

长乐外海 J 区海上风电场项目

环境影响报告书

(公示本)

建设单位：福建省福能海韵发电有限公司

2026 年 6 月·福建

目 录

1 概述	1
1.1 项目由来及特点	1
1.2 环评工作过程	2
1.3 产业政策、相关规章、政策及规划符合性判定	3
1.4 关注的主要环境问题	4
1.5 环境影响评价的主要结论	5
2 总则	7
2.1 编制依据	7
2.2 环境影响因素识别与评价因子筛选	10
2.3 环境功能区划	13
2.4 评价标准	15
2.5 评价工作等级	17
2.6 评价范围	21
2.7 主要环境保护目标	22
3 工程分析	25
3.1 项目概况	25
3.2 工程设计方案	29
3.3 项目施工工艺与方法	33
3.4 工艺流程及产污环节分析	51
3.5 工程分析	52
4 环境现状调查与评价	62
4.1 自然环境概况	62
4.2 资源分布与利用现状	69
4.3 海水水质现状调查与评价	72
4.4 海洋沉积物现状调查与评价	72
4.5 海洋生态环境调查	72
4.6 海洋水文动力、地形地貌与冲淤环境现状调查	72

4.7 鸟类现状调查结果与评价	72
4.8 声环境质量现状	72
4.9 电磁辐射	72
4.10 环境空气质量现状	73
5 环境影响预测与评价	74
5.1 海水水质影响预测与评价	74
5.2 海洋沉积物影响评价	77
5.3 海洋生态环境影响分析	78
5.4 水动力环境影响分析	90
5.5 地貌与冲淤影响预测与评价	93
5.6 工程建设对鸟类的影响	99
5.7 噪声环境影响预测与分析	109
5.8 电磁环境对海洋生物的影响	124
5.9 大气环境影响预测与分析	132
5.10 固体废物环境影响分析	133
5.11 项目建设对周边主要保护目标和开发活动的影响分析	135
6 海洋生态环境风险评价	141
6.1 评价依据	141
6.2 环境敏感目标分布	141
6.3 环境风险识别	141
6.4 溢油风险分析	142
6.5 通航安全风险分析	151
6.6 自然灾害风险分析	154
6.7 其他环境风险分析	155
6.8 环境风险评价结论	157
7 环境保护措施及可行性论证	159
7.1 施工期污染防治措施	159
7.2 营运期环境保护对策措施	164
7.3 风险防范对策措施	168

7.4 小结	177
8 环境影响经济损益分析	181
8.1 环境保护投资费用估算	181
8.2 项目经济损益分析	181
9 环境管理与监测计划	185
9.1 环境管理	185
9.2 环境监测计划	189
9.3 污染物排放清单及管理要求	191
9.4 环境监理	193
9.5 总量控制	193
9.6 项目竣工环境保护验收	194
10 环境影响评价结论	197
10.1 评价结论	197
10.2 建议	200

1 概述

1.1 项目由来及特点

2022 年 5 月，福建省人民政府印发了《福建省“十四五”能源发展专项规划》，文件指出：2025 年，福建省电力规划装机目标要达到 8500 万 kW，其中风电 900 万 kW、占 10.6%，新增 410 万 kW。文件明确“十四五”期间将加大风电建设规模，积极推进规模化集中连片海上风电开发，在保障国防、海事、通航、生态等要求的前提下，科学组织海上风电开发建设；“十四五”期间有序择优推进《福建省海上风电场工程规划》内省管海域海上风电项目建设，新增开发规模 1030 万 kW。稳妥推进国管海域深远海海上风电项目，加强建设条件评估和深远海大容量风电机组、远距离柔性直流送电、海上风电融合发展技术论证，示范化开发 480 万 kW；按照闽台能源产业融合示范基地定位，高质量统筹发展闽南外海海上风电基地。将按照竞争配置规则、持续有序推进规模化集中连片海上风电开发，重点推进福州、宁德、莆田、漳州、平潭等资源较好地区的海上风电项目。“十四五”期间增加并网装机 410 万 kW，新增开发省管海域海上风电规模约 1030 万 kW，力争推动深远海风电开工 480 万 kW。

根据 2022 年 5 月国家能源局批复的《福建省海上风电场工程规划报告》（国能综函新能〔2022〕26 号），规划近期海上风电场址 25 个、装机规模 1270 万 kW，1 个海上风电检测试验风场；规划中期海上风电场址 7 个、装机规模 620 万 kW。福州海域规划 8 个场址、350 万 kW。平潭海域规划 3 个场址、120 万 kW。其中长乐外海 J 区海上风电场工程，规划容量为 65 万 kW。

2023 年 10 月 20 日，福建省发展和改革委员会下发《关于长乐外海 J 区海上风电场项目前期工作的函》，确定福建福能股份有限公司与长江三峡集团福建能源投资有限公司联合体成为长乐外海 J 区海上风电场项目的中选投资主体，本项目用海单位福建省福能海韵发电有限公司由两家单位共同持股。

长乐外海 J 区海上风电场场址位于长乐东犬岛东侧海域，场址中心西距东犬岛约 46km，西距长乐梅花镇大陆岸线约 70km，规划面积 76km²，理论水深约 56~62m。

2024 年 5 月，建设单位委托自然资源部第一海洋研究所编制了《长乐外海 J 区海上风电场项目海域使用论证报告书》，并于 2024 年 5 月 27 日取得福州市自然资源和规划局出具的《项目用海预审意见》（榕自然海预〔2024〕10 号）；2026 年 1 月 26 日，福州市自然资源和规划局出具的《福州市自然资源和规划局关于同意变更长乐外海 J 区海

上风电场项目用海预审意见的函》（榕自然函〔2026〕120号），原则同意长乐外海 J 区海上风电场项目向东侧移动约 1 海里后的用海。同时，因用海范围计算方式调整，项目用海总面积由原 392.4137hm²变更为 548.0959hm²。

2024 年 8 月 12 日获得福建省发展和改革委员会出具的《福建省发展和改革委员会关于长乐外海 J 区海上风电场项目核准的批复》，同意该项目建设（项目编码：2405-350000-04-01-175512）。

2024 年 12 月，中国电建集团福建省电力勘测设计院有限公司编制完成《长乐外海 J 区海上风电场项目可行性研究报告》，并通过水电水利规划设计总院评审（水电规新能〔2024〕413 号）。2025 年 5 月，建设单位委托福建船政交通职业技术学院编制完成《长乐外海 J 区海上风电场项目选址通航安全分析报告（备案稿）》；2025 年 6 月，主设单位根据项目选址通航安全分析报告，修订了项目可研。

根据修订后的项目可研：项目拟布置 41 台单机容量 16MW 的风力发电机组，总装机规模为 656MW。风电场采用 11 回 66kV 集电线路接入海上换流站，与长乐外海 K 区、长乐 DE 区、长乐外海 I 区（北）、长乐外海 I 区（南）项目在海上换流站汇集后通过直流海缆接入陆上换流站，海上换流站、直流海缆以及陆上换流站由各项目共同建设，本项目配置 65MW/130MWh 容量的储能。风电场年上网电量 298563.9 万 kW·h，等效满负荷小时数 4551h，容量系数 0.52。

其中，海上换流站、直流海缆以及陆上换流站等均为长乐外海 J 区海上风电场依托工程，不属于本项目工程组成部分，不在本报告评价范围内。

项目拟在平潭港区金井码头附近设置施工临时设施布置区，该临时设施未确定选址，不在本报告评价范围内；待选址和工程建设内容确定后另行开展环境影响评价工作。

1.2 环评工作过程

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版），长乐外海 J 区海上风电场项目，装机容量 656MW，属于“五十四、海洋工程”中“151 海洋能源开发利用类工程”的“总装机容量 5 万 kW 及以上的海上风电工程及其输送设施及网络工程”，应编制环境影响报告书。

为此，建设单位于 2024 年 12 月 24 日委托我公司进行“长乐外海 J 区海上风电场项目”的环境影响评价工作。我公司接受委托后当即赴现场踏勘，收集资料，与建设单位充分沟通，开展了细致的调查研究、资料搜集、委托监测单位现场监测，数据处理和模

拟计算等，按照各环境要素环境影响评价技术导则编制完成《长乐外海 J 区海上风电场项目环境影响报告书》，由建设单位送生态环境主管部门审查报批。

项目工作程序见图 1.2-1。

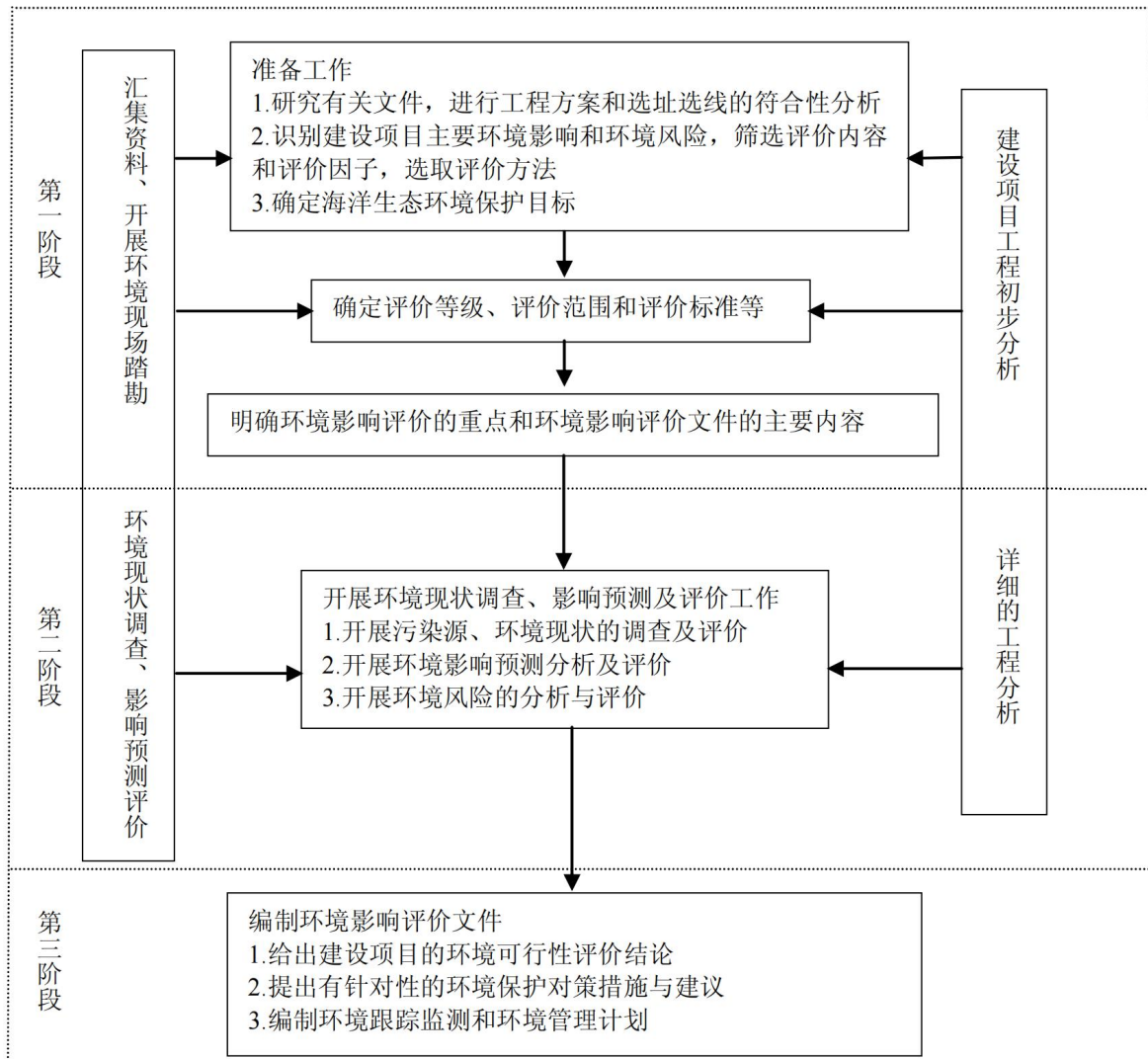


图 1.2-1 项目环评工作程序图

1.3 产业政策、相关规章、政策及规划符合性判定

1.3.1 产业政策符合性分析

长乐外海 J 区海上风电场项目属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中鼓励类“五、新能源”中“1 风力发电技术与应用：海上风电场建设与设备及海底电缆制造”。即项目属于鼓励类的建设项目，符合我国国家产业政策要求。

1.3.2 与相关政策、规章、规划符合性分析

长乐外海 J 区海上风电场项目位于长乐东犬岛东侧海域，项目选址位于“海洋开发

利用空间”，符合《福建省国土空间总体规划（2021—2035 年）》。工程建设符合所在海域海洋环境保护要求和海域使用管理要求，风电场场址不占用海洋生态保护红线区。项目建设符合《福建省“十四五”海洋强省建设专项规划》《福建省“十四五”能源发展专项规划》等规划要求，具体见表 1.3-1、3.7 小节。

表 1.3-1 项目相关情况判定结果一览表

序号	类别	判定依据	判定结果
1	产业政策	《产业结构调整指导目录（2024年本）》	符合
2	国土空间规划	《福建省国土空间总体规划（2021—2035年）》	符合
		《福建省海岸带及海洋空间规划》	符合
		《福州市国土空间总体规划（2021—2035年）》	符合
3	功能区划	《福建省近岸海域环境功能区划（修编）（2023—2035年）》	符合
4	生态环境 分区分管	《关于发布福州市2024年生态环境分区分管动态更新成果的通知》（榕环保综〔2025〕1号）	符合
5		《福建省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区分管的通知》	符合
6	“三区三线”	《福建省“三区三线”划定成果》	符合
7	相关规划	《福建省“十四五”能源发展专项规划》	符合
8		《全国国土空间规划纲要（2021—2035年）》	符合
9		《福建省海上风电场工程规划报告》	符合
10		《福建省“十四五”海洋强省建设专项规划》	符合
11		《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》	符合
12		《福建省“十四五”海洋生态环境保护规划》	符合
13		《福建省海岛保护规划（2011—2020年）》	符合
14		《福建省湿地保护条例》	符合
15		《福州港总体规划（2035年）》	符合
16		《福州市长乐区养殖水域滩涂规划（2018—2030年）》	符合
17		《中共福建省委关于制定福建省国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》	符合
18	法律法规	《海上风电开发建设管理办法》	符合
19	其他文件	《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	符合

1.4 关注的主要环境问题

- (1)关注的主要环境问题
- ①风机基础、电缆铺设施工对海洋环境、生态及渔业资源的影响；

②风机产生的水下噪声对海洋动物的影响；

③风机运行对区域鸟类迁徙、栖息及其生境的影响；

④工程建设对环境敏感区以及其他海洋环境保护目标的影响。

(2)项目可能造成的环境影响

①废气：营运期废气主要为检修船舶产生的尾气，对周围大气环境影响较小。

②废水：营运期船舶生活污水和油污水委托有资质单位进行处理，均不外排，对周围水环境影响较小。

③噪声：项目营运期噪声主要为风机噪声，采取减振措施，且风机周边无声环境敏感目标，对周围声环境影响较小。

④固废：日常维护产生的废润滑油、含油抹布、废铅酸蓄电池等危险废物交由有资质单位进行处理，不会对环境产生不利影响。

1.5 环境影响评价的主要结论

1.5.1 大气环境影响

海上风场营运期间不产生废气，对大气环境无影响，项目设置检修船舶1艘，船舶产生的废气对大气环境影响较小。

1.5.2 海洋生态环境影响

(1)对水文动力环境的影响

工程建设前后涨、落急时刻流场变化较小，一般小于0.03m/s，主要集中在风电场风机桩基附近。

(2)对冲淤环境的影响

工程建设后工程所在海域冲淤分布趋势与工程前基本一致，工程所在海域以淤积趋势为主，淤积变化量基于小于7cm/a，但由于风机直径较小，对工程外部海域冲淤趋势基本不影响。

(3)对海水水质的影响

电缆敷设悬浮物浓度增量大于10mg/L影响范围叠加约为216.2km²，悬浮物浓度增量大于100mg/L的影响范围为28.5km²。电缆敷设实际影响是暂时的，随着工程结束，悬浮物对水环境的影响也将消失。

(4)对沉积物的影响

本项目施工期废水收集后均委托有资质单位进行处理，污水不排海，不会对沉积物质量产生不利影响。本项目采用外加电流的防腐方式，无牺牲阳极的锌离子释放，因此，项目建设对沉积物质量的影响较小。

(5)对海洋生态的影响

项目建设造成的生物资源损失量：浮游动物总损失量为318.80t，鱼卵损失量为 19.66×10^6 粒，仔稚鱼损失量为 17.19×10^6 尾，游泳动物损失量为110.26kg，底栖生物损失11.43t。

1.5.3 鸟类影响分析

项目对其所在海域及周边地区的鸟类的繁殖行为没有影响，对极少数鸟类的觅食有潜在影响，但影响有限。项目所在海域并非该区域鸟类的主要迁徙通道。

1.5.4 声环境影响

工程风机施工中的水下打桩施工将对周围海域的海洋生物带来一定影响。因此，本工程施工中，应采取一些保护措施，在进行首次水下打桩时先进行小强度的“软启动”，以驱赶海洋鱼类游离作业区，到达一定距离外的安全海域。

海上风电场在营运期总体的水下噪声强度比较低，总体噪声谱级都在120dB/1μPa以下，已和海洋背景噪声相当，对本工程海域的海洋生物基本上不会带来明显的影响。本工程营运期水下噪声对石首鱼科幼鱼的影响距离为168m。水下噪声对鱼卵、仔鱼的影响目前数据较少，仔稚鱼与成熟阶段相比，可能会受到更多的水下噪声的影响。

1.5.5 固体废物

工程营运期间产生的生活垃圾委托市政环卫部门；危险废物委托有资质单位进行处理。采取以上措施后，本工程产生的固体废物不会对环境造成影响。

1.5.6 环境风险评价

项目涉及的主要危险物质为油类物质，存在的风险为施工期船舶碰撞溢油事故、营运期风机齿轮油和变压器油泄漏。在严格落实各项事故风险防范措施和应急预案情况下，本项目运行过程中的环境风险可以防控。

1.5.7 环境影响评价结论

长乐外海J区海上风电场项目符合产业政策，符合福州市国土空间规划和生态环境分区管控要求，项目社会效益和环境效益显著。在全面加强环保管理、执行环保“三同时”制度和认真落实各项环保对策措施和整改措施的前提下，项目建设对环境的影响较小；从环境保护的角度，项目建设可行。

2 总则

2.1 编制依据

2.1.1 法律

- (1) 《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 3 月 12 日；
- (2) 《中华人民共和国土地管理法》，2020 年 1 月 1 日起施行；
- (3) 《中华人民共和国能源法》，2025 年 1 月 1 日起施行；
- (7) 《中华人民共和国节约能源法》，2018 年 10 月 26 日修订；
- (5) 《中华人民共和国循环经济促进法》，2018 年 10 月 26 日起施行；
- (6) 《中华人民共和国海上交通安全法》，2021 年 9 月 1 日起施行；
- (7) 《中华人民共和国渔业法》，2014 年 3 月 1 日起施行；

2.1.2 法规

- (1) 《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日起施行；
- (2) 《排污许可管理条例》，国务院令第 736 号，2021 年 3 月 1 日起施行
- (3) 《福建省生态环境保护条例》，福建省人大常委会，2022 年 3 月 30 日起施行；
- (4) 《福建省大气污染防治条例》，福建省人大常委会，2019 年 1 月 1 日起施行；
- (5) 《福建省水污染防治条例》，福建省人大常委会，2021 年 11 月 1 日起施行；
- (6) 《福建省海洋环境保护条例》，福建省人大常委会，2016 年 4 月 1 日修订；
- (7) 《福建省固体废物污染环境防治条例》，福建省人大常委会，2024 年 3 月 27 日；
- (8) 《防治船舶污染海洋环境管理条例》，国务院，2018 年 3 月 19 日修订；
- (9) 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，国务院，2018 年 3 月 19 日施行。

2.1.3 国家规章

- (1) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，生态环境部令第 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；
- (2) 《产业结构调整指导目录（2024 本）》，2024 年 2 月 1 日起施行；
- (3) 《国家危险废物名录》，2025 年 1 月 1 日起施行；
- (4) 《环境影响评价公众参与办法》，生态环境部令第 4 号，2019 年 1 月 1 日；
- (5) 《中华人民共和国水上水下作业和活动通航安全管理规定》，交通运输部令 2021

年第 24 号，自 2021 年 9 月 1 日起施行；

(6)《国家能源局国家海洋局关于印发〈海上风电开发建设管理办法〉的通知》，国能新能〔2016〕394 号，自 2016 年 12 月 29 日起实施；

(7)《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》，自然资源部，2024 年 12 月 30 日；

(8)《海底电缆管道保护规定》，国土资源部令第 24 号，2004 年 3 月 1 日起实施；

(9)《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》，国家海洋局，1992 年 8 月 26 日；

(10)《突发环境事件应急管理办法》，环境保护部令第 34 号，2015 年 3 月 19 日；

(11)《关于强化建设项目环境影响评价事中事后监管的实施意见》，环境保护部，2018 年 1 月 25 日；

(12)《水生生物增殖放流管理规定》，农业农村部令 20 号，2009 年 5 月 1 日；

2.1.4 地方性规章

(1)《福建省湿地保护条例》，福建省人民代表大会常务委员会，自 2023 年 1 月 1 日起施行。

(2)《福建省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的通知》，闽政〔2020〕12 号；

(3)《关于发布福州市 2024 年生态环境分区管控动态更新成果的通知》，榕环保综〔2025〕1 号，福州市人民政府办公厅，2025 年 1 月 9 日。

2.1.5 相关规划

(1)《福建省近岸海域环境功能区划（修编）》，福建省生态环境厅，2024 年 10 月；

(2)《福建省国土空间规划（2021—2035 年）》，2023 年 11 月；

(3)《福建省“十四五”生态环境保护专项规划》，福建省生态环境厅等五部门，2022 年 2 月；

(4)《福建省“三区三线”划定成果》，自然资办函〔2022〕2207 号，2022 年 10 月 14 日

(5)《福建省海岛保护规划（2011—2020 年）》，福建省海洋与渔业厅，2012 年 11 月；

(6)《福建省海上风电场工程规划》，福建省发展和改革委员会，2021 年 5 月；

(7)《福建省“十四五”海洋强省建设专项规划》，闽政办〔2021〕62 号，2021 年 11

月；

(8)《福建省“十四五”能源发展专项规划》，闽政办〔2022〕30号，2022年5月；

(9)《福建省海岛保护规划（2011—2020年）》，福建省海洋与渔业厅，2012年11月；

(10)《福州港总体规划（2035年）》，交通运输部规划研究院。

2.1.6 技术规范

(1)《建设项目环境影响评价技术导则—总纲》（HJ2.1-2016）；

(2)《环境影响评价技术导则—海洋生态环境》（HJ1409-2025）；

(3)《环境影响评价技术导则—大气环境》（HJ2.2-2018）；

(4)《环境影响评价技术导则—声环境》（HJ2.4-2021）；

(5)《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2018）；

(6)《环境影响评价技术导则—输变电》（HJ24-2020）；

(7)《海上风电工程环境影响评价技术规范》，国家海洋局，2014年；

(8)《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017）；

(9)《声学水下噪声测量》（GB/T5265-2009）；

(10)《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T0341-2022）

(11)《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；

(12)《海洋调查规范》（GB-T12763-2007）；

(13)《海洋监测规范》（GB17378-2007）；

(14)《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）；

(15)《船舶污染物海洋环境影响跟踪监测技术规范（试行）》，2011年；

(16)《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；

(17)《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GBT18920-2020）。

2.1.7 文件与技术资料

(1)《长乐外海J区海上风电场项目可行性研究报告》，中国电建集团福建省电力勘测设计院有限公司，2025年6月；

(2)《长乐外海J区海上风电场项目鸟类影响评估报告》，福州榕邦林业技术服务有限公司，2024年4月；

(3)《长乐外海J区海上风电场项目海床稳定性分析报告》，青岛浅海海洋工程研究

院有限公司，2024 年 11 月；

(4)《长乐外海 J 区海上风电场冬、夏两季全潮水文观测分析报告》，青岛浅海海洋工程研究院有限公司，2024 年 11 月；

(5)《长乐外海 J 区海上风电场项目春季海洋生态环境补充调查专题成果报告》，厦门大学，2026 年 5 月；

(6)《长乐外海 J 区海上风电项目水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》中国科学院声学研究所北海研究站，2024 年 5 月；

(7)《长乐外海 J 区海上风电场项目海洋环境影响数值模拟专题研究报告》，自然资源部第一海洋研究所，2024 年 12 月；

(8)《长乐外海 J 区海上风电场项目海域使用论证报告》（报批稿），自然资源部第一海洋研究所，2024 年 5 月；

(8)《长乐外海 J 区海上风电场项目选址通航安全分析报告（备案稿）》，福建船政交通职业技术学院，2025 年 5 月；

(9)建设单位提供的项目其他有关材料。

2.2 环境影响因素识别与评价因子筛选

2.2.1 环境影响因素识别

(1)环境影响因素识别

根据项目工程特点、规模及工程区域环境特征，项目环境影响要素包括污染影响和生态影响两个方面，环境影响因素识别见表 2.2-1、表 2.2-2。

表 2.2-1 污染影响因素筛选表

评价时段	环境影响要素	评价因子	工程内容及影响方式	影响程度
施工期	海洋水环境	悬浮物	风机桩基施工和电缆铺设	-2S↑
		生活生产污水	船舶生活污水、船舶施工废水	-1S↑
	海洋沉积物	悬浮物	风机桩基施工和电缆铺设	-2S↑
		废水	船舶施工废水	
	海洋水动力与冲淤变化	流速流向、地形地貌	风电场建设对桩基周边海域水动力和冲淤环境产生一定影响	-2S↑
	大气环境	TSP、PM ₁₀ 、NO ₂ 、SO ₂	施工船舶机械尾气	-1S↑
	固体废物	建筑与生活垃圾、清淤过程污泥	施工船舶固废、施工人员生活垃圾、桩基清孔弃渣	-1S↑
	声环境	噪声	施工船舶机械产生的噪声、桩基噪声 对石首科鱼类、鲸豚类哺乳动物的影响	-1S↑
	环境风险	溢油	船舶溢油事故	-2S↑
营运期	海洋水动力与冲淤变化	潮流、冲淤变化	风机影响对周边潮流与冲淤	-2L↓
	水环境	含油污水	风电机组设备日常维护	-1S↑
	固体废物	危险固废	风机机舱和轮毂更换的润滑油	-1S↑
		含油锯末或棉纱	风电机组设备日常维护	-1S↑
		生活垃圾	日常维护产生的船舶生活垃圾	-1S↑
	声环境	水下噪声	风机运转产生的噪声 对石首科鱼类、鲸豚类哺乳动物的影响	-1S↑
	环境风险	风险物质泄漏	风机齿轮油和变压器油泄漏	-2S↑

表 2.2-2 生态影响因素和评价因子筛选表

受影响对象	评价因子	工程内容	影响方式	影响性质	影响时段
初级生产力	叶绿素 a	风机桩基施工和电缆铺设	直接	短期、可逆	施工期
浮游植物、浮游动物、 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	风机桩基施工和电缆铺设	直接	短期、可逆	施工期
		风机运行	直接	长期、可逆	生产运行期
珍稀濒危海洋生物及其生境	种类、数量、种群规模、结构、 分布、行为特征，生境的面积、 质量、连通性等	不涉及	/	/	/
重要水生生物“三场一通道”、 水产种质资源保护区	分布范围、生产力	不涉及	/	/	/
重要湿地、特殊生境	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	不涉及	/	/	/
自然保护地和生态保护红线	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	风机桩基施工和电缆铺设	间接	短期、可逆	施工期
自然岸线	长度、宽度、类型和功能	不涉及	/	/	/
鸟类	鸟类觅食、迁徙的、繁殖、栖息地	风机桩基施工和电缆铺设	直接	短期、可逆	施工期
		风机运行	直接	长期、不可逆	生产运行期

2.2.2 评价因子筛选

根据建设项目环境影响因素识别和特征污染因子识别结果，结合本区环境状况筛选评价因子及总量控制因子见表 2.2-3。

表 2.2-3 项目评价因子筛选结果一览表

类别	环境要素	评价因子
环境现状评价因子	大气	SO ₂ 、NO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、臭氧、CO
	海域	水质：水温、悬浮物质、pH、DO、COD、无机氮（以 N 计）、石油类、活性磷酸盐（以 P 计）、镉、铜、锌、铅、总铬、汞、砷、挥发酚、硫化物 沉积物：汞、镉、铅、锌、铜、铬、砷、有机碳、硫化物、石油类 生物体质量：铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、石油烃
	区域噪声	昼、夜等效 A 声级 Leq/Ln
环境影响评价因子	废气污染源	颗粒物
	废水污染源	COD、NH ₃ -N、总氮、总磷、石油类、SS
	海洋环境影响	SS
	噪声污染源	等效连续 A 声级 L_{Aeq}
	水下噪声	水下噪声频带声压级 L_{pf} 、水下噪声声压谱级 L_{ps} 、峰值声压 L_{peak}
	固废污染源	生活垃圾、危险废物

2.3 环境功能区划

项目所在区域的环境功能属性见表 2.3-1。

表 2.3-1 项目所在区域环境功能属性一览表

序号	功能区名称	评价区域所属的类别
1	大气环境功能区划	项目不属于《福州市环境空气质量功能区划》的范围
2	声环境功能区划	项目不属于《福州市城市区域声环境功能区划》的范围
3	福建省近岸海域环境功能区划（修编）（2023—2035 年）	福州东部海域二类区（FJ100-B-I）
	福建省近岸海域环境功能区划（修编）（2011—2020 年）	不在区划范围内
4	福建省“十四五”海洋生态环境保护规划	不在规划范围内

2.3.1 近岸海域环境功能区划

项目位于长乐东犬岛东侧海域，评价范围内主要水体为近岸海域。根据《福建省近岸海域环境功能区划（修编）（2023—2035 年）》（征求意见稿），项目所在区域为福州东部海域二类区（FJ100-B-I）。此外，项目评价范围内近岸海域还包括：东沙-东引岛周边海域一类区（FJ045-A-I）、东沙岛海域二类区（FJ102-B-I）等。执行标准见表 2.3-2。

表 2.3-2 福建省近岸海域环境功能区表

省级代码	功能区名称	功能区类别	主要功能	辅助功能	海水水质目标			
					2025	2030	2035	区划目标
FJ045-A-I	东沙—东引岛周边海域一类区	一类区	海洋渔业	/	一类	一类	一类	一类
FJ077-A-I	闽江口—长乐东部海域一类区	一类区	生态保护		二类	二类	二类	一类
FJ100-B-I	福州东部海域二类区	二类区	海洋渔业、海上风电	航运	一类	一类	一类	一类
FJ102-B-I	东沙岛海域二类区	二类区	海洋渔业	/	一类	一类	一类	一类
FJ103-A-I	马祖海域一类区	一类区	海洋渔业	/	二类	二类	二类	一类
FJ111-B-II	海坛海峡及海坛岛 周边海域二类区	二类区	养殖、旅游	渔业基础设施、港口、 航运、纳污、海上风电	二类	二类	二类	二类

2.4 评价标准

2.4.1 环境质量标准

(1)海水水质标准

项目风电场和海缆位于长乐东部海域，根据《福建省近岸海域环境功能区划（修编）（2023—2035 年）》，项目位于福州东部海域二类区（FJ100-B-I），所在区域海水水质目标执行《海水水质标准》（GB3097-1997）中的第一类标准。海水水质标准见表 2.4-1。

(2)海洋沉积物

根据《福建省近岸海域环境功能区划（修编）（2023—2035 年）》，项目位于福州东部海域二类区（FJ100-B-I），项目所在海域海洋沉积物执行第一类标准，详见表 2.4-2。

(3)海洋生物质量标准

根据《福建省近岸海域环境功能区划（修编）（2023—2035 年）》，项目位于福州东部海域二类区（FJ100-B-I），项目所在海域贝类海洋生物质量执行《海洋生物质量》（GB1842-2001）的第一类标准，详见表 2.4-3；其他软体动物、甲壳动物和定居性鱼类等的重金属、石油烃参照《环境影响评价技术导则-海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 执行，详见表 2.4-4。

表 2.4-1 《海水水质标准》（GB3097-1997）

项目	pH	DO	COD	无机氮	活性磷酸盐	石油类	硫化物
一类	7.8~8.5	>6	≤2	≤0.20	≤0.015	≤0.05	≤0.02
二类	7.8~8.5	>5	≤3	≤0.30	≤0.030	≤0.05	≤0.05
三类	6.8~8.8	>4	≤4	≤0.40	≤0.030	≤0.30	≤0.10
四类	6.8~8.8	>3	≤5	≤0.50	≤0.045	≤0.50	≤0.25
单位	无量纲	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
项目	锌	镉	铬	汞	砷	铅	铜
一类	≤0.020	≤0.001	≤0.05	≤0.00005	≤0.020	≤0.001	≤0.005
二类	≤0.050	≤0.005	≤0.10	≤0.0002	≤0.030	≤0.005	≤0.010
三类	≤0.10	≤0.010	≤0.20	≤0.0002	≤0.050	≤0.010	≤0.050
四类	≤0.50	≤0.010	≤0.50	≤0.0005	≤0.050	≤0.050	≤0.050
单位	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
项目	SS			水温			
一类	人为增加的量≤10			人为造成的海水温升夏季不超过 当时当地 1℃，其他季节不超过 2℃			
二类							
三类	人为增加的量≤100			人为造成的海水温升 不超过当时当地 4℃			
四类	人为增加的量≤150						
单位	mg/L			℃			

表 2.4-2 海洋沉积物质量标准 (GB18668-2002)

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

表 2.4-3 贝类海洋生物质量标准 (鲜重)

项目	贝类一类标准	贝类二类标准	贝类三类标准	单位
铬 $\leq$	0.5	2.0	6.0	mg/kg
铜 $\leq$	10	15	50	mg/kg
锌 $\leq$	20	50	100	mg/kg
砷 $\leq$	1.0	5.0	8.0	mg/kg
镉 $\leq$	0.2	2.0	5.0	mg/kg
汞 $\leq$	0.05	0.10	0.30	mg/kg
铅 $\leq$	0.1	2.0	6.0	mg/kg
石油烃 $\leq$	15	50	80	mg/kg

表 2.4-4 其他海洋生物质量标准 (鲜重)

评价因子	软体动物 (非双壳贝类)	甲壳类	鱼类	单位
总汞 $\leq$	0.3	0.2	0.3	mg/kg
镉 $\leq$	5.5	2.0	0.6	mg/kg
锌 $\leq$	250	150	40	mg/kg
铅 $\leq$	10	2	2	mg/kg
铜 $\leq$	100	100	20	mg/kg
砷 $\leq$	1	1	1	mg/kg
石油烃 $\leq$	20	20	20	mg/kg

2.4.2 污染物排放标准

(1) 废水污染物排放标准

船舶生活污水和船舶油污水委托有资质单位进行处理。

(2)固废排放标准

一般工业固体废物在厂内暂存执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》（GB18599-2020）；危险废物在厂内暂存执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）。

(3)工频电磁场

根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）控制限值，以 4kV/m 作为工频电场强度评价标准，以 100μT 作为工频磁感应强度评价标准。《电磁环境控制限值》同时规定“100kV 以下电压等级的交流输变电设施”产生的电磁场属于豁免管理范围，无需进行环境影响评价。

(4)大气污染物排放标准

项目船舶发动机排气污染物执行《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）》（GB15097-2016）表 2 中船机排气污染物第二阶段排放限值，详见表 2.4-5。

表 2.4-5 船机排气污染物第二阶段排放限值

船机类型	单缸排量 (SV) (L/缸)	额定净功率 (P)(kW)	CO (g/kWh)	HC+NO _x (g/kWh)	CH ₄ (1)(g/kWh)	PM (g/kWh)
第 1 类	SV<0.9	P≥37	5.8	5.8	1.0	0.3
	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
第二类	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<2000	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
		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。

2.5 评价工作等级

2.5.1 海洋环境

项目风电机组和海缆所在海域属于近海农渔区，装机容量为 656MW，66kV 海底电

缆路由长度共约 176.94km。根据《环境影响评价技术导则-海洋生态环境》HJ1409-2025）附录 B，并结合《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014 年），确定本项目海洋生态环境影响评价等级为 1 级，详见表 2.5-1。

表 2.5-1 海洋环境影响评价等级（摘录）

影响类型 \ 评价等级		1	2	3	J 区风电场	
					涉及工程量	评价等级
挖沟埋设管缆总长度 L(km) ^c		L≥100	60≤L<100	L<60	176.94	1 级
用海面积 S (hm ²)	围海	S≥100	S<100	/	不涉及	/
	填海	S≥50	S<50	/	不涉及	/
	其他用海 ^e	S≥200	100≤S<200	S<100	548.0959	1 级

c.挖沟埋设管缆总长度以挖沟累积长度计。

e.其他用海主要指海上风电、海上太阳能发电、海水养殖等开放式用海建设项目；不投加饵料的海水养殖项目，评价等级为 3 级。

2.5.2 环境风险评价等级

项目施工期涉及的危险物质有施工船用燃料油，按照施工船 35 艘全部投入施工保守估计，施工船载油量参考《水上溢油环境风险评估技术导则》的附表 C 中驳船载油总量计算，船用油密度按 0.8t/m³计，施工期燃料油总量 6823.2t，见表 2.5-2。

运营期涉及的危险物质有日常维护维修船舶燃料油，维护维修船舶为 2 艘小型船舶，载油量较小，保守按 100t 计算；海上风电场每台风机齿轮油 1.4t、风机变压器油 5t，41 台风机总油量（齿轮油和变压器油）为 262.4t；总量为 362.4t。

施工期和运营期 Q 值计算结果详见表 2.5-3、表 2.5-4。

表 2.5-2 施工期船舶载油量统计表

序号	船机设备名称	型号	数量	载油量 (m³/艘)	载油量 (t)
1	浮式起重船	4000t 级及以上	2	218	348.8
2	甲板运输船	10000t 级及以上	5	595	2380
3	自升式支腿船	10000t 级及以上	2	595	952
4	拖轮	4000HP 及以上	5	218	872
5	甲板运输船	10000t 级以上	3	595	1428
6	交通艇	/	5	15	60
7	抛锚艇	/	10	15	120
8	带埋设机的铺缆船	4000t	1	218	174.4
9	补给船	/	1	15	12
10	灌浆船	10000t 级以上	1	595	476
11	合计	/	35		6823.2

表 2.5-3 建设项目施工期 Q 值确定表

序号	危险物质名称	CAS 号	最大存在量 qn/t	临界量 Qn/t	该种危险物质 Q 值
1	船用燃料油	/	6823.2	100	68.232
项目 Q 值Σ					68.232

注：根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》HJ1409-2025)附录 G,油类物质的临界量为 100t。

表 2.5-4 建设项目运营期 Q 值确定表

序号	危险物质名称	CAS 号	最大存在量 qn/t	临界量 Qn/t	该种危险物质 Q 值
1	船用燃料油	/	100	100	3.624
2	风机齿轮油和变压器油	/	262.4		
项目 Q 值Σ					3.624

