

# 海南—广东电力灵活互济工程 海洋环境影响评价专题

建设单位：中国南方电网有限责任公司超高压输电公司

评价单位：中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司

# 海南—广东电力灵活互济工程

## 海洋环境影响评价专题

建设单位：中国南方电网有限责任公司超高压输电公司

评价单位：中国电力工程顾问集团中南电力设计院有限公司

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司

二〇二五年十二月

# 目 录

1 概述 .....	1
1.1 建设项目特点 .....	1
1.2 环境影响评价工作过程 .....	2
1.3 分析判定相关情况 .....	2
1.4 关注的主要环境问题及环境影响 .....	4
1.5 海洋环境影响评价主要结论 .....	4
2 总则 .....	5
2.1 编制依据 .....	5
2.2 评价因子 .....	11
2.3 评价标准 .....	13
2.4 评价工作等级 .....	21
2.5 评价范围 .....	26
2.6 生态环境保护目标 .....	27
2.7 评价内容及重点 .....	29
3 建设项目工程分析 .....	30
3.1 工程概况 .....	30
3.2 工程分析 .....	58
4 环境现状调查与评价 .....	72
4.1 区域自然环境和资源概况 .....	72
4.2 海洋环境现状调查与评价 .....	94
4.3 海缆登陆段环境现状调查与评价 .....	214
5 环境影响预测与评价 .....	228
5.1 水动力环境影响分析 .....	228
5.2 地形地貌及冲淤环境影响分析 .....	247
5.3 海洋水质环境影响分析 .....	250
5.4 海洋沉积物环境影响分析 .....	259
5.5 海洋生态环境影响分析 .....	260
5.6 海缆登陆段环境影响分析 .....	274
6 环境风险分析与评价 .....	283
6.1 施工溢油事故影响分析与评价 .....	283
6.2 项目风险防范措施 .....	304
6.3 环境风险总体评价 .....	308

7 环境保护措施及其可行性论证 .....	309
7.1 施工期环境保护措施及其可行性分析 .....	309
7.2 运行期环境保护措施及其可行性分析 .....	315
7.3 海洋生态保护与生态恢复措施 .....	315
7.4 环境保护措施可行性论证 .....	326
8 环境影响经济损益分析 .....	327
8.1 环保投资估算 .....	327
8.2 社会效益 .....	327
8.3 经济效益 .....	328
8.4 环境损益分析 .....	328
8.5 环境经济损益综合分析 .....	328
9 环境可行性分析 .....	329
9.1 国土空间规划符合性分析 .....	329
9.2 与“三区三线”中生态保护红线的符合性分析 .....	340
9.3 与生态环境分区管控相符性分析 .....	340
9.4 相关规划符合性分析 .....	353
10 环境管理与监测计划 .....	359
10.1 环境管理 .....	359
10.2 施工期环境监理 .....	361
10.3 环境监测计划 .....	362
11 海洋环境影响评价结论 .....	367
11.1 项目建设概况 .....	367
11.2 环境质量现状 .....	367
11.3 污染物排放情况 .....	368
11.4 主要环境影响 .....	369
11.5 环境保护措施 .....	371
11.6 环境影响经济损益情况 .....	371
11.7 区划、规划和政策符合性 .....	371
11.8 海洋专题评价结论 .....	371



# 1 概述

## 1.1 建设项目特点

### 1.1.1 项目背景

目前，广东电网与海南电网已建设两回 500kV 跨海联网线路（以下简称“海南联网一回、二回工程”），规模为 2×60 万千瓦。海南联网一回、二回工程的建成结束了海南电网百年孤岛的历史，为海南省电网安全运行提供了“双重保障”，提升了海南电网的安全可靠性、供电质量和抵御风险能力。然而，目前的联网线路不足以满足海南新能源的持续高速发展。在经过充分论证评估后，2024 年 7 月，国家能源局印发《关于加快电力灵活互济工程规划建设进一步增强电力供应保障能力的通知》（国能发电力〔2024〕49 号），本项目正式纳入国家规划，规划中明确本项目初步技术方案为“海南~广东第三回 500 千伏交流线路工程”。后考虑到本项目功能为满足广东、海南两省中长期用电需求，实现两省电力互济，加快琼粤一体化高质量发展，项目更名为海南-广东电力灵活互济工程，并于 2025 年 3 月 14 日立项。通过广东电网与海南电网联网通道的进一步加强，实现更大范围内的能源资源优化配置，提高海南电网安全稳定运行水平，提升两省的清洁能源消费占比，加快两省能源绿色低碳转型。

### 1.1.2 项目概况

海南-广东电力灵活互济工程（以下简称“本项目”）位于广东省湛江市徐闻县与海南省澄迈县、临高县，本工程建设内容包括：（1）变电工程：500kV 福山变电站扩建工程、500kV 徐闻开关站扩建工程、500kV 林诗岛终端站扩建工程、500kV 东莞村终端站新建工程；（2）线路工程：500kV 海缆线路新建工程、500kV 福山变电站~林诗岛终端站架空线路新建工程、500kV 东莞村终端站~徐闻开关站架空线路新建工程、500kV 配套架空线路改造工程。其中 500kV 海缆线路新建工程建设内容为新建 2 回海底电缆（一回主缆、一回备用缆），均为交流 3 芯 1000mm<sup>2</sup> 的 500kV 海底电缆。根据可研批复，两回海缆长度均为 38.1km，该长度包含部分登陆段海缆长度以及地形起伏的裕度。广东侧登陆点所在岸线为人工岸线，海南侧登陆点岸线为自然岸线，均采用定向钻下穿底土穿越岸线。海缆线路工程投资            万元。

图 1.1-1 项目地理位置图

## 1.2 环境影响评价工作过程

接受委托后，项目组人员根据相关法律法规、技术文件、环保标准等，进行了初步工程分析，对工程进行了实地踏勘，同时收集了区域自然环境、区域污染源、环境现状监测等资料。结合项目工程资料的基础上，依据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）和《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020），编制完成了《海南-广东电力灵活互济工程海洋环境影响评价专题》，本专题评价范围为林诗岛终端站~东莞村终端站之间的海缆工程，包括涉海海缆线路工程以及海缆终端站至海岸线间的海缆登陆段工程。

## 1.3 分析判定相关情况

### 1.3.1 产业政策符合性分析

本项目海缆工程属于《产业结构调整指导目录》（2024 年本）第一类鼓励类中的第四项“电力”中第二条“电力基础设施建设：电网改造与建设”，符合国家产业政策。

根据《市场准入负面清单》（2025 版），在获得许可的前提下，项目不属于禁止准入类，与《市场准入负面清单》要求相符。

### 1.3.2 规划、区划符合性分析

#### 1.3.2.1 水环境功能区达标情况判别

根据 2025 年春季海洋水质调查结果表明，海水 pH、透明度、水温、盐度、悬浮物、生化需氧量、化学需氧量、溶解氧、无机氮（氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮）、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发性酚、重金属（铜、铅、镉、汞、锌、总铬、砷、硒、镍）均符合调查站位所在功能区划的海洋环境评价标准要求。

本项目对水环境功能区影响主要来源于施工期海缆敷设产生的悬浮物。根据数值模拟结果，悬沙扩散影响区域主要集中在海缆两侧海域，施工期海缆敷设产生的大于 10mg/L 的高浓度悬沙主要位于底层、次底层及中层，最大扩散距离为东向 0.63km，西向 0.75km。悬沙的影响主要集中在施工期阶段，施工结束后，数小时内人为增加的悬浮物

浓度可衰减至 10mg/L 以下。因此，本项目对水质的影响是暂时的，可逆的。因此，本项目建设对所在海洋功能区影响较小。

### 1.3.2.2 大气环境功能区达标情况判别

本项目广东和海南侧海缆登陆点皆位于《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二类区，因此本项目海缆参考海缆登陆点处所属大气环境功能区划，执行《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）中的二级标准。

根据《湛江市生态环境质量年报简报（2024 年）》，项目所在区域环境空气质量达标。根据《2024 年海南省生态环境状况公报》，项目所在区域环境空气质量达标。

本项目对大气环境功能区影响主要来源于施工期海上施工船舶、施工机械排放的燃油废气、海缆登陆段施工扬尘等。由于本项目作业区域所在辽阔海域废气扩散条件较好，海缆登陆段工程量小，工期短，且废气产生具有间歇性、短期性和流动性的特点，因此对大气环境功能区影响较小。

### 1.3.2.3 国土空间规划和其他规划、区划符合性分析

本项目符合所在海域国土空间规划分区的用途管制要求，项目建设与《全国国土规划纲要（2016-2030 年）》《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》《湛江市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《徐闻县国土空间总体规划（2021-2035 年）》《澄迈县国土空间规划（2021-2035 年）》相符合。

本项目海缆工程不占用生态保护红线，距离广东省生态保护红线最近距离为 318m，距离海南省生态保护红线最近距离为 624m，施工过程中产生的悬沙对生态保护红线生态环境会产生一定影响，但悬沙影响持续时间较短，短期内可恢复，在采取相应生态环境措施后影响可控，因此本项目建设符合生态保护红线管控要求。

### 1.3.3 三线一单

本项目海缆工程不占用生态保护红线，施工期不可避免产生一定的废水、废气、噪声、固废等污染物，但在采取各项环保措施后，均能得到有效处置，不会突破环境质量底线。本项目为生态影响类项目，对资源的利用主要为对海域空间资源的利用，不会突破当地的资源利用上线，项目建设符合《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》《海

南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》《湛江市“三线一单”生态环境分区管控方案》《澄迈县“三线一单”生态环境分区管控实施方案》生态环境管控单元管控要求。

## 1.4 关注的主要环境问题及环境影响

本项目关注的主要环境问题和环境影响包括：

（1）施工期：海缆敷设施工产生悬浮物对海水水质、海洋沉积物、海洋生态及渔业资源的影响；施工期施工船舶的噪音影响；施工船舶可能产生的溢油事故环境风险；施工期产生生活污水、生活垃圾的处置。

（2）运行期：海底电缆产生的电磁环境影响。

## 1.5 海洋环境影响评价主要结论

海南-广东电力灵活互济工程建设符合国家产业政策和相关规划及区划的要求，项目建设不存在环境制约因素。项目建设和运行产生的主要环境问题是海洋水质、生态、渔业资源等的不利影响，在落实本报告提出的各项生态环境保护措施、污染防治措施和环境风险防范措施的前提下，项目海洋环境影响满足相关标准要求，从环境保护角度来看，项目建设可行。

## 2 总则

### 2.1 编制依据

#### 2.1.1 全国性法律法规

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2014 年 4 月 24 日修订；
- (2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日修订；
- (3) 《中华人民共和国海洋环境保护法》，2023 年 10 月 24 日修订；
- (4) 《中华人民共和国海域使用管理法》，2002 年 1 月 1 日；
- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》，2017 年 6 月 27 日修订；
- (6) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日修订；
- (7) 《中华人民共和国噪声污染防治法》，2021 年 12 月 24 日；
- (8) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 4 月 29 日修订；
- (9) 《中华人民共和国渔业法》，2013 年 12 月 28 日修订；
- (10) 《中华人民共和国野生动物保护法》，2022 年 12 月 30 日修订；
- (11) 《中华人民共和国湿地保护法》，2021 年 12 月 24 日；
- (12) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 7 月 16 日修订；
- (13) 《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2018 年 3 月 19 日修订；
- (14) 《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 日修订；
- (15) 《中华人民共和国自然保护区条例》，2017 年 10 月 7 日修订；
- (16) 《中华人民共和国水生动植物自然保护区管理办法》，2017 年 11 月修正；
- (17) 《关于健全生态保护补偿机制的意见》（国办发〔2016〕31 号），国务院办公厅，2016 年 4 月 28 日；
- (18) 《全国海洋主体功能区规划》（国发〔2015〕42 号），2015 年 8 月 1 日；
- (19) 《国务院关于印发中国水生生物资源养护行动纲要的通知》（国发〔2006〕9 号），2006 年 2 月 14 日；
- (20) 《全国国土规划纲要（2016—2030 年）》，国务院，国发〔2017〕3 号，2017 年 1 月 3 日；

- (21) 《海洋自然保护区管理办法》（国海发〔1995〕251号），1995年5月29日；
- (22) 《海岸线保护与利用管理办法》，2017年3月31日；
- (23) 《国家海洋局关于印发〈海洋工程环境影响评价管理规定〉的通知》（国海规范〔2017〕7号），2017年4月27日；
- (24) 《关于铺设海底电缆管道管理有关事项的通知》（国海规范〔2017〕8号），2017年5月2日；
- (25) 《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》，2013年12月7日修订；
- (26) 《“十四五”海洋生态环境保护规划》，生态环境部、发展改革委、自然资源部、交通运输部、农业农村部、中国海警局，环海洋〔2022〕4号，2022年1月11日；
- (27) 《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，自然资发〔2022〕142号；
- (28) 关于印发《全国生态功能区划（修编版）》的公告，环境保护部公告2015年第61号，2015年11月13日；
- (29) 《关于进一步加强水生生物资源保护 严格环境影响评价管理的通知》（环发〔2013〕86号），2013年8月5日；
- (30) 《近岸海域环境功能区管理办法》（国家环保总局第8号令），2010年12月22日修订；
- (31) 《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令第4号），2018年10月12日；
- (32) 《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》（生态环境部令第16号），2020年11月30日；
- (33) 《产业结构调整指导目录（2024年本）》，2023年12月27日修改；
- (34) 《市场准入负面清单（2025年版）》，2025年4月16日；
- (35) 《“十四五”现代能源体系规划》（发改能源〔2022〕210号），2022年1月29日；
- (36) 《红树林保护修复专项行动计划（2020-2025年）》，自然资源部、国家林业和草原局，自然资发〔2020〕135号，2020年08月14日；
- (37) 《自然资源部办公厅关于北京等省（区、市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2207号）；
- (38) 《自然资源部办公厅关于加强珊瑚礁保护修复的通知》，自然资源部办公厅，自然资办发〔2024〕27号，2024年6月4日。

## 2.1.2 地方性法规、规划

### 2.1.2.1 广东省相关法规、规划

- (1) 《广东省环境保护条例》，2022 年 11 月 30 日修正；
- (2) 《广东省海域使用管理条例》，2021 年 9 月 29 日修正；
- (3) 《广东省渔业管理条例》，2019 年 9 月 25 日修正；
- (4) 《广东省湿地保护条例》，2022 年 11 月 30 日修正；
- (5) 《广东省固体废物环境污染防治条例》，2022 年 11 月 30 日修正；
- (6) 《广东省实施〈中华人民共和国海洋环境保护法〉办法》，2018 年 11 月 29 日（修正）；
- (7) 广东省海洋与渔业局转发《环境保护部 农业部关于进一步加强水生生物资源保护 严格环境影响评价管理的通知》（粤环〔2013〕71 号），2013 年 9 月 9 日；
- (8) 《广东省国土空间规划（2020—2035 年）》（粤府〔2023〕105 号），2024 年 1 月 16 日；
- (9) 《广东省海岸带及海洋空间规划（2021—2035 年）》，广东省自然资源厅，2025 年 1 月 23 日；
- (10) 《广东省自然资源厅关于印发〈广东省国土空间生态修复规划（2021—2035 年）〉的通知》，2023 年 5 月 10 日；
- (11) 《广东省能源发展“十四五”规划》，2022 年 3 月 17 日；
- (12) 《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》，广东省人民政府办公厅，粤府办〔2021〕31 号，2021 年 9 月 29 日；
- (13) 《广东省海洋生态文明建设行动计划（2016-2020）》，2016 年 11 月；
- (14) 《广东省主体功能区规划》，2012 年 9 月 14 日；
- (15) 《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71 号），广东省人民政府，2020 年 12 月 29 日；
- (16) 《广东省海洋生态文明建设行动计划（2016-2020）》，2016 年 11 月；
- (17) 《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》，2022 年 4 月；
- (18) 《广东省自然资源厅关于下发生态保护红线和“双评价”矢量数据成果的函》，广东省自然资源厅，2020 年 12 月 24 日；
- (19) 《广东省自然资源厅 广东省生态环境厅 广东省林业局关于严格生态保护红线管理

- 的通知（试行）》（粤自然资发〔2023〕11号），2023年11月28日；
- (20)《广东省海洋功能区划（2011—2020年）》，广东省人民政府，2013年1月；
- (21)《广东省近岸海域环境功能区划》，广东省人民政府，1999年7月；
- (22)《湛江市国土空间总体规划（2021—2035年）》，湛江市人民政府，2022年2月25日；
- (23)湛江市人民政府办公室关于印发<湛江市养殖水域滩涂规划（2018-2030年）>的通知》，湛江市人民政府办公室，2019年4月20日；
- (24)《湛江市“三线一单”生态环境分区管控方案》，湛江市人民政府，2021年6月29日；
- (25)《徐闻县国土空间总体规划（2021-2035年）》，徐闻县人民政府，2025年2月25日。

### 2.1.2.2 海南省相关法规、规划

- (1)《海南省环境保护条例》，2017年11月30日修正；
- (2)《海南省湿地保护条例》，2018年5月29日通过；
- (3)《海南省国土空间规划（2021-2035年）》，海南省自然资源和规划厅，2024年04月24日；
- (4)《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035）》，2025年；
- (5)《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》；
- (6)《海南省环境保护条例》，2017年11月30日海南省第五届人民代表大会常务委员会第三十三次会议第四次修正，2018年1月1日起施行；
- (7)《海南省海洋环境保护规定》，海南省人民代表大会常务委员会，2016年3月31日海南省第五届人民代表大会常务委员会第二十次会议通过修订；
- (8)《海南省实施〈中华人民共和国渔业法〉办法》，海南省人民代表大会常务委员会，2008年8月1日起施行；
- (9)《海南省生态保护红线管理规定》，海南省第六届人民代表大会常务委员会第三十六次会议修正，2022年5月31日起施行；
- (10)《海南省自然保护区条例》，2022年5月31日海南省第六届人民代表大会常务委员会第三十六次会议《关于修改等六件法规的决定》第二次修正；
- (11)《海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则》，海南省人民政府，琼府〔2022〕22号，自2022年6月15日起施行；



- (12) 《海南省生态保护红线准入管理目录(修订)》，海南省人民政府办公厅，琼府办(2023) 4 号，2023 年 1 月 16 日；
- (13) 《国家生态文明试验区（海南）实施方案》，中共中央办公厅、国务院办公厅，2019 年 5 月；
- (14) 《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》，海南省生态环境厅，2021 年 12 月 31 日；
- (15) 《海南省红树林保护规定》，海南省人民代表大会常务委员会，2023 年 11 月 24 日修改；
- (16) 《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》，海南省第五届人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过，2017 年 1 月 1 日起施行；
- (17) 《海南省近岸海域环境功能区划》（2010 年修编），海南省国土环境资源厅，2012 年 3 月；
- (18) 《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》，海南省人民政府，2012 年 8 月；
- (19) 《澄迈县国土空间总体规划（2021-2035 年）》，澄迈县自然资源和规划局，2023 年 12 月 26 日；
- (20) 《澄迈县养殖水域滩涂规划（2018-2030 年）（2021 年修编版）》，2021 年。

### 2.1.3 技术导则、标准和规范

- (1) 《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016）；
- (2) 《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）；
- (3) 《环境影响评价技术导则 大气环境》，（HJ 2.2-2018）；
- (4) 《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ 2.3-2018）；
- (5) 《环境影响评价技术导则 声环境》，（HJ 2.4-2021）；
- (6) 《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022）；
- (7) 《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）；
- (8) 《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）；
- (9) 《船舶污染海洋环境风险评价技术规范》（试行）；
- (10) 《海洋监测规范》（GB 17378-2007）；
- (11) 《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）（其中 GB/T 12763.3-2007 已废止）；
- (12) 《海洋调查规范 第 3 部分：海洋气象观测》（GB/T 12763.3-2020）

- (13) 《近岸海域环境监测技术规范》（HJ 442-2020）；
- (14) 《海水水质标准》（GB 3097-1997）；
- (15) 《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）；
- (16) 《海洋生物质量》（GB 18421-2001）；
- (17) 《环境空气质量标准》（GB 3095-2012）；
- (18) 《声环境质量标准》（GB 3096-2008）；
- (19) 《电磁环境控制限值》（GB 8702-2014）；
- (20) 《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）；
- (21) 《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》（海洋出版社，1986）；
- (22) 《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）；
- (23) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（国家海洋局），2002 年；
- (24) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007），农业部，2008 年；
- (25) 广东省地方标准《水污染物排放限值》（DB 44/26-2001）；
- (26) 《广东省大气污染物排放限值》（DB 44/27-2001）；
- (27) 《输变电建设项目环境保护技术要求》（HJ 1113-2020）；
- (28) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）。

#### 2.1.4 其他技术文件及依据

- (1) 《海南-广东电力灵活互济工程可行性研究报告（送审版）第三卷海上部分第一册海底电缆路径选择及工程设想》，  
2025 年 4 月；
- (2) 《海南-广东电力灵活互济工程路由选择依据说明材料》，  
，2025 年 3 月；
- (3) 《海南-广东电力灵活互济工程对广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区及周边现状珊瑚礁生态影响评价报告》，  
，2025 年 10 月；
- (4) 《海南-广东电力灵活互济工程对周边红树林生态影响专题报告》，  
，2025 年 20 月；
- (5) 建设单位提供的其他资料。

## 2.2 评价因子

### 2.2.1 环境影响因素识别

本项目施工期主要为包括海上电缆部分和海缆登陆段。

#### (1) 水质环境影响因素分析

海上：施工期水环境污染主要来自海底电缆埋设产生的悬浮物扩散、施工船舶生活污水和船舶机舱含油废水。运行期水环境污染主要来自运维船舶生活污水和船舶机舱含油废水。施工期和运行期船舶生活污水和船舶机舱含油废水收集在专用容器，上岸后委托有接收能力的单位进行接收处置，

海缆登陆段：施工期海缆登陆段主要为两侧登陆段电缆沟施工废水，施工废水经现场沉砂池沉淀处置后回用于现场降尘，不外排，不会对周边水体产生影响。

#### (2) 沉积物环境影响因素分析

海缆开沟埋设破坏施工区的表层沉积物环境，另外，施工产生的悬浮物扩散落淤到周边海域，对周边海域的表层沉积物产生一定影响。

#### (3) 海洋生态环境影响因素分析

施工产生的悬浮物扩散导致水体浑浊，对浮游动物等海洋生物的生存环境产生一定影响。施工期产生的污水、固废等污染物均收集转运处理，不直接排海，不会对生态环境造成直接影响。

#### (4) 水文动力与冲淤环境影响因素分析

海缆开沟埋设改变了工程区的海底地形，但海缆埋设在海底，对水动力和冲淤环境影响甚微。

#### (5) 大气环境影响因素分析

海上工程施工和运维船舶燃油排放的废气中含有  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  等，海缆登陆段工程施工扬尘主要是颗粒物，对大气环境造成一定程度的影响。

#### (6) 声环境影响因素分析

施工设备和运维船舶产生的噪声将对工程区附近声环境造成一定的影响。运营期不会造成噪声影响。

#### (7) 固体废物影响因素分析

本项目固废主要为海上工程施工船舶施工人员和运维船舶运维人员的生活垃圾海缆登陆段电缆沟产生的施工垃圾，以及定向钻施工产生的钻渣。

(8) 电磁环境影响因素分析

本项目电磁环境影响主要来自运行期海缆线路产生的工频电磁场。

(9) 环境风险影响分析

本项目施工期和运行期都需要使用船舶进行作业。船舶海上作业与航行过程中，由于船舶、人为、天气因素等可能造成船舶相互碰撞或船舶撞击海岸，导致燃料油泄漏，污染周边海水环境，甚至引发火灾、爆炸，污染水体及大气环境，危害人群健康；且船舶碰撞等造成的环境风险事故污染物也可能对水生生态环境产生的影响。同时船舶还存在发生跑、冒、滴、漏等溢油事故的可能。

综上所述，本项目的环境影响因素及要素识别结果如下表：

表 2.2-1 环境影响矩阵筛选表

评价时段	环境影响因素	环境要素								
		水质环境	海洋生态环境	沉积物	水动力与冲淤环境	大气环境	声环境	固体废物	电磁环境	环境风险
施工期	施工	■	■	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	溢油风险	■	■	▲	▲	▲	▲	▲	▲	●
运行期	运营	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
	溢油风险	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	■

注：▲轻微影响；■影响较大；●影响重大；空心符号为正面影响。

2.2.2 评价因子

根据本项目污染物排放特征、所在海域环境污染特点和《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）的要求，确定本项目环境影响评价因子见表 2.2-2。

表 2.2-2 本项目环境影响评价因子

环境要素	现状评价因子	影响评价因子
水质环境	pH、水温、盐度、SS、生化需氧量、化学需氧量、溶解氧、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨、活性磷酸盐、氰化物、硫化物、挥发性酚、石油类、重金属（铜、铅、锌、镉、汞、砷、总铬、硒、镍）	SS
沉积物	pH、有机碳、硫化物、石油类、铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷、粒度、含水率	——
生物体	石油烃、铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷	——
水动力	流速、流向、地形地貌与冲淤	流速、流向、地形地貌与冲淤
船舶事故	——	石油类等

固体废物	——	生活垃圾、船舶垃圾、定向钻泥浆
环境空气	SO <sub>2</sub> 、NO <sub>2</sub> 、PM <sub>10</sub> 、PM <sub>2.5</sub> 、CO、O <sub>3</sub>	NO <sub>x</sub> 、CO、SO <sub>2</sub>
声环境	等效连续声级、累积百分声级	等效连续 A 声级（Leq）
电磁环境	工频电场强度、工频磁感应强度	E、B

表 2.2-3 本项目环境影响评价因子筛选表（海洋生态影响）

受影响对象	评价因子	工程内容及影响方式	影响性质及影响时段
初级生产力	叶绿素 a	施工悬沙扩散直接影响	影响短期、可逆，影响时段为施工期
浮游植物、浮游动物、潮间带生物、底栖生物、游泳动物（含鱼卵仔稚鱼）	种类组成、生物量、密度（丰度）、种群结构、群落特征、分布范围、物种多样性指数等	施工悬沙扩散直接影响、施工开挖破坏底栖生物和潮间带生物生存环境	影响短期、可逆，影响时段为施工期
南海北部幼鱼繁育场保护区	分布范围、生产力	施工悬沙扩散直接影响	影响短期、可逆，影响时段为施工期
国际重要湿地	分布面积、生境稳定性、生态健康情况	施工悬沙扩散直接影响	影响短期、可逆，影响时段为施工期
澄迈县珊瑚礁特殊生境	珊瑚礁分布面积、物种种类、物种盖度、生物多样性、生境稳定性、生态健康情况	施工悬沙扩散直接影响	影响短期、可逆，影响时段为施工期
徐闻县红树林特殊生境	红树林分布面积、红树林物种种类、物种盖度、生物多样性、生境稳定性、生态健康情况	施工悬沙扩散直接影响	影响短期、可逆，影响时段为施工期
生态保护红线	主要保护对象数量和种群规模、主要生态功能、物种栖息地连通性	施工悬沙扩散直接影响	影响短期、可逆，影响时段为施工期
广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区	珊瑚礁数量和种群规模、主要生态功能、物种栖息地连通性	施工悬沙扩散直接影响	影响短期、可逆，影响时段为施工期
湛江徐闻灯楼角县级森林公园	森林资源和野生动植物资源	施工悬沙扩散直接影响	影响短期、可逆，影响时段为施工期
自然岸线	长度、宽度、类型和功能	施工悬沙扩散直接影响	影响短期、可逆，影响时段为施工期

## 2.3 评价标准

### 2.3.1 环境质量标准

#### 2.3.1.1 海洋环境质量标准

根据《环境影响评价技术导则海洋生态环境》（HJ1409-2025），“根据海洋生态环

境保护规划和近岸海域生态环境分区管控要求，按照 GB 3097、GB 18421、GB 18668、GB 18486、GB 4914、GB 11607、GB 3552、GB 8978 等国家标准及相应行业、海域（区域或流域）污染物排放标准，确定各评价因子适用的生态环境质量标准、生态环境风险管控标准及污染物排放标准。在海洋生态环境保护规划或近岸海域生态环境分区管控均未明确质量目标的海域，以维持环境质量现状为目标，或由地方人民政府生态环境主管部门确认应执行的评价标准。”根据海南省生态环境厅和湛江市生态环境局出具标准确认函，本项目执行海洋环境质量标准如下：

#### （1）广东侧

根据《广东省近岸海域环境功能区划》，本项目所在海域涉及近岸海域环境功能区划中的雷州半岛西南盐业、养殖功能区，主要功能为制盐业、海水养殖，海水水质执行《海水水质标准》二类标准；其他未划定功能区的参照《广东省海洋功能区划（2011—2020 年）》的相关要求确定质量标准，涉及的海洋功能区为湛江—珠海近海农渔业区和角尾湾工业与城镇用海区，分别执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）一类和二类标准。

#### （2）海南侧

根据《海南省近岸海域环境功能区划》，本项目所在海域涉及海南省近岸海域环境功能区划中的马村港区（HN071D IV）和桥头、金牌工业用水区（HN070CII），海水水质分别执行《海水水质标准》四类标准和二类标准；其他未划定功能区的参照《海南省海洋功能区划（2011—2020 年）》的相关要求确定质量标准，涉及的海洋功能区为海南岛近海农渔业区、马村港港口航运区和玉包保留区，分别执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）一类标准、不劣于现状和维持现状。

**图 2.3-1 本项目海缆与广东省近岸海域环境功能区划叠置图**

**图 2.3-2 本项目海缆与广东省海洋功能区划叠置图**

**图 2.3-3 本项目海缆与海南省近岸海域环境功能区划叠置图**

**图 2.3-4 本项目海缆与海南省海洋功能区划叠置图**

本项目所在功能区及执行的海水水质标准见表 2.3-1，海水水质标准见表 2.3-2。

表 2.3-1 本项目所在功能区及执行的海水水质标准

海域	功能区划	功能区	执行水质标准
广东侧	近岸海域功能区	雷州半岛西南盐业、养殖功能区	二类
	海洋功能区	湛江-珠海近海农渔业区	一类
		角尾湾工业与城镇用海区	二类
海南侧	近岸海域功能区	马村港区（HN071D IV）	四类
		桥头、金牌工业用水区（HN070CII）	二类
	海洋功能区	海南岛近海农渔业区	一类
		马村港港口航运区	不劣于现状
		玉包保留区	维持现状

## 一、海水质量标准

本项目海水质量标准限值见下表。

表 2.3-2 本项目水质评价标准 单位：mg/L（pH 除外）

（摘自《海水水质标准（GB 3097-1997）》）

项 目	标准值（一类）	标准值（二类）	标准值（三类）	标准值（四类）
pH 值	7.8~8.5		6.8~8.8	
溶解氧（DO）	>6mg/L	>5mg/L	>4mg/L	>3mg/L
无机氮	≤0.2mg/L	≤0.3mg/L	≤0.4mg/L	≤0.5mg/L
石油类	≤0.05mg/L		≤0.30mg/L	≤0.50mg/L
化学需氧量（COD）	≤2mg/L	≤3mg/L	≤4mg/L	≤5mg/L
磷酸盐	≤0.015 mg/L	≤0.030mg/L		≤0.045mg/L
锌	≤0.020mg/L	≤0.050mg/L	≤0.10mg/L	≤0.5mg/L
铜	≤0.005mg/L	≤0.010mg/L	≤0.050mg/L	≤0.05mg/L
铅	≤0.001mg/L	≤0.005mg/L	≤0.010mg/L	≤0.05mg/L
镉	≤0.001mg/L	≤0.005mg/L	≤0.010mg/L	≤0.01mg/L
汞	≤0.00005 mg/L	≤0.0002 mg/L		≤0.0005 mg/L
砷	≤0.020mg/L	≤0.030mg/L	≤0.050mg/L	
硒	≤0.010mg/L	≤0.020mg/L		≤0.050mg/L
镍	≤0.005mg/L	≤0.010mg/L	≤0.020mg/L	≤0.050mg/L
氰化物	≤0.005mg/L		≤0.10mg/L	≤0.20mg/L
挥发性酚	≤0.005mg/L		≤0.010mg/L	≤0.050mg/L
总铬	≤0.05mg/L	≤0.10mg/L	≤0.20mg/L	≤0.50mg/L
硫化物	≤0.02 mg/L	≤0.05 mg/L	≤0.10 mg/L	≤0.25 mg/L

生化需氧量 (BOD <sub>5</sub> )	≤1mg/L	≤3mg/L	≤4mg/L	≤5mg/L
------------------------------	--------	--------	--------	--------

## 二、海洋沉积物标准

由于近岸海域环境功能区划只有海水水质执行标准，因此海洋沉积物标准参照广东、海南两省海洋功能区划执行。

### (1) 广东侧

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，本项目所在海域涉及角尾湾工业与城镇用海区和湛江-珠海近海农渔业区，角尾湾工业与城镇用海区执行海洋沉积物质量二类标准，湛江-珠海近海农渔业区执行海洋沉积物质量一类标准。

### (2) 海南侧

根据《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》，本项目所在海域涉及马村港港口航运区、玉包保留区和海南岛近海农渔业区，马村港港口航运区执行海洋沉积物质量二类标准，玉包保留区海洋沉积物质量标准维持现状，海南岛近海农渔业区执行海洋沉积物质量一类标准。

本项目海洋沉积物标准见表 2.3-3。

**表 2.3-3 本项目海洋沉积物标准**

区域	功能区划	功能区名称	执行沉积物标准
广东侧	海洋功能区	角尾湾工业与城镇用海区	二类
		湛江-珠海近海农渔业区	一类
海南侧	海洋功能区	马村港港口航运区	二类
		玉包保留区	维持现状
		海南岛近海农渔业区	一类

**表 2.3-4 本项目沉积物质量标准**

（摘自《海洋沉积物质量（GB18668-2002）》）

污染因子	有机碳	石油类	Pb	Zn	Cu	Cd	Hg	铬	砷	硫化物
	×10 <sup>-2</sup>	×10 <sup>-6</sup>								
一类标准≤	2.0	500.0	60.0	150.0	35.0	0.50	0.20	80.0	20.0	300.0
二类标准≤	3.0	1000.0	130.0	350.0	100.0	1.50	0.50	150.0	65.0	500.0
三类标准≤	4.0	1500.0	250.0	600.0	200.0	5.00	1.00	270.0	93.0	600.0

## 三、海洋生物体质量标准

贝类海洋生物体质量标准参照广东、海南两省海洋功能区执行，软体动物、甲壳动



物、鱼类生物体内污染物质（除铬外）含量评价标准采用《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中的标准。铬含量评价标准采用《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中铬的标准。

（1）广东侧

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，本项目所在海域涉及角尾湾工业与城镇用海区和湛江-珠海近海农渔业区，角尾湾工业与城镇用海区执行海洋生物质量二类标准，湛江-珠海近海农渔业区执行海洋生物质量一类标准。

（2）海南侧

根据《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》，本项目所在海域涉及马村港港口航运区、玉包保留区和海南岛近海农渔业区，马村港港口航运区执行海洋生物质量二类标准，玉包保留区海洋生物质量标准维持现状，海南岛近海农渔业区执行海洋生物质量一类标准。

本项目海洋生物质量标准见表 2.3-5。

表 2.3-5 本项目海洋生物质量标准

区域	功能区划	功能区名称	执行沉积物标准
广东侧	海洋功能区	角尾湾工业与城镇用海区	二类
		湛江-珠海近海农渔业区	一类
海南侧	海洋功能区	马村港港口航运区	二类
		玉包保留区	维持现状
		海南岛近海农渔业区	一类

表 2.3-6 海洋生物（贝类）质量标准（GB18421-2001）（鲜重：×10<sup>-6</sup>）

项目	第一类	第二类	第三类
总汞≤	0.05	0.10	0.30
镉≤	0.2	2.0	5.0
铬≤	0.5	2.0	8.0
铅≤	0.1	2.0	6.0
铜≤	10	25	50（牡蛎 100）
锌≤	20	50	100（牡蛎 500）
砷≤	1.0	5.0	8.0
石油烃≤	15	50	80

表 2.3-7 海洋生物体评价标准 （湿重：×10<sup>-6</sup>）

生物类别	铜	铅	镉	锌	总汞	砷	石油烃	铬	引用标准
鱼 类	20	2.0	0.6	40	0.3	1	20	1.5	《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 铬采用《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中的评价标准
甲壳类	100	2.0	2.0	150	0.2	1	20	1.5	
软体类	100	10.0	5.5	250	0.3	1	20	5.5	

2.3.1.2 环境空气质量标准

本项目海缆位于广东侧和海南侧的登陆点所在区域均为大气环境二类功能区，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中的二级标准。

表 2.3-8 环境空气质量标准（摘录）

污染物名称	取值时间	浓度限值	标准来源
NO <sub>2</sub>	24 小时平均	80μg/m <sup>3</sup>	《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准
	1 小时平均	200μg/m <sup>3</sup>	
SO <sub>2</sub>	24 小时平均	150μg/m <sup>3</sup>	
	1 小时平均	500μg/m <sup>3</sup>	
PM <sub>2.5</sub>	24 小时平均	75μg/m <sup>3</sup>	
	年平均	35μg/m <sup>3</sup>	
PM <sub>10</sub>	24 小时平均	150μg/m <sup>3</sup>	
	年平均	70μg/m <sup>3</sup>	
TSP	24 小时平均	300μg/m <sup>3</sup>	
	年平均	200μg/m <sup>3</sup>	
CO	24 小时平均	4mg/m <sup>3</sup>	
	年平均	10mg/m <sup>3</sup>	
O <sub>3</sub>	24 小时平均	160μg/m <sup>3</sup>	
	年平均	200μg/m <sup>3</sup>	

2.3.1.3 声环境质量标准

本项目海缆工程位于海域及陆域（登陆段），未划分声环境功能区划。两侧登陆点临近终端站，执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）2 类标准，即昼间≤60dB，夜间≤50dB。

表 2.3-9 声环境质量标准（GB3096-2008） （等效声级：Leq:dB（A））

声功能区划类别	时段
---------	----

	昼间	夜间
2 类	60	50

### 2.3.1.4 电磁环境质量标准

根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014），频率为 50Hz 的公众曝露控制限值电场强度为 4000V/m，磁感应强度为 100μT。

## 2.3.2 污染物排放标准

### 2.3.2.1 废水

施工期和运行期船舶生活污水和含油污水执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）。

**表 2.3-10 船舶水污染物控制排放标准（GB3552-2018）中污水排放要求**

污水类别	船舶类别/排放水域		排放控制要求
机器处所含油污水	400 总吨及以上船舶		自 2018 年 7 月 1 日起，达标排放（油污水处理装置出口处石油类≤15mg/L，排放在船舶航行中进行）或收集并排入接收设施。
	400 总吨以下船舶		自 2018 年 7 月 1 日起，达标排放（油污水处理装置出口处石油类≤15mg/L，排放在船舶航行中进行）或收集并排入接收设施。
含货油残余物的油污水	150 总吨及以上油船		自 2018 年 7 月 1 日起，收集并排入接收设施，或在船舶航行中排放，并同时满足下列条件：（1）油船距最近陆地 50 海里以上；（2）排入海中油污水含油量不得超过货油总量的 1/30000；（4）排油监控系统运转正常。
	150 吨以下油船		自 2018 年 7 月 1 日起，收集并排入接收设施。
船舶生活污水	400 总吨及以上船舶，400 总吨以下且经核定许可载运 15 人及以上的船舶	距最近陆地 3 海里以内（含）的海域	自 2018 年 7 月 1 日起，应利用船载收集装置收集，排入接收设施；或利用船载生活污水处理设施处理，根据船舶类别和安装生活污水处理装置的时间，处理达标排放
		3 海里＜距最近陆地间距离≤12 海里海域	自 2018 年 7 月 1 日起，同时满足下列条件： （1）使用设备打碎固形物和消毒后排放； （2）船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。
		距最近陆地间距离＞12 海里的海域	自 2018 年 7 月 1 日起，船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。
	在饮用水水源保护区内，不得排放生活污水，并按规定控制措施进行记录		

### 2.3.2.2 废气

施工期和运行期作业船舶废气执行《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB 15097-2016）。

**表 2.3-11 《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB 15097-2016）**

船舶类型	单缸排气量 (SV) (L/缸)	额定净功率 (P) (kW)	CO (g/kWh)	HC+NO <sub>x</sub> (g/kWh)	CH <sub>4</sub> <sup>(1)</sup> (g/kWh)	PM (g/kWh)
第 I 类	SV<0.9	P≥37	5.0	7.5	1.5	0.40
	0.9≤SV<1.2		5.0	7.5	1.5	0.30
	1.2≤SV<5		5.0	7.5	1.5	0.20
	5≤SV<15		5.0	7.8	1.5	0.27
第 II 类	15≤SV<20	P<3300	5.0	8.7	1.6	0.50
		P≥3300	5.0	9.8	1.8	0.50
	20≤SV<25		5.0	9.8	1.8	0.50
	25≤SV<30		5.0	11.0	2.0	0.50

(1) 仅适用于 NG (含双燃料) 船机

表 2.3-12 《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB 15097-2016）

船舶 类型	单缸排气量 (SV) (L/缸)	额定净功率 (P) (kW)	CO (g/kWh)	HC+NOx (g/kWh)	CH <sub>4</sub> <sup>(1)</sup> (g/kWh)	PM (g/kWh)
第 I 类	SV<0.9	P≥37	5.0	5.8	1.0	0.30
	0.9≤SV<1.2		5.0	5.8	1.0	0.14
	1.2≤SV<5		5.0	5.8	1.0	0.12
第 II 类	5≤SV<15	P<2000	5.0	6.2	1.2	0.14
		2000≤P<3700	5.0	7.8	1.5	0.14
		P≥3700	5.0	7.8	1.5	0.27
	15≤SV<20	P<2000	5.0	7.0	1.5	0.34
		2000≤P<3300	5.0	8.7	1.6	0.50
		P≥3300	5.0	9.8	1.8	0.50
	20≤SV<25	P<2000	5.0	9.8	1.8	0.27
		P≥2000	5.0	9.8	1.8	0.50
	25≤SV<30	P<2000	5.0	11.0	2.0	0.27
		P≥2000	5.0	11.0	2.0	0.50

(1) 仅适用于 NG (含双燃料) 船机

2.3.2.3 噪声

施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），其中昼间≤70dB（A），夜间≤55dB（A）。

2.3.2.4 固体废物

本工程一般废物的处理、处置执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）。危险废物的贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。施工期和运行期船舶固体废物执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）。

表 2.3-13 《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）船舶垃圾排放要求

垃圾类别	排放控制要求
塑料废弃物、废弃食用油、生活废弃物、焚烧炉灰渣、废弃渔具和电子垃圾	收集并排入接收设施
食品废弃物	在距最近陆地 3 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 3 海里至 12 海里（含）的海域，粉碎或磨碎至直径不大于 25mm 后方可排放；在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。
货物残余物	在距最近陆地 12 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 12 海里以外的海域，不含危害海洋环境物质的货物残余物方可排放。
动物尸体	在距最近陆地 12 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放
货仓、甲板和外表面清洗水	其含有的清洁剂或添加剂不属于危害海洋环境物质的方可排放；其他操作废弃物应收集并排入接收设施。
对于不同类别船舶垃圾的混合垃圾	应同时满足所含每一类船舶垃圾的排放控制要求

2.4 评价工作等级

2.4.1 生态环境影响评价等级

2.4.1.1 海洋生态环境

本项目海洋工程拟建设 2 回海底电缆，分别为 1 回主缆和 1 回备用缆，均为 500kV 交流海底电缆，海缆输送容量为 600MW。两回电缆长度均为 38.1km，合计总长度为 76.2km。

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）第 5.1 节，根据 HJ 1409-2025 附录 B，本项目海洋生态环境影响类型主要为：“挖沟埋设管缆总长度”中的“海底管道及电（光）缆工程；海洋能源开发利用、输送设施及网络工程”。本项目海缆共 2

回，海上工程主缆和备缆挖沟埋设管缆总长度约 70.58km，本项目所涉及的各影响类型对应的评价等级判据如表 2.4.1-1 所示。

表 2.4-1 海洋生态环境影响评价等级判定表（摘自 HJ 1409-2025 表 1）

评价等级 影响类型	1	2	3	本项目
挖沟埋设管缆总长度 L（km） <sup>b</sup>	L≥100	60≤L<100	L<60	L=76.2
a.挖沟埋设管缆总长度以挖沟累积长度计。				

综合上述判据，本项目海洋生态环境影响评价等级为 **2 级**。

2.4.1.2 海缆登陆段生态环境

根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2022），建设项目生态影响评价等级的判定原则包括：

- a) 涉及国家公园、自然保护区、世界自然遗产、重要生境时，评价等级为一级；
- b) 涉及自然公园时，评价等级为二级；
- c) 涉及生态保护红线时，评价等级不低于二级；
- d) 根据 HJ2.3 判断属于水文要素影响型且地表水评价等级不低于二级的建设项目，生态影响评价等级不低于二级；
- e) 根据 HJ610、HJ964 判断地下水水位或土壤影响范围内分布有天然林、公益林、湿地等生态保护目标的建设项目，生态影响评价等级不低于二级；
- f) 当工程占地规模大于 20km<sup>2</sup> 时（包括永久和临时占用陆域和水域），评价等级不低于二级；改扩建项目的占地范围以新增占地（包括陆域和水域）确定；
- g) 除本条 a)、b)、c)、d)、e)、f) 以外的情况，评价等级为三级；
- h) 当评价等级判定同时符合上述多种情况时，应采用其中最高的评价等级。

同时，规定线性工程可分段确定评价等级，线性工程地下穿越或地表跨越生态敏感区，在生态敏感区范围内无永久、临时占地时，评价等级可下调一级。

海缆登陆段工程主要为两侧登陆段海缆定向钻及电缆沟工程，建设区共占地 0.31hm<sup>2</sup>，其中永久占地为 0.14hm<sup>2</sup>，临时用地面积为 0.17hm<sup>2</sup>，电缆沟位于地下，施工完成后表面硬化，临时占地表面复绿，均不涉及相关生态敏感区，故两侧海缆登陆段所在区域生态环境影响评价等级设置为三级。

2.4.2 大气环境影响评价等级

项目施工期和运营期无集中式排放污染源，大气环境影响主要为施工和运维船舶产

生的废气。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018），仅进行简单分析。

2.4.3 声环境影响评价等级

根据《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020），地下电缆线路可不开展声环境影响评价。

2.4.4 电磁环境影响评价等级

本项目拟建设 2 回 500kV 交流电缆，分别为 1 回主缆和一回备用缆，海缆输送容量为 600MW。根据《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020），判定本项目电磁环境影响评价等级为二级。

表 2.4-2 电磁环境影响评价等级判据

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价工作等级
交流	500kV 及以上	输电线路	1. 地下电缆 2. 边导线地面投影外两侧各 20m 范围内无电磁环境敏感目标的架空线	二级

2.4.5 环境风险评价等级

环境风险等级根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2018）、《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）、《船舶污染海域环境风险评价技术规范》（海船舶〔2011〕588 号）和《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017）确定。

根据《船舶污染海洋环境风险评价技术规范（试行）》“4.2.1 评价等级”，对建设项目的风险等级按《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T 169-2004）规定执行。

（1）危险物质数量与临界量比值（Q）

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）、《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），计算所涉及的每种危险物质在危险单元内的最大存在总量与对应临界量（油类物质参照《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025））的比值 Q。在不同厂区的同一种物质，按其在厂界内的最大存在总量计算。对于长输管线项目，按照两个截断阀室之间管段危险物质最大存在总量计算。

当只涉及一种危险物质时，计算该物质的总量与其临界量比值，即为 Q；

当存在多种危险物质时，则按下式计算：

$$Q = \frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \dots \frac{q_n}{Q_n}$$

式中： $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_n$ —每种危险物质的最大存在总量，t；

$Q_1$ 、 $Q_2$ 、 $Q_n$ —每种危险物质的临界量，t。

将  $Q$  值划分为：①  $Q < 1$ ；②  $1 \leq Q < 10$ ；③  $10 \leq Q < 100$ ；④  $Q \geq 100$ 。

本项目施工期采用的敷缆船吨位为 8000 吨，运行期间运维船舶最大为 1000 吨。参照《水上溢油环境风险评估技术导则》中附录 C 表 C7 计算船舶燃油舱单舱燃油量：

8000 吨船舶燃油总舱容约  $790\text{m}^3$ ，燃油总量  $632\text{m}^3$ （载油量 80%），柴油密度按照  $0.9\text{t}/\text{m}^3$  计，船舶最大储存量约为 568.8t，危险物质最大存在总量按载油量 80% 算，则危险物质最大存在总量约为 455t；

1000 吨船舶燃油总舱容  $< 390\text{m}^3$ ，燃油总量  $< 312\text{m}^3$ （载油量 80%），柴油密度按照  $0.9\text{t}/\text{m}^3$  计，则船舶最大储存量约为 351t，危险物质最大存在总量按载油量 80% 算，则危险物质最大存在总量为 281t。

其环境风险主要为油品泄漏，造成有害物质释放、火灾和爆炸等。其施工期和运行期危险物质数量与临界量比值（ $Q$ ）如下表所示：

**表 2.4-3 危险物质数量与临界量比值（ $Q$ ）确定表**

阶段	危险来源	船舶最大储存量/t	危险物质名称	危险物质最大比例（%）	危险物质最大存在总量 $q_n/\text{t}$	临界量 $Q_n/\text{t}$	该种危险物质 $Q$ 值
施工期	施工船舶燃油油	568.8t	油类	80	455	100	4.55
运行期	运维船舶燃油油	351t	油类	80	281	100	2.81

由上表可知，本项目施工期  $Q$  值判定为： $1 \leq \sum Q_{\text{运行期}} = 4.55 < 10$ 。本项目运行期  $Q$  值判定为： $1 \leq \sum Q_{\text{运行期}} = 2.81 < 10$ 。

## （2）行业及生产工艺（ $M$ ）

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018），分析项目所属行业及生产工艺特点，按照表 C.1（见表 2.4.4）评估生产工艺情况。具有多套工艺单元的项目，对每套生产工艺分别评分并求和。将  $M$  划分为①  $M > 20$ ；②  $10 < M \leq 20$ ；③  $5 < M \leq 10$ ；④  $M = 5$ ，分别以  $M1$ 、 $M2$ 、 $M3$  和  $M4$  表示。

**表 2.4-4 行业及生产工艺（ $M$ ）（摘录）**

行业	评估依据	分值
其他	涉及危险物质使用、贮存的项目	5



由上表可知，本项目行业及生产工艺（M）分值为5，以M4表示。

（3）危险物质及工艺系统危险性（P）分级

根据危险物质数量与临界量比值（Q）和行业及生产工艺（M），按照表 2.4-5 确定危险物质及工艺系统危险性等级（P），分别以 P1、P2、P3、P4 表示。

表 2.4-5 危险物质及工艺系统危险性等级判断（P）

危险物质数量与 临界量比值（Q）	行业及生产工艺（M）			
	M1	M2	M3	M4
$Q \geq 100$	P1	P1	P2	P3
$10 \leq Q < 100$	P1	P2	P3	P4
$1 \leq Q < 10$	P2	P3	P4	P4

由上表可知，本项目施工期及运行期危险物质及工艺系统危险性等级为 P4。

（4）E 的分级确定

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 G 确定环境敏感程度 E 的分级。

依据事故情况下危险物质泄漏可能影响生态敏感区的情况，分为三种类型，E1 为环境高度敏感区，E2 为环境中度敏感区，E3 为环境低度敏感区。

表 2.4-6 环境敏感程度分级

敏感性	环境敏感特征
E1	危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第一类区域或重要敏感区
E2	危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第二类区域或重要敏感区
E3	上述地区之外的其他地区

本项目环境敏感特征符合“危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第一类区域或重要敏感区”。确定本项目的环境敏感程度为环境高度敏感区（E1）。

（5）环境风险潜势划分

建设项目环境风险潜势划分为I、II、III、IV/IV+级。

根据建设项目涉及的物质和工艺系统的危险性及其所在地的环境敏感程度，结合事故情形下环境影响途径，对建设项目潜在环境危害程度进行概化分析，按照表 2.4-7 确定环境风险潜势。

根据危险物质数量与临界量比值（Q）和表 2.4-7 中对本项目环境风险潜势的划分可知，本项目施工期环境风险潜势为III，运行期环境风险潜势为III。

表 2.4-7 建设项目环境风险潜势划分

环境敏感程度（E）	危险物质及工艺系统危险性（P）			
	极高危害（P1）	高度危害（P2）	中度危害（P3）	轻度危害（P4）
环境高敏感程度（E1）	IV+	IV	III	III
环境中敏感程度（E2）	IV	III	III	II
环境低敏感程度（E3）	III	III	II	I
注：IV+为极高环境风险				

（6）环境风险评价等级划分

根据上文确定的建设项目环境风险潜势，按照“就高不就低”的原则，确定本项目环境风险评价工作等级为二级，如表 2.4-8 所示。

表 2.4-8 环境风险评价等级

环境风险潜势	IV、IV <sup>+</sup>	III	II	I
评价工作等级	一	二	三	简单分析 <sup>a</sup>
a 是相对于详细评价工作内容而言，在描述危险物质、环境影响途径、环境危害后果、风险防范措施等方面给出定性说明。				

2.5 评价范围

2.5.1 生态环境影响评价范围

2.5.1.1 海洋生态环境影响评价范围

本项目海洋生态环境影响评价等级为 2 级。根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），海洋生态环境影响评价范围应覆盖建设项目整体实施后可能对海洋生态环境造成影响的范围。管缆、航道类项目穿越非生态敏感区时，以线路中心线向两侧和两端外延 1km 为参考评价范围。穿越一般敏感区时，以线路中心线向两侧和两端外延 2km 为参考评价范围；穿越重要敏感区时，以线路中心线向两侧和两端外延 3km 为参考评价范围；实际确定评价范围时，结合生态敏感区主要保护对象的分布、物种生态习性、项目的穿越方式等适当扩展。

本项目根据评价等级、工程特点、生态敏感区分布情况，本项目定向钻穿越澄迈珊瑚礁分布区域，为一般敏感区，因此确定海洋生态环境影响评价范围为海缆中心线向两侧和两端外延约 2km 为评价范围，评价范围面积约 147.5km<sup>2</sup>，评价范围示意图见图 2.5-1，评价范围控制点坐标见表 2.5-1。

表 2.5-1 海洋环境影响评价范围控制点坐标

编号	纬度	经度	编号	纬度	经度
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

图 2.5-1 海洋生态环境影响评价范围示意图

2.5.1.2 海缆登陆段生态环境影响评价范围

海缆登陆段生态环境影响评价范围以电缆沟中心线外延 300m 作为评价范围。

2.5.2 声环境影响评价范围

根据《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）、《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021），电缆线路可不进行声环境影响评价。

2.5.3 电磁环境影响评价范围

本项目电磁环境影响评价等级为二级。根据《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020），本项目电磁环境评价范围为海底电缆两侧边缘各外延 5m（水平距离）。

图 2.5-2 电磁环境影响评价范围

2.5.4 环境风险评价范围

本项目环境风险评价工作等级为二级，主要环境风险为船舶溢油。根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）、《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018），地表水环境风险评价范围参照 HJ 2.3-2018 确定。根据 HJ 2.3-2018，受纳水体为入海河口和近岸海域时，评价范围按照 HJ 1409-2025 执行。综上，环境风险评价范围与海洋环境影响评价范围一致（图 2.5-1）。

2.6 生态环境保护目标

### 2.6.1 海洋生态环境保护目标

根据现场踏勘及调研结果，本项目评价范围内的环境保护目标如表 2.6-1 所示，按自然公园、生态保护红线、特殊生境、海域开发利用活动、三场一通道等进行归类。

- (1) 自然保护区：广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区
- (2) 森林公园：湛江徐闻灯楼角县级森林公园
- (3) 生态保护红线：粤西沿海丘陵台地水土保持生态保护红线、湛江市徐闻县红树林、徐闻珊瑚礁、林诗岛珊瑚礁、玉包重要滩涂及浅海水域；
- (4) 特殊生境：澄迈县珊瑚礁特殊生境、徐闻县红树林特殊生境、国际重要湿地；
- (5) 海域开发利用活动：、现状海水养殖活动、现状养殖围塘；
- (6) 三场一通道：南海北部幼鱼繁育场保护区。

表 2.6-1 项目周边海洋生态环境保护目标现状一览表

序号	分类	名称	与本项目位置关系	保护对象
1	生态保护红线	湛江市徐闻县红树林		红树林生态系统
2		湛江市徐闻县红树林		红树林生态系统
3		湛江徐闻灯楼角地方级湿地自然公园		重要滩涂及浅海水域生态系统
4		徐闻珊瑚礁		珊瑚礁生态系统
5		海南省（本岛）海洋生态保护红线-林诗岛珊瑚礁		珊瑚礁生态系统
6		海南省（本岛）海洋生态保护红线-林诗岛珊瑚礁		珊瑚礁生态系统
7		海南省（本岛）海洋生态保护红线-玉包重要滩涂及浅海水域		重要滩涂及浅海水域生态系统
8	自然保护区	广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区		珊瑚礁生态系统
9		湛江徐闻灯楼角县级森林公园		森林资源及野生动植物资源
11	特殊生境	现状红树林（广东登陆段周边）		红树林生态系统
12		现状珊瑚礁（海南登陆段周边）		珊瑚礁生态系统
13		国际重要湿地		湿地生态系统
14	养殖活动	海域范围内现状围塘		海水水质、沉积物、海洋生态
15		现状海水养殖捕捞		海水水质、沉积物、海洋生态
16				海水水质、沉积物、海洋生态
17	三场一通道	南海北部幼鱼繁育场保护区		海水水质、沉积物、海洋生态

## 2.6.2 海缆登陆段环境保护目标

海缆登陆段评价范围内不存在生态环境保护目标、电磁环境保护目标、环境风险保护目标。

图 2.6-1a 海洋环境保护目标示意图

图 2.6-1b 海洋环境保护目标示意图

## 2.7 评价内容及重点

### 2.7.1 评价内容

根据相关技术导则、本工程特性、工程所在区域的环境特征以及项目施工期和运行期的环境影响因素特点，本次环评的主要工作内容为：工程分析、环境质量现状调查与评价、环境影响预测与评价、环境风险分析与评价、环境保护对策措施、环境影响经济损益分析、工程的环境可行性以及环境管理与监测计划等。

### 2.7.2 评价重点

根据本项目所在海域海洋功能特点及海洋环境影响特征，本项目的海洋环境影响评价重点为：

- （1）工程建设对附近海域水动力环境及冲淤环境的影响；
- （2）施工悬浮泥沙对所在海域的海水水质、海洋生态及渔业资源的影响；
- （3）工程建设对周边环境敏感点的影响；
- （4）海洋环境风险影响；
- （5）项目环境保护措施和选线环境合理性分析。

## 3 建设项目工程分析

### 3.1 工程概况

#### 3.1.1 项目组成

(1) 工程名称：海南-广东电力灵活互济工程

(2) 工程性质：新建

(3) 建设单位：中国南方电网有限责任公司高压输电公司

(4) 建设地点：项目地理位置如图 3.1-1 所示，项目位于琼州海峡西侧海域。北侧登陆点在广东省湛江市徐闻县迈陈镇，南侧登陆点在海南省海口市澄迈县林诗岛附近的玉包角。

(5) 建设内容：项目为新建海南福山-广东徐闻 1 回 500 千伏交流输变电工程，输送容量按 600MW，包括七个子项目工程：500kV 徐闻开关站扩建工程、500kV 东莞村终端站～徐闻开关站架空线路新建工程、500kV 东莞村终端站新建工程、500kV 海缆线路新建工程、500kV 林诗岛终端站扩建工程、500kV 福山变电站～林诗岛终端站架空线路新建工程、500kV 福山变电站扩建工程、500kV 配套架空线路改造工程。

本专题评价内容为 500kV 海缆线路新建工程，即为 500kV 林诗岛终端站至 500kV 东莞村终端站之间的海缆工程，建设内容为 2 回海缆线路，海缆采用 500kV 交流海缆（1 用 1 备），单回电缆长度为 38.1km，其中两端登陆点间路由平面长度约 35.55km（海上部分 35.32km，陆域部分 0.23km），考虑海中地形起伏、登陆段爬坡及盘缆井海缆所增加的长度，共计约 38.1km。

(6) 项目投资：海缆线路工程

(7) 用海规模：项目海缆线路申请用海总面积为 261.8061 公顷。

(8) 用地规模：海缆登陆段电缆沟及盘缆井用地面积 1400m<sup>2</sup>。

(9) 项目工期：本项目海缆工程施工总工期约为 9 个月。

项目具体分布情况如下图所示。

图 3.1-1 海缆工程地理位置示意图

### 3.1.2 工程建设内容

#### 3.1.2.1 电缆平面走向

本项目建设内容主要为穿越琼州海峡的 1 回 500kV 交流三芯海缆（简称“主缆”）以及 1 回 500kV 交流三芯备缆（简称“备缆”）。主缆、备缆呈南北向并排走线，自广东侧东莞村海缆终端站 GIS 终端起，至海南侧林诗岛海缆终端站 GIS 终端止。位于两侧登陆点之间的单回电缆最长约 38.1km。

图 3.1-2 海底电缆平面布置

#### 3.1.2.2 路由推荐方案

本项目工程采用方案一进行海缆铺设，推荐海缆路由自湛江市徐闻县迈陈镇南部新建东莞海缆终端站起，在徐闻县角尾湾东北角出线，至广东海域后在现状徐闻养殖用海地块附近向西南走线，然后平行于现状海南联网一回二回海缆线路东侧敷设，穿越琼州海峡中央深槽与海南省澄迈县桥头镇附近海域，在联网工程二回东侧登陆，至海南省澄迈县桥头镇北部林诗岛终端站止。

项目路由经海底勘察测量确认后，为了尽可能保障电缆之间的安全距离，减少拐点以缩短路由长度，对路由进行了相应的优化调整。本项目与海南联网二回工程海缆未存在交越，本期主缆、备缆间距整体以不宜小于海缆所在最大水深的 1.2 倍为原则；主缆与已建海缆联网二回工程最东侧 R7 海缆的实际敷设位置整体以不宜小于海缆所在最大水深的 1.2 倍为原则。同时，根据收集资料，在湛江市徐闻县海域拟建设的将规划建设一条 10kV 海缆线路，该海缆将与本项目交越。

综合以上得出推荐设计路由，路由选址依据材料推荐路由拐点坐标见表 3.1-1，调整后路由平面布置图见 3.1-3。

本项目海底电缆路由所在海域水深

图 3.1-3 本项目路由调整情况



表 3.1-1 调整后海缆间距及水深情况一览表（二回 R7 海缆为 23 年 2023 年海缆体检复测数据）

路由	拐点	东经	北纬	水深 (m)	距离二回R7 海缆最近距 离 (m)	距离本回R2 海缆最新距离 (m)	备注
主 缆 R1	广东侧登陆点						
	TPL1						
	TPL2						
	TPL3						
	TPL4						
	TPL5						
	TPL6						
	TPL7						
	TPL8						
	TPL9						
	TPL10						
	TPL11						
	TPL12						
	TPL13						

	TPL14						
	TPL15						
	TPL16						
	TPL17						
	TPL18						
	TPL19						
	TPL20						
	TPL21						
	TPL22						
	TPL23						
	TPL24						
	TPL25						
	TPL26						
	TPL27						
	TPL28						

	海南侧登陆点						
备 缆 R2	广东侧登陆点						
	TPR1						
	TPR2						
	TPR3						
	TPR4						
	TPR5						
	TPR6						
	TPR7						
	TPR8						
	TPR9						
	TPR10						
	TPR11						
	TPR12						
	TPR13						
	TPR14						
	TPR15						

	TPR16						
	TPR17						
	TPR18						
	TPR19						
	TPR20						
	TPR21						
	TPR22						
	TPR23						
	TPR24						
	TPR25						
	TPR26						
	TPR27						
	TPR28						
	海南侧登陆点						

图 3.1-4 海底电缆平面布置图总图

3.1.2.3 登陆点及周边环境现状

（一）广东侧登陆点

广东侧登陆点位于广东省湛江市徐闻县迈陈镇，北海围西南侧，登陆点北侧、东侧有养殖区、人工形成的水塘，南侧 500m 有红树林，向海侧开阔无可见开发活动，向陆侧为滩涂，登陆位置为人工修筑水泥堤坝，见图 3.1-5 和图 3.1-6。

图 3.1-5 广东侧登陆点位置示意图

图 3.1-6 徐闻登陆点周边环境图

广东侧拟建海缆终端站位于湛江市迈陈镇东莞村西南方向约 800m，依据广东省自然资源厅意见，海缆登陆方式拟采用定向钻方式登陆。

基于定向钻路径垂直岸线与施工过程不占据终端站内构筑物空间原则，选定定向钻路径如下图 3.1-7 所示。该登陆方案自岸上定向钻入土点起，向西南行进 200m 至海上定向钻登陆出土点。在尽量缩减电缆线路路径长度的基本原则下，广东侧陆上段电缆线路推荐路径自广东侧定向钻登陆后，就近建设锚固井，线路路径过锚固井后向西北方向构筑电缆沟方式行进，主缆与备缆分别敷设于各自一个单回电缆沟内，过终端站边坡后接入电缆盘井，过电缆盘井后接入拟建海缆终端站站内电缆沟，后随站内电缆沟敷设至海缆终端。

图 3.1-7 广东侧海缆登陆方案示意图

广东侧定向钻从底土穿越海岸线，定向钻钢管套直径为 630mm，定向钻总长约 200m，其中陆域段长度约 100m，海中段长度约 100m。定向钻岸上入土点：入土角 5°、标高为 -2m，定向钻海上出土点：出钻角 3°、标高约 -2m。最大埋深约对应标高约 -5.7m。海缆登陆定向钻考虑从该区域底层进行穿越。

表 3.1-2 广东侧定向钻整体参数表

定向钻参数	定向钻长度	入土标高及角度	出土标高及角度	定向钻最大深度标高	穿越地质信息	保护管
广东侧定向钻						

图 3.1-8 广东侧登陆段定向钻方案纵向示意图

（二）海南侧登陆点

海南登陆点位于海南省澄迈县桥头镇林诗村东侧，见图 3.1-9，登陆点距离林诗岛约 1000m。登陆点后方（向陆侧）即为中国南方电网超高压输电公司 500 千伏林诗岛海缆终端站（以下简称“林诗岛终端站”）。

图 3.1-9 海南侧登陆点位置示意图

图 3.1-10 海南侧登陆点周边环境图

海南侧登陆点处为拟扩建现状林诗岛海缆终端站，由于岸线性质为自然岸线，因此新建海缆线路拟采用定向钻方式登陆。

海缆利用定向钻的方式从底土穿越海南侧登陆段周边礁石区，出钻点距离周边礁石区约 0.2km。海缆登陆后，陆域侧就近建设锚固井，线路路径过锚固井后以构筑电缆沟方式接入电缆盘井，过电缆盘井后接入拟建海缆终端站站内电缆沟，后随站内电缆沟敷设至扩建林诗岛海缆终端场内。

图 3.1-11 海南侧海缆登陆方案示意图

海南侧定向钻从底土穿越海岸线和周边礁石区，海南侧定向钻钢管直径为 630mm，定向钻总长约 600m，其中陆域段长度约 140m，海中段长度约 460m。定向钻岸上入土点：入土角 15°、标高为+25m，定向钻海上出土点：出钻角 5°、标高约-9.21m。最大埋深约对应标高约-19m。

表 3.1-3 海南侧定向钻整体参数表

定向钻参数	定向钻长度	入土标高及角度	出土标高及角度	定向钻最大深度标高	穿越地质信息	保护管
海南侧定向钻						

图 3.1-12 海南侧登陆段定向钻方案纵向示意图



3.1.2.4 海底电缆纵向布置

根据本项目海域水深地形资料、工程物探、登陆段调查、地质勘察资料，本项目海底电缆路由区北岸浅缓、南岸复杂，中央深槽快速变深，整体呈“U”型，最大水深约 110m，主要发育有北堆积区、北侵蚀-堆积区、中央深槽区、南隆起带和南近岸侵蚀-堆积区等地貌单元。本项目施工方案根据海缆路由勘察结果进行布设，在淤泥、松散-中密的粉细砂、细砂、中砂等可冲埋地段采用冲埋的施工方案；在底质强度较大的硬塑土、密实粉砂或砾砂等分布段因无法冲埋，故采用机械切割开槽的施工方案；在岩石段，将海缆套上铸铁保护套管后直接铺设于海床，并采用混凝土联锁块覆盖保护；两侧登陆段采用非开挖定向钻施工，以较大深度下穿岸线，不破坏岸线。部分冲刷严重区域和冲埋深度不足区段，覆盖混凝土联锁块覆盖加强保护。

海峡区长期受海流强大冲刷和挟沙能力影响，松散沉积物被侵蚀，造成了超过 70m 的地层缺失，使上下地层结构与物质组成呈现明显区别；同时海流冲刷也塑造了现今深切复杂、沙波与洼槽广布的海底地形地貌。未来气候继续变暖、海平面持续上升，可能进一步加强底流侵蚀作用，更粗颗粒的物质被输运出海峡，海峡内部继续下切，海底沉积物活动性加强，会造成海峡海底地形的改变，对海底电缆安全运行产生不良影响。因此，为确保本项目海缆安全稳定运行，需针对不同的底质条件开展不同的埋设深度设计。

同时根据收集资料，  
  
。综上，根据不同区域的地质情况、与周边项目交越情况设置了不同的埋设深度。

表 3.1-4 各区段海缆设计敷设深度

分区	航道区			非航道区			交越段
地质分区							
防锚害深度							
设计埋设H							
施工措施							

表 3.1-5 各区段海缆埋设设计高程

分段	里程	水深（m）	海缆设计埋深	海底面最高标高	海底面最低标高	海缆敷设最高标高	海缆敷设最低标高

图 3.1-13 海缆敷设深度示意图

图 3.1-14 海缆线路纵向示意图

### 3.1.3 主要工程材料

本项目海中段 500kV 海底电缆推荐采用型号为

典型结构如图 3.1-15 所示。

**表 3.1-6 推荐海缆结构、电气参数表**

[illegible]

图 3.1-15 交流海底电缆结构示意图

### 3.1.4 项目工程占地、主要施工工艺和方法

#### 3.1.4.1 工程占地

本项目海缆登陆段建设区共占地 0.31hm<sup>2</sup>，主要为电缆沟及定向钻工程用地，包括：

(1) 广东侧

广东侧海缆登陆段用地面积为 0.05 hm<sup>2</sup>，其中包括电缆沟永久用地 0.01hm<sup>2</sup>，施工临时用地 0.04hm<sup>2</sup>；

(2) 海南侧

海南侧海缆登陆段用地面积为 0.26 hm<sup>2</sup>，其中包括电缆沟永久用地 0.13hm<sup>2</sup>，施工临时用地 0.13hm<sup>2</sup>；。

具体占地类型如下：

表 3.1-7 本工程占地情况一览表

项目分区		占地类型		占地性质		合计
		园地	水域及水利设施用地	永久	临时	
广东侧	海缆登陆段	/	0.05	0.01	0.04	0.05
海南侧	电缆沟及盘缆井	0.26	/	0.13	0.13	0.26
合计		0.26	0.05	0.14	0.17	0.31

3.1.4.2 海缆登陆段电缆沟施工方案

海缆陆地出钻后由电缆沟、盘缆井接入终端站内，盘缆井首先进行的是基坑支护和土方开挖，待基坑开挖并验槽完毕后，浇筑混凝土垫层，作为基础底板的基础，之后是底板、竖向外墙和顶板的钢筋绑扎与混凝土浇筑，最后在主体结构完成后，及时进行回填。

电缆沟总宽 2m，高 1.8m，广东侧盘缆井面积约 247m<sup>2</sup>，海南侧盘缆井面积约 330m<sup>2</sup>。电缆沟布置图如下所示。

图 3.1-16 广东侧入钻点电缆沟布置图

图 3.1-17 海南侧入钻点电缆沟布置图

3.1.4.3 海缆敷设主要施工方案

琼州海峡为典型的峡谷地形，起伏变化剧烈。同时海床受强烈的潮流冲刷作用影响，陡坡和槽底的地形起伏多变，有二级冲刷沟槽和丘状突起分布，并存在大面积的鱼鳞状冲刷坑和沙波地形，地形横截剖面呈锯齿状，局部最大坡度可达到 40 度，另外深槽以南的沙波和丘状突起对海底敷设设备的性能及敷设效果提出了非常高的挑战。

针对不同的底质条件，结合国内现有敷设工艺及设备，设计对本项目提出了如下施工设想（海缆保护方式详见图 3.1-34）：

本项目海缆敷设整体的施工流程为：施工准备—定向钻及预挖沟施工—清障扫海—海缆敷设（始端登陆施工—海中电缆边敷边埋—终端登陆施工）—海缆后保护施工（机械切割后埋设、混凝土联锁块施工）—施工后调查。

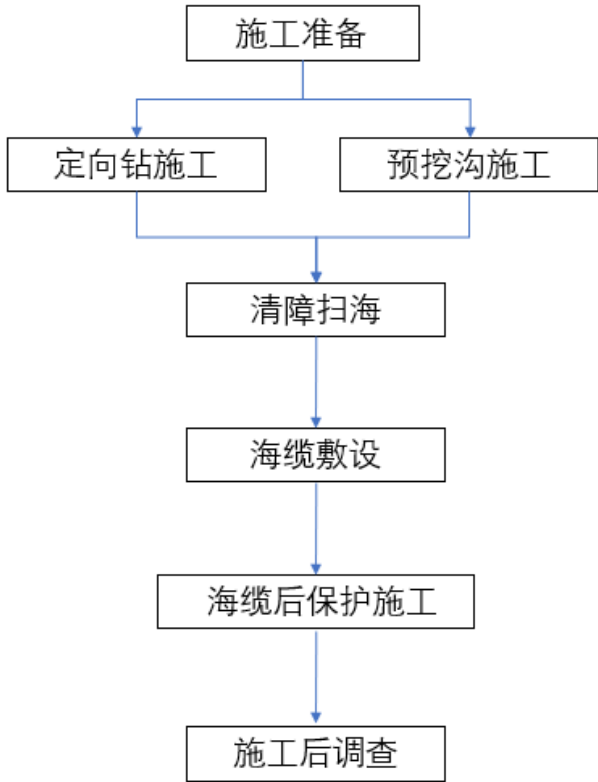


图 3.1-18 海缆敷设施工总体工序

3.1.4.3.1 施工准备

- ①工程前期，施工单位将办理中标范围内相关施工手续，确保海缆工程合法、有效；还需要得到施工区域港务、航道、渔政等相关部门的配合。
- ②海缆敷设施工前，登陆点土建电缆沟需提前完成并清理，保持通道清洁畅通，各施工机械设备设置妥当，牵引绳索及充气内胎布置完毕，满足海缆敷设的条件。
- ③登陆岸边电缆警示标识的制造与安装提前完成，安装工艺应满足相关设计安装技术要求，标识牌方向切实满足现场警戒作用，确保 500kV 海缆登陆完成即处于保护状态。

3.1.4.3.2 定向钻施工

在海南登陆段与广东登陆段，均采用定向钻登陆方案进行电缆铺设施工。非开挖定向钻穿越近岸登陆施工主要流程如图 3.1-19 所示。

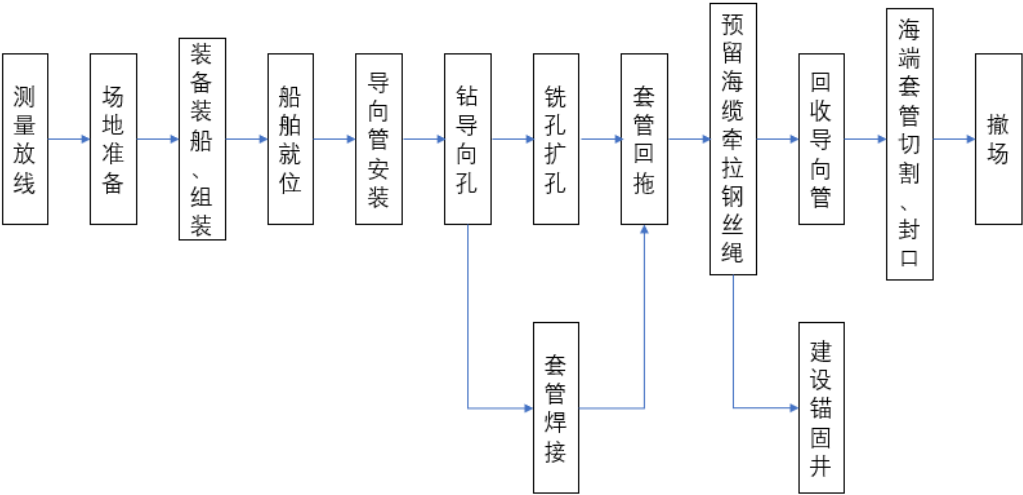


图 3.1-19 定向钻施工工序

（1）首先开展导向孔成孔工作，成孔机械自岸端向海上用细钻杆顶进，形成全线贯通的导向孔。海中导向孔出口位置提前设置支撑架支撑牢固的隔离套管，用于接引贯通后的泥浆，泥浆抽吸入海上驳船上的泥浆收集罐中。

图 3.1-20 定向钻施工示意图（a.导向孔成孔）

（2）导向孔顶进到位后进行路径复测，当导向孔路径走向、埋设深度、曲率等指标经复核满足海缆敷设要求后，方可开展扩孔工作。

（3）扩孔工作需在海上增设驳船，通过钻机自海上平台向陆地上回拖，扩孔时通过原导向孔将扩孔产生的泥浆向大陆侧抽吸，扩孔直径约 0.9m。

图 3.1-21 定向钻施工示意图（b.扩孔）

（4）扩孔完成后开展拖管工作，自海上平台向陆地上回拖，管道回拖到位后非开挖定向钻施工工作完成，可由海上向陆地拖放海缆登陆。

图 3.1-22 定向钻施工示意图（c.管道回拖）

### 3.1.4.3.3 预挖沟施工

在海缆敷设前，提前在广东侧的浅滩段调遣两栖浅滩挖沟机对进行海缆预挖沟，其可在 4m 以下水深施工。开挖土方由两栖挖沟机统一堆放至东莞村终端站站址固定位置遮盖防风防雨保存。在海缆始端登陆完毕后，将海缆沉入沟内，再进行原土回填。

图 3.1-23 两栖浅滩挖沟机工作示意图

图 3.1-24 海南联网二回长浅滩段施工现场

### 3.1.4.3.4 清障扫海

#### (1) 施工船试航

施工船舶到达施工现场之前，将安排相应吃水船舶在设计施工路由区域内进行试航，以更加熟悉施工区域内设计路由的各个关键点及潮水情况。对关键点在路由图上加以标识，提前做好应对措施。施工前对船上的所有埋设设备及后台监测设备进行模拟操作演练，确保所有施工设备及监测装置的正常，保证施工顺利进行及工程质量。

图 3.1-25 施工船试航示意图

#### (2) 扫海

扫海工作主要解决施工路由轴线上影响施工顺利进行的旧有废弃缆线、插网、渔网等小型障碍物。利用水下 ROV 在设计路由区探查，如发现障碍物则由潜水员水下清理；若遇到不能及时清理的大型障碍物，由潜水员水下探明情况，按现场探明的实际情况拟订解决方案。

### 3.1.4.3.5 海缆敷设

#### (1) 始端海缆牵拉

本项目海缆始端登陆选择在广东侧，施工船选择在大潮汛期间尽量靠近岸边就位，以减少登陆距离，确保电缆登陆的质量和安全性。始端登陆前非开挖定向钻和预挖电缆沟主体工程应完成，警示标识已完成调试。

启动主施工船布缆机将海缆通过入水槽送入水中，在海缆入水段每隔 2 米垫以充气内胎助浮；启动岸上绞磨机，使之与主施工船布缆机同步。待海缆头牵引出施工船后，

在海缆头上设置活络转头，并与设置在登陆点处绞磨机牵引钢丝连结，启动绞磨机沿设计的登陆路由牵引海缆，并与船上布缆机同步，小船配合登陆。待海缆牵引施工完成后，电缆沟内海缆采用夹具固定，登陆点处采用锚固装置固定。海上登陆海缆人工解除浮漂，沿设计路由将海缆放入已预挖的电缆沟中，再进行原土回填。

**图 3.1-26 始端登陆-广东侧海缆牵拉示意图**

### **(2) 海中段敷设（边敷边埋）**

本项目在敷缆船可达的淤泥及沙质区段采用水力冲埋方式施工，施工船只航行到设计路由范围后，通过 DP 调整施工船只姿态，待船只稳定后，船头海缆装入水力喷射式埋设犁腹部，采用吊机将埋设犁缓缓吊入水中，搁置在海床面上。经过一系列水上、水下校验工作后，施工船起动，开始牵引埋设作业。铺缆船依靠 DP 动力定位系统，沿预试路由前进。铺缆船同时牵引水下埋设机进行铺设电缆，电缆由导缆笼进入埋设机后，被埋深于海床中。

埋设犁的埋设速度根据地质情况，由连接于卷扬机的变频器来控制与调节；埋设速度一般控制在 3~10m/min。埋设时施工船易偏离路由轴线，需要随时进行观测及校验。

**图 3.1-27 埋设犁施工示意图**

**图 3.1-28 海缆敷设观测**

另，本项目有约 3km 长礁石区。礁石区无法使用埋设犁等设备进行挖沟，该区段对海缆最有效的保护方式是安装球墨铸铁保护管。依据设计文件，本项目在这些特殊地点敷设的时候需在海缆外安装铸铁保护管。

**图 3.1-29 铸铁套管安装及敷设**

### **(3) 终端海缆牵拉**

电缆在终端登陆前，在船上测出需要的长度，确定切断点，由电缆接头工人将备用电缆和余缆切断，并密封电缆端头。电缆将从敷设船送出，将电缆头放到浮阀上，浮阀



通过一根固定的绳索与陆地相连。电缆端头通过放线轮后，工作艇开始将电缆牵向陆地，电缆拖拽时形成“Ω”弯。通过牵引线将电缆头与陆地上的绞盘相连，由绞盘牵引进入电缆沟。

电缆终端登陆完成后，还有电缆沟回填、余缆储存等工作。工程余缆仓库布置在海南林诗岛海缆终端站内，电缆在海南侧登陆后备用电缆和余缆可直接送入余缆仓库中存储。

**图 3.1-30 终端登陆施工意图**

### **3.1.4.3.6 海缆后保护施工**

针对硬塑、坚硬粘性土底质及海床冲刷严重地段，本项目采用了机械链锯切割开槽后埋设及加盖连锁块的工艺。

#### **(1) 机械链锯切割开槽后埋设**

针对硬塑-坚硬粘土区域无法采用水力冲埋方式进行开槽的情况，本项目设计在该区段采用链锯式挖沟机进行开槽后将已放置在海床上的海缆敷设于沟内，同时用设备所带的刮泥版及回填装置将所挖出的原土回填至沟内，防止电缆悬空。机械切割后渣土用于槽内回填，部分损失量利用沟槽内抛石回填到沟槽顶部，进而保证海缆埋深，因此沟槽内抛石方量： $0\sim 1.2\text{m}^3/\text{m}$ ，达到动态平衡状态。

