

海上浮式风电装备试验场工程项目
海域使用论证报告表
(公示稿)

广东海洋大学
二〇二一年七月

论证报告编制信用信息表

论证报告编号	4408252021000761		
论证报告所属项目名称	海上浮式风电装备试验场工程项目		
一、编制单位基本情况			
单位名称	广东海洋大学		
统一社会信用代码	1244000045625261X8		
法人代表	潘新祥		
联系人	王洗民		
联系人手机	13828238085		
二、编制人员有关情况			
姓名	信用编号	本项论证职责	签字
王洗民	BH001457	论证项目负责人	王洗民
杨少瑕	BH001458	1. 概述	杨少瑕
徐志杰	BH001463	3. 项目所在海域概况 4. 项目用海资源环境影响分析	徐志杰
王洗民	BH001457	9. 结论与建议 10. 报告其他内容	王洗民
朱银玲	BH001461	8. 海域使用对策措施	朱银玲
梁文雅	BH001466	5. 海域开发利用协调分析 6. 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析	梁文雅
邓伟堂	BH001465	2. 项目用海基本情况 7. 项目用海合理性分析	邓伟堂
<p>本单位符合海域使用论证有关管理规定对编制主体的要求，相关信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密，如隐瞒有关情况或者提供虚假材料的，愿意承担相应的法律责任。愿意接受相应的信用监管，如发生相关失信行为，愿意接受相应的失信行为约束措施。</p> <p style="text-align: right;">承诺主体(公章)</p> <p style="text-align: right;">2021年7月15日</p>			

目 录

1 项目概况及用海必要性分析	2
2 项目所在海域概况	15
3 项目用海资源环境影响分析	46
4 海域开发利用协调分析	83
5 项目用海与海洋功能区划及相关规划的符合性分析	88
6 项目用海合理性分析	101
7 海域使用对策措施	108
8 结论与建议	121

申请人	单位名称	广东海装海上风电研究中心有限公司			
	法人代表	姓名	王**	职务	执行董事
	联系人	姓名	刘**	职务	项目经理
		通讯地址	湛江市经济开发区绿华路 48 号华都汇		
项目用海基本情况	项目名称	海上浮式风电装备试验场工程项目			
	项目性质	公益性	√	经营性	
	投资金额	30000 万元		用海面积	161.6628 公顷
	用海期限	28 年			
	占用岸线	0m		新增岸线	0m
	用海类型	科研教学用海			
	各用海类型/作业方式		面积		具体用途
	透水构筑物用海		3.5828 公顷		风机基础
	海底电缆管道用海		51.6024 公顷		海底电缆
	锚地用海		106.4776 公顷		锚固风机基础

1 项目概况及用海必要性分析

1.1 项目概况

(1) 项目名称

海上浮式风电装备试验场工程项目

(2) 申请人

广东海装海上风电研究中心有限公司

(3) 用海位置

项目位于湛江市徐闻县，处于琼州海峡东口，徐闻罗斗沙海域，场址中心距离岸线直线距离约 15km。地理位置见图 1.1-1。



图 1.1-1 本项目地理位置示意图

(4) 项目投资及建设工期

本项目总投资估算 30000 万元，计划建设期为 9 个月。

(5) 论证工作由来

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

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

2009 年 4 月，根据国家能源局下发的《关于印发海上风电场工程规划工作大纲的通知（国新能（2009）130 号）》的要求，广东省启动海上风电场址规划及海上风电输电规划工作，规划工作由省能源局牵头，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司（以下简称“广东院”）具体执行。2011 年 6 月，广东省海上风电场工程规划报告正式报送国家能源局；2011 年 7 月，《广东省海上风电工程规划》通过水利水电规划总院审查；2012 年 8 月，《广东省海上风电场工程规划》获得国家能源局批复。《广东省海上风电场工程规划》报告共规划了广东沿海 26 处候选海上风电场址，规划总装机容量合计 1071 万 kW。

2016 年 9 月，广东省政府要求广东省发展和改革委员会组织对广东省的海上风电场资源做进一步规划研究，在原广东省海上风电工程规划的基础上，编制广东省海上风电发展规划，以充分利用我省海洋风能资源，促进我省海上风电设计咨询、海洋装备制造、海上工程施工建造等新兴产业的发展，为我省国民经济继续保持高速发展提供新动力。中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司承担了本次《广东省海上风电发展规划》的编制，本次规划对原广东省海上风电场工程规划的场址进行了进一步的梳理，剔除了与海洋功能区划规划、近海航道规划以及军事用海有矛盾的场址，并考虑到目前国际上海上风电的发展趋势，新补充了一批离岸较远，水深较深的场址，在深水场址，原有的风电安装模式受到诸多限制，大大增加了施工难度工程费用。因此，海上漂浮式风电装备试验场工程项目的工作对今后的深水场址风电项目的顺利开展具有重要的示范带头意义。

开发海上风电场项目符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，对于推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，实现绿色发展，满足湛江地区社

会经济发展需要提高风电场近区供电能力都有着重要的意义,在海上漂浮式风电装备试验场工程项目工作的基础上,可利用风电场址的范围扩大了,未来可以更好地开发利用良好的风能资源,向电网提供清洁的可再生能源。该风电场的建设还可以促进国内大型海上风电机组的技术进步,带动我省乃至全国海上风电产业链的发展。

本项目选址于琼州峡东口,徐闻罗斗沙域属全国流速最高的海域,场址中心距离岸线直距离约 15km,机组涉海区域水深 50 m-70m。本项目申请用海面积 161.6628 hm²,其中,透水构筑物用海 3.5828 hm²,锚地用海 106.4776hm²,海底电缆用海 51.6024 hm²。不占用海岸线、岛岸线。本项目建设估算资金约 30000 万元,施工工期为 9 个月。

受广东海装海上风电研究中心有限公司委托,广东海洋大学开展本项目海域使用论证,现已开展了现场踏勘、海洋环境质量调查、收集资料等相关工作。依据《中华人民共和国海域使用管理法》、广东省海域使用管理条例等法律、法规的规定,编制了本项目的海域使用论证报告表,并上报海洋主管部门审批。

(6) 编制依据

1)《中华人民共和国海域使用管理法》,2001 年 10 月 27 日第九届全国人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过;

2)《中华人民共和国海洋环境保护法》,2016 年 11 月 07 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十四次会议修正;

3)《中华人民共和国海岛保护法》,2009 年 12 月 26 日十一届全国人大常委会第十二次会议通过;

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

5)《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》,2018 年 3 月 19 日《国务院关于修改和废止部分行政法规的决定》修订;

6)《海域使用权管理规定》,国海发[2006]27 号,国家海洋局;

7)《关于印发〈海域使用论证管理规定的通知〉》,国海发[2008]4 号,国家海洋局;

8)《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》,2020 年 4 月 29 日第十

三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议第二次修订；

9)《国家海域使用动态监视监测系统总体实施方案》，国家海洋局，2006；

10)《海域使用权登记办法》，国海发 [2006]28 号，国家海洋局；

11)《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，国函 [2012]182 号，国务院；

12)《广东省海域使用管理条例》，广东省人大常委会，2007 年；

13)《广东省环境保护规划纲要（2006-2020）》（粤府 [2006]35 号），广东省人民政府，2006 年；

14)《广东省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要（2016-2020 年）》，粤府 [2016]35 号；

15)《海域使用论证技术导则》，国家海洋局，2010 年 8 月 20 日。

1.2 项目建设内容及规模

本项目安装一台单机容量为 5MW 级别浮式风电机组，主要包括一台风力发电机、35kV 场内送出海缆等工程项目。其中 35kV 场内送出海缆接入广东湛江外罗海上风电场的风机。

（1）风机基础

风机基础形式采用浮式基础平台，基础平台为三立柱半潜式平台，呈等边三角形布局，由立柱、垂荡版、下浮体以及方形横撑、系泊锚链构成。基础平台半径为 430m。风机基础用海面积 110.0604hm^2 ，其中透水构筑物用海面积 3.5828hm^2 ，锚地用海 106.4776hm^2 。

（2）海底电缆

本项目 35kV 海底电缆采用单根三芯的海底电缆，电缆自身直径 15cm。送出海缆路由全长约 25.77 公里，海底电缆管道用海面积 51.6024hm^2 。

1.3 论证等级

根据《海域使用论证技术导则》（2010 年）关于海域使用论证等级的判据，本项目申请透水构筑物用海 3.5828hm^2 ，锚地用海 106.4776hm^2 ，海底电缆管道用海 51.6024hm^2 。本项目海域使用论证等级判定如下表所示，论证等级为三级。

表 1.3-1 海域使用论证等级判据（摘选）

一级用海方式	二级用海方式		用海规模	所在海域特征	论证等级
构筑物用海	透水构筑物用海	其他透水构筑物用海	构筑物总长度≥2000m；用海总面积≥30 公顷	所有海域	一
			构筑物总长度（400～2000）m；用海总面积（10～30）公顷	敏感海域	一
				其他海域	二
			构筑物总长度≤400 m；用海总面积≤10 公顷	所有海域	三
开放式用海	专用航道、锚地及其他开放式	其他锚地	所有规模	所有海域	三
其他用海方式	海底电缆管道	海底电（光）缆	所有规模	所有海域	三
等级划分补充规定： 同一项目用海类型、规模或者方式规定的等级不一致时，采用就高不就低的原则；其他用海根据用海类型、规模、方式，参照本表确定的海域使用等级。					

表 1.3-2 本工程海域使用论证等级

本项目用海方式		本项目用海规模	确定本项目论证等级
一级用海方式	二级用海方式		
构筑物用海	透水构筑物用海	3.5828hm ²	三
开放式用海	专用航道、锚地及其他开放式用海	用海面积 106.4776hm ²	三
其他用海方式	海底电缆管道	用海 51.6024hm ²	三
本工程			三

1.4 论证范围

根据《海域使用论证技术导则》（2010）有关规定，论证范围“以项目用海外缘线为起点进行划定，一级论证向外扩展 15km，二级论证 8km；跨海桥梁、海底管道等线型工程项目用海的论证范围划定，一级论证每侧向外扩展 5km，二级论证 3km。”本项目采用线型工程二级论证论证范围的规定，在项目用海位置两侧外扩 3km，论证范围如图 1.4-1 所示。

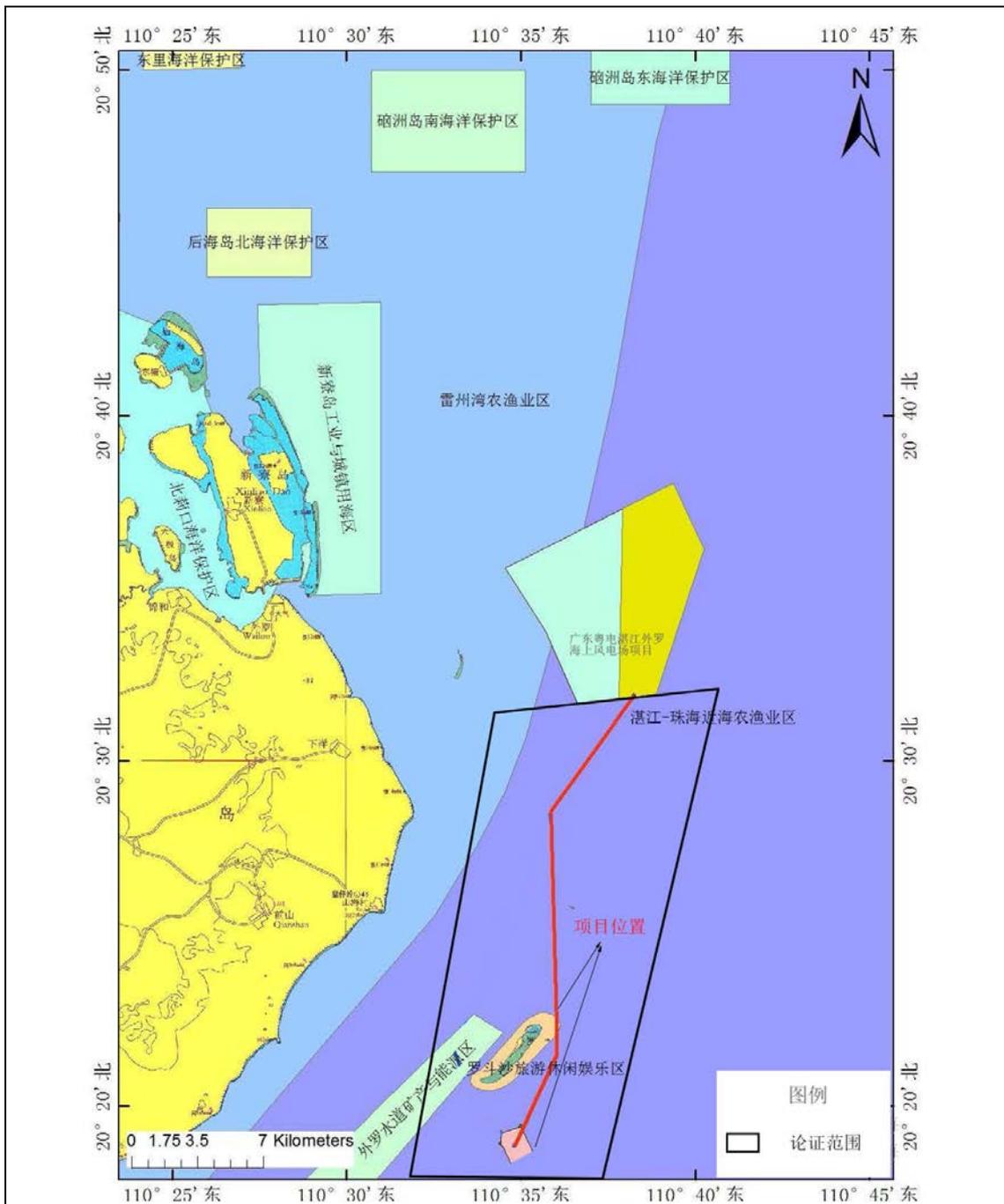


图 1.4-1 论证范围

1.5 论证重点

通过对项目使用海域及附近海域海洋自然条件、资源和环境的调查，经分析确定本报告书论证重点为：

- (1) 用海必要性分析；
- (2) 选址（线）合理性；
- (3) 用海方式和布置合理性；

(4) 用海资源环境影响分析；

(5) 海域开发利用协调分析。

1.6 项目平面布置

1.6.1 项目用海总平面布置

(1) 风电机组

本工程风机布置综合考虑密度、风电机组利用率、湍流、叶片污染、气候影响停机、场用电等因素，机型为 5MW 级别，规划容量为 5MW 级别，单位占海为 14.48km²/10 万 kW。

(2) 海底电缆

海底电缆采用 35kV 三芯电缆，风电机组发出的电能通过 35kV 海底电缆，向东北方向延伸 5.28km，到达徐闻大黄鱼幼鱼资源特别保护区东侧约 60m 处 B1 点，该点位于 -5m 等深线以深范围。之后向北方向延伸 1.69km，到达徐闻大黄鱼幼鱼资源特别保护区和罗斗沙旅游区之间的 B2 点，该点距离徐闻大黄鱼幼鱼资源特别保护区约 16m，距离罗斗沙旅游区约 19m，水深 -2m 以上。之后继续向北偏西方延伸 11.36km，近垂直穿越外沙航道，到达 B3 点，该点避开了出露的红眉沙，距离红眉沙约 500m。之后避开了浅水区域、高长沙和鱼棚沙，向东北方向延伸 7.43km，通过在两个浅水区域的中间较深海域，到达广东粤电湛江外罗海上风电场项目二期项目的 63 号风机位置点。路由总长约 25.77km。

1.6.2 水工建筑物

该浮式风电装备主要分为：浮式风电机组、浮动平台、系泊锚固系统和输电系统四部分。其中，风力发电机组安装在浮动平台上，浮动平台作为风电机组安装的基础，利用浮力来维持整个系统的平衡；系泊锚固系统又将浮动平台连接在海床上，将系统的浮动限定在一定范围内；输电系统，实现电能传输。

针对机位点海域的特殊情况，浮动平台选定为半潜式浮体结构形式。其构型如图 1.6-1 所示：整体为一个等边三角形，由三个立柱、下浮体和上部方形撑杆组成，风机布置于其中一个立柱上方。采用 9 点系泊方案，呈对称式分布；采用锚链型式锚链。

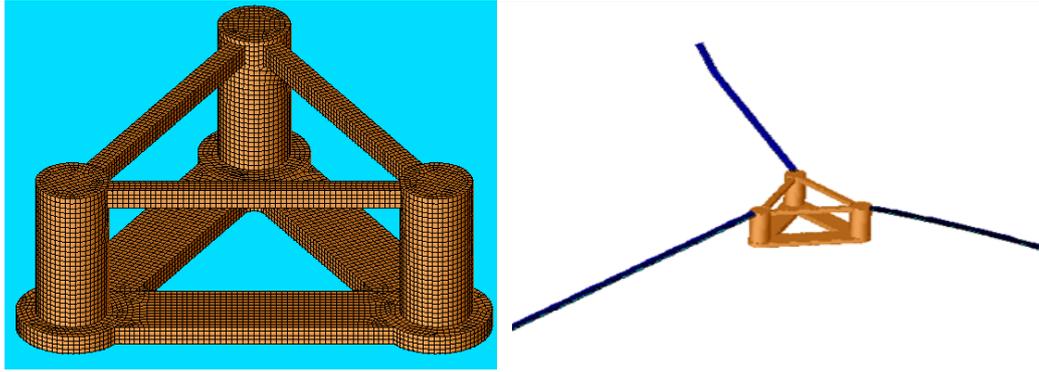


图1.6-1 浮式平台

总体布置如图1.6-2所示,本平台的主要作用是为海上风力发电机组以及各种海上试验系统与设备提供支持。平台采用柱稳式平台构型,呈等边三角形布局,由立柱、垂荡板、下浮体及方形横撑构成。主尺度信息如表1.6-1所示,平台总长71.96m,型深33m,型宽80m,设计吃水18.0m,设计排水量约15600t。

本平台由立柱、垂荡板、下浮体及方形横撑组成,方形横撑底部位于波峰以上不接触水面,避免波浪的砰击作用。下浮体位于水线以下,水线面面积主要为立柱的横截面积,这种半潜型设计能有效减少波浪引起的平台运动响应及载荷。

表1.6-1 浮式平台主尺度

序号	名称	参数
1	总长	71.96m
2	型深	28.5m
3	型宽	80m
4	吃水	18m
5	立柱间距	60m
6	立柱直径	13m
7	立柱高度	29.5m
8	下浮体宽度	14m
9	下浮体高度	3.5m
10	垂荡板直径	20m
11	上部撑杆宽度和高度	3.5m
12	排水量	15560t
13	平台重量	3500t

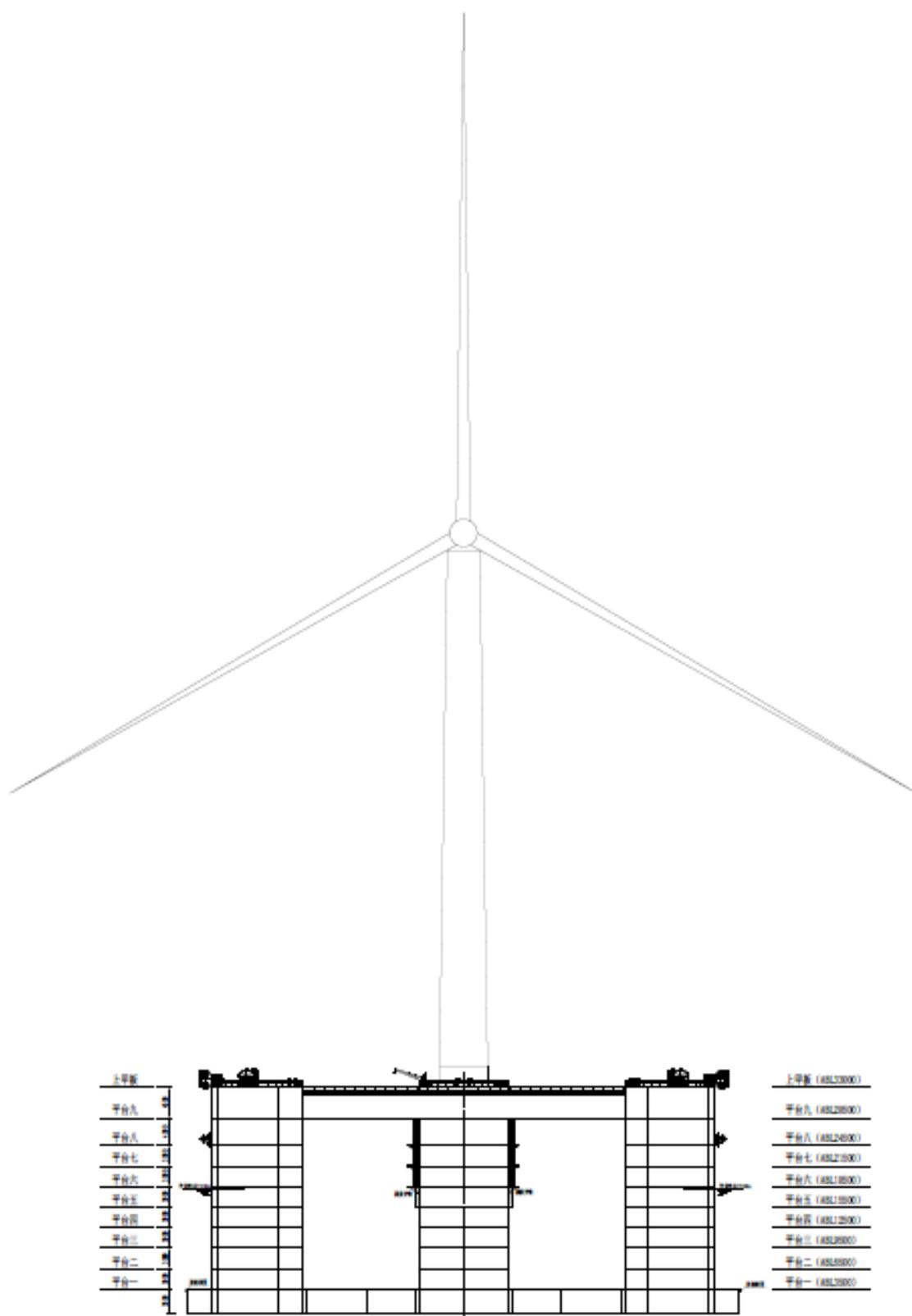


图1.6-2 总布置图

1.6.3 施工方案

海上浮式风电机组：规划 1 台单机装机容量为 5MW 级别的海上浮式风电机组，风机基础采用半潜型浮式基础平台。海上浮式风电机组采用履带吊在安装码头拟采用分体式吊装方式。海上浮式风电装备的运输分为浮体基础运输和整体运输两个阶段。其专项工程施工方案如下：

(1)海上浮式风电装备运输

待海上浮式风电装备建造完成后，海上浮体平台从建造场地运输至风电机组安装码头，拟采用湿拖或干拖的方式进行运输。海上风电机组从制造厂运输至风机安装码头，拟采用海运的方式。

(2)海上浮式风电装备码头组装

拟采用履带吊在安装码头采用分体式吊装方式，将海上浮式风电机组与海上浮体平台进行组装。

(3)海上浮式风电装备整体运输

待海上浮式风电装备组装、调试完成后，从安装码头将海上浮式风电装备整体运输至机位点系泊。

(4)浮体平台系泊

在风电机组到达机位点前，3 个方向共计 9 条系泊链已提前铺设在海底，机组到达机位点后，现场采用起重船将系泊链接头端与浮体平台的系泊锚机端进行连接；完成所有锚链连接后，调整浮体平台的压载至设计要求，随后启动系泊锚机调节系泊张力。

35kV 海缆预敷设：规划 1 根 35kV 送出海缆，海缆由动态缆和静态缆组成，其专项工程施工方案如下：

根据施工总体计划，将电缆由制造地直接运至海缆路由起 / 止点由电缆敷设施水下机器人预先敷设，根据事先设定的施放张力、速度、埋设深度沿海缆路由敷设。敷设完成后，在起止点设置标记，待浮式机组拖至机位点抛锚系泊具备电缆安装条件后，将电缆起止点提起分别与机组和登陆点或接入点进行对接。

锚链预铺：锚链共 9 道，每道锚链由两种不同等级、规格的链条及附件组成；由锚链铺设施工船先将任一根躺底段锚链按抛锚点坐标正常施放，在即将完成躺底段铺设前，连接悬垂段锚链，然后继续顺着机位点方向施放，完成后整体放置于海底。重复上述操作完成剩余 8 道锚链。

1.6.4 施工安全防护措施

- (1) 施工期按规定采取防范措施，确保人员、设备、工程主体的安全。
- (2) 施工中可能遭受台风侵袭，应充分做好防护措施。

1.6.5 施工进度计划

本项目施工期安排在 2021 年 6 月~12 月，项目浮动平台和锚固系统建造委托相关资质公司建造，建造完成后运输至码头组装，工程进度安排详见表 1.6-2。

表 1.6-2 工程进度计划表

项目	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
施工准备	■								
浮动平台和锚固系统建造		■	■	■	■	■	■		
风电机组与浮动平台运输与锚固							■	■	■
海底静态电缆敷设							■	■	■
竣工验收									■

海上浮式风电装备试验场工程项目宗海界址图

S2021018

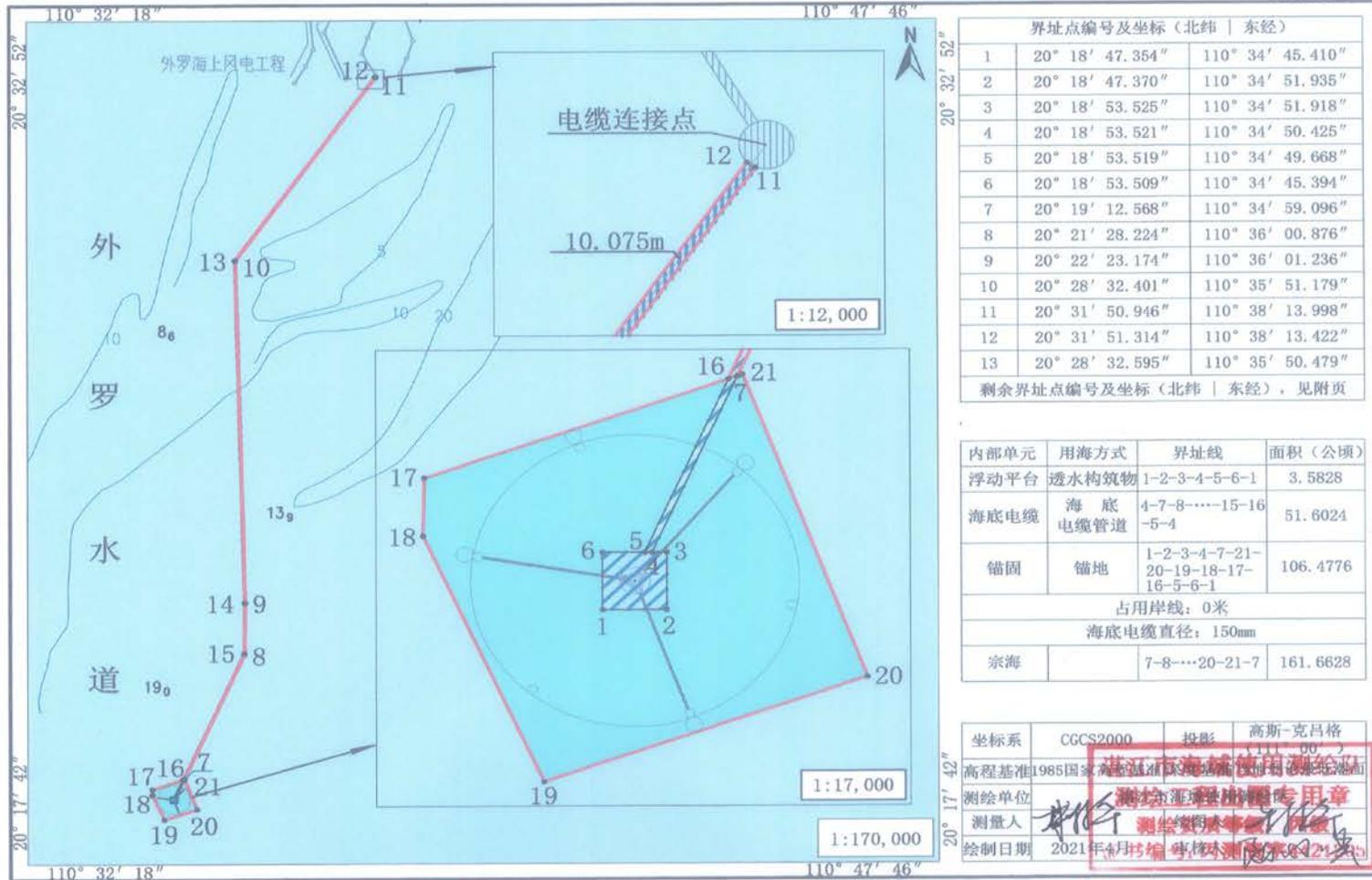


图 1.8-2 项目宗海界址图

2 项目所在海域概况

2.1 自然概况

2.1.1 气候特征

湛江市位于祖国大陆最南端，广东省西南部，东经 109°31'~110°55'、北纬 20°~21°35'之间，包括雷州半岛全部和半岛以北一部分。东濒南海，南隔琼州海峡与大特区海南省相望，西临北部湾，西北与广西壮族自治区的合浦、博白、陆川县毗邻，东北与本省茂名市属茂南区和化州、电白县接壤。市区位于雷州半岛东北部，东经 110°4'、北纬 21°12'。

湛江市地处北回归线以南，属热带、亚热带过渡地区，为热带、亚热带海洋性季风气候，日照充足，光热丰富，雨量充沛，干湿明显，夏长冬短，无霜期，气候条件好。冬季偶有寒冷，夏秋之间有台风，暴雨频繁等特点。根据湛江市气象科技信息服务中心提供的多年气象资料，并参考相关资料，对湛江海域的气候特征及各气象要素进行分析。

(1) 气温

湛江属热带北缘气候，日照强，终年高温，长夏无冬、春早秋迟。温度年变化不大，日变化也较小。湛江海域多年平均气温 23.3℃，多年最高温度在 34.9~36.8℃ 之间，年最低温度在 4.7~8.2℃ 之间。月平均气温以 7 月最高，为 28.8℃；1 月最低，为 15.4℃。

(2) 降水

湛江濒临热带海洋，常受海洋暖湿气流影响，具有相对充足的水气来源和水气输送条件，降水主要来自中纬度的锋面、低槽和源自热带气旋、台风、热带辐合带等多种系统引起。因此，湛江地区年降水量相对丰富，各月均有降水，年降水日数平均为 136 天。

根据气象资料显示，湛江海域多年平均降水量 1698.8mm。一般 4~9 月为雨季，占全年降水量的 84%；8 月多年平均降水量最大，为 333.8mm；1 月多年平均降水量最小，为 22.7mm。多年平均最大降水量为 2314.5mm(2001 年)，年平均

最小降水量 1068.5mm (2004 年),日最大降水量为 297.5mm (2000 年 5 月 10 日)。多年平均降水日数 179 天,其中 2012 年降水日数最多,为 227 天;2007 年最少,为 150 天。

(3) 风

湛江地区季节风明显,每年 4~9 月盛行东~东南风,10~3 月盛行北和偏东风。常风向为东风,频率为 17%;其次为东南东风,频率为 15.38%;无风频率占 2.23%。强风向为东南东风,平均风速为 3.69m/s;其次为北北西风,平均风速为 3.68m/s。年平均风速为 3.2m/s。沿海地带 6~9 月份易受台风影响 4~5 次,风力可达 10~11 级。风力 6 级以上年平均日数 72 天;风力 8 级以上年平均日数 7 天,1980 年达 18 天。

(4) 雾

湛江三面环海,属多雾区域,影响湛海域的雾主要是海雾,属平流雾,一天中海雾多数出现在半夜到次日 8~9 时,有时下午 5~6 时以后也会发生,但中午时雾一般均已消散。浓雾主要发生在冬春两季,10 月开始出现浓雾,以后逐月增多,到 3 月最多;5~11 月基本上无浓雾发生。多年平均雾日数 28 天;2005 年最多,为 51 天;2002 年最少,为 9 天。

(5) 湿度

湛江地处滨海,常年受到来自海洋的气流影响,湿度相对较大,年平均相对湿度为 81.4%。春季相对湿度最大,3、4 月份相对湿度接近 90%;最小相对湿度出现在秋末冬初季节,11 月和 12 月最小,分别为 66.7%和 69.5%。

(6) 雷暴

湛江地区地处低纬度,三面临海,水气丰富,因地形及天气系统影响,成为全国雷暴多发区域。多年平均雷暴日数为 75 天,最多为 93 天(2012 年),最少为 65 天(2000 和 2009 年),主要集中在 5~9 月份。

另根据《湛江市志》记载,全市年平均雷暴日数,吴川与市区为 84.7~92.3 天,廉江、遂溪、雷州与徐闻为 102.4~108.2 天,尤其以雷州和徐闻雷暴最多。

市区出现雷暴最多集中在 8 月份，月平均 17.4 天，多出现在午后。

雷暴多半随着暴雨、大雨、大风发生，此外，阴天、一般雨天亦可能会出现，出现时间无固定规律，视具体情况终止相关易受雷暴影响的行业作业。

2.1.2 地形地貌与工程地质

(1) 海底地形

本项目用海位置位于南海西北部，广东西部沿岸陆架上，所处海域地形起伏较大。区域水深在 2m~70m 之间，整体处于广东沿岸陆架水下缓坡，无发育大型隆起或洼地等地形单元。总体地形特点为水深缓慢由北向南逐渐增大，其中穿越了两个水道和三处水深较浅处。风电场场址水深范围介于 40-70m，基本呈现出南北高中间低的态势。

(2) 海底地貌

本项目位于南海西北部近岸海域，是华南大陆架水下自然延伸，属被动大陆边缘被海水淹没的陆地。一级地貌为陆壳地貌，二级地貌为海岸带地貌及陆架地貌。海底地貌对沿海陆地构造单元具有继承性。此外，地貌发育还受到海平面变化、入海河流输沙、潮流、波浪、海底沉积环境、海岸类型等诸多因素控制，形成复杂的近岸微地貌组合形态。研究区域全新世海进后才被海水淹没，海底地貌发育年轻，离岸地貌类型较为单一，近岸河流带入部分陆源碎屑，并参与现代海洋沉积过程，因此，近岸地貌受河流的动力作用影响较大。