注：根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》HJ1409-2025)附录 G,油类物质的临界量为 100t。

参考《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2018）附录 C 中的表 C.1，其他项目的 M 值取 5，为 M4。根据危险物质数量与临界量比值（Q）和行业及生产工艺（M），确定危险物质及工艺系统危险性等级为 P4。

表 2.5-5 建设项目 M 值确定表

序号	工艺单元名称	生产工艺	M 分值
1	其他	涉及危险物质使用、贮存的项目 1	5
项目 M 值Σ			5

表 2.5-6 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

项目施工期和运营期发生风险事故时，危险物质（油类物质）排放点位于渔业用海区，海水水质执行第一类标准，根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2018）附录 D，地表水功能敏感性为较敏感（F1）。同时项目所在近岸海域一个潮周期水质点可能达到的最大水平距离的两倍范围内存在东沙—东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区，因此环境敏感目标分级为 S1。因此，地表水环境敏感性为 E1。

表 2.5-7 建设项目环境敏感特征表

类别	环境敏感特征			
地表水	受纳水体			
	序号	受纳水体名称	排放点水域环境功能	24h 内流经范围/km
	1	福州东部海域二类区	海洋渔业、海上风电、航运区	15
	内陆水体排放点下游 10km（近岸海域 1 个潮周期最大水平距离两倍）范围内敏感目标			
	序号	敏感目标名称	环境敏感特征	水质目标
	1	东沙—东引岛领海基点 特殊保护海岛 生态保护红线区	重要敏感区	海水水质标准 第一类
	地表水环境敏感程度 E 值			E1

注：根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》HJ1409-2025）附录 G，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时，敏感性为 E1。

项目危险物质及工艺系统危险性为 P4，地表水环境（海洋）敏感性为 E1，由此确定项目施工期和运营期海洋风险潜势划分均为Ⅲ，环境风险等级均为二级。

表 2.5-8 建设项目风险潜势划分

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）
环境高度敏感区（E1）	IV+	IV	Ⅲ	Ⅲ
环境中度敏感区（E2）	IV	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ
环境低度敏感区（E3）	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	I

表 2.5-8 项目环境风险评价工作等级划分

环境要素	地表水环境
危险物质及工艺系统危险性（P）	P4
环境敏感程度（E）	E1
环境风险潜势	Ⅲ
评价等级	二
环境风险综合评价等级	二

2.5.3 环境空气评价等级

工程施工期作业会产生扬尘，主要污染物为颗粒物，施工机械和船舶产生少量尾气，主要污染物为 SO₂、NO_x、CO 等。营运期风力发电及电力输送过程中均无废气产生，仅检修船舶产生少量的尾气，该部分污染物主要成分为 SO₂、NO_x等。根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），大气评价等级为三级。

2.5.4 电磁环境评价等级

根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014），100kV 以下电压等级的交流输变电设施豁免管理，本工程海底电缆电压等级 66kV，因此本项目不对电磁环境进行评价。

2.5.5 声环境评价等级

工程风电场位于海上，未划分声环境功能区，风电场距离周边声环境敏感目标较远，环境影响较小，根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ/T2.4-2021），声环境影响评价等级为三级。

2.5.6 土壤和地下水环境评价等级

根据 HJ610-2016 附录 A 地下水环境影响评价行业分类表，项目属于“E 电力、34 其他能源发电”的风力发电项目，该类项目地下水环境影响评价类别属于 IV 类。根据地下水评价导则 HJ610-2016：“IV 类建设项目不开展地下水环境影响评价”，故本项目不开展地下水环境影响评价。

根据 HJ964-2018 附录 A 土壤环境影响评价项目类别表，项目属于“电力热力燃气及水生产和供应业—其他”，项目类别属于 IV 类。根据 HJ964-2018：“IV 类建设项目可不开展土壤环境影响评价”，因此本项目不开展土壤环境影响评价。

2.5.7 其他环境影响评价等级

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014 年），海上风电项目鸟类生态和下水声环境影响评价工作不划定具体评价等级。

2.6 评价范围

2.6.1 海洋评价范围

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025），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。根据评价等级、工程特点、生态敏感区分布情况，确定评价范围，具体要求包括：

(1) 评价范围以建设项目平面布置外缘线向外的扩展距离确定，1 级、2 级和 3 级评价项目在潮流主流向的扩展距离应不小于 15km~30km、5km~15km、1km~5km，垂直于潮流主流向的扩展距离以不小于主流向扩展距离的 1/2 为宜。对于涉及生态敏感区或水动力条件较好的项目，评价范围应根据海域环境特征、污染因子扩散距离等情况，适当扩展。

(2) 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，应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。

(3)建设项目涉及多个不相连的组成部分时，分别确定评价范围；各组成部分的环境影响范围可能存在明显叠加时，应整体考虑其评价范围。

为此，项目海域评价范围以项目用海外缘线为起点进行划定，向外扩展 15km。

2.6.2 其他评价范围

(1)大气环境评价范围

根据 HJ2.2-2018，大气环境影响三级评价无须设置评价范围。

(2)声环境评价范围

根据 HJ2.4-2021，水上声环境评价范围为场区周围 200m 范围内；水下声环境评价范围与海洋环境评价范围一致。

(3)环境风险评价范围

根据 HJ169-2018，项目风险评价等级为简单分析，本次海洋环境风险评价范围与海洋环境评价范围相同。

(4)鸟类评价范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，鸟类评价范围为工程边界线向外扩展 8km 区域。

2.6.3 小结

项目的评价范围（大气、海洋环境、声环境等）见汇总见表 2.6-1。

表 2.6-1 评价范围表

评价内容	评价范围
大气	无须设置评价范围
噪声	水上声环境评价范围为场区周围 200m 范围内； 水下声环境评价范围与海洋环境评价范围一致。
海洋环境	风电场工程向东、西、南、北外扩 15km，海缆两侧外扩 1km， 覆盖周边海岛的范围，评价范围面积约 1565.62km ²
鸟类	鸟类评价范围为工程边界线向外扩展 8km 区域。
环境风险	施工期环境风险评价范围为船舶碰撞溢油扩散范围营运期无须设置评价范围

2.7 主要环境保护目标

2.7.1 海域环境敏感区和保护目标

工程附近区域评价范围内的海洋环境敏感区主要包括东沙-东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区、东沙岛领海基点生态保护红线区；项目评价范围内不涉及养殖用海区、湿地、保护区等敏感目标。项目周边环境保护目标详见表 2.7-1。

表 2.7-1 项目附近环境敏感区及环境保护目标

敏感区及敏感目标		与项目的位置关系	环境保护目标
生态保护红线区	东沙—东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区	位于风电场北侧，与本项目风电场边界紧邻，与风机距离 620m	海水水质不劣于一类标准，海洋沉积物质量和海洋生物质量不劣于一类标准
			生态保护目标
			海岛及其周围海域地形地貌；海岛生态系统；渔业资源。
			环境保护要求
	东沙岛领海基点生态保护红线区	位于风电场西北侧，与本项目风电场距离 13.5km	按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，禁止排放有害有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物及其他污染物和废弃物，禁止新设污染物集中排放口，禁止倾废，改善海洋环境质量。
			敏感对象
			东引岛周边海域是大黄鱼的传统产卵场。

3 工程分析

3.1 项目概况

3.1.1 工程基本情况

(1)项目名称：长乐外海 J 区海上风电场项目；

(2)建设单位：福建省福能海韵发电有限公司；

(3)项目性质：新建项目；

(4)工期与投资规模：总工期 20 个月，总投资约 632791.43 万元；

(5)地理位置：长乐外海 J 区海上风电场场址位于长乐东犬岛东侧海域，场址调整后中心西距东犬岛约 46km，西距长乐梅花镇岸边约 70km，规划面积 76km²，理论水深约 56~60m。

(6)海域使用和岸线使用情况：项目不涉及登陆海缆，项目建设不涉及海岸线；用海总面积为 5480959m²。

(7)建设内容及规模：拟安装 41 台单机容量为 16MW 的风力发电机组，总装机规模为 656MW，通过 66kV 海缆接入海上换流站。

(8)年运营天数：365d；

(9)日常维修维护天数：52d/a；

(10)作业班制及日昼夜小时数：3 班/日，24 小时/日；

(11)作业人数：含风电场维修维护人员数量 5 人。

(12)工程特性表：详见表 3.1-1。

表 3.1-1 长乐外海 J 区海上风电场项目工程特性表

名称		单位（或型号）	数量	备注
设计参数	海底高程	m	-59~-65	1985 国家高程基准
	离岸距离	km	70	风电场中心
	年平均风速	m/s	10.77	160m 高度
	年平均风功率密度	W/m²	1237	160m 高度
	主要风能方向		NNE、NE	
风电机组	单机容量	MW	16MW	
	装机台数	台	41	
	叶片数	片	3	
	叶轮直径	m	260	
	切入风速	m/s	3.0	
	切出风速	m/s	25	
	轮毂高度	m	160	
	发电机额定功率	kW	17000	
	发电机功率因数		0.99/0.95	
	额定电压	V	1140	
土建	发电机组基础	机组类型		风电机组
		台数	台	41
		四桩桁架式导管架	台	41
施工	主要工程量	钢材/桩	t	98706.27/88817.48
		66kV 海底电缆	km	198
	施工期限	总工期	月	20
		第一批机组发电	月	15
概算	静态投资（编制年）		万元	625260.45
	动态总投资		万元	632791.43
本工程规划装机容量		MW	656	
本工程年上网电量		万 kW·h	298563.9	
年等效满负荷小时数		h	4551	

3.1.2 工程项目组成

工程主要建设内容详见表 3.1-2。

表 3.1-2 项目主要建设工程内容

工程类别	主要内容	规模或能力
主体工程	风机	16MW 级基础平台 41 个，选用四桩导管架基础
	66KV 海缆	机组高压侧采用 3~4 台风电机为一个联合单元接线方式，41 台风机分 11 组 66kV 集电线路，接入海上换流站 66kV 母线，海缆长度为 198km（其中路由长度为 176.94km）。
辅助工程	防腐蚀	物理防护+外加电流保护法
	防冲刷	四桩导管架基础：采用预留冲刷深度和固化土防冲刷保护的双重措施
	靠船和防撞	安装航标警示标志、AIS 航标等
	监测设计	风机基础监测
依托工程	海上换流站	本项目以 66kV 集电线路接入长乐海域共建的±500kV 海上换流站，海上换流站再通过 1 回直流海缆与陆上集控站连接（不在本次评价责任范围内）
	施工码头	依托平潭港区金井码头（不在本次评价责任范围内）
环保工程	废水处理	船舶生活污水和油污水委托具有船舶污染物处理资质单位接收处理
	噪声	风机增加阻尼材料
	生态	开展海域生态补偿（如增殖放流）
	固体废物	维修维护船舶的生活垃圾委托具有船舶污染物处理资质单位接收处理，危险废物委托有资质单位进行处理

3.1.3 项目总平面布置

(1) 风电机组

长乐外海J区海上风电场项目风电机组在规划控制范围内按照矩阵布置，结合场址边界和主导风向进行布置。风机共布置5排，第一排和最后一排按照场址边界方向布置，中间四排垂直主导风向进行布置。按D为260m时，第一排主导风向上行内间距为2.3D，第二排主导风向上行内间距为2.59D，第三排主导风向上行内间距为2.51D，第四排主导风向上行内间距为2.42D，第五排主导风向上行内间距为2.28D。为了减少对场址东北侧海洋生态保护红线的影响，在通航安全分析论证后，根据环境影响评价专题调研，对风机布置方案进行了优化，风机第一排风机机位中心避让海洋生态保护红线约620m。同时为了兼顾东四方向的通航需求，第一排和第二排机位间距为11.52D，第二排与第三排机位距离14.26D，第三排机位和第四排机位距离14.64D，第四排和第五排机位距离15.05D。

项目风电场共安装41台单机容量为16MW的机型，共布置5排风机，自北向南每排风机的数量分别为9、8、8、8、8。

(2) 海底电缆

工程风电机组单机容量16MW，每套风力发电机组配套设置一套升压设备，将出口电压升压至66kV。机组高压侧采用3~4台风电机为一个联合单元接线方式，41台风机分为11组（其中8组每组4台风机和3组3台风机）66kV集电线路，接入海上换流站66kV母线，海缆长度为198km（其中路由长度为176.94km）。

3.1.4 风电机组选型与发电量

(1) 风电机组选型

项目拟安装41台单机容量为16MW的风力发电机组，技术参数详见表3.1-3。

表 3.1-3 风电机组技术参数一览表

序号	技术参数名称	技术参数
1	单机额定功率, MW	16
2	风轮直径, m	260
3	功率调节方式	变速变桨
4	启动风速	3
5	额定风速, m/s	11.3
6	切出风速, m/s	25
7	安全风速, m/s	55(10min)
8	认证等级	IECS
9	叶片材料	碳纤维/玻璃纤维增强树脂
10	叶片数量	3
11	叶片长度, m	123
12	变桨结构	电动双驱变桨
13	刹车系统	空气制动+机械制动
14	偏航系统	偏航电机驱动
15	发电机型式	永磁同步发电机
16	额定功率, kW	17000
17	额定电压, V	1380
18	频率, Hz	50

(2)发电量

项目年理论发电量、年理论净发电量及上网电量等参数详见表3.1-4。

表 3.1-4 项目风电机组发电量成果一览表

序号	技术参数名称	技术参数
1	理论发电量 (GWh/yr)	3950.73
2	全场尾流损失 (%)	4.05
3	单机最大尾流损失 (%)	5.78
4	理论净发电量 (GWh/yr)	3790.76
5	折减取值	0.788
6	上网电量 (GWh)	2985.64
7	上网小时数 (h)	4551

3.2 工程设计方案

3.2.1 主要结构形式及尺度

参照《风电场工程等级划分及设计安全标准》(NB/T10101-2018)中的有关规定,长乐外海J区海上风电场项目规模为大(1)型,工程等别为I等。风电机组基础设计级别为1

级，相应结构安全等级为一级。

3.2.1.1 风机桩基础结构

项目风机选用四桩导管架基础，基础由4根主导管和4层斜撑导管组成，斜撑导管采用“X”形连接型式。导管架顶部为过渡段，过渡段连接导管架与风机塔筒，过渡段由竖向主钢管与箱梁组成。导管架基础的4根主导管采用双斜布置方式，主导管底端设置内插连接段，并通过灌浆形式与桩基相连接。

主导管顶部间距15.0m，底部间距约34.0m，直径1.40m~3.56m，管壁厚度40mm~70mm。导管架侧面斜撑导管直径为0.70m~1.20m，管壁厚度25mm~55mm。导管架主体结构均采用DH36型钢。导管架基础交界面高程为28.5m，并设置操作平台、栏杆和爬梯等附属设施，导管架侧面设置靠船柱或护舷，爬梯和靠船柱结合布置。

每个主导管架腿外侧设置有灌浆管，插入段底部设置灌浆封隔器件。上部导管架结构通过设置内插连接段与桩基础形成连接，待导管架过渡段塔筒水平度初步调整到位后，通过灌浆管对插入段和桩之间的环形空间进行灌浆填充。四桩导管架基础桩基采用直桩钢管桩，四根钢管桩呈正四边形均匀布置，四边形边长为34.0m，钢管桩桩径4.0m，壁厚40mm~60mm，平均桩长约100m，钢管桩采用Q355NC型钢材。

沿导管架分别布置海缆保护J型套管。电缆保护J型套管固定在导管架上，上部延伸到基础平台底高程，下面伸到泥面处，采用弯曲限制器固定。

3.2.1.2 海底电缆

项目场内66kV电缆为风电场内连接各风机及风机与海上换流站电缆，路径总长度176.94m。66kV场内电缆拟选用铜导体3芯交联聚乙烯绝缘分相铅护套钢丝铠装光纤复合海底电缆，电缆全程埋设于海底，埋设深度不小于3m。

3.2.1.3 其他

项目建设内容不包含海上换流站和陆域集控中心，以上两部分建设内容不作介绍。

3.2.2 工程相关设计

3.2.2.1 防腐蚀设计

工程风电场风机设计寿命为25年，考虑施工建设期2~3年，项目防腐设计年限为28年（含施工期和25年运行期）。

(1) 腐蚀裕量计算

项目结构单面腐蚀裕量大气区按照1.0mm考虑，泥下区按照1.0mm考虑，全浸区腐蚀裕量按照2.0mm考虑，浪溅区腐蚀裕量按照6.0mm考虑。

(2)物理防护

风机基础结构的连接管、钢管桩、防撞钢管、爬梯、栏杆表面均属于Im2腐蚀性环境类别，钢平台、平台上栏杆、爬梯结构表面属于C5-M腐蚀性环境类别。涂层设计要求为，在平台以下连接管、钢管桩、防撞构件和电缆管等外表面涂800~1000μm膜厚的海工重防腐涂层，在不封闭钢构件的内表面涂600μm的海工重防腐涂层；爬梯、栏杆、外平台等采用热浸镀锌500μm涂层的防护措施。

(3)电化学防护

工程电化学防腐采用外加电流保护方法。外加电流保护法是将被保护金属与外加直流电源负极相连，利用外部阴极电流对金属进行阴极极化，以降低腐蚀速率。

表 3.2-1 风机基础防腐蚀方案

防腐蚀部位	防腐蚀方案
大气区钢管桩及钢管内侧、过渡段及导管架结构	采用双层改性环氧玻璃鳞片漆进行防腐，漆膜干膜厚度 600~1000μm。
飞溅区及水位变动区、全漫区钢管桩及导管架结构	长寿命重防腐涂料双层改性环氧玻璃鳞片漆进行防腐，漆膜干膜厚度 800-1080μm。
泥下区（钢管桩）	采用海工防腐涂层和外加电流的阴极保护方式进行防腐。

3.2.2.2 防冲刷设计

对于桩式导管架基础，桩基周围的局部冲刷较为轻微，项目最大冲刷深度为5.20m，项目不做特殊的防冲刷保护措施。

项目在电缆管末端海缆设置弯曲限制器保护装置的方案对电缆管末端海缆进行保护；项目采取J型管入泥及沙袋保护等措施。

3.2.2.3 靠船和防撞设计

工程区按无掩护海域考虑，系缆设施系缆力标准值按50kN考虑，靠船防撞设施按500t级工作船舶法向靠泊速度0.45m/s设计。

3.2.2.4 风机基础监测设计

工程拟设置5台风机基础为典型监测机位，设置36台风机基础为常规监测机位。项目监测设计的内容主要包括：塔筒倾斜振动监测、基础不均匀沉降监测、基础应力应变监测、基础腐蚀监测、基础冲刷监测等。

3.2.3 主要配套工程

3.2.3.1 电气工程

(1)接入系统：工程所在长乐海域实施海上风电集中统一送出方案，即长乐外海D、

E区、长乐外海I区（南、北）、长乐外海J区、长乐外海K区（共210万kW）统一集中送出。工程通过11回66kV集电海缆汇集至海上换流站。

(2)升压输电方案：采用无海上升压站方案。

(3)电气主接线：项目集电线路电压等级采用66kV。风电机组-升压变采用“1机1变”单元接线方式，机组高压侧采用3~4台风电机为一个联合单元接线方式，41台风机分11组66kV集电线路，接入海上换流站66kV母线。

(4)主要电气设备及导体选择

①风力发电机组主要电气参数如下：

发电机组额定容量：16MW；额定电压：1140V；额定频率：50Hz；额定功率因数： $\cos\varphi=0.99(-0.95\sim+0.95)$ 可调；数量：41台

变压器额定容量：17600kVA；电压组合：69±2×2.5%/1.14kV；联接组标号：D，yn11；数量：41台。

66kV配电装置额定电压：66kV；断路器额定电流：630A；额定开断电流：31.5kA；数量：41套。

低压断路器开关柜额定电压：1140V；额定短时耐受电流：80kA；数量：41套。

②集电线路

集电线路采用66kV海底电缆，其型号、长度详见表3.2-2。

表 3.2-2 海底电缆型号及数量一览表

序号	名称	型号及规范	单位	数量
1	66KV 光纤复合海底电缆	HYJQF4138/663*120+3*48B1	km	10.3
2	66KV 光纤复合海底电缆	HYJQF4138/663*185+3*48B1	km	10.3
3	66KV 光纤复合海底电缆	HYJQF4138/663*400+3*48B1	km	71
4	66KV 光纤复合海底电缆	HYJQF4138/663*630+3*48B1	km	106.4

3.2.3.2 通信工程

项目采用66kV海缆直接接入海上换流站，每根66kV海缆内复合2×48芯光纤。本工程拟接出3根48芯普通光缆以供使用。项目利用海上换流站传输通道，自身除海缆复合光缆外不再单独配置设备。

3.2.3.3 消防工程

海上风电机组配置自动灭火系统和化学灭火器，在每台风机机舱和塔架底部各设置2具MF/ABC4手提式磷酸铵盐干粉灭火器。

风电机组火灾报警系统能有效监测并判断火灾状态，火警信号上送换流站内火灾自

动报警控制器。火灾探测区域包括轮毂、机舱、塔架电缆通道和塔底控制柜等重点区域。风机火灾报警信号经66kV海底电缆复合光纤网络和500kV直流海底电缆复合光纤网络上送至陆上集控中心，同时火灾信息可转接至海上换流站。

3.2.3.4 储能

储能系统布置于陆上集控站，储能系统规模为210/420MWh（本项目储能规模为65MW/130MWh），该储能设施不在本报告评价范围内。

3.2.4 依托工程

3.2.4.1 海上换流站

海上换流站拟建设一座7层钢结构平台，按照无人值守方式和无人驻守平台设计，平台尺寸约为80m（长）×73m（宽）×44m（高）。

一层位于极端高潮位下最大波高时波峰以上，一层主要布置有空调机房、海水冷却装置、污水处理设备等。二层主要布置有换流阀和220kV GIS和66kV GIS等。三层主要布置有空调机房、阀冷控制保护室和220kV、66kV继电器小室等，同时包括二层部分房间的上空区域。四层主要布置有交直流继电器室和通信机房等。五层主要布置有直流场、桥臂电抗器、空调机房、变压器集油罐和电缆间等。六层主要布置有550kV GIS、联接变压器、站用变、柴油机、站用电设备和空调机房等。七层主要布置有细水雾设备及泡沫储罐间。

3.2.4.2 施工码头

工程风机位于海上，施工物资与设备在到达工程现场后需要进行运输方式的转化与调整，以满足物资场内海上运输的要求。因此，必须在工程现场附近选择合适的港口码头作为物资运输的中转站，承担水陆运输方式的转化、设备物资临时堆场与调整的功能。若采用整体安装，风机设备的拼装工作亦需要在码头进行。本项目选定平潭港区金井码头作为施工主码头，以及风机部件堆存、拼装的施工场地基地。

3.3 项目施工工艺与方法

3.3.1 施工条件

3.3.1.1 交通运输条件

工程风电机组大件运输包括钢管桩、导管架、塔筒、机舱、发电机、轮毂、叶片等，这些部件均为超大、超重部件。陆路运输受沿线道路、桥梁、限高要求各因素影响，存在较大的困难和不确定性，而水路运输有限制少、运量大等优势，因此本工程采用水路

运输方案作为钢管桩、导管架及风机设备推荐运输方案。

3.3.1.2 钢管桩、导管架等钢结构供应条件

风机钢管桩、导管架，海上升压站钢管桩、导管架及上部平台钢结构计划就近从福建沿海加工厂采购，运输采用直接从大型钢结构加工厂的自有码头海运至工程施工现场的方案。

3.3.1.3 施工物资供应条件

(1) 常规物资供应

本工程建设所需常规物资主要为水泥砂石骨料、钢材与油料等，工程区域为沿海经济发达地区，建筑材料等物资丰富，为本工程的施工提供了便利条件。

钢材：钢材可从福建三钢集团、宝钢等厂家直接购买，其生产的钢材等物资广泛应用于省内的各种港口类大型构筑物，满足本工程的要求。钢管桩省内生产厂家有福船马尾造船厂、厦门造船厂、一帆设备厂、中信重工、电建集团水电四局三峡产业与装备厂、中交三航局斗尾港、刘五店加工厂等，可由省内工厂生产，由运输驳船运至工程现场。

油料：在工程周边地区来源丰富，可直接从当地的油料供应公司购买运输至本工程施工现场。

砂石骨料及混凝土：本工程中仅导管架灌浆工作存在混凝土工程，海上导管架的灌浆浇筑采用灌浆船现拌的方案进行。

(2) 风力发电机组供应

项目所需风力发电机组可由满足设计要求的风机厂商供货，海运运输至施工现场。

(3) 电缆

项目所需电缆可由满足设计要求的电缆厂商供货，海运运输至施工现场。

3.3.1.4 施工供水、供电

项目周边大型港口的基础设施已经建设完成，其内部的水、电供应系统完备，施工期间陆上建设部分的水电供应有条件从附近的管网系统进行接引。对于风机海上布置区域，受自然条件的影响，其不存在布置水电设施的条件，风电场布置区域内施工期间的水电供应需自备配置发电设备与淡水补给设施的工程补给船。

3.3.1.5 施工布置

项目拟在平潭港区金井码头附近设置施工临时设施布置区，主要布置有施工临时办公生活区、材料仓库、设备仓库、钢结构加工厂、钢管临时堆场等部分施工临时设施，布置情况详见表3.3-1。施工场地均位于陆域，不涉及用海。

表 3.3-1 施工临时设施布置区

序号	施工临时设施布置区	建筑面积	占地面积
		单位 (m ²)	
1	机械保养场及综合加工厂	0	3000
2	风机设备临时堆存场	0	20000
3	施工临时办公生活区	2000	2500
4	施工机械设备临时堆场	0	2500
5	合计	2000	28000

3.3.2 施工交通运输

3.3.2.1 物资运输种类与特征分析

(1) 钢管桩

工程风机基础型式为四桩导管架基础，基础结构工程量详见表3.3-2。

表 3.3-2 四桩导管架基础结构工程量（单台 16MW）

编号	工程或费用名称	单位	数量	说明
1	钢管桩	t	2143.08	Q355NC，桩径 4.0m，壁厚 40~60mm，平均桩长约 100m
2	钢管桩吊耳	t	23.2	Q355NC-Z35
3	钢管桩防腐	m ²	1025.42	环氧富锌底漆 80μm+环氧重防腐涂料 2~3 道共 800μm+脂肪族聚氨酯面漆 80μm
4	钢管桩沉桩	根	4	直桩
5	导管架主结构（含制作）	t	2182.56	DH36、DH36-Z35、EH36、EH36-Z35
6	导管架安装	个	1	含运输、调平
7	导管架防腐	m ²	6175.97	环氧富锌底漆 80μm+环氧重防腐涂料 3~4 道共 1000μm+脂肪族聚氨酯面漆 80μm
8	导管架吊耳	t	24.1	DH36-Z35
9	过渡段法兰	t	45.0	Q355NE-Z35
10	外平台、栏杆及爬梯制作安装	t	42.1	Q355C、Q235B
11	靠船防撞构件制作安装	t	64.2	Q355C
12	橡胶护舷	个	8	CY 型
13	内平台及爬梯制作安装	t	14.3	Q235B
14	外加电流阴极保护系统	项	1	
15	附属构件防腐	m ²	892	环氧富锌底漆 80μm+环氧重防腐涂料 2~3 道共 600μm+脂肪族聚氨酯面漆 80μm
16	高强灌浆连接材料	m ³	73.54	灌浆料强度 130MPa

(2) 塔筒

项目所用塔筒最大长度37.532m，最大重量230.684t；各节塔筒参数详见表3.3-3。

表 3.3-3 塔筒参数表

塔筒高度（m）			136
节数	1	长度（m）	37.532
		重量（kg）	170562
	2	长度（m）	35
		重量（kg）	207086
	3	长度（m）	26.32
		重量（kg）	200361
	4	长度（m）	22.98
		重量（kg）	230684
塔架总重量（kg）			841694
钢材规格型号			Q345NC

(3)风电机组

根据设计机型，本项目所用风电机组最重件为发电机，重约400t，最长件为叶片，长123m。风电机组大部件参数详见表3.3-4。

表 3.3-4 大部件参数表

序号	大部件	尺寸（m）	重量（t）	备注
1	叶片	123×7.5×8.5	~54	3支/套
2	轮毂	8.2×7.5×6.9	~119	不含叶片
3	机舱（含发电机和齿轮箱）	13.2×8.5×14.9	~384	

(4)电缆

电缆卷盘体积大，重量大，运输时应选用具备条件的甲板驳船，吊运起重设备应同时满足吊重、吊距和吊高的要求。

3.3.2.2 场外交通运输

项目的场外运输主要为陆路运输和水路运输。陆路运输，主要包括常规物资及其他零散小件，可通过直达各港区前沿的铁路、公路，从省内、外经场址附近的铁路网、公路网，运至平潭港区金井码头。运至码头的外来物资、设备及重大件目前没有限制性因素。水路运输，根据《福建沿海航行指南》推荐航路，省内物资、设备及重大件可走内航路或中航路；省外物资可走中航路或外航路，至工程场址附近海域。

具体物资设备运输方案选择详述如下：

(1)常规物资运输方案

工程所涉及的常规外来建筑材料和物资主要为钢材、水泥、木材、油料、砂石骨料、小型电气设备等，运输量小同时运输强度低，其对外运输方案的选择与制定，主要考虑

灵活机动的公路运输。上述常规物资考虑从宁德、福州等区域的建材市场进行购买，物资来源相对单一，同时距离工程区域较近，依托周边发达的公路网络，可以选择公路运输的方式运送至各港口码头。需要运输至海上施工现场的，再通过各港口码头采用驳船运输至现场。陆路运输为各高速转京台高速，再经福州市公路网至平潭港区金井码头。

(2)海缆运输方案

海缆卷盘体积大，重量大，采用公路或铁路运输方式难度较大，国内目前海缆主要生产厂均建设在海边、江边，具备海运条件，因此海缆运输方案拟由海缆生产厂家通过专用的运输船海运（或水运）至施工现场进行铺设。

(3)风机基础物资运输方案

项目风机基础的钢管桩、导管架拟优先在福建沿海钢结构厂家中选择具有加工能力的厂家加工制作，加工件出厂后通过海路运输至施工现场。

(4)风机设备运输方案

工程单机容量为16MW的风力发电机组，其最重件是发电机，重约400t；最长件是风机叶片，长约123m，属超长运输；最高件为塔筒，高约37m，属超宽高运输。考虑到风机部件多为超大、超重部件，公路运输受沿线道路与桥梁等级设计标准、限高建筑物通行尺寸标准的限制较大，运输存在较大的困难和不确定性，而水运方案有运输限制少、运费低廉的优势，本工程采用水路方案作为本阶段风机设备推荐运输方案，由供货厂家在专用码头装船出海，经中、外航路运至项目现场附近海域后转至内航路到场内。

3.3.2.3 场内交通运输

(1)人员交通与生活用品运输

工作人员与生活用品运输水上交通运输应选用满足海事局要求的小型船只或快艇，经由平潭港区金井码头至项目现场。

(2)基础施工运输

钢管桩、导管架等由大型钢结构工厂加工完成后用具备四锚定位能力的10000t级自航甲板运输船运至施工海域风机机位，由于其他因素导致需要在平潭港区金井码头倒运的，可通过平潭港区金井码头倒运至施工海域。灌浆船从平潭港区金井码头运输至施工区，通过灌浆系统进行灌浆。

(3)风机组件运输

塔筒、机舱、轮毂、发电机、叶片及其他超重构件等在采购交货要求时，一般均要求在机位交货。因此在正常情况下，这些设备经福建省内海域的内、中、外航路直接运

到场址内。在由于其他因素导致无法正常施工安装，需滞船、码头临时中转时，可先在平潭港区金井码头堆场堆载，再由码头海运转运至施工现场。

3.3.3 主体工程施工

主体工程施工包括风力发电机组基础工程施工、机组设备及其电气设备的安装、集电线路施工等。

3.3.3.1 风电机组基础施工

风机基础为先桩式四桩导管架基础，桩基采用Q355NC直桩钢管桩，桩径4m，平均桩长约100m，壁厚40~60mm，每台4根。导管架基础顶设置操作平台、栏杆等设施，导管架侧面设置靠船护舷与爬梯等附属构件。

四桩导管架基础采用内插式导管架的设计方案，先在海底打入四根呈正方形布置的钢管桩，然后进行导管架基础整体吊装。吊装过程通过导向板将导管架腿部插入钢桩，再完成导管架基础的定位及调平工作，最后进行水下灌浆连接固定。根据工程施工由下而上进行的特点，各主要工序施工顺序为：

导管架制作→桩基施工→导管架运输安装施工→导管架调平→高强灌浆施工。

3.3.3.1.1 钢管桩、导管架基础制作与场外运输

(1) 钢管桩、导管架基础制作

钢管桩与导管架均拟在福建沿海的大型钢结构加工企业中进行整体的加工制作，通过海运至工程施工现场，初步考虑选择马尾造船厂、厦门造船厂等附近沿海钢构厂进行本工程风机基础钢构件的加工与运输工作。

(2) 钢管桩、导管架运输

钢管桩利用龙门吊或台车运至码头前沿进行出运，利用设置在出运码头的回转吊、履带吊或起重船进行装船，采用具备四锚定位能力的10000t级自航甲板运输船运输，每次运输6~8根或更多钢管桩至风电场，至少供1台风机基础完全施工使用。

导管架通过模块车滚装上船或采用大型浮吊直接吊装上船，导管架通过自航驳船运输至施工机位。导管架采用模块车滚装装船方案如下：

装在模块车上的导管架通过把模块车开上平板甲板驳船，模块车整体上船后，模块车自行顶升，把支墩放置在设备自卸鞍座正下方，通过模块车下降把导管架搁在船上放置的支墩上，空车从平板甲板驳船上驶下码头，导管架通过底部临时支座固定在驳船上，完成导管架滚装上船作业。

导管架采用立式运输，每个船次装载2~3个导管架。为保证导管架运输安全，运输

过程中不发生导管架滑脱，采用在导管架腿部安装限位的方式对导管架进行固定，根据测量人员在船舶夹板上放样点，安装加固限位支架。

3.3.3.1.2 钢管桩沉桩施工

(1) 施工工艺

钢管桩沉桩施工工艺如图3.3-1所示。

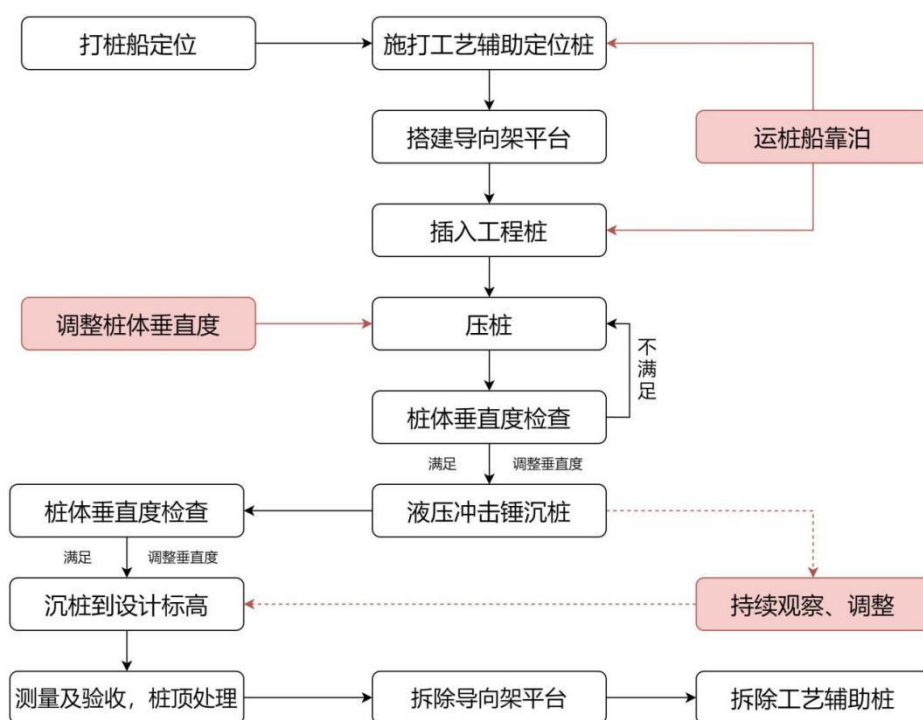


图 3.3-1 钢管桩沉桩施工工艺图

(2) 主要步骤

① 作业船抛锚、定位和安装导向架

本工序需要在外海施工，打桩船抛锚采用八字形式，在抛锚位置处挂浮筒。沉桩施工采用设置工艺辅助桩及导向架的方式来保证钢管桩沉桩的质量控制，通过搭设工艺辅助桩保证导向架的稳定，在工艺导向架上设置四个GPS控制点及两台测倾仪，并通过设置在定位导向架上的液压调平装置进行工艺定位架的调平来保证四根钢管桩的桩位平面位置及垂直度。

每台基础沉桩施工设置4根工艺辅助桩，工艺辅助桩布置在导管架每边的中心，形成一个正方形。

工艺辅助桩顶部设置整体式工艺定位架，采用型钢与四个定位桩套筒制作，桩套筒内径比设计钢管桩直径大，同时在定位架的上、下层设置液压定位系统，定位架的每边

中心底部位置设置双向和高程（X、Y、Z向）均可调节的三维调平装置，该装置与定位架连成整体一并吊装，通过液压系统的调节可纠正钢管桩在沉桩过程中的平面位置和垂直度偏差。

②沉桩

钢管桩沉桩分为两个阶段。

第一阶段将液压打桩锤起吊安装至钢管桩桩顶，将其锤击沉桩至钢管桩桩顶处于海平面上方约1m左右高度。

第二阶段起吊送桩器，将其竖转后插入钢管桩桩顶作为替打，随后重新安装液压打桩锤至送桩器顶，将钢管桩锤击沉桩至设计标高。按照以上顺序，按照对角顺序依次完成4根钢管桩的沉桩作业。

③锤击沉桩施工：

A.沉桩施工前，根据地质资料，进行打入性分析，做好三级技术交底工作，包括起重作业队、沉桩作业队等，确保施工人员熟悉施工环境和操作注意事项。

B.打桩锤套入桩顶后，起重船吊钩下放至打桩锤吊带处于松弛状态，松弛幅度控制在50cm左右，同时调整吊钩平面位置，保证吊钩始终处于锤体正上方，防止出现溜桩时锤体突然受力对吊钩、吊机产生较大冲击作用。当吊机吊钩的下落速度不及沉桩速度时，应及时停锤并调整液压打桩锤能量及锤击频率。沉桩全过程信号员始终观察吊钩、吊绳的状态，及时发出指令。

C.沉桩初始打击能量必须设定为液压打桩锤的最小能量。当桩贯入度正常，各项操作无误后，逐渐加大打击能量。当贯入量与打桩分析差别较大时，现场主要工程师应组织技术人员分析，适度调整打击能量。

D.液压打桩锤连续锤击频率一般控制在35击/min。沉桩全过程必须进行测量观测。当出现连续3阵（10击/阵）平均贯入度不超过20mm/阵时，即认为沉桩困难，应立即停锤分析原因，检查导向架结构安全后再继续打桩。