**图 3.1-31 机械链锯切割机施工**

同时，对链锯式挖沟机切割的所挖沟槽无法达到设计埋深的区域，增加抛石保护，抛石石块根据开山石破碎筛选而成，石料密度不小于  $2.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，堆积后的孔隙率考虑为 30% 左右。浅水区可直接导管抛石，深水区采用分节导管+抛石 ROV 精准定位抛石。

**图 3.1-32 抛石施工示意图**

#### **(2) 混凝土连锁块覆盖保护**

混凝土连锁块安装时，施工作业船在水泥压块位置，通过 GPS 定位后，潜水员下水进行水泥压块的探摸，浮吊船起吊单块吊架，通过事先潜水员水下系好的引绳滑放入水中，吊具到达离海床上压块位置高度约有 2m 的位置后，浮吊钩头停止松放，潜水员通

过水探摸，通过潜水电讲机联系工程船上指挥人员释放定位。

**图 3.1-33 混凝土连锁块安装示意图**




图 3.1-34 本项目海缆敷设保护方案示意图（总图 1）

图 3.1-35 本项目海缆敷设保护方案示意图（总图 2）

**图 3.1-36 海缆敷设保护方式 1，岩石区域：哈夫型铸铁套管+混凝土联锁块**

**图 3.1-37 海缆敷设保护方式 2，硬塑、坚硬粘性土区域：机械链锯切割开槽 2m+槽内回填抛石**

**图 3.1-38 海缆敷设保护方式 3，1m~2m 的软土、下硬土区域：冲埋 1m-2m+混凝土联锁块，宽约 7.65 米**

**图 3.1-39 海缆敷设保护方式 4-1，广东侧 滩涂外侧：冲埋 3m**

**图 3.1-40 海缆敷设保护方式 4-2，3m 以上软土区域：冲埋 4m**

**图 3.1-41 海缆敷设保护方式 5，3m 以上软土+冲刷严重区域：冲埋 4m+防冲刷措施（混凝土联锁块+阻流板）**

**图 3.1-42 海缆敷设保护方式 6，登陆段：海缆非开挖定向钻**

**图 3.1-43 海缆敷设保护方式 7，广东浅滩区：岩石区域、哈夫型铸铁套管+混凝土联锁块**

### **3.1.4.3.7 防污帘施工工艺**

针对海南侧定向钻出土点离现状珊瑚较近的情况，在靠近珊瑚礁段施工前，提前布设防污帘作为加强措施，尽量隔离海缆施工期所产生的悬浮泥沙，进一步确保海缆施工过程中产生的悬浮泥沙不会扩散至周边现状珊瑚礁区域，从而避免对周边敏感生态带来不利影响。

防污帘是防止工程中海水泥沙在大面积置换过程中海底泥沙泛起而造成污染的装置。防污帘可将局部施工水域与非作业水域进行围隔，不至污染扩散，能有效保护生态环境。根据本项目情况，增设落底式深水防污帘，该防污帘由浮体、栏体（包括防污帷幕或浮室、裙体）、链条、连接头、配重坠等组成。

**图 3.1-44 防污帘结构示意图**

根据现场珊瑚情况及悬浮泥沙预测情况，本项目在海南侧向海侧出钻口处设置两段防污帘。防污帘设置水深为 7m~8m，离岸距离为 270m~840m，距离造礁石珊瑚平面距离约 30-45m。防污帘布设位置如图 3.1-48 所示。

- 1) 西侧段防污帘长 423m，其与路由交点距定向钻出土点距离约为 50m。
- 2) 东侧段防污帘长 267m，其与海缆路由平行，位于海缆路由东侧 215m 处。

施工前，准备好所需的施工人员、船舶及所需的材料等，测量人员在两端放出控制点，施工人员根据放出的控制点用线绳拉出直线，在岸上将防污帘连接好，然后沿该直线进行防污帘的安装。

在预定固定桩位地点打好防污帘固定锚，每 40m 一对铁锚，1500 公斤/个，锚布在防污帘两侧，每 10 米下方设 1 吨重的沉块，两端及 T 字连接处设定位浮桶。利用拖船顺水将防污帘布放于水中；按防污帘固锚座逐段将防污帘固定在位上并逐位将配重固定沉底。

图 3.1-45 防污帘布设平面示意图

3.1.4.3.8 海缆到期后拆除处置方案

本项目将于海域使用期满前对海底电缆进行拆除，海底电缆采用专用打捞船舶，打捞至海缆回收船上，后拖回交由有资质的单位回收。

3.1.4.4 施工机械设备

根据目前海缆制造能力及主要船机参数限制，本项目拟建两回海缆考虑按照全段单根整体制造、供货及敷设施工，单根海缆供货重量约 5900 吨，因此需要有对应载缆能力及施工敷设能力的船机设备。

参考过往海缆工程的施工及国内现有船机资源情况，本项目施工船组计划拟由主施工船 1 艘、拖轮 1 艘、锚艇 4 艘组成；拟投入施工机械设备参数和性能如下表所示：

表 3.1-9 联网工程主要所需船机设备一览表


[illegible]

3.1.4.5 施工进度计划及人员配置情况

本项目整体工程计划为 12 个月。其中海缆工程施工整体工期预计约 9 个月，海上施工时间为 6 个月，需要施工人员约 150 人。

表 3.1-10 工程施工总进度表

3.1.4.6 土石方平衡

3.1.4.6.1 海上部分

本项目海缆的海底敷设作业根据不同区段底质情况采用了不同的敷设方式。其中埋设犁冲埋敷设后自动回淤，没有多余土石方产生；机械链锯切割后渣土用于槽内回填；广东侧登陆段采用两栖挖沟机开挖后原状土回填，没有多余土石方产生；广东侧和海南侧登陆段采用定向钻施工方式，产生余土方量分别为 254.34m³ 和 763.02m³，定向钻施工井位于陆上终端站旁，两端定向钻所产生的污泥经过泥水分离后与终端站多余土方一并委托有处理能力的单位接收处置。

表 3.1-11 工程土石方量汇总表

序号	区段	施工方式	余土方量(m³)
1	北登陆段	定向钻	254.34
2	浅滩段	两栖挖沟机开挖	0
3	北堆积段 1	冲埋	0
4	北堆积段 2	冲埋	0
5	交越段（海洋牧场海底电缆）	冲埋	0
6	北堆积段 3	冲埋	0
7	北堆积段 4	冲埋	0
8	北侵蚀段	冲埋	0
9	中央深槽段	机械链锯切割开槽	0
10	南部隆起段	放置于海床面	0
11	南侵蚀段	机械链锯切割开槽	0
12	南登陆段	定向钻	763.02
总余土方量：1017.36m³			



### 3.1.4.6.2 海缆登陆段

广东侧登陆段及海南侧登陆段电缆沟、盘缆井施工产生的用土、弃土等土石方用量合计入陆上部分报告中，本专题不另外进行评价。

### 3.1.4.7 施工期海缆登陆段临时用地

本工程陆域临时用地主要为登陆点定向钻施工临时用地及盘缆井施工临时用地，盘缆井临时施工用地依托陆上工程终端站临时施工用地。定向钻施工临时用地位于定向钻出口处，如图所示，临时用地内设置有发电机、钻杆、钻机、泥浆罐、泥浆泵、工作房、泥浆回收装置、泥浆收集池、泥浆材料仓等，广东侧临时用地面积约 1701m<sup>2</sup>，其中位于终端站内约 1301m<sup>2</sup>，海南侧用地面积为 1701m<sup>2</sup>，其中约 401m<sup>2</sup> 位于永久占地范围内。

登陆点不设施工人员生活营地，施工人员产生的生活污水、生活垃圾等依托陆上工程的施工人员管理相关内容。

图 3.1-46 海南侧定向钻施工临时用地

图 3.1-47 广东侧定向钻施工临时用地

### 3.1.4.8 占用（利用）海域情况

根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234号），本项目海域使用类型为工矿通信用海（一级类）中的海底电缆管道用海（二级类）。根据《海域使用分类》（HY/T 123 2009），本项目海域使用类型为海底工程用海（一级类）中的海底电缆管道（二级类），用海方式为其他方式（一级方式）中的海底电缆管道（二级方式）。项目拟申请总用海面积 261.8061 公顷，均为海底电缆管道用海。宗海图如图 3.1-48 所示。

图 3.1-48 宗海平面布置图

## 3.2 工程分析

### 3.2.1 海上工程

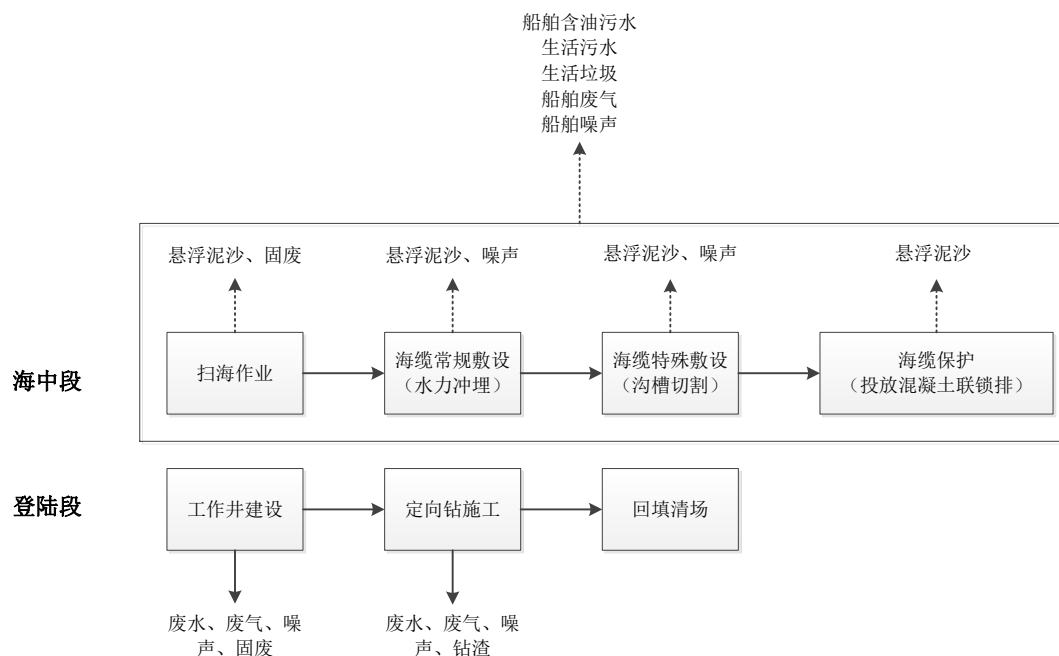


图 3.2-1 海底电缆敷设施工产污环节

本工程施工期产污环节如上所示，其中登陆段施工期在海缆登陆段工程进行分析评价。

#### 3.2.1.1 环境影响因素分析

#### 3.2.1.2 施工期环境影响因素分析

本项目 500kV 海底电缆施工期主要环境影响因素为海缆敷设施工所引起的悬浮泥沙扩散，施工时采用船舶施工将产生噪声和废气等影响。工程施工过程中产污环节分析如下：

根据施工工艺，海缆敷设施工前需进行扫海作业，期间将产生一定量的海洋废弃物，如废弃缆线、插网、渔网等。扫海结束后海底电缆敷设施工根据施工位置不同可大体分为海中段和登陆段施工，海中段敷设采用敷埋同步方式，埋设犁在高压水流开沟的同时将电缆埋设在沟槽中，利用海流自然回淤完成海缆敷设；针对硬塑-坚硬粘土区域无法采用水力冲埋方式进行开槽的情况，采用链锯式挖沟机进行开槽，同时设备自带刮泥板及回填装置将开挖原土回填沟中，对切割沟槽无法达到设计埋深的区域，采用抛石保护；

此外，针对特殊底质条件，增加混凝土连锁排保护。上述过程中不可避免搅动底土，从而引起悬浮泥沙扩散，该环节需采用船舶施工，将产生生活污水、施工废水、噪声和废气等影响。登陆段海缆采用定向钻方式施工，定向钻施工过程将产生废水、废气、噪声、钻渣等。

海缆工程敷设施工产污环节见图 3.2-1。

### 3.2.1.3 运行期环境影响因素分析

海缆运行期间主要的环境影响为电磁环境影响，此外，海底电缆运维期间采用船舶进行作业，运维船舶会产生一定的生活污水、含油污水、燃油废气、噪声、固体废物。

### 3.2.1.4 工程各阶段污染源强分析

#### 3.2.1.4.1 施工期主要污染源和影响源分析

##### （一）废水

##### （1）悬浮物

本工程施工期间悬浮泥沙主要来源为定向钻施工、预挖沟施工、清障扫海、海缆敷设等工序引起的泥沙悬浮和沉降。源强计算综合考虑海床表层 5m 以内土层粒径分类情况，根据路径海床的表层土体属性可分为淤泥质粉质粘土（预挖沟近岸段）、淤泥质粉质粘土-细粉砂段（水力冲埋段）、硬塑粘土及砂砾质黏土段（机械切割），下面分别介绍以上三类源强的计算过程和结果。南部隆起段无法开挖，采用套管和混凝土连锁块进行保护，施工源强设置为 0。

##### ① 预挖沟段源强计算

预挖沟段主要采用挖机进行作业，对应路由 KP0.1-KP3.25，总计 3.15km，根据三回路地质表浅层静力触探结果，该段主要为淤泥质黏土，参考《港口建设项目环境影响评价规范》（JTS 105-1—2011）和《水下开挖施工产生的悬浮泥沙扩散数值分析》实测及经验取值成果，预挖沟挖槽施工产生的悬浮泥沙强度可按下式计算：

$$S = \frac{R}{R_0} E W_0$$

式中： $W_0$  为悬浮物发生系数（ $t/m^3$ ），宜采用现场实测法确定，在缺少现场资料的情况下，可取  $0.038t/m^3$ ； $R$  为发生系数  $W_0$  时的悬浮物粒径累计百分比（%），宜采用现场实测法确定，在缺少现场资料的情况下，可取 89.2%； $R_0$  为现场流速悬浮物临界粒径

累计百分比（%），宜采用现场实测法确定，在缺少现场资料的情况下，可取 80.2%；E 为预挖沟机械工作效率（m<sup>3</sup>/h）。

本项目拟用 8m<sup>3</sup> 两栖挖沟机开挖一个顶宽 16.5m、平均深度 2.5m、边坡坡 1：3 的沟槽，通过向潜在施工单位调研，目前拟采用的挖沟机工作效率为 240m<sup>3</sup>/h，本次计算 W<sub>0</sub> 采取经验值 0.038t/m<sup>3</sup>，R 采取 89.2%，R<sub>0</sub> 采取 80.2%。

经过核算得，挖槽施工产生的悬浮泥沙强度为 2.82kg/s。

$$S = \frac{89.2\%}{80.2\%} \times 240 \times 0.038 \times \frac{1000}{3600} = 2.82 \text{ kg/s}$$

## ② 路由区清障扫海

路由区清障扫海工作主要解决施工路由轴线上影响施工顺利进行的旧有废弃缆线、插网、渔网等小型障碍物。本项目利用水下 ROV 开展清障扫海作业，对目标水域进行全范围扫描，精准定位旧有废弃缆线、插网、渔网等障碍物的位置、形态及周边底质情况，随后根据障碍物类型适配工具，确保作业精度。

与传统锚式清障相比，ROV 作业全程几乎无悬沙产生，ROV 通过“精准定位—靶向处置—密闭回收”的作业逻辑，工具作用力仅集中于障碍物本身，不触碰或极少扰动周边未受污染的底质，避免泥沙扩散至水体，对周围海域环境影响较小。

## ③ 水力冲埋段源强计算

根据设计方案，水力冲埋段主要位于琼州海峡北部近岸 25m 水深以内浅段区间，该段对应路经范围为 PK3-KP18 约 15km 的长度，占总路径长度将近一半，是产生悬沙的主要区段，经过分析该段路径（PK3-KP18）表层沉积物中值粒径范围为 0.004~0.127mm，组分主要以淤泥质黏土、粉砂及细沙为主，根据《海底电缆敷设施工悬浮泥沙起悬比研究》（张琴，2023 年）等悬沙起悬比最新研究成果，在底质粒径介于 0.011~0.11mm 的粉砂质或淤泥质海域采用水力冲射法进行海底电缆敷设，产生的悬浮泥沙起悬比选取范围在 7%~10%之间；粒径小于 0.011mm 属于粘性力占主导作用的粘性沙，起悬比取值应小于 7%；粒径大于 0.11mm 水力冲射法埋设海缆时起悬比一般采用 15%~20%。

根据以往工程经验海缆敷设速度为 3~5m/min，根据海缆敷设线路施工地质条件、施工机械功率和水动力条件综合确定。源强计算公式如下：

$$S = T \times \gamma_0 \times \alpha$$

式中：S 为海缆敷设产生的悬浮泥沙源强（kg/s）；

T：海缆沟开挖效率（m<sup>3</sup>/s），由开挖横截面积、开挖深度和开挖速度相乘得到；

$\gamma_0$ : 为底质中颗粒物干容重 ( $\text{kg/m}^3$ ), 采用《港口与航道水文规范》(JTS 145-2015) “附录 U 淤泥质海岸航道和港池淤积计算”中推荐公式  $\gamma_d=1750 \times D_{50}^{0.183}$  公式计算, 其中  $D_{50}$  为淤积物颗粒的中值粒径。

$\alpha$ : 为底质中颗粒物进入海水中的比例 (%) 起悬比。

根据设计方案水利冲埋海缆沟槽平均宽约 0.8~1m, 埋深 2~5m, 海缆正常铺设速度为 3~5m/min。粒径取值选取《海南-广东电力灵活互济工程春季水文调查报告》(

, 2025 年 5 月) 中实测粒径数据, 同时参考《南方主网与海南电网第二回联网工程海底电缆路由勘察报告(报批稿)》(2014 年 9 月) 相关数据对海缆路径地质情况进行补充和对本次春季调查资料进行一致性验证, 以确保模型所引用数据的可靠性。

#### **a.埋深 3m (4m/min) 以淤泥质黏土为主地质段**

本段埋深 3m, 开挖横截面积  $0.6\text{m}^2$ , 开挖速率为 4m/min, 淤泥质黏土产生的悬浮泥沙起悬比选取范围在 7%~10%之间, 本次评价按最不利影响取值 10%, 根据根据勘察实测值中值粒径取  $0.0079\text{mm}$ ,  $\gamma_d=720.8 \text{ kg/m}^3$

则计算得悬沙产生量:

$$S = 3 \times 0.6 \times \frac{4}{60} \times 720.8 \times 10\% = 8.65 \text{ kg/s}$$

#### **b.埋深 1~2m 段 (4m/min) 以粉砂至细沙为主地质段**

本段埋深 1~2m, 按最大影响范围取值 2m, 开挖横截面积  $0.6\text{m}^2$ , 开挖速率为 4m/min, 粉砂至细沙产生的悬浮泥沙起悬比选取范围在 7%~10%之间, 本次评价按最不利影响取值 10%, 根据勘察实测值中值粒径取  $0.0413\text{mm}$ ,  $\gamma_d=976.5 \text{ kg/m}^3$ 。

则计算得悬沙产生量:

$$S = 2 \times 0.6 \times \frac{4}{60} \times 976.5 \times 10\% = 7.81 \text{ kg/s}$$

#### **c.埋深 4m 段 (3m/min) 以淤泥和淤泥质粉土为主地质段**

本段埋深 4m, 开挖横截面积  $0.6\text{m}^2$ , 开挖速率为 3m/min, 淤泥和淤泥质粉土产生的悬浮泥沙起悬比选取范围在 7%~10%之间, 本次评价按最不利影响取值 10%, 根据勘察实测值中值粒径取  $0.0413\text{mm}$ ,  $\gamma_d=976.5 \text{ kg/m}^3$ 。

则计算得悬沙产生量:

$$S = 4 \times 0.6 \times \frac{3}{60} \times 976.5 \times 10\% = 11.72 \text{ kg/s}$$

#### **d.埋深 4m 段（3m/min）以粉砂、细沙为主的沙波地质段**

本段埋深 4m，开挖横截面积  $0.6\text{m}^2$ ，开挖速率为  $3\text{m/min}$ ，粉砂、细沙为主的沙波地质段产生的悬浮泥沙起悬比选取范围在 15%~20%之间，本次评价按最不利影响取值 20%，据勘察实测值中值粒径取  $0.1286\text{mm}$ ， $\gamma_d=1202.3\text{ kg/m}^3$ 。

则计算得悬沙产生量：

$$S = 4 \times 0.6 \times \frac{3}{60} \times 1202.3 \times 20\% = 28.86\text{kg} / \text{s}$$

#### **④ 机械切割开槽段源强**

机械切割开槽施工主要分为两段分别位于路径中段和海南侧近岸段，对应 KP17-KP26、KP27-KP35，该段施工总长度  $15.65\text{km}$ ，其中中段  $8.10\text{km}$ ，海南侧近岸段  $7.56\text{km}$ 。

根据该路径范围内区域内一二回地质勘察报告及三回静力触探采样分析结果，该段主要以砂质黏土及硬塑状黏性为主，该种粒径主要特点是粒径之间粘性力占主导作用不易起悬，因此起悬比较小，起悬后颗粒之间容易出现絮凝现象，可导致加速沉降。

根据设计方案该段海缆敷设方式为机械链锯切割开槽埋设，开槽宽度  $0.6\text{m}$ ，开槽深度  $2.0\text{m}$ ，开槽速率  $1.5\text{m/min}$ ，具体速率根据地质情况调整。开槽区域床层主要是由硬塑状或坚硬塑状黏土构成，其中值粒径（D50）集中在  $0.004\sim 0.063\text{mm}$  之间，据勘察实测值中值粒径取  $0.0375\text{mm}$ ， $\gamma_d=959.6\text{kg/m}^3$ 。

硬质黏土和砂砾质黏土段机械链锯切割施工扰动过程中相关物理量计算为：

$$S = 2 \times 0.6 \times \frac{1.5}{60} \times 959.6 \times 10\% = 2.88\text{kg} / \text{s}$$

#### **⑤ 定向钻施工段源强**

定向钻施工过程中产生的泥浆收集至陆上收集池，交由具备处置能力的单位集中处置，不进入海洋环境，套管施工时会产生少量悬沙，产生悬沙机理类比桥梁墩柱钢板桩围堰施工过程中插打和拔出钢板桩施工过程，通过向施工单位调研收集数据和查阅相关文献，定向钻拔管过程产生最大源强取值为  $0.21\text{kg/s}$ 。

#### **（2）施工船舶含油污水**

施工期船舶含油污水主要来自机舱油污水，本项目施工期间所投入的船舶类型、吨位、数量如表 3.1-10 所示，海上施工工期 6 个月。参考《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018），各类船舶舱底油污水水量见表 3.2-2。

表 3.2-2 船舶舱底油污水水量

船舶吨级 DWT (t)	舱底油污水产生量 (t/d·艘)	船舶吨级 DWT (t)	舱底油污水产生量 (t/d·艘)
500	0.14	25000~50000	7.00~8.33
500~1000	0.14~0.27	50000~100000	8.33~10.67
1000~3000	0.27~0.81	100000~150000	10.67~12.00
3000~7000	0.81~1.96	150000~200000	12.00~15.00
7000~15000	1.96~4.20	200000~300000	15.00~20.00
15000~25000	4.20~7.00	/	/

本项目各类船舶舱底油污水产生情况为：500 吨级船舶油污水产生量按 0.14t/d·艘，1000 吨级船舶油污水产生量按 0.27t/d·艘，3000 吨级船舶油污水产生量按 0.81t/d·艘，5000 吨级船舶油污水产生量按 1.35t/d·艘，8000 吨级船舶油污水产生量按 2.16t/d·艘。因此，本项目高峰期施工船舶含油污水总计约 5.15t/d，施工船舶舱底油污水产生情况见表 4.2.1-2。机舱含油污水的含油量 2000~20000mg/L，按照最不利影响取最大浓度 20000mg/L，则每天油污产生量约 0.103t/d。

船舶油污水统一收集在作业船舶，船舶靠岸后由有接收能力单位接收处置。

表 3.2-3 施工船舶舱底油污水产生量情况表

序号	机械设备名称	型号规格	数量 (艘)	舱底油污水产生量 (t/d·艘)	污水产生量 (t/d)
1	主敷缆船	8000t 级及以上	1	2.16	2.16
2	动力定位驳船	5000t 级及以上	1	1.35	1.35
3	拖轮	6000HP	1	0.27	0.27
4	锚艇	3000HP	4	0.14	0.56
5	浮吊船	3000t 级	1	0.81	0.81
合计					5.15

### (3) 施工船舶生活污水

本项目海上作业人员高峰期拟投入约 150 人，施工人员食宿均在船上，用水标准参考《港口工程环境保护设计规范》(JTS149-1-2007)，船员生活用水量按 100 L/(人·d)，污水产生系数按 80% 计，则每天污水产生量约为 12t/d。

生活污水定点收集，上岸后交由有接收能力单位转运处理，不直接排海。

表 3.2-4 生活污水主要污染物浓度

污染物名称	SS	COD <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub>	氨氮	动植物油
排放浓度 (mg/L)	150	300	200	25	30
排放量 (kg/d)	1.8	3.6	2.4	0.3	0.36

## (二) 废气

本项目施工期的大气污染物为施工机械、船舶产生的燃油废气，施工机械和船舶主要污染物质包括 SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub> 等，废气为无组织排放，对项目施工区域环境空气造成一定影响。

本项目施工船舶共约 8 艘，船舶发动机功率按平均 5000HP 计，1HP 的功率耗油按 150g 计，则每艘船舶每小时耗油量为 750kg。燃油以轻柴油计算，船舶 SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub> 的源强如下：

### ①施工船舶 SO<sub>2</sub> 源强

$$G_S = 2 \cdot B_0 \cdot S_0 \cdot (1 - \eta)$$

式中：G<sub>S</sub>—SO<sub>2</sub> 排放量，kg；B<sub>0</sub>—油中硫含量，%；η—脱硫效率，%。

根据有关规定，船舶使用的柴油硫含量低于 0.5% 含硫量，柴油 S 含量取 0.5%，船舶考虑无脱硫装置，脱硫效率取 0，则单艘船舶每小时 SO<sub>2</sub> 的排放量为 2×750×0.5%×(1-0)=7.5kg/h。

### ②施工船舶 CO 源强

$$G_c = 2.33 \times B_0 \times q \times C$$

式中：G<sub>c</sub>—CO 排放量，kg；B<sub>0</sub>—燃料量，kg；q 燃料的燃烧不完全值，取 2%；C—燃料含碳量，85%~90%。

单艘船舶每小时 CO 的排放量为：2.33×750×2%×90%=31.455kg/h

### ③施工船舶 NO<sub>x</sub> 源强

1t 柴油燃烧约产生约 12.3kg 的 NO<sub>x</sub>，船舶每小时耗油量约 750kg，则单艘船舶每小时 NO<sub>x</sub> 排放量约为 9.225kg/h。

## (三) 噪声

海上施工噪声主要来自施工船舶航行时本身产生的噪声以及施工作业时产生的噪声，船舶航行时自身产生的噪声主要包括船体发动机、辅机等产生的噪声，海上施工作业时产生的噪声主要为铺缆施工产生的噪声。根据类比调查，主要施工船舶噪声源强见表 3.2-5。



表 3.2-5 主要施工船舶噪声源强 单位 dB (A)

序号	名称	噪声源强	备注
1	船舶航行噪声	78~95	船机泵噪声及船舶辅机噪声值分别为 90dB (A) (3m 处) 和 78dB (A) (1m 处)
2	浮吊船	90	距声源 1m 处
3	敷缆船	85	距声源 10m 处
4	拖轮	75	距声源 10m 处
5	驳船	85	距声源 10m 处

#### (四) 固废

##### (1) 生活垃圾

参考《港口工程环境保护设计规范》(JTS 149-1-2007)，生活垃圾产生量按 1.5kg/人·d 计，本工程海上作业人数高峰期拟投入约 150 人，则施工期高峰期生活垃圾产生量为 0.225t/d，海上施工期约 180d，则海上施工期生活垃圾产生量为 40.5t。施工船舶配备垃圾箱，施工人员生活垃圾集中收集至垃圾箱内，船舶上的生活垃圾定期接收至岸上，交由环卫部门接收处置，禁止将生活垃圾扔入海域。

##### (2) 扫海清障固废

海底电缆敷设前需进行扫海清障，采用水下 ROV 在设计路由区探查，发现障碍物时才进行回收，打捞的障碍物主要是缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物，拟回收后上岸交由环卫部门处理。

##### (3) 定向钻施工

海缆登陆点采用定向钻施工方式，广东侧产生钻渣等土石方量约 254.34m<sup>3</sup>，海南侧产生钻渣等土石方量约 763.02m<sup>3</sup>，共约 1017.36m<sup>3</sup>，上述弃土与终端站多余土方一并委托有处理能力的单位接收处置。此外，定向钻施工还会产生一定量的泥浆水，广东侧产生量约 450m<sup>3</sup>，海南侧产生量约 1350m<sup>3</sup>，合计约 1800m<sup>3</sup>，成分为膨润土和少量羧甲基纤维素钠，为无毒无害成分。泥浆和钻渣均属于一般工业固废，经分离固化处理后，挤压脱水成泥饼，同陆上工程终端站余方一起由有资质的单位外运综合利用。

#### 3.2.1.4.2 运行期主要污染源和影响源分析

##### (一) 废水

本项目建设内容为 500kV 电缆，建成后不产生废水，海缆外被层为聚丙烯纤维，其具有强度高、耐酸、耐碱、抗微生物、化学稳定性好等优点，海缆在服务期间不易发生腐蚀，不会产生反应产物。海缆运行期日常维护所需人员较少，作业天数不多，因此维

护人员在船舶上产生的生活污水可忽略。

## （二）废气

本项目海缆运行期本身不产生废气，仅运维检修作业船舶排放少量废气。

## （三）噪声

运行期海缆埋设在底土，基本不产生噪声。

## （四）电磁

本项目运行期电磁环境影响主要来自海缆运行过程中产生的工频电场和工频磁场。

## （五）固废

运行期海缆工程不产生固废。

### 3.2.1.4.3 海域部分污染源汇总

施工期和运行期各类污染源强汇总见表 3.2-5~6。

**表 3.2-5 施工期主要污染物排放情况**

种类	污染源	主要污染物	源强	排放去向
废水	预挖沟	SS	2.82kg/s	自然排放
	水力冲埋		8.65kg/s、7.81kg/s、 11.72kg/s、28.86kg/s	
	机械切割		2.88kg/s	
	定向钻		0.21kg/s	
	船舶含油污水	石油类	污水量：5.15t/d	收集后委托有接收能力单位接收处置
			石油类：0.103t/d	
	船舶生活污水	SS、COD <sub>Cr</sub> 、 BOD <sub>5</sub> 、氨氮、动 植物油	污水量：12 m <sup>3</sup> /d	
			SS：1.8kg/d	
			COD <sub>Cr</sub> ：3.6kg/d	
			BOD <sub>5</sub> ：2.4kg/d	
			氨氮：0.3kg/d	
			动植物油：0.36kg/d	
废气	燃油废气	SO <sub>2</sub> 、CO、NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub> ：7.5kg/h·艘	无组织排放
			CO：31.455kg/h·艘	
			NO <sub>x</sub> ：9.225kg/h·艘	
噪声	施工船舶	等效声级	75~95 dB（A）	自然传播
固体废物	生活垃圾	-	40.5t/d	交由环卫部门接收处置
	扫海清障固废	绳索、渔网等	少量	交由环卫部门接收处置

	登陆点	土石方	约 1017.36m <sup>3</sup>	交由有接收能力单位处置
		泥浆水	1800m <sup>3</sup>	收集交由有接收能力单位处置

表 3.2-6 运行期主要污染物排放情况

种类	污染源	主要污染物	源强	排放去向
污废水	运维船舶生活污水	SS、COD <sub>Cr</sub> 、BOD <sub>5</sub> 、氨氮	少量	收集后委托有接收能力单位接收处置
废气	运维船舶废气	燃油废气	少量	无组织排放
噪声	海缆	等效声级	/	自然传播
电磁场	海缆	工频电场、工频磁场	/	运行产生
固体废物	一般废物	生活垃圾	少量	统一收集、定期运至陆上，交由环卫部门接收处置

### 3.2.1.5 工程各阶段生态环境影响分析

根据工程的规模、工艺流程等特征，工程各阶段存在生态环境影响如下：

(1) 本项目主要为海底电缆铺设，由于铺设占用海域面积较小且要通过水力冲埋埋入海底，因此本项目基本不会对周围海域水动力环境产生大的影响，将不改变海域的自然属性和海岸线走向，对工程所在海域原有泥沙输移动力因子影响不大，因此本项目对项目所在海域的地形地貌和冲淤环境可能产生的影响较小。

(2) 项目建设对底栖生物会产生一定影响。施工期内水力冲埋将对底栖生物群落的栖息环境产生破坏，造成直接致死损害。另外，施工导致的海床泥沙堆积在电缆路由两侧，泥沙堆积范围内的底栖生物将在短时间内因掩埋受到损害。根据工程经验，施工结束一段时间后，泥沙将在海水运动作用下逐渐回填于管沟，因此施工对底栖生物栖息环境的破坏作用属于短期的，可恢复的。

(3) 施工期悬浮物对浮游植物的影响主要为：由于悬浮物的含量增高，增大了水体的消光系数降低光线射深度，可减低海水的透光率，一方面影响浮游植物的光合作用，在一定程度上影响水体的浮游植物的生长与繁殖，降低了海洋初级生产力；另一方面，由于悬浮物快速下沉，有部分浮游植物被携带而随之下沉，使水体中浮游植物遭受一定的损害。

(4) 悬浮物对浮游动物的影响主要为：一是对海水悬浮泥沙浓度的增加，可导致海水透明度和光照下降，将对浮游动物的繁殖和生长造成较大的影响，进而造成浮游动物的生物量降低；二是掀起的泥沙使海水中悬浮物含量的增高，悬浮物含量增多对浮游动物的存活和繁殖有明显的抑制作用，过量悬浮固体可能会使其食物过滤系统和消化器官

受到阻塞，严重的可能导致死亡。

(5) 悬浮物将对鱼类产生不同的影响。首先悬浮微粒过多时将导致水体混浊度增大，不利于天然饵料的繁殖生长；其次悬浮物可以粘附在动物身体表面干扰动物的感觉功能，如悬浮物可以阻塞鱼类的鳃组织，造成呼吸困难。此外，船舶通航噪声对噪声敏感性鱼类生存活动也会产生不利影响，使其游离施工区。

### 3.2.2 海缆登陆段

海缆登陆段主要是电缆沟及定向钻施工过程产生废水、废气、固体废物、噪声等。

#### 3.2.2.1 施工期环境影响因素分析

海缆登陆段施工期的主要环境影响因素有：施工噪声、施工扬尘、施工废水、施工固体废物、生态影响等。

##### (1) 施工噪声

施工期的噪声主要是由各种施工机械设备和运输车辆产生的噪声，可能会对周围居民生活产生影响。电缆线路施工噪声主要由电缆线路开挖、电缆敷设时各种机械设备和运输车辆产生。主要施工机械设备包括挖掘机、振捣器和运输车辆等。

##### (2) 施工扬尘

施工开挖造成土地裸露，可能引起的二次扬尘对周围环境产生暂时性、局部性影响。电缆线路施工中土石方的开挖、回填将破坏原施工作业面的土壤结构，产生的二次扬尘可能对周围环境产生暂时性的和局部的影响。

##### (3) 施工废水

施工过程中产生的生活污水以及施工废水若处理不当，则可能对地表水环境以及周围其他环境要素产生不良影响。施工期废水包括基础开挖废水、机械设备冲洗废水和施工人员生活污水等，如不经处理随意排放，则可能对地面水环境以及周围其他环境要素产生不良影响，施工废水主要含有油类污染物和大量 SS，生活污水主要污染物有 SS、COD、BOD<sub>5</sub> 和氨氮等。

##### (4) 施工固体废物

施工期间所产生的固体废物主要为施工人员产生的生活垃圾、电缆线路开挖产生的弃土弃渣、建筑施工时产生的建筑垃圾及设备施工时产生的废旧设备包装物及材料等，如不妥善处理可能会对环境产生不良影响。

##### (5) 生态影响

施工占地导致物种分布格局发生变化，导致生境丧失和破坏，植被覆盖度降低、生物多样性、生物量、生产力降低；施工噪声、施工扬尘、施工废水、水土流失对生物生境产生不良影响；施工建设造成景观面积变化；施工活动对生态敏感区内重要生境、重要物种、动物生境的占用和对动物的惊扰等不良影响。

#### （6）其他影响

施工时的土方开挖，土方平衡中的填土、弃土，以及建设过程中植被的破坏，导致水土流失问题。

### 3.2.2.2 运营期环境影响因素分析

#### （1）电磁

海缆登陆段运营期主要环境影响因素为电缆运行期间产生的工频电场、工频磁场。

由于电缆埋设于地下，埋设深度为 1.8~2m，对周围产生的电磁影响较小。

#### （2）噪声

根据《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020），地下电缆线路可不开展声环境影响评价。

#### （3）废水

运营期间电缆线路无废水产生。

#### （4）固体废物

电缆线路运营期间无固体废物产生。

### 3.2.2.3 生态影响途径分析

本项目海缆登陆段为线路工程，对项目周边生态环境的影响主要在于施工期，项目运营期对生态环境影响较小。

#### （1）施工期

①电缆线路施工需进行挖方、填方、取（弃）土等活动，会对附近的原生地貌、植被及微生态环境造成破坏，降低植被覆盖度，生物量、生产力降低，可能形成裸露疏松表土，如管理不当可能引发扬尘、水土流失等其他环境问题。

②施工期电缆线路的敷设过程中工程车辆进出，土建工程中产生的噪声、扬尘以及固体废弃物等会对施工场地周边动物觅食、迁徙等产生干扰，有可能限制其活动区域、觅食范围、栖息空间等。

④电缆线路敷设过程中占用土地资源，破坏了原有的地表植被，增大了地表裸露面积，导致水蚀、风蚀影响。

⑤施工噪声、施工扬尘、施工废水、水土流失对生物生境产生不良影响；施工建设造成景观面积变化。

## **(2) 运营期**

工程建成运行后，施工对周围生态环境造成的影响基本得到消除。地下电缆线路运营期间对周边生态环境无影响。

### **3.2.2.4 初步设计环境保护措施**

#### **3.2.2.4.1 规划设计阶段采取的环保措施**

##### **(1) 生态环境影响**

①在输电线路路径选择阶段充分听取所在区域政府、环保等相关部门的意见，尽量避开城镇规划区、村庄密集区和生态环境敏感区。

②尽量避让国家公园、自然保护区、风景名胜区、生态保护红线和饮用水源保护区等环境敏感区及居民集中区，线路尽量远离居民点；尽量避让集中林区、少占耕地。

##### **(2) 污染影响**

保证电缆线路及配件加工精良，合理选择导线截面。

#### **3.2.2.4.2 施工期采取的环保措施**

##### **(1) 生态环境影响**

①开挖土石方根据所在区域的具体情况指定位置堆放或在施工范围内修筑堡坎进行堆放，严禁施工弃土随意堆放，影响施工安全和环境。

②加强排水措施。施工占地范围应做成斜面，恢复自然排水。对可能出现汇水面、积水面的区域要求开挖排水沟，并接入自然排水系统。

③在施工完毕后应对被破坏的植被进行恢复，防止雨水冲刷造成水土流失，破坏自然环境。

④表层土壤是宝贵资源，对施工过程中剥离的表土，应单独收集和存放，并采取严格临时覆盖、临时拦挡等防护措施，施工结束后利用前期剥离的表土及时采取绿化覆土、植被，不得随意丢弃。

##### **(2) 污染影响**

#### 1) 施工噪声

选用低噪声的施工设备，施工活动主要集中在白天进行，尽量避免夜间施工。运输材料的车辆进入施工现场严禁鸣笛。

#### (2) 施工扬尘

加强材料转运、存放与使用的管理，合理装卸，规范操作，对于易起尘的材料以及临时堆土应采取覆盖措施。进出场地的车辆限制车速，场内道路、堆场及车辆进出道路应定时洒水，避免或减少产生扬尘。

#### (3) 施工废水

加强施工过程施工废水临时措施管理，防止无组织漫排。施工期设置沉砂池、废水沉淀池，施工车辆、设备的冲洗废水经沉淀处理后上清液回用于场地喷洒，沉淀的砂石清挖后回填综合利用。本工程登陆点不设施工人员生活营地，施工人员产生的生活污水、生活垃圾等依托陆上工程的相关设施。

#### (4) 施工固体废物

在工程施工前应做好施工机构及施工人员的环保培训，施工场地设施垃圾箱（桶）等垃圾暂存设施，明确要求施工过程中的建筑垃圾、生活垃圾应分类、分开收集，并安排专人专车及时清运，或定期运至环卫部门指定的地点处置。

#### (5) 水土流失

合理组织施工，减少临时施工占地；开挖面及时平整，临时堆土采取拦挡、防护等措施安全堆放，弃土回填至站区或综合利用；施工完成后对施工扰动面进行恢复。

### **3.2.2.4.3 运营期采取的环保措施**

- (1) 对当地群众进行有关高压交流工程和相关设备方面的环境宣传工作；
- (2) 加强对电缆线路日常巡检，避免故障运行；
- (3) 依法进行运营期的环境管理和环境监测工作。

[illegible]



最高													
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

#### 4.1.1.1.2 降水量

##### (1) 徐闻县

根据湛江徐闻气象站 2002~2021 年统计资料，徐闻县 8 月降水量最大（318.4mm），1 月降水量最小（12mm），极端最大日降水出现在 2008 年 8 月 7 日（417.1mm）。

##### (2) 澄迈县

澄迈地区降水量丰富，各月均有降水，雨季较长。根据澄迈气象站 2001~2020 年降水资料统计，年平均降水量为 2008.4mm，年平均降水日数为 160.8 天。月平均降水量为 22.9（2 月）~394.1mm（8 月），降水量主要集中在 5~10 月雨季期间，占全年降水量的 85% 以上，降水日数同样是雨季所占比例较大。与之相对的是，11 月至次年 3 月则为旱季，月平均降水量不大于 50mm。一日最大降水量为 376.5mm，出现在 2016 年 8 月 18 日，主要是受 201608 号热带风暴“电母”影响引起的。

表 4.1-2 澄迈气象站 2001~2020 年各月降水量分布

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均（mm）													
占全年（%）													
降水日数 R≥0.1mm													
占全年降水日数（%）													
一日最大降水量													

#### 4.1.1.1.3 相对湿度

##### (1) 徐闻县

根据湛江徐闻气象站 2002~2021 年统计资料，徐闻县 2 月平均相对湿度最大（85.8%），6 月平均相对湿度最小（78.7%）。

##### (2) 澄迈县

澄迈区域多年平均相对湿度为 83.7%，9 月份平均相对湿度最大为 86.2%，6 月份最小为 81.1%。由于受海洋调节，水气丰富，各月平均相对湿度变化不大，其幅度变化在 81.1~86.2% 之间。

#### 4.1.1.1.4 风况

### (1) 风向

根据北岸海安海洋站和南岸海口海洋站 2007 年-2024 年的风观测资料统计，路由区处于琼州海峡西部，地处热带季风区，风存在明显的季节变化，且琼州海峡南北岸有所差异。琼州海峡北岸全年常风向为 E 向，多年平均出现频率为 22.96%；其次为 ENE、NE 和 ESE，频率分别为 18.60%、10.32%和 8.63%；最少风向是 SW、WSW、NW 和 NNW 向，其出现频率均不到 2.00%；其余各向频率均在 2.00%~6.00%之间，多年平均静风频率为 0.76%。琼州海峡南岸全年常风向为 ENE 向，多年平均出现频率为 14.03%；其次为 E 和 SE 向，频率分别为 11.38%和 11.69%；最少风向是 WSW、W 和 WNW 向，其出现频率均不到 2.00%；其余各向频率均在 2.00%~10.32%之间，多年平均静风频率为 1.71%。

路由区各季节风向南北岸有所差别，琼州海峡北岸春、秋和冬季以 ENE 和 E 向风为主，夏季以 E~S 向风为主。全年常风向为 E 向，强风向（即平均风速最大的风向）为 ENE 向。琼州海峡南岸春季以 SE 和 SSE 向风为主，夏季以 SE~S 向风为主，秋季以 ENE 和 E 向风为主，冬季以 NE~E 向风为主。全年常风向为 ENE 向，强风向（即平均风速最大的风向）为 NE 向。

**表 4.1-3 北岸海安海洋站累年各月各向风频率(%)**

[illegible]

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
WNW													
NW													
NNW													
C													

表 4.1-4 南岸海口海洋站累年各月各向风频率(%)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
N													
NNE													
NE													
ENE													
E													
ESE													
SE													
SSE													
S													
SSW													
SW													
WSW													
W													
WNW													
NW													
NNW													
C													

图 4.1-1 北岸海安海洋站风玫瑰图

图 4.1-2 南岸海口海洋站风玫瑰图

(2) 风速

①各月平均风速、最大风速和极大风速

琼州海峡两岸的风速存在一定差异，北岸的风速大于南岸风速，两岸年平均风速分别为 4.3m/s 和 2.4m/s，最大风速分别为 41.7m/s 和 33.4m/s，极大风速分别为 56.3m/s 和

45.6m/s。北岸月平均风速 6 月最小, 为 3.5m/s, 10 月最高, 为 4.8m/s, 而南岸月平均风速 6 月、8 月最小, 为 1.8m/s, 10 月-12 月最高, 为 2.9m/s。

琼州海峡北岸各月最大风速均在 13.0m/s 以上, 9 月最大风速为 41.7m/s, 6 月-11 月最大风速均在 20.0m/s 以上, 其他月份最大风速分布在 13.0m/s~18.0m/s 之间。琼州海峡南岸各月最大风速均在 8.0m/s 以上, 7 月最大风速为 33.4m/s, 1 月最大风速为 8.6m/s, 其他月份最大风速分布在 10.0m/s~30.0m/s 之间。

琼州海峡北岸历年最大风速为 41.7m/s，风向 270°，出现在 2024 年 9 月 7 日；极大风速为 56.3m/s，风向 267°，亦出现在 2024 年 9 月 7 日，这是受 2411 号超强台风“摩羯”影响的结果。海峡南岸历年最大风速为 33.4m/s，风向 298°，出现在 2014 年 7 月 18 日；极大风速为 45.6m/s，风向 292°，亦出现在 2014 年 7 月 18 日，这是受 1409 号超强台风“威马逊”影响的结果。

表 4.1-5 北岸海安海洋站累年各月平均风速、最大风速、极大风速及对应风向  
(风速: m/s, 风向: °)

[illegible]

表 4.1-6 南岸海口海洋站累年各月平均风速、最大风速、极大风速及对应风向  
(风速: m/s, 风向: °)

[illegible]

## (2) 各向平均风速

琼州海峡北岸累年各向平均风速，ENE 向最大，为 6.1m/s，E 向次之，为 5.8m/s，ESE、W、SE、WNW 和 SSE 向再次之，在 3.7m/s~4.5m/s 之间，其余各向风最小（1.2m/s~3.4m/s）。琼州海峡南岸累年各向平均风速，NE 向最大，为 3.5m/s，NNE、ENE、N 和 NW 向次之，在 2.9m/s~3.5m/s，其余各向风最小，在 1.0m/s~2.6m/s 之间。

**表 4.1-7 路由区累年各向平均风速 (m/s)**

海洋站	海安	海口
N		
NNE		
NE		
ENE		
E		
ESE		
SE		
SSE		
S		
SSW		
SW		
WSW		
W		
WNW		
NW		
NNW		
全方向		

### (3) 大风日数

路由区的大风天气一年四季均可出现，全年 $\geq 6$ 级风（瞬时风速大于  $10.8\text{m/s}$ ）和 $\geq 8$ 级风（瞬时风速大于  $17.2\text{m/s}$ ）的日数以夏、秋季较多，冬、春季较少。全年 $\geq 6$ 级风北岸附近海域约为 158.7 天，南岸附近海域约为 49.1 天；全年 $\geq 8$ 级风北岸附近海域约为 12.5 天，南岸附近海域约为 3.9 天。

表 4.1-8 路由区平均大风日数 (天)

[illegible]

(广东)	数													
	≥8 级天数													
南岸 (海南)	≥6 级天数													
	≥8 级天数													

4.1.1.1.5 雾况

据琼州海峡北岸徐闻气象站资料统计，路由附近海区的雾一般出现在半夜至次日上午 8 时–9 时，有时会延至 10 时–11 时，中午时雾一般会消散，但下午 5 时–6 时也会有雾发生。雾日天数不大，平均年有雾天为 23.8d。最多的年份发生在 1968 年，为 58d；最少的年份出现在 1956 年，为 17 天。全年各月均有浓雾发生，但夏季很少，7 月 0.2 天，浓雾主要出现在冬春季节，3 月最多，达 4.7 天，1 月次之，为 4.0 天。轻雾日数年平均为 89.4 天，3 月最多，为 13.9 天，7 月最少，为 2.4 天。

据海口海洋站 2007 年–2014 年、2016 年–2019 年、2021 年–2024 年的雾观测资料统计，路由区南岸多年平均雾日为 3.8 天，2 月雾日最多，为 1.5 天，5 月–9 月、11 月、12 月没有雾日出现，从全年分布来看，雾日主要出现在冬、春季节，1 月至 4 月的雾日为 3.7 天，这 4 个月的雾日占全年的 97.4%，夏秋季节雾日少。因此，在冬、春季节施工作业时，需要注意做好雾的防范措施。

表 4.1-9 北岸（徐闻气象站）多年各月及全年平均雾日统计（天）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
浓雾日													
轻雾日													

表 4.1-10 南岸（海口海洋站）多年各月及全年平均雾日统计表（天）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
雾日（d）													

4.1.1.2 工程地质

1、区域地质构造

琼州海峡是我国三大海峡之一，位于雷琼断陷中南部，在大地构造分区上属于华南板块，位于华南地块南缘，属于特提斯构造域、西太平洋构造域和欧亚大陆板块构造域的交合部位，具有多阶段、多旋回的演化。雷琼地区的地质构造见图 5.1.2-1，雷琼断陷

内发育有 NE、E-W、NW 走向的 3 组断裂构造。雷琼断陷自其北界雷州半岛的界炮-遂溪-黄坡断裂至南界琼北的王五-文教断裂，南北宽 190km，共分布 9 条 E-W 向断裂，NE 向断裂 4 条，NW 向断裂 8 条。玄武岩中的 NE、NW 向断裂大部分是根据火山锥（口）的定向排列、地震震中有规律分布等特征，以及电测、航磁解译结果推断的。不同方向的断裂交叉复合地段，常常是火山锥（口）的出露部位。NE、NW 向断裂与 E-W 向主干断裂配套构成了一幅南北向正向挤压的应变图象。

雷琼断陷区经历了复杂的构造运动，古生代和中生代主要表现为 NE、E-W 构造的叠加和交切。新生代以来，具有明显的东西走向的界炮-遂溪-黄坡断裂、硃洲岛断裂、海康港断裂、琼州海峡断裂组、琼山-铺前断裂、王五-文教断裂活动强烈，是形成雷琼断陷和琼州海峡的主控构造，造成雷琼断陷大幅度下陷，沉积了厚达 3000m 以上的上新统海相地层；王五-文教构造带是区域性的雷南-琼北东西向构造带南缘的重要组成部分，以王五-文教断裂为界，断裂以北地区新生代的基性-超基性岩浆活动频繁，具有间歇性多中心的活动特点，形成了由海陆交互相沉积和火山喷发物组成的火山平原，地壳不均匀缓慢上升，形成了呈东西向的长坡拗陷、福山拗陷、海口拗陷；断裂以南是新生代以来的间歇性大幅度上升区，发育了三级夷平面和三级河流阶地。新生代晚期和近期 NW 向断裂构造表现最为活跃，沈塘断裂、石岭岭断裂、徐闻断裂、铺前-清澜断裂、海口-云龙断裂、长流-仙沟断裂、头洋-近滩断裂和新村-长坡断裂等，是全新世火山活动的通道。

新生代以来的火山锥排列方向大致反映了这 3 组断裂构造，早期的火山锥排列方向以 E-W 向为主，中期的火山锥的排列方向以 NE 向为主，晚期和中期火山锥排列方向以 NW 向为主，NW 向断裂构造表现出新生性和强烈活动性，是全新世火山活动与地震活动的主要控制构造。

**图 4.1-3 路由区所处大地构造格架图（引自广州海洋地质调查局南海地质地球物理图系）**

**图 4.1-4 雷琼地区区域地质构造图**

## **2、新构造运动特征**

路由区的新构造运动是在新生代以来的上地幔隆起的背景上发生的，东西向构造带明显控制地壳的间歇性上升速度、玄武岩岩浆的喷发和地震活动。新生代以来的火山锥的排列方向大致反映了 3 组断裂构造，早期的火山锥的排列方向以 E-W 向为主，中期的火山锥的排列方向以 NE 向为主，晚期和中期火山锥的排列方向以 NW 向为主，NW 向断裂构造表现出新生性和强烈活动性，是全新世火山活动与地震活动的主要控制构造。

### （1）火山活动

路由区新生代火山活动强烈，火山岩分布极广，出露面积大。琼北新生代火山岩主要受东西向、南北向、北西向、北东向及北东东向断裂的制约，雷南和琼北的火山岩按火山活动的先后次序可划分为望楼港期、石峁岭组、岭头期和雷虎岭期。

#### 1) 望楼港期火山岩 (N<sub>2</sub>W)

望楼港期火山岩主要分布在琼北的望楼港组中。岩性为灰、灰黑色玄武岩、凝灰岩和凝灰砾岩。其厚度为 10m~80m。

#### 2) 石峁岭期火山岩 (Q<sub>1</sub>S<sub>2</sub>)

石峁岭期火山岩在雷南琼北均有分布。岩性为灰黑玄武岩、凝灰岩和凝灰角砾岩，夹有多层红土层。厚度 6m~235m。该期火山岩覆盖于湛江组之上，K-Ar 法年龄 0.76Ma~170Ma。

#### 3) 岭头期火山岩 (Q<sub>2</sub>l<sub>2</sub>)

岭头期火山岩分布在雷南的西部，琼北的龙塘和美亭之间，临高的北部。岩性为灰黑色玄武岩和凝灰岩。厚 7m~55m。覆盖于北海组之上，K-Ar 年龄 15Ma~35Ma。

#### 4) 雷虎岭期火山岩 (Q<sub>4</sub>-8lh)

雷虎岭期火山岩分布在琼北的永兴雷虎岭。岩性为灰黑色玄武岩和凝灰岩。厚 15m~45m。该火山岩的 K-Ar 年龄 0.01Ma~10Ma。

### （2）区域沉降

雷琼断陷上第三纪为强烈的断陷沉降区，沉积了厚达 3000m 以上的上新统海相地层，第三纪末至第四纪初，海底喷发了光村期玄武岩，地壳转为隆起，沉积了早更新统的陆相和滨海相。中更新世地壳处于上升，早更新统上部的粉砂质粘土出露地表，遭受风化剥蚀，并堆积了中更新统北海组洪积冲积物，之后多文岭期火山喷发。上更新世喷溢了得义岭期火山岩，并引起了区域性地壳的大幅度上升，在东西向的琼州海峡北部断裂、琼州海峡中部断裂、琼州海峡南部断裂控制下，地壳差异性抬升形成了琼州海峡的基本轮廓。全新世以来，地壳仍然缓慢上升，因此滨海的堆积不旺盛，随着海平面波动，沉积了两个旋回的海陆交互相地层。全新世早期海侵形成了琼州海峡的现代轮廓，其沉积物分为上下两层，下部地层由黄色、浅灰色砾、砂、亚砂土、亚粘土、粘土组成，含有海相生物贝壳，底部与下伏基底岩石风化壳不整合接触；上部地层为深灰色淤泥质粘土。在海峡两岸滨海地区，主要发育三角洲相和滨海湖相沉积物、原生与次生珊瑚礁、海滩岩、淤泥层等。



据广州地震测量大队资料，1970～1974 年水准测量结果表明，琼北地区仍在不均匀上升中，以王五-文教断裂为界，以北地区上升的平均速率为 1.4mm/a，以南地区上升的平均速率为 3.2mm/a，垂直形变等值线呈东西向展布，隆起-凹陷-隆起相对出现。

此外，新构造运动的地壳上升还表现为港湾不断缩小、河漫滩阶地发育、河流三角洲向外扩展、海蚀崖和海蚀阶地发育等。

### 3、地层

路由区及周边出露的地层主要有：白垩系、古近系、新近系和第四系。

#### 白垩系（K2）

湖相沉积，紫红色、黑色安山岩与暗红色砂岩、凝灰岩略等厚互层。厚度通常为 38m～200m，最大超过 200m，未见底。

#### 古近系（E）

古近系（E）分下段、中段、上段。

下段（E1）：为半深湖至深湖相沉积。暗棕红色泥岩夹紫红色泥质砂岩，具微斜层理。底部见紫红色中细砂岩、角砾岩。厚度 200m 至大于 1160m，与下伏地层角度不整合接触。

中段（E2）：湖相沉积为主。深灰色至黑灰色泥岩、页岩与灰白色砂岩、砂砾岩、粉砂岩不等厚互层，局部夹灰黑色玄武岩。厚度 105m 至大于 1535m，与下伏地层整合接触。

上段（E3）：沼泽、河、湖相沉积。灰白色不等粒砂岩与杂色泥岩略等厚互层夹二层灰黑色玄武岩。厚度 40.5m 至 1415m，与下伏地层整合接触。

#### 新近系 N）

新近系（N）分为中新统和上新统地层。

中新统下岩组（N11）：滨海、湖沼相沉积。以绿灰色中粗砂岩、砾状砂岩及砂砾岩为主，夹泥岩、粉砂质泥岩。厚度 105m 至 574.5m，与下伏地层整合接触或不整合接触。

中新统上岩组（N12）：有滨海相沉积和陆相盆地沉积。

滨海相沉积：灰色、绿灰色泥岩、粉砂质泥岩与海绿石砂岩及砾状砂岩、粗砂岩互层。夹多层灰黑色玄武岩透镜体。厚度 200m～500m。

陆相盆地沉积：块状粘土岩、褐煤油页岩、砂砾岩、中粗砂岩、砂质泥岩、夹泥砂质灰岩。厚度 3m～51m，与下伏地层整合接触。

上新统下岩组（N21）：滨海-浅海相沉积。灰黄色含砾、砾状生物碎屑砂岩和灰绿、

灰色粉砂质泥岩，含夹生物碎屑灰岩及灰黑色玄武岩。厚度 15m~336m，与下伏地层整合接触。

上新统上岩组（N22）：滨海-泻湖相沉积。绿灰色泥岩、砂质泥岩夹薄层含砾砂岩，局部含泥炭及灰黑色玄武岩。厚度小于 234m，与下伏地层整合接触。

#### 第四系（Q）

划分为更新统和全新统。

##### （1）更新统（Qp）

冲积、海积相：由亚粘土、亚砂土、中细砂、中粗砂、含砾中细砂、中粗砂和砂砾石组成，厚度小于 34m。

火山堆积：灰黑色气孔状-致密状玄武岩、玻基玄武岩凝灰岩，厚度一般小于 34m，火山锥厚度可达 120m。与下伏地层不整合接触。

##### （2）全新统（Qh）

由灰白色、灰黄色淤泥、亚粘土、亚砂土、中细砂、砂砾石组成，含珊瑚、贝壳等生物碎屑，厚度小于 30m。与下伏地层不整合接触。

#### 4、火山岩

路由区及附近区域的火山岩有中生代火山岩和新生代火山岩。

##### （1）中生代火山岩

主要是晚白垩世火山岩，未出露地表，据钻孔资料，由安山岩、安山质凝灰岩组成，与砂岩、泥岩成互层。

##### （2）新生代火山岩

###### A. 第三纪火山岩

未出露地表，据钻孔资料，主要分布在福山拗陷区。早第三纪火山活动为陆相喷发，呈层状产出，共有三层灰黑色玄武岩夹层。晚第三纪火山活动为海相喷发，呈层状产出，共有七层灰黑色玄武岩夹层。

###### B. 第四纪火山岩

遍布路由区，是区内新生代规模最大的陆相火山活动。

中更新世火山岩：主要岩性有橄榄玄武岩、橄榄玻基玄武岩、玄武质角砾凝灰岩、凝灰岩，形成多纹玄武岩被。火山锥多呈近东西向排列，火山类型为熔岩盾形火山，属裂隙-中心式喷发类型，按喷发方式划分为爆发相、喷溢相、火山通道相，其中以喷溢相为主。

晚更新世火山岩：主要岩性有橄榄玄武岩、橄榄玻基玄武岩、火山角砾岩、玻屑凝灰岩、沉凝灰岩，组成湖光岩组。火山锥多呈近北西向排列，火山类型有锥状火山、层状火山、盾形火山，属裂隙-中心式喷发类型，按喷发方式划分为爆发相、喷溢相、火山通道相、火山喷发沉积相，其中以喷溢相为主。

## 5、地震

琼州海峡地区在地震构造上位于东南沿海地震带西段。雷琼断陷构造是新生代才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 向南堵北缓的雷琼断陷，新构造运动对本区的影响强烈。

据图 4.1-5 及图 4.1-6 可以看出，雷琼地区地震活动在空间上分布不均匀，它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。

**图 4.1-5 琼州海峡及邻区历史强震震中分布图**

**图 4.1-6 区域小震震中分布图**

谢振福（2006）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，断裂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，其分段对强震破坏的起止有限制作用，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北纬 20°以北，可能是受近东西向的王五-文教断裂控制所致。

近年来在琼州海峡西部的北部湾有多次地震发生，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 ，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，极震区烈度不详，海区破坏程度不详。2000 年以后未见超过 Ms

大于 5 级的地震。路由区有史料记载以来至 2005 年 12 月  $M_s \geq 4.7$  级的地震目录见下表。

**表 4.1-11 研究区及其外围 MS $\geq$ 4.7 级地震目录 (史料记载-2005)**

根据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）查询可知，湛江徐闻地震动峰值加速度为 0.2g，地震动加速度反应谱特征周期为 0.4s，工程区抗震设防烈度为 8 度；海口市地震动峰值加速度为 0.3g，地震动加速度反应谱特征周期为 0.35s，工程区抗震设防烈度为 8 度。

图 4.1-7 中国地震台网地震震源分布

根据中国地震台网数据，自 2015 年至今近 10 年间，在路由区海域没有发生  $M_s \geq 5$  级地震，只在 2018 年 11 月 6 日以及 2019 年 3 月 5 日在湛江雷州市发生了两次地震，震级分别为 3.1 级和 3.6 级，震中位置分别为：和；2015 年 11 月 22 日在湛江徐闻县发生 3.8 级地震，震中位置为。2017 年 6 月 12 日在湛江徐闻海域发生 2.3 级地震，震中位置为，此次震中位置距离路由区有 10km 以上，且震级较小，其影响较小，如图 5.1.2-5 所示。

## 6、路由区构造的工程条件分析

项目海缆位于南海北部琼州海峡海域，在大地构造分区上属于华南板块。地层发育较全，其新生代地层发育，火山喷发频繁，新构造运动较活跃，路由周边地震活动较为强烈，其可能诱发的海底滑坡对海缆的安全存在一定威胁。

#### 4.1.1.3 海洋自然灾害

#### 4.1.1.3.1 热带气旋

热带气旋，是指发生、发展于西太平洋和南海上的热带气旋性天气系统。常带来狂风和暴雨，使农作物受损、交通通讯设施被破坏，甚至造成人民生命财产的严重损失。路由区几乎每年都可受到其影响，为影响海区的主要灾害性天气。

影响路由区附近的热带气旋来自太平洋和南海,按照《热带气旋等级》国家标准(GB/T 19201-2006)划分为:

热带低压：风力 6~7 级（风速 10.8m/s~17.1m/s）；

热带风暴：风力 8~9 级（风速 17.2m/s~24.4m/s）：

强热带风暴：风力 10~11 级（风速 24.5m/s~32.6m/s）；

台风：风力 12 级～13 级（风速 32.7m/s～41.4m/s）；

强台风：风力 14～15 级（风速 41.5m/s～50.9m/s）；

超强台风：风力≥16 级（风速≥51.0m/s）。

热带气旋的影响范围通常很广（平均有 1 个经纬距，100 多 km），有些台风的大风半径甚至可达 300km 左右，会对该范围海区海上工程设施和船只造成不同程度的影响，只是风力大小影响的程度不同。本报告的统计范围为

。根据中国台风网“CMA—STI 热带气旋最佳路径数据集”最新数据，统计了 1949 年～2023 年影响电缆路由海区的热带气旋，统计结果表。75 年间，共有 288 个热带气旋影响路由海域，其中热带低压 67 个，热带风暴 57 个，强热带风暴 72 个，台风 74 个，强台风 15 个，超强台风 3 个。热带气旋多发生在 6 月～10 月，该时间内的发生次数占总数的 90% 以上，8 月份发生次数最多，为 72 次，9 月份次之，为 63 次，1 月～3 月发生次数为 0。

**表 4.1-12 路地区热带气旋各月统计表（1949 年～2023 年）**

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
热带低压													
热带风暴													
强热带风暴													
台风													
强台风													
超强台风													
合计													

#### 4.1.1.3.2 风暴潮

##### （1）广东侧

湛江海域风暴潮发生次数多、强度大、连续性明显，影响范围广，突发性强，灾害损失大。风暴增水多出现于 4~12 月，8 月份和 9 月份是发生次数最多的月份。台风在湛江港及其西南方向登陆时，主要造成正的风暴增水；台风在湛江港东面登陆时，造成的正增水比较小，通常情况下，台风登陆后，湛江港出现负增水。2011~2023 年对湛江影响较大的风暴潮如下表。

表 4.1-13 2011~2023 年对湛江影响较大的风暴潮情况表

年份	名字	登陆点	登陆时间	风级	风暴增水

(2) 海南侧

根据《海南省风暴潮灾害预报及防范系统研究》和海南省生态环境状况公报，近年来海南岛沿岸风暴潮增水过程如下所示。

2005 年在海南岛产生明显风暴潮增水过程有 3 次，分别是“0508 号”强热带风暴“天鹰”，“0516 号”热带风暴“韦森特”和“0518”号台风“达维”2007 年在海南产生了 3 次增水超过 40cm 的风暴潮增水过程，分别由“0707 号”强热带风暴“帕布”、“0714 号”热带风暴“范斯高”、“0715 号”台风“利齐马”引发。

2008 年海南岛沿岸共产生 4 次由热带气旋引发,最大增水超过 40cm 的风暴潮过程分别由“0801 号”台风“浣熊”、“0809 号”强热带风暴“北冕”、“0814 号”强台风“黑格比”和“0816 号”热带风暴“海高斯”引发。

2009 年海南岛沿岸共产生 3 次由热带气旋引发,最大增水超过 40cm 的风暴潮过程,分别由“0905 号”强热带风暴“苏迪罗”、“0913 号”热带风暴“彩虹”和“0917 号”超强台风“芭玛”引发。

2014 年“1409 号”超强台风“威马逊”在海南岛沿岸引发不同程度的风暴增水,对海口、文昌造成严重的风暴潮灾害。“1415 号”台风“海鸥”在海南岛沿岸引发不同程度的风暴增水,造成海南岛北部的海口、文昌、澄迈出现严重的风暴潮灾害。2018 年“1804 号”台风热带风暴“艾云尼”和“1809 号”台风热带风暴“山神”登陆海南在海南岛沿岸引发不同程度的风暴增水,但均未超当地蓝色警戒潮位。

2019 年“1907 号”热带风暴“韦帕”在海南省文昌市附近沿海登陆,登陆时中心附近最大风力 9 级(23 米/秒),中心最低气压 985 百帕。海南省东方站和秀英站最大风暴增水分别为 42 厘米和 92 厘米,最高潮位均超过当地蓝色警戒潮位值。

2020 年“2017 号”强热带风暴“沙德尔”掠过海南岛以南海面,在三亚南面海域时中心附近最大风力 10 级(25 米/秒),中心最低气压 990 百帕,该次台风风暴潮未在我国沿海登陆。台风路径附近海域海表面温度约为 27-29℃。“沙德尔”台风风暴潮造成海南省直接经济损失 0.153 亿元,受“沙德尔”台风风暴潮影响,广东海安站和海南省秀英站出现了超过当地黄色警戒潮位的高潮位,海南清澜站、莺歌海站和东方站出现了超过当地蓝色警戒潮位的高潮位。海南省沿岸最大增水出现在秀英站,为 78 厘米。2022 年海南省沿海发生 3 次台风风暴潮过程,分别由“2203 号”台风“暹芭”、“2220 号”强台风“纳沙”和“2222 号”台风“尼格”引发。

2023 年海南省沿海发生 3 次台风风暴潮过程,分别由“2304 号”台风“泰利”、“2306 号”超强台风“苏拉”和“2316 号”强热带风暴级台风“三巴”引发,均未造成人员死亡(含失踪)和直接经济损失,以上台风风暴潮过程海南岛沿海各潮位站均未出现达到当地蓝色警戒潮位的高潮位。

## 4.1.2 自然资源概况

### 4.1.2.1 海岸线及海岛资源

#### 1、海岸线资源

##### (1) 广东侧

根据 2022 年广东省政府公布的修测海岸线成果,统计评价范围内广东省海岸线总长度为 10.54km,其中自然岸线 1.04km,人工岸线 9.50km。

**图 4.1-8 本项目海缆广东端登陆点所在岸线示意图**

## **(2) 海南侧**

根据海南省岸线统计，项目评价范围内海南侧岸线长 5.53km，其中人工岸线长 0.79km，自然岸线长 4.74km。

**图 4.1-9 本项目海缆海南端登陆点所在岸线示意图**

## **2、海岛资源**

### **(1) 广东侧**

广东侧项目评价范围的岛礁资源有 2 个，隶属于徐闻县，为沙墩岛和拾螺礁，均为无居民海岛。根据 2013 年出版中国海域海岛地名志（广东卷），沙墩岛和拾螺礁情况如下：

沙墩岛，北纬 ，东经 ，泥沙岛。与本项目距离约 1.36km。曾名流墩。由于海水作用和泥沙沉积，岛形似土墩，故名沙墩岛。陆域面积 16563 平方米，最高点高程 3.2 米。属于未开发无居民海岛，岛上长有草丛和乔木。

拾螺墩，北纬 ，东经 ，基岩岛。与本项目距离约 1.2km。曾名拾螺礁。该墩盛产螺、蟹、贝，人们常在此拾螺，故名拾螺墩。陆域面积 50 平方米，最高点高程 2.6 米，属于未开发无居民海岛，岛上无植被。

**图 4.1-10 本项目广东侧周边无居民海岛示意图**

**图 4.1-11 沙墩岛、拾螺墩现状**

**图 4.1-12 沙墩岛现状**

## **(2) 海南侧**

海南侧项目评价范围的岛礁有 1 个，隶属澄迈县，为林诗岛。

林诗岛位于澄迈县桥头镇林诗村海岸外 120 米处，与本项目距离约 0.74km。因处林诗村附近海域而得名。林诗岛为基岩岛，岸线长 156 米，面积 1298 平方米，最高点高程 15.8 米。植被有灌木、草丛。



**图 4.1-13 本项目海南侧周边无居民海岛示意图**

**图 4.1-14 林诗岛现状**

#### 4.1.2.2 滩涂资源

##### (1) 广东侧

根据《湛江市养殖水域滩涂规划（2018-2030 年）》，湛江市徐闻县地处广东西南沿海，海洋资源分布，徐闻县具有领海海域 4707.29km<sup>2</sup>，大陆岸线 324.50km，滩涂面积 182.47km<sup>2</sup>，0~10m 浅海面积 988.00km<sup>2</sup>。滩涂资源丰富，发展海水养殖业条件得天独厚。

本项目海底电缆管道广东登陆段存在大片滩涂，约 2~3km 宽。

**图 4.1-15 湛江市水域滩涂现状图**

##### (2) 海南侧

根据《澄迈县养殖水域滩涂规划（2018-2030 年）（2021 年修编版）》，澄迈县辖区内滩涂面积 970.63 公顷。桥头镇陆域养殖水域滩涂规划面积 214.23 公顷，其中滩涂及陆地养殖区面积 31.83 公顷。

**图 4.1-16 澄迈县水域滩涂现状分布图**

#### 4.1.2.3 渔业资源

##### (1) 广东侧

徐闻县作为广东省海洋渔业大县，依托琼州海峡和北部湾交汇的独特区位，形成了丰富的渔业资源体系。野生资源以经济鱼类为主，金线鱼、带鱼、马鲛鱼和鲳鱼构成近海捕捞核心，年可捕量约 8.2 万吨，但近十年下降超 28%，主因过度捕捞与栖息地退化。虾蟹类资源集中在红树林沿岸，斑节对虾、青蟹等高价值种支撑着小艇作业；贝类资源尤为突出，牡蛎（生蚝）、文蛤在礁盘区自然繁育，其中“徐闻蚝”获国家地理标志认证，而沙质滩涂孕育的“徐闻沙虫”（方格星虫）因稀有性溢价显著。珊瑚礁区则盛产高端硃斑鲍鱼，但受保护区严格限捕。

养殖业已成为支柱产业，2023 年产量 36.7 万吨（占渔业总量 81.5%），产值达 78.6 亿元。

位于本项目评价范围内,距离本项目约 0.35km, 主要养殖牡蛎。项目评价区域内徐闻县一侧近岸存在养殖围塘, 海域中分布大量的养殖活动。

图 4.1-17 项目评价范围内广东侧养殖现状分布图

## (2) 海南侧

澄迈县外海紧靠北部湾渔场, 北部湾渔场地处亚热带, 位于大陆架内, 渔业资源丰富, 鱼类品种有底层和中上层两大类共 800 多种, 其中经济价值较高的 50 多种。近海海域海洋生物种类多, 蕴藏最大, 有马鲛、石斑、带鱼、黄花、青鳞、鲷鱼、白浪等经济鱼类; 墨吉对虾、斑节对虾、毛虾、青蟹、花蟹、石蟹等虾蟹类; 九孔鲍、文蛤、青蛤、杂蛤、牡蛎、泥蚶等贝类及江篱、马尾藻、沙菜等藻类。

渔业资源比较丰富, 适宜养殖的滩涂面积大, 可养殖的品种多, 故发展浅海养具有优越优势。海洋渔业是澄迈县主要的海洋经济产业之一, 也是当前澄迈县国民经济的重要组成部分。

本项目评价范围内澄迈县西侧处约 1.93km 处存在现状海水养殖活动。

图 4.1-18 项目评价范围内海南侧养殖现状分布图

## 4.1.2.4 自然保护地

### 4.1.2.4.1 广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区

广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区作为重要的生态敏感区, 具有特殊的生态价值和保护意义。项目临近广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区, 未涉及保护区, 海底电缆与保护区最近距离约为 2.30km。

广东省徐闻珊瑚礁自然保护区是由 2000 年成立的徐闻县属灯楼角-石马角珊瑚自然保护区于 2003 年升级设立, 《广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区管理办法》自 2023 年 6 月 1 日起施行。该保护区位于雷州半岛西南徐闻县西岸北起 N (石马角西北面) 南至 (灯楼角南面) 东起 (灯楼角东面) 西至 (响栏角西面), 南北长 30.3km, 东西宽 2km~6.5km 不等, 主要分布于徐闻角尾、迈陈、西连 3 个乡镇的西海岸一带。

广东省徐闻珊瑚礁自然保护区总面积达 14378.5 公顷,所在海域分为核心区、缓冲区、实验区三部分,其中核心区 4356.1 公顷,缓冲区 4665.2 公顷,实验区 5357.2 公顷。是我国大陆沿岸唯一发育和保存的现代珊瑚岸礁。珊瑚礁区渔业资源丰富,品种多,拥有丰富的经济生物资源。根据广东省林业局 2023 年公布对广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区概况数据显示,目前保护区内已发现腔肠动物门(*Cnidaria*)珊瑚虫纲(*Anthozoa*)共 3 目 19 科 82 种。其中,软珊瑚目 7 科 27 种;群体海葵目 1 科 1 属 1 种;石珊瑚目 11 科 54 种,这 54 种石珊瑚全部为国家 II 级重点保护动物,并列入世界 CITES 公约《濒危野生动植物种国际贸易公约》。

图 4.1-19 广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区位置示意图

#### 4.1.2.4.2 湛江徐闻灯楼角县级森林公园

湛江徐闻县灯楼角区域分布有湛江徐闻灯楼角县级森林公园,位于本项目西侧,与本项目海底电缆最近距离 1126m。

湛江徐闻灯楼角县级森林公园是 2007 年由徐闻县人民政府批准成立的县级森林公园,批复面积 2000.00 公顷。灯楼角森林公园地处徐闻县西南,是祖国大陆最南端,南濒琼州海峡,西邻北部湾,与海南岛隔海相望。园内主要树种为木麻黄、椰子、红树林、苦林等热带树种。公园内保留有解放军渡琼作战出发点、古灯塔、法国残楼等旅游景点,主要保护对象为森林资源及野生动植物资源。

图 4.1-20 湛江徐闻灯楼角县级森林公园位置示意图

#### 4.1.2.5 红树林资源

##### (1) 广东侧

湛江沿海泥质滩涂是中国红树林的主要分布区之一。据中国林业科学研究院热带林业研究所调查,2022 年湛江市现有红树林面积 7196.87hm<sup>2</sup>,其中徐闻县的现有红树林面积为 840.56hm<sup>2</sup>,占湛江市红树林面积的 11.68%。

根据本项目在 2025 年 7 月 2 日至 3 日开展的红树林现状调查结果,项目周边红树林约 11.4136hm<sup>2</sup>,距离本项目最近的现状红树林距离约 124m。

**图 4.1-21 项目广东侧海域红树林分布情况**

## **(2) 海南侧**

路由海南登陆端评价范围内无红树林。根据第三次全国国土调查成果，本项目海南侧周边红树林主要分布于道伦角和花场湾处，距离最近道伦角红树林距离约为 5.8km。

**图 4.1-22 项目海南侧海域红树林分布情况**

## **4.1.2.6 珊瑚礁资源**

### **(1) 广东侧**

广东徐闻珊瑚礁绝大多数集中于广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区，除广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区外，徐闻还分布有零星现状珊瑚礁，这些现状珊瑚礁资源已纳入生态保护红线范围进行保护。其中项目评价范围内分布有两片徐闻现状珊瑚礁生态保护红线，本项目距离徐闻珊瑚礁生态保护红线最近距离为 1.09km。

**图 4.1-23 项目广东侧海域珊瑚礁分布情况**

### **(2) 海南侧**

根据 2023 年海南省珊瑚礁调查和评估项目调查结果，本项目海南侧评价范围内分布有现状珊瑚礁，主要分布在玉包角和道伦角沿岸海域。本项目在海南登陆端以定向钻的方式穿越珊瑚礁，定向钻出土点距离珊瑚礁分布区域距离约 96m。

**图 4.1-24 项目海南侧海域珊瑚礁分布情况**

## **4.1.2.7 “三场一通道”分布情况**

“海洋渔业水域”是指我国管辖的海域中，鱼、虾、蟹、贝类的产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道和鱼、虾、蟹、贝、藻类及其他水生动植物的养殖水域。

根据中华人民共和国农业部第一百八十九号文发布的《中国海洋渔业水域图（第一批）》可知，我国海域分为渤海、黄海、东海和南海四大海域，均属封闭程度不同的太平洋西北部的陆缘海，地跨温带、亚热带和热带三个气候带，特殊的气候与区域条件，构成了海洋渔业资源的多样性和区系的明显差异。

本项目位于南海海域，其渔业资源呈现热带暖水性种类的特点，海区内资源种类繁

多，但单一种类的群体数量较少，多数鱼类没有明显的洄游路线，没有越冬场。

### **1、产卵场**

根据国家农业科学数据中心-渔业分中心数据资料可知，南海海域产卵场区分为南海中上层鱼类产卵场和南海底层、近底层鱼类产卵场以及台湾浅滩中国枪乌贼产卵场。本项目位于琼州海峡水域，不涉及南海海域所有产卵场。

**图 4.1-25 南海海域中上层鱼类产卵场**

**图 4.1-26 南海海域底层、近底层鱼类产卵场**

### **2、索饵场**

根据国家农业科学数据中心-渔业科学数据分中心关于南海海域索饵场数据资料显示，我国南海海域索饵场主要分布在珠江口近海水域、粤东、海南岛南部以及西沙西部渔场海域，本项目不涉及索饵场。

### **3、南海北部幼鱼繁育场保护区**

2002 年，农业部发布 189 号文（《中国海洋渔业水域图（第一批）-南海区渔业水域图》），原“南海区机船底拖网禁渔区”更名为“南海北部幼鱼繁育场保护区”，并公布保护区范围和基点坐标。

本项目穿越南海北部幼鱼繁育场保护区范围。该保护区的管理要求：保护期内禁止拖网船、拖虾船以及捕捞幼鱼、幼虾为主的作业船只进入本区生产，防止或减少对渔业资源的损害。

**图 4.1-27 路由区位于南海北部幼鱼繁育场保护区**

### **4、幼鱼幼虾保护区**

南海区幼鱼、幼虾保护区共 4 处，一为广东省沿岸由粤东的南澳岛至粤西的雷州半岛徐闻县外罗港沿海 20m 水深以内的海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日；二为海南省东部沿岸文昌县木栏头浅滩东北至抱虎角 40m 水深以内海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 6 月 15 日；三为海南省万宁县大洲岛至陵水县赤岭湾 50m 水深以内海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日；四为海南省临高县临高角至东方县八所港 20m 水深以内海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 6 月 15 日。本项目位于琼州海峡海域，不涉及幼鱼幼虾保护区。

[illegible]

--	--	--	--

图 4.2-1 水文站位位置分布示意图

(3) 仪器设备

本次调查投入设备有：ADCP、采水器、CTD、潮位仪、样品瓶、标签纸、设备固定绳等，各仪器具体技术指标见表 4.2-2。

表 4.2-2 仪器设备及技术指标

仪器设备 名称/规格	技术指标	
	测量范围	准确度

(4) 基面关系

图 4.2-2 项目所在海域基准面换算关系

4.2.1.2 潮汐

1、潮位分析方法

潮位数据是利用潮位仪压力传感器测得的水压数据换算为水深数据所得，考虑气压订正，换算公式如下所示。

$$h = \frac{(P_{total} - P_{atm})}{\rho \cdot g} + \Delta h_{cal}$$

式中：

$h$ ：实际潮位水深（单位：米，m）；

$P_{total}$ ：压力传感器测得的总压力（单位：帕斯卡，Pa）；

$P_{atm}$ ：现场大气压（需同步测量或引用附近气象站数据，单位：Pa）；

$\rho$ ：海水密度（通常取 1025 kg/m<sup>3</sup>，可根据盐度、温度修正）；

$g$ ：重力加速度(9.81 m/s<sup>2</sup>)；

$\Delta h_{cal}$ ：传感器校准偏移量（由标定实验确定，单位：m）。

海水密度 $\rho$ 由温度、盐度推算：

$$P = (S + 1305 - 0.3t + 5.25) / 1.305$$

式中：

*S*——盐度，PSU；

*t*——温度，摄氏度。

2、潮位基本特征

(1) 实测潮汐特征

下表为调查期间 V5、V6 测站以当地平均海平面为基准的潮位特征值，调查期间，湛江角尾（V5）测站最高高潮位 0.91m（4 月 19 日 23：00），最低低潮位-1.13m（4 月 19 日 7：00），平均高潮潮位 0.55m，平均低潮潮位-0.64m，期间最大涨潮潮差 2.04m，最大落潮潮差 2.02m，平均潮差 1.19m，平均涨潮历时约 9 小时，平均落潮历时约 6.54 小时；海南林诗港（V6）测站最高高潮位 1.16m（4 月 19 日 23：00），最低低潮位-1.20m（4 月 19 日 7：00），平均高潮潮位 0.77m，平均低潮潮位-0.67m，期间最大涨潮潮差 2.36m，最大落潮潮差 2.35m，平均潮差 1.44m，平均涨潮历时约 9.5h，平均落潮历时约 6.91h。