本项目所在海域的地貌类型主要有水下沙坝、水下浅滩和水下岸坡和陆架堆积—侵蚀平原，见图 2.1-1。

本项目部分在琼州海峡水下冲刷槽内，海底电缆则主要在潮流三角洲和水下三角洲内。

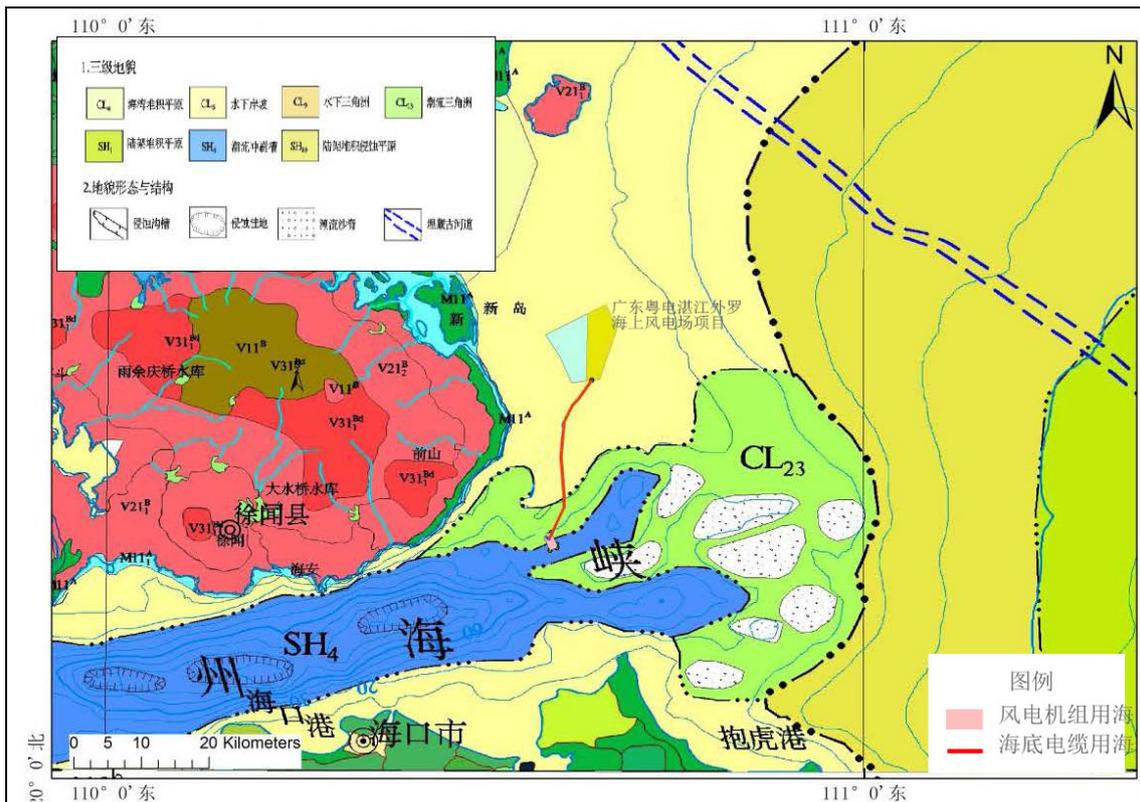


图 2.1-1 项目所在海域主要地貌分布图

(3) 工程地质

工程地质特征主要参考《广东粤电湛江外罗海上风电场项目岩土工程勘察报告（工程可行性研究阶段）》。勘察海域内自上而下地层为第四系全新统海陆交互相和冲洪积相的砂土及粘性土层（①层）、第四系中更新统石卯岭组玄武岩层（②层）、第四系中更新统一早更新统北海组的粘性土及砂土层（③层）、第四系早更新统湛江组的粘土和砂土层（④层），各大层根据工程性质的差异分为若干个亚层，厚度大于 60m。各地层特征详述如下：

①1 粉细砂：灰色，灰黄色，饱和，松散—稍密，颗粒级配不良，含少量粘粒，局部含少量贝壳碎片。本层在部分区域连续分布于表层，厚度不均，平均层厚 5.43m(0.4m~14.4m)，平均层顶标高-5.92m(-10.48m~-0.94m),平均层底标高-12.32m(-26.13m~-7.35m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $\alpha_c=34.0^\circ$ ， $\alpha_m=27.0^\circ$ ， $N=9.8$ 击；本层强度较低。

①2 粉细砂：灰色、灰黄色、灰绿色，饱和，中密~密实，局部极密实，颗

粒级配不良，含少量粘粒，局部含少量贝壳碎片。本层在大部分区域内连续分布，厚度不均，平均层厚 9.99m(2.2m~21.9m)，平均层顶标高 -9.61m(-17.95m~-3.00m)，平均层底标高 -19.61m(-27.65m~-13.13m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $ac=34.2^\circ$ ， $am=27.2^\circ$ ， $N=30.7$ 击；本层强度较高。

①3 粘土：灰色，饱和，软~中等，粘性大，局部夹薄层细砂，局部混较多粉细砂。平均层厚 2.80m(0.7m~4.6m)，平均层顶标高 -23.07m(-26.13m~-19.94m)，平均层底标高 -25.87m(-29.23m~-23.85m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $W=49.2\%$ ， $p=1.73\text{g/cm}^3$ ， $e=1.370$ ， $IL=0.89$ ， $Cq=27.7\text{kPa}$ ， $\varphi q=1.9^\circ$ ， $Cc q=28.7\text{kPa}$ ， $\varphi c q=10.0^\circ$ ， $av1-2=0.604\text{MPa}$ ， $N=4.0$ 击；本层属高压缩性土层，强度较低。

②中风化玄武岩：灰黑色，岩质坚硬，板状结构，气孔构造，岩芯呈短柱状~柱状，局部碎块状。本层厚层不均，平均层厚 4.22m(0.7m~8.4m)，平均层顶标高 -13.10m(-20.15m~-8.03m)，平均层底标高 -17.32m(-21.95m~-12.68m)。

本层饱和单轴抗压强度 $f_{ik}=64.3\text{MPa}$ ，强度高。

③1 粘土~粉质粘土：灰黄色、黄褐色、青灰色，湿，坚硬，粘性较大，局部夹薄层粉细砂。平均层厚 2.51m(0.6m~5.0m)，平均层顶标高 -22.00m(-31.55m~-13.63m)，平均层底标高 -25.39m(-36.95m~-15.33m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $W=34.2\%$ ， $p=1.86\text{g/cm}^3$ ， $e=0.990$ ， $IL=0.40$ ， $r=3.09\Omega\cdot\text{m}$ ， $Cq=46.5\text{kPa}$ ， $\varphi q=12.1^\circ$ ， $Cc q=24.3\text{kPa}$ ， $\varphi c q=21.6^\circ$ ， $qu=110.8\text{kPa}$ ， $av1-2=0.273\text{MPa}$ ， $N=21.0$ 击；强度中等。

③2 粉细砂：灰黄色、黄褐色，饱和，松散~稍密，局部中密，颗粒级配不良，含少量粘粒，局部混较多粘性土，呈砂混粘性土状。平均层厚 5.03m(3.2m~7.0m)，平均层顶标高 -27.82m(-30.55m~-23.85m)，平均层底标高 -33.28m(-36.75m~-27.05m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $N=12.2$ 击；本层强度较低。

③3 粉细砂：灰黄色，黄褐色，饱和，中密~密实，颗粒级配不良，含少量粘粒。本层在大部分区域内连续分布，平均层厚 6.34m(2.6m~12.0m)，平均层顶标高-19.61m(-28.34m~-12.68m)，平均层底标高-26.12m(-33.15m~-16.48m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $\alpha_c=34.4^\circ$ ， $\alpha_m=27.4^\circ$ ， $N=37.9$ 击；本层强度较高。

③4 中粗砂：灰黄色，黄褐色，饱和，密实~极密实，颗粒级配良好，砂粒呈次棱角状~棱角状，磨圆度较差，局部夹薄层粘性土。本层在大部分区域内连续分布，平均层厚 5.04m(2.0m~9.3m)，平均层顶标高-24.70m(-36.95m~-19.50m)，平均层底标高-30.86m(-38.95m~-24.88m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $\alpha_c=35.8^\circ$ ， $\alpha_m=29.9^\circ$ ， $N=40.4$ 击；本层强度高。

④1 粘土：灰色，饱和，坚硬，粘性较大，夹薄层粉细砂或中粗砂。本层在场区内连续分布，厚度大，部分钻孔未钻穿该层，平均揭示层厚 26.07m(6.6m~49.3m)，平均层顶标高-31.21m(-45.94m~-18.04m)，平均揭示层底标高-64.66m(-84.25m~-40.85m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $W=35.3\%$ ， $\rho=1.84\text{g/cm}^3$ ， $e=1.023$ ， $IL=0.47$ ， $r=3.84\Omega\cdot\text{m}$ ， $C_q=64.9\text{kPa}$ ， $\varphi_q=19.4^\circ$ ， $C_{cq}=57.8\text{kPa}$ ， $\varphi_{cq}=20.9^\circ$ ， $q_u=165.5\text{kPa}$ ， $av_{1-2}=0.206\text{MPa}$ ， $N=34.3$ 击；强度高。

④2 粉细砂：灰色，饱和，中密~密实，颗粒级配不良，夹较多薄层粘土。本层在大部分区域内连续分布，主要呈夹层状分布于④1 粘土层中，部分呈透镜体状分布，平均揭示层厚 9.19m(1.5m~21.0m)，平均层顶标高-38.77m(-57.23m~-24.44m)，平均揭示层底标高-57.82m(-76.48m~-34.18m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $\alpha_c=34.4^\circ$ ， $\alpha_m=27.4^\circ$ ， $N=39.8$ 击；本层强度高。

④3 中粗砂：灰色，饱和，密实~极密实，局部中密，颗粒级配良好，砂粒呈次棱角状~棱角状，磨圆度较差，局部夹薄层粘土。本层在大部分区域内分布，

主要呈夹层状分布于④1粘土层中，多呈透镜体状分布，部分区域内连续分布，平均揭示层厚 7.31m(1.9m~13.2m),平均层顶标高-40.60m(-68.63m~-27.78m),平均揭示层底标高-62.24m(-74.95m~-34.70m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $\alpha_c=35.9^\circ$ ， $\alpha_m=30.3^\circ$ ， $N=44.3$ 击；本层强度高。

④4 粘土：灰色，饱和，坚硬，粘性较大，混较多细砂。平均揭示层厚 9.90m (2.2m~29.7m)，平均层顶标高-59.70m(-69.68m~-43.03m)，平均揭示层底标高-71.30m(-74.23m~-67.75m)。

本层主要物理力学性质指标统计平均值为： $W=33.5\%$ ， $\rho=1.86\text{g/cm}^3$ ， $e=0.971$ ， $IL=0.51$ ， $C_q=68.6\text{kPa}$ ， $\varphi_q=20.2^\circ$ ， $C_{cq}=46.2\text{kPa}$ ， $\varphi_{cq}=21.5^\circ$ ， $q_u=280.8\text{kPa}$ ， $a_{v1-2}=0.181\text{MPa}^{-1}$ ， $N=51.4$ 击；强度高。

(4) 工程地质条件评价

1) 场地稳定性评价

根据区域地质资料、现场调查及勘探成果，勘察区域内未发现活动性断裂，没有影响勘察区稳定性的不良地质现象，由此可见勘察区稳定性较好。

2) 岩土工程特性评价

勘察区钻探深度范围内的地层可分为四组地层。第一组地层为第四系全新统海陆交互相地层，本组地层中①1 粉细砂层和①3 粘层强度较低，未经处理不能直接作为地基持力层，①2 粉细砂层强度较高，可考虑作为地基持力层。第二组地层为石卯岭组玄武岩，强度高，可作为地基持力层。第三组地层为第四系中更新统早更新统北海组地层，本组地层中③2 粉细砂层强度较低，③1 粘土~粉质粘土强度中等，③3 粉细砂、③4 中粗砂强度较高~高，可考虑作为地基持力层。第四组地层为第四系早更新统湛江组的地层，本组地层为一套粘土和砂土交互分布的地层，而其中以粘土为主，砂层呈夹层状、透镜体状分布于粘层中：本组地层中④1 粘土层强度较高，④2 粉细砂、④3 中粗砂、④4 粘土层强度高。

2.1.3 水文

本项目预选路由位于雷州半岛东侧，粤西外海附近海域，地处热带北缘，面临南海，受季风和海洋的影响，属亚热带海洋性季风气候。夏无酷暑，冬无严寒，夏无酷暑，降水量和热量丰沛，但季节分布不均，干湿季分明。热带气旋是影响本海湾的主要灾害性天气。

本章用于项目海域水文气象要素分析的数据主要来自硃州海洋站和相关区域海洋调查资料，海洋站具体位置如图 2.1-2 所示。

(1) 潮汐

根据临时潮位观测站(110°29.418'E, 20°33.636'N)2018 年 3 月~2018 年 4 月的潮位实测资料统计，潮位过程曲线见图 2.1-3，潮汐特征值见表 2.1-1。

从潮位曲线图可以看出，本海区的潮汐在大、小潮期间一天多出现两个高潮和两个低潮，且相邻两个高（低）潮潮高不等，潮汐不等现象显著，路由海区的潮汐表现为半日潮特征。潮汐性质系数 F 值为 1.0，各分潮中半日分潮占主导地位，潮汐类型为不正规半日潮。

调查海区本观测月份的月平均海面为 48cm（85 基面），平均潮差为 154cm，最大潮差达 243cm，因此本海区属于中等强度潮汐海区。此外从涨、落历时看，T1 站落潮历时比涨潮历时略长（约 30 分钟）。

(2) 波浪

波浪采用硃洲岛海洋站年实测资料进行分析。

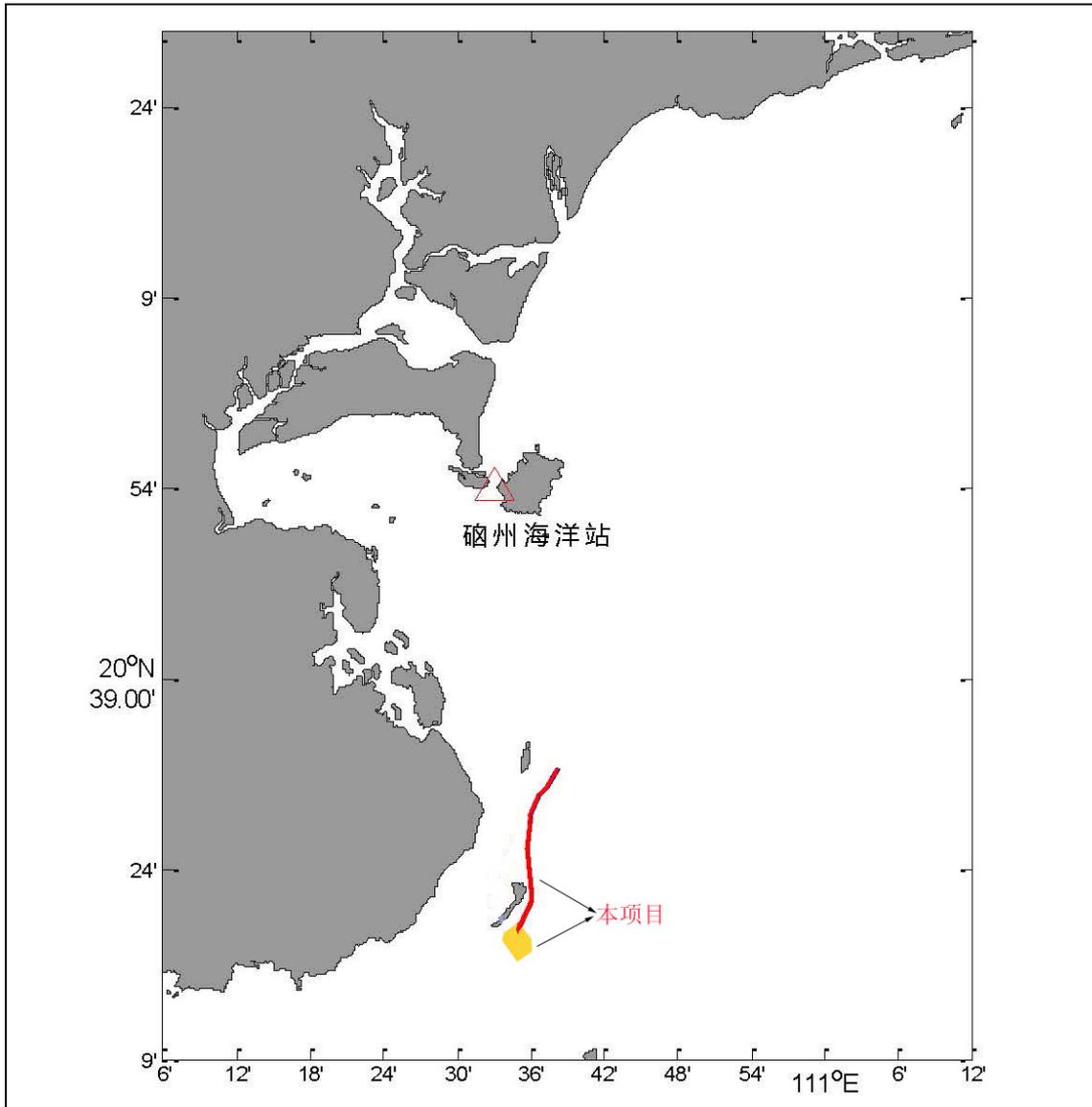


图 2.1-2 本项目海域观测站位图

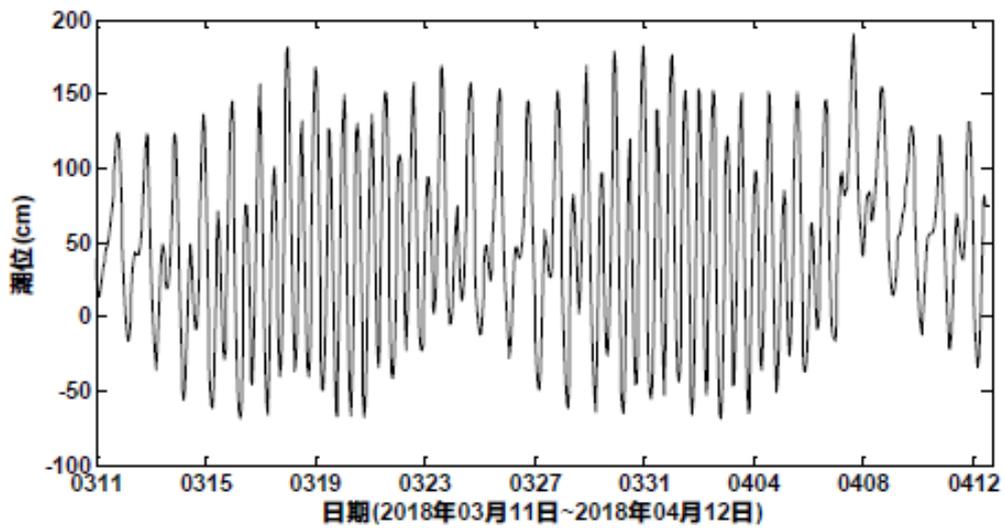


图 2.1-3 潮位过程曲线 (85 基面)

表 2.1-1 路由海域潮汐特征统计 (cm)

项目	站名	T1
最高潮位		191
最低潮位		-70
月平均海面		48
平均潮差		154
最大潮差		243
涨潮历时		6.87h
落潮历时		6.36h
潮汐性质系数F		1.0
潮汐类型		不正规半日潮
基面		1985国家高程基准

1) 波浪类型

传统波浪类型分风浪与涌浪，统计结果显示，该海域主要受风浪的影响，风浪频率达 92.1%，混合浪频率为 4.6%，还有 3.3%是因雾等天气原因导致波浪要素缺测。

2) 波高与波周期特征

本海区累年平均有效波波高为 0.8m，有效波波高秋冬季大于春夏季。11 月和 12 月平均波高最大，为 0.8m，8 月平均波高最小，为 0.3m。历年最大波高为 7.0m，发生在 2015 年 10 月 4 日 14 点，正值第 22 号强台风“彩虹”影响路由区，由于海洋站仪器故障，当月波浪数据全为目测海浪。年平均周期为 4.4s，平均周期的季节变化较小，基本是秋冬季大于春夏季，月均周期最大差值为 0.8s。详见表 2.1-2。

3) 波向

波向表征波动传播方向，以全年资料分 16 个方位进行波向统计。公式为 $P=i/N \times 100\%$ 。其中 P 为每一方向波浪出现频率；i 为每一方向波浪出现次数，N 为统计资料总次数。对累年各月各个方向波浪出现频率进行统计，统计结果见表 2.1-3，波浪玫瑰图见图 2.1-4。

图表可见，波浪观测站全年波向主要集中在 NE、ENE 和 E 三个方向，分布-频率分别为 14.3%、22.5%和 18.5%；路由海区常浪向为 ENE 向，次常浪向为 E 向；强浪向为 NNE 向，次强浪向为 NE 和 NW 向，W 向波浪最弱。

路由海区波向受季风影响明显。1 月到 4 月波向主要为受东北季风影响的 ENE 向和 E 向；5 月 ENE 向波浪逐渐减少，SE 向波浪增多；6 月到 8 月波向主要为 SE、SSE 和 S，其中 SSE 向分布频率最高；9 月 ENE 向波浪逐渐增多，S 向波浪逐渐减少，10 月至 12 月常浪向又变为受东北季风影响的 ENE 向和 E 向。

表 2.1-2 碓洲岛海洋站波浪统计特征 (单位: m)(2015-2017 年)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
H_{\max} 最大 (m)	4.9	3.0	3.4	2.8	2.7	3.6	3.9	3.0	3.9	7.0	3.6	3.9	7.0
对应周期 (s)	10.0	6.5	8.0	5.5	6.0	14.0	17.5	10.0	8.5	-	8.5	8.0	-
$H_{1/3}$ 平均 (m)	1.1	0.8	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	1.1	1.1	1.2	0.8
H_{mea} 平均 (m)	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.5	0.7	0.8	0.8	0.6
T_{mea} 平均 (s)	5.0	4.4	4.3	4.2	3.8	3.5	4.3	4.5	4.2	4.9	5.0	5.1	4.4

(备注: H_{\max} 、 $H_{1/3}$ 、 H_{mea} 、 T_{mea} 分别代表最大波高、有效波波高、平均波高和平均周期。)

表 2.1-3 碓洲岛海洋站波向频率统计 (单位: %)

方向 月份	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1	0.3	8.7	26.8	39.1	21.8	2.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1.0	6.2	27.3	41.2	17.9	4.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
3	0.3	1.3	13.0	35.8	36.2	11.1	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.6	11.3	18.8	20.2	22.0	12.7	8.4	3.5	0.6	0.0	0.0	1.2	0.6	0.3	0.0
5	0.5	1.3	5.3	5.8	15.1	19.3	24.1	16.4	7.4	1.9	1.6	0.3	0.3	0.0	0.3	0.5
6	0.0	0.0	1.5	3.6	6.3	11.1	24.1	24.7	17.5	4.5	2.4	1.5	2.1	0.6	0.0	0.0
7	1.1	0.8	2.5	6.3	10.4	6.3	16.8	18.7	16.8	3.6	3.8	1.9	3.0	3.8	2.5	1.6
8	1.4	1.1	2.8	7.1	9.1	8.8	22.9	11.0	12.2	3.1	7.6	4.2	4.5	1.4	1.1	1.4
9	0.3	3.7	8.0	19.5	14.6	8.3	17.8	10.6	6.0	2.0	1.7	1.4	2.6	2.6	0.3	0.6
10	0.2	4.8	22.9	21.3	15.0	13.3	15.0	3.4	0.5	1.4	0.2	0.7	0.2	0.0	0.2	0.7
11	0.0	4.2	19.4	32.7	33.2	6.9	1.4	1.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	5.4	30.6	38.5	22.0	1.9	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
全年	0.4	3.2	14.3	22.5	18.5	9.7	11.7	7.9	5.4	1.4	1.4	0.8	1.2	0.8	0.4	0.5
最大Hmax	1.5	3.7	5.7	7.0	3.4	3.5	2.6	2.1	2.0	4.5	1.5	1.5	1.4	1.2	1.1	2.0
平均H1/3	0.3	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.5	0.4

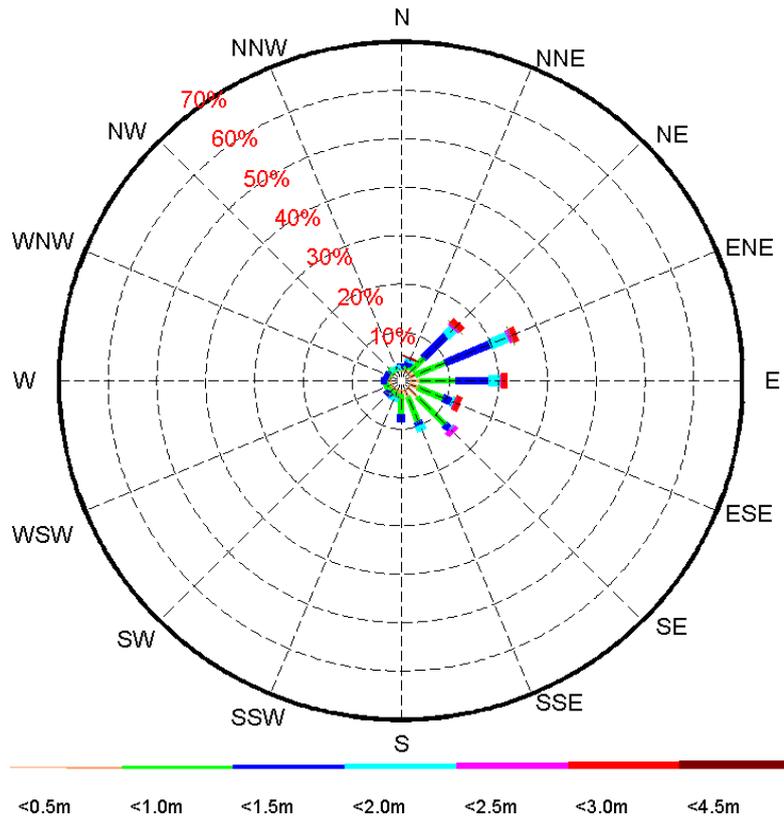


图 2.1-4 硃洲岛海洋站波浪玫瑰图

(3) 海流

海洋中由各种因素引起的海水运动称之为海流。通常又将海流分为由天体引潮力引起的潮流和由水文、气象等非天文因素引起的非潮流，它们在海洋中所占的成分因地而异。一般来说，大洋中的海流以非潮流为主，而我国近海的海流以潮流为主。海流是塑造海底地形演变的主要外动力之一，它对海洋工程基础设施影响较大。

国家海洋局南海调查技术中心于 2018 年 3 月在路由附近海域进行了表、中、底三层海流大、小潮期观测。

图 4.2-3~图 4.2-8 为大、小潮期间各海流观测站不同层次（表层、中层和底层）海流平面分布玫瑰图，图 4.2-9~图 4.2-12 为各海流观测站不同层次海流过程矢量图。

大潮期调查海区各站海流的往复流特征明显，流态分明，从表层到底层，各站各层海流形态较为相似，海流方向基本与海湾岸线平行。大潮期海流流速较大，且各站落潮流速略大于涨潮流速。观测期间最大流速为 113cm/s，其次为 104cm/s，

分别出现在 C1 站中层和表层，均出现在落潮时段。最大涨潮流速为 99cm/s，出现在 C1 站的表层。空间分布上，离岸较近的 C1 站流速略大于 C2 站；在垂直方向上，表、中层流速大于底层流速。

小潮期作业区内各站海流的基本特征与大潮期相似，往复流特征明显，流态分明，从表层到底层，各站各层海流形态较为相似。小潮期各站流速比大潮期流速都要小，各站涨潮流速普遍大于落潮流速。观测期间最大流速为 90cm/s，其次为 89cm/s，分别为 C2 站中层和 C1 站表层。空间分布上，离岸较近的 C1 站流速略大于 C2 站；在垂直方向上，表、中层流速大于底层流速。

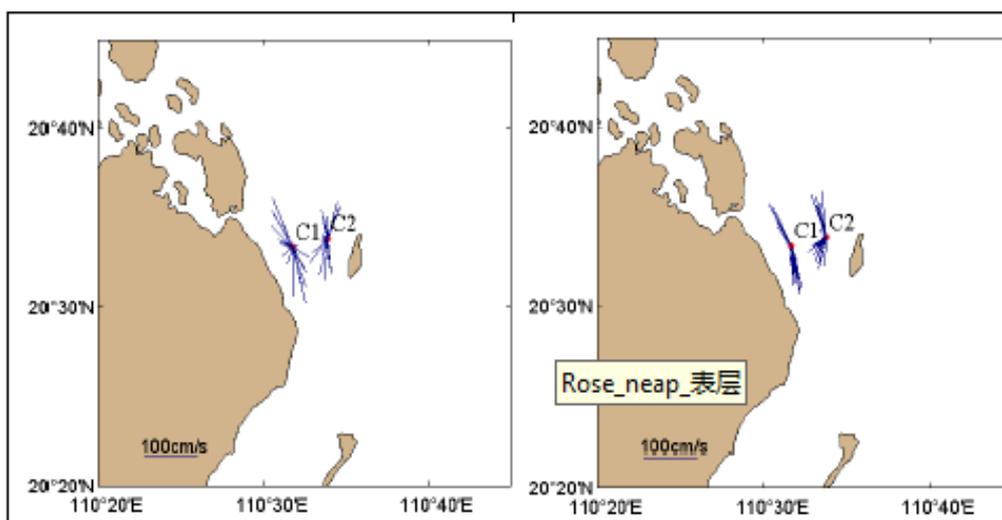


图 4.2-3 大潮期表层海流平面分布图

图 4.2-4 小潮期表层海流平面分布图

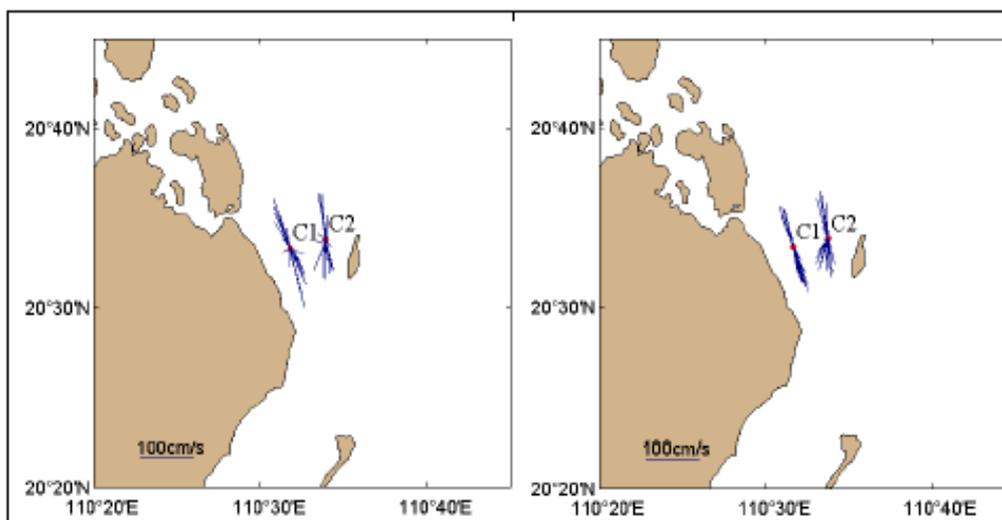


图 4.2-5 大潮期中层海流平面分布图

图 4.2-6 小潮期中层海流平面分布图

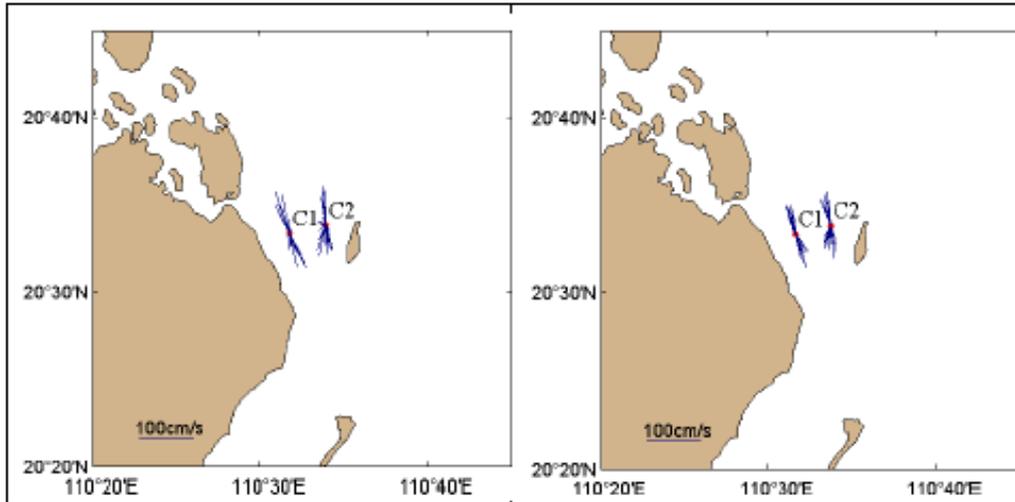


图 4.2-7 大潮期底层海流平面分布图 图 4.2-8 小潮期底层海流平面分布图

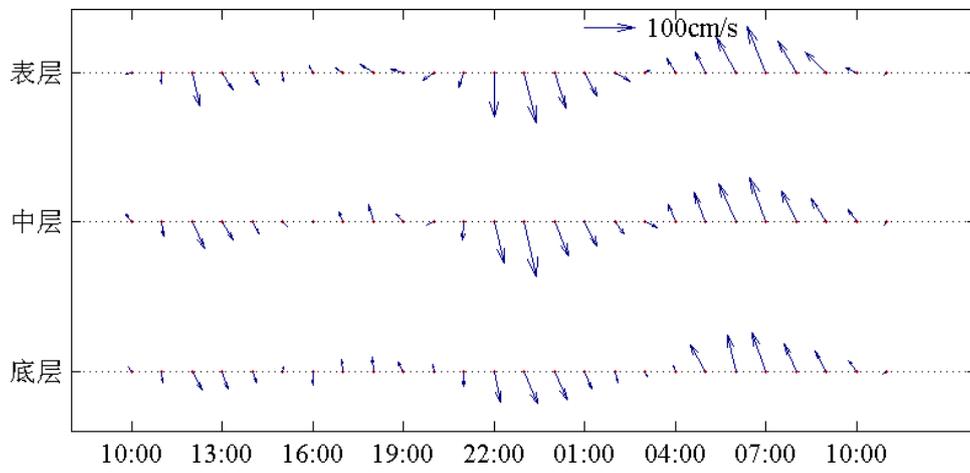


图 4.2-9 C1 站大潮期海流矢量图

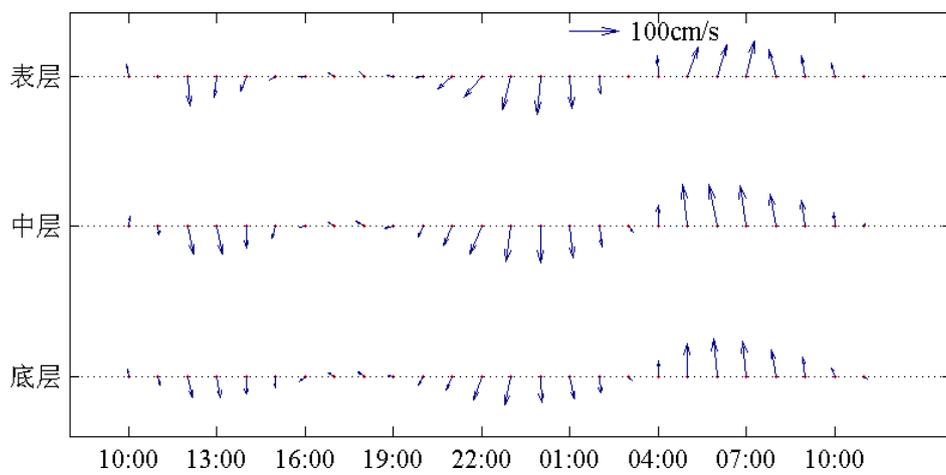


图 4.2-10 C2 站大潮期海流矢量图

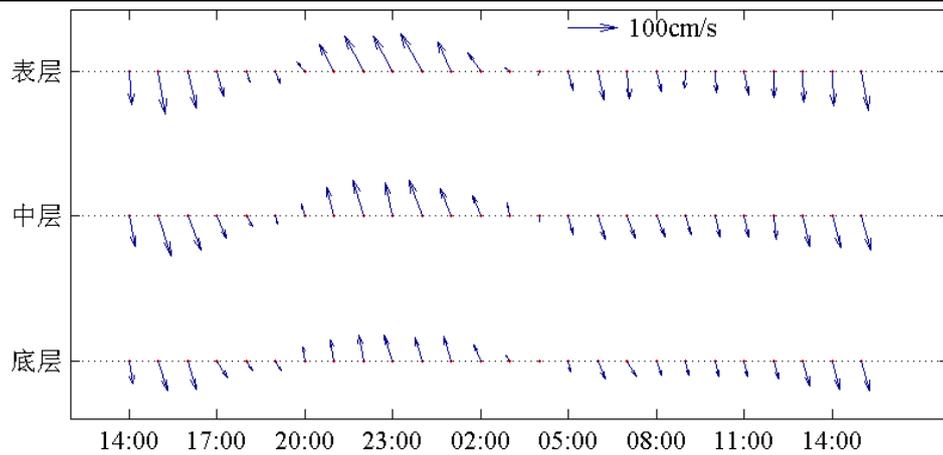


图 4.2-11 C1 站小潮期海流矢量图

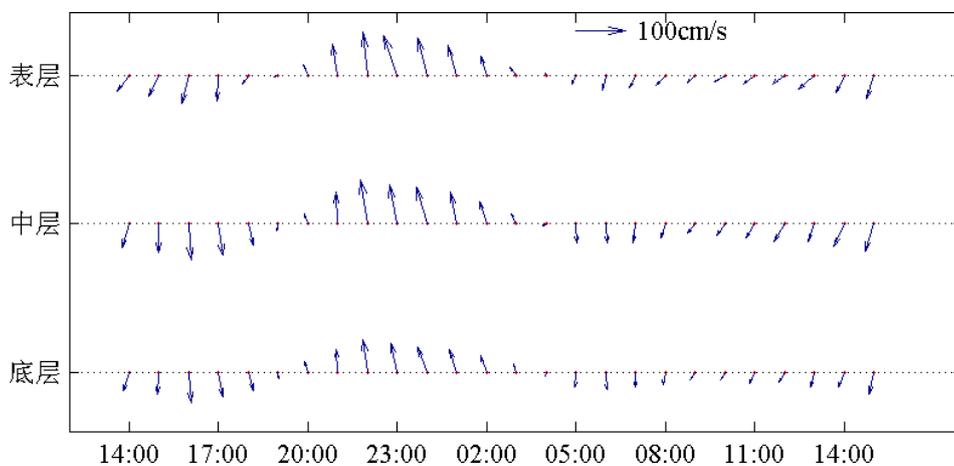


图 4.2-12 C2 站小潮期海流矢量图

根据潮流调和分析结果，C1、C2 站各层的 F 值均大于 2，说明调查海区潮流类型为不正规全日潮流。该海区的潮流运动以往复流为主。理论最大可能潮流流速的最大值出现在 C1 站的表层，达 188.2cm/s，流向为偏南向。