E.开始沉桩前三锤必须实施单击，每击一锤后即停锤。观察检查贯入度、桩垂直度变化情况等，确定无误后再开始连续锤击沉桩。

F.密切关注地质变化，与勘探资料进行对照，当桩底标高接近软弱土层（如淤泥质土层）时，必须减小锤击能量及锤击速率，必要时采用单击或2、3连击的方式，同时适当减小吊机松绳量，防备出现“溜桩”现象。

G.沉桩全过程操作室锤击数据的输入应安排专人旁站复核，确保操作无误。

④定位桩及导向架回收

钢管桩沉桩完成后，将液压打桩锤及送桩器回收至甲板，解除定位桩与导向架钢立柱限位钢板，将导向架重新挂钩起吊一定高度后，解除定位桩与导向架钢立柱之间的挂桩钢丝绳，重新将导向架放置在海床面上。起重船副钩起吊液压振动锤将定位桩拔起，提升至一定高度，使得定位桩上的插销槽口对准导向架槽口，将插销插入，起重船缓慢卸载，将定位桩临时固定在导向架上。

按照以上步骤依次完成4根定位桩的提升及固定，起重船再次挂设导向架吊带，缓慢加载提升导向架，将其重新平稳放置在运输船上或临时放置在其他位置，完成导向架拆除作业。

3.3.3.1.3 导管架基础施工

(1)施工工艺流程

四桩导管架风机基础沉桩完成后对桩顶进行处理、数据测量及验收，确保基础桩施工合格后，进行导管架吊装、安装并进行灌浆施工，其主要施工工艺见图3.3-2。

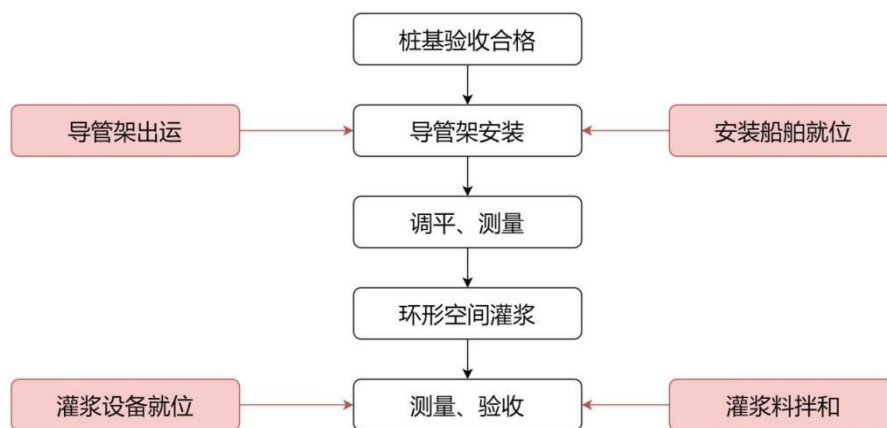


图 3.3-2 四桩导管架基础施工工艺流程图

(2)主要施工步骤

①导管架海上吊装沉放

根据初步导管架吊重、吊装尺寸的要求，采用4000t级及以上的浮式起重船进行导管架的安装工作（具体根据基础导管架的最终尺寸或重量确定起重船的吊重），考虑到吊装工序的复杂性、多次回转调整的需求，本阶段推荐全回转式起重船为推荐船型。

导管架安装在平潮时候进行。结合导管架参数，制作本工程导管架专用吊架。吊架上设置有液压油缸，用于调节导管架吊装的吊索长度，保证导管架吊装时支腿垂直于水平面。

导管架定位系统采用数字化和可视化软件系统。导管架起吊之前在平台上设置2个GPS测点，顶面法兰面布置一台测倾仪。在导管架起吊后，GPS实时测定导管架位置结合测倾仪测量导管架起吊过程中倾斜度实时反馈导管架四个支腿的平面位置及标高。如导管架与钢管桩实时相对位置图，电脑终端显示GPS、测倾仪实时测量的数据转换的导管架实时位置与之前沉桩数据通过电脑终端定位软件形成的钢管桩坐标相对应的位置。

根据导管架与钢管桩相对位置数据，起重船调整导管架位置，初步使导管架位置对准钢管桩。牵引起重船与多功能驳分别连接导管架的缆风绳，慢慢旋转导管架，直至导管架的支腿导向板对准钢管桩，下放导管架缓缓插入钢管桩，安装结束。

②导管架调平与临时锁定

导管架调平主要测量控制顶部法兰面的水平度。

导管架完成之后，拆除测倾仪和GPS，采用激光平面度测量系统进行水平度测量控制工作。

测量导管架顶部法兰面的水平度，使用激光器内置的水平仪使激光器水平，把探测靶安装在一个参考点上，上下调节使其探测到激光面。在参考点将探测靶清零，在表面上将其移动到其他任意一点，就会产生一个测量的水平度，探测靶就会显示相对于参考点的测量点的偏差，以此监控导管架顶部法兰面的水平度。

在水平调节完成之后，利用下部水平向的液压油缸工作顶撑在导管架上进行导管架与钢管桩的临时固定。

③灌浆施工

本工程导管架主导管与钢管桩连接灌浆施工采用高强化学灌浆材料，由灌浆船进行灌浆。灌浆用水采用淡水（一般为饮用自来水），出海前将饮用自来水存储在灌浆施工用船的水舱内备用。

④防腐措施

对于钢结构防腐设计，在大气区采用防腐涂层方案；在飞溅区采用防腐涂层和预留腐蚀余量的措施；在水下区采用防腐涂层和外加电流阴极保护的措施。

3.3.3.2 风电机组设备安装

项目采用风机分体安装方案，将风电机组各组件各自完成自身的预组装后，运至风场机位，在现场依次进行塔筒、机舱、轮毂与叶片组合件的安装。

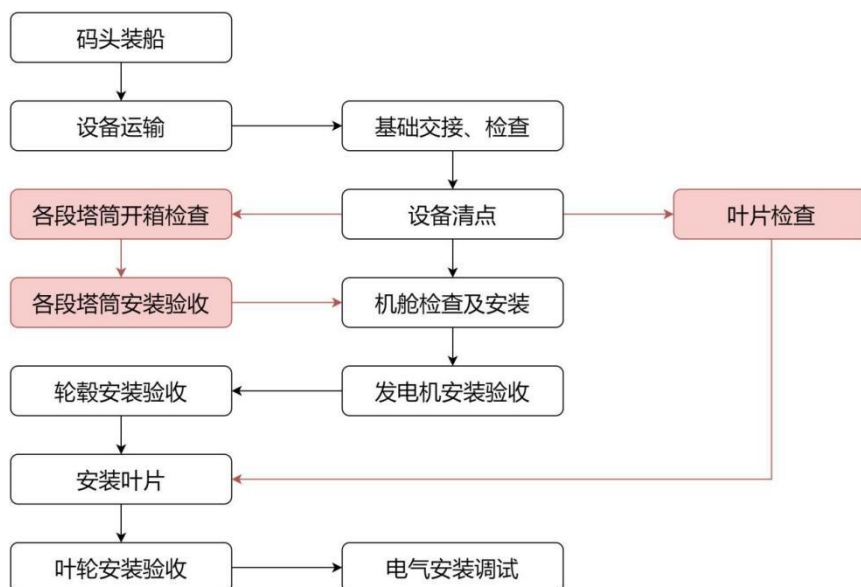


图 3.3-3 风机分体吊装施工工艺

3.3.3.2.1 施工工艺

分体吊装方案主要由码头吊装、风机专用运输船运输、海上分体吊装3个部分。本工程分体吊装方案由风机厂家自备码头装船，后运输至工程现场。由平潭港区金井码头配备的800t履带吊或浮吊船吊至风机专用运输船，运输至机位，由自升式平台船（800t以上主吊）吊装至机位安装完成。

自升式平台通过拖轮拖航至机位附近合适位置就位。10000t以上四锚定位驳船运输风机靠近自升平台，由自升式平台依次将塔筒、机舱组合体和叶片进行吊装。风力发电机组吊装应在厂家技术人员的指导下进行。风力发电机吊装分为3道工序，整个塔筒分4段分别吊装，安装完塔筒后吊装机舱+发电机+轮毂组合体，再分别吊3个叶片，共8吊。在满足风速、气象等条件下，塔筒采用分段吊装，由下至上逐节安装，调整好后，按设备安装技术要求紧固连接螺栓。吊装机舱前，按照厂家技术文件要求，将机舱的三个吊点用专用工具与吊车的吊钩固定好。安装机舱时，需2名装配人员站在塔筒平台上，机舱由起重机提升，与塔筒顶法兰空中进行对接。轮毂吊装完毕后，进行叶片吊装，采用单叶片吊装。

3.3.3.2.2 主要施工方案

(1) 风机部件组装

本工程初拟风电机组底节塔筒及内部电气设备在塔筒厂家预组装后整体出运。塔筒预拼装和部件过驳利用码头配套起重设备进行。采用10000t级及以上自航甲板驳运输至

作业现场。

(2) 风机海上运输

风机各部件安放在运输驳船的指定位置，并采取可靠固定措施，防止在海上运输过程中发生滑动导致风机部件的损坏。风机部件安放完成后使用拖轮将运输驳拖航至风场指定位置。

(3) 基础交接

检查基础环法兰与塔筒底法兰对接标记，基础法兰内侧面做一个明显标记，表示与塔筒底法兰的对接位置，一般这个位置对应筒门的方向。

(4) 自升平台船就位

本工程风电机组设备采用分体安装，安装设备采用自升降式支腿平台船。

自升式支腿平台船分体式安装方法：平台船到达拟安装机位处后，完成桩腿预压、入泥下沉、顶升、平稳等工序后，船舶上升至海面以上形成稳定的操作平台，进行风电机组各零散设备的组装工作。

(5) 吊装塔筒

塔筒吊装之前，根据风机厂家提供的作业手册检查塔筒内电缆铺设、电气设备安装是否已全部完成；施工人员与业主、监理人员对法兰进行复测，检验合格后签字确认；检查基础顶部法兰上表面，清理塔筒下段下法兰端面及基础顶部法兰上表面，满足安装要求，在法兰上表面涂密封胶；塔筒与基础之间采用螺栓连接，安装前按照装配规范要求注入润滑油（或润滑脂），润滑所有螺栓的螺纹。

每段塔筒作为一个整体进行吊装作业，通过塔筒吊装前检查，安装吊具，塔筒起吊，塔筒就位，塔筒螺栓紧固顺利，由下至上依次吊装四段塔筒。

(6) 吊装机舱发电机轮毂

将厂家提供的专用吊具安装在机舱指定的起吊处，用自升式平台主吊钩进行起吊，缓缓提起机舱联合体，调整机舱位置；在机舱提升超过上塔架的上法兰后，对准法兰标记位置，确保朝向正确，然后缓慢下落正确就位；在机舱的偏航齿圈端面离塔架上法兰的距离有1cm时，吊机停止。用导向棒对准安装螺孔，用螺栓、垫片进行装配，对称装上螺栓并拧紧。卸下吊具，吊机复位；安装完毕后进行下一步的线路的对接。

(7) 吊装叶片

单叶片的吊装利用自升式平台主吊和辅吊配合进行作业。吊装时选用厂家提供的专用夹具安装在轮毂指定的起吊处。

主吊将叶片起吊至轮毂高后，将叶片与轮毂主轴对齐后安装螺母和垫圈，依次紧固螺栓，拆卸吊具，安装后续2个叶片。

(8) 电气系统安装方案

① 塔筒动力电缆安装

主机吊装完成后，将已预安装的塔筒电缆从电缆桥架处逐组自下而上依次解除绑扎点，同时安排人员在每层平台将电缆端头引向平台的电缆过线口，慢慢向下放，并逐组放至塔基。放缆完毕后，依次由上至下按厂家要求固定电缆夹。

② 接头制作

根据风电机组厂家安装指导书要求工艺，完成电缆接头制作。

③ 轮毂电气

将滑环整理成束，沿梯子中心部分电缆支架向下敷设，敷设至控制柜支架上。其中一根通讯电缆沿控制柜侧边的金属紧固架，敷设至桨叶监测柜。多余的电缆在法兰下方的电缆支架上进行绑扎固定，防止电缆出现甩动。

④ 动力电缆与变流器电缆敷设

电缆沿电缆桥架进行敷设，敷设要求按照塔筒电缆的要求三根一组成“品”字型敷设至变流器侧接线处。在进线处左侧的电缆进入变流器左侧的进线口，在右侧的电缆进入右侧接线孔。接线过程中，电缆要求避开变流器底部的水管接头处。

⑤ 接地电缆敷设

变流器和塔基柜接地电流沿底部线槽和动力电缆桥架向下敷设至导管架下侧的接地环上。塔基变压器与UPS的接地电缆沿前部电缆桥架向下敷设至导管架底部的接地环上。高压柜和主变压器、低压柜的接地电缆沿底部线槽向前或向后（就近原则）敷设，再沿导管架壁上支架敷设至接地环。所有线耳与接地环连接后，需要使用镀锌漆均匀涂抹在连接处。

⑥ 塔外平台电缆安装

电缆沿塔筒内桥架至塔筒外，沿塔筒外桥架至散热器及生活应急舱。

3.3.3.3 电缆敷设施工

海底电缆的敷设正常海况条件为六级以下风力，施工船舶受横流小于2.5节，海上正常作业条件下的敷设速度为3m/min。海缆敷设主要施工工艺如下：

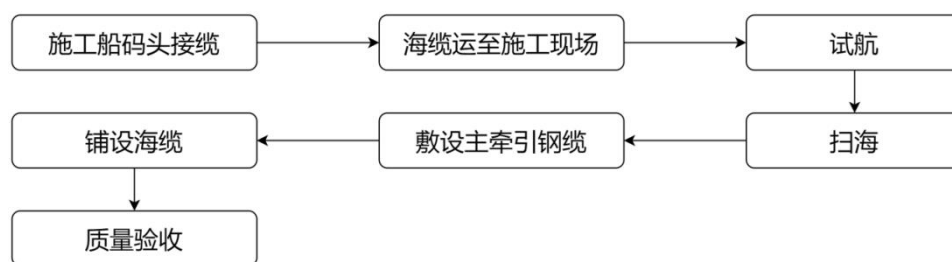


图 3.3-4 海缆敷设施工工艺

3.3.3.3.1 电缆敷设准备

(1) 现场调查

现场确认登陆点位置和登陆段电缆路由，复核施工区域的水文气象情况，特别是根据流向流速、潮高、潮时等来计算确定施工船施工时就位的最佳位置和最佳时间。同时安排专人收集权威的当地海域气象预报，做好安全应对工作，安装土建监控装置等系统建设。在施工船抵达施工现场前，利用GPS测量系统对路由两端登陆点以及工程的各主要控制点进行测量复核。

(2) 海缆过驳

在海缆过驳前，先对海缆进行出厂试验，待试验符合设计标准后方可进行过驳施工，海底电缆的过缆索作业方式可分为整体吊装和散装过缆。

(3) 路由扫海

路由扫海主要是为施工船施工时清除电缆路由上的一切障碍物，如渔网、废缆、绳索等，如遇到不能清除的障碍物，探明情况后，拟定解决方案并由建设单位确认。按作业方式的不同可分为拖锚扫海，声呐、多波束等仪器扫海，ROV（水下机器人）扫海等方式。施工前需沿每条设计路由往返扫海多次，直至施工路由上无影响埋设犁正常施工的障碍物为止，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定解决方案并立即告知业主及监理。在对主干海缆路由扫海中，应特别注意对深水沟槽的了解，便于施工时采取相应措施。

(4) 试航

施工船舶到达施工现场后，首先安排施工船在设计施工路由区域内进行试航，以熟悉施工区域内设计路由的各个关键点及潮水情况。试航过程中，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，确保船舶、电缆输送机、埋设犁、锚泊系统、卷扬机等重要施工设备及监测装置的正常工作，确保施工顺利进行及海缆敷设质量。

(5) 敷设主牵引钢缆

由于海缆施工船一般无自航动力，需靠收绞主牵引钢缆沿设计路由埋设施工。本工程由于工程路由中间有几处转向点，牵引钢缆敷设时采用DGPS定位系统，确保施工时施工船沿设计路由进行海缆的埋设施工。

3.3.3.3.2 海缆敷设施工

根据国内目前海上电缆铺设施工安装经验、项目区海缆路由调查情况等条件，本工程海缆施工采用牵引式敷埋方法，即在海缆施工船上设置牵引卷扬机，收绞预先敷埋在路由轴线上的牵引钢缆，牵引敷埋施工船前进。施工船的航向偏差由施工拖轮或舵桨侧推纠正。在敷埋施工船一侧船舷同时牵引水下埋设机，海缆由导缆笼进入埋设机后，被埋设于海床上。

敷缆船调遣至施工海域之后，对影响施工的海上渔业设施进行清理。施工船对海缆路由两侧各20m范围进行扫测。

(1) 电缆装船

①铺缆船开始动员，在码头将出海所需的一切设备、机具、材料都一起装船。设备和机具在装船前都已经进行了调试，上船后做好加固，装船结束后，进行清点，按计划拖航至电缆厂码头或指定电缆交接地点。

②采用吊装或其他形式在电缆交接地点将需要铺设的电缆安放至铺缆船甲板上，所有电缆配件全部上船，特别注意电缆附件种类多、结构较小、易损坏，需要妥善放置船上，并与厂家人员办好交接手续。全部完成后，清点物品，准备驶往施工地点。

(2) 海缆敷设施工

离岸段管道采用铺缆船开沟铺缆的施工方法，通过陆上及海上运输设备运输电缆至铺缆船上，淤泥土、海泥、海砂开挖采用铺缆船自带高压水枪将管线两侧泥沙冲散，用气升式设备将其送到缆线周边地区，管道靠自重下沉。在敷设过程中，通过水下监视器和遥控车监视和调整，控制铺缆船的航行速度、电缆释放速度来控制电缆的入水角度以及敷设张力，避免由于弯曲半径过小或张力过大而损伤电缆。

初步考虑采用专业海底电缆敷设船配备牵引式高压水射水埋设机或开沟犁进行敷埋施工，铺缆船队由铺设施工船、锚艇、工作交通艇组成，铺设施工船上布置有主要铺缆设备，根据电缆路由进行电缆的敷设施工。电缆埋深按不小于3.0m控制。本工程海缆存在跨越航道，过航道海缆埋深应不小于3.5m。施工船依靠水力埋设机的开沟犁挖沟后敷设，敷设过程应通过船上监测仪器全程监控，控制铺埋速度，监测电缆张力和埋设深度。

施工过程中施工船位控制由施工船转推进器和全回转拖轮进行辅助控制，以实现横向流的控制。

(3) 电缆登陆海上换流站、风机平台施工

造坡施工完成后回收埋设犁，按照设计要求进行铺设。对铺设电缆长度进行测量，确认长度，切断电缆，电缆做密封处理，并按设计要求安装电缆弯曲限制器、柔性电缆保护管以及拖拉网套。电缆采用“S”弯铺设，并在电缆上绑好悬浮物下放；接头即将离开固定储缆池时，连接反牵拉钢丝绳。船舶继续绞船靠近末端时，当电缆端头到达弧形托架处连接第二根反牵拉钢丝绳进行牵拉。电缆进入电缆护管后潜水员将浮球割掉，电缆密封塞弯曲限制器达到设计位置后，停止牵拉电缆。检测合格后完成电缆锚固，对电缆进行入柜接线及光纤的熔接。

(4) 海缆敷设路由标记

本工程选用加强铠装的海缆，以提高海缆的机械强度，并通过海缆深埋的方式，避免海缆受到损坏。海底电缆铺设路由，由DGPS设备根据船舶铺设过程中实时打点确定，并在路由图上明显标注转弯路由坐标，并形成报告上报监理人和发包方。海底电缆敷设路径范围内电缆转弯处、端部等部位，在海底电缆施工完成后，设置相关标志，并及时将实际敷设路由以书面形式通知发包方将实际敷设路由向当地海洋管理部门申报，由海图出版部门将该路由标于新颁海图，对船只、人员加以警示。

(5) 海缆交越施工

根据调查，项目海缆敷设不存在交越施工。

3.3.3.3.3 电缆保护

(1) 工程海底电缆敷设竣工后9日内，业主单位应将海底电缆的路线图、位置表等注册登记资料报送当地县级以上人民政府海洋行政主管部门备案，并同时抄报海事管理机构，将电缆位置加入相应的航海图内。省级以上人民政府海洋行政主管部门每年会向社会发布海底电缆管道公告，划定海底电缆管道保护区，禁止在海底电缆保护区内从事挖沙、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆安全的海上作业。

(2) 对海底电缆管道保护区和海底电缆管道的线路等设置标识。国家鼓励海底电缆管道所有者对海底电缆管道保护区和海底电缆管道的线路等设置标识。在电缆登陆两岸竖立海底电缆位置标示牌，指示在该水域范围内有海底电缆禁止投锚。标识牌应分别设在电缆路径左右两侧，每回2块。设置标识时，应向县级以上人民政府海洋行政主管部门

备案。

(3)各风机及相关固定设施与海床相连的位置，应预留出一定长度的备用缆线，以防止海床冲刷后缆线的悬空。在风电场工程运行期间进行水下地形断面监测，如发现保护层较薄，可采用抛沙袋结合混凝土块覆盖、水下短桩固定人工草或阻流板等保护措施，必要时可采用后冲埋方式重新将电缆埋设。

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

(5)为全天候监测海缆附近船舶活动、温度及应力，设置海缆监测系统（含AIS），用于对海缆各运行参数的监测。

3.3.4 施工进度

(1)施工准备从2027年1月1日开始，进行工程准备工作，主要有施工码头场地租用、场内外道路运输道路的修建等。施工码头场地租用、平整及场内外运输道路的工作于2027年3月底完成。

(2)风力发电机组基础的施工是工期控制性工序，2027年4月风力发电机组基础开始施工。计划2027年9月底完成首批31台风机基础，2028年6月底完成剩余10台风机基础。

(3)风力发电机组采用自带DP系统的自升式支腿船分批次吊装，2028年4月风机开始安装。计划2028年8月上旬完成全部41台风机安装。完成风机安装，机组调试工作在每台机组安装完成后即可进行。

(4)本工程海上部分于2027年4月开工，首批25台机组2028年6月底并网发电，第二批16台机组2028年8月底并网发电，总工期20个月。

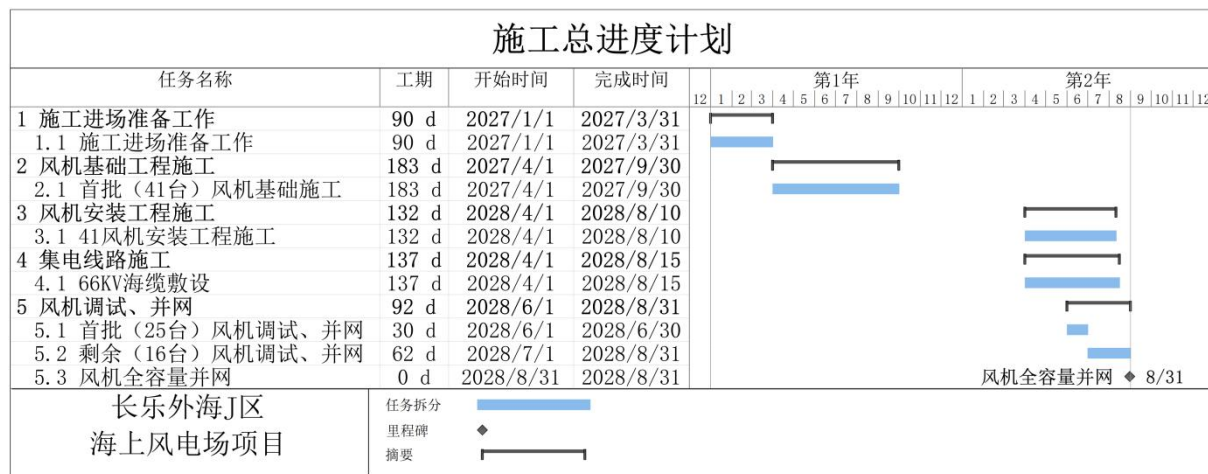


图 3.3-5 施工总进度计划图

3.3.5 施工资源供应

3.3.5.1 劳动力配置

本工程劳动力资源供应根据高峰与平均时段的施工强度，并参照类似工程实际的劳动力资源供应情况制定。

根据工程不同的施工时段，高峰时段月投入劳动力为390人，平均时段月投入劳动力为200人。

3.3.5.2 主要施工机械设备

根据本工程的施工布置、主要工程量和计划进度安排，本工程施工所需的主要机械设备汇总见下表。

表 3.3-5 四桩导管架基础施工主要设备配置表

序号	名称	型号规格	单位	数量	备注
1	浮式起重船	4000t 级及以上（吊机规格）	艘	2	钢管桩沉桩（配置 S-4000 型液压打桩锤）、导管架沉放
3	甲板运输船	10000t 级及以上具备四锚定位能力的自航甲板运输船	艘	1	钢管桩运输
4	甲板运输船		艘	1	导管架运输
5	拖轮	4000HP 及以上	艘	2	拖运、移位起重船（全场调用）
6	交通艇		艘	4	接送人员（全场调用）
7	抛锚艇		艘	4	甲板驳、起重船等起抛锚（全场调用）
8	补给船		艘	1	淡水与生活物资补给（全场调用）
9	送桩器		套	1	适合桩径、水深
10	灌浆船		艘	1	导管架灌浆

表 3.3-6 风机分体安装施工主要设备配置表

序号	名称	型号规格	单位	数量	备注
1	自升式支腿船	/	艘	2	风机安装
2	甲板运输船	10000t 级及以上具备四锚定位能力的自航甲板运输船	艘	3	塔筒和风电设备组件运输
3	拖轮	4000HP 及以上	艘	1	进出场拖运、移动支腿吊装船（全场调用）
4	抛锚艇		艘	4	运输船、拖轮等抛锚（全场调用）
5	履带式起重机	800t	台	1	风机组件现场转运装船（受交货影响）
6	汽车吊	160t	台	1	风机码头卸车（船）、装船辅助

表 3.3-7 电缆敷设施工主要设备配置表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	带埋设机的铺缆船	4000t 载重量	艘	1	海底电缆铺设
2	卷扬机		台	2	电缆牵引
3	拖轮	4000HP 及以上	艘	2	铺缆船拖航及稳定性控制
4	抛锚艇		艘	2	铺缆船抛锚
5	交通艇		艘	1	

3.3.6 土石方分析

根据项目工程预可行性研究报告可知，钢管桩基础采用S-4000型液压打桩锤进行沉桩，施工期间无钻渣产生，同时风机基础无防冲刷防护垫层等措施，因此，项目施工期间土石方主要涉及环节包括：海缆管沟开挖和混凝土填芯及浇筑，其中：

海缆管沟开挖：海域管沟开挖完成后直接进行覆盖回填，没有多余土石方产生。

海工混凝土浇筑：风机基础混凝土填芯及风机基础灌浆，所需海工混凝土全部通过商业购买形式获得。

3.4 工艺流程及产污环节分析

3.4.1 施工期工艺流程及产污环节

(1) 风机基础施工

风机基础施工与吊装施工工序和产污环节见图3.4-1。

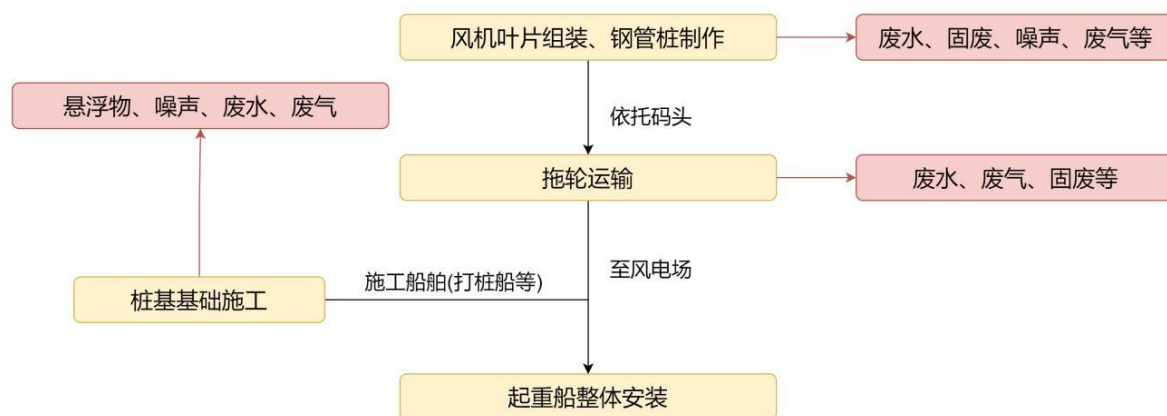


图 3.4-1 风机基础施工与吊装施工工序和产污环节图

由上图可知，风机基础施工与吊装过程中海域主要污染环节为打桩时产生的悬浮物、施工船舶产生的废水、废气以及固废等，其中废气主要为施工机械燃油废气，固废主要为施工人员生活垃圾以及施工废料等。风机安装与吊装过程中基本无污染物产生。

(2) 海缆施工

海底电缆施工工序和产污环节见图3.4-2。

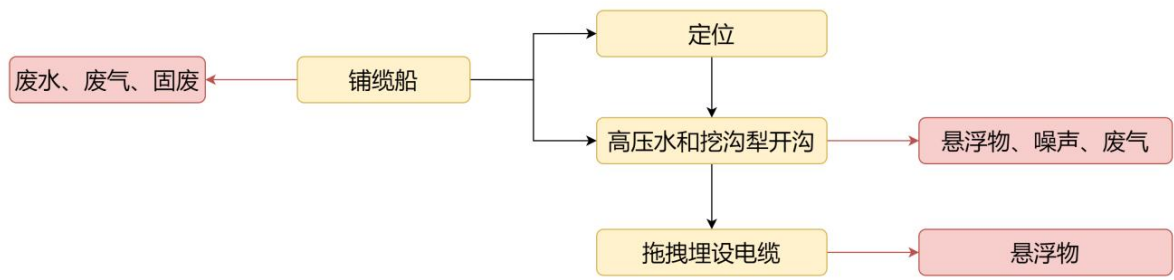


图 3.4-2 海底电缆施工工序和产污环节图

由上图可知，海底电缆施工过程中海域主要污染环节为挖沟犁开沟过程以及埋设电缆过程中产生的悬浮物，其中废气主要为施工机械燃油废气。此外，由于施工多在海上进行，因此还包括施工船只、运输船只的燃油废气、噪声、含油废水等；同时施工人员有生活污水、生活垃圾产生。

3.4.2 营运期工艺流程及产污环节

风电场营运期间主要工艺为海上风机发电，风电机组发出电能通过66kV海底电缆接入换流站。

(1) 风机结构及工作原理

风力发电机组是把风能转化为电能的装置。其工作原理是利用空气流动经过叶片，形成叶片正反面压力差，带动风轮旋转并不断横切空气流体，由风轮转动带动发电机，将机械能转化为电能并输出。工程运行期间的运行工序及产污流程详见图3.4-3。

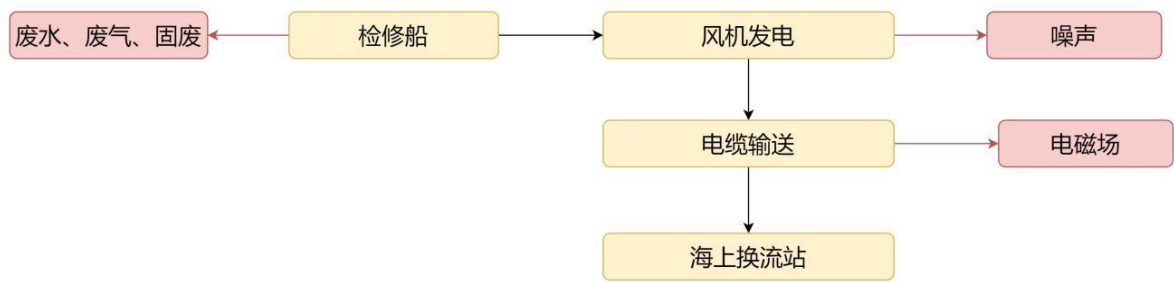


图 3.4-3 风电场营运期运行工序及产污环节示意图

(2) 产污环节分析

运行期风电场主要环境污染因素包括风机机组运行噪声、海底电缆有工频电磁场。另外，风机运行维护船舶将产生少量的船舶废气和噪声影响，以及风机维护维修产生的含油污水、固体废物和生活垃圾等。

3.5 工程分析

3.5.1 施工期污染因素及源强核算

3.5.1.1 施工期废水

(1)含油污水

①船舶含油污水

施工期间船舶含油污水主要来自机舱油污水，根据统计本项目施工期共投入各种船舶35艘，《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018），船舶舱底油污水产生量依据船型而不同，具体统计情况见表3.5-1。

根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018）要求，舱底油污水含油量按实测资料确定，无实测资料时，可取2000~20000mg/L，计算时取平均值11000mg/L，按保守考虑，所有船舶同时施工作业，则施工期船舶含油污水产生量为41.84t/d，海上施工期按600天计（20个月），石油类污染物产生量为276.14t。施工期船舶油污水委托海事部门认可资质单位进行处理。

表 3.5-1 主要施工船机设备表

船机名称	规格	数量	舱底油污水产生量 (t/d·艘)	油污水产生量 (t/d)
浮式起重船	4000t 级及以上	2	1.10	2.2
甲板运输船	10000t 级及以上	5	2.8	14
自升式支腿船	10000t 级及以上	2	2.8	5.6
拖轮	4000HP 及以上	5	1.10	5.5
甲板运输船	10000t 级以上	3	2.8	8.4
交通艇	/	5	0.14	0.7
抛锚艇		10	0.14	1.4
带埋设机的铺缆船	4000t	1	1.10	1.1
补给船		1	0.14	0.14
灌浆船	10000t 级以上	1	2.8	2.8
合计	/	35	/	41.84

②机修油污水

项目施工期大型设备包括：起重机、履带吊机、卷扬机等，施工高峰时同时投入使用量约30台，若每天设备检修率按照1%计算，机修用水量按1m³/台。次计，陆域年施工作业天数按600天计，则每天机修用水量为0.3m³，年用水量为180m³，污水产生吸水按0.8计，则污水产生量为144m³/a，石油类浓度约为500mg/L，则石油类污染物产生量为0.07t/a。

由于本项目位于长乐外海，距离岸边较远，施工期间船舶产生的油污水禁止排放，

统一收集后交由专业的接收船舶予以接收处置。

(3)船舶生活污水

项目施工期按照每艘施工船配置10人考虑，高峰时船舶上工作人员数量可达350人，根据《国内航行海船法定检验技术规则》，生活污水按照每人每天70L计算，则船舶工作人员生活污水产生量为24.5m³/d。船舶施工工作日按600天计算，保守估计，施工期船舶工作人员生活污水产生量为14700m³/a。船舶生活污水统一收集后，委托有船舶污染物处理资质单位接收处理，不对外排放。

(4)灌浆船冲洗废水

工程施工期间配备1艘灌浆船，单艘船舶配备2台搅拌设备，每组一天冲洗2次，每组单次10m³冲洗水量，则灌浆船每天的冲洗废水量约为40m³/d，主要含SS浓度达5000mg/L，pH值约为11。灌浆船一般在到岸码头冲洗，冲洗废水收集至陆域进行沉淀处理后回用。

(4)悬浮泥沙

①电缆敷设悬浮物源强

电缆敷设悬浮物源强按以下公式进行计算：

$$S=A \cdot v \cdot \rho \cdot p \cdot f$$

其中：S——悬浮物源强，kg/(m²·s)；

A——海缆开挖横截面积，m²；

v——海缆施工速度，m/s；

ρ——底质沉积物干密度，kg/m³；

p——含水率，无量纲；

f——起沙率，无量纲。

根据项目施工组织设计，电缆敷设深度常规段按不小于3.0m，穿越航路段按不小于3.5m，沟槽底宽0.5~1m，沟上顶宽1~1.5m，开挖沟剖面为倒梯形，正常铺设速度为3m/min。根据《工程岩土勘查报告》，表层淤泥干密度平均值为1055kg/m³，海缆施工的悬浮物源强按开挖土石方量的15%计算。

根据公式计算可得，本工程电缆敷设常规段悬浮沙的产生速率约为29.7kg/s，穿越航路段悬浮沙的产生速率约为34.6kg/s。

②风机基础悬浮物源强

项目风机基础采用液压振动锤振动下沉，施工时导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，

污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。根据类似风电工程，打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加（10mg/L）范围一般半径在100m内。风机桩基施工悬浮物影响范围据此给出，因此不作预测，面积按1.29km²考虑。

辅助桩施工产生的悬沙源强小于海缆铺设悬沙源强，其扩散范围将包含在海缆铺设产生的影响范围内，因此，不对辅助桩施工悬沙扩散进行预测。

3.5.1.2 施工期废气

(1)施工现场污染源强

根据分析，影响施工扬尘产生量的因素主要有：土壤或建筑材料的粒径大小，颗粒粒径越大，越不易飞扬；建筑材料的含水量，含水量高的材料不易飞扬；气候条件：风越大、湿度越小，越易产生扬尘，当风速大于3m/s时，就会有扬尘产生；运输车辆和施工机械行驶速度：行驶速度越快，扬尘产生量越大。根据同类工地现场监测，施工作业场地附近地面扬尘浓度可达1.5~30mg/m³。

(2)船舶排放废气

工程在施工过程中所使用的施工机械、船舶和运输车辆均以柴油或汽油为燃料，施工机械和车辆运行会产生一定量废气，主要污染物质包括NO_x、CO、SO₂等。海域施工区，施工船舶和机械在运行中会排放一定量的废气，影响海上环境空气质量。

3.5.1.3 施工期噪声

(1)打桩噪声

水下打桩可分为冲击打桩和振动打桩两类。水下冲击打桩是海洋工程的典型主要强噪声来源，其特点为高声源级，单次冲击表现为脉冲式宽频波形，而对于一根桩柱需要多次冲击才能完成作业，因此表现为连续多个脉冲的脉冲串。参考厦门大学硕士论文（海上风电场水下打桩噪声研究-张然），打桩噪声的峰值源强与桩径的关系式为：

$$SL=228.5 \cdot D^{0.0672}$$

以上公式是厦门大学基于国内外桩径为0~6.5m（包含6.5m）的打桩实测数据得到的，式中D为桩径，单位为m，SL为距离打桩点1m处打桩噪声全频段峰峰声源级，单位为dB。

本工程风机四桩导管架桩径4米，代入公式可计算得到施工打桩的峰值噪声源强为251dBre1μPa@1m。

(2)施工船舶及机械噪声

本工程施工期主要机械设备的噪声源强见表3.5-2。

表 3.5-2 施工机械噪声源强

序号	机械设备名称	噪声源强, dB(A) (距声源 10m)	序号	机械设备名称	噪声源强, dB(A) (距声源 10m)
1	S-4000 型液压打桩锤	102	8	轮式施工小型平台	70
2	两栖挖掘机	82	9	潜水泵	70
3	卷扬机	80	10	伸缩立柱式履带起重机	75
4	履带式布缆机	75	11	装载机	75
5	拖泵	70	12	载重汽车	80
6	牵引车	75	13	插入式振捣器	70
7	液压振动锤	85	14	自卸汽车	82

