1	B1-1	湛江-珠海近海农渔业区	东至:113°30'50" 西至:109°24'40" 南至:20°07'01" 北至:22°03'37"	农渔业区	3053896	1.相适宜的海域使用类型为渔业用海; 2.禁止炸岛等破坏性活动; 3.40 米等深线向岸一侧实行凭证捕捞制度,维持渔业生产秩序; 4.经过严格论证,保障交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线、保护区等用海需求; 5.优先保障军事用海需求。	1.保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道; 2.执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。
2	A1-8	平岗-东平农渔业区	东至:112°14'43" 西至:111°54'34" 南至:21°38'02" 北至:21°49'52"	农渔业区	20957 61679	1.相适宜的海域使用类型为渔业用海; 2.保障东平渔港、对岸渔港、人工鱼礁、防灾减灾体系建设等用海需求; 3.严禁控制在寿长河等河口海域进行围填海,维护河口海域的防洪纳潮功能; 4.合理控制养殖规模和密度。	1.保护泥蚶等贝类种质资源及其生境,保护寿长河红树林生态系统; 2.严格控制养殖污染和水体富营养化; 3.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。

序号	代码	功能区名称	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
3	B6-19	南鹏列岛海洋保护区	东至:112°12'11" 西至:112°04'00" 南至:21°31'29" 北至:21°39'11"	海洋保护区	19816	1.相适宜的海域使用类型为特殊用海; 2.适当保障深水网箱养殖及旅游娱乐用海需求; 3.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; 4.优先保障军事用海需求。	1.保护海岛周边海域重要经济水产资源种苗; 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。
4	B6-20	头芦排海洋保护区	东至:112°16'59" 西至:112°14'54" 南至:21°32'30" 北至:21°34'35"	海洋保护区	1384	1.相适宜的海域使用类型为特殊用海; 2.按照国家关于海洋环境保护以及自然保护区管理的法律、法规和标准进行管理; 3.优先保障军事用海需求。	1.保护海岛周边海域重要经济水产资源种苗; 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。
5	A3-10	东平工业与城镇用海区	东至:112°18'10" 西至:112°14'16" 南至:21°40'29" 北至:21°42'28"	工业与城镇用海区	2191 33325	1.相适宜的海域使用类型为造地工程用海、工业用海; 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.工程建设及营运期间采取有效措施降低悬浮物、温排水等对阳江南鹏列岛海洋生态省级自然保护区的影响; 4.加强对围填海、温排水的动态监测和监管。	1.严格控制温排水范围,减少温排水对海域生态环境的影响; 2.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	B6-18	海陵岛东北海洋保护区	东至:112°02'14" 西至:112°00'00" 南至:21°40'59" 北至:21°42'29"	海洋保护区	1075	1.相适宜的海域使用类型为特殊用海; 2.按照国家关于海洋环境保护以及自然保护区管理的法律、法规和标准进行管理。	1.保护海洋生态系统; 2.执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。
7	B6-21	大矾石海洋保护区	东至:112°24'03" 西至:112°18'09" 南至:21°23'27" 北至:21°31'25"	海洋保护区	14856	1.相适宜的海域使用类型为特殊用海; 2.严格保护大帆石领海基点; 3.按照国家关于海洋特别保护区管理的法律、法规和标准进行管理; 4.禁止炸岛等破坏性活动; 5.保障国防安全用海需求。	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。
8	A1-9	山川群岛农渔业区	东至:113°01'16" 西至:112°18'04" 南至:21°34'27" 北至:22°03'36"	农渔业区	89608 171762	1.相适宜的海域使用类型为渔业用海; 2.保障横山渔港、沙堤渔港、深水网箱养殖、人工鱼礁等用海需求; 3.适当保障港口航运、工业与城镇、旅游娱乐用海需求; 4.维护海湾防潮纳潮功能; 5.严格控制在镇海湾湾内围填海; 6.保护川山群岛生物海岸,养殖活动应避开镇海湾水道、沙堤港航道等,维护航行通道畅通; 7.合理控制养殖规模和密度; 8.优先保障军事用海需求,严禁在军事区周边进行围填海及设置渔网渔栅。	1.保护下川岛荔枝湾、镇海湾红树林,保护上、下川岛周边海草床生态系统; 2.保护龙虾等水产种质资源; 3.严格控制养殖自身污染和水体富营养化,防止外来物种入侵; 4.实施镇海湾综合整治,加强渔港环境污染治理,生产废水、生活污水须达标排海; 5.执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

2、与湛江-珠海近海农渔业区符合性分析

湛江-珠海近海农渔业区相适宜的海域使用类型为渔业用海，海域使用管理要求包括：禁止炸岛等破坏性活动；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；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；优先保障军事用海需求。

湛江-珠海近海农渔业区海洋环境保护管理要求：保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道；执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

本项目建设与海洋功能区划符合性分析见表 11.1-3。

表 11.1-3 本项目建设与海洋功能区划符合性分析表

功能区名称	与本项目关系	海域使用管理要求	符合性分析
湛江-珠海近海农渔业区	风场和海缆利用	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海；	用海方式为透水构筑物和海底电缆管道用海，可兼顾渔业用海；
		2. 禁止炸岛等破坏性活动；	不存在炸岛等破坏行为；
		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；	工程建设不涉及捕捞，不会破坏渔业生产秩序；
		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；	风场避开周围航道，海缆穿越航道段深埋，能够保障交通运输用海需求；海底管线交越处制定合理的交越保护方案；工程建设对保护区不产生影响。可以保障旅游、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。	工程建设不会对军事用海产生影响。
功能区名称	与本项目关系	海洋环境保护管理要求	符合性分析
湛江-珠海近海农渔业区	风场和海缆利用	1. 保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道；	项目风场不占用重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道；登陆海缆路由位于海龟夏季洄游路线上，登陆海缆施工应避开海龟夏季洄游。不会破坏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；	项目营运期无无污染物排放，不会影响海洋环境质量。

3、与平岗-东平农渔业区符合性分析

平岗-东平农渔业区相适宜的海域使用类型为渔业用海，海域使用管理要求包括：保障东平渔港、对岸渔港、人工鱼礁、防灾减灾体系建设等用海需求；严

禁控制在寿长河等河口海域进行围填海，维护河口海域的防洪纳潮功能；合理控制养殖规模和密度。

平岗-东平农渔业区海洋环境保护管理要求：保护泥蚶等贝类种质资源及其生境，保护寿长河红树林生态系统；严格控制养殖污染和水体富营养化；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。