表 4.2-3 V5 测站调查期间（4 月 13 日-4 月 22 日）潮位特征值

最高高潮位(m)	最低低潮位(m)	平均高潮位(m)	平均低潮位(m)	最大涨潮潮差(m)	最大落潮潮差(m)	平均潮差(m)	平均涨潮历时(h)	平均落潮历时(h)

表 4.2-4 V6 测站调查期间（4 月 13 日-4 月 21 日）潮位特征值

最高高潮位(m)	最低低潮位(m)	平均高潮位(m)	平均低潮位(m)	最大涨潮潮差(m)	最大落潮潮差(m)	平均潮差(m)	平均涨潮历时(h)	平均落潮历时(h)

(2) 潮位过程线

下图为调查期间 V5、V6 测站以当地平均海平面为基准的潮位过程线。

图 4.2-3 V5 测站潮位过程线

图 4.2-4 V6 测站潮位过程线

3、潮汐调和分析

潮波在传播过程中受海区地形的影响，当海区固有频率与某一主要天文分潮的频率



相近时，潮波会发生共振现象。潮汐类型是根据潮型数  $F = (H_{K1} + H_{O1}) / H_{M2}$  来划分的，潮型数  $F$  表示 3 个主要分潮（ $M_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ ）的相对重要性；根据  $F$  值的大小，潮汐一般可划分为 4 种类型，即：规则半日潮( $0.0 < F \leq 0.5$ )，不规则半日潮( $0.5 < F \leq 2.0$ )，不规则日潮( $2.0 < F < 4.0$ )和规则日潮( $F \geq 4$ )。

基于采样数据，对工程海域的潮位数据调和分析，选用  $M_2$ 、 $S_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_4$ 、 $MS_4$  这 6 个主要分潮进行分析。经计算  $F = (H_{K1} + H_{O1}) / H_{M2}$  后（式中  $H_{K1}$  是  $K_1$  分潮的振幅； $H_{O1}$  是  $O_1$  分潮的振幅； $H_{M2}$  是  $M_2$  分潮的振幅），可得 V5 测站调查期间潮位的  $F$  值为 4.52，V6 测站调查期间潮位的  $F$  值为 3.91。可知该海区湛江角尾一侧潮汐类型为规则日潮，海南林诗港一侧潮汐类型为不规则日潮。

表 4.2-5 V5 测站潮汐调和常数

分潮	振幅 (m)	迟角 (°)
$O_1$		
$K_1$		
$M_2$		
$S_2$		
$M_4$		
$MS_4$		

表 4.2-6 V6 测站潮汐调和常数

分潮	振幅 (m)	迟角 (°)
$O_1$		
$K_1$		
$M_2$		
$S_2$		
$M_4$		
$MS_4$		

### 4.2.1.3 潮流观测结果

#### 1、潮流分析方法

调查资料均按《海洋调查规范—海洋水文观测》（GB/T12763.2-2007）和《海洋观测规范 第 2 部分：海滨观测》（GB/T 14914.2-2019）分析计算。首先对实测资料绘制流速、流向曲线图，摘取整点流速、流向值绘制整点海流矢量图。利用整点流速、流向资料进行潮流调和分析，给出潮流调和常数计算成果和余流结果。最后根据《港口与航道

水文规范》（JTS 145-2015）计算最大可能流速、流向。

当水深>5m 时，采用六点法，即表层（水面以下 0.5m 处，下同）、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底层（离海底 0~1.0m，下同）；当水深≤5m 时，采用三点法，即表层（0.2H）、中层（0.6H）、底层（0.8H）；当水深≤2m 时，测量一个层次。各垂线流速、流向测量每整点进行。

根据《海洋调查规范 第 7 部分：海洋调查资料处理》(GB12763.7- 2007)相关要求，将实测资料通过整理和计算，编制各类水文报表，并绘制有关图件。首先将潮流报表中数据进行质量控制，去除异常值，将观测获取的每个整点的数据取平均值；然后计算水文要素的垂线平均值，其中垂线平均流速  $\bar{V}_p$ 、流向  $\bar{\theta}_p$  采用“矢量加权平均法”计算，公式如下：

$$V_{PN} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i \cos \theta_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

$$V_{PE} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i V_i \sin \theta_i}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

$$\bar{V}_p = \sqrt{V_{PN}^2 + V_{PE}^2}$$

$$\bar{\theta} = \arctg \frac{V_{PE}}{V_{PN}}$$

上述式中： $V_i$ 、 $i$  分别为各层的实测流速和流向； $V_{PN}$ 、 $V_{PE}$  分别为垂线平均流速的北分量和东分量； $n$  为测层数，如“六点法” $n$  为 6，“三点法” $n$  为 3；足标  $i$  为层序，如表层  $i$  为 1，0.2H 层  $i$  为 2，即  $i=1, 2, \dots, n$ ； $C_i$  为权重系数，它由每个测点代表的水层厚度所占总水层厚度的比值确定，在“六点法”测量中，除表、底层的权重系数为 1 外，其余均为 2。

海流由潮流和非潮流（余流）组成。潮流是海水受日、月等天体引潮力作用产生的周期性水平流动，余流则是由水文、气象条件等造成的非周期性流动。对于短期（25 小时）的海流观测数据，采用准调和与分析对数据进行调和与分析，分离出潮流和余流部分，并计算潮流调和常数，进一步计算潮流的特征值，如潮流椭圆的长轴、短轴、倾角、旋转率等，从而判断海区的潮流性质，为海洋工程建设等提供科学依据。

准调和与分析通常采用最小二乘法求解调和常数。通过构建矛盾方程组，利用最小二

乘法求解最优的振幅和相位，将实测数据与卫星潮汐模型结合，能够准确分离主要分潮，并提供可靠的调和常数。但由于数据时间较短，相较于针对长期实测数据的传统调和和分析方法，可能无法完全反映长期变化规律。

2、潮流基本特征值

在调查海域分别设立 V1~V4 四个潮流测站，记录了春季大潮期从 2025 年 4 月 19 日至 4 月 20 日的潮流流速、流向变化情况。

(1) 潮流特征值

1) 涨落潮最大流速、流向

观测时间段内，各测站实测海流表现为往复性流动，各站潮流主流向均位偏 W-E 向，其中偏 W 向为涨潮流向，偏 E 向为落潮流向，落潮流速大于涨潮流速，各站最大涨落潮流速基本出现在表层。各站位涨潮流最大流速为 93.47cm/s，出现在 V2 站表层，流向为 267.63°；落潮流最大流速为 126.13cm/s，最大值出现在 V2 站 0.2H，流向为 97.52°。

表 4.2-7 涨落潮最大流速、流向（流速：cm/s；流向：°）

站位	层位	涨潮		落潮	
		最大流速	最大流速对应流向	最大流速	最大流速对应流向
V1	表层				
	中层				
	底层				
V2	表层				
	0.2H				
	0.4H				
	0.6H				
	0.8H				
	底层				
V3	表层				
	0.2H				
	0.4H				
	0.6H				
	0.8H				
	底层				
V4	表层				
	0.2H				

站位	层位	涨潮		落潮	
		最大流速	最大流速对应流向	最大流速	最大流速对应流向
	0.4H				
	0.6H				
	0.8H				
	底层				

## 2) 涨落潮平均流速、流向

观测时间段内, 各站平均流速最大值基本出现在表层。其中, V2 站表层涨潮流平均流速最大, 为 73.43cm/s, 流向 265.19°; V2 站表层落潮流平均流速最大, 为 80.59cm/s, 流向 105.01°。

**表 4.2-8 涨落潮平均流速、流向 (流速: cm/s; 流向: °)**

站位	层位	涨潮		落潮	
		平均流速	平均流速对应流向	平均流速	平均流速对应流向
V1	表层				
	中层				
	底层				
V2	表层				
	0.2H				
	0.4H				
	0.6H				
	0.8H				
	底层				
V3	表层				
	0.2H				
	0.4H				
	0.6H				
	0.8H				
	底层				
V4	表层				
	0.2H				
	0.4H				
	0.6H				
	0.8H				

站位	层位	涨潮		落潮	
		平均流速	平均流速对应流向	平均流速	平均流速对应流向
	底层				

3) 垂线平均流速、流向

由表可知，各站落潮流速大于涨潮流速，V2 测站平均流速最大，其次为 V3、V4 站，位于近岸海域的 V1 站流速较小。

表 4.2-9 垂线平均涨、落潮流（流速：cm/s；流向：°）

站位	涨潮			落潮		
	最大流速	平均流速	平均流向	最大流速	平均流速	平均流向
V1						
V2						
V3						
V4						

(2) 潮流矢量过程线

为方便比对各不同水层的流速流向随时间的变化情况，绘制了各站各层流速矢量随时间变化趋势图，可以看出，在大潮期间，各个站点不同水层的流速矢量的变化趋势基本相同，转流时刻大致出现在 18:00 和次日 6:00。

图 4.2-5 大潮 V1 测站各层潮流矢量过程线

图 4.2-6 大潮 V2 测站各层潮流矢量过程线

图 4.2-7 大潮 V3 测站各层潮流矢量过程线

图 4.2-8 大潮 V4 测站各层潮流矢量过程线

(3) 潮流矢量图

根据 4 月 19 至 20 日大潮测次海流实测资料，各个水层实测流速矢量空间变化见下图。从图可见，各站各层潮流椭圆大致程东、西向分布。各站流速呈现一定的往复特征。

图 4.2-9 大潮表层潮流矢量示意图

图 4.2-10 大潮 0.2H 层潮流矢量示意图

图 4.2-11 大潮 0.4H 层潮流矢量示意图

图 4.2-12 大潮 0.6H 层潮流矢量示意图

图 4.2-13 大潮 0.8H 层潮流矢量示意图

图 4.2-14 大潮底层潮流矢量示意图

图 4.2-15 大潮垂线平均潮流矢量示意图

### 3、潮流与潮汐关系

为进一步说明潮汐与潮流流速值的变化关系，选取 V5 测站的潮位观测结果，来对比观察 V1~V4 各站各层流速值的变化。下图是大潮期间 V1 到 V4 流速值与潮位的关系，从图中可知，潮流流速值高的时间出现在潮汐涨憩与落憩时段，潮流流速低的时间在潮汐涨急或落急时段。

图 4.2-16 大潮 V1 测站各层流速值与潮位时序图

图 4.2-17 大潮 V2 测站各层流速值与潮位时序图

图 4.2-18 大潮 V3 测站各层流速值与潮位时序图

图 4.2-19 大潮 V4 测站各层流速值与潮位时序图

### 4、潮流调和和分析

本区海流主要有潮流和风海流组成，其中潮流占绝对优势。与潮流相比，平均季风生成的风海流其方向随季风变化，通常以“余流”形式展现。

潮流调和分析的目的是从实际观测资料中求出各主要分潮流的调和常数，从而确定潮流的性质和特征。

通常以主要分潮流最大流速的比值作为潮流类型划分的依据，其标准是：

$$0 < \frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} \leq 0.5 \quad \text{为正规半日潮流}$$

$$0.5 < \frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} \leq 2.0 \quad \text{为不正规半日潮流}$$

$$4.0 < \frac{W_{K_1} + W_{O_1}}{W_{M_2}} \quad \text{为正规日潮流}$$

反映潮流运动形式的参量为旋转率(亦称椭圆率) $K'$ , 其值为该分潮流椭圆短轴与椭圆长的比值, 其符号有“+”、“-”之分, 正号表示分潮流为逆时针旋转, 负号则为顺时针旋转。

分析结果表明,太阴——太阳赤纬全日分潮 **K1** 是本海区优势分潮流。因此,各测站 **K1** 分潮流的椭圆长轴走向决定了本海区潮流的主流向。

表 4.2-10 V1 测站潮流调和常数及椭圆要素

[illegible]

层位	分潮	调和常数				椭圆要素				
		北分量		东分量		W	$\theta$	T	(W)	K
		迟角 (°)	振幅 (cm)	迟角 (°)	振幅 (cm)	最大速度 (cm/s)	方向 (°)	时刻 (h)	最小速度 (cm/s)	旋转率
底层	O <sub>1</sub>									
	K <sub>1</sub>									
	M <sub>2</sub>									
	S <sub>2</sub>									
	M <sub>4</sub>									
	MS <sub>4</sub>									

表 4.2-11 V2 测站潮流调和常数及椭圆要素

[illegible]



0.6H	O <sub>1</sub>									
	K <sub>1</sub>									
	M <sub>2</sub>									
	S <sub>2</sub>									
	M <sub>4</sub>									
	MS <sub>4</sub>									
0.8H	O <sub>1</sub>									
	K <sub>1</sub>									
	M <sub>2</sub>									
	S <sub>2</sub>									
	M <sub>4</sub>									
	MS <sub>4</sub>									
底层	O <sub>1</sub>									
	K <sub>1</sub>									
	M <sub>2</sub>									
	S <sub>2</sub>									
	M <sub>4</sub>									
	MS <sub>4</sub>									

表 4.2-12 V3 测站潮流调和常数及椭圆要素

[illegible]





	MS <sub>4</sub>									
--	-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

由表 4.2-14 可见，除位于近岸处的 V1 测站呈现不正规半日潮流特征，其余测站均属于正规全日潮流。

表 4.2-14 各层位潮流性质

站位	层位	$(W_{O1}+W_{K1}) / W_{M2}$
V1	表层	
	中层	
	底层	
V2	表层	
	0.2H	
	0.4H	
	0.6H	
	0.8H	
	底层	
V3	表层	
	0.2H	
	0.4H	
	0.6H	
	0.8H	
	底层	
V4	表层	
	0.2H	
	0.4H	
	0.6H	
	0.8H	
	底层	

鉴于本海区全日潮流占支配地位，因此可以用 K1 分潮流的椭圆率(短半轴比长半轴)来判定潮流运动形式，可见该海域潮流呈明显的往复流特征，位于近岸处的 V1 测站同时具有一定的旋转流特性。

表 4.2-15 各层位分潮潮流椭圆率

站位	层位	分潮					
		O <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	M <sub>4</sub>	MS <sub>4</sub>
V1	表层						

	中层						
	底层						
V2	表层						
	0.2H 层						
	0.4H 层						
	0.6H 层						
	0.8H 层						
	底层						
V3	表层						
	0.2H 层						
	0.4H 层						
	0.6H 层						
	0.8H 层						
	底层						
V4	表层						
	0.2H 层						
	0.4H 层						
	0.6H 层						
	0.8H 层						
	底层						

### 5、余流

余流是由浅海中多种因素引起的，主要有潮汐余流（因摩阻数、海底地形、边界形状种种原因使得潮流非线性现象所致）、风生流、密度流等。要把上述流动逐个分开是十分困难的，所以在这里描述的是基于周日观测实测的由各种因素流动合成的余流。通过欧拉余流公式：

$$\overline{V_E}(x,y) = \frac{1}{T} \int_0^T \vec{V}(x,y) dt$$

式中 $\overline{V_E}(x,y)$ 代表欧拉余流， $T$ 表示时间， $\vec{V}(x,y)$ 表示潮流。对调查期间的余流进行计算，结果如下表所示。

表 4.2-16 余流流速流向

站位	层位	余流	
		流速(cm/s)	方向(°)
V1	表层		
	中层		
	底层		
V2	表层		
	0.2H 层		
	0.4H 层		
	0.6H 层		
	0.8H 层		
	底层		
V3	表层		
	0.2H 层		
	0.4H 层		
	0.6H 层		
	0.8H 层		
	底层		
V4	表层		
	0.2H 层		
	0.4H 层		
	0.6H 层		
	0.8H 层		
	底层		

图 4.2-19 至图 4.2-24 为调查期间，各个站各水层余流示意图。可见 V2 站的余流相比其他站要大一些。

图 4.2-19 大潮表层余流矢量示意图

图 4.2-20 大潮 0.2H 层余流矢量示意图

图 4.2-21 大潮 0.4H 层余流矢量示意图

图 4.2-22 大潮 0.6H 层余流矢量示意图

图 4.2-23 大潮 0.8H 层余流矢量示意图

图 4.2-24 大潮底层余流矢量示意图

4.2.1.4 水温分析

水温调查方面，不同测站根据站位实际水深分多层进行调查，间隔 1 小时进行温度记录。下表为各测站各层的水温特征值。从表中可以看出，各个站水温从表层到底层逐渐降低。调查期间，水温均值在 21.7℃到 23.8℃之间。

表 4.2-17 大潮期各测站各层水温特征值（单位：℃）

站位	层次	最大值	最小值	平均值	日较差
V1	表层				
	底层				
	垂线平均				
V2	表层				
	5m 层				
	10m 层				
	15m 层				
	底层				
	垂线平均				
V3	表层				
	5m 层				
	10m 层				
	15m 层				
	20m 层				
	25m 层				
	30m 层				
	35m 层				
	底层				
	垂线平均				
V4	表层				
	5m 层				
	10m 层				
	15m 层				

站位	层次	最大值	最小值	平均值	日较差
	20m 层				
	25m 层				
	底层				
	垂线平均				

图 4.2-25~图 4.2-28 为观测期间各测站各层水温过程线。

图 4.2-25 大潮 V1 测站水温变化

图 4.2-26 大潮 V2 测站水温变化

图 4.2-27 大潮 V3 测站水温变化

图 4.2-28 大潮 V4 测站水温变化

#### 4.2.1.5 盐度分析

盐度调查方面，不同测站根据站位实际水深分多层进行调查，间隔 1 小时进行采样。  
下表为各测站各层的盐度特征值。调查期间，盐度均值在 31.5‰到 34‰之间。

表 4.2-18 大潮期各测站各层盐度特征值（单位：‰）

站位	层次	最大值	最小值	平均值	日较差
V1	表层				
	底层				
	垂线平均				
V2	表层				
	5m 层				
	10m 层				
	15m 层				
	底层				
	垂线平均				
V3	表层				
	5m 层				
	10m 层				
	15m 层				
	20m 层				
	25m 层				



	30m 层				
	35m 层				
	底层				
	垂线平均				
V4	表层				
	5m 层				
	10m 层				
	15m 层				
	20m 层				
	25m 层				
	底层				
	垂线平均				

图 4.2-29~图 4.2-32 为观测期间各测站各层盐度过程线。

图 4.2-29 大潮 V1 测站盐度变化

图 4.2-30 大潮 V2 测站盐度变化

图 4.2-31 大潮 V3 测站盐度变化

图 4.2-32 大潮 V4 测站盐度变化

#### 4.2.1.6 悬沙分析

##### 1、悬沙特征值

表 4.2-19 为各个站各个水层悬浮物浓度的最大值、平均值以及最小值。

表 4.2-19 大潮期各测站各层悬沙浓度最大值、平均值、最小值 (mg/L)

站位	层次	最大值	最小值	各层平均值	全站平均值
V1	表层				
	底层				
V2	表层				
	5m 层				
	10m 层				
	15m 层				
	底层				
V3	表层				

	5m 层				
	10m 层				
	15m 层				
	20m 层				
	25m 层				
	30m 层				
	35m 层				
	底层				
V4	表层				
	5m 层				
	10m 层				
	15m 层				
	20m 层				
	25m 层				
	底层				

悬沙浓度在随 V5 测站潮位的时间变化见图 6.1.6-1~图 6.1.6-4。可以发现，悬沙浓度随时间的变化情况随潮位变化而改变，大多数情况是涨憩与落憩悬沙浓度相对周围时间段较低，在涨急与落急阶段，悬沙浓度相对较高。近岸处的 V1 测站底层悬沙浓度最大，全站平均值为 41.79mg/L，最高可达 133.92mg/L；其余测站各层平均悬沙浓度均低于 20mg/L。

图 4.2-33 大潮 V1 测站悬沙浓度与潮位变化

图 4.2-34 大潮 V2 测站悬沙浓度与潮位变化

图 4.2-35 大潮 V3 测站悬沙浓度与潮位变化

图 4.2-36 大潮 V4 测站悬沙浓度与潮位变化

## 2、单宽输沙率

海岸地区的泥沙输移是波浪和潮流共同作用的结果，一般来说，波浪掀沙，但波浪本身对泥沙的搬运能力较弱。泥沙一旦处于悬浮状态，相对较小的稳定流即可搬运泥沙，即使这种流速小于临界启动流速。因此潮流输沙对于海岸带的泥沙输运和地形地貌演变具有重要的意义。现基于实测的流速资料和同步观测的水体含沙量资料，进行输沙率计

算。计算公式如下：

$$Q_i = \int_0^t q_i(\phi_{ij}, U_{ij}, \theta_{ij}) dt$$

其中： $u_{ij}^t$  表示 t 时刻第 i 个测站第 j 个测点(层)的流速， $\theta_{ij}^t$  表示 t 时刻第 i 个测站第 j 个测点(层)的流速； $\phi_{ij}^t$  表示 t 时刻第 i 个测站第 j 个测点(层)的含沙量； $q_i(\phi_{ij}, U_{ij}, \theta_{ij})$  为第 i 个测站沿高度的单时输沙率，由实测流速及含沙量计算得出。

根据各个测站实测数据，按照实测期间的潮位值分别统计涨潮和落潮期内的单宽输沙率，最后相加得到全潮单宽输沙率。计算步骤如下：

- (1) 计算 t 时刻各个测站每个测点的输沙率  $q_{ij}^t$ ；
- (2) 设南北向为 y 轴，东西向为 x 轴；对各测点输沙率  $q_{ij}^t$  进行分解，得  $q_{ijx}^t$ 、 $q_{ijy}^t$ ；
- (3) 求得每个测站在 t 时刻的输沙率，亦即对 t 时刻每个测站的各个测点的 x、y 分量分别求和；
- (4) 每个测站所得的输沙率分别按照涨潮时间和落潮时间累加，得各个测站在一个全潮周期内（约 25 小时）涨潮和落潮的输沙量  $Q_x$ 、 $Q_y$ ；
- (5) 将涨潮和落潮时段的输沙量分别合成，得到落潮、涨潮输沙率和净输沙率。

计算以正北方向为基准，角度为与正北方向的夹角，以顺时针为正向。经计算，观测期间的单日单宽输沙率见表 6.1.6-2，由表可知，V4 站的净输沙率最大，达到 8.8655t/m/d，V1 站净输沙率最小，为 0.6018t/m/d。

表 4.2-20 各站单宽输沙率（单位：大小：t/m/d，方向：°）

站位	涨潮		落潮		净输沙	
	大小	方向	大小	方向	大小	方向
V1						
V2						
V3						
V4						

4.2.2 海底地形地貌与冲淤

4.2.2.1 海底地形特征

路由区位于琼州海峡西端，水深从两岸向海峡中央逐渐增大，在水深大于 50m 的海

域分布一条东西走向的深槽，槽底的水深在 80~110m 之间。深槽的北坡较缓，南坡呈阶梯状下降，局部坡度较大。受强烈的潮流冲刷作用影响，陡坡和槽底的地形起伏多变，有二级冲刷沟槽和丘状突起分布，并存在大面积的鱼鳞状冲刷坑和沙波地形，地形横截面呈锯齿状。勘察以《海南-广东电力灵活互济工程路由选择依据说明材料》（报批稿）推荐路由作为中心线开展，勘察路由中心线剖面见图 4.2-37。

**图 4.2-37 路由所在海域水深地形图**

**图 4.2-38 海底电缆中心线水深剖面图**

### **（1）地形勘测 KP0（广东侧登陆点）至 KP15.0**

该段路由区海底地形是通过三维侧扫声呐系统结合 T50p 多波束测深获取，并结合该海域附近的其他水深资料。从登陆点至 KP15 区域是近岸边坡，整体坡度小，该段路由水深由岸滩水面以上变化到水深 19.0m。在 KP12.73 至 KP13.18 附近存在局部冲刷侵蚀，侵蚀深度 1.2m-3.6m，KP13.54 至 KP14.95 显示沙波，整体呈 N-S 或 NE-SW 向展布，波高 0.2m-0.8m 之间。

**图 4.2-39 KP13.0 附近显示的冲刷侵蚀**

**图 4.2-40 KP14.0 附近显示的沙波**

### **（2）地形勘测 KP15.0 至 KP16.69**

该段为北部陡坡段，水深从 KP15 处的 18.8m 逐渐变深至 KP16.69 处的 81.2m，平均坡度约 1.98°，坡度相对较大，该段地形路由中线上整体起伏较小，但由于存在较多沙波，局部存在 1m 左右的地形起伏。在西侧南网 2 回电缆保护段可见局部侵蚀坑，最大落差可达 17m。

**图 4.2-41 KP15.0-KP16.0 段水深地形**

### **（3）地形勘测 KP16.69 至 KP22.0**

该段为中央深槽段，为整个路由水深最深段，水深范围约为 53.0m~106.9m，地形起伏较大，在 KP18.37 处存在一处陡坎，落差为 20.3m，坡度最大可达 70°，路由勘察范围东侧坡度降低。区域内发育有不规则沙波，沙波区域局部地形起伏 2-3m。KP19.21 至

KP19.37 存在一处局部突起，高度超过 15m，北侧最大坡度约 40°，南侧坡度约 5°-10°之间。KP21-KP22 水深逐渐变浅，并呈现台阶状，坡度在 15-63°之间。

**图 4.2-41 KP16.69-KP22.0 段水深地形（总览）**

**图 4.2-42 KP17.0-KP19.0 段水深地形（局部放大）**

**图 4.2-43 KP19.0-KP22.0 段水深地形（局部放大）**

**图 4.2-44 KP18.0-KP19.5 三维地形图中显示的陡坎及突起**

**图 4.2-45 KP19.0-KP22.0 段水深地形（局部放大）**

**图 4.2-46 KP21.0-KP22.0 三维地形图中显示的台阶状陡坡**

#### **（4）地形勘测 KP22.0 至 KP33.0**

该段为南部台阶段，水深变化范围约为 27.5m~60.2m，水深变化呈台阶状变化，特别在 KP25.45~KP26.78 存在一个隆起区，而且由于存在沙脊，地形起伏较大，局部坡度可达~10.0°和~15.6°，将会给电缆铺设带来较大困难。

**图 4.2-47 KP22.0-KP33.0 段水深地形（总览）**

**图 4.2-48 KP25.0-KP27.0 段水深地形（局部放大）**

**图 4.2-49（a） KP29.0-KP32.45 段显示的沙脊或沙波（局部放大）**

**图 4.2-49（b） KP29.0-KP32.45 段显示的沙脊或沙波（局部放大）**

#### **（5）地形勘测 KP33.0 至 KP35.05**

该段为南部陡坡段，水深从约 43.5m 快速变浅，平均坡度约~4.45°，坡度相对较大。KP33.26-KP33.65 为一处凹坑，坑内最大深度为 50.1m。KP34-KP35.05 为浅滩区，水深最大约 8.5m，地形较为平坦。

**图 4.2-50 KP33.0-KP35.05 段显示的沙脊或沙波**

#### 4.2.2.2 海底地貌

根据本项目路由勘察结果，海缆所在区域位于琼州海峡西缘，受潮汐、海流及波浪的影响较大，其微地貌特征明显，种类不多但分布较广，根据对侧扫声呐影像资料的解译和对比，勘察路由区存在以下微地貌形态：海底散落状砾石、沙波和沙脊、已建管线等。

##### (1) 海底散落状砾石

路由所处的海南侧登陆点海域 KP34.7-KP35.0 之间分布少量的海底礁石，突出海底最高约 1m，在侧扫声呐影像中表现为强反射且有阴影。

**图 4.2-51 侧扫声呐显示的海底礁石**

徐闻侧 10m 以浅区域以单波束结合极浅水多波束、侧扫及浅剖开展调查，其中 KP0-KP3.2 之间受养殖区及水深影响，仅能开展单波束数据采集，水深约 0-3m 之间，未遇明显起伏地形。侧扫影像除识别养殖区网箱外未见其他障碍物，浅地层剖面（详见图 6.2.3-1~3）可见沉积层 A 厚度约 2-5m，层 A 以淤泥-淤泥质土-粉质粘土为基本构成的沉积层。根据物探调查数据，路由走廊徐闻侧 10m 以浅区域未遇礁石，未发现与珊瑚礁生长相关地形地貌特征。

**图 4.2-52 徐闻北部登陆段附近侧扫声纳显示的桩网水下部分**

##### (2) 沙波与沙脊

在整个路由区，沙波十分发育，特别在路由北段（KP13.54-KP14.95），该段地形起伏较小，沙波集中呈线性发育，整体呈 N-S 或 NE-SW 向展布，波高 0.2m-0.8m 之间，见图 4.2-53，从北向南，沙波波高从约 0.8m 增高至约 3m，波长从约 6m 增长至约 20m，显示了底质以及水动力环境的变化。在路由的中段至南段，由于地形起伏较大，沙波形态也发生了较大变化，多为连续性较差的不规则沙波，见图 4.2-54，沙波的产状各异，分布零散，小至波高约 0.5m 的小沙波，大到波高达 3m 的大沙波，甚至形成沙脊。

**图 4.2-53 侧扫声呐显示的线性沙波**

**图 4.2-54 侧扫声呐显示的不规则沙波**

沙脊主要集中分布在路由的中南段的四个区域：KP25-KP26 附近，沙脊高 4.2m～6.1m；KP27.7～KP28.3，沙脊高 1.2m～3m 不等；KP31.3～KP32.5，沙脊高 2.2m～5.0m；KP34.0～KP34.4，沙脊高 1.2m～2.4m。

图 4.2-55 侧扫声呐显示的沙脊

### 4.2.2.3 路由区浅地层及工程地质特性

#### 一、浅地层声学反射界面划分

根据浅地层剖面记录的反射强度变化和反射波的几何特征，把路由区的浅部地层剖面划分了 3 个反射界面，分别为 R0、R1、R2。经过对浅地层剖面和地质取样数据的综合分析和解释，绘制了地层剖面图。

#### 二、浅地层剖面解译

在本次调查中，结合工程底质取样结果，并借鉴周围海区的地层分布情况，对浅地层剖面图像进行了解译分析，由于浅地层剖面仪的穿透效果受底质类型的影响，在礁石、砂、砾石较多的区域，声波穿透效果差，在淤泥质为主的沉积地层中，有非常好的穿透效果。下面根据路由区的沉积分层情况分段进行描述。

#### 1、KP0 至 KP8 路由段

该段路由位于徐闻侧近岸浅水区，该区段最深约 8m，KP0-KP0+850 之间，层 A 厚度约 2-5m，层 A 以淤泥-淤泥质土-粉质粘土为基本构成的沉积层。

图 4.2-56 KP3 至 KP4 附近路由段浅地层剖面图

图 4.2-57 KP6 至 KP7 附近路由段浅地层剖面图

#### 2、KP8 至 KP15 路由段

该段路由位于徐闻侧近岸边坡，水深逐渐加深，KP8-KP13.2 区段间层 A 以淤泥-淤泥质土-粉质粘土为基本构成的沉积层，R1 界面在 KP13.2 后不可追，沉积特征转变为砂质沉积，层 A 厚度约 2-5m，在 KP12.73 至 KP13.18 附近存在局部冲刷侵蚀，侵蚀深度 1.5m。

图 4.2-58 KP10 至 KP15 附近路由段浅地层剖面图

### 3、KP15 至 KP22 路由段

该段路由区为中央深槽带，水深变化大，地形起伏，结合中剖资料分析，层 A 仅在 KP16.5-KP17 可见，结合钻孔和柱状样资料分析，该层淤泥质土为主，层 B 以含砂质硬粘土为主

图 4.2-59 KP16 至 KP21 附近路由段中地层剖面图

### 4、KP22 至 KP35 路由段

该段路由区为南部台阶段，水深变化稍大，地形起伏，结合中剖资料分析，层 A 仅在 KP23.7-KP25.5 及 KP32 后可见，结合钻孔和柱状样资料分析，该层淤泥质土为主，层 B 以含砂质硬粘土为主。

图 4.2-60 KP16 至 KP21 附近路由段中地层剖面图

## 4.2.2.4 冲淤环境现状

### （1）2014 年至 2023 年期间工程海域冲淤演变分析

冲淤通过收集 2014 年~2023 年共计 10 年的电子海图资料，将不同年份水深高程点矢量化，对比不同年份地形等值线演变规律，分析路由区域地形近期冲淤演变情况。海图收集资料统计情况如下表。

图 4.2-61 2014 年工程区海床地形图

图 4.2-62 2020 年、2023 年工程区海床地形图

2014-2020 年等值线对比图

2014-2023 年等值线对比图

图 4.2-63 工程区海床地形等值线对比图（2014、2020 及 2023 年）

通过对比分析工程海域地形近 10 年的等值线变化情况可知，路径北侧 5~20m 等值线位置变化很小，该深度范围海岸线近 10 年来总体趋于稳定。北槽北坡 20~70m 水深地形急剧变化区坡顶呈现微淤积状态，坡中及坡底区域从 2014 年到 2020 期间产生局部冲刷，2020 年到 2023 年期间开始逐渐淤积，整体呈现冲淤交替的规律。

图 4.2-64 路由北段北槽北坡年等值线对比图（2014、2023 及 2020 年）



近 10 年来路由中段 70~110m 中央深槽等深线位置相对较稳定，南槽东部边缘 60m 等深线近三年呈现淤积状态。

**图 4.2-65 路由中段中央深槽等值线对比图（2014、2023 及 2020 年）**

**图 4.2-66 路由南段等值线对比图（2014、2023 及 2020 年）**

路由南段澄迈登陆段海岸相对稳定，线路东侧约 10 公里范围内 10m 等值线南北两侧微幅摆动，呈现微冲微淤、冲淤交替的规律，对海缆的埋设和营运影响不大。

通过以上分析可知，由于工程区域地质冲淤变化十年较为缓和，本项目涉海工程仅为海底电缆铺设，海底电缆基本埋设于海床，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，不对潮流水动力场产生影响，不会改变工程建设前原始地貌冲淤演变规律和进程。

**（2）路由所经海域海床冲淤分布特征**

本项目建设单位委托

进行工程区域海床演变分析，并于 2025 年 8 月完成了《海南-广东电力灵活互济项目海床演变专题研究报告》，本次引用该报告关于本项目路由区域冲淤演变规律的相关结论，作为本节关于路由轴线附近冲淤环境现状分析相关结论的补充和佐证。

基于 2008 年、2012 年、2020 年三期琼州海峡海图资料及 2025 年 6 月路由区实测地形资料，通过 GIS 软件对海图数据进行几何配准、水深点线数字化、空间插值等处理，获取了四期（2008-2012-2020-2025）路由经过海域的数字高程模型，从整体的海床冲淤分析、纵剖面地形变化两个方面总结研究区海床演变特征。

基于海床数字高程模型，利用 GIS 空间叠置分析，利用对应像元相减处理，获取不同时期的宏观海床冲淤空间分布情况，如下图所示。2008-2012 年海床冲淤分布图显示：4 年间琼州海峡大面上以冲刷为主要特征，冲淤变化剧烈的区域高度集中在路由中部以东的琼州海峡深槽区（B4-B6）。该深槽区作为海峡强潮汐动力的主要通道，其地形变化幅度远高于南北两侧陆架区域，凸显了强水流对海床塑造的主导性。路由途径路线最大水深为 107m 左右，深槽内部呈现出东西分异的冲淤格局，路由西侧深槽呈淤积态势，东侧深槽呈冲刷态势。

**图 4.2-67 2008 至 2012 年路由区地形冲淤变化**

从 2008-2012 年路由轴线附近 250m 范围内冲淤变化来看, B4-B5 段表现出微淤态势, 最大淤积幅度在 2.8m 左右, B5-B6 段表现出冲淤平衡偏微冲态势, 冲淤幅度在 $\pm 2.3\text{m}$  以内。海南侧登陆点近海节点 B1-B3 段整体上冲淤平衡偏微冲刷, 冲淤幅度在 $\pm 1.5\text{m}$  以内; B3-B4 段较为稳定, 无较大冲淤变化; 广东侧登陆点近海节点 B6-B9 段同样较为稳定, 海床无较大的冲淤变化。

**图 4.2-68 2008 至 2012 年路由轴线 250m 范围内地形冲淤变化**

2012-2020 年海床冲淤分布图显示: 海床冲淤幅度较大的区域仍然为琼州海峡深槽区 (路由 B4-B6 之间), B6 节点西南侧存在一条线性冲刷带, 而 B5 节点西侧形成了一个椭圆形的淤积体, 路由途径海域整体冲淤量级在 $\pm 2\text{m}$ , 冲淤速率 $\pm 0.28\text{m/a}$ 。

**图 4.2-69 2012 至 2020 年路由区地形冲淤变化**

从 2012-2020 年路由轴线附近 250m 范围内冲淤变化来看, B4-B6 段呈冲淤平衡偏冲刷态势, 大部分区域冲淤幅度在 $\pm 2.5\text{m}$  以内; B1-B4 段整体上呈现出冲淤平衡偏微冲刷态势, 冲刷幅度大部分处于 2m 之内。B6-B9 段仍较为稳定, 未观测到较大冲淤变化。

**图 4.2-70 2012 至 2020 年路由轴线 250m 范围内地形冲淤变化**

从近 20 年内 2008-2025 年海床长系列整体冲淤变化来看, 海床冲淤幅度较大的区域为琼州海峡深槽区 (路由 B4-B6 之间), 深槽内部呈现出东西分异的冲淤格局, 路由西侧深槽呈淤积态势, 东侧深槽呈冲刷态势。

**图 4.2-71 2008 至 2025 年路由区地形冲淤变化**

从 2008-2025 年路由轴线附近 250m 范围内冲淤变化来看, B4-B6 段呈冲淤平衡偏冲刷态势, 大部分区域冲淤幅度在 $\pm 2.2\text{m}$  以内; B1-B4 段整体上呈现出冲淤平衡偏微冲刷态势, 冲刷幅度大部分在 $\pm 2.3\text{m}$  之内; B6-B7 段呈微淤态势, 淤积幅度再 2.1m 以内; B7-B9 段较为稳定, 未观测到较大冲淤变化。整体上看, 路由轴线附近 250m 范围内近 20 年来未出现剧烈变化。

除去由于局部地形点精度及数量差异引起的偏差以外, 冲淤演变专题报告中工程海域整体冲淤变化规律与本报告结论基本一致。

#### 4.2.2.5 地层岩性

对本项目开展的钻孔资料（52 个）进行分析，钻孔位置图见下图。

图 4.2-73 钻孔位置图（北侧登陆点附近）

图 4.2-74 钻孔位置图（路径向东北向转折段）

图 4.2-75 钻孔位置图（路径基岩段）

图 4.2-76 钻孔位置图（南侧登陆段）

钻探揭露的地层与浅地层剖面的地层相吻合，岩土特性自上而下主要分布有填土、珊瑚砂、礁灰岩、淤泥、粉砂、细砂、中砂、粗砂、砾砂、粉土、粉质黏土、强风化玄武岩及中风化玄武岩，地层统计详见下表，地层描述如下：

##### ① 层

###### 主要为填土

填土：黑灰色，饱和，松散，抛石堆积，块石母岩主要为玄武岩，粒径为 10-70cm，粉细砂充填，含少量贝壳碎屑。该层仅在 DXZ01-ZK01、DXZ02-ZK01 中有揭露。

##### ② 层

###### 主要为珊瑚砂和礁灰岩

珊瑚砂：黑灰色，饱和，松散，主要以珊瑚砂、礁石碎块及贝壳碎屑为主，混少量粉砂。该层仅在 DXZ02-ZK01 中有揭露。

礁灰岩：黑灰色，全风化状，主要以珊瑚礁石及贝壳碎屑为主，混少量粉砂。该层在 DXZ01-ZK03~DXZ01-ZK05、DXZ02-ZK03、DXZ02-ZK05 中有揭露。

##### ③ 层

###### 主要为淤泥类土

淤泥：灰、灰黑色，饱和，流塑状，个别孔含粉砂和贝壳碎屑、偶见砾石和中粗砂。该层在 DXZ01-ZK09、DXZ01-ZK10、DXZ02-ZK08、DXZ02-ZK09、LJ01-ZK02、LJ01-ZK06~LJ01-ZK08、LJ01-ZK17~LJ01-ZK25、LJ02-ZK41~LJ02-ZK43、LJ02-ZK51~LJ02-ZK60 中有揭露。

##### ④ 层

### **主要为粉质黏土**

粉质黏土：黄褐色，稍湿～饱和，硬塑状，土成份以黏粒为主，土质不均，切面略粗糙，偶见泥钙质结核及少量珊瑚碎屑，摇振无反应，手搓成条。该层在 DXZ01-ZK04、DXZ01-ZK10、DXZ02-ZK04、DXZ02-ZK07、DXZ02-ZK09、LJ01-ZK01、LJ01-ZK02、LJ01-ZK06、LJ01-ZK08、LJ01-ZK17～LJ01-ZK20、LJ01-ZK24、LJ02-ZK10、LJ02-ZK16、LJ02-ZK41、LJ02-ZK54、LJ02-ZK57、LJ02-ZK60 中有揭露。

## **⑤ 层**

### **主要为粉砂、细砂、中砂、粗砂和砾砂**

粉砂：灰色，饱和，中密，主要矿物成份为石英，长石等，砂质较纯，颗粒级配一般，分选性一般。该层在 DXZ01-ZK02、DXZ01-ZK03、DXZ01-ZK07、DXZ02-ZK02、DXZ02-ZK03、LJ01-ZK06、LJ01-ZK08、LJ02-ZK10、LJ02-ZK16、LJ02-ZK41 中有揭露。

细砂：灰色，饱和，中密，主要矿物成份为石英，长石等，砂质较纯，颗粒级配一般，分选性一般。该层在 DXZ01-ZK01、DXZ01-ZK02、DXZ02-ZK01、DXZ02-ZK07 中有揭露。

中砂：灰色，饱和，中密，主要矿物成份为石英，长石等，砂质较纯，颗粒级配一般，分选性一般。该层在 DXZ01-ZK08、DXZ02-ZK07、LJ01-ZK02 中有揭露。

粗砂：灰、灰黄色，饱和，中密～密实，主要矿物成份为石英，长石等，砂质较纯，颗粒级配一般，分选性一般，局部夹未风化完全的花岗岩岩块。该层在 DXZ01-ZK01～DXZ01-ZK07、DXZ02-ZK01、DXZ02-ZK02、DXZ02-ZK05～DXZ02-ZK07、LJ01-ZK02、LJ02-ZK10、LJ02-ZK14、LJ02-ZK16 中有揭露。

砾砂：灰黄色，饱和，中密，主要矿物成份为石英，长石等。砂质较纯，颗粒级配一般，分选性一般。该层在 DXZ02-ZK03、DXZ02-ZK04 中有揭露。

## **⑥ 层**

### **主要为粉土**

粉土：深灰色，稍湿～饱和，中密，主要成分以粉粒为主，局部铁锈侵染呈红褐色条纹状，摇震反应一般。该层仅在 DXZ01-ZK08 中有揭露。

## **⑦ 层**

### **主要为粉质黏土**

粉质黏土：深灰色，饱和，硬塑状，主要成分以粉粒为主，黏粒次之，切面稍光滑，干强度中等，韧性一般。该层在 DXZ01-ZK01～DXZ01-ZK10、DXZ02-ZK01～

DXZ02-ZK09 中有揭露。

⑧ 层

主要为强风化岩土层和中风化岩土层。

强风化玄武岩：黄褐色为主，灰色次之，风化迹象明显，细粒至中粒结构，块状构造为主，局部可见气孔构造，原岩结构已破坏，节理裂隙较发育，岩芯呈碎块状，敲击易碎。

中风化玄武岩：灰色，斑状结构，块状构造，局部可见气孔构造，原岩结构部分保留，斑晶矿物边缘轻微蚀变，节理裂隙发育，岩芯呈柱状，长柱状，局部碎块状，节长10-35cm，岩质较硬。该两层在 DXZ01-ZK01、DXZ01-ZK02、DXZ01-ZK09、DXZ01-ZK010、DXZ02-ZK01、DXZ02-ZK02、DXZ02-ZK08、DXZ02-ZK09、LJ01-ZK07、LJ01-ZK08、LJ01-ZK17～LJ01-ZK25、LJ02-ZK11～LJ02-ZK13、LJ02-ZK42、LJ02-ZK43、LJ02-ZK51～LJ02-ZK60 中有揭露。

表 4.2-21 地层统计表



--	--	--	--	--	--	--	--

4.2.3 海水水质质量现状

本节引用 2025 年 4 月项目附近海域的生态现状调查资料《海南-广东电力灵活互济工程海洋生态调查报告》。

4.2.3.1 调查概况

2025 年春季在本项目所在地周边海域开展海洋环境调查，包括海水水质、海洋沉积物、海洋生物生态、海洋生物质量和渔业资源的现状调查工作。其中，共设置：①海洋水质调查站位 12 个，②海洋沉积物（含沉积物粒度）9 个，③海洋生物质量调查站位 8 个，④海洋生态调查站位 8 个，⑤潮间带断面 3 条。详见表 4.2-22 和图 4.2-77。

表 4.2-22 调查监测项目和调查站位

名称			调查项目
A1			水质、生态
A2			水质、生态
A3			水质、沉积物
A4			水质、沉积物、生态
A5			水质、沉积物
A6			水质、沉积物、生态
A7			水质、沉积物、生态
A8			水质、沉积物、生态
A9			水质
A10			水质、沉积物、生态
A11			水质、沉积物、生态
A12			水质、沉积物
C1			潮间带生态调查、潮间带沉积物调查
C2			潮间带生态调查、潮间带沉积物调查
C3			潮间带生态调查、潮间带沉积物调查

图 4.2-77 海洋环境现状调查站位图

### 4.2.3.2 调查项目

春季调查项目共 24 项，包括：pH、透明度、水温、盐度、悬浮物、生化需氧量、化学需氧量、溶解氧、无机氮（氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮）、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发性酚、重金属（铜、铅、镉、汞、锌、总铬、砷、硒、镍）。

### 4.2.3.3 采样与分析方法

#### 1、采样方法

《海洋监测规范》17378.3-2007 水深小于 10m 内采表层样；10m~25m 采表、底层两层；当水深 $\geq$ 25m，采表层、10 米水深、底层水样。采底层时注意不要采到底层泥浆（选择底层以上一米左右即可）。采用向风逆流采样，将来自船体的各种玷污控制在一个尽量低的水平上。当船体到达采样站位后，根据风向和流向，将采样船周围海面划分成船体玷污区、风成玷污区和采样区三部分，然后在采样区采样。在船上，采样人员应坚持向风操作采集瞬时样品，采样水器不能直接接触船体任何部位，裸手不能接触采样器排水口，采样器内的水样先放掉一部分后，然后再取样。

##### （1）无机氮、磷酸盐样品。

到站后将样品瓶贴上编号后的标签纸，采样时先放掉少量水样，混匀后再分装样品；在采样后立即分装样品；在灌装样品时，样品瓶和瓶盖至少洗两次；立即用处理过的 0.45 $\mu$ m 滤膜过滤于另一个 1L 水样瓶中，灌装水样量应灌至瓶肩；立即加入占水样体积千分之二的三氯甲烷，盖好瓶塞，剧烈振摇 1min，放在冰桶内于 4~6 $^{\circ}$ C 低温保存（保温箱加冰低温保存），有效保存时间为 24h。

##### （2）COD

采集水样约 500mL，置于 500mL 聚乙烯瓶中，现场测定。

##### （3）铜、铅、镉、锌、砷、镍、硒

聚乙烯桶采集水样约 1.5L，0.45 $\mu$ m 滤膜过滤，加硝酸至 pH<2，带回实验室分析，自完成采样后 7 天内完成测定。

##### （4）汞

采集水样 200mL 置于玻璃瓶装，加硫酸至 pH<2，带回实验室分析，自完成采样后 7 天内完成测定。

##### （5）油类



油类样品的容器不能预先用海水冲洗（预先在实验室蒸馏水清洗后烘干备用），用抛浮式采水器固定玻璃样品瓶在水体中直接灌装，到站后将样品瓶贴上编号后的标签纸，一升采样器采集 500ml 左右水样即可，置于棕色玻璃瓶中。采样后立即提出水面，加入 5ml 硫酸溶液（1+3）固定。油类现场完成萃取并测定。

（6）悬浮物

实验室将烘干的滤膜（0.45μm）称量（恒重）、并依次编号记录。水样采集后，尽快从采水器中放出样品，记录滤水量（一般取 1L 水样过滤）；在水样装瓶的同时摇动采样器，防止悬浮物在采样器内沉降；除去杂质如树叶等；现场过滤，滤膜用锡箔纸包好带回实验室后续处理。

（7）pH

初次使用的样品瓶应洗净，用海水浸泡 1d；用少量水样润洗水样瓶两次，再慢慢将瓶充满，立即盖紧瓶塞；采集水样 50mL 置于塑料瓶，加 1 滴氯化汞（25g/L），现场测定。

（8）溶解氧和生化需氧量

应用碘量法测定水中溶解氧，水样需直接采集到样品瓶中。采样时，应注意不使水样暴气或残存气体。如使用有机玻璃采水器、球阀式采水器、颠倒采水器等应防止搅动水体，溶解氧样品需最先采集。采样步骤如下：

乳胶管的一端接上玻璃管，另一端套在采水器的出水口，放出少量水样润洗水样瓶两次；将玻璃管插到水样瓶底部，慢慢注入水样，待水样装满并溢出约瓶子的二分之一时，将玻璃管慢慢抽出；立即用自动加液器（管尖靠近液面）依次注入氯化锰溶液和碱性碘化钾溶液；塞紧瓶塞并用手按住瓶塞和瓶底，将瓶缓慢地上下颠倒 20 次，使样品与固定液充分混匀。待样品瓶内沉淀物降至瓶体三分之二以下时方可进行分析。

2、分析方法

海水水质的分析按照《海洋监测规范》（GB 17378-2007）和《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）规定的方法开展，分析方法列于表 4.2-23。

表 4.2-23 海水分析方法

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限	仪器
1	水温	《海洋调查规范 第 2 部分：海洋水文观测》 GB/T 12763.2-2007/5.2.1	温度计法	——	(-6~40)°C/0.2°C套 管玻璃温度计
2	透明度	《海洋监测规范 第 4 部分：海	透明圆盘法	——	HY-0054 透明度盘

		水分析》 GB 17378.4-2007/22			
3	盐度	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/29.1	盐度计法	2	HWYDA-1 电极式盐度计
4	pH	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/26	pH 计法	——	PHS-3C 酸度计
5	溶解氧	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/31	碘量法	——	50mL 滴定管
6	悬浮物	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/27	重量法	2mg/L	MS105DU 电子天平； 101-2A 电热恒温干燥箱
7	化学需氧量	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/32	碱性高锰酸钾法	0.15mg/L	50mL 滴定管
8	硝酸盐氮	《海洋调查规范 第4部分：海水化学要素调查》 GB/T 12763.4-2007/11	锌镉还原法	——	752 紫外可见分光光度计
9	亚硝酸盐氮	《海洋调查规范 第4部分：海水化学要素调查》 GB/T 12763.4-2007/10	重氮-偶氮法	——	752 紫外可见分光光度计
10	氨氮	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/36.1	靛酚蓝分光光度法	——	752 紫外可见分光光度计
11	活性磷酸盐	《海洋调查规范 第4部分：海水化学要素调查》 GB/T 12763.4-2007/9	磷钼蓝分光光度法	——	752 紫外可见分光光度计
12	石油类	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/13.2	紫外分光光度法	3.5μg/L	752 紫外可见分光光度计
13	汞	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/5.1	原子荧光法	0.007μg/L	PF31 原子荧光光度计
14	砷	《海洋监测技术规程 第1部分：海水》 HY/T 147.1-2013/5	电感耦合等离子体质谱法	0.05μg/L	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
15	铜	《海洋监测技术规程 第1部分：海水》 HY/T 147.1-2013/5	电感耦合等离子体质谱法	0.12μg/L	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
16	铅	《海洋监测技术规程 第1部分：海水》 HY/T 147.1-2013/5	电感耦合等离子体质谱法	0.07μg/L	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
17	镉	《海洋监测技术规程 第1部分：海水》 HY/T 147.1-2013/5	电感耦合等离子体质谱法	0.03μg/L	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
18	锌	《海洋监测技术规程 第1部分：海水》 HY/T 147.1-2013/5	电感耦合等离子体质谱法	0.10μg/L	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪

19	铬	《海洋监测技术规程 第1部分：海水》 HY/T 147.1-2013/5	电感耦合等离子体质谱法	0.05µg/L	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
20	硫化物	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/18.1	亚甲基蓝分光光度法	0.2µg/L	紫外分光光度计
21	挥发性酚	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/19	4-氨基安替比林分光光度法	1.1µg/L	752 紫外可见分光光度计
22	生化需氧量	《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007/33.1	五日培养法	——	50mL 滴定管
23	硒	《近岸海域环境监测技术规范 第三部分 近岸海域水质监测》 HJ442.3-2020/附录 G	原子荧光法	0.2µg/L	PF31 原子荧光光度计
24	镍	《海洋监测技术规程 第1部分：海水》 HY/T 147.1-2013/5	电感耦合等离子体质谱法	0.23µg/L	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪

#### 4.2.3.4 评价方法与评价标准

##### 1、评价参数、标准

鉴于《广东省近岸海域环境功能区划》《海南省近岸海域环境功能区划》仅对近岸海域水质目标进行划定，因此近岸海域的水质环境质量标准根据《广东省近岸海域环境功能区划》《海南省近岸海域环境功能区划》确定，其他海域的水质环境质量标准参照《广东省海洋功能区划（2011—2020年）》《海南省海洋功能区划（2011—2020年）》确定。沉积物和海洋生物质量的标准均参照《广东省海洋功能区划（2011—2020年）》《海南省海洋功能区划（2011—2020年）》确定。

（1）水质：根据《广东省近岸海域环境功能区划》，本项目所在海域涉及广东近岸海域环境功能区划中的雷州半岛西南盐业、养殖功能区，海水水质执行《海水水质标准》第二类标准；根据《海南省近岸海域环境功能区划（2010 修编）》，本项目所在海域涉及广东近岸海域环境功能区划中的桥头、金牌工业用水区（HN070C II）和马村港区（HN071DIV），海水水质分别执行《海水水质标准》第二类和第四类标准。

根据《广东省海洋功能区划（2011—2020年）》，本项目所在海域涉及湛江—珠海近海农渔业区和角尾湾工业与城镇用海区，分别执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）一类和二类标准。根据《海南省海洋功能区划（2011—2020年）》，本项目所在海域涉及海南岛近海农渔业区、马村港港口航运区和玉包保留区，分别执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）一类标准、不劣于现状和维持现状。

（2）沉积物：根据《广东省海洋功能区划（2011—2020年）》，本项目所在海域涉

及湛江—珠海近海农渔业区和角尾湾工业与城镇用海区，执行《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）一类标准。根据《海南省海洋功能区划（2011—2020 年）》，本项目所在海域涉及海南岛近海农渔业区、马村港港口航运区和玉包保留区，分别执行《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）一类标准、二类标准和维持现状。

（3）生物质量：根据《广东省海洋功能区划（2011—2020 年）》，本项目所在海域涉及湛江—珠海近海农渔业区和角尾湾工业与城镇用海区，海洋贝类生物分别执行《海洋生物质量》（GB 18421-2001）海洋贝类生物质量标准一类和二类标准。根据《海南省海洋功能区划（2011—2020 年）》，本项目所在海域涉及海南岛近海农渔业区、马村港港口航运区和玉包保留区，海洋贝类生物分别执行《海洋生物质量》（GB 18421-2001 海洋贝类生物质量标准）一类标准、二类标准和维持现状。鱼类、甲壳类、软体类生物质量执行《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 中的标准（除铬外）。铬含量执行《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中铬的标准。

表 4.2-24 春季调查站位所在近岸海域环境功能区与评价标准表

区域	站位	评价标准
雷州半岛西南盐业、养殖功能区	A4、A5、A6	执行海水水质二类标准
桥头、金牌工业用水区（HN070CII）	A12	执行海水水质二类标准
马村港区（HN071DIV）	A3	执行海水水质四类标准

图 4.2-78 春季调查站位与广东省近岸海域环境功能区划叠置图

图 4.2-79 春季调查站位与海南省近岸海域环境功能区划叠置图

表 4.2-25 春季调查站位所在海洋功能区与评价标准表

区域	站位	评价标准
湛江-珠海近海农渔业区	A1、A4、A7、A8	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。
角尾湾工业与城镇用海区	A6、A5、C1、C2	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二类标准；
海南岛近海农渔业区	A2、A9、A10、A11	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。
马村港港口航运区	A3、C3	执行不劣于现状的海水水质标准，海洋沉积物质量二类标准和二类海洋生物质量标准。
玉包保留区	A12	维持现状

图 4.2-80 春季调查站位与广东省海洋功能区划叠置图

图 4.2-81 春季调查站位与海南省海洋功能区划叠置图

对近岸海域水质进行评价,选择 pH、化学需氧量(COD<sub>Mn</sub>)、五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、溶解氧(DO)、石油类、活性磷酸盐、无机氮、铜、铅、锌、镉、总铬、汞、砷、镍、硒和挥发性酚作为评价因子。按照《海水水质标准》(GB3097-1997)标准进行逐级评价,各评价因子的评价标准值详见表 2.3-2。

## 2、评价方法

采用单因子指数方法。

### (1) 一般污染物

单因子污染指数(S)计算公式如下:

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

式中,  $S_{i,j}$ ——第 i 站评价因子 j 的单因子污染指数;

$C_{i,j}$ ——第 i 站评价因子 j 的测量值;

$C_{i,s}$ ——评价因子 j 的评价标准值。

### (2) 溶解氧(DO)

溶解氧(DO)的指数计算公式:

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

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

式中:  $P_{DO,j}$ ——溶解氧的标准指数;

$DO_j$ —j 点 DO 值, mg/L;

$DO_f$ —饱和溶解氧浓度 mg/L,  $DO_f = (491 - 2.65S) / (33.5 + T)$ , S—实用盐度符号, 量纲一, T—水温, °C;

$DO_s$ —溶解氧水质标准, mg/L。

### (3) pH

pH 值的指数计算公式:

$$S_{pHj} = (7.0 - pH_j) / (7.0 - pH_{sd}) \quad pH \leq 7.0$$

$$S_{pHj} = (pH_j - 7.0) / (pH_{Su} - 7.0) \quad pH > 7.0$$

式中： $S_{pHj}$ ——pH 值的标准指数；

$pH_j$  —— pH 值实测统计代表值；

$pH_{Su}$ —— pH 评价标准上限值；

$pH_{Sd}$ —— pH 评价标准下限值。

#### 4.2.3.5 调查结果

对各站实测数据进行统计分析，统计结果见表 6.3.5-1。

##### (1) 水温

海水水温变化范围均为 21.3℃~22.7℃，平均值均为 21.96℃。

##### (2) 透明度

海水透明度变化范围均为 3.1m~5.0m，平均值均为 4.07m。

##### (3) pH 值

海水 pH 值变化范围均为 8.2~8.41，平均值均为 8.35。

##### (4) 盐度

海水盐度变化范围均为 31.769‰~32.215‰，平均值均为 32.117‰。

##### (5) 溶解氧 (DO)

海水溶解氧含量变化范围为 7.01mg/L~7.51mg/L，平均值为 7.25mg/L。

##### (6) 悬浮物

海水悬浮物变化范围均为 7mg/L~26mg/L，平均值均为 16.77mg/L。

##### (7) 化学需氧量

海水化学需氧量含量为 0.71mg/L~1.7mg/L，平均值为 1.37mg/L。

##### (8) 生化需氧量

海水生化需氧量含量变化范围为 0.3mg/L~0.98mg/L，平均值为 0.71mg/L。

##### (9) 活性磷酸盐

海水活性磷酸盐含量变化范围为 0.0001~0.0079mg/L，平均值为 0.0029mg/L。

##### (10) 氨氮

海水氨氮的含量变化范围为 0.002mg/L~0.013mg/L，平均值为 0.007mg/L。

##### (11) 油类

海水油类含量变化范围为 ND~0.0085mg/L，平均值为 0.0073mg/L。

(12) 挥发酚

海水挥发酚的含量均为 ND。

(13) 铜

海水铜的含量变化范围为  $0.25\mu\text{g/L}$ ~ $0.73\mu\text{g/L}$ ，平均值为  $0.47\mu\text{g/L}$ 。

(14) 锌

海水锌的含量变化范围为  $4.68\mu\text{g/L}$ ~ $11\mu\text{g/L}$ ，平均值为  $6.58\mu\text{g/L}$ 。

(15) 铅

海水铅的含量变化范围为 ND~ $0.18\mu\text{g/L}$ ，平均值为  $0.12\mu\text{g/L}$ 。

(16) 镉

海水镉的含量为  $0.21\mu\text{g/L}$ ~ $0.32\mu\text{g/L}$ ，平均值为  $0.27\mu\text{g/L}$ 。

(17) 铬

海水铬的含量均为 ND。

(18) 汞

海水汞的含量变化范围为 ND~ $0.06\mu\text{g/L}$ ，平均值为  $0.020\mu\text{g/L}$ 。

(19) 砷

海水砷的含量变化范围为  $1.58\mu\text{g/L}$ ~ $2.29\mu\text{g/L}$ ，平均值为  $1.93\mu\text{g/L}$ 。

(20) 镍

海水镍的含量变化范围为  $2.02\mu\text{g/L}$ ~ $2.97\mu\text{g/L}$ ，平均值为  $2.55\mu\text{g/L}$ 。

(21) 硒

海水硒的含量均为 ND。

(22) 亚硝酸盐

海水亚硝酸盐的含量变化范围为  $0.001\text{mg/L}$ ~ $0.017\text{mg/L}$ ，平均值为  $0.007\text{mg/L}$ 。

(23) 硝酸盐

海水硝酸盐的含量变化范围为  $0.017\text{mg/L}$ ~ $0.05\text{mg/L}$ ，平均值为  $0.039\text{mg/L}$ 。

(24) 硫化物

海水硫化物的含量均为 ND。







A7 底层													
A8 表层													
A8 底层													
A9 表层													
A910m													
A950m													
A9 底层													
A10 表层													
A10 10m													
A10 50m													
A10 底层													
A11 表层													
A11 10m													
A11 50m													
A11 底层													
A12 表层													

注：“ND”表示未检出。



A10 10m																				
A10 50m																				
A10 底层																				
A11 表层																				
A11 10m																				
A11 50m																				
A11 底层																				
A12 表层																				
最大值																				
最小值																				
超标率																				
备注	样品检出率大于 1/2 时，未检出按检出限的 1/2 量值参与统计；样品检出率小于 1/2 时，未检出按检出限的 1/4 量值参与统计，计算结果不足 0.01 的按照 0.01 统计。																			

4.2.3.6 评价结果

评价结果如表 4.2-26~27 所示。2025 年春季水质评价结果表明：各监测因子均符合所在功能区要求的水质标准，水质状况良好，海水水质情况良好。

4.2.4 海洋沉积物质量现状

本节引用 2025 年 4 月项目附近海域的生态现状调查资料《海南-广东电力灵活互济工程海洋生态调查报告》。具体调查站位详见 4.2.3.1 节。

4.2.4.1 调查项目

春季调查内容包括含水率、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷、粒度、ph。

4.2.4.2 采样与分析方法

1、采样方法

参考采样点水深，慢速开动绞车将采泥器放入水中。稳定后，常速下放至离海底一定距离 3~5m，再全速降至海底，此时将钢丝绳适当放长。慢速提升采泥器离底后，快速提至水面，再行慢速，当采泥器高过船舷时，将其轻轻降至接样板上。打开采泥器上部耳盖，轻轻倾斜采泥器，使上部积水缓缓流出。若因采泥器在提升过程中受海水冲刷，致使样品流失过多或因沉积物太软、采泥器下降过猛，沉积物从耳盖中冒出，均应重采。用塑料刀或勺从采泥器耳盖中仔细取上部 0~2cm 的沉积物，代表表层。

2、分析方法

海洋沉积物项目的分析按照《海洋监测规范》（GB 17378-2007）和《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）开展。

表 4.2-28 海洋沉积物分析方法

序号	检测指标	检测依据	分析方法	检出限	仪器
1	含水率	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/19	重量法	——	MS105DU 电子天平
2	有机碳	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/18.1	重铬酸钾氧化-还原容量法	——	25mL 滴定管
3	石油类	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/13.1	荧光分光光度法	3.0×10 <sup>-6</sup>	752 紫外可见分光光度计
4	硫化物	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/17.1	亚甲基蓝分光光度法	4.0×10 <sup>-6</sup>	25mL 滴定管
5	铜	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/6.2	电感耦合等离子体质谱法	0.42ng/mL	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪

6	铅	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/7.2	电感耦合等离子体质谱法	6.06ng/mL	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
7	镉	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/8.1	电感耦合等离子体质谱法	0.08ng/mL	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
8	锌	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/9.1	电感耦合等离子体质谱法	6.33ng/mL	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
9	汞	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/5.1	原子荧光法	0.002×10 <sup>-6</sup>	PF31 原子荧光光度计
10	铬	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/10.1	电感耦合等离子体质谱法	9.90ng/mL	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
11	砷	《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》 GB 17378.5-2007/11.1	电感耦合等离子体质谱法	——	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
12	粒度	《海洋调查规范 第 8 部分：海洋地质地球物理调查》 GB/T12763.8-2007 6.3	激光粒度分析 仪法	——	Bettersize2600 激光 粒度分析仪

#### 4.2.4.3 评价方法与评价标准

##### 1、评价参数、标准

根据调查资料进行工程海域沉积物质量现状评价，选择石油类、有机碳、硫化物、铜、铅、镉、锌、铬、砷和汞共 10 个评价因子。评价标准依据《海洋沉积物质量》（GB18668-2002），各评价因子的评价标准值详见表 2.3-4，各站位所在功能区及评价等级详见 2.3.1、2.4.1。

##### 2、评价方法

单因子指数和综合指数两种方法。

##### ①单因子评价

单因子污染指数（S）计算公式如下：

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

$S_{i,j}$ ——j 站 i 评价因子的单因子污染指数；

$C_{i,j}$ ——j 站 i 评价因子的实测值；

$C_{Si}$ ——j 站 i 评价因子的标准值。

#### 4.2.4.4 调查结果

## 1、沉积物质量监测结果

沉积物现状调查共 9 个站位。调查分析项目：含水率、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷、pH。海洋沉积物各调查项目监测结果见表 6.4.4-1。

### (1) 汞

沉积物中汞的含量变化范围为 (0.005~0.134) mg/kg, 平均值为 0.079mg/kg。

### (2) 砷

沉积物中砷的含量变化范围为 (10~17) mg/kg, 平均值为 13.51mg/kg。

### (3) 铜

沉积物中铜的含量变化范围为 (8~14.6) mg/kg, 平均值为 11.34mg/kg。

### (4) 铅

沉积物中铅的含量变化范围为 (8.6~15) mg/kg, 平均值为 12.01mg/kg。

### (5) 锌

沉积物中锌的含量变化范围为 (40.8~73.6) mg/kg, 平均值为 57.1mg/kg。

### (6) 镉

沉积物中镉的含量变化范围为 (0.16~0.31) mg/kg, 平均值为 0.24mg/kg。

### (7) 铬

沉积物中铬的含量变化范围为 (42.7~76.6) mg/kg, 平均值为 59.9mg/kg。

### (8) 硫化物

沉积物中硫化物的含量变化范围为 (ND~60.3) mg/kg, 平均值为 27.29mg/kg。

### (9) 石油类

沉积物中石油类的含量变化范围为 (8.8~36.2) mg/kg, 平均值为 21.69mg/kg。

### (10) 有机碳

沉积物中有机碳的含量变化范围为 (ND~0.88) %, 平均值为 0.44%。

### (11) 含水率

沉积物中含水率变化范围为 (18.2~53.9) %, 平均值为 31.42%。

### (12) pH

沉积物中 pH 变化范围为 7.58-8.15, 平均值为 7.97。

表 4.2-29 沉积物监测结果统计表

样品名称	含水率 (%)	pH	石油类 (mg/kg)	有机碳 (%)	硫化物 (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Hg (mg/kg)
A3												
A4												
A5												
A6												
A7												
A8												
A10												
A11												
A12												
C1 潮上带												
C1 潮中带												
C1 潮下带												
C2 潮上带												
C2 潮中带												
C2 潮下带												
C3 潮上带												
C3 潮中带												
C3 潮下带												



2、沉积物粒度监测结果

粒度分析采用激光粒度仪法进行，分析完成后采用相关海洋地质调查规范中的分类命名原则进行命名，沉积物粒度调查结果见表 4.2-30。  
调查站点沉积物类型以砂粉砂为主。

表 4.2-30 沉积物粒度监测结果统计表

编号	粒组含量 (%)				名称及代号	中值粒径	中值粒径	平均粒径	平均粒径	分选系数	偏态	峰态
	砾石	砂	粉砂	粘土		Md (mm)	Md ( φ )	Mz (mm)	Mz ( φ )	σi	Ski	Kg
A3												
A4												
A5												
A6												
A7												
A8												
A10												
A11												
A12												
C1 潮上带												
C1 潮中带												
C1 潮下带												
C2 潮上带												

C2 潮中帶												
C2 潮下帶												
C3 潮上帶												
C3 潮中帶												
C3 潮下帶												

4.2.4.5 评价结果

2025 年春季调查海区表层沉积物中石油类、有机碳、硫化物、铜、铅、锌、镉、铬、总汞和砷均未出现超标样品，符合调查站位所属海洋功能区要求，沉积物质量良好。

表 4.2-31 春季监测海洋沉积物单因子评价结果

站号	石油类	有机碳	硫化物	铜	铅	锌	镉	铬	砷	汞	标准
A3											
A4											
A5											
A6											
A7											
A8											
A10											
A11											
A12											
C1 潮上带											
C1 潮中带											
C1 潮下带											
C2 潮上带											
C2 潮中带											
C2 潮下带											
C3 潮上带											
C3 潮中带											
C3 潮下带											
最大值											
最小值											
超标率											

4.2.5 海洋生物质量现状

本节引用 2025 年 4 月项目附近海域的生态现状调查资料《海南-广东电力灵活互济工程海洋生态调查报告》。

具体调查站位详见 4.3.2.1 节。

#### 4.2.5.1 调查项目

春、季调查项目包括鱼类、甲壳类、软体类和贝类等重要经济生物体体内石油烃、铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷。

#### 4.2.5.2 采样与分析方法

##### 1、采样方法

##### (1) 样品采集

样品选取渔业资源调查的常见经济种、优势种和潮间带调查常见种和优势种。

##### (2) 样品制备

##### ① 虾蟹类样品的制备

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

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

##### ② 中小型鱼样制备

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

多个体样品个体数不应少于 6 个，且大小相近。用匀浆器匀化鱼组织，将匀浆样转入已知重量的塑料容器中，盖紧，贴上标签并称重，记下匀浆样重和其他数据。置于低温冰箱中存放。

### ③大型鱼样制备

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

### ④贝类样品的制备

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

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

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

各生物个体大小应相近,并在取出生物组织前分别测量其个体长度和总重量。

## 2、分析方法

海洋生物质量的分析按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)规定的方法开展。

表 4.2-32 生物体质量要素分析项目与方法表

序号	指标	检测依据	分析方法	检出限	仪器
1	汞	《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》 GB 17378.6-2007/5.1	原子荧光法	$0.002 \times 10^{-6}$	PF31 原子荧光光度计
2	铜	《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》 GB 17378.6-2007/6.1	电感耦合等离子体质谱法	$0.08 \mu\text{g/g}$	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
3	铅	《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》 GB 17378.6-2007/7.1	电感耦合等离子体质谱法	$0.03 \mu\text{g/g}$	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
4	镉	《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》 GB 17378.6-2007/8.1	电感耦合等离子体质谱法	$0.03 \mu\text{g/g}$	X Series 2 电感耦合等离子体质谱仪
5	锌	《海洋监测规范 第 6 部	电感耦合等离子体质谱法	$1.66 \mu\text{g/g}$	X Series 2 电感耦合

		分：生物体分析》 GB 17378.6-2007/9.1			等离子体 质谱仪
6	石油 烃	《海洋监测规范 第 6 部 分：生物体分析》 GB 17378.6-2007/13	荧光分光光度法	$0.2 \times 10^{-6}$	荧光分光 光度计
7	铬	《海洋监测规范 第 6 部 分：生物体分析》 GB 17378.6-2007/10.1	电感耦合等离子体质谱法	0.30μg/g	X Series 2 电感耦合 等离子体 质谱仪
8	砷	《海洋监测规范 第 6 部 分：生物体分析》 GB 17378.6-2007/11.1	电感耦合等离子体质谱法	0.10μg/g	X Series 2 电感耦合 等离子体 质谱仪

### 4.2.5.3 评价方法与评价标准

#### 1、评价参数、标准

目前国家仅颁布了海洋贝类（双壳类）评价国家标准，海洋贝类（双壳类）生物体内污染物质含量评价标准采用《海洋生物质量》（GB18421-2001）规定，各站位所在功能区及评价等级详见 2.3.1.1 节。

软体动物、甲壳动物、鱼类生物体内污染物质（除铬外）含量评价标准采用《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中的标准。铬含量评价标准采用《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中铬的标准。

生物质量评价执行标准见表 2.3-5 及 2.3-6。

#### 2、评价方法

生物质量评价采用单因子污染指数法进行评价，污染程度随实测浓度增大而加重。公式为：

$$Pi = \frac{Ci}{Cio}$$

式中：  $Pi$  —某污染因子的污染指数，即单因子污染指数；

$Ci$  —某污染因子的实测浓度；

$Cio$  —某污染因子的评价标准；

凡是单因子指数小于或等于 1 者，为该监测站生物体没有遭受该要素的污染，大于 1 者为遭受污染，该值越大污染越重。

### 4.2.5.4 调查结果

调查分析海洋生物体质量（铜、铅、锌、镉、铬、砷、汞和石油烃），结果如下。

表 4.2-33 生物质量分析结果（鲜重，mg/kg）

站 位	物种名称	Hg (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	石油烃 (10 <sup>-6</sup> )
A1	黄鳍棘鲷								
	远海梭子蟹								
	伍氏口虾姑								
A2	鹰爪虾								
	鲷								
	伍氏口虾姑								
A4	黑鲷								
	锈斑蟳								
	哈氏仿对虾								
A6	焦氏舌鳎								
	凡纳滨对虾								
	锈斑蟳								
A7	皮氏叫姑鱼								
	哈氏仿对虾								
	红星梭子蟹								
A8	绿鳍马面鲀								
	葛氏长臂虾								
	锈斑蟳								
A10	短蛸								
	匀斑裸胸鳝								
	哈氏仿对虾								
A11	金乌贼								
	哈氏仿对虾								
	口虾蛄								

注：“ND”表示未检出。

4.2.5.5 评价结果

区域性监测检出率占样品频数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分可分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计计算，计算结果不足 0.01 的按照 0.01 统计。生物体质量评价结果见表 4.2-34~36，结果表明：

（1）鱼类生物体内铜、铅、锌、镉、汞、石油烃含量的评价因子均满足《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 中规定的生物质量标准，砷超出；铬含量的评价因子均满足《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》中规定的生物质量标准。

（2）软体动物（非双壳类）铜、铅、锌、镉、汞、石油烃含量的评价因子均满足《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 中规定的生物质量标准，砷超出；铬含量的评价因子均满足《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》中规定的生物质量标准。

（3）甲壳类生物体内铜、铅、锌、镉、汞、石油烃含量的评价因子均满足《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 中规定的生物质量标准，砷超出；铬含量的评价因子均满足《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》中规定的生物质量标准。

表 4.2-34 生物质量污染指数表（鱼类）

样品名称		总汞	铜	砷	锌	镉	铅	石油 烃	铬
A1	黄鳍棘鲷								
A2	鲷								
A4	黑鲷								
A6	焦氏舌鳎								
A7	皮氏叫姑鱼								
A8	绿鳍马面鲀								
A10	匀斑裸胸鳝								
最大值									
最小值									
超标率									
备注：样品检出率大于 1/2 时，未检出按检出限的 1/2 量值参与统计；样品检出率小于 1/2 时，未检出按检出限的 1/4 量值参与统计，计算结果不足 0.01 的按照 0.01 统计。									



表 4.2-35 生物质量污染指数表（甲壳类）

样品名称		总汞	铜	锌	镉	铅	砷	石油 烃	铬
A1	远海梭子蟹								
A1	伍氏口虾蛄								
A2	鹰爪虾								
A2	伍氏口虾蛄								
A4	锈斑蟊								
A4	哈氏仿对虾								
A6	凡纳滨对虾								
A6	锈斑蟊								
A7	哈氏仿对虾								
A7	红星梭子蟹								
A8	葛氏长臂虾								
A8	锈斑蟊								
A10	哈氏仿对虾								
A11	哈氏仿对虾								
A11	口虾蛄								
最大值									
最小值									
超标率									
注：样品检出率大于 1/2 时，未检出按检出限的 1/2 量值参与统计；样品检出率小于 1/2 时，未检出按检出限的 1/4 量值参与统计，计算结果不足 0.01 的按照 0.01 统计。									

表 4.2-36 生物质量污染指数表（非双壳类）

样品名称		总汞	铜	锌	镉	铅	砷	石油 烃	铬
A10	短蛸								
A11	金乌贼								
最大值									
最小值									
超标率									
注：样品检出率大于 1/2 时，未检出按检出限的 1/2 量值参与统计；样品检出率小于 1/2 时，未检出按检出限的 1/4 量值参与统计，计算结果不足 0.01 的按照 0.01 统计。									

## 4.2.6 海洋生态现状

本节引用 2025 年 4 月项目附近海域的生态现状调查资料《海南-广东电力灵活互济工程海洋生态调查报告》。具体调查站位详见 4.3.2.1 节。

#### 4.2.6.1 调查项目

春海洋生态现状调查项目包括叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带、鱼卵和仔稚鱼、游泳生物。

#### 4.2.6.2 采样与分析方法

##### 1、采样方法

##### (1) 叶绿素 a

取水样 0.5L，加 5mL 饱和碳酸镁后用玻璃纤维滤膜现场过滤，滤膜冷冻避光干燥保存，带回实验室提取后测定。

##### (2) 浮游动物和浮游植物网样

a. 下网前应检查网具是否有破损，发现破损应及时修补或及时更换网衣；检查网底管的流量计是否处于正常状态，并把流量计指针拨至零；放网入水，当网口接近水面时，需调整计数器指针于零的位置；网口入水后，下网速度一般不能超过 1m/s，以钢丝绳保持紧直为准；当网具接近海底时，绞车应减速，当沉锤着底，钢丝绳出现松弛时，应立即停车，记下绳长。

b. 网具达到海底后可立即起网，速度保持在 0.5m/s 左右；网口未露出水面前不可停车；网口离开水面后应减速并及时停车，谨防网具碰刮船底或卡环碰撞滑轮。

c. 把网升至适当高度，用冲水设备自上而下反复冲洗网衣外表面（勿使冲洗的海水进入网口），使黏着于网上的标本集中于网底管内；将网收入甲板，开启网底管活门，把标本装入标本瓶，再关闭网底管活门，用洗耳球冲洗筛绢套，如此反复多次，直至残留标本全部收入标本瓶。分别加入固定剂即可。夜光藻纳入浮游植物的优势度、多样性指数等评价方法的计算。

##### (3) 底栖生物

a. 0.05m<sup>2</sup> 的采泥器每次取三次，特殊情况下不少于 2 次。

b. 用筛子将底泥洗净，镊子挑出底栖动物于 100ml 聚乙烯瓶中用 5% 甲醛固定。

##### (4) 潮间带生物

用潮间带定量采样框采样，每个潮带设高、中、底 3 个断面。泥样用三层套筛进行

生物分选，上层网目为 2.0 mm，中层网目为 1.0 mm，下层网目为 0.5 mm。

#### （5）鱼卵、仔鱼

采用浅水 I 型浮游动物网，每站自底层到表层垂直拖网 1 次，经 5%福尔马林固定，带回实验室后进行分类、鉴定和计数，计算方法以个（尾）/m<sup>3</sup> 计算。

#### （6）游泳动物

渔业资源拖网调查和分析方法按《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》（GB 17378.7-2007）中的“近海污染生态调查和生物监测”及《海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查》（GB/T 12763.6-2007）中“海洋生物调查”的有关要求进行。

### 2、分析方法

海洋生物生态项目的分析按照《海洋监测规范》（GB 17378-2007）和《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）规定的方法开展。

**表 4.2-37 海洋生物生态项目分析方法**

序号	指标	检测依据	分析方法	检出限	仪器
1	浮游植物	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB17378.7-2007/5	浓缩计数法	——	BX43 生物显微镜
2	浮游动物	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB17378.7-2007/5	浓缩计数法	——	BX43 生物显微镜
3	大型底栖生物	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB17378.7-2007/6	镜检法	——	SZ61 变焦体视显微镜
4	游泳动物	《海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查》GB/T 12763.6-2007/14	目测法	——	——
5	鱼类浮游生物	《海洋调查规范 第 6 部分：鱼类浮游生物调查》GB/T 12763.6-2007/9	镜检法	——	BX43 生物显微镜
6	叶绿素 a	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB17378.7-2007/8.2	紫外分光光度法	——	752 紫外可见分光光度计
7	潮间带生物	《海洋监测规范 第 7 部分：近海污染生态调查和生物监测》GB17378.7-2007/7	镜检法	——	SZ61 变焦体视显微镜

### 4.2.6.3 评价方法

#### 1、海洋生物生物量、密度计算方法

##### （1）初级生产力计算方法

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

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

式中:

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

P-现场初级生产力(mg · C/(m<sup>2</sup> · d))

Chla-真光层内平均叶绿素 a 含量(mg/m<sup>3</sup>)

Q-不同层次同化指数算术平均值,取 3.71

D-昼长时间(h),根据季节和海区情况取 12.0 小时

E-真光层深度(m),取透明度(m)\*2.71

## (2) 浮游植物细胞数量计算方法

依照《海洋调查规范》(GB/12763.6-2007),网采样品运用浓缩计数法的统计方法计算浮游植物细胞数量,计算公式如下:

$$C = \frac{nV_1}{V_2V_n}$$

式中:

C——单位体积海水种标本总量,单位为个每立方米 (cells/m<sup>3</sup>);

n——取样计数个数,单位为个 (cells);

V<sub>1</sub>——水样浓缩的体积,单位为毫升 (mL);

V<sub>2</sub>——滤水量,单位为立方米 (m<sup>3</sup>);

V<sub>n</sub>——取样计数的体积,单位为毫升 (mL)。

## (3) 浮游动物生物量、密度计算方法

依照《海洋监测规范》(GB17378.7-2007),湿重生物量以 mg/m<sup>3</sup> 表示,浮游动物个体数以个/m<sup>3</sup> 表示,计算公式分别如下:

浮游动物湿重生物量计算公式:

$$B = \frac{S}{V}$$

式中:

B——湿重生物量,单位为毫克每立方米 (mg/m<sup>3</sup>) 或体积生物量,单位为毫升每立方米 (mL/m<sup>3</sup>);

$S$ ——样品湿重，单位为毫克（mg）或样品体积，单位为毫升（mL）；

$V$ ——滤水量，单位为立方米（m<sup>3</sup>）。

浮游动物个体数计算公式：

$$N = \frac{n \cdot a}{V}$$

式中：

$N$ ——每立方米水体中的个体数，单位为个每立方米（个/m<sup>3</sup>）；

$n$ ——取样计数所得的个体数，单位为个；

$a$  ——取样体积与样品总体积之比；

$V$ ——滤水量，单位为立方米（m<sup>3</sup>），根据绳长计算滤水量。

#### （4）底栖生物生物量、密度计算方法

依照《海洋监测规范》（GB17378.7-2007），将所有站位的实测生物个体数和生物量数据按其采样面积换算成个/m<sup>2</sup>和 g/m<sup>2</sup>，分别表示生物密度和生物量。

#### （5）渔业资源密度（尾数、重量）计算方法

本次调查水域各测站拖网资源密度的估算采用扫海面积法，拖网网具鱼类、虾类、蟹类和其它类（尾数、重量）逃逸率均为 0.5。渔业资源密度以各站拖网渔获量（重量、尾数）和拖网扫海面积来估算，计算式为：

$$\rho_i = C_i / a_i q$$

式中： $\rho_i$ ——第  $i$  站的资源密度（重量：kg/km<sup>2</sup>；尾数：ind./km<sup>2</sup>）；

$C_i$ ——第  $i$  站的每小时拖网渔获量（重量：kg/h；尾数：ind./h）；

$a_i$ ——第  $i$  站的网具每小时扫海面积（km<sup>2</sup>/h）（网口水平扩张宽度（km）×拖曳距离（km）），拖曳距离为拖网速度（km/h）和实际拖网时间（ $h$ ）的乘积；

$q$  ——网具捕获率（可捕系数=1-逃逸率），其中：中上层游泳动物逃逸率取 0.7；近底层游泳动物逃逸率取 0.5；底层游泳动物逃逸率取 0.2。

## 2、物种优势度

采用物种优势度  $Y$  作为研究某种生物在群落中所占的重要性。

$$Y = N_i / N * f_i$$

式中：

$Y$ ——优势度；

$N_i$ ——样品中第  $i$  种的个体数；

N—样品中所有种的总个体数；

$f_i$ —第  $i$  种在所有样品中的出现频率。

一般认为  $Y > 0.02$  的物种为优势种。

游泳动物优势种的确定往往需要考虑到鱼类季节分布特点和个体大小差异，朱鑫华和唐启生（2002）经比较多种优势种测定模型，认为相对重要性指数能较好地刻画鱼类优势种特征（Pinkas, 1971）。所谓优势种，应具有数量和重量上占居显著比例的成分属性。相对重要性指数计算公式如下：

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\% \times 10000$$

上式中， $N\%$  为某一物种尾数占总尾数的百分比； $W\%$  为该物种重量占总重量的百分比； $F\%$  为某一物种出现的站数占调查总站数的百分比。

取  $IRI > 1000$  的种类为优势种； $1000 > IRI > 100$  的种类为重要种； $100 > IRI > 10$  的种类为常见种类； $10 > IRI > 1$  的种类为一般种类； $IRI < 1$  的种类为少见种类。

### 3、物种多样性计算公式

群落物种多样性的高低，除了受取样大小、数量的分布外，只要依赖于群落中种类数多少及种间个体分布是否均匀。物种多样性 Shannon-Wiener ( $H'$ ) 指数、均匀度 ( $J$ )、丰富度 ( $d$ ) 计算公式如下：

#### (1) 香农—威纳 (Shannon—Wiener) 多样性指数 $H'$ ：

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

式中：

$H'$ —种类多样性指数；

$S$ —样品中的种类总数；

$P_i$ —第  $i$  种的个体数 ( $n_i$ ) 与总个体数 ( $N$ ) 的比值 ( $n_i/N$ )。

#### (2) 皮诺 (Pielou) 均匀度指数 $J'$ ：

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

式中：

$J'$ —均匀度；

$H'$ —种类多样性指数；

$H_{\max} = \log_2 S$ —为多样性指数的最大值；

$S$ —样品中的种类总数。

(3) 马卡列夫 (Margalef) 丰富度指数  $d$ :

$$d = \frac{(S-1)}{\ln N}$$

式中:

$d$ —丰富度;

$S$ —样品中的物种总数;

$N$ —采集样品中所有物种的总体个数。

(4) 种类优势度  $D$ :

$$D = \frac{N_1 + N_2}{N_T}$$

式中:

$D$ ——优势度;

$N_1$ ——样品中第一优势种的个体数;

$N_2$ ——样品中第二优势种的个体数;

$N_T$ ——样品中的总个体数。

(5) 优势种优势度  $Y$  计算公式为:

$$Y = (n_i/N)f_i$$

式中:  $n_i$ ——群落中第  $i$  种的个体数

$N$ ——群落中所有物种的总个体数

$f_i$ ——第  $i$  种个体在各样品中的出现频率

#### 4.2.6.4 调查结果与评价

##### 4.2.6.4.1 叶绿素 a

叶绿素 a 是浮游植物现存量的良好指标。监测结果表明, 表层叶绿素 a 变化范围: (0.664~2.24)  $\mu\text{g/L}$ , 平均值为 1.30 $\mu\text{g/L}$ , 最小值出现在 A11 站位, 最大值出现在 A6 站位。底层变化范围: (0.427~1.63)  $\mu\text{g/L}$ , 平均值为 0.92 $\mu\text{g/L}$ , 最小值出现在 A11 站位, 最大值出现 A1 站位。

图 4.2-82 叶绿素 a 分布图

表 4.2-38 叶绿素 a 含量

样品名称	叶绿素-a (μg/L)	样品名称	叶绿素-a (μg/L)
A2 表层			
A2 10m			
A2 底层			
A10 表层			
A10 10m			
A10 50m			
A10 底层			
A11 表层			
A11 10m			
A11 50m			

#### 4.2.6.4.2 初级生产力

调查海域表层初级生产力范围为  $217.28\text{mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \sim 508.60\text{mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，平均值为  $354.60\text{mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，最小站位为 A11 号站位，最大站位为 A6 号站位。

图 4.2-83 初级生产力分布图

表 4.2-39 初级生产力数据

站位	层次	叶绿素 a (μg/L)	初级生产力 $\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
A2	表层		
A10	表层		
A11	表层		
A1	表层		
A4	表层		
A6	表层		
A7	表层		
A8	表层		
最大值	表层		
最小值	表层		
平均值	表层		



4.2.6.4.3 浮游植物

浮游植物是一类具有色素或色素体，能进行光合作用，并制造有机物的自养性浮游生物。它们和底栖藻类一起构成海洋中有机物的初级产量。浮游植物是海洋动物，尤其是幼体的直接或间接饵料，是海洋生物生产力的基础，在海洋渔业上具有重要意义。有些浮游植物具有富集污染物质的能力，可作为污染的指示生物。

1、种类组成及优势种

调查期间调查海域共鉴定出浮游植物 3 门 42 种（见浮游植物种名录），其中硅藻门 31 种，占浮游植物种类数的 73.81%，蓝藻门 1 种，占浮游植物种类数的 2.38%，甲藻门 10 种，占浮游植物种类数的 23.81%。在细胞数量组成中，硅藻占浮游植物细胞总数的 66.64%，蓝藻占浮游植物细胞总数的 6.37%，甲藻占浮游植物细胞总数的 26.99%。通过分析可知，调查海域中硅藻在种类和细胞数量上均占绝对优势。本次监测浮游植物优势种为派格棍形藻（*Bacillaria paxillifera*）、夜光藻（*Noctiluca scintillans*）、红海束毛藻（*Trichodesmium erythraeum*）、尖刺伪菱形藻（*Pseudo-nitzschia pungens*）、琼氏圆筛藻（*Coscinodiscus jonesianus*）。

图 4.2-84 浮游植物种类组成分布图

图 4.2-85 浮游植物细胞数量组成分布图

2、浮游植物数量的平面分布及种类数

调查期间各站间出现的细胞密度变化范围在  $(0.21\sim16.78)\times10^5$  个/ $m^3$  之间，平均值  $4.60\times10^5$  个/ $m^3$ ，最高值出现在 A1 号站，最低值出现在 A10 号站。浮游植物种类数变化范围在 13~20 种之间，种类最多的是 A6、A8 号站位，种类最少的是 A7 号站位。

图 4.2-86 调查海域浮游植物个种类数和生物密度分布图

表 4.2-40 调查海域浮游植物细胞密度和种类数

站位	物种数	细胞密度 ( $\times10^5$ 个/ $m^3$ )
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		

A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均值		

### 3、群落结构特征

调查海域浮游植物群落丰富度指数在 0.96~1.78 之间，平均丰富度为 1.34，其中最高丰富度出现在 A11 站位，最低为 A4 站位；均匀度变化范围 0.23~0.53，平均值为 0.38，以 A10 站位最高，A4 站位最低；多样性指数变化范围在 0.86~2.22，平均为 1.54，以 A10 站位最高，A4 站位最低；优势度指数范围为 0.23~0.65，平均值为 0.44，以 A10 站位最高，A4 站位最低。

**表 4.2-41 调查海域浮游植物群落特征指数表**

站位	丰富度	均匀度	多样性指数	优势度指数
A1				
A2				
A4				
A6				
A7				
A8				
A10				
A11				
最大值				
最小值				
平均值				

#### 4.2.6.4.4 浮游动物

##### 1、种类组成及优势种

2025 年 4 月调查期间调查海域共鉴定浮游动物 11 大类 42 种（见浮游动物种名录）。桡足类 16 种，占浮游动物种类组成 38.10%；刺胞动物 2 种，占浮游动物种类组成的 4.76%；栉板动物 1 种，占浮游动物种类组成的 2.38%；介形类 1 种，占浮游动物种类组成的 2.38%；十足类 1 种，占浮游动物种类组成的 2.38%；毛颚类 3 种，占浮游动物种类组成的 7.14%；

被囊类 2 种，占浮游动物种类组成的 4.76%；端足类 2 种，占浮游动物种类组成的 4.76%；异足类 1 种，占浮游动物种类组成的 2.38%；翼足类 1 种，占浮游动物种类组成的 2.38%；浮游幼体 12 种，占浮游动物种类组成的 28.57%。本次调查的浮游动物的优势种类（ $Y \geq 0.02$ ）为中华哲水蚤（*Calanus sinicus*）、针刺真浮萤（*Euconchoecia aculeata*）、肥胖软箭虫（*Flaccisagitta enflata*）、百陶带箭虫（*Centropages orsinii*）、长尾类幼虫（*Macrura larva*）、桡足类无节幼虫（*Copepoda Nauplius larva*）、桡足类桡足幼虫（*Copepoda Copepodite larva*）。

图 4.2-87 浮游动物种类组成分布图

2、浮游动物个体密度及生物量分布

2025 年 4 月调查海域浮游动物个体密度范围为 30 ~580 个/m<sup>3</sup>，平均值为 295 个/m<sup>3</sup>，最大值出现在 A8 号站，最小值出现在 A7 号站。生物量变化范围为 0.02 ~0.72mg/m<sup>3</sup>，均值为 0.43 mg/m<sup>3</sup>，最大值出现在 A1 号站，最小值出现在 A7 号。

图 4.2-88 调查海域浮游动物个体数量和生物量分布图

表 4.2-42 调查海域浮游动物密度和生物量

站位	个体密度（个/m <sup>3</sup> ）	生物量（mg/m <sup>3</sup> ）
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均值		

3、浮游动物群落特征

2025 年 4 月监测海域各站位浮游动物丰富度范围为 1.47 ~3.62，平均丰富度为 2.72，其中最高丰富度出现在 A11 站位，最低为 A7 站位；均匀度变化范围 0.50 ~0.89，平均值

为 0.69，以 A2 站位最高，A4 站位最低；多样性指数变化范围在 1.37~3.62，平均为 2.74，以 A11 站位最高，A7 站位最低；优势度指数范围为 0.46~0.91，平均值为 0.75，以 A2 站位最高，A7 站位最低。

表 4.2-43 调查海域浮游动物群落特征指数表

站位	丰富度	均匀度	多样性指数	优势度指数
A1				
A2				
A4				
A6				
A7				
A8				
A10				
A11				
最大值				
最小值				
平均值				

4.2.6.4.5 底栖动物

1、种类组成及优势种

2025 年 4 月监测海域共获底栖生物 39 种（种名录见附件底栖生物物种名录），隶属于环节动物、棘皮动物、节肢动物和软体动物 4 个类别。环节动物 8 种，占底栖生物总种数的 20.51%；棘皮动物 2 种，占底栖生物总种数的 5.13%；节肢动物 13 种，占底栖生物总种数的 33.33%；软体动物 16 种，占底栖生物总种数的 41.03%。优势种是红角沙蚕（*Cerafhereis erythraeensis*）、花索沙蚕（*Diopatra neapolitana*）、背毛背蚓虫（*Notomastus cf. aberans*）、背蚓虫（*Notomastus sp.*）、火红皱蟹（*Leptodius exaratus*）和珠带拟蟹守螺（*Cerithidea cingulata*）。

图 4.2-89 底栖生物种类组成分布图

2、底栖生物栖息密度和生物量分布

2025 年 4 月调查所得底栖生物栖息密度范围在（26~101）个/m<sup>2</sup> 之间，平均为 70 个/m<sup>2</sup>，最大值在 A11 号站，最小值在 A10 号站；生物量变化范围在（1.77~22.23）g/ m<sup>2</sup> 之间，平均为 12.93g/ m<sup>2</sup>，最大值在 A4 号站，最小值在 A10 号站。

图 4.2-90 调查海域底栖生物栖息密度和生物量分布图

表 4.2-44 调查海域底栖生物栖息密度和生物量

站位	栖息密度 (个/m <sup>2</sup> )	生物量 (g/m <sup>2</sup> )
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均值		

### 3、底栖生物群落特征

调查海域底栖生物群落丰富度范围为 0.92 ~3.26，平均丰富度为 2.00，其中最高丰富度出现在 A4 站位，最低为 A10 站位；均匀度变化范围 0.88~0.94，平均值为 0.90，以 A8 站位最高，A6、A11 站位最低；多样性指数变化范围在 1.78~3.74，平均为 2.83，以 A4 站位最高，A10 站位最低；优势度指数变化范围在 0.70~0.92，平均值为 0.84，以 A4 站位最高，A10 站位最低。

表 4.2-45 调查海域底栖生物群落特征指数表

站位	丰富度	均匀度	多样性指数	优势度指数
A1				
A2				
A4				
A6				
A7				
A8				
A10				
A11				
最大值				

最小值				
平均值				

#### 4.2.6.4.6 潮间带生物

##### 1、种类组成及优势种

2025 年 4 月春季调查区共设置 3 条潮间带断面，共鉴定潮间带生物 27 种，隶属于节肢动物、软体动物、环节动物和棘皮动物（详见潮间带生物种名录）。其中环节动物 2 种，占总种数的 7.41%；软体动物 17 种，占总种数的 62.96%；节肢动物 7 种，占总种数的 25.93%；棘皮动物 1 种，占总种数的 3.70%。本次调查的潮间带生物的优势种类( $Y \geq 0.02$ ) 为红角沙蚕（*Ceratothoe erythraeensis*）、背毛背蚓虫（*Notomastus cf. aberans*）、短石蛭（*Lithophaga curtus*）、纵带滩栖螺（*Batillaria zonalis*）、珠带拟蟹守螺（*Cerithidea cingulata*）、尖锥拟蟹守螺（*Cerithidea largillierti*）、疣荔枝螺（*Reishia clavigera*）、棒锥螺（*Turritella bacilluurn*）、弧边招潮蟹（*Metopograpsus frontalis*）、光石蛭（*Lithophaga teres*）、斑点短桨蟹（*Thalamita picta*）、光滑异装蟹（*Heteropanope glabra*）、布纹蚶（*Timoclea scabra*）。

图 4.2-91 潮间带生物种类组成分布图

##### 2、潮间带生物栖息密度和生物量分布

2025 年 4 月调查所得潮间带分区生物栖息密度变化范围在（20~154）个/m<sup>2</sup>之间，平均值为 72 个/m<sup>2</sup>，栖息密度最高的为 C2 潮下带，最低的为 C3 潮上带；生物量变化范围在（11.93~104.62）g/m<sup>2</sup>之间，平均值为 46.37g/m<sup>2</sup>，生物量最高为 C2 潮下带，最低断面为 C3 潮上带。

表 4.2-46 调查海域潮间带生物栖息密度和生物量

调查断面	潮区	栖息密度（个/m <sup>2</sup> ）	生物量(g/m <sup>2</sup> )
C1	潮上带		
	潮中带		
	潮下带		
C2	潮上带		
	潮中带		
	潮下带		
C3	潮上带		

	潮中带		
	潮下带		
最大值			
最小值			
平均值			

C1 断面潮间带底栖生物各潮区栖息密度和生物量范围分别为 64~96 个/m<sup>2</sup> 和 44.56~59.02 g/m<sup>2</sup>，均值分别为 79 个/m<sup>2</sup> 和 52.12g/m<sup>2</sup>。

C1 断面潮间带底栖生物各分区栖息密度和生物量的分布如下图所示，由图可见：从栖息密度的分布来看，潮中带>潮下带>潮上带，生物量的分布表现为潮中带>潮上带>潮下带。

**图 4.2-92 调查海域潮间带 C1 生物栖息密度和生物量分布图**

C2 断面潮间带底栖生物各潮带栖息密度和生物量范围分别为 73~154 个/m<sup>2</sup> 和 33.44~104.62 g/m<sup>2</sup>，均值分别为 103 个/m<sup>2</sup> 和 68.61 g/m<sup>2</sup>。

C2 断面潮间带底栖生物各分区栖息密度和生物量的分布如下图所示，由图可见：从栖息密度的分布来看，潮下带>潮上带>潮中带，生物量的分布表现为潮下带>潮上带>潮中带。

**图 4.2-93 调查海域潮间带 C2 生物栖息密度和生物量分布图**

C3 断面潮间带底栖生物各潮区栖息密度和生物量范围分别为 20~52 个/m<sup>2</sup> 和 11.93~25.09g/m<sup>2</sup>，均值分别为 34 个/m<sup>2</sup> 和 18.39 g/m<sup>2</sup>。

C3 断面潮间带底栖生物各分区栖息密度和生物量的分布如下图所示，由图可见：从栖息密度的分布来看，潮中带>潮下带>潮上带，生物量的分布表现为潮下带>潮中带>潮上带。

**图 4.2-94 调查海域潮间带 C3 生物栖息密度和生物量分布图**

### 3、潮间带生物群落特征

调查海域潮间带生物群落丰富度范围为 0.67 ~2.30，平均丰富度为 1.57，其中最高丰富度出现在 C1 潮下带，最低为 C3 潮上带；均匀度变化范围 0.72~0.98，平均值为 0.88，以 C2 潮上带，C3 潮下带最低；多样性指数变化范围在 1.35~3.39，平均为 2.50，以 C2 潮上带最高，C3 潮上带最低；优势度指数变化范围在 0.58~0.90，平均值为 0.79，以 C2

潮下带最高，C3 潮上带最低。

表 4.2-47 调查海域潮间带生物群落特征指数表

站位	丰富度	均匀度	多样性指数	优势度指数
C1 上				
C1 中				
C1 下				
C2 上				
C2 中				
C2 下				
C3 上				
C3 中				
C3 下				
最大值				
最小值				
平均值				

4.2.6.4.7 鱼卵和仔稚鱼

(1) 种类组成

2025 年 4 月调查海域定性调查共采集到鱼卵、仔鱼样品 11 种，其中鱼卵 10 种，分别为多鳞鳢、江口小公鱼、凤鲚、小沙丁鱼属、日本绯鲤、黑棘鲷、鲆属、鹦嘴鱼属 SP.1、鹦嘴鱼属 SP.2、灯笼鱼属；仔鱼 2 种，分别为黑棘鲷、凡氏下银汉鱼。

表 4.2-48 调查海域鱼卵种类组成

样品编号			A1	A2	A4	A6	A7	A8	A10	A11
中文名	拉丁学名	类别	数量							




(2) 个体数量分布

2025 年 4 月调查海域垂直网定量样品经初步鉴定计有鱼卵、仔稚鱼 4 种（种名录见附件）。其中鱼卵出现种数 2 种，占鱼卵、仔稚鱼总种数的 50.00%；仔稚鱼出现种数 2 种，占鱼卵、仔稚鱼总种数的 50.00 %。本次调查鱼卵优势种为江口小公鱼（*Stolephorus commersonii*）、日本绯鲤（*Upeneus japonicus*）、黑棘鲷（*Acanthopagrus schlegeli*）、凡氏下银汉鱼（*Hypoatherina valenciennes*）。

图 4.2-95 调查海域鱼卵种类组成

8 个站位定量调查中，各调查站位鱼卵数量范围在 0~1.1ind/m<sup>3</sup> 之间，平均值为 0.3ind/m<sup>3</sup>；各调查站位仔鱼数量范围在 0~1.1/m<sup>3</sup> 之间，平均值为 0.3ind/m<sup>3</sup>。

表 4.2-49 调查海域鱼卵仔鱼密度统计表

站位	鱼卵尾数（ind/m <sup>3</sup> ）	仔鱼（ind/m <sup>3</sup> ）
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均值		

2025 年 4 月调查海域鱼卵、仔稚鱼丰富度变化范围在 1.44~1.82 之间，平均值为 1.63，丰富度最高出现在 A8 站位，最小值出现在 A1 站位；种类均匀度分布范围在 1.00~1.00 之间，平均为 1.00；种类多样性指数分布范围在 0.00~1.59 之间，平均为 0.32，最高出现在 A8 站位，最低则出现在 A2、A4、A6、A7、A10、A11 站位。

表 4.2-50 2025 年 4 月各监测站位多样性指数及均匀度

站位	丰富度( <i>D</i> )	均匀度( <i>J'</i> )	多样性指数( <i>H'</i> )
A1			
A2			
A4			
A6			
A7			
A8			
A10			
A11			
最小值			
最大值			
平均值			

4.2.6.4.8 游泳生物

(1) 渔获物种类组成

调查海域拖网调查共捕获游泳动物 78 种（见游泳动物种名录），其中鱼类 51 种，占总资源生物种类数的 65.38%；虾类 13 种，占总资源生物种类数的 16.67%；蟹类 11 种，占总资源生物种类数的 14.10%；头足类物 3 种，占总资源生物种类数的 3.85%。

表 4.2-51 渔获物种类组成表

类群	种数	百分比
鱼类		
虾类		
蟹类		
头足类		
合计		

图 4.2-96 拖网渔获物种类组成图

(2) 渔获物（重量、尾数）分类群组成

渔获物主要以鱼类、虾类、蟹类和头足类为主，其中鱼类占总重量的百分比为 80.95%，占总尾数百分比为 82.22%；虾类重量占总重量的百分比为 6.32%，尾数占总尾数百分比为 12.16%；蟹类重量占总重量的百分比为 10.07%，尾数占总尾数的百分比为 5.06%；软

体动物的重量占总重量的百分比为 2.67%，尾数占总尾数的 0.56%。

**表 4.2-52 渔获物(重量、尾数)分类群组成及百分比**

类群	重量百分比	尾数百分比
鱼类		
虾类		
蟹类		
头足类		
合计		

**图 4.2-97 游泳动物不同种类重量组成图**

**图 4.2-98 游泳动物不同种类数量组成图**

### 1) 鱼类

拖网渔获物中共捕获鱼类 51 种，其重量组成如下表（某一种类占其类别的比例），其中黄棘颈斑鲷重量占鱼类总重量的 19.09%、黑棘鲷占鱼类总重量的 13.32%、尖嘴鲷占鱼类总重量的 11.92%、短吻鲷占鱼类总重量的 10.22%、斑鲷占鱼类总重量的 9.61%、皮氏叫姑鱼占鱼类总重量的 6.99%；尾数组成如下表，其中黄棘颈斑鲷占鱼类总数量的 59.23%、黑棘鲷占鱼类总数量 2.27%、短吻鲷占鱼类总数量 14.11%、鹿斑鲷占鱼类总数量 5.16%、斑鲷占鱼类总数量 4.02%。

**表 4.2-53 拖网捕获鱼类重量、数量百分比**

序号	种类	湿重 (g)	重量百分比	尾数 (ind)	尾数百分比
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					

46					
47					
48					
49					
50					
51					

## 2) 虾类

拖网渔获物中共捕获虾类 13 种,其重量组成为:猛虾蛄 44.22%、哈氏仿对虾 24.43%、鹰爪虾 8.76%、伍氏平虾蛄 5.28%、葛氏长臂虾 4.57%、斑节对虾 3.06%、口虾蛄 3.06%、断脊口虾蛄 1.97%、凡纳滨对虾 1.44%、长毛明对虾 1.22%;其尾数组成为:鹰爪虾 37.39%、猛虾蛄 21.52%、哈氏仿对虾 14.81%、葛氏长臂虾 11.82%、斑节对虾 3.00%、鲜明鼓虾 2.65%、伍氏平虾蛄 2.12%、凡纳滨对虾 1.41%、口虾蛄 1.23%、须赤虾 1.23%。

**表 4.2-54 拖网捕获虾类重量、数量百分比**

序号	种类	湿重 (kg)	重量百分比	尾数 (ind)	尾数百分比
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					

## 3) 蟹类

拖网渔获物中共捕获蟹类 11 种,其重量组成为:锈斑蟳 45.24%、远海梭子蟹 29.70%、逍遥馒头蟹 6.63%、红星梭子蟹 5.45%、日本蟳 4.46%、红线黎明蟹 3.27%、三疣梭子蟹 2.68%、绵蟹 1.18%等;其尾数组成为:锈斑蟳 51.27%、远海梭子蟹 30.08%、红星梭子蟹 5.08%、逍遥馒头蟹 4.66%、日本蟳 2.12%、红线黎明蟹 1.69%、三疣梭子蟹 1.69%等。

表 4.2-55 拖网捕获蟹类重量、数量百分比

序号	种类	湿重 (g)	重量百分比	尾数 (ind)	尾数百分比
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

#### 4) 头足类

拖网渔获物中共捕获头足类 3 种, 重量组成为: 短蛸 51.02%、金乌贼 45.38%、中国枪乌贼 3.60%; 其尾数组成为: 短蛸 50.00 %、金乌贼 30.77%、中国枪乌贼 19.23%。

表 4.2-56 拖网捕获头足类重量、数量百分比

序号	种类	湿重 (g)	重量百分比	尾数 (ind)	尾数百分比
1					
2					
3					

#### (3) 渔获物 (重量、尾数) 平面分布

2025 年 4 月调查所得渔业资源拖网渔获尾数渔获率变化范围在 (368~1321) ind/h 之间, 平均为 583ind/h, 最大值在 A10 号站, 最小值在 A8 号站; 重量渔获率变化范围在 (7.04~13.62) kg/h 之间, 平均为 10.03kg/h, 最大值在 A4 号站, 最小值在 A10 号站。

图 4.2-99 调查海域渔获物重量平面分布图

图 4.2-100 调查海域渔获物尾数平面分布图

表 4.2-57 调查海域渔获物数量分布表

站位	重量渔获率 (kg/h)	尾数渔获率 (ind/h)
A1		

站位	重量渔获率 (kg/h)	尾数渔获率 (ind/h)
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均值		

### 1) 鱼类

拖网中鱼类渔获数量平均 479ind/h, 以 A10 号站位最高为 1279ind/h, A8 号站位最低为 245ind/h; 鱼类渔获重量平均 8.12kg/h, 以 A4 号站位最高为 11.40kg/h, 以 A10 号站位最低为 5.46kg/h。

**表 4.2-58 调查海域鱼类渔获数量分布表**

站位	尾数渔获率 (ind/h)	重量渔获率 (kg/h)
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均数		

### 2) 虾类

拖网中虾类平均渔获数量 71ind/h, 以 A1 号站位最高为 114ind/h, A10 号站位最低为 17ind/h; 虾类渔获重量平均 0.63kg/h, 以 A8、A11 号站位最高为 1.31kg/h, 以 A6 号

站位最低为 0.17kg/h。

表 4.2-59 调查海域虾类渔获数量分布表

站位	尾数渔获率 (ind/h)	重量渔获率 (kg/h)
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均数		

### 3) 蟹类

拖网中蟹类平均渔获数量 30ind/h，以 A4 号站位最高为 45ind/h，A10 号站位最低为 15ind/h；蟹类渔获重量平均 1.06kg/h，以 A11 号站位最高为 1.89kg/h，以 A10 号站位最低为 0.47kg/h。

表 4.2-60 调查海域蟹类渔获数量分布表

站位	尾数渔获率 (ind/h)	重量渔获率 (kg/h)
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均数		

### 4) 头足类

拖网中头足类平均渔获数量 3ind/h，以 A10 号站位最高为 10ind/h，A1、A2 号站位



最低为 0ind/h；头足类渔获重量平均 0.27kg/h，以 A10 号站位最高为 0.81kg/h，以 A1、A2 号站位最低为 0kg/h

表 4.2-61 调查海域蟹类渔获数量分布表

站位	尾数渔获率 (ind/h)	重量渔获率 (kg/h)
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均数		

(4) 渔业资源密度（重量、尾数）平面分布

根据扫海面积法计算，尾数资源密度均值为 20816.96ind./km<sup>2</sup>，重量资源密度均值为 358.08kg/km<sup>2</sup>。尾数资源密度和重量资源密度分布不均匀，尾数资源密度最大值出现在 A10 站位为 47178.57ind./km<sup>2</sup>，最小值出现在 A8 站位，为 13142.86ind./km<sup>2</sup>；重量资源密度以 A4 站位最高为 486.35kg/km<sup>2</sup>，A10 站位最低为 251.58kg/km<sup>2</sup>。

图 4.2-101 调查海域渔获物重量资源密度空间分布

图 4.2-102 调查海域渔获物尾数资源密度空间分布

表 4.2-62 调查海域各站位渔业资源资源密度

站位	尾数资源密度 (ind/km <sup>2</sup> )	重量资源密度 (kg/km <sup>2</sup> )
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		

A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均数		

### 1) 鱼类

调查海域各站位鱼类平均尾数资源密度 17116.07ind./km<sup>2</sup>，鱼类资源尾数最大密度出现在 A10 站位，为 45679.57ind./km<sup>2</sup>，最小密度出现在 A8 站位，为 8750.00ind./km<sup>2</sup>；重量资源密度平均值为 289.85kg/km<sup>2</sup>，鱼类重量资源密度以 A4 站位最高为 407.10kg/km<sup>2</sup>，以 A10 站位最低为 194.89kg/km<sup>2</sup>。

**表 4.2-63 调查海域调查海域各站位鱼类资源资源密度**

站位	尾数资源密度 (ind/km <sup>2</sup> )	重量资源密度 (kg/km <sup>2</sup> )
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均数		

### 2) 虾类

拖网中虾类平均渔获数量 2531.25ind./km<sup>2</sup>，以 A1 号站位最高为 4071.43ind./km<sup>2</sup>，A10 号站位最低为 607.14ind./km<sup>2</sup>；虾类渔获重量平均 22.62kg/km<sup>2</sup>，以 A8 号站位最高为 46.83kg/km<sup>2</sup>，以 A6 号站位最低为 5.94kg/km<sup>2</sup>。

**表 4.2-64 调查海域调查海域各站位虾类资源资源密度**

站位	尾数资源密度 (ind/km <sup>2</sup> )	重量资源密度 (kg/km <sup>2</sup> )
A1		

A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均数		

### 3) 蟹类

拖网中蟹类平均渔获数量 1053.57ind./km<sup>2</sup>，以 A4 号站位最高为 1607.14ind./km<sup>2</sup>，A10 号站位最低为 535.71ind./km<sup>2</sup>；蟹类渔获重量平均 36.06kg/km<sup>2</sup>，以 A11 号站位最高为 67.56kg/km<sup>2</sup>，以 A10 号站位最低为 16.91kg/km<sup>2</sup>。

**表 4.2-65 调查海域调查海域各站位蟹类资源资源密度**

站位	尾数资源密度 (ind/km <sup>2</sup> )	重量资源密度 (kg/km <sup>2</sup> )
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均数		

### 4) 头足类

拖网中头足类平均渔获数量 116.07ind./km<sup>2</sup>，以 A10 号站位最高为 357.14ind./km<sup>2</sup>，A1、A2 号站位最低为 0.00ind./km<sup>2</sup>；头足渔获重量平均 9.55kg/km<sup>2</sup>，以 A10 号站位最高为 28.97kg/km<sup>2</sup>，以 A1、A2 号站位最低为 0.00kg/km<sup>2</sup>。

表 4.2-66 调查海域各站位头足类资源资源密度

站位	尾数资源密度 (ind/km <sup>2</sup> )	重量资源密度 (kg/km <sup>2</sup> )
A1		
A2		
A4		
A6		
A7		
A8		
A10		
A11		
最大值		
最小值		
平均数		

### (5) 渔获物优势种及平面分布

拖网调查优势种有 5 种，分别为黄棘颈斑鲷、短吻鲷、尖嘴鲷、黑棘鲷、斑鲷，占总渔获重量的 51.93%，占总渔获尾数的 66.35%；重要种有 13 种，分别是皮氏叫姑鱼、蓝圆鲹、细纹鲷、鹿斑鲷、鲷、焦氏舌鲷、灰鳍棘鲷、黑口鲷、猛虾蛄、哈氏仿对虾、鹰爪虾、远海梭子蟹、锈斑蟊，占总渔获重量的 29.56%，占总渔获尾数的 23.44%；常见种有 23 种，分别是多齿蛇鲷、竹荚鱼、青鳞小沙丁鱼、仰口鲷、犬牙鲷、斑条鲷、双线舌鲷、多鳞鲷、真鲷、黄鳍棘鲷、食蟹豆齿鳗、伍氏平虾蛄、葛氏长臂虾、斑节对虾、凡纳滨对虾、鲜明鼓虾、红星梭子蟹、逍遥馒头蟹、红线黎明蟹、三疣梭子蟹、日本蟊、金乌贼和短蛸，占总渔获重量的 14.26%，占总渔获尾数的 8.06%；一般种有 32 种，占总渔获重量的 4.40%，占总渔获尾数的 2.08%；少见种有 3 种，占总渔获重量的 0.13%，占总渔获尾数的 0.06%。

#### 1) 鱼类

拖网渔获中，鱼类重量优势种主要有短吻鲷、黄棘颈斑鲷、尖嘴鲷和黑棘鲷，其中黄棘颈斑鲷重量所占百分比最高，占 19.09%；鱼类尾数优势种主要有短吻鲷、黄棘颈斑鲷，黄棘颈斑鲷尾数所占百分比最高，占 53.23%。

#### 2) 虾类

拖网渔获中，虾类重量优势种主要有猛虾蛄、哈氏仿对虾，其中猛虾蛄重量所占百

分比最高，占 44.22%，虾类尾数优势种主要有猛虾蛄、哈氏仿对虾、葛氏长臂虾和鹰爪虾，鹰爪虾尾数所占百分比最高，占 37.39%。

3) 蟹类

拖网渔获中，蟹类重量优势种主要有远海梭子蟹、锈斑蟳，其中锈斑蟳重量所占百分比最高，占 45.24%；蟹类尾数优势种主要有远海梭子蟹、锈斑蟳，锈斑蟳尾数所占百分比最高，占 51.27%。

4) 头足类

拖网渔获中，头足类重量优势种主要有金乌贼、短蛸，其中短蛸重量所占百分比最高，占 51.02%；头足类尾数优势种主要有金乌贼、短蛸和中国枪乌贼，短蛸尾数所占百分比最高，占 50.00%。

表 4.2-67 调查海域游泳动物优势度

门类	物种	N%	W%	F%	IRI	类别
鱼类						

虾类						

蟹类						
头足类						

## （6）生物群落特征

历史文献中，物种多样性的计算通常采用个体数（尾数）数据，但近来越来越多的报道也采用生物量数据来计算物种多样性指数，因为生物量能更直接的反映生物能量的情况。因此，通过尾数与生物量两组数据，对调查海域渔业生物的物种多样性进行计算。

调查海域渔获物尾数丰富度范围为 2.51~6.71，平均值为 4.90，以 A4 站位最高，A10 站位最低；重量丰富度范围为 2.03~4.41，平均值 3.31，以 A4 站位最高，A10 站位最低。

调查海域渔获物尾数均匀度范围为 0.19~0.78，平均值为 0.65，以 A8 站位最高，A10 站位最低；重量均匀度范围为 0.76~0.86，平均值 0.82，以 A10 站位最高，A4 站位最低。

调查海域渔获物尾数多样性指数范围为 0.83~3.84，平均值为 3.24，以 A8 站位最高，A10 站位最低；重量多样性指数范围为 3.66~4.27，平均值为 4.05，以 A2 站位最高，A10 站位最低。

各个站位的群落物种多样性指数见下表：

**表 4.2-68 各站位渔业资源重量及尾数多样性指数**

站位	尾数多样性指数			重量多样性指数		
	丰富度	均匀度	多样性指数	丰富度	均匀度	多样性指数
A1						
A2						
A4						
A6						
A7						
A8						
A10						
A11						
最大值						
最小值						
平均数						

### 4.2.7 海洋生态敏感区

#### 4.2.7.1 广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区及项目周边珊瑚礁概况与调查

广东省徐闻珊瑚礁自然保护区是由 2000 年成立的徐闻县属灯楼角-石马角珊瑚自然保护区于 2003 年升级的。它位于雷州半岛西南徐闻县西岸北起（石马角西北面）南至（灯楼角南面）东起（灯楼角东面）西至（响栏角西面），南北长 30.3km，东西宽 2km~6.5km 不等，主要分布于徐闻角尾、迈陈、西连 3 个乡镇的西海岸一带。广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区是以保护珊瑚礁生态系统为主，集资源保护、科学研究、宣传教育和可持续利用为一体的综合性自然保护区，属于海洋与水产行政部门管理的社会公益性事业单位。

广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区的保护对象为：具有北热带特点的热带珊瑚礁为主的珊瑚礁生态系统；保护区内分布的珊瑚及其栖息地；保护区内分布的珍稀濒危海洋动物及其栖息地；热带珊瑚礁生物多样性；丰富的景观资源和旅游资源。根据中华人民



共和国国家标准《自然保护区类型与级别划分原则》，确定该自然保护区为“自然生态系统”类别中的“海洋和海岸生态系统类型”自然保护区。

**图 4.2-103 广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区于本项目位置距离示意图**

根据项目组所收集资料及参考《海南-广东电力灵活互济工程对广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区及项目周边珊瑚礁生态影响评价报告》等项目对广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区的调查，可得到保护区目前珊瑚礁现状如下：

#### **4.2.7.1.1 2018 年 4 月保护区调查**

##### **(1) 调查概况**

基于 与 于 2018 年 4 月在徐闻珊瑚礁保护区开展的系统调查（采用样带法，共设置 10 个调查站位），本报告对保护区内的珊瑚资源状况进行了评估。调查内容涵盖珊瑚种类组成、覆盖率、生物多样性状况以及珊瑚病害情况等关键方面。

**图 4.2-104 2018 年 4 月广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区调查站位图**

##### **(2) 结果与分析**

通过录像样带定量调查、实地调查及拍摄定性分析，记录了鉴定到种的石珊瑚 12 科 46 种，调查发现新记录种 16 种。各调查区域定量样带调查结果显示，角孔珊瑚和盾形陀螺珊瑚为徐闻保护区内的主要优势种类。另外，在个别站位，膨胀蔷薇珊瑚、扁脑珊瑚以及滨珊瑚也属于优势种类。

结合历史数据，徐闻珊瑚礁保护区发现的造礁石珊瑚达到 76 种。但有些物种在本次调查中并未发现，推测与调查位点的选取、当地环境变化和人为活动影响有关。

2018 年调查发现徐闻珊瑚礁保护区内的石珊瑚优势种逐渐变成角孔珊瑚和盾氏陀螺珊瑚。2015 年广东省质量公报数据显示角孔珊瑚、扁脑珊瑚为当地的优势物种；在 2011 年的调查中发现，石珊瑚的优势种主要是滨珊瑚、块状蜂巢珊瑚、鹿角珊瑚等；在 2002 年的调查中发现，当地优势种主要为粗野鹿角珊瑚、澄黄滨珊瑚；在 2001 年的调查中发现，鹿角珊瑚科、滨珊瑚科、木珊瑚科中盾形陀螺珊瑚分布最普遍。与以往调查的优势种相比，鹿角珊瑚的优势度逐渐消失，角孔珊瑚逐渐成为主要的优势物种，推测这种变化与不同珊瑚对水质环境透明度需求有关。在 2009 年的研究剖面中发现，徐闻西部沿岸海

域活珊瑚覆盖度最高可达到 39.2%；在 2011 年从系统取样的调查结果中得到整个珊瑚礁区活珊瑚的平均覆盖度为 28.9%；2015 年广东省质量公报公布的保护区内石珊瑚平均覆盖率为 15.05%，变化范围为 1.7%~44.3%。

本次调查中 2m 水深石珊瑚平均覆盖率为 10.71%，4m 水深石珊瑚平均覆盖率为 8.35%，平均覆盖度 8.96%，覆盖率较往年调查结果有所下降，推测原因可能与调查选址有关，本次珊瑚调查仅选取 10 个站位进行调查。从调查结果来看，多个站位珊瑚覆盖率及多样性指数较低，并且珊瑚病死率也不高，推测调查站位并非珊瑚主要分布区域。

#### 4.2.7.1.2 2023 年 4 月保护区调查

##### (1) 调查概况

于 2023 年 4 月对广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区内珊瑚资源进行水下调查，共设置站位 7 个。调查内容涵盖珊瑚种类、珊瑚覆盖度、珊瑚死亡率、珊瑚补充量、软珊瑚种类和珊瑚礁敌害、病害情况以及珊瑚礁鱼类等，结果分析如下。

本次调查站位中的 NF28 站位水深 22 米、底质为沙泥；NF32 号站位于琼州海峡海域和北部湾海域合水区，水深 13 米、水流湍急，底质为粗砂间礁石。以上 2 个站位因水深、水流以及透明度问题，不适宜潜水调查。

图 4.2-105 珊瑚礁调查区域布设图

##### (2) 结果与分析

###### 1) 珊瑚分布

5 个站位分别布设 2 条样带，均位于 6 米水深以浅区域。5 个站位的珊瑚覆盖率均较低，珊瑚覆盖率范围在（0~5.8%），平均覆盖率为 1.7%，除去未发现珊瑚礁点位，平均覆盖率 2.1%。整体看来，调查的 5 个站位中底质以礁石为主，占 35.44%，砂占 31.44%，大型藻类占 22.74%。

表 4.2-69 珊瑚礁底质情况

样带	水深(m)	活珊瑚覆盖率（%）		底质类型			其他生物（%）			总珊瑚覆盖度（%）	
		硬珊瑚	软珊瑚	礁石	砂	软泥	大型藻类	海绵	海鞘		
NF29-1											
NF29-2											
NF30-1											
NF30-2											
NF31-1											
NF31-2											
NF33-1											
NF33-2											
NF34-1											
NF34-2											
平均值											

图 4.2-106 各站位活硬珊瑚覆盖率

图 4.2-107 各站位底质类型比例

2) 珊瑚种类

本次调查珊瑚共发现硬珊瑚 10 科 16 属 24 种，主要优势种为斯氏伯孔珊瑚。本次调查总体发现活珊瑚种类较少，仅发现极少量白化珊瑚，多为死亡多年的珊瑚礁石；春季的到来导致藻类爆发，一定程度上也抑制了珊瑚生长。

表 4.2-70 硬珊瑚名录

科名	属名	种名	


4.2.7.1.3 2025 年 8-9 月珊瑚礁调查

2025 年 8-9 月珊瑚礁调查结果引自《海南-广东电力灵活互济工程对广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区及项目周边珊瑚礁生态影响评价报告》（报批稿）。本项目针对涉及的海南和广东两侧近岸段开展珊瑚礁调查，海南侧项目附近珊瑚礁状况调查于 2025 年 8 月 1 日至 4 日开展,广东侧项目附近珊瑚礁状况调查于 2025 年 9 月 5 日至 9 月 9 日开展。

项目珊瑚礁调查综合考虑了广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区、海南和广东珊瑚礁生态保护红线内珊瑚礁及项目路由区域零星珊瑚礁分布三个层面：

- 1.在自然保护区、生态保护红线区域中可能受项目影响范围开展珊瑚礁样线调查，用于反映项目建设前该区域珊瑚礁现状，便于项目施工期及投产后跟踪比对。
- 2.项目路由范围内珊瑚礁分布情况通过单波束结合极浅水多波束、侧扫及浅剖测量，对路由沿线地形地貌进行探查，划分出珊瑚礁适宜生长的区域。调查结果表明项目路由在海南侧以定向钻方式穿过礁石分布区，广东侧路由未涉及礁石分布区域。根据海南省自然资源和规划厅提供的澄迈县现状珊瑚礁分布资料，海南侧定向钻所穿越礁石分布区

为澄迈县现状珊瑚礁分布区域。在考虑陆上工作井布设和避开周边已建海缆的前提下，海南侧定向钻路由已选择礁石分布最窄处穿越，在选线阶段减少对珊瑚礁的潜在影响。按照《海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 5 部分：珊瑚礁》(HY/T 0460.5-2024)，进一步在海南侧定向钻段海缆路由沿线布设调查样线，调查珊瑚礁分布区域及登陆点附近珊瑚礁生态现状。考虑到海南侧定向钻路由所穿越礁石分布区域水深在 10 米内，根据导则要求，本项目在 2m~5m、6m~10m 处沿等深线布设 2 条调查断面，分别为 5.2m 和 8.1m 水深处。考虑到定向钻出钻点会对地表进行钻孔开挖，在定向钻出钻点处增补一条调查样线（9.2m 水深），以调查定向钻出钻点处珊瑚礁分布情况。此外，根据初步调查结果，海南侧登陆段珊瑚礁在 6 米水深线以内分布，为调查珊瑚礁在路由沿线分布的情况，本项目设置了近岸岸线到 6m 水深珊瑚礁调查样线（调查时水深为 3.7~5.8m）。

(1) 调查方法

①总体思路与调查依据

I、总体思路

按照《海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 5 部分：珊瑚礁》（HY/T 0460.5-2024）的调查方法，确定珊瑚群落的分布海域和分布范围，鉴定并分析珊瑚的种类；调查珊瑚群落结构组成，了解珊瑚群落分布区的底质类型；调查记录人类和自然对珊瑚礁的影响；根据上述调查结果，综合评价调查区域内珊瑚群落的资源状况，分析影响该海域的珊瑚群落生长分布、白化和衰退死亡的因素。

II 调查依据

- 《海岸带生态系统现状调查与评估技术导则 第 5 部分：珊瑚礁》HY/T 0460.5—2024；
- 《珊瑚礁生态监测技术规程》HY/T082-2005。

②调查范围

在项目附近共布设 8 个珊瑚礁调查点位，每个调查点位附近沿等深线方向布设 3 条断面，断面之间相互平行，断面长度 50m。调查断面坐标如下表所示。由于本项目通过定向钻底土穿越的方式穿越海南澄迈珊瑚礁分布区域，定向钻出钻点距离现状珊瑚礁距离约 96m，为识别本项目定向钻位置处珊瑚礁分布情况，D7-1 和 D7-2 为海南侧定向钻出钻点与防污帘所在位置的珊瑚礁摸底调查。调查站位信息如下。

表 4.2-71 调查断面坐标

--	--	--	--	--	--	--	--


--	--	--	--	--	--	--	--

图 4.2-107 徐闻珊瑚群落查范围图

图 4.2-108 本项目与造礁石珊瑚相对位置图

**(2) 项目实施内容及调查方法**

**①调查内容**

**I、珊瑚调查**

造礁石珊瑚：种类、活珊瑚覆盖率、珊瑚死亡率、硬珊瑚补充量、珊瑚白化与病害情况。

**II、生物群落**

珊瑚礁鱼类、大型底栖无脊椎动物、大型底栖藻类。

**III、环境要素**

基质：礁石、碎石、沙、泥覆盖率。

**②珊瑚礁生态系统调查**

**I、断面布设和样带铺设**

每条断面水下铺设 50m 长的样带皮尺，皮尺有双面刻度和数字标识，最小刻度至少是厘米，铺设样带皮尺时，皮尺应拉直、贴底，固定卷尺起点和终点，并放置浮球，标示位置，记录断面起点和终点的位置及水深等信息。断面皮尺铺设完后，依次开展珊瑚礁鱼类、珊瑚群落、硬珊瑚补充量、大型底栖无脊椎动物、大型底栖藻类等项目的现场拍摄工作。

**II、珊瑚礁鱼类调查**

**现场调查：**珊瑚礁鱼类调查采用带状断面录像法。现场调查期间，每个站位首先开展珊瑚礁鱼类项目调查，其他项目可在之后同时或逐步开展。样带铺设完后，静待 10min，一名调查技术人员手持摄像机，离底 0.3m~0.5m，从起点开始沿样带皮尺缓慢匀速游动，持稳摄像机，镜头水平对准皮尺前方，保证画面包含皮尺两侧各 2.5m(水下能见度较差时两侧各 1m)范围内的鱼类，镜头避免晃动，保证画面清晰稳定。一直拍摄到样带皮尺终点为止，录像时长至少 5 min。拍摄时，其他人员应避免出现在拍摄镜头的前方。如有必要，拍摄完鱼类录像后，对断面及两侧范围内的鱼类进行特写拍照，作为辅助鉴定分析

材料。

**室内分析：**判读鱼类样带录像中出现的所有鱼类种类和数量。鱼类种类鉴定过程应辅以鱼类特写照片或实物标本，尽可能鉴定到种。数量统计过程应注意统计边界(皮尺两侧各 2.5m 或 1m 范围内)，并避免重复计数。

### III、珊瑚群落调查

**现场调查：**手持摄像机，高出样带 0.2m~0.3m，从起点开始沿样带皮尺缓慢匀速游动，镜头垂直向下对准皮尺，拍摄皮尺和皮尺下面的生物和基质，镜头画面应避免晃动，保证清晰。一直拍摄到样带皮尺终点为止，录像时长至少 10min。同时，还应特写拍摄样带皮尺下各种类珊瑚照片，用于辅助种类鉴定和名录附图展示。

**室内分析：**

样带录像判读采用截线样条法。判读影像中所有出现在样带皮尺正下方的造礁石珊瑚、其他固着生物（包括软珊瑚、海绵、海葵等）、造礁石珊瑚死亡状况、白化状况以及基质（礁石、碎石、沙、泥）分布状况。判读要素包括：

a) 种类鉴定。判读样带皮尺正下方的造礁石珊瑚种类（大于 2 cm），若影像中难以鉴定到种，则以珊瑚微距照片辅以鉴定，并收集每种珊瑚清晰照片。

b) 活珊瑚覆盖率。判读样带皮尺正下方所有的活造礁石珊瑚在皮尺上的长度，单位为厘米(cm)，该长度之和除以样带长度(5000cm)，即为该样带活珊瑚覆盖率，以百分数(%)计。

c) 珊瑚死亡率。判读样带皮尺正下方近期死亡（1 个月内、1 个~6 个月内、6 个~12 个月内和 1 年以上）的造礁石珊瑚在皮尺上的长度，单位为厘米(cm)，该长度之和除以样带长度（5000cm），即为该样带近期各段时间内的珊瑚死亡率，以百分数（%）计。总死亡率为各段时间死亡率的合计。造礁石珊瑚死亡时间的判定依据为：

1) 1 个月以内。造礁石珊瑚骨骼白色、完整清晰。

2) 1 个~6 个月以内。造礁石珊瑚骨骼被小型藻类或薄层沉积物覆盖。

3) 6 个~12 个月内。造礁石珊瑚骨骼结构轻微腐蚀，附有较多藻类，但仍然能分辨出珊瑚的属级分类单位。

4) 1 年以上。造礁石珊瑚骨骼结构消失，或单体上的附着生物（藻类、无脊椎动物等）已经很难取下。

d) 珊瑚白化状况：判读样带皮尺正下方的活造礁石珊瑚是否有白化发生，统计所有白化珊瑚在皮尺上的长度，单位为厘米(cm)，该长度之和除以样带长度(5000cm)，即为



该样带白化珊瑚覆盖率。白化珊瑚覆盖率除以该样带活珊瑚覆盖率，即为该样带珊瑚白化率，以百分数(%)计。

e) 珊瑚病害状况。判读样带皮尺正下方的活造礁石珊瑚是否有病害发生，统计所有病害珊瑚在皮尺上的长度，单位为厘米(cm)，该长度之和除以样带长度(5000cm)，即为该样带病害珊瑚覆盖率。病害珊瑚覆盖率除以该样带活珊瑚覆盖率与病害珊瑚覆盖率之和，即为该样带珊瑚发病率，以百分数(%)计。

f) 其他固着生物覆盖率。判读样带皮尺正下方海绵、海葵、软珊瑚、柳珊瑚、苍珊瑚、笙珊瑚、多孔螅、大型底栖藻类等其他固着生物在皮尺上的长度，单位为厘米(cm)，各类其他固着生物长度之和除以样带长度(5000cm)，即为该样带各类其他固着生物的覆盖率，以百分数(%)计。

#### IV、硬珊瑚补充量调查

##### 现场调查：

在样带线两侧各 2.5m 范围内的礁石上随机放置 10 个 50 cm × 50 cm 样方或 40 个 25 cm × 25 cm 样方（样方边框应有厘米刻度），垂直拍摄样方照片。样方应在礁石区域随机布设，避免放置在砂、珊瑚、藻类或其他生物较多的区域内。



图 4.2-109 样方示意图

**室内分析：**统计样方照片内不大于 5cm(参照样方边框刻度)的造礁石珊瑚幼体数量，该数量除以样方面积，即为硬珊瑚补充量，单位为个每平方米(ind./m<sup>2</sup>)。判读时种类鉴定到科或属，珊瑚死亡后仅剩的小块活体不应算为幼体。

#### V、基质调查

**现场调查：**（同珊瑚礁群落调查）手持摄像机，高出样带 0.2m~0.3m，从起点开始沿样带皮尺缓慢匀速游动，镜头垂直向下对准皮尺，拍摄皮尺和皮尺下面的生物和基质，镜头画面应避免晃动，保证清晰。一直拍摄到样带皮尺终点为止，录像时长至少 10min。

**室内分析：**判读样带皮尺正下方无固着生物覆盖部分的基质类型，是否为礁石、砾石、砂或泥。礁石一般稳固在基质上，且粒径大于 150mm；砾石易被搬运，粒径为 2mm~150mm；砂粒径为 0.004mm~2mm；泥粒径小于 0.004mm。统计有各基质类型在皮尺上的长度，单位为厘米(cm)，各基质类型长度之和除以样带长度(5000cm)，即为该样带各基质类型的覆盖率，以百分数(%)计。

## VI、礁石上泥沙覆盖情况调查

同珊瑚礁群落调查，通过水下观察、拍摄调查区域内因人类活动、突发事故或自然灾害导致的礁石和造礁石珊瑚被泥沙覆盖的情况。泥沙覆盖情况严重程度根据泥沙厚薄、多少，按无、少量、中等、较多定性分为四个等级。调查人员现场根据经验研判泥沙覆盖情况的严重程度。

## VII、大型底栖无脊椎动物调查

**现场调查：**手持摄像机或相机，从起点到终点，拍摄样带两侧各 1m 范围内的大型底栖无脊椎动物录像或照片，记录所有的大型底栖无脊椎动物，包括软珊瑚、柳珊瑚、海绵、海百合、海鞘、海葵、海星、海参、双壳类、腹足类等，并单独记录敌害生物(长棘海星和核果螺)种类和数量。采用以下方式之一进行拍摄。

a) 录像拍摄：拍摄录像时，镜头 45°向前下方或垂直向下，对准样带一侧 1m 范围内，分来回拍摄样带两侧各 1m 范围内可见的大型底栖无脊椎动物，录像时长至少 10min。

b) 照片拍摄：拍摄样带两侧各 1m 范围内的大型底栖无脊椎动物照片。

**室内分析：**判读大型底栖无脊椎动物样带录像中所有可见的大型底栖无脊椎动物的类别和数量，包括软珊瑚、柳珊瑚、海葵、海百合、海星、海胆、蛇尾、海参、海绵、海鞘、甲壳类、双壳类、腹足类等。对于敌害生物和指示生物种类和数量，包括长棘海星、核果螺、蓝指海星、法螺、砗磲、长刺海胆、石笔海胆、龙虾等应单独判读统计。

## VIII、大型底栖藻类调查

**现场调查：**在断面两侧各 2.5m 范围内随机放置 10 个 50cm×50cm 样方或 40 个 25cm×25cm 样方，拍摄样方照片，拍摄各类藻类特写照片，估测藻类株高，必要时采集各类藻类样品。大型底栖藻类主要包括绿藻门、红藻门、褐藻门和蓝藻门等的主要种类，珊瑚礁内常见种类主要有浒苔、石莼、仙掌藻、团扇藻、叉节藻、法囊藻、马尾藻、石

叶藻、喇叭藻、网地藻等。

**室内分析：**判读样方照片内大型底栖藻类的种类和覆盖率。种类鉴定应以藻类特写照片或实物标本为准，并收集每种藻类清晰照片。

**③资料收集与珊瑚群落影响因素分析**

收集调查海域珊瑚群落及其栖息生境的相关历史资料，综合评价珊瑚群落的资源状况，分析影响该海域的珊瑚群落生长分布、白化和衰退死亡的因素。

**(3) 珊瑚礁资源现状与评价**

**① 造礁石珊瑚种类**

本次徐闻海域调查共鉴定造礁石珊瑚 7 种，隶属于 4 科，以滨珊瑚科种类数最多，共 4 种，其中角孔珊瑚属种类为 3 种，伯孔珊瑚属共 1 种；裸肋珊瑚科、木珊瑚科、同星珊瑚科均有 1 种。海南岛北部海域调查共鉴定造礁石珊瑚 18 种，隶属于 6 科，其中鉴定到科的有 1 种，鉴定到属的有 3 种，鉴定到种的有 14 种。以裸肋珊瑚科种类数最多，共 6 种，其中角蜂巢珊瑚属种类为 4 种；滨珊瑚科共 5 种；木珊瑚科共 3 种；其它属均在 3 种以下。各科的种类数详见表 4.2-72。

**表 4.2-72 徐闻与海南岛北部海域石珊瑚总名录**

序号	调查海域	科	属	种	拉丁名
1	徐闻海域				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8	海南岛北部				
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					

18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

图 4.2-110 调查海域珊瑚种类图片

本次调查中，各样带记录到的造礁石珊瑚种类见表 6.7.3-3 与图 6.7.3-5，其中断面 YD1-1、断面 YD1-2、断面 YD1-3、断面 YD2-2、断面 YD2-3、断面 YD3-2、断面 YD3-3、断面 YD4-1、断面 YD4-2、断面 YD4-3、YD 5-2、断面 YD 5-3、断面 YD 6-1、断面 YD 6-2、断面 YD 6-3、断面 YD 7-1、断面 YD 7-2、断面 YD 8-2 和断面 YD 8-3 未发现造礁石珊瑚。断面 YD5-1 与断面 YD7-4 珊瑚种类最多，均为 12 种；其次为断面 YD8-1，有 10 种。

表 4.2-73 各调查断面珊瑚种类分布

站位	科	属	种	拉丁文
YD1-1				
YD1-2				
YD1-3				
YD2-1				
YD2-2				
YD2-3				
YD3-1				

YD3-2				
YD3-3				
YD4-1				
YD4-2				
YD4-3				
YD 5-1				
YD5-2				
YD5-3				
YD6-1				
YD6-2				
YD6-3				
YD7-1				
YD7-2				
YD 7-3				
YD 7-4				

YD 8-1				
YD 8-2				
YD 8-3				

图 4.2-111 各样带造礁石珊瑚种类数

## ②造礁石珊瑚覆盖率

珊瑚群落调查断面的造礁石珊瑚覆盖率如表 6.7.3-4 所示，断面 YD5-1 造礁石珊瑚覆盖率最高，为 20.10%，断面 YD3-1 造礁石珊瑚覆盖率为 5.22%，断面 YD2-1 造礁石珊瑚覆盖率为 3.80%，断面 YD7-3 造礁石珊瑚覆盖率为 0.80%，断面 YD7-4 造礁石珊瑚覆盖率为 5.40%，断面 YD8-1 造礁石珊瑚覆盖率为 6.58%，调查海域内造礁石珊瑚平均覆盖率为 2.21%。总体看来，调查海域的造礁石珊瑚平均覆盖率较低（覆盖率<10%）。

表 4.2-74 徐闻海域造礁石珊瑚覆盖率

断面编号	水深（米）	造礁石珊瑚覆盖率%
YD1-1		
YD1-2		
YD1-3		
YD2-1		

YD2-2		
YD2-3		
YD3-1		
YD3-2		
YD3-3		
YD4-1		
YD4-2		
YD4-3		
YD 5-1		
YD 5-2		
YD 5-3		
YD 6-1		
YD 6-2		
YD 6-3		
YD 7-1		
YD 7-2		
YD 7-3		
YD 7-4		
YD 8-1		
YD 8-2		
YD 8-3		
平均覆盖率		

注：“-”表示仅拍摄视频确定无珊瑚礁分布，无法进行计算。

图 4.2-112 调查海域造礁石珊瑚覆盖率

### ③造礁石珊瑚病害情况与死亡率

本次调查统计结果显示在断面 YD1-1、YD5-1、断面 YD7-3 和断面 YD7-4 记录到少量的造礁石珊瑚死亡现象，其他断面未发现造礁石珊瑚死亡现象；另外，除发现少量白化珊瑚外，未发现其他明显病害现象；断面 YD1-1 中造礁石珊瑚 6 个月内造礁石珊瑚死亡率为 0.10%，总死亡造礁珊瑚覆盖率为 0.10%；断面 YD5-1 的 1 个月内造礁石珊瑚死亡率为 0.50%，1 年以上造礁石珊瑚死亡率为 0.60%，总死亡造礁珊瑚覆盖率为 1.10%；断面 YD7-3 中 1 个月内造礁石珊瑚死亡率为 0.10%，6 个月内造礁石珊瑚死亡率为 0.04%，1 年以上造礁石珊瑚死亡率为 0.18%，总死亡造礁珊瑚覆盖率为 0.32%；断面 YD7-4 中 1

个月内造礁石珊瑚死亡率为 1.00%， 1 年以上造礁石珊瑚死亡率为 0.56%，总死亡造礁珊瑚覆盖率为 1.56%；调查海域的平均造礁石珊瑚死亡率为 0.16%。总体上看，调查海域的造礁石珊瑚死亡率较低。

表 4.2-75 调查海域造礁石珊瑚死亡率

调查断面	石珊瑚死亡率%				
	1 个月内	6 个月内	1 年内	1 年以上	总死亡率
YD1-1					
YD1-2					
YD1-3					
YD2-1					
YD2-2					
YD2-3					
YD3-1					
YD3-2					
YD3-3					
YD4-1					
YD4-2					
YD4-3					
YD 5-1					
YD 5-2					
YD 5-3					
YD 6-1					
YD 6-2					
YD 6-3					
YD 7-1					
YD 7-2					
YD 7-3					
YD 7-4					
YD 8-1					
YD 8-2					
YD 8-3					
平均值					

注：“-”表示仅拍摄视频确定无珊瑚礁分布，无法进行计算

#### ④其他固着生物覆盖率



调查中，除造礁石珊瑚外，还记录到少量柳珊瑚以及海绵附着，其中柳珊瑚平均覆盖率为 1.00%，海绵平均覆盖率为 0.08%；各断面其他生物覆盖率见表 4.2-76。

**表 4.2-76 其他生物覆盖率**

断面编号	水深（米）	柳珊瑚覆盖率%	海绵覆盖率%
YD1-1			
YD1-2			
YD1-3			
YD2-1			
YD2-2			
YD2-3			
YD3-1			
YD3-2			
YD3-3			
YD4-1			
YD4-2			
YD4-3			
YD 5-1			
YD 5-2			
YD 5-3			
YD 6-1			
YD 6-2			
YD 6-3			
YD 7-1			
YD 7-2			
YD 7-3			
YD 7-4			
YD 8-1			
YD 8-2			
YD 8-3			
平均值			

注：“-”表示仅拍摄视频确定无珊瑚礁分布，无法进行计算

#### ⑤白化珊瑚覆盖率

本次调查在断面 YD2-1、断面 YD3-1、断面 YD5-1、断面 YD7-3 和断面 YD7-4 发现

不同程度珊瑚白化现象，其中断面 YD2-1 造礁石珊瑚白化率为 1.92%，断面 YD3-1 造礁石珊瑚白化率为 1.30%，断面 YD5-1 造礁石珊瑚白化率为 0.54%，断面 YD7-3 造礁石珊瑚白化率为 0.94%，断面 YD7-4 造礁石珊瑚白化率为 1.04%，调查海域内平均造礁石珊瑚白化率为 0.30%。

**表 4.2-77 调查海域白化珊瑚覆盖率**

调查断面	白化珊瑚覆盖率%
YD1-1	
YD1-2	
YD1-3	
YD2-1	
YD2-2	
YD2-3	
YD3-1	
YD3-2	
YD3-3	
YD4-1	
YD4-2	
YD4-3	
YD 5-1	
YD 5-2	
YD 5-3	
YD 6-1	
YD 6-2	
YD 6-3	
YD 7-1	
YD 7-2	
YD 7-3	
YD 7-4	
YD 8-1	
YD 8-2	
YD 8-3	
平均值	

注：“-”表示仅拍摄视频确定无珊瑚礁分布，无法进行计算

图 4.2-113 本次调查海域白化珊瑚图片

⑥硬珊瑚补充量

本次调查中，在断面 YD2-1、断面 YD3-1、断面 YD5-1 与断面 YD7-4 部分样方内发现珊瑚幼体，为裸肋珊瑚科、滨珊瑚科与木珊瑚科。本次调查中，硬珊瑚平均补充量为 2.85 个/m<sup>2</sup>；断面 YD2-1 硬珊瑚补充量为 38.40 个/m<sup>2</sup>，断面 YD3-1 硬珊瑚补充量为 14.80 个/m<sup>2</sup>，断面 YD5-1 硬珊瑚补充量为 0.67 个/m<sup>2</sup>，断面 YD7-4 硬珊瑚补充量为 0.27 个/m<sup>2</sup>。

表 4.2-78 调查海域硬珊瑚补充量

调查断面	珊瑚补充量 (个/m <sup>2</sup> )
YD1-1	
YD1-2	
YD1-3	
YD2-1	
YD2-2	
YD2-3	
YD3-1	
YD3-2	
YD3-3	
YD4-1	
YD4-2	
YD4-3	
YD5-1	
YD5-2	
YD5-3	
YD6-1	
YD6-2	
YD6-3	
YD7-1	
YD7-2	
YD7-3	
YD7-4	
YD8-1	
YD8-2	

YD8-3	
平均值	

注：“-”表示仅拍摄视频确定无珊瑚礁分布，无法进行计算

图 4.2-114 调查海域新生珊瑚

### ⑦底质类型

本次调查中，各断面底质主要以礁石、砂、泥为主，各底质占比如下表所示；断面 YD 1-1、断面 YD 2-1、断面 YD 3-1、断面 YD 3-2、断面 YD 5-1 底质以礁石为主，其占比在 85%以上；断面 YD1-2、断面 YD1-3、断面 YD2-3、断面 YD3-3、断面 YD4-1、断面 YD4-2、断面 YD4-3 底质以泥为主，占 100.00%；YD2-2 底质中礁石与泥占比相当，礁石占比为 52.00%，泥占比为 48.00。断面 YD 5-1 底质以礁石为主，其占比达 99.00%，砂占比 1.00%；断面 YD7-3；底质以泥为主，占 61.40%，礁石占比为 38.60%；YD7-4 底质以泥为主，占比为 76.00%，礁石占比为 24.00%；YD8-1 底质以泥为主，占比为 75.4%，礁石占比为 24.6%；断面 YD 5-2、断面 YD 6-1、断面 YD 6-2 和断面 YD 8-2 底质以砂为主；断面 YD 5-3、断面 YD 6-3、断面 YD7-1、断面 YD7-2 和断面 YD 8-3 底质以泥为主。总体上看，调查海域断面 YD 1-1、断面 YD 2-1、断面 YD 3-1、断面 YD 3-2、断面 YD5-1 礁石覆盖率较高，更适合珊瑚的生长分布。

表 4.2-79 调查海域珊瑚群落分布区底质类型

调查断面	底质类型所占比%			
	礁石	砾石	砂	泥
YD1-1				
YD1-2				
YD1-3				
YD2-1				
YD2-2				
YD2-3				
YD3-1				
YD3-2				
YD3-3				
YD4-1				
YD4-2				

YD4-3				
YD 5-1				
YD 5-2				
YD 5-3				
YD 6-1				
YD 6-2				
YD 6-3				
YD 7-1				
YD 7-2				
YD 7-3				
YD 7-4				
YD 8-1				
YD 8-2				
YD 8-3				
平均值				

#### ⑨ 常见礁栖鱼类

在珊瑚礁生态系统中，鱼类是维持其健康与平衡的关键功能组群。它们通过多种营养级联效应发挥核心作用，此外，许多鱼类还扮演着“珊瑚清洁工”的角色，清除寄生虫和病变组织，促进珊瑚健康。同时，鱼类的排泄物为珊瑚提供了重要的营养盐，而它们的昼夜活动和洄游行为也促进了能量流动与物质循环，共同构筑了珊瑚礁的高生产力与生物多样性基础。本次调查中，调查海域的水下能见度较低，共观察到 10 种礁栖鱼类：虾虎鱼科（Gobiidae）、网纹裸胸鳝（*Gymnothorax reticularis*）、细鳞鲷（*Terapon jarbua*）、棕斑兔头鲈（*Lagocephalus spadiceus*）、褐菖鲉（*Sebastiscus marmoratus*）、红鳍赤鲷（*Hypodytes rubripinnis*）、星塘鳢（*Asterropteryx semipunctatus*）、中华单角鲈（*Monacanthus chinensis*）、褐篮子鱼（*Siganus fuscescens*）和雀鲷科（Pomacentridae），各样带鱼类物种分布情况见表 4.2-80。

表 4.2-80 各调查样带鱼类分布

调查样带	种类	拉丁文	数量（ind）
YD 1-1			

YD 1-2			
YD 1-3			
YD 2-1			
YD 2-2			
YD 2-3			
YD 3-1			
YD 3-2			
YD 3-3			
YD 4-1			
YD 4-2			
YD 4-3			
YD 5-1			
YD 5-2			
YD 5-3			
YD 6-1			
YD 6-2			
YD 6-3			
YD 6-3			
YD 7-1			
YD 7-2			
YD 7-3			
YD 7-4			
YD 8-1			
YD 8-2			
YD 8-3			

图 4.2-115 调查海域鱼类部分物种照

#### ⑩ 大型底栖无脊椎动物

在珊瑚礁生态系统中，大型底栖无脊椎生物作为关键的功能类群，通过多种途径维系系统的结构与功能。它们构成复杂的三维结构，为众多生物提供栖息地与避难所；作为碎食者、滤食者和植食者，它们有效调控微藻和有机碎屑的丰度，维持礁石表面的清

洁，促进珊瑚幼虫的附着与生长；同时，它们作为连接不同营养级的重要环节，将初级生产力转化为更高营养级的资源。本次调查中共鉴定记录到底栖动物种 40 种，样带平均栖息密度为 0.27ind/m<sup>2</sup>。各样带内底栖动物种类及密度分布见表 4.2-81。

**表 4.2-81 调查海域常见珊瑚礁常见底栖动物种类名录及密度**

调查断面	类群	种类	拉丁文名	物种密度 (ind/m <sup>2</sup> )	样带总密度 (ind/m <sup>2</sup> )
YD1-1					
YD1-2					
YD1-3					
YD2-1					
YD2-2					
YD2-3					

YD3-1					
YD3-2					
YD3-3					
YD4-1					
YD4-2					
YD4-3					
YD5-1					
YD5-2					



YD5-3					
YD6-1					
YD6-2					
YD6-3					
YD7-1					
YD7-2					
YD7-3					
YD7-4					

YD8-1					
YD8-2					
YD8-3					
平均值					

注：（1）“-”表示断面 YD7-1 与断面 YD7-2 仅拍摄视频确定物种；（2）“/”表示未发现大型底栖无脊椎动物。

图 4.2-116 本次调查记录的部分底栖动物

**⑩珊瑚群落分布区泥沙覆盖情况**

通过对本次调查站位的断面判读视频中评估记录礁石被泥沙覆盖的情况。泥沙覆盖情况严重程度根据调查资料中泥沙厚薄按无、少量、中等、较多定性划分。总体上看，调查海域内泥沙覆盖较多，其中海南北部整体处于中等以上水平，徐闻调查海域整体处于较多水平，部分造礁石已被泥沙完全覆盖，对珊瑚生长分布有明显的影响。

断面 YD2-1（较多）

断面 YD3-1（较多）

断面 YD3-2（较多）

断面 YD5-1（中等）

断面 YD7-3（较多）

断面 YD7-4（较多）

图 4.2-117 本次调查记录的泥沙覆盖情况

**⑪大型底栖藻类调查结果**

本次调查海域水质较混浊，基底中沉积物及泥沙含量较多，未发现大型底栖藻类。

#### 4.2.7.1.4 调查结果分析

**1、广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区**

2018 年、2023 年 4 月的珊瑚礁调查主要针对广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区开展，

其中 2018 年的调查针对整个保护区的范围，调查出的珊瑚礁物种及覆盖度较高。2023 年调查针对保护区南侧近岸段开展，2025 年调查中 YD3、YD4 站位位于保护区东南侧，与 2023 年调查站位相近。对于珊瑚礁覆盖度，2018 年调查为 8.96%，2023 年调查为 2.1%，2025 年调查平均覆盖率为 2.21%。对于石珊瑚种类，2018 年为 12 科 46 种，2023 年为 10 科 16 属 24 种，2025 年徐闻海域共鉴定造礁石珊瑚 4 科 7 种。可以看出珊瑚礁保护区整体珊瑚礁覆盖和种类较高，南岸侧及近本项目线路处相对较低。

## 2、珊瑚礁生态保护红线

2025 年调查中对徐闻珊瑚礁和林诗岛珊瑚礁生态保护红线附近海域开展了调查，其中徐闻珊瑚礁调查站位为 YD1 和 YD2，林诗岛珊瑚礁调查站位为 YD5 和 YD6。徐闻珊瑚礁调查站位中 YD1 站位所在珊瑚礁生态保护红线距离本项目距离为 1.1km，此处未发现造礁石珊瑚；D2 站位所在生态保护红线紧邻广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区，断面 YD2-1（4.0m 水深）调查发现有斯氏伯孔珊瑚、柱形角孔珊瑚、网状菊花珊瑚、盾形陀螺珊瑚和多孔同星珊瑚，该断面造礁石珊瑚覆盖度为 3.8%，其他断面未发现造礁石珊瑚。林诗岛珊瑚礁生态保护红线距离本项目分别为 0.7km 和 1km，其附近调查站位 YD5 和 YD6，YD6 站位未发现造礁石珊瑚，YD5 造礁石珊瑚只在断面 YD5-1（4.1m 水深）发现，种类为小角刺柄珊瑚、板叶角蜂巢珊瑚、五边角蜂巢珊瑚、网状菊花珊瑚、黄麻盘星珊瑚、皱纹陀螺珊瑚和多孔同星珊瑚等 7 种，该断面造礁石珊瑚覆盖度分别为 20.10%。

## 3、本项目线路及周边珊瑚礁分布情况

本项目于广东侧线路处布设了珊瑚礁调查断面 YD1-2、YD2-3；海南侧线路布设断面 YD7-1、YD7-2、YD7-3、YD7-4，分别为定向钻处、防污帘处、水深 6m、水深 3m 处布设了调查样线；在海南侧澄迈县珊瑚礁分布区域布设了 YD5 和 YD8 站位。

澄迈县珊瑚礁分布区域站点 YD8 位于本项目海缆东南侧，YD5 位于海缆西北侧，其中仅 YD8-1 站位（2.5m 水深）发现有造礁石珊瑚，共发现有澄黄滨珊瑚、柱形角孔珊瑚、小角刺柄珊瑚、板叶角蜂巢珊瑚、五边角蜂巢珊瑚、黄麻盘星珊瑚、多孔同星珊瑚、皱纹陀螺珊瑚等，该断面覆盖度为 6.58%。广东侧断面 YD1-2、YD2-3 未发现造礁石珊瑚。海南侧线路处周边 YD7 站位仅在浅水区（6m 水深）调查发现有造礁石珊瑚，共调查出柱形角孔珊瑚、黄麻盘星珊瑚、澄黄滨珊瑚、斯氏伯孔珊瑚、柱形角孔珊瑚等，断面 YD1-2、YD2-3 造礁石珊瑚覆盖度分别为 0.8%、5.4%；在海南侧定向钻处、水深 8m、9m 处，皆未发现造礁石珊瑚分布。海南侧通过定向钻穿越珊瑚礁分布区，定向钻出钻点水深为 8m，而该区域造礁石珊瑚主要分布在浅水区（6m 水深以内）。根据调查结果

可知本项目海缆铺设区域不涉及占用造礁石珊瑚。本项目与造礁石珊瑚相对位置如下图所示。

4.2.7.2 项目周边红树林生态调查

红树林分布情况引自本项目于 2025 年 7 月 3 日至 4 日于湛江市徐闻县迈陈镇登陆点处开展的红树林生态调查及《海南-广东电力灵活互济工程对周边红树林生态影响专题报告》。调查范围以 2022 年广东省政府批复岸线为界，向海一侧开展调查。

图 4.2-118 调查范围

(1) 调查方法与调查内容

本次红树林现状调查采用样方法，在评价区分布的红树林群落内随机布设，样方大小为 10m×10m。对不同植被类型的群落外貌特征进行定性判断、定量观测和数码摄影记录，记录样方内植物的物种名，记录株高、胸径、覆盖度。同时辅以样线调查法，记录岸线分布的植被情况。植物分类参考《中国植物志》的分类系统。

(2) 植物物种组成

评价范围内记录有真红树植物 4 科 4 属 4 种，分别为红海兰 *Rhizophora stylosa*、海漆 *Excoecaria agallocha*、对叶榄李（拉关木）*Laguncularia racemosa*、海榄雌（白骨壤）*Avicennia marina*；半红树植物 3 科 3 属 3 种，分别为黄槿 *Talipariti tiliaceum*、阔苞菊 *Pluchea indica*、苦郎树 *Volkameria inermis*。

表 4.2-82 真红树植物名录

序号	科中文名	属中文名	种中文名	种拉丁名
1				
2				
3				
4				

表 4.2-83 半红树植物名录

序号	科中文名	属中文名	种中文名	种拉丁名
1				
2				
3				

### (3) 红树林群落现状

评价区内共记录到 9 个红树林群落，结合与临近村落的相对位置关系进行了名称标识，分别为东河群落、仕寮群落、东莞村西一群落、东莞村西二群落、东莞村东群落、提姑航道群落、提姑南群落、牛墩北群落和牛墩南群落。

**图 4.2-119 评价区植物名录**

#### 1) 东河群落

东河群落为白骨壤+红海兰群落，片状分布于东河港低潮位滩涂，面积约 0.6107hm<sup>2</sup>。群落结构简单，无其他植物生长，植株高 1.1-2.4m，覆盖度约 82%。

**图 4.2-120 白骨壤群落+红海兰群落外貌**

#### 2) 仕寮群落

仕寮群落为白骨壤+红海兰+秋茄群落，群落沿岸线分布，面积约 4.4814hm<sup>2</sup>。群落结构相对简单，以白骨壤分布居多，植株高约 0.4-3m，散生红海兰和秋茄，偶见海漆分布。

**图 4.2-121 白骨壤群落+红海兰+秋茄群落外貌**

#### 3) 东莞村西一群落

东莞村西一群落为红海兰群落，片状分布与电缆线路西侧的岸线边缘，面积约 0.4610hm<sup>2</sup>。群落内散生少量白骨壤。群落内红海兰高约 1.8-3.4m，覆盖度约 75%。

**图 4.2-122 红海兰+白骨壤群落外貌**

#### 4) 东莞村西二群落

东莞村西二群落为盐地碱蓬+白骨壤群落，面积约 0.5556hm<sup>2</sup>。群落内白骨壤长势一般，有人为清理的痕迹，植株高度约 0.4m，覆盖度约 73%；盐地碱蓬多分布于白骨壤退化后的区域，植株高度约 0.3m，覆盖度约 55%。

**图 4.2-123 盐地碱蓬+白骨壤群落**

#### 5) 东莞村东群落

东莞村东群落为无瓣海桑+对叶榄李+榄李群落，分布于高潮位的岸线边缘，面积约 0.2118hm<sup>2</sup>。群落结构简单，群落内无其他物种生长，植株高约 4-6.1m。

图 4.2-124 对叶榄李群落外貌

#### 6) 提姑航道群落

图 4.2-125 提姑航道散生的白骨壤群落外貌

提姑航道群落为白骨壤群落，面积约  $0.0383\text{hm}^2$ 。群落结构简单，无其他物种生长，植株高  $0.6-1.0\text{m}$ ，覆盖度约  $15\%$ 。

#### 7) 提姑南群落

提姑南群落为白骨壤+秋茄+红海榄群落，片块状分布于低中潮位的滩涂上，面积约  $3.2782\text{hm}^2$ 。群落结构简单，群落内无其他物种生长，植株高  $1.4-3.0\text{m}$ ，覆盖度约  $90\%$ 。

图 4.2-126 白骨壤群落外貌

#### 9) 牛墩北群落

牛墩北群落为白骨壤群落，零散分布于低潮位滩涂上，面积约  $0.3097\text{hm}^2$ 。群落结构简单，无其他物种生长，植株高  $0.6-1.0\text{m}$ ，覆盖度约  $35\%$ 。

#### 10) 牛墩南群落

牛墩南群落为白骨壤群落，群落结构简单，面积约  $1.4657\text{hm}^2$ 。无其他物种生长，植株高  $0.4-0.8\text{m}$ ，覆盖度约  $25\%$ 。

### 2、评价内红树林分布

在本项目海洋评价范围内红树林面积为  $10.18\text{hm}^2$ ，除

部分红树林分布不在本项目评价范围内外，其他红树林分布区都在本项目评价范围内。详见图 4.1-28。

## 4.3 海缆登陆段环境现状调查与评价

### 4.3.1 环境空气质量现状调查与评价

为了解项目周围的环境空气质量现状，根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）中 6.2.1.1 项目所在区域达标判定，基本污染物环境质量现状数据优先采用国家或地方生态环境主管部门公开发布的评价基准年环境质量公告或环境质量报告中的数据或结论。