3.5.1.4 施工期固体废物

施工期高峰时船舶上工作人员数量可达350人,按照每人1kg/d的产生量估算,则垃圾产生量为350kg/d,年施工期按600天计,生活垃圾产生量为210t。施工期间船舶产生的生活垃圾,统一收集后委托船舶污染物接收单位接收处置,生活垃圾统一收集后交由市政环卫部门进行处理。施工期污染物排放状况见表3.5-4。

3.5.1.5 施工期环境风险

风电场距离东侧中航路较近,存在航路船舶与施工船舶发生碰撞溢油事故的风险。本次以主要施工4000吨级拖船为例,燃油舱容量取为船舶吨位的10%,最多可装燃油400t,分5个燃油舱,平均一个舱装燃油80t,溢油量取为80t。

表 3.5-3 施工期污染物排放状况

环境要素	污染源		发生情况	主要污染物	排放/处理方式
水环境	含油污水	船舶含油污水	41.84m ³ /d	石油类	资质单位接收处理
	生活污水	船舶生活污水	24.5m ³ /d	COD、BOD、氨氮、SS	资质单位接收
	悬浮泥沙	海缆铺设	15.8kg/s	SS	自然排放
声环境	水下打桩噪声		251dB	噪声	自然传播
	施工船舶、机械作业		70-102dB		
大气环境	船舶废气		/	SO ₂ 、NO _x 、CO	自然排放
	陆域施工场地		1.5~30mg/m ³	扬尘	
固体废物	船舶生活垃圾		350kg/d	生活垃圾	船舶污染物单位接收处理
环境风险	事故溢油		80t	石油类	事故溢油防范措施

3.5.2 营运期产污环节及源强核算

3.5.2.1 营运期废水

(1) 生活污水

营运期间巡视和检修时有人员进出，每周巡检一次。按每次巡检人数5人，生活污水按照每人每天70L计算，则船舶工作人员生活污水产生量为 $0.35\text{m}^3/\text{d}$ 。按照每周巡视检查一次，每年工作天数为52天，则巡检人员生活污水年产生量为 $18.2\text{m}^3/\text{a}$ ，船舶生活污水主要污染物浓度按COD350mg/L、BOD150mg/L、SS350mg/L、氨氮40mg/L计，则污染物产生量为COD6.37kg/a、BOD2.73kg/a、SS6.37kg/a、氨氮0.728kg/a。船舶生活污水交由海事局认可的资质单位接收处理，禁止向海域排放。

(2)含油污水

参考《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018），工作船舱底油污水产生量为 $0.14\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{艘}$ ，工作船每周巡查一次，每年工作天数为52天，含油污水产生量为 $7.28\text{m}^3/\text{a}$ ，舱底油污水含油量取11000mg/L，石油类污染物产生量为80.08kg/a。含油污水在船舶上密封储存，到港后交由海事局认可的资质单位接收处理。

(3)海缆保护层溶解稀释

项目海底电缆外护层采用石油沥青，由不同分子量的碳氢化合物及其非金属衍生物组成的黑褐色复杂混合物，呈液态、半固态或固态，是一种防水防潮和防腐的有机胶凝材料。沥青麻被长期暴露在海底腐蚀环境下，其浸出物质对海洋水质及生态环境存在一定潜在影响。根据《电缆沥青技术标准》（SH/T0001-1990）（2004年确认），电缆外护层的防腐涂料的沥青是经由天然石油减压蒸馏的渣油经氧化制得。

沥青的主要组分为油分、树脂和沥青质，其次有高沸点矿物油和少量的氧、硫和氯的化合物。电缆沥青理化性质见表 3.5-5。由于构成沥青的直链烷烃化学性质极稳定，在常温条件下沥青与强酸、强碱、强氧化剂和强还原剂等都不起化学反应或反应速度很慢，沥青更不会与水发生反应，所以沥青表现出水稳定性。针对沥青对生物，包括农作物及水生生物的影响，国外曾做过一系列研究。首先由于沥青不溶于水，其对水中有机生物的影响很小（Kingetal.2001）。对于沥青的生物毒性，Miller 于 1980 年在实验室进行了一次为期 56 天的植物生长实验，结果显示沥青对豆类和谷物的生长基本无影响。Morgan&Mulder 于 1960 年在农田进行的沥青物质喷洒实验，将沥青乳状液喷洒于土壤表面并形成薄膜，实验结果同样显示其对农作物生长无影响（Morgan&Mulder1995）。可见，沥青对植物生长基本无影响。

表 3.5-5 电缆沥青理化性质表

项目	指标
含量	99.48%
外观与性状	黑色液体、半固体或固体
沸点 (°C)	<470
相对密度 (水=1)	1.15-1.25
闪点 (°C)	204.4
引燃温度 (°C)	485
溶解性	不溶于水、不溶于丙酮、乙醚、稀乙醇， 溶于二硫化碳、四氯化碳等有机溶剂

此外，自 1980 年以来全世界 50 个国家和地区的 230 多项与饮水工程有关的水工构筑物中使用沥青作为防渗材料，而大部分供水钢管在其内有采用沥青防腐涂层，这也可以从另一个侧面说明沥青对水质和生态环境基本无影响。

综上，石油沥青不含有酚和苯等有毒物质和重金属，不溶于水，化学性质稳定，与水不发生化学反应，没有反应产物。沥青用于本项目海底电缆外保护层不会污染项目海域的海水水质和生态环境。

3.5.2.2 营运期废气

海上风场营运期主要是风力发电，风机发电过程无废气产生。检修船舶在往返项目区的途中产生少量的尾气，为无组织自然排放，对大气环境影响较小。

3.5.2.3 营运期噪声

(1) 风机噪声分析

工程运行期主要噪声源为风机运行产生的噪声，风机运行过程中产生的噪声主要有机械（结构）噪声和空气动力学噪声。

① 机械噪声及结构噪声

齿轮噪声：啮合的齿轮对或齿轮组，由于互撞和摩擦激起齿轮体的振动，而通过固体结构辐射齿轮噪声。

轴承噪声：由轴承内相对运动元件之间的摩擦和振动及转动部件的不平衡或相对运动元件之间的撞击引起振动辐射产生噪声。

周期作用力激发的噪声：由转动轴等旋转机械部件产生周期作用力激发的噪声。

电机噪声：不平衡的电磁力使电机产生电磁振动，并通过固体结构辐射电磁噪声。

机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源，而且对人的干扰度最大。这部分噪声是能够控制的，其主要途径是避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，如提高加工

工艺和安装精度，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件等。为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声。

②空气动力噪声

空气动力噪声由叶片与空气之间作用产生，它的大小与风速有关，随风速增大而增强。处理空气动力噪声的困难在于其声源处在传播媒质中，因而不容易分离出声源区。

③通风设备噪声

散热器、通风机等辅助设备产生的噪声。

④单台风机噪声

风机运行过程中产生的噪声主要由机械及结构噪声和空气动力噪声组成。空气动力噪声主要由叶片快速转动从而形成气流湍流扰动形成，因此叶片转速越高造成的空气动力噪声越强。

(2)水上噪声

风力发电机组在运转过程中产生的噪声来自叶片扫风产生的噪声和机组内部机械运转产生的噪声，其中以机组内部的机械噪声为主。本项目采用的风机启动风速在3m/s，额定风速为12.9m/s，切出风速为25m/s，当风速达到或超过额定风速时，风机噪声源强（主要为空气动力噪声）亦达到最高。当环境风速进一步升高时风机噪声不会进一步增强，而周围自然风和树木等的背景噪声会进一步提高，因此风电机组在额定转速条件下的噪声影响最为明显。本工程风力单台风力发电机组噪声采用最大声功率110dB计算。

(3)水下噪声

营运期的水下噪声主要由风机运转而产生，尤其是低频噪声通过结构振动经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生了水下噪声。风机运行中水下噪声的频谱级基本上都相似，总体强度随频率增加而明显较小，在1~20kHz中功率谱级分布在140dB/1μPa到65dB/1μPa之间，在120到1.5kHz有一较宽的裙带状谱，强度增加为10~20dB/1μPa。

3.5.2.4 营运期固体废物

(1)生活垃圾

检修船产生的生活垃圾，每次巡检人数5人，按照每人1kg/d的产生量估算，则垃圾产生量为5kg/d。每周巡视检查一次，每年工作天数为52天，则巡检人员生活污水垃圾年产生量为0.26t/a。船舶生活垃圾收集后委托海事局认可的资质单位接收处理。

(2)危险废物

工程运行期间产生的危险废物主要为风机机舱和轮毂更换的润滑油，风机日常维护产生的少量含油抹布。

①废润滑油：润滑油约每3~5年更换一次，每台风机内部润滑油约1.4t。按每3年更换一次，则润滑油产生量约57.4t/3a。风电场风机更换的润滑油收集后交由有资质单位处理、处置。

②含油抹布：风机日常维护产生少量含油抹布，根据陆上同类工程类比情况，维护产生含油抹布的量约为100kg/a。

③废铅蓄电池：海上风机变电设备运行过程产生废铅蓄电池，产生量约30kg/a。

含油抹布、废油等危险废物统一委托有资质单位接收处置。

3.5.2.5 电磁辐射及无线电干扰

风电场输电电缆埋设于海底3m以下，海缆有加强铠装保护，敷设于海底后有较好的屏蔽作用，根据类比监测情况，电缆敷设后对沿线基本无电磁、无线电干扰影响。

3.5.2.6 环境风险

工程单台风机内部设置66kV变压器，其油品为脂油，主要用于降温作用，油量约为1.2t，呈密封状态；同时风机机舱和轮毂中还存在较多润滑油，油品主要为油脂、液压油等，约1.4m³。当风机桩基失稳倒塌导致内部油料泄漏后，对周边海洋环境会产生影响。

综上，营运期污染物排放状况见下表3.5-6。

表 3.5-6 营运期主要污染物产生情况一览表

种类	污染源	污染物	产生量	削减量	排放量	拟采取措施
废水	含油污水	油类	7.28m ³ /a	7.28m ³ /a	0	交由有资质单位处理
	维护生活污水	COD、SS、氨氮等	18.2m ³ /a	18.2m ³ /a	0	纳入集控中心统一处理
固体废物	风机内部	润滑油	57.4t/3a	57.4t/3	0	交由有资质单位处理
	风机内部	废铅蓄电池	0.03kg/a	0.03kg/a	0	交由有资质单位处理
	风机内部	含油抹布	0.01t/a	0.01t/a	0	交由有资质单位处理
	运行维护	生活垃圾	0.26t/a	0.26t/a	0	运至岸上处置
噪声	风机运转	噪声	110dB(A)	0	110dB(A)	/
环境风险	风机主变油	石油类	1.2t/台	/	/	环境风险事故溢油防范措施
	风机齿轮箱润滑油	石油类	1.4m ³ /台	/	/	

3.5.3 工程各阶段非污染环节与环境影响分析

(1) 工程建设对水动力环境的影响

本项目建成后，风机基础受涨落潮影响，风机基础在一定程度上改变局部海底地形，对周边海域潮流场产生一定影响，尤其是风机墩柱周围的流速和流向均会发生变化。

(2) 工程建设造成海底地形地貌及冲淤变化

本项目在区域内呈斑点状分布，风机之间间距较大。由于底流在风机基础周围产生涡流和局部冲刷，风机基础和升压站在一定程度上改变局部海床自然性状，其地形地貌也将有所改变，产生局部的冲刷或淤积。

(3) 对鸟类的影响

① 对鸟类栖息和觅食的影响

风电机在运转过程中会产生叶片扫风噪声和机械运转噪声。风机运行将直接对发电场鸟类栖息和觅食产生影响。鸟类在风电场范围内的飞行，存在鸟类碰撞叶片而伤亡的风险，所以风电场范围不再适宜作为鸟类的栖息觅食场所。

② 对鸟类迁徙的影响

风力发电场都占有鸟类迁徙通道很大的面积，横亘在鸟类迁徙路线上，对鸟类迁徙形成障碍。

③ 对鸟类存活的影响

风机叶片旋转的范围在离地面40~120m之间，是鸟类飞行通过风机的高风险区域，有被风机叶片撞击的危险。

(4) 通航影响

施工期船舶增加对周边航道船舶通行造成影响；营运期由于风电场存在可能影响周边航道的正常通行。

(5) 海洋生态和渔业生产

本工程风机基础、升压站等永久占用海域，将减少海域资源，造成底栖生物死亡；电缆铺设施工对海底进行开挖，将造成部分底栖生物的掩埋或死亡；施工产生的悬浮物对海洋生物造成影响。

风场所在海域具有渔业捕捞功能，风场建成后将造成渔业捕捞面积减少；风场建设导致部分养殖户无法继续进行养殖生产。

4 环境现状调查与评价

4.1 自然环境概况

4.1.1 气象条件

平潭海洋站位于福建省平潭东澳村，该站地处平潭岛东南突出部，南临坛南湾，北临海坛湾，距本工程场址中心约77km。

4.1.1.1 气温

该站累年平均气温为19.6℃。年平均气温最高为21.2℃，出现在2007年；最低为18.4℃，出现在1984年。极端最高气温为41.1℃，出现在2003年9月2日。极端最低气温为2.5℃，出现于1986年2月28日。

4.1.1.2 风速风向

据平潭气象站风速监测数据显示：本区域内风况总体上是冬季以东北风为主，夏季台风影响较大；主导风向为NNE，频率33.7%。

4.1.1.3 降水

(1)降水量

根据1980—2008年平潭海洋站降水实测资料统计，平潭海洋站平均年降水量为1088.5mm。年最多降水量为1739.9mm，出现于1983年；最少为148.0mm，出现于2005年。降水量60%集中在3月至6月的雨季和7月至8月的台风季节，其中6月最多，占全年的17.3%。降水量以12月最少，仅占全年的2.5%。月最多降水量为553.4mm，出现于2000年6月。月最少降水量为0.0mm，1月至12月每月都有出现，尤其是2003年以来，月最少降水量为0.0mm的情况较为常见。

(2)降水日数

平潭海洋站年平均降水日数为157.9天。年最多降水日数为229天，出现在1984年，最少为21天，出现在2003年。月平均降水日数最多为18.6天，出现在3月；最少为8.7天，出现在7月。月降水日数最多为31天（大月）或30天（小月），出现在2007年3月、2008年7月、2005年9月和11月；最少为0天，各个月份都有出现，尤其是2003年以后，连续一个月无降水的情况常有出现。一年中，暴雨除12月外，其他各月均有出现，以出现在3月、5月—9月出现日数较多，以6月最多，历年来累计暴雨日数共计134日。

4.1.1.4 气压

根据平潭海洋站1980—2008年气象资料，该站累年平均气压为1010.3hPa。气压的年

平均值差异不大，年平均气压最高为1012.1hPa，出现于2008年；最低为1008.7hPa，出现在2001年。1980年—2008年各月平均、最高、最低气压。

4.1.1.5 相对湿度

平潭海洋站累年平均相对湿度为83.1%

4.1.1.6 雾

平潭海洋站年平均雾日为22.3天。

4.1.2 地质地貌

4.1.2.1 地形地貌

场区位于福建省福州市长乐区东犬岛东部海域。工程区地貌类型为海积成因，场址区处于深海区水下缓坡、水下堆积台地、平原。场区内未见其他构筑物，且未有岛礁出露。工程区内海底地形总体表现为西部地势相对较高，东部地势相对较低的变化趋势，地形坡度较为平坦，海底地形比降约为4.1‰，区内海底高程一般在-59.0~-65.0m（1985高程）。场地内水下滑坡、沟壑等不发育，海底亦未见明显阶地。

4.1.2.2 区域地质构造

在大地构造单元上，工程场地位于台湾海峡沉降带。台湾海峡沉降带东临台湾隆起带，西临闽东火山断拗带。台湾海峡沉降区大致位于长乐—诏安断裂带以东，台湾海峡东侧断裂以西，为大面积间歇性沉降带。根据运动形式和幅度的差异，大致以长乐—诏安断裂带和台湾海峡东侧断裂为界。

区域构造总体是由纵贯东南沿海的北北东—北东向滨海断裂带、台湾海峡东侧断裂带以及多组北西向断裂带形成本区域的构造格局。

区域内断裂构造发育，主要有：北北东—北东向的台湾海峡东侧断裂（F1）、滨海断裂带（F2）、长乐—诏安断裂带（F3）以及多组北西向断裂带形成本区域的构造格局。

其中，北北东—北东向一组规模较大，纵贯全区，尤以台湾海峡地区的北北东—北东向滨海断裂在晚第四纪时期强烈活动，是本区域强震发震构造。工程场地位于北北东—北东向长乐—诏安断裂带外段北西向约50km附近。

(1) 北北东—北东向断裂带

本区域内北西向断裂主要有：台湾海峡东侧断裂（F1）、滨海断裂带（F2）和长乐—诏安断裂带（F3）。这些断裂走向北东20-30°，倾向北西或南东，倾角65-75°，属于压扭性力学性质，断裂规模较大，纵贯全区，是本区域强震发震构造。其中，活动时代

较新、对工程场地影响较大的断裂主要有：

①滨海断裂带（F2）

位于台湾海峡的滨海断裂带，由多条次级断裂斜列组合而成，走向北北东—北东，各次级断裂之间被北西向断裂所分隔。该断裂整体倾向南东，局部倾向北西，倾角较陡，甚至近于直立。中新生代以来，由于太平洋内板块构造运动的影响，滨海断裂带成了大陆沿海与台湾海峡的重要地质分界线，滨海断裂带以西主要为侏罗纪—白垩纪的火山岩、火山碎屑岩和变质岩区，而断裂以东为第三纪以来的沉积层，沉积厚度 3—5km，向东逐渐加厚，至台湾西部平原最厚，可达 9000m 以上。因此，滨海断裂带是福建沿海隆起区与台湾海峡新生代沉降区的分界断裂。受北西向断裂的分割作用，滨海断裂带可分成平潭海外段（F2-1）、泉州海外段（F2-2）、金门海外段（F2-3）等，各段之间呈斜列状分布。

平潭海外段（F2-1），该部分滨海断裂带西侧沉积物厚度仅为 100—300 米，东侧呈巨厚。

泉州海外段（F2-2）为台湾海峡段滨海断裂带中部的主要段落，该断裂倾角较陡，倾向北西。断裂西盘中生带火山岩和变质岩埋深只有 200~500m，其上主要为第四纪泥质沉积；断裂东盘为第三系沉积和第四纪沉积物，厚度由西向东逐渐增加，由数百米增至 3000m 以上，沿该断裂有新生代玄武岩喷溢。

金门海外段（F2-3）倾角较陡，倾向南东，由 2~3 条次级断裂平行组合而成。断裂以西为中生代火山岩、变质岩，埋深只有几百米，以东则新生代地层厚度迅速加大，最厚达 5000m 以上，沿断裂有玄武岩喷溢。该段断裂错断地层达至第四系底界。金门海外段不仅是海底地形坡度变化的转折点，而且是大陆隆起与沉积拗陷的分界，因此，是一条活动时代很新的断裂带。类比构造特征相似的泉州海外段和南澳海外段，金门海外段应是一条全新世活动断裂。

综上所述，滨海断裂带中的泉州海外段、金门海外段为全新世活动断裂，平潭海外段为第四纪早期断裂。

②长乐—诏安断裂带（F3）

长乐—诏安断裂带位于东南沿海丘陵地带，呈北东向平行海岸线展布，该断裂带形迹从福州川石岛、琅岐岛，经长乐、福清、笏石、晋江、厦门、漳浦至诏安一带，延伸总长度大于 350km，为福建沿海大断裂。其形迹在福清绵亭岭至渔溪地段最大宽度可达十多 km。由动力变质带、断裂、硅化带、片理化带组成。断裂走向北东 45°、倾向南东、

倾角 65-75°。循断裂常见花岗斑岩、钾长斑岩、石英脉、辉绿岩或煌斑岩脉侵入，形成岩墙或脉群带，说明该断裂具有多期活动的特点。第四纪时期断裂仍有明显活动性，具有压扭性力学性质。据断层活动年代测定表明，这些断裂明显活动时代为中更新世，晚更新世以来断裂仅在某些局部地段，特别是与北西向断裂交汇部位（如漳州盆地）仍有活动。如 1937 年莆田 $4\frac{3}{4}$ 级地震，以及在惠安、安溪、晋江安海等地 $4\frac{3}{4}$ — $5\frac{3}{4}$ 级地震等。其中，对工程场地影响最大的是长乐—诏安西北侧外段。

(2) 近东西向断裂带

本区近东西向断裂受多期构造运动破坏、干扰、截接，形迹多呈片段不连续分布。断裂走向多为北西 290~270°，海域时代不明。

4.1.2.3 工程地质条件

(1) 地层特征及特征

根据本次勘察资料，并结合中地层剖面探测成果，场区海域内主要分布的地层岩性如下：第四系海（冲）积砂土、淤泥、淤泥质土、淤泥混砂、粉质黏土、黏土及风化土层等。场区内下伏基岩岩性主要为燕山期侵入的花岗岩。具体岩土层分布特征描述（自上而下）如下：

(a) 海相堆积（ Q^m ）、冲洪积（ Q^{al+pl} ）

①-1 淤泥（ Q^m ）：深灰色，饱和，流塑，以粘性土为主，含有机质及少量碎贝壳。干强度中等，韧性中等，具有腥臭味，切面有光泽。局部地段缺失，一般厚度 4.5~6.5m。

①-2 淤泥混砂（ Q^m ）：灰色，饱和，流塑，以粘性土为主，含有机质及少量碎贝壳，局部夹薄层状粉砂及团块。干强度中等，韧性中等，具有腥臭味，切面有光泽。一般厚度 0.6~2.0m。层底埋深 2.0—7.1m。

②粉细砂（ Q^m ）：灰黄色，饱和，稍密~中密，以粉砂为主，泥质含量一般大于 20%，夹少量不均匀黏土薄层及团块。厚度 1.3~7.3m。层底埋深 7.4—9.3m。

③砂质粉土夹黏土（ Q^m ）：灰色，饱和，稍密~中密，不均匀，含多层黏土薄层，局部呈互层状。局部缺失，厚度 9.6~14.0m。

④粉质黏土夹砂（ Q^m ）：浅灰色，湿，软塑~硬可塑，成分以粉、粘粒为主，夹薄层状粉砂，局部呈互层状，含少量碎贝壳及云母碎片，土质不均，夹 0.4—1.3m 粉砂薄层。粘性感较强，无摇晃反应，切面较光滑，干强度中等，韧性一般。厚度 1.50~8.10m。层底埋深 10.8—20.3m。

⑤粉质黏土（ Q^{al+pl} ）：灰色，局部少量褐黄色斑，湿，可塑，黏性大，切面较光滑，

混少量粉砂，韧性高，局部含少量细砂斑点。厚度 2.2~3.4m。层底埋深 14.2—22.5m。

⑥粉砂 (Q^{al+pl})：灰色，饱和，中密~密实，含少量泥质，颗粒级配不良，砂质纯净，厚度 6.5—14.0m。层底埋深 20.7—34.0m。

⑦细中砂 (Q^{al+pl})：浅灰白色，饱和，中密~密实，石英质，颗粒级配不良，分选性好，砂质纯净，厚度 4.8~8.3m。层底埋深 29.0—38.8m。

⑧粉质黏土 (Q^{al+pl})：灰色，湿，可塑~坚硬，韧性高，切面光滑，局部夹少量微薄层粉砂。粘性感较强，无摇震反应，切面较光滑，有光泽，干强度高，韧性高，厚度 6.4~10.2m。层底埋深 39.2—47.8m。

⑨细砂夹黏土 (Q^{al+pl})：灰色，饱和，密实，石英质，以细砂为主，夹多层薄层黏性土，层厚 1—5cm，混少量贝壳碎屑，局部夹厚约 30cm 的黏性土。厚度 1.9~7.0m。层底埋深 41.1—54.8m。

⑩-1 粉质黏土 (Q^{al+pl})：灰色，湿，硬塑，韧性低，黏性大，切面光滑，含少量粉砂斑团。无摇震反应，切面较光滑，有光泽，干强度高，韧性高，厚度 3.6~20.4m。层底埋深 51.7—66.7m。

⑩-2 砂质粉土夹黏土 (Q^{al+pl})：灰色，饱和，密实，不均匀，含多层黏土薄层，局部呈互层状。局部缺失，厚度 9.0~9.2m。层底埋深 60.0—60.9m。

⑩-3 粉质黏土 (Q^{al+pl})：灰色，湿，硬塑~坚硬，韧性低，切面粗糙，黏性中等，夹多层微薄层粉砂，层厚 0.5~2.0cm，局部呈互层状。无摇震反应，切面较光滑，有光泽，干强度高，韧性高，厚度 2.0~13.5m。层底埋深 62.09—75.0m。

⑪粉质黏土夹砂 (Q^{al+pl})：灰色，湿，硬塑~坚硬，成分以粘粒为主，夹薄层状粉砂，含少量碎贝壳及云母碎片，粘性感较强，无摇震反应，切面较光滑，干强度中等，韧性一般。厚度 6.2~13.1。层底埋深 73.0—88.1m。

⑫细砂混黏土 (Q^{al+pl})：灰色，饱和，密实，泥约占 15%~20%。夹较多不均匀黏土薄层，局部呈互层状，厚度 2.3~4.0m。层底埋深 76.5—90.4m。

⑬粉质黏土夹砂 (Q^{al+pl})：灰色，湿，硬塑~坚硬，韧性低，夹薄层中砂，层厚 5cm—30cm 不等，黏性大。粘性感较强，无摇震反应，切面较光滑，干强度较高，韧性较高。厚度 2.1~11.9m。层底埋深 84.8—92.9m。

⑭粉细砂 (Q^{al+pl})：浅灰色，饱和，密实，石英质，颗粒级配不良，分选性好，混极少量黏粒，厚度 87.7—100.06m。

⑮粉质黏土夹砂 (Q^{al+pl})：灰色，湿，硬塑~坚硬，韧性低，夹薄层粉砂，层厚

0.3cm—0.5cm 不等，本层未揭穿，厚度大于 5.0m。

(2)地质构造

拟建场地及其附近未发现活动性断裂通过，新构造运动表现微弱，主要表现为断块差异升降，地壳运动相对稳定。场址及其附近未发现海床冲刷沟、浅层气、海底塌陷、滑坡等不良地质现象。场地稳定性属于基本稳定，适宜本工程建设。

(3)水文地质条件

本场地内地下水主要为赋存于第四系地层的孔隙性潜水，富水层主要为砂性土。本场区内松散岩类孔隙潜水赋水性和渗透性具有各向异性，根据相关搜集资料，地下水主要接受海水和大气降水入渗补给，排泄主要通过蒸发形式。钻孔揭示：强透水④粉砂、⑥粉砂、⑦细砂、⑨粉砂等层处于两相对隔水层（粉质黏土）之间，略具承压性，且地层所处的坡度整体较为平缓，虽存在承压水，但承压水头较小，承压水流速缓慢，根据周边的桩基施工经验，本工程承压水对桩基施工影响较小。经调查搜资，场地及周边无明显的影响地表水和地下水的污染源。

(4)不良地质作用

场址区地形总体呈西高东低。表面地层为静水沉积的淤泥，未发现严重的冲刷现象，未见冲刷槽、谷，潮流沙脊，沙丘，活动沙坡，陡坎等不良地质现象，依据区域资料，本场地海底稳定性中等，福建大陆架海域为较稳定区域。综合分析，本场区可不考虑海底滑坡、崩塌、地裂、采空区等不良地质现象。

拟建场区海洋水动力作用较强，拟建场区的表层地基土为软弱土层，在台风暴浪等较强的海洋水动力作用下易发生迁移和变形，对风机基础稳定不利。可通过采取桩基础等措施处理后可消除其不利影响。

(5)场地稳定性与适宜性评价

拟建场址位于福建省福州市连江县东侧海域，区域地壳稳定性等级属于区域稳定区。根据区域地质资料及本次钻探结果，未发现有明显的断裂带，也未发现全新活动性断裂通过，可不考虑活动断裂的影响。除海底表层分布有软弱土层，未发现其他不良地质作用发育，故本场地适宜海上风电场的建设。

拟建场区的表层地基土为软弱土层，在台风暴浪等较强的海洋水动力作用下易发生迁移和变形，对风机基础和海上升压站基础稳定不利，选址无法避开。可通过采取桩基础等措施处理后可消除其不利影响。通过上述处理措施，场地和地基的稳定性能得到保证，较适宜后期风电场的建设。

综上所述，拟建场地基本稳定，较适宜本工程的建设。

4.1.3 主要自然灾害

(1) 台风

台风路径资料采用1949—2011年上海台风研究所编制的《台风年鉴》《热带气旋年鉴》，以及2012—2021年国际台风路径报文资料中截取的台风路径点信息。台风影响期间的风雨资料选自福建省气象台站的观测值。

1949—2021年登陆福建的热带气旋总计107个，年平均1.52个，达到台风等级的个数最多，为42个，占39.25%；其次是强热带风暴，为33个，占30.84%；热带风暴和强台风分别为27个和5个。

热带气旋影响期间气象站观测到的10分钟平均最大风速出现在东山站，为48.0m/s，由1980年登陆漳浦的15号超强台风“Percy”影响。瞬时风速最大出现在罗源站，为56.1m/s，由2018年登陆罗源的第8号超强台风“玛利亚”所致。

(2) 风暴潮

我国沿海一带，每年夏、秋两季频遭台风侵袭，而冬、春两季又常受到气旋后部强冷空气造成的大风袭击，因此经常有风暴潮发生。在某些浅水海湾区域台风风暴潮有时高达3m之巨，加之狂涛巨浪的冲击，常致海堤溃决，泛滥成灾，严重危及人民生命财产的安全。自然资源部第三海洋研究所根据福建沿海各潮位站实测潮位资料经过天文潮位和台风风暴潮水位分离后得到的各测站的台风风暴潮增水情况，琯头站最大增水幅度达2.5m以上，增幅大于1m的经常发生（梅花站、平潭站）。

(3) 地震

场址位于长乐东侧海域，参照《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）和《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010（2016年版））有关规定，工程区II类场地基本地震动峰值加速度为0.05g，相应的地震基本烈度为VI度，II类场地基本地震动加速度反应谱特征周期为0.45s。场地覆盖土层厚度大于50米，初步判别拟建场地类别为III类，场地地震动峰值加速度调整为0.065g，相应的地震基本烈度为VI度，设计地震分组为第三组，场地地震动加速度反应谱特征周期为0.65s。最终的地震动参数及场区抗震设防烈度以场地的地震安全性评价报告为准。

场地表层主要为淤泥，其承载力特征值小于80kPa且等效剪切波速大于90m/s，在90~100m/s间，根据《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009年版）5.7.11条及

条文说明，初步判定①淤泥在Ⅶ度抗震设防烈度下不会产生震陷现象。

依据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）（2016版）和《水运工程抗震设计规范》JTS146-2012，本工程场区20m范围内无饱和粉土、砂土分布，可不考虑液化影响。

4.2 资源分布与利用现状

4.2.1 海洋渔业资源

长乐区沿海滩涂和水域广阔，海洋生物种类繁多，资源丰富。据调查，海域有鱼、虾、蟹、藻等共700多种，其中鱼类100多种，经济价值较高的有30种以上。长乐区近海为闽中渔场，该渔场海洋生物资源丰富。是本市海域最主要的捕捞区，面积约32138.2km²，渔业资源中有鱼类487种。常见捕捞种类有带鱼、鳓鱼、马鲛鱼类、虾类、蟹类、短尾大眼鲷、乌贼、毛虾、蓝圆鲈、鲐鱼、日本鳀、绒纹鳞鲷等。

4.2.2 港口资源

福州海岸线长，岛屿海湾多，因此港口众多。从福州市港口资源条件看，目前港口码头开发利用的重点是福州港可门深水港区 and 琯头粗芦岛港区。

可门港区位于罗源湾的入海口可门头之内，罗源湾海域面积的三分之二属连江可门港。可门港具有深水、避风、避浪、规模大、锚地大、航道宽且顺直的特点，是福州港国际集装箱和大型散杂货、大型矿建、能源运输的主要港区，是全国少有的天然深水港湾。2002年，经交通运输部、省政府联合审查，将罗源湾可门港区规划纳入《福州港总体规划》，并已把罗源湾南岸可门港作为福州外海深水港，定位为国际集装箱和散杂货运输为主的多功能综合性深水港区、福建省及省外腹地外贸物资运输的重要口岸、福建对台“三通”的重要通道。根据规划，可门港区近期可供开发建设用地面积63km²，远期100km²，并将生活区规划在官岭一带，延伸至城关。岸线总长约30km（新辉至浮曦），南岸线约9.4km，可建码头38个，其中万吨级以上26个，西岸线约18.9km，可建码头50个，其中可建5万吨级集装箱码头泊位25个。其后方4万亩多的大官坂垦区及广阔的马透平原具备承接石油、化工、钢铁、电力等大型临海工业和物流企业的天然优势，是福建省未来发展大型临港工业的首选地。

琯头粗芦岛港区位于闽江口南岸，闽江口入海处，四面环海。陆域宽广，掩护条件好，波浪小，泊稳条件好，可满足集装箱船舶的泊稳要求。港区距104国道6.5km，目前长门与粗芦岛相连的粗芦大桥一桥、二桥均已竣工通车。港区至沈海高速公路琯头互通口仅8km。粗芦岛港区将以船舶修造产业链的打造、延伸为主，打造成全省乃至东南沿

海一带具有一定规模和影响力的船舶修造基地和远洋渔业基地。

4.2.3 海岛资源

项目论证范围内无海岛分布，西北侧连江近岸海域有多个岛屿，分别是黄岐半岛、马祖列岛、东鼓礁群岛等。

(1) 黄岐半岛

黄岐半岛在福建省东部海岸。向东北伸入罗源湾与定海湾、黄岐湾间，北有东洛岛，东南遥对马祖列岛，西以莺头、官岭一线与官坂、笔架山毗连，属连江县。

(2) 马祖列岛

马祖列岛，在县境东部，由大小28个岛屿组成，呈东北向规则排列，为闽江口天然屏障，海防要地。与黄岐半岛一衣带水，最近点仅9.25km，东距台湾基隆211km，南距金门281km。总面积24.02km²。最大主岛为马祖岛（南竿塘），面积10.44km²；次为北竿塘岛（含高登、亮岛，大、小丘），面积7.14km²。

(3) 东鼓礁群岛

东鼓礁群岛属大陆架无人居住群岛，离黄岐镇2.6海里。群岛由横厝礁、圆山仔、牛尾东、三牙四个主体岛组成，分布面积长达近1km，宽0.5km。四个岛屿均呈东西长，南北窄，总面积达0.0822km²。岛屿略成南北横列对峙，相隔约200米，构成狭窄水道，可供熟悉海区船只航行。岛屿大小不同，高低不一，均属海滨低山丘陵，山地平缓，坡度小。岛上水土流失严重，可称不毛之地，为粗骨性红壤与花岗岩石组合，多花岗岩遍布，嶙峋叠嶂，沿岸峭壁挺立，弯曲破碎，长达2.15km，海底地势西北高，约以0.5米/里的坡度向东南倾斜。

4.2.4 旅游资源

项目所在长乐区近岸海域周边滨海旅游资源主要有：下沙海滨度假村、东洛岛旅游度假区、大鹤海滨森林公园、海峡奥林匹克城、显应宫等。下沙海滨度假村开发于1986年，海峡奥林匹克城已经由外商投资建设并投入使用；大鹤海滨森林公园投资项目正在与外商洽谈中；东洛岛旅游度假区有待开发。

项目西北侧连江县近岸主要有敖江、黄岐半岛和马祖列岛等。其中，敖江为福建省独流入海的第六大河流，干流全长137km，其中连江境内流程63km，自小沧流经县城，到东岱注入东海。以“敖江十二景”最为著名。

黄岐半岛位于福州市连江县，面积约135km²。黄岐镇是黄岐半岛重要的旅游城市，

重要的旅游景点为望乡亭、观音阁、鸡母坛和仙人招手岩等景点。该岛有丰富的自然景观和人文景观。黄岐半岛有着著名的定海湾和黄岐湾。由于面对马祖列岛，地理位置独特。明代全国建12座城堡，黄岐半岛占7座。

马祖列岛是连江县最大的岛屿，由高登、北竿、南竿等28个大小岛屿组成，以最大岛屿马祖得名。在连江县东部海域中，与黄岐半岛遥遥相望，从东北向西南略呈斜形。其中高登岛离大陆（黄岐岛）最近，仅5海里。

4.2.5 风能资源

根据欧洲中期天气预报中心第五代ECMWF大气全球气候数据ERA5数据库，数据库为水平分辨率25km、离地100m高度的高斯网格数据，时间分辨率为逐小时。在风电场场址最近处选择建立一个虚拟测风塔，测风塔的详细配置见表4.2-1。

表 4.2-1 测风塔配置情况表

塔号	ERA5 虚拟
高程	0m
位置	
配置情况	风速观测层高为：100.00m；风向观测层高为：100.00m； 温度观测层高为：2.00m；气压观测层高为：0.00m；
测风时段	2013-01-0100:00:00~2022-12-3123:00:00
数据量	87648
数据完整率	100.00%

4.2.5.1 逐月平均

根据虚拟测风塔风数据分析得逐月平均风速见表4.2-2。100m高度多年平均风速为9.95m/s，年平均风功率密度898W/m²，依据《风电场工程风能资源测量与评估技术规范》（NB/T31147-2018）风功率密度等级划分标准，本风电场风功率密度等级达到6级，风资源很丰富，具有很好的开发利用价值。

4.2.5.2 风向

根据测风仪的实测风向数据分析得测风年100.00m高度风向数据统计结果，全年盛行风向为NE、NNE，占全部风向的53.78%，其次为SSW，约占全部风向的10.43%。

4.2.5.3 代表年逐月平均风速和风功率密度

风电场年内各月平均风速及风功率密度变化较大，四月、五月、八月风速及风功率较小，十月到十二月风速及风功率较大。

4.2.5.4 代表年逐时平均风速和风功率密度

风电场风速日变化幅度不大，风速日变化在1m/s以内。日风速在上午9~10时达到日风速的最高值，在夜间22~23时前后达到日风速的最低值。总体趋势是日出后，随着地表温度的逐渐上升，至上午10时风速逐渐加大，之后，随着太阳辐射程度的减弱，风速开始慢慢下降，到22~23时风速最低。其风功率密度变化亦如此。

4.2.5.5 代表年风速和风能频率分布

风速的众值出现在9.0~14.0m/s风速区间，占全部风速的43.48%；风能的众值出现在11.0~16.0m/s风速区间，占全部风能的47.43%以上。

4.2.5.6 代表年风向和风能

全年盛行风向为NE、NNE，占全部风向的53.78%，其次为SSW，约占全部风向的10.43%。全年盛行风能为NE、NNE，占全部风能的64.60%，其次为SSW，约占全部风能的11.69%。

4.2.5.7 轮毂高度处风速

以风电场ERA5虚拟测风塔代表年数据为输入，根据100.00m高度测风数据，采用风切变0.07计算，预装轮毂高度处（160.00m）的风速为10.09m/s，风功率密度为953W/m²。