本项目建设与海洋功能区划符合性分析见表 11.1-4。

表 11.1-4 本项目建设与海洋功能区划符合性分析表

功能区名称	与本项目关系	海域使用管理要求	符合性分析
平岗-东平农渔业区	风场和海缆利用	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海；	用海方式为透水构筑物和海底电缆管道用海，可兼顾渔业用海；
		2. 保障东平渔港、对岸渔港、人工鱼礁、防灾减灾体系建设等用海需求；	本项目位于规划风电场范围之内，不会对东平渔港、对岸渔港、人工鱼礁、防灾减灾体系建设等用海需求产生影响；
		3. 严禁控制在寿长河等河口海域进行围填海，维护河口海域的防洪纳潮功能；	用海方式为透水构筑物和海底电缆管道用海，不占用河口，不会影响防洪纳潮功能；
		4. 合理控制养殖规模和密度。	本项目不属于养殖用海；
功能区名称	与本项目关系	海洋环境保护管理要求	符合性分析
平岗-东平农渔业区	风场和海缆利用	1. 保护泥蚶等贝类种质资源及其生境，保护寿长河红树林生态系统；	施工期在工程附近海域的生物及其生存环境受到暂时的影响，不会影响寿长河红树林生态系统以及平岗-东平贝类种质资源生境的稳定性；
		2. 严格控制养殖污染和水体富营养化；	不涉及养殖；
		3. 执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。	项目营运期无无污染物排放，不会影响海洋环境质量。

4、与周边海洋功能区协调性分析

本项目建设可能对周边海域造成影响的主要是施工期悬沙。本项目施工悬沙影响集中分布在施工点附近，未进入周边其他海洋功能区；风场运行期噪声和电磁辐射排放很小，运行期无其他污染物排放，不会影响周边功能区。因此，本项目建设与周边海洋功能区协调。

综上所述，本项目建设用海符合《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》（2012年）。

11.2 与海洋生态红线制度的符合性

1、项目所在海域海洋生态红线区分布

根据《广东省海洋生态红线》本项目 220kV 海缆约 20km 穿过 I 区限制类红线区，登陆段约 0.9km 紧贴重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区，登陆段占用大陆自然岸线 10.6m。

本项目 220kV 海缆穿过的限制类红线区为东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区（105），登陆段海底电缆紧贴海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（100）。距离项目较近的生态红线区有南鹏列岛省级海洋自然保护区禁止类红线区（101）、南鹏列岛省级海洋自然保护区限制类红线区（102）、寿长河重要河口生态系统限制类红线区（103）、珍珠湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（104）、东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 II 区限制类红线区（106）、头芦排海洋自然保护区禁止类红线区（107）、头芦排海洋自然保护区限制类红线区（108）、大帆石特别保护海岛限制类红线区（109）和大帆石特别保护海岛禁止类红线区（110），见图 11.2-1 和表 11.2-1。各红线区具体管控措施和环境保护要求见表 11.2-2。

本项目 220kV 海缆登陆占用的大陆自然岸线为三丫港基岩岸线（60）；工程海域周边大陆自然岸线有北津港砂质岸线（58）、寿长河河口岸线（59）、沙咀环基岩岸线（61）、飞鹅咀基岩岸线（62）、允泊村西南基岩岸线（63）、大澳咀基岩岸线（64）、笕箕湾基岩岸线（65），见图 11.2-2。各岸线的具体管控措施见表 11.2-3。

表 11.2-1 本项目与海洋生态红线区及主体岸线相对位置关系

序号	生态红线区	与本项目最近距离、 相对位置	类型
1	海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（100）	紧贴	重要砂质岸线及邻近海域
2	南鹏列岛省级海洋自然保护区禁止类红线区（101）	海缆西侧，约4.7km	海洋自然保护区
3	南鹏列岛省级海洋自然保护区限制类红线区（102）	海缆西侧，约2.3km	海洋自然保护区
4	寿长河重要河口生态系统限制类红线区（103）	海缆登陆端北侧，约0.3km	重要河口生态系统
5	珍珠湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（104）	海缆登陆段东侧，约0.7km	重要砂质岸线及邻近海域
6	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区I区限制类红线区（105）	海缆穿越，占用长度约20km	珍稀濒危物种集中分布区
7	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区II区限制类红线区（106）	风机南侧，约5.4km	珍稀濒危物种集中分布区
8	头芦排海洋自然保护区禁止类红线区（107）	海缆东侧，约2.6km	海洋自然保护区
9	头芦排海洋自然保护区限制类红线区（108）	海缆东侧，约2.3km	海洋自然保护区
10	大帆石特别保护海岛限制类红线区（109）	风机东侧，约2km	特别保护海岛
11	大帆石特别保护海岛禁止类红线区（110）	风机南侧，约5.5km	特别保护海岛