余流通常指实测海流资料中除去周期性流动(天文潮)之外，剩余的部分流动。其中包括潮汐余流、风海流和密度流等非周期性流动。

1) 调查期间该海区余流主要介于 0.8~18cm/s 之间。小、大潮期各站的余流最大值分别为 17.7cm/s 和 7.3cm/s。

2) 表层余流流速大于中层和底层余流。这是由于底摩擦耗能的结果，近海海底余流一般要小于表层。

3) 调查海区余流方向基本上为西南向，C1 站中底层余流方向为东南向。

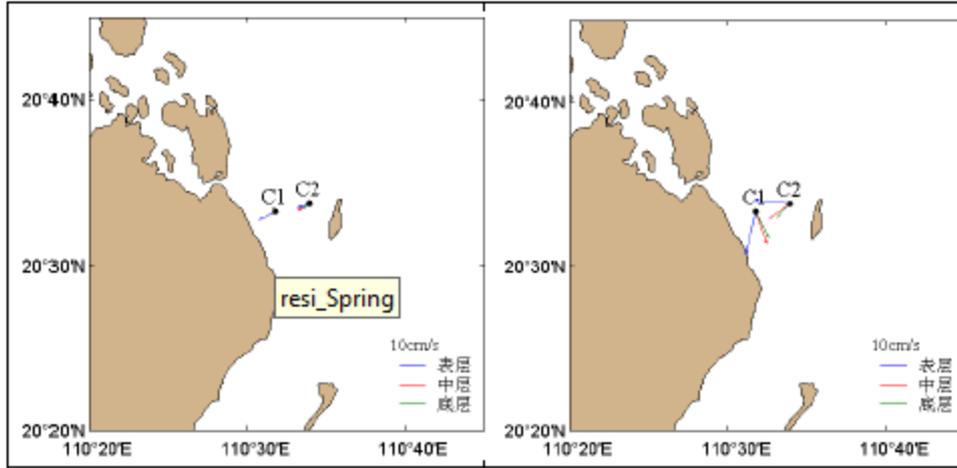


图4.2-13 大潮期余流分布图

图4.2-14 小潮期余流分布图

(4) 海水温度、盐度

根据硃州海洋站 2018 年 1 月~2018 年 12 月的海表温度和盐度数据进行统计分析，结果如表 4.2.4~表 4.2.5 所示。路由海域位于亚热带，表层海水温度较高，全年平均值为 25.1℃，观测期间的最高温度为 31.2℃，出现在 7 月，而最低温度为 14.6℃，出现在 2 月。

表 4.2.4 硃州海洋站 2018 年各月表层海水温度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
最大值(°C)	19.1	19.2	24.0	26.1	31.2	30.9	31.2	31.0	30.2	28.9	26.0	24.4	31.2
最小值(°C)	16.2	14.6	29.0	22.7	25.9	28.8	28.6	28.3	28.1	26.1	23.1	18.3	14.6
平均值(°C)	17.8	16.4	21.3	24.6	28.9	29.9	29.8	29.6	29.0	27.3	25.1	21.5	25.1

表 4.2.5 硃州海洋站 2018 年各月表层海水盐度

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
最大值	30.8	30.5	30.4	31.0	31.1	31.8	31.4	29.6	29.1	27.0	28.4	30.0	31.8
最小值	29.8	29.3	29.3	30.0	29.2	29.9	28.0	23.9	25.2	25.3	26.0	27.5	23.9
平均值	30.2	30.1	30.0	30.5	30.2	30.8	30.0	27.4	27.5	26.3	27.4	28.8	29.1

盐度受到降水及冲淡水的影响，有一定的季节差异。1 月份~7 月份，盐度较高，平均为 30.3~30.8；8 月份~12 月份，平均为 26.3~28.8；年平均盐度为 29.1。观测期间的最大盐度为 31.8，出现在 6 月，而最小盐度为 23.9，出现在 8 月。

(5) 综合评述

本项目所在海域潮汐类型为不正规半日潮。月平均海面为 48cm（85 基面），最高潮位为 191cm，最低潮位为-70cm，平均潮差为 154cm，最大潮差达 243cm，

属于中等强度潮汐海区。落潮历时比涨潮历时略长（约 30 分钟）。

该海域主要受风浪的影响，风浪频率达 92.1%。累年平均有效波波高为 0.8m，有效波波高秋冬季大于春夏季。历年最大波高为 7.0m，发生在强台风“彩虹”影响期间。年平均周期为 4.4s，平均周期的季节变化较小，基本是秋冬季大于春夏季。该海域常浪向为 ENE 向，次常浪向为 E 向；强浪向为 NNE 向，次强浪向为 NE 和 NW 向，W 向波浪最弱。路由海区波向受季风影响明显。

海域海流往复流特征明显，海流方向基本与海湾岸线平行，涨潮流向 NE 或 NW，落潮流向 SW 或 SE。观测期间最大流速为 113cm/s，其次为 104cm/s，分别出现在 C1 站中层和表层。表、中层流速大于底层流速。该海域潮流类型为不正规全日潮流。调查期间该海区余流主要介于 0.8~18cm/s 之间。余流最大值分别为 17.7cm/s 和 7.3cm/s，均出现在表层。表层余流流速大于中层和底层余流。余流方向基本上为西南向，C1 站中底层余流方向为东南向。

项目所在海域位于亚热带，表层海水温度较高，全年平均值为 25.1℃，观测期间的最高温度为 31.2℃，出现在 7 月，而最低温度为 14.6℃，出现在 2 月。盐度受到降水及冲淡水的影响，有一定的季节差异；1 月份~7 月份，盐度较高，平均为 30.3~30.8；8 月份~12 月份，平均为 26.3~28.8；年平均盐度为 29.1。

2.1.4 主要海洋灾害

该海域出现的主要灾害性天气有热带气旋、风暴潮、地震、赤潮等，这些灾害性天气对项目的建设施工与正常营运会造成一定的影响。

(1) 热带气旋

湛江市三面临海，与多数过境热带气旋路线正交，是受热带气旋影响最多和最严重的地区之一。根据中国气象局编气象出版社出版的台风年鉴等资料统计，平均每年有 1.9 个热带气旋影响湛江地区；年最多为 5 个（1965、1973 和 1974 年）；没有热带气旋影响的有 7 年。热带气旋 8 月出现最多，占 27%，其次是 9 月，占 24%，且特别严重危害湛江的台风多数也发生在 7~9 月份。每年的 5~11 月均有热带气旋影响湛江地区，1949~2012 年间，热带气旋达到超强台风的有 16

个，强台风 21 个，台风 35 个。

影响和侵袭湛江的热带气旋，大部分（约 63%）来自西北太平洋，经巴士海峡进入南海，一路西行登陆粤西至海南岛东北部，多数热带气旋强度大，影响范围广；少部分来自南海的热带气旋，形成快，移动路径曲折多变，因距离岸线较近，从生成到登陆时间短。例如 7619 号台风，1976 年 9 月 20 日登陆湛江，其路径曲折多变，3 次登陆，影响时间长，风雨范围广强度大，造成灾情严重。

热带气旋常常带来大风、暴雨、大浪和风暴潮等灾害天气，对当地渔船、养殖业等造成严重损失。台风影响湛江地区最强的极大风速值为 57m/s（1996 年 9 月 9 日的“莎莉”台风）；台风影响湛江地区最强的降水达 300~400mm，过程降水日 4~5 天（9402 号台风）。1980 年 7 月 22 日的 8007 号台风登陆徐闻，湛江沿海发生最严重的风暴潮灾害，风暴潮增水达 5.90m，高居全国第一。2003 年 8 月 24 日 21 时~25 日 18 时的 0312 号台风“科罗旺”，8 级以上大风吹袭湛江地区长达 18 个小时，最大风速 38m/s，大风持续时间长，历史罕见，破坏力极大。

（2）风暴潮

湛江位于粤西海岸大尺度弯曲处，水体易堆积而难以扩散，有利于热带风暴或台风风暴潮增水，是广东省风暴潮影响比较严重的海区。历史上湛江曾发生过多次数较大的台风风暴潮。如 1948 年 9 月 20~28 日，在湛江附近登陆的台风，引起的台风增水超过警戒水位，解放后台风风暴潮增水超过警戒水位的也发生过多次数，如 5413、6508、7013、7421 号台风等，尤其是 6508、8007 号强台风，潮位分别为 6.04m 和 6.64m，8007 号台风最大的增水值达 4.65m。

（3）地震

湛江市地处我国东南沿海地震带西段（雷州半岛与海南岛又称雷琼地震带）。雷琼断陷构造是新生代形成的一个断块构造，喜马拉雅运动时由于受南海海盆形成和扩张的影响，该区发生了较大幅度的断陷，同时还发生火山活动形成了 NEE 向南陡北缓的地壁式雷琼断陷，新构造运动对本区的影响强烈。

预选路由区位于雷州半岛东南海域，在海南岛以北，是地震活跃区，1605

年7月13日在海南琼山附近曾发生7.5级地震，同年12月15日在同一地区又发生6.0级地震，1618年澄迈发生5.0级地震，1892年海口发生5.0级地震。近年来在琼州海峡西部的北部湾有多次地震发生，包括1994年12月31日6.1级地震(震中位置21.0°N, 109.4°E), 1995年1月10日6.2级地震(震中位置20.5°N, 109.4E), 1995年3月23日5.1级地震(震中位置20°17'N, 109°19'E)。研究区有史料记载以来至2005年12月 $M_s \geq 7$ 级的地震目录见表3.1-2，历史强震震中所示图3.1-4。

表 3.1-2 预选路由附近 $M_s \geq 4.7$ 级地震目录 (史料记载-2005)

序号	发震时间 (年.月.日)	震中位置		震级	发震位置
		北纬 (°)	东经 (°)		
1	1524.0331	19.20	110.60	5.0	海南琼海外海域
2	1524.04.15	19.30	110.50	5.0	海南琼海东南
3	1599.01.25	21.00	111.00	5.5	广东吴川近海
4	1605.07.13	20.00	110.50	7.5	海南琼山
5	1605.10.07	21.30	110.50	6.0	文本陆川南(余震)
6	1605.12.15	21.00	110.50	6.5	海南琼山北(余震)
7	1606.02.20	21.00	110.50	5.5	海南琼山北(余震)
8	1611.09.09	21.40	111.20	6.0	广东电白东南
9	1618.00.00	20.00	110.00	5.5	海南澄迈
10	1871.06.26	20.20	110.20	5.5	琼州海峡
11	1892.07.28	19.80	110.50	5.0	海南海口、文昌间
12	1913.09.26	20.00	110.30	5.0	海南海口
13	1969.12.17	18.50	110.60	5.1	陵水以东海中
14	1969.12.20	18.20	110.30	5.2	陵水以东海中
15	1994.12.31	20.60	109.33	6.1	北部湾东南海域
16	1995.01.10	20.58	109.30	6.2	北部湾东南海域
17	1995.03.23	20.40	109.48	5.1	北部湾东南海域
18	1995.04.16	20.33	109.38	4.8	北部湾东南海域
19	1995.05.07	20.36	109.41	4.9	北部湾东南海域
20	1995.06.05	18.70	108.60	4.8	东方近海
21	1999.05.17	18.50	110.42	4.9	万宁近海

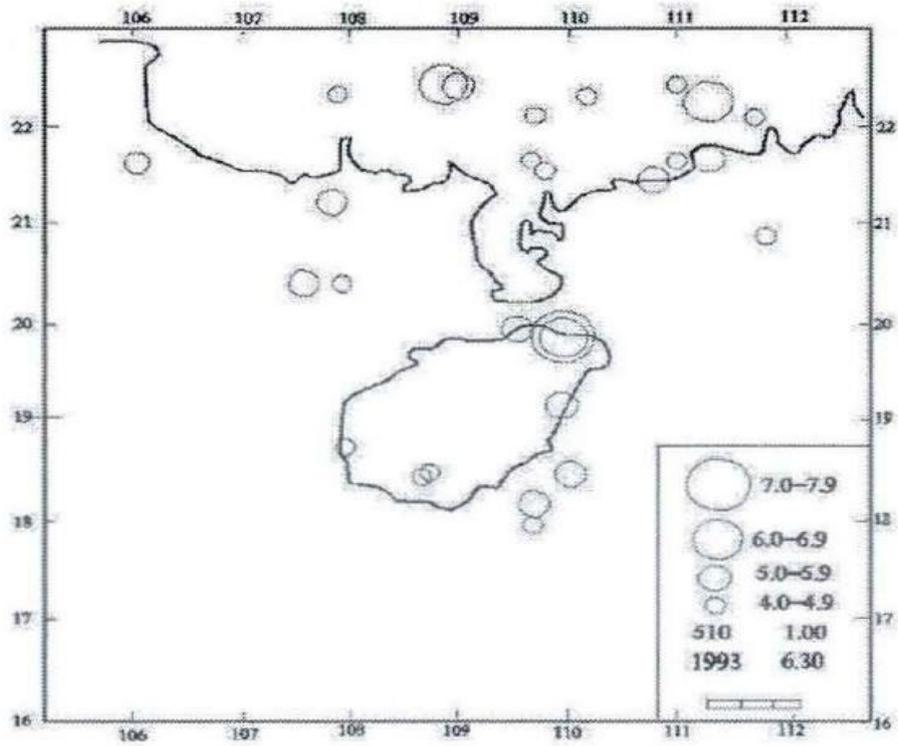


图 3.1-4 海南岛及邻区历史强震震中分布图（史料记载-2005）

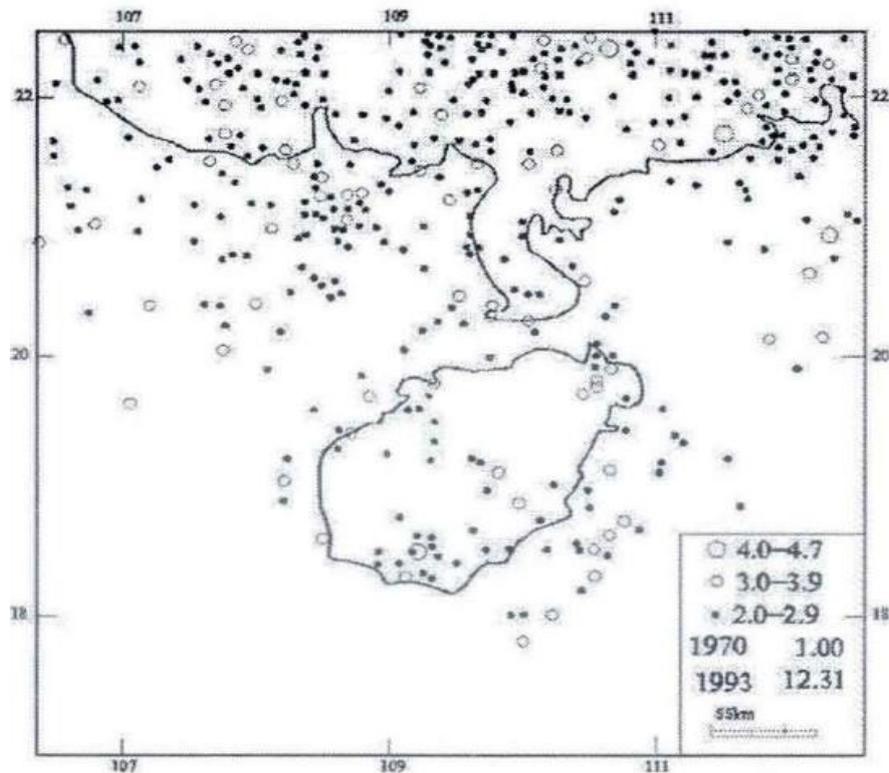


图 3.1-5 区域小震震中分布图（史料记载-2005）

根据图 3.1-5 可以看出，雷琼地区地震活动在空间上的不均匀分布，反映了雷琼地区地震活动的基本特征。然而从历史地震和现今小地震活动的密集图像

看，雷琼地区大地震活动的空间分布明显受控于近东西走向的断裂带，其空间展布的条带状轮廓清晰可见。

谢振福研究认为，海南岛及邻区，尤其是新生代雷琼断陷带内，无论是历史地震还是现今地震，无论是大地震还是小地震，在空间分布上都受控于近东西向断裂，其次是北西向断裂，特别是在这两组断裂的交汇处。该两组断裂共同的活动特征是：断裂的活动年代晚且强烈，都是第四纪以来复活或新生的断裂，错断了老地层并控制次一级隆起与凹陷，同时还控制第四纪火山活动的空间分布；断裂的分段标志比较明显，并具有相对独立活动的特征。在琼北地区，断裂的分段活动特征反映了地震活动东强西弱、北强南弱的特点，其分段对强震破坏有限制作用，一个分段就是一个强震的发震单元（丁元章等，1988）。琼北地区历史上曾发生的1605年琼山7.5级地震震中位置正处于近东西向的马袅~铺前断裂与北西向清澜-铺前断裂的交汇处。北部湾的地震活动也主要分布在20°N以北，可能是受近东西向的王五-文教断裂控制所致。

1994年12月31日和1995年1月10日在粤桂琼交界地区的北部湾海域相继发生了6.1、6.2级地震，震中位置分别为20°26'N，109°21'E和20°29'N，109°21'E。2次地震都发生在北部湾北西向临高断裂上。因地震发生在海域中，震区烈度不详，陆区部分的VI、V度等烈度线长轴走向北西。这两次地震导致1人死亡。6.1级地震时中小学生对因惊惶出逃造成挤伤，踩伤400余人，其中重伤数十人。两次地震对陆区建筑仅造成了轻微破坏，海区破坏程度不详。2000年以后未见超过Ms大于5级的地震。

从研究区及邻区地震的活动性看，一方面地震的发生有较强的继承性，另一方面地震的发生也表现出一定的新生性。历史上曾发生过7.5级地震的琼山地区是现今尚未发生中强以上地震区，在未来20-30年地震活动相对活跃时期，琼山地区是主要的地震危险区，应加强该研究区的地震研究工作。

根据国家地震台网数据，从1970年1月4日至今，区域地震震中分布如图3.1-6。路由预选区区域范围内（小于100km）近期记录地震以小震为主，地震

震级小于 4 级。

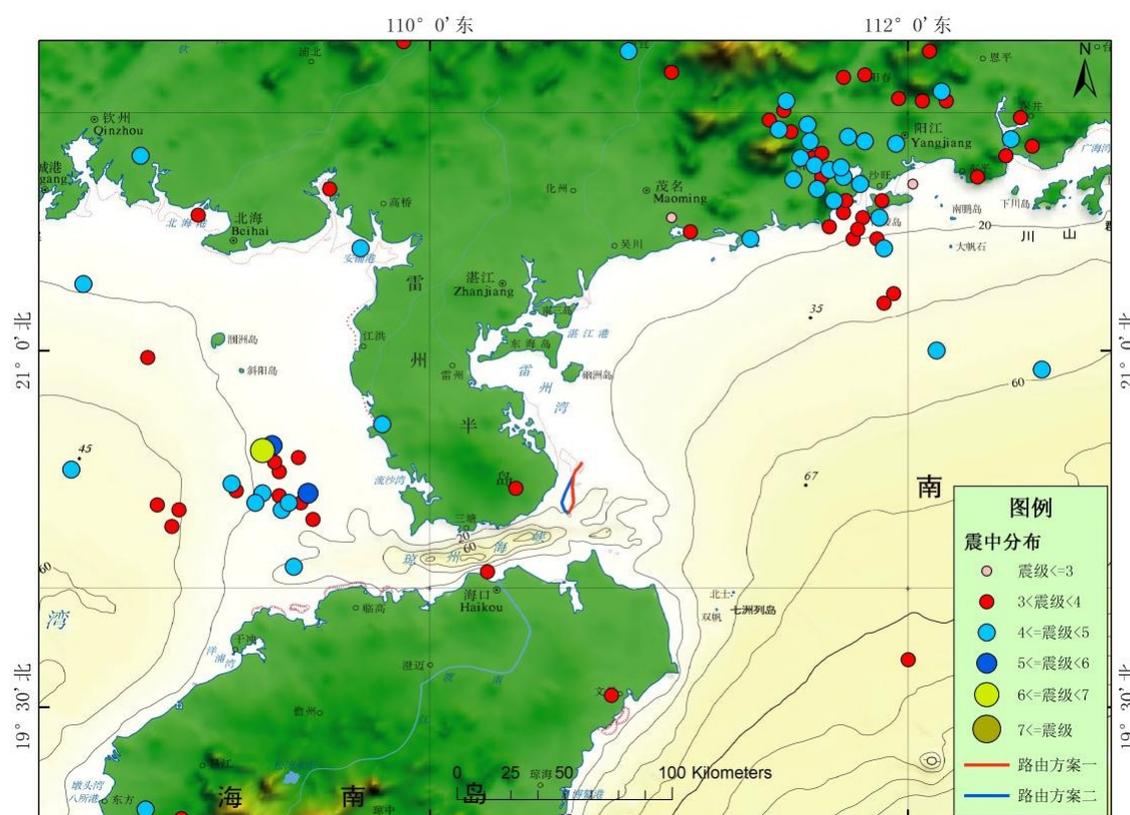


图 3.1-6 路由区附近震中分布图 (1970/01/01-2019/01/10)

(数据源于中国地震台网, 底图源于广州海洋地质调查局)

根据《中国地震动峰值加速度区划图》(GB18306-2016), 路由区附近地震动峰值加速度为 0.15g-0.20g, 反应谱特征周期为 0.35s。对应地震基本烈度为 VIII 度。如下图 3.1-7、3.1-8。



图 3.1-7 路由区附近地震动峰值加速度



图 3.1-8 路由区附近地震反应谱特征周期

2.2 自然资源概况

2.2.1 岸线、滩涂资源

根据《广东省海岸保护与利用规划报告》，湛江海岸线长达 1243.7km，占广东省海岸线的 30.2%，居全省 14 个沿海城市岸线长度第一位，共有砂质岸线、粉砂淤泥质岸线、基岩岸线、生物岸线、人工岸线和河口岸线 6 种岸线类型，详

见表 2.2-1；拥有 4920km²滩涂，占全省的 48%。湛江市 10m 等深线以内的浅海面积约 5000km²，相当于湛江市现有耕地面积的 1.4 倍，这是目前湛江市海水增养殖业的重要场地。而滩涂尤为重要，其主要分布在港湾地区，其中雷州湾、湛江湾、安铺湾、流沙湾、外罗港等 5 处港湾的滩涂面积占全市滩涂面积的一半以上。在宽广的滩涂上，生长着大量的红树林，据林业局统计资料，红树林面积超过 100km²，是我国大陆沿岸现存红树林面积最大的海区。湛江红树林省级保护区于 1990 年建立省级自然保护区，1997 年批准为国家级自然保护区，保护总面积 20278 公顷，其中红树林面积 7256 公顷，约占全国红树林总面积的 33%，占本省红树林总面积的 79%，是我国大陆沿海红树林面积最大、种类最多、分布最集中的自然保护区。湛江红树林保护区有真红树和半红树植物 15 科 25 种，其自然资源十分丰富，主要的伴生植物有 14 科 21 种。其中分布最广、数量最多的为白骨壤、桐花树、红海榄、秋茄和木榄主要森林植被群落有白骨壤、桐花树、红海榄纯林群落和白骨壤+桐花树、桐花树+秋茄、桐花树+红海榄等群落，林分郁闭度在 0.8 以上。记录有鸟类达 194 种，是广东省重要鸟区之一，保护区既是留鸟的栖息、繁殖地，又是候鸟的加油站、停留地，是国际候鸟主要通道之一。此外，保护区有贝类 3 纲 41 科 76 属 130 种，以帘蛤科种类最多，达 20 种；鱼类有 15 目 60 科 100 属 139 种，以鲈形目居绝对优势，27 科 49 属 139 种。有重要经济价值的贝类 28 种、鱼类 32 种。

表 2.2-1 湛江市海岸类型组成表（单位：km）

岸线类型	岸线长度	比例（%）	分布
砂质岸线	233.70	18.79	湛江市东部吴川县、雷州半岛东南部和西北部
粉砂淤泥质岸线	20.62	1.66	零散
基岩岸线	21.40	1.72	零散
生物岸线	160.83	12.93	雷州半岛东北部通明岛附近海域红树林生态系统区域
人工岸线	804.26	64.65	湛江湾内、雷州半岛东北部、南部和西部
河口岸线	3.09	0.25	湛江湾内
总计	1243.9	100	——

2.2.2 海洋渔业资源

湛江市是海洋大市，所在海区地处亚热带到热带的过度地区，海岸线长达1243.7km，沿海多岛屿、港湾、滩涂，有经济鱼类 520 多种，虾类 28 种，贝类 547 种，有东南亚最大的连片虾场，水产品连续多年居全省首位，其中海水珍珠养殖产量占全国的 2/3。

2.2.3 海洋交通资源

(1) 港口资源

湛江市拥有大小港湾 107 处，港口资源优势最为突出是湛江湾、海安港和流沙湾。湛江市港口主要有调顺岛、霞海、霞山、宝满、坡头、廉江、遂溪、雷州、徐闻等 9 个港区。除此之外，湛江市还有大小渔港 32 处，其中有硃洲渔港被确定为国家中心渔港，企水渔港为国家一级渔港，草潭渔港为省一级渔港。此外还有北潭、龙头沙、江洪、外罗、博茂、三吉、乌石等重要渔港。目前渔港都已经具有一定建设规模，是海洋捕捞的重要基地之一。

工程附近的港口主要有西南侧的海安港、西侧的外罗渔港、北侧的硃洲岛淡水港和湛江港，见图 4.3-5。

海安港在琼州海峡北岸，该水域是交通运输部“六区一线”重点监管水域之一琼州海峡的一部分，航行此水域的船舶，95%是客船和客滚船，5%是运输白砂糖、木片、煤、盐、砂等货物的沿海货船以及当地的一些小渔船。

外罗渔港为国家二级渔港，位于雷州半岛徐闻县的东部海岸，距场址西侧约 12nmi。该渔港陆地距徐闻县城 53km，水路北至硃洲岛外罗港 19nmi、至湛江港 44nmi，南抵海口港 41nmi。港湾的西南方为陆地，北及东北方与新寮岛隔海相望，港门向东偏西。港湾呈狭长的圆弧形，东西纵长 8km，平均宽约 800m，全部水域面积约 640 万 m²，可供千艘渔船停泊。遇强台风时，小型运输船舶可向西驶约 5km 的锦和镇避风。外罗港东接外罗门，西傍锦和圩和金钩村，南依外罗镇，北接新寮岛。港湾长 4500m，最宽处 1000m，最窄处 250m，如湖汊河道，曲水回旋。内港有三块名曰“长坡”的沙洲，上面有青翠的红树林。因两岸绿树遮

挡，港湾里非常平静。

碇洲岛淡水港其功能主要是满足来往于碇洲岛～东海岛之间的汽车渡轮靠泊，是碇洲岛通向大陆的唯一车渡码头。车渡码头现有泊位一个，码头靠泊船型为 500DWT 级。

湛江港是我国大西南地区货物进出口的主要通道，是国内外著名的天然深水良港，素以“大、深、阔、掩护好”闻名。目前湛江港主航道底标高：外航道为 21.6m，内航道为 21.9m；30 万 t 级船舶可乘潮进出。湛江港已成为华南沿海航运条件最好的港口。

（2）航道资源

湛江市拥有湛江港航道、海安港航道、粤海铁路北港航道、流沙港航道等深水航道，还包括外罗、安铺、乌石、营仔等通向渔港和内河的小型船舶通航航道。工程附近海域的航道有外罗水道、外沙水道，如图 2.3-1 所示，其中对海底电缆路由铺设影响最大的有外罗航道和沙外航道，外罗航道即外罗门水道。外罗门水道是湛江至海口、北部湾的捷径，也是广州至海口、北部湾的中小船舶的首选航线。但是，外罗门水道因受琼州海峡潮流的影响，涨落潮流复杂，且最大流速达 4 节，所以潮流对水道海底淤沙变迁的影响很大，水道中几条主要的海底淤沙带几乎每年都出现明显的变化。通过外罗水道海域的船舶主要为 1500t 以下、吃水小于 4m 的客轮、散货轮、油轮、渔船、拖轮（日均交通量约 4 艘次左右）以及大中型渔船。根据挪威船级社的国际权威数据，3000t 级船舶锚重约 1t，应急抛锚时入土深度不超过 1.5m，本项目海底电缆设计埋深为 2~3m 能满足船舶应急抛锚要求。

外沙水道，该水道属行沟，目前不作商船推荐航路使用，一般为当地渔船航行活动水域。

2.2.4 海上风能资源

根据碇洲岛海洋站近 16 年测风速资料统计，多年平均风速为 3.16m/s，最大发生在 2005 年（3.6m/s），最小发生在 2001 年（2.7m/s）；年内各月风速分布不

均，一般冬季风速大于夏季，但受热带气旋影响，7月风速一般也较大。10min平均最大风速出现在1980年7月22日，风速为31m/s，风向为E方向。碓洲岛主导风向为ENE方向。

根据湛江粤电风力发电有限公司在工程海域开展的若干测风工作，评估结论如下：

(1) 风电场风能资源较丰富

风电场预装轮毂高度100m高度平均风速7.77m/s，平均风功率密度403W/m²。根据《风电场风能资源评估方法》(GB/T18710-2002)风功率密度等级评判标准，测风塔处的风功率等级为III级，风资源较为丰富。

(2) 风电场有效风速利用小时高

风电场预装轮毂高度100m风速的有效小时数(3m/s<小时平均风速<25m/s)均大于8095h，占全年时间的92.4%，这表明测风塔所代表风电场区域的可利用有效风速小时数较高。

(3) 风向较为稳定

主风向和能量的主导方向一致，都集中在ENE方向。风向和风能相对集中，有利于风电场机组的总体布置。

(4) 风速和风能分布较为集中

100m高风速中频率最大风速约为8m/s，最大风能频率相应的风速为10m/s。轮毂高度的风速风能分布比较集中，在机组选择时在充分考虑机组安全性的同时应选择风能利用效率较高的风力发电机组，实现风能资源的充分利用。

(5) 风功率密度年内变化较大，日变化幅度较小

风速与风功率密度的年内分布不均，风速年内离散系数为0.17，功率密度变化略大，离散系数达0.45。从10月至翌年4月风速相对较大；5~9月风速相对较小。风速和风功率密度的日内变化较小，平均风速日内离散系数0.03；平均风功率密度日内离散系数为0.09。在一日内，一般下午16时~凌晨1点风速相对较大，10~14时风速和风功率相对较低。

(6) 湍流强度和风切变指数均较小

测风塔各测风高度湍流强度较弱，约 0.095~0.122 之间；各测风高度风速 $V=15.0\text{m/s}$ 时湍流强度在 0.058~0.101 之间。因此可认为湍流强度较弱，测风塔处的湍流强度随高度的增加而减小，随着风速增大而呈现减少的趋势。风速垂直切变指数较小，平均切变指数约为 0.083。考虑到风机之间尾流的影响，建议选择 B 类以上风机。

(7) 设计风速

基于硃洲岛海洋站风速数据计算，本风电场轮毂高度 100m 处 50 年一遇 10min 平均风速采用 49.6m/s，50 年一遇 3s 极大风速采用 69.4m/s。鉴于风机安全，建议本工程风机选型宜选择极端载荷满足本项目场址极端风况条件，至少为 IECI 类风机或者 S 级风机。

2.2.5 旅游资源

湛江市旅游业起步于 20 世纪 80 年代初期，90 年代达到发展的高潮，随后由于管理体制、旅游开发力度不够等原因，部分景点发展受阻，旅游发展遭遇瓶颈。湛江市旅游发展拥有良好的资源禀赋，旅游业总收入保持持续增长的发展态势，但同时也显现出旅游产品结构不完善、游客量增长较为缓慢、各类旅游企业数量较少、质量有待提高等不足，目前湛江市的旅游业正处于二次发展的初期阶段，各种发展条件正日趋成熟，“后发优势”逐渐凸显，通过政府主导、科学合理地规划，将引领湛江旅游业的第二次全面发展之路。2012 年，湛江市旅游总人数 2239.7 万人次，比上年增长 23.6%；旅游总收入 127.13 亿元，比上年增长 36.8%。同时，湛江市成功竞得广东省滨海旅游产业园 3 亿元扶持资金，启动“五岛一湾”滨海旅游开发，完成旅游投资 45 亿元，比上年增长 1.2 倍。