4.3 海水水质现状调查与评价

略。

4.4 海洋沉积物现状调查与评价

略。

4.5 海洋生态环境调查

略。

4.6 海洋水文动力、地形地貌与冲淤环境现状调查

略。

4.7 鸟类现状调查结果与评价

略。

4.8 声环境质量现状

略。

4.9 电磁辐射

略。

4.10 环境空气质量现状

环境空气质量现状调查数据引用福州市长乐区生态环境局2025年1—12月环境质量月通报。长乐区空气质量中的SO₂、NO₂、PM₁₀、CO、O₃-8h、PM_{2.5}均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2026）二级过渡阶段浓度限值要求。因此，长乐区的环境空气质量达标。

5 环境影响预测与评价

5.1 海水水质影响预测与评价

长乐外海J区海上风电场项目对海洋水质环境影响主要是施工期风机桩基和电缆铺设产生的悬浮泥沙扩散造成的影响。

5.1.1 施工期悬浮物影响分析

5.1.1.1 预测模式

施工产生的悬浮泥沙在潮流作用下向周围输运，其输移方式可按照物质的对流扩散方程进行数值模拟，其基本方程如下：

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial vc}{\partial y} + \frac{\partial wc}{\partial z} - \frac{\partial w_x c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u_{Tx}}{\sigma_{Tx}} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{u_{Ty}}{\sigma_{Ty}} \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{u_{Tz}}{\sigma_{Tz}} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + S$$

式中：c——悬浮物浓度，

w_s ——泥沙沉速，

U_{Tx}, U_{Ty}, U_{Tz} ——各向异性涡粘系数，海缆项目取值为0.01，

$\sigma_{Tx}, \sigma_{Ty}, \sigma_{Tz}$ ——湍流Schmidt数，

s——源汇项。

其余各项同水动力控制方程。

$S = S_m + S_v$ ，其中 S_m 是悬浮物排入的源强，而 S_v 是悬浮物的海底垂直通量，表示由于沉降和再悬浮随机过程对源强的修正。

$$S_v = \alpha W (\beta S_* - \gamma C)$$

其中： $\beta = 1$ ，当 $u, v \geq u_c$ 时； $\beta = 0$ ，当 $u, v < u_c$ 时。

$\gamma = 1$ 当 $u, v \leq u_f$ 时； $\gamma = 0$ 当 $u, v > u_f$ 时。

α ——泥沙颗粒沉降概率，决定于湍流强度和悬浮质点粒径；

u_f ——扬动流速；

u_c ——起动流速；

S_* ——水流挟沙能力；

W ——悬浮颗粒的沉降速度，按下列公式求得：

$$W = \sqrt{(13.95 \frac{\eta}{d})^2 + 1.09 \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} gd} - 13.95 \frac{\eta}{d}$$

η ——海水分子运动粘性系数，取 $1.007 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ， d 是 d_{50} ，为沙粒中径。

u_c 和 u_f ——分别为起动流速和扬动流速。据窦国仁公式

$$u_c = 2.72 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} gd + 0.19 \frac{\varepsilon_k + g\delta H}{d}}$$

ρ ——海水密度，

ε_k 为粘结力系数， $\varepsilon_k = 2.56 \text{cm}^3/\text{s}^2$ ， δ 为薄膜水厚度， $\delta = 0.213 \times 10^{-4} \text{cm}$ ，根据海缆项目海域的 H 值、泥沙粒径和泥沙密度求得 u_c 。

悬浮物的淤落条件，决定于水流速度和悬浮颗粒的扬动流速。利用扬动流速 u_f 的计算公式：

$$u_f = 12.76 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} gd}$$

可求的颗粒的扬动速度 u_f 。

悬浮物造成底床变形方程：

$$\gamma_0 \frac{\partial \eta_s}{\partial t} = \alpha \omega (C - S_*)$$

式中， η_s 为悬沙引起的海底床面冲淤厚度， γ_0 为悬沙干容重， S_* 为挟沙能力，分别由以下两式计算：

$$\gamma_0 = 1750 d_{50}^{0.183}$$

$$S_* = \alpha_0 \frac{\rho_0 \rho_s}{\rho_s - \rho_0} \left(\frac{(\sqrt{u^2 + v^2})^3}{c^2 (h + \zeta) \omega} + \beta_0 \frac{H^2}{(h + \zeta) T \omega} \right)$$

d_{50} ——悬浮物中值粒径 (mm)，根据夏季调查结果计算，因此，

$$\gamma_0 \approx 839 \text{kg}/\text{m}^3。$$

ρ_s ——泥沙容重， $2650 \text{kg}/\text{m}^3$ ，

ρ_0 ——海水的容重， $1025 \text{kg}/\text{m}^3$ ， $\alpha_0 = 0.016$ ， $\beta_0 = 4.65 \times 10^{-5} h^{-1.43}$ ，

c ——Chezy 系数， $c = h^{1/6} / n$ ，

n ——Maning糙率系数，本文根据验证情况进行调整。

边界条件：

$$\text{固边界上, } \frac{\partial C}{\partial n} = 0$$

$$\text{开边界上, } \frac{\partial C}{\partial t} + V_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad \text{出流段; } C(x, y, t) = 0 \quad \text{入流段。}$$

5.1.1.2 计算网格

悬浮泥沙模型本身是基于水动力模型提供的水流场进行计算的，其计算网格与水动力模型一致。

5.1.1.3 源强概化

详见3.5.1.1施工期废水小节。

5.1.1.4 预测点设置

工程风机之间以及风机与海上交流站之间敷设66kV集电海缆，升压站至陆地之间铺设220kV输送海缆。电缆铺设为线性工程，受地形和潮流条件影响，不同点位施工产生的悬浮物影响范围不同。根据风电场区电缆布置，选取49个代表点，预测不同点位施工的悬浮物最大影响范围。

5.1.1.5 预测结果

计算工况考虑大潮、小潮和全潮期，预测在不同潮期电缆敷设施工产生悬浮物的扩散范围和浓度，统计分析悬浮物的最大影响范围。

(1) 风机桩基施工悬浮物

项目风机基础采用四桩导管架基础，桩基通过液压振动锤振动下沉，施工时振动导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。根据类似风电工程，桩基打桩产生的悬浮物浓度不高，远小于海缆施工悬浮泥沙源强，其引起周围海域悬浮物浓度增加（>10mg/L）范围一般半径在100m内。

工程共布置41台风机，悬浮物影响距离按100m计算，风机基础施工悬浮物影响范围约为1.29km²。

(2) 电缆敷设悬浮物影响预测

电缆敷设悬浮物浓度增量大于10mg/L影响范围叠加约为216.2km²，悬浮物浓度大于20mg/L影响范围叠加约为116.3km²，悬浮物浓度增量大于50mg/L的影响范围为56.5km²，悬浮物浓度增量大于100mg/L的影响范围为28.5km²，悬浮物浓度增量大于150mg/L的影

响范围为8.4km²。

本节对悬浮物扩散范围预测为保守考虑，根据施工规划，电缆敷设速度约3m/min，敷设完毕的电缆段区域，悬浮物浓度增量可较短时间内减低至10mg/L以内。因此，电缆敷设实际影响是暂时的，随着工程结束，悬浮物对水环境的影响也将消失。

表 5.1-1 施工悬浮物增量影响范围

项目	≥10mg/L	≥20mg/L	≥50mg/L	≥100mg/L	≥150mg/L	单位
桩基施工	1.29	/	/	/	/	km ²
电缆敷设	216.2	116.3	56.5	28.5	8.4	km ²
叠加	217.49	116.3	56.5	28.5	8.4	km ²

5.1.2 施工期废水对海水水质的影响

工程污废水主要为含油污水、生活污水、灌浆船冲洗废水和施工钻孔泥浆废水。其中，施工期间船舶产生的油污水、生活污水禁止排放，统一收集后交由专业的接收船舶予以接收处置。

灌浆船一般在到岸码头冲洗，产生的灌浆船冲洗废水收集至陆域进行沉淀处理后回用。

工程桩基基础施工时会产生钻渣和少量需外运处理钻孔泥浆废水（钻孔泥浆废水可回用），钻渣和少量钻孔泥浆废水定期清运至岸上处理，严禁直接倾倒入海。

因此，施工期间，船舶含油废水、生活污水和施工钻孔泥浆废水收集后委托有资质单位接收处理；灌浆船冲洗废水收集至陆域进行沉淀处理后回用，不外排。项目施工期产生的污废水不会对项目所在区域海域水质造成影响。

5.1.3 营运期废水对海水水质的影响

运营期巡视和检修时有人员进出，巡检船舶生活污水交由海事局认可的资质单位接收处理，禁止向海域排放，因此对海水水质影响较小。

运营期工作船产生的含油污水在船舶上密封储存，到港后交由海事局认可的资质单位接收处理，因此对海水水质影响较小。

另外，营运期海上风电机组配套变压器发生事故时，产生的主变油及柴油等，属于危险废物，已设置事故油罐，一旦发生事故，可排入事故油罐收集，交由危废处置资质单位处理，营运期风机检修等产生的少量含油废水收集后同样交由资质单位处理，不会对周边海域水质产生影响。

5.2 海洋沉积物影响评价

5.2.1 施工废水排放对海底沉积物影响

施工期风电场及海缆路由周边海域由于大型施工船舶在此集结，将产生生产废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶含油的机舱水和污染严重的压舱水、生活污水等废水未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油等直接弃入海中，将直接污染区域海水水质，进而可能影响区域海域沉积物质量，造成沉积物中废弃物及其他、大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。因此必须严格做好施工期管理、监理和监测的工作，保护沉积物环境。本项目施工期废水收集后均委托有资质单位进行处理，污水不排海，不会对沉积物质量产生不利影响。

5.2.2 施工悬沙对海底沉积物影响

项目管沟开挖及桩基等施工过程中会使海域内悬浮泥沙含量增大，悬浮泥沙粒径小、粘度大，沉降到海底后使海底表层沉积物粒径变小，粘性变大。工程搅动海底沉积物在2天内沉积海底，除对海底沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，没有其他污染物混入，不会影响海底沉积物质量。

施工期生活污水和施工机械油污水均收集运至岸上处理，不会对附近海域沉积物造成影响。

5.2.3 营运期对海底沉积物影响

项目营运期采用外加电流的防腐方式，无牺牲阳极的锌离子释放，因此，项目建设对沉积物质量的影响较小。

5.2.4 退役期海洋沉积物环境影响分析

风电场运行达到设计年限后，将对风电场进行拆除施工，拆除工艺与建设工艺相反过程，风机吊装上岸拆解，拆除完成后局部恢复，整个过程将会扰动海底会使海域内悬浮泥沙含量增大，工程搅动海底沉积物在2天内沉积海底，除对海底沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，没有其他污染物混入，不会影响海底沉积物质量。

5.3 海洋生态环境影响分析

5.3.1 海洋生物的影响分析

5.3.1.1 施工期影响分析

5.3.1.1.1 悬浮泥沙对海洋生物的影响

(1)对浮游生物影响

工程风机桩基基础施工，海底电缆铺设施工都会引起海底泥沙再悬浮，在施工作业

点周围水体中产生大量的悬浮物，形成一定范围的悬浮物高密度分布区域，从而引起水体悬浮物浓度增加，降低水体透光率，造成水体浮游植物生产力下降。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50mg/L以上时，浮游植物会受到较大的影响。当悬浮物的浓度增加量在1050mg/L时，浮游植物将会受到轻微的影响。

(2)对游泳生物的影响

悬浮物含量增高，对游泳生物的分布也有一定影响。游泳生物是海洋生物中的一大类群，海洋鱼类是其典型代表，它们往往具有发达的运动器官和很强的运动能力，从而具有回避污染的效应。室内生态实验表明，悬浮物含量为300mg/L水平，而且每天做短时间的搅拌，鱼类仅能存活3~4周，悬浮物含量在200mg/L以下水平的短期影响，鱼类不会直接致死。工程不会产生的悬浮物含量高浓度区，不会造成成体鱼类死亡，且鱼、虾、蟹等游泳能力较强的海洋生物将主动逃避，游泳生物的回避效应使得该海域的生物量有所下降，从而影响该区域内的生物群落的种类组成和数量分布。至于经济鱼类等，由于移动性较强，更不至于造成明显影响。随着施工的结束，游泳生物的种类和数量会逐渐得到恢复。因此，施工期间产生的悬浮物不会对游泳生物造成较大的影响。

根据预测，场区电缆敷设悬浮物浓度大于10mg/L，即超一（二）类水质面积约为216.2km²，悬浮物浓度大于100mg/L，即超三类水质面积约为28.5km²。该范围内的浮游生物、游泳生物将受到影响。

5.3.1.1.2施工船舶含油污水对海域生态环境的影响

石油类污染是目前海洋环境污染中的几大问题之一，它对海洋水生生物的影响是多方面的：①石油类对浮游植物的致死浓度范围为0.1~10mg/L，对浮游动物的急性中毒致死浓度范围为0.1~15mg/L，致死的主要原因为浮游植物会因细胞溶化、藻体分解而死亡，浮游动物也会在石油的毒性和缺氧条件下大量死亡；②石油块（粒）覆盖生物体表后会影响动物的呼吸和进水系统；③石油随悬浮物沉降在潮间带和浅水区后，会使底栖生物的幼虫与孢子失去合适的固着基质，甚至发生严重的化学毒性效应。

在一定的海域范围内过量地排放含油污水或直接排放未经处理的高浓度含油污水，将会给海洋生态环境造成极大的危害。尤其是石油组分中的芳香烃类会对海洋生物构成威胁和危害，其特点是不论高、低沸点的组分对一切生物均有毒性。实验证明石油烃会破坏浮游植物细胞，油膜会阻碍海—气交换，影响光合作用。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为0.1~10mg/L，一般约为1.0mg/L。对于更加敏感的种类，石油浓度低于

0.1mg/L时，同样会影响细胞的分裂与生长速率。即使是达标排海的含油污水，在大量集中排放时仍然会对排放口周边水体中的浮游生物构成影响。

浮游动物的石油急性中毒致死浓度一般在0.1~15mg/L之间，当水体中的油含量为0.05mg/L，小型拟哲水蚤*Paracalanus* sp.的半致死时间为4天。一般情况下，浮游动物的幼体对油污染的敏感程度要大于成体。

底栖生物的种类和体积不同对石油浓度的适应程度有差异，多数底栖生物的石油烃急性中毒致死浓度范围约在2.0~15mg/L之间（幼体的致死浓度范围更接近其下限）。例如：0.01mg/L的石油可以使牡蛎产生明显的油味，甚至可以使耐油污性很差的海胆、海盘车等底栖生物死亡。当海水中石油浓度在0.01~0.1mg/L时，对藤壶幼体和蟹幼体就有明显的毒效。

长期处于低浓度含油废水中可影响鱼类的摄食和繁殖，使渔获物产生油臭味而影响其食用价值。据相关报道，20号燃料油对黑鲷*Sparus macrocephalus*的20天生长试验结果，其最低影响浓度和无影响浓度分别为0.096mg/L和0.032mg/L。例如20号燃料油的浓度为0.004mg/L时，5天就能使对虾产生油味，14天使文蛤产生异味。

本工程施工船舶所产生的含油污水均集中收集，运回陆域委托有资质单位接收处理，因此只要严格施工管理，一般不会发生污染，不会对海域生态环境产生不良影响。

5.3.1.1.3 施工对底栖生物的影响

工程风机基础液压式冲击锤进行沉桩施工，海缆埋设过程中的开挖、填埋作业都将对海洋底栖环境造成破坏，使底栖生物丧失。风机塔架基础桩基将破坏海底底栖生物。

5.3.1.1.4 施工噪声对海洋生态的影响

海域中某些海洋生态对噪声较敏感，可能因高强度噪声产生的震动能量而受到较大影响甚至死亡。施工噪声主要来自风机桩基施打、施工船舶航行、设备和机械等产生的噪声。

5.3.1.2 营运期对海洋生物的影响分析

5.3.1.2.1 营运期对底栖生物的影响

营运期对海洋生态的影响主要是风机桩基、海底电缆等永久设施占地周围区域的底栖生物的生境遭到永久的破坏，在该范围内的底栖生物不可恢复。另外，风机基础有一定的表面积，为底栖生物提供了一个较好的附着场所，具有一定的鱼礁效应，在一定程度上可增加风电场及周边区域藻类、贝类鱼类的生物多样性。

5.3.1.2.2 风机噪声对海洋生态的影响

风机运行过程中产生的噪声主要由机械及结构噪声和空气动力噪声组成，风机运行产生的噪声到达海面时衰减为55dB，声波传入水体中将进一步衰减。因此，风机运行产生的噪声不会引起桩基周围的水生生物和鱼类晕厥、死亡等现象，且当风机噪声影响鱼类正常栖息和生存时，鱼类将游离该处，寻找适合生存的栖息地。

因此，风机营运期产生的噪声对周围环境影响很小。

5.3.12.3 电磁对海洋生态的影响

本工程海底电缆均敷设于海底土层以下，电缆外层的金属屏蔽层、铠装层以及海底土层对磁场具有强烈的屏蔽作用，且鱼类活动空间较大，在海底区域活动的鱼类种类及数量相对较少。且根据类比陆上电缆线路可知，电缆管廊外5m处的磁感应强度已接近环境本底值。因此本工程海底电缆建成运行后，不会对海洋生物产生不利的电磁场影响。

5.3.1.2.4 对“三场一通道”的影响

福建省近海的带鱼、大黄鱼、蓝圆鲹和鲈鱼等重要经济鱼类的产卵场、越冬场和索饵场均分布在距离本项目区较远的东侧海域。风机采用四桩导管架基础，风机实际占用海域面积较小，占鱼类洄游通道的比例较低，不会截断鱼类的洄游通道。海底电缆位于海域泥面以下，不会对鱼类洄游产生不利影响。

综上所述，项目用海对鱼类“三场一通道”的影响较小。

5.3.2 海洋生物资源损失分析

本报告生物资源损失量按照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）中规定的有关方法计算。

5.3.2.1 损失评估方法

(1) 占用水域造成的生物资源损失

工程建设需要占用渔业水域，使渔业水域功能被破坏或海洋生物资源栖息地丧失。各种类生物资源损害量评估按以下公式计算：

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中： W_i ——第*i*种类生物资源受损量，尾、个、千克（kg）；

D_i ——评估区域内第*i*种类生物资源密度，尾（个）/km²、尾（个）/km³、kg/km²；

S_i ——第*i*种类生物占用的渔业水域面积或体积，km²或km³。

(2) 悬沙造成的生物资源损失

污染物扩散范围内对海洋生物资源的损害评估，分为一次性损害和持续性损害。

本工程施工期间产生的悬浮泥沙浓度增量在区域存在时间少于15天，因此按一次性

平均受损量评估。

悬浮泥沙对海洋生物资源损害，按下面公式计算：

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

式中： W_i ——第*i*种类生物资源一次性平均损失量，尾、个、(kg)；

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，尾/km²、个/km²、kg/km²；

S_{ij} ——某一污染物第*j*类浓度增量区面积，km²；

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%；生物资源损失率取值参见表5.3-1。

n ——某一污染物浓度增量分区总数。

表 5.3-1 污染物对各类生物损失率

污染物 i 超标倍数 (Bi)	各类生物损失率 (%)			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
$B_i \leq 1$ 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	≥ 50	≥ 20	≥ 50	≥ 50

注：1.本表列出污染物 i 的超标倍数 (Bi)，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，毒性试验数据做相应调整。
4.本表对 pH、溶解氧参数不适用。

5.3.2.2 项目用海区域生物资源密度

浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼卵、仔稚鱼、渔业资源的生物资源密度根据2026年春季调查结果，取平均值，生物资源密度见表5.3-2。

表 5.3-2 工程影响海域生物资源密度

类别	生物资源密度	
	调查时间	密度平均值
浮游动物	2026 年 4 月	0.125g/m ³
底栖生物	2026 年 4 月	38.3g/m ²
鱼卵	2026 年 4 月	0.008ind/m ³
仔稚鱼	2026 年 4 月	0.007ind/m ³
游泳动物	2026 年 4 月	7.8kg/km ²

注：鱼卵仔稚鱼生物量采用水平拖网数据。

5.3.2.3 生物损失计算结果

(1) 占用海域造成的海洋生物损失

工程风机采用四桩导管架基础工程，单个导管架直径按14m计算，则41台风机占用海域面积为3.2957hm²，桩基基础占用区域水深取平均水深60m计算。项目66kV海底电缆长度约176.94km，电缆敷设沟槽顶宽按1.5m，电缆敷设占用海域面积约为26.5410hm²。

表 5.3-3 风机、海缆占用海域造成的生物资源损害评估

工程类型	种类	密度	占用面积 (hm ²)	水深 (m)	损失量	单位
风机	鱼卵 (粒/m ³)	0.008	3.2957	60	1.58×10^4	粒
	仔稚鱼 (尾/m ³)	0.007		60	1.38×10^4	尾
	浮游动物 (mg/m ³)	125.2		60	0.25	t
	游泳动物 (kg/km ²)	7.8		/	0.26	kg
	底栖生物 (g/m ²)	38.3		/	1.26	t
海缆占用	底栖生物 (g/m ²)	38.3	26.5410	/	10.17	t

项目占用海域造成浮游动物总损失量为0.25t，鱼卵损失量为 1.58×10^4 粒，仔稚鱼损失量为 1.38×10^4 尾，游泳动物损失量为0.26kg，底栖生物损失11.43t。

(2) 悬浮泥沙扩散造成的海洋生物资源损失

根据表5.3-1生物损失按各超标倍数对应的平均生物损失率计算，大于9倍时按50%计（表5.3-4）。本项目的悬浮泥沙主要为海缆敷设和打桩施工作业产生，项目风电场区平均水深约为60m。水体中悬浮泥沙扩散造成的生物损失量见表5.3-5。

表 5.3-4 不同计算区域的计算参数值

悬浮泥沙浓度	悬浮泥沙扩散面积 (km ²)	损失率			
		浮游植物	浮游动物	鱼卵和仔稚鱼	游泳动物
10—20mg/L	99.9	5	5	5	1
20—50mg/L	59.8	20	20	17.5	5
50—100mg/L	28	40	40	40	15
>100mg/L	28.5	50	50	50	20

注：悬浮物增量 10~50mg/L 浓度范围面积为>10mg/L 浓度范围面积减去>50mg/L 浓度范围面积；悬浮物增量 50~100mg/L 浓度范围面积为>50mg/L 浓度范围面积减去>100mg/L 浓度范围面积。

表 5.3-5 悬浮泥沙造成的生物资源损害评估表

种类	资源密度	损失率	受损面积 (km ²)	水深 (m)	损失量	总计	单位
鱼卵 (粒/m ³)	0.008	5.00%	99.9	60	2.40×10^6	19.64×10^6	粒
		17.50%	59.8		5.02×10^6		
		40.00%	28		5.38×10^6		
		50.00%	28.5		6.84×10^6		
仔稚鱼 (尾/m ³)	0.007	5.00%	99.9	60	2.10×10^6	17.18×10^6	尾
		17.50%	59.8		4.40×10^6		
		40.00%	28		4.70×10^6		
		50.00%	28.5		5.99×10^6		
游泳动物 (kg/km ²)	7.8	1.00%	99.9	/	0.01	0.11	吨
		5.00%	59.8		0.02		
		15.00%	28		0.03		
		20.00%	28.5		0.04		
浮游动物 (mg/m ³)	125.2	5.00%	99.9	60	37.52	318.55	吨
		20.00%	59.8		89.84		
		40.00%	28		84.13		
		50.00%	28.5		107.05		

项目悬浮泥沙影响造成浮游动物总损失量为318.55t，鱼卵损失量为 19.64×10^6 粒，仔稚鱼损失量为 17.18×10^6 尾，游泳动物损失量为0.11t。

(4)生物资源损失补偿金额计算

本节生态补偿金按照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007)中规定的有关方法计算。

1) 计算方法

①价值估算

a.底栖生物经济损失按下面公式计算：

$$M=W \times E$$

式中：M——经济损失额，元；

W——生物资源损失量，kg；

E——生物资源的价格，按主要经济种类当地当年的市场平均价或按海洋捕捞产值与产量均值的比值计算（如当年统计资料尚未发布，可按上年度统计资料计算），元/kg。

b.鱼卵、仔稚鱼的经济价值应折算成鱼苗进行计算。鱼卵、仔稚鱼经济价值按下面公式计算：

$$M=W \times P \times E$$

式中： M ——鱼卵和仔稚鱼经济损失金额，元；

W ——鱼卵和仔稚鱼损失量，个、尾；

P ——鱼卵和仔稚鱼折算为鱼苗的换算比例，鱼卵生长到商品鱼苗按1%成活率计算，仔稚鱼生长到商品鱼苗按5%成活率计算，%；

E ——鱼苗的商品价格，按当地主要鱼类苗种的平均价格计算，元/尾。

c.成体生物资源经济价值按下面公式计算

$$M_i=W_i \times E_i$$

式中： M_i ——第*i*种类生物成体生物资源的经济损失额，元；

W_i ——第*i*种类生物成体生物资源损失的资源量，kg；

E_i ——第*i*种类生物的商品价格，元/kg。

②损害赔偿和补偿年限（倍数）的确定

各类工程施工对水域生态系统造成不可逆影响的，其生物资源损害的补偿年限均按不低于20年计算。本工程风机建设对水域生态系统造成不可逆影响，补偿年限按20年计。

一次性生物资源的损害补偿为一次性损害额的3倍。工程施工期间搅动的悬浮泥沙对海洋生物资源的损害为一次性损害，施工结束后这种影响随之消失，因此，悬浮泥沙扩散对生物资源的损害按一次性损害额的3倍计。

④生物资源价格

参考当地市场价格：底栖生物的平均价格按0.5万元/t计；商品鱼苗价格以0.1元/尾计，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；游泳动物的平均价格按10元/kg计。

3) 生态补偿金计算

项目风机和海底电缆占用海域的生态损失补偿金额为229.8268万元，桩基基础施工和海缆敷设产生的悬浮泥沙造成的生态损失补偿金额为230.637元；生态补偿金总额为460.4638万元。详见表5.3-6、表5.3-7。

表 5.3-6 占用海域造成生态损失补偿金额

生物种类	损失量	单位	单价	单位	成活率	补偿年限	补偿金额（万元）
底栖生物	11.43	t	10	元/kg	/	20	228.6
游泳动物	0.26	kg	10	元/kg	/		0.0052
鱼卵	15800	粒	0.1	元/尾	1%		0.0316
仔稚鱼	13800	尾	0.5	元/尾	5%		1.69
浮游动物	0.25	t	10	元/kg	10%		0.50
占用海域生物资源损失生态补偿金							229.8268

表 5.3-7 悬浮泥沙造成的生态损失补偿金额

悬浮泥沙扩散造成的生态补偿金额							
生物种类	损失量	单位	单价	单位	成活率	补偿倍数	补偿金额（万元）
游泳动物	110	kg	10	元/kg	/	3	0.33
鱼卵	19.64×10 ⁶	粒	0.1	元/尾	1%		5.892
仔稚鱼	17.18×10 ⁶	尾	0.5	元/尾	5%		128.850
浮游动物	318.55	t	10	元/kg	10%		95.565
悬浮泥沙扩散生物资源损失生态补偿金							230.637

4) 小结

项目建设造成的生物资源损失量：浮游动物总损失量为318.80t，鱼卵损失量为 19.66×10^6 粒，仔稚鱼损失量为 17.19×10^6 尾，游泳动物损失量为110.26kg，底栖生物损失11.43t；生态损失补偿金额为460.4638万元。

5.3.3 项目用海对渔业资源的影响

5.3.3.1 施工期对渔业环境影响分析与评价

(1) 施工期间产生悬浮泥沙对渔业资源的影响

悬浮物对鱼类和其它水生生物的影响可分为两大类：一类是悬浮固体在水中的影响，一类是悬浮固体沉降到水底后产生的影响。

欧洲大陆渔业咨询委员会（EIFAC，1965）评价了悬浮固体对鱼类的影响。把悬浮固体对鱼类和鱼类饵料生物种群所产生的不良影响分成四种方式：直接影响鱼类在有悬浮固体的水体中游泳，造成鱼类死亡或者降低鱼类的生长速率，对疾病的抵抗力等等；妨碍鱼卵和幼体的良好发育；限制鱼类的正常运动和洄游；使鱼类得不到充分的食物。

覆盖在水底的沉淀物会损害无脊椎生物种群，堵塞产卵的砾石层，而且如果有有机物的话，还会消耗其上面水体的溶解氧。当沉淀固体堵塞了鱼类产卵的砾石层时，鱼卵就会大量死亡。无机悬浮物的增加还会妨碍光线向水体的投射，结果减少了透光层深度，

从而减少了初级生产量并减少了鱼类的饵料。美国科学院和美国工程科学院联合委员会建议，光透射深度不得减少10%（美国科学院，NAS，1974）。同时，由于颗粒物吸收了较多的热量，从而使水体趋于稳定，阻止了上下水混合，致使近表层水被加热，上下水混合程度的减少，也减少了溶解氧和营养物向水体下部的扩散。长期生活在高浑浊水中的海洋生物，其鳃部会被悬浮物质充满而影响呼吸和发育，甚至引起窒息死亡。此外，水中悬浮物质长期过量会妨碍海洋生物的卵及幼体的正常发育，破坏其栖息环境，并抑制水生生物的光合作用，减少海洋动物的饵料。

水域悬浮物含量超标，对渔业资源的影响是多方面的，它不仅影响鱼类的存活和生长，而且会对鱼卵和仔稚鱼造成损害。由于悬浮性泥沙颗粒粘附在鱼卵的表面，会妨碍鱼卵的呼吸，阻碍与水体之间氧与CO₂的充分交换，可能导致鱼卵大量死亡；影响幼体的发育，发育不健康的仔稚鱼生存能力大大降低；悬浮物含量超标能使浮游生物繁殖受阻，导致水域基础生产力下降，减少鱼类的饵料生物，从而影响到鱼类的正常索饵；另外，悬浮物超标还会改变鱼类的洄游和摄食行为。

Bonvicinipagliai等人曾研究意大利卡格里亚海湾一次大规模挖掘对周围海洋环境和生物的影响。结果表明，在所观察的非生物参数中，除有机碳外，都没有明显的影响，但大型底栖生物却丧失殆尽；Erman和Mahoney曾研究悬浮物对鱼类和无脊椎动物的影响，其结果表明，水体中悬浮物浓度升高会减少鱼类和无脊椎动物的生物量和多样性。1990年在深圳蛇口海区曾因疏通航道挖掘底泥使海水污浊，水质变异，海水中悬浮物浓度升高，从而导致周围养殖的牡蛎死亡；1993年大亚湾东山珍珠养殖场附近因推土填海造成大量黄泥水在潮汐等作用下扩散至养殖场水域，导致养殖水体浑浊、悬浮物浓度升高、大量珍珠贝死亡；1994年广东电白县博贺文蛤养殖场，因其近旁有人抽沙，大量污泥浊水排入文蛤养殖区，导致2500亩养殖文蛤死亡。

总而言之，悬浮泥沙对鱼类和水生生物的影响主要包括：

A造成生物栖息环境的改变或破坏，引起食物链（网）和生态结构的逐步变化，导致生物多样性和生物丰度下降。

B造成水体溶解氧、透光率和可视性下降，使光合作用强度和初级生产力发生变化，影响某些种类的生长发育（如鱼卵和幼体）。

C浑浊的水体使某些种类的游动、觅食、躲避敌害、抵抗疾病和繁殖的能力下降，降低生物群体的更新能力。

D影响基础饵料生物生长，使鱼类得不到充足的食物。

E影响鱼类的正常活动和洄游。

(2)施工噪声对渔业资源的影响分析

施工过程中由于施工现场的作业船舶过于频繁，会惊扰或影响部分仔幼鱼索饵、栖息活动，但绝大部分可能受到影响的鱼类可以回避。在拟建工程附近海域未发现珍稀和濒危物种。由于春夏季节是鱼、虾类产卵、仔幼鱼索饵季节，建议海上施工尽量避开这一季节。

(3)施工期对捕捞作业的影响

本项目风电场施工作业期间，施工范围内划定安全作业区，渔船无法进入施工作业范围开展捕捞活动，作业范围受限。海缆敷设为线性施工，且施工作业时间较短，对捕捞活动的影响较小。施工产生的噪声、悬浮泥沙会造成一定的渔业资源损失，影响捕捞业的渔获量。项目施工期会对周边渔民的捕捞作业活动产生一定的影响。

5.3.3.2 营运期对渔业生产的影响

根据《海底电缆管道保护规定》（国土资源部令第24号），沿海宽阔海域为海底电缆管道两侧各500米，海湾等狭窄海域电缆两侧各100m范围内属于海底电缆管道保护区，“保护区内将禁止在从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业。”本项目建成后，在该保护区范围内将禁止捕捞、养殖等渔业活动，对渔业生产产生一定影响。

5.3.3.3 营运期对捕捞业的影响

本项目41台风机连线圈闭海域面积约72km²。由于海上风电场建设，风机孤立式基础分散布置在海中，可能对海上渔船通航、捕捞作业带来影响，且海底电缆建设划定保护海域，该海域内禁止捕捞作业，也减少了捕捞作业水域。但考虑到风电场建设后，风机基础具有岛礁效应，可有效恢复占用海域的渔业资源。

项目为在海上建设固定位置的风机和海缆。海底电缆对捕捞作业的影响主要是占用了一定底土空间，不占用水域，对捕捞作业方式无影响。项目主要是风机建设对捕捞作业方式的影响。

项目风电场区建设位置位于长乐东侧海域，该海域为周边渔民捕捞作业和渔船出行海域，项目建设位置在航道临近海域，为海上航行活跃海域，该海域的原有商船航线自身也对该海域的捕捞作业有所影响。总体来看，项目实施对当地渔民拖网传统作业带来一定影响。

5.3.4 对其他资源的影响

项目位于福建省福州市的东侧海域，西距长乐梅花镇岸边约70km，项目建设内容为风机和海底电缆，项目不涉及送出线路，因此，项目用海不会对自然岸线产生不利影响。

(1) 岛礁资源

项目不占用岛屿，风电场位于白犬列岛东侧，风场区距离其最近距离约为30km，距离较远。根据5.1节中水动力和冲淤的模拟结果，项目建设对潮流场和冲淤环境的影响集中在风场附近，不会影响至白犬列岛区域，不会影响白犬列岛岸线的稳定性和岛屿生态系统，因此项目建设不会对岛礁资源产生不利影响。

(2) 港口资源

根据本项目可研报告，选择风电场区西南侧的平潭港区金井码头作为陆上施工基地，其主要功能为风机设备预组装、设备部件临时堆存场同时具备风机装卸功能。另外，利用平潭港区金井码头上配套的大型起重设备作为风机拼装的起吊工具，沿码头停靠大型驳船作为风电机设备组合的承载平台，大型驳船与码头配套的起重设备互为配合。由于项目建设的使用，可提高港口的利用率，增加港区收入。

拟建风电场远离福州港沿岸港区，与周边港口设施相距较远，因此，风电场的建设不会明显影响附近港区内的码头和锚地等港口设施的功能，对港口设施影响较小。

5.3.5 退役期海洋生态环境影响分析

风电场运行达到设计年限后，将对风电场进行拆除施工，拆除工艺与建设工艺相反过程，风机吊装上岸拆解，拆除完成后局部恢复，整个过程将会扰动海底造成局部海水悬浮物浓度升高，总体来说扰动范围较小，退役期施工时间较短，对周边海洋生态环境影响较小。

5.4 水动力环境影响分析

5.4.1 水动力模型及控制条件

采用丹麦水力学研究所研制的平面三维数值模型MIKE3FM来研究工程海域的潮流场运动等的数值模拟预测，该模型采用非结构三角网格剖分计算域，三角网格能较好地拟合陆边界，网格设计灵活且可随意控制网格疏密，该软件具有算法可靠、计算稳定、界面友好、前后处理功能强大等优点，已在全球70多个国家得到应用，有上百例成功案例，计算结果可靠，为国际所公认。MIKE3FM采用标准Galerkin有限元法进行水平空间离散，在时间上，采用显式迎风差分格式离散动量方程与输运方程。模型垂向上网格的配置是基于sigma坐标的结构网格形式。

5.4.2 基本控制方程

(1) 控制方程

质量守恒方程:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

动量方程:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} &= fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \\ &\frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wv}{\partial z} &= -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \\ &\frac{g}{\rho_0} \int_y^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned}$$

式中: t ——时间;

P ——水压力;

h ——水深, $h = \eta + d$;

u, v, w 分别为 x, y, z 方向垂向平均流速;

g ——重力加速度;

f ——科氏力参数 ($f = 2\omega \sin \varphi$, φ 为计算海域所处地理纬度);

s_x, s_y —— x, y 方向水平涡动粘滞系数。

(2) 定解条件

初始条件:

$$\begin{cases} \zeta(x, y, t)|_{t=0} = \zeta(x, y, t_0) = 0 \\ u(x, y, t)|_{t=0} = v(x, y, t)|_{t=0} = 0 \end{cases}$$

边界条件:

固定边界取法向流速为零, 即 $\vec{V} \cdot \vec{n} = 0$; 在潮滩区采用动边界处理; 水边界采用预报潮位控制:

$$\zeta = A_0 + \sum_{i=1}^{11} H_i F_i \cos[\sigma_{it} - (v_0 + u)_i + g_i]$$

A_0 ——平均海面，

F_i 、 $(v_0 + u)_i$ ——天文要素，

H_i 、 g_i ——某分潮调和常数，即振幅与迟角。

5.4.3 模拟区域及计算参数

(1) 计算范围及网格划分

模型计算范围南北长约 347km，东西宽约 165km，模型范围约 $5.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，水深以平均海平面为基准。为了真实刻画研究区域内的海底地形特征，模型网格三层嵌套，逐层加密，研究区域外网格尺寸较大，单元格边长约 3000m，工程区网格较密，单元格边长约 300m，为了有效模拟风机桩基的阻水效应，根据桩基的实际阻水面积，采用局部网格加密法，将风机桩基概化为边长为 8.0m 的正方形，即模型最小单元格边长为 8.0m。模型网格节点数为 10955 个，单元总数为 21085 个。

(2) 参数选取及定解条件

模型中水平涡粘系数采用 Smagorinsky 公式估算，相应 Smagorinsky 系数取值为 $0.28 \text{ m}^2/\text{s}$ 。

计算海域的糙率是一个综合影响因素，是数值计算中十分重要的参数，与当地的水深、床面形态及植被条件等因素有关。本模型选用曼宁糙率系数，根据各海域的不同特点，不同区域取不同的值，岸边潮间带取 0.025 左右，外海取 0.016 左右。模型的时间步长为 0.01~60s。

计算时，初值均取零；北、东、南三个开边界根据 MIKE21 全球潮汐模型提供的调和常数生成外海潮位过程；闭边界处法向流速为零。

5.4.4 模型验证

在长乐外海 J 区海上风电场项目场区及其周边海域进行了 6 个潮流测点和 2 个潮位站的海洋水文测验工作。验证时间：大潮时段为 2024 年 1 月 11 日 12 时至 1 月 12 日 12 时。