#### 一、广东侧

根据湛江市生态环境局 2025 年 2 月 28 日发布的《湛江市生态环境质量年报简报(2024

年)》，2024 年，湛江市二氧化硫、二氧化氮年浓度值分别为  $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ ， $\text{PM}_{10}$  年浓度值为  $33\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，一氧化碳(24 小时平均)全年第 95 百分位数浓度值为  $0.8\text{mg}/\text{m}^3$ ，均低于《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)中一级标准限值； $\text{PM}_{2.5}$  年浓度值为  $21\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，臭氧(日最大 8 小时平均)全年第 90 百分位数为  $134\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，均低于《环境空气质量标准》(GB3095-2012)中二级标准限值。环境空气质量综合指数为 2.56。

通过空气污染指数分析显示，全年影响城市空气质量的首要污染物是臭氧，其次为  $\text{PM}_{2.5}$ 。

## 二、海南侧

根据海南省生态环境厅 2025 年 6 月 5 日公布的《2024 年海南省生态环境状况公报》，全省环境空气质量总体优良，优良天数比例为 99.4%，其中优级天数比例为 83.0%，良级天数比例为 16.4%，轻度污染天数比例为 0.6%，无中度及以上污染天。六项污染物细颗粒物( $\text{PM}_{2.5}$ )、可吸入颗粒物( $\text{PM}_{10}$ )、臭氧( $\text{O}_3$ )、二氧化硫( $\text{SO}_2$ )、二氧化氮( $\text{NO}_2$ )和一氧化碳( $\text{CO}$ )浓度分别为 12 微克/立方米、23 微克/立方米、111 微克/立方米、4 微克/立方米、6 微克/立方米和 0.7 毫克/立方米。 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$  五项污染物浓度均符合国家一级标准， $\text{O}_3$  浓度接近国家一级标准。

17 个市县中(不含三沙市、临高县)，五指山市和琼中县环境空气质量达到国家一级标准，其余市县均达到国家二级标准。各市县优良天数比例介于 96.4%~100%之间，超标污染物均为臭氧。

### 4.3.2 电磁环境

为了解本工程海缆登陆段评价范围内的电磁环境现状，于 2025 年 11 月 22 日对项目所在地工频电场、工频磁场进行了监测。

#### 4.3.2.1 监测因子

工频电场、工频磁场

#### 4.3.2.2 监测点位、布点方法及代表性分析

本次评价分别在广东侧和海南侧两回海缆线路路径上方各设 1 处背景点监测点位，分别测量距地面 1.5m 高处的工频电场强度和工频磁感应强度，除海南侧测点临近 500kV 线路外，线路周边评价范围内无其他电磁辐射源分布，评价范围内工频电磁场能够反映环境背景值，故本次拟建线路监测所选监测点位具备代表性。

项目评价范围内不存在电磁环境敏感目标，不设置敏感点监测点。

本次具体现状监测点位见表 4.3-1，输电线路监测点位示意图见图 4.3-1、图 4.3-2。

4.3.2.3 监测频次

昼间，各监测点位监测一次。

表 4.3-1 本项目电磁环境现状监测点位

序号	工程名称	检测点位描述（测点编号）
1	海南-广东电力灵活互济工程海缆线路	海南侧海缆登陆段代表性监测点①
2		海南侧海缆登陆段代表性监测点②
3		徐闻侧海缆登陆段代表性监测点①
4		徐闻侧海缆登陆段代表性监测点②

图 4.3-1 项目海南侧登陆段海缆线路沿线电磁监测点位图

图 4.3-2 项目广东侧登陆段海缆线路沿线电磁监测点位图

4.3.2.4 监测环境条件

监测时间及监测条件见表 4.3-2。

表 4.3-2 监测环境条件

工程名称	监测地点	检测时间	天气条件
海南-广东电力灵活互济工程海缆线路	海南侧	2025 年 11 月 22 日 11:30~13:30	温度：25~26℃ 风速：2.0~2.5m/s； 湿度：56~59%； 天气：晴
	徐闻侧	2025 年 11 月 22 日 18:00~19:30	温度：22~23℃ 风速：1.0~2.0m/s； 湿度：53~56%； 天气：晴

4.3.2.5 监测方法及仪器

（1）监测方法

《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）、《交流输变电工程电磁环境监



测方法（试行）》（HJ 681-2013）。

(2) 监测仪器

监测仪器情况见表 4.3-3。

表 4.3-3 监测仪器情况一览表

	仪器名称及编号	技术指标	检定有效期	计量检定证书编号和 检定单位名称
检测设 备	电磁辐射分析仪 SEM-600/LF-04 D-1227/I-1227 (E-01/E-06)	频率响应：1Hz~400kHz 工频电场测量范围： 0.01V/m~100kV/m 工频磁场测量范围： 1nT~10mT	2025.5.8 ~2026.5.7	WWD202501401 华南国家计量测试中心 广东省计量科学研究院

4.3.2.6 监测结果

工频电场强度、工频磁感应强度监测结果见表 4.3-4。

表 4.3-4 工频电、磁场强度现状监测结果

序 号	工程名称	检测点位描述（测点编号）	检测结果	
			工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强 度 (μT)
1	海南-广东电 力灵活互济 工程海缆线 路	海南侧海缆登陆段代表性监测点①		
2		海南侧海缆登陆段代表性监测点②*1		
3		徐闻侧海缆登陆段代表性监测点①		
4		徐闻侧海缆登陆段代表性监测点②		

注：1. 监测点东北侧附近有 500kV 架空线路。

4.3.2.7 电磁环境现状评价

海南-广东电力灵活互济工程海缆线路海缆登陆段海南侧、广东侧背景点测点位处工频电场强度在 0.1V/m~235V/m 之间，工频磁感应强度在 0.007μT~0.682μT 之间，均满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）规定的 4000V/m 及 100μT 的控制限值要求。

4.3.3 声环境

根据《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020），地下电缆线路可不开展声环境影响评价。

4.3.4 生态环境

海缆线路登陆点分别位于海南省澄迈县和广东省徐闻县，以岸线为界，对海缆登陆

段进行生态影响评价分析。

4.3.4.1 现状调查及评价方法

海缆登陆段的生态环境调查及评价方法与陆上工程一致，详见陆上工程报告书章节4.5.1.3。

4.3.4.2 生态环境现状调查及评价

4.3.4.2.1 生态功能区划

根据《全国生态功能区划（修编版）》，海缆登陆段涉及 2 个生态功能一级区、2 个生态功能二级区、2 个生态功能三级区。

表 4.3-5 海缆登陆段涉及生态功能区划及主要生态问题一览表

生态功能一级区	生态功能二级区	生态功能三级区	功能区涉及县市	主要生态环境问题	生态保护主要措施
人居保障功能区	重点城镇群人居保障功能区	海口城镇群	海南省澄迈县	城镇无序扩张，城镇环境污染严重，环保设施严重滞后，城镇生态功能低下，人居环境恶化。	(1) 以生态环境承载力为基础，规划城市发展规模、产业方向； (2) 建设生态城市，优化产业结构，发展循环经济，提高资源利用效率； (3) 加快城市环境保护基础设施建设，加强城乡环境综合整治； (4) 城镇发展坚持以人为本，从长计议，节约资源，保护环境，科学规划；
产品提供功能区	农产品提供功能区	雷州半岛丘陵农产品提供功能区	广东省湛江市徐闻县	农田侵占、土壤肥力下降、农业面源污染严重；在草地畜牧业区，过度放牧，草地退化沙化，抵御灾害能力低。	(1) 严格保护基本农田，培养土壤肥力； (2) 加强农田基本建设，增强抗自然灾害的能力； (3) 加强水利建设，大力发展节水农业；种养结合，科学施肥； (4) 发展无公害农产品、绿色食品和有机食品；调整农业产业和农村经济结构，合理组织农业生产和农村经济活动； (5) 在草地畜牧业区，要科学确定草场载畜量，实行季节畜牧业，实现草畜平衡；草地封育改良相结合，实施大范围轮封轮牧制度。

本工程新建海缆线路涉及的生态功能区主要为人居保障功能区和产品提供功能区，主要生态环境问题是城镇无序扩张、城镇环境污染严重、环保设施滞后、城镇生态功能低下、人居环境恶化、农田侵占、土壤肥力下降、农业面源污染严重等。

本工程为输变电工程，为重要的基础设施建设项目，可为城市建设、环保设施运行、节水灌溉、农业生产等提供稳定电力支撑，助力区域经济与农业发展。同时，本工程不

属于高污染项目，新建海缆线路仅登陆点位于陆上，避让了基本农田，占地少、植被损失和动物生境干扰可控，对核心生态功能影响有限。施工期加强对农田的保护及水土流失的防治，施工结束后及时开展生态修复，对生态功能区的影响可控。

4.3.4.2.2 土地利用现状

本工程新建海缆线路海缆登陆段生态环境影响评价范围总面积约 42.0442 公顷。评价范围内土地利用现状调查是在卫片解译的基础上，参考《土地利用现状分类》（GB/T21010-2017）中有关分类标准，结合现有资料，运用景观生态法（即以植被作为主导因素），并结合土壤、地貌等因子进行综合分析，将评价范围土地用地类型划分为林地、园地、草地、水域及水利设施用地、建设用地等 5 种一级类型。评价区土地利用现状见下表。

表 4.3-6 评价范围内土地利用现状统计表

用地类型	广东省		海南省		总计	
	面积（hm <sup>2</sup> ）	面积比（%）	面积（hm <sup>2</sup> ）	面积比（%）	面积（hm <sup>2</sup> ）	面积比（%）
林地						
园地						
草地						
水域及水利设施用地						
建设用地						
总计						

注：建设用地包括商服用地、工矿仓储用地、住宅用地、公共管理与服务用地、交通运输地等。

评价范围内土地利用类型以水域及水利设施用地为主，占整个评价区域总面积的 40.26%，主要分布于湛江端登陆点，园地、林地、耕地分别占评价区域总面积的 35.76%、7.67%、0.17%，主要分布于海南端登陆点。建设用地和草地分别占评价区域总面积的 3.41%、12.73%，两端登陆点均有分布。

图 4.3-3 评价区土地利用现状图

4.3.4.2.3 植被和植物多样性现状调查与评价

（1）植物区系

根据《中国种子植物区系地理》（吴征镒等 2011 年）中的中国植物区系分区系统示

意图，本工程涉及古热带植物区—马来西亚亚区—南海地区—粤西-琼北亚地区。

这一亚地区，由于长期人为的破坏，原生植被已不多见。植物区系特征可总结为：①区系亲缘性强：因海南与大陆分离时间短，与大陆拥有相同的植物区系。②热带属性显著：属层级：热带分布属占比达 92.06%，温带分布属仅 39 个；③科层级：以“热带亚洲及中国特有”分布型为主体（前者占 53.69%）。④特有类群匮乏：无亚地区特有属，仅 23 个特有种，特有种数量少与区域成陆时间晚相关。④含特殊地理成分：存在主产澳大利亚的植物，如薄果草（*Dapsilanthus disjunctus*）、刺鳞草（*Centrolepis banksii*）等。

## （2） 植被区划

根据《中国植被》（1995 年）的植被区划图，本工程评价范围属热带季雨林、雨林区域—东部（偏湿性）季雨林、雨林亚区域—北热带半常绿季雨林、湿润雨林地带—琼雷台地，半常绿季雨林、热性灌丛区。该区域地带性典型植被为热带季雨林，因自然植被受人为经济活动干扰严重，现状植被大面积的以人工植被和次生植被类型为主。广大台地上的次生植被类型以桃金娘（*Rhodomyrtus tomentosa*）、银柴（*Aporosa dioica*）、打铁树（*Myrsine linearis*）、坡柳（*Salix myrtillacea*）及白茅（*Imperata cylindrica*）、青香茅（*Cymbopogon mekongensis*）等组成的热性灌木草丛占优势；局部水土流失地区则出现由岗松（*Baeckea frutescens*）、鹧鸪草（*Eriachne pallescens*）等组成的旱生性的植物群落；在北部地区群落中还有马尾松（*Pinus massoniana*）成小片状或散生分布，在海南岛或钦州地区也有热带的海南松（*Pinus fenzeliana*）分布，显出其过渡性的特点；滨海地带分布着比较典型的红树林；栽培植被中，作物种类丰富，经济作物常见有香蕉（*Musa spp.*）、菠萝（*Ananas comosus*）、甘蔗（*Saccharum officinarum*）、桉树（*Eucalyptus spp.*）等。

## （3） 植被类型现状

根据土地利用现状和现场调查，湛江侧评价区为坑塘水面、草地和建设用地，区域植被主要是以南方碱蓬（*Suaeda australis*）为单优群落的盐生草地，分布在坑塘边缘。海南侧评价区主要为人工栽培植被，包括以桉树、木麻黄（*Casuarina equisetifolia*）等为主的人工用材林，以香蕉林为主的人工经济林，及变电站和香蕉林周边的次生灌草地。评价区均为区域常见植被，受人为干扰严重，物种单一。

图 4.3-4 海南侧登陆点陆域评价区植被类型图

## （4） 重要物种

根据《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），重要物种是在生态影响评价中需要重点关注、具有较高保护价值或保护要求的物种，包括国家及地方重点保护野生动植物名录所列的物种，《中国生物多样性红色名录（2020）》（2023年5月）中列为极危（Critically Endangered）、濒危（Endangered）和易危（Vulnerable）的物种，国家和地方政府列入拯救保护的极小种群物种，特有种以及古树名木等。

参考《国家重点保护野生植物》（2021）、《广东省重点保护野生植物名录》（2023）、《海南省省级重点保护野生植物名录》（2024年）、《濒危野生动植物种国际贸易公约（CITES）》附录（2023）、《中国生物多样性红色名录—高等植物卷（2020）》（2023）、《广东高等植物红色名录》（2022）、《世界自然保护联盟（IUCN）红色名录》（2024），结合现场调查结果，未在评价区内发现国家及地方重点保护野生植物、古树名木及珍稀濒危植物。

#### （5）重要物种的天然集中分布区

通过现场调查，未在评价区内发现重要物种天然集中分布区。

#### （6）外来入侵物种

根据《中国外来入侵物种名单》（第一批，2003年）、《中国外来入侵物种名单》（第二批，2010年）、《中国外来入侵物种名单》（第三批，2014年）、《中国自然生态系统外来入侵物种名单》（第四批，2016年）、《重点管理外来入侵物种名录》（2023年1月1日起实施），结合现场调查结果，评价区记录到外来入侵植物白花鬼针草（*Bidens alba*）、马缨丹（*Lantana camara*）、光荚含羞草（*Mimosa bimucronata*）、飞机草（*Chromolaena odorata*）、红毛草（*Melinis repens*）、龙珠果（*Passiflora foetida*）。

### 4.3.4.2.4 陆生动物现状调查与评价

#### （1）陆生动物区系

本工程评价区内的动物地理区划处于东洋界；一级区划（区）为华南区（V II）；二级区划（亚区）为海南岛亚区（V IIC）；三级区划（动物地理省）为沿海低地省—热带林灌、农田动物群（V IIC2）。

海南岛亚区（V IIC）：该亚区包括南岭以南、雷州半岛以东、台湾海峡以西的华南沿海区域，以滨海湿地、河口滩涂、丘陵台地及人工经济林为主要景观。动物区系受海洋性气候影响显著，优势成分为适应湿地生态、浅海周边及次生林环境的种类，作为东亚—澳大利亚候鸟迁徙通道的关键段，水鸟的季节性聚集使鸟类区系尤为丰富。本亚区

普遍可见的两栖类有黑眶蟾蜍(*Duttaphrynus melanostictus*)、沼水蛙(*Hylarana guentheri*)、花姬蛙(*Microhyla pulchra*)、斑腿泛树蛙(*Polypedates megacephalus*)等；爬行类中平胸龟(*Platysternon megacephalum*)、变色树蜥(*Calotes versicolor*)、滑鼠蛇(*Ptyas mucosa*)、银环蛇(*Bungarus multicinctus*)较为常见；滨海湿地与周边林地中，鸟类种类繁多，常见的有白鹭(*Egretta garzetta*)、池鹭(*Ardeola bacchus*)、家燕(*Hirundo rustica*)、白鹡鸰(*Motacilla alba*)、红耳鹎(*Pycnonotus jocosus*)等；兽类以适应丘陵与人类活动区的中小型种类为主，如黄胸鼠(*Rattus tanezumi*)、褐家鼠(*Rattus norvegicus*)、鼬獾(*Melogale moschata*)等。

评价区在岸线附近，主要以平地为主，分布大片园地及坑塘，人为活动频繁，受人为干扰影响，评价区陆生动物生物多样性一般。

## (2) 重要物种

根据《国家重点保护野生动物名录》(2021)、《广东省重点保护陆生野生动物名录》(2021)、《海南省省级重点保护陆生野生动物名录》(2024年)、《濒危野生动植物种国际贸易公约(CITES)》附录(2023)、《中国生物多样性红色名录—脊椎动物卷(2020)》(2023)、《世界自然保护联盟(IUCN)红色名录》(2024)，评价区内未发现国家重点保护野生动物和珍稀濒危野生动物，评价区记录到夜鹭(*Nycticorax nycticorax*)、白鹭、黑翅长脚鹬(*Himantopus himantopus*)等广东省重点保护野生动物，记录到珠颈斑鸠(*Streptopelia chinensis*)、黑水鸡(*Gallinula chloropus*)、池鹭、牛背鹭(*Bubulcus ibis*)和白鹭等海南省省级重点保护陆生野生动物。记录到的省级重点保护野生动物均为评价区及周边区域常见的物种。

## (3) 野生动物重要栖息地及鸟类迁徙通道

根据《陆生野生动物重要栖息地名录(第一批)》、《全国鸟类迁徙通道保护行动方案(2021-2035年)》(国家林业和草原局, 2022年12月)，本工程新建海缆线路未占用或穿越名录中的陆生野生动物重要栖息地，不涉及中国重要候鸟迁徙通道；根据《海南省候鸟迁徙通道重点区域范围》(2023年)、《广东省候鸟及迁徙通道保护行动计划(2023-2035年)》，本工程新建海缆线路不涉及海南省候鸟迁徙通道重点区域范围及广东省迁徙候鸟重要监测点和优先保护区域。

### 4.3.4.2.5 海缆登陆段水生生物现状调查与评价

本工程新建海缆线路仅两端登陆点位于陆域，海南侧登陆点为林地、园地、灌草地，

无陆生水生生物分布，湛江侧登陆点主要为坑塘，用于人工养殖，评价区内水生植物主要为禾本科、莎草科、蓼科、灯芯草科等植物；浮游植物优势种群为绿藻门和蓝藻门，浮游动物包括轮虫、枝角类、桡足类和原生动物，底栖动物以腹足类、瓣鳃类和甲壳类为主，鱼类以“四大家鱼”为主，其他常见鱼类还有鳊鱼（*Siniperca chuatsi*）、鲈鱼（*Micropterus salmoides*）、黄颡鱼（*Pelteobagrus fulvidraco*）、鲃（*Silurus asotus*）、罗非鱼（*Oreochromis mossambicus*）等。

#### 4.3.4.2.6 工程区现状调查与评价

##### （1）湛江侧登陆点

湛江侧登陆点位于广东省徐闻县迈陈镇，评价范围内主要为坑塘水面、村庄建设用地及盐生草地，植被覆盖度不高。

评价区盐生草地为南方碱蓬形成的单优群落，分布在岸线附近的坑塘边缘，此外记录到区域常见植物，包括仙人掌（*Opuntia dillenii*）、酒饼簕（*Atalantia buxifolia*）、光荚含羞草、马鞭草（*Verbena officinalis*）、马缨丹、飞机草、白花鬼针草、红毛草等，电缆线路施工区基本不见植物。

记录到陆生野生动物有海陆蛙（*Fejervarya cancrivora*）、原尾蜥虎（*Hemidactylus bowringii*）、夜鹭、白鹭、黑翅长脚鹬等，未见国家重点保护动物。

##### （2）海南侧登陆点

海南侧登陆点位于海南省澄迈县桥头镇的 500kV 林诗岛终端站南侧，评价范围内主要为林地、园地和灌草地。

评价区分布大面积香蕉林，岸线附近常见有木麻黄、桉树，此外多记录到灌草植物，包括鬼针草、薇甘菊、露兜树等，评价区未发现重点保护野生植物。

记录到陆生野生动物以鸟类为主，只要有鹊鸚（*Copsychus saularis*）、珠颈斑鸠等，未见国家重点保护动物。

#### 4.3.4.2.7 生态系统现状调查与评价

##### （1）生态系统类型

参考《全国生态状况调查评估技术规范-生态系统遥感解译与野外核查》（HJ 1166-2021），根据对评价区内土地利用现状等的分析，结合动植物分布和生物量的调查，对输电线评价范围生态环境进行生态系统划分，评价区主要为森林生态系统、草地生态

系统、湿地生态系统、农田生态系统和城镇生态系统。

表 4.3-7 评价范围内生态系统类型统计表

生态系统类型	广东省		海南省		总计	
	面积 (hm <sup>2</sup> )	面积比 (%)	面积 (hm <sup>2</sup> )	面积比 (%)	面积 (hm <sup>2</sup> )	面积比 (%)
森林生态系统						
农田生态系统						
草地生态系统						
湿地生态系统						
城镇生态系统						
总计						

评价区内生态系统以湛江侧登陆点的湿地生态系统为主，在湛江侧生态系统面积中占比达 84.71%，占评价区生态系统总面积的 40.26%；海南侧登陆点以农田生态系统为主导，占海南侧生态系统面积的 68.47%，占评价区生态系统总面积的 35.93%。草地生态系统在评价区生态系统中占比 12.73%，湛江侧和海南侧均有分布，森林生态系统和城镇生态系统占比很小。总体而言，评价区生态系统均为区域常见类型，受人为干扰严重。

### (3) 生态系统结构和功能

#### ①森林生态系统

森林生态系统比地表其他生态系统更加具有复杂的空间结构和营养链式结构，有助于提高系统自身调节适应能力。其生态服务功能包括光能利用、调节大气、涵养水源、改良土壤、防风固沙、水土保持，控制水土流失、孕育和保存生物多样性等几个方面。

评价区森林生态系统主要分布在海南侧登陆点岸线附近，为岸线附近防护林，大多为桉树、木麻黄。动物中两栖动物以无尾目种类为主，常见物种为斑腿泛树蛙等；爬行动物中以有鳞目种类和数量最多，常见、变色树蜥 (*Calotes versicolor*) 等；鸟类主要有乌鸫 (*Turdus mandarinus*)、暗绿绣眼鸟 (*Zosterops japonicus*)；兽类主要以中小型兽类为主等。

#### ②草地生态系统

草地生态系统的生态功能主要表现为涵养水源、水土保持等。

评价区草地生态系统在湛江侧和海南侧均有分布，湛江侧登陆点主要是以南方碱蓬



为主的盐生草地，为单优群落；海南侧登陆点主要为次生灌草丛，主要植物有狗牙根、五节芒、鬼针草等，均为区域常见种。动物中两栖类常见泽陆蛙、沼水蛙等；爬行类主要有南草蜥（*Takydromus sexlineatus*）等；鸟类中常见麻雀、白头鹎（*Pycnonotus sinensis*）、鹊鸂、白腰文鸟（*Lonchura striata*）等；兽类中以啮齿类相较常见。

### ③湿地生态系统

湿地是地球上具有多功能的独特生态系统，是自然界最富生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一，被人们誉为“自然之肾”。它不但拥有丰富的资源，还具有巨大的环境调节功能和环境效益。湿地生态系统具有独特的水文状况并在蓄洪防旱、调节气候、降解污染、保护生物多样性等方面起着非常重要的作用。湿地生态系统是指介于水、陆生生态系统之间的一类生态单元。其生物群落由水生和陆生种类组成，物质循环、能量流动和物种迁移与演变活跃，具有较高的生态多样性、物种多样性和生物生产力。湿地生态系统服务功能不仅包括提供大量资源产品，而且具有大的环境调节功能和环境效益，在调蓄洪水、调节气候、控制土壤等多方面发挥着重要作用。

评价区湿地生态系统主要为湛江侧登陆点的坑塘，常见植物主要为禾本科、莎草科、灯芯草科的水生生物，及少量区域常见草本植物。两栖动物常见海陆蛙；爬行动物常见原尾蜥虎；鸟类种类繁多，水鸟为该系统中重要的组成结构，常见夜鹭、白鹭、黑翅长脚鹬等；兽类主要以中小型兽类为主。

### ④农田生态系统

生态功能：评价区的主要生态功能体现在农产品及副产品生产，包括为人们提供农产品，为现代工业提供加工原料，以及提供生物资源等。

评价区内农田生态系统主要为海南侧登陆点的香蕉林，极少部分为周边居民耕作的农作物，物种单一、生境简单，受人为干扰严重。

### ⑤城镇生态系统

城镇生态系统的服务功能主要包括两大类：①提供生活和生产物质的功能，包括食物生产、原材料生产；②满足人类精神生活需求的功能，包括娱乐文化。

评价区内城镇生态系统主要为海南侧登陆点的变电站及湛江侧登陆点的居民生产生活集中区域，人为活动频繁，分布的动植物均为区域常见种。

## （3）景观格局现状

根据生态学中景观的概念描述可知，景观生态体系的组成即生态系统或土地利用类型结构，本报告用评价区内主要的土地利用类型及相应的生态系统作为景观体系的基本

单元斑块来进行景观特征分析。景观生态系统的质量现状由评价范围内自然环境，各种生物以及人类社会之间复杂的相互作用来决定。从景观生态学结构与功能相匹配的理论来说，结构是否合理决定了景观功能的优劣，在组成景观生态系统的各类组分中，模地是景观的背景区域，它在很大程度上决定了景观的性质，对景观的动态起着主导作用。模地采用传统的生态学方法来确定，即计算组成景观的各类斑块的优势度值（Do），优势度值大的就是模地。

景观优势度计算的数学表达式如下：

密度（Rd）=嵌块 I 的数目/嵌块总数×100%

频度（Rf）=嵌块 I 出现的样方数/总样方数×100%

景观比例（Lp）=嵌块 I 的面积/样地总面积×100%

优势度值（Do）={（Rd+Rf）/2+Lp}/2×100%

运用上述参数计算本工程评价区内各类拼块优势度值。

表 4.3-8 评价区各景观板块优势度值

景观板块	森林	草地	农田	湿地	城镇
斑块密度 Rd(%)					
斑块频度 Rf(%)					
景观比例 LP(%)					
优势度值 Do(%)					

从上表可以看出，评价区内以湿地斑块和农田斑块优势度 Do 值分别为 35.22%和 32.42%，湿地景观分布于湛江侧登陆点，农田景观分布于海南侧登陆点，均为受人为活动干扰较强的斑块，这两个景观斑块密度均较小但优势度高，景观分别连片分布，占据优势。森林景观和草地景观斑块密度相对较大但优势度较小，说明其斑块数量多、分布零散，破碎化程度相对较高。从整体景观格局来看，自然生境破碎化，受人为干扰严重。

#### 4.3.4.2.8 生态环境现状评价结论

##### （1）生态系统现状

新建海缆线路海缆登陆段评价区内生态系统划分为 5 类，分别为森林生态系统、草地生态系统、湿地生态系统、农田生态系统、城镇生态系统，其中以湿地生态系统和农田生态系统占优势。

##### （2）生态完整性现状

评价区内土地利用类型为林地、草地、园地、耕地、水域及水利设施用地、建设用

地 6 种，其中园地和水域及水利设施用地占主要部分。

### （3）植被与植物多样性现状

评价区属热带季雨林、雨林区域—东部（偏湿性）季雨林、雨林亚区域—北热带半常绿季雨林、湿润雨林地带—琼雷台地，半常绿季雨林、热性灌丛区；现状植被多为人工植被，受人为活动干扰严重，评价区内未发现重点保护野生植物。

### （4）陆生动物现状

评价区内动物地理区划可划分为东洋界—华南区（VII）—海南岛亚区（VIIC）—沿海低地省—热带林灌、农田动物群（VIIC2）。评价区主要分布的动物多为鸟类及适应人类干扰环境的小型野生动物，未记录到国家重点保护野生动物。

### （5）水生生物现状

评价区水域主要为养殖坑塘，评价区内水生植物主要为禾本科、莎草科、蓼科、灯芯草科等植物；浮游植物优势种群为绿藻门和蓝藻门，浮游动物包括轮虫、枝角类、桡足类和原生动物，底栖动物以腹足类、瓣鳃类和甲壳类为主，鱼类以“四大家鱼”为主。

### （6）景观生态体系现状

评价区主要由森林景观、草地景观、湿地景观、农田景观和城镇景观组成，从各景观类型优势度可知，湛江侧登陆点湿地景观优势度最高，海南侧登陆点农田景观优势度最高，其他景观零散分布于其间，自然生境破碎化程度较高，受人为干扰严重。

## 5 环境影响预测与评价

### 5.1 水动力环境影响分析

本项目海缆敷设区域位于琼州海峡西侧，海缆敷设路径所在海域的水深在 1m~110m 之间，考虑到海缆所在海域水深较大，本节采用 sigma 坐标系的斜压三维潮流动力方程模拟工程海区的海流场，在此基础上预测海底电缆埋设引起的悬浮泥沙对海域水质环境的影响以及海缆路径冲淤演变规律。

#### 5.1.1 海流数学模型

项目区水深较大，水动力要素垂向变化明显，为了较准确地模拟水动力场、浓度场的空间结构，潮流水动力计算采用三维数学模型的水动力模块进行计算，该模块模拟在外力作用下的水流现象，可用于任何三维自由表面流，非结构网络（FM）模型采用沿深度自适应网格，特别适用于潮差较大的区域，可运用于模拟河流、湖泊、水库、河口和外海的水流、水质及泥沙传输问题等，能够模拟垂向密度不同的非恒定流，同时能考虑外部作用力（如气象、潮汐、流场）和其他水力条件的影响。可对分层水体中海缆施工与运行做三维水动力条件评估，对施工期引起的三维悬浮泥沙扩散模拟进行计算。

数学模型控制方程采用基于 Boussinesq 假定和静压假定的三维不可压缩、雷诺平均的 Navier-Stock 方程。为了得到不同水深的高分辨率结果，数学模型平面采用笛卡尔坐标系，垂向采用  $\sigma$  坐标系。三维潮流泥沙垂向坐标变换法的数学模型控制方程如下：

##### （1）三维潮流泥沙垂向坐标变换法的数学模型控制方程

###### 1) 连续性方程

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}H}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}H}{\partial y} = 0$$

###### 2) x 向动量方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial uH}{\partial t} + \frac{\partial u^2H}{\partial x} + \frac{\partial vuH}{\partial y} + \frac{\partial uW}{\partial \sigma} = & -gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( N_z \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + \\ & H \frac{\partial}{\partial x} \left( N_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + H \frac{\partial}{\partial y} \left( N_y \frac{\partial u}{\partial y} \right) + fHv \end{aligned}$$

###### 3) y 向动量方程

$$\frac{\partial vH}{\partial t} + \frac{\partial uvH}{\partial x} + \frac{\partial v^2H}{\partial y} + \frac{\partial vW}{\partial \sigma} = -gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( N_z \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) +$$

$$H \frac{\partial}{\partial x} \left( N_x \frac{\partial v}{\partial x} \right) + H \frac{\partial}{\partial y} \left( N_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) - fHu$$

4)  $\sigma$  向和  $z$  向的速度分量方程

$$W = \frac{\partial}{\partial x} \left[ H \left( \bar{u}(\sigma+1) - \int_{-1}^0 u d\sigma \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ H \left( \bar{v}(\sigma+1) - \int_{-1}^0 v d\sigma \right) \right]$$

$$w = W + u \left( \sigma \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial \zeta}{\partial x} \right) + v \left( \sigma \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial y} \right) + (\sigma+1) \frac{\partial \zeta}{\partial t}$$

式中,  $x$ 、 $y$ 、 $z$  为原点  $o$  置于某一水平基面,  $z$  轴垂直向上的直角坐标系坐标;

$u$ 、 $v$ 、 $w$  为流速矢量  $\vec{V}$  沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的速度分量 (m/s);

$\bar{u}$ 、 $\bar{v}$  为  $u$ 、 $v$  的垂线平均值(m/s);

$N_x$ 、 $N_y$ 、 $N_z$  为  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向水流紊动粘性系数 (m<sup>2</sup>/s);

$g$  为重力 (m/s<sup>2</sup>);

$t$  为时间 (s);

$f$  为科氏参数;

$H$  为实际水深(m),  $H = h + \zeta$ ;

$\zeta$  为相对于  $xoy$  坐标平面的水位 (m);

$h$  为相对于  $xoy$  坐标平面的水深(m);

$\sigma$  为  $\sigma$  坐标,  $\sigma = \frac{z - \zeta}{H}$ 。

## (2) 海水状态方程

### ① UNESCO 标准海水状态方程 (TEOS-10 海水热力学方程)

Mike 模型中参与海水密度求解的海水状态方程主要是 TEOS-10 海水热力学方程, 根据《海水热力学方程 TEOS-10 及其与海水状态方程 EOS-80 的比较》等相关研究文献 TEOS-10 其适应范围是: 温度 -2.1~40℃, 实用盐度 0~45, 压强 0Pa~100MPa。

TEOS-10 海水热力学方程的核心思想是利用海水的吉布斯函数来求解海水的各种性质。热力学已证明, 如果一个热力学系统的基本方程(如吉布斯函数)是已知的, 那么通过适当的微积分和代数运算, 就可以求出整个系统的各种热力学性质, 也就是所谓的状态方程。这种方法对于海水显然也是适用的, 因此如果能够得到海水的吉布斯函数, 就能推导出海水各种热力学性质的函数。但吉布斯函数是一种势函数, 其数学形式不能从热

力学原理获得，只能通过实验数据构造包含可调系数的公式来确定，因此依赖于实验模型所选取的样品、精度和实验结果的有效范围。在 20 世纪 60~70 年代已经对海水的大多数性质(如密度、热容量或声速)进行过极其准确的测量，为建立完善的吉布斯函数奠定了基础。**TEOS-10** 海水状态方程由于身非常复杂，包含多个项和大量的系数，在方程求解过程需要调用海水状态方程工作组编写的海水吉布斯函数程序包 **Gibbs-SeaWater (GSW, <http://www.teos-10.org/>)** 官方程序包进行计算，程序包中包含了常用工况下的实验率定参数、计算程序等内容，进而求得海水的各种性质用于工程计算。

### ②1980 年国际海水标准状态方程 (EOS80)

1980 年国际海水状态方程 (EOS80) 是在“一个标准大气压”(海压为 0) 下的海水密度  $\rho(T, S, 0)$  与实用盐度  $S$  和温度  $T(^{\circ}\text{C})$  的关系式，该方程适用范围为  $-2\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，适用盐度  $0\sim 42$ 。高压下海水密度  $\rho(S, T, 0)$  与实用盐度  $S$  和温度  $T(^{\circ}\text{C})$  的关系式为：

$$\rho(S, T, 0) = \rho_w + AS + BS^{3/2} + CS^2$$

式中：

$$A = 8.24493 \times 10^{-1} - 4.0899 \times 10^{-3}T + 7.6438 \times 10^{-5}T^2 - 8.2467 \times 10^{-7}T^3 + 5.3875 \times 10^{-9}T^4;$$

$$B = -5.72466 \times 10^{-3} + 1.0227 \times 10^{-4}T - 1.6546 \times 10^{-6}T^2;$$

$$C = 4.8314 \times 10^{-4};$$

$$\rho_w = 999.842594 + 6.793952 \times 10^{-2}T - 9.095290 \times 10^{-3}T^2 + 1.001685 \times 10^{-4}T^3 - 1.120083 \times 10^{-6}T^4 + 6.536332 \times 10^{-9}T^5;$$

$\rho$  为海水密度 ( $\text{kg/m}^3$ )；

$T$  为海水温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )；

$S$  为盐度 (ppt)。

### (3) 温度、盐度设置

本工程在路由沿线海域附近附近设置了 4 个观测站对盐度、温度进行了连续 26 小时的逐时观测（无压力观测值），根据《海南-广东电力灵活互济工程春季水文调查报告》（2025 年 5 月）调查分析结果，2025 年 4 月 19 号~20 号调查期间各个站水温从表层到底层逐渐降低。调查期间，水温均值在  $21.7^{\circ}\text{C}$  到  $23.8^{\circ}\text{C}$  之间。

**图 5.1-1 调查期间站点水温变化情况**

盐度调查方面，不同测站根据站位实际水深分多层进行调查，调查期间，盐度均值在  $31.5\%$  到  $34\%$  之间。

图 5.1-2 调查期间站点盐度变化情况

由于实测温盐值在数值模拟期间变化不大，因此采用实测值均值作为常数参量输入到模型水动力模块初始起算条件中参与相关计算，分别是  $T_0=22.78^{\circ}\text{C}$ ， $S_0=32.75\%$ 。压力项  $p$  由水动力模块海水状态方程项求取输出。

#### (4) 自由水面和底床切应力计算

海水水体所受外部剪切应力分为床面拖曳力  $\tau_b$  和水面切应力  $\tau_w$ 。

##### ①底层床面切应力

在床面上，应力分量与近床面或底层速度分量之间二次阻力公式如下：

$$\frac{1}{\rho_w} \begin{bmatrix} \tau_{bx} \\ \tau_{by} \end{bmatrix} = C_b \sqrt{u_1^2 + v_1^2} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \end{bmatrix}$$

式中：

$\rho_w$  为海水密度 ( $\text{kg/m}^3$ )；

$\tau_{bx}$  和  $\tau_{by}$  分别为  $x$  和  $y$  方向的摩擦引起的底部拖拽力；

$u_1$  和  $v_1$  分别为第 1 层（即底层）水  $x$  和  $y$  方向的速度。

式中，下标 1 表示底床层的值，假设近底速度剖面在任何时刻都是对数分布，床层底部拖拽系数  $C_b$  由 Nezu (1993) 给出。

$$C_b = \left[ \frac{\kappa}{\ln(\Delta_1/2z_0) + (\Pi - 1)} \right]^2$$

$\kappa$  为冯·卡门常数；

$\Delta_1$  为底层无量纲厚度；

$z_0=z_0^*/H$  为无量纲糙率高度；

$\Pi$  为紊流强度参数。 $\Pi$  在低雷诺数时为 0，在完全湍流时为 0.2。

##### ②自由水面风切应力

风对流体水动力的影响源于作用于水面的风切应力。在自由表面应力的  $x$  和  $y$  分量由风应力确定：

$$\frac{1}{\rho_w} \begin{bmatrix} \tau_{sx} \\ \tau_{sy} \end{bmatrix} = C_D \frac{\rho_a}{\rho_w} W_s \begin{bmatrix} W_{sx} \\ W_{sy} \end{bmatrix}$$

$$W_s = \sqrt{W_{sx}^2 + W_{sy}^2}$$

式中：

$W_s$ ， $W_{sx}$ ，和  $W_{sy}$  分别为水面上方 10m 处风速及其  $x$  和  $y$  方向的分量 ( $\text{m/s}$ )；

$\tau_{sx}$  和  $\tau_{sy}$  分别为风在水面  $x$  和  $y$  方向产生的表面切应力；

$C_D$  为风拖拽系数；

$\rho_a$  和  $\rho_w$  分别为空气和水的密度。

模型中提供了 4 种计算  $C_D$  为风拖拽系数的经验公式，分别是：

$$C_D = \begin{cases} 3.83111 \times 10^{-5} W_s^{-3} - 0.000308715 W_s^{-2} \\ \quad + 0.00116012 W_s^{-1} + 0.000899602, & W_s < 5 \text{ m/s} \\ -5.37642 \times 10^{-6} W_s^3 + 0.000112556 W_s^2 \\ \quad - 0.000721203 W_s + 0.00259657, & 5 \text{ m/s} \leq W_s < 7 \text{ m/s} \\ -3.99677 \times 10^{-7} W_s^2 + 7.32937 \times 10^{-5} W_s \\ \quad + 0.000726716, & W_s \geq 7 \text{ m/s} \end{cases}$$

### (5) 边界条件

在固壁边界上给定滑移边界条件，即：

$$\vec{v} \cdot \vec{n} = 0, \quad \text{grad} \Delta T \cdot \vec{n} = 0$$

式中  $\vec{v}$  为流速矢量， $\vec{n}$  为边界法向单位矢量。

在开边界上给定潮位过程  $\eta = \eta_0(t)$ ，开边界的潮位过程由全球潮汐预报模型提供。

### (6) 计算方法

模型采用非结构网格有限体积方法求解，计算中对水平方向跨越控制体边界的对流通量采用基于近似黎曼解算子（Roe's 格式）进行估算，对垂直方向跨越控制体边界的对流通量采用一阶逆风格式或二中心差分格式计算。所用方法具有物理概念清晰，严格满足物理守恒律，便于模拟复杂边界等优点。

模型的时间差分格式采用显式迎风格式。模型中使用了动态时间步长，依据网格大小在保证模型收敛的条件（ $CFL < 1$ ）下自动调整。

$$CFL = \left( \sqrt{gh} + |u| \right) \frac{\Delta t}{\Delta x} + \left( \sqrt{gh} + |v| \right) \frac{\Delta t}{\Delta y}$$

式中  $\Delta t$  为时间步长， $\Delta x$  和  $\Delta y$  分别为每个单元  $x$  和  $y$  方向上的特征长度比例。

## 5.1.2 模型建立

### (1) 模型范围与计算网格

模型计算域东至外罗门水道罗斗沙东侧 4km 处，东边界线端点坐标分别为（  
 $\quad \quad \quad$ ）~（ $\quad \quad \quad$ ）；西至北部湾海域龙  
斗港-鱼骨港线，西边界线端点坐标分别为（ $\quad \quad \quad$ ）~（ $\quad \quad \quad$ ）



），南、北边界分别取海南省及湛江徐闻县批复的矢量海岸线。模型东西最大长度约 135km，南北平均宽度约为 37km，模型计算范围具体见图 5.1-3。

模型采用三角形网格对计算区域进行离散，海峡东西两侧外海边界模型网格尺度约 2000m，向工程区逐步加密，海缆路由附近网格尺度约 10~50m，模型计算网格见图 5.1-5。模型垂向采用 sigma 坐标，分为 5 层，层次为  $0 \sim 0.2H$ 、 $0.2H \sim 0.4H$ 、 $0.4H \sim 0.6H$ 、 $0.6H \sim 0.8H$ 、 $0.8H \sim 1.0H$ ，其中最底层作为悬沙与海床交换的边界层。

图 5.1-3 模型计算范围

图 5.1-4 工程区域差值地形（国家 85 高程基准）

图 5.1-5 模型计算网格示意图

图 5.1-6 (a) 计算网格示意图（海缆工程附近网格局部加密）

图 5.1-6 (b) 计算网格示意图（海缆工程附近网格局部加密）

（2）采用的地形资料及坐标系、高程系

水深地形资料：水深资料为工程区域部分实测地形、近岸海图水深与 ETOP1 全球地形数据库水深资料融合。近岸海区水深地形则由中国人民解放军海军司令部航海保证部海图资料（更新至 2023 年）版读取，所读取海图的图号包括：CN381001、CN401103、CN88001 和 CN481202 等 4 张海图，海缆敷设沿线区采用本项目一、二回可研阶段测量的 1:2000 水深图，地形点网格差分后工程海区水下地形见图 5.1-2。模型平面坐标系采用 CGCS2000 国家 2000 大地坐标系（3°带高斯投影，中央经度 111°），高程采用国家 85 高程基准。

（3）边界条件及计算步长

边界条件：模型共设 4 个边界，东西两侧为两个外海潮位开边界，南北两侧为模型陆地边界。使用 S-TIDES MATLAB 程序提取模型区域重要特征分潮，采用手动输入方式将提取的分潮输入 DHI 丹麦水利研究所的全球潮汐模型中计算潮汐潮位边界。工程海域潮流受沿岸季风环流影响明显，计算中考虑风对潮流的影响，风况资料取自欧洲中期天气预报中心（ECMWF）的 ERA5 2024 年 10 月到 11 月份风场矢量数据，以该数据为基础分析风场。

计算步长根据稳定性要求动态调整，取值在 0.01~60s 之间。

5.1.3 模拟结果验证

根据本项目的水文观测资料，模型验证时段选取为 2025 年 4 月 10 日 00:00~2024 年 4 月 25 日 9:00，总计 15 天时间，包含完整连续的大潮、中潮及小潮。为验证率定模型准确性，春季调查对项目所在海域共布设 6 个测点（V1~V6），其中 V1~V4 测站进行潮流、悬浮泥沙、温度、盐度等要素观测，V5（湛江角尾）、V6（海南林诗港）测站进行潮位观测，潮位观测时间为 2025 年 4 月 13 日 0:00 至 2025 年 4 月 21 日 13:00，潮流观测时间为 2025 年 4 月 19 日 9:00 至 2025 年 4 月 20 日 9:00，观测点坐标及位置分布如下。

图 5.1-7 潮位与海流验证点位置图

表 5.1-2 水动力环境现状调查站位表

站位	经度	纬度	调查项目
V1			潮流、悬浮泥沙、温度、盐度
V2			潮流、悬浮泥沙、温度、盐度
V3			潮流、悬浮泥沙、温度、盐度
V4			潮流、悬浮泥沙、温度、盐度
V5			潮位
V6			潮位

计算潮位与实测潮位对比见图 6.1-5。验证结果表明，V5 和 V6 潮位模拟绝对平均误差在 0.1m 以内，模拟结果纳什效率系数（NSE）为 0.95 大于 0.9，模型可信度较高，满足下一步泥沙模块对于水动力模块结果计算精度要求。纳什效率系数计算公式如下：

$$E=1-\frac{\sum_{t=1}^T\left(Q_o^t-Q_m^t\right)^2}{\sum_{t=1}^T\left(Q_o^t-\bar{Q}_o\right)^2}$$

5.1.3.1 潮位验证

2025 年 4 月 13 日 0:00 至 2025 年 4 月 21 日 13:00 观测期间 V5 及 V6 潮位数据模型验证结果如下图所示。

图 5.1-8 V5 潮位验证曲线

图 5.1-9 V6 潮位验证曲线

### 5.1.3.2 潮流验证

#### (1) V1 潮流站（路由北段特征点位）

图 5.1-10 潮流流速矢量验证曲线（V1 表层流速、流向）

图 5.1-11 潮流流速矢量验证曲线（V1 中层流速、流向）

图 5.1-12 潮流流速矢量验证曲线（V1 底层流速、流向）

图 5.1-13 潮流流速矢量验证曲线（V1 垂向平均流速、流向）

#### (2) V2 潮流站（路由中段特征点位）

图 5.1-14 潮流流速矢量验证曲线（V2 表层流速、流向）

图 5.1-15 潮流流速矢量验证曲线（V2 中层流速、流向）

图 5.1-16 潮流流速矢量验证曲线（V2 底层流速、流向）

图 5.1-17 潮流流速矢量验证曲线（V2 垂向平均流速、流向）

#### (3) V3 潮流站（路由中段特征点位）

图 5.1-18 潮流流速矢量验证曲线（V3 表层流速、流向）

图 5.1-19 潮流流速矢量验证曲线（V3 中层流速、流向）

图 5.1-20 潮流流速矢量验证曲线（V3 底层流速、流向）

图 5.1-21 潮流流速矢量验证曲线（V3 垂向平均流速、流向）

#### (3) V4 潮流站（路由南段特征点位）

图 5.1-22 潮流流速矢量验证曲线（V4 表层流速、流向）

**图 5.1-23 潮流流速矢量验证曲线（V4 中层流速、流向）**

**图 5.1-24 潮流流速矢量验证曲线（V4 底层流速、流向）**

**图 5.1-25 潮流流速矢量验证曲线（V4 垂向平均流速、流向）**

图 5.1-8~图 5.1-9 为潮位的模拟值和实测值的对比，图 5.1-10~图 5.1-25 为流速和流向的模拟值和实测值的对比。从图中可以发现各测站潮位、流速和流向的模拟过程线与实测值吻合较好，涨、落潮的峰值亦基本吻合，最高最低潮位偏差在 10cm 范围内，流速过程线形态基本一致，平均流速偏差小于 10%，平均流向偏差小于 10°，模拟结果能够有效反映工程海域的水动力状况，且满足《水运工程模拟试验技术规范》（JTS/T 231-2021）《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）有关规定的要求和工程需要，可以作为进一步分析研究该海域相关工程问题的基础性资料。

## 5.1.4 模拟流场分析

### 5.1.4.1 工程海域潮流场基本特征

本项目用海位于广东省湛江市徐闻县南部海域，采用经过验证的潮流数学模型，计算了本工程附近水域的潮流场。从海流流态来看主要为往复流，各站各层流向较为一致，最大涨潮流及最大落潮流的流速发生时刻基本在半潮面附近，涨潮憩流时间发生在高潮时后 2~4 小时之间，落潮憩流时间发生在低潮时后 4~6 小时之间。

涨急时刻，计算域内的潮流流向由东侧流向西侧，在琼州海峡附近流速较大，模型计算时间段内最大流速可达 180cm/s，工程附近海域靠近岸边段流速较小，位于中间区域段流速较大，流速集中在 30cm/s~165cm/s 之间。

落急时刻，计算域内的潮流流向由西侧流向东侧，在琼州海峡附近流速较大，模型计算时间段海缆深槽局部最大流速可达 221cm/s，工程附近海域靠近岸边段流速较小，位于中间区域段流速较大，流速集中在 40cm/s~175cm/s 之间。

工程海域 2025 年春季期间大、小潮涨急、落急时刻流场及海缆路由附近局部海域涨急、落急时刻流场见下图。

**图 5.1-26 工程海域大潮涨急时刻流场图（表层）**

图 5.1-27 工程海域大潮涨急时刻流场图（中层）

图 5.1-28 工程海域大潮涨急时刻流场图（底层）

图 5.1-29 工程海域大潮落急时刻流场图（表层）

图 5.1-30 工程海域大潮落急时刻流场图（中层）

图 5.1-31 工程海域大潮落急时刻流场图（底层）

#### 5.1.4.2 工程海域潮流场结果分析

图 5.1-26~图 5.1-31 分别为工程海域（表、中、底层）涨、落急时刻流场图，由图可知：

涨急时刻，工程附近海域潮流总体由东向流向西向，工程靠近近岸海域流速较小，工程靠近中间海域流速偏大。流速由表、中、底层呈递减趋势，表层流速在近岸附近集中在 5~30cm/s 之间，在琼州海峡中间海域集中在 60~160cm/s 之间；中层流速在近岸附近集中在 3~30cm/s 之间，在琼州海峡中间海域集中在 60~146cm/s 之间；底层流速在近岸附近集中在 3~20cm/s 之间，在琼州海峡中间海域集中在 50~116cm/s 之间。

落急时刻，工程附近海域潮流总体由西向流向东向，工程靠近近岸海域流速较小，工程靠近中间海域流速偏大。流速由表、中、底层呈递减趋势，表层流速在近岸附近集中在 5~20cm/s 之间，在琼州海峡中间海域集中在 80~200cm/s 之间；中层流速在近岸附近集中在 4~28cm/s 之间，在琼州海峡中间海域集中在 70~180cm/s 之间；底层流速在近岸附近集中在 3~25cm/s 之间，在琼州海峡中间海域集中在 60~160cm/s 之间。

整体来说，工程海域靠近近岸端海域流速较小，位于中间端流速较大，海缆中段偏南西侧附近局部最大流速可达 205cm/s。底层流速较小，表层流速较大。

#### 5.1.5 工程海域水文动力环境的影响分析

为了确保海缆在运行期的安全性，本工程在海缆冲埋施工完成后要在海缆路径区域海床表面设置海缆保护措施，在局部冲刷严重区域及玄武岩等硬质海床区域敷设的海缆需覆盖混凝土连锁块进行保护，连锁块设置总长度为 10km，本节通过三维水动力水工建筑物模块计算其对工程海域水动力场的影响。

本次数值模拟在海床设置海缆保护方式 1（1.45km）、海缆保护方式 3（3.85km）及海缆保护方式 5（4.70km）等三段联锁块阻水建筑物，海缆保护方式 5（4.70km）混凝土联锁块设计宽度 9.85m，设计厚度 0.30m，阻流板等柔性仿生草附着物设计宽度约 20m，设计高度 0.30m，阻水最大高度总计 0.60m，最大宽度 20m。海缆保护方式 1（1.45km）和海缆保护方式 3（3.850km）混凝土联锁块设计宽度 7.65m，设计厚度 0.30m，阻水最大高度为 0.30m，最大宽度 7.65m。

图 5.1-32 (a) 海缆保护方式设计剖面图

图 5.1-32 (b) 海缆保护方式设计剖面图

图 5.1-32 (c) 海缆保护方式设计剖面图

图 5.1-33 混凝土联锁块阻水示意图

混凝土联锁块覆盖后对于其所在的过水断面单宽流量的改变量可用以下经验公式进行计算。

$$Q = WC(H_{us} - H_w)^k [1 - (\frac{H_{ds} - H_w}{H_{us} - H_w})]^{0.385}$$

图 5.1-34 模型中混凝土联锁排设置位置

工程混凝土联锁块施工对于海域水动力的影响可分为对于海域水位潮位的影响和对流速的影响两部分进行评价。

### 5.1.5.1 对海域流速场的影响

#### 1、海缆保护方式 3（北段 KP5-KP9）

##### (1) 大潮涨急期间

大潮涨急时刻表层、中层及底层流速增幅为 3.93%~4.72%，流速减幅为 5.14%~17.95%，具体为：联锁排引起表层流速最大增量出现在位置 KP9.6 附近，表层流速最大增幅为 3.93%，最大减幅为 5.14%。

联锁排引起中层流速最大增量出现在位置 KP8.6，中层流速最大增幅为 4.08%。联锁排引起流速最大减小量出现位置 KP9.6，中层流速最大减幅为 6.72%。

联锁排引起底层流速最大增量出现在位置 KP8.6，底层流速最大增幅为 4.72%；联锁排引起流速最大减小量出现在位置 KP9.6，底层流速最大减幅为 17.95%。

**(2) 大潮落急期间**

大潮落急时刻表层、中层及底层流速增幅为 2.69%~5.85%，流速减幅为 5.69%~18.43%。

联锁排引起表层流速最大增量出现在位置 KP10，表层流速最大增幅为 2.69%；联锁排引起流速最大减小量出现位置 KP9.6，中层流速最大减幅为 5.69%。

联锁排引起中层流速最大增量出现在位置 KP8.6，中层流速最大增幅为 2.75%。联锁排引起流速最大减小量出现位置 KP9.4，中层流速最大减幅为 6.46%。

联锁排引起底层流速最大增量出现在位置 KP10，底层流速最大增幅为 5.85%；联锁排引起流速最大减小量出现在位置 KP9.6，底层流速最大减幅为 18.43%。

联锁排施工前后引起工程区域流速场变化的具体分布情况见下图。

**表 5.1-3 混凝土联锁块施工前后海缆路径流速显著变化区统计表（KP5-KP9 段）**

水层	涨急			落急			对应路径桩号 (涨急、落急)
	工程前 流速	工程后 流速	增幅	工程前 流速	工程后 流速	增幅	
表层							
中层							
底层							

**图 5.1-35 表层涨急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块 KP5-KP9 段）**

**图 5.1-36 表层落急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块 KP5-KP9 段）**

**图 5.1-37 中层涨急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块 KP5-KP9 段）**

图 5.1-38 中层落急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块 KP5-KP9 段）

图 5.1-39 底层落涨急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块 KP5-KP9 段）

图 5.1-40 底层落急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块 KP5-KP9 段）

## 2、海缆保护方式 5（中段 KP13-KP17）

### （1）大潮涨急期间

大潮涨急时刻表层、中层及底层流速增幅为 2.63%~4.31%，流速减幅为 4.78%~22.39%，具体为：联锁排引起表层流速最大增量出现在海缆保护方式 5（联锁块宽 9.85m）最北段，对应位置 KP13，表层流速最大增幅为 3.26%；其次为最南侧 KP17.6 附近，流速增幅为 2.63%；联锁排引起流速最大减小量出现在海缆保护方式 5（9.85m）最中段区域，对应位置 KP15.6，表层流速最大减幅为 4.78%。联锁排引起中层流速最大增量出现在海缆保护方式 5（联锁块宽 9.85m）最北段，对应位置 KP13，中层流速最大增幅为 3.64%；其次为最南侧 KP17.8 附近，流速增幅为 1.56%；联锁排引起流速最大减小量出现在海缆保护方式 5（联锁块宽 9.85m）最中段区域，对应位置 KP16，中层流速最大减幅为 5.66%。联锁排引起底层流速最大增量出现在海缆保护方式 5（联锁块宽 9.85m）最北段，对应位置 KP13，底层流速最大增幅为 4.31%；其次为最南侧 KP18 附近，流速增幅为 2.83%；联锁排引起流速最大减小量出现在海缆保护方式 5（9.85m）最中段区域，对应位置 KP14.5，底层流速最大减幅为 22.39%。

### （1）大潮落急期间

大潮落急时刻表层、中层及底层流速增幅为 2.10%~4.67%，流速减幅为 5.07%~23.53%，具体为：联锁排引起表层流速最大增量出现在海缆保护方式 5（联锁块宽 9.85m）最北段，对应位置 KP13，表层流速最大增幅为 2.38%；其次为最南侧 KP17.6 附近，流速增幅为 2.10%；联锁排引起流速最大减小量出现在海缆保护方式 5（9.85m）最中段区域，对应位置 KP15.6，表层流速最大减幅为 5.07%。联锁排引起中层流速最大增量出现在海缆保护方式 5（联锁块宽 9.85m）最北段，对应位置 KP13，中层流速最大增幅为 2.65%；其次为最南侧 KP17.8 附近，流速增幅为 1.13%；联锁排引起流速最大减小量出现在海缆保护方式 5（联锁块宽 9.85m）最中段区域，对应位置 KP16，中层流速最大减幅为 5.48%。联锁排引起底层流速最大增量出现在海缆保护方式 5（联锁块宽 9.85m）最北段，对应位置 KP13，底层流速最大增幅为 4.67%；其次为最南侧 KP18 附近，



流速增幅为 2.47%；联锁排引起流速最大减小量出现在海缆保护方式 5（9.85m）最中段区域，对应位置 KP14.5，底层流速最大减幅为 23.53%。

联锁排施工前后引起工程区域流速场变化的具体分布情况见下图。



**图 5.1-41 表层涨急时刻流速场差值（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

**图 5.1-42 表层落急时刻流速场差值（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

**图 5.1-43 中层涨急时刻流速场差值（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

**图 5.1-44 中层落急时刻流速场差值（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

**图 5.1-45 底层落涨急时刻流速场差值（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

**图 5.1-46 底层落急时刻流速场差值（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

### 3、海缆保护方式 1（南段 KP25-KP27）

#### （1）大潮涨急期间

大潮涨急时刻表层、中层及底层流速增幅为 1.11%~2.61%，流速减幅为 3.58%~16.30%。联锁排引起表层流速最大增幅出现在位置 KP25.8 附近，表层流速最大增幅为 1.11%；最大减幅出现在位置 KP27 附近，最大减幅 3.58%。

联锁排引起中层流速最大增幅出现在位置 KP25.8 附近，表层流速最大增幅为 1.38%；最大减幅出现在位置 KP27.2 附近，最大减幅 4.46%。

联锁排引起底层流速最大增幅出现在位置 KP25.8 附近，表层流速最大增幅为 2.61%；最大减幅出现在位置 KP26.6 附近，最大减幅 16.30%。

#### （2）大潮落急期间

大潮落急时刻表层、中层及底层流速增幅为 0.95%~2.54%，流速减幅为 3.79%~18.13%。

联锁排引起表层流速最大增幅出现在位置 KP27.4 附近，表层流速最大增幅为 0.95%；最大减幅出现在位置 KP26.6 附近，最大减幅 3.79%。

联锁排引起中层流速最大增幅出现在位置 KP25.8 附近，表层流速最大增幅为 1.18%；最大减幅出现在位置 KP25.8 附近，最大减幅 4.70%。

联锁排引起底层流速最大增幅出现在位置 KP25.6 附近，表层流速最大增幅为 2.54%；最大减幅出现在位置 KP27 附近，最大减幅 18.13%。

联锁排施工前后引起工程区域流速场变化的具体分布情况见下图。

表 5.1-5 混凝土联锁块施工前后海缆路径流速显著变化区统计表（KP25-KP27 段）

水层	涨急			落急			对应路径桩号(涨急、落急)
	工程前流速	工程后流速	变幅	工程前流速	工程后流速	变幅	
表层							
中层							
底层							

图 5.1-47 表层涨急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块段 KP25-KP27）

**图 5.1-48 表层落急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块段 KP25-KP27）**

**图 5.1-49 中层涨急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块段 KP25-KP27）**

**图 5.1-50 中层落急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块段 KP25-KP27）**

**图 5.1-51 底层落涨急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块段 KP25-KP27）**

**图 5.1-52 底层落急时刻流速场差值（7.65m 混凝土联锁块段 KP25-KP27）**

#### **4、小结**

综上分析海缆路径混凝土连锁排敷设后仅对海缆局部流速场产生微小影响，连锁排附近基本以流速减小促淤为主，有利于维持海缆的埋深稳定性。连锁排敷设引起的流速增幅有限，在表、中、底层均小于 6%，且流速增加高值区域仅限连锁排局部 100m 范围之内，运行期冲淤计算结果表明流速增加引起新的冲刷范围及强度均较弱。

#### **5.1.5.2 对海域潮位的影响**

##### **1、海缆保护方式 3**

大潮涨急时刻潮位最大壅高值出现在该段连锁排末端东侧约 90m 处，对应位置 KP9.6，最大壅水高度 0.25cm；潮位最大降低值出现在 KP9.4 西侧 160m 处，潮位最大下降值为 0.32cm。

大潮落急时刻潮位最大壅高值出现在连锁排中部西侧约 140m 处，对应位置 KP9.2，最大壅水高度 0.53cm，潮位壅高值大于 0.5cm 最大影响范围为 55m；潮位最大降低值出现在 KP9.6 东侧约 50m 处，潮位下降最大值为 0.48cm。

**图 5.1-53 涨急时刻工程前后潮位变化分布（7.65m 联锁块 KP5-KP9 段）**

**图 5.1-54 落急时刻工程前后潮位变化分布（7.65m 联锁块 KP5-KP9 段）**

##### **2、海缆保护方式 5**

大潮涨急时刻潮位最大壅高值出现在该段连锁排中部东侧约 140m 处，对应位置 KP15.1，最大壅水高度 1cm，潮位壅高值大于 1cm 最大影响范围为 205m；潮位最大降低

值出现在联锁排中下部东西侧约 205m 处，对应位置 KP15.7，潮位最大下降值为 1.2cm，潮位降低值大于 1cm 最大影响范围为 185m。

大潮落急时刻潮位最大壅高值出现在联锁排中部西侧约 220m 处，对应位置 KP15.5，最大壅水高度 0.8cm，潮位壅高值大于 0.6cm 最大影响范围为 60m；潮位最大降低值出现在联锁排中下部东侧约 86m 处，对应位置 KP16.1，潮位下降最大值为 0.7cm，潮位降低值大于 0.6cm 最大影响范围为 102m。

**图 5.1-55 涨急时刻工程前后潮位变化分布（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

**图 5.1-56 落急时刻工程前后潮位变化分布（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

### **3、海缆保护方式 1**

大潮涨急时刻潮位最大壅高值出现在 KP26.2 东侧约 160m 处，最大壅水高度 0.37cm；潮位最大降低值出现在 KP26.4 西侧约 105m 处，潮位最大下降值为 0.39cm。

大潮落急时刻潮位最大壅高值出现在 KP26.8 西侧约 96m 处，最大壅水高度 0.48cm；潮位最大降低值出现在 KP26.2 东侧约 190m 处，潮位最大下降值为 0.62cm。

**图 5.1-57 涨急时刻工程前后潮位变化分布（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

**图 5.1-58 落急时刻工程前后潮位变化分布（混凝土联锁块 9.85m 段 KP13-KP17.6）**

### **4、小结**

综上所述，三段联锁排施工前后在大潮期引起潮位变化量均小于 0.5%，连锁块的敷设对潮位变化值几乎无影响。

### **5.1.5.3 结论**

综上所述海缆路径混凝土连锁排敷设后仅对海缆局部流速场产生微小影响，连锁排附近基本以流速减小促淤为主，有利于维持海缆的埋深稳定性。连锁排敷设引起的流速增幅有限，在表、中、底层均小于 5%，且流速增加高值区域仅限联锁排局部 100m 范围之内，因流速增加引起新的冲刷范围及强度均较弱。

连锁排覆盖后其在涨落潮过程由于其阻水作用东西两侧所产生的壅水高度很小（小于 1.0cm）及其壅水范围有限（1.0cm 壅水高度影响范围小于 205m），综合以上两方面分析工程实施后对于海洋流场等水动力参数基本不产生不利影响。

## 5.2 地形地貌及冲淤环境影响分析

本项目不涉及混凝土连锁块的海缆铺设于海床下，施工完成后，床面在海流作用下逐渐恢复原状，对海床地形地貌影响较小。本项目海缆海南侧线路涉及澄迈湾沙波区，其施工采用机械切割施工，施工完成之后埋设于海床之下，床面在海流作用下逐渐恢复原状，对于在澄迈湾沙波演变及对东西向输沙量的影响较小。

经过上节计算本项目计划敷设的三段连锁排对于水动力条件，尤其是流速场会产生一定影响，本节使用悬沙扩散模型计算分析连锁排施工前后引起的海床冲淤变化情况，其水动力及悬沙扩散模型理论方程详见“5.1.1 节海流数学模型”及“5.3.1.1 节悬浮物扩散模型”，计算悬沙水体与床面交互过程及床面演变过程涉及到的床面冲淤方程、泥沙输沙率经验公式及相关参数取值等介绍如下。

### （1）床面冲淤过程可按以下方程控制

$$\gamma_0 \frac{\partial \Delta h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} - \omega s = \frac{D_z}{H} \frac{\partial s}{\partial \sigma}$$

式中： $\Delta h$  为床面冲淤厚度（m）；

$\gamma_0$  为泥沙干容重（kg/m<sup>3</sup>）；

$t$  为时间(s)；

$x$ 、 $y$ 、 $\sigma$  为原点  $o$  置于某一水平基面， $\sigma$  轴垂直向上的  $\sigma$  坐标系坐标；

$q_x$  为  $x$  向的底沙单宽输沙率（kg/（m·s））；

$q_y$  为  $y$  向的底沙单宽输沙率（kg/（m·s））；

$\omega$  为泥沙沉降速度（m/s）；

$s$  为含沙量（kg/m<sup>3</sup>）；

$D_z$  为悬沙沿  $\sigma$  向的紊动扩散系数(m<sup>2</sup>/s)。

### （2）潮流作用下底沙输沙计算公式

Englund and Hansen 模型

“潮流作用下底沙输沙目前研究得很不够，至今尚无有效的计算公式，一般都借用单

向水流的研究成果，如 Meyer-Peter 公式、Englund 公式、窦国仁公式和武汉水利电力大学等公式进行计算”（该表述引自《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》第 10 章），Englund and Hansen 模型是 Mike 软件泥沙模块中最为常用的底沙输沙公式（Sediment transport）计算方法，该计算结果常用于求取床面冲淤方程（亦或者叫泥沙连续性方程 Sediment Continuity Equation）中底沙输沙率/输沙量的计算。

Englund 和 Hansen 模型是一个总输沙模型，需要指定信息才能将泥沙输送分为推移质输沙和悬移质输沙，本次计算只考虑悬移质输沙，其输沙率可通过以下关系式获得：

$$S_{sl} = k_s \cdot S_{tl}$$

其中，泥沙总输移量可由以下公式获得：

$$S_{tl} = 0.05 \frac{C_n^2}{g} \theta^{\frac{5}{2}} \sqrt{(\rho_s / \rho - 1) g d_{50}^3}$$

泥沙平衡浓度简单地指定为悬移质沙除以水通量，并从体积浓度转换为质量浓度：

$$c_e = \frac{S_{sl}}{V \cdot h} \cdot \frac{\rho_s}{\rho} \cdot 10^6$$

式中：  $S_{sl}$  为悬移质输沙（Suspended load）；

$k_s$  为悬移质输沙率定参数因子（Suspended load calibration factor）；

$\rho_s / \rho$  为泥沙相对密度（Relative density of the sediment）；

$\rho$  为水密度；

$g$  为重力加速度，9.81m/s<sup>2</sup>；

$\rho_s$  为泥沙密度（Density of sediment）。

$S_{tl}$  为总输沙（Total load）；

$c_e$  为平衡质量浓度（Equilibrium mass concentration）；

$C_n$  为谢才系数（Chezy number）；

$V$  为流速（Velocity）；

$\theta$  是希尔兹参数（Shields parameter），它是一个无量纲量，用于确定沉积物输移和床面形态稳定性的阈值，它定义为剪切应力与使沉积物颗粒开始运动所需的临界剪切应力之比，本次计算采用模型手册推荐的公式进行估算：

$$\theta = \frac{\tau}{\rho g (\rho_s / \rho - 1) d_{50}}$$



式中： $\tau$  为水流剪切应力（The flow shear stress），该值由水动力模块进行计算输出。

### （3）模型参数设置

泥沙沉降速度根据不同点位床层粒径值使用张瑞瑾泥沙沉速公式进行计算。模型计算采用波流耦合平衡输沙的形式，临界床层厚度 0.5mm，泥沙孔隙率为 0.42，曼宁系数根据现场率定情况取值为 32~40，横向及垂向扩散系数按照水动力模型涡粘系数公式进行计算，该公式无量纲因子均取 1，开边界初始泥沙含量取其附近水文调查报告点位实测值，初始床层厚度根据不同点位初勘情况赋予不同值。由于地形变化较为缓慢且远滞后于水动力的变化，因此采用地貌加速因子加快地形演变进程，本次地貌加速因子取值为 120。

经分析联锁排施工后海床冲淤变化情况在一年后基本上达到一个新的冲淤动态平衡状态，每段联锁排施工前后所引起的冲淤演变情况分析计算如下。

#### 5.2.1 海缆保护方式 3（北段 KP5-KP9）

北段 KP5-KP9 区间联锁排中上段基本与流场水流方向平行，阻水效果不明显，其引起的冲淤变化较小。下段 KP8-KP9.6 区域之间淤积为主，最大淤积厚度 0.28m，KP9.6 与中段联锁排之间区域由于两部分联锁排对水流的共同束窄作用产生了一个流速增大区，导致该处产生一定冲刷，该联锁排局部附近冲刷深度介于 0.03~0.39m 之间，冲淤具体分布情况如下图所示。

图 5.2-1 联锁排敷设引起的冲淤变化分布

#### 5.2.2 海缆保护方式 5（中段 KP13-KP17）

联锁块敷设完成后与未敷设联锁排的初始状态相比冲淤演变的具体情况为：海缆路径沿线主要以淤积为主，淤积厚度介于 0.05~0.45m 之间，联锁排两侧末端 KP13 和 KP18 处以冲刷为主，路径冲刷坑深度介于 0.05~0.34m 之间，具体分布情况如下图所示。由联锁块引起的冲淤影响局限于周边小范围，并且强度较低，对海底冲淤环境影响较小。

图 5.2-2 联锁排敷设引起的冲淤变化分布

#### 5.2.3 海缆保护方式 1（南段 KP25-KP27）

南段 KP25-KP27 区间联锁排敷设于裸露玄武岩之上，由于其抗冲能力较强，且对应水体含沙量较稳定，因此施工前后基本不产生冲淤变化。

图 5.2-3 联锁排敷设引起的冲淤变化分布

## 5.3 海洋水质环境影响分析

### 5.3.1 施工期悬浮物扩散对水质的影响

#### 5.3.1.1 悬浮物扩散模型

本项目涉海工程施工环境影响主要为海底电缆铺设和定向钻施工等，其中海底电缆铺设源强相对较大，是决定施工期水质环境影响大小的控制工况。本节在上述水动力计算的基础上，对本项目施工期产生的悬浮物增量浓度进行预测，据此评估本项目施工对水质环境的影响。

##### (1) 潮流泥沙基本模型

三维模型垂向坐标形式采用 sigma 坐标，垂向平均分为 5 层，悬浮物输移扩散可按照以下方程控制：

$$\frac{\partial Hs}{\partial t} + \frac{\partial uHs}{\partial x} + \frac{\partial vHs}{\partial y} + \frac{\partial sW}{\partial \sigma} = \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( D_z \frac{\partial s}{\partial \sigma} \right) + \omega \frac{\partial s}{\partial \sigma} + HD_x \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} + HD_y \frac{\partial^2 s}{\partial y^2}$$

式中  $x$ 、 $y$ 、 $\sigma$  为原点  $o$  置于某一水平基面， $\sigma$  轴垂直向上的  $\sigma$  坐标系坐标；

$u$ 、 $v$ 、 $W$  为流速矢量沿  $x$ 、 $y$ 、 $\sigma$  方向的速度分量（m/s）；

$s$  为含沙量（kg/m<sup>3</sup>）；

$t$  为时间（s）；

$D_x$ 、 $D_y$ 、 $D_z$  为悬沙沿  $x$ 、 $y$ 、 $\sigma$  方向的紊动扩散系数（m<sup>2</sup>/s）；

$\omega$  为泥沙沉降速度（m/s）；

$H$  为实际水深（m）， $H=h+\xi$ ；

$\xi$  为相对于  $xoy$  坐标平面的水位（m）；

$h$  为相对于  $xoy$  坐标平面的水深（m）。

床面冲淤控制方程具体详见“4.1.2 地形地貌及冲淤环境影响分析”中的相关介绍。

##### (2) 边界条件

###### ①自由水面

水面边界条件可按下列各式确定：

$$\frac{\partial u}{\partial \sigma} = 0;$$

$$\frac{\partial v}{\partial \sigma} = 0;$$

$$W=0;$$

$$\omega s + \frac{D_z}{H} \frac{\partial s}{\partial \sigma} = 0。$$

式中：

u、v、W 为流速矢量沿 x、y、σ 方向的速度分量（m/s）；

σ 为原点 o 置于某一水平基面，σ 轴垂直向上的 σ 坐标系坐标；

s 为含沙量（kg/m<sup>3</sup>）；

D<sub>z</sub> 为悬沙沿向 σ 向的紊动扩散系数（m<sup>2</sup>/s）；

H 为实际水深(m)，H=h+ξ；

ξ 为相对于 xoy 坐标平面的水位（m）；

h 为相对于 xoy 坐标平面的水深(m)。

## ②床面底边界条件

本次悬浮物计算主要考虑人为扰动引起底层悬浮物的释放、扩散以及底边界沉积通量变化，不考虑自然状态下海流引起的床面冲刷作用以及淤落悬浮物再悬浮产生的水体悬浮物增量。

床面边界条件可按下列各式确定：

$$\frac{\partial u}{\partial \sigma} = \frac{\tau_{bx} H}{\rho N_z};$$

$$\frac{\partial v}{\partial \sigma} = \frac{\tau_{by} H}{\rho N_z};$$

$$-\frac{D_z}{H} \frac{\partial s}{\partial \sigma} - \omega s = \begin{cases} M \left( \frac{\tau_b}{\tau_e} - 1 \right) & \tau_b \geq \tau_e \\ 0 & \tau_d < \tau < \tau_e \\ \omega s \left( \frac{\tau_b}{\tau_d} - 1 \right) & \tau_b \leq \tau_d \end{cases};$$

式中：u、v、W 为流速矢量沿 x、y、σ 方向的速度分量（m/s）；

σ 为原点 o 置于某一水平基面，σ 轴垂直向上的 σ 坐标系坐标；

s 为含沙量（kg/m<sup>3</sup>）；

ω 为泥沙沉降速度（m/s）；

$N_z$  为  $\sigma$  向水流紊动粘性系数 ( $m^2/s$ ) ;

$D_z$  为悬沙沿  $\sigma$  方向的紊动扩散系数 ( $m^2/s$ ) ;

$\tau_{bx}$ 、 $\tau_{by}$  分别为底部切应力矢量沿  $x$ 、 $y$  向的分量 ( $N/m^2$ ) ;

$\tau_d$  为临界淤积切应力 ( $N/m^2$ ) , 通过验证计算确定;

$\tau_e$  为临界冲刷切应力 ( $N/m^2$ ) , 通过验证计算确定。

泥沙沉速  $\omega$  采用张瑞瑾泥沙沉速公式计算:

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

式中,  $v$  为水的运动粘滞性系数,  $v = \frac{1.792 \times 10^{-6}}{1 + 0.03368T + 0.00022T^2}$ ,  $T$  为水温, 本次取

调查期间平均水温  $22.78^\circ C$ ;  $D$  为泥沙粒径 ( $mm$ );  $\alpha$  为重率系数, 取  $1.60$ 。根据沉积物现状调查结果, 模型中根据路由不同段海床沉积物粒径变化情况, 不同位置扰动悬沙取相应位置的中值粒径值。

泥沙起动用窦国仁的泥沙起动公式:

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

悬扬临界流速:

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

落淤的临界流速:

泥沙起动公式中各参数取值为,  $k=0.41$ ,  $g=981cm/s^2$ , 当泥沙粒径  $D < 0.05cm$ , 床面糙率  $\Delta = 0.1cm$ ,  $d'=0.05cm$ ,  $d_*=1.0cm$ , 泥沙粘结系数  $\varepsilon = 1.75cm^3/s^2$ , 薄膜水厚度参数  $\delta = 2.31 \times 10^{-5}cm$ ,  $h$  水深( $cm$ ),  $r_0$  床面泥沙干容重( $g/cm^3$ ),  $r_*$  床面泥沙稳定干容重( $g/cm^3$ ), 泥沙密度  $r_s = 2.63g/cm^3$ , 海水密度  $r = 1.025g/cm^3$ 。

(3) 初始条件:

据本海域悬沙实测资料, 本底悬沙浓度较低, 故不考虑水体含沙量本底值对模型计算的影响, 模拟施工期水体本底值均置为  $0$ , 但考虑施工期间的水体悬沙增量和底边界沉积通量变化。

### 5.3.1.2 悬浮物计算方案

本项目涉海部分施工环境影响主要有海底电缆铺设工程。电缆铺设主要采用挖机预挖沟和水力冲射式挖沟, 部分硬黏土段采用机械链锯切割开槽施工。在挖机挖沟、水力

冲埋和机械开槽期间会造成海床泥沙扬起和再悬浮，形成的悬浮泥沙会对海洋环境影响产生一定影响，以下采用数值模拟对工程施工造成的悬沙影响进行计算。

5.3.1.3 水动力条件

采用 2025 年 4 月 10 日 0 点~2025 年 4 月 25 日 0 点包含连续大、中、小潮总计 15 天的潮汐全过程作为悬浮物计算的代表潮型和水动力条件。

5.3.1.4 悬浮泥沙源强

根据章节“3.2.1.2.1”中对于施工期施工环节悬沙产生情况的核算，本次悬沙预测采取的源强如下。

表 5.3-1 施工期悬浮泥沙源强参数表

工序	埋深（m）	底质	施工速度	源强（kg/s）
预挖沟				
水力冲脉				
机械切割开槽				
定向钻施工				

5.3.1.5 模型源强概化与布置

悬浮泥沙的扩散范围和方向受水动力的影响，不同的水动力条件下其扩散范围和方向不同。海底电缆敷设施工产生的源强是移动的，理论上源强应为移动源，但实际上沿电缆线路各点施工的时间和时长难以准确确定，因此从工程上偏安全考虑，沿线路间隔约 200m 设置一个固定源，按固定点源方式模拟整个全潮周内悬浮泥沙的运动，将各固定点源计算的影响范围进行叠加得出整条线路施工期间悬浮泥沙影响的最大范围。

图 5.3-1 模型中海缆施工悬浮物源强释放点位置布置图

考虑到海缆的布设和施工方式造成的悬泥特点，将悬浮泥沙源强点均匀布置于海缆沿线，即海缆所经之处网格点均定义为悬沙源强点。根据不同段地质施工难易程度及施工机械类型和功率，确定海缆在不同施工段的正常铺设速度。海缆施工过程铺设完成一段海缆即移至下一段，因此每个悬沙源强点不可能源源不断溢出悬沙，考虑最不利要素，

模型主缆及备缆路径每隔 200m 设置一个源强点，分别在大潮、小潮及全潮期间持续释放悬浮泥沙，选择完整的自然半月潮（包含一个大潮、中潮和小潮）进行悬浮泥沙扩散计算，对于悬沙模拟范围的计算持续计算至不再扩大为止，以此计算得出本项目海底电缆大潮期、小潮期及全潮期敷设作业三种工况下的 5 个分层各层悬浮泥沙扩散包络线最大范围。

计算方案为主缆、备缆分别单独施工。预测模拟期内大潮期、小潮期、全潮期主、备缆分别单独进行敷设作业情景下的各层悬浮泥沙扩散包络线最大影响范围以及两者最大影响范围的叠加计算。

### 5.3.2 悬沙扩散范围预测结果分析

由于海缆施工时间具有不确定性，因此采用全潮期固定点源持续释放的方式模拟施工船只设备在场址进行电缆敷设等作业，统计在工程海域悬沙增量大于 10mg/L 面积，获得瞬时最大浓度场。并叠加模拟期间内各网格点大潮、中潮、小潮期持续释放源直至扩散范围最大，从而到达一个动态平衡，在该条件下海缆路径各个网格点释过程形成的最大浓度值的浓度场，从而构成“包络浓度场”。

经过分析计算方案在大潮、小潮及施工期悬沙扩散范围在工程海域的分布规律大致满足近岸区域“悬沙带”宽且中心区浓度高、中央深槽区“悬沙带”窄且中心区浓度低的基本规律，分析其原因主要有以下两方面：一是近岸水深较小，泥沙颗粒较细，不易沉降水中扩散时间久，横向扩散范围广，垂向基本可以扩散至表层水体；二是中央深槽流速虽然大，但床面质地坚硬，扰动区对应的床层颗粒粒径较大，施工速率慢源强值较低，不利于悬沙横向扩散，因此对应扩散范围较小。

#### 5.3.2.1 大潮期施工产生悬沙增量包络线预测

大潮期施工悬沙时间段选取 2025 年 4 月 19 号 00:00 点至 4 月 21 号 00:00 点，总计两天。在该段时间内主、备缆两条路径固定点源单独持续释放，分别计算提取主、备缆悬沙先后释放过程各水层悬沙浓度外包络线的最大值，并将两种悬沙包络线范围进行叠加，求取其最大影响范围，计算结果如下图。

图 5.3-2 (a) 大潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-表层 (0.0H-0.2H)

图 5.3-2 (b) 大潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-表层 (0.0H-0.2H)

图 5.3-2 (c) 大潮期主缆、备缆施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-表层 (0.0H-0.2H)

图 5.3-3 (a) 大潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-次表层 (0.2H-0.4H)

图 5.3-3 (b) 大潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-次表层 (0.2H-0.4H)

图 5.3-3 (c) 大潮期主缆、备缆施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-次表层 (0.2H-0.4H)

图 5.3-4 (a) 大潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-中层 (0.4H-0.6H)

图 5.3-4 (b) 大潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-中层 (0.4H-0.6H)

图 5.3-4 (c) 大潮期主缆、备缆施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-中层 (0.4H-0.6H)

图 5.3-5 (a) 大潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-次底层 (0.6H-0.8H)

图 5.3-5 (b) 大潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-次底层 (0.6H-0.8H)

图 5.3-5 (c) 大潮期施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-次底层 (0.6H-0.8H)