湛江市海洋景观富南中国海的迷人的魅力，历来以环境优美著称，1959 年获得了国家“花园城市”的称号。具有全国光、热、水、绿最丰富的海岸带，有 104 个岛屿、暗沙，沿海防护林带长达 1300km，面积 2 万公顷，享有“绿色长城”之称；拥有全国最大的红树林保护区。岸线绵长曲折、近海水深浪静，还会透明

度高，水底景色优美，特有的南亚热带海滨风光，具有成为全国最优良的滨海旅游度假基地的发展潜质。

湛江市岛屿众多，具亚热带风光，一年四季均可进行海上活动，为优良的海滨浴场和度假、避暑胜地，目前已开辟的滨海旅游区有东海岛龙海天、吴川吉兆、徐闻白沙湾，其中东海岛龙海天和吴川吉兆是省级旅游区。湛江市雷州古城是国家级历史文化古城之一；湖光岩风景区更是全国著名的火山口湖泊，还是全国唯一在海平面以下的特殊火山口湖泊，地质学上称为“玛珥湖”；湛江鹤地水库烟波浩渺，面积达 122km²，是省内仅次于河源“万绿湖”的“人造海”。这些景观大大丰富了湛江市滨海旅游的内涵，凸显滨海和南亚热带特色。

2.2.6 矿产资源

湛江市能源、矿产和盐资源丰富，已探明有开采价值的地下矿产资源 20 多种，其中石灰石储量 5 亿多 t、白云石 3×10⁷t、石英石 77×10⁵t、高岭土 6×10⁷t。最为突出的是南海石油，北部湾大陆架有丰富的油气聚集，具备商业开发价值。

2.3 开发利用现状

通过实地踏勘、卫星影像图和收集项目附近资料，本项目所在海域的开发利用活动及周边用海情况见图 2.3-1~图 2.3-3。开发利用现状情况统计见表 2.3-1。

2.3.1 湛江市社会经济概况

湛江，广东省地级市，旧称“广州湾”，别称“港城”，位于中国大陆南端、广东省西南部，介于东经 109°31′~110°55′，北纬 20°12′~21°35′之间，总面积 13225.44 平方公里。湛江属于热带北缘季风气候，终年受海洋气候的调节，冬无严寒，夏无酷暑，亚热带作物及海产资源丰富。截至 2019 年，湛江市下辖 4 个市辖区、2 个县，代管 3 个县级市，市政府驻赤坎区。

根据《2019 年湛江市国民经济和社会发展统计公报》，2019 年末，全市常住人口 736.00 万人，比上年末增加 2.8 万人，其中城镇常住人口 323.55 万人，占常住人口的比重（常住人口城镇化率）为 43.96%，比上年末提高 0.95 个百分点。全年出生人口 10.48 万人，出生率 14.26‰；死亡人口 3.53 万人，死亡率 4.81‰；自然增长人口 6.95 万人，自然增长率 9.45‰。

经广东省统计局统一核算，2019 年全市实现地区生产总值（初步核算数）3064.72 亿元，比上年增长 4.0%。人均地区生产总值 41720 元（按平均汇率折算为 6048 美元），增长 3.6%。

2019 年，第一产业增加值 585.24 亿元，比上年增长 4.2%，对地区生产总值增长的贡献率为 17.5%；第二产业增加值 1055.00 亿元，比上年下降 0.8%，对地区生产总值增长的贡献率为-7.4%；第三产业增加值 1424.48 亿元，比上年增长 8.0%，对地区生产总值增长的贡献率为 89.9%。三次产业结构为 19.1:34.4:46.5，第三产业所占比重比上年提高 0.4 个百分点。

全年来源于湛江的财政总收入 652.81 亿元，下降 3.8%；全市地方一般公共预算收入 131.26 亿元，增长 7.7%；其中，税收收入 92.11 亿元，增长 2.0%。全年一般公共预算支出 507.03 亿元，增长 6.3%。其中，一般公共服务支出 45.79 亿元，增长 12.2%；教育支出 109.65 亿元，增长 11.7%；社会保障和就业支出 85.29 亿元，增长 11.2%；卫生健康支出 73.58 亿元，增长 11.7%；节能环保支出 9.10 亿元，增长 69.5%；城乡社区支出 33.59 亿元，下降 22.7%；农林水支出 55.13 亿元，下降 8.8%；交通运输支出 22.08 亿元，增长 5.8%；住房保障支出 10.96 亿元，增长 14.7%。民生类支出 413.77 亿元，占一般公共预算支出比重为 81.6%。

全年城镇新增就业 7.4 万人，城镇失业人员再就业人数 4.25 万人。年末城镇登记失业率 2.17%，比上年降低 0.22 个百分点。

全年市区居民消费价格比上年上涨 3.4%。分类别看，食品烟酒类价格上涨 7.4%，衣着类价格上涨 3.3%，居住类价格上涨 2.1%，生活用品及服务类价格上涨 0.3%，交通和通信类价格下降 2.3%，教育文化和娱乐类价格上涨 1.5%，医疗保健类价格上涨 4.8%，其他用品和服务价格上涨 2.3%。

工业生产者出厂价格下降 0.3%，其中，轻工业下降 0.1%，重工业下降 0.6%；黑色金属冶炼和压延加工业下降 1.0%，农副食品加工业上涨 0.4%，石油、煤炭及其他燃料加工业下降 4.4%。

2.3.2 徐闻县社会经济概况

2019 年，全县 14 个乡镇，1 个街道办，5 个国营农场。全县户籍总人口 788417 人，总户数 173941 户；其中：城镇人口 244435 人，乡村人口 543982 人；男性

人口 417850 人，女性人口 370567 人。2019 年末常住人口 73.27 万人，城镇化率为 41.65%。全县出生人口 12099 人，出生性别比 111.26%（以女性为 100），出生率 15.32‰；人口自然增长率 11.82‰。

全县实现生产总值（GDP）1899289 万元（四经普数据口径），比上年增长 5.6%。其中，第一产业增加值 958097 万元，增长 4.7%；第二产业增加值 156240 万元，增长 5.7%，其中工业增加值为 129178 万元，增长 5.5%；建筑业增加值 27061 万元，增长 6.8%；第三产业增加值 784952 万元，增长 6.6%。

2019 年全社会固定资产投资 916721 万元，比上年增长 34.0%。从产业结构看，第一产业完成 34455 万元，同比增长 17.3%，第二产业完成 313963 万元，同比增长 39.3%，第三产业完成 296199 万元，同比增长 17.3%。房地产开发投资完成 272104 万元，比上年增长 54.1%。全年商品房销售面积 396774m²，同比下降 12.9%。

2.3.3 海域使用现状

通过实地踏勘、卫星影像图和收集项目附近资料，本项目所在海域的开发利用活动及周边用海情况见图 2.3-1。开发利用现状情况统计见表 2.3-1。

表 2.3-1 项目周边海域使用现状统计表

序号	项目	权属/主管部门	位置
1	外罗水道	湛江市航道局	海缆西侧 1.4km
2	外沙水道	湛江市航道局	海缆交越
3	罗斗沙旅游休闲娱乐区		位于西侧，紧邻本项目海缆
4	徐闻大黄鱼幼鱼资源县级自然保护区	保护区管理部门	位于东侧，紧邻本项目海缆
5	外罗人工鱼礁		海缆东侧 1km
6	湛江外罗海上风电项目		位于北侧，紧邻本项目海缆
7	湛江徐闻前山地方级海洋自然公园	湛江市人民政府	海缆交越
8	湛江徐闻罗斗沙县级森林公园	湛江市人民政府	海缆交越

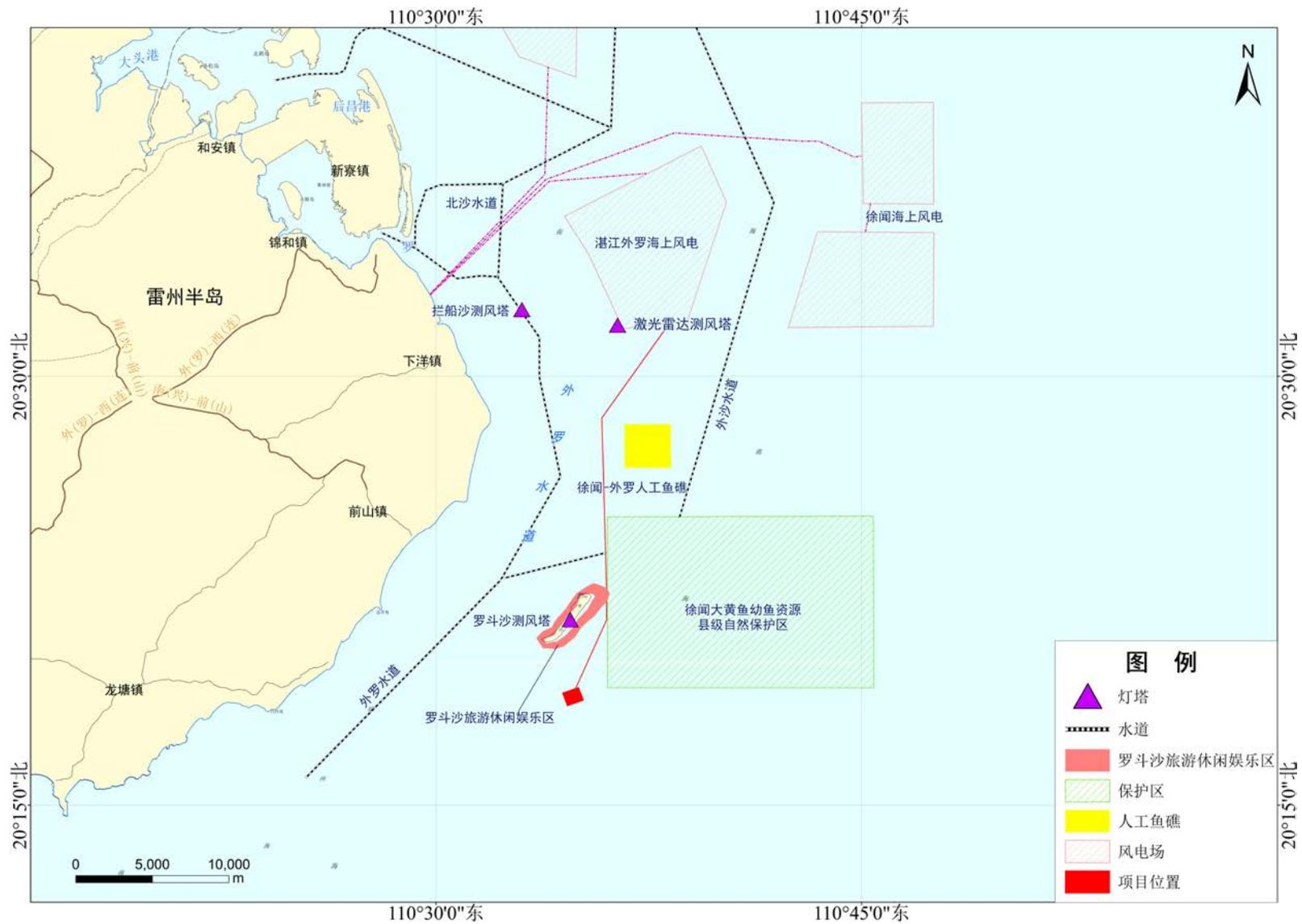


图 2.3-1 项目所在海域开发利用现状

3 项目用海资源环境影响分析

3.1 海洋环境质量现状

2021年3月至4月，广东海洋大学对本项目拟建附近海域进行海洋环境质量现状调查。

3.1.1 调查概况

2021年3月在项目所在海域进行的环境质量现状调查，共布设I、J、K三个水质监测断面，每个断面布设4个监测站位，共计12个水质监测站位，7个沉积物监测站位，7个海洋生态调查站位。其中I1、J1、K1监测站位位于雷州湾农渔业区，海水水质执行二类标准，沉积物和海洋生物质量执行一类标准，其他监测站位位于湛江-珠海近海农渔业区，海水水质执行一类标准，沉积物和海洋生物质量执行一类标准，调查站位布设见表3.1-1和图3.1-1。

表 3.1-1 2021 年 3 月调查站位表

序号	站号	经度	纬度	监测内容
1	I1	110°32'37.98"	20°26'30.69"	水质、沉积物、生态
2	I2	110°34'42.04"	20°24'36.29"	水质、生态
3	I3	110°37'10.20"	20°22'20.41"	水质、沉积物、生态
4	I4	110°39'31.64"	20°20'08.62"	水质
5	J1	110°29'51.59"	20°23'31.32"	水质、沉积物、生态
6	J2	110°32'13.26"	20°21'25.41"	水质、沉积物、生态
7	J3	110°34'45.52"	20°19'10.22"	水质
8	J4	110°36'48.50"	20°17'19.91"	水质、沉积物、生态
9	K1	110°26'50.06"	20°18'57.79"	水质、沉积物、生态
10	K2	110°28'49.02"	20°17'11.88"	水质
11	K3	110°30'45.12"	20°15'29.37"	水质
12	K4	110°32'16.58"	20°14'11.43"	水质、沉积物、生态

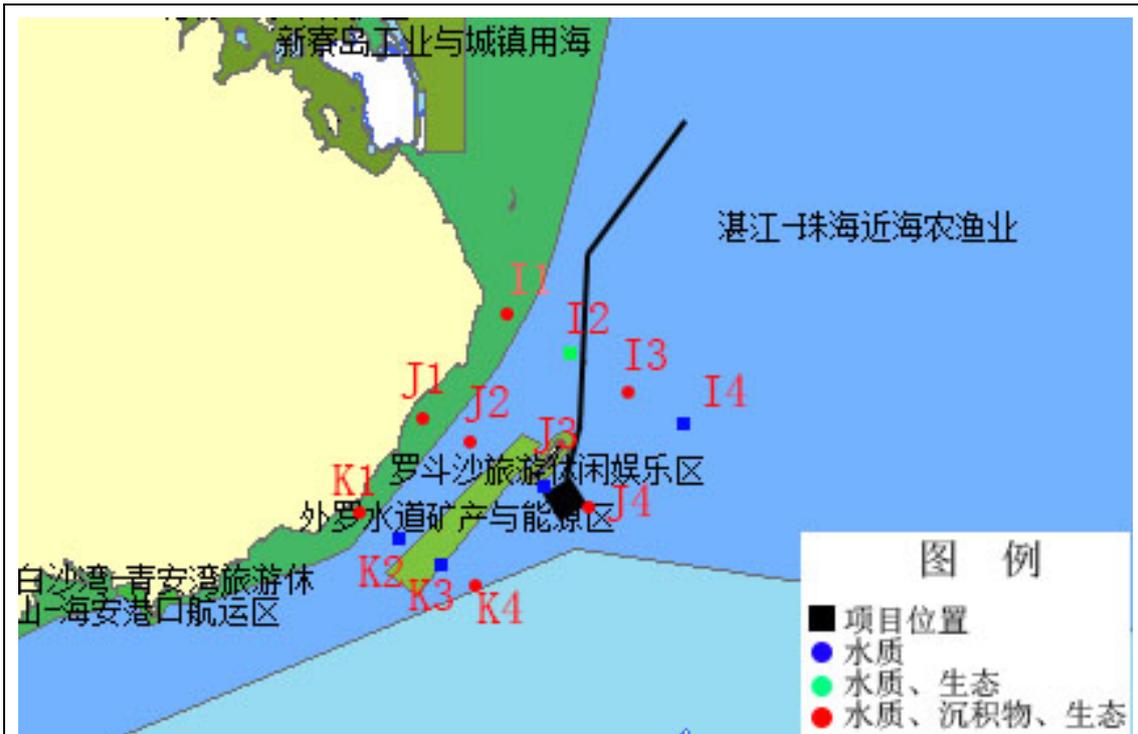


图 3.1-1 调查站位示意图

3.1.2 监测方法

3.1.2.1 水质监测方法及评价方法

(1) 水质监测方法

按照《海洋监测规范》(GB17378-2007)、《海洋调查规范》(GB12763-2007)执行,水质具体分析方法见表 3.1-2。

表 3.1-2 水质调查项目分析方法

序号	项目	分析方法	方法标准
1	水深	单波束测深法	GBT12763.11-2007
2	水温	表层水温表法	GB17378.4-2007
3	透明度	透明圆盘法	GB17378.4-2007
4	盐度	盐度计法	GB17378.4-2007
5	pH	便携式 pH 法	GB17378.4-2007
6	溶解氧	电化学探头法	HJ506-2009
7	化学需氧量	碱性高锰酸钾法	GB17378.4-2007
8	活性磷酸盐	磷钼蓝紫外分光光度法	GB17378.4-2007
9	亚硝酸盐氮	气相分子吸收光谱法	HJ/T197-2005

10	氨氮	气相分子吸收光谱法	HJ/T195-2005
11	硝酸盐氮	气相分子吸收光谱法	HJ/T198-2005
12	石油类	紫外分光光度法	GB17378.4-2007
13	悬浮物	重量法	GB17378.4-2007
14	铜	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378-2007
15	总铬	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378-2007
16	锌	火焰原子吸收分光光度法	GB 17378-2007
17	镉	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378-2007
18	汞	冷原子吸收分光光度法	GB 17378-2007
19	砷	砷铝酸-结晶紫外分光光度法	GB 17378-2007

(2) 水质评价方法

根据海洋系统对水质的评价方法，评价模式采用单因子标准指数法。单项水质评价因子*i*在第*j*取样点的标准指数：

采用标准指数法，单项水质评价因子（参数）*i*在第*j*点的标准指数：

$$S_{ij} = C_{ij} / C_{i.o}$$

式中， C_{ij} 为单项水质在*j*点的实测浓度， $C_{i.o}$ 为该项水质的标准值。

对于溶解氧，其标准指数算法为：

$$Q_j = |C_f - C_j| / |C_f - C_o| \quad \text{当 } C_j \geq C_o \text{ 时,}$$

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

式中， Q_j 为溶解氧的标准指数， C_f 为某水温、气压条件下的饱和溶解氧浓度，计算公式常采用 $=468/(31.6+T)$ ， T 为水温， C_j 为溶解氧实测值， C_o 为溶解氧的水质评价标准值。

对于pH，其实用算法为：

$$PI_{pH} = |pH - pH_{SM}| / D_S$$

$$\text{其中, } pH_{SM} = (pH_{su} + Ph_{sd}) / 2; \quad D_S = (pH_{su} - Ph_{sd}) / 2$$

式中， PI_{pH} —pH的污染指数；

pH—pH的实测浓度；

pH_{su} —海水 pH 标准的上限值；

pH_{sd} —海水 pH 标准的下限值。

水质评价因子的标准指数 >1 ，则表明该项水质已超过了规定的水质标准。

3.1.2.2 沉积物监测、评价方法

按照《海洋监测规范》(GB17378-2007)、《海洋调查规范》(GB12763-2007)执行，沉积物具体分析方法见表 3.1-3。

表 3.1-3 沉积物监测项目分析方法

序号	项目	分析方法	方法标准
1	石油类	紫外分光光度计法	GB 17378-2007
2	有机碳	重铬酸钾氧化-还原容量法	GB 17378-2007
3	硫化物	气相分子吸收光谱法	GB 17378-2007
4	铜	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378-2007
5	铅	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378-2007
6	镉	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378-2007
7	汞	冷原子吸收分光光度法	GB 17378-2007
8	砷	砷钼酸-结晶紫外分光光度法	GB 17378-2007

对照《海洋沉积物质量标准》(GB18668-2002)中相应的海洋沉积物质量标准，采用标准指数法进行评价。

3.1.3 水质监测与评价结果

3.1.3.1 水质监测结果

水质监测结果见表 3.1-4。

3.1.3.2 水质评价结果

本项目共设置 12 个水质监测站位，位于雷州湾农渔业区和湛江-珠海近海农渔业区，海水水质分别执行二类和一类标准。项目海域重金属汞普遍超标，I3、I4 站位镉超标；K2 站位总铬和砷超标，其他检测指标均符合相关标准要求。

表 3.1-4 2021 年 3 月水质监测结果

站位	层次	水深 (m)	悬浮物 (mg/L)	pH	盐度 (‰)	DO (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	无机氮 (mg/L)	COD (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	石油类 (mg/L)	硫化物 (mg/L)	铜 (μg/L)	锌 (μg/L)	汞 (μg/L)	镉 (μg/L)	总铬 (μg/L)	砷 (μg/L)
I1	表层	8.8	12.5	8.13	30	6.38	0.0020	0.1134	0.0372	0.1526	0.78	0.005	0.0164	0.0004	ND	8.50	4.26	ND	30.20	1.50
I2	表层	3.4	16.5	8.23	29	6.11	0.0017	0.0519	0.0410	0.0946	1.13	ND	0.0329	0.0003	ND	9.20	4.08	ND	31.30	0.90
I3	表层	23.2	13.5	8.29	30	6.32	0.0020	0.0162	0.0291	0.0473	0.98	0.003	0.0388	0.0004	ND	26.80	0.36	ND	34.80	0.70
	底层		12.6	8.27	29	6.03	0.0022	0.0228	0.0261	0.0511	1.02	0.004	0.0323	0.0004	ND	12.40	0.95	ND	29.50	0.60
I4	表层	24.0	15.4	8.26	30	6.29	0.0015	0.0384	0.0312	0.0711	0.89	0.002	0.0311	0.0003	ND	24.40	4.64	ND	39.20	0.60
	底层		14.3	8.32	30	6.41	0.0013	0.0587	0.0295	0.0895	0.91	0.003	0.0256	0.0004	ND	10.50	0.18	ND	32.70	0.60
J1	表层	6.5	18.2	8.20	31	6.39	0.0018	0.0047	0.0409	0.0474	0.70	0.003	0.0289	0.0002	ND	17.20	0.20	ND	33.60	2.20
J2	表层	22.2	20.4	8.21	30	6.32	0.0022	0.0140	0.0469	0.0631	0.76	0.002	0.0347	0.0004	ND	9.50	0.26	ND	37.00	1.50
	底层		23.7	8.18	30	6.38	0.0035	0.0537	0.0492	0.1064	0.73	0.003	0.0283	0.0005	ND	9.40	0.40	ND	20.70	1.90
J3	表层	47.6	14.8	8.18	30	6.05	0.0016	0.0093	0.0214	0.0323	1.08	0.002	0.0233	0.0004	ND	10.70	0.32	ND	37.80	0.60
	中层		12.2	8.24	30	6.14	0.0014	0.0087	0.0421	0.0522	1.01	0.003	0.0343	0.0005	ND	9.30	0.69	ND	35.00	0.60
	底层		11.7	8.21	31	6.27	0.0017	0.0114	0.0387	0.0518	0.94	0.003	0.0296	0.0004	ND	9.90	0.90	ND	23.50	0.70
J4	表层	65.2	8.8	8.25	30	6.48	0.0020	0.0448	0.0179	0.0647	0.95	ND	0.0264	0.0003	ND	11.30	0.23	ND	37.50	0.60
	中层		6.8	8.24	30	6.08	0.0017	0.0427	0.0302	0.0746	0.93	0.001	0.0225	0.0003	ND	9.60	0.24	ND	33.80	0.70
	底层		7.8	8.19	31	6.11	0.0018	0.0433	0.0236	0.0687	0.98	0.003	0.0184	0.0005	ND	6.90	0.26	ND	29.40	0.80

K1	表层	24.6	19.5	8.19	31	6.32	0.0025	0.0078	0.0382	0.0485	0.86	0.005	0.0340	0.0002	ND	10.50	0.46	ND	37.40	1.50
	底层		16.7	8.17	30	6.29	0.0023	0.0062	0.0380	0.0465	0.90	ND	0.0263	0.0005	ND	6.70	0.20	ND	15.80	1.50
K2	表层	47.5	12.6	8.23	30	6.27	0.0022	0.0353	0.0573	0.0948	0.91	0.003	0.0212	0.0004	ND	10.90	0.11	ND	59.00	23.10
	中层		13.5	8.20	30	6.16	0.0037	0.0410	0.0591	0.1038	0.86	0.002	0.0284	0.0003	ND	9.80	0.25	ND	42.60	2.60
	底层		14.7	8.23	31	6.30	0.0033	0.0300	0.0499	0.0832	0.82	0.003	0.0329	0.0005	ND	9.60	0.25	ND	28.80	1.50
K3	表层	47.9	15.3	8.20	30	6.12	0.0018	0.0133	0.0423	0.0574	0.81	0.007	0.0337	0.0004	ND	10.90	0.23	ND	36.80	0.60
	中层		9.7	8.22	30	6.23	0.0016	0.0159	0.0267	0.0442	0.77	ND	0.0293	0.0005	ND	9.60	0.17	ND	34.60	1.60
	底层		13.2	8.25	31	6.45	0.0019	0.0097	0.0335	0.0451	0.71	0.001	0.0364	0.0005	ND	9.30	2.47	ND	26.00	2.00
K4	表层	46.2	16.5	8.21	30	6.15	0.0021	0.0060	0.0452	0.0533	0.97	0.003	0.0232	0.0003	ND	13.80	0.35	ND	35.20	0.80
	中层		20.7	8.26	30	6.18	0.0022	0.0068	0.0408	0.0498	0.92	ND	0.0348	0.0003	ND	11.30	0.24	ND	33.50	0.90
	底层		23.3	8.22	31	6.09	0.0025	0.0034	0.0387	0.0446	0.86	0.001	0.0308	0.0005	ND	7.20	0.41	ND	31.30	0.90

备注：ND 为未检出

表 3.1-5 2021 年 3 月水质评价结果

站位	层次	pH	DO	无机氮	COD	PO ₄ ³⁻	石油类	硫化物	铜	锌	汞	镉	总铬	砷	评价标准
I1	表层	0.06	0.60	0.51	0.26	0.17	0.33	0.01	—	0.17	21.30	—	0.30	0.05	二类
I2	表层	0.23	0.95	0.47	0.57	—	0.66	0.02	—	0.46	81.60	—	0.63	0.05	一类
I3	表层	0.40	0.87	0.24	0.49	0.18	0.78	0.02	—	1.34	7.20	—	0.70	0.04	一类
	底层	0.34	0.99	0.26	0.51	0.29	0.65	0.02	—	0.62	19.00	—	0.59	0.03	一类
I4	表层	0.31	0.88	0.36	0.45	0.11	0.62	0.02	—	1.22	92.80	—	0.78	0.03	一类
	底层	0.49	0.84	0.45	0.46	0.21	0.51	0.02	—	0.53	3.60	—	0.65	0.03	一类
J1	表层	0.14	0.59	0.16	0.23	0.09	0.58	0.00	—	0.34	1.00	—	0.34	0.07	二类
J2	表层	0.17	0.87	0.32	0.38	0.11	0.69	0.02	—	0.48	5.20	—	0.74	0.08	一类
	底层	0.09	0.84	0.53	0.37	0.19	0.57	0.03	—	0.47	8.00	—	0.41	0.10	一类
J3	表层	0.09	0.98	0.16	0.54	0.15	0.47	0.02	—	0.54	6.40	—	0.76	0.03	一类
	中层	0.26	0.94	0.26	0.51	0.21	0.69	0.03	—	0.47	13.80	—	0.70	0.03	一类
	底层	0.17	0.89	0.26	0.47	0.17	0.59	0.02	—	0.50	18.00	—	0.47	0.04	一类
J4	表层	0.29	0.79	0.32	0.48	—	0.53	0.02	—	0.57	4.60	—	0.75	0.03	一类
	中层	0.26	0.96	0.37	0.47	0.09	0.45	0.02	—	0.48	4.80	—	0.68	0.04	一类
	底层	0.11	0.95	0.34	0.49	0.21	0.37	0.03	—	0.35	5.20	—	0.59	0.04	一类

K1	表层	0.11	0.62	0.16	0.29	0.16	0.68	0.00	—	0.21	2.30	—	0.37	0.05	二类
	底层	0.06	0.63	0.16	0.30	—	0.53	0.01	—	0.13	1.00	—	0.16	0.05	二类
K2	表层	0.23	0.89	0.47	0.46	0.19	0.42	0.02	—	0.55	2.20	—	1.18	1.16	一类
	中层	0.14	0.94	0.52	0.43	0.11	0.57	0.02	—	0.49	5.00	—	0.85	0.13	一类
	底层	0.23	0.90	0.42	0.41	0.23	0.66	0.03	—	0.48	5.00	—	0.58	0.08	一类
K3	表层	0.14	0.95	0.29	0.41	0.43	0.67	0.02	—	0.55	4.60	—	0.74	0.03	一类
	中层	0.20	0.90	0.22	0.39	—	0.59	0.03	—	0.48	3.40	—	0.69	0.08	一类
	底层	0.29	0.82	0.23	0.36	0.08	0.73	0.03	—	0.47	49.40	—	0.52	0.10	一类
K4	表层	0.17	0.93	0.27	0.49	0.23	0.46	0.02	—	0.69	7.00	—	0.70	0.04	一类
	中层	0.31	0.92	0.25	0.46	—	0.70	0.02	—	0.57	4.80	—	0.67	0.05	一类
	底层	0.20	0.96	0.22	0.43	0.09	0.62	0.03	—	0.36	8.20	—	0.63	0.05	一类
最小值		0.06	0.59	0.16	0.23	0.08	0.37	0.00	—	0.13	1.00	—	0.16	0.03	
最大值		0.49	0.99	0.53	0.54	0.43	0.73	0.03	—	1.22	92.80	—	1.18	1.16	
超标率		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	—	8%	100%	—	4%	4%	

3.1.4 沉积物调查与评价结果

表 3.1-6 2021 年 3 月沉积物现状调查结果

站 位	有机碳	硫化物	石油类	铜	铅	锌	镉	铬	汞	砷
	%	×10 ⁻⁶								
I1	0.22	0.25	7.5	4.2	16.5	49.5	0.13	26.7	0.047	6.72
I3	0.07	0.6	5	ND	14.2	38.4	0.07	22	0.053	3.92
J1	0.43	18.2	21.4	8.2	26.7	70.6	0.07	36.5	0.086	7.61
J2	0.13	13.3	17.7	2.4	17.7	45.9	0.07	31.5	0.091	5.82
J4	0.24	0.66	21.6	2.8	19.6	45.2	0.1	21.5	0.072	3.91
K1	0.52	4.35	29.6	9.2	30.7	74.3	0.5	34.4	0.116	13.4
K4	0.21	0.81	2.5	16.1	17.7	49.3	0.09	29.8	0.098	6.94

表 3.1-7 2021 年 3 月沉积物现状评价结果

站位	有机碳	硫化物	石油类	铜	铅	锌	镉	铬	汞	砷
I1	0.11	0.00	0.02	0.12	0.28	0.33	0.26	0.33	0.24	0.34
I3	0.04	0.00	0.01	—	0.24	0.26	0.14	0.28	0.27	0.20
J1	0.22	0.06	0.04	0.23	0.45	0.47	0.14	0.46	0.43	0.38
J2	0.07	0.04	0.04	0.07	0.30	0.31	0.14	0.39	0.46	0.29
J4	0.12	0.00	0.04	0.08	0.33	0.30	0.20	0.27	0.36	0.20
K1	0.26	0.01	0.06	0.26	0.51	0.50	1.00	0.43	0.58	0.67
K4	0.11	0.00	0.01	0.46	0.30	0.33	0.18	0.37	0.49	0.35
最小值	0.04	0.00	0.01	0.07	0.24	0.26	0.14	0.27	0.24	0.20
最大值	0.26	0.06	0.06	0.46	0.51	0.50	1.00	0.46	0.58	0.67
超标率	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

3.1.3.1 沉积物监测结果

沉积物监测结果见表 3.1-6。

3.1.3.2 沉积物评价结果

本项目共设置 7 个沉积物监测站位，位于雷州湾农渔业区和湛江-珠海近海农渔业区，执行第一类标准。所有站位检测指标均符合《海洋沉积物质量标准》中的第一类标准。

3.2 海洋生态概况

3.2.1 浮游植物

(1) 种类组成

本次生态调查在调查海域共鉴定出浮游植物 94 种，隶属于 4 大门类（附录 I）；其中以硅藻门为主，共 75 种，占总种数的 79.79%；甲藻门有 16 种，占总种数的 17.02%；金藻门有 2 种，占总种数的 2.13%；蓝藻门只有 1 种，占总种数的 1.06%。

本次调查浮游植物种类空间分布如图 3.2-1 所示，总体看来，浮游植物在各站位空间分布均匀。其中 J2 号站浮游植物种类数最多，有 61 种；其次是 K4 号站，其浮游植物种类数有 55 种；J1 号站种类数最少，有 36 种；其余站位浮游植物种类数介于 41~48 种之间。

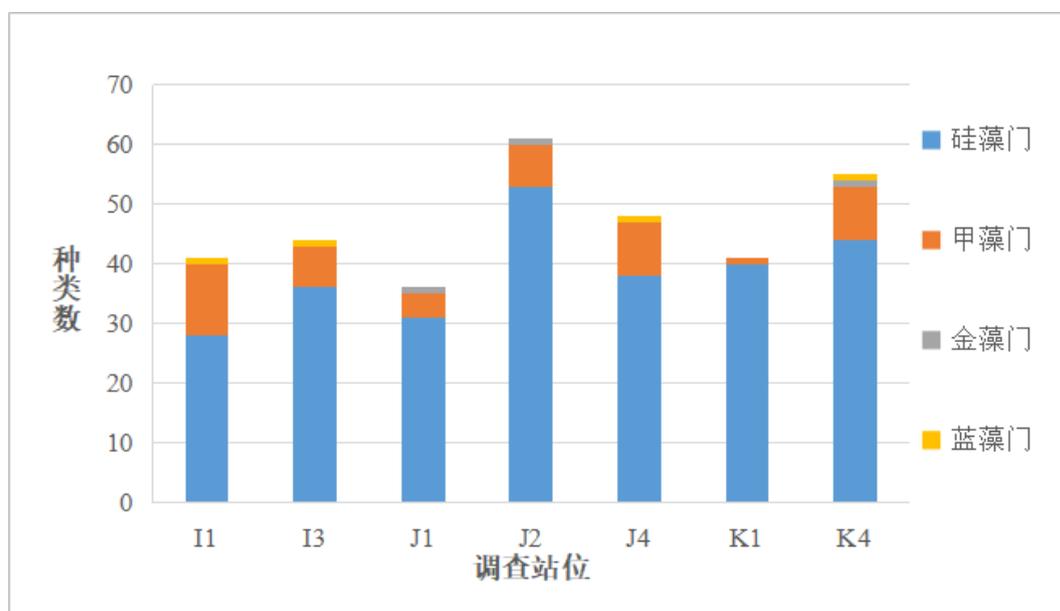


图 3.2-1 调查海域浮游植物种类数空间分布

(2) 数量分布

本次调查浮游植物密度空间分布如图 3.2-2 和表 3.2-1 所示，调查海域的浮游植物平均密度为 $7257.83 \times 10^3 \text{ cells/m}^3$ ，各站位浮游植物密度介于 $813.76 \sim 21161.52 \times 10^3 \text{ cells/m}^3$ 之间，各站位间浮游植物密度分布不均匀。其中 K1