从潮位验证结果来看，潮位站计算值与实测值基本一致。计算的高、低潮位出现的时间与实测高、低潮位出现的时间都吻合的较好，满足规范要求。

从流速、流向验证结果来看，各测点流速、流向计算值与实测值吻合较好，相位偏差较小，流速过程与现场基本一致，平均流速大小计算值与实测值偏差在 10% 左右，平均流向小于 10° ，满足规范要求。

总的来说，无论潮位、流速和流向，本模型计算值与实测值基本一致，因此，可以

认为本模型计算得出的结果是合理的，模拟的流场反映了工程海域的潮流运动特征。

5.4.5 潮流计算结果分析

大海域潮流场数值模拟分析结果如下，中潮位时刻采用工程附近海域潮位时刻。

5.4.5.1 工程建设前流场

根据对工程建设前工程海域的流场数值模拟结果，涨潮时，水体从东北流向西南，落潮时，水体从西南流向东北。工程场区离岸较远，潮流总体平顺，大潮涨急时刻，流速在0.62m/s左右，落急时刻，流速在0.98m/s左右，小潮涨急时刻，流速在0.24m/s左右，落急时刻，流速在0.55m/s左右。

5.4.5.2 工程建设后流场

工程建设后，由于桩基的存在，会导致局部流态的改变。根据对工程建设后工程海域的流场数值模拟结果，由于桩基尺度较小，阻水效应有限，与工程建设前相比，工程建设后，大、小潮流态没有发生明显变化，即本工程建设对大范围流场影响甚微，对流场的影响仅局限于桩基局部范围内，对这种局部流场变化分析的微观描述见下文。

5.4.5.3 工程建设前后流场变化

工程建设后，由于桩基的存在，会导致局部流态的改变，即受桩基阻水绕流作用的影响，在风电场工程建设后，桩基周围的流速会发生一定的变化。

根据数模计算结果，提取工程场区及附近工程建设前后大、小潮期间涨落潮流速，并用工程后流速减去工程前流速，由于桩基的阻水作用，桩基周围均出现了一定的流速减小区域，且桩基背流面流速减小值大于迎流面流速减小值。

大潮段涨急时刻，由于桩基的扰流作用，工程区流速减小，幅值一般小于0.03m/s，工程区西侧流速增加，流速增大最大值约0.02m/s；大潮段落急时刻，工程区流速有所减小，变化值一般小于0.03m/s，在工程区东侧流速有所增加，变化值一般小于0.02m/s。小潮段涨急时刻，工程区及工程区西侧流速增加，流速增大最大值约0.02m/s，桩基附近位置流速减小；小潮段落急时刻，在工程区及工程区东侧流速有所减小，变化值一般小于0.03m/s。

因此，工程建设前后涨、落流场变化较小，一般小于0.03m/s，主要集中在风电场风机桩基附近。

5.5 地貌与冲淤影响预测与评价

长乐外海J区海上风电场项目对周围海域冲淤变化的影响，在潮流模型中加入泥沙

模块，用以模拟工程建设前后周边海域冲淤环境的变化。

5.5.1 冲淤模型及参数设置

(1) 基本控制方程

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + u \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (h D_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x}) + \frac{1}{h} \cdot \frac{\partial}{\partial y} (h D_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y}) + Q_L \cdot C_L \cdot \frac{1}{H} - S$$

式中： $\bar{c}$ ——平均质量浓度（ kg/m^3 ）；

u, v ——平均流速（ m/s ）；

D_x, D_y ——扩散系数（ m^2/s ）；

h ——水深（ m ）；

S ——沉积或侵蚀项（ $\text{kg/m}^3/\text{s}$ ）；

Q_L ——单位水平面积上的源流量（ $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$ ）；

C_L ——源浓度（ kg/m^3 ）。

(2) 粘性沉积物

① 沉积过程

沉积是将悬浮泥沙转移到海底，沉积发生在海底剪切应力小于临界沉积剪切应力的情况下。沉积率描述为：

$$S_D = w_s \cdot c_b \cdot P_D$$

式中： P_D ——沉积概率函数；

w_s ——沉降速度（ m/s ）；

c_b ——泥沙的近海底浓度。

沉积概率函数定义为：

$$P_D = \max \left[0, \min \left(1, 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cb}} \right) \right]$$

式中： τ_b ——海底剪切应力（ N/m^2 ）；

τ_{cb} ——沉积临界剪切应力（ N/m^2 ）。

② 冲刷侵蚀过程

冲刷是将沉积物转移到水体中去，发生在海底剪切应力大于临界剪切应力的活跃海底沉积层上。根据海底沉积物密实程度或固结程度可以给出两种冲刷率计算方法。对于密实的或固结的海底沉积物采用如下冲刷率：

$$S_E = E \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right)^n, \tau_b > \tau_{ce}$$

式中： E ——侵蚀率（ $\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$ ）；

τ_{ce} ——冲刷临界剪切应力（ N/m^2 ）；

τ_b ——底床剪切应力（ N/m^2 ）；

n ——侵蚀系数。

对于较软的或部分固结的海底沉积物采用如下冲刷率：

$$S_E = E \cdot \exp \left[\alpha (\tau_b - \tau_{ce})^{\frac{1}{2}} \right]$$

式中： α ——冲刷系数（ $\text{m}/\text{N}^{1/2}$ ）

(3)非粘性砂质沉积物

平衡浓度定义如下：

$$\bar{c}_e = \frac{q_s}{\bar{u}h}$$

式中： $\bar{u}$ ——平均流速；

q_s ——悬移质输运率（ $\text{kg}/\text{m}/\text{s}$ ）；

$$q_s = \int_a^h c \cdot u dy$$

其中： c ——距离海底距离 y 的沉积物浓度；

h ——水深（ m ）；

a ——底床层的厚度（ m ）

u ——距离海底距离 y 的水体流速。

沉降率定义如下：

$$S_d = -\left(\frac{\bar{c}_e - \bar{c}}{t_s}\right), \bar{c}_e < \bar{c}$$

其中： $\bar{c}_e$ ——平衡浓度；

$\bar{c}$ ——水体泥沙质量浓度；

$t_s = \frac{h_s}{w_s}$ ，时间尺度。

侵蚀率定义如下：

$$S_e = -\left(\frac{\bar{c}_e - \bar{c}}{t_s}\right), \bar{c}_e > \bar{c}$$

(3)中值粒径分布

模型中泥沙颗粒大小主要依据项目所在海域历史沉积物调查资料确定的中值粒径参数。

(4) 泥沙临界起动剪切应力

泥沙临界起动剪切应力计算公式如下：

$$\tau_e = \rho(u_*)^2$$

其中： ρ ——水体密度；

u_* ——摩阻流速。

对于临界起动流速 u_e ，采用武汉水利电力学院张瑞瑾经验公式：

$$\tau_e = \left(\frac{h}{d_{50}}\right)^{0.14} \left(17.6 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} d_{50} + 0.000000605 \frac{10+h}{d_{50}^{0.72}}\right)^{0.5}$$

其中： d_{50} ——底质中值粒径（mm）；

h ——水深（m）。

临界起动流速与摩阻流速之间的关系如下：

$$\frac{\bar{u}_m}{u_*} = 2.5 \ln \left(11 \frac{h}{\Delta} \right)$$

其中： $\bar{u}_m$ 为临界起动流速， u_* 为摩阻流速， Δ 为糙率高度。

起动流速试验资料表明，对于平整泥沙床面，当粒径小于0.5mm时，其糙率高度与粒径基本无关，保持为常值；在粒径大于0.5mm小于10mm时，糙率高度约为中值粒径的2倍；当粒径大于10mm时，糙率高度与粒径的关系已为非线性。

(5) 泥沙临界淤积剪切应力

根据窦国仁泥沙沉降时摩阻流速经验计算公式：

$$U_{*c} = k \left(\frac{d}{d_*} \right)^{1/6} \sqrt{3.6 \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} g d}$$

式中： d ——糙率高度；

d_* ——常数取值为10mm；

k ——泥沙起动的判别标准，取值为0.128，表示少量泥沙开始运动。

然后利用公式 $\tau_d = \rho U_{*c}^2$ ，计算获得泥沙开始发生沉降时的临界淤积剪切力。

(6) 泥沙干容重

泥沙干容重计算公式如下：

$$\gamma' = 1750d_{50}^{0.183}$$

其中： γ' ——干容重（ kg/m^3 ）；

d_{50} ——淤积物中值粒径（ mm ）。

(7) 沉降速率

沉降速度计算公式采用下式：

$$w_s = \frac{(\rho_s - \rho)gd^2}{18 \cdot \rho v}$$

式中： ρ_s ——泥沙密度（ kg/m^3 ）；

ρ ——海水密度；

g ——重力加速度（ 9.8m/s^2 ）；

d ——泥沙粒径（ m ）；

v ——海水粘滞系数。

5.5.2 地形地貌与冲淤数值模拟结果及影响分析

工程建设后工程所在海域冲淤分布趋势与工程前基本一致，工程所在海域以淤积趋势为主，淤积变化量基于小于 7cm/a ，但由于风机直径较小，对工程外部海域冲淤趋势基本不影响。

5.5.3 局部冲刷估算

(1) 计算方法

海上风电机组基础建成后，潮流和波浪引起的水体粒子的运动会受到显著的影响。首先，在风机基础的前方会形成一个马蹄涡；其次，在风机基础的背流处会形成涡流（卡门涡街）；再次，在风机基础的两侧流线会收缩。这种局部流态的改变，会增加水流对底床的剪切应力，从而导致水流挟沙能力的提高。如果底床是易受侵蚀的，那么在风机基础局部会形成冲刷坑，进而影响基础的稳定性。

目前，国内桩基局部冲刷经验公式中，韩海骞公式比较适合计算深水工程桩基局部冲刷深度。

韩海骞研究了潮流作用下杭州湾大桥、金塘大桥和沽渚大桥的实测冲刷数据，结合水槽试验（60多组试验数据），采用因次分析法，得出潮流作用下的局部冲刷公式，通过与实测及试验结果的对比，该公式可以反映出在潮流的作用下桥墩局部冲刷深度与潮流、泥沙及桥墩等各因子之间的关系，显示出了较高的精度。

$$\frac{h_b}{h}=17.4k_1k_2\left(\frac{B}{h}\right)^{0.326}\left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{0.167}Fr^{0.628}$$

- 式中： h_b ——潮流作用下桥墩的局部冲刷深度，m；
- h ——全潮最大水深，m；
- B ——全潮最大水深条件下平均阻水宽度（墩宽或桩径），m；
- d_{50} ——河床泥沙的平均中值粒径，m；
- Fr ——水流Froude数， $Fr=\frac{u}{\sqrt{gh}}$ ；
- u ——全潮最大流速，m/s；
- g ——重力加速度，m/s²；
- k_1 ——基础桩平面布置系数，条带型 $k_1=1.0$ ，梅花型 $k_1=0.862$ ；
- k_2 ——基础桩垂直布置系数，直桩 $k_2=1.0$ ，斜桩 $k_2=1.176$ 。

(2)估算结果

本报告中采用韩海骞公式对风机基础的局部冲刷加以计算，结合工程区域底质沙洋的测验结果，估算风机基础的局部冲刷情况。

由表5.5-1可见，各代表点局部冲刷深度介于2.63~3.22m之间，最大深度为3.22m。本风电场对应的代表点V，最大深度为3.22m，由于局部冲刷计算尚无成熟、完善的数学模型，上述经验公式计算结果仅供设计参考，且本工程1.6m钢管桩下方为直径10m的吸力筒结构，吸力筒顶部与海底泥面线一致，因此实际冲刷深度有限。建议在工程建设期间及工程建成后，对风机基础局部冲刷情况加强监测，及时采取防护措施。

表 5.5-1 风电场代表桩基位置的海洋动力环境参数

环境参数		代表点					
		I	II	III	IV	V	VI
水深（设计高水位下，m）		48.28	46.94	43.64	47.04	49.08	47.42
工程区最大流速（m/s）		0.81					
设计高水位下 5年一遇	有效波高（m）	9.08	8.92	8.77	8.90	9.03	9.08
	平均周期（s）	10.27	10.26	10.26	10.27	10.27	10.28
	波长（m）	157.68	156.97	155.15	157.10	158.13	157.53
泥沙中值粒径（mm）		0.09					
泥沙水下休止角（°）		32					
阻水宽度（m）		1.6					

表 5.5-2 局部冲刷深度（阻水宽度=2.3m）

组别	I	II	III	IV	V	VI
----	---	----	-----	----	---	----

	最大深度	最大深度	最大深度	最大深度	最大深度	最大深度
韩海筹公式	3.2	3.02	2.63	3.07	3.22	3.00
单位	m	m	m	m	m	m

5.6 工程建设对鸟类的影响

5.6.1 分析内容与方法

5.6.1.1 分析内容

根据项目评价区鸟类分布的特点，对鸟类的影响进行分析、评价，其内容包括：

(1)施工期：①施工期对鸟类栖息和觅食影响；②施工期对鸟类迁徙影响；③施工期对鸟类繁殖影响。

(2)营运期：①对鸟类觅食的影响；②对鸟类迁徙的影响；③对鸟类繁殖的影响；④对鸟类栖息地的影响。

5.6.1.2 分析方法

(1)以理论为依据进行分析：根据项目评价区鸟类分布特点和主要鸟类类群生物学、生态学特性，从理论层面预测项目可能对鸟类产生的各类影响。

(2)以实践为参照进行分析：选择类似的风电项目以及参考资料，作为参照对象，类比分析本项目建设对鸟类的影响，并将所取得的数据和结论运用于本建设项目的鸟类影响评价。

5.6.2 施工期对鸟类的影响分析与评价

项目施工期对鸟类主要影响因素有：风力发电机组基础施工、风力发电机组安装、船舶运输、海上电缆铺设等施工活动。各种施工机械如施工和运输船舶、风机高桩承台施工、海上分体组装与吊装、海上电缆铺设时两栖挖掘机挖沟和挖泥抛石船等施工活动所产生噪声、干扰，会对风电场施工区及周边的水鸟产生一定的影响。

5.6.2.1 对鸟类栖息和觅食影响

根据调查，项目评价区及周边主要分布有鸥类水鸟。风电场及周边主要为海域和浅海水域、岩石海岸，风电场周边分布有褐翅燕鸥、粉红燕鸥等鸥类，其他鸟类较少。

根据鸟类生物学和生态学特性，结合鸟类行为学研究实践，针对施工期对栖息和觅食的具体影响分析如下：

游禽类：包括黑尾鸥、褐翅燕鸥、粉红燕鸥、普通燕鸥、黄脚银鸥和西伯利亚银鸥等游禽类，喜集群或单独活动，重度受人为活动干扰，褐翅燕鸥、粉红燕鸥等鸥类在福

建省沿海广泛分布，数量较大。在施工期间，距离150~200m，就会对其活动产生影响，在距离200m以上，影响会明显减弱。项目评价区周边水鸟主要分布在沿岸和附近海域。由于风机布置离鸟类分布区较远，施工期对风电场施工区及周边觅食活动的褐翅燕鸥、粉红燕鸥和黑尾鸥等鸥类产生影响较小，施工期活动虽然对鸥类的觅食、活动将产生一定的负面影响，减少了一些觅食、活动地域，但受影响程度为轻微影响，影响有限，项目区周边可以容纳其继续生存、觅食，能有效缓解这些负面影响，其影响是可以接受的。

风力发电机组基础施工、机组安装及海底电缆铺设会破坏项目区的海洋鱼类的生境，使项目区的鱼类的种类和生物量减少，进而影响鸥类觅食。但由于施工作业属短期行为，施工结束后，底栖生物和鱼类可在一定时间内得以恢复，同时施工影响范围仅限于风机周边，施工活动对水域的扰动影响有限，仅局部影响周围水域内水生生物的种类和数量，而且在风电场施工区的鸥类活动较少，因此项目建设对鸥类产生较小影响。

综上所述，由于风电场施工区为海域，鸟类主要为鸥类，属于广泛分布的种类，为常见物种，且多数属于轻微或者中度受干扰的种类。施工期虽然对鸥类的觅食、活动将产生一定的负面影响，减少了一些觅食、活动地域，但项目建设区距鸥类停歇的部分岛屿较远，受项目建设影响的物种及其数量也有限，项目区周边可以容纳其继续生存，能有效缓解这些负面影响，其影响是可以接受的。

5.6.2.2 对鸟类迁徙影响

由于项目区域缺乏适合鸕鹚类、鹭类等涉禽类栖息的潮间带滩涂。施工区不涉及鸟类鸕鹚类、鹭类等涉禽类栖息地，同时项目评价区不是水鸟主要迁徙路线，因此施工时对鸕鹚类、鹭类等涉禽类迁徙基本上无影响。

项目评价区域迁徙鸟类主要为鸥类等游禽类，在评价区分布的种类和数量较少，属于广泛分布的种类。施工时仅涉及少量的涉禽类活动区域，而且在此区域活动鸥类等游禽类数量较少，同时项目建设区距离罗源湾、闽江河口、福清湾等鸟类迁徙主要越冬地和迁徙路线50km以上，项目评价区不是迁徙鸟类主要迁徙路线，对偶尔在上空迁徙路过的鸟类影响很小。因此，施工期对鸥类等游禽类迁徙影响较小。

综上所述，项目建设区距离罗源湾、闽江河口、福清湾等鸟类迁徙主要越冬地和迁徙路线50km以上，而项目评价区不是迁徙鸟类主要迁徙路线，项目建设施工期对迁徙鸟类影响较小。

5.6.2.3 对鸟类繁殖影响

截至目前实地调查情况看，未发现项目评价区有褐翅燕鸥、粉红燕鸥等鸥类集中繁

殖的区域，施工期不会对繁殖鸟类造成影响。但应加强监测，及时关注对燕鸥类活动的影响，并制定相应保护措施。

5.6.3 营运期对鸟类的影响分析与评价

5.6.3.1 对鸟类觅食的影响分析与评价

(1)对冬候鸟觅食的影响分析与评价

根据调查，项目评价区周边冬候鸟有黑尾鸥，是项目评价区主要的迁徙越冬候鸟，但这些冬候鸟种类数量均较少，且是常见、广泛分布的物种，黑尾鸥主要是在沿岸的岩石海岸和附近海域觅食或停歇。风电场距离鸬鹚类和鹭类觅食地超过50km，营运期对其觅食没有影响；由于在项目评价区分布冬候鸟游禽水鸟的数量较少，主要分布区离风机距离大于50km，营运期对鸥类会产生较小影响。

由于风电机在运转过程中会产生叶片扫风噪声和机械运转噪声，多数风机轮毂处的噪声可达100dB（A）以上。由于大多数鸟类对噪声具有较高的敏感性，与风机近距离的接触将使鸟类难以适应，在该噪声环境条件下，风机转动存在对鸟类驱赶作用，大多数鸟类会选择回避，减少活动范围，使水鸟放弃风电场区域作为觅食地。风电场分布水鸟主要是鸥类，偶尔在此飞翔和觅食。另外，候鸟在迁移途中觅食时，飞行高度一般低于200m，而风机叶片旋转高度约为29~281m。因此，风机运行将直接对风电场内的鸟类觅食产生影响，直接影响部分鸟类在风电场范围内的觅食飞行，所以风电场范围将不适宜作为鸟类的栖息觅食场所。鸟类对栖息地大都有记忆，一旦生境破坏或改变，鸟类将避开原觅食地，这种影响将是长期的、不可逆的。

项目评价区海上风电场建成后将使风电场区域鸟类觅食的范围基本不影响，在风电场邻近海域能够满足水鸟觅食需求，不会导致风电场附近海域水鸟种群密度降低，同时由于风机的转动噪声将影响海域中鱼类的活动规律和分布，但是对水鸟的食物量影响有限。

但是，鸟类对噪声具有较大的忍耐力，对于稳定的噪声很快就会适应。德国曾在1994年—1999年在30台风力发电机附近，研究风机噪声对鸟类的影响，结果发现，距离鸟类的栖息地250m以上，风力发电机组噪声对鸟类正常的栖息、觅食的影响较小。

虽然风电场理论占用水鸟可能的觅食地，本工程永久建设用海548.0959hm²，规划面积76km²，但是由于项目评价区海上风电场周围海域分布的水鸟种类少，在此活动的水鸟数量也少，风电场及周边海域不是候鸟迁徙途中的主要觅食地。而且被风机占用区域周边海域水生生物分布受到影响小，原有底栖生物的生境没有改变，不会使冬候鸟的

觅食环境受到大的影响。因此，风电场对冬候鸟觅食地食物量影响小，对冬候鸟觅食造成影响很小。

而且本项目为海上风电场，不占用沿岸滩涂、水产养殖场等冬候鸟的觅食地，项目评价区外的岛上和沿岸滩涂等水鸟的主要觅食地未受影响。鸕鹚类和鹭类主要分布在项目评价区外的沿岸滩涂，风机对鸕鹚类和鹭类等涉禽的觅食影响很小。

综上所述，风电场营运期主要是风电场对水鸟觅食范围和食物量产生较小的影响，对冬候鸟觅食的影响程度较小。

(2)对留鸟觅食活动的影响分析与评价

项目评价区外有白鹭、白头鹎、八哥、麻雀等留鸟，这些留鸟主要分布于项目评价区外岛上以及陆地上，海上风电场建设区域在海上，项目评价区不是留鸟栖息地，风电场海上建设对留鸟没有影响。

(3)对夏候鸟觅食的影响分析与评价

根据调查，调查评价范围周边夏候鸟有鸥类（褐翅燕鸥、粉红燕鸥），主要分布在沿岸海域和马祖列岛附近海域，项目评价区的鸥类觅食地距离风电场8km以上，觅食地距离风电场较远，风电场鸥类等夏候鸟觅食基本无影响。

项目评价区是夏候鸟游禽鸥类（褐翅燕鸥、粉红燕鸥等）繁殖区，但未发现有鸥类在评价区内集群繁殖，且不是其主要觅食区。

综上所述，长乐外海J区海上风电场项目仅占用少量鸟类的觅食地，而且风电场距离项目评价区鸟类主要觅食地较远，风电场对冬候鸟、留鸟和夏候鸟觅食影响小。

5.6.3.2 对鸟类迁徙的影响分析与评价

(1)风机高度对迁徙鸟类的影响

长乐外海J区海上风电场虽然位于东亚—澳大利西亚迁飞通道和西太平洋迁飞通道范围内，但是经调查项目评价区并非迁徙鸟类主要迁徙路线。鸕鹚类和普通鸕鹚等水鸟为项目评价区外的鸟类，也是主要的迁徙鸟类。鸕鹚类和普通鸕鹚类的迁飞主要在高空依靠气流来带动飞行，鸕鹚类和普通鸕鹚迁徙大多是高空迁飞，这些候鸟迁飞高度超过300m，项目评价区海上风电场的风机叶片旋转的离地面小于300m，鸟类迁飞的高度超过风机的轮毂和叶片的高度。因此，风电场风机对水鸟迁徙影响很小。

但是在鸟类迁徙遇到逆风不能着陆时，飞得很低，几乎是近地面或近水面飞行，特别是在夜间或有雾、烟、密云和透视度低的天气，发生误撞而死亡的几率会提高。但在项目评价区秋季迁徙期一般很少发生有雾、烟和密云的天气，台风等不利天气主要是发

生在夏季，非鸟类的迁徙季节。因此，不利天气因素造成对项目评价区鸟类迁徙造成不利影响小。

据美国审计署统计，雀形目鸟类是与风机撞击更多的鸟类，占撞击死亡鸟类的80%左右。小型鸣禽如往返于休息地与觅食地、饮水地等的迁徙活动中，都是低空飞行，飞行高度大都低于100m，尤其在鸟类迁徙密集区域撞机风险更大，碰撞塔架或风机叶片造成伤亡。但是同撞飞机、汽车、建筑物、通讯塔、架空电线等鸟类死亡的数量相比，死于风电场风机下的鸟数量是很少的，海上风电场对于鸟类撞击死亡的影响比较小。

风机主要对少数飞行高度较低的小型鸣禽迁徙构成威胁，但是这些鸣禽迁徙路线在陆地上，没有经过海面，本项目海上风电场不存在风机对小型鸣禽迁徙的影响。

(2) 风机转动速度对迁徙鸟类的影响

根据目前的研究监测资料，鸟撞风机与一系列因素相关，如鸟的种类、数量、行为、地形地貌、天气状况、风力电场的地理位置等。当风电场位于或靠近鸟类迁徙通道或鸟类局部大量集聚的区域时，鸟撞发生的概率会大大增加。鸟类在捕食时要降低飞行高度，更容易与风机相撞。

由于鸟类与风机发生撞击而造成死亡通常与风机的转速呈一定的相关关系，一般变速的风机对鸟类的影响较大。据统计，有80%以上的鸟类可以穿过变速的风机而不受丝毫损伤。

项目评价区海上风电场风机的转速较慢，而鸟类视觉极为敏锐，反应机警，能够发现并躲避障碍物，在飞行途中遇到障碍物都会在大约100~200m的距离下避开。因此，在天气晴好的情况下，鸟类误撞风电机的几率极小。根据我们对周边已建的风电场观察，并未发现有鸟类撞风机死亡的现象。但是，为了更好地解决项目评价区风能资源开发和候鸟资源保护之间的矛盾，建议长时期对鸟类进行连续观测，并在风电场周围建立鸟类观测点，加强对风电场区域鸟类生活习性（栖息、觅食、迁飞）的观察。

(3) 风电场对迁徙鸟类的影响

风力发电场占有鸟类迁徙通道较大的面积，而且巨大的风机横亘在鸟类迁徙路线上，有可能成为鸟类迁徙的障碍。根据建设单位提供的资料，行内间距控制在 $2.35D$ （ $D=252m$ 来计算）以上，行间距控制在 $11.8D$ 以上，风机基座之间和风机叶片转圈之间保持一定的距离，风机与风机之间有一定的廊道供鸟类栖息飞行通过。有些水鸟会在风机之间穿越飞行，迁徙候鸟有一定避让风电场的能力，而且项目评价区海上风电集电线路采用海底电缆，不是采用高压输电线，从而避免鸟类迁徙撞击电线现象发生。而且鸟类的视觉

极为敏锐、反应机警，加之本项目风机周围鸟类分布很少。因此，发生鸟类碰撞风机致死现象的可能性很小。

据丹麦科学家通过雷达对Nysted海上风电场鸟类迁徙监测发现，鸟类的视力很好，白天鸟类在3000m外，夜间鸟类在1000m外绕开风力发电场飞行，改变飞行方向，水鸟在距离风力发电场100~3000m的地方就对风力发电场有所避让，鸟类对风力发电场这类障碍物有一定的避让能力。但是这种避让行为无疑会增加迁飞的能量消耗，风电场的存在影响水鸟飞行路线和分布。据台湾彰化风电场鸟类监测发现，冬季在涨退潮期间通过风机的数量较多，高度多在40m以下的低风险区，而在40~120m的高风险区数量很少，而且飞行通过的种类以小型鸕鹚为主。在丹麦的Nysted和HornsRev风力发电场鸭类能480m排间距的风机之间穿越飞行。

从以上分析来看，项目评价区迁徙候鸟有一定避让风电场的能力，风电场对迁徙鸟类影响较小。

综上所述，鸟类在迁徙过程中与海上风电场风机相撞概率低，风电场建成后不会对候鸟迁飞构成威胁，对鸟类迁飞影响较小。

5.6.3.3 对鸟类繁殖的影响分析与评价

在项目评价区范围内未发现有繁殖地。

海上风力发电场风机运转时发出的噪声以及风力发电场的工作人员的活动对风电场和周围的繁殖鸟类也会造成一定的干扰，使这些鸟类远离风电场活动。而且在繁殖期育雏期间，飞行频繁而且风机的叶片运转所产生的噪声和气流干扰可能会改变觅食地区鱼类等水生生物的活动格局，会对繁殖鸟类的觅食和繁殖生态造成影响，导致繁殖鸟类繁殖成功率下降。但是，项目评价区海上风电场风机离岛屿最近距离约15km，未发现项目评价区海域有主要的水鸟在此区域繁殖，因此，风电场不会对繁殖鸟类繁殖造成影响，不会因为干扰繁殖鸟类的活动而造成繁殖鸟类的营巢成功率下降，对繁殖鸟类繁殖期的觅食和繁殖基本不会影响。

鸟类的繁殖是其生活史的重要阶段，晚成鸟育雏期亲鸟频繁往返于巢与觅食地之间，而且飞行高度通常在鸟撞风机的高风险区，亲鸟一旦发生意外，当年繁殖失败。繁殖鸟类孵卵期间进出觅食地和繁殖地之间活动，在育雏期间更是密集进出觅食地和繁殖地捕捉食物来喂雏鸟，所以在繁殖期间通过风机间的繁殖鸟类，伤害通常发生在它们在觅食地和繁殖地间地来回飞行中，有可能亲鸟发生意外，降低了雏鸟的存活率，但概率很低。

综上所述，项目评价区海上风电场的建设对项目评价区繁殖鸟类的繁殖基本不影响。

5.6.3.4 对鸟类栖息地的影响分析与评价

项目评价区主要是海域，目前调查无水鸟分布。

本项目为海上风电场，场址离岸距离约56~62km，海上风电场边缘距离东犬岛等岛屿30km以上，风电场对水鸟以及陆地的鸟类栖息、觅食产生的影响相对较小，而且分布在风电场周围的鸟类相对较少，对鸟类栖息地总体影响小。

项目建成后，风电场可能对本区鸟类活动的影响主要表现在两个方面：一是风电机组桨叶的运动，风机运行时，风轮机转动对低飞的鸟起到驱赶和惊扰的作用；主要是对留鸟产生影响，对候鸟和旅鸟影响不大，所以营运期产生的噪声对项目评价区迁徙候鸟的影响较小，项目评价区海上风电场范围内未发现有留鸟分布，不存在风电场对留鸟的影响。二是风电机组的噪声，风电机组的噪声超过100dB，主要是气流与风机叶片作用产生的，属于比较稳定持续的噪声，该噪声对鸟类有一定影响，对鸟类的栖息环境也将产生比较明显的影响。根据相似环境的已建成的风电场调查资料，由于整个风电场在海上布置，鸟类对噪声的敏感性，在风电场及其周边候鸟栖息将不可避免地受到某种程度的影响，从而远离风电场，在风电场周边海域上停歇或栖息的候鸟将有所减少，同时风电场的建立占用一定面积的鸟类生境，从而迫使栖息在风电场范围内的鸟类迁移到别处，重新选择适宜的生境。风力发电机组噪声、风机以及气流干扰等会影响鸟类正常的栖息环境。

选择类似风电场作为参照物。根据对周边风电场（长乐A区）的鸟类调查监测，参照营运期对鸟类种群、数量与分布的影响，结合本项目评价区鸟类及生境现状的调查，分析本项目营运期对鸟类影响。

①在距离风电场100m范围内，为重度影响区。由于风机转动以及噪声等，干扰增大，该范围内鸟类种类和数量会减少。根据调查，在现有分布的鸟类中鸥类不在此区域活动。由于在距离本风电场项目区100m范围内，鸟类种类和数量不多，对其影响较小。

②在风电场100~250m范围内，为中度影响区。本项目此区域主要为海域，在现有分布的鸟类中鸥类等鸟类基本不受影响，但可以继续在此范围活动，受到影响较小。

③在距离风电场250~400m范围内，为轻度影响区。在此区域现有分布的鸟类中主要是鸥类，估计仅鸥类栖息活动会受到轻微的影响，但是少有其他鸟类在此区域内分布，影响较小。

④在距离风电场400m以外的区域，水鸟的活动几乎不受影响，为零影响区。

项目区400m以内的鸟类种类和数量较少，风电场的建设占用的面积较小，且风电场

建设后，鸟类仍可以停留在项目区。因此风电场建设后，对当地鸟类的栖息地影响较小，项目的建设对鸟类的栖息地影响在可接受范围。

5.6.4 项目建设对闽江河口及周边燕鸥类影响分析

白犬列岛由东犬岛、西犬岛等15个岛屿组成，位于闽江口东南面，暂由“台湾当局”福建省连江县（马祖）管辖。

2000年由“台湾当局”设立“马祖列岛燕鸥保护区”，包括东引乡的双子礁，北竿乡的三连屿、中岛、铁尖岛、白庙、进屿，南竿乡的刘泉礁，莒光乡的蛇山等八座岛屿及其低潮线向海延伸100m内之海域，总面积71.6166km²，主要保育对象为岛屿生态、栖息之海鸟及特殊地理景观，近年来在马祖列岛燕鸥保护区繁殖的燕鸥数量已达上万只，主要繁殖燕鸥区域位于中岛、铁尖岛、蛇山。

福建闽江河口湿地国家级自然保护区鱼类资源丰富，4~8月主要水鸟繁殖以大凤头燕鸥（*Sterna bergii*）（凤头燕鸥）、白额燕鸥、普通燕鸥（*Sterna hirundo*）、乌燕鸥（*Sterna fuscata*）、粉红燕鸥（*Sterna dougalli*）（红燕鸥）、黑枕燕鸥（*Sterna sumatrana*）（苍燕鸥）、中华凤头燕鸥（*Sterna bergii*）（黑嘴端凤头燕鸥）等燕鸥类为主，与“马祖列岛燕鸥保护区”组成燕鸥类繁殖区域，闽江河口湿地与破浪石屿（蛇山）水鸟繁殖地距离约25km。

连江县四母屿群岛位于福建省连江县筱埕镇外海，由东碇下屿、平碇头屿、屏头碇礁、浦澳屿、南屏屿等6个岛礁组成，距离陆地约10km，属于无居民海岛。2018年南屏屿发现有中华凤头燕鸥、大凤头燕鸥、粉红燕鸥、黑枕燕鸥等燕鸥类在此筑巢繁殖，数量有400多只。2019年—2021年对南屏屿进行了生境修复、种群招引等保护与修复措施，在南屏屿发现有粉红燕鸥、黑枕燕鸥、普通燕鸥、褐翅燕鸥等燕鸥类在此筑巢繁殖，总数量超过1500只，中华凤头燕鸥和大凤头燕鸥有在此出现，但没有筑巢繁殖记录。2022年南屏屿有中华凤头燕鸥3对6只，繁殖成功1只，大凤头数量达300多只，繁殖成功50只；2023年中华凤头燕鸥6对12只，大凤头数量达到400多只，但弃巢离开四姆屿，繁殖失败。

近年在平潭山白岛等周边三个岛屿有500多只的褐翅燕鸥繁殖记录。

根据相关研究，燕鸥类在此主要活动区域，平均离岸距离：2.56±2.73km；平均水深：15.6±10.3m。迁徙时与大多数水鸟一样，沿大陆沿海迁徙。2016年主要活动区域位于连江黄岐和闽江口（含长乐、马尾和连江），其次是位于平潭东北侧山洲岛等多个岛屿及其浅海水域；2017年主要活动区域依次是连江黄岐、闽江河口湿地自然保护区和平

潭竹排屿及其浅海水域。2018年主要凤头燕鸥（中华凤头燕鸥和大凤头燕鸥）繁殖于刘泉礁、蛇山、铁尖岛，2019年到2023年主要在铁尖岛繁殖（表5.6-1），2022年与2023年在连江南屏屿繁殖。大凤头燕鸥和中华凤头燕鸥选择闽江口及周边岛屿作为繁殖地，但因各种原因成功率较低。这些水鸟繁殖记录除了褐翅燕鸥外，其他在福建闽江河口湿地国家级自然保护区均有分布。

表 5.6-1 近期凤头燕鸥在闽江河口及周边繁殖情况

	2011		2012		2013	2014		2015	2016	
假鸟设置岛屿	中岛	铁尖岛	蛇山	铁尖岛	铁尖岛	铁尖岛		铁尖岛	铁尖岛	
燕鸥使用岛屿	中岛	铁尖岛	蛇山			铁尖岛	白庙	铁尖岛	铁尖岛	蛇山
凤头燕鸥抵达日期	5月24日	6月3日	5月23日		6月15日	6月底	6月初	5月26日	6月10日	5月25日
凤头燕鸥弃巢日期	6月15日		6月16日							6月10日
雏鸟数量		500			200	10	?	1000	?	
成鸟最大量		3000	1130		3500	700	4400	4800	3500	600
繁殖成功与否	失败	成功	失败		成功	失败	成功	成功	成功	失败
失败原因			台风?							
	2017		2018			2019	2020	2021	2022	2023
假鸟设置岛屿	铁尖岛		铁尖岛			铁尖岛	铁尖岛	铁尖岛	铁尖岛	铁尖岛
燕鸥使用岛屿	铁尖岛	蛇山	铁尖岛	蛇山	刘泉礁	铁尖岛	铁尖岛	铁尖岛	蛇山	铁尖岛
凤头燕鸥抵达日期	6月10日	5月25日	5月31日	5月30日	6月25日	5月28日	6月1日	5月27日	6月11日	5月23日
凤头燕鸥弃巢日期		7月28日	6月1日	7月11日			7月15日	6月22日	7月28日	6月14日
雏鸟数量	1000					1100		20	50	
成鸟最大量	5600	600	500	800	1000	5500	3700	2200	1000	3000
繁殖成功与否	成功	失败	失败	失败	失败	成功	失败	失败	失败	失败
失败原因			台风				不明原因	人为干扰	人为干扰	游隼

长乐外海J区海上风电场离岸最近距离约56km，理论水深约47~54m。风电场与“马祖列岛燕鸥保护区”最近的双子礁42km、蛇山43km，与近年主要繁殖岛屿铁尖岛距离54km，与南屏屿繁殖岛屿距离65km；与闽江河口湿地国家级自然保护区距离70km（表5.6-2）。项目建设区域与凤头燕鸥繁殖岛屿距离较远，在调查中，项目建设区域除了褐翅燕鸥和白腰燕鸥外，未发现其他燕鸥类，项目建设对燕鸥类繁殖影响较小。

表 5.6-2 项目建设区与凤头燕鸥主要繁殖岛屿距离、方位表

岛屿名称	双子礁	三连屿	中岛	铁尖岛	白庙	进屿	刘泉礁	蛇山	南屏屿	山白岛	闽江河口自然保护区
风电场与岛屿距离（km）	42	44	50	54	52	50	44	43	65	53	70
风电场与岛屿方位	西北	西北	西北	西北	西北	西北	西	西	西北	西南	西

5.7 噪声环境影响预测与分析

5.7.1 施工期水下噪声影响分析

海上风电场施工作业将在水下产生较强的噪声场分布，典型的工程作业如桩基打桩作业、拖轮及驳船作业。这些噪声往往同时发生，对工程海域的海洋生物将造成影响。本工程施工产生的水下噪声源分为三大类：施工机械、施工船、桩基打桩，其中施工机械、施工船只产生的水下噪声强度较低，对海洋生物几乎没有影响，因此重点分析桩基打桩产生的水下噪声，本工程打桩涉及风机基础施工。

5.7.1.1 打桩施工水下噪声环境影响

(1) 噪声源强

水下打桩可分为冲击打桩和振动打桩两类，冲击打桩使用水锤泵对桩施加冲击力将桩沉入地下，振动打桩使用旋转偏心块对桩施加交变力，通过振动将桩沉入地下。水下冲击打桩是海洋工程的典型主要强噪声来源，其特点为高声源级，单次冲击表现为脉冲式宽频波形，而对于一根桩柱需要多次冲击才能完成作业，因此表现为连续多个脉冲的脉冲串。海上风电场施工中的主要噪声见下图5.7-1。其中风机打桩施工噪声为主要的噪声源，将产生较大较强的水下冲击波噪声，对海洋生物产生一定的影响。