图 5.3-6 (a) 大潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-底层 (0.8H-1H)

图 5.3-6 (b) 大潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-底层 (0.8H-1H)

图 5.3-6 (c) 大潮期施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-底层 (0.8H-1H)

### 5.3.2.2 小潮期施工产生悬沙增量包络线预测

小潮期施工悬沙时间段选取 2025 年 4 月 13 号 00:00 点至 4 月 15 号 00:00 点, 总计两天。在该段时间内主备缆两条路径固定点源先后持续释放, 分别计算提取主备缆悬沙释放期间各水层悬沙浓度外包络线的最大值, 同时并计算二者施工悬沙包络线叠加的影响范围, 计算结果如下图。

图 5.3-7 (a) 小潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-表层

图 5.3-7 (b) 小潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-表层

图 5.3-7 (c) 小潮期施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-表层

图 5.3-8 (a) 小潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-次表层 (0.2H-0.4H)

图 5.3-8 (b) 小潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-次表层 (0.2H-0.4H)

图 5.3-8 (c) 小潮期施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-次表层 (0.2H-0.4H)

图 5.3-9 (a) 小潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-中层 (0.4H-0.6H)

图 5.3-9 (b) 小潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-中层 (0.4H-0.6H)

图 5.3-9 (c) 小潮期施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-中层 (0.4H-0.6H)

图 5.3-10 (a) 小潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-次底层 (0.6H-0.8H)

图 5.3-10 (b) 小潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-次底层 (0.6H-0.8H)

图 5.3-10 (c) 小潮期施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-次底层 (0.6H-0.8H)

图 5.3-11 (a) 小潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-底层 (0.8H-H)

图 5.3-11 (b) 小潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-底层 (0.8H-H)

图 5.3-11 (c) 小潮期施工产生悬沙增量包络线范围叠加图-底层 (0.8H-H)

### 5.3.2.3 主全潮期施工产生悬沙增量包络线预测

全潮期施工悬沙时间段选取 2025 年 4 月 10 日 00:00~2024 年 4 月 25 日 9:00, 总计 15 天模拟时间。在该段时间内主备缆两条路径固定点源持续释放, 计算提取主、备缆悬沙释放期间各水层悬沙浓度外包络线动态变化的最大值, 并将其悬沙影响范围进行叠加计算最大包络线范围, 最终计算结果图如下。

图 5.3-12 (a) 全潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-表层

图 5.3-12 (b) 全潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-表层

图 5.3-12 (c) 全潮期施工产生悬沙增量包络线范围图-表层

图 5.3-13 (a) 全潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-次表层 (0.2H-0.4H)

图 5.3-13 (b) 全潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-次表层 (0.2H-0.4H)

图 5.3-13 (c) 全潮期施工产生悬沙增量包络线范围图-表层



图 5.3-14 (a) 全潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-中层 (0.4H-0.6H)

图 5.3-14 (b) 全潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-中层 (0.4H-0.6H)

图 5.3-14 (c) 全潮期施工产生悬沙增量包络线范围图-中层 (0.4H-0.6H)

图 5.3-15 (a) 全潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-次底层 (0.6H-0.8H)

图 5.3-15 (b) 全潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-次底层 (0.6H-0.8H)

图 5.3-15 (c) 全潮期施工产生悬沙增量包络线范围图-次底层 (0.6H-0.8H)

图 5.3-16 (a) 全潮期主缆施工产生悬沙增量包络线-底层 (0.8H-H)

图 5.3-16 (b) 全潮期备缆施工产生悬沙增量包络线-底层 (0.8H-H)

图 5.3-16 (c) 全潮期施工产生悬沙增量包络线范围图-底层 (0.8H-H)

5.3.2.4 悬沙沉降时间

本次悬浮物扩散影响区域主要集中在南北两侧电缆附近近岸海域。在悬浮物扩散源强最大的海缆保护方式 5 分布段取 1 个特征点，该点悬浮物增量过程线如下图所示，可以看到，施工结束后悬浮物扩散增量迅速减小，3~4 小时内即可下降至 10mg/L 以下。因此，施工引起的悬浮物扩散主要限于施工时，施工结束后数小时内人为增加的悬浮物浓度衰减至 10mg/L 以下。

图 5.3-17 施工停止后悬浮物浓度增量下降过程线

表 5.3-2 施工结束后悬浮物浓度沉降时间统计表

悬沙浓度 (mg/L)	<10	<20	<50	<100	<150
最大沉降时间 (h)					

5.3.2.5 小结

在电缆敷设作业过程中，由于机械的搅动作用，使得泥沙悬浮，造成水体混浊水质下降，并使得周边海区底栖生物生存环境遭到破坏，对浮游生物也产生影响。计算结果显示，海底电缆的敷设施工作业产生的悬浮泥沙将给周边水域带来一定的污染。从分布

趋势看，海缆施工产生的悬沙扩散主要是在缆线周围。由于施工产生的悬浮泥沙源强较大，按最不利情况考虑，施工期海缆敷设产生的大于 10mg/L 的高浓度悬沙主要位于底层、次底层及中层。整体上看，小潮期施工产生悬浮泥沙扩散范围明显小于大潮期悬浮泥沙扩散范围，全潮期各个水层悬沙扩散范围最大。

推荐施工方案在全潮期海缆敷设施工底层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 16.44km<sup>2</sup>，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 10.26km<sup>2</sup>，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 5.30km<sup>2</sup>，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 2.63km<sup>2</sup>。

次底层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 11.07km<sup>2</sup>，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 6.30km<sup>2</sup>，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 2.35km<sup>2</sup>，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 0.99km<sup>2</sup>。

中层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 6.81km<sup>2</sup>，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 3.43km<sup>2</sup>，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 1.37km<sup>2</sup>，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 0.72km<sup>2</sup>。

次表层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 4.80km<sup>2</sup>，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 2.68km<sup>2</sup>，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 1.18km<sup>2</sup>，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 0.64km<sup>2</sup>。

表层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 4.07km<sup>2</sup>，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 2.43km<sup>2</sup>，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 1.14km<sup>2</sup>，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 0.60km<sup>2</sup>。

表 5.3-3 全潮期主、备缆施工产生悬沙增量叠加面积 (km<sup>2</sup>)

<div> <div>悬沙浓度</div> <div>包络线面积</div> </div>	>10 mg/L	>20 mg/L	>50 mg/L	>100 mg/L	>150 mg/L	最大扩散距离 (km)	
						东向	西向
表层							
0.4H 层							
0.6H 层							
0.8H 层							
底层							
平均							

### 5.3.3 施工污水对水质环境的影响分析

本项目海上施工期间施工船舶会产生一定量的生活污水和油污水，生活污水中含有较高浓度的 N、P 等物质，若未经处理直接排放，则会在一定程度上加重海域的富营养化程度，恶化工程附近海域的水环境。本项目施工船舶设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理。

因此，项目建设期间施工船舶将污水收集上岸处置，不外排入海，不会对水质环境造成影响。

### 5.3.4 运营期水质环境影响

项目为海底电缆工程，海底电缆建成后埋在海底，运营期间不产生污染物，运营期检修所产生的少量船舶含油污水和固体废物通过收集带回陆上处理，因此，项目运营期不会对水质环境造成影响。本项目海缆外被层为聚丙烯纤维，其具有强度高、耐酸、耐碱、抗微生物、化学稳定性好等优点，海缆在服务期间不易发生腐蚀，不会产生反应产物污染水质环境。

### 5.3.5 小结

在海缆铺设施工作业中，会产生一定的悬浮泥沙，造成水体混浊水质下降，主要污染物为悬浮泥沙。数模计算结果显示，海底电缆的敷设施工作业产生的悬浮泥沙将给周边水域带来一定的影响。根据预测，项目海缆施工产生的底层悬浮泥沙增量浓度 $>10\text{mg/L}$ 的影响面积为 $16.44\text{km}^2$ ，最大扩散距离为电缆西向 $0.75\text{km}$ ，海缆敷设施工时间短，引起的 $10\text{mg/L}$ 悬浮泥沙扩散主要限于施工时，施工结束后影响逐渐消失。

## 5.4 海洋沉积物环境影响分析

海底电缆埋设期间对沉积物环境的影响首先是开挖和覆盖，掀起的海底泥沙在海流和重力作用下自然回填缆沟，覆盖厚度 $>2\text{cm}$ 的面积主要位于缆沟两侧附近，使原海底沉积物受到一定程度的覆盖和破坏。但悬浮泥沙均是局地沉积物再沉积，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，并没有混入其他污染物，不会影响海底沉积物质量，随着施工结束逐渐恢复沉积物原有环境。

此外，定向钻作业会对出土点附近的沉积物环境产生一定影响，施工过程中产生的少量钻屑和泥浆在海水动力作用下会向周边扩散并沉降，覆盖海底局部区域，导致该区

域的沉积物类型（如粒径、组成等物理性状）发生改变，并可能使有机质等污染物含量略有升高。然而，由于钻屑和泥浆的溢出量较小，其影响范围十分有限，施工结束后，受影响区域的沉积物环境会在较短时间内逐步恢复。因此，定向钻作业对沉积物环境的扰动具有局部性和短暂性，不会对海区整体沉积环境产生显著影响。

综合分析，本项目施工期对项目及附近海域的沉积物环境产生影响的影响较小。

运营期间海缆运维船产生的生活污水和生活垃圾随船收集上岸集中处置，本项目运营期不向外排放废水、固废，对沉积物环境影响较小。

## 5.5 海洋生态环境影响分析

本项目建设对海洋生态环境产生的影响主要在施工期。一是海缆占用海域对底栖生物造成的影响；二是海缆敷设施工产生的悬浮物对浮游生物和渔业资源生态产生的影响。

### 5.5.1 施工期海洋生态环境影响

#### 5.5.1.1 底栖生物和潮间带生物的影响

本项目建设对底栖生物的影响主要是海底电缆在施工阶段将使作业区所在海域底栖生物和潮间带生物的栖息环境遭到破坏，施工结束后，随着新的底栖或潮间带生物的植入而产生新的栖息环境。

总体来说，项目施工改变了底栖生物原有的栖息环境，局部施工海域将彻底改变其底质环境，使得少量活动能力强的底栖生物逃往他处，而大部分底栖种类将被掩埋、覆盖，除少量能够存活外，绝大部分种类诸如贝类、多毛类、线虫类等都难以存活，但海底电缆处的底栖生境在施工结束后可逐渐恢复。

#### 5.5.1.2 浮游生物及游泳生物的影响

##### ①对浮游植物影响分析

根据对本项目建设过程的分析，在做好施工期船舶生活污水、含油污水、生活垃圾的收集处理工作的前提下，施工期对浮游植物最主要的影响是施工增加了水体中悬浮物质，影响了水体的透光性，进而影响了浮游植物的光合作用。已有很多国内外学者对光照强度与浮游植物的光合作用之间的关系进行了研究，大量的实验及调查研究表明，水体透明度对叶绿素 a 和浮游植物数量分布和变化是一个至关重要的制约因素。

项目施工过程中造成悬浮物浓度增加，水体透光性减弱，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真光层厚度，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，降低单位水体中浮游植物数量，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。同时悬浮泥沙的扩散影响会对鱼卵、仔稚鱼的生境产生影响，进而对鱼卵仔鱼资源量造成影响。

一般而言，悬浮物的浓度增加在 10mg/L 以下时，水体中的浮游植物不会受到影响，而当悬浮物浓度增加到 50mg/L 以上时，浮游植物会受到较大的影响，特别是中心区域，悬浮物含量极高，海水透光性极差，大部分浮游植物无法生存。当悬浮物的浓度增加量在 10~50mg/L 时，浮游植物将会受到轻微的影响。

在海洋食物链中，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，致使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，对整个海洋生态食物链的影响是多环节的。

## ②对浮游动物的影响

施工作业引起施工海域内的局部海水的浑浊，这将使阳光的透射率下降，从而使得该水域内的游泳生物迁移别处，浮游生物将受到不同程度的影响，尤其是滤食性浮游动物和营光合作用的浮游植物受到的影响较大，这主要是由于施工作业引起的水中悬浮物增加，悬浮颗粒会粘附在动物体表，干扰其正常的生理功能，滤食性浮游动物及鱼类会吞食适当粒径的悬浮颗粒，造成内部消化系统紊乱。

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，尤其在悬浮物含量大到 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。同时，过量的悬浮物质对鱼、虾类幼体的存活也会产生明显的抑制作用。

## ③对渔业资源和渔业生产的影响

项目海上施工会对渔业资源产生一定影响。施工产生的悬浮物可以阻塞鱼类的鳃组织，造成其呼吸困难，严重的可能会引起死亡，对渔业资源会产生一定的影响。悬浮物对渔业资源的影响除可产生直接致死效应外，还存在间接、慢性的影响，例如：A.造成生物栖息环境的改变或破坏，引起食物链和生态结构的逐步变化，导致生物多样性和生

物丰度下降；B.造成水体中溶解氧、透光度和可视性下降，使光合作用强度和初级生产力发生变化，进而影响水生动物的生长和发育；C.混浊的水体使某些种类的游动、觅食、躲避致害、抵抗疾病和繁殖的能力下降，降低生物群体的更新能力等。

项目海上施工会对渔业捕捞产生一定影响。鱼类等水生生物都比较容易适应水环境的缓慢变化，但对骤变的环境，它们反应则是敏感的。施工作业引起悬浮物质含量变化，并由此造成水体混浊度的变化，其过程呈跳跃式和脉冲式，这必然引起鱼类等其他游泳生物行动的改变，鱼类将避开这一点源混浊区，产生“驱散效应”。然而，这种效应会对渔业资源产生两方面的影响：一是由于产卵场环境发生骤变，在鱼类产卵季节，从外海洄游到该区域产卵的群体，因受到干扰而改变其正常的洄游路线；二是在该区域栖息、生长的一些种类，也会改变其分布和洄游规律。

此外，施工对渔业的影响还体现在浮游动物与浮游植物食物供应所受到的影响上。浮游植物和浮游动物是海洋生物的初级和次级生产力，施工过程会对浮游植物和浮游动物的生长产生不利影响，严重时甚至会导致死亡。部分鱼类是以浮游植物为食，而且这些种类多为定置性种类，活动能力较弱，工程施工期就会对其生长产生不利影响。因此，从食物链的角度考虑，施工不可避免对鱼类和虾类的存活与生长产生明显的抑制作用，对渔业资源带来一定负面影响。

项目海上施工也会对鱼卵、仔稚鱼产生一定的影响。鱼卵和仔稚鱼类由于缺乏一定的运动能力，不能与成鱼一样逃离混浊水域，因而遭受伤害甚至死亡。根据相关资料统计，当悬浮物增量达到 125mg/L 时，这种水体中的鱼卵和仔稚鱼将遭受破坏。

从水环境影响预测结果来看，本项目施工引起的悬浮物增量大于 10mg/L（超Ⅱ类海水水质）的最大影响在施工水域底层 16.44km<sup>2</sup> 范围内，施工期这一范围内，初级生产力下降，渔业资源受到一定影响。根据类似工程产生的悬浮泥沙影响程度来看，悬浮泥沙对水质的影响在工程结束后 4~5 小时可基本消除，施工对水质的影响是暂时的和局部的，当施工结束后，这种影响也随之结束，随之而来的是生物的重新植入。

### 5.5.1.3 生物资源损失分析

根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）（以下简称《规程》）进行生态损失量及生态补偿计算。

#### 一、工程永久占用水域造成的生物资源损失

海底电缆铺设造成底栖生物和潮间带生物一次性破坏。根据《规程》，底栖生物和

潮间带生物资源损失量评估按下式计算：

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中：

$W_i$ ——第  $i$  种类生物资源受损量，单位为尾、个、千克（kg）；

$D_i$ ——评估区域内第  $i$  种类生物资源密度，单位为尾（个）每平方千米[尾（个）/km<sup>2</sup>]、尾（个）每立方千米[尾（个）/km<sup>3</sup>]、千克每平方千米（kg/km<sup>2</sup>）；

$S_i$ ——第  $i$  种类生物占用的渔业水域面积或体积，单位为平方千米（km<sup>2</sup>）或立方千米（km<sup>3</sup>）。

评估区域内底栖生物和潮间带生物资源密度采用春季工程区周边调查站位生物量平均值，所用调查站位和平均生物量如表 5.5-1 所示。

表 5.5-1 计算所采用的调查站位及其平均生物量

工程	受损生物种类	春季	
		站位	平均生物量（g/m <sup>2</sup> ）
海底电缆	底栖生物	A1、A2、A4、A6、A7、A8、A10、A11	
	潮间带生物	C1、C2	

本项目单回电缆 38.1km，其中两端登陆点间路由平面长度约 35.55km（海上部分 35.32km，陆域部分 0.23km），考虑海中地形起伏、登陆段爬坡及盘缆并海缆所增加的长度，共计约 38.1km，根据工程用海实际，海缆工程影响核算按路由平面长度核算，海上部分海底电缆总长 35.32km，本报告以海底电缆敷用海范围内大型底栖生物全部死亡计算。由施工开挖造成的潮间带和底栖生物生境破坏认定为一次性破坏，混凝土联锁块压盖区域认定为长期压占。施工一次性破坏面积根据海缆施工方式开槽面积计算，混凝土联锁块压占面积根据布设面积计算。根据上表，计算底栖生物和潮间带生物损失量如下：

表 5.5-2 底栖生物生境、潮间带破坏面积

分段	里程（m）	影响宽度（m）	破坏方式	破坏区域	单缆破坏面积（m <sup>2</sup> ）
浅滩段			施工一次性破坏	潮间带	
北堆积段 1			施工一次性破坏	底栖生物	
北堆积段 2			混凝土联锁块压占	底栖生物	
交越段（海洋牧场海底电缆）			混凝土联锁块压占	底栖生物	
北堆积段 3			混凝土联锁块压占	底栖生物	

北堆积段 4			施工一次性破坏	底栖生物	
北侵蚀段			混凝土联锁块压占	底栖生物	
中央深槽段			施工一次性破坏	底栖生物	
南部隆起段			混凝土联锁块压占	底栖生物	
南侵蚀段			施工一次性破坏	底栖生物	
合计			/	/	

**表 5.5-3 底栖生物、潮间带生物直接损失量估算表**

工程	破坏性质	破坏面积 (m <sup>2</sup> )	底栖生物平均 生物量 (g/m <sup>2</sup> )	潮间带生物 平均生物量 (g/m <sup>2</sup> )	生物损失量 (kg)	
海底电缆	一次性破坏底 栖生物生境					
	一次性破坏潮 间带生物生境					
	长期压占底栖 生物生境					
	合计				底栖生 物	
					潮间带 生物	

根据计算结果，海底电缆敷设造成的底栖生物资源一次性损害损失量估算结果为：底栖生物资源损失 335.30kg，潮间带生物损失 6275.46kg；造成的底栖生物资源长期压占损失量估算结果为 3479.33kg。

## 二、悬沙造成的生物资源损失

施工期悬浮泥沙对渔业资源的损失按照《规程》中的相关公式计算，采用公式如下：

$$M_i = W_i \times T$$

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

式中：

$M_i$ ——第  $i$  种生物资源累计损害量，尾、个或千克（kg）；

$W_i$ ——第  $i$  种类生物资源一次平均损失量，单位为（尾）、个（个）、千克（kg）；

$T$ ——污染物浓度增量影响的持续周期数（以年实际影响天数除以 15）；

$D_{ij}$ ——某一污染物第  $j$  类浓度增量区第  $i$  种类生物资源密度，单位为尾平方千米（尾 / km<sup>2</sup>）、个平方千米（个 / km<sup>2</sup>）、千克平方千米（kg / km<sup>2</sup>）；

$S_j$ ——某一污染物第  $j$  类浓度增量区面积，单位为平方千米（km<sup>2</sup>）；



$K_{ij}$ ——某一污染物第  $j$  类浓度增量区第  $i$  种类生物资源损失率，单位为百分之（%）；  
生物资源损失率取值参见表 7.5.1-4；

$N$ ——某一污染物浓度增量分区总数。

**表 5.5-4 污染物对各类生物损失率**

污染物 $i$ 的超标倍数 ( $B_i$ )	各类生物损失率 (%)			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
$B_i \leq 1$ 倍	5	$<1$	5	5
$1 < B_i \leq 4$ 倍	5~30	1~10	10~30	10~30
$4 < B_i \leq 9$ 倍	30~50	10~20	30~50	30~50
$B_i \geq 9$ 倍	$\geq 50$	$\geq 20$	$\geq 50$	$\geq 50$

注：  
1.本表列出污染物  $i$  的超标倍数 ( $B_i$ )，指超《渔业水质标准》或超Ⅱ类《海水水质标准》的倍数，对标准中未列的污染物，可参考相关标准或按实际污染物种类的毒性试验数据确定；当多种污染物同时存在，以超标标准倍数最大的污染物为评价依据。  
2.损失率是指考虑污染物对生物繁殖、生长或造成死亡，以及生物质量下降等影响因素的综合系数。  
3.本表列出的对各类生物损失率作为工程对海洋生物损害评估的参考值。工程产生各类污染物对海洋生物的损失率可按实际污染物种类，毒性试验数据作相应调整。  
4.本表对 pH、溶解氧参数不适用。

本项目海底电缆施工悬浮泥沙生物资源损失选取评价范围内生物调查站点。所选取的调查站位如表 5.5-5 所示：

**表 5.5-5 选取的调查站位及平均生物量**

工程	生物种类	春季	
		站位	平均生物量
海底电缆	鱼卵 (粒/ $m^3$ )	A1、A2、A4、A6、A7、A8、A10、 A11	
	仔鱼 (尾/ $m^3$ )		
	游泳生物 ( $kg/km^2$ )		

本项目鱼卵、仔鱼和游泳生物的损失量依据悬沙扩散面积、污染物生物损失率和海域生物量进行计算。计算生物损失采用各层悬浮泥沙影响面积的平均值，项目所在海域平均水深取 50m。本项目施工造成的鱼卵、仔稚鱼、游泳生物损失见表 5.5-6。本项目施工将造成鱼卵损失  $2.52 \times 10^7$  粒、仔稚鱼损失  $2.52 \times 10^7$  粒、游泳生物损失 197.70kg。

**表 5.5-6 施工悬浮泥沙扩散造成的生物资源损失计算表**

生物种类	悬沙增值浓度 ( $mg/L$ )	污染物超标倍数 ( $B_i$ )	悬沙扩散面积 ( $km^2$ )	水深 (m)	损失率 %	污染物影响周期数 $T$	生物密度	损失量	损失量合计
鱼卵	10~20	$B_i \leq 1$ 倍							
	20~50	$1 < B_i \leq 4$ 倍							

	50~100	$4 < B_i \leq 9$ 倍							
	$\geq 100$	$\geq 9$ 倍							
仔稚鱼	10~20	$B_i \leq 1$ 倍							
	20~50	$1 < B_i \leq 4$ 倍							
	50~100	$4 < B_i \leq 9$ 倍							
	$\geq 100$	$\geq 9$ 倍							
游泳生物	10~20	$B_i \leq 1$ 倍							
	20~50	$1 < B_i \leq 4$ 倍							
	50~100	$4 < B_i \leq 9$ 倍							
	$\geq 100$	$\geq 9$ 倍							

### 三、工程总生物损失量及生态赔偿额

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

底栖生物、潮间带生物按成体生物处理，商品价格按照经济贝类市场价格计算（15 元/kg）。

游泳生物按成体生物处理，价格按海鱼的平均价格计算（20 元/kg）。

仔鱼折算成商品鱼苗进行计算，鱼卵生长到商品鱼苗按 1%成活率计算，仔稚鱼生长到商品鱼苗按 5%成活率计算）。商品鱼苗价格根据市场调研，取当地市场价 0.8 元/尾。

根据《规程》，占用年限低于 3 年的，按 3 年补偿；占用年限 3-20 年的，按照实际占用年限补偿；占用 20 年以上的，按不低于 20 年计算。一次性生物资源损害补偿为一次性损害额的 3 倍。因此，本项目鱼卵和仔稚鱼资源损害、游泳生物资源损害和海底电缆敷设所导致的底栖生物资源损害皆为一次性损害，应按损害额的 3 倍进行补偿；混凝土软体排压占所造成的生物资源损害则按实际使用年限 30 年进行补偿。各种海洋生物的直接经济损失额见表 5.5-7，本工程海洋生物直接经济损失额为          万元。

**表 5.5-7 海洋生物资源损失汇总及生态赔偿额估算**

影响因素	生物种类	直接损失量		单价	补偿年限	经济赔偿额 (万元)
海缆施工	底栖生物 (kg)					
	潮间带生物 (kg)					
混凝土软体排	底栖生物 (kg)					
施工悬	鱼卵 (粒)					

浮泥沙	仔鱼（尾）					
	游泳生物（kg）					
合计						

### 5.5.2 运行期海洋生态环境影响

本项目海缆外被层为聚丙烯纤维，其具有强度高、耐酸、耐碱、抗微生物、化学稳定性好等优点，海缆在服务期间不易发生腐蚀，不会产生反应产物，不对海洋生物产生毒害反应。海底电缆运行期间会产生电磁场，但由于海底电缆埋设在海床以下，在海缆外被层和覆土的共同作用下，其电磁场强度被大大削弱，对海洋生物影响有限。根据《海底电缆管道保护规定》，禁止在海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其它可能破坏海底电缆管道安全的海上作业，因此，运行期海缆所在海域渔业捕捞活动将受到限制，对渔业生产造成一定影响，但正由于形成了禁捕区，一定程度上有利于鱼类的繁殖和生长，有利于保护幼鱼幼虾，有利于保护产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道，对渔业资源的影响有可能产生正面效应。

### 5.5.3 对环境敏感保护目标的影响分析

#### 5.5.3.1 对广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区的影响分析

本项目海上部分海缆平面长度约 35.32km，电缆主要埋设于底土，而珊瑚主要是生长于底土以上的水体中，工程建设对附近珊瑚礁的影响主要为施工期悬浮泥沙掩埋、水体中悬浮泥沙浓度升高及其引起的光照衰减，影响浮游植物的光合作用强度降低，进而影响珊瑚的生长，另一方面悬浮泥沙沉降后可能对珊瑚的呼吸、受精、附着和存活产生一定影响。

本项目路由选址已避让广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区，根据珊瑚礁调查结果，电缆路由湛江徐闻近岸段附近站位主要以岩石底和砾石底为主，保护区内布设的 2 个调查站位有 1 个站位（D3）发现有珊瑚，其珊瑚种类数量较少，在 3.2 米水深线样线中发现有造礁石珊瑚 4 科 7 种，调查区域内的造礁石珊瑚形态都为块状生长型，未见分枝状生长型，可见调查区域内的造礁石珊瑚群落处于较为贫乏的状态。

由图 7.5.3-1 可见电缆敷设引起的底层增量大于 10mg/L 浓度悬浮泥沙最大扩散范围距离保护区最近距离为 1.93km。且海底电缆管道为线性工程，施工期较短，从琼州海峡

北岸向南岸动态前行施工，施工引起的悬浮泥沙很快沉降，因此施工期悬浮泥沙对珊瑚影响很小。

本项目建成运行后基本不产生污染物，不会对海域水质造成影响，海底电缆敷设于海底，不会改变路由海域海底地形地貌因此也不会改变海域水文动力与地形冲淤环境，所设置混凝土联锁块仅影响小范围冲淤环境，影响程度较小。此外，本项目穿越琼州海峡，存在一定的海底电缆损坏事故的风险，在发生电缆破裂等风险事故时，海缆耐海水腐蚀对海域环境基本无影响，电缆修复时，对珊瑚礁生态的影响同施工期。

本项目已开展对该自然保护区生态环境影响的评估报告，根据评估结论，施工期10mg/L 悬沙影响范围不涉及广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区。项目实施对周边海域水动力环境、海域地形地貌和冲淤环境不会产生明显影响。因此，项目建设对距离较远的广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区基本无影响。

**图 5.5-1 底层悬沙扩散范围与保护区及调查站位叠加示意图**

### 5.5.3.2 对湛江徐闻灯楼角县级森林公园的影响分析

本项目对湛江徐闻灯楼角县级森林公园的主要影响有施工期悬浮泥沙、废水、噪声；运营期本项目海底电缆环境影响主要为导线电晕所产生的电磁场，由于海底电缆埋设于海底，运营期产生的电磁影响较小。

本项目海底电缆在靠近湛江徐闻灯楼角县级森林公园段施工方式为两栖挖沟机开挖，施工产生的悬浮泥沙底层影响范围距离森林公园最近处距离为 0.95km，施工产生悬浮泥沙大于 10mg/L 区域不会扩散到森林公园范围内，对森林公园影响较小。本项目施工船舶产生生活污水和船舶废水收集后随船回收岸上进行集中处理，不涉及排放。施工期合理安排高噪音机械作业时间，避开动物活动的敏感时段，考虑到本项目距离森林公园距离有 1.1km，施工噪声影响可控。

综上，项目建设对湛江徐闻灯楼角县级森林公园基本无影响。

**图 5.5-2 底层悬沙扩散范围与森林公园位置示意图**

### 5.5.3.3 对生态保护红线的影响分析

本项目海缆不占用生态保护红线，距离广东省生态保护红线最近距离为 318m，距离

海南省生态保护红线最近距离为 624m，施工过程中产生悬沙增量大于 10mg/L 区域未扩散到生态保护红线处，对生态红线产生影响较小，因此本项目建设符合生态保护红线管控要求。

图 5.5-3 项目与周边生态保护红线位置示意图

#### 5.5.3.4 对珊瑚礁的影响分析

本项目广东侧登陆端距离西侧生态保护红线——广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区约 2300m，距离西侧徐闻珊瑚礁最近距离约 1092m；海南登陆段距离西侧生态保护红线——林诗岛珊瑚礁保护区最近距离约 624m。海南侧登陆段定向钻穿越 2023 年海南省珊瑚礁调查和评估项目中调查到的澄迈县珊瑚礁分布区，定向钻出钻点距离澄迈县珊瑚礁分布区最近为 96m。

本项目用海方式为海底电缆管道，海上工程路由长度约 35.32km，拟采用边敷边埋、先敷后埋的敷设方式。电缆主要埋设于底土，而珊瑚礁则依赖水体环境中的光照和营养物质进行生长，工程建设对周边珊瑚礁的影响主要体现在施工期和运营期。施工期悬浮泥沙掩埋、水体中悬浮泥沙浓度升高及其引起的光照衰减，影响浮游植物的光合作用强度降低，浮游植物的光合作用受抑制也会导致整个珊瑚礁生态系统的初级生产力下降，进一步影响珊瑚的营养获取。另一方面，施工结束后悬浮泥沙会逐渐沉降海底，形成沉积层，这一过程可能改变珊瑚礁的沉积环境，影响其附着和存活，或覆盖其幼虫的发育区域，从而降低其繁殖成功率。

根据 4.2.7.1 节对海口桥头镇和徐闻东侧海域海底造礁石珊瑚调查结果，本项目海底电缆线路不涉及直接压占珊瑚礁分布。本项目通过定向钻底土穿越的方式穿越海南澄迈珊瑚礁分布区域，针对本项目海南侧定向钻位置开展了珊瑚礁调查，在定向钻处（水深约 8m）、水深 7.5m 处皆未发现造礁石珊瑚分布。因此，本项目海缆铺设不涉及占用广东和海南侧现状珊瑚礁。

海底电缆建设对珊瑚礁的影响主要围施工产生的悬浮泥沙。根据悬浮泥沙分析结果，发现施工产生的悬浮泥沙影响范围仅限于路由及周边部分海域，且施工采用动态推进方式，施工期较短，通过快速沉降工艺有效控制暴露时间，悬沙浓度增量 10mg/L 范围不覆盖广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区、珊瑚礁生态保护红线和现状珊瑚礁分布区，对浅水层光照及营养输送的影响微弱。

经计算施工结束后由于施工机械引起的悬浮泥沙完全沉降后（大约 3~4 小时），在登陆点沿线海岸澄迈县珊瑚礁分布区域造礁石珊瑚分布 YD7-3 样带（珊瑚礁调查断面）对应最大淤积厚度为 0.0014mm，平均淤积厚度 0.00104mm，珊瑚礁区域平均淤积速率均值为 0.0026mg/cm<sup>2</sup>/d，断面平均淤积速率最大值为 0.0041mg/cm<sup>2</sup>/d。

表 5.5-8 海南侧澄迈县珊瑚礁分布区淤落厚度及速率统计表

计算区域	珊瑚礁区悬沙最大淤落厚度 (mm)	对应坐标 (x, y)	珊瑚礁区悬沙平均淤落厚度 (mm)	珊瑚礁区平均淤落速率 (mg/cm <sup>2</sup> /d)	珊瑚礁区平均淤落速率最大值 (mg/cm <sup>2</sup> /d)	对应坐标 (x, y)
调查断面 YD7-3						

海南澄迈珊瑚礁分布区域距离海南侧定向钻出钻点处最近距离为 96 米，本项目施工底层悬浮泥沙 10mg/L 范围距离澄迈珊瑚礁分布区域最近距离为 13m，为进一步加强施工悬浮泥沙防护，本项目将在海南侧定向钻出钻点处 50 米处布设防污帘，有效防止悬浮泥沙对海南侧现状珊瑚礁产生影响。Jeremy J. Sofonia 等人（High-sediment tolerance in the reef coral *Turbinaria mesenterina* from the inner Great Barrier Reef lagoon (Australia), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2008）研究结果发现，皱纹陀螺珊瑚（*Turbinaria mesenterina*）能耐受 7-12mg/cm<sup>2</sup>/d 悬浮泥沙，生理指标均未有显著变化；Bessell-Browne, P.等人（Cumulative impacts: thermally bleached corals have reduced capacity to clear deposited sediment., *Scientific Reports*, 2017）研究发现澄黄滨珊瑚（*Porites lutea*）最高能耐受 40mg/cm<sup>2</sup>/d 悬沙，其具有清除表面浮泥沙的能力，从而耐受高浓度悬浮泥沙。本项目悬浮泥沙模拟结果表明，在海南侧登陆段珊瑚礁分布处的悬浮泥沙最大淤落速率为 0.0041mg/cm<sup>2</sup>/d，并且影响时间仅限施工期 3-4 小时内，结果表明本项目建设产生的悬沙对周边珊瑚礁区域影响较小。

本项目用海方式为海底电缆管道，海上工程路由平面长度约 35.32km，在前期路由选址阶段避开了大部分珊瑚礁，在登陆段采用定向钻方式穿越底土到达登陆点，拟采用边敷边埋、先敷后埋的敷设方式，施工期较短，从琼州海峡北岸向南岸动态前行施工，施工引起的悬浮泥沙很快沉降，因此施工期悬浮泥沙对珊瑚影响很小。根据悬浮泥沙分析结果，海缆施工底层悬浮泥沙大于 10mg/L 范围不涉及珊瑚礁分布区域。建成运行后基本不产生污染物，不会对海域水质造成影响，海底电缆敷设于海底，不会改变路由海域海底地形地貌，因此也不会改变海域水文动力与地形冲淤环境，所设置混凝土联锁块仅

影响小范围冲淤环境，影响程度较小。此外，本项目穿越琼州海峡，存在一定的海底电缆损坏事故的风险，在发生电缆破裂等风险事故时，海缆耐海水腐蚀对海域环境基本无影响，电缆修复时，对珊瑚礁生态的影响同施工期。营运期项目海底电缆埋于底土以下，基本不会对珊瑚礁及其海洋环境产生明显不利影响。

图 5.5-4 底层悬沙扩散范围与珊瑚礁分布区叠加示意图

图 5.5-5 底层悬沙扩散范围与澄迈县珊瑚礁分布区位置示意图

图 5.5-6 加防污帘后底层悬沙扩散范围与澄迈县珊瑚礁分布区位置示意图

### 5.5.3.5 对红树林的影响分析

本项目海缆工程不穿越红树林区域，项目评价范围内的红树林区域主要分布在徐闻县登陆段周边。红树林生长于陆地与海洋交界带的滩涂浅滩，是陆地向海洋过度的特殊生态系统。红树林生长的地方，潮水起起落落，其生长与水质环境息息相关。海缆施工期间，会引起悬浮泥沙增加，进而对周边红树林分布区域的水质环境造成影响，悬浮泥沙若附着在红树林气生根、皮孔，会对红树植物呼吸作用产生不利影响。

本项目线路距离湛江市徐闻县红树林生态保护红线最近距离为 318m，与现状红树林最近距离为 124m。本项目海底电缆与现状红树林间有一定距离，海底电缆工程埋设在海床以下，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，不会对潮流动力产生影响，亦不会对周边地形地貌产生影响，不会对现状红树林所在海域底质环境产生影响。

红树林虽对沉积悬沙有一定适应性，但短期内大量高浓度悬浮泥沙可能堵塞红树气根、覆盖幼苗，影响其呼吸和生长。同时，泥沙沉降可能改变滩涂地貌和水文。挖沟、埋设作业会直接破坏施工路由上的底栖生物栖息地。根据悬浮泥沙扩散预测结果，本项目施工产生悬浮泥沙增量大于 10mg/L 范围不涉及徐闻县红树林生态保护红线，涉及登陆点周边零星分布现状红树林 0.0138 公顷，最大影响浓度为 20mg/L。

根据李玟等人研究（码头工程建设对红树林湿地的影响及修复措施[J].海岸工程，2024）发现码头建设期间造成了周边白骨壤为主的红树林湿地的退化，其原因主要为：产生的高岭土悬浮物沉积或附着于红树林根部及叶片上，不仅严重影响植物呼吸和光合作用，而且致其根部腐烂进而导致死亡；码头建设导致的红树林湿地内水流减缓，以及

因围填活动引起的局部滩面抬高，造成红树根部积水。根据刘莹等人（红树林致死悬沙浓度研究——以广西铁山港死亡红树林为例[J].广西大学学报（自然科学版），2024）研究发现，悬沙浓度 2.0g/L 为红树林致死参考值。本项目施工产生悬沙对登陆段临近红树林的最大影响浓度为 20mg/L，远小于致死参考值，此外红树林可以生长在泥质、砂质和基岩海岸上，以淤泥潮滩最普遍且生长最好，因此悬沙对红树林影响较小。本项目施工产生的悬沙在施工后 3-4 小时内会完全沉降，对零星红树林影响较小。

考虑到本项目临近红树林处为滩涂段，海缆施工将在退潮时开展，从而减少悬浮泥沙对红树林的影响；本项目海缆建设不会改变周边水文动力条件，不会影响红树林分布区域水力交换。施工期对周边红树林开展监测，持续跟踪红树林生态情况。施工期及运营期生活污水、含油污水及固体废弃物均统一收集处理，不排海。运营期项目海底电缆埋于底土以下，海缆线路距离红树林较远，对红树林海洋生态影响很小。

综上所述，在采取保护措施和合理安排施工时间的情况下，能有效控制海缆建设对红树林的影响。

**图 5.5-7 底层悬沙扩散范围与红树林分布区叠加示意图**

### 5.5.3.6 对海水养殖活动的影响分析

本项目周边海域开发利用活动存在较多海水养殖项目，包括

、现状养殖围塘、现状海水养活动殖等。根据徐闻县迈陈镇人民政府和徐闻县迈陈镇新地村民委员会对本项目用海区域徐闻侧海上养殖调查情况，本项目海缆敷设和保护区范围内主要涉及吊养和网箱养殖活动，养殖品种为生蚝、红螺、珍珠螺等。

根据悬浮物扩散数模结果，本项目海底电缆施工产生的悬浮泥沙仅集中在海缆两侧区域，施工悬沙底层增量浓度大于 10mg/L 的包络线最大影响范围限于工程区及其周边海域内，上述已建设养殖活动处于广东侧海域，根据悬浮泥沙增量浓度大于 10mg/L 的包络线与海域开发利用活动叠加示意图可知，受施工悬浮泥沙影响的海水养殖活动有限，主要为现状海水养殖活动，悬沙浓度大于 10mg/L 的包络线不涉及现状养殖围塘、

。本项目海缆铺设涉及现状海水养殖活动，相关养殖活动需开展清理，施工时应提前与各养殖业主提前沟通，告知施工时间和计划，施工时尽可能降低施工强度，做好悬浮物扩散防护措施，尽量使施工影响降至最低，随着海缆施工结束，悬浮泥沙浓度会在数小时内迅速衰减至背景浓度值。



图 5.5-8 底层悬沙扩散范围与养殖区叠加示意图

### 5.5.3.7 对“三场一通道”的影响分析

根据农业农村部公告第 189 号《中国海洋渔业水域图》（第一批）南海区渔业水域图（第一批），本项目位于：南海北部幼鱼繁育场保护区，保护期为 1~12 月，管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。

#### （1）施工期

施工影响主要为悬浮泥沙影响，施工产生的悬浮物浓度增加导致海水水质变差，将影响到鱼卵和仔稚鱼的孵化率和成活率，甚至造成其直接死亡，另一方面，施工悬浮物浓度的增加也会造成成鱼的回避，使鱼类暂时无法进入该海域产卵。

本项目施工悬浮物主要发生在海底电缆敷设施工阶段，因此海底电缆敷设施工应避开南海底层、近底层鱼类产卵期。根据数模预测结果，海底电缆敷设期间，施工产生的悬浮泥沙影响区域主要集中在底层，对中层和表层的影响甚小，底层增量浓度大于 10mg/L 的最大影响面积为 16.44km<sup>2</sup>，在这一范围内，鱼卵和仔鱼可能会受到一定影响。随着施工的结束，悬浮物可在较短时间内恢复本底水平，总体而言，电缆敷设施工对保护区海水水质影响有限。另外，本项目对施工期悬浮泥沙引起的生物资源损失进行一定的补偿，因此海底电缆施工期对“三场一通道”影响可接受。

#### （2）运行期

本项目海底电缆运行期环境影响主要为海底电缆电磁环境影响。由于电磁场在海水介质中的衰减特性，海底电缆产生的电磁场影响范围主要集中于海底电缆周围，因海缆埋设在底土中，并且经电缆绝缘层、金属套、金属铠装屏蔽，海底电缆产生的电磁场强度很小，不会对海洋生物产生大的影响。

### 5.5.3.8 对重要湿地的影响分析

本项目海缆不占用国际重要湿地，施工过程中产生悬沙增量大于 10mg/L 区域未扩散到国际重要湿地，最近距离为 44m。本项目建成运行后基本不产生污染物，不会对海域水质造成影响，海底电缆敷设于海底，不会改变路由海域海底地形地貌因此也不会改变海域水文动力与地形冲淤环境小。此外，本项目穿越琼州海峡，存在一定的海底电缆损

坏事故的风险，在发生电缆破裂等风险事故时，海缆耐海水腐蚀对海域环境基本无影响，电缆修复时，对珊瑚礁生态的影响同施工期。本工程建设对国际重要湿地产生影响较小。

图 5.5-9 底层悬沙扩散范围与国际重要湿地叠加示意图

## 5.6 海缆登陆段环境影响分析

### 5.6.1 施工期环境影响分析

#### 5.6.1.1 声环境影响分析

海缆登陆段在施工期的沟槽开挖、导向孔施工、电缆敷设、设备安装等几个阶段中，主要噪声源有挖机、破碎机、定向钻钻机、交通运输噪声等，这些施工设备运行时会产生较高的噪声。此外，电缆线路在电缆敷设施工过程中，切割、焊接等设备也产生一定的机械噪声，其声压级水平一般小于 70dB(A)。根据电缆线路施工特点，各施工点施工量小，施工时间短，单个施工点位累计施工时间一般在 1 个月以内。施工结束，施工噪声影响亦会结束。

本报告建议依法限制夜间施工，如因工艺特殊情况要求，需在夜间施工而产生环境噪声污染时，应对施工机械和车辆采取铺设隔声垫、加装消声器等措施，以尽可能减轻夜间施工噪声对周边环境的影响。

#### 5.6.1.2 施工扬尘分析

海缆登陆段施工期的扬尘主要来自土石方的开挖、施工现场内车辆行驶等。鉴于本工程施工期废气污染源排放量小、间歇性排放、排放周期短和有流动性特点，对局部地区的环境影响较小。施工期短，施工结束后，影响立即消失。

#### 5.6.1.3 水环境影响分析

施工污水包括施工废水和施工人员生活污水。施工废水包括场地平整、机械设备冲洗和混凝土搅拌系统冲洗以及施工场地清理等产生的废水；施工期生活污水为施工人员的生活污水，包括粪便污水、洗涤污水等，主要含有 SS、COD、BOD<sub>5</sub> 等污染物。

##### (1) 生活污水环境影响分析

本项目海缆登陆段工程量较少，施工时间短，海缆登陆段线路施工人员共用陆上工程终端站施工生产生活区，不再另外单独设置施工生产生活区。

## （2）施工废水环境影响分析

施工废水量与施工设备的数量、混凝土工程量有直接关系，施工废水中 SS 污染物含量较高，如不经处理直接排放，必然会造成周边水体受到影响，因此必须采取措施对施工废水进行处理。一般采用初级沉淀，在施工场地适当位置设置简易沉砂池对施工废水进行澄清处理，经沉淀后废水部分可回用于拌合等施工工艺，部分可用于洒水抑制扬尘，不外排，对周边水环境不造成影响。

本工程定向钻施工在陆域入土点设有泥浆收集池存放成孔及扩孔工序产生的废弃泥浆，过程中自海向陆方向开展抽吸工作，避免产生的泥浆进入水体。为防止向海侧定向钻出土点出露时泥浆外溢，在定向钻出土点设置钢套筒防止泥浆外溢。

### 5.6.1.4 固体废物环境影响分析

海缆登陆段施工期固体废物主要包括两部分，一部分来自海缆登陆段施工过程中产生的土石方，本项目海缆登陆段工程量较小，开挖的土石方量也较少；另一部分来自施工垃圾及生活垃圾，包括施工过程中产生废弃的建筑材料、包装材料、食物残余等，主要存在于电缆沟施工现场。施工期间所产生的固体废物主要有工程弃土、弃渣、施工废料、建筑垃圾及施工人员产生的生活垃圾等。

#### （1）工程弃土弃渣

海缆登陆段工程量较小，不在现场设置临时堆土场，依托陆上终端站临时堆土场，施工过程中产生的土石方同陆上工程终端站进行内部土石方平衡调配，剩余弃渣土运输至指定接收方进行消纳，不随意丢弃处置。

#### （2）施工垃圾及生活垃圾

##### ①施工垃圾

施工垃圾主要为盘缆井、电缆沟修筑期间产生的施工废料。施工废料主要包括碎砖、混凝土、砂浆、桩头、包装材料等，施工垃圾集中收集后定期清运，不会对海缆登陆段线路周边环境造成影响，施工结束后不会占用土地。

##### ②生活垃圾

生活垃圾主要由于施工作业人员在施工场所产生的废弃物，主要包括塑料、废纸、果皮等，这些固体废物集中堆放及时清运交有关部门进行相关处理，不会影响周边环境。

海缆登陆段工程量较小，施工人员较少，停留时间较短，海缆登陆段施工人员共用陆上工程终端站施工生产生活区进行统一管理，产生的生活垃圾经收集堆放在施工生产

生活区设置的垃圾集中点后及时清运交由环卫部门进行相关处理，不会影响周边环境。

## 5.6.2 运营期环境影响分析

## 5.6.3 海缆登陆段海缆电磁环境影响分析

### 5.6.3.1.1 评价方法

按照《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020）的要求，拟建 500kV 交流海缆的电磁环境影响评价采用类比监测的方式。

### 5.6.3.1.2 选择类比对象

本工程电缆敷设采用电缆沟+敷设海底的基础形式，本次环评选用已建的南岭终端站至林诗岛海缆终端站的海底电缆线路 500kV 徐港甲线、乙线（运行名称为：500kV 福徐甲、乙线海缆段）作为类比监测对象。本工程海缆线路与类比海缆线路电压等级、敷设方式、地理位置、环境条件等方面基本一致，因此具备类比可行性。

类比对象与本项目海缆参数比较见表 5.6-1。

表 5.6-1 本工程海缆与类比海缆参数比较

分 类	评价工程	类比工程
项目名称	本工程	500kV 徐港甲线、乙线（运行名称为：500kV 福徐甲、乙线海缆段）
电压等级	500kV	500kV
导体材料	铜芯	铜芯
基础形式	电缆沟，海底电缆埋于海底	电缆沟，海底电缆埋于海底
地理位置	湛江徐闻~海南澄迈	湛江徐闻~海南澄迈
地形	广东侧地势平坦，海南侧礁石区	广东侧地势平坦，海南侧登陆点有约 10m 高的陡崖

### （3）测量方法及监测仪器

测量方法：《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》（HJ681-2013）。

监测仪器：综合电磁场测量仪。

### （4）测量单位、监测时间、测量地点

监测单位：。

监测地点：湛江市徐闻县角尾乡海岸边，监测点位图详见图 5.6-1。

监测时间：2021 年 8 月 20 日。

图 5.6-1 监测断面位置示意图

### (5) 运行工况

运行工况：500kV 徐港甲线、乙线处于正常运行状态，具体监测期间监测工况如下：

表 5.6-2 500kV 徐港甲线、乙线运行工况

项目	电压 (kV)	电流 (A)	有功功率 (MW)	无功功率 (MVar)
500kV 徐港甲线				
500kV 徐港乙线				

### (6) 类比监测结果及分析

监测点位位于南岭终端站外电缆沟，以地下输电电缆线路中心正上方的地面为起点，沿垂直于线路方向进行，监测点间距为 1m，顺序测至电缆管廊两侧边缘各外延 5m 处为止。

表 5.6-3 类比项目工频电场、工频磁场检测结果

序号	监测点位	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 ( $\mu$ T)
1	电缆管廊中心正上方		
2	电缆管廊中心南侧 1m		
3	电缆管廊中心南侧 2m		
4	电缆管廊南侧边缘		
5	电缆管廊南侧边缘外 1m		
6	电缆管廊南侧边缘外 2m		
7	电缆管廊南侧边缘外 3m		
8	电缆管廊南侧边缘外 4m		
9	电缆管廊南侧边缘外 5m		

500kV 徐港甲线、乙线海缆线路工频电场强度在 15V/m~18V/m 之间，工频磁感应强度为 0.42 $\mu$ T~1.0 $\mu$ T 之间，分别满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中 4000V/m 及 100 $\mu$ T 限值要求。

根据 500kV 徐港甲线、乙线海缆线路的类比监测结果，预测本项目海缆线路建成后，线路周边工频电场强度和工频磁感应强度分别满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中 4000V/m 及 100 $\mu$ T 限值要求。

#### 5.6.3.2 固体废物环境影响分析

海缆登陆段线路运营期间无固体废物产生。

## 5.6.4 海缆登陆段生态环境影响分析

### 5.6.4.1 陆生植物影响分析

#### （1）工程扰动影响

由于本工程新建线路为海缆线路，海缆登陆段自地下敷设，仅电缆沟及海南侧盘缆井占用少量用地，广东侧盘缆井用地位于终端站占地范围内，沿线对环境的扰动较小。由于本工程施工区域邻近变电站和香蕉林，有现状乡村道路可以利用，周围植被主要为香蕉及区域常见草本植物，因此，工程建设对周边植被影响很小。

#### （2）对植被多样性的影响

根据调查统计，新建海缆陆域植被主要分布于海南侧登陆点，湛江侧登陆点为养殖坑塘和建设用地，评价区植被类型均为区域常见类型，不具有唯一性。此外，本工程新建线路为海缆线路，海缆登陆段自地下敷设，通过出钻点接入系统，不占用地表土地，不会造成区域植被类型的减少，对评价区植被多样性影响较小。

#### （3）水土流失影响

工程建设过程中，入钻点施工及物料运输可能会造成区域植被的扰动，在雨天进而导致水土流失。工程建设过程中，严格控制运输车辆的行驶路线，施工区域裸露地表及临时堆土采用拦挡、苫盖等措施，可减少水土流失影响。

#### （4）废水、固体废物等影响

工程施工过程中将产生一定的生产废水和固体废弃物，对周围环境产生污染，最终影响周围植物的生长发育，但这种影响通过一定的管理措施可以得到减缓，施工过程中产生的废水回收处理后再利用，固体废物统一收集后交相关部门处理，采取相关措施后，工程施工对周围植被影响较小。

#### （5）对重点保护野生植物及古树名木的影响

根据调查结果，评价区内未发现重点保护野生植物及珍稀濒危植物，未发现古树名木，因此工程建设不会对重点保护及珍稀濒危野生植物、古树名木造成影响。

#### （6）外来植物入侵风险

根据现场调查，评价区记录到外来入侵植物白花鬼针草、马缨丹、光荚含羞草、飞机草、红毛草、龙珠果等外来入侵植物，多分布于防护林缘和道路两旁。

评价范围内入侵植物入侵机制均有种子量大，抗逆性强、适应性广的特征，部分入侵植物还具有以影响繁殖为主要繁殖方式的特点，扩散方式均为以人类农业生产活动扩

散或随水流及风力传播的特点。施工活动及材料运输等传播途径可能带来一些外来物种，外来物种在一定范围内若形成优势群落，将对土著物种产生一定的排斥，使区域内植被类型受到一定的影响。因此，在施工期间，应加强施工人员的培训，提高其对入侵植物的识别与防范意识，并做好生态监测等工作，以防止这些入侵植物大规模蔓延，进而威胁当地植物多样性。

#### （7）运营期对陆生植物的影响

本工程为新建海缆线路，运营期不会对区域陆生植物造成影响。

### 5.6.4.2 对陆生野生动物的影响分析

工程建设对野生动物的影响主要在施工期，施工建设将会破坏、占用野生动物的栖息环境，使陆生动物向周边适宜生境迁移，从而对陆生动物的生存造成一定影响，此外，大型机械作业产生的噪声、光污染及引起地表的震动可能对动物种群的生存与繁殖产生一定干扰。

由于本工程新建海缆线路施工区域主要为香蕉林和坑塘，人为干扰程度较高，生境单一，周围动物主要以小型野兽和鸟类为主，且野生动物有较强的迁移能力，工程建设过程中加强施工管理，工程建设对周边野生动物影响较小。

#### （1）对两栖类的影响

两栖动物活动迟缓，主要在水体及其周边环境中活动，如池塘、溪流等。两栖动物类群生理特性较为特殊，成体皮肤裸露用以辅助呼吸，保水保温能力和体温调节能力差，属于变温动物，对空气质量、水质等环境因素变化尤其敏感。

在施工过程中，施工机械碾压、原料堆放、现场清理及工程施工等因素有可能直接造成两栖动物的死亡。其次，工程施工产生的噪声和震动也会对附近的两栖类造成影响，导致其出现回避效应。有研究表明，一些两栖动物在面对人为噪音时改变了鸣声特征，如鸣叫频次、鸣叫时长等，直接影响了该类群的繁殖与种群发展。噪声还会掩盖雌性对雄性声学信号的感知，降低雌性对雄性鸣叫的响应率，影响雌性的繁殖迁徙、增加两栖动物体内的皮质酮浓度等。而施工期间植被、空气或土地的扰动都可能间接造成两栖动物的种群下降、生境破坏或丧失，使得该类群动物向周边迁移到相对安全且适宜的环境中。

由于工程为海缆线路，自地下穿越，施工活动不会造成两栖动物的生存空间及活动通道的分割，也不会影响其觅食、迁徙等活动，故工程对两栖类的影响较小。对于工程

建设产生的车辆活动、噪声、灯光等干扰，建议避免在两栖类活动频繁的夜间运输、活动、施工，降低对两栖动物的影响。

## （2）对爬行类的影响

爬行类为变温动物，在春秋多有晒太阳吸收热量的行为。它们通常是生态系统中的捕食者，它们的生存依赖于多种生物的生物量。

工程对爬行动物的生态影响类似于两栖动物,评价区施工期的影响主要包括施工期的噪声干扰、施工震动、以及生境的破坏或丧失等，容易给爬行动物带来惊扰，进而影响到该类群的捕食及休憩，使得大部分爬行动物远离施工区域向附近适宜生境迁移，可能造成爬行动物的分布区缩减以及种群数量下降。

工程不会对地表生境造成较大影响，且评价区记录到的爬行类主要为壁虎类，它们大多行动隐蔽、迅速，且警戒性和防卫能力较强，能够较好地适应工程建设带来的环境扰动，抵御或逃避不利其生存的生态影响。总体而言，工程建设对爬行动物的影响轻微。

## （3）对鸟类的影响

鸟类对噪声比较敏感，施工噪声会对栖息在施工区域及其邻近区域的鸟类建立和维持领地、吸引配偶、维持配对关系、躲避天敌、繁育孵化等活动造成影响，产生一定的趋避作用。施工期间，噪声源主要为施工作业机械和交通运输车辆产生的，受施工机械噪声影响，施工场地一定范围内将不适合鸟类的栖息。但由于鸟类的活动范围很大，可以较轻松地就近寻找到其他适于栖息的地方。施工期人为活动增加，也会对栖息在施工区域及其邻近区域的鸟类产生一定的驱赶作用。同时，鸟类对光周期变化较为敏感，大多数鸟类日节律为昼出夜伏。施工期间，灯光干扰也会影响鸟类的栖息地选择和昼夜节律。但鸟类迁移能力较强，且施工区附近相似生境较多，鸟类很容易找到类似生境活动。

评价区陆生脊椎动物以鸟类为主，由于工程邻近海域，多记录到夜鹭、白鹭等湿地鸟类。海缆登陆段工程量很小，且地下敷设，施工范围较小，施工噪声、灯光干扰等对鸟类带来的不良影响是暂时的，施工过程中选用低噪声施工机械、设备和工艺，避免夜间施工，避免繁殖季节施工，可一定程度上减缓对鸟类的影响，施工结束后，这些影响将会消失，项目区鸟类会重新分布。因此，本工程建设对鸟类的长期影响较小。

## （4）对哺乳类的影响

工程施工区域为香蕉林，人为干扰强烈，多分布小型啮齿类动物，数量较少。这些动物生性警惕敏感，行动敏捷又善于躲避，并且适应力极强，能较迅速地规避项目带来的影响。



工程施工期间对哺乳类的影响主要是施工噪声和人为活动，大部分动物也会选择远离施工区域，从而短暂影响评价区内哺乳类的种群密度。工程完工后，哺乳类动物有可能回到原来的栖息地或栖息地附近。因此，项目建设对哺乳类的影响性对较小。

#### （5）对珍稀濒危物种的影响

根据现场调查，评价区未记录到国家重点保护野生动物和珍稀濒危野生动物，记录到夜鹭、白鹭、黑翅长脚鹬等广东省重点保护野生动物，记录到珠颈斑鸠、黑水鸡、池鹭、牛背鹭和白鹭等海南省省级重点保护陆生野生动物。

记录到的省级重点保护动物均为鸟类，如前所述，工程建设对鸟类栖息地影响较小。但施工活动产生的噪声和灯光会对周围动物生存和栖息产生一定影响，不利于动物活动与觅食。但上述记录的珍稀濒危动物均具有较强的活动能力与适应力，能够对环境变化做出迅速反应。因此，工程建设对这些重点保护物种的影响可控。

#### （6）运营期对陆生野生动物的影响

工程运营期间，由于施工期造成的生态影响逐渐恢复，生态系统趋于稳定。本工程为新建海缆线路，自地下敷设，不会造成阻隔作用，不会影响陆生动物的迁移。

工程运营期主要影响为电缆线路的电磁影响，但根据相关研究和现有高压输电线路电磁监测结果，对动物有影响的一般都是强电场，其强度往往大至数十甚至数百 kV/m，而电缆位于地下，工频电磁场非常低，加上动物的活动范围较大，并不是一直暴露在工频电场范围内，因此工程的运营不会对动物造成影响。

#### （7）对鸟类迁徙的影响

根据《海南省候鸟迁徙通道重点区域范围》（2023 年）、《广东省候鸟及迁徙通道保护行动计划（2023-2035 年）》，本工程评价区不涉及海南省候鸟迁徙通道重点区域范围及广东省迁徙候鸟重要监测点和优先保护区域。且新建海缆线路自地下敷设，不涉及空中架线，不会对鸟类迁徙造成影响。

### 5.6.4.3 对生态系统的影响分析

评价区生态系统在区域生态环境中普遍存在，工程新建海缆线路自地下敷设，仅出钻点和施工活动对区域植被造成一定影响，不会减少生态系统类型，不会对区域生态系统结构造成影响，对区域生态系统完整性影响轻微。

#### 5.6.4.4 对景观生态体系的影响分析

工程新建海缆线路自地下敷设，不占用地表土地，不会改变评价区土地利用现状，因此工程建设不会改变区域景观格局。

## 6 环境风险分析与评价

环境风险评价目的是分析和预测建设项目存在的潜在危险、有害因素，建设项目建设和运行期间可能发生的突发性事件或事故（一般不包括人为破坏及自然灾害），引起有毒有害和易燃易爆等物质泄漏，所造成的人身安全与环境影响和损害程度，提出合理可行的防范、应急与减缓措施，以使建设项目事故率、损失和环境影响达到可接受水平。

### 6.1 施工溢油事故影响分析与评价

#### 6.1.1 溢油事故影响预测方法、预测主要因素

##### 6.1.1.1 溢油模型基本原理

溢油进入水体后发生扩展、漂移、扩散等油膜组分保持恒定的输移过程和蒸发、溶解、乳化等油膜组分发生变化的风化过程，在溢油的输移过程和风化过程中还伴随着水体、油膜和大气三相间的热量迁移过程，而黏度、表面张力等油膜属性也随着油膜组分和温度的变化发生不断变化。另外，油粒子模型是基于拉格朗日体系具有高稳定性和高效率的特点。油粒子模型就是把溢油离散为大量的油粒子，每个油粒子代表一定的油量，油膜就是由这些大量的油粒子所组成的云团。首先计算各个油粒子的位置变化、组分变化、含水率变化，然后统计各网格上的油粒子数和各组分含量可以模拟出油膜的浓度时空分布和组分变化，再通过热量平衡计算模拟出油膜温度的变化，最后根据油膜的组分变化和温度变化计算出油膜物理化学性质的变化。

##### 6.1.1.2 输移过程

油粒子的输移包括了扩展、漂移、扩散等过程，这些过程是油粒子位置发生变化的主要原因，而油粒子的组分在这些过程中不发生变化。

###### （1）扩展运动

采用修正的 Fay 重力-粘力公式计算油膜的扩展：

$$\left(\frac{dA_{oil}}{dt}\right) = K_a \cdot A_{oil}^{1/3} \cdot \left(\frac{V_{oil}}{A_{oil}}\right)^{3/4}$$

式中： $K_a$ ：系数[S<sup>-1</sup>];

$t$ ：为时间；

$A_{oil}$ : 油膜的面积, 其值大小为  $A_{oil}=\pi R_{oil}^2$ ;  $R_{oil}^2$  为油膜的直径;

油膜的体积为:  $V_{oil}=\pi \cdot R_{oil}^2 \cdot h_s$ ,  $h_s$  为油膜厚度, 其初始值取值为  $h_s=10cm$ 。

## (2) 漂移运动

油粒子漂移的作用力是水流和风拽力, 油粒子总漂移速度由以下权重公式计算:

$$U_{tot}=c_w(z) \cdot U_w+U_s$$

其中  $U_w$  为水面以上 10m 处的风速;  $U_s$  为水体的表面流速;  $C_w$  为风的漂移系数, 一般取在 0.03~0.04 之间。

风场数据从气象部门获得, 而流场从水动力模型计算结果获得。假定其符合以下分布:

$$V(z)=\frac{U_f}{k} \cdot \ln\left(\frac{h-z}{k_n/30}\right)$$

式中:  $Z$  为水面一下深度;  $V(z)$  为对数流速关系;  $k$  为冯卡门常数, 取值为 0.42;  $k_n$  为 Nikuradse 阻力系数;  $U_f$  为摩阻系数, 定义为:

$$U_f=\left(\frac{V_{mean} \cdot k}{\ln\left(\frac{h}{k_n/30}-1\right)}\right),$$

其中,  $V_{mean}$  为平均流速;  $Z=h-\frac{k_n}{30}$ , 当水深大于此位置时模型假定对流速度为 0。

当  $z=0$  时, 即可求出表面流速  $U_s$ :  $U_s=V(0)$

## (3) 扩散运动

假定水平扩散各向同性, 一个时间步长内  $\alpha$  方向上的可能扩散距离  $S_\alpha$  可表示为:

$$S_\alpha=[R]_{-1}^1 \cdot \sqrt{6 \cdot D_\alpha \cdot \Delta t_p}$$

其中,  $[R]_{-1}^1$  为-1 到 1 之间的随机数,  $D_\alpha$  为  $\alpha$  方向上的扩散系数。

### 6.1.1.3 风化过程

油粒子的风化包括蒸发、溶解和形成乳化物等过程, 在这些过程中油粒子的组成发生改变, 但油粒子水平位置没有变化。

#### (1) 蒸发

油膜蒸发受油分、气温和水温、溢油面积、风速、太阳辐射和油膜厚度等因素的影

响。假定：

在油膜内部扩散不受限制（气温高于 0°C 以及油膜厚度低于 5~10cm 时基本如此）；油膜完全混合；油组分在大气中的分压与蒸气压相比可忽略不计。蒸发率可由下式表示：

$$N_i^e = k_{ei} \cdot P_i^{SAT} / RT \cdot \frac{M_i}{\rho_i} \cdot X \cdot [m^3/m^2s]$$

其中，N 为蒸发率；K<sub>e</sub> 为物质输移系数；P<sup>SAT</sup> 为蒸汽压；R 为气体常数；T 为温度，M 为分子质量；ρ 为油组分的密度；i 为各种油组分。k<sub>ei</sub> 可有以下式子估算：

$$k_{ei} = k \cdot A_{oil}^{0.045} \cdot Sc_i^{-2/3} \cdot U_w^{0.78}$$

其中，K 为蒸发系数；Sc<sub>i</sub> 为组分 i 的蒸汽 Schmidt 数。

## (2) 乳化

形成水包油乳化物过程：油向水体中的运动机理包括溶解、扩散、沉淀等。扩散是溢油发生后最初几星期内最重要的过程。扩散是一种机械过程，水流的紊动能量将油膜撕裂成油滴，形成水包油的乳化。这些乳化物可以被表面活性剂稳定，防止油滴返回到油膜。在恶劣天气状况下最主要的扩散作用力是波浪破碎，而在平静的天气状况下最主要的扩散作用力是油膜的伸展压缩运动。从油膜扩散到水体中的油分损失量计算：

$$D = D_a \cdot D_b$$

式中，D<sub>a</sub> 为进入到水体中的分量；D<sub>b</sub> 是进入到后没有返回的分量。

$$D_a = \frac{0.11(1+U_w)^2}{3600}$$

$$D_b = \frac{1}{1+50\mu_{oil} \cdot h_s \cdot \gamma_{ow}}$$

其中，μ<sub>oil</sub> 为油的粘度；γ<sub>ow</sub> 为油-水界面的张力。

油滴返回油膜的速率为：

$$\frac{dV_{oil}}{dt} = D_a \cdot (1 - D_b)$$

形成油包水乳化物过程

油中含水率变化可由下式平衡方程表示：

$$\frac{dy_w}{dt} = R_1 - R_2$$

R<sub>1</sub> 和 R<sub>2</sub> 分别为水的吸收速率和释出速率，可有以下式得出：

$$R_1 = k_1 \cdot \frac{(1+U_w)^2}{\mu_{oil}} \cdot (y_w^{\max} - y_w)$$

$$R_2 = k_2 \cdot \frac{1}{As \cdot Wax \cdot \mu_{oil}} \cdot y^w$$

其中,  $y_w^{\max}$  为最大含水率;  $y^w$  为实际含水率;  $As$  为油中沥青的含量 (重量比);  $Wax$  为油中石蜡的含量 (重量比);  $K_1$  和  $K_2$  分别为吸收系数和释出系数。

### (3) 溶解

溶解率采用下式表示:

$$\frac{dV_{ds_i}}{dt} = Ks_i C_i^{sat} X_{moli} \frac{M_i}{\rho_i} A_{oil}$$

其中,  $C_i^{sat}$  为组分  $i$  的溶解度;  $X_{moli}$  为组分  $i$  的的摩尔分数;  $M_i$  为组分  $i$  的的摩尔重量;  $Ks_i$  为溶解传质系数, 由下式子估算:

$$Ks_i = 2.36 \cdot 10^{-6} e_i$$

$$e_i = \begin{cases} .4 & \text{烷烃} \\ .2 & \text{芳香烃} \\ .8 & \text{精制油} \end{cases}$$

## 6.1.1.4 热量迁移过程

### (1) 热量迁移

蒸气压与粘度受温度影响, 而且观察发现通常油膜的温度要高于周围的大气和水体。

图 6.1.5-1 为油膜的热平衡示意图:

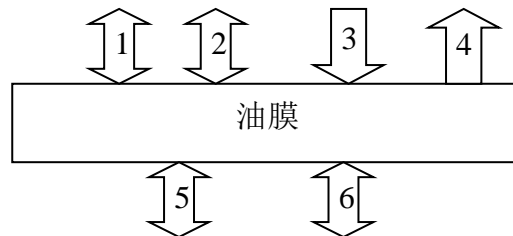


图 6.1-1 油膜的热平衡示意图

1=大气与油膜之间的传热过程; 2=大气与油膜之间热辐射过程; 3=太阳辐射; 4=蒸发热损失; 5=油膜与水体之间的热量迁移; 6=油膜与水体之间散发和接受的热辐射。

### (2) 油膜与大气之间的热量迁移

油膜与大气之间的热量迁移可表达为：

$$H_T^{oil-air} = A_{oil} \cdot K_H^{oil-air} \cdot (T_{oil} - T_{air})$$

$$K_H^{oil-air} = K_m \cdot \rho_a \cdot C_{pa} \cdot \left( \frac{S_c}{P_r} \right)_{air}^{0.67}$$

其中， $T_{oil}$  为油膜厚度； $T_{air}$  为大气温度； $\rho_a$  为大气密度； $C_{pa}$  为大气的热容量； $P_r$  为大气点 Prandtl 数；

$$P_r = \frac{C_{pa} \cdot \rho_a}{0.0241(0.18055 + 0.003T_{air})}$$

当蒸发可忽略的时， $K_H^{oil-air}$  可以简单用下式表示：

$$K_H^{oil-air} = 5.7 + 3.8U_w$$

### (3) 太阳辐射

油膜接受的太阳辐射取决于许多因素，其中最重要的为溢油位置、日期、时刻、云层厚度以及大气中的水、尘埃、臭氧含量。一天中的太阳辐射变化可假定为正弦曲线：

$$H(t) = \begin{cases} K_t \cdot H_0^{\max} \cdot \sin\left(\pi \frac{t - t^{sunrise}}{t^{sunset} - t^{sunrise}}\right) & t^{sunrise} < t < t^{sunset} \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

其中， $t^{sunrise}$  为日出时刻（午夜后秒数）； $t^{sunset}$  为日落时刻（午夜后秒数）； $T_d$  为日长，即：

$$t^{sunset} = t^{sunrise} + T_d$$

$T_d$  可由下式计算：

$$T_d = \alpha \cdot \cos(\tan \phi \cdot \tan \zeta)$$

其中， $\phi$  为纬度； $\zeta$  为太阳倾斜角度（太阳在正午时与赤道平面的角度）

$$\zeta \cong 23.45 \sin(360 \cdot \frac{284 + n}{365})$$

$$H_0^{\max} = \frac{12 \cdot K_t}{t^{sunset} - t^{sunrise}} \cdot I_{sc} \cdot (1 + 0.33 \cos(\frac{360n}{365}))$$

$$\cdot (\cos(\phi) \cdot \cos(\zeta) \cdot \sin(\omega_s) + \omega_s \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\zeta))$$

其中， $I_{sc}$  为太阳常数（1.353W/m）； $n$  为一年中日数。 $\omega_s$  为日出的小时角度，正午时为 0，每小时等于 15（上午为正）； $K_t$  为系数，晴天时  $K_t=0.75$ ，随着云层厚度增加

而减少。很大一部分的太阳辐射到达地面时已被反射，因此静热量输入为：

$$(1-\alpha) \cdot H(t)$$

其中， $\alpha$  为漫射系数。

#### (4) 蒸发热损失

蒸发将引起油膜热量损失：

$$H^{vapor} = \sum_i N_i \cdot \Delta H_{vi} \cdot [W / m^2]$$

其中， $\Delta H_{vi}$  为组分  $i$  的汽化热。油膜总的动态热平衡综合考虑了上述各种因素：

$$\begin{aligned} \frac{dT_{oil}}{dt} = & \frac{1}{\zeta \cdot C_p \cdot h} [(1-a) \cdot H + (I_{air} \cdot T_{air}^4 + I_{water} \cdot T_{water}^4 - 2I_{oil} \cdot T_{oil}^4)] \\ & + h_{ow} \cdot (T_{water} - T_{oil}) + h_{oa} \cdot (T_{air} - T_{oil}) - \sum N_i \cdot \Delta H_{vi} \\ & + \left( \frac{dV_{water}}{dt} \cdot \xi_w \cdot C_{pw} + \frac{dV_{oil}}{dt} \cdot \xi_{oil} \cdot C_{poil} \right) \cdot (T_{water} - T_{oil}) \cdot A_{oil} \end{aligned}$$

#### (5) 油膜与水体之间的热量迁移

油膜与大气之间的热量迁移可表达为：

$$\begin{aligned} H_T^{oil-air} &= A_{oil} \cdot K_H^{oil-air} \cdot (T_{water} - T_{oil}) \\ K_H^{oil-air} &= 0.332 + \gamma_w \cdot C_{pw} \cdot Re^{-0.5} \cdot P\gamma_w^{-2/3} \end{aligned}$$

其中， $C_{pw}$  为水的热容量， $P\gamma_w$  为水的 Prandtl 数。

$$P\gamma_w = C_{pw} \cdot v_w \cdot \rho_w \cdot \left( \frac{1}{0.330 + 0.000848(T_w - 273.15)} \right)$$

Re 为特征雷诺数：

$$Re = \frac{v_{rel} \sqrt{\frac{4A_{oil}}{\pi}}}{\eta_w}$$

其中， $v_{rel}$  为油膜的运动粘滞系数。

#### (6) 反射和接受辐射

油膜将损失和接受长波辐射。净接受量有 Stefan-Boltzman 公式计算：

$$H_{total}^{rad} = \sigma \cdot (l_{air} \cdot T_{air}^4 + l_{water} \cdot T_{air}^4 - 2l_{oil} \cdot T_{oil}^4)$$

其中， $\sigma$  为 Stefan-Boltzman 常数； $l_{air}$ 、 $l_{water}$ 、 $l_{oil}$  分别为大气、水和油的辐射率。



### 6.1.1.5 输移、风化、热量迁移过程核算方法

#### (1) 油粒子组分变化计算

油往往是多种碳氢化合物组成的混合物，其中各化学物的性质各不相同，油的总体性质取决于各组分性质和含量。溢油过程中油粒子组分是不断变化的，一方面由于溶解、蒸发等过程对各组分具有选择性，如轻组分更容易蒸发和溶解；另一方面乳化过程中油膜的含水率发生变化。模拟采用多组分法模拟油粒子各组分的变化过程。多组分法是将油粒子假设为多种碳氢化合物组成的混合物，对各个单独组分蒸发、溶解等过程进行分别计算，最后求出总的油粒子组分随时间变化过程。不管怎样，油的组分变化范围过大，要精确地区分各个组分几乎不太可能，这里将油组分划成 8 个性质相近的区间。

#### (2) 油膜浓度计算

油粒子模型只追踪水体表面的粒子，油浓度和油膜厚度均以厚度表示。在每个时间步长统计网格中的油粒子数，根据粒子的体积和网格面积计算油膜厚度。

**表 6.1-1 油组分及其属性**

组分	说明	沸点	摩尔质量 g/mol	密度 Kg/m <sup>3</sup>	100F 时 粘度, cs	蒸汽压, mm/Hg	表面张力 10 <sup>3</sup> N/m
1	C6-C12 (石蜡)	69-200	128	715	0.536	10 <sup>6.94-1417.61(t+202.17)</sup>	29.9
2	C13-C25 (石蜡)	230-405	268	775	4.066	10 <sup>7.01-1825.05(t+149.76)</sup>	35.2
3	C6-C12 (环烷)	70-230	124	825	2	10 <sup>6.91-1441.79(t+204.7)</sup>	29.9
4	C13-C13 (环烷)	230-405	237	950	4	10 <sup>6.99-1893.78(t+151.82)</sup>	35.2
5	C11-C11 (芳香烃)	80-240	110.5	990	0.704	10 <sup>6.91-1407.34(t+208.48)</sup>	32.4
6	C12-C18 (芳香烃)	240-400	181	1150	6.108	10 <sup>6.97-1801.00(t+162.77)</sup>	29.9
7	C9-C25 (清油裂解芳香 烃)	180-400	208	1085	3	10 <sup>6.97-1789385(t+164.56)</sup>	29.9
8	残留物 (包括杂环物质)	>400	600	1050	458	0	47.2

#### (3) 油膜物理化学性质计算

##### ①粘度

由于蒸发和乳化，风化过程中油的粘度将增加。而且粘度受温度的影响很大。

粘度计算分三个步骤：

应用 Kendall—Monroe 公式计算在参考温度  $T_{ref}$  时的不含水油膜粘度：

$$V_{T_{ref}}^{oil} = \left( \sum_{i=8}^8 X_i \cdot v_i^{1/3} \right)$$

其中  $X_i$  为组分  $i$  的摩尔分数。

计算实际温度时的油膜粘度

$$\log[\log(v_T^{oil} + 0.7)] = \log[\log(v_{T_{ref}}^{oil} + 0.7)] - B \log \frac{T}{T_{ref}}$$

其中  $T$  为温度 (K);  $v_T^{oil}$  为温度  $T$  时油膜的运动粘度;  $B=3.98$

计算实际温度和含水率时的油膜粘度

$$\eta^{oil} = \eta^{oil} \cdot \exp \frac{2.5y_w}{1 - 0.654y_w}$$

蒸发同样可增加粘度:

$$\eta^{oil} = \eta^{oil} \cdot \exp(C_4 \cdot F_e)$$

其中  $C_4$  为油膜含水率;  $F_e$  为蒸发掉的油分数。

## ② 表面张力

油膜的表面张力可简单表达为:

$$T = \sum_{i=1}^8 X_i \cdot T_i$$

## ③ 热容量

大气、油、水的热容量在以下公式中给出:

$$C_{pa} = 998.73 + 0.133T_{air} - \frac{119.3 \cdot 10^5}{T_{air}^2}$$

$$C_{po} = 1684.74 + \frac{3.3912(T_{oil} - 273.15)}{\sqrt{\rho_{oil} 10^{-3}}}$$

$$C_{pw} = (4.3684 - 0.00061T_w) 10^3$$

式中所有温度的单位为绝对温度。

## ④ 倾点

对于不含水的油膜, 倾点的修正公式为:

$$P_{p,oil} = P_{p0} + K_{p1} \cdot F_e$$

乳化后倾点提高:

$$P_{p,oil-water} = P_{p,oil} + |P_{p,oil}| \cdot K_{p2} \cdot y$$

研究表明这个方法可以对油蒸发给出合理的评估。水面上油膜在物理、化学及生物作用下的演变过程及趋势如下图所示。

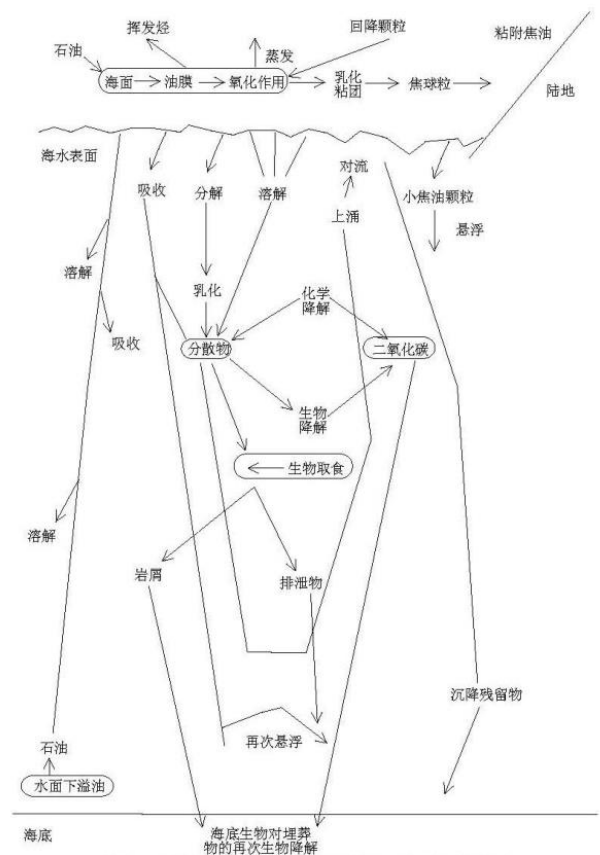


图 6.1-1 在物理、化学及生物作用下的水面上油膜的演变趋势

6.1.2 溢油事故模拟源强及参数选取

6.1.2.1 溢油位置

施工期在本工程湛江徐闻侧区域内中心点附近选取。

6.1.2.2 溢油源强

本工程施工敷缆船最大选型“ ”载重吨位为 10970 吨，参照《水上溢油环境风险评估技术导则》(JT/T1143-2017)“附录 C·表 C9·驳船燃油舱中燃油数量关系”5000~10000 吨级驳船燃油总量为 198~595m<sup>3</sup>，燃油舱单舱燃油量为 25~99m<sup>3</sup>，本工程驳船燃油总量取 595m<sup>3</sup>，燃油舱单舱燃油量取 99m<sup>3</sup>，燃油密度按 900kg/m<sup>3</sup> 计算（参考《船用燃料油》（GB17411-2015）），则施工期本工程船舶最大可信水上溢油事故溢油量为 595\*0.9=535.5 吨，可能最大水上溢油事故的溢油量为 99\*0.9=89.1 吨。

图 6.1-1 溢油发生点位置图

## 6.1.2.3 溢油预测内容和预测条件

表 6.1-2 施工期泄漏扩散预测组合情况

序号	溢油地点与溢油量	预测风况		事故发生时潮汐情况	风况说明
		风向	风速 (m/s)		
1	工程湛江徐闻侧区域内中心点	E		涨潮	常年
2		SE			夏季主导风
3		ENE			冬季主导风
4		E			常年、夏季、冬季主导风允许作业最大风速
5		SE			
6		ENE			
7		E		落潮	常年
8		SE			夏季主导风
9		ENE			冬季主导风
10		E			常年、夏季、冬季主导风允许作业最大风速
11		SE			
12		ENE			

## 6.1.2.4 模型参数设定

根据相关文献推荐值，模型中相关参数取值见表 6.1-3。

表 6.1-3 部分模型参数设置

参数	系数取值
风漂移系数 $C_w$	0.03
最大含水率 $y_w^{\max}$	0.85
吸收系数 $K_1$	$5 \times 10^{-7}$
释出系数 $K_2$	$1.2 \times 10^{-5}$
传质系数 $K_{Si}$	$2.36 \times 10^{-6}$
蒸发系数 $k$	0.029
油辐射率 $l_{oil}$	0.82
水辐射率 $l_{water}$	0.95
大气辐射率 $l_{air}$	0.82
漫射系数 $\alpha$	0.1