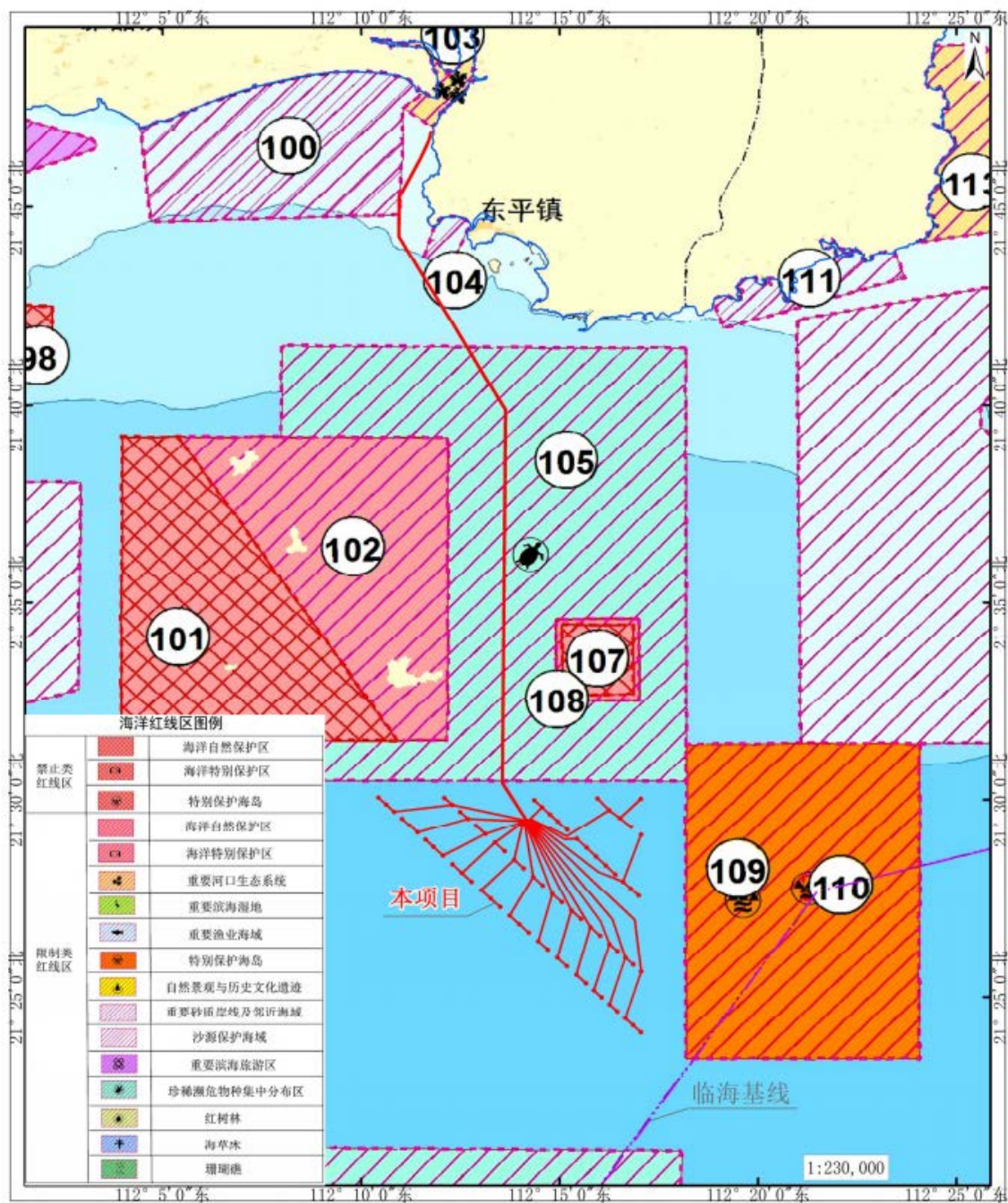


图 11.2-1 广东省海洋生态红线区控制图（项目周边）



图 11.2-2 广东省大陆海岸线自然岸线保有示意图（项目周边）

表 11.2-2 项目附近红线区一览表（《广东省海洋生态红线》）

序号	管控类别	类型	名称	地理位置（四至）	覆盖区域		生态保护目标	管控措施
					面积（km ² ）	海岸线长度（km）		
100	限制类	重要砂质岸线及邻近海域	头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	112°4'27.57"-112°11'34.17" E; 21°44'36.87"-21°48'2598"N	68.09	13.13	砂质岸线、自然景观	<p>管控措施：禁止围填海，禁止从事可能改变或影响沙滩自然属性及邻近海域海洋动力环境的开发建设活动；设立砂质岸线退缩线，区内禁止采挖海砂，在不影响砂质岸线保护前提下，可适度进行旅游开发。</p> <p>环境保护要求：加强海洋环境质量监测。河口实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治；妥善处理生活垃圾，避免对毗邻海洋保护区产生影 响；本海域海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准。</p>
101	禁止类	海洋自然保护区	南鹏列岛省级海洋自然保护区禁止类红线区	112°3'59.98"-112°10'56"E; 21°31'30"-21°39'12"N	102.19	0	海洋物种资源、珍稀濒危生态系统濒危	<p>管控措施：按照《中华人民共和国自然保护区条例》和《海洋自然保护区管理办法》进行管理；除进行必要的调查、科研和管理活动外，禁止进行其他活动。</p> <p>环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，维持海岛及邻近海域自然生态系统，保护生态保护目标及其生境；海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类标准。</p>
102	限制类	海洋自然保护区	南鹏列岛省级海洋自然保护区限制类红线区	112°5'24"-112°12'12" E; 21°31'30"-21°39'12.03"N	95.93	0	海洋物种资源、珍稀濒危生态系统	<p>管控措施：按照《中华人民共和国自然保护区条例》和《海洋自然保护区管理办法》进行管理；在符合保护区管理要求的前提下，可适度进行陆岛交通海岛、海水养殖、海岛旅游等改善海岛居民生产 生活必须的用海活动。</p> <p>环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，维持与改善岛屿生态系统，保护南鹏列岛的生态保护目标及其生境；海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量均不劣于一类。</p>

序号	管控类别	类型	名称	地理位置（四至）	覆盖区域		生态保护目标	管控措施
					面积（km ² ）	海岸线长度（km）		
103	限制类	重要河口生态系统	寿长河重要河口生态系统限制类红线区	112°10'16.92"-112°12'52.69"E; 21°47'2.07"-21°49'52.98"N	6.08	21.35	红树林、河口生态系统	<p>管控措施：禁止围填海，禁止设置直接排污口等破坏河口生态系统功能的开发活动。保护河口生态系统，保持河口基本形态稳定，保护珍稀濒危鸟类，保障渔业资源自然繁殖空间，兼容道路交通等民生基础设施。</p> <p>环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，实行河口陆源污染物入海总量控制，改善海洋环境质量；海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准。</p>
104	限制类	重要砂质岸线及邻近海域	珍珠湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	112°11'36.2"-112°12'45.33"E; 21°43'18.93"-21°44'45.45"N	3.04	2.01	沙滩、海洋自然景观	<p>管控措施：禁止围填海，禁止从事可能改变或影响沙滩、岸线自然属性及邻近海域海洋动力环境的开发建设活动；设立砂质岸线退缩线，区内禁止采挖海砂，在不影响砂质岸线保护前提下，可适度符合海洋功能区划等相关规划的航运、交通、旅游及其他重要民生项目基础设施建设；核电项目温排水扩散至海洋生态红线区的，其温排水温升范围应按照核电项目温排水管控要求执行。</p> <p>环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，加强海洋环境质量监测；河口实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治，妥善处理生活垃圾。</p>
105	限制类	珍稀濒危物种集中分布区	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区I区限制类红线区	112°7'51"-112°18'11.18"E; 21°30'28.51"-21°41'30.3"N	240.20	0	中华白海豚、海龟等珍稀濒危物种	<p>管控措施：禁止围填海，禁止实施对珍稀濒危物种有影响的开发建设活动，维持自然属性；严禁水下爆破，控制水下噪声；生产设施与珍稀濒危物种集中分布区之间应保留一定距离；禁止建设和使用产生高分贝噪音的设施，除进行必要的调查、科研和管理活动外，禁止进行其他活动；核电项目温排水扩散至海洋生态红线区的，其温排水温升范围应按照核电项目温排水管控要求执行。</p> <p>环境保护要求：禁止新设污染物集中排放口，禁止排放有毒、有害物质，改善海洋环境质量。</p>