号站浮游植物的密度最高，达 $21161.52 \times 10^3 \text{ cells/m}^3$ ；其次是 J2 号站，其浮游植物密度为 $8268.56 \times 10^3 \text{ cells/m}^3$ ；J4 号站浮游植物密度最低，仅为 $813.76 \times 10^3 \text{ cells/m}^3$ ；其余站位浮游植物密度介于 $2831.41 \sim 7128.71 \times 10^3 \text{ cells/m}^3$ 之间。

表 3.2-1 调查海域浮游植物密度分布表 ($\times 10^3 \text{ cells/m}^3$)

调查站位	硅藻门	甲藻门	金藻门	蓝藻门	总计
I1	6691.19	143.40	0.00	294.12	7128.71
I3	5099.07	35.38	0.00	860.85	5995.30
J1	4522.23	77.79	5.56	0.00	4605.58
J2	8157.17	103.96	7.43	0.00	8268.56
J4	648.79	12.68	0.00	152.29	813.76
K1	21150.46	11.06	0.00	0.00	21161.52
K4	2598.40	33.92	1.13	197.96	2831.41
平均值	6981.04	59.74	2.02	215.03	7257.83

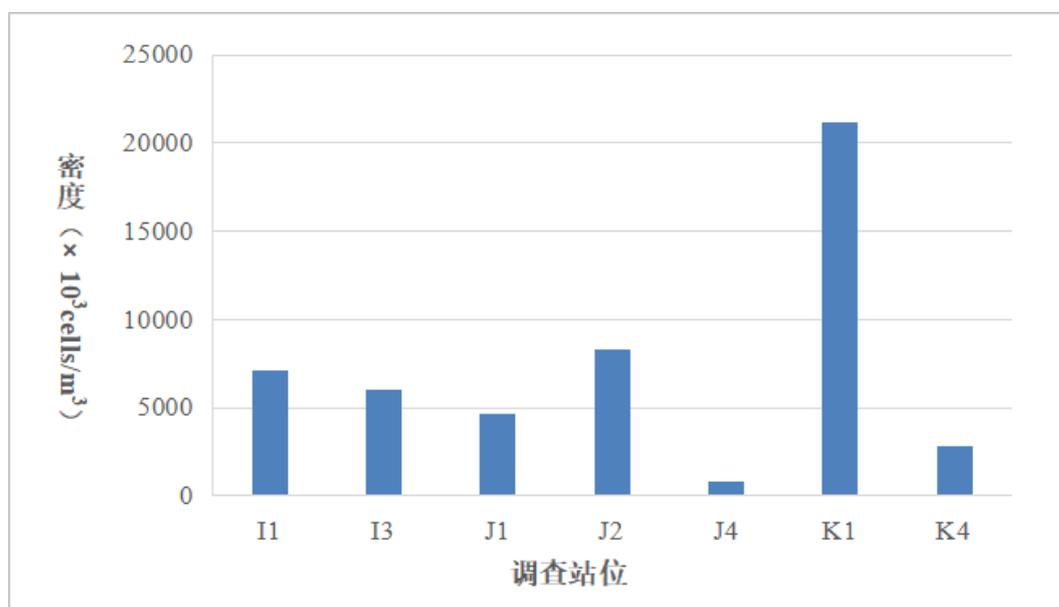


图 3.2-2 调查海域浮游植物密度分布图

(3) 优势种及栖息密度分布

按照优势度 $Y \geq 0.02$ 来确定本次调查海域浮游植物优势种有 8 个，分别为：短角弯角藻、佛氏海毛藻、劳氏角毛藻、拟菱形藻属、透明辐杆藻、翼根管藻、翼根管藻纤细变种和窄隙角毛藻；其中拟菱形藻属优势度最高，为 0.321。八个优

势种在各站位的密度分布见表3.2-2。

表 3.2-2 调查海域浮游植物优势种及栖息密度分布 ($\times 10^3 \text{ cells/m}^3$)

调查站位	短角弯角藻	佛氏海毛藻	劳氏角毛藻	拟菱形藻属	透明辐杆藻	翼根管藻	翼根管藻纤细变型	窄隙角毛藻
I1	7.35	283.09	172.79	3823.53	55.15	797.79	1176.47	36.76
I3	103.77	141.51	834.91	837.26	99.06	1386.79	1186.32	51.89
J1	72.22	522.22	138.89	1694.44	122.22	550.00	877.78	44.44
J2	493.81	66.83	1125.00	1232.67	92.82	1202.97	1923.27	263.61
J4	63.69	19.78	94.94	48.66	20.97	194.62	91.38	2.37
K1	896.02	199.12	2046.46	8396.02	752.21	1404.87	3893.81	1073.01
K4	398.19	15.84	348.42	287.33	53.17	233.03	432.13	126.70
平均值	290.72	178.34	680.20	2331.42	170.80	824.30	1368.74	228.40
优势度	0.040	0.025	0.094	0.321	0.024	0.114	0.189	0.031

(4) 多样性水平

调查海域浮游植物 *Shannon-Wiener* 多样性指数 (H') 和 *Pielou* 均匀度指数 (J) 如表 3.2-3 所示。*Shannon-Wiener* 多样性指数 (H') 范围处于 2.42~4.04 之间, 平均值为 3.30; 多样性指数最高出现在 K4 号站, 值为 4.04; 最低值为 I1 号站, 其值为 2.42。*Pielou* 均匀度指数 (J) 变化范围在 0.45~0.70 之间, 平均值为 0.60; 最高值出现在 K4 号站, 为 0.70; I4 号站均匀度最低, 为 0.45。

表 3.2-3 调查海域浮游植物多样性水平

调查站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)
I1	41	2.42	0.45
I3	44	3.18	0.58
J1	36	3.07	0.59
J2	61	3.76	0.63
J4	48	3.51	0.63
K1	41	3.11	0.58
K4	55	4.04	0.70
平均值	47	3.30	0.60

(5) 综合评价

浮游植物是测量水质的指示生物, 其丰富程度和群落组成结构的变化直接影响水体质量状况。本次调查浮游植物调查结果显示, 调查海域内浮游植物种类 94 种, 种群以硅藻门为主要构成类群, 其占比达到 79.79%, 甲藻门占比为 17.02%;

群落组成符合近岸水域浮游植物类群特征；调查海域浮游植物平均密度为 $7257.83 \times 10^3 \text{ cells/m}^3$ ，密度较高；从种类组成特征来看，调查海域内浮游植物优势种有 8 种，均为近岸常见种；结合统计多样性水平，显示调查海域内浮游植物多样性水平较高，均匀度水平低。

3.2.2 浮游动物

(1) 种类组成

经鉴定，本次调查海域发现浮游动物由 16 大类群组成，共计 59 种(附录 II)。其中桡足类的种数最多，共有 18 种，占总种数的 30.51%；浮游幼体有 16 种，占总种数的 27.12%；刺胞动物有 6 种，占总种数的 10.17%；糠虾类有 3 种，占总种数的 5.08%；被囊类、毛颚类、十足类和枝角类均有 2 种，各占总种数的 3.39%；等足类、端足类、多毛类、介形类、磷虾类、翼足类、原生动物和栉水母动物均有 1 种，各占总种数的 1.69%，详见图 3.2-3。

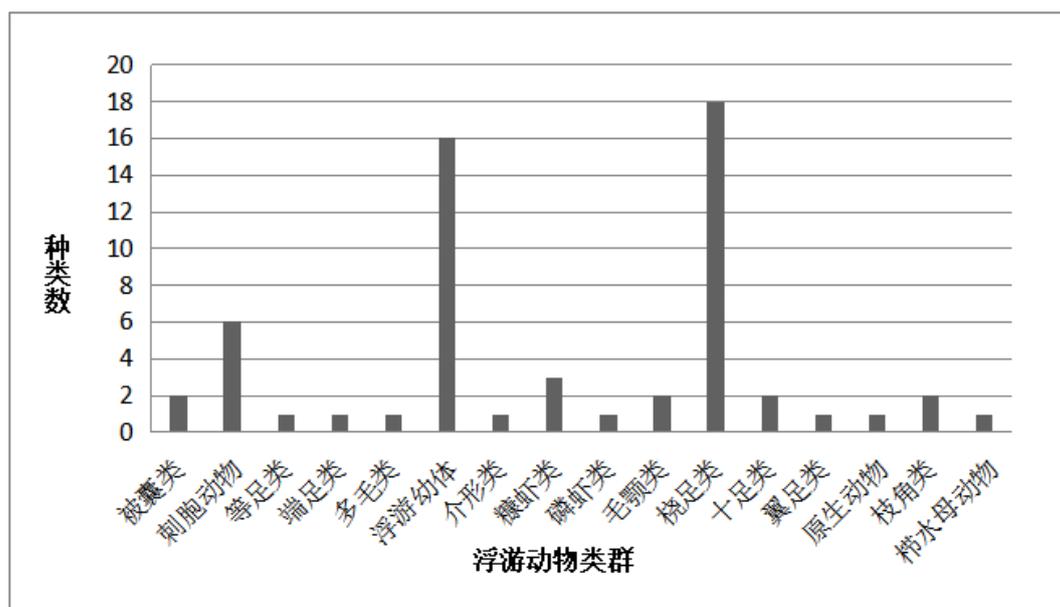


图 3.2-3 调查海域浮游动物类群组成情况

浮游动物种类的空间分布如图 3.2-4 所示，调查海域内浮游动物种类空间分布不均匀。其中 II 号站浮游动物种类数最多，有 36 种；其次是 K4 号站，其浮游动物种类数有 34 种；I3 号站最少，只有 22 种；其余站位浮游动物种类数介于 23~26 种之间。

在本次调查浮游动物类群中刺胞动物、端足类、浮游幼体、毛颚类、桡足类和枝角类出现率最高，均为 100%；被囊类和十足类出现率为 71.43%；糠虾类出

现率为 42.86%；多毛类、介形类、原生动物和栉水母动物出现率均为 28.57%；等足类、磷虾类和翼足类出现率均为 14.29%。

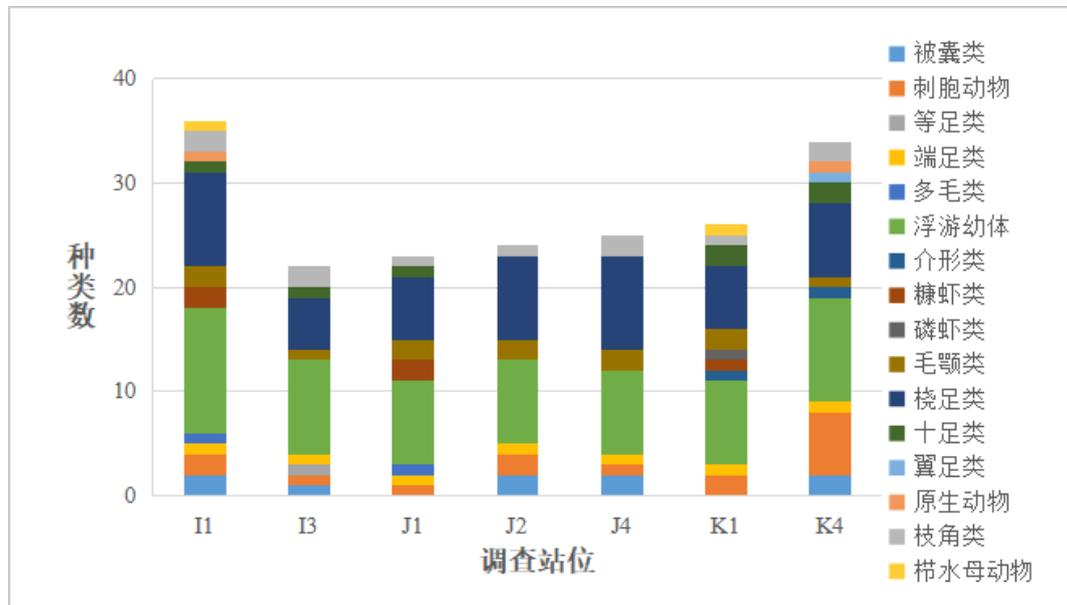


图 3.2-4 调查海域浮游动物各类群种类数的空间分布

(2) 数量分布

本次调查海域范围浮游动物密度分布如表 3.2-4 所示，调查海域范围内各站位浮游动物密度介于 100.81~4808.03ind./m³之间，平均密度为 1764.76ind./m³；其中最大浮游动物密度出现在 K4 号站，其值为 4808.03ind./m³；其次是 I1 号站，其值为 3724.29ind./m³；J4 号站浮游动物密度最低，仅为 100.81ind./m³；其余站位浮游动物密度介于 147.32~3113.94ind./m³之间；可见调查海域内浮游动物密度空间分布不均匀。

本次调查浮游动物平均密度为 1764.76ind./m³，枝角类是调查海域内浮游动物主要构成类群；枝角类平均密度为 915.22ind./m³，占浮游动物平均密度的 51.86%；原生动物平均密度为 413.02ind./m³，占浮游动物平均密度的 23.40%；浮游幼体平均密度为 132.27ind./m³，占浮游动物平均密度的 7.50%；被囊类平均密度为 101.64ind./m³，占浮游动物平均密度的 5.76%；桡足类平均密度为 88.27ind./m³，占浮游动物平均密度的 5.00%；刺胞动物平均密度为 50.55ind./m³，占浮游动物平均密度的 2.86%；毛颚类平均密度为 26.93ind./m³，占浮游动物平均密度的 1.53%；端足类平均密度为 25.56ind./m³，占浮游动物平均密度的 1.45%；十足类平均密度为 6.24ind./m³，占浮游动物平均密度的 0.35%；糠虾类平均密度

为 2.04ind./m³，占浮游动物平均密度的 0.12%；多毛类平均密度为 1.21ind./m³，占浮游动物平均密度的 0.07%；栉水母动物平均密度为 0.90ind./m³，占浮游动物平均密度的 0.05%；介形类平均密度为 0.72ind./m³，占浮游动物平均密度的 0.04%；磷虾类平均密度为 0.13ind./m³，占浮游动物平均密度的 0.01%；等足类平均密度为 0.03ind./m³，占浮游动物平均密度不足 0.01%；翼足类平均密度为 0.02ind./m³，占浮游动物平均密度不足 0.01%。

表 3.2-4 调查海域浮游动物各类群栖息密度的空间分布（单位：ind./m³）

调查 站位	I1	I3	J1	J2	J4	K1	K4	平均值
被囊类	117.64	7.08	0.00	1.24	17.08	0.00	568.43	101.64
刺胞动物	227.95	7.08	2.22	2.72	0.32	8.84	104.74	50.55
等足类	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
端足类	132.35	10.61	5.56	5.94	0.32	1.55	22.62	25.56
多毛类	7.35	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21
浮游幼体	518.39	109.91	75.54	90.36	6.80	50.21	74.67	132.27
介形类	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21	2.83	0.72
糠虾类	10.30	0.00	2.22	0.00	0.00	1.77	0.00	2.04
磷虾类	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.13
毛颚类	141.17	6.13	3.33	2.23	0.64	7.08	27.94	26.93
桡足类	257.37	38.92	121.10	16.86	1.99	119.45	62.23	88.27
十足类	32.35	4.72	3.33	0.00	0.00	1.10	2.15	6.24
翼足类	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.02
原生动物	555.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2335.97	413.02
枝角类	1720.59	2929.25	17.78	27.97	73.66	30.97	1606.34	915.22
栉水母动物	3.68	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	0.00	0.90
总计	3724.29	3113.94	232.19	147.32	100.81	226.71	4808.03	1764.76

浮游动物生物量空间分布如图 3.2-5、表 3.2-5 所示，调查海域范围内站位平均生物量为 273.531mg/m³，变化范围为 18.117~1080.147mg/m³。其中 I1 站位生物量最高，为 1080.147mg/m³；其次是 K4 站位其值为 469.457mg/m³；J4 站位浮游动物生物量最低，仅为 18.117mg/m³；其余站位浮游动物生物量介于 23.267~131.840mg/m³之间。

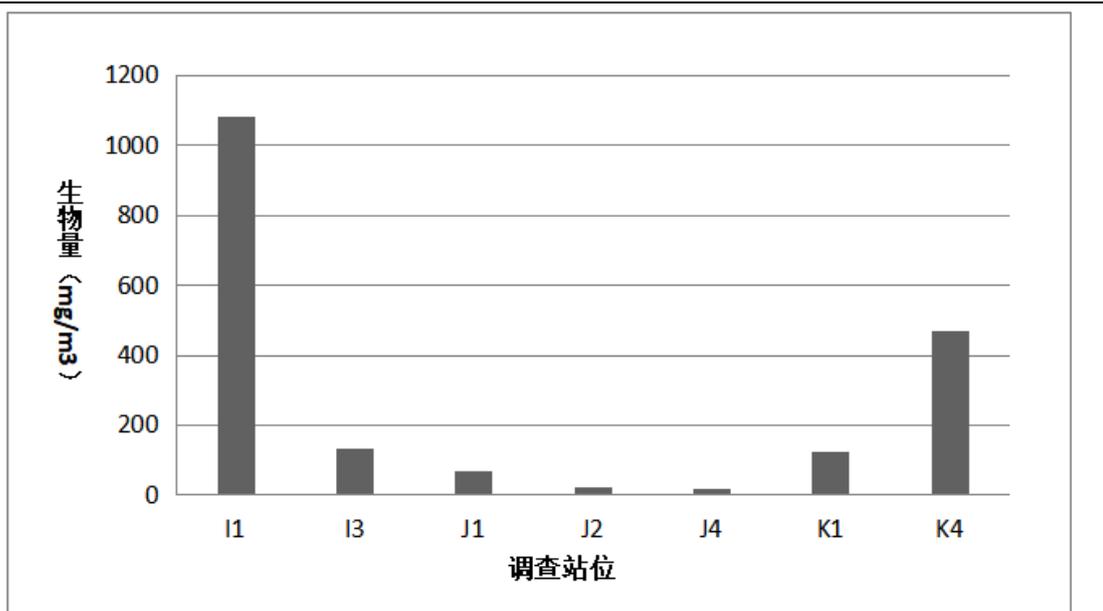


图 3.2-5 调查海域浮游动物生物量的空间分布

表 3.2-5 调查海域浮游动物生物量的空间分布 (单位: mg/m³)

站位	生物量
I1	1080.147
I3	131.840
J1	66.667
J2	23.267
J4	18.117
K1	125.221
K4	469.457
平均值	273.531

(3) 优势种类及其数量分布

按照优势度 $Y \geq 0.02$ 来确定本次调查的浮游动物优势种类,共得出 5 个种类,分别是:鸟喙尖头溞、软拟海樽、瘦尾胸刺水蚤、双生水母和夜光虫;其中鸟喙尖头溞优势度最高,为 0.507。五种优势种在各站位的分布情况见表 3.2-6。

(4) 多样性水平

该海域浮游动物种类多样性水平计算结果见表 3.2-7, 调查海域浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 变化范围在 0.78~3.06 之间, 平均值为 2.17; 多样性指数最高出现在 K1 号站, 值为 3.06; 最低值为 I3 号站, 其值为 0.78。Pielou 均匀度指数 (J) 变化范围在 0.18~0.65 之间, 平均值为 0.46; 最高值出现

在 K1 号站，为 0.65；I3 号站均匀度最低，仅为 0.18。

表 3.2-6 调查海域浮游动物优势种类及数量的空间分布（单位：ind./m³）

调查站位	鸟喙尖头蚤	软拟海樽	瘦尾胸刺水蚤	双生水母	夜光虫
I1	1713.24	99.26	117.65	213.24	555.15
I3	2801.89	0.00	10.61	7.08	0.00
J1	17.78	0.00	114.44	0.00	0.00
J2	27.97	0.50	13.37	1.98	0.00
J4	73.58	16.61	0.40	0.32	0.00
K1	30.97	0.00	106.19	4.42	0.00
K4	1600.68	559.95	2.83	96.15	2335.97
平均值	895.16	96.62	52.21	46.17	413.02
优势度	0.507	0.031	0.030	0.022	0.067

表 3.2-7 调查海域浮游动物多样性水平

调查站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)
I1	36	3.03	0.59
I3	22	0.78	0.18
J1	23	2.66	0.59
J2	24	2.26	0.49
J4	25	1.48	0.32
K1	26	3.06	0.65
K4	34	1.89	0.37
平均值	27	2.17	0.46

(5) 综合评价

浮游动物群落变化与环境因素密切相关，作为一项重要指标反映环境特征；同时作为主要的鱼类饲料，对海洋渔业具有重要意义。本次浮游动物调查结果显示，调查海域内浮游动物种类 59 种，类群多样；调查海域浮游动物平均密度和生物量分别为 1764.76ind./m³和 273.531mg/m³，其中枝角类和原生动物密度占比较高；从种类组成特征来看，调查海域内优势种有 5 种，均为近岸常见优势种，其中鸟喙尖头蚤优势度最高；结合统计多样性水平，显示调查海域内浮游动物多样性水平中等，均匀度水平较低。

3.2.3 底栖生物

(1) 种类组成

本次调查出现大型底栖生物有 4 大类群组成, 共计 12 种 (附录 III)。其中环节动物的种数最多, 共有 6 种, 占总种数的 50.00%; 节肢动物有 3 种, 占总种数的 50.00%; 软体动物有 2 种, 占总种数的 16.67%; 星虫动物有 1 种, 占总种数的 8.33%。

本次调查海域内大型底栖生物类群种数及空间分布情况如图 3.2-6 所示。其中 J1 和 K4 号站大型底栖生物种类数最多, 有 5 种; 其次是 I3 号站, 有 4 种; J4 号站大型底栖生物种类数有 3 种; J2 号站大型底栖生物有 1 种; I1 和 K1 号站未发现大型底栖生物。

在本次调查中环节动物和节肢动物出现率最高, 为 57.14%; 软体动物出现率为 28.57%; 星虫动物出现率为 14.29%。

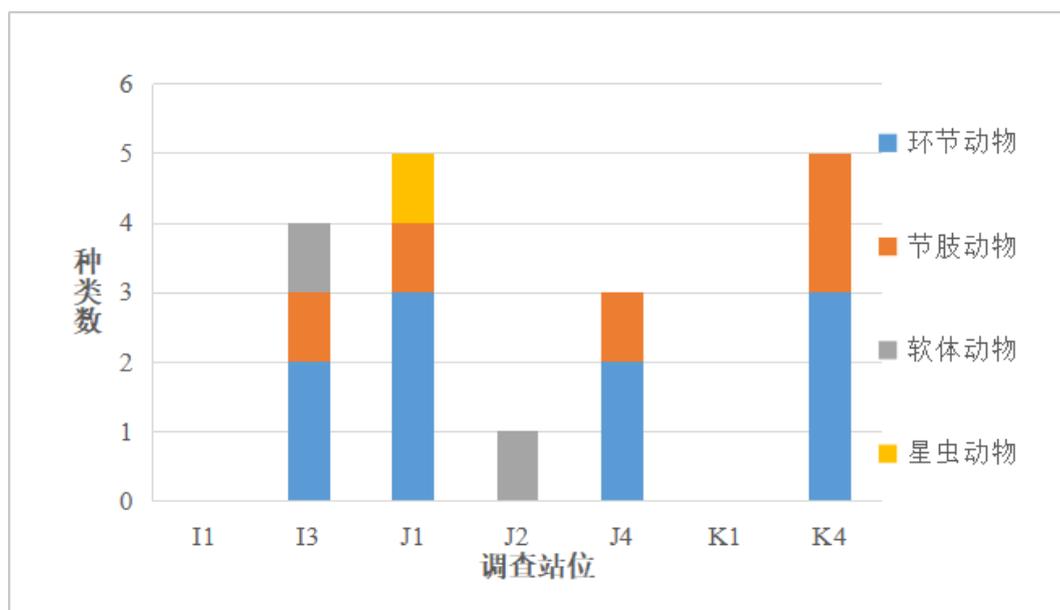


图 3.2-6 调查海域大型底栖生物种类组成的空间分布

(2) 数量分布

本次调查海域内大型底栖生物栖息密度范围为 0~56.67ind./m², 平均栖息密度为 18.09ind./m²; 其中 J2 号站大型底栖生物栖息密度最高, 为 56.67ind./m²; 其次是 J1 号站, 其大型底栖生物栖息密度为 23.33ind./m²; K4 号站大型底栖生物栖息密度为 19.99ind./m²; I3 号站大型底栖生物栖息密度为 16.66ind./m²; J4

号站大型底栖生物栖息密度为 9.99ind./m²；I1 和 K1 号站未发现大型底栖生物。

在大型底栖生物各类群的数量组成（详见表 3.2-8）中，各调查站位中以软体动物栖息密度最大，平均栖息密度为 8.57ind./m²，占海域内大型底栖生物平均栖息密度的 47.38%，变化范围介于 0~56.67ind./m²之间；环节动物平均栖息密度为 6.19ind./m²，占海域内大型底栖生物平均栖息密度的 34.21%，变化范围介于 0~16.67ind./m²之间；节肢动物平均栖息密度为 2.86ind./m²，占海域内大型底栖生物平均栖息密度的 15.78%，变化范围介于 0~10.00ind./m²之间；星虫动物平均栖息密度为 0.48ind./m²，占海域内大型底栖生物平均栖息密度的 2.63%，变化范围介于 0~3.33ind./m²之间。

表 3.2-8 调查海域大型底栖生物各类群数量的空间分布（单位：ind./m²）

调查站位	环节动物	节肢动物	软体动物	星虫动物	总计
I1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I3	10.00	3.33	3.33	0.00	16.66
J1	16.67	3.33	0.00	3.33	23.33
J2	0.00	0.00	56.67	0.00	56.67
J4	6.66	3.33	0.00	0.00	9.99
K1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K4	9.99	10.00	0.00	0.00	19.99
平均值	6.19	2.86	8.57	0.48	18.09

本次调查海域内，各调查站位大型底栖生物生物量分布如表 3.2-9 所示，变化范围为 0~6.140g/m²，平均生物量为 1.085g/m²。其中 J2 号站底栖生物生物量最高，为 6.140g/m²；其次是 K4 号站，其生物量为 0.499g/m²；I3 号站生物量为 0.426g/m²；J4 号站大型底栖生物量为 0.380g/m²；J1 号站大型底栖生物量为 0.147g/m²；I1 和 K1 未发现大型底栖生物。

在本次调查中，软体动物平均生物量最高，为 0.933g/m²，占总生物量的 86.01%；其次是节肢动物，其平均生物量为 0.112g/m²，占总生物量的 10.35%；环节动物平均生物量为 0.035g/m²，占总生物量的 3.24%；星虫动物平均生物量为 0.004g/m²，占总生物量的 0.40%，详见表 3.2-9。

表 3.2-9 调查海域大型底栖生物各类群生物量的空间分布 (单位: g/m^2)

调查站位	环节动物	节肢动物	软体动物	星虫动物	总计
I1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
I3	0.033	0.003	0.390	0.000	0.426
J1	0.114	0.003	0.000	0.030	0.147
J2	0.000	0.000	6.140	0.000	6.140
J4	0.020	0.360	0.000	0.000	0.380
K1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K4	0.079	0.420	0.000	0.000	0.499
平均值	0.035	0.112	0.933	0.004	1.085

(3) 优势种类及其数量分布

调查海域大型底栖生物类群以优势度 $Y \geq 0.02$ 为判断依据, 本次调查的优势种有 4 种, 分别为海南细螯虾、昆士兰稚齿虫、三刻纹楔樱蛤和丝异蚓虫; 其中三刻纹楔樱蛤优势度最高, 为 0.064。五种优势种在各站位的分布情况见表 3.2-10。

表 3.2-10 调查海域大型底栖生物优势种数量的空间分布 (单位: $\text{ind.}/\text{m}^2$)

调查站位	海南细螯 虾	昆士兰稚 齿虫	三刻纹楔 樱蛤	丝异蚓虫
S1	0.00	0.00	0.00	0.00
S2	0.00	0.00	0.00	0.00
S3	0.00	6.67	0.00	6.67
S4	0.00	0.00	56.67	0.00
S5	3.33	0.00	0.00	3.33
S6	0.00	0.00	0.00	0.00
S7	6.67	3.33	0.00	3.33
平均值	1.43	1.43	8.10	1.90
优势度	0.023	0.023	0.064	0.045

(4) 多样性水平

本次调查海域内的大型底栖生物 *Shannon-Wiener* 多样性指数 (H') 范围在 0~2.25 之间, 平均值为 1.60; 多样性指数最高出现在 K4 号站, 值为 2.25; 最低值为 J2 号站, 其值为 0。*Pielou* 均匀度指数 (J) 变化范围在 0.96~1.000 之间, 平均值为 0.97; 最高值出现在 J4 号站, 为 1.00; I3 和 J1 号站均匀度最低, 均为 0.96; I1、J2 和 K1 号站无法计算均匀度, 见表 3.2-11。

表 3.2-11 调查海域大型底栖生物多样性水平

调查站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)
I1	0	-	-
I3	4	1.92	0.96
J1	5	2.24	0.96
J2	1	0.00	-
J4	3	1.58	1.00
K1	0	-	-
K4	5	2.25	0.97
平均值	3	1.60	0.97

(5) 综合评价

大型底栖生物群落是海洋生态系统重要的组成部分，对于环境变化较为敏感，具有较强的季节性变化，作为一项重要指标反映水文、水质和底质变化。本次大型底栖生物调查结果显示，调查海域内大型底栖生物种类 12 种分属 4 大类群；定量调查海域大型底栖生物平均栖息密度和生物量分别为 18.09ind./m²和 1.085g/m²；从种类组成特征来看，调查海域内优势种有 5 种，为近岸海域常见优势种；结合统计多样性水平，显示调查海域内大型底栖生物多样性水平低，均匀度水平较高。

3.2.4 鱼类浮游生物

本次鱼类浮游生物调查分别进行垂直拖网定量采集和水平拖网定性采集调查。

(1) 定性调查种类及数量组成

鱼卵和仔稚鱼水平拖网调查共捕获鱼卵 1498 粒，仔稚鱼 351 尾。初步鉴定共发现鱼卵 17 种，仔稚鱼 18 种（附录IV）；鉴定到科的有 16 种，鉴定到属的有 8 种，鉴定到种的有 11 种，存在部分鱼卵无法确定种属。其中鲈形目的种数最多有 15 种，占总种数的 42.86%；鲱形目有 8 种，占总种数的 22.86%；鲽形目有 4 种，占总种数的 11.43%；鲉形目、灯笼鱼目和鲷形目均有 2 种，各占总种数的 5.71%；银汉鱼目和鲀形目均有 1 种，各占总种数的 2.86%。各调查站位所出现鱼卵种类数介于 7~12 种之间，仔稚鱼种类数介于 4~8 种之间。（表 3.2-12）

本次调查所捕获的鱼卵数量共 1498 粒，数量分布范围在 0~919 粒/网之间，

平均为 214 粒/网。其中 K1 号站鱼卵数量最多，为 919 粒/网；其次为 I3 号站，为 304 粒/网；J1 号站鱼卵数量最少，为 16 粒/网；其余站位鱼卵数量介于 43~92 粒/网之间。本次调查所捕获的仔稚鱼数量共 351 尾，数量分布范围在 6~137 尾/网之间，平均为 50 尾/网。其中 K1 号站仔稚鱼数量最多，为 137 尾/网；其次为 I3 号站，为 71 尾/网；J1 号站仔稚鱼数量最少，为 6 尾/网；其余站位仔稚鱼数量介于 19~50 尾/网之间，见表 3.2-12。

表 3.2-12 定性调查海域鱼卵和仔稚鱼的空间分布情况

调查站位	鱼卵		仔稚鱼	
	种类数	数量 (粒/网)	种类数	数量 (尾/网)
I1	5	16	5	35
I3	10	304	6	71
J1	10	43	4	6
J2	8	69	6	37
J4	12	92	4	19
K1	10	919	7	137
K4	7	55	8	46
平均值	9	214	6	50
总计	-	1498	-	351

(2) 定量调查种类及数量组成

鱼卵和仔稚鱼垂直拖网调查共捕获鱼卵 55 粒，仔稚鱼 209 尾。初步鉴定出鱼卵 12 种和仔稚鱼 11 种（附录VII）；鉴定到科的有 12 种，鉴定到属的有 3 种，鉴定到种的有 8 种，存在部分鱼卵无法确定种属。其中属于鲈形目的种数有 10 种，占总种数的 43.48%；鲱形目有 5 种，占总种数的 21.74%；鲽形目有 3 种，占总种数的 13.04%；鲻形目有 2 种，占总种数的 8.70%；鲉形目、银汉鱼目和灯笼鱼目均有 1 种，各占总种数的 4.35%。各调查站位所捕获鱼卵种类数介于 0~6 种之间，仔稚鱼种类数介乎 1~6 种之间，见表 3.2-13。

本次调查所捕获的鱼卵数量共 55 粒，密度分布范围在 0~11.029 粒/m³之间，平均为 3.118 粒/m³。I1 号站捕获数量最高，其密度为 11.029 粒/m³；其次是 J1 号站，其鱼卵密度为 4.444 粒/m³；I3 号站鱼卵密度最低，为 0.474 粒/m³；J2 未捕获鱼卵；其它站位鱼卵密度介于 1.017~3.539 粒/m³之间（表 3.2-13）。

本次调查所捕获的仔稚鱼数量共 209 尾,密度分布范围在 0.663~25.944 尾/m³ 之间,平均为 9.319 尾/m³。其中 I3 号站仔稚鱼密度最高,为 25.944 尾/m³; 其次为 J1 号站,为 21.111 尾/m³; K1 号站仔稚鱼密度最低,为 0.663 尾/m³; 其它 站位仔稚鱼密度介于 0.712~10.295 尾/m³之间。

表 3.2-13 调查海域鱼卵和仔稚鱼的空间分布情况

调查站位	鱼卵			仔稚鱼		
	种类数	数量(粒)	密度(粒/m ³)	种类数	数量(尾)	密度(尾/m ³)
I1	6	15	11.029	5	14	10.295
I3	6	15	3.539	5	110	25.944
J1	2	4	4.444	3	19	21.111
J2	0	0	0.000	1	3	0.743
J4	3	6	0.474	3	9	0.712
K1	3	6	1.326	3	3	0.663
K4	4	9	1.017	6	51	5.768
平均值	3	8	3.118	4	30	9.319
总计	-	55	-	-	-	209-

(3) 定量调查鱼卵仔稚鱼主要种类及其数量分布

定量调查结果鱼卵优势种有鳎属鱼卵、鲱科鱼卵、舌鳎科鱼卵、石首鱼科鱼卵和鲻科鱼卵。鳎属鱼卵平均密度为 0.520 粒/m³,占仔稚鱼总密度的 16.367%,出现率为 42.86%,优势度为 0.071,其密度变化范围为 0~2.941 粒/m³,在 I1 号站最多;鲱科鱼卵平均密度为 0.294 粒/m³,占仔稚鱼总密度的 9.42%,出现率为 42.86%,优势度为 0.040,其密度变化范围为 0~1.471 粒/m³,在 I1 号站最多;舌鳎科鱼卵平均密度为 0.233 粒/m³,占仔稚鱼总密度的 7.46%,出现率为 28.57%,优势度为 0.021,其密度变化范围为 0~1.471 粒/m³,在 I1 号站最多;石首鱼科鱼卵平均密度为 0.233 粒/m³,占仔稚鱼总密度的 7.48%,出现率为 42.86%,优势度为 0.032,其密度变化范围为 0~1.111 粒/m³,在 J1 号站最多;鲻科鱼卵平均密度为 0.574 粒/m³,占仔稚鱼总密度的 18.40%,出现率为 57.14%,优势度为 0.105,其密度变化范围为 0~3.333 粒/m³,在 J1 号站最多。