模型中水平（横向和纵向）扩散系数  $DL$  和  $DT$  的取值非常重要，反映了油粒子在水体中的扩散强度和随机紊动强度，对模拟结果影响较大，而且不同的应用场合下取值范围很大。模型采用的是油粒子模型，其中的扩散系数概念与常规的对流扩散模型有所不同，体现在：1）油粒子只在水体表面运动；2）粒子不按水动力模型中设定的网格运移，而是按实际运移路径准确计算，扩散系数取值与模型网格布置方式和时间步长关系不大。

### 6.1.3 溢油模拟结果分析

（1）溢油在 E 风 4.3m/s 条件下涨潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西侧 26.0km 范围内海域，扫海面积范围 20.8 km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-2 所示，油膜 2.5h 抵岸，油膜经过 1.3h 抵达周围敏感目标。

（2）溢油在 SE 风 3.9m/s 条件下涨潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域东侧和西北侧 5.3km 范围内海域，扫海面积范围 4.9km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-3 所示，油膜经过 3h 抵岸，油膜经过 2.17h 抵达周围敏感目标。

（3）溢油在 ENE 风 4.4m/s 条件下涨潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西侧 34.4 km 范围内海域，扫海面积范围 28.4km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-4 所示，油膜未抵岸，油膜经过 1.25h 抵达周围敏感目标。

（4）溢油在 E 风 13.8m/s 条件下涨潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西北侧 86.4km 范围内海域，扫海面积范围 56.2km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-5 所示，油膜未抵岸，油膜经过 0.42h 抵达周围敏感目标。

（5）溢油在 SE 风 13.8m/s 条件下涨潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域北侧 5.2km 范围内海域，扫海面积范围 5km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-6 所示，油膜经过 0.6h 抵岸，油膜经过 0.45h 抵达周围敏感目标。

（6）溢油在 ENE 风 13.8m/s 条件下涨潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西侧 75.4km 范围内海域，扫海面积范围 62.3km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-7 所示，油膜未抵岸，油膜经过 0.35h 抵达周围敏感目标。

（7）溢油在 E 风 4.3m/s 条件下落潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西侧 6.5km 范围内海域，扫海面积范围 6.4km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-8 所示，油膜 2.00h 抵岸，油膜经过 1.33h 抵达周围敏感目标。

（8）溢油在 SE 风 3.9m/s 条件下落潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西北侧 7.1km 范围内海域，扫海面积范围 7.7km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-9 所示，油膜 2.20h 抵岸，油膜未抵达周围敏感目标。

（9）溢油在 ENE 风 4.4m/s 条件下落潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西侧 23.8km 范围内海域，扫海面积范围 20.8km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-10 所示，油膜未抵岸，油膜经过 2.00h 抵达周围敏感目标。

（10）溢油在 E 风 13.8m/s 条件下落潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西侧 65.2km 范围内海域，扫海面积范围 72.1km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-11 所示，油膜未抵岸，油膜经过 0.47h 抵达周围敏感目标。

（11）溢油在 SE 风 13.8m/s 条件下落潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西侧 4.3km 范围内海域，扫海面积范围 3.3km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-12 所示，油膜未抵岸，油膜经过 0.5h 抵达周围敏感目标。

（12）溢油在 ENE 风 13.8m/s 条件下落潮溢油轨迹：

油膜主要影响范围涉及：项目区域西侧 69.5km 范围内海域，扫海面积范围 63.4km<sup>2</sup>。溢油轨迹和影响范围如图 6.1-13 所示，油膜未抵岸，油膜经过 0.41h 抵达周围敏感目标。

表 6.1-4 溢油预测分析表

序号	溢油地点	预测风况		溢油扫海面积 (km <sup>2</sup> )	抵岸时间 (h)	最大漂移距离 (km)	抵达敏感目标时间 (h)	敏感目标
		风向	风速 (m/s)					
1	工程湛江徐闻侧区域内中心点							
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								

10								
11								
12								

图 6.1-2 溢油在 E 风 4.3m/s 条件下涨潮溢油轨迹图

图 6.1-3 溢油在 SE 风 3.9m/s 条件下涨潮溢油轨迹图

图 6.1-4 溢油在 ENE 风 4.4m/s 条件下涨潮溢油轨迹图

图 6.1-5 溢油在 E 风 13.8m/s 条件下涨潮溢油轨迹图

图 6.1-6 溢油在 SE 风 13.8m/s 条件下涨潮溢油轨迹图

图 6.1-7 溢油在 ENE 风 13.8m/s 条件下涨潮溢油轨迹图

图 6.1-8 溢油在 E 风 4.3m/s 条件下落潮溢油轨迹图

图 6.1-9 溢油在 SE 风 3.9m/s 条件下落潮溢油轨迹图

图 6.1-10 溢油在 ENE 风 4.4m/s 条件下落潮溢油轨迹图

图 6.1-11 溢油在 E 风 13.8m/s 条件下落潮溢油轨迹图

图 6.1-12 溢油在 SE 风 13.8m/s 条件下落潮溢油轨迹图

图 6.1-13 溢油在 ENE 风 13.8m/s 条件下落潮溢油轨迹图

## 6.1.4 溢油事故环境风险影响分析

### 6.1.4.1 项目施工溢油事故对保护区及项目周边珊瑚礁的影响

当发生船舶燃料油泄漏事故时，若未能及时采取风险防范措施，可能会对周围的珊瑚礁造成污染。表 6.1-4 溢油预测分析表给出一旦发生溢油风险事故最快抵达周边敏感目标的时间情况，发生溢油后，如未能及时采取有效的应急管控措施，油膜最快 0.35 小时可抵达广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区，0.45 小时到达徐闻珊瑚礁生态保护红线。

项目用海区存在事故性或操作性溢油的风险，一旦发生溢油事故，油污将随着潮流迁移、扩散，可能对海域环境造成一定的破坏，降低海洋环境质量，存在着直接影响。

珊瑚礁作为海洋中生物多样性最高的生态系统之一，对环境变化较为敏感。溢油形成的油膜会覆盖在珊瑚表面，阻碍珊瑚的光合作用，导致珊瑚无法正常进行能量代谢。油污会沉积在珊瑚礁上，改变水质和底质环境，影响珊瑚及其附属生物的生长和发育。溢油还会影响海水温度，珊瑚对温度变化敏感，温度的微小变化就可能导致珊瑚白化甚至死亡。因此，建设单位应根据采用有效的溢油风险防范措施，对船舶进行严格管理，杜绝溢油事故的发生，同时做好溢油风险的防范措施和应急预案。

综上所述，在做好溢油风险防范措施，杜绝溢油事故发生的前提下，本项目建设对珊瑚礁及其生境的影响较小。

#### 6.1.4.2 溢油对生态环境的影响

一旦发生溢油事故，油类物质扩散到海上，对事故海区的水质、底质、生物、岸线生态造成严重的影响。

#### 6.1.4.3 溢油对水质和底质的影响分析

溢油在海面形成油膜以后，受到破碎波的作用，使一部分以油滴形式进入水形成分散油，另外，由于机械动力，如涡旋、破碎浪花、湍流等因素，使油和水激烈混合，形成油包水乳物和水包油乳化物。这两种作用都将增加水质的油类浓度，特别是上层水中的浓度将明显增加。

据有关资料及室内的模拟实验表明，油膜由分散作用和乳化作用而引起的水面上层油类浓度增加值可超过 0.050mg/L 的二类海水水质标准。在近岸水域，由于粘附在岩石沙滩上油在波浪的往复作用，水质中油类浓度将大大增加，将超过 0.3mg/L 的三类海水水质标准。

另外，由于油膜覆盖，将影响到海—气之间的交换，致使溶解氧减少。同时，溢油后，油的重组分可自行沉积或粘附在海区悬浮物颗粒中，沉积在沉积物表面，从而对底质造成影响。

#### 6.1.4.4 溢油对海洋生物的影响分析

本项目一旦发生溢油污染事故，会对项目所在海域内海洋生物造成一定影响。以石油污染为例，其危害是由石油的化学组成、特性及其在海洋里存在的形式所决定的。在石油不同组分中，低沸点的芳香烃对一切生物具有毒性，高沸点芳香烃具有长期毒性。石油烃的长期作用，会使海洋食物链遭到破坏，生物多样性受到影响，特别是对近岸生



态系统影响更大，导致其在短时间内难以恢复。海洋溢油污染给海洋生物带来的最严重威胁，在于它能够改变或破坏海洋环境中正常的生态系统。浮游植物是石油烃进入海洋食物链的起点（如石油烃会通过以浮游植物为食的贝类、桡足类动物等的富集累积作用而进入鱼类等大型动物体内）。

### (1) 溢油对潮间带生物的影响

根据溢油数模结果，发生溢油事故后，油膜可能会登岸，油膜覆盖在潮间带生物表面，造成潮间带生物大面积死亡，难以恢复；同时，油膜粘附在岸滩上，破坏潮间带沉积物环境，造成累积影响且难以修复。海洋溢油对潮间带生物的影响一旦对岸滩造成影响，需要对受污染的区域进行大面积清除。

### (2) 溢油对鱼类和虾的危害

发生溢油事故后，进入海洋环境的石油类，在波生湍流扰动下形成乳化水滴进入水体，直接危害鱼虾的早期发育。据黄海水产研究所对虾活体实验，油浓度低于 3.2mg/L 时，无节幼体变态率与人工育苗的变态率基本一致；但当油浓度大于 10mg/L 时，无节幼体因受油污染影响变态率则明显上升。对虾的蚤状幼体对石油毒性最为敏感，浓度低于 0.1mg/L 时，蚤状幼体的成活率和变态率基本一致，即无明显影响；当浓度达到 1.0gm/L 时，蚤状幼体便不能成活，96h  $L_{50}$  值为 (0.62~0.86) mg/L，即安全浓度为 (0.062~0.086) mg/L；浓度大于 3.2mg/L 时，可致幼体在 48 小时内死亡。

溢油对鱼类的影响是多方面的，首先石油会引起鱼类摄食方式、洄游路线、种群繁殖的改变或个体失衡。在鱼类的不同发育阶段其影响程度也不相同，其中对早期发育阶段的鱼类危害最大。油污染对早期发育鱼类的毒性效应，主要表现在滞缓胚胎发育，影响孵化，降低生理功能，导致畸变死亡。以对鲱鱼的实验为例，当石油浓度为 3mg/L 时，其胚胎发育便受到影响，在 3.1~11.9mg/L 浓度下，孵出的大部分仔鱼多为畸形，并在一天内死亡。对真鲷和牙鲆鱼也有类似结果。当海水油含量为 3.2mg/L 时，真鲷胚胎畸变率较对照组高 2.3 倍；牙鲆孵化仔鱼死亡率达 22.7%，当含油浓度增到 18mg/L 时，孵化仔鱼死亡率达 84.4%，畸变率达 96.6%。Linden 的研究认为，原油中可溶性芳香烃的麻醉作用导致鱼类胚胎活力减弱，代谢低下，当胚胎发育到破膜时，由于能量不足引起初孵仔鱼体形畸变。此外，溢油漂移期间，渔区和捕捞作业会受到很大的影响。成龄鱼类为回避油污而逃离渔场，渔场遭到破坏导致渔获减少；捕获的鱼类也可因沾染油污而降低市场价值。

### (3) 溢油对海洋贝类的危害

溢油一旦搁滩，在大量原油覆盖的滩面，固着性生物，如贝类、甲壳类生物和藻类会窒息死亡。在油膜蔓延的滩面上，幼贝发育不良，产量下降，成年贝会因沾染油臭而降低市场价值。在潮下带的养殖贝类，也会受到严重的油污染。这些滤食性双壳类、在摄食时也同时摄入海水中的悬浊油分（乳化油滴）。进入蛤类胃中的乳化油滴破乳后结合成更大的油滴，并在体内积累，引起某些生理功能障碍，终因胃中油积累过多不能排泄而死亡。据 Cilfillan 实验，当油浓度达到 1.0mg/L 时，可使贻贝产生呼吸加快，捕食减少的致死效应。沉积在底质孔隙中的油浓度过高，会引起贝类大量死亡。此外，由于做为对虾饵料的贝类大量减少，对虾即便不直接中毒致死也会因缺乏饵料而影响生长发育，降低产量。值得注意的是，溢油对贝类的危害不是暂时性的。漫滩的油污会随潮汐涨落在附近周期性摆动，面积逐渐扩大，在波浪扰动下部分被掩埋进入沉积环境；潮下带溢油也会由于风化和吸附沉降进入沉积环境。这些进入底泥中的油类靠化学降解作用去除需数月之久。使贝类幼体或中毒发育不良或窒息死亡，使急性污染变成沉积环境的长期污染。

(4) 溢油对浮游生物的影响

泄漏油类一进入受纳水体便迅速扩散，在水面扩散成为光滑的油膜，它隔绝了大气与水体的气体交换，减少了水体的复氧作用。油类的生物分解和其自身氧化作用又消耗水体中的溶解氧，使水体缺氧并可能导致生物体死亡。同时，油膜还能降低表层水体中的阳光辐射量，阻碍浮游植物的光合作用，甚至引起死亡，这也使以浮游植物为主要食物来源的浮游动物大量减少死亡。

另外，油类化学毒性还会破坏细胞膜的正常结构，干扰生物体的酶系。浮游植物是海洋生物的初级生产者，最容易受到油污染的影响，0.1mg/L 的油浓度就会影响其正常生长，对于以其为食的浮游动物也随之而受到影响。完全性浮游动物、动物幼体、卵、一些动物的某一个生长期等对油污染更为敏感。某些动物在变态期，甚至 0.01mg/L 的油污染就会影响其正常变态。下表列举了油污染对一些海洋生物的影响情况。

表 6.1-5 石油产品对海洋生物的致死浓度

生物种类	2 号燃料油或煤油	废油 (ppm)
海洋植物	<100μg/L	10
鳍鱼	50μg/L	1700
幼体和卵	0.1μg/L	1.25
浮游甲壳动物	5~50ppm	15~20
底栖甲壳动物	0.56mg/L	/

**表 6.1-6 石油产品对海洋生物的致死浓度**

种类	石油产品种类	浓度 (ppm)	亚致死反应
普通小球藻	精制苯	1	抑制生长
硅藻、双鞭毛藻	油	0.1~0.0001	抑制或减缓细胞分裂
日本星杆藻	煤油	3~38	降低生长速度
海胆幼体	船用燃油的萃取物	0.1~1	影响受精卵发育
大西洋鳕鱼幼体	BP1002	0~10	破坏捕食行为
大螯虾	原油、煤油	10	影响化学感受捕食行为
贻贝	原油	1	加快呼吸、减少捕食
滨螺	BP1002	30	明显抑制生长

#### (5) 溢油对珊瑚礁的影响

预测结果表明，油膜随流和风扩散，扩散至周边广东徐闻珊瑚礁国家级自然保护区和徐闻珊瑚礁生态保护红线等敏感生物聚集的地方。从而对该区域海水透明度产生短时的影响，影响珊瑚中虫黄藻的光合作用，并对浮游生物带来一定的影响进而影响珊瑚虫对浮游生物的捕食。

#### (6) 溢油对其它海洋生物的影响

对于哺乳动物类、鸟类等这样大型的海洋脊椎动物，它们虽能逃离污染区，但是如果是在生殖季节，油类污染了其正在栖息生殖的海滩，它们将极易受到伤害，它们的幼体有被窒息的危险，溢油还会污染它们的皮毛，甚至眼睛、鼻孔和嘴，造成不同程度的伤害，威胁其生命。此外，油类中的石油烃在某些不敏感的有机类动物体内的富集，使这些动物受到污染。

#### (7) 亚致死效应

由于溢油的影响可持续一段时间，除急性致死效应外，还可能发生亚致死效应。该效应的作用机制表现为：①生理和行为效应，主要表现为麻醉效应、干扰基础生物化学机制、降低浮游植物光合作用和生长率、影响视觉感觉及诱变效应等。据文献报道，石油浓度在 0.001~0.1mg/L 范围时，即会出现上述效应；②生态效应，较长期暴露于 0.01~0.1mg/L 石油浓度中，可造成生态群落结构的破坏，群落结构中某些对石油敏感的种类消失或减少，代之以嗜污种类增加，使不同营养级生物比例失调而导致局部海域海洋生物链（网）的破坏；③异味效应，海洋生物具有从栖息环境中积累石油烃的能力，富集系数可达 102~107（因种类而异），导致生物体产生异味，失去其经济价值。

#### (8) 溢油对海洋生态长期积累影响分析

溢油事故对渔业资源的中、长期累积影响主要是造成渔业资源种类、数量及组成的改变，从而使渔业长期逐渐减产。这种影响在海域环境中可持续数年至十几年，因溢油规模及溢油地点而异。

石油是各种不同物理和化学特性的化合物的复杂混合物。其中烃类系由生物的活体合成，它与轻质组分、多环芳香烃、轻脂环族、杂环核和其他烷基衍生物是不同的。石油类对海洋生态系统的影响主要包括毒性所产生的影响和窒息及缠裹作用的影响。

石油污染的致死效应对生境的破坏具有长期性。一般来说，石油的毒性大多与其芳香烃的含量有关。原油和精炼油对海洋生物具有剧毒效应，也还有缓慢的致毒效应。这包括扰乱动物之间的化学联系，能够导致单个种的丰度和分布变化和种的组成的改变。

由于海洋生态系统的多样性和复杂性，迄今为止，尚未找到整个种群发展趋势与污染之间的相关性。水面被油膜覆盖，阻碍空气和水体的氧交换。水层光照减弱，作为食物链中基础营养层次的浮游植物生长受到抑制，初级生产力下降；同时海水中低浓度油会刺激某些耐污性单细胞浮游植物大量增殖。这些藻类过度增殖会形成赤潮，造成极大的生态性危害——鱼、虾、贝类大量死亡，改变了浮游植物群落结构，大大降低浮游植物多样化水平。进入水中的乳化油达到一定浓度可造成贝类大量死亡。在鱼、虾繁殖季节里，海水油污迫使鱼、虾、蟹类回避迁移，导致产卵场和育幼场消失或产下卵子不能孵化。油污粘附在海洋生物的呼吸和运动器官上都会导致海洋生物因缺氧而窒息死亡。

轻质油和精炼油比原油和重燃料油对成体鱼的危害更大。潮下带和潮间带的底栖生物受意外溢油及其处理措施的危害尤为严重。受害种群的完全康复需要数年甚至数十年时间。

生态实验的研究结果表明，长期暴露于  $(0.01\sim0.1)$  mg/L 的石油浓度中，可造成生态、群落结构的破坏。当海洋草食动物遭受污染损害时，会导致破坏海洋的生态平衡。

当石油烃进入海洋细菌种群后，有利于以石油烃为饵料的种群的生长，而有损于（至少在早期）其余的种群。微型藻类受油污染的影响程度差异极大。较高的油浓度会导致微型藻类固碳作用减弱，生长终止，最终死亡。石油能渗入较高等级的植物，堵塞细胞间的空隙，阻碍呼吸和繁殖。某些滩涂植物能忍受轻度油污，但严重污损常会导致其慢性死亡，这种过程的发生往往需要若干年之久。海上油膜能毒杀或损害某些浮游动物（包括挠足类等完全漂浮性动物）以及浮游鱼卵、仔稚鱼和底栖无脊椎动物。栖息于海洋近表层的鱼卵和幼鱼对油污染的适应性很差，对轻质油特别敏感。

#### 6.1.4.5 溢油对人体健康的影响分析

溢油通过食用油污染鱼虾或贝类对人体健康产生间接影响。石油中对哺乳类有致癌作用的多环芳烃，如 3、4 苯并芘和 1、2-苯并蒽等。生物资源，特别是软体动物和藻类常含有较高量的多环芳烃。海洋生物体中多环芳烃的含量不仅取决于摄食，而且取决于它们积蓄和代谢这类化合物的能力。在积蓄和保护芳香族化合物和多环芳烃类能力方面，富脂鱼胜于贫脂鱼，在某一鱼种体内，富脂组织胜过贫脂组织。鱼类和甲壳类动物能够代谢多环芳烃类，并以水溶性更大的羟基物形式排泄。软体动物在这方面的能力较差。软体动物富集多环芳烃类所达到的含量高于任何其它海洋生物，但在人类饮食中多环芳烃仅占很小一部分，因而它们在加剧致癌危险方面的作用较小。本项目溢油位置周边存在养殖区，当溢油事故发生后一段时间内，应禁止食用受污染海域的养殖生物，避免对人体产生危害。

#### 6.1.4.6 溢油对海岸线的影响分析

根据溢油数模结果，发生溢油事故后，不及时处置，油膜可能会登陆海岸。油膜抵达沙质或岩礁质海岸线时，油膜将较长时间粘附在海岸线上，对其海洋景观和生态系统将造成长期严重破坏，其恢复期可长达几年。

#### 6.1.4.7 溢油对通航环境的影响分析

一旦发生溢油事故，应急船舶、围油设施等将会占据事故海面，增大溢油海域的船舶密度，且应急船舶为了执行应急任务，最大限度地防止油膜漂移，其航行路线是随意的，这就使原本井然有序的通航环境出现暂时的混乱。

### 6.1.5 溢油风险处理与防治措施

#### 1、溢油风险处理

按照我国已签署加入的《国际防止船舶污染海洋公约》（MARPOL73/78）附则 I（防止油污染规则）的第 26 条（船上油污染应急计划）的规定，150 总吨以上的非油轮船自 1995 年起船上已制定了《船上油污应急计划》，一旦该船发生油污染事故，首先要启动该应急计划，同时请求港口主管当局给予支援，控制和清除油污染。

国家海事局已于 2000 年 4 月发布了《中国海上船舶溢油应急计划》和北方海区、东海海区、南海海区、台湾海峡水域溢油应急计划，本工程所在海域属于《南海海区溢油应急计划》的适用范围内。

### **建立溢油事故应急体系**

建设单位应依据《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国安全生产法》《国家突发环境事件应急预案》等法律法规，结合工程特点建立一个有针对性的、周密的应急体系，以处理大、中型突发性溢油事故，这个体系应包括以下几个方面：

①建立健全组织指挥机构，建立应急指挥部，负责应急组织协调和指挥，制定应急防治方案和生态风险控制措施，应急队伍的调遣和器材的调拨，事故发生后的联络、救援和事故报告以及事后事故原因、责任、损害调查和索赔等事项的协作与配合；

②绘制地区环境资源敏感图，确定重点优先保护区域及范围；

③收集整理储存一系列有关数据，以备事故时查询检索之用，内容包括：水文、气象资料，不同油种的溢油动态的数值预测，敏感区及资源保护的优先秩序，溢油回收设备的种类、数量和储存地点、溢油回收作业人员的配备情况以及污染损害评价等；

④建立清污设备器材储备，加强应急人员训练，增强应对突发性事故的处理能力；

⑤建立畅通有效的指挥通讯网络。借助社会一切力量，做好溢油应急处理工作。

⑥加强溢油跟踪监测，建立科学的溢油分析决策系统。在此基础上，建设单位应设立处理突发性事故的应急管理队伍，设置专门负责人，负责处理施工期船舶溢油事故。与海事部门取得联系并保持良好的沟通，使工程附近水域的事故抢险工作纳入海事部门的事故应急计划和反应体系中。根据实际情况适时进行演练，以提高相关人员处理事故的应变能力。

### **⑦溢油应急救援保障**

应急防治队伍：一方面由工程全体工作人员组成，一旦发生溢油事故，指挥部可根据情况的需要，动员、调配储备的人力资源投入行动；另一方面利用周边的应急力量。

应急防治设备：本工程可依托附近码头，以及海事局辖区内的溢油应急设备和应急队伍建立溢油联动机制，实现联防联控，一旦发生船舶碰撞溢油事故，应立即就近调用周边港口的应急设备实施应急预案。

## **2、事故应急预案**

建设单位应制定事故应急预案，在本项目施工过程中，一旦施工船舶发生燃料油外泄事故，建设单位应立即启动应急预案。

### （1）应急响应程序

任何人发现船损、溢油、火灾等意外事故，应立即停止作业，采用防止漏油、化学品泄漏等应急措施；并采取有效措施通知主管部门，报告事故发生的时间、地点、性质和程度等。

建设单位指定的现场负责人立即赶赴现场，组织紧急处置，并按事故严重程度联系海事部门立即运行事故应急计划和反应体系，并协助组织人员和应急设施。

### （2）应急环境监测及事故后评估

配备专业队伍负责对事故现场进行监测，配备一定现场事故监测设备，及时准确发现事故灾害，并对事故性质、参数，事故后果进行监测和评估，为指挥部门提供决策依据。

事故处理完毕后，应由管理部门对事故原因、泄漏量、污染清除处理过程、污染范围和影响程度报告海洋环境主管部门，由海洋环境主管部门组织相关部门进行调查，按实际情况确定由事故造成损失的赔偿费用，给予经济赔偿。

### （3）应急状态终止与恢复措施

现场善后处理是应急预案的重要组成部分，关系到防止污染的扩大和防止事故的进一步引发。善后处理应包括对事故现场做进一步的安全检查，尤其是由于事故或抢救过程中留下的隐患，是否能进一步引起新的事故。事故处理结束后，应对事故进行总结，编写事故报告，报告有关部门。

## 3、溢油风险防治措施

防治溢油事故发生的最有效途径就是从工程设计、施工建造和安装以及生产管理上采取有效的防范措施，消除事故隐患，及时制止事故苗头，尽可能避免油气泄漏事故的发生，以防止环境风险溢油事故对海洋环境的污染。

（1）严格执行海底电缆铺设程序，为防止施工过程中可能对原海底管道造成的破坏，在施工前对原海底管道实际路由进行探摸，避免相互影响。

（2）海上施工前，将按照相关要求，申请发布航行警（通）告，提前告知航行路径。为防止其他船只对施工船舶铺设海缆的影响，作业者将安排值班船在作业范围进行巡视，驱散可能干扰作业的其他船舶，确保施工船舶的安全。

（3）根据施工地点天气预报并结合现场实际情况，在天气状况良好的情况下进行施工作业。海缆铺设过程中应对突发的恶劣天气影响时，及时调整船艏向，令船头迎风，将海缆放松，利用尾部托架对海缆进行临时固定。

(4) 施工船舶在施工期间将加强值班瞭望，并制定严格的船舶施工作业制度和操作规程，尽量杜绝事故的发生。

(5) 施工船舶发生紧急事件时，应立即采取必要措施，尽可能关闭所有油舱管系统的阀门、堵塞油舱通气孔，防止溢油，同时向公司及政府主管部门报告。

(6) 为防止在供应船卸载燃料油时发生输油软管泄漏，作业者应定期对输油软管进行安全检测，对输油软管进行定期保养维护，并制定切实可行的输油作业操作规程，一旦发现输油作业有滴漏现象，应立即停止输油作业，并及时上报，进行应急处理。

(7) 加强现场管理，任何人看到溢油都必须在安全的前提下马上采取措施切断溢油源，并向上级报告；报告并按照相应的应急程序中的内容采取恰当的溢油应急行动。

## 6.2 项目风险防范措施

若发生溢油事故且不及时采取有效的应急生态保护措施，将对海洋环境、海洋生物生态等造成严重污染。因此对事故风险应有高度认识与戒备，并将其纳入建设单位的环境保护目标，切实贯彻“以防为主，防治结合”的方针。制订防范溢油事故应急处理计划，以尽可能缩小事故发生的规模和所造成的损失与危害。

### 6.2.1 自然灾害风险防范措施

影响本海域的主要海洋自然灾害有热带气旋、风暴潮。业主单位应时常关注气象信息，当得知有风暴潮、台风等灾害性天气气象时，要及时做好灾前各项准备工作，将灾害性天气带来的损失降至最低，并在灾后做好水深地形监测工作。业主单位应做好以下对策措施：

6~10月是台风多发期，项目施工时应合理安排施工期，做好台风应急预案，施工过程中，要加强施工监理，确保工程质量。

加强对施工人员、施工船只的安全教育和管理，强化施工人员的环境保护意识。台风登陆前船舶应停泊到避风锚地避风。

### 6.2.2 火灾风险防范措施

防火、防爆的主要手段就是控制和消除火源。本项目建设和运行过程中可能遇到的火源主要是吸烟、维修用火、电器火灾、静电火花、雷击、撞击火花等，因此应注意以下措施：严禁吸烟、严禁携带火种（如不防爆的手机等），禁止在船上生火等。

(1) 严格控制船舶内的点火源，禁止一切明火，严禁吸烟，严格控制船舶维修时的



焊接、切割等动火作业。

(2) 船舶配备防火灭火设备，配备消拖两用消防船等。

(3) 船舶进行靠离泊作业时，应充分注意水域各类船舶的动态，特别是邻近船舶的动态，双方相互协调，合理安排船舶靠/离泊的计划，以防与其它船舶发生摩擦碰撞产生火源。

### 6.2.3 溢油事故风险防范措施

#### 一、海上溢油事故防范措施

本项目海上工程施工期间主要采用船舶施工，因此施工阶段应着重考虑船舶通航安全、施工作业安全和航道通航安全，并采取相应的安全措施，如施工船舶选择在通航密度较小的时段和白天进出，施工作业尽量减少占用航道等措施，避免船舶碰撞事故的发生。为了确保正常通航，应在施工前发布航行通告，施工期间必须实行必要的水上交通管制等措施。同时根据《中华人民共和国防治船舶污染海洋环境管理条例》等相关法规及规划的要求，施工船舶必须设置油污储存舱（或容器），油污水须由符合要求的接收单位接收处置，严禁外排入海。

#### 二、污染防范措施

对于重大或不可接受的风险，制定应急响应方案，建立应急反应体系，事件一旦发生时可迅速加以控制，使危害和损失降低到尽可能低的程度。

1、溢油应急指挥组织。该组织应由企业生产管理部门、公安、消防、海事部门、环保部门、救捞部门、海洋部门、渔监、水产部门、卫生防疫、安监等职能部门组成，并确定事故应急领导小组，组长应由项目主管经理担任并全面负责。

2、溢油联络机构。应建立相应的快速灵敏的报警系统和通讯联络系统，以便发生事故时及时进行抢险作业。

3、溢油作业队伍的建设。确立各种事故的抢险人员体系，并登记保存于计算机系统，同时应对抢险人员作定期培训和演练的计划，以确保关键时发挥其主力军作用。

4、溢油应急设施的配备。配置相当数量的溢油应急设备和器材，建议充分利用区域内溢油应急防治设备。

5、溢油应急反应及油污处置方法。具体见表 6.3.2-1 和表 6.3.2-2。

6、溢油应急行动计划应报当地海事部门备案。

7、一旦发生溢油事故，应立即采取全面有效措施向可能受到危害者通告并向当地海

事部门上报。

三、污染控制措施

配备一套完整的溢油处理系统对于溢油污染控制是十分必要的。目前，国际上较多采用的溢油处理方法是物理清除法和化学清除法。物理清除法主要机械设备是围油栏和回收设备，首先是利用围油栏将溢油围在一定的区域内，然后采用回收装置回收溢油；化学清除法则是向浮油喷洒化学药剂-消除剂，使溢油分解消散，一般是在物理清除法不能使用的情况下使用。

1) 防止溢油扩散措施

防止海上溢油的扩散措施见表 6.3-1。

表 6.3-1 海上溢油防止扩散措施

措施类别	措施内容
拦油栅及撇油设备	帘式、围墙式
活塞膜化学药剂	化学药剂迅速扩散围住漏油周边，把油推向集油设备
喷洒油聚集剂硫磺	直升机喷洒
药剂反应捕捉	喷洒聚异氰酸酯和聚酰胺，与油产生聚合物，形成胶冻，防止油扩散
空气帘	空气通入穿孔水龙带或管道，组成气泡屏障

2) 回收和处置

溢油的回收和处置方法很多，不同的溢油方式回收和处置方式也不同，表 6.3-2 则列出了一部分水上溢油的回收和处置方法。

表 6.3-2 水上溢油回收处置措施

方法	回收设施	处置设施
加吸附剂	天然材料吸附 植物：稻草、锯木屑 矿物：黏土、石棉 动物：羽毛、纺织废料	挤压吸附材料回收油
撇油	撇油器：浮动式、固定式、移动式	收集上岸处理
燃烧法	/	加燃烧剂把油燃烧
抽回分散剂	/	使油乳化并溶解于水
沉降	高密度材料作新脂肪的处壳处理，使其吸附油	沉降到水底，再掩埋

3) 海上事故溢油的处理

当溢油发生后，应根据溢油量的大小，油的扩散方向、气象及海况条件，迅速用围油栏围住其扩散方向，进一步缩小围圈面积，用吸油船最大限度地回收流失的油，然后加消油剂进行分散乳化处理，破坏油膜，减轻其对海域的污染。海上溢油事故的处理方法和程序如图 6.3-1。

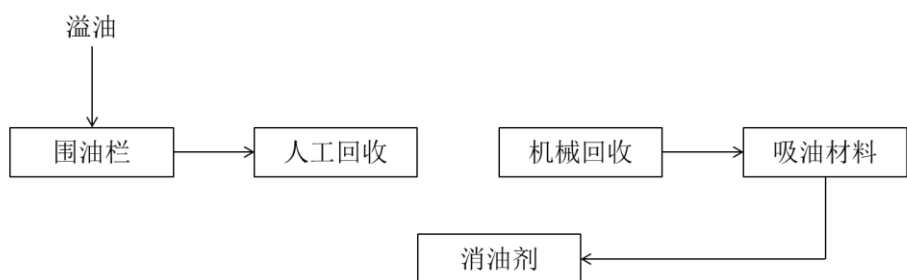


图 6.3-1 海上溢油事故处理程序

#### 4) 应急物资

本项目环境风险主要为溢油风险。本项目内部应急物资的调查与补充可参考下表。具体采用物资及其规格、数量等根据项目实际情况进行调整。

表 6.3-3 溢油事故常用应急物资一览表

序号	名称	规格
1	固体浮子式橡胶围油栏	WGJ900
2	橡胶围油栏（应急型）	WGV900
3	聚乙烯锚绳	φ20
4	船锚	50kg
5	锚浮标	φ300
6	不锈钢钢丝绳卡	φ12
7	收油机	ZS5
8	油拖网	SW2
9	吸油毡	PP-1
10	溢油分散剂	GM-2
11	吸油拖缆	XTL-200
12	溢油分散剂喷洒装置	PSC40
13	轻便储油罐	QG5
14	轻便储油罐	QG10
15	围油栏布放艇	锚艇
16	人员防护设备（防护服、呼吸面具、防静电靴、防护手套等）	/
17	橡胶围油栏（应急型）	WGV900
18	收油机	ZSY5
19	吸油毡	PP-1
20	吸油拖缆	XTL-200
21	轻便储油罐	QG10
22	人员防护设备（防护服、呼吸面具、防静电靴、防护手	/

	套等)	
23	分散剂	GM-2

### 6.3 环境风险总体评价

本项目主要的环境风险为施工船舶碰撞事故而发生溢油的环境风险。本项目周边敏感目标较多，一旦发生溢油事故而又没有任何应对措施，油膜在风和潮流的共同作用下将很快抵达生态敏感区并造成严重污染。但由于本项目仅有海底电缆敷设，施工内容、工序简单明确，因此，施工船舶在采取提前发布航行通告、加强瞭望、合理安排施工作业面等措施的前提下，本项目施工船舶发生碰撞的事故概率很低，且可能发生的溢油量有限，区域溢油应急防备能力较强。

总体来说，项目施工期和运营期通过积极采取本报告提出的环境风险防范措施和环境风险应急预案，并在发生海上溢油泄漏事故后及时按照事故应急措施和应急预案进行处理，其影响可以得到有效控制，项目的环境风险事故可以控制在可接受水平。

## 7 环境保护措施及其可行性论证

### 7.1 施工期环境保护措施及其可行性分析

#### 7.1.1 水环境保护措施

##### 7.1.1.1 污染防治措施

##### 7.1.1.1.1 悬浮泥沙污染防治措施

①施工前应结合项目周边及项目自身施工进度，合理安排施工整体进度计划，制定好施工主要节点流程图，严格按照施工方案执行，保证施工进度和控制施工强度，避免重复施工增加悬浮泥沙量。

②深水区施工应选择 6 级风以下施工，主要施工内容应在潮水平缓阶段，即在流速较低的高平潮或者低平潮附近时刻施工，降低施工期悬浮泥沙扩散范围。

③深水区海缆敷设时，采用专用铺缆船，悬浮泥沙与铺缆速度、电缆沟槽尺度以及海域底质特征有关，施工时需根据海缆路由底质详勘报告确定各区段具体的海缆埋深和沟槽宽度，控制高压水强度，减少超挖量，同时控制船舶航速，减少悬浮泥沙的产生。

④海南侧定向钻出钻口靠近造礁石珊瑚，在施工前增设 2 段落底式深水防污帘，合计 690m，西侧段防污帘长 423m，东侧段防污帘长 267m，隔离施工期产生的悬浮泥沙，进一步确保海缆施工过程中产生的悬浮泥沙不会扩散至周边造礁石珊瑚。

##### 7.1.1.1.2 污废水污染防治措施

①对于本项目所采用的各类施工船舶，在水上作业时应遵照《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》（交通运输部令 2010 年第 7 号）以及《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》中对海上施工船舶的要求管理，对施工船舶施工期间产生的含油污水、生活污水进行统一收集运至岸上，委托有接收能力的单位接收处置，禁止直接向海域排放舱底含油污水、船舶垃圾、含有毒有害物质的污水等。

②施工期间注意施工船舶等的清洁，及时维护和修理施工机械，施工机械若产生机油滴漏，应及时采取措施，用专用装置收集并交有接收能力单位处置。建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等污染物时，应立即采取措施，控制和消除污染，

并向海事局报告。

③本项目定向钻施工在陆域出土点设有泥浆池存放成孔及扩孔工序产生的废弃泥浆，过程中自海向陆方向开展抽吸工作，避免产生的泥浆进入水体，并且泥浆水在陆域泥浆池经沉淀后循环使用，施工结束后废弃泥浆、钻屑等废弃物均在陆域妥善处置，严禁向海洋排放。

④加强施工设备的管理与养护，杜绝石油类物质泄漏，避免对海水造成污染。

⑤电缆沟施工过程中应严格控制施工占地和植被破坏，对施工裸露地表采取设置截排水沟、彩条布覆盖等临时拦挡和防护措施，防止水土流失造成的水体污染；对施工扰动区域根据地形地貌条件设置必要的护坡、挡土墙、排水沟等工程防护措施，并做到先防护后施工。

⑥施工产生的极少量废水排入沉淀池，经沉淀池处理后回用，不外排。海缆登陆段施工人员纳入终端站施工生活区统一管理，生活污水不得直接排入外地表水体，纳入驻地生活污水处理系统。

### 7.1.1.2 可行性分析

本项目施工船舶配备有生活污水处理设施、含油污水处理设施，处理能力和要求均能满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）的相关要求；压载水为附近海域海水，可直接排放；船舱压载水沉积物及污水处理污泥收集运至陆地安全处置；海缆登陆段施工生活污水及生产废水均得到相应的处置。因此，本项目采取的各项废水防治措施是可行的。

## 7.1.2 环境空气保护措施

### 7.1.2.1 污染防治措施

本项目施工期环境空气污染物为施工船舶的燃油废气、海缆登陆段施工产生的施工扬尘等。主要采取以下保护措施：

（1）对施工机械进行管理，检查合格的机器才可进场作业，尽量减少施工机器产生的燃油废气。

（2）施工船舶和施工机械的燃气废气，属自然排放。要加强管理，采用符合标准的低含硫燃料。

（3）施工过程中，应当加强对施工现场和物料运输的管理，保持道路清洁，管控料

堆和渣土堆放，防治扬尘污染。

(4) 施工过程中，对易起尘的临时堆土、运输过程中的土石方等应采用密闭式防尘布（网）进行苫盖，施工面集中且有条件的地方宜采取洒水降尘等有效措施，减少易造成大气污染的施工作业。

(5) 施工过程中，应当对裸露地面进行覆盖；暂时不能开工的建设用地建议进行绿化、铺装或者遮盖。

(7) 施工现场禁止将包装物、可燃垃圾等固体废弃物就地焚烧。

(8) 减免粉尘、扬尘、燃油废气对施工人员健康的影响，对受影响的施工人员做好劳动保护，佩戴防尘口罩、面罩。

(9) 在施工现场周围建筑防护围墙，进出场地的车辆应限制车速。

### 7.1.2.2 可行性分析

施工过程中加强施工现场管理，严控施工扬尘随意扩散，减少影响范围，采用符合标准的施工设备可减少废气产生，通过以上措施的实施，可以减少施工期废气影响，因此措施是可行的。

### 7.1.3 声环境保护措施

#### 7.1.3.1 污染防治措施

本项目海缆施工主要位于海域，周围没有噪声敏感建筑物，本项目施工噪声可满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的要求。

(1) 施工船舶按规定鸣笛，不得无故鸣笛；

(2) 施工时选用低噪声设备，定期对设备进行维护和保养，严格按操作规程操作，保证施工机械保持在最佳状态，降低噪声源强度；

(3) 合理安排施工进度，尽量缩短总的施工时间，避免夜间施工；

(4) 定向钻施工设置有发电机、钻杆、钻机、泥浆泵等高噪声设备，设备工作时，在周围设置围挡，减少噪声对周围环境的影响，同时控制高噪声设备施工作业时间，禁止在夜间休息时间进行高噪声设备作业。

(5) 对施工机械操作工人按劳动卫生标准控制工作时间，亦可采取个人防护措施，如戴隔声耳塞、头盔等。

### 7.1.3.2 可行性分析

本项目海上海缆施工主要位于空旷海域，两岸登陆点均采用定向钻穿越登陆，且定向钻施工时设置围挡，海缆登陆段电缆沟工程量较少，工期短，施工采用低噪声设备、设置围挡等，可以降低对周边产生的噪声影响，因此整个海缆施工对周围声环境的影响很小。因此，本项目采取的噪声污染防治措施是可行的。

### 7.1.4 固体废物防治措施

#### 7.1.4.1 污染防治措施

（1）对于施工期施工船舶产生的生活垃圾以及扫海清障打捞的固废，应在船上设置生活垃圾收集区，定期运至陆上，由环卫部门清运处理或交由有接收能力单位转运处理，并建立船舶污染物接收台账，报海事主管部门备案。

（2）施工船舶产生的含油固废需按相关规定进行存放，并交由有接收能力单位接收处置。

（3）施工过程产生的废旧铁皮、废弃钻头等固废尽可能回收利用，严禁丢弃入海。

（4）定向钻施工产生的废弃泥浆抽吸到陆域进行处置，为防止向海侧定向钻出土点出露时泥浆外溢，在登陆侧定向钻出土点设置钢套筒防止泥浆外溢。陆域出土点设有泥浆灌、泥浆收集池，泥浆收集后经泥浆回收装置处理后同陆上工程终端站余方一起由有资质的单位外运综合利用。

（5）施工单位应按照水土保持方案开展海缆登陆段施工，临时土石方应集中堆放、及时回填，以减少弃土弃渣的产生。做好表土的剥离保护利用，严禁就地倾倒压占征地范围外植被或顺坡溜弃，海缆登陆段施工产生的土石方同陆上工程终端站余方一起由有资质的单位外运综合利用。

（6）施工完成后及时做好迹地清理工作，以免影响后期土地功能的恢复。

#### 7.1.4.2 可行性分析

本项目施工船舶登陆港口交通便利，固废转运垃圾车可及时清运船舶一般固废和生活垃圾，能够保证海缆施工期间不会对海洋造成固体废物污染。海缆登陆段施工人员依托陆上工程终端站施工生活区统一管理，施工垃圾妥善处置。因此，本项目施工期产生的各类固体废物均能得到合理有效的处置，固体废弃物污染防治措施切实可行。



## 7.1.5 海缆登陆段生态环境保护措施

### （1）植物保护措施

①施工期间，应明确划定施工区域边界，在施工区域周边设置清晰醒目的警示标志，明确告知施工人员和来访者施工范围，避免误入禁入区域。实施严格的现场管理，确保所有施工活动严格限制在指定区域内，杜绝超范围施工行为。定期开展现场巡查，实时监控施工进度，及时发现并纠正施工范围无意识扩展的情况，确保施工活动始终在可控范围内。

②施工应尽量避免雨季，以减少雨水冲刷对植被和土壤的破坏，降低水土流失对植物生长及植被恢复的不利影响。

③工程结束后，将对施工场地进行全面清理，清除地表的硬化混凝土并及时将其清运至指定地点，避免残留物对环境造成二次污染。同时，对临时用地进行生态恢复，通过植被补植、土壤修复等措施，使其恢复原有的生态环境，确保受损区域尽快恢复生态功能。

④对施工人员开展系统的环境保护培训，强化其环保意识，使其深刻认识到保护生态环境的重要性，从而增强环保责任感和自觉性。

⑤注意防止生物入侵种的传播，避免对沿线生物多样性带来长远影响。建立完善的监测体系，定期开展沿线区域的生物入侵监测，及时发现并识别潜在入侵物种，结合风险评估技术，对入侵物种的扩散途径和危害程度进行科学评估。强化源头防控，在施工和运营过程中，避免使用可能携带入侵物种的材料或设备。对已发现的入侵物种，可采用物理移除（如人工清理）或化学防治（如使用安全的化学制剂）等方法控制其扩散。针对入侵物种破坏的生态系统，开展生态修复工作，恢复本地物种的生态环境。同时，可探索生物防控技术，如引入天敌或利用本地物种替代入侵物种。提高沿线工作人员和公众对生物入侵危害的认识，鼓励公众参与入侵物种的监测和防控工作。通过以上措施，从源头预防、监测预警、治理修复等多方面入手，可有效减少生物入侵对沿线生物多样性的负面影响。

### （2）野生动物保护措施

本工程施工对动物带来负面影响主要为施工期产生的噪音、人为活动、食物来源减少等。建议施工单位按照广东省和海南省重点保护动物保护要求，合理安排施工，同时在运营期加强对野生动物的监测。

①工程施工前，应制定详细的施工方案，选择合理施工场所和时间，优化施工方案，缩短施工作业时间，减少对野生动物的惊扰，尽量减缓施工噪声、振动、光源等对野生动物的干扰。

②施工前加强对施工人员进行野生动物保护的宣传教育，提高施工人员的保护意识，使其遵守《中华人民共和国野生动物保护法》相关规定，保护野生动物，禁止捕杀野生动物。施工单位应提前明确野生动物救护站联络方式与联系人，做好野生动物救护预案与转运措施预案。

③在施工建设期间，施工单位应对噪声源采取减振、消声、隔音等措施，增加防护、阻隔设施，减少和减弱噪声的传播。加强施工作业管理，合理安排施工时间，尽量减少在晨昏和正午、夜间施工，减少工程施工噪声对野生动物的惊扰，施工车辆应减少打喇叭的频次，有效减少对周边野生动物的惊扰。

④施工结束后，及时恢复施工场地周围的植被，以便于动物适应新的生境，有效保护其栖息地、繁衍生息地等，尽量减少因本项目建设导致的对野生动物栖息与繁衍的影响。

⑤为了有效地降低工程建设对自然保护区野生动物的影响，需在重点区域设立动物监测样点，对重点保护动物进行实时动态监测。在施工期，若发现施工区域及附近有重点保护及珍稀濒危动物分布或其行为发生变化，应及时上报主管部门，通过咨询专家，科学评估后，采取科学、合理的保护策略；如无法迁地保护，及时与林业主管部门协调，调整工程建设方案和施工方案，尽可能保护好重点保护和珍稀濒危野生动物及其栖息地；运营期主要监测重点保护及珍稀濒危动物与生境的变化，物种的变化以及生态系统整体性变化，并建立监测报告制度。

### （3）水土流失防治措施

①合理组织施工，临时施工机械设备和设施及材料场合理分布，减少占用临时施工占地。

②临时堆土采取拦挡、防护等措施安全堆放，施工结束后及时清理。

③弃土清运到当地有关部门指定地点。

④加强施工期的施工管理，合理安排施工时序，尽量避免雨季施工作业。施工期过雨季的，临时堆土及裸露地表应采用苫布遮盖，减小降雨直接冲刷。

⑤施工完成后对施工扰动面进行恢复，并对破坏的部分按国家规定进行补偿。

## 7.2 运行期环境保护措施及其可行性分析

### 7.2.1 污染防治措施

本项目海底电缆埋设在底土中，运行期海缆本身不产生污染物，其对环境的影响主要集中在运行维护时采用船舶产生的污染影响，运行期应采取以下环境保护措施：

（1）对于海缆运维期间船舶产生的油污水，统一收集，委托有接收能力的单位接收处置。

（2）海缆做好防腐措施，应利用最新技术，使用环保材料。

（3）定期对电缆进行巡检和维护，及时发现腐蚀情况并采取措施修复和保护，以延长电缆的使用寿命并避免腐蚀物质泄漏到海洋中。

（4）运维船舶会产生燃油废气，采用符合国家排放标准的运维船舶，以降低其排放浓度。使用合格的燃料油(船舶燃油含硫量不大于 0.5% $m/m$ )，并设法使其充分燃烧，减少废气中污染物的排放量。

（5）运行期工作人员产生的生活垃圾随船携带，统一收集上岸，由环卫部门清运处理或交由有接收能力单位转运处理，并建立船舶污染物接收台账，报海事主管部门备案。

（6）运行期产生的少量废油（通常是润滑油）应用锯末、抹布或棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱等应收集后运回陆地，委托有接收能力的单位统一回收处置、处理。

### 7.2.2 可行性分析

运行期海缆本身不产生污染物，通过加强海缆保护、日常运维工作，运维期间产生的生活垃圾、生活废水、固体废物等均得到妥善处置，不会对海洋环境造成影响，因此措施是可行的。

## 7.3 海洋生态保护与生态恢复措施

### 7.3.1 海洋生态环境保护措施

（1）施工过程中须密切注意施工区及其周边海域的水质变化。如发现因本工程施工引起水质变化而对周围海域海洋生物产生不良影响，应立即停止施工，等水质恢复后方可施工。

（2）建设单位应做好施工前的宣传教育活动，严禁施工人员捕猎，遇有大型鱼类或保护动物进入施工海域时应停止施工，待这些保护生物离开工程海域后再施工。

(3) 合理安排施工工期，本项目穿越南海北部幼鱼繁育场保护区范围，根据“三场一通道”资料，主要经济鱼类的产卵盛期集中在3月~5月，建议海缆敷设时间避开保护期。

(4) 工程建设要坚持“预防为主、保护优先”的原则，指导设计、施工、环境管理，把生态环境保护纳入工程方案设计过程中，把不利影响控制到最低程度。

(5) 海缆敷设及登陆段施工过程中应加强施工管理，科学安排作业时间和程序。施工工期安排尽量避开主要经济鱼类产卵季节和保护期，严格按照操作规程，尽量避免事故发生，减少对海洋环境、海洋生态的影响。

(6) 严格限制施工区域，海缆敷设施工时，控制作业面（带）宽度，根据电缆沟设计沟槽宽度选择合理埋设设备的尺寸，减少工作面，从而降低对生态环境的影响范围。

(7) 施工船舶含油污水和生活污水禁止在工程海域排放，含油污水收集后交由有处置能力单位处理，海上生活污水收集上岸处理。施工单位还应对施工船只进行机械管理，定期进行检修，强化保养，严禁带“病”作业，防止机油泄漏事故。

(8) 海上施工应选择海况良好，潮流较缓的情况进行施工作业，同时注意海缆铺设的施工速率和强度，在保证施工质量的前提下尽可能缩短作业时间。

(9) 施工前应与当地渔业主管部门做好沟通，并严格按照国家及地方的有关规定执行，做好相关的经济补偿工作。

(10) 施工期对项目附近的生态环境进行跟踪监测，掌握生态环境的发展变化趋势，以便及时采取调控措施。

### 7.3.2 珊瑚礁保护措施

本工程在海南登陆段分布有珊瑚礁，为将工程建设对珊瑚礁的影响降至最低，在海缆登陆施工时采用定向钻施工工艺，施工结束后对工作坑进行回填，恢复施工场区的地形地貌，避免对地形地貌和生态环境造成损害。除采用先进的施工工艺外，施工和建设单位还应执行更详细的保护措施，主要包括：

(1) 海缆施工工期安排应尽可能避开珊瑚繁殖期（4~5月），施工时应降低施工强度，尽可能避开大潮期施工，并采取设置防污帘减小悬沙扩散等措施。

(2) 登陆点施工时，根据路由走向和登陆点坐标确定钻孔工作坑位置，严格划定施工作业区，尽可能缩小施工作业区面积，并向行政主管部门报备；

(3) 施工开始前，确定施工项目组环保责任人，并对施工进场人员进行环保意识教育，明确环保责任；

(4) 在施工现场，设置明显的警示牌，警示施工人员保护岸滩环境；

(5) 施工生产生活污水、生产生活垃圾和机械设备冲洗水，禁止随意排放，需统一收集后集中处置；

(6) 施工结束后对工作坑进行回填，恢复施工场区的地形地貌，并做好场地卫生清理工作。

(7) 在施工过程中加强施工监测，一旦发现施工严重影响珊瑚礁保护区水质，需立即停止施工，调整施工方案，降低施工效率以减小悬浮泥沙源强，确保保护区水质优良。

### 7.3.3 红树林保护措施

本项目广东侧滩涂段线路距离湛江市徐闻县红树林生态保护红线最近距离为 318m，与现状红树林最近距离为 124m。本项目海底电缆不涉及红树林分布区域，对红树林的影响主要是施工产生的悬浮泥沙、噪声，通过采取下列保护措施严控项目建设对红树林的影响：

(1) 本项目施工期产生污染主要是铺设产生的悬浮泥沙。在广东侧段滩涂段线路开挖施工时，施工单位合理安排两栖挖沟机数量、位置、挖泥进度，以尽量减少开挖作业对底质的搅动强度和范围，也减少悬浮泥沙的扩散范围；按照分区、分块、分层的方法组织施工。

(2) 合理安排挖沟施工时间。滩涂段挖沟施工应在退潮期间进行，从而避免挖沟产生的悬浮泥沙进入红树林分布区域。

(3) 施工中严格落实环境保护措施，减少施工污水、废弃物产生，施工产生的污水和固体废物垃圾集中收集并运至岸上进行统一处理

(4) 施工应尽量避免恶劣天气，保障施工安全并尽量避免悬浮物剧烈扩散，减轻悬浮沙对登陆点附近红树林区域红树林的影响。

(5) 本项目周边红树林分布区域有夜鹭、白鹭等鸟类栖息，施工噪声对其产生一定影响。施工应该采用低噪声机械。野生鸟类大多是晨、昏（早晨、黄昏）或夜间外出觅食，正午是鸟类休息时间。施工期间应合理安排施工时间，做好施工方式和时间的计划，力求避免在晨昏和正午进行噪声较大的施工活动，减少对鸟类的影响。

(6) 在整个施工期内，由建设单位委托监理，采用巡检监理的方式，对材料堆放、施工方式、施工机械和宿营地进行环境监理，检查生态保护措施落实及施工人员的生态保护行为。施工人员进场后，立即进行生态保护教育。明确禁止施工人员进入红树林

分布区，杜绝破坏红树林的行为。

### 7.3.4 生态修复方案

根据国务院《关于印发中国水生生态资源养护保护行动纲要的通知》精神，建设单位应当按照有关法律规定，制定项目对生态资源损失的生态补偿方案，采取增殖放流等修复措施，改善水域生态环境，实现渔业资源可持续发展，促进人与自然的和谐发展，维护水生生物多样性。本项目按照“损失多少，补偿多少”的生态补偿原则，对工程造成的生态资源损失予以补偿修复。

本项目海底电缆建设将造成海域海洋生物资源损失，项目建设虽然对中国鲎基本无影响，但中国鲎作为国家二级野生保护动物，为保护珍稀物种资源，建议增加中国鲎的增殖放流。另外，项目拟在海南侧路由南侧的珊瑚礁分布区修复 0.5ha 的珊瑚礁，通过珊瑚移植、种植等措施开展原位保护修复，增加珊瑚礁覆盖率和海底生物多样性，改善海洋生态环境，同时形成海岸防护屏障提升海南岛海岸带生态系统结构完整性和功能稳定性。生态保护修复一览表见表 7.3-1。

表 7.3-1 生态保护修复一览表

保护修复类型	保护修复内容	工程量	实施计划	责任人	备注
海洋生物资源恢复	增殖放流			建设单位	1、放流规格、数量可根据当年市场苗种情况进行合理调整，且不少于报告所列数量； 2、具体实施方案、周期在实施过程中可结合实际情况进行适当调整。
珊瑚修复工程	珊瑚礁生态修复			建设单位	1、具体实施方案需要在工程实施结束后细化编制，明确补偿修复的实际区域、修复物种以及采用的技术手段，并开展修复适宜性评估等工作。 2、珊瑚礁修复规格、数量可根据当年市场苗种情况进行合理调整，且不少于报告所列数量；
合计			/		

#### 7.3.4.1 海洋生物资源恢复方案

本项目海底电缆建设造成海洋生物资源损失，参照《围填海项目生态保护修复方案

编制技术指南（试行）》，本方案推荐采取增殖放流措施，提高项目所在海域的海洋生物资源总量和生物多样性。

7.3.4.1.1 增殖放流规模与计划

根据本项目建设造成的生物资源损失量，确定增殖放流规模，拟定在施工后 2 年内的休渔期进行增殖放流。

7.3.4.1.2 增殖放流物种选择

增殖放流的海洋经济物种以适应本地生长的鱼苗、虾苗为主，根据《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》，琼州海峡周边海域适宜增殖放流的水生生物如表 7.3-2 所示，建议选择红笛鲷、斑节对虾和中国鲎作为增殖放流物种。

表 7.3-2 项目周边海域增殖放流适宜性评价表

所属海区	重要放流海域	行政区域	适宜放流物种
广东西部海区			花鲈、青石斑鱼、斜带石斑鱼、紫红笛鲷、红笛鲷、真鲷、平鲷、黑鲷、黄鳍鲷、花尾胡椒鲷、斑节对虾、日本对虾、长毛对虾、墨吉对虾、克氏海马*、大珠母贝*、布氏鲳鲙、绿海龟*、二长棘鲷、三线矶鲈、点斑篮子鱼、金钱鱼
海南海区			青石斑鱼、布氏鲳鲙、紫红笛鲷、红笛鲷、斑节对虾、日本对虾、克氏海马*、大珠母贝*、点斑篮子鱼、尖翅燕鱼、豹纹鳃棘鲈、红九棘鲷、波纹唇鱼*、中国鲎

（引自《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》）

7.3.4.1.3 放流地点选择

根据《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》《广东省海洋生物增殖放流技术指南》，增殖放流地点应选择：

- 1）产卵场、索饵场、洄游通道或人工鱼礁放牧场；
- 2）非倾废区，非盐场、电厂、养殖场等进、排水区的海洋公共水域，并应选择靠近港口码头利于增殖放流工作开展，且捕捞影响较小的区域。

综上，推荐放流地点为后水湾区，最终放流地点以渔业主管部门审定的增殖放流方案为准。

图 7.3-1 推荐放流地点位置图

7.3.4.1.4 增殖放流时间和气象条件

根据 1999 年起实施的南海海域伏季休渔政策，每年的 5 月 1 日至 8 月 16 日为休渔期，此时正值大多数经济渔业种类的增殖期，因此增殖放流时间适宜选择在休渔期间进行，同时还应选择晴、多云或阴天进行，若放流区域 2 天内有 5 级以上大风或中雨以上天气，应另选合适的时间进行。

7.3.4.1.5 增殖放流要求

增殖放流物种的规格以放流现场测量为准。鱼苗体长宜在 4cm 以上，虾苗体长宜在 1.5cm 以上。增殖放流的苗种应当是本地种的原种或子 1 代，人工繁育的增殖放流苗种应由具备资质的生产单位、检验机构认可的单位提供，禁止增殖放流外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合海洋生态要求的海洋生物物种。

增殖放流前，对损害增殖放流生物的作业网具进行清理。增殖放流过程中，要观测并记录投放海域的水域状况，包括水温、盐度、pH 值、溶解氧、流速和流向等水文参数，以及记录天气、风向和风力等气象参数。增殖放流后，对增殖放流水域组织巡查，防止非法捕捞增殖放流生物资源。根据 GB/T 12763 和 SC/T9102 的方法，定期监测增殖放流对象的生长、洄游分布及其环境因子状况。

7.3.4.1.6 增殖放流工程量

增殖放流工程量见下表。

表 7.3-3 增殖放流工程量

放流苗种	苗种规格 (cm)	年份	放流次数 (次/年)	放流数量(万尾 (只)/年)	单价	补偿金额(万元)
					(元/尾)	
中国鲎						
红笛鲷						
斑节对虾						
小计						
跟踪监测及 效果评估						
补偿金额合计						

\*苗种单价来自“智能渔技”综合信息服务平台

7.3.4.2 珊瑚修复工程



### 7.3.4.2.1 工程布置与规模

根据 2025 年 9 月调查结果，海南登陆段南侧调查站位珊瑚礁覆盖度有 6.58%，珊瑚礁的存在可以衍生繁育海绵贝类、虾蟹、海葵、水母海藻、鱼类等，为促进该区域的珊瑚礁的健康生态发展，拟对该区域进行一定的生态修复。本项目拟在项目海南登陆段南侧海域选取 0.5ha 范围作为试点工作，开展珊瑚的原位生态修复。此修复区域位于珊瑚礁现状分布范围中，而且修复区域在海缆工程保护区范围外。具体位置如表 7.3-4 和图 7.3-2 所示。本项目珊瑚礁修复严格遵守《自然资源部办公厅关于加强珊瑚礁保护修复的通知》（自然资办发〔2024〕27 号）要求，开展原位保护修复，禁止采取迁地移植修复。

本修复工程布置与规模如下：

#### （1）人工珊瑚礁基

投放用于珊瑚移植的组合人工礁体 200 个，每个组合人工礁表面可移植珊瑚 20 株左右。总计在珊瑚移植礁体表面上移植珊瑚约 4000 株，底播移植在修复区投放的人工礁体上。

#### （2）珊瑚苗种移植

本次选择的修复区域水深水质情况均较好，存在一定数量的可移植珊瑚。根据珊瑚礁修复方式的适用性和特点，本工程珊瑚礁修复方案采用先进行珊瑚断枝培育再进行珊瑚礁移植的园艺式苗圃培育。

根据本底调查资料，拟选取下图中 0.5 公顷进行珊瑚礁修复作为试点工作，计划种植珊瑚数量 5000 株，3 年后珊瑚苗种移植存活率 $\geq 0.65$ 。

综上，本项目选取 0.5 公顷进行珊瑚礁修复计划种植珊瑚数量 5000 株，3 年后珊瑚苗种移植存活率 $\geq 0.65$ 。造礁石珊瑚的修复方法主要是采用苗圃将珊瑚培育成枝状长度 8-15cm 或块状直径 8cm 左右的可移植的珊瑚株，然后迁移到底播区域。其中采用人工珊瑚增殖礁 200 个。

**图 7.3-2 珊瑚修复位置图**

在全球珊瑚礁均退化严重的严峻形势下，利用人工干预的珊瑚礁生态修复方法，是恢复珊瑚礁生态系统功能的重要手段。将造礁石珊瑚的无性繁育技术与底播移植技术相结合的方法是国际上珊瑚礁生态系统人工修复的主流手段，该技术在本世纪初兴起，后经一些改良，在近年来被广泛应用，通过建设珊瑚苗圃以无性繁殖方式获得大量繁殖珊瑚种苗，然后将珊瑚种苗移植（底播）到修复区的合适基底上。造礁石珊瑚的无性繁育

技术利用了其无性繁殖的特性，在避免大量采集野外珊瑚造成对珊瑚供体破坏的基础上，为后续珊瑚底播移植提供了大量种苗。2022 年正式发布了珊瑚礁修复的国标《海洋生态修复技术指南第 2 部分 珊瑚礁生态修复》（GB/T 41339.2-2022），另外国内已经出版的《珊瑚生态修复技术》（海洋出版社）介绍了详细的珊瑚礁生态修复的技术和步骤，所以基本上参照国标和这本书的技术和步骤，完成本项目的珊瑚礁生态修复是可行的。

#### 7.3.4.2.2 珊瑚礁修复方案

##### （1）修复方案

在开展珊瑚礁生态修复工程，需要进行生态修复方案的编制工作。通过详细的本底调查，开展修复适宜性评估以及细化修复技术和跟踪监测手段，完成可供执行的生态修复方案。

本工程珊瑚礁修复方案采用珊瑚断枝培育、人工礁体投放和珊瑚移植等技术方法。

##### 1) 珊瑚断枝培育

##### A. 修复珊瑚物种选择

造礁石珊瑚种类的选择应选择该区域的造礁石珊瑚的常见种。澄迈海域水体悬浮物高，环境相对恶劣。因此，在物种选择应选择对环境限制因子耐受性较高的常见种。例如角孔珊瑚或蜂巢珊瑚等沉积物耐受性强的种类，而不应选择一些耐受性相对较差的鹿角珊瑚种类。而在台风破坏作为主要影响因子的情况下，应当选择如杯形珊瑚或块状的滨珊瑚作为修复种类，减少被海浪破坏的几率。此外，在非环境胁迫造成的珊瑚礁退化状况下（例如船只搁浅、海水升温或长棘海星暴发造成的退化），可以选取能够快速增长的优势造礁石珊瑚种类用于修复，其中多以鹿角珊瑚、蔷薇珊瑚、杯型珊瑚等为主。它们能够快速增加造礁石珊瑚数量，提高珊瑚覆盖率。在选择主要的修复种类的同时也要选取一些其他的珊瑚种类用于修复，避免修复后的珊瑚礁生态系统种类构成单一、抗逆性差，容易在疾病或环境胁迫下迅速退化。根据调查结果，该区域珊瑚品种主要有澄黄滨珊瑚、斯氏伯孔珊瑚、柱形角孔珊瑚盾形陀螺珊瑚、多孔同星珊瑚等。可以选择这些物种作为修复对象。具体物种选择还需要修复前拟选定修复区以及周边区域的本底调查来确定。移植珊瑚避免只移植单一种类，影响修复区海域的生物多样性。

##### B. 珊瑚来源

由于造礁石珊瑚为国家二级保护动物，用于该项目的造礁石珊瑚来源必须合法合规，应来自于合法采集或培育的造礁石珊瑚，珊瑚来源单位应提供相关的合法证明材料（珊

瑚繁育许可等)。因此,为本项目提供造礁石珊瑚种苗来源的单位必须具备相应资质。

### C. 珊瑚断枝获取

将野外捕捉或委托培育的珊瑚母体切割后移植到建设好的苗圃中,进行珊瑚礁培育。珊瑚苗圃在移植时能最大程度减少对母体珊瑚的影响,可以短时间内提供大量的移植个体,增加可利用珊瑚个体数量。具体方法如下:

- 首先利用少量的珊瑚母体拆分成多个珊瑚断枝;
- 将各个断枝培育于建设好的苗圃中,进行珊瑚培育;
- 待珊瑚礁断枝培育成枝状长度 8-15cm 或块状直径 8cm 左右的珊瑚个体后再拆分进行珊瑚底播移植。

### D. 珊瑚运输

珊瑚移植过程中,首先要在不同的地点采集所需移植的珊瑚。同时珊瑚母体在珊瑚作业船上用凿子造成所需大小的珊瑚断枝,并放入浸泡在海水中的塑料筐中。对于在珊瑚迁出点采挖出来的较小个体珊瑚,将珊瑚采集后,在水下直接装入篮子中,集中放置到一起,最后统一搬运上活水船。运输船只抵达珊瑚移入地后,将活水舱内珊瑚取出,并重新放入篮筐内搬运至移入地海区水底。根据珊瑚修复方案,将各种类珊瑚分类分批放置到划分好的相应区域。块状珊瑚、表覆状珊瑚以及叶状珊瑚个体可直接放置在珊瑚礁上,无需特别固定,但注意避免放置到泥沙或沙底上,以免被沙子和悬浮物覆盖。

一筐珊瑚中尽量只装同一种珊瑚,避免珊瑚不同种类间相互竞争,搬上运输船只时,搬运要迅速,减少珊瑚离水时间。船只应选择天气较好、海浪平静的时间运输珊瑚,避免因海浪影响,造成船只摇摆,活水舱内的珊瑚相互碰撞、堆叠。运输时间过程中,需要每一个小时观活水舱内珊瑚状况一次,确保珊瑚状况正常将培育的珊瑚移植至珊瑚礁修复区,种植的珊瑚易于适应环境并可得到保护。

## 2) 珊瑚底播移植

底播技术方法的选择通常与底播珊瑚类型、底播地点的底质类型和环境状况而息息相关。常用的底播方法主要包含以下几种:直接底播、扦插固定、粘合剂固定、捆绑固定、人工生物礁体移植。珊瑚底播移植基底包括自然礁体上和人工礁体上的珊瑚底播移植两种,不同底质类型珊瑚移植的数量需修复区硬质基底的面积来进一步确定。具体如下:

### A. 自然礁岩移植。

移植区域主要位于珊瑚礁盘区域,将珊瑚移植到天然裸露的礁岩上,移植数量 1000

株，有助于增加珊瑚礁盘上的珊瑚数量，提升修复区珊瑚覆盖率。常用的固定方法包括钢钉固定、粘合剂固定等手段。



图 7.3-3 利用珊瑚移植钉固定移植的珊瑚（三亚蜈支洲应用案例）



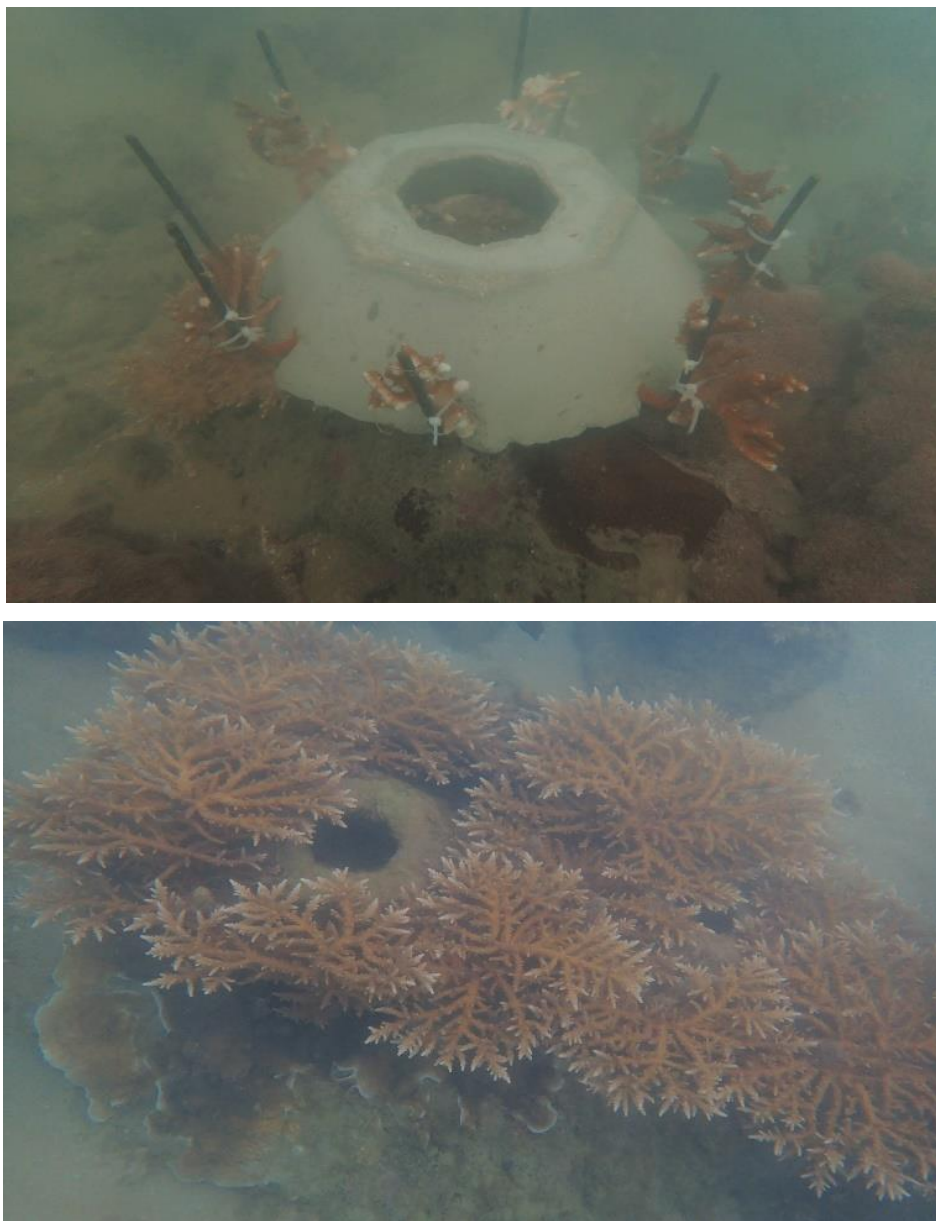
图 7.3-4 利用胶泥固定移植的珊瑚（深圳大鹏湾应用案例）

#### B. 人工礁体珊瑚移植

利用人工礁体作为珊瑚移植的辅助固定物，将珊瑚固定在移植礁体的珊瑚移植枝上，可以避免珊瑚被海浪打翻、脱落。同时由于距离珊瑚礁底质具有一定距离，在移植初期可以避免被敌害生物摄食。经过 1-2 年，珊瑚个体逐渐生长扩大，可以同四周的珊瑚礁生长至一起，整个移植礁体形成珊瑚礁的一部分。

移植礁体不要求底质必须为珊瑚礁盘，其也可以投放在碎石、岩石等底质区域，但不能放置于泥、沙底质环境中。结合拟修复区域有岩石、礁盘及碎石混杂底质，珊瑚移植礁体可以放置在岩石和碎石区进行珊瑚移植。预计投放用于珊瑚移植的组合人工礁体

200 个，每个组合人工礁表面可移植珊瑚 20 株左右。总计在珊瑚移植礁体表面上移植珊瑚约 4000 株。



**图 7.3-5 人工礁体的珊瑚移植和修复效果（海南崖州湾应用案例）**

## **（2）维护和管理**

为巩固项目执行建设成果，确保项目长久持续发挥效益，结合项目所在区域建设管理实际情况，坚持建管并重，注重源头预防，健全管护制度，实现高标准生态修复项目完成后管护合域化、常态化、长效化，防止出现移植的珊瑚出现掉落或大量死亡、污水偷排、违规捕捞等现象发生，及时发现和尽量降低不利因素对修复区域的胁迫，保证修复工程能切实处于有效状态。

## **（3）工程量和经费概算**

本项目珊瑚礁修复的资金估算共        万元，其中工程费用        万元，其他费用        万，具体如表 7.3-4 所示。

**表 7.3-4 珊瑚礁修复工程工程量表**

序号	内容		单位	工程量	修复金额 (万元)	备注
1	工程费用	珊瑚苗种	株			
2		人工礁体	个			
3		施工费用	项			
4		维护和管理	项			
5	其他费用	包括潜在修复区的本底调查、珊瑚礁生态修复方案编制、跟踪监测与评估等专题	项			
6	总预算	/				/

## 7.4 环境保护措施可行性论证

本项目拟采用的各项环境保护措施紧密结合项目特点和受影响海域情况，并对设计阶段、施工期、施工完成后和运营期等不同阶段采取不同的环境保护措施，具有一定的针对性；

本项目各项环境保护措施的制定均基于成熟的技术规范和管理工作体系，并在以往其他同类型项目建设中积累了实践经验，具有一定的有效性和可操作性；

本项目总投资已考虑环保投资部分，为环境保护措施的实施提供资金保障；

本项目环境保护措施的责任主体和实施主体主要为建设单位和施工单位，并由相关主管部门监督，确保各项环境保护措施落实到位。

综上，本项目采取的环境保护措施具有可行性。



## 8 环境影响经济效益分析

### 8.1 环保投资估算

本项目海缆工程总投资                  万元，环保投资共约                  万元，约占总投资的 0.66%，项目环保投资见表 8.1-1。

表 8.1-1 环保投资一览表

序号	项目和费用名称	投资估算（万元）	备注
一	生态修复措施		
1	海洋生物资源修复补偿		
2	珊瑚修复工程		
二	环境监测措施		
1	海洋环境施工期跟踪监测		施工期进行 1 次
2	海洋环境运行期跟踪监测		运行期进行 1 次
三	环境保护设备		
1	溢油风险防范和设施设备		
2	生活污水收集设施		
3	生活垃圾收集设施		
4	施工扬尘防治措施		
5	防污帘设施		定向钻施工期间
四	环境保护临时措施		
1	固体废物处理		船舶生产、生活废物
2	其他临时工程和设施		宣传牌、垃圾桶等
五	独立费用		
1	工程环境管理费		
2	工程环境监理费		
3	海洋补偿方案编制费		
4	突发环境事件应急预案编制费		
5	环保验收报告编制费		
合计			

### 8.2 社会效益

（1）落实国家能源战略，促进电力资源在更大范围内优化配置；

- (2) 保障海南核电送电安全，提高电网稳定运行能力；
- (3) 提升极端情况下电力保障能力，发挥省间错峰互济优势；
- (4) 加快海南、广东新型电力系统构建，提升新能源消纳水平；
- (5) 提升现货市场效益，为统一电力市场建设创造条件；

(6) 逐步实现联网工程交联聚乙烯海缆全国产替代，打通自主可控交联聚乙烯海缆全产业链。

## 8.3 经济效益

本项目总投资            万元，项目投资收益率约为 3.57%。本工程实施后，可以提升南方主网与海南电网联网输电能力、加大联网互济容量，是电网发展适应南方区域统一电力市场建设的需要，是贯彻落实国家深化电力体制改革决策部署的有力措施。本工程可促进跨区域电力现货市场的优势整合，通过发现价格、激励响应、促进竞争、优化配置、偏差调节、管理阻塞、引导规划和量化决策等一系列措施，提升未来广东、海南两省的电力市场交易规模，进一步降低用电成本，释放更多的改革红利。

## 8.4 环境损益分析

本项目海缆施工将对海洋生物资源造成一定损失，海底电缆敷设造成底栖生物资源一次性损失 335.30kg，潮间带生物一次性损失 6275.46kg；造成的底栖生物资源长期压占损失量估算结果为 3479.33kg；鱼卵损失量  $2.52 \times 10^7$  粒，仔稚鱼损失量  $2.52 \times 10^7$  尾，游泳生物损失量 197.70kg。建设单位在采取生态补偿措施后，本项目对海洋环境的影响是可以接受的。

## 8.5 环境经济损益综合分析

综上，本项目建设虽不可避免对海洋生物资源造成损失，但本项目建成后具有明显的经济效益和社会效益，本项目对海洋环境造成的影响是暂时的，损失量较小，通过采取补偿措施，本项目对海洋环境的影响是可以接受的，由此可见，从环境社会经济损益分析而言，本项目建设是可行的。



## 9 环境可行性分析

### 9.1 国土空间规划符合性分析

#### 9.1.1 《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》

《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》（以下称“规划”）于 2023 年 8 月 18 日取得国务院批复。规划以“陆海统筹。立足陆海兼备、自然条件多样的地理格局和资源禀赋，统筹陆海资源配置、产业布局和生态保护，加强海岸带综合管理，强化港产城整体布局，打造一批海洋经济高质量发展示范区，建设世界一流强港，着力推动国土开发向纵深发展，拓展蓝色发展空间，实现从海洋大省向海洋强省转变。”作为空间开发保护基本策略。

从海洋开发利用及能源保障角度，规划对海底电缆工程提出了具体要求：通过“优化近岸海域利用布局。完善围填海总量管控，除国家重大项目外，全面禁止围填海。合理保障产业用海需求，**统筹设置海底管廊登陆点，提高近海空间利用效率。**”；“实施海域分区管理。坚持生态用海、集约用海，陆海协同划定海洋“两空间内部一红线”。……统筹各类用海布局，优先保障国防安全、航运交通、能源矿产等资源开发利用的用海需求和安全，**严格执行建设项目用海控制标准。**……**统筹海底油气管道、电缆等线性设施敷设的海底廊道，重点加强海上风电电缆集中布局规划和管理，统筹设置集中登陆点。划定管廊保护范围，加强海底管廊保护，在确保安全的前提下推进管廊复合利用、管线集中铺设。**”“支持能源基础设施建设。以安全高效为导向，推动能源储运设施建设，构建多元安全的现代化能源保障体系。”

从促进广东省与海南省区域协调联动发展上看，规划提出“加强与海南自由贸易港合作。发挥湛江作为粤港澳大湾区和海南自由贸易港两大国家战略重要连接点和支撑点作用，支持湛江、茂名积极参与和对接海南自由贸易港建设，打造粤港澳大湾区与海南自由贸易港的战略联动走廊。协同构建粤桂琼海洋经济合作圈，共同开发海洋资源，保护海洋生态环境，协同推进近海海域水污染防治，共建蓝色生态海湾。加快推进琼州海峡港航一体化，支持湛江联动海南建设先进制造业基地，携手共建琼州海峡经济合作区。”“推动湛江-北海粤桂北部湾经济合作区、粤琼（徐闻）特别合作区等建设。……充分发挥湛江作为陆海联动发展重要节点城市和西部陆海新通道重要枢纽的作用，完善“北拓南联”通道网络，带动粤西地区全面对接西部陆海新通道建设。”

对于项目实施地湛江市，在规划提出“构建“一核两极多支点、一链两屏多廊道”的网络对流型国土空间开发保护总体格局，促进形成“一核一带一区”区域发展格局”支持湛江市建设省域副中心城市。”

同时，规划在推进海洋资源节约高效利用的要求下，提出了“积极探索海域立体分层设权，加快完善海域使用权权能，结合跨海桥梁、海上风电、海底管道、海洋油气资源、核电取排水口等差异化用海需求细化立体分层用海规划设计，推进海域资源多功能立体化利用。”的要求。

根据海洋空间功能布局，本项目海底电缆涉及广东省海洋开发利用空间，可统筹安排渔业、工矿通信、交通运输、游憩、特殊用海区和海洋预留区，按分区明确空间准入、利用方式、生态保护等方面的管控要求。

#### 图 9.1-1 广东省海洋空间功能布局图

根据海洋空间功能布局，本项目海底电缆涉及海洋开发利用空间。根据第 7 章环境影响预测与评价，本项目施工产生的悬浮泥沙扩散会对周边海域水质产生一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，在施工结束后影响随之消失。施工期及运营期生活污水、含油污水及固体废弃物均统一收集处理，不排海。营运期项目海底电缆埋于底土以下，所产生的电磁和噪声对海洋生态影响很小，基本不会对海洋环境产生明显不利影响。

本项目为海底电缆工程，项目建成后能够高效、安全地将广东和海南省电网连接起来，能增强广东和海南电网的安全性和可靠性，有利于调整广东和海南能源结构，实现经济社会的可持续发展，有利于加强广东与海南自由贸易港合作。

### 9.1.2 《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》

《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》（以下称“规划”）于 2023 年 9 月 15 日取得国务院批复。规划以“陆海统筹、山海联动。科学配置陆海资源，加快构建现代海洋产业体系，大力发展热带雨林旅游产业，推动形成山海互动、蓝绿互补的发展新局面。”作为空间发展策略之一。

规划在优化海洋空间布局上，提出“节约集约利用海域空间资源。严格落实资源使用价值评估制度，管控海域资源开发强度和规模，推进海域节约集约利用。……创新集中集约用海方式，引导海洋产业优化布局和集中适度规模开发，提高单位岸线和用海面积的投资强度。……统筹规划铺设海底油气管道、通信光缆、电缆等的管线廊道。合理划