序号	管控类别	类型	名称	地理位置（四至）	覆盖区域		生态保护目标	管控措施
					面积（km ² ）	海岸线长度（km）		
106	限制类	珍稀濒危物种集中分布区	东平镇南珍稀濒危物种集中分布区II区限制类红线区	112°7'54.12"-112°18'3.62"E; 21°13'56.26"-21°21'9.95"N	230.83	0	中华白海豚、海龟等珍稀濒危物种	管控措施：禁止围填海，禁止实施对珍稀濒危物种有影响的开发建设活动，维持自然属性；严禁水下爆破，控制水下噪声；生产设施与珍稀濒危物种集中分布区之间应保留一定距离；禁止建设和使用产生高分贝噪音的设施，除进行必要的调查、科研和管理活动外，禁止进行其他活动；核电项目温排水扩散至海洋生态红线区的，其温排水温升范围应按照核电项目温排水管控要求执行。 环境保护要求：禁止新设污染物集中排放口，禁止排放有毒、有害物质，改善海洋环境质量。
107	禁止类	海洋自然保护区	头芦排海洋自然保护区禁止类红线区	112°15'4"-112°16'51"E; 21°32'39"-21°34'26"N	10.14	0	海洋生态系统和海洋生物多样性	管控措施：按照《中华人民共和国自然保护区条例》和《海洋自然保护区管理办法》进行管理；禁止围填海，禁止进行海岸带的开发利用以及一切有关的能够影响该保护区生态系统稳定性的活动。 环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，维持、恢复、改善海洋生态环境和生物多样性，保护自然景观，减少保护区周边海域环境点面源污染；海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准。
108	限制类	海洋自然保护区	头芦排海洋自然保护区限制类红线区	112°14'55"-112°16'59.98"E; 21°32'30"-21°34'35"N	3.70	0	海洋生态系统和海洋生物多样性	管控措施：按照《中华人民共和国自然保护区条例》和《海洋自然保护区管理办法》进行管理；禁止围填海，在不影响保护前提下，可适度进行旅游开发。 环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，维持、恢复、改善海洋生态环境和生物多样性，保护自然景观，减少保护区周边海域环境点面源污染；海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准。

序号	管控类别	类型	名称	地理位置（四至）	覆盖区域		生态保护目标	管控措施
					面积（km ² ）	海岸线长度（km）		
109	限制类	特别保护海岛	大帆石特别保护海岛限制类红线区	112°18'11"-112°24'3"E; 21°23'27"-21°31'25.01"N	147.91	0	海岛生态系统、渔业资源	管控措施：维护主权权益，严格保护海岛自然地形、地貌，禁止炸岛、海岛采石、采挖海砂等可能危害主权权益及破坏海岛生态系统的开发活动，禁止损毁领海基点标志，加强主权权益设施建设。环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，禁止排放有害有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物及其他污染物和废弃物，改善海洋环境质量。执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准、海洋生物质量一类标准。
110	禁止类	特别保护海岛	大矾石特别保护海岛禁止类红线区	112°21'8.29"-112°21'46.35"E; 21°27'28.4"-21°28'4.3"N	1.17	0	海岛生态系统、渔业资源	管控措施：维护主权权益，严格保护海岛自然地形、地貌，禁止炸岛、海岛采石、采挖海砂等可能危害主权权益及破坏海岛生态系统的开发活动，禁止损毁领海基点标志，加强主权权益设施建设。环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，禁止排放有害有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物及其他污染物和废弃物，改善海洋环境质量。执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准、海洋生物质量一类标准。

注：1、海洋生态红线区允许海上风电项目海底送出工程经过；

2、涉及海洋生态红线区的核电项目，其温排水温升范围按项目温排水管控要求执行。

表 11.2-3 项目附近大陆自然岸线一览表（《广东省海洋生态红线》）

序号	主体岸线代码	主体岸线类型	名称	地理位置（起止坐标）	岸线长度（m）	生态保护目标	管控措施	备注
58	44-o030	砂质岸线	北津港	位于北津港，起点坐标： 112°11'34.170"E，21°47'54.622"N； 终点坐标：112°04'27.566"E， 21°47'00.485"N。	13274	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性，向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动，保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。	含砂质岸线 13039 米，修复岸线 235 米。
59	44-t004	河口岸线	寿长河口	位于北津港，起点坐标： 112°12'20.995"E，21°49'49.782"N； 终点坐标：112°12'09.313"E， 21°49'43.687"N。	384	自然岸线及潮滩	维持河口区域自然属性，保持河口基本形态稳定，保障河口行洪安全和航道通行。允许开展航道疏浚工程，禁止新增围填海、采挖海砂及其他可能破坏河口生态系统功能的开发活动，保障海洋生物洄游通道。	
60	44-q002	基岩岸线	三丫港	位于北津港，起点坐标： 112°11'57.210"E，21°45'55.804"N； 终点坐标：112°11'47.508"E， 21°47'02.065"N。	2205	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性，向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动，保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。	含砂质岸线 994 米，基岩岸线 1211 米。
61	44-q003	基岩岸线	沙咀环	位于北津港，起点坐标： 112°12'45.335"E，21°44'33.936"N； 终点坐标：112°11'54.535"E， 21°45'50.465"N。	5666	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性，向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动，保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。	含砂质岸线 1609 米，基岩岸线 3576 米，修复岸线 481 米。
62	44-q004	基岩岸线	飞鹅咀	位于北津港，起点坐标： 112°13'08.008"E，21°44'06.724"N； 终点坐标：112°12'40.889"E， 21°44'19.709"N。	1540	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性，保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。	
63	44-q005	基岩岸线	允泊村西南	位于北津港，起点坐标： 112°14'42.421"E，21°42'55.174"N； 终点坐标：112°14'28.576"E， 21°43'18.268"N。	880	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性，保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。	