表 3.2-14 定量调查海域鱼卵主要种类及其数量分布 (粒/m³)

调查站位	鳕属	鲱科	舌鳎科	石首鱼科	鲻科
I1	2.941	1.471	1.471	0.000	0.000
I3	0.472	0.472	0.000	0.000	0.236
J1	0.000	0.000	0.000	1.111	3.333
J2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
J4	0.000	0.000	0.158	0.079	0.000
K1	0.000	0.000	0.000	0.442	0.221
K4	0.226	0.113	0.000	0.000	0.226
平均值	0.520	0.294	0.233	0.233	0.574
优势度	0.071	0.040	0.021	0.032	0.105

定量调查结果仔稚鱼优势种有白氏银汉鱼仔稚鱼、多鳞鱻仔稚鱼和小沙丁鱼属仔稚鱼；其中白氏银汉鱼仔稚鱼平均密度为 0.415 尾/m³，占仔稚鱼总密度的 4.46%，出现率为 57.14%，优势度为 0.025，其密度变化范围为 0~1.471 尾/m³，在 I1 号站最多；多鳞鱻仔稚鱼平均密度为 1.744 尾/m³，占仔稚鱼总密度的 18.71%，出现率为 57.14%，优势度为 0.107，其密度变化范围为 0~6.132 尾/m³，在 I3 号站最多；小沙丁鱼属仔稚鱼平均密度为 6.006 尾/m³，占仔稚鱼总密度的 64.44%，出现率为 85.71%，优势度为 0.552，其密度变化范围为 0~17.925 尾/m³，在 I3 号站最多。(表 3.2-15)

表 3.2-15 定量调查海域仔稚鱼主要种类及其数量分布 (尾/m³)

调查站位	白氏银汉鱼	多鳞鱻	小沙丁鱼属
I1	1.471	1.471	5.147
I3	0.472	6.132	17.925
J1	0.000	4.444	15.556
J2	0.743	0.000	0.000
J4	0.000	0.158	0.475
K1	0.221	0.000	0.221
K4	0.000	0.000	2.715
平均值	0.415	1.744	6.006
优势度	0.025	0.107	0.552

(4) 综合评价

鱼卵、仔稚鱼是反映海域资源潜力和资源保持的重要指标,在海洋生态环境评估具有重要意义。本次鱼卵仔稚鱼调查共发现鱼卵 19 种和仔稚鱼 21 种。定性调查共捕获鱼卵 1498 粒和仔稚鱼 351 尾,其中 K1 号站捕获鱼卵和仔稚鱼最多。定量调查共捕获鱼卵 55 粒和仔稚鱼 209 尾,鱼卵平均密度尾 3.118 粒/m³,仔稚鱼平均密度为 9.319 尾/m³; I1 号站鱼卵密度最高, I3 号站仔稚鱼密度最高。定量调查海域鱼卵仔稚鱼优势种最高为鲷科鱼卵和小沙丁鱼属仔稚鱼。

3.2.5 游泳动物

现场调查采样和分析参照《海洋调查规范-海洋生物调查》(GB12763.6—2007)、《海洋渔业资源调查规范》(SCT9403-2012)、《海洋生物生态调查技术规程》(国家海洋局 908 专项办公室,2006)中渔业资源调查的要求进行。综合拖速、拖向、流向、流速、风向、风速等多种因素,在距预设站位位置 1nmile 时放网,起网时正好达到预设站位位置或附近,每站位渔业资源调查的拖网时长为 30min,拖网时长按照具体地点底质情况、综合进行调整,最后渔获物均换算为单位小时的质量渔获率(kg/h)和个体渔获率(ind/h)。临放网前准确测定船位,放网时间以停止曳纲投放,曳纲着底开始受力时为准。临起网前必须准确测定船位,起网过程中,绞纲机起网速度保持一致,起网时间以开始卷收曳纲的时间为准。如遇严重破网等渔捞事故导致渔获物大量减少时,则重新拖网另外计算。

起网后,将拖网网囊的全部渔获物倒在甲板上,渔获物总质量在 30kg~40kg 以下的,全部取样分析,大于 40kg 时,从中挑出大型的和稀有的标本后,从渔获物中随机取出渔获物分析样品 20kg 后,然后把余下的渔获物按品种和不同规格装箱,记录该站次准确渔获总质量(kg),并从中再留取特殊需要的样品,如不同体长组的年龄、胃含物和怀卵量的样品等。继而对渔获物进行分类统计,现场称量,同时完成随机抽样和网次总质量估计工作。

(1) 种类组成

本次调查共捕获游泳动物经鉴定为 3 大类 83 种(附录V)。甲壳类有 9 种,占总种数的 37.50%;头足类有 1 种,占总种数的 4.17%;鱼类有 14 种,占总种数的 58.33%。其中在 I3 号断面捕获游泳动物种类数最多,有 21 种;其次是 J2 和 K4 号断面,捕获游泳动物均有 8 种;K1 号断面捕获游泳动物种类数最少,

有 4 种（图 3.2-7）。

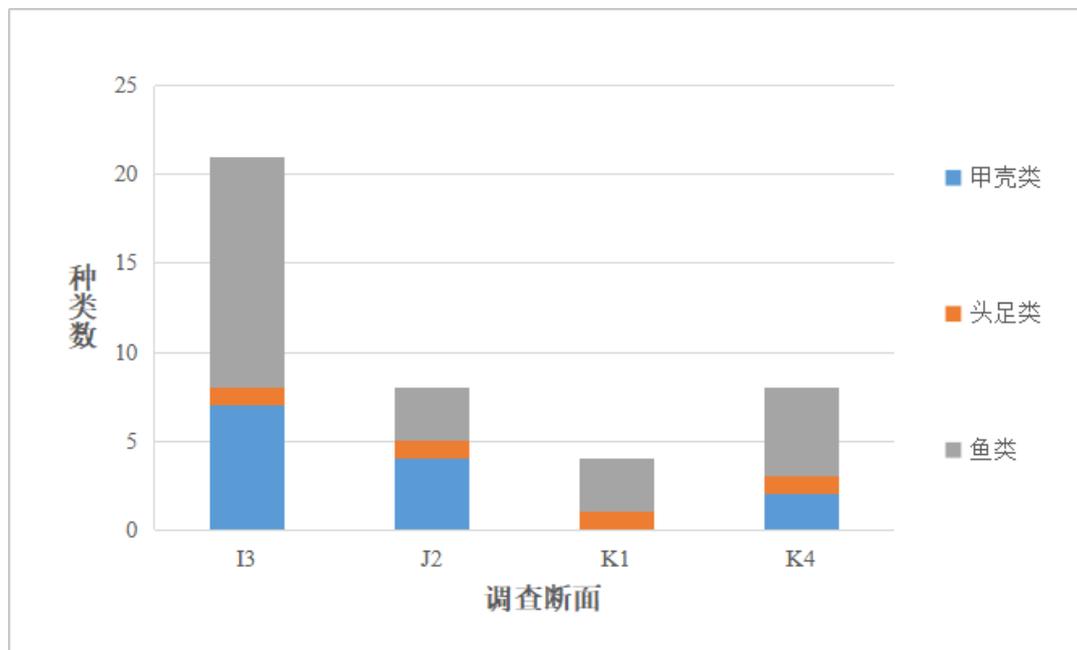


图 3.2-7 调查海域游泳动物种类组成的空间分布

(2) 渔获率

本次调查游泳动物平均个体渔获率和重量渔获率分别为 45ind./h 和 1.243kg/h。甲壳类平均个体渔获率和重量渔获率分别为 25ind./h 和 0.406kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 55.80%和总平均重量渔获率的 32.68%；头足类平均个体渔获率和重量渔获率分别为 4ind./h 和 0.036kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 8.84%和总平均重量渔获率的 2.91%；鱼类平均个体渔获率和重量渔获率分别为 16ind./h 和 0.800kg/h，分别占游泳动物总平均个体渔获率的 35.36%和总平均重量渔获率的 64.41%。（表 3.2-16）

表 3.2-16 各站位的重量渔获率（kg/h）和个体渔获率（ind./h）

调查 站位	甲壳类		头足类		鱼类		总计	
	个体渔 获率	重量渔 获率	个体渔 获率	重量渔 获率	个体渔 获率	重量渔 获率	个体渔 获率	重量渔 获率
I3	90	1.453	7	0.053	41	2.350	138	3.856
J2	9	0.131	1	0.017	3	0.080	13	0.228
K1	0	0.000	3	0.035	8	0.372	11	0.407
K4	2	0.040	5	0.040	12	0.400	19	0.480
平均 值	25	0.406	4	0.036	16	0.800	45	1.243

(3) 资源密度

本次调查游泳动物平均个体密度和重量密度分别为 1629ind./km² 和 44.734kg/km²；甲壳类平均个体密度和平均重量密度分别为 909ind./km² 和 14.617kg/km²；头足类平均个体密度和平均重量密度分别为 144ind./km² 和 1.304kg/km²；鱼类平均个体密度和平均重量密度分别为 576ind./km² 和 28.813kg/km²。（表 3.2-17）

表 3.2-17 各站位的个体密度 (ind./km²) 和重量密度 (kg/km²)

调查站 位	甲壳类		头足类		鱼类		总计	
	个体密 度	重量密 度	个体密 度	重量密 度	个体密 度	重量密 度	个体密 度	重量密 度
I3	3240	52.307	252	1.901	1476	84.587	4968	138.795
J2	324	4.728	36	0.604	108	2.863	468	8.195
K1	0	0.000	108	1.253	288	13.407	396	14.660
K4	72	1.435	180	1.456	432	14.396	684	17.287
平均值	909	14.617	144	1.304	576	28.813	1629	44.734

(4) 游泳动物的优势种

根据渔获物中个体大小悬殊的特点，选用 Pinkas 等提出的相对重要性指数 IRI，来分析渔获物数量组成中其生态优势种的成分，依此确定优势种。IRI 计算公式为 $IRI = (N+W) F$ 。式中：N 为某一种类的尾数占渔获总尾数的百分比，W 为某一种类的重量占渔获总重量的百分比，F 为某一种类出现的站位数占调查总断面数的百分比。

根据选用 Pinkas 等提出的相对重要性指数 IRI 大于 500 为优势种，本次调查中 IRI 大于 500 的物种有 7 个，分别为皮氏叫姑鱼、红线黎明蟹、哈氏仿对虾、火枪乌贼、黄鲫、远海梭子蟹和赤魴。皮氏叫姑鱼优势度最高，其次是红线黎明蟹。（表 3.2-18）

表 3.2-18 游泳动物优势种的渔获重量、尾数及 IRI 指数

种类名称	出现率(%)	渔获个数		渔获重量		IRI
		(ind.)	(%)	(kg)	(%)	
皮氏叫姑鱼	100	25	13.81	1.041	20.94	3474.86
红线黎明蟹	50	36	19.89	0.812	16.34	1811.43
哈氏仿对虾	50	34	18.78	0.258	5.18	1198.31
火枪乌贼	100	16	8.84	0.145	2.91	1175.41
黄鲫	100	7	3.87	0.194	3.90	776.87
远海梭子蟹	75	4	2.21	0.278	5.59	584.67
赤魴	25	3	1.66	0.926	18.62	506.95

(5) 综合评价

渔业资源是海洋价值最直接的体现，在海洋生态环境评估具有重要意义。本次渔业资源调查结果显示，调查海域发现游泳动物种类有 24 种。海域渔业资源平均个体密度和重量密度分别为 1629ind./km^2 和 44.734kg/km^2 ，资源密度水平较低；其中甲壳个体资源密度最高，鱼类重量资源密度最高。从种类组成特征来看，优势种有 7 个，均为常见近岸优势种；皮氏叫姑鱼、哈氏仿对虾、火枪乌贼、黄鲫、远海梭子蟹和赤魴为经济种，皮氏叫姑鱼优势度最高。

3.3 项目用海资源环境的影响分析

3.3.1 对水质的影响分析

(1) 悬浮物泥沙对水质的影响分析

本项目用海对海水水质的影响主要为海底电缆铺设施工过程中产生的悬浮物泥沙，悬浮物泥沙对海域水质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。本项目施工方法和海域自净能力与临近项目湛江徐闻海上风电场项目相似，可以类比《湛江徐闻海上风电场项目海洋环评报告书》中第 6.3 节海水水质环境影响预测与评价结果。自电缆铺设施工作业的初始时刻起，源点附近由于沉降、掺混过程所形成的悬浮物混浊云团，在海流作用下扩散迁移形成“污染区”。由于不停作业，云团核心浓度（中心含沙量）随着时间的推移而不断升高，云团面积不断扩大。在初始阶段，这一过程演变很快，但经过一定时间后，浓度随时间的变化变缓，指某一时间不再升高，即达到所谓“平衡态”。它表征了各种因素（源强、自净能力）对环境水质的影响程度。潮混合使核心浓度达到平衡态的时间，决定于水域的地形特征和流场的强弱以及流态。通常，水域小，流场强，达到平衡态的时间就短。

云团核心浓度在电缆铺设施工作业开始后，很快达到平衡态，由于施工所在海域的水深较大，虽然源强较大，但在二维水深平均后单位水体的浓度并不大；此后，随着电缆铺设施工的继续，核心浓度在潮流和潮汐的共同作用下发生波动式振荡；作业停止后，挖泥点的核心浓度（含沙量）将迅速下降到接近零。

泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流输移作用影响，因此泥沙的扩散方向与潮流的方向相同。项目施工过程中引起的悬浮泥沙对水质的影响较小，

仅分布在管线附近的小范围内。

(2) 其他污染对水质的影响分析

1) 施工期

施工期其他水污染因素有：施工船舶污染物（包括生活污水、含油污水和生活垃圾）、机修油污水、扫海清障垃圾、风机安装废弃物。施工期污染物全部回收岸上处理达标排放或者回收利用，不会在工程海域排放，对工程海域的海水水质影响不大。施工期间，施工船机设备的跑冒滴漏对工程海域水质有一定影响，施工结束后，这一影响逐渐消失，应加强施工期船机设备的维修养护和各类污染物接受处置管理。

2) 运行期

运营期其他水污染因素有：风机检修产生的含油污水和废油、检修人员产生的少量生活污水和垃圾。其中检修人员产生的少量生活污水和垃圾随船收集回陆上达标处理。含油污水和废油回收送有资质的单位处理。

3.3.2 对沉积物环境影响分析

1) 风机基础施工对沉积物的影响分析

根据本次沉积物环境现状调查的结果，风机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。本项目风机基础采用浮式基础平台，用9跟锚链锚固，施工建设没有疏浚物产生，只有少量施工悬浮物扩散，对附近海域沉积物环境的影响很小。

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，在挖填结束后，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，由于施工范围很小，起悬量不大，所以电缆施工对沉积物环境的影响不大。

海底电缆铺设时产生的悬浮泥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，不会改变海底沉积物性质。

3.3.3 对海洋生态的影响分析

(1) 施工期影响分析

1) 风机基础建设和海缆敷设对海洋生物的影响分析

风机基础采用浮式基础平台，建设不会破坏或长期占用底栖生物赖以生存的生境，对底栖生物的生境影响很小。

海底电缆敷设对底栖生物及其生境可能将造成暂时的破坏。考虑单根电缆开挖及其悬浮物再沉降的边际效应，本工程海底电缆开挖埋设的底栖生物生境破坏范围按照电缆两侧各 5m 计算，海底电缆总长度约 25.77km，底栖生物生境破坏面积为 25.77 公顷。

2) 悬浮泥沙扩散对海洋生物的影响分析

海缆施工前扫海清障（一般无需清障，必要时清障）及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由沿线附近海域的悬浮泥沙含量暂时上升。

悬浮泥沙对海洋生物将产生一定的影响，施工悬浮物使工程附近局部海域混浊度增加，降低了水体的透光率，限制了浮游植物和底栖植物的光合作用率，导致该水域内初级生产力下降。初级生产力的降低将通过食物链影响到整个生态系统的各个环节。透光率的降低还会改变某些靠光线强弱而进行垂直迁移的浮游动物的生活规律。

对部分游泳生物来讲，悬浮物也会对其有影响。悬浮物细微的固体颗粒会粘附在动物的表面，干扰动物的感觉功能；有些粘附甚至引起动物表皮组织溃烂；通过动物的呼吸，悬浮物会阻塞鱼类的鳃组织，造成呼吸困难；滤食性浮游动物及鱼类会吞食适当粒径的悬浮颗粒，造成内消化系统混乱。水体的浑浊还会降低水中溶解氧含量，进而对用于生物和浮游动物产生不利影响。

由于水质浑浊，阳光透射率下降，使得该片水域内的游泳生物迁移到别处。在施工期间，洄游到这里或经过这里产卵的群体，由于产卵场的环境受到干扰而改变正常的洄游路线。在这里栖息、生长的一些地方性种类以及幼体、在浅水区索饵成长的幼鱼幼虾，其正常的分布规律被扰乱，导致部分鱼群改变原有的集群和正常的洄游路线。

施工悬沙浓度增加导致海水水质变差，鱼卵和仔稚鱼受悬浮泥沙的影响较大。水体中若含有过量的悬浮固体，细微颗粒会粘附在鱼卵的表面，妨碍鱼卵呼吸，不利于鱼卵的孵化，从而影响鱼类繁殖。据研究，当悬浮固体物质含量大到 1000mg/L 以上，鱼类的鱼卵能够存活的时间将很短。

本项目海底电缆采用水下机器人敷设，类比以往同类风电工程施工产生的悬

浮物影响程度来看，悬浮物对水质的影响在工程结束后延续 4~5 个小时基本消除。因此，施工悬沙对海水水质的影响属于短期效应，随着施工作业结束，海洋生物将逐渐恢复。

(2) 运营期影响分析

运营期主要是考虑风机基础对海洋生态的影响分析：

运营期，风机基础占据了鱼类生存的海域空间，但本项目只有一台风机，对整个雷州半岛东部海域而言，占用空间非常小。相反，风机基础的存在，起到人工鱼礁的作用，有利于鱼类的繁殖和生长；另一方面，由于风电场范围内无法开展大规模捕捞作业，从而起到了禁渔禁捕的作用，对渔业资源起到了保护作用。因此，风电场的建设可能会对海洋生物和渔业资源的保护和修复起到正面效应。

3.3.4 对海洋生物资源的影响分析

(1) 底栖生物

本项目对底栖生物最主要的影响是海底电缆铺设施工破坏了底栖生物生物的栖息地，使底栖生物生物栖息环境受到了影响，甚至直接导致底栖生物生物死亡。根据本项目的施工方案，本项目海底电缆铺设破坏底栖生物生境面积为 25.77 公顷。根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（以下简称《规程》）的要求，本工程建设占用海域造成的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，单位为尾或个或千克（kg），在这里指底栖生物资源受损量；

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）每立方千米或千克每平方千米。在此为底栖生物生物量。

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

根据 3.2.3 节分析，项目海域现状调查的底栖生物平均生物量为 $1.085\text{g}/\text{m}^2$ 。

底栖生物损失量：

海底电缆用海： $1.085 \times 10^{-3} \times 25.77 \times 10^4 = 279.604\text{kg}$ ；

本项目用海造成底栖生物损失量为 279.604kg。

(2) 浮游生物

项目施工将产生一定量的悬浮泥沙。从水生生态角度来看，施工水域内的局部海水悬浮物增加，水体透明度下降，从而使溶解氧降低，对水生生物产生诸多的负面影响。最直接的影响是削弱了水体的增光层厚度，对浮游植物的光合作用产生不利影响，进而妨碍浮游植物的细胞分裂和生长，降低单位水体浮游植物数量，导致局部水域内初级生产力水平降低，使浮游植物生物量降低。在水生食物链中，除了初级生产者——浮游藻类以外，其他营养级上的生物既是消费者，也是上一营养级生物的饵料。因此，浮游植物生物量的减少，会使以浮游植物为饵料的浮游动物在单位水体中拥有的生物量也相应地减少，那么再以这些浮游生物为食的一些鱼类等由于饵料的贫乏而导致资源量下降。而且，以捕食鱼类为生的一些高级消费者，也会由于低营养级生物数量的减少而难以觅食。可见，水体中悬浮物质含量的增加，对整个水生生态食物链的影响是多环节的。

同时，浮游动物也将因阳光的透射率下降而迁移别处，浮游动物将受到不同程度的影响。此外，据有关资料，水中悬浮物质含量的增加，对浮游桡足类动物的存活和繁殖有明显的抑制作用。过量的悬浮物质会堵塞浮游桡足类动物的食物过滤系统和消化器官，尤其在悬浮物含量达到 300mg/L 以上时，这种危害特别明显。在悬浮物质中，又以粘性淤泥的危害最大，泥土及细砂泥次之。

3.4 项目用海风险影响分析

3.4.1 风险评价等级

参照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)，根据评价项目的物质危险性和功能单元重大危险源以及项目所处海域环境敏感程度来判定项目环境风险评价等级。本工程主要风险来源于自然灾害风险影响。

3.4.2 事故风险分析

(1) 自然灾害风险分析

风电场易受的自然灾害风险主要来自雷击、台风（热带气旋）袭击。

1) 雷击风险分析

空中的尘埃、冰晶等物质在大气运动中剧烈摩擦生电以及云块切割磁力线，

在云层上下层分别形成了带正负电荷的带电中心，运动过程中当异性带电中心之间的空气被其强大的电场击穿时，就形成放电。对风电场运行带来危害的主要是云地放电，带负电荷的云层向下靠近地面时，地面的凸出物、金属等会被感应出正电荷，随着电场的逐步增强，雷云向下形成下行先导，地面的物体形成向上闪流，云和大地之间的电位差达到一定程度时，即发生猛烈对地放电。

雷电一般具有：冲击电流大；持续时间短；雷电流变化梯度大和冲击电压高等特点。通常雷击有三种形式，直击雷、感应雷、球形雷。

风机设备遭受雷击受损通常有下列 4 种情况：

①风机直接遭受雷击而损坏，主要指叶片件遭感应雷和球形雷破坏叶尖甚至整个叶片；

②雷电脉冲沿与设备相连的信号线、电源线或其他金属线侵入使设备受损；

③设备接地体在雷击时产生瞬间高电位形成地电位“反击”而损坏；

④设备安装的方法或安装位置不当，受雷电在空间分布的电场、磁场影响而损坏。

2) 台风（热带气旋）风险分析

台风是强烈的热带气旋，是发生在热带海洋上的中心附近最大风力达到 12 级以上的暖性低压强烈天气系统。台风蕴涵的巨大自然能量将给风电机组造成破坏，其破坏机理主要是对设备结构施加静载荷和动载荷叠加效应。

台风对风电场的可能造成的损害包括：

①台风夹带的细小沙砾造成破坏叶片表面，轻则影响叶片气动性能，产生噪音，严重的将破坏叶片表面强韧性由此降低叶片整体强度。

②台风带来的狂风暴雨对输电线路的破坏。

③台风破坏测风装置，使风力发电机组不能正确偏航避风，设备不能降低受风面积，超过设计载荷极限，使设备遭到破坏。

④台风施加在设备上的静力效应和动力效应共同作用下不断施加疲劳载荷，最后达到或者超过叶片和塔架的设计载荷极限，导致引起部件机械磨损，缩短风力发电机组的寿命，严重的使叶片损坏及塔架倾覆。

本项目风机的载荷设计采用了常规标准与台风型特殊标准相结合的方式，同时采用 IEC61400-3(同 GB/T 31517-2015)《海上风力发电机组设计要求》和

GB/T31519-2015《台风型风力发电机组》。其中 IEC61400-3 是常规的海上机组设计标准，其 I 类风区 10min 平均风速（参考风速）50m/s、3s 平均风速 70m/s 也已达强台风水平，具有一定指导意义；GB/T31519 以历史气象数据为基础针对中国的台风模型和台风状态下的各种工况进行了描述和补充定义，并增加台风的参考风速，扩大了极限风速的覆盖范围，对中国的台风型风机技术条件进行了增补。

(2) 电气设备风险分析

风力发电机组：风机故障、风机叶片损坏、风机火灾、齿轮箱损坏、偏航机构损坏、风机飞车、液压系统缺陷等。风机维护、维修时产生的润滑油的跑冒滴漏落入海中对海水水质造成影响。

海缆如果布线不合理，机械强度不够，埋深不够，施工质量差，海缆敷设线路未设置标志，未向海洋管理部门申报，有可能造成海缆损坏。

风电机组等级	TI	TI	TS
V_{Tref}	55	50	由设计者确定各参数
A $I_{ref}(-)$	0.16		
B $I_{ref}(-)$	0.14		
C $I_{ref}(-)$	0.12		

V_{Tref} : 10 min 平均风速。机组所能承受的轮毂高度处 50 年一遇 10 min 平均极端风速应小于 V_{Tref} ；
 I_{ref} : 平均风速为 15 m/s 时轮毂高度处潮流强度的期望值；定义同 GB/T 18451.1—2012；
A₁: 表示较高潮流特性等级；
B₁: 表示中等潮流特性等级；
C₁: 表示较低潮流特性等级。

(3) 海缆泥沙冲刷掏空风险分析

受长期泥沙冲刷的影响，在风电场海底电缆和海床之间有形成掏空的可能。考虑工程海域可能遭受风暴潮、热带气旋的影响，风暴潮带、热带气旋来的强劲潮流和风能共同作用也可能造成海缆及基础处的局部冲刷，威胁基础稳定和海缆安全。

为避免海缆掏空风险，在施工过程中应避免在电缆和海床之间形成空间，以防止海区内较为强劲的潮流和风量作用造成局部冲刷现象。对于基础局部冲刷的保护则应在基础承载设计中预留必要的冲刷余量，并在运行期必要时采取基础抛石回填等措施。

为进一步避免海底线缆损坏影响项目运行稳定，应遵守《中华人民共和国海

上交通安全法》和《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》的有关规定，敷设海底电缆施工作业，在适当的位置设立昼夜醒目的标志，并保证其完好、有效。

在适当的区域如电缆登陆处、过航道段两侧预留一定长度电缆作为冗余，以备电缆发生损坏能及时牵拉使用。电缆敷设完毕后，向主管机关报送管线路由等相关资料，并申请发布航行通（警）告。根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作用。项目建成运行后应开展定期的巡查观测潮滩冲刷变化情况，在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查，如发生局部冲刷及时进行回填保护。

4 海域开发利用协调分析

4.1 项目用海对海域开发活动的影响分析

(1) 项目用海对外罗、外沙水道的影响分析

本项目与外沙水道交越，与外罗水道最近距离 1.4km。项目建设在施工期和营运期均可能会对项目附近航路运行产生影响，需要加强对该水域航行船舶的管理。

根据通航安全影响，应急抛锚时入土深度不超过 1.5m，建议海缆交越段埋深不小于 3m，并加强海缆埋深状况的监测。

浮式风电场建设对外罗水道和外沙航道的地形冲淤影响很小。

(2) 项目用海对罗斗沙旅游休闲娱乐区的影响分析

本项目的海缆紧邻罗斗沙旅游休闲娱乐区，其海域使用管理要求为：相适宜的海域使用类型为旅游娱乐用海；严格控制罗斗沙及其周边海域海砂开采活动；依据生态环境的承载力，合理控制旅游开发强度。海域环境保护要求为：保护海域生态环境；生产废水、生活污水须达标排海；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。

项目建设不占用该区海域，发电利用风能为清洁能源，项目施工过程中产生的悬浮物增量只是暂时的，且时间短暂。因此，项目符合此罗斗沙旅游休闲娱乐区的管理要求。

(3) 项目用海对徐闻大黄鱼幼鱼资源县级自然保护区的影响分析

徐闻沿海海域是我国名贵大黄鱼产区和大黄鱼产卵以及幼鱼成区，是南海区著名优质海产品，营养价值高，具有较高开发利用价值。徐闻大黄鱼幼鱼自然保护区于 2000 年经徐闻县人民政府批准成立，位于徐闻县和安镇至西联镇沿海海域，总面积 196512.8hm²。其中，核心区 137629 hm²，缓冲区 58883.8 hm²。保护区分为三个区域，即和安到龙塘海域，面积 60394 hm²，龙塘至角尾海域，面积 75529.2 hm²，角尾至西连海域，面积 60589.6 hm²。

施工期悬浮泥沙浓度增加将影响到鱼类的产卵和鱼卵仔鱼的成活，这一影响

相对于整个产卵场而言影响范围不大，影响时间很短。通过采取避开产卵高峰期铺设海缆施工的措施，可以最大程度降低施工悬沙对鱼类繁殖的影响。

本项目不需要打桩，施工期噪声主要为锚链固定和海缆敷设，对石首鱼科等噪声敏感鱼类产卵和幼鱼索饵产生的影响和干扰较小，且影响是暂时的，在施工期结束后即停止，产卵场的生态环境将逐渐恢复。

风电场营运期总体的水下噪声强度比较低，与原海洋环境背景噪声相当。水下噪声对鱼卵、仔鱼的影响目前数据较少，是否会对鱼卵和仔鱼产生伤害还有待研究。厦门大学针对本项目的研究表明，海上风电场在营运期中水下噪声对幼鱼大黄鱼叫声的影响距离为 46.7m，对 6 个月的大黄鱼叫声的影响距离为 8.3m，在这一范围内会对个体间的声信号传递和发声行为会有一定的干扰。

海底电缆由于磁场在海域介质中的衰减特性，电磁感应影响集中分布机群附近，且其数量级较低，在目前的理论构架下，不会对海洋生物产生反应。

(4) 项目用海对外罗人工鱼礁的影响分析

据了解，外罗人工鱼礁区为规划鱼礁区，目前尚未投入鱼礁。本项目电缆位于外罗人工鱼礁区西侧，最近距离约 1km，在海缆敷设施工过程中，产生的悬浮泥沙可能会扩散至外罗人工鱼礁区为规划鱼礁区。但是，由于本项目施工量小，施工时间短，对外罗人工鱼礁区为规划鱼礁区的影响不大。

4.2 利益相关者界定

现通过对项目周围用海现状的调查以及收集到周边用海的相关资料，分析本项目用海对周边海洋开发活动的影响情况，再按照利益相关者的界定原则，来确定本工程的利益相关者。结合 2.3 节的分析，确定本项目周边利益相关者为：外沙水道、徐闻大黄鱼幼鱼资源县级自然保护区、广东粤电湛江外罗海上风电项目、湛江徐闻前山地方级海洋自然公园、湛江徐闻罗斗沙县级森林公园。本项目与周边利益相关者位置关系见图 2.3-1 和表 4.2-1。

表 4.2-1 利益相关者一览表

序号	名称	与本项目最短距离	方位	利益相关者或协调责任人	受影响因素	受影响特点	受影响程度
1	外沙水道	交越	-	湛江市航道局	通航	长期	轻微
2	徐闻大黄鱼幼鱼资源县级自然保护区	紧邻	E	保护区管理部门	悬浮泥沙	短期	轻微
3	湛江外罗海上风电项目	接入	N-	广东粤电曲界风力发电有限公司	接入	长期	轻微
4	湛江徐闻前山地方级海洋自然公园	交越	-	湛江市人民政府	悬浮泥沙	短期	轻微
5	湛江徐闻罗斗沙县级森林公园	交越	-	湛江市人民政府	悬浮泥沙	短期	轻微

4.3 利益相关者协调分析

4.3.1 与外沙水道的协调分析

外沙水道属行沟，目前不作商船推荐航路使用，船舶交通流较少。本项目海底电缆敷设过程中需要穿越外沙水道，本项目采用水下机器人敷设海底电缆，对外沙水道的通航几乎不会产生影响。建议项目施工单位在交越外沙水道段的海底电缆位置作明显标记，并告知航道部门，以防外沙水道在航道疏浚工程中破坏本项目海底电缆。

4.3.2 与徐闻大黄鱼幼鱼资源县级自然保护区的协调分析

项目施工期间悬沙浓度增加可能会影响到鱼类的产卵和鱼卵仔鱼的成活，这一影响时间很短，影响范围不大。建议建设单位采取避开产卵高峰期铺设海缆施工的措施，可以最大程度降低施工悬沙对鱼类繁殖的影响。另外，可以通过增殖放流等方式，对项目海域进行生态补偿。

4.3.3 与广东粤电湛江外罗海上风电项目二期项目的协调分析

本项目风机发电通过海底电缆接入广东粤电湛江外罗海上风电项目二期项目的 63# 风机环网柜 35kV 侧，新建海缆线路长度约 25.63km。本项目业主已与广东粤电湛江外罗海上风电项目二期项目的建设单位广东粤电曲界风力发电有限公司达成协议（详见附件 7 第 10 份文件）。本项目接入系统方案示意图详见下图 4.1-1。

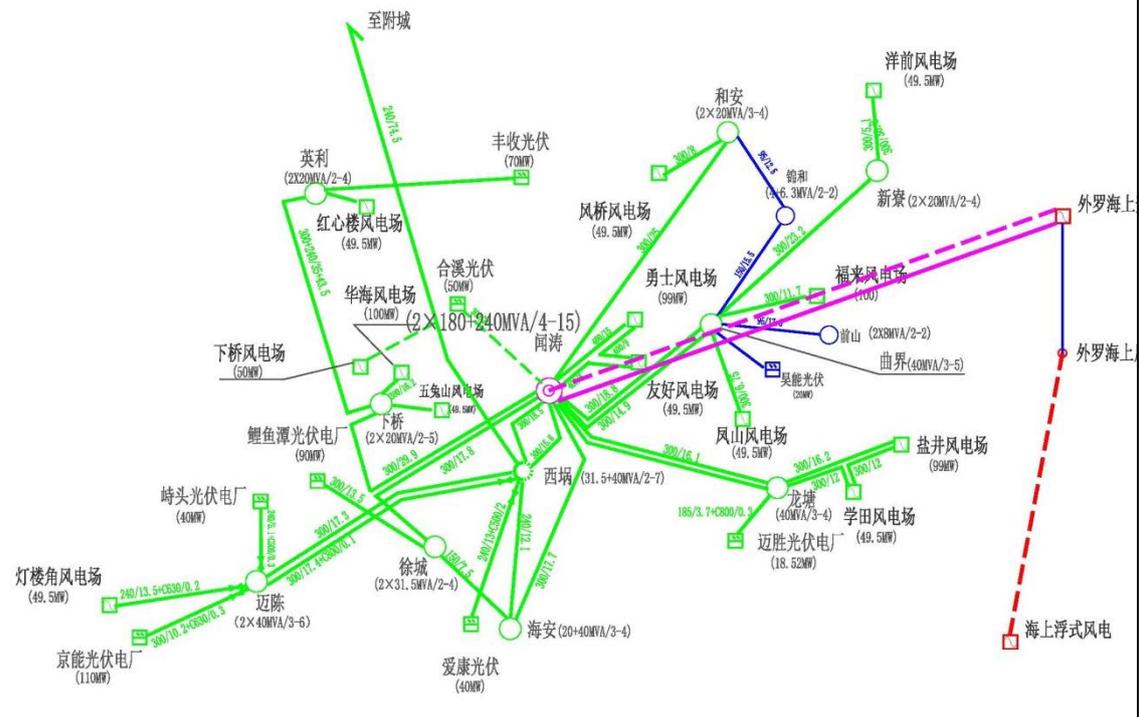


图 4.1-1 本工程接入系统方案示意图

4.3.4 与湛江徐闻前山地方级海洋自然公园的协调分析

本项目海底电缆穿越湛江徐闻前山地方级海洋自然公园，穿越海底电缆长度约 3.3km。据了解，湛江徐闻前山地方级海洋自然公园为徐闻县政府申请建设的县级海洋自然公园，目前尚未明确具体的管控要求。本项目采用水下机器人敷设海底电缆，开挖宽度 30cm，穿越湛江徐闻前山地方级海洋自然公园段工程施工时间为 2~3 日，工程量小，施工时间短，对海水水质、海底地形的影响均非常小，且可控，因此本项目对湛江徐闻前山地方级海洋自然公园的影响微小。目前，湛江市人民政府已原则同意该项目建设（详见附件 11）。