定管线廊道两侧的保护范围，为海底通信光缆划定独立管廊空间。”

在形成安全绿色的能源资源布局上，提出“构建互联智能电网。……**强化省际电网联络，积极利用对外 500 千伏通道输电能力。**……优化电力生产和输送通道布局，构建 500 千伏主网架，适时新建海口东、西部、三亚、琼海、儋州等 500 千伏变电站，逐步形成环岛 500 千伏“日”字型双环网目标网架结构；优化 220 千伏输电网，逐步解环分层分区运行，形成 220 千伏变电站“手拉手”互联格局”。

在协调优化重大基础设施空间布局上，提出“引导重大基础设施低影响开发。……加强水利、交通、能源、环境、通信等基础设施的空间统筹，预留基础设施廊道空间，促进传统与新型基础设施功能融合，提高复合利用水平。”

在加强省际协同联动上，提出“加强区域交流互动。衔接全国“两横三纵”城镇化战略格局，积极融入珠三角和北部湾城市群，实现与粤港澳大湾区、长三角一体化等重大国家战略联动发展。综合产业特点、区域定位和资源环境承载力，推进产业分工、基础设施、公共服务、环境治理、对外开放、重大项目布局等协调联动，提升合作发展的层次和水平。”

优化海洋空间布局上，“加强近岸海域空间的协调保护。北部海域：包括海口、文昌、澄迈近岸海域。重点保护红树林、珊瑚礁、海草床和麒麟菜等海洋生态系统；重点开展城市滨海生活岸线修复工程、海岸带陆源污染治理工程和红树林生态系统修复工程、海湾环境综合治理工程。”

根据本项目与《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》的海洋空间功能布局图叠加结果可知，本项目海南端涉及“**海洋开发利用空间**”。该空间在近岸海域依据海洋开发利用现状和适宜性，衔接海洋发展战略进行划定，允许集中开展海洋渔业、海洋交通运输业、海洋工矿通信业、海洋旅游业等活动。

**图 9.1-2 海南省海洋空间功能布局图**

根据海洋空间功能布局，本项目海底电缆涉及海洋开发利用空间。根据第 7 章环境影响预测与评价，本项目施工产生的悬浮泥沙扩散会对周边海域水质产生一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，在施工结束后影响随之消失。施工期及运营期生活污水、含油污水及固体废弃物均统一收集处理，不排海。营运期项目海底电缆埋于底土以下，所产生的电磁和噪声对海洋生态影响很小，基本不会对海洋环境产生明显不利影响。

本项目为省间电力互济工程，项目建成后能够高效、安全地连接广东、海南两省电网，有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展，为打造海南自然贸易港提供有效的电力支撑。

### 9.1.3 《湛江市国土空间总体规划（2020-2035 年）》

2023 年 10 月，广东省人民政府正式批复《湛江市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（以下简称《规划》）。《规划》中提出了构建“两核三带多片”的海洋空间格局，以徐闻南侧海域为核心，依托琼州海峡一体化高质量发展示范区建设，整合徐闻港区资源、滨海旅游资源，全面对接海南自贸港经济发展，重点布局港口物流、自贸服务、休闲旅游等功能。

《规划》细化了海洋功能分区，主要分为生态保护区、生态控制区、渔业用海区、交通运输用海区、工矿通信用海区、游憩用海区、特殊利用区以及海洋预留区，本项目涉及区域主要为渔业用海区和海洋预留区。

#### 图 9.1-3 路由与湛江市海洋功能分区位置关系

本项目涉及区域主要为渔业用海区，《规划》中对渔业用海区的描述：该区域是以渔业基础设施建设、养殖和捕捞生产等渔业，利用为主要功能导向的海域。划定渔业用海区面积 14466.06km<sup>2</sup>，主要分布在雷州半岛东、西两侧近海海域。

本项目海底电缆建成后不会改变所在海域自然属性，也不会改变岸线走向。项目采用套管、联锁块保护措施后可保障渔业用海需求，不影响周边海域功能分区的使用。本项目仅在敷埋过程中产生悬浮物扩散会对周边海域水质和渔业生产活动产生一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，在施工结束后影响随之消失，对海域渔业活动影响有限。因此本项目的建设是符合《湛江市国土空间总体规划（2021-2035 年）》的。

### 9.1.4 《徐闻县国土空间总体规划（2021-2035 年）》

2023 年 12 月，《徐闻县国土空间总体规划（2021-2035 年）》（以下简称《规划》）获湛江市人民政府批复，《规划》提出要依托广东·海南（徐闻）特别合作区建设，港口物流、海洋渔业、滨海旅游、交通运输等海洋功能布局，规划形成“一心两带多组团”的海洋保护与开发利用空间格局。

一心：依托广东·海南（徐闻）特别合作区建设，重点打造徐闻海洋现代服务核心。

整合徐闻南山港区资源、滨海特色旅游资源，全面对接海南自贸经济发展，重点布局港口物流、自贸服务、休闲旅游等功能。

两带：指东南海岸带和西部海岸带。东南海岸带以积极融入海南自由贸易港开放格局、推进粤琼两省深化交流合作为目标，有序推进琼州海峡北岸港航一体化资源整合，强化临港产业和休闲旅游发展。西部海岸带以深化与北部湾城市群在海洋保护、环境治理等方面合作为目标，加强海洋自然保护区建设，促进现代海洋渔业和生态旅游发展。

按“生态优先、陆海统筹”原则，海洋国土空间划分为生态保护区、生态控制区和海洋发展区三类分区。其中，海洋发展区进一步划分为渔业用海区、交通运输用海区、工矿通信用海区、游憩用海区和海洋预留区 5 个二级用海分区，共计 7 个海洋分区。本项目主要占用渔业用海区。

**图 9.1-4 路由方案与徐闻县海洋功能分区叠加图**

本项目主要占用渔业用海区。渔业用海区是以渔业基础设施建设、增养殖和捕捞生产等渔业利用为主要功能导向，区内需保障渔港建设需求，确保传统养殖用海稳定，严格控制近海捕捞强度。本项目为海底电缆的建设工程，属于线性基础设施，海底电缆建成后不会改变所在海域自然属性，施工产生悬沙影响时间仅为数小时，不影响渔业养殖用海区主导功能，因此本项目的建设是符合《徐闻县国土空间总体规划（2021-2035 年）》的。

### 9.1.5 《澄迈县国土空间总体规划（2021-2035 年）》

海南省人民政府于 2023 年 11 月正式批复《澄迈县国土空间总体规划(2021-2035 年)》（以下简称《规划》）。《规划》按照《海南省海岸带综合保护与利用规划（2021-2035 年）》（送审稿）的要求，统筹考虑陆海生态系统的连续性、功能的完整性，以海洋环境承载能力为底线，构建“一带三站三岛四湾”的陆海统筹空间格局；结合资源条件、开发利用现状，强化海岸带分类保护与利用、海洋空间开发与保护、陆海统筹生态空间与开发空间等具体管控要求。

《规划》对近岸海域海洋功能进行分区与管控，基于国土空间规划分区体系，海域空间划分为生态保护区、生态控制区和海洋发展区，其中生态保护区面积 19.59km，生态控制区面积 5.44km<sup>2</sup>，海洋发展区面积 451.68km<sup>2</sup>。在海洋发展区内进一步划定，渔业用海区、交通运输用海区、工矿通信用海区、游憩用海区、特殊用海区 5 类二级功能分区，明确海洋分区发展引导，突出主导功能，各功能区用海导向分别为：渔业用海区，

是以渔业基础设施建设、养殖和捕捞生产等渔业利用为主要功能导向的海域；交通运输用海区，是以港口建设、路桥建设、航运等为主要功能导向的海域和无居民海岛；工矿通信用海区，是以临海工业利用、矿产能源开发和海底工程建设为主要功能导向的海域和无居民海岛；游憩用海区，是以开发利用旅游资源为主要功能导向的海域和无居民海岛；特殊利用区，是以污水达标排放、倾倒等特殊利用为主要功能导向的海域和无居民海岛。

《规划》指出要加强海洋功能区的管控。按照海洋功能区划管理和利用海域资源，保护海洋生态环境，统筹海洋资源的综合利用，优先保障海域使用的主导功能，适度兼顾、兼容功能。在不影响主导功能和兼容功能正常使用的情况下，可适当考虑其他功能的用海需求；经科学论证、评价，海上航线、海底管线、跨海路桥等线性工程可穿越所有海洋功能区。

本项目海底电缆穿越渔业用海区、工况通信用海区和交通运输用海区，所涉及功能区为海南岛近海渔业用海区、玉包角-灯楼角工况通信用海区和新马村港交通运输用海区。

**图 9.1-5 路由与澄迈县海洋功能分区叠加图**

本项目属于海底管线线性工程，海底电缆穿越渔业用海区、工况通信用海区和交通运输用海区，所涉及功能区为海南岛近海渔业用海区、玉包角-灯楼角工况通信用海区和新马村港交通运输用海区。本项目属于海底电缆，铺设于海底，不影响渔业用海主体功能。本项目所在通信用海区主要为联网项目一回、二回所在区域，本项目不穿越其海缆，不影响其运营，因此无影响。本项目位于马村港交通运输区的西侧边缘，而港口主要用海及规划都位于该功能区的中东部海域，同时本项目为电缆的埋设工程，建成后可埋于海底之下，对港航影响较小，充分考虑港口的远期规划和用海需求，可在该海域进行适当深埋，同时线性工程建设与农渔业区和工况通信用海区可实现兼容用海。

本项目海底电缆铺设于海底，针对海南侧定向钻出土点离现状珊瑚较近的情况，在靠近珊瑚礁段施工前，提前布设防污帘作为加强措施，尽量隔离海缆施工期所产生的悬浮泥沙，进一步确保海缆施工过程中产生的悬浮泥沙不会扩散至周边现状珊瑚礁区域，从而避免对周边敏感生态带来不利影响。项目采用相关保护措施后可保障琼州海峡其他用海需求，不影响周边海域功能分区的使用。

因此本项目与《澄迈县国土空间总体规划（2021-2035 年）》海洋功能分区及其管控是相符合的。

### 9.1.6 《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》

《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》（以下简称《规划》）承接《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》空间布局和沿海县主体功能定位，依据海岸带资源禀赋、生态功能、环境现状和经济社会发展需求，细化海洋生态保护区、海洋生态控制区和海洋发展区，明确海洋功能区管理要求。坚持陆海统筹、综合管控，考虑生态系统陆海连续分布和开发利用活动陆海关联，对海岸带资源开发和生态环境保护统筹谋划，识别陆海一体化保护和利用空间，促进陆域和海洋空间的有机衔接，引导用地用海要素统筹供给，实现海域与陆域功能对接，支撑海岸带空间高水平保护和高效率利用。《规划》分区管控结合功能区登记表执行。

海洋生态空间包括生态保护区和生态控制区；结合资源禀赋特征、国家重大项目实施要求和地方发展实际需求，将海洋发展区进一步细分为渔业用海区、交通运输用海区、工矿通信用海区、游憩用海区、特殊用海区和海洋预留区。

《规划》将全省大陆海岸线划分为严格保护岸线、限制开发岸线和优化利用岸线三类，对海岸线及其两侧空间实行分类分段精细化管理。

**切实保护严格保护岸线的自然形态和生态功能。**严格保护岸线针对自然形态保持完好、生态功能与资源价值显著的自然岸线的海岸线划定，主要包括优质沙滩、典型地质地貌景观、重要滨海湿地、红树林、珊瑚礁等所在岸段。

**控制限制开发岸线的开发强度。**限制开发岸线针对自然形态保持基本完整、生态功能与资源价值较好、开发利用程度较低的海岸线划定。

**提高优化利用岸线的生态门槛和产业准入门槛。**优化利用岸线针对人工化程度较高、海岸防护与开发利用条件较好的海岸线划定。

**加强自然岸线保护，注重生态保护修复。**坚守自然岸线保有率底线，至 2025 年全省大陆自然岸线保有率不低于 36.4%。按规定实施自然岸线占补平衡制度，实行多样化岸线占补模式。占用自然岸线的，用海主体须进行充分论证，最大程度避让或减少占用自然岸线；加强生态保护修复，开展生态保护修复工程，进行海岸线自然化、绿植化、生态化建设，最大程度避免降低生态系统服务功能。

本项目穿越渔业用海区，涉及功能区名称为徐闻南侧渔业用海区。渔业用海区包括

渔业基础设施区、增养殖区和捕捞区。**空间准入：**渔业用海区允许渔业基础设施建设、养殖和捕捞生产等渔业利用，可兼容不影响渔业用海区基本功能的用海类型，鼓励开放式养殖、捕捞生产等空间的立体利用。**利用方式要求：**除渔业基础设施和海岸防护工程外，严格限制改变海域自然属性。**生态保护要求：**积极防治海水污染，禁止在渔业用海区内进行有碍渔业生产或污染水域环境的活动。鼓励推广发展生态养殖模式，合理规划养殖规模、密度和结构，保障渔业资源可持续发展。

本项目海底电缆登陆点为限制开发岸线、人工岸线，限制开发岸线严格控制改变海岸自然形态和影响海岸生态功能的开发利用活动，严控城镇开发、产业发展、基础设施建设等占用岸线，预留未来发展空间，严格海域使用审批。因地制宜，提高岸线利用效率，节约集约利用海岸线。

**表 9.1-1 项目所涉及《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》功能区登记表**

**图 9.1-6 广东省海岸带分区总体规划图**

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》，本项目穿越渔业用海区-徐闻南侧渔业用海区，其管控要求规定，可兼容海底电缆管道、航运、海洋保护修复及海岸防护工程等用海；积极防治海水污染，禁止在渔业用海区内进行有碍渔业生产或污染水域环境的活动；保护珊瑚礁、红树林、基岩岸滩、砂质海岸、淤泥质岸滩及其生境。本项目为海缆工程，不影响渔业用海区基本功能，不改变海域自然属性，属于该区域可兼容用海类型。本项目仅在敷埋过程中产生悬浮物扩散会对周边海域水质和渔业生产活动产生一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，在施工结束后影响随之消失，对渔业活动的影响有限。

根据《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》，海底电缆登陆点位于人工岸线，距离最近处自然岸线距离约为 1.4km，项目建设对自然岸线无影响。

本项目海底电缆登陆点为限制开发岸线，距离最近处严格保护岸线距离约为 1.1km。本项目登陆段采用定向钻施工，海缆底土穿越海岸线，不破坏海岸原始状况，对岸线原有自然形态和生态功能不会产生严重不利影响，能确保生态功能不降低、长度不减少、性质不改变，不会损害海岸地形地貌和生态环境。

因此，本项目建设符合《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》的管控要



求。

表 9.1-2 项目所涉及《广东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》功能区登记表

功能区名称	管控要求		符合性分析

9.1.7 《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》

《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》（以下简称《规划》）由海南省自然资源和规划厅组织编制，获得海南省人民政府批复正式印发。《规划》深入贯彻落实习近平总书记关于发展新质生产力和海洋强国战略的重要论述，紧紧围绕“三区一中心”战略定位和高标准高质量建设自由贸易港要求，努力将海南打造成为国家海洋领域新质生产力重要实践地和深海科技创新重要策源地。

《规划》科学划定海洋功能分区。优化调整产业和生态空间布局，在落实“两空间内部一红线”（即海洋生态空间、海洋开发利用空间和海洋生态保护红线）要求、衔接主体功能定位的基础上，划定海洋功能分区，明确生态保护区、生态控制区、海洋发展区等 3 类一级分区主导功能和发展方向。将海洋发展区细分为渔业、交通运输、工矿通信、游憩、特殊、海洋预留区等 6 类二级分区，加上生态保护区、生态控制区，共 8 类二级分区。在二级分区的基础上再对交通运输、工矿通信用海区细分为 8 类三级区，全省共划定 321 个功能分区。

本项目穿越渔业用海区、交通运输用海区和工况通信用海区，涉及功能区名称为海南岛近海渔业功能区、马村港港口区和玉包角-灯楼角海底电缆管道用海区。

本项目通过定向钻方式底土穿越海南段岸线登陆，海底电缆登陆点为自然岸线，开发保护要求为除国防安全需要外，禁止在严格保护岸线的保护范围内构建永久性建筑物、围填海、开采海砂、设置排污口等损害海岸地形地貌和生态环境的活动。经科学论证，不损害海岸线原有形态或生态功能的，可在严格保护岸线保护范围内实施的项目包括：空中跨越的跨海桥梁和透水构筑物；底土穿越的海底隧道和海底电缆管道；无需对海岸线进行改造施工的港池、蓄水以及离岸取、排水口，开放式养殖、浴场、游乐场、专用航道、锚地及其他开放式项目；生态修复和防灾减灾工程；已建构筑物、围海养殖等用

海用岸活动的继续使用和升级改造。

图 9.1-7 路由与海南省海洋功能分区和岸线位置关系

表 9.1-3 项目涉及海洋功能分区详细信息表

功能区名称	功能区类型二级	空间准入	利用方式	保护要求	其他要求

根据《海南省海岸带及海洋空间规划（2021 年-2035 年）》，本项目穿越海南岛近海渔业用海区、马村港港口区和玉包角-灯楼角海底电缆管道用海区。根据其管控要求规定，本项目为海缆工程，不影响渔业用海区基本功能，不改变海域自然属性，属于可兼容用海类型。本项目仅在敷埋过程中产生悬浮物扩散会对周边海域水质和渔业生产活动产生一定影响，但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，在施工结束后影响随之消失，对海域生态环境、渔业活动、珊瑚礁、潮间带底栖生物的影响有限。

根据《海南省海岸带及海洋空间规划（2021 年-2035 年）》，海底电缆登陆点位于自然岸线，本项目登陆段采用定向钻施工，海缆底土穿越海岸线，不破坏海岸原始状况，对岸线原有自然形态和生态功能不会产生严重不利影响，能确保生态功能不降低、长度不减少、性质不改变，不会损害海岸地形地貌和生态环境。

因此，本项目建设符合《海南省海岸带及海洋空间规划（2021 年-2035 年）》的管控要求。

表 9.1-4 项目所涉及《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》功能区  
登记表

功能区名称	管控要求		符合性分析

## 9.2 与“三区三线”中生态保护红线的符合性分析

自然资源部办公厅于 2022 年 10 月 14 日发布的《关于北京等省（区、市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》明确，广东省完成了“三区三线”划定工作，划定成果符合质检要求，从即日起正式启用，作为建设项目用地用海组卷报批的依据。

依据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号），广东省自然资源厅于 2023 年 11 月 28 日印发《广东省自然资源厅 广东省生态环境厅 广东省林业局关于严格生态保护红线管理的通知（试行）》（粤自然资发〔2023〕11 号），根据该通知，生态保护红线内，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动；生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规前提下，仅允许《通知》中明确的 10 类允许有限人为活动。

海南省人民政府办公厅于 2023 年 1 月 17 日印发《海南省人民政府办公厅关于印发海南省生态保护红线准入管理目录（修订）的通知》（琼府办〔2023〕4 号），根据该通知，生态保护红线内自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，经依法批准的科学研究观测、调查监测、生态修复等法律、法规和国家有关规定允许的活动除外。生态保护红线内其他区域，允许必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施、通讯和防洪、供水设施建设和船舶航行、航道疏浚清淤等活动，包括：（1）公路（含城镇路网及农村道路）、铁路、防洪（潮）堤、桥梁、隧道，**电网**、光网、油气管网，供水和排水设施（含饮用水取水口、水产养殖取水口、达标尾水排放口及其相关设施），农业灌溉设施，海底管线等设施建设，以及船舶航行、航道疏浚清淤等活动……。

如图 9.2-1 所示，本项目海缆不占用生态保护红线，距离广东省生态保护红线最近距离为 318m，距离海南省生态保护红线最近距离为 624m，施工过程中产生悬沙对生态保护红线生态环境会产生一定影响，但悬沙影响持续时间较短，短期内可恢复，在采取相应生态环境措施后影响可控，因此本项目建设符合生态保护红线管控要求。

图 9.2-1 项目与周边生态保护红线位置示意图

## 9.3 与生态环境分区管控相符性分析

### 9.3.1 与《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》的符合性分析

广东省人民政府于 2020 年 12 月 29 日印发《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71 号），根据《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》，环境管控单元分为优先保护、重点管控和一般管控单元三类。全省共划定海域环境管控单元 471 个，其中优先保护单元 279 个，为海洋生态保护红线；重点管控单元 125 个，主要为用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域和现状劣四类海水海域；一般管控单元 67 个，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

#### （1）生态保护红线

本项目海缆不占用生态保护红线，海缆施工期间对海洋生物的影响主要为施工悬浮泥沙扩散影响水质以及海缆占用部分生境，项目海缆管径小，埋设在底土层，其产生的悬浮泥沙不涉及生态保护红线区域，并且影响是暂时的，可逆的，施工结束后，其影响也随之消失，项目施工期和运营期产生的污废水均统一收集后交由有接收能力的单位接收处置，不外排入海，项目施工期及运行期严格落实各项环境保护措施，采取增殖放流等生态补偿措施，恢复其原有生态水平，项目符合生态保护红线的要求。

#### （2）环境质量底线

本项目施工期不可避免产生一定的废水、废气、噪声、固废等污染物，但在采取各项环保措施后，均能得到有效处置，废水、固废等均不外排入海，废气和噪声也能达标排放，不会突破环境质量底线。

#### （3）资源利用上线

本项目为生态影响类项目，对资源的利用主要为对海域空间资源的利用，海底电缆埋设在底土，不占用水体和海面空间，体现了对资源的高效利用，项目建设不会突破当地的资源利用上线。

#### （4）生态环境准入清单

本项目海底电缆所涉及的环境管控单元为重点管控单元和一般管控单元。项目建设与各管控单元的符合性分析见表 9.3-1。

**表 9.3-1 项目建设与管控单元的符合性分析**

管控单元	管理要求	符合性分析	是否符合
重点管控单元	依法开展园区规划环评，严格落实规划环评管理要求，开展环境质量跟踪监测，发布环境管理状况公告，制定并实施园区突发环境事件应急预案，定期开展环境安全隐患排查，提升风险防控及应急处置能力。周边 1 公里范围内涉及生态保护红线、自然保护地、饮用水水源地	本项目建设内容为海底电缆，施工期仅引起悬浮泥沙扩散，该影响是暂时的，可逆的，施工船舶产生的生活污水	符合

	等生态环境敏感区域的园区，应优化产业布局，控制开发强度，优先引进无污染或轻污染的产业和项目，防止侵占生态空间。纳污水体水质超标的园区，应实施污水深度处理，新建、改建、扩建项目应实行重点污染物排放等量或减量替代。造纸、电镀、印染、靴革等专业园区或基地应不断提升工艺水平，提高水回用率，逐步削减污染物排放总量；石化园区加快绿色智能升级改造，强化环保投入和管理，构建高效、清洁、低碳、循环的绿色制造体系。	水和含油污水统一收集上岸处置，不外排入海，施工期定期开展环境跟踪监测。	
	加强山水林田湖草系统治理，开展江河、湖泊、水库、湿地保护与修复，提升流域生态环境承载力。严格控制耗水量大、污染物排放强度高的行业发展，新建、改建、扩建项目实施重点水污染物减量替代。以城镇生活污水为主的单元，加快推进城镇生活污水有效收集处理，重点完善污水处理设施配套管网建设，加快实施雨污分流改造，推动提升污水处理设施进水水量和浓度，充分发挥污水处理设施治污效能。以农业污染为主的单元，大力推进畜禽养殖生态化转型及水产养殖业绿色发展，实施种植业“肥药双控”，加强畜禽养殖废弃物资源化利用，加快规模化畜禽养殖场粪便污水贮存、处理与利用配套设施建设，强化水产养殖尾水治理。	本项目位于海域，建设内容为海底电缆，非污染物排放强度高的项目，不涉及污水排放。	符合
	严格限制新建钢铁、燃煤燃油火电、石化、储油库等项目，产生和排放有毒有害大气污染物项目，以及使用溶剂型油墨、涂料、清洗剂、胶黏剂等高挥发性有机物原辅材料的项目；鼓励现有该类项目逐步搬迁退出。	本项目属生态影响类项目，不属于大气污染物排放工业项目。	符合
一般管控单元	执行区域生态环境保护的基本要求。根据资源环境承载能力，引导产业科学布局，合理控制开发强度，维护生态环境功能稳定。	本项目海缆路由走向经过合理布局，避开了穿越自然保护区和生态保护红线，能做到合理控制开发强度，维护生态环境功能稳定	符合

综上，本项目建设符合《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》。

图 9.3-1 广东省环境管控单元叠加示意图

### 9.3.2 与《湛江市“三线一单”生态环境分区管控方案》的符合性分析

#### 1、生态保护红线及一般生态空间

根据《湛江市“三线一单”生态环境分区管控方案》，全市共划定海域环境管控单元 124 个，其中优先保护单元 76 个，面积 3595.06 平方公里，为海洋生态保护红线；重点管控单元 18 个，面积 765.26 平方公里，主要为用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域和现状劣四类海域；一般管控单元 30 个，面积 8953.77 平方公里，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

#### 2、环境质量底线

全市水环境质量持续改善，国考、省考断面优良水质比例稳步提升，全面消除劣Ⅴ类水体，县级及以上集中式饮用水水源水质 100%达标。大气环境质量保持全省前列，PM2.5 年均浓度控制在国家和省下达目标内，臭氧污染得到有效遏制。土壤环境质量稳中向好，土壤环境风险得到有效防控。近岸海域水质总体优良。

本项目施工对海洋水质的影响主要为施工悬浮泥沙，悬浮泥沙对水质的影响是暂时的，可逆的，施工结束后，其影响也随之消失，项目施工期和运营期产生的污废水均统一收集后交由有接收能力的单位接收处置，不外排入海，项目施工期及运行期严格落实各项环境保护措施，不会对海水水质造成持续不利影响，符合环境质量底线。

3、资源利用上线

强化节约集约利用，持续提升资源能源利用效率，水资源、土地资源、岸线资源、能源消耗等达到或优于国家和省下达的总量和强度控制目标。按国家要求在 2030 年底前实现碳达峰。

到 2035 年，生态环境分区管控体系巩固完善，生态安全格局稳定，环境质量实现根本好转，资源利用效率显著提升，节约资源和保护生态环境的空间格局、产业结构、能源结构、生产生活方式总体形成，碳排放达峰后稳中有降，生态环境治理体系和治理能力现代化基本实现。

本项目为省间电力互济工程，项目建成后能够高效、安全地连接广东、海南两省电网，有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展，为打造海南自由贸易港提供有效的电力支撑。因此，项目符合资源利用上线。

4、生态环境准入清单

本项目涉及湛江市“三线一单”中的角尾湾工业与城镇用海区重点管控单元和湛江-珠海近海农渔业区（湛江范围）一般管控单元。根据《湛江市环境管控单元准入清单》，其管控要求以及符合性分析如下：

表 9.3-2 项目建设与管控单元的符合性分析

管控单元	管理要求		符合性分析	是否符合
角尾湾工业与城镇用海区重	区域布局管控	1-1.从严控制“两高一资”产业在沿海地区布局。 1-2.依法淘汰沿海地区污染物排放不达标或超过总量控制要求的产能。 1-3.立足海洋特色资源和海洋开发需求，积极培育发展海洋新兴产业和先进制造业。 1-4.严格限制在半封闭海湾、河口海域兴建海岸工程、海	本项目建设内容为海底电缆，施工期仅引起悬浮泥沙扩散，该影响是暂时的，可逆的，施工船舶产生的生活污	符合

点管 控单 元		洋工程建设项目；因防灾减灾等公共安全需要确需建设的，不得对水体交换、潮汐通道、行洪和通航安全造成严重影响，并在工程建设的同时采取严格的海洋环境保护和生态修复措施。	水和含油污水统一收集上岸处置，不外排入海。项目建设不会对水体交换、潮汐通道、行洪和通航安全造成严重影响。	
	污染物排放管 控	2-1.完善沿海城镇污水集中处理设施，实行污水集中处理，达标排放。 2-2.临海宾馆、饭店、旅游场所的污水未实行集中处理的，应当建造污水处理设施处理，达到排放标准后方可排放。 2-3.临海工业园区应当根据防治污染的需要，建设污水集中处理设施，实行污水集中处理，达标离岸排放。 2-4.加强入海河流综合整治，因地制宜采取控源截污、面源治理等措施，着力减少总氮等污染物入海量。 2-5.严格落实排污许可管理要求，加强排污许可证实施监管，督促企业采取有效措施控制污染物排放，达到排污许可证规定的许可排放量要求。 2-6.以近岸海域劣四类水质分布区为重点，建立健全“近岸水体-入海排污口-排污管线-污染源”全链条治理体系，系统开展入海排污口综合整治。	本项目施工船舶产生的生活污水、含油污水不外排入海。	符合
	环境 风险 防 控	3-1.制定和完善陆域环境风险、海上溢油及危险化学品泄露、海洋环境灾害等对近岸海域影响的应急预案，健全应急响应机制。 3-2.装卸油类的港口、码头、装卸站和船舶必须编制溢油污染应急计划，并配备相应的溢油污染应急设备和器材。 3-3.沿海大中型港口应当建立船舶废弃物集中处置设施，实行船舶废弃物集中处理。 3-4.来自有疫情港口的船舶，其垃圾、生活污水、压载水等污染物应当按规定向检验检疫部门申请处理。 3-5.船舶及海上生产作业不得违反规定向海洋排放含油废水、压载水、废弃物、船舶垃圾及其他有害物质。	本项目施工船舶产生的生活污水和含油污水统一收集上岸处置，不外排入海。	符合
	能源 资源 利 用	4-1.节约集约用海，合理控制规模，优化空间布局，提高海域空间资源的整体使用效能。 4-2.推进港口船舶能源清洁化改造，逐步提高岸电使用和港作机械“非油”比例。	本项目海缆埋设在底土，路由走向经过合理布局，避开了穿越自然保护区和生态保护红线，能做到集约节约利用海洋资源。	符合
湛江- 珠海 近海 农渔 业区 (湛 江范 围)一 般管 控单 元	区域 布局 管 控	1-1.开发利用海洋资源，应当根据海洋功能区划合理布局，不得造成海洋生态环境破坏。	本项目海缆埋设在底土，项目对海洋环境的影响集中在施工期施工悬沙，其影响是暂时的，可逆的，施工结束后，海域水质会恢复至原本水平。	符合
	污染 物排 放管 控	2-1.海水养殖应当科学确定养殖密度，并应当合理投饵、施肥，正确使用药物，防止造成海洋环境的污染。 2-2.污水和生活垃圾必须科学处置、达标排放，禁止直接	本项目不涉及海水养殖，海缆施工产生的污水和生活垃圾	符合



	控	排入海域。	圾均统一收集后上岸处置，不外排入海。	
	环境 风险 防控	3-1.引进海洋动植物物种，应当进行科学论证，避免对海洋生态系统造成破坏。	本项目拟开展的增殖放流物种均为当地物种。	符合
	能源 资源 利用	4-1.保护自然岸线、亲水岸线和天然沙滩资源。	本项目广东侧海缆从底土穿越人工岸线，不破坏自然岸线自然属性。	符合

综上，本项目建设与《湛江市“三线一单”生态环境分区管控方案》是相符的。

### 9.3.3 与《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》的符合性分析

根据《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》，海南省及近岸海域从生态环境保护角度划分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元等 3 类环境管控单元，制定以落实生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线硬约束为重点，以生态环境管控单元为基础，以生态环境准入清单为手段，以信息平台为支撑的生态环境分区管控方案。

#### 一、全省总体生态环境管控要求

本项目海缆涉及重点管控区和一般管控区。其总体生态环境管控要求及符合性如下：

表 9.3-3 全省总体生态环境管控要求表

环境管控单元类型	全省总体生态环境管控要求	符合性分析	是否符合
重点管控单元	以生态环境质量改善压力大、资源能源消耗强度高、污染物排放集中、生态破坏严重、环境风险高的区域为主体，把发展同保护矛盾突出的区域识别出来，确定生态环境重点管控单元，根据现状环境质量是否达标、区域经济社会发展趋势与需求、可能面临的生态环境压力等因素，制定差别化的生态环境准入要求，从区域污染物削减/替代、限制/禁止开发建设活动、污染源控制、环境风险防控等方面提出要求。	本项目不属于禁止准入类项目，本项目建设将推进海南和广东两省间电网的互联，增强两省的电网稳定性和灵活性。	符合
一般管控单元	生态环境优先保护单元和生态环境重点管控单元以外的其他区域实施一般管控，执行生态环境保护的基本要求，重点加强农业面源、城镇生活污水等污染治理。	本项目海缆埋设在底土，项目对海洋环境的影响集中在施工期施工悬沙，其影响是暂时的，可逆的，施工结束后，海域水质会恢复至原本水平。	符合

#### 二、“三极一带一区”区域生态环境管控要求

本项目海缆位于澄迈海域，属于海口经济圈，其总体生态环境管控要求及符合性分析如下：

表 9.3-4 “三极一带一区”区域生态环境管控要求

区域	区位范围	总体生态环境管控要求	符合性分析	是否符合
海口经济圈	包括海口、澄迈、文昌、定安、屯昌 5 市县	1.加快推进企业入园，入园企业需满足污染物达标排放等相关环保要求。对建材等行业实施精细化管理。 2.优化交通运输结构，加快推行新能源车	本项目海缆埋设在底土，项目对海洋环境的影响集中在施	符合

		替代燃油车，加快开展燃气锅炉低氮燃烧改造，强化施工和道路扬尘管控。 3.提高水资源利用效率，对高耗水项目提出最严格的环境准入要求。推进海绵城市建设。 4.加快基础设施建设。加强农业面源污染防治。城镇新建排水管网实行雨污分流，完善污水管网和处理设施，提高污水收集处理效能。 5.禁止明显破坏生态环境的建设活动。 6.加快推行生活垃圾强制分类制度。	工期施工悬沙，其影响是暂时的，可逆的，施工结束后，海域水质会恢复至原本水平。	
--	--	--	--	--

### 三、生态环境准入清单

本项目涉及重点管控单元（HY46902320002、HY46902320005）和一般管控单元（HY46902330001），其管控要求及符合性分析如表 11.3.3-3 所示。

综上，本项目与《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》管控要求是相符的。

表 9.3-5 近岸海域生态环境准入要求符合性分析

环境 管控 单元 编码	管控单 元分类	海域主 要功能	管控维度	管控要求	符合性分析	是否符合
HY46 90232 0002	重点管 控单元	交通运 输用海 区（马村 港）	空间布局约束	主导用海类型为交通运输用海，可兼顾游憩用海、工矿通信用海和特殊用海。合理规划港口基础设施建设，保证船舶停靠、装卸作业、避风和调动、通航所需海域；提高码头使用效率。禁止马村港到港船舶含油污水、生活污水等含有有毒有害物质的污水，残油、废油，垃圾等禁止进入水体。	本项目海缆属于工矿通信用海，项目施工船舶生活污水及含油污水不外排入海。	符合
			污染物排放管 控	加快完善马村港污水和垃圾接收、转运及处理处置设施建设，提高含油污水、化学品洗舱水等接收处置能力，禁止未经处理的船舶污水和垃圾直接排放。	项目施工船舶生活污水及含油污水不外排入海。	符合
			环境风险防控	加强马村港溢油和船舶危险化学品事故应急响应能力建设，港口、码头、装卸站和船舶必须编制溢油污染应急计划，配备与其污染风险相适应的物资设备和应急力量。	本项目制订了环境风险防范措施和环境风险应急预案。	符合
HY46 90232 0005	重点管 控单元	工矿通 信用海 区（玉包 角-灯楼 角）	空间布局约束	主导用海类型为工矿通信用海。严格限制改变海域自然属性。保护海域生态环境。对海底电缆管道采取定期复查、监视和保护措施。	1.本项目海缆属于工矿通信用海； 2.项目海缆埋在底土中，不改变海域自然属性； 3、本项目海缆与已建设海缆不交叉跨越，不影响已建海缆运行。	符合
			污染物排放管 控	执行近岸海域环境（工矿通信用海区）普适性管控要求。不得违法向海洋排放污染物、废弃物及其他有害物质。 1.工程建设项目不得违法向海洋排放污染物、废弃物及其他有害物质。海洋油气钻井平台	项目施工船舶生活污水及含油污水、生活垃圾不外排入海。	符合

				<p>(船)、生产生活平台、生产储卸装置等海洋油气装备的含油污水和油性混合物,应当经过处理达标后排放;残油、废油应当予以回收,不得排放入海。钻井所使用的油基泥浆和其他有毒复合泥浆不得排放入海。水基泥浆和无毒复合泥浆及钻屑的排放,应当符合国家有关规定。</p> <p>2.海洋油气钻井平台(船)、生产生活平台、生产储卸装置等海洋油气装备及其有关海上设施,不得向海域处置含油的工业固体废物。处置其他固体废物,不得造成海洋环境污染。</p> <p>3.海上试油时,应当确保油气充分燃烧,油和油性混合物不得排放入海。</p>		
HY46 90233 0001	一般管 控单元	渔业用 海区(近 海)	空间布局约束	<p>1.主导功能为渔业用海,兼顾特殊用海、游憩用海、工矿通信用海,允许开展海洋牧场建设和休闲渔业活动。</p> <p>2.严格限制改变海域自然属性。</p> <p>3.保护传统渔业资源和海洋自然生态系统。注意海底管线的保护,涉海工程建设需征求相关部门意见。</p>	<p>1.本项目海缆属于工矿通信用海;</p> <p>2.项目海缆埋在底土中,不改变海域自然属性;</p> <p>3.本项目将开展渔业资源补偿措施,工程在前期已征求相关部门意见。</p>	符合
			污染物排放管 控	<p>1.从事海水养殖活动应当保护海域环境,科学确定养殖规模和养殖密度,合理投饵、投肥,正确使用药物,及时规范收集处理固体废物,防止造成海洋生态环境的损害。禁止在氮磷浓度严重超标的近岸海域新增或者扩大投饵、投肥海水养殖规模。向海洋排放养殖尾水污染物等应当符合污染物排放标准。</p> <p>2.禁止排放油类、含油混合物以及其他有毒、有害物质。</p>	<p>1.本项目不涉及海水养殖活动;</p> <p>2.项目施工船舶生活污水及含油污水不外排入海。</p>	符合

### 9.3.4 与《澄迈县“三线一单”生态环境分区管控实施方案》的符合性分析

全县共划定环境管控单元 87 个，分为优先保护单元、重点管控单元和一般管控单元三类，实施分类管控。优先保护单元，指以生态环境保护为主的区域，共 47 个，其中近岸海域优先保护区 6 个，占管辖海域总面积的 3.67%，主要包括海洋特别保护区、重要滨海湿地、自然岸线及邻近海域等。重点管控单元，指涉及水、大气、近岸海域及自然资源等资源环境要素重点管控的区域，共 26 个，其中、近岸海域重点管控区 6 个，占管辖海域总面积的 35.72%，主要包括工业与城镇用海、港口、排污混合区和倾废区。一般管控单元，指除优先保护单元和重点管控单元之外的其他区域，共 14 个，其中、近岸海域一般管控区 4 个，占管辖海域总面积的 60.60%。

本项目部分海缆位于澄迈县海域，其生态环境管控总体要求及符合性分析如表 11.3.4-1 所示。通过分析，本项目建设符合澄迈县域生态环境管控总体要求。

《澄迈县“三线一单”生态环境分区管控实施方案》以环境管控单元为基础，立足澄迈县战略定位及特征，建立并落实“1+3+11”的清单体系，即“1”个全县总体环境管控要求，“3”个片区即北部滨海经济区、中部农业经济区、西南部生态经济区的环境管控要求。本项目位于北部滨海经济区，其分片区生态环境管控要求及符合性分析如表 11.3.4-2 所示。通过分析，本项目建设符合澄迈县分片区生态环境管控要求。

综上，本项目建设与《澄迈县“三线一单”生态环境分区管控实施方案》的管控要求相符。

表 9.3-6 澄迈县域生态环境管控总体要求

管控类型	管控要求	符合性分析	是否符合
空间布局约束	1、严禁高能耗、高耗水、高排放产业，以及产能过剩行业和低端制造业发展 2、禁止新建有色金属采选业（海域矿产资源除外）、非金属矿采选业（建设用砂、石、土和地热、矿泉水、海域矿产资源除外） 3、禁止新增煤电，基本淘汰 35 蒸吨/小时及以下燃煤锅炉 4、全面禁止土法熏烤槟榔，全面禁止新建小水电项目 5、依法关闭和搬迁禁养区内畜禽养殖场(小区) 6、新建工业项目集中布局在现有工业园区 7、禁止海岸带可开发的一线土地、新批填海土地开发商品住宅 8、禁止在重点海湾、海洋自然保护区、水生生物自然保护区、水产种质资源保护区的核心区、海洋特别保护区的重点保护区及预留区、重点河口区域、重要滨海湿地区域、重要砂质岸线及沙源保护海域、特殊保护海岛及重要渔业海域实施围填海	本项目为海底电缆工程，不涉及房地产开发，不涉及围填海。	符合
污染物排放管控	1、排污单位应当严格执行排污许可证的规定，确保按证排污 2、对建设项目实施污染物排放等量置换或减量置换；上一年度环境空气质量年均浓度、水环境质量未达到要求时，相关污染物应实施 2 倍替代 3、淘汰国III及以下排放标准的柴油货车、采用稀薄燃烧技术或“油改气”的老旧燃气车辆。实施非道路移动机械第四阶段排放标准，划定禁止使用高排放非道路移动机械的区域	本项目施工期施工船舶产生的生活污水和含油污水统一收集上岸处置，不外排入海。	符合
环境风险防控	1、开展行业和企业环境风险评估，定期组织环境风险隐患排查治理，提高环境风险防范能力 2、以老城经济开发区及油品储备码头和仓库为重点，进行环境风险源排查，加强对风险责任主体的监管，防范溢油等污染事故发生 3、强化饮用水水源地、医院、学校、集中居住区、行政办公区、机场、高铁、码头、风景名胜、自然保护区等敏感目标周边环境风险的管控 4、强化企业关闭搬迁后土壤环境监管，严格污染地块再开发利用监管，有序推进建设用地绿色可持续修复，加强暂不开发利用污染地块风险管控，强化污染地块信息共享 5、建立海洋污染事故监测预警机制，加强港口溢油和船舶危险化学品事故应急反应能力建设，港口、码头、装卸站和船舶必须编制溢油污染应急计划，配备与其污染风险相适应的物资设备和应急力量	本项目制订了环境风险防范措施和环境风险应急预案。	符合

资源利用率要求	1、严格控制用水总量，全面提升水资源利用效率，优化城镇供水布局，用水总量、用水效率严格按照省政府下达的控制指标执行。 2、鼓励沿海逐步推行直接利用海水作为循环冷却等工业用水。电力、化工等高耗水行业达到先进定额标准。 3、实施清洁能源替代，推进车船新能源和清洁能源供应体系建设，加快推动电动汽车普及，能源消耗总量和强度严格执行省政府下达的能源控制指标。 4、严格控制城镇、旅游度假区、产业园区、乡村开发边界；除交通、电力、通信、水利、燃气、油气、垃圾处理等基础设施和公共服务设施外，建设用地不得突破省和市、县、自治县总体规划划定的开发边界。 5、强化海岸带开发规划管控，实行岸线分级分类管理，严格自然岸线保护和生态修复，集约节约利用人工岸线。	本项目海缆登陆段采用定向钻施工工艺，海缆从底土穿越岸线，不会影响岸线自然属性。	符合
---------	--	---	----

**表 9.3-7 澄迈县分片区生态环境管控要求**

片区	发展定位	管控要求	符合性分析	是否符合
北部滨海经济区	是承载澄迈县“港-产-城”融合发展战略的主要区域，是海南“21世纪海上丝绸之路”互联互通前沿，是“海澄文定”综合经济圈的重要组成。 集工业、港口、旅游、城市居住、农业、生态保护功能于一体。	1、实施产业升级改造，限期淘汰落后工艺技术和不符合环保要求的化工、制药、农药生产、饲料加工、家具制造等企业。 2、加强重点行业脱硫、脱硝和除尘改造，推进石化、有机化工、医药、表面涂装等重点行业挥发性有机物污染治理，实施清洁能源替代，加强垃圾焚烧发电厂的环境监管。 3、开展高耗水行业节水技术改造，推广园区工业水循环利用；实施雨污分流改造。 4、依法关闭或搬迁禁养区内的畜禽养殖场，通过建设分散型污水处理设施、资源化利用等途径，减少污染物排放。 5、全面清理非法或设置不合理的入海排污口，严格控制新建入海排污口，优化现有入海排污口，实施深海排放。 6、采取树种改造、有害生物清除、潮沟和光滩恢复等措施，对红树林生态系统进行修复，提高生物多样性。 7、按照安全利用类农用地的管控要求，降低农产品超标风险。	本项目不涉及入海排污口，海缆施工对海洋环境的影响主要为施工悬浮泥沙，施工不可避免对海洋生物资源造成一定损失，项目通过采取生态补偿措施进行弥补，其影响是可接受的。	符合



## 9.4 相关规划符合性分析

### 9.4.1 与《“十四五”海洋生态环境保护规划》的符合性分析

2022 年 1 月，生态环境部、发展改革委、自然资源部、交通运输部、农业农村部、中国海警局联合印发《“十四五”海洋生态环境保护规划》（以下简称《规划》），对“十四五”期间海洋生态环境保护工作作出了统筹谋划和具体部署。

《规划》从五个方面部署了相关重点工作：一是强化精准治污，持续改善近岸海域环境质量；二是保护修复并举，提升海洋生态系统质量和稳定性；三是有效应对海洋突发环境事件和生态灾害；四是坚持综合治理，推进美丽海湾建设和长效监管；五是协同推进海洋应对气候变化能力，提升海洋适应气候变化的韧性。

本项目建设内容为海底电缆，项目建设实施后，海缆埋设在海床下或敷设在海床表面，海缆运营不涉及排污，也没有潜在环境风险。

考虑海上线性工程对环境的影响特征，本项目实施过程中对海洋生态环境的保护重点在几方面落实：一是海缆路由选线；二是海缆铺设作业过程污染物的排放控制和环境风险事故的防控；三是项目实施后对作业造成的生物资源损失进行生态补偿。

本项目海缆位于琼州海峡海域，选线避让了海洋生态保护红线区，海洋自然保护区等生态敏感区域，设计路由尽量远离了珊瑚礁、海草床等特殊生态系统分布区。

项目施工期仍会不可避免的对海洋环境存在短期的环境不利影响，通过严格实施污染物的排放控制措施能够维持海洋环境质量，施工结束后会采取生态补偿措施将进一步缓解施工对海洋生物资源造成的损失。针对水上施工可能发生的环境风险，施工期间可通过配备满足污染物先期处置能力的应急物资，保证风险事故影响的可控性。

总体来看，项目建设实施能够落实《“十四五”海洋生态环境保护规划》提出的相关要求。

### 9.4.2 与《“十四五”现代能源体系规划》的符合性分析

《“十四五”现代能源体系规划》（以下简称《规划》）主要阐明我国能源发展方针、主要目标和任务举措，是“十四五”时期加快构建现代能源体系、推动能源高质量发展的总体蓝图和行动纲领。

《规划》提出，能源系统效率大幅提高是“十四五”时期现代能源体系建设的主要目标之一。节能降耗成效显著，单位 GDP 能耗五年累计下降 13.5%。能源资源配置更加合

理，就近高效开发利用规模进一步扩大，输配效率明显提升。电力协调运行能力不断加强，到 2025 年，灵活调节电源占比达到 24%左右，电力需求侧响应能力达到最大用电负荷的 3%~5%。

《规划》强调，创新电网结构形态和运行模式。加快配电网改造升级，推动智能配电网、主动配电网建设，提高配电网接纳新能源和多元化负荷的承载力和灵活性，促进新能源优先就地就近开发利用。完善区域电网主网架结构，推动电网之间柔性可控互联，构建规模合理、分层分区、安全可靠的电力系统，提升电网适应新能源的动态稳定水平。科学推进新能源电力跨省跨区输送，稳步推广柔性直流输电，优化输电曲线和价格机制，加强送受端电网协同调峰运行，提高全网消纳新能源能力。

《规划》提出，加强电力和油气跨省跨区输送通道建设。“十四五”期间，存量通道输电能力提升 4000 万千瓦以上，新增开工建设跨省跨区输电通道 6000 万千瓦以上，跨省跨区直流输电通道平均利用小时数力争达到 4500 小时以上。

根据《规划》中“专栏 4”、区域能源发展重点及基础设施工程：电网主网架。完善华北、华东、华中区域内特高压交流网架结构，为特高压直流送入电力提供支撑，建设川渝特高压主网架，**完善南方电网主网架**。

广东省是全国能源消费大省，海南自贸港中长期用电需求也在不断增加。因此，积极推进两省间电网系统的互联，能可充分发挥南方电网大电网的优势，进一步提高两省电力系统运行的灵活性，拓展电力供应渠道，增强电网的安全性和可靠性，并充分利用海南与广东用电特性差异，实现两省高峰电力互济。本项目的建设是促进海南省和广东省经济高速稳定可持续发展的需要，更是适应我国新常态下能源革命新形势、符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国电网结构的需要。本项目作为电力跨省互联工程，符合《“十四五”现代能源体系规划》关于加强电力跨省跨区输送通道建设的要求。

### 9.4.3 与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性分析

《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》（以下简称《规划》）中表示，以美丽广东、海洋强省为建设目标，以“双区建设”“双城联动”为引领，以海洋生态环境质量持续改善为核心，聚焦建设美丽海湾主线，坚持精准治污、科学治污、依法治污，坚持保护与修复并举，坚持系统治理、陆海统筹，持续改善海域环境质量，逐步提升海洋生态系统稳定性，打造宜居宜业宜游滨海空间，健全海洋生态环境现代化治理体系，以海洋生态环境高水平保护助推沿海经济带高质量发展，不断满足人民群众日益增长的优美海

洋生态环境需要。

《规划》中表明，建立完善海洋生态环境分区管控体系，统筹布局和优化提升海洋生产、生活、生态空间，提高人工岸线利用效率，严格限制建设项目占用自然岸线。严格落实国家围填海管控政策，除国家重大项目外，全面禁止围填海。

《规划》中对加强海洋生态空间保护提出要求：海洋空间坚持保护为主、适度开发，实施海洋“两空间内部一红线”。按照国家的统一部署，探索建立海岸建筑退缩线制度，清理整治非法占用自然岸线、滩涂湿地等行为。推进建设以国家海洋公园为主体、海洋自然保护区为基础、各类海洋自然公园为补充的自然保护地体系，科学划定海洋自然保护区，整合优化以中华白海豚、中国鲨、黄唇鱼等珍稀物种，珊瑚群落、红树林、海草床等典型海洋生态系统为保护对象的自然保护区。加强底线约束和空间管控，严格落实生态保护红线管控。生态保护红线内的自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动；其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。定期开展海洋自然保护区和海洋生态保护红线的保护成效评估。

根据前述章节分析，项目海底电缆在广东省登陆段海缆采用基础开挖方式穿越人工岸线，在施工期对人工岸线自然形态和生态功能产生一定影响，但施工期较短暂，施工后恢复岸线原本形态，对人工岸线影响是可逆的。本项目海底电缆不涉及生态保护红线。本项目施工对海域环境的影响主要为施工产生的悬浮泥沙影响水质和海缆对底土空间的占用，项目海缆施工产生的悬浮泥沙在施工结束后会逐渐沉降，项目所在海域水质会恢复至原本水平。项目施工期需严格落实各项环境保护措施，采取增殖放流等生态补偿措施，恢复工程海域原有生态水平，在此基础上，本项目对所在海域生态影响是可接受的。

综上，本项目与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》是相符的。

#### 9.4.4 与《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》的符合性分析

《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》展望 2035 年，海洋生态系统健康，满足人民对优美海洋生态环境的需求；陆海统筹保护发展实践区建成，海洋生态环境治理体系和治理能力基本实现现代化；全部海湾建成“水清滩净、鱼鸥翔集、人海和谐”的“美丽海湾”；沿海地区绿色生产生活方式广泛形成，海洋生态环境质量和资源利用效率居于世界领先水平，“美丽海洋”建设目标基本实现，成为在国际上展示我国海洋领域、积极参与应对气候变化和海洋生态文明建设成果的亮丽名片。

锚定 2035 年远景目标，“十四五”时期我省海洋生态环境保护的主要目标为：海洋环境质量持续稳定改善。海洋生态保护修复取得实效。公众亲海需求得到满足。海洋生态环境治理能力不断提升。

加强海洋生态环境分区管控。建立陆海统筹的自然生态空间用途管制制度，强化陆海协同的生态空间管控，以海岸线为轴，充分考虑河口区域，研究划定海陆衔接的空间管控单元，建立差别化管控措施。明确海洋功能区生态环境保护要求。落实“三线一单”生态环境分区管控要求，严格自然保护区、生态保护红线、海岸带、生态敏感脆弱区等特殊区域的用途管制。加强涉海建设项目环境准入把关，严格控制各类开发建设活动的范围和强度。

严控海岸带及无居民海岛利用。对海岸带生产、生活、生态空间布局进行优化，对海岸线实施分类保护与利用。严格保护自然岸线，对建设项目占用自然岸线实行“占用与修复平衡”制度。整治修复受损岸线，严控无居民海岛自然海岸线开发利用。加强无居民海岛保护和管理，已开发的要严格监管，严格管控新增无居民海岛开发利用。

根据前述章节分析，本项目海底电缆登陆段海缆采用定向钻从底土穿越人工岸线，不会对岸线自然形态和生态功能产生影响。本项目海底电缆不涉及生态保护红线。对海域环境的影响主要为施工产生的悬浮泥沙影响水质和海缆对底土空间的占用，项目海缆施工产生的悬浮泥沙在施工结束后会逐渐沉降，项目所在海域水质会恢复至原本水平，项目施工期产生的污废水均统一收集后交由有资质的单位接收处理，不外排入海，项目施工期需严格落实各项环境保护措施，采取增殖放流等生态补偿措施，恢复工程海域原有生态水平，在此基础上，本项目对所在海域生态影响是可接受的。

综上，本项目与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》是相符的。

#### 9.4.5 与《红树林保护修复专项行动计划（2020-2025 年）》的符合性分析

为贯彻落实习近平总书记等中央领导同志重要批示精神，全面加强红树林保护修复工作，自然资源部、国家林业和草原局制定了《红树林保护修复专项行动计划（2020-2025 年）》，于 2020 年 8 月 14 日印发。根据该通知：

“对浙江省、福建省、广东省、广西壮族自治区、海南省现有红树林实施全面保护。推进红树林自然保护区建设，逐步完成自然保护区内的养殖塘等开发性、生产性建设活动的清退，恢复红树林自然保护区生态功能。实施红树林生态修复，在适宜恢复区域营

造红树林，在退化区域实施抚育和提质改造，扩大红树林面积，提升红树林生态系统质量和功能。到 2025 年，营造和修复红树林面积 18800 公顷，其中，营造红树林 9050 公顷，修复现有红树林 9750 公顷。

#### 行动 1：实施红树林整体保护

——优先保护红树林生态系统。在生态保护红线划定中，按照应划尽划、应保尽保的要求，依据相关基础性调查及科学评估成果，将红树林相关自然保护地，以及自然保护地外的红树林、红树林适宜恢复区域，全部划入生态保护红线实行严格保护。

——严格红树林地用途管制。从严管控涉及红树林的人为活动，红树林自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动；其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，可在有效实施用途管制、不影响红树林生态系统功能的前提下，开展适度的林下科普体验、生态旅游以及生态养殖，经依法批准进行的科学研究观测、标本采集等活动。除国家重大项目外，禁止占用红树林地；确需占用的，应开展不可避让性论证，按规定报批。”

根据现场调查，本项目在广东侧登陆段周边分布有红树林生态保护红线和现状红树林，距红树林生态保护红线最近距离为 318m，距离现状红树林最近距离为 12m。本项目海底电缆不占用红树林林地，对红树林海域环境的影响主要为施工产生的悬浮泥沙影响水质，项目海缆施工产生的悬浮泥沙在施工结束后会逐渐沉降，项目所在海域水质会恢复至原本水平，项目施工期产生的污废水均统一收集后交由有资质的单位接收处理，不外排入海，项目施工期需严格落实各项环境保护措施，采取增殖放流等生态补偿措施，恢复工程海域原有生态水平，在此基础上，本项目对红树林生态影响是可接受的。

#### 9.4.6 与《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》的符合性分析

《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》于 2016 年 11 月 30 日海南省第五届人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过。

根据《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》第九条 禁止采挖珊瑚礁和以爆破、钻孔、施用有毒物质、电击等方式破坏珊瑚礁。第十一条 禁止出售、购买、利用珊瑚礁、砗磲及其制品。禁止利用珊瑚礁、砗磲为原材料制作旅游纪念品、装饰观赏品或者其他制品；禁止利用珊瑚礁、砗磲及其碎体烧制石灰或者作为其他建筑材料。第十四条 禁止任何单位和个人在珊瑚礁自然保护区内围海造地和修建损害自然保护区的海上、海岸设施。任何单位和个人不得占用、填毁珊瑚礁。因国家和本省重点建设工程的需要，必须占用、填毁珊瑚礁的，应当进行环境影响评价，依法办理审批手续。环境影响评价报告中应当

设专章评估建设工程对珊瑚礁生态环境的影响，提出相应的减少珊瑚礁损害的施工方案及应采取的保护措施，预防、控制或者减轻建设工程对海洋环境和海洋资源造成的影响和破坏，对受到影响的珊瑚礁提出生态损害赔偿方案。

根据珊瑚礁资料收集和现状调查结果，海缆铺设区域不涉及珊瑚礁保护区，不直接压占珊瑚礁，海南侧登陆段通过定向钻底土穿越珊瑚礁分布区，不涉及破坏珊瑚礁。本项目建设期产生的悬浮泥沙会对周边的珊瑚礁及其生态环境产生一定影响，但在采取相关生态保护措施上对影响可控，在施工中应加强对工作人员及船员的宣传、教育，禁止随意破坏或采摘珊瑚，施工船舶作业需避让珊瑚礁分布区，保护珊瑚礁生境。

综上所述，项目建设符合《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》的要求。

# 10 环境管理与监测计划

## 10.1 环境管理

### 10.1.1 环境管理机构

建设单位和负责运行的单位应在其管理机构内配备必要的环境保护人员，负责环境保护管理工作。

### 10.1.2 公众沟通机制

依据原环境保护部办公厅 环办函〔2015〕1745 号《关于印发<输变电工程公众沟通工作指南（试行）>的函》要求，建设单位应建立输变电工程公众沟通工作机制，着力提升公共宣传时效，加强信息公开工作，建全公众参与机制，提高舆情应对和信访办理能力。建设单位及其委托的设计、环评、施工、监理、监测、验收等单位，按照各自职责开展输变电工程公众沟通工作，并协同输变电工程所在地人民政府及各部门开展工作。

建议在本工程的设计、施工、运行过程中，建设单位及其委托的设计、环评、施工、监理、监测、验收等单位依据部委文件及南方电网公司要求，按照各自职责开展输变电工程公众沟通工作。

### 10.1.3 施工期环境管理

本工程施工期应开展环境监理工作。本工程的施工将采取招投标制。施工招标中应明确监理单位的环境监理职责，对投标单位提出施工期间的环保要求，并应对监理单位提出环境保护人员资质要求。在施工设计文件中详细说明施工期应注意的环保问题，严格要求施工单位按设计文件施工，特别是按环保设计要求施工。环境监理人员对施工中的每一道工序都应严格检查是否满足环保要求，并不定期地对施工点进行抽查监督检查。

工程建设期间环境保护监理及环境管理的职责和任务如下：

- （1）贯彻执行国家的各项环境保护方针、政策、法规和各项规章制度。
- （2）制定本工程施工中的环境保护计划，负责工程施工过程中各项环境保护措施实施的监督和日常管理。
- （3）收集、整理、推广和实施工程建设中各项环境保护的先进工作经验和技术。
- （4）组织和开展对施工人员进行施工活动中应遵循的环保法规、知识的培训，提高

全体员工文明施工的认识。

(5) 负责日常施工活动中的环境监理工作，做好工程用地区域的环境特征调查，并应掌握环境保护目标的相关情况。

(6) 在施工计划中应适当计划设备运输道路，以避免影响当地居民生活，施工中应考虑保护生态和避免水土流失，合理组织施工以减少占用临时施工用地。

(7) 在施工过程中，以本工程涉及的珊瑚礁、红树林为环境监理工作重点。

(8) 施工期间，优先使用新能源或国六排放标准的货车、新能源或国四排放标准的非道路移动机械，减少移动源大气污染物排放。

(10) 做好施工中各种环境问题的收集、记录、建档和处理工作。

(11) 监督施工单位，使施工工作完成后的耕地恢复和补偿，环保设施、水土保持等各项保护工程同时完成。

(12) 工程竣工后，组织进行竣工环境保护验收。

#### 10.1.4 竣工环境保护验收

根据《建设项目环境保护管理条例》《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》以及建设项目竣工环境保护验收有关管理规定和技术规范，本建设项目正式投产运行前，建设单位需组织自验收。验收的主要内容为项目对污染治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用的“三同时”制度的落实情况。

#### 10.1.5 运行期环境管理

根据项目所在区域的环境特点，在运行主管单位宜设环境管理部门，配备相应专业的管理人员。环保管理人员应在各自的岗位责任制中明确所负的环保责任。监督国家法规、条例的贯彻执行情况，制订和贯彻环保管理制度，监控本工程主要污染源，对各部门、操作岗位进行环境保护监督和考核。

环境管理的职能为：

(1) 制定和实施各项环境管理计划。

(2) 建立工频电场、工频磁场监测、生态环境现状数据档案，并定期向当地生态环境行政主管部门申报。

(3) 掌握项目所在地周围的环境特征和环境保护目标情况，做好记录、建档工作。

(4) 检查治理设施运行情况，及时处理出现的问题，保证治理设施的正常运行。

(5) 不定期地巡检海缆线路，保护生态环境不被破坏，保证保护生态与工程运行相



协调。

（6）协调配合上级生态环境主管部门所进行的环境调查，生态调查等活动。

（7）按照《企业环境信息依法披露管理办法》（生态环境部令 第 24 号）、《建设项目环境影响评价信息公开机制方案》（环发〔2015〕162 号）等法规的要求，及时公开环境信息。

## 10.2 施工期环境监理

施工期环境监理是在环境影响评价之后，在施工过程中建立起一套完整的、对项目施工期环境影响作出快速反应的程序、制度和管理体系，是环境影响评价的延续、保证评价结论在工程施工期得以贯彻实施的必要手段。

施工期环境监理的目的是监督和审核施工单位和建设单位在施工期落实环境污染防治措施，以减缓施工期的生态和社会环境影响。环境监察审核不仅提供了一种机制来评价施工活动的环境影响，还能对处于施工压力下的环境提供一种预警。在制定环境监察审核计划的同时，应在有关项目建设的施工合同条款中订明活动的实施细则，以确保环境得到保护。

开展施工期环境监察审核的目标是：①防止或减缓施工活动对环境造成污染与破坏；②按设计文件要求落实施工计划与进度，保证工程质量，以确保建设项目的环境保护工程与主体工程同时运行。

本评价参照相关的施工期环境监理规定，提出施工期环境监理方案。

### 10.2.1 施工期环境监理的组织

（1）施工期环境监理是在项目施工期实施的环境保护措施。施工期环境监理工作应由业主委托的、具备施工期环境监理能力的环境监理单位实施。

（2）环境监理单位应成立环境监察工作小组，实施环境监察审核具体工作。

（3）环境监理工作小组应根据环评报告书中环境监理内容及项目建设实际情况，提出环境监理工作计划，并报送相应环境管理部门和建设单位。

### 10.2.2 施工期环境监理的实施

环境监理工作小组应按照环境监理工作计划内容，对建设项目施工现场组织定期巡查和监测，实地了解施工活动对周围环境的影响情况，发现问题及时与建设单位、施工单位及各有关部门联系，提出解决问题的建议并督促落实。

本工程施工期环境监理内容为：

1) 工程建设过程中水污染防治措施的落实，主要包括：

- ①是否在预定区域内施工，施工过程中是否有采取相应环保措施；
- ②施工过程中尽可能避开主要经济生物和保护物种的繁殖期；
- ③施工队伍是否做到严禁向海域直接排放污水，施工船舶污染物是否得到妥善处理；
- ④施工人员是否有采捕野生动物的行为等。

2) 受委托监测单位是否按环境监测计划实施日常监测，污染事故发生时的临时环境监测和污染事故的处理工作。根据施工期环境监测结果是否达标，及时调整施工进度和计划，加强环保措施的落实。

3) 承担环境监理工作的单位须根据监察审核情况，编制每月监察审核报告，项目完工后编制监察审核工作总报告，并将每月监察审核报告和总报告报送相应环境管理部门和建设单位。

## 10.3 环境监测计划

### 10.3.1 海洋生态跟踪监测

#### 10.3.1.1 生态跟踪监测方案

通过生态监测可以及时掌握工程建设对附近海域环境质量的影响程度，并反映和掌握运营期防治污染措施的有效程度和治理污染设施的运行治理效果。根据《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》（自然资办函〔2022〕640号）中《项目用海生态保护修复实施方案编制指南》，评价范围内涉及典型海洋生态系统的用海项目，应开展生态跟踪监测。项目评价范围内包括湛江徐闻登陆段红树林、湛江徐闻与海南澄迈登陆段珊瑚礁典型生态系统。根据项目用海特点、海域生态环境现状及影响预测结果，结合区域环境现状、敏感目标的具体情况，确定本工程的生态监测措施。

##### 1、海洋水质监测计划

监测站位：布设 12 个海洋水质监测站位，监测站位见图 10.3-1 和表 10.3-1。

监测项目：pH、透明度、水温、盐度、悬浮物、生化需氧量、化学需氧量、溶解氧、无机氮（氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮）、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发性酚、重金属（铜、铅、镉、汞、锌、总铬、砷、硒、镍）。

监测频率：施工期和运营期各一次，春季。

## 2、沉积物监测

监测站位：布设 9 个沉积物监测站位，监测站位见图 10.3-1 和表 10.3-1。

监测项目：含水率、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷、粒度、pH

监测频率：施工期和运营期各一次，春季。

## 3、海洋生物质量

监测站位：布设 8 个海洋生物质量监测站位，监测站位见图 10.3-1 和表 10.3-1。

监测项目：总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷和石油烃

监测频率：施工期和运营期各一次，春季。

## 4、海洋生态监测

监测站位：布设 8 个海洋生态监测站位，监测站位见图 10.3-1 和表 10.3-1。

监测项目：叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源（游泳动物及鱼卵仔鱼（定性+定量））、潮间带生物（3 条样线）

监测频率：施工期和运营期各一次，春季。

## 5、珊瑚礁监测

监测站位：布设 6 个珊瑚礁监测站位，监测站位见图 10.3-2、3 和表 10.3-2。

监测项目：

（1）生态系统概况：珊瑚种类、分布范围、覆盖度、敌害生物、珊瑚白化、群落生物、鱼类、底栖动物、大型藻类、硬珊瑚补充量；

（2）生境关键要素：水温、透明度、盐度、悬浮物浓度、营养盐；

（3）水质监测：pH、生化需氧量、化学需氧量、溶解氧、无机氮（氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮）、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发性酚、重金属（铜、铅、镉、汞、锌、总铬、砷、硒、镍）。

监测频率：施工期和运营期各一次，春季。

## 6、红树林监测

监测站位：布设 3 个红树林监测站位，监测站位见图 10.3-4 和表 10.3-3。

监测项目：

（1）生态系统概况：红树林面积、分布、种类、盖度；

（2）生境关键要素：盐度、水体溶解氧、滩涂高程、沉积物粒度；

(3) 水质监测：pH、透明度、水温、悬浮物、生化需氧量、化学需氧量、无机氮（氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮）、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发性酚、重金属（铜、铅、镉、汞、锌、总铬、砷、硒、镍）。

监测频率：施工期和运营期各一次，春季。

**表 10.3-1 海洋生态跟踪监测站位表**

名称	经度	纬度	调查项目
1			水质、沉积物
2			水质、沉积物、海洋生态、生物质量、渔业资源
3			水质、沉积物、海洋生态、生物质量、渔业资源
4			水质、海洋生态、生物质量、渔业资源
5			水质、沉积物、海洋生态、生物质量、渔业资源
6			水质、沉积物、海洋生态、生物质量、渔业资源
7			水质
8			水质、沉积物、海洋生态、生物质量、渔业资源
9			水质、海洋生态、生物质量、渔业资源
10			水质、沉积物、海洋生态、生物质量、渔业资源
11			水质、沉积物
12			水质、沉积物
14			潮间带生态调查、潮间带沉积物调查
13			潮间带生态调查、潮间带沉积物调查
15			潮间带生态调查、潮间带沉积物调查

**图 10.3-1 海洋生态跟踪监测站位示意图**

表 10.3-2 珊瑚礁生态跟踪监测站位表

站点	经度	纬度	调查内容
D1			珊瑚礁资源
D2			珊瑚礁资源
D3			珊瑚礁资源
D4			珊瑚礁资源
D5			珊瑚礁资源
D6			珊瑚礁资源

图 10.3-2 珊瑚礁生态跟踪监测站位示意图-广东侧

图 10.3-3 珊瑚礁生态跟踪监测站位示意图-海南侧

表 10.3-3 红树林生态跟踪监测站位表

站点	经度	纬度	调查内容
1			红树林生态
2			红树林生态
3			红树林生态

图 10.3-4 红树林生态跟踪监测站位示意图

10.3.1.2 生态跟踪监测评价

本项目应根据生态跟踪监测结果，进行现状评价，将各类监测数据与本报告采用的现状调查数据进行比较，对是否突破相应指标合理变化范围进行评价。在监测完成后，开展趋势评价，结合生态本底调查数据和长期监测数据，就各类指标的变化趋势、特别是逐步恶化趋势作出评价。在完成现状评价和趋势评价后，应进行综合评价，综合生态本底调查数据、各监测要素的现状评价和趋势评价结论，对项目周边海域的海洋生态和环境存在的问题、潜在风险进行评估。

本项目应严格执行生态跟踪监测，根据实际情况可适度调整部分站位，全面监督和检查各施工单位环境保护措施的落实和效果，根据评价结果，及时监督、处理和解决施工过程中出现的环境问题，保证项目环境保护措施得以全面落实并达到预期效果，并通过生态跟踪监测和评价，检验海洋生态修复措施的可行性和有效性。

### 10.3.2 海缆登陆段环境监测

海缆登陆段主要环境影响评价因子为电磁及生态环境；根据《输变电建设项目环境保护技术要求》（HJ1113-2020）、《排污单位自行监测技术指南 总则》（HJ819-2017）和本项目的环境影响特点，制定监测计划，监测其施工期和运营期环境要素及评价因子的动态变化；本项目不涉及污水排放，电磁环境监测工作可委托具有相应资质的单位完成，生态环境结合陆域工程开展。

各项监测内容及要求如下。

#### （1）工频电场、工频磁场

监测方法：执行《交流输变电工程电磁环境监测方法（试行）》（HJ 681-2013）等监测技术规范、方法。

执行标准：《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）。

监测点位布置：海缆登陆段线路上方。

监测频次及时间：线路调试运营期一次，运营期定期监测；投诉纠纷时加强监测。

监测布点及要求：电缆管廊设监测断面，工频电磁强度以电缆管理中心正上方起点，测点间距为 1m，距地面 1.5m 高度，测至距电缆管理边缘外 5m 处为止。

#### （2）监测技术要求

①监测范围应与工程影响区域相适应。

②监测位置与频率应根据监测数据的代表性、环境质量的特征、变化和环境影响评价、工程竣工环境保护验收的要求确定。

③监测方法与技术要求应符合国家现行的有关环境监测技术规范和环境监测标准分析方法。

④对监测结果应在原始数据基础上进行审查、校核、综合分析后整理编印，并提交环境保护主管部门。

⑤应对监测提出质量保证要求。

# 11 海洋环境影响评价结论

## 11.1 项目建设概况

中国南方电网有限责任公司高压输电公司拟于琼州海峡建设 1 回 500kV 交流线路，输送容量按 600MW，同时新增 1 根备用海缆，海缆自湛江市徐闻县南侧登陆点起，至澄迈县北侧登陆点止，单回电缆长度为 38.1km，其中两端登陆点间路由平面长度约 35.55km（海上部分 35.32km，陆域部分 0.23km），考虑海中地形起伏、登陆段爬坡及盘缆并海缆所增加的长度，共计约 38.1km。海缆拟选用交流 3 芯 1000mm<sup>2</sup> 的 500kV 海底电缆。海缆线路工程投资          万元。海缆施工总工期约为 9 个月。

## 11.2 环境质量现状

### 11.2.1 海水水质现状

2025 年春季水质调查结果表明，pH、透明度、水温、盐度、悬浮物、生化需氧量、化学需氧量、溶解氧、无机氮（氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮）、活性磷酸盐、石油类、硫化物、挥发性酚、重金属（铜、铅、镉、汞、锌、总铬、砷、硒、镍）均符合调查站位所在功能区的海洋环境评价标准要求，海水水质良好。

### 11.2.2 海洋沉积物质量现状

2025 年春季海洋沉积物调查结果表明，调查海区表层沉积物中有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、锌、总汞、铬、砷均未出现超标样品，符合调查站位所属海域功能区所要求海洋沉积物质量标准，海洋沉积物质量良好。

### 11.2.3 海洋生物质量

2025 年春季海洋生物体质量调查结果表明，生物体质量中的铜、铅、锌、镉、汞、石油烃含量符合所要求的生物质量标准，砷含量超标。

### 11.2.4 海洋生态环境质量现状

调查海区叶绿素 a 平均含量范围是（0.664~2.24）μg/L，平均值为 1.30μg/L；初级生产力变化范围是（217.28~508.60）mg·C/m<sup>2</sup>·d；平均值是 354.60mg·C/m<sup>2</sup>·d。

本次调查浮游植物调查结果显示，共鉴定到浮游植物 3 门 42 种，以硅藻类占多数。

各调查站位浮游植物的平均细胞丰度为  $4.60 \times 10^5 \text{ cells/m}^3$ 。调查海域的浮游植物丰富度指数平均值为 1.34，多样性指数平均值为 1.54，均匀度指数平均值为 0.38，优势度指数平均值为 0.44。

本次浮游动物调查共鉴定到浮游动物 11 大类 42 种，其中桡足类最多。浮游动物平均丰度为  $295 \text{ ind/m}^3$ ，浮游动物丰富度指数平均值为 2.72，多样性指数平均值为 2.74，均匀度指数平均值为 0.69，优势度指数平均值为 0.75。

本次大型底栖生物调查共鉴定到 39 种。调查海域的底栖生物栖息平均密度为  $70 \text{ ind/m}^2$ ；平均生物量为  $12.93 \text{ g/m}^2$ 。丰富度指数平均值为 2.00，多样性指数平均值为 2.83，均匀度指数平均值为 0.90，优势度指数平均值为 0.84。

本次潮间带生物调查共捕获 27 种生物，潮间带生物调查断面平均栖息密度为  $72 \text{ ind/m}^2$ ，平均生物量为  $46.37 \text{ g/m}^2$ 。

本次鱼卵仔鱼鉴定鱼卵 4 种，鱼卵平均密度为 0.3 粒/ $\text{m}^3$ 。仔鱼平均密度为 0.3 尾/ $\text{m}^3$ 。

本次调查共渔获游泳动物 78 种，其中鱼类 51 种，虾类 13 种，蟹类 11 种，头足类 3 种。游泳动物的渔获率为  $583 \text{ ind/h}$ 。游泳动物的资源密度约为  $358.08 \text{ kg/km}^2$  和  $20816.9 \text{ ind/km}^2$ 。

### 11.2.5 电磁环境现状质量

海南-广东电力灵活互济工程海缆线路海缆登陆段海南侧、广东侧背景点测点位处工频电场强度在  $0.1 \text{ V/m} \sim 235 \text{ V/m}$  之间，工频磁感应强度在  $0.007 \mu\text{T} \sim 0.682 \mu\text{T}$  之间，均满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）规定的  $4000 \text{ V/m}$  及  $100 \mu\text{T}$  的控制限值要求。

## 11.3 污染物排放情况

施工期和运行期各类污染源强汇总见表 13.3-1。

表 13.3-1a 施工期主要污染物排放情况

种类	污染源	主要污染物	源强	排放去向
废水	预挖沟	SS	2.82kg/s	自然排放
	水力冲埋		8.65kg/s、7.81kg/s、 11.72kg/s、28.86kg/s	
	机械切割		2.88kg/s	
	定向钻		0.21kg/s	
	船舶含油污水	石油类	污水量：5.15t/d 石油类：0.103t/d	收集后委托有接收能力单位接收处置



	船舶生活污水	SS、CODCr、BOD5、氨氮、动植物油	污水量: 12 m <sup>3</sup> /d	
			SS: 1.8kg/d	
			CODCr: 3.6kg/d	
			BOD5: 2.4kg/d	
			氨氮: 0.3kg/d	
			动植物油: 0.36kg/d	
废气	燃油废气	SO <sub>2</sub> 、CO、NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub> : 7.5kg/h·艘	无组织排放
			CO: 31.455kg/h·艘	
			NO <sub>x</sub> : 9.225kg/h·艘	
噪声	施工船舶	等效声级	75~95 dB (A)	自然传播
固体废物	生活垃圾	-	40.5t/d	交由环卫部门接收处置
	扫海清障固废	绳索、渔网等	少量	交由环卫部门接收处置
	登陆点	土石方	约 1017.36m <sup>3</sup>	交由有接收能力单位处置
		泥浆水	1800m <sup>3</sup>	收集交由有接收能力单位处置

表 13.3-1b 运行期主要污染物排放情况

种类	污染源	主要污染物	源强	排放去向
污废水	运维船舶生活污水	SS、COD <sub>Cr</sub> 、BOD <sub>5</sub> 、氨氮	少量	收集后委托有接收能力单位接收处置
废气	运维船舶废气	燃油废气	少量	无组织排放
电磁场	海缆	工频电场、工频磁场	/	运行产生
固体废物	一般废物	生活垃圾、施工垃圾	少量	统一收集、定期运至陆上，交由环卫部门接收处置

## 11.4 主要环境影响

### 11.4.1 水动力环境影响

本项目涉海工程主要为海底电缆工程，海底电缆埋设于海床和底土，局部冲刷严重区域及玄武岩等硬质海床区域敷设海缆需覆盖混凝土连锁排，未在水体中设置阻水建筑物，由于连锁排所在水深较大，且厚度较小，混凝土连锁排的覆盖后仅对海缆局部流速场产生微小影响，连锁排覆盖后其在涨落潮过程东西两侧所产生的壅水高度及范围有限，因此工程实施后对于海洋流场等水动力参数基本不产生影响。

### 11.4.2 地形地貌及冲淤环境影响

工程区域地质冲淤变化十年较为缓和，本项目涉海工程仅为海底电缆铺设，海底电

缆基本埋设于海床，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，因此不对潮流动力产生影响，不会改变工程建设前原始地貌冲淤演变规律和进程。

### 11.4.3 海洋水质环境影响

本工程施工对海洋水质的影响主要为海底电缆敷设产生的悬浮泥沙影响。悬沙扩散的影响范围基本局限于底层，对中层和表层的影响甚小。全潮期海缆敷设施工底层大于 10mg/L 浓度区的包络线面积为 16.44km<sup>2</sup>，大于 20mg/L 浓度区的包络线面积为 10.26km<sup>2</sup>，大于 50mg/L 浓度区的包络线面积为 5.30km<sup>2</sup>，大于 100mg/L 浓度区的包络线面积为 2.63km<sup>2</sup>。项目建设期间施工船舶产生的污废水均能得到有效处置，不外排入海，基本不会对水质环境造成影响。

### 11.4.4 海洋沉积物环境影响

海底电缆埋设期间对沉积物环境的影响首先是开挖和覆盖，掀起的海底泥沙在海流和重力作用下自然回填缆沟，覆盖厚度>2cm 的面积主要位于缆沟两侧附近，使原海底沉积物受到一定程度的覆盖和破坏。但悬浮泥沙均是局地沉积物再沉积，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，并没有混入其他污染物，不会影响海底沉积物质量，随着施工结束逐渐恢复沉积物原有环境。

### 11.4.5 海洋生态环境影响

本项目施工期海缆施工不可避免对海洋生物资源造成影响，项目海缆施工共造成底栖生物一次性破坏损失 335.30kg，底栖生物长期压占损失 3479.33kg，潮间带生物损失 6275.46kg，游泳生物损失 197.7kg、鱼卵损失  $2.52 \times 10^7$  粒、仔鱼损失  $2.52 \times 10^7$  尾。

海底电缆运行期间会产生电磁场，但由于海底电缆埋设在海床以下，在海缆外被层和覆土的共同作用下，其电磁场强度被大大削弱，对海洋生物影响有限。

### 11.4.6 电磁环境影响

根据对已建海缆线路类比监测结果，预测本项目线路建成后，线路周边工频电场强度和工频磁感应强度分别满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)中 4000V/m 及 100μT 限值要求。

### 11.4.7 对保护目标的影响

本项目环境保护目标主要有自然保护区、生态保护红线、环境敏感开发利用活动、

三场一通道等，施工产生的悬浮泥沙对周边环境保护目标有一定影响，影响区域主要集中在工程区附近海域，悬浮泥沙的影响随着施工的结束逐渐消失，影响程度有限。在采取增殖放流等生态补偿措施，恢复其原有生态水平的基础上，其影响可接受。

#### **11.4.8 环境风险影响**

总体来说，项目施工期和运营期通过积极采取本报告提出的环境风险防范措施和环境风险应急预案，并在发生海上溢油泄漏事故后及时按照事故应急措施和应急预案进行处理，其影响可以得到有效控制，项目的环境风险事故可以控制在可接受水平。

### **11.5 环境保护措施**

本项目施工期、运行期采取的污染防治措施、海洋生态保护措施以及非污染环境保护对策措施有效、可行，在技术、经济上是合理的、可行的。

### **11.6 环境影响经济损益情况**

本项目建设虽不可避免对海洋生物资源造成损失，但本项目建成后具有明显的经济效益和社会效益，本项目对海洋环境造成的影响是暂时的，损失量较小，通过采取补偿措施，本项目对海洋环境的影响是可以接受的，由此可见，从环境社会经济损益分析而言，本项目建设是可行的。

### **11.7 区划、规划和政策符合性**

项目建设符合国家产业政策，符合国土空间规划、“三区三线”、“三线一单”等规划的管控要求，与《“十四五”现代能源体系规划》《“十四五”海洋生态环境保护规划》《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》《海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则》《海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则》《海南省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》《红树林保护修复专项行动计划（2020-2025 年）》等规划相协调。

### **11.8 海洋专题评价结论**

海南-广东电力灵活互济工程的建设能够高效、安全地连接广东、海南两省电网，有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展，为打造海南自然贸易港提供有效

的电力支撑，其社会效益、经济效益和环境效益明显。工程建设和运行存在的主要环境问题是海洋水质、生态和渔业资源等的不良影响，在落实本报告提出的各项生态环保措施、污染防治措施和环境风险防范措施的前提下，从海洋环境保护角度来看，不存在制约本项目建设的环境因素，工程建设总体可行。