序号	主体岸线代码	主体岸线类型	名称	地理位置（起止坐标）	岸线长度（m）	生态保护目标	管控措施	备注
64	44-q006	基岩岸线	大澳咀	位于北津港，起点坐标： 112°15'01.192"E，21°42'18.202"N； 终点坐标：112°14'25.944"E， 21°42'39.434"N。	2057	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性，保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。	
65	44-q007	基岩岸线	笏箕湾	位于镇海湾，起点坐标： 112°18'11.228"E，21°42'28.836"N； 终点坐标：112°16'21.137"E， 21°42'14.166"N。	4358	自然岸线及潮滩	维持岸线自然属性，保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。	

2、与海洋生态红线区的符合性分析

根据上述分析，本项目 220kV 海底电缆穿越东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区（105），其主要生态保护目标分别为中华白海豚、海龟等珍稀濒危物种；登陆段约 0.9km 海底电缆紧贴“海头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（100）”，生态保护目标为“砂质岸线、自然景观”。

本项目建设与海洋生态红线区符合性分析见表 11.2-4。项目扫海清障施工以及海底电缆埋设施工会使海底泥沙再悬浮，海底泥沙中有害物质也会再溶出，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，但施工时间较短，产生的悬浮泥沙将较快沉降，海水水质将较快恢复。同时，本项目风电场及海底电缆的施工完成后会开展增殖放流活动，保护海洋生物多样性，风电工程本身为清洁能源工程，在采取一定的防护措施前提下，对海洋环境的影响是暂时的和短期的。

根据广东省海洋生态红线区登记表（第二部分）的备注栏，“1、海洋生态红线区允许海上风电项目海底送出工程经过；”本工程属于海上风电项目，送出工程的 220kV 海底电缆穿越有关红线区，属于海洋生态红线区允许的建设工程。

表 11.2-4 本项目建设与东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区符合性分析表

功能区名称	与本项目关系	管控措施	符合性分析
东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区（105）	220kV 海缆穿越	1. 禁止围填海，禁止实施对珍稀濒危物种有影响的开发建设活动，维持自然属性；	本工程不涉及围填海，不改变海域自然属性，工程建设不会对珍稀濒危物种产生不利影响；
		2. 禁止水下爆破，控制水下噪声；	本工程建设无水下爆破，海底电缆敷设使用深埋的方式，产生的水下噪声极小；
		3. 生产设施与珍稀濒危物种集中分布区之间应保留一定距离；	本工程海上风机与红线区最近约 550m，具有一定的距离，营运期不会对红线区的生态保护目标产生不利影响；
		4. 禁止建设和使用产生高分贝噪音的设施，除进行必要的调查、科研和管理活动外，禁止进行其他活动；	本项目海缆敷设不会产生高分贝噪音；海底电缆敷设于海床以下至少 2.5m，营运期不会产生噪音
		5. 核电项目温排水扩散至海洋生态红线区的，其温排水温升范围应按照核电项目温排水管控要求执行。	本项目不涉及核电项目温排水。
功能区名称	与本项目关系	环境保护要求	符合性分析

东平镇南珍稀濒危物种集中分布区 I 区限制类红线区 (105)	220kV 海缆穿越	1. 禁止新设污染物集中排放口；	本项目不涉及新设污染物集中排放口；
		2. 禁止排放有毒、有害物质，改善海洋环境质量；	工程建设产生的污染物均得到有效的处置，不排海；对海洋环境的影响主要为悬浮泥沙，不属于有毒有害物质。

表 11.2-5 本项目建设与头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区符合性分析表

功能区名称	与本项目关系	管控措施	符合性分析
头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区 (100)	220kV 海缆紧邻	1. 禁止围填海，禁止从事可能改变或影响沙滩自然属性及邻近海域海洋动力环境的开发建设活动；	本工程不涉及围填海；项目施工产生的悬浮泥沙可能会对红线区的海洋环境产生影响，但这种影响是短暂的，会随着施工的结束而消失，因此，项目建设不会改变或者影响海域自然属性，也不会对邻近海域海洋动力环境的开发建设活动产生影响；
		2. 设立砂质岸线退缩线，区内禁止采挖海砂，在不影响砂质岸线保护前提下，可适度进行旅游开发。	本项目约 0.9km220kV 海缆紧贴红线区，海缆施工时将严格按照路由坐标敷设，不会采挖红线区海砂，不会影响砂质岸线退缩线。
功能区名称	与本项目关系	环境保护要求	符合性分析
头湾重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区 (100)	220kV 海缆紧邻	1. 加强海洋环境质量监测；	工程建设期间产生的悬浮泥沙会对海洋环境造成一定的影响，但由于施工期较短，施工结束后悬浮泥沙将较快沉降；项目运营期间不会对海洋环境产生影响；因此项目建设基本不会影响红线区的海洋环境质量；
		2. 河口实行陆源污染物入海总量控制，进行减排防治；	工程建设不涉及陆源污染物排海；
		3. 妥善处理生活垃圾，避免对毗邻海洋保护区产生影响	项目建设产生的污染物均得到有效处理，不排海，不会对毗邻海洋保护区产生影响；
		4. 本海域海水水质不劣于二类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准	工程建设期间产生的悬浮泥沙会对海洋环境造成一定的影响，但由于施工期较短，施工结束后悬浮泥沙将较快沉降；项目运营期间不会对海洋环境产生影响；因此项目建设基本不会影响红线区的海洋环境质量。

3、与大陆自然岸线红线的符合性分析

本项目登陆段占用大陆自然岸线保有的三丫港（60，44-q002），管控措施为

“维持岸线自然属性，向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动，保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。”海缆直埋登陆后，通过顶管方式穿越省道，敷设电缆沟接入陆上集控中心。登陆段海缆敷设方式是开挖缆沟，沟底填砂操平后将海缆敷设，并及时进行回填施工。海缆登陆段采用球墨铸铁套管保护，陆上段，海缆敷设在预制混凝土槽内，再回填细沙，盖上盖板，埋设深度取 1.0m。因此，登陆段虽然穿过砂质岸线，但埋设有一定深度，不属于采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动，埋设后回填不会对岸线造成影响，未改变自然岸线的自然属性，未改变自然岸线形态，电缆登陆点将布置警示牌，禁止挖砂等破坏性活动，有利于保护岸线的原有生态功能，不会减少阳江市的自然岸线保有率。