4.3.5 与湛江徐闻罗斗沙县级森林公园的协调分析

本项目穿越湛江徐闻罗斗沙县级森林公园东北角，长度约 10m，穿越位置位于湛江徐闻罗斗沙县级森林公园的边缘。本项目采用水下机器人敷设海底电缆，穿越湛江徐闻罗斗沙县级森林公园段工程施工时间仅需几个小时，工程量小，施工时间短，对湛江徐闻罗斗沙县级森林公园生态环境质量、海底地形的影响均非常小，且可控，因此本项目对湛江徐闻罗斗沙县级森林公园的影响微小。

4.4 项目用海对国防安全 and 国家海洋权益的影响分析

(1) 国家对国防安全和军事活动的影响分析

本工程附近无军事基地和国防设施，不会对军事活动和国防安全产生不利影响。

(2) 对国家海洋权益的影响分析

项目用海不涉及领海基点，不涉及国家秘密，不会对国家海洋权益造成不利影响。

5 项目用海与海洋功能区划及相关规划的符合性分析

5.1 项目用海与海洋功能区划的符合性分析

5.1.1 项目所在海域及周边海域海洋功能区分布

根据《广东省海洋功能区划（2011~2020）》（2012年）（以下简称《区划》），项目所在海域的海洋功能区为湛江-珠海近海农渔业区。项目用海论证范围内的其他海洋功能区有：罗斗沙旅游休闲娱乐区、雷州湾农渔业区、外罗水道矿产与能源区。上述海洋功能区具体位置及分布见图 5.1-1，与项目的最近距离见表 5.1-1，海洋功能区登记表见表 5.1-2。

表 5.1-1 项目论证范围内海洋功能区分布表

序号	海洋功能区名称	与项目的最近距离	使用现状
1	湛江-珠海近海农渔业区	项目位于该区内	渔业用海
2	罗斗沙旅游休闲娱乐区	20m	休闲娱乐区
3	雷州湾农渔业区	4.5km	渔业用海
4	外罗水道矿产与能源区	2.7km	——

5.1.2 项目用海与海洋功能区的符合性分析

项目用海面积 161.6628hm²，位于湛江-珠海近海农渔业区内。下面从用海方式、海域使用管理要求和海洋环境保护要求三个方面具体分析项目用海与《区划》的符合性。

5.1.2.1 用海方式符合性分析

项目用海方式为透水构筑物用海、锚地用海和海底电缆管道用海，申请用海面积 161.6628hm²，其中透水构筑物用海 3.5828hm²，海底电缆管道用海 51.6024hm²，锚地用海 106.4776hm²。项目用海对周边海域的水动力和冲淤环境的影响较小，对周边海域的自然属性不会造成影响，对毗邻海域的基本功能不会造成不可逆转的改变。因此，项目用海的用海方式符合《区划》对湛江-珠海近海农渔业区用海方式的要求。

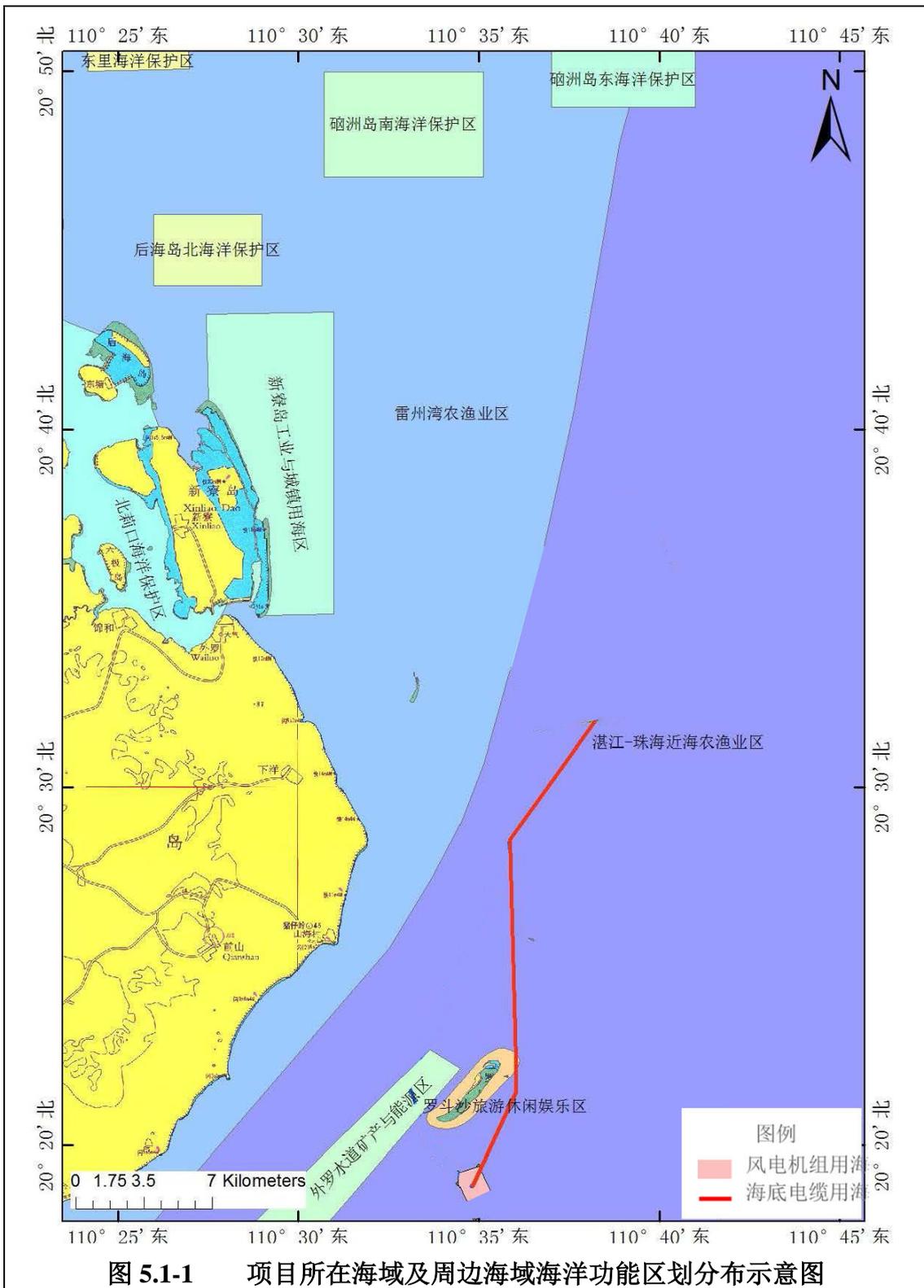


图 5.1-1 项目所在海域及周边海域海洋功能区划分布示意图

表 5.1-2 项目所在海域及附近海域的海洋功能区划登记表

序号	代码	功能区名称	地区	地理范围 (东经、北纬)	功能区类型	面积(公顷) 岸段长度(米)	管理要求	
							海域使用管理	海域环境保护
1	B1-1	湛江-珠海近海农渔业区	湛江市、茂名市、阳江市、江门市、珠海市	东至: 113°30'50" 西至: 109°24'40" 南至: 20°07'01" 北至: 22°03'37"	农渔业区	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	A1-4	雷州湾农渔业区	湛江市	东至:110°39'09" 西至:110°07'39" 南至:20°15'15" 北至:21°00'59"	农渔业区	116372 148452	<ol style="list-style-type: none"> 1.相适宜的海域使用类型为渔业用海; 2.保障南渡河口避风塘、通明渔港、博赊渔港、赤坎仔渔港、人工鱼礁等用海需求; 3.适当保障港口航运用海需求; 4.保护南渡河、通明港河口海岸、生物海岸; 5.严禁在南渡河河口海域围填海,维护海湾防洪纳潮功能; 6.禁止炸岛等破坏性活动; 7.合理控制养殖规模和密度。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.保护东海岛海草床生态系统; 2.保护龙虾、石斑鱼、栉江珧等重要渔业品种; 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.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。
3	B4-1	外罗水道矿产与能源区	湛江市	东至:110°34'29" 西至:110°27'30" 南至:20°15'34" 北至:20°22'39"	矿产与能源区	3735	<ol style="list-style-type: none"> 1.相适宜的海域使用类型为工业用海; 2.维持航道畅通; 3.通过论证,合理安排潮流能相关开发活动; 4.严格控制海砂开采活动。 	<p>执行海水水质第三类标准、海洋沉积物质量第二类标准和海洋生物质量第二类标准。</p>

4	B5-3	罗斗沙 旅游休 闲娱乐 区	湛江市	东至:110°36'07" 西至:110°33'33" 南至:20°20'26" 北至:20°22'42"	旅游休 闲娱乐 区	604	<ol style="list-style-type: none"> 1.相适宜的海域使用类型为旅 游娱乐用海； 2.严格控制罗斗沙及其周边海 域海砂开采活动； 3.依据生态环境的承载力，合理 控制旅游开发强度。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.保护海域生态环境； 2.生产废水、生活污水 须达标排海； 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。
---	------	------------------------	-----	--	-----------------	-----	---	--

注：登记表内容选自《广东省海洋功能区登记表（2011-2020年）（2012年）》

5.1.3.2 项目用海与湛江-珠海近海农渔业区的海域使用管理要求的符合性分析

《区划》对湛江-珠海近海农渔业区的海域使用管理要求为：“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。”

本项目的用海类型为科研教学用海，用海方式为透水构筑物、海底电缆管道和锚地，不涉及围填海、炸岛等工程，不会对湛江-珠海近海农渔业区造成太大影响；项目用海布置合理，不会对军事用海等用海需求产生影响。所以，项目用海符合《区划》对湛江-珠海近海农渔业区的海域使用管理要求。

5.1.3.3 项目用海与湛江-珠海近海农渔业区的海洋环境保护要求的符合性分析

《区划》对湛江-珠海近海农渔业区的海洋环境保护要求为：“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。”

本项目为海上风电场建设工程，海上风机平台为浮动式，用 9 条锚链锚固；海底电缆敷设施工采用掩埋敷设，敷设在海底处，基本不改变所在海域的自然属性，工程施工期间对海洋生态环境产生的影响主要为机械扰动产生的悬浮泥沙，对海域主导功能影响不大。建设施工期和运营期污水不外排，且施工期的影响是暂时的，随着施工的结束，功能区的水质、生态环境将逐渐恢复到原有水平，项目建设对海域环境影响不大。因此，项目用海符合湛江-珠海近海农渔业区海洋环境保护要求。

综上所述，项目用海与《广东省海洋功能区划（2011~2020 年）》（2012 年）的有关内容和要求相符合。

5.1.3.4 项目用海与罗斗沙旅游休闲娱乐区的符合性分析

据了解，罗斗沙旅游休闲娱乐区目前还没有开发，来此旅游休闲的人较少。本项目海底电缆中有一小段距离罗斗沙旅游休闲娱乐区较近，最近距离约 20m。本项目不涉及海砂开采活动，靠近罗斗沙旅游休闲娱乐区的海底电缆长度约 600m，施工作业范围不会进入罗斗沙旅游休闲娱乐区，且施工时间很短，对罗斗沙旅游休闲娱乐区的影响较小。本项目施工和运营期会严格按照有关要求，将

船上的生活污水、含油污水、生活垃圾统一收集后上岸处理，禁止排放入海。海底电缆施工会产生少量的悬浮泥沙，随着施工位置的移动，项目海区的水质、生态环境将迅速恢复到原有水平，项目建设对海域环境基本上不会产生影响。

5.2 与相关规划的符合性分析

5.2.1 与《全国海洋主体功能区规划》（2015）符合性分析

《全国海洋主体功能区规划》将我国空间划分为以下四类区域：（1）优化开发区域，是指现有开发利用强度较高，资源环境约束较强，产业结构亟需调整和优化的海域。（2）重点开发区域，是指在沿海经济社会发展中具有重要地位，发展潜力较大，资源环境承载能力较强，可以进行高强度集中开发的海域。（3）限制开发区域，是指以提供海洋水产品为主要功能的海域，包括用于保护海洋渔业资源和海洋生态功能的海域。（4）禁止开发区域，是指对维护海洋生物多样性，保护典型海洋生态系统具有重要作用的海域，包括海洋自然保护区、领海基点所在岛屿等。

根据《全国海洋主体功能区规划》，本项目位于徐闻县以东海域，属于珠江口及其两翼优化开发区域。该区域的发展方向和开发原则是“大力发展海洋高技术产业，积极发展现代海洋服务业，推动海洋产业结构向高端、高效、高附加值转变；推进海洋经济绿色发展，提高产业准入门槛，积极开发利用海洋可再生能源，增强海洋碳汇功能”；对于海洋工程和资源开发区开发要求，“海洋工程建设和资源勘探开发应认真做好海域使用论证和环境影响评价，减少对周围海域生态系统的影响，避免发生重大环境污染事件。支持海洋可再生能源开发与建设，因地制宜科学开发海上风能”。

本项目为海上风电项目，充分利用风能资源，属于海洋高技术产业，积极开发利用了海洋可再生能源，符合规划原则；风电场没有改变拟选址海区的海域自然属性，不破坏自然岸线，不会对海域的生态环境造成不可逆的改变。因此，本项目的建设符合珠江口及其两翼海域的发展方向，符合该区域的海洋工程和资源开发区开发要求，与《全国海洋主体功能区规划》（2015）是相符的。

5.2.2 与湛江市海洋经济发展“十三五”规划（2016-2020年）符合性分析

《湛江市海洋经济发展“十三五”规划（2016-2020 年）》中指出，“十三五”期间，用 5 年时间推进湛江“蓝色崛起”，海洋经济科学发展水平大幅提升，现代海洋主导产业区域竞争力明显增强，海洋科技贡献率显著提高，海洋生态环境质量保持优良水平，现代化海洋综合管理体系基本形成，确立区域性海洋经济中心地位，建成全国海洋经济示范市，把湛江发展成为具有国际竞争力的海洋城市。构建现代化海洋产业体系，培育技术高、潜力大、实力强的新兴海洋产业，依托先进的能源开发利用技术，不断完善湛江可再生能源发展的产业体系。科学规划海洋可再生能源开发利用，建设和完善海洋可再生能源的研究和管理体系。充分借鉴国外海洋发达国家在可再生新能源领域的先进技术经验，加快湛江海洋波浪能、潮汐能、潮流能、生物质能等发电技术研发，完善徐闻、雷州、吴川覃巴、坡头南三等地风电场建设，将湛江打造成为我国重要的海洋可再生能源利用基地。

调整优化传统能源与海洋新能源的比重，大力发展可再生能源。有序开发滩涂和海上风能，重点推进徐闻、雷州的滩涂和海上风电场项目，打造沿海百万千瓦风电基地。积极探索和组织开展潮汐能、波浪能、海流能、地热能等新能源的开发利用。

由此可见，本项目为湛江市海洋经济“十三五”发展规划实施重大项目之一，项目建设与《湛江市海洋经济“十三五”规划（2016-2020 年）》相符合。

5.2.3 与《广东省能源发展“十三五”规划》符合性分析

根据广东省发展改革委印发《广东省能源发展“十三五”规划》，“十三五”期间重点布局建设电力生产、原油加工、能源接收和储运、能源装备产业四大基地，进一步完善电网、天然气主干管网、成品油主干管网三大能源输送网络，打造沿海清洁能源带，形成“四基三网一带”的能源发展格局。打造沿海清洁能源带发展布局为：推进沿海核电建设，大力发展海上风电，加快建设沿海 LNG 接收储运设施，打造形成以核电、风电、天然气为主的沿海清洁能源产业带。

其中强调要积极发展海上风电，加快珠海、阳江、湛江、汕头等近海风电场开发建设，逐步推进海上风电规模化发展。到 2020 年风电装机规模达到 8000MW，其中海上风电力争实现开工建设 2000MW、建成投产 1000MW 以上，其中包括积极推进珠海桂山、湛江外罗、阳江沙扒、阳江南鹏岛、汕头南澳勒门

1 海上风电项目建设形成海上风电规模化开发。

本项目建设符合《广东省能源发展“十三五”规划》。

5.2.4 与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》的符合性分析

根据《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》，生产空间包括以生产为主的城镇空间和农业空间、以港口开发、临海工业为主的建设用海空间、以渔业生产为主的海洋生物资源利用空间。规划生产空间总面积 5.26 万 km²，占规划范围总面积的 45%。以工业为主的生产空间主要保障港口物流。新能源、先进制造业、海洋生物医药等产业的发展，其中以港口物流为主的生产空间面积 1429.6 km²，主要分布在龙穴岛、高栏港、湛江港等；以新能源为主的生产空间面积 2232.8 km²，除核电建设外主要为分布在粤东、粤西远海区域的海上风电建设空间；以高端装备制造为主的生产空间面积 267.7 km²，主要分布在珠江口西岸、东海岛等。以农业生产为主的生产空间主要包括陆域永久性基本农田、一般农产品发展空间、海洋增养殖空间和海洋捕捞空间。

积极布局新能源，深海矿产等海洋潜力产业，跟踪国际海洋技术和产业发展方向，结合广东省基础和优势，储备一批发展潜力巨大的项目及技术，规划预留空间 2232.8 km²，岸线 32.9km，其中，新能源产业主要分布在生产空间，岸线类型主要为优化利用岸线和限制开发岸线；核电规划发展空间 42.6 km²，岸线 32.9km，主要分布在深圳、阳江、陆丰、惠东、台山、廉江，海上风电场址原则上应在高岸距离不少于 10km，滩涂宽度超过 10km 时海城水深不得少于 10km 的海城布局，单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 km²左右，主要分布在粤东的汕头洋东、勒门、海门，揭阳神泉、靖海，汕尾甲子、后湖，珠三角的惠州港口，珠海桂山、金湾，粤西的阳江沙扒、南鹏岛、湛江新寮、外罗、徐闻等临近海域，积极探索深远海风电开发。本项目的建设符合《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》积极布局新能源的要求。

本项目位于湛江湾区海洋生态空间，海洋生态空间是指对维护海洋生态系统平衡，保障海洋生态安全，构建灾害防御屏障具有关键作用，在重要海洋生态功能区、海洋生态环境敏感区及脆弱区等海城，优先划定以承担生态服务和生态系统维护、灾害防御为主体功能的海洋空间。海洋生态空间实行分级管控。海洋生态保护红线内的海洋生态空间，保护脆弱海洋生态系统、珍稀濒危生物和经济物

种；保持自然岸线、水动力环境、水质环境、地形地貌等稳定，对于海洋生态保护红线外的海洋生态空间，在保持自然岸线、地形地貌、底质等稳定的基础上，经相关管理机构批准，可在限定的时间和范围内适当开展观光型旅游、科学研究、教学实习等活动，以及依法批准的其他用海活动。海洋生态空间应实施动态监测制度，及时掌握和评估海域自然资源和环境的变化。

本项目用海类型为科研教学用海，积极探索深远海风电开发，可进一步促进广东省海洋风电的建设。项目的实施建设对水动力环境、水质环境、地形地貌的影响均不大，不会对海洋生态空间造成负面影响，项目建设符合《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》。

5.2.5 与《广东省海洋生态红线》的符合性分析

(1) 项目用海与生态红线关系分析

根据《广东省海洋生态红线》，项目风机基础和部分海底电缆位于徐闻南部重要渔业海域限制类红线区。项目所在及周边海洋生态红线分布情况具体分布见表 5.2-1，项目所在及周边海域生态红线登记表见表 5.2-2。项目所处生态红线区位置见图 5.2-1。

本项目风机基础及锚地用海全部位于徐闻南部重要渔业海域限制类红线区，用海面积 110.0604 公顷，部分部分海底电缆位于徐闻南部重要渔业海域限制类红线区，长度约 15km，面积约 30.2250 公顷。本项目共占用徐闻南部重要渔业海域限制类红线区面积 140.2854 公顷，约占徐闻南部重要渔业海域限制类红线区（1332.84 km²）总面积的 0.11%。

表 5.2-1 项目所在区域和周围生态红线区

编号	生态红线区	与本项目相对位置和最近距离	生态红线类型
1	徐闻南部重要渔业海域限制类红线区	风机基础和部分海底电缆占用	限制类红线区
2	前山重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	项目西侧 800m	限制类红线区

(2) 项目用海与徐闻南部重要渔业海域限制类红线区符合性分析

本项目用海类型为科研教学用海，研究海上风力发电，为清洁能源利用。项目建设不涉及围填海用海、截断洄游通道、水下爆破施工，不设置排污口。风机

基础与风机施工基本不会产生污染物质，风机基础锚固和海底电缆施工产生的悬浮泥沙对渔业资源育幼、索饵、产卵的影响非常小，且持续时间短。施工及运营期间的生活船舶油污均收集上岸处理，不会向海洋排放有害物质，项目施工和运营不会对其周边生态控制区产生影响。因此，本项目符合徐闻南部重要渔业海域限制类红线区的管控要求。

(3) 项目用海与前山重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区符合性分析

本项目位于前山重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区的东侧约 800m，位于砂质海岸向海一侧。项目建设不涉及围填海用海活动，也不构建永久性建筑，风机基础施工不会对砂质海岸及海底底质产生任何影响。海底电缆施工采用施工船水下机器人敷设，开挖宽度 30cm，且距离前山重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区较远，对砂质岸线的影响较小，受涨落潮影响，敷设电缆开挖的地形很快会回淤恢复原状。施工及运营期间船舶产生的生活污水、垃圾和含油污水均禁止排放入海，统一收集后上岸处理。因此，本项目符合前山重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区的管控要求。

5.3 项目用海与产业准入符合性分析

根据国家海洋局办公室《关于规范和加强生态用海审查的意见》（征求意见稿）（海办管字〔2016〕590 号），用海项目优先保障国家重大战略实施，保障国家重大基础设施、海洋战略性新兴产业、海洋特色产业园区、绿色环保低碳产业、循环经济产业、重大民生工程等建设项目用海需求。本项目属于海洋战略性新兴产业项目，其用海需求符合国家海洋局提倡的产业准入相关要求。

本项目属《产业结构调整指导目录（2019 年本）》第一类“鼓励类”中第五项“新能源”中第 12 条“海上风电场建设与设备及海底电缆制造”，故本项目实施符合国家产业政策。

表 5.2-2 徐闻南部重要渔业海域限制类红线区管控措施

序号	代码	管控类别	类型	名称	覆盖区域		生态保护目标	管控措施
					面积 (km ²)	长度 (km)		
24	44-Xe04	限制类	重要渔业海域	徐闻南部重要渔业海域限制类红线区	1332.84	0	渔业资源、海洋生态环境	<p>管控措施：禁止围填海、截断洄游通道、水下爆破施工及其他可能会影响渔业资源育幼、索饵、产卵的开发活动，禁止破坏性捕捞方式，严格执行禁渔期、禁渔区制度以及渔具渔法规定，禁止排放有毒、有害物质，禁止新设排污口，允许跨海桥梁建设。</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，改善海洋环境质量。执行不低于二类海水水质标准、二类海洋沉积物标准和一类海洋生物质量标准。</p>
31	44-Xh01	限制类	重要砂质岸线及邻近海域	前山重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	92.66	17.99	沙滩，自然岸线，海洋生态环境	<p>管控措施：禁止实施可能改变或影响沙滩自然属性的开发建设活动。设立砂质海岸退缩线，禁止在高潮线向陆一侧 500 米或第一个永久性构筑物或防护林以内构建永久性建筑和围填海活动。在砂质海岸向海一侧禁止采挖海砂、围填海等可能诱发沙滩蚀退的开发活动，加强对受损砂质岸线的修复，加强海漂和海岸垃圾整治，加强沿海防护林建设和养护。</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，禁止排放有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物及其他污染物和废弃物，禁止新设污染物集中排放口，改善海洋环境质量。执行一类海水水质标准、二类海洋沉积物质量和海洋生物质量。</p>

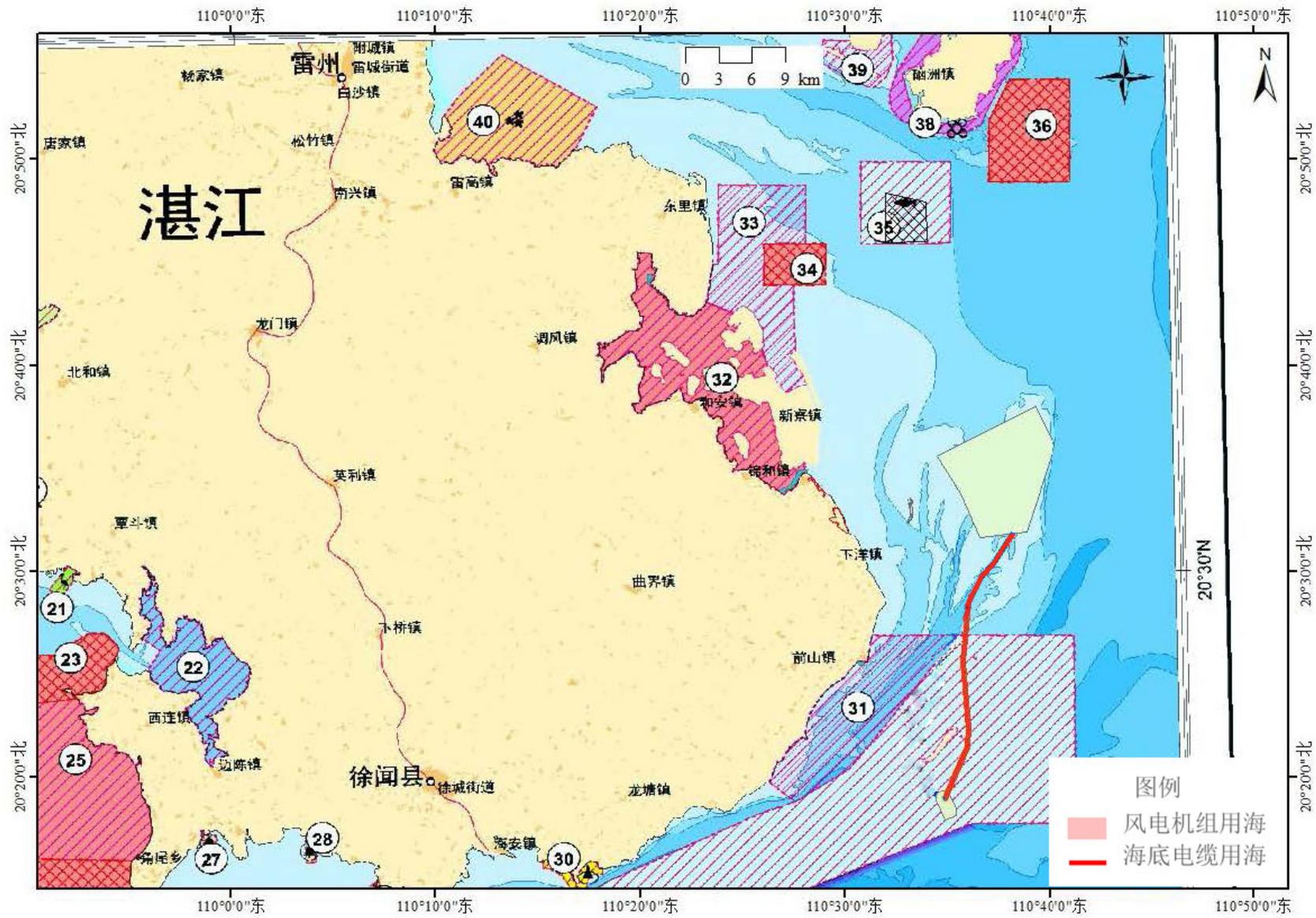


图 5.2-1 项目所处生态红线区位置

5.2.7 与《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）》的符合性分析

根据《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）》，提出到2030年底，建成投产海上风电装机容量约3000万千瓦，形成整机制造、关键零部件生产、海工施工及相关服务业协调发展的海上风电产业体系，海上风电设备研发、制造和服务水平达到国际领先水平，我省海上风电产业成为国际竞争力强的优势产业之一。本项目采用新型浮式风电装备，为后期大规模应用做基础研究，积极探索深远海风电开发，可进一步促进广东省海洋风电的建设。因此本项目符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）》。

5.2.8 与《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》的符合性

《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》提出从区域布局管控、能源资源利用、污染物排放管控和环境风险防控等方面明确准入要求，建立“1+3+N”三级生态环境准入清单体系。“1”为全省总体管控要求，“3”为“一核一带一区”区域管控要求，“N”为1912个陆域环境管控单元和471个海域环境管控单元的管控要求。本项目处于沿海经济带——东西两翼地区。此区域目标打造生态环境与经济社会协调发展区，着力优化产业布局。污染物排放管控要求“在可核查、可监管的基础上，新建项目原则上实施氮氧化物和挥发性有机物等量替代或减量替代。严格执行练江、小东江等重点流域水污染物排放标准。进一步提升工业园区污染治理水平，推动化学制浆、电镀、印染、鞣革等项目清洁生产达到国际先进水平。完善城市污水管网，加快补齐镇级污水处理设施短板，推进农村生活污水处理设施建设。加强湛江港、水东湾、汕头港等重点海湾陆源污染控制。严格控制近海养殖密度。”

本项目位于徐闻县海域，本项目为风电试验场，建设不涉及围填海用海、截断洄游通道、水下爆破施工，不设置排污口。风机基础与风机施工基本不会产生污染物质，风机基础锚固和海底电缆施工产生的悬浮泥沙对渔业资源育幼、索饵、产卵的影响非常小，且持续时间短。施工及运营期间的生活船舶油污均收集上岸处理，不会向海洋排放有害物质，项目施工和运营不会对其周边生态控制区产生影响。

5.2.9 与《湛江市“三线一单”生态环境分区管控方案（征求意见稿）》

的符合性分析

《湛江市“三线一单”生态环境分区管控方案（征求意见稿）》对湛江市红线区进行了划分，全市海洋生态保护红线面积 3434.35 平方公里。全市区域布局管控要求是有限保护生态空间，维护生态功能，加强红树林、珊瑚礁、海草床、河口、滨海湿地等典型海洋生态系统及水生生物产卵场、孵育场等重要渔业水域的保护，大力保护生物多样性。

本项目是浮式风电工程，施工期间不需要打桩，对海域的影响主要体现在电缆敷设导致的悬浮泥沙的影响，本项目悬浮泥沙扩散范围基本位于海上，不涉及的红树林，在执行一系列的悬浮泥沙减少措施后（如控制施工强度、必要时采用隔污帘），可以将悬浮泥沙减少到最低，本项目还需要进行生态补偿，补偿因施工造成的渔业资源损失。故本项目符合湛江市生态环境准入共性清单中关于区域布局管控要求。

6 项目用海合理性分析

6.1 用海选址合理性分析

6.1.1 区域社会条件的适宜性

（1）社会发展适宜性分析

从湛江市产业供能现状来看，根据统计结果，“十三五”及中长期，湛江 220kV 及以下电网夏季大方式存在电力缺口。随着用电负荷的增长，至 2021 年、2025 年和 2030 年，湛江 220kV 及以下电网电力缺额分别达到 298MW、643MW 和 1743MW。考虑本项目利用容量，2021 年、2025 年和 2030 年湛江电网夏季大方式电力缺额仍然达到 294MW、639MW 和 1739MW。湛江电网夏大方式具备完全消纳本项目电力的空间。

目前当地电力供给主要靠火力发电，对环境污染较大，开发利用海上风能资源，对于满足当地电力需求、优化能源结构、减少环境污染、应对气候变化、促进经济可持续健康发展具有重要的作用。

另外，发展海上风电也具有一定的景观作用，可以促进地方经济和旅游业的发展。

因此，本项目的建设为湛江市提供清洁的可再生能源，对于推动可再生资源开发利用，有利于缓解环境保护压力，实现绿色发展，满足湛江地区社会经济发展需要，提高风电场近区供电能力和旅游业发展都有着重要的意义。项目选址与当地产业经济发展是相适宜的。

(2) 基础设施适宜性分析

本风电场位于湛江市徐闻县东面海域，本工程所处的湛江水陆交通更便利，可满足工程材料、构件设备陆上运输需要，工程施工过程中可采取水陆联运的方式将材料、构件设备等直接运输到施工基地及施工现场。

1) 陆上交通运输条件

湛江境内公路交通十分便利，207、325 国道贯穿全境，广(州)湛(江)、渝(重庆)湛(江)、湛(江)徐(闻)三条高速公路交汇于湛江。徐闻县的对外公路主要有 G25 沈海高速和国道 G207。黎湛铁路、三茂铁路、粤海铁路、在湛江交汇，铁路交通发达。洛湛铁路也将接入湛江。

2) 港口条件

湛江港以“大、优、深”而著名，是全国十大深水港之一。湛江港客运站有往返海口的高速客船。湛江港现有生产性码头泊位 39 个，其中万 t 级以上 26 个，年通过能力 4792Wt，仓库面积 22.7 万 m²，堆场面积 133.4 万 m²，油罐容积 54.7 万 m³，港作船舶 22 艘，输油管线 41.5km，铁路专用线 107km。

3) 航空

湛江机场位于市区西北部，距离市区大约 5km，为国家 4D 级机场，可起降波音 757 等类型各种飞机。开通了北京、上海、广州、长沙、贵阳、海口、深圳、汕头南京、香港等地的航班。

工程区域为沿海经济发达地区，建筑材料及施工市场均具有规模，为本工程的施工提供了便利的条件。项目选址与当地的基础建设条件是相适宜的。

6.1.2 项目选址与自然环境条件的适宜性分析

(1) 海区气象和风资源条件适宜性分析

项目位于湛江市徐闻县锦和镇以东海域，地处北回归线以南的低纬地带，属热带北缘海洋性季风气候，夏长冬短，热量充足、干湿季节分明。根据徐闻国家基本气象站资料统计，全年平均气温 23.8℃。影响本项目的灾害性天气系统主要

有热带气旋和风暴潮，项目工程建设内容为海上风电场，项目已针对灾害性天气进行了专题研究并在施工和运营期针对灾害性天气采取相应的施工措施和保护防御设计，以防范可能出现的风险，并针对可能出现的风险制定了相应的应急预案。因此项目选址与所在海区气象气候条件是相适宜的。

风能资源是风电场选址首要考虑的因素，平均风速、风频及主要风向分布、风功率密度、年风能可利用时间是风电场选址中一定要考虑的几个风能评估参数。根据 2.2.4 节可知，海区近年有代表性的测风资料，本风场区的风能资源具有以下特征：