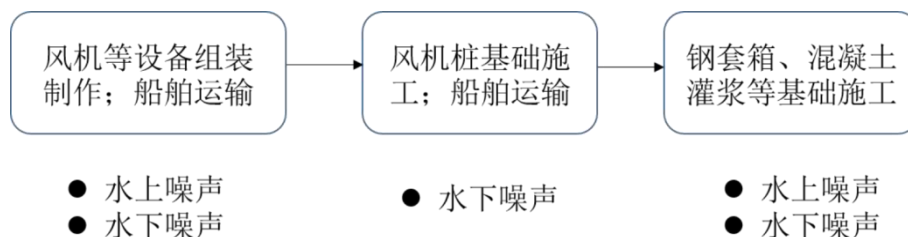


图 5.7-1 机组主要施工噪声

根据国内外已经建成风电场的施工期打桩噪声的实测结果，并参考厦门大学硕士论文（海上风电场水下打桩噪声研究-张然），打桩噪声的峰值源强与桩径的关系式为：

$$SL=228.5*D^{0.0672}$$

以上公式是厦门大学基于国内外桩径为0~6.5m（包含6.5m）的打桩实测数据得到的，式中D为桩径，单位为m，SL为距离打桩点1m处打桩噪声全频段峰峰声源级，单位为dB。

本工程风机四桩导管架桩径4米，代入公式可计算得到施工打桩的峰值噪声源强为251dBre1μPa@1m。

(2)施工期海洋生物安全距离要求

根据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T0341-2022）相关内容，将海洋生物分类为海洋哺乳动物和鱼类，并根据海洋哺乳动物的种类、听力频段，鱼类的生理形态进一步划分其听力影响阈值，其中听力阈值影响又分类为暂时阈值漂移（TTS）和永久阈值漂移（PTS）详见表5.7-1、表5.7-2。

表 5.7-1 人为水下噪声对海洋哺乳动物影响阈值

听力分组	非脉冲噪声		脉冲噪声	
	TTS	PTS	TTS	PTS
低频鲸目	179dBSELw	199dBSELw	168dBSELw 或 213dBSPLpk	183dBSELw 或 219dBSPLpk
高频鲸目	178dBSELw	198dBSELw	170dBSELw 或 224dBSPLpk	185dBSELw 或 230dBSPLpk
超高频鲸目	153dBSELw	173dBSELw	140dBSELw 或 196dBSPLpk	155dBSELw 或 202dBSPLpk
海牛目	186dBSELw	206dBSELw	175dBSELw 或 220dBSPLpk	190dBSELw 或 226dBSPLpk
海豹类食肉目	181dBSELw	201dBSELw	170dBSELw 或 212dBSPLpk	185dBSELw 或 218dBSPLpk
其他海洋食肉动物	199dBSEL	219dBSELw	188dBSELw 或 226dBSPLpk	203dBSELw 或 232dBSPLpk

表 5.7-2 人为水下噪声对鱼类影响阈值

听力分组	致死或潜在致死	损害			行为响应
		物理损伤	TTS	声掩蔽	
无鱼鳔	219dBSELcum 或 213dBSPLpk	216dBSELcum 或 213dBSPLpk	186dBSELcum	(近) 中	(近) 高
				(中) 低	(中) 中
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔， 鱼鳔与听力无关	210dBSELcum 或 207dBSPLpk	203dBSELcum 或 207dBSPLpk	186dBSELcum	(近) 中	(近) 高
				(中) 低	(中) 中
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔， 鱼鳔与听力相关	207dBSELcum 或 207dBSPLpk	203dBSELcum 或 207dBSPLpk	186dBSELcum	(近) 高	(近) 高
				(中) 高	(中) 高
				(远) 中	(远) 中
卵和幼体	210dBSELcum 或 207dBSPLpk	(近) 中等	(近) 中等	(近) 中	(近) 中
		(中) 低	(中) 低	(中) 低	(中) 低
		(远) 低	(远) 低	(远) 低	(远) 低

项目风机四桩导管架基础峰值噪声源强取251dBre1μPa@1m。采用《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T0341-2022）中的方法计算声传播，当单根打桩施工时，计算得到项目海域的海洋动物保护距离为如表5.7-3所示：采用的声衰减计算公式为：

采用的声衰减计算公式为：TL=15.4*log(D/R)+14.1(5.7-6)

表 5.7-3 施工水下噪声影响预测

项目海域鱼类声源级保护阈值	四桩导管架基础施工（峰值源强 251dB）
196dB（超高频鲸目，TTS）	1140m
213dB（无鱼鳔，致死或潜在致死）	130m
186dB（无鱼鳔，TTS）	4100m
207dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力无关，致死或潜在致死）	316m
186dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力无关，TTS）	4100m
207dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力相关，致死或潜在致死）	316m
186dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力相关，TTS）	4100m
207dB（卵和幼体）	316m

(3) 施工噪声对海洋鱼类影响分析

对本工程所采用四桩导管架风机基础施工，在四桩导管架风机基础水下打桩施工时（单根打桩时），对无鱼鳔的鱼类致死距离为130m，对超高频鲸目的听力物理损伤保护距离为1140m，在1140m范围之外，打桩噪声可能会导致超高频鲸目出现暂时性听力阈值改变；对有鱼鳔的鱼类的潜在致死距离为278m，物理损伤保护距离为4100m。在4100m之外，会导致有鱼鳔的鱼类出现暂时性听力阈值改变，但是随着距离的增加，打桩噪声逐渐衰减。在打桩开始时，采用“软启动”的方式，驱赶海洋鱼类游离打桩作业区，或者在打桩周围设立“气泡帷幕”，可以减小对石首科鱼类的影响。

5.7.1.2 其他施工噪声影响

施工过程中，施工机械产生的噪声主要为打桩锤产生的噪声，根据相关资料，桩基础打桩时所采用的液压打桩锤的噪声级为85dB（A），噪声源强约为102dB（A），施工船舶等噪声声源级可达到85dB，可能对项目海域中的石首鱼科幼鱼等的行为产生某些干扰。根据同类型工程的类比调查监测，水上施工作业中，施工船舶及水下冲射挖沟等设备噪声昼间影响范围可达到100m，夜间影响范围可达到500m。一般的水下噪声声压级接近120dB，基本上已和海洋环境噪声相当，不会对鱼类和海豚等行为产生影响。

海底电缆施工噪声可能会对鱼类的交流、行为、觅食和避敌等产生短期有害影响，施工船舶会对在这一带海域活动的鱼类、特别是石首鱼科鱼类造成滋扰，受影响的鱼类将因回避而离开施工区域。但当环境滋扰消失或较少时这些鱼类会恢复其原来的生活状态，当施工作业完成或滋扰减少时，部分海洋生物会恢复其原来的活动范围，迁移到较远水域的个体一般还会回迁。

5.7.2 运营期水下噪声影响分析

对我国已建的几个海上风电场在营运期的水下噪声监测情况进行调研，结合国外海上风电场营运期的监测资料进行分析。结果表明：风机在营运期中所产生的水下噪声级总体比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景噪声10~20dB/1μPa，总体噪声谱级都在120dB/1μPa以下。基本上与海域其他点测量到的背景噪声相近。在这些特定频段上（120Hz~1.5kHz）的噪声级提高并没有比因自然状况变化所带来的噪声级提高更多，如下雨噪声、动物自身的移动、船运噪声。

营运期的水下噪声主要由风机运转而产生，尤其是低频噪声通过结构振动经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生了水下噪声。风机运行中向水下辐射噪声的主要途径是风机运行的噪声源从空气中直接通过海面折射到水下、通过风机塔架传导到水中、从风机塔架到海底再辐射到水中三条声传播路径组成，见图5.7-2。

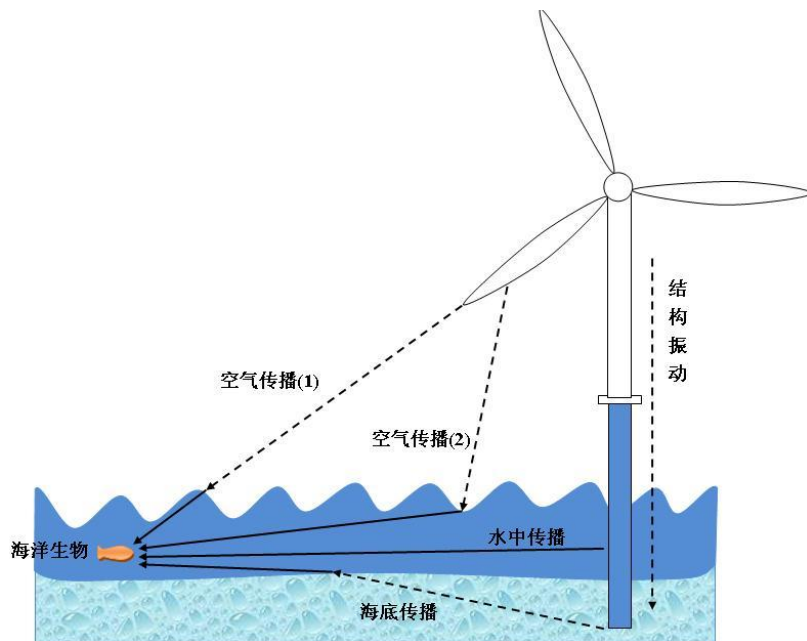


图 5.7-2 风机运行水下噪声传播路径

5.7.2.1 风机运转噪声

(1) 风机结构

风力发电机主要包含风轮、机舱和塔筒三部分，在塔筒底部一般还配备有箱式变压器。机舱是风力发电机组的核心部分，内部主要由发电机、齿轮箱、控制系统、刹车机构等组成，见图5.7-3。海上风机的支承结构由塔架、基础及两者连接件构成，基础与风机塔焊接成一体，组成固定于海底的风车塔，塔上依次安装机舱、轮毂、叶片等设备。

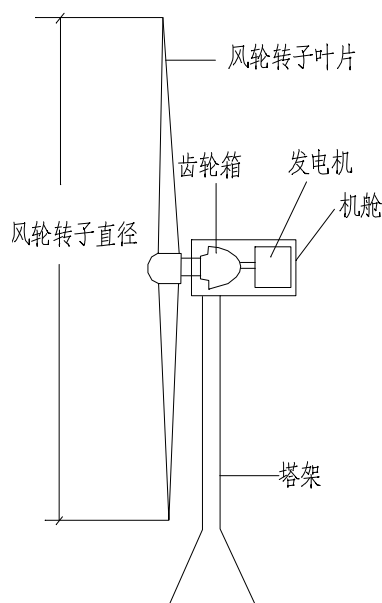


图 5.7-3 风机结构简图



图 5.7-4 风机噪声源强分布

(2) 风机噪声 (20Hz~20kHz)

工程运行期主要噪声源为风机运行产生的噪声，风机运行过程中产生的噪声主要有机械（结构）噪声和空气动力学噪声。机械噪声指由于内部机械设备运转时，机械部件间的摩擦力、撞击力或非平衡力，使机械内部部件和壳体振动而辐射发出噪声。空气动力学噪声指风力发电机组的叶片与空气相互作用而产生的噪声。随着科技的进步，通过提高机械制造精度、配备减震橡胶垫、在机舱盖内部加装隔音棉，机械噪声在现代风力发电机组中控制得越来越低，已不是主要噪声源。空气动力噪声源处于半自由空间，空间位置高，持续时间长，是海上风电场运行期间的主要噪声源。

风力发电机组工作过程中在风及运动部件的激励下，叶片及机组部件产生了较大的噪声，其噪声源主要有：

① 机械噪声及结构噪声

齿轮噪声：啮合的齿轮对或齿轮组，由于互撞和摩擦激起齿轮体的振动，而通过固体结构辐射齿轮噪声。

轴承噪声：由轴承内相对运动元件之间的摩擦和振动及转动部件的不平衡或相对运动元件之间的撞击引起振动辐射产生噪声。

周期作用力激发的噪声：由转动轴等旋转机械部件产生周期作用力激发的噪声。

电机噪声：不平衡的电磁力使电机产生电磁振动，并通过固体结构辐射电磁噪声。

机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源，而且对人的干扰度最大。这部

分噪声是能够控制的，其主要途径是避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，如提高加工工艺和安装精度，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件等。为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声。

(2)空气动力噪声

空气动力噪声由叶片与空气之间作用产生，它的大小与风速有关，随风速增大而增强。处理空气动力噪声的困难在于其声源处在传播媒质中，因而不容易分离出声源区。

(3)通风设备噪声

散热器、通风机等辅助设备产生的噪声。

(4)单台风机噪声

风机运行过程中产生的噪声主要由机械及结构噪声和空气动力噪声组成。空气动力噪声主要由叶片快速转动从而形成气流湍流扰动形成，因此叶片转速越高造成的空气动力噪声越强。

5.7.2.2 营运期水上噪声评估

风力发电机组在运转过程中产生的噪声来自叶片扫风产生的噪声和机组内部机械运转产生的噪声，其中以机组内部的机械噪声为主。本项目采用的风机启动风速在3m/s，额定风速为12.9m/s，切出风速为25m/s，当风速达到或超过额定风速时，风机噪声源强（主要为空气动力噪声）亦达到最高。当环境风速进一步升高时风机噪声不会进一步增强，而周围自然风和树木等的背景噪声会进一步提高，因此风电机组在额定转速条件下的噪声影响最为明显。本风电场风电机组轮毂距离地面约160m。

海上风电场噪声属于户外噪声。辐射声波在传播过程中，其波阵面会随距离的增加而增大，声能量扩散，声压或声强随距离的增加而衰减。除此之外，空气吸收、地面吸收、阻挡物的反射或屏障等因素的影响，也会使噪声产生衰减。海上风电场部分声波在由空气传播到海水中，由于传播媒质的改变，使其产生一定的折射和散射，会使部分声能改变传播方向。

根据实测结果与点声源衰减模式预测结果的拟合，在距风力发电机组较近情况下，声源为一面源，同时受机械噪声等高频噪声的影响，其噪声不符合点声源的衰减规律；在风力发电机组较远情况下，计算点大于风力发电机组几何体1倍距离后，其噪声衰减规律与点声源模式的衰减规律基本一致。

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》附录C推荐的预测模式，风力发电机

组影响预测公式如下：

假定声音从一个点源无吸收衰减传播，则距离单台风机声源 r 处预测点A声级 L_p

(r) 计算公式为：

$$L_p(r) = L_w(r_0) - 10 \lg(2\pi r^2)$$

式中： $L_p(r)$ ——单台风机声源 r 处预测点A声级，单位dB(A)

$L_w(r_0)$ ——单台风机声源 r_0 处A声级，单位dB(A)

经过声源衰减模式（5-1）的反推，风力发电机组轮毂处的最大功率级一般在95～110dB之间。

N台风轮机距离声源 r 处的噪声水平总效应 $L_{p,total}(r)$ 为：

$$L_{p,total}(r) = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{p,i}}{10}}$$

工程风力单台风力发电机组噪声采用最大声功率110dB计算。经预测，多台风机之间噪声的叠加仅是影响范围的扩大，基本不增加强度，风机组的叠加噪声影响较小。

项目运行期主要噪声源为风机运行噪声，噪声源强取决于叶片转速，以某风机的额定转速以最高声功率级110dB为例，在距离轮毂100m处（距桩基水平距离46m），风机运行噪声影响为59dB（A）；随距离衰减至300m处（距桩基水平距离288m）时，噪声影响为49.5dB(A)；当衰减至500m（距桩基水平距离494m）处时，噪声影响为45.0dB(A)，可满足《声环境质量标准》1类标准要求；当衰减至1000m处时，噪声影响仅39dB（A）。

表 5.7-4 风机噪声随距离衰减表单位：dB(A)

与轮毂的距离（m）	100	300	500	1000	1500
风机噪声（dB）	59	49.5	45	39	31

5.7.2.3 海上风电场运营期水下噪声类比监测

(1) 长乐外海海上风电监测结果

近几年，国内陆续建成多个海上风电场，厦门大学团队对莆田平海湾一期海上风电场、中广核江苏如东海上风电场等运营期水下噪声进行监测，监测结果表明：总体水下噪声由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其他点测量到的海洋环境背景噪声相近。

本工程风机为16MW，由于目前缺少16MW风机运行期的实测数据，因此本项目运营期水下噪声类比长乐外海海上风电C区项目。该项目于2021年底建成投入试运行，实际建设规模为总装机容量496MW，安装37台8MW和20台10MW的风力发电机组，运营

期间风机发电正常，主体工程及环保设施运行正常。

福建中科环境检测技术有限公司于2023年8月17日对风机运营期的水下噪声进行了监测。水上噪声监测时间：2023年夏季，共监测5个站位，昼夜各一次，共计两次，监测时间为2023年8月17日。根据水下噪声调查结果，风机正常工作时峰值声压级在（128~140）dB/1μPa之间，噪声背景峰值声压级在（135~145）dB/1μPa之间。风机水下噪声和监测海域的背景噪声相近，因此在风机正常工作时基本不会引起水下噪声的变化。

水上噪声监测时间：2023年夏季，共监测5个站位，昼夜各一次，共计两次，监测时间为2023年8月17日。根据本次水上噪声调查结果，风电场界的噪声符合《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的2类标准；由风机运行产生的噪声影响范围不大。

根据分析，本工程和类比对象位置均在开阔海域，海域环境相似，且根据国外风机厂家资料和国内实测推算数据，风力发电机组噪声声功率级较为接近。风机运行中水下噪声的频谱级基本上都相似，总体强度随频率增加而明显较小，在1~20kHz中功率谱级分布在140dB/1μPa到65dB/1μPa之间，在120到1.5kHz有一较宽的裙带状谱，强度增加为10~20dB/1μPa。因此本工程风机在运行后，对水下噪声环境影响较小。

(2)国外海上风电场营运期水下噪声类比分析

图5.7-5为英国2003年建成的NorthHoyle海上风电场营运期水下噪声监测结果（J.R.Nedwelle^{etal},2007）。图中的9条不同颜色曲线分别为从风场外到内，在不同距离上的水下噪声监测结果，在离风机最近227m距离上，测出的风机营运水下噪声在300Hz左右声压谱级达到最大值，为100dB，随后强度随频率增加而减少。

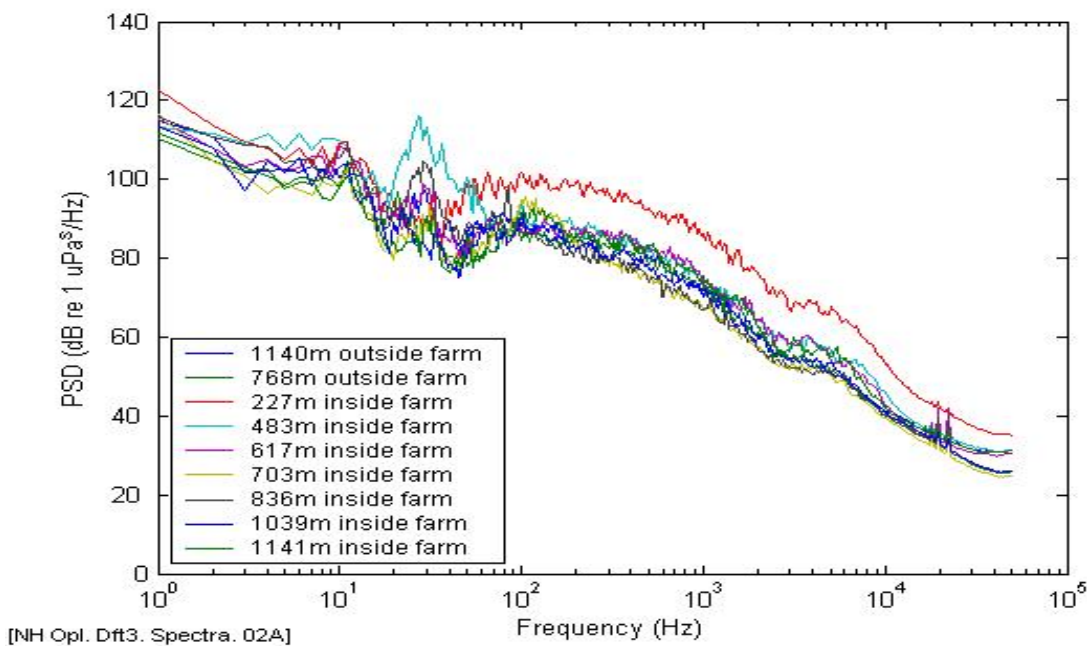


图 5.7-5 英国 NorthHoyle 海上风电场营运期水下噪声声压谱级分布

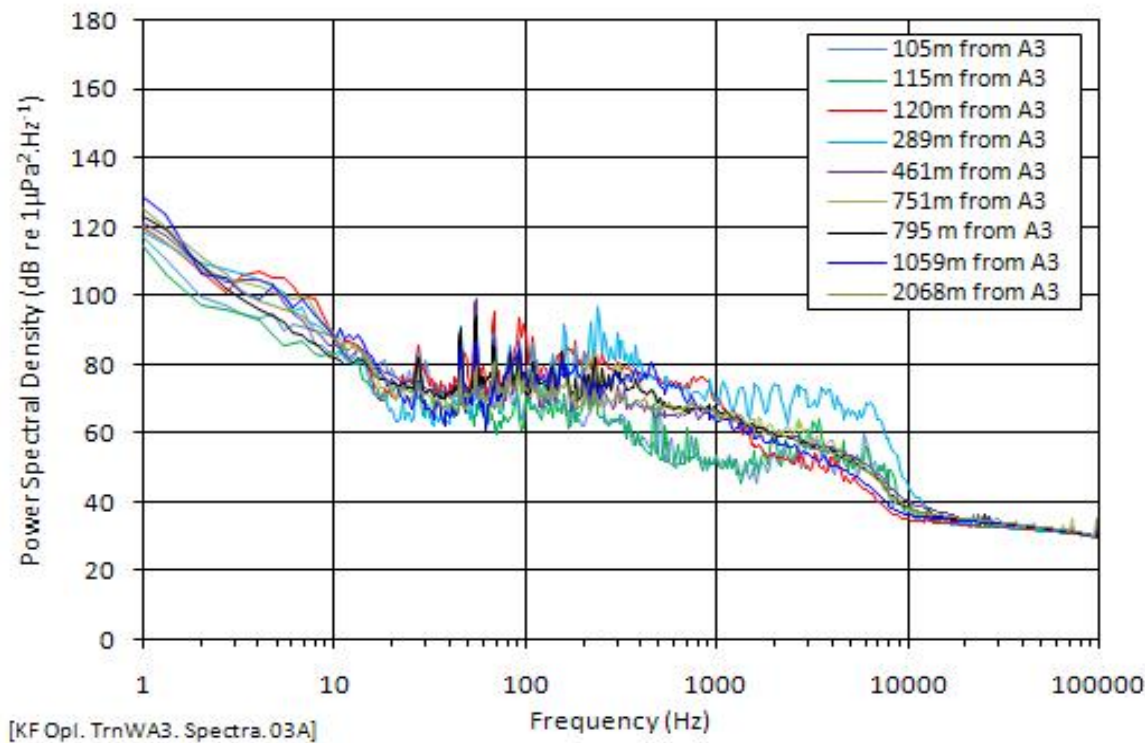


图 5.7-6 英国的 KentishFlats 海上风电场营运期的水下噪声声压谱级

图5.7-6为对英国的KentishFlats海上风电场营运期的水下噪声测量结果。KentishFlats海上风电场于2005年建成，机组容量为90MW，风机台数为30台，水深较浅（5m），风机类型3MW。测量时从离A3风机处漂流向外，最近距离105m，最远2km。从噪声声压谱级可见在10—300Hz有些明显的线谱信号，300Hz至10kHz有宽带噪声，但强度基本上

已与背景噪声相当。

R.Nedwell等（J.R.Nedwell et al, 2007）在2003年总结了约500次单独测量的浅水风电场营运期水下噪声，在频率10Hz-120kHz上North Hoyle的水下噪声平均值约为116dB re 1μPa，变化范围为90-158dB；而对于Scroby Sands所测结果是水下噪声平均值为120dB，变化范围为100-135dB。这结果与两个项目在建设前期所测量的海洋背景噪声级相符。同时还注意到，即使是十分靠近一个正在运行的风机，其噪声也没有比背景噪声高出20dB。虽然测试结果反映出风机营运中在水下产生了一些噪声，但是测试结果中风机噪声的特征并不明显，也没有对较远处的背景噪声产生影响。频谱分析结果未显示有机械或电机式的噪声特征成分存在。

5.7.2.4 空气和水中不同风速下风机的运行噪声

(1) 风机在不同风速下空气中的噪声

风机涡轮的噪声声功率级与风速的关系可参考文献[G.P.vandenberg, 2004]，其主要结论是在风机的切入风速到额定风速范围上，随着风速的增加噪声将增强，风速每增加1m/s，噪声级约增加1dB(A)/re 20μPa。噪声功率级随风速的变化见下表。

表 5.7-5 噪声功率级随风速的变化

风速 m/s	5	6	7	8	9	10
声功率级 dB(A)	94	96	98	101	102	103

风机轮轴转动的速度与声功率级 L_w 的关系，风机转动速度N（1min内风机转动的圈数，rpm）与声功率级 L_w 拟合的公式如下[G.P.vandenberg, 2004]：

$$L_w = 67.1 \log(N) + 15.4 \text{ dB(A)}$$

(2) 风机在不同风速下水中的噪声

图5.7-7为德国[Klaus Betke等, 2004]研究的不同风机、对应不同风速下的噪声谱级，同时画出了海豹和鼠海豚的听阈曲线，图5.7-8为丹麦[Jakob Tougaard等, 2009]研究的海上风电场在两种不同风速下的噪声谱级分布图。风电场为丹麦Middelgrunden海上风电场，风机类型为2MW。（图中，灰色为海洋背景噪声，蓝色为风机产生噪声；红色（正方形）为港海豹在该频段上的听阈曲线；红色（圆点）为鼠海豚在该频段上的听阈曲线）。

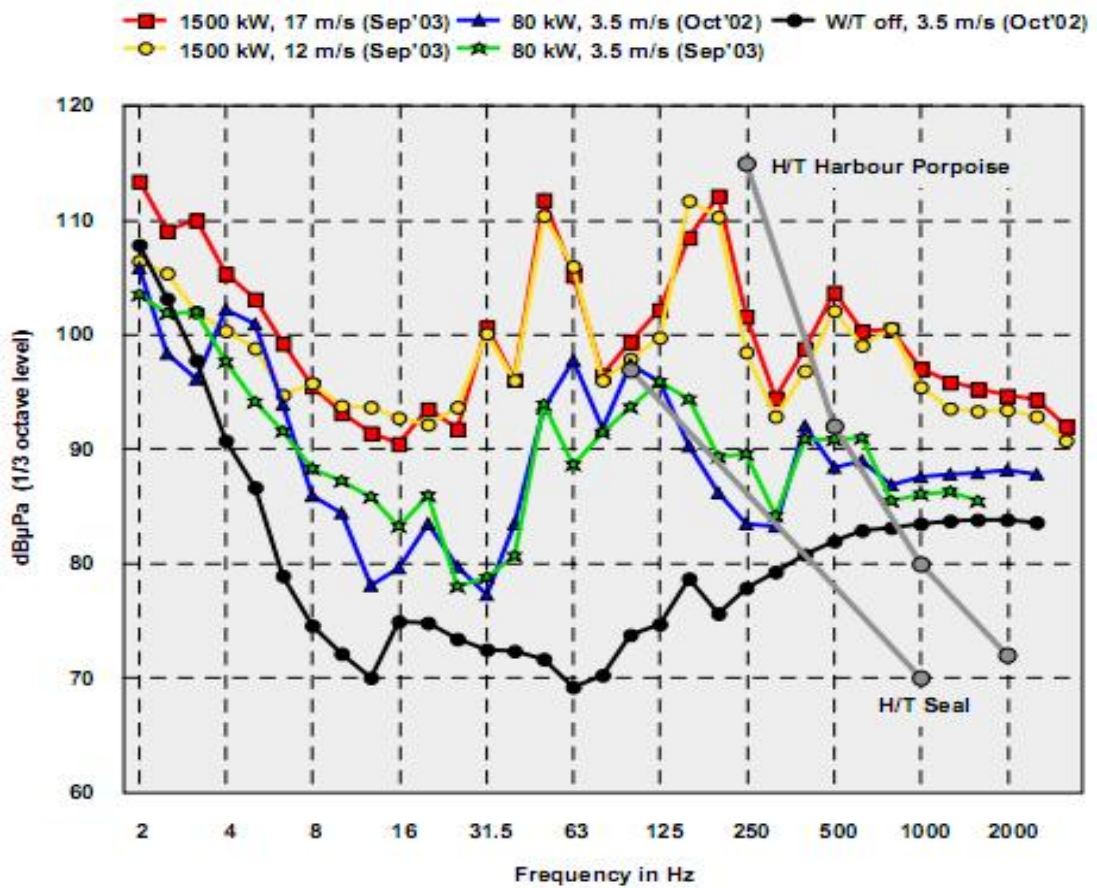


图 5.7-7 不同风机在不同风速下的水下噪声

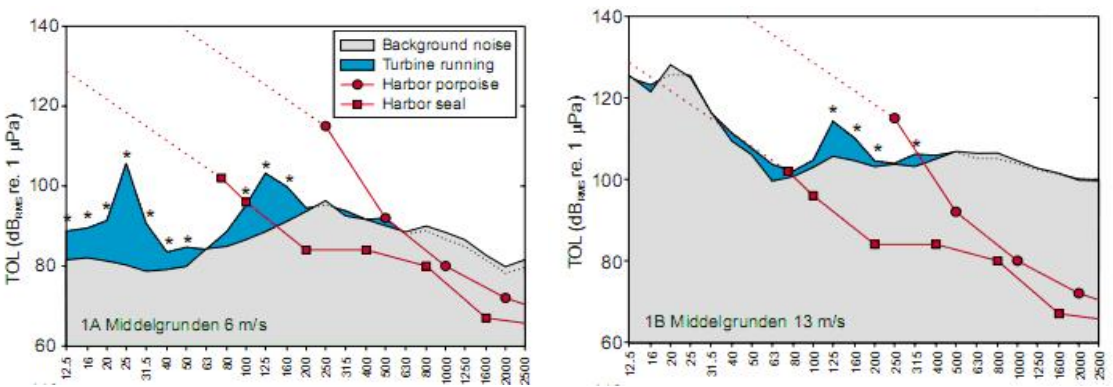


图 5.7-8 丹麦一风电场在两风速下两种不同的谱级

(3)结论

风机在水中不同风速下产生的噪声强度变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为6m/s和13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速13m/s时在低频段（63Hz以下）风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在125Hz频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高10dB/re1μPa左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

5.7.2.5 营运期水下噪声对海洋生物的影响

已有的海上风电在营运期的监测结果初步表明：风机运行中水下噪声的频谱级基本上都相似，总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其他点在没有风机运行的下测量到的背景噪声相近；风机在水中不同风速下产生的噪声强度变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为6m/s和13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速13m/s时在低频段（63Hz以下）风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在125Hz频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高10dB/re1μPa左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

5.7.2.5.1 风电场营运期水下噪声对石首鱼科（黄姑鱼、大黄鱼）的影响

基于大黄鱼、黄姑鱼等的发声特性来评估本海上风电场营运期水下噪声对石首鱼科行为的影响。

评估噪声对动物发声的掩蔽效应，通常要考虑动物发声信号的声学特征。发声信号首先要在相应频率上大于动物的听力阈值（HT），才能保证动物的发声可以被远处的同伴听到。Holt D.E.（2015）研究结果表明：对于纯音信号，在来自同一声源的噪声下，如果信噪比低于20-25dB，鱼类将不能探测到该纯音信号；当噪声来自不同方向时，信噪比临界值变为10-15dB。Holt等人在研究交通噪声对迷人真小鲤（Cyprinellavenusta）的敲门声和咆哮声（growl）（两者都是脉冲型信号）的掩蔽影响时，将信噪比的临界值定为10dB。

本报告采用10dB作为信噪比临界值，将1/3倍频程声压级作为对比标准，即当黄姑鱼发声信号与海上风电场营运水下噪声1/3倍频程声压级的差值小于10dB时，视为风电场噪声对黄姑鱼接收同伴发声信号产生影响，也称掩蔽效应。

(1) 水下噪声对黄姑鱼发声影响距离预测

在估算影响距离时，我们以黄姑鱼自由状态发声信号最大1/3倍频程声压级对应的中心频率为研究频率，将风电场噪声在海域内的传播视为按球面波扩展，得到扩展损失 $TL=20*\lg R$ ，由此可以得到风电场噪声的最大影响距离公式：

$$20\lg R = N_{\frac{1}{3}OBSL}(f_p) - Sig_{\frac{1}{3}OBSL}(f_p) + 10$$

$$R = 10^{\frac{N_{\frac{1}{3}OBSL} - Sig_{\frac{1}{3}OBSL} + 10}{20}}$$

其中， f_p 为黄姑鱼自由状态发声信号最大1/3倍频程声压级对应的中心频率， $N_{\frac{1}{3}OBSL}$

和 Si_{3OBSL}^1 分别为风电场噪声和黄姑鱼发声信号的1/3倍频程声源级。

根据对黄姑鱼发声信号的监测分析，黄姑鱼自由状态发声信号与离风机100m处测得的风电场水下噪声的1/3倍频程声压级分布如图5.7-9所示。其中黄姑鱼自由状态发声信号的1/3倍频程声压级为120个发声信号分析样本的平均值。由图可知黄姑鱼自由状态发声信号最大1/3倍频程声压级对应的中心频率为630Hz。在630Hz中心频率处黄姑鱼发声信号的1/3倍频程声压级为133dB；在中心频率630Hz100m处风电场噪声的1/3倍频程声压级为115dB，根据声传播损失按球面扩散规律估算公式，可得海上风电场噪声在中心频率630Hz距离1m处风电场噪声的1/3倍频程声压级为155dB：

$$115+20lg100=155dB\mu Pa/1m$$

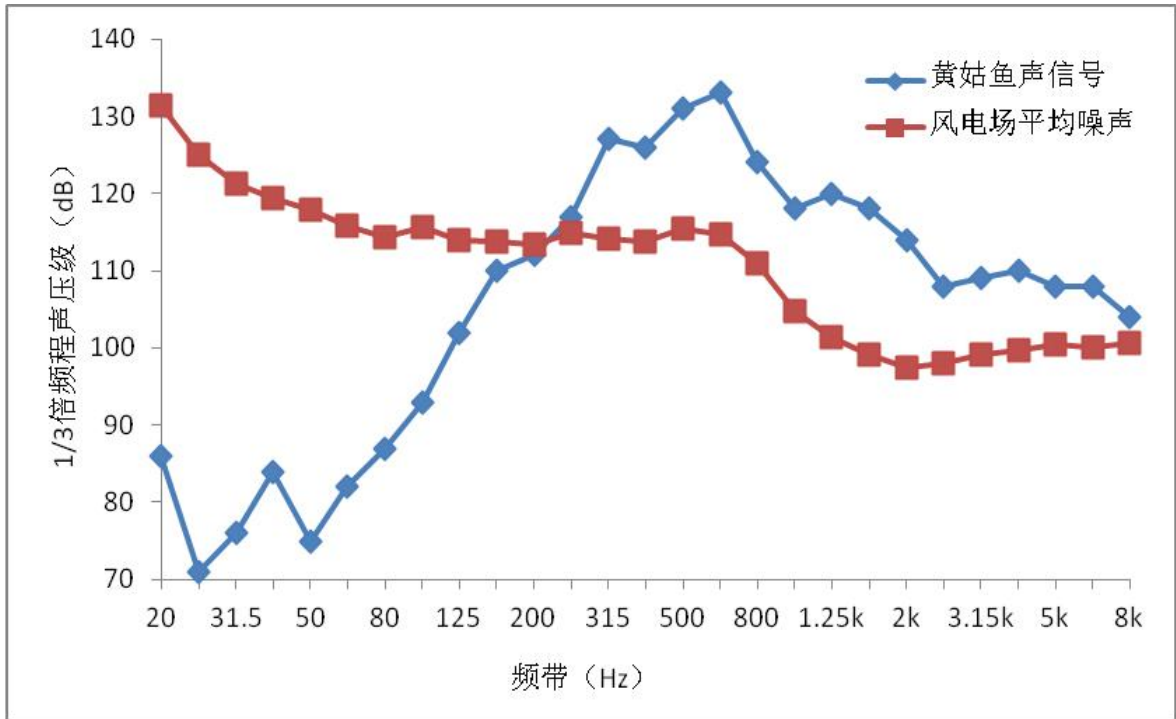


图 5.7-9 风电场噪声和黄姑鱼自由状态发声信号 1/3 倍频程声压级

在离风机100m处海上风电场水下噪声中心频率630Hz1/3倍频程的声压级为115dB，而黄姑鱼发声信号的1/3倍频程声压级在630Hz中心频率为133dB，已大于风电场噪声且差值大于10dB，因此在离风机100m处的风电场水下噪声不会对黄姑鱼叫声产生影响。由下面公式可以算出风机运行时水下噪声对黄姑鱼叫声的影响距离：

$$R=10^{((155-133+10+10)/15)}$$

可知海上风电场营运中的水下噪声对黄姑鱼叫声影响的距离为140m。

(2)风电场营运期水下噪声对大黄鱼的影响距离预测

根据厦门大学对不同年龄大黄鱼发声信号的研究结果，在大黄鱼的叫声中，幼鱼、

小鱼和成鱼的发声的最高声压谱级（630Hz）分别为110dB/re1 μ Pa、125dB/re1 μ Pa、140dB/re1 μ Pa。根据频带声压级和声压谱级的关系，1/3倍频程声压级为声压谱级加上1/3倍频程滤波器频带宽度 $10\lg\Delta f$ ，对中心频率630Hz的1/3倍频程频带声压级，即为声压谱级加上21.6dB，可得三种不同大小大黄鱼在630Hz中心频率处黄姑鱼发声信号的1/3倍频程声压级为131.6dB/re1 μ Pa、146.6dB/re1 μ Pa和161.6dB/re1 μ Pa。

由上式可分别算得：海上风电场在营运期中水下噪声对幼鱼大黄鱼叫声的影响距离为168m，对6个月的大黄鱼叫声的影响距离为17m，而对成鱼大黄鱼叫声基本上没有影响。

因此，本工程营运期水下噪声对石首鱼科的影响距离（掩蔽效应）定为168m。

5.7.2.5.2 营运期水下噪声对一般成鱼的影响

结合海上风电场营运期水下噪声测量结果，同时根据对几种实际鱼种所做的水下噪声影响实验，在综合分析对噪声较为敏感的石首鱼科声学特性后，可以得出：风电场营运期总体的水下噪声强度比较低，与原海洋环境背景噪声基本上相当。

本项目地处陆域边缘和海域交汇处，水深较浅，噪声在水下传播衰减较快等特点，可得出本工程对海洋鱼类等生物的行为基本上不会带来明显影响，即鱼类等海洋生物对海上风电场营运噪声做出行为响应的可能性不大。