综上所述，本工程的建设符合《广东省海洋生态红线》的要求。

11.3 与相关规划的符合性分析

原环评中，项目建设与《全国海洋主体功能区规划》、《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《战略性新兴产业发展规划》、《可再生能源中长期发展规划》、《能源发展“十三五”规划》、《全国海洋经济发展“十三五”规划》、《广东省海上风电场工程规划》、《广东省海洋经济发展“十三五”规划》、《阳江市海洋经济“十三五”规划（2016-2020 年）》等相符，本补充报告不再重复分析。

11.4 建设项目的政策符合性

根据国家发展改革委于 2019 年发布的《产业结构调整指导目录（2019 年本）》，海上风电工程被列入新能源类的鼓励建设项目【《产业结构调整指导目录（2019 年本）》第一类鼓励类 五、新能源 12、海上风电场建设与设备制造】本工程为海上风电场建设项目，属于产业结构调整鼓励类项目。由此可见，本工程建设符合国家产业政策的要求。

11.5 环境影响可接受性分析

11.5.1 污染影响可接受性分析

(1) 施工期

施工期水环境影响主要来源于施工人员生活污水、船舶含油废水、生活垃圾及建筑垃圾等。

本工程施工期海上船舶生活污水经统一收集运至岸上处理，避免直接排海，不会对海洋环境造成影响。陆域施工期生活污水利用区域现有污水收集处理设施统一收集后纳管排放，不会对陆域环境造成影响。船舶含油废水由有资质公司处置，固体废弃物由环卫部门清运。

(2) 营运期

海上升压站正常运行时不产生废水，当主变压器发生突发事故或机组检修时，可能会有少量的漏油和油污水，油污水经事故油管排至事故油池，收集后送交有资质的公司进行处置，不会污染环境。

11.5.2 生态环境影响可接受性分析

(1) 施工期

工程海缆铺设将扰动水体引起悬浮物增加，对周边海洋生态环境造成一定影响。当海水中的悬浮物增加时，海水透明度相应降低，海洋浮游植物及藻类的光合作用因此受影响，初级生产力下降，影响正常食物链的传递，导致海洋动物的摄食活动也会受到影响，从而影响海洋饵料生物和经济生物的生长繁殖。施工活动对海洋生态和渔业资源影响主要集中送出电缆两侧，不会对区域生物多样性带来较大影响，通过增殖放流等措施可以减缓对海洋生态损失的影响。

(2) 营运期

风力发电的工艺流程是利用自然风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程。在生产过程中不消耗燃料，不产生污染物。

11.5.3 环境风险影响可接受性分析

工程施工过程中可能发生船舶碰撞发生溢油事故，工程海上施工允许最大风速为六级，发生溢油事故概率较低。

营运期还会产生一定的风险事故，主要为风机损坏、倒塌以及海底电缆及风机基础泥沙冲刷淘空风险，通过采取敷设软体排、加深电缆埋设等措施将环境影

响风险减少到最小。

因此，在工程的建设和运行过程中通过加强管理，确保环保措施稳定运行实施，本工程建设对环境影响是可以接受的。

12 工程生态用海方案分析

原环评报告对工程生态用海方案的环境可行性进行了分析评价,重点分析了用海布局优化、污染物排放与控制、海洋生态保护与补偿、海洋环境跟踪监测与监测能力建设内容,本次补充报告不在赘述分析。此外,风电场风机基础增加海底粗糙度,增加紊流,一定程度上可为鱼类等海洋生物提供躲避、栖息环境,起到人工鱼礁的作用。建设单位可结合风机桩基础及周围护底防冲刷设计优化结构,实现人工鱼礁效果,从而作为本项目海底生境恢复和保护的辅助措施。人工鱼礁可考虑采用钢筋混凝土块、废旧渔船船体等,结合大型海藻吊养等浮式人工鱼礁建设方式。

13 环境管理和监测计划

由于本工程投资规模、装机总容量等均未发生变化，本工程环境管理与原环评一致，原环评具体分析了建设单位、施工单位环境管理机构主要职责以及环境监理主要工作内容，本补充报告不再赘述。

考虑到相对本工程总体规模及布置而言，本次调整所涉及的海缆路由规模较小，因此本报告中原 6 个监测站位的位置不变。建议建设单位在施工和运行期对海水水质、沉积物、海洋生态和渔业资源进行观测研究，并在工程投运后 5 年内对风电场海域潮流场状况进行调查监测。具体站位的监测内容见表 13.1-1，监测站位位置如图 13.1-1 所示。

表 13.1-1 跟踪监测站位表

站位号	经度	纬度	监测内容
Z1	112°15'50.79"东	21°33'41.26"北	水质、沉积物、海洋生态、渔业资源
Z2	112°09'46.25"东	21°32'16.15"北	水质、沉积物、海洋生态、渔业资源
Z3	112°05'55.87"东	21°27'42.68"北	水质、沉积物、海洋生态、渔业资源
Z4	112°08'01.93"东	21°23'42.21"北	水质、沉积物、海洋生态、渔业资源
Z5	112°18'13.16"东	21°22'28.05"北	水质、沉积物、海洋生态、渔业资源
Z6	112°20'26.22"东	21°28'47.73"北	水质、沉积物、海洋生态、渔业资源
C1	112°11'48.90"东	21°46'37.80"北	潮间带生物
C2	112°12'59.22"东	21°44'40.20"北	潮间带生物