风电场风能资源较丰富。风电场预装轮毂高度 100m 高度平均风速 7.77m/s，平均风功率密度 403W/m²。

风电场有效风速利用小时高。风电场预装轮毂高度 100m 风速的有效小时数（3m/s<小时平均风速<25m/s）均大于 8095h，占全年时间的 92.4%。

风向较为稳定。主风向和能量的主导方向一致，都集中在 ENE 方向。风向和风能相对集中，有利于风电场机组的总体布置。

风速和风能分布较为集中。100m 高风速中频率最大风速约为 8m/s，最大风能频率相应的风速为 10m/s。轮毂高度的风速风能分布比较集中。

风功率密度年内变化较大，日变化幅度较小。从 10 月至翌年 4 月风速相对较大；5~9 月风速相对较小。风速和风功率密度的日内变化较小，在一日内，一般下午 16 时~凌晨 1 点风速相对较大，10~14 时风速和风功率相对较低。

湍流强度和风切变指数均较小。测风塔各测风高度湍流强度较弱，约 0.095~0.122 之间；各测风高度风速 V=15.0m/s 时湍流强度在 0.058~0.101 之间。因此可认为湍流强度较弱，测风塔处的湍流强度随高度的增加而减小，随着风速增大而呈现减少的趋势。风速垂直切变指数较小，平均切变指数约为 0.083。

因此，该风电场风能资源较丰富，其风资源特征表明海区风能资源具有一定开发价值。

(2) 项目电缆路由选址与工程地质条件适宜性分析

根据已经通过评审的《中船重工海装风电项目海底电缆路由选择依据说明材料》，项目电缆路由区工程地质条件和自然环境条件整体良好，路由所处海域地形起伏较大，水深在 2m~70m 之间，整体处于广东沿岸陆架水下缓坡，无发育大

型隆起或洼地等起伏地形单元，预选路由所在海域 6 月~11 月受热带气旋影响最多；附近海域潮差较大，要特别注意潮汐涨落对施工的影响，选择合适的潮时作业；海流、海水温度对施工影响不大，预选路由区施工的所涉及的底质类型主要为粉砂质砂、砂质粉砂、细砂，路由区的表层沉积物厚度较大，有足够厚度的软弱土层及地基持力层，海缆铺设条件较理想。本项目路由所属海域多项海水腐蚀因子（盐度、温度、pH、溶解氧等）数值与周围其他海域相比，水体腐蚀性指标大体一致，未发现异常情况。水文资料表明，本海区无特异水团，基本上是无污染的一般氧化性环境，对海缆的安全不会造成威胁。但本海区沉积物中硫酸盐还原菌含量较高，管道应尽可能避开硫酸盐还原菌含量高的区域或深度埋设。

因此，路由区的地质条件适宜建设 35kV 主海缆，但需选择合适的埋深和适宜的施工日期与施工方式。

6.1.3 项目选址与区域生态环境的适宜性分析

本项目工程施工过程对工程区海床会产生一定的扰动，产生一定的悬浮物增量，对浮游生物和游泳动物都会造成一定的影响和损失，但施工完成后浮游生物和游泳动物逐渐达到平衡。根据计算项目海上施工造成的生物资源直接损失量为：底栖生物累计损失量合计为 279.604kg。在施工结束后，浮游动植物以及鱼卵仔鱼会较快恢复，生物多样性和生物密度将会逐渐恢复正常和平衡。建议工程建设单位结合项目环境影响评价，按照相应主管部门的要求进行生态资源的修复和补偿。因此，在针对项目施工对海洋生态影响采取合理的施工措施，并对项目造成生态损失进行一定的修复和补偿的前提下，项目选址与区域生态环境是相适宜的。

6.1.4 选址与周边其他用海活动的协调性分析

根据现场踏勘、咨询和项目对海域开发活动影响章节的分析，本项目与附近海域的用海活动无相关利益冲突。另外，项目构筑物结构科学合理，能够抗击大型风暴潮及其他自然灾害。在项目施工期只要严格按照施工安全要求进行施工，就能完全避免风险事故的发生。

综上，项目与周边其他用海活动具有可协调性。

6.2 用海方式和平面布置合理性分析

6.2.1 项目用海方式合理性分析

6.2.1.1 用海方式对海域基本功能的影响分析

根据《区划》，项目位于湛江-珠海近海农渔业区，本项目拟建浮式风机基础平台 1 个，铺设海底电缆 25.77km。项目的建设对湛江-珠海近海农渔业区基本功能不会造成不可逆转的影响，符合《区划》对该功能区海域使用管理要求。

6.2.1.2 用海方式对水动力环境、冲淤环境的影响分析

本项目不需要打桩，仅用 9 根锚链固定，不涉及疏浚，项目用海对周边海域的水动力和冲淤环境的影响可以忽略不计，对周边海域的自然属性不会造成影响，对毗邻海域的基本功能不会造成不可逆转的改变。因此，项目用海方式是合理的。

6.2.1.3 用海方式对区域海洋生态系统的影响分析

项目施工期间海底电缆敷设会对周边海域的水质环境造成一定影响，但影响时间较短；项目运营期产生的电磁效应对海洋生物的影响很小，对周边海域的水质环境不会产生影响。因此，在充分采取各种有效的保护和保全区域海洋生态系统措施的前提下，项目的用海方式对周边海域的海洋生态系统影响较小。

6.2.2 项目用海平面布置合理性分析

(1) 风机基础平面布置合理性

国海规范（2016）6 号文要求“坚持集约节约用海，严格控制用海面积，科学论证，单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 km²左右”。本着节约用海的原则，本项目风电机组机型为 5MW 级别，规划容量为 5MW 级别，单位占海为 14.48km²/10 万 kW。

因此，本项目风机基础的用海方式是根据本工程区域内地质、水文等环境条件，对比现有的各种基础型式，综合比较确定的，具有技术可行性，不会对区域生态环境产生大的影响，与海域自然环境条件相适宜，比填海和非透水构筑物更能体现合理有效利用海域资源的用海原则，其平面布置是合理的。

6.4 用海期限合理性分析

本项目用海类型为特殊用海中的科研教学用海，用海方式为透水构筑物用海、锚地用海和海底电缆管道用海，根据《中华人民共和国海域使用管理

法》第二十五条规定，本项目为科研教学用海，公益事业海域使用权最高期限为四十年，建设单位申请用海 28 年，符合以上规定，同时也满足项目建筑物工程设计寿命要求。因此，项目申请用海期限是合理的。

7 海域使用对策措施

7.1 区划实施对策措施

根据《中华人民共和国海域使用管理法》的规定，国家实行海洋功能区划制度，海域使用必须符合海域功能区划。海洋功能区划是海洋使用的基本依据，海域使用权人不得擅自改变经批准的海域位置、海域用途、面积和使用期限。海洋产业的发展必须符合海洋功能区划和海洋开发利用与保护总体规划的要求，以保护海洋资源和海洋环境为前提，按照中央和省的有关法律、法规和政策开发利用海洋，对违反规定造成海洋污染和破坏生态环境的行为，应追究法律责任，海洋开发活动要求综合管理，统筹规划，海洋资源的开发不得破坏海洋生态平衡。

海洋功能区划管理是指在海域使用过程中，依据本地区海洋功能区划管理的具体要求，在海洋功能区监测和评估的基础上，并开展有针对性的海洋功能区维护活动，使项目用海毗邻海域的海洋功能长期保持在健全状态。海洋功能区划管理的范围，既包括项目用海所在海洋功能区，也包括受项目用海影响的毗邻海洋功能区。海洋功能区划的管理，要注意功能区的兼容性与排他性，注意功能区自然属性的维护、功能区环境治理的维护以及毗邻海洋功能区的保护。

项目用海必须按照《广东省海洋功能区划（2011~2020年）》（2012年）中湛江-珠海近海农渔业区的海域使用管理和海洋环境保护要求以及《中华人民共和国海域使用管理法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》的相关要求，在项目用海实施前，制定严格的管理制度和管理对策，执行海域使用可行性论证制度、环境影响评价制度和环境监测制度，做好环境保护和安全维护工作，采取相应措施严格控制施工期和运营期污染物的排放，妥善处理施工所产生的污水、生活垃圾等废弃物，保证工程建设对海洋环境的影响最小。

7.2 开发协调对策措施

（1）施工单位应按照国家 and 地方政府颁布的有关法律法规，负责施工区周边海域的环境保护和管理的工作。建设单位组织施工单位成立施工临时监督部门。

（2）施工期废水不得任意排放，应收集处理达标后排放或回用。施工作业船在作业过程中要尽量减少对海底地质的搅动。施工单位还应对作业船只进行检查，严禁不正常作业船只工作，防止发生机油泄漏事故。

(3) 施工期间产生的固体废弃物应规范运输，不得任意洒落，应集中堆放且以篷布等遮盖，定时清运。

(4) 施工期应尽量避免海洋生物产卵期，缩短工期，减少施工过程对海域生态环境造成的损害以及对海洋生物的影响，让海洋生物尽快恢复。

为保证工程的顺利实施，必须将工程用海的监控、跟踪、管理对策和环境保护措施落实到施工及工程的每一个环节中，以确保工程建设造成的损害减小到最低程度，使得工程建设的积极效益和环境效益协调发展。

7.3 风险防范对策措施

7.3.1 自然条件风险施工防范与应急措施

项目工程本身不引发海域的自然变异情况，也不会加重海洋灾害或产生海洋灾害。湛江地区是广东省遭受热带气旋影响最为频繁的地区之一。因此，热带气旋及其引起的风暴潮是项目考虑的环境风险。本项目已制定《海上浮式风力发电机组抗台风专题方案》，有关内容如下：

(1) 漂浮式风机的控制策略及实施

当台风来临时，风电机组首要的任务是确保机组设备和人员安全，针对沿海多台风地区的特点，5MW 级别海上浮式风电机组引入了风电机组“台风控制模式”。“台风控制模式”包含风电机组在台风来临前及过境时的特殊控制策略和机组状态，有效提升机组在台风过境期间的安全性和发电性能。

“台风控制模式”由人工（远程或本地）或机组自动激活，但当台风已经过境后，必须由人工操作（远程或本地）取消。

“台风控制模式”专用于海上风电机组抗台风控制设计，是中国海装海上风电机组抗台风控制策略的体现，集成在风场监控系统和机组控制模块之中，包括“台风前预警”、“台风过境控制”两部分。

1) 台风前预警

目前专业气象机构可做到交精准的台风预告，可提前了解台风的大小和行进路线。

“台风前预警”是指台风过境前的预警，是在收到气象部门台风预告后，由人工通过操作远程监控系统（SCADA）下发或通过就地操作界面进行设置（针对风场无 SCADA 或通讯缺陷的情况）。“台风预警”包含一级预警和二级预警：

一级预警：通常在台风过境前几天或前一天进行预警。一级台风预警后：机组正常运行发电。

机组解缆角度优化，为台风来临时主动偏航预留足够的偏航余量。

提示和配合现场工程师进行台风前设备、密封检查。机组具备的主动检测功能可以有效和快速的检测风电机组关键部件的性能。

二级预警：在台风过境前几小时进行预警。二级预警后：

机组正常运行发电。

机组解缆角度优化，为台风来临时主动偏航预留足够的偏航余量。

因故障、维护、解缆或其他原因已停机，但可以偏航的风电机组，进行提前对风。

2) 台风过境控制

“台风过境控制”覆盖风电机组在台风来临期间机组控制，由风场实际风速超过限制自动激活或人工操作 SCADA 系统进行激活。“台风过境控制”激活后，机组自动停机，桨叶顺桨，桨距角锁定在停机位置。“台风过境控制”包含以下方面：

①控制重置

“台风过境控制”下，由于风电机组不以发电为第一任务，所以整个风电机组的结构可以解列重组，对部分部件控制需要被重置。当后备电源投入时，可自动关闭不必要的设备用以减少电能消耗。

②测风装置冗余

多套测风装置实时自动进行数据对比和异常风数据排查，可自动或手动选择某一套或多套正常的测风装置作为风数据源，确保风向与风速数据的可靠性。

在“台风控制模式”激活期间，风暴相关故障不再允许远程人工复位或自复位。

③主动偏航控制

载荷分析显示，台风工况下，机组正面对风或背面对风可以有效的减少叶根合弯矩以及塔底的合弯矩。因此，5MW 级别海上风电机组在台风时，主动偏航对风，确保风电机组正面对风，偏航误差小于 8° ，可以尽可能的降低机组载荷，提高机组安全性。

④叶片顺桨且锁定在停机位置

当叶片顺桨完成，桨距角为停机位置后，风电机组会自动启动变桨刹车装置，提供足够的刹车力矩，确保桨叶位置被锁定。

⑤风轮锁保持释放状态

台风工况下，风电机组采用冗余控制线路，保持风轮锁处于释放状态。风电机组控制刹车状态，并实时监控风轮锁液压刹车压力是否在限定区间内，确保风轮锁刹车保持在释放状态。

⑥偏航失效

当机组由于偏航系统故障或无供电导致机组无法继续偏航时，偏航被锁定。在风电机组抗台风设计中，其风向 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 全方向扰动的载荷安全。

(2) 浮式风机运行期的安全措施

1) 应急响应小组

中国海装针对台风地区情况的风电场建设、运营，建立健全了完善的台风应急措施，并可针对项目的具体环境情况，针对性指定应急预案，针对风电场建设、机组吊装、风电场运营及维护等各阶段应对台风的具体策略。通过预防性巡视，针对性消缺、台风预警、台风模式管理等多种手段，保证项目进展、风电机组正常运行。

中国海装具备一支专业的技术服务团队，针对沿海台风地区，成立了台风应急常设小组，并可根据项目的具体的情况形成针对性的跨部门多专业的应急响应小组。

应急小组组织机构：

风电场项目部应组件防台风应急预案组织机构。确定台风应急预案管理负责人、安全保障人员、后勤保障人员、维护保障人员、应急抢险队、车船保障人员等相关人员及其职责。进行相关台风信息、紧急物资准备、抢险设备准备等措施。

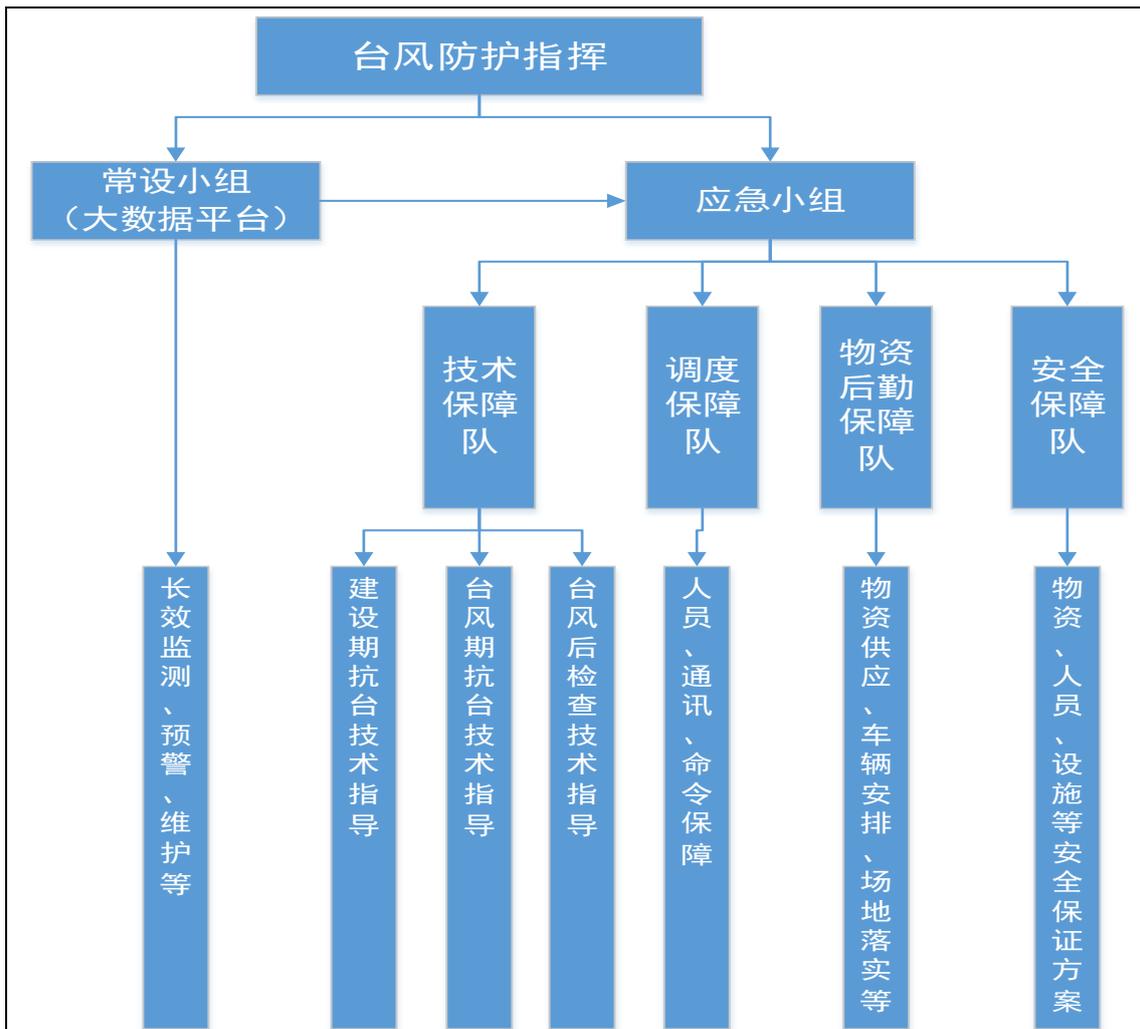


图 7.3-1 应急小组组织机构图

应急小组人员均具备以下基本条件：

- 适应海上风电场作业的特性，无相关病症；
- 经过海上风电工程安全培训并获得证书，熟练掌握风电设备安全操作和紧急处置、逃生技能，熟练掌握海上求生、海上救援、船舶救生。海上平台消防、海上急救、救生艇筏操纵等方面的相关技能；
 - 上岗员工应经过岗前培训，考核合格并取得相应的资质证书（海上“四小证”）；
 - 海上风电场作业人员必须掌握台风防护与撤离等相关技能与知识
 - 经由相关培训，并认可其对该类型风机的软、硬件系统及其安装、调试、操作、维护等工作内容的理解且能胜任此类具体工作。

台风过境前的人工排查

针对台风地区已经安装并运行的机组，主要采取加强台风的监测，在台风来临前一周对风场所有机组进行重要项检查：

排查风速风向仪确保所有机组风速风向仪均处于正常工作状态，以保证台风来临时机组能够自动停机并正常偏航对风；

确保所有机组的风轮锁定机构与叶片锁定机构完全松开；

变桨系统始终处于制动状态，载荷设计和部件选型中已留足余量维持叶片桨距角始终处于停机位置。

对于采用“后备电源”技术路线的机型，在没有外网供电时，提供独立电源维持机组偏航对风，避免侧风的载荷，备用电源会在电网失电和台风控制模式状态下自动启动，也可通过 SCADA 远程启动；

机组塔筒、机舱部件上的所有门、窗关闭严实，避免机组部件的损毁。

上电前的安全检查

台风过境后，风电场电网恢复供电，可开始进行机组的检查，请按照以下顺序进行检查。

1)基础检查由专业人员进行。

2)恢复风机辅助供电（同时保证机组处于维护或者停机状态）；

3)建议采用望远镜目测塔筒外表面是否有油漆裂纹以及机舱和风轮部分；

4)目视塔筒底段内表面是否有油漆裂纹，以及所有焊缝；

5)抽查塔筒底段与基础环连接螺栓力矩；抽查数量 8%，未出现螺栓力矩值欠

缺的情况，则完成此处检查；如果抽查中存在螺栓力矩值欠缺的情况，则需要对所有螺栓进行紧固检查并打紧到位。

6)摇晃一下爬梯是否存在松动；如果有晃动，则在爬升过程逐级紧固爬梯)爬

梯支撑和塔筒之间连接的紧固件。（在爬塔筒前的安全要求见风机维护手册）

7)爬升到底段塔筒与中下段塔筒处平台，重复按照 3、4 步骤。

8)目测扭转电缆是否有损伤

9)抽查顶段塔筒与机舱的连接螺栓；目测偏航轴承与偏航驱动的啮合情况。

10)进入机舱后，目测机架、轴承座、主轴各部位是否存在油漆裂纹以及部件本体裂纹。

11)抽查前后轴承座和机架连接螺栓。

12)抽查前后机架连接螺栓。

13)抽查主轴与风轮连接螺栓。

14)目测发电机弹性支撑外观，检查齿轮箱弹性支撑螺栓和弹性元件是否有异常。

15)目测机舱罩各部位是否有裂纹、是否有上盖舱门松动以及吹掉的情况，机舱罩弹性支撑、机舱罩挂件是否存在异常和松动，抽查机舱罩连接紧固件，后舱散热器安装是否存在偏移或者松动。

16)将风轮锁紧销旋转插入风轮锁紧盘后，进入轮毂与导流罩之间，检查轮毂外表面尖角处是否有裂纹。抽查变桨轴承与轮毂连接螺栓。检查导流罩前后钢架是否有裂纹，检查前后钢架与轮毂和导流罩的连接螺栓。目测导流罩叶片孔是否有变形，并与叶片存在干涉。

17)进入轮毂内部，检查轮毂内表面尖角处是否有裂纹。抽查叶片与变桨轴承连接螺栓。再检查变桨齿轮箱与轮毂、变桨电机与变桨齿轮箱、电气柜与轮毂的连接螺栓。目前轮毂内部是否有进水或异物、电缆固定是否牢靠。

18)检查接近开关、限位开关位置是否异常以及与轮毂连接的螺栓。检查叶片防雷铜带安装是否存在异常，叶片挡板中部盖板是否松动。

19)叶片检查由供应商单独检查。

20)返回机舱，出舱检查气象桅杆焊缝是否有裂纹，再检查气象桅杆与机舱盖、航空灯与气象桅杆、避雷针与气象桅杆的连接螺栓，同时检查风速风向仪是否存在松动以及风速风向仪、航空灯是否有损坏。

21)再次返回机舱，松开风轮锁紧销，手动盘动联轴器-高速轴制动盘，检查和倾听齿轮箱内部、主轴轴承、发电机轴承是否有异响。

22)以上静态检查若有异常，及时进行问题反馈。若无异常，将风轮锁紧销旋转插入风轮锁紧盘后，进入轮毂，按照维护模式进入轮毂将3个变桨控制柜都打至“手动状态”，(1)启动手动变桨逐一转动1#、2#、3#叶片（转动角度从89度—0度—89度一个来回，注意：每个叶片转动必须回到89度后

再进行下一叶片的转动), 观察倾听电机、齿轮箱、轴承、小齿轮等是否有异响;(2)观察 3 度和 88 度接近开关、91 度和 96 度极限开关动作是否异常;(3)分别完成 3 个叶片转动后, 若有异常及时反馈问题, 若无异常则将 3 个桨叶控制柜打至“自动状态”;(4)检查各控制柜内部所有开关都处于“闭合”状态后锁紧 3 个控制柜门, 最后安全离开轮毂进入机舱, 同时松开风轮锁紧销。

23)进入机舱, 检查机舱控制柜和变频器柜内部所有开关都处于“闭合”状态, 关闭柜门, 安全离开机舱下塔基;

24)保证以上检查步骤都无异常后, 在塔基按照整机调试流程逐一上电, 连接主控与变频、变桨所有通讯, 正常后启机进入维护模式。

25)启机后观察故障界面, 若无故障, 在风速小时进行左右偏航各 180 度(同时有人站在塔筒最上段平台倾听偏航是否有异响), 若有异响则及时反馈问题;

26)若偏航测试无异响, 则恢复偏航位置;

27)以上步骤都无异常后, 启动机组进入待机模式和正常运行模式, 先进行空转(关闭并网功能)30 分钟, 注意观察和倾听机组各部位是否有异响, 同时观察故障界面是否有新故障产生;

28)空转 30 分钟无异常后, 开启并网功能, 让机组恢复自动运行和并网状态。

29)恢复并网功能后, 若风速较大, 则限功率 100KW(运行 30 分钟), 再限功率 500KW(48 小时), 再停机进行目测和倾听检查, 保证无任何异常后再正常启机放开全功率并网运行。

浮式风机施工期的安全措施

整个浮式风电机组吊装前, 应密切关注天气预报和台风预警, 不建议在台风过境时段开展吊装工作, 若在吊装过程中出现台风过境的情况, 则按如下预案实施:

台风期间人员安全措施

气象台根据台风可能产生的影响, 在预报时采用“消息”、“警报”和“紧急警报”三种形式向社会发布; 同时, 按台风可能造成的影响程度, 从轻到重向社会发布蓝、黄、橙、红四色台风预警信号。公众应密切关注媒体有关台风的报道, 及时采取预防措施。台风期间工作机制, 当信息保障人员报告台风红色预警时, 应急预案负责人立刻下令所有人员立刻转移至室内, 响应物资也随同转移。停止

一切室外作业，台风登陆期间如果有人室外作业来不及转移，应立即到就近的安全地方进行躲避。应急预案负责人根据实际情况确定是否出动应急抢险队进行救援。必要时可拨打报警电话 110、火警电话 119 或急救电话 120。

台风期间物资安全措施

整体浮式风机吊装期间应密切关注天气预报和台风预警，对台风前进行机组预防性巡视，及时发现和消除缺陷。针对已经安装完成的机组，做好部件紧固、密封防雨，并利用船用或临时柴油发电机实现主动对风。针对未安装的机组及物资应做好固定、防雨工作，对于一些不易固定的物资应尽早移至室内，同时及时清理排水管道，保持排水畅通，避免造成损失。对未安装的机组大部件选择背风的场地进行存放，存放时对各部件要进行加固固定（尤其是风轮、叶片和塔筒），要检查各部件的封口包装是否牢固，有松脱或破损的要重新包装加固；叶片、塔筒尽可能采用顺风向摆放；叶片若有可能可采用扁平放置，尖、根和中间用缆绳捆绑牵引固定，叶片下部垫软质衬垫；塔筒两侧垫木高度不能低于 60cm，垫点两侧各不得少于 3 个；叶片、塔筒和风轮最好分别集中摆放，相互之间以缆绳连接，并以枕木相隔，以利各部件能互相牵扯抵抗台风。以上方法可根据风场实际情况、结合当地的实际经验进行调整。对仅完成部分吊装的机组，做好裸露部位的防护工作；对已安装叶片的机组，将叶片调至停机位置，并释放风轮锁。

台风期间机组安全措施

机组吊装前应密切关注天气预报和台风预警，应留有充足时间完成吊装。对于突发情况，应采取以下措施：

- 1) 对于只吊装完塔筒或机舱的机组，做好密封、防雨工作，无需偏航；
- 2) 对于风轮吊装完成的机组，需完成全部螺栓紧固，将叶片桨距角调整至空转状态的顺桨位置，变桨系统刹车制动，释放风轮锁使风轮处于自由状态。
- 3) 对于单叶片吊装未完成的机组，需完成全部螺栓紧固，将叶片桨距角调整至空转状态的顺桨位置，变桨系统刹车制动，将风轮缓慢下降至重力矩为零位置，断开盘车系统，使风轮处于自由状态。
- 4) 对于完成吊装，尚未上电的机组：(a) 对无后备电源的机组，自身能够抵御 50 年一遇极端环境条件，在有条件的情况下可提前解缆并主动偏航正对来流风向降低载荷；(b) 对有后备电源的机组，需提前解缆并接通后备电源，维持台风

中的持续偏航对风。

7.3.2 溢油防范措施和应急对策

施工建设过程中，发生的溢油事故可能对海洋环境与资源构成威胁与损害，建议采取以下风险防范措施：

1) 业主单位应加强对施工作业船舶管理，对作业船只进行安全检查，严格按照《海上交通安全法》和《海上避碰章程》的规定航行和作业，防止事故发生，施工过程中的重要机械、装备必须由有相关资质的人员操作。

2) 施工作业期间所有施工船舶必须按照交通部信号管理规定显示信号，悬挂正确的旗号和号灯，以确保航运安全。

3) 施工作业船舶在施工期间加强值班，施工作业人员应严格按照操作规程进行操作。

4) 作业船舶在发生紧急情况时，应立即采取必要的措施，同时向海上交管中心报告。发生船舶交通事故时，应尽可能关闭所有油仓管路系统的阀门、堵塞油舱通气孔，防止溢油。

5) 严禁施工作业单位擅自扩大施工作业安全区，严禁无关船舶进入施工作业水域，并提前、定时发布航行公告。

7.3.3 溢油事故应急措施

(1) 应急报告程序

1) 应急报告

溢油事故一旦发生应立即报告调查组，以便减少事故损失。

2) 报告程序

接到事故报告后，立即并使用快速通讯手段，报告应急指挥部总指挥、安全生产管理处等部门，并应立即报告上级海事局。

3) 应急反应程序

事故报告只是应急反应的第一步，应急指挥部接到事故报告后，应迅速下达指令执行应急计划，动员应急队伍开展各项应急行动控制事故，减少事故损失。在事故的应急反应的全过程，应急指挥部要及时向上级海事局报告，保持联系，取得指导与支持。

(2) 应急反应程序和措施

1) 应急反应程序从现场事故源出现开始启动。

2) 确认事故的责任方，责令其采取可能做到的应急措施，尽最大可能地减缓油类的泄露速度，减少油类的泄露数量。

3) 采取措施防止溢油继续溢漏和可能引发的火灾，如采取堵漏、驳油、拖浅、防火、灭火等措施。

4) 一旦发生事故，应立即用无线电或有线电电话将溢油的时间、地点、溢油的类型、数量、原因、气象及水文情况及已采取的措施等情况报告有关公司调度，组织实施溢油应急救助行动。如溢油事故较大，应向主管部门报告。

5) 接到事故报告后，要迅速采取营救措施，同时派专业人员赶赴现场，调查了解事故区域、污染范围，可能造成的危害程度等情况。该人员以最快速度向主管部门作出报告。

6) 根据溢油源的类型、数量、地点、原因，评价溢油事故的规模确定反应方案；调度应急防治队伍和应急防治船舶、设备、器材以及必要的后勤支援；可能发生火情时，立即通知有关方面启动消防应急预案；派遣船舶对溢油源周围实施警戒，并监控溢油在水上的扩散；根据溢油区的气象、风向、水流、潮流等情况，控制溢油扩散方向；对溢油进行跟踪监测，以掌握环境受污染情况，获取认证资料，供领导决策及事故处理。

7) 根据现场实际情况，制定相应应急反应对策方案，调动溢油应急防治队伍和应急防治船舶、设备、器材等以及必要的后勤支援；竭尽全力对污染物采取围油栏围油、污油吸附材料（吸油毡）等，必要时在海事部门同意的前提下，使用消油剂，防止及控制油品污染水域。

8) 对溢油和溢油周围水域、沿岸进行监控。

9) 对可能受威胁的环境敏感区和易受损资源采取保护措施。

(3) 清除物的去向

溢出油品若是纯净的，则可设法回收。无法回收的，可盛放在储油罐里，吸油废弃物应堆积在指定地点，集中统一处置单位进行焚烧或它法处置。

7.4 监督管理对策措施

监督管理与对策措施是实现国有海洋资源有偿、有度、有序使用的重要保障，针对本工程用海的特点，应采取以下对策和措施：

7.4.1 海域使用动态监管

项目海域使用位置、性质、范围及其使用期限必须严格按照批准要求进行。海域使用动态监测一般分预审、施工、竣工和后评估四个阶段。在预审阶段，建设单位将项目海域使用论证报告报批稿提交当地海洋行政主管部门后，当地海洋行政主管部门对项目进行预审监测，主要是通过拍照等手段对项目所在海域及周边海域的现状进行记录；在施工阶段，相关部门对项目施工开展现场监测，主要对在建项目进行用海面积、位置和用途等进行监视和监测，对项目所在海域的自然属性（包括岸线变化、面积变化和海洋灾害等）进行监测；在竣工阶段，则是对项目进行全面的监测；项目竣工验收后三年进行用海情况核对，即对项目进行后评估，监测内容包括项目施工的平面图、剖面图、施工方案方法和工艺等。

在进行项目的海域使用动态监测时，根据施工安排和相关要求合理安排监测周期与频率。

建设单位应积极配合海洋行政主管部门开展海域使用动态监测，提供项目平面设计相关图件、施工方法及工艺等有关材料，并请有资质的单位编制施工过程海域使用动态监测报告。

7.4.2 实际用途监控

《海域使用管理法》第二十八条规定：“海域使用权人不得擅自改变经批准的海域用途；确需改变的，应当在符合海洋功能区划的前提下，报原批准用海的人民政府批准”。本项目用海类型为科研教学用海，用海方式为透水构筑物用海，建设单位严禁擅自改变海域实际用途，管理部门应监督建设单位完成项目的用海审批工作。

7.4.3 海洋环境监测

根据本建设项目的工程特征和区域环境现状、环境规划及《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》的要求，制定环境监测计划，包括环境监测的项目、频次、监测实施机构、监督机构等具体内容，主要针对施工期。

（1）施工期环境监测计划

①监测站位布设

施工期环境监测共设 10 个站位，位于工程区附近海域。

②监测项目

水质监测项目为：COD、磷酸盐、无机氮、硝酸盐、悬浮物、石油类等；

沉积物监测项目为：石油类、有机碳、重金属。

各监测项目的具体采样与监测方法参照《海洋调查规范》和《海洋监测规范等》。

③监测频率

施工期间每季度选择大、小潮各进行一次。

在工程完成后，进行一次后评估监测，对水质进行涨、落潮时二次采样；沉积物不分潮时作一次采样。

(2) 执行单位和监督单位

通过实施环境监测计划，全面及时地掌握施工期的环境状况，若发现对本项目或周围其他用海不利的环境变化，应加密监测频次，并根据实际情况，制定必要的工程补救措施或环保措施。环境监测可委托有资质的环境监测单位具体执行，并由当地海洋行政主管部门进行监督指导。监测单位应编制监测报告报送项目环境管理办公室及当地海洋行政主管部门，有条件亦可将环境监测计划纳入当地年度监测计划。

8 结论与建议

8.1 结论

通过分析可知，本项目用海与所在海域的主导功能一致，与《广东省海洋功能区划（2011~2020年）》（2012年）的要求相符合。项目符合广东省和湛江市相关用海规划，项目用海是必要的；项目建设与项目所在区域的自然条件和社会条件相适应。项目用海方式、用海面积和期限等也是合理的，且与周边用海单位不存在利益冲突；项目建设对周边海域的海洋环境产生一定的影响，在落实各项环境保护措施后，其建设对海洋环境的影响在可接受的范围内。因此，本项目用海合理、可行。

8.2 建议

（1）严格按照上级海洋主管部门批复的用海位置、面积以及方式实施，针对海域使用过程中可能存在的问题和风险，建议业主单位能够按照相关对策措施切实执行。项目所在海域受风暴潮的影响可能较大，且项目建设大部分需要在水上作业，因此要注意做好风暴潮等风险事故的防范工作，并防止发生风险事故对海洋环境造成污染。如在施工中出现损害海洋环境事故，应及时向海洋行政主管部门报告，并实施监测、监视。

（2）项目建设过程中，要密切关注施工安全，做好一切措施防止施工事故。

（3）项目建设完成后，要设立专门的环保机构对项目区域环境进行保护、管理。