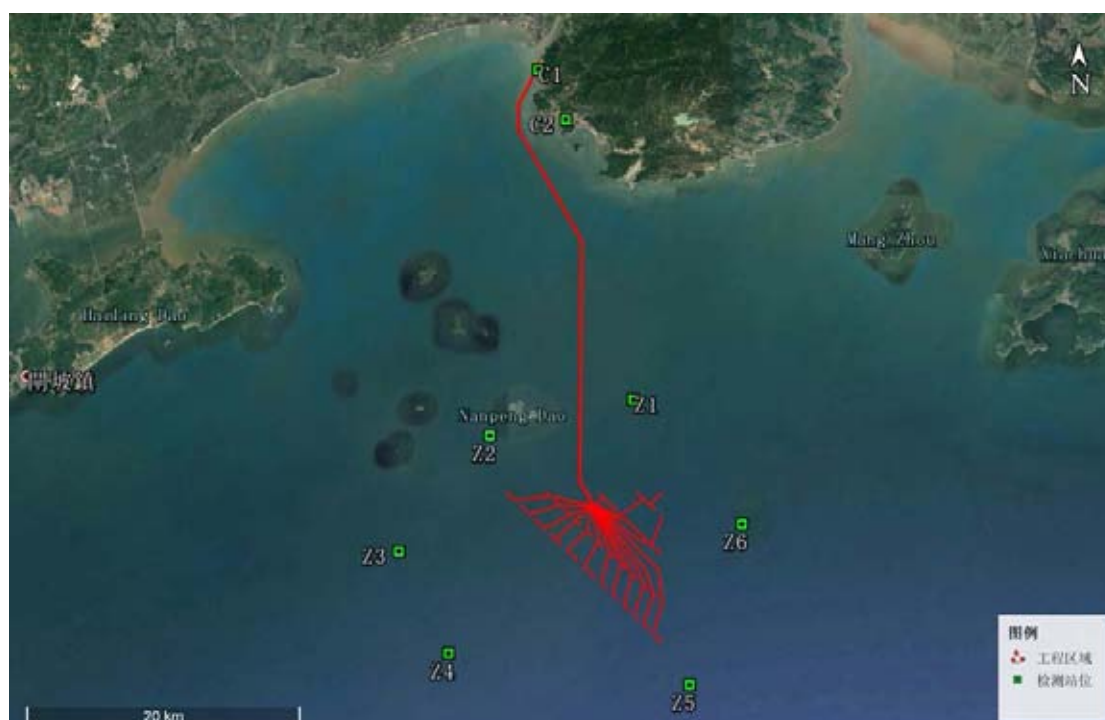


图 13.1-1 监测站位图

13.2 环保验收清单

鉴于本次调整方案改变内容较小，因此本工程方案调整后可沿用已批准的环境影响报告书所提出的环保验收要求。根据本项目建设与运行的环境影响及污染物排放特征，该风电场项目竣工后，环保验收的主要内容列于表 13.2-1，供建设单位竣工验收时参考。

表 13.2-1 环境保护三同时验收一览表

项目内容	环境要素	验收主要内容	参考要求或执行标准
风电场	1.海洋水质	施工期施工营地设置临时厕所； 营运期升压站设置污水收集设施；	施工期施工废水处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2002）建筑施工标准后回用
	2.海洋生态保护	落实海洋生态及渔业资源、渔业生产补偿；	
	3.鸟类	落实本报告中的各项鸟类影响对策设施；	
	4.风电场降噪	采用先进发电机组、机舱内表面贴服阻尼材料；	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2类标准
	5.通航安全措施	按通航报告要求落实风机基础设施防撞设施等	通航安全报告
升压站	1.电磁防护	选用带有金属罩壳的电气设备；各电压等级的配电装置 GIS 设备采用封闭式母线，对裸露电气设备采取设置安全遮拦或金属棚网等屏蔽措施	满足《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》（HJ/T24-1998）和《高压交流架空送电线无线电干扰限制》（GB15707-1995）中的相关限值要求
	2.声环境保护	选用低噪声变压器，噪声小于 70dB；主变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板	
	3.生活污水处理	海上升压站生活污水运回大陆处理	
	4.生活垃圾收集处置	设置生活垃圾手机系统，压缩后叫市政垃圾收运船外运	
环境风险事故预防	1.应急预案	将本工程应急体系纳入海事局应急体系中	
	2.事故应急设施	设置升压站事故油池	确保升压站事故含油污水不外排
	3.事故处理	有利于环境污染的恢复，将环境影响降低到最小	
	4.溢油风险防范	溢油风险防范设施落实到位	
环境管理	1.环境管理情况	设专职人员对风电场环境保护工作统一管理	
	2.环境监测计划执行情况	实施报告制定的海洋生态和环境监测计划	达到《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场强度 4kV/m、工频磁感应强度 0.1mT 公众曝露控制限值要求

14 环境影响评价结论

14.1 工程分析

14.1.1 工程概况

中广核阳江南鹏岛海上风电场工程场址位于阳江市阳东县东平镇南侧、海陵岛东南侧海域，风机包络海域面积约为 64km^2 。项目设计装机总容量为 400MW ，计划布置 73 台 5.5MW 风电机组（其中 1 台限发 4MW ），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 16 回 35kV 集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆输送到陆上集控中心。风机年上网电量为 1014.765GWh 。

14.1.2 工程方案调整内容

（1）风电机组调整方案

相较于原环评，风机位置根据地质、水深条件进行了微调，风机基础结构也变更为非嵌岩四桩导管架基础 41 台、非嵌岩单桩基础 29 台、嵌岩单桩基础 3 台。

（2）海上升压站调整方案

相较于原环评，海上升压站调整至原址南部约 1km 处，此区域水深和地质条件良好，满足升压站施工条件；上部组块由四层布置，平面尺寸变更为 $40.4\text{m}\times 36.0\text{m}$ （不包含局部外挑吊装平台）。

（3）海缆调整方案

由于海上升压站往南调整约 1km ，登陆点位置为了避开礁石也有所调整，调整后 220kV 海缆总长度为 68.34km ，增加 2.04km 。

海上升压站位置调整后，风机与风机之间的 35kV 海缆发生了变化，调整后海缆长度为 121.7km ，减少 6.3km 。

14.1.3 各阶段环境影响分析

14.1.3.1 施工期

本项目施工期主要环境影响为风机及升压站基础施工及电缆沟开挖施工导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境，并

由此可能对工程海域海洋生态环境（底栖生物和浮游动、植物）和渔业资源造成一定损害，海上施工作业也会对工程海域渔业生产产生一定影响。施工过程中产生的施工污废水、废气、扬尘、施工噪声和固体废弃物可能对工程区域环境质量造成一定污染。

工程方案调整后，单条 220kV 电缆施工的悬浮物源强为 14.26kg/s；35kV 电缆施工的悬浮物源强为 17.12kg/s。

14.1.3.2 运营期

风力发电的工艺流程是利用自然风能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程。在生产过程中不消耗燃料，不产生污染物。本工程建设不会改变已核准工程方案的发电规模和风电机组机型，仅改变海上升压站位置、风机位置和海缆敷设，方案调整不会对运营期各项环境影响程度、范围及对各环境敏感目标影响程度造成改变。

14.2 主要环境影响预测

14.2.1 水文水动力环境

工程方案调整后，海上升压站位置、风机位置以及海缆路由发生调整，但工程方案调整后工程区域水文动力环境影响与已核准的工程方案基本一致。

(1) 工程建设引起的流场改变只局限于桩基附近的很小范围内，其余大范围的计算域内的流场几乎不存在改变。桩基引起的流速改变的幅度和范围较小，流速最大改变幅度为 15cm/s；桩基两侧，流速最大改变幅度为 7cm/s；流速变化规律与原环评结论基本一致。

(2) 工程的建设会导致敏感目标的水动力环境发生轻微变化，但这种变化的影响很小，不会对其正常生产和使用造成影响。

14.2.2 地形地貌与冲淤环境

工程方案调整后，风机基础型式、风机布置以及海上升压站位置有一定的微调，大体不变，因此本次预测与原环评相比，工程区冲淤形态基本一致。

工程实施后风机前后（涨、落急潮流方向）为主要的淤积区域，风机两侧（垂直于涨、落急潮流方向）为主要的冲刷区域，风电场区域以淤积为主，同时风电场区域两侧发生冲刷条。最大淤积幅度为 0.08m/a，最大冲刷幅度为-0.05m/a。周

边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

14.2.3 水质环境

(1) 施工点周围悬浮泥沙在逐渐沉降的过程中颗粒逐级细化，细颗粒泥沙可随海流输移至更远的海域。人为增加悬浮物高浓度面积较小，而低浓度区的面积相对较大。

(2) 本报告采用三维模型预测了项目施工产生的悬浮沙对周边环境的影响，底层影响面积相对较大，超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 4.581km²；增量浓度>20mg/L 的面积为 1.901km²；增量浓度>50mg/L 的面积为 0.638km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.000km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.000km²；相较于原环评，各类超标面积均有所减小。

(3) 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。

14.2.4 海洋生态和渔业资源

14.2.4.1 施工期

(1) 对浮游生物的影响

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。

(2) 对底栖生物的影响

电缆沟开挖完全改变施工区附近底栖生物的生境。海底电缆铺设造成底栖生物资源损失 281.46t、潮间带生物 0.712t；风机基础长期压占造成的底栖生物资源损失量估算结果为 0.184t。

(3) 对渔业资源的影响

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。

14.2.4.2 营运期

本次工程方案调整所涉及的升压站运营期对海洋生态的影响主要是基础压占对底栖生物的生境造成永久的破坏，相应的生物资源损失与方案调整前几乎一致。

海底电缆在工程建成后不会新增污染物产生与排放，其对海洋生态环境的影响主要反应在水下电磁场对海洋生物的影响。海底电缆在埋设海底下 2.5m 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，对该海域中主要的海洋生物资源的影响不明显。

14.2.5 沉积物环境

工程方案调整后，施工船舶数量未发生变化，施工船舶将产生生产废水、生活污水和垃圾等，需严格做好施工期管理、监理和监测的工作，防止区域海水水质污染，保护沉积物环境。

14.2.6 其它环境影响

14.2.6.1 声环境影响

(1) 施工期

工程风机基础施工期钢管桩撞击打桩所产生的水下冲击波噪声将对工程海域的海洋生物产生一定影响。本项目风机场与南鹏列岛海洋省级自然保护区距离约 2km，与阳东县头芦排海洋生态县级自然保护区距离约为 4km，风机基础打桩施工所产生的水下噪声可能会对鱼类的某些行为产生影响。

由于施工期相对时间较短，同时鱼类等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”，以驱赶海洋鱼类、中华白海豚游离作业区到安全海域。

(2) 运营期

风电场运营期总体的水下噪声强度比较低，对本工程风电场海域的海洋生物不会带来明显影响。同时，要深入研究风电场运营期水下噪声对海洋生物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等工作。

14.2.6.2 电磁场环境影响

风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。对于 35kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降为 10^{-6} T 以下，对海洋生物影基本上没有影响。建议相关单位进一步开展此方向

的研究，并在项目营运期进行海底电缆等电磁环境的跟踪监测。

14.3 环境事故风险

由于本工程规模及施工方案等未发生变化，项目方案调整施工及所涉及的环境风险主要为海缆埋设作业所涉及的通航环境风险、船舶碰撞溢油风险、海底电缆风险等。针对可能发生的环境事故，原环评已提出相应的事故防范措施，采取措施后，风险事故的发生概率可明显降低，事故发生对环境的影响可明显减小。

14.4 环境保护对策措施

14.4.1 施工期环保措施

海上施工船舶施工污染物应按照海上施工作业规范及相关法规、规范、标准要求处理达标后排放或运至陆上处置。

针对本项目主要的对渔业生产、鸟类和自然岸线的不利影响，建议落实下列保护措施：

(1) 避免在鱼类产卵高峰期、鸟类迁徙、集群的高峰期进行施工；(2) 优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间，控制施工范围，保护自然岸线；(3) 施工应该避免恶劣天气，保障施工安全和避免悬浮物剧烈扩散。(4) 对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成的损失，应加强沟通，落实对捕捞渔民的补偿。

14.4.2 营运期环保措施

本项目在正常运行下，为减少工程建设对海洋生态和渔业资源的影响，实施以增殖放流为主的生态修复措施。建议通过加强管理、建立长期、系统、实时的鸟类监测计划和方案来降低撞击风险；构建区域鸟类迁徙信息系统，根据积累的区域鸟类迁徙格局来调整风电场风机运转时间，以避免迁徙高峰，减少对迁徙鸟类的影响。

此外，对于风机和升压站的噪声和电磁场污染，建议通过采取在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构辐射噪声。做好变电站的维护保养工作，保证带电设备具有良好的接地，减少火花放电，避免间歇性放电。

14.5 综合评价结论

本工程建设符合我国可持续发展能源战略，增加电力供应并改善地区电源结构，社会效益、经济效益和环境效益明显。本工程性质、场址、规模、生产工艺和原环评相比维持不变，仅海上升压站位置、风机位置及海缆路由发生调整。工程方案调整后，项目实施对海域自然、生态环境和渔业资源造成的影响和损失以及环境风险程度与原环评的环评结论相比基本一致，通过采取渔业资源修复补偿措施、风险防范措施和各项环境保护措施可予以减轻。在落实本报告提出的各项环保措施并实行跟踪监督管理的前提下，不存在制约本工程建设的环境因素。从环境影响角度评价，工程调整方案环境可行。