虽然风机营运期在120Hz~1.5kHz的某些特定频段上，出现强度高于背景噪声10~20dB的现象，有些功率谱幅度达到130dB，但对成年的石首鱼科等的鱼种影响不明显，属于可以接受的范围。

5.7.2.5.3 营运期水下噪声对鱼卵、仔鱼以及底栖生物的影响

水下噪声对鱼卵、仔鱼的影响目前数据较少。目前噪声对鱼类产生影响的认识，仅限于成年鱼类，而噪声对鱼卵和幼体的影响认识甚少。由于成年鱼类会主动远离噪声源，幼体是浮游生活且随海流而动，没有能力远离噪声源。因此，仔稚鱼与成熟阶段相比，可能会受到更多的水下噪声的影响。

挪威学者研究了使用空气枪和水枪作为地震声源，进行海洋三维地质调查中产生的水下强噪声对鳕鱼鱼卵和仔鱼的影响。他们把鳕鱼的鱼卵和仔鱼（鱼卵为在受精后2，5，10天；鱼幼体为在孵化后的1，5，37，38，40，41，56，69，110天）暴露于水下空气枪所产生的噪声场中，得出了使用小强度的空气枪（声源级222dB）声源级所产生的水下噪声对鳕鱼鱼卵的影响不明显的结论（JohnDalen,1986）。

欧洲鲷分布在北海、地中海，向南到塞内加尔直至佛得角，栖息水深范围是0~150m，

在海底的底泥或沙子中埋栖生活。荷兰学者研究了海上风电场噪声对鳎鱼幼体

（sole larvae）的影响。他们利用实际记录到的打桩现场噪声（直径4m钢桩，水深20m，峰值声压级最大值为211dB）刺激鳎鱼幼体，根据鳎鱼幼体的身体发育程度，把鳎鱼幼体分为4个阶段的鳎鱼幼体，观测每个阶段鳎鱼的死亡率。结论是：在两个实验阶段中，不管何种噪声刺激何种发育阶段的鳎鱼幼体，与对照组相比（即未进行噪声刺激），鳎鱼幼体的存活率没有明显的差别，这表明这些鳎鱼幼体能够忍受峰值声压级高达211dB打桩噪声的刺激（Loes J. Bolleet, al, 2012）。同时，他们分析指出鱼鳔是一种对声压敏感的器官，有鱼鳔的鱼比没有鱼鳔的鱼更容易受到噪声的影响。鳎鱼幼体发育期间只有部分阶段有一个鱼鳔。这可能是在第1阶段和第2阶段中，噪声对幼体无明显影响的原因。然而，对大菱鲆仔鱼的卵黄囊观察研究中发现，噪声对其显著影响，且这时幼体并没有鱼鳔（Loes J. Bolleet, al, 2012）。

水下噪声对产卵场、索饵场和洄游通道的不同鱼类目前研究不多，因此在营运期水下噪声对产卵场、索饵场和洄游通道的鱼类影响还有待进一步深入研究。

噪声对底栖生物的研究多数集中在20世纪90年代对养殖塘内各种虾、鳎等的噪声实验研究，研究结果虽然显示部分底栖生物对噪声和振动较为敏感，且低频噪声可能引起虾类心跳减速、生长繁殖率减少、进食量减少等。但并没有直接的证据表明风机运行噪声会对底栖生物造成有害影响。

5.7.2.5.4 营运期不同风速水下噪声海洋生物影响

风机在不同风速下产生的水下噪声强度变化不明显。与海洋环境背景噪声相比，不同风速（风速分别为6m/s和13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速13m/s时在低频段风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在125Hz频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高10dB/re1μPa左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。除了在离桩基50m范围内对石首鱼科的通讯距离会产生掩蔽效应影响外，对一般的鱼类和海洋哺乳动物的影响在接受范围内。

由于不同海洋生物种群间由于个体差异较大，特别是本项目实验的时间和鱼种数量有限，实际上需要对这些海洋生物的声学特性进行深入、系统的研究，还需要了解海洋鱼类的听阈特性，进行长时间周期的投入研究和大量的基础数据的获取。

5.8 电磁环境对海洋生物的影响

本项目海上风电场电磁环境来源主要为风电场内66kV海底电缆。目前，对陆地架空高压传输线电磁环境影响的研究已经比较成熟，而针对海底电缆电磁环境的研究仍比较少。海底电缆的传输方式（交流、直流）、电缆材料、电力传输特性和海水电导率等因素，都将对海底电缆的电磁环境有一定影响。

5.8.1 海洋生物的电磁学特性

磁场的性质是通过磁通量密度（B）来体现的，单位是特斯拉T。磁场是由电流（动态充电）产生的，其性质属于交流电（AC）或直流电（DC）。在直流电的情况下，磁场的存在并无电场伴随；而在交流电情况下，二者同时并存。地球的磁场便是一种静电磁场。在最强的两极其强度不到 10^{-4} T，平均强度为 $60\mu\text{T}$ ，磁场方向为垂直于地平面方向，地球赤道的磁通量为 $30\mu\text{T}$ ，其磁力线方向为水平方向。还有一种自然产生的低频交流电磁场，是由海洋中的运动和电离层扰动产生的。直流电（DC）磁场与交流电（AC）磁场以各种方式与物质相互作用，后者在导体中能够产生电流，而两者都可与磁场物质相互作用。

海洋是具有导电性质的介质。交流电磁场向盐水渗透或传播的能力可以用渗入表层水的深度表示。一个频率50Hz的磁场能够穿透大西洋35m的水深，而1MHz的磁场仅能穿透0.25m的深度。海洋上大型风电场长距离铺设的海底电缆所产生的高电压、大电流将对海洋生态环境产生某些影响，如电磁环境将对洄游鱼类产生影响。当电流产生磁场时，海洋生物将受到影响。磁场的性质会依电流的不同、电缆型号的不同以及电缆放置于海底地面还是埋入海底而有所变化。由于电缆不是置于海底表面上，而是埋在海底地质下一定深度，使得磁场的计算更为繁琐。

5.8.1.1 鱼体中磁场的测定

研究表明磁场能够影响某些鱼类在生理、繁殖、生存等方面的能力，有些鱼类的体内具有磁性物质，用于识别地理磁场，从而协助它们进行空间定位。这些鱼类对磁场特别敏感，因此放置在海底地面的电缆将破坏洄游鱼类的地磁模式，影响其定位。在所有重要的硬骨鱼体内都有少量的磁性物质；在软骨鱼类（鲨鱼、鳐科鱼类）中发现了一种与硬骨鱼类不同的磁场感应机制，软骨鱼类通过探测海流运动以及鱼类本身穿过地球磁场活动所产生的磁场获取空间信息，在它们头部、嘴周围以及身体沿线通常都有敏感的电磁感受器。

5.8.1.2 电磁环境对海洋生物的影响分析

(1) 磁场与鱼类行为

行为学研究显示鱼类是能够接收磁场强度的。很多鱼类如鲈鱼（*Perca fluviatilis*）、白斑狗鱼（*Esox lucius*）等都趋于选择镶有磁铁的长网袋。洄游鱼类可能会利用磁场进行空间定位。Walker（1984）发现，黄鳍金枪鱼（*T. alacares*）能够在两个磁场间进行辨识。由于鳗鲡是需要洄游至远方产卵的，因此在进行鱼类行为与磁力学研究中对其予以特别的关注。在Nishi,Kawamura等（2004）对鳗鲡洄游线性的研究中发现，洄游数千米进行产卵的日本鳗鲡（*Anguilla japonica*）对12.663 μ T的磁场变化会产生反应。但McCleave, Rommel, Catchart等（1971,1973）在对美洲鳗鲡进行的磁场变化条件测试时所得出的结果却不很明确，Karlsson,Tesch,Wendt等（1985,1992）在对欧洲鳗鲡（*A. Anguilla*）进行的实验展示了其对磁场的敏感性。

（2）磁场与鱼类生理学

鱼类的生理方面也与磁场有关。例如，在溪红点鲑（*Salvelinus fontinalis*）的磁场暴露研究中发现，鱼体内激素水平发生了改变（Lerchl,A,etal,1998）；另一项研究显示，磁场暴露能够延缓鲑鱼（*Salmotrutta*）和虹鳟（*O. mykiss*）的胚胎发育，并能改变虹鳟晶胚以及梭鱼（*Esox lucius*）和鲤（*Cyprinus carpio*）等的循环运动

（Formicki,K.and Winnicki,A,1998）。Krzemieniewski等（2004）在一项实验室实验中发现，当欧洲鲇鱼（*Silurus glanis*）暴露于一个磁场强度持续为0.4~0.6T的磁场中时，其生物量下降，死亡率升高，但与之相反的是，幼体鳉鱼（*Plathichthys flesus*）在受到强度为3.7mT的静电磁场影响几个星期时并未受到影响（Bochert,Reaat.,2004）。

（3）风电场电磁场对鱼类影响研究

目前学术界对于海底电缆产生的电磁场对海洋生物产生的影响还未有科学的定论，电磁环境对海洋生物的影响目前还在研究中。

文献研究表明（A.J.Kalmijn,1982；A.B.Gill,2012，P.K.Adair,1998；Centrefor Marine&Coastal Studies.2003；A.B.Gill，2005；H.Westerberg，2008），某些海洋生物对海底电缆比较敏感，海底高压传输电缆产生的电磁环境可能对海洋生物或生态系统造成影响。比如，软骨鱼类中的鲨鱼（sharks）、鳐鱼（skates）、魟鱼（rays），主要采用电和/或磁信号进行定位、觅食、寻找伴侣等活动；洄游性的鱼类，比如大西洋鲑鱼（salmon）或者欧洲鳗鱼（eel），对环境中的磁场（如地球的大地磁场）会有反应（A.B.Gill,2012），这些鱼类能够检测到的磁场强度均在电缆电磁辐射强度的范围之内。其他海洋生物，如鲸豚类（鲸鱼、海豚等）对大地磁场在30~60nT变化比较敏感（地球的大地磁场大概在50 μ T左右），在具体的磁场强度上还需要更加精细的区分。

俄罗斯研究已证实（Poddubnyetc.1979），河流中的鱼类从电线下方通过时会有反应，他们猜测这是磁力的影响。Westerberg和Begout-Anras（2000）进行了一项遥测研究，对欧洲银鳗在穿越南波罗的海海底电缆时的洄游形式进行了监测。其结果与假设一致，即鳗鲡追随着一个持续的磁性罗盘航向，而并非一个强度相同的直线方向，此直线磁场方向推测是由电缆产生的地磁异常。由于这次跟踪的空间分辨率太低，因而无法得出一个关于磁场影响的肯定结论。实验还发现，环境水深和水流因素也应加以考虑。

Westerberg（1994）还从研究的角度直接考虑近岸风力发电场电磁辐射情况，测试了南波罗的海一座风力发电机附近的欧洲鳗鲡的洄游形式。遥测跟踪监测并未显示洄游形式发生任何改变，至少在不超风力发电机周围500m处。

在Westerberg和Lagenfelt[53]的一项未发表的研究中，对60尾正在洄游的银鳗进行超声波标记，并将之放流于奥兰岛和瑞典大陆之间的132kV交流电缆（AC）的北部。其洄游速度通过系泊监测接收浮筒在4个断面每4km的间隔进行检测。电缆从间隔中间横穿。通过校正水流引起的水平对流，可以发现鳗鱼的游速在有电缆的间隔中明显降低。虽然能够证实磁场对洄游具有影响，但这种影响是很小的，这些间隔通过引起了平均约30min的延迟，根据调查结论，电缆不会影响其周围鱼类的洄游路线、总体分布和洄游形式。

5.8.2 风电场电磁环境

5.8.2.1 电磁环境

变动的磁场会产生感应电场，变动的电场也会产生磁场。交替变化与交替产生的电场和磁场，由近而远的传播，即波动的电磁场。电磁场是物质存在的一种特殊形式，由交变的电场和交变的磁场所组成。表征电磁波属性的是电场强度和磁场强度。电场和磁场二者互为前提、互为结果，相互依存。在空间上二者相互垂直、同相位变化。

电磁环境指存在给定场所的所有电磁现象的总和。一般有三种典型存在形式：

(1)工频电场、工频磁场：目前我国电力供电频率为50Hz，在导线或设备周边产生工频电磁环境，以电磁感应为主。

(2)低频电磁场：一般指10k~100kHz频率特征的电磁场，是一个较复杂的电磁环境，感应、传导、辐射几种形式共存。

(3)高频电磁场：国标《电磁辐射防护规定》（GB8702-88）中频率范围是指100kHz以上的电磁环境，远场主要为辐射场。

5.8.2.2 工频电磁场的产生

由法拉第电磁感应原理，变电站及高压输电线路和带电装置运行时，由于导线、金

属构件等导体内部带有电荷而在周围产生电场，导体上有电流通过而产生磁场，随时间做50Hz周期变化的电场、磁场称之为工频电场和工频磁场。工频电场、工频磁场是一种频率极低的电场、磁场，是一种准静态场。

(1)工频电场

输变电设备加上电压后，其导体就带有低频的交变电荷，同时导线和大地之间的空间形成一个低频电场。电场的强度是用沿某方向单位距离内的电位差来度量，电场强度的计量单位为每米的伏特数或千伏数（V/m，kV/m）。

交流输电线路的三相之间存在120°的相位差，由此产生的三个电场在很大程度上相互抵消。通常架空线在地面上所测到的实际上是残余电场，即按照物理学原理所不能抵消的电场部分。线路轴线地面场强与输电线的运行电压及相线对地距离有关，最大场强出现在档距中央边相导线稍外的地方，沿输电线走向杆塔场强急剧减弱；随着输电线轴线侧向距离的增加，其电场也下降。

(2)工频磁场

交流输变电设备运行时，导体中流动的负荷电流在周围广大空间产生工频磁场。磁场与电流大小成正相关。磁场强度以A/m来表示，但通常用通过单位面积磁力线即磁感应强度为判断依据，单位是特斯拉（T）。

磁场强度和磁感应强度在空气介质中互成因果和一一对应关系的不同物理量，两者之间关系是：1A/m的磁场强度对应于空气介质中产生1.256uT磁感应强度。目前国际上通用“磁感应强度”来表征磁场的大小。

(3)电磁场的衰减

电磁波不需要依靠介质传播。电磁波传播是需要能量的，所以在传播的时候能量在不断减少，只有在绝对真空中传播时能量才不会降低。

电场与磁场强度随着与发生源的距离加大而急速的降低，如果发生源的电压、电流消失，电磁场也会同时消失不见。电场容易被屏蔽，各种形式的外覆盖层，如金属的外壳、钢筋混凝土、树木及人体皮肤等都具有相当好的屏蔽效果。与电场相比，磁场几乎无法屏蔽，但方向相反、大小相同电流产生的磁场可以抵消，因此电流相同而采用三相输电的电力线较单相输电的电力线产生的磁场会小得多。

5.8.3 风电场内海底电缆电磁环境分析

文献（Kadomskaya,K.P.Kandakov,S.A.2005）采用有限元分析法和工程估计法，给

出了海底电缆周围不同距离处海水的电流密度衰减情况，如表5.8-1所示。

表 5.8-1 某型 35kV 海底电缆周围不同距离处海水的电流密度衰减情况

距离 m	海底电缆设计的电流密度，10—3A/m²				
	单芯海底电缆				三芯海底电缆
	并行裸露放置		三角形紧密放置		
	有限元分析	工程估计	有限元分析	工程估计	
0.00	71.0	72.3	13.5	9.78	0.048
0.25	50.0	50.5	2.01	2.05	0.033
0.50	45.5	44.2	1.14	1.07	0.009
1.00	39.5	37.9	0.60	0.55	0.001
2.00	34.0	32.6	0.26	0.28	≈0

由上表可见，对于并行裸露放置的单芯海底电缆，有限元分析方法和工程估计方法误差不超过2%~4%；对于三角形紧密放置的单芯海底电缆，对于电缆表面的电流密度计算，两者差异达27%，但是超过0.25m后，两者的误差即控制在4%~8%之内，仍在可接受的范围之内。事实上，海底生物对电磁环境的电流密度的敏感阈值在一个比较宽的范围内。文献（Kadomskaya,K.P.Kandakov,S.A.2005）指出，由海底电缆引起鱼类的刺激反应（emergenceofexcitation）和抑制反应（immobilizationreactions）的电流密度阈值为：

$$\left. \begin{aligned} \delta_{0exc} &= 0.01 \sim 0.15 A/m^2 \\ \delta_{0imm} &= 0.05 \sim 0.25 A/m^2 \end{aligned} \right\}$$

根据表5.8—1对35kV电缆的电流密度衰减仿真结果，分析可知本项目电缆为66kV，高于前者，但采用三芯海底电缆，可大幅降低电磁辐射，使其快速衰减至引起鱼类刺激反应的电流密度阈值以下。图5.8-1是文献（R.A.Voitovich,K.P.Kadomskaya，1999）采用工程估计法，求得的110kV单芯海底电缆采用沟槽三角紧密型放置和并行裸露放置的电流密度的对比结果。由图5.8-1可见，当距离大于0.3m以后，沟槽三角紧密型放置方式的电流密度约降到并行裸露放置方式的1/4。

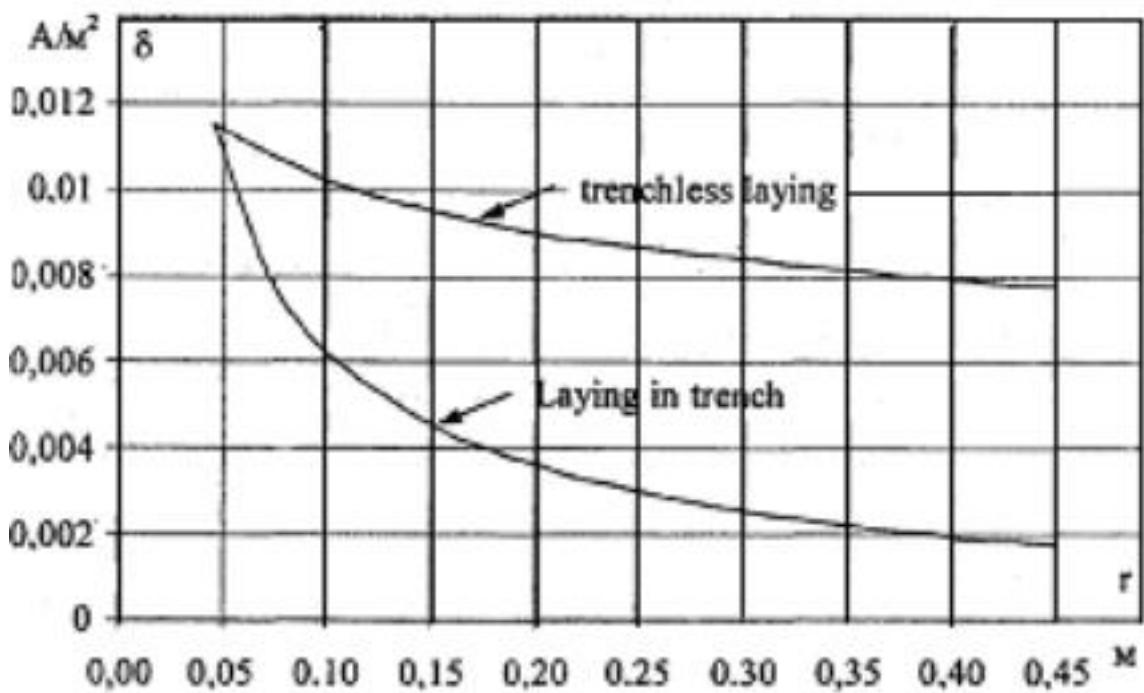


图 5.8-1 海底电缆不同放置方式对不同距离的电磁辐射影响对比

5.8.4 电磁环境对海洋生物影响分析

为了进一步分析海上风电场电磁环境对海洋生物的影响，厦门大学课题组在厦门大学生态场水池中开展了工频电磁环境对海洋生物短期影响的研究。

(1)材料与amp;方法

生物材料：

大黄鱼：40尾，购自漳州浯屿养殖渔排，为人工养殖群体，体重320—380g，暂养在12m³的水泥池中2天，选取体型完整，潜于水底的个体25尾进行实验；

矛尾鰕虎鱼：40尾，收集自厦门近海，系渔民捕获的野生个体。体重127—207g。与大黄鱼暂养在同一池中。选取健康的个体25尾进行实验；

半滑舌鳎：40尾，购买自东山某海水鱼苗种场，系人工育苗的稚鱼，体重3.0—6.5g，暂养于200L的桶中。选取健康个体25尾进行实验；

口虾蛄：70尾，购自厦门水产品批发市场，系厦门近海捕获的野生个体。体重18.7—22.5g。暂养于200L的桶中。选取健康个体25尾进行实验；

日本对虾：60尾，购自厦门水产品批发市场，系厦门近海捕获的野生个体。体重10.5—20.3g。暂养于200L的桶中。选取健康个体25尾进行实验；

菲律宾蛤仔：100个，购自厦门水产品批发市场，系厦门近海采集的放养个体。体重9.6—11.3g。暂养于200L的桶中。选取健康个体25个进行实验；

缢蛏：60尾，购自厦门水产品批发市场，系厦门近海养殖的成体。体重8.3—17.6g。暂养于200L的桶中。选取健康个体25个进行实验。

(2)实验装置

实验动物置于200L的长方形聚乙烯（PE）塑料桶中，实验桶的规格为：750*600mm，桶与桶之间的间距约500mm。实验桶置于木头架子之上，通过弹性填充材料使线圈紧贴在塑料桶下方线圈不直接接触养殖水体。养殖桶内加经过沙滤、沉淀的新鲜海水，盐度23，温度18-20℃。不间断充气。桶上覆盖遮阳网，避免外界干扰。每天吸底、更换海水2次，换水量为总量的一半。考虑到实验动物更换养殖条件时一般数天不进食，而且实验周期较短，为了保证水质，实验过程中未投饵。

(3)交流电磁场构建

选用0.8mm的铜质漆包线，缠绕在外框为200*400mm的长方形框架上。三个实验组的缠绕匝数分别为200匝，400匝，600匝。线圈的中部均匀地放置硅钢片，硅钢片的叠放厚度达60mm。实验组的三个线圈串联接入调压变压器两端，调节变压器的电压，使电流稳定在0.38A。采用特拉斯计（上海享通，HT208）测量交变磁场强度。

(4)死亡率

现象不明显。鱼类未出现死亡。

对虾的死亡率分别为：对照组：0.36；强磁场（1.2mT）：0.2；弱磁场（0.3mT）：0.23；其他生物未出现死亡。

(5)生化指标测量：

生化指标测定选用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒。由于采用酶标仪对96孔板进行OD值的测量，所有的试剂用量都按比例缩减。

(6)实验结果

大黄鱼、半滑舌鳎、矛尾鰕虎鱼、口虾蛄、日本对虾、菲律宾蛤仔、缢蛏等7种海洋生物在强度分别为0.3mT，0.6mT，1.2mT交流电磁场的持续作用下48小时，测量获得生物肌肉、肝脏、血液的碱性磷酸酶（AKP），酸性磷酸酶（ACP），超氧化物歧化酶（SOD）的活性，通过总结SPSS软件的单因素方差分析的结果可以得出以下结论：

在以上提到的条件下，工频电磁场能够不同程度的提高大黄鱼、半滑舌鳎、矛尾鰕虎鱼、口虾蛄、日本对虾、菲律宾蛤仔、缢蛏等的酸性磷酸酶（ACP）的活性水平，对甲壳动物（口虾蛄，日本对虾）肌肉的影响明显强于对鱼类肌肉的影响，对鱼类肝脏的影响明显大于对鱼类肌肉的影响；

在以上提到的条件下，无论是工频电磁场还是噪声对于7种海洋生物的碱性磷酸酶（AKP）的活性的影响都不及酸性磷酸酶的影响显著。甲壳类的碱性磷酸酶水平均无显著性变化，鱼类肌肉中该酶的活性亦有部分显著升高；

在以上提到的条件下，无论是工频电磁场还是噪声对于7种海洋生物的超氧化物歧化酶（SOD）的活性的影响可以认为绝大部分都不显著。

(7)初步结论：

①海洋生物能够感知强度为1.0mT以上交流电磁场的存在，并做出不同生理反应，这种生理反应的持久性未进行进一步评估。

②强度在0.3mT以下的交流电磁场对海洋生物作用48h后，其体内的碱性磷酸酶，酸性磷酸酶以及超氧化物歧化酶的比活力变化不显著。

③磷酸水解酶活力的激活或抑制仅能表明有机体能够感知环境的变化，并不能断定环境条件的变化对生物体是有利还有害。若要进行利或害的判断，必须进行长期（几个月甚至是几个世代）、多因素（成活率，生长速度，抗逆性，繁殖力等）的综合考虑。

(8)其他相关研究：

袁健美等2016年选取江苏近海常见12种海洋生物（黑雕、半滑舌鳎、脊尾白虾、文蛤、纵肋织纹螺、细螯寄居蟹、黑褐新糠虾、口虾蛄、三疣梭子蟹、天津厚蟹、斑尾刺虾虎鱼、中华仙影海葵），通过实验方法研究了不同磁场强度(试验I：1.0mT；试验II：0.01mT、 $(0.045\pm 0.01)\text{mT}$ 、 $(0.2\pm 0.01)\text{mT}$ 、 $(0.9\pm 0.01)\text{mT}$ 、 $(4.05\pm 0.01)\text{mT}$ 对照（自然地磁场）下，风电磁场对鱼、虾、蟹和贝类的存活、行为等方面的影响。结果表明：鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类的磁场影响范围主要为0.2mT~4.05mT，而在0~0.2mT之内电磁场对鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类行为无明显差异，影响较小，因此电磁场控制在《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）公众暴露控制限值0.1mT之内，电磁场对鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类影响较小。

本项目海底电缆均敷设于海底土层以下，电缆外层的金属屏蔽层、铠装层以及海底土层对电场具有一定的屏蔽作用，且鱼类活动空间较大，在海底区域活动的鱼类种类及数量相对较少。根据分析可知，本项目海底电缆上方1m（中心处）工频磁感应强度远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）公众暴露控制限值0.1mT，基本可以判定本项目产生的电磁对场址附近的海洋生物影响较小。

5.9 大气环境影响预测与分析

5.9.1 施工期大气环境影响分析

项目施工期废气主要为施工期机械和施工船舶产生的尾气，施工期机械和施工船舶产生的尾气自然排放，主要污染物为 NO_x 和 SO_2 ，在本项目建设过程中，柴油机烟气排放将造成局部的大气污染，其影响持续时间较短，且项目施工区域比较开阔，随着项目施工结束，所产生的污染也会随之消失。

因此，施工期对大气环境影响较小。

5.9.2 营运期大气环境影响分析

项目无海上升压站，不设陆域集控中心，海上风场营运期主要是风力发电，营运期主体工程不产生废气，对大气环境无影响。

项目营运期废气主要为检修船舶产生少量尾气。检修船舶会产生 NO_x 、 SO_2 等少量废气，船舶采用符合标准的燃油，并加强船舶发动机的保养，尾气量较少，且为开阔海域，对环境空气影响较小。

5.10 固体废物环境影响分析

5.10.1 施工期固体废物环境影响分析

工程施工期产生的固体废物主要为施工人员产生的生活垃圾和施工产生的建筑垃圾，为一般固体废物。生活垃圾统一收集后送至市政垃圾处理场处理，不向环境排放；建筑垃圾分类收集，集中存放，将其中可作为原材料再生利用的成分进行回收再利用，其他成分外运至垃圾处理厂处理。本工程产生的固体废物不会对环境造成明显影响。

5.10.2 营运期固体废物环境影响分析

5.10.2.1 营运期固体废物的产生及处置情况

项目产生的固废主要有维修船舶生活垃圾，维修期间的含油抹布、废润滑油、废铅蓄电池等。

(1) 生活垃圾

检修船产生的生活垃圾，每次巡检人数5人，按照每人1kg/d的产生量估算，则垃圾产生量为5kg/d。每周巡视检查一次，每年工作天数为52天，则巡检人员生活污水垃圾年产生量为0.26t/a。船舶生活垃圾收集后委托海事局认可的资质单位接收处理。

(2) 危险废物

项目产生主要的危险废物是维修期间的含油抹布、废油渣、废铅蓄电池，产生量分别为0.02t/a，0.06t/a，0.03t/a。

表 5.10-1 危险废物产生及处理情况

序号	1	2	3
危险废物名称	含油抹布	废润滑油	废铅蓄电池
危险废物代码	900-041-49	900-214-08	900-052-31
产生量	0.02t/a	57.3t/3a	0.03t/a
产生工序及装置	维修	维修	维修
形态	固态	固态、液态	固态
有害成分	油类	油类	铅
危险特性	T,I	T,I	T,C
污染防治措施	委托处理	委托处理	委托处理

5.10.2.2 营运期固体废物环境影响分析

(1)生活垃圾和一般固废

工程营运期产生的生活垃圾收集后交由环卫部门进行处理，不会对环境造成影响。

(2)危险废物

①危废收集

海上风机维修产生的危险废物通过维修船舶收集后交由陆域有资质单位进行接收处理。

②危废暂存

工程拟在长乐外海集中统一送出工程陆域集控中心设置危险废物暂存间1座（约15m²），作为危险废物暂存和调节场所。根据《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023），危险废物暂存间能够满足防风、防雨、防晒、防渗漏的要求，并按照规定设置警示标识。在临时贮存过程中，各类危险废物采用专用容器盛装并按照规定要求进行密封，防止泄漏以及有机废气的挥发，并根据各类危险废物的特性分类放置。产生的危险废物尽量做到即产即清，不长期贮存。危险废物暂存间地面与裙脚应采取表面防渗措施；表面防渗材料应与所接触的物料或污染物相容，可采用抗渗混凝土、高密度聚乙烯膜、钠基膨润土防水毯或其他防渗性能等效的材料。

采取上述措施后，可最大限度地降低危险废物暂存过程中对周围环境的影响。

③外委处置

项目产生的危险废物类别为HW49、HW08、HW31，机修含油抹布、废润滑油、废铅蓄电池交委托有资质单位进行处理，不会对周围环境产生不良影响。

外委处置的危险废物的运输均由委托的具有危险废物处理处置资质单位负责，运输单位应具有危险废物运输资质（具有《中华人民共和国道路危险货物运输许可证》）。

对危险废物运输的管理，除要依据危险废物处置的相关法规外，还需配合《道路危险货物运输管理规定》《汽车危险货物运输规则》《道路运输危险货物车辆标志》等相关道路运输法规来规划。应按指定的运输路线运输危险废物，避开人群稠密区及高峰时间，每批次按照规定办理危险废物转移联单。因此，在正常情况下，危险废物的运输过程不会对环境造成危害。

表 5.10-2 建设项目危险废物贮存场所（设施）基本情况

序号	贮存场所名称	名称	类别	代码	占地面积	贮存方式	贮存能力	贮存周期
1	危废暂存间	含油抹布	HW49	900-041-49	2m ²	暂存	0.5t	1 年
2		废润滑油	HW08	900-214-08	10m ²	暂存	10t	3 个月
3		废铅蓄电池	HW31	900-052-31	2m ²	暂存	1t	1 年

5.10.2.3 危险废物管理

项目危险废物分类收集后暂存于危废暂存间内，建立危险废物台账，详细记录存放时间、存储量、存放位置、转移时间、转移单位等相关信息，危险废物分区分类存放，于容器外粘贴危险废物标签，标签上记录危险废物类别、主要成分、存放时间、产生工序等相关信息；对危废暂存间加强日常维护；危废转移时填写转移联单，报相关部门备案。危废暂存间应当根据《环境保护图形标志—固体废物贮存（处置）场》

（GB15562.2-1995）的要求，设立专用标志。

5.11 项目建设对周边主要保护目标和开发活动的影响分析

长乐外海J区海上风电场项目位于长乐外海东犬岛东侧海域，场址距离岸线最近距离约52~59km，场址理论水深47~54m。工程区及附近海域的海洋开发活动较少，主要有航道、锚地、海底管线等，主要保护目标为生态保护红线区。

5.11.1 对生态保护红线区的影响

长乐外海J区海上风电场项目不占用生态保护红线区，项目北侧的生态保护红线区有东沙-东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区，项目风机与其最近距离为620m。西北侧的东沙岛领海基点生态保护红线区与项目风机最近距离为13.5km。

本项目属于海洋新能源建设项目，项目的用海方式为透水构筑物 and 底电缆管道，不涉及围填海、截断洄游通道、水下爆破施工等开发活动，能够维持海域自然属性。本项目海底电缆施工不会产生有害有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物及其他污染物和废弃物。海缆施工时引起的悬浮泥沙将直接进入东沙—东引岛周边海域重要渔业资源

产卵场生态保护红线区，根据数值模拟计算，施工期电缆敷设悬浮物浓度增量大于 10mg/L 影响范围约为 216.2km^2 ，扩散至东沙—东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区的影响范围为 12.4km^2 ，悬沙掀起后将在较短时间内沉降和稀释，而后恢复到施工前的水平。

根据调查，东沙—东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区内主要分布的产卵场为大黄鱼产卵场，主要位于东引岛周边海域。东引岛位于项目北侧约 40km 处，项目施工区域与东引岛大黄鱼产卵场距离在 10km 以上，项目施工期产生的悬沙不会扩散至该区域，对大黄鱼产卵场不会产生影响。

从施工影响来看，本工程对生态保护红线区的影响都是暂时的，可逆的。为尽量减少施工前悬沙影响，施工时应尽量避开产卵季节（4-6月），特别是大黄鱼产卵季节（4月下旬-5月中旬）。

5.11.2 对渔业资源和重要经济鱼类“三场一通道”的影响分析

项目工程的建设势必对所在海域的渔业资源和渔场内的捕捞作业产生影响，其影响主要体现在以下几个方面：

(1)施工悬沙对渔业资源的影响：施工过程中工程所在海域受打桩、埋缆作业扰动，悬浮物含量增加，水体透光率下降，海洋生物呼吸、生存受到影响，海洋生物资源尤其是渔业资源数量下降。另外，根据数模预测，施工期间风电场场区内的悬沙含量较高，施工结束后，悬沙逐渐沉降下来，从一定程度上可能改变海域的底栖环境。从而影响底栖生物的生存和生长，但由于海洋生物对环境的适应性，这种影响可逐渐得到恢复。

(2)施工噪声对渔业资源的影响：打桩施工产生的噪声可能对海洋生物资源造成一定的影响。根据渔业资源现状调查结果，本工程风电场区所在区域无大型鱼类“三场”分布，鱼卵、仔鱼渔获物量少，并且施工期相对时间较短，某些鱼类可以采用游离避开噪声源等方法远离施工区，在施工结束后再返回该区域。

(3)运营期对渔业资源的影响：风机运营产生的噪声经水—气界面进入水体后，能量损耗较大，且海水中悬浮物对噪声有一定的吸收作用，噪声进入水体后不会对周边声环境造成显著影响，不会引起桩基周围的水生生物，加之噪声对鱼类具有驱赶效应。因此，水下噪声对鱼类机体、种群数量等影响有限，但风机噪声对石首科鱼类的影响尚不能明确。

(4)运营期对捕捞渔船的影响：在捕捞旺季，可能有渔船进出工程区附近海域，海上

船舶航行密度加大，施工船舶运输风机基础或风机叶片，航行时避让难度加大，可能存在与渔船碰撞的风险。运营期间，由于目前大量渔船并未配备AIS，对于这部分渔船，难以监督其是否遵守水上交通安全管理规定，尤其在捕鱼及养殖旺季，大量渔船活动于风电场附近水域，风电场内风机之间由66kV电缆连接，风场区内电缆较多，若渔船在风场区内进行拖网、张网捕捞作业或发生事故性抛锚，极有可能对风场区内电缆的安全造成影响。此外，由于风机之间距离约590m，渔船进入风场区容易诱发水上交通事故，风机群的存在可能会对船舶瞭望造成一定影响，对驾驶人员的心理造成一定负担，渔船航行可能存在与风机碰撞的风险。

(5)重要经济鱼类“三场一通道”的影响：本项目位于长乐外海东犬岛东侧海域，本项目建设不占用福建省近海的带鱼、大黄鱼和蓝圆鲹的产卵场、越冬场和索饵场，距离带鱼、大黄鱼和蓝圆鲹的产卵场、越冬场和索饵场较远。东引岛周边海域大黄鱼产卵场和洄游通道与本项目距离较远，且项目风机采用四桩导管架基础，实际占用海域面积较小，不会截断鱼类的洄游通道。项目海底电缆位于海域泥面以下，不会对鱼类产卵和洄游产生不利影响。综上，本项目对鱼类“三场一通道”的影响较小。

5.11.3 对航道、航路的影响

本节内容引自《长乐外海J区海上风电场项目选址通航安全分析报告（送审稿）》（福建船政交通职业学院，2024年4月）。

(1)风电场选址合理性与适应性分析

选址合理性：拟建风电场位于习惯航路、推荐航路海域附近的绝对数量局部最小，其与西侧保留航路和东侧外航路航迹带80%边界之间的距离均可满足安全距离要求，风电场的选址总体上是合理的。

适应性分析：①拟建场址与附近水域船舶通航密度可以相互适应。②拟建场址因位于内航路外侧，渔船活动密集区主要在拟建场址的西北近海处，两者之间距离较远，对附近渔业通航环境产生影响较小。③拟建场址西侧所有船年通过量小于该习惯航路的年通航能力。④拟建风电场场址对附近锚地的适应性很好。⑤拟建风电场场址对附近导、助航设施的适应性较好。

(2)工程建设对交通组织的影响分析

工程对航道的影响：工程场址对内航路及其交通流组织基本上不存在影响，对中、外航路及其交通流组织的影响较小。

工程对客运航线的影响：工程的建设不会妨碍该水域客滚船的沿客运航线正常航行，

但工程对客运航线及其交通流组织存在影响,由于该航线船舶流量很小(约130艘次/年),工程对客运航线及其交通流组织影响较小。

工程对渔业活动的影响:工程附近水域主要存在渔船作业情况,且有大量渔船并未配备AIS,对于这部分渔船,难以监督其是否遵守水上交通安全管理规定。尤其在捕鱼及养殖旺季,大量渔船活动于优化场址附近水域,容易诱发水上交通事故,对本工程的施工及营运均构成威胁。建设单位积极争取渔业管理部门和渔业生产单位的配合,加大对渔船的宣传力度,确保渔业生产不会对风电工程的建设、运营造成影响。

工程对现有助航标志的影响:工程场址与各导助航设施间的距离均在15km以上,距离较远,工程对导助航设施基本不产生影响。然工程风机设置的警示标志可能对附近灯桩产生视觉混淆或遮挡,对过往船舶的视觉瞭望产生一定的干扰。

(3)工程对港口、设施、功能影响分析

工程对港口的影响:工程附近的港区主要为闽江口内港区、松下港区与平潭港区,工程场址与各港区的距离均在45km以上,工程的建设基本不会对港口造成影响。

工程对周边海底管线影响:工程在施工期对马祖岛至台湾岛海底电缆(北)存在一定的影响,在制定好适宜的施工方案、保障方案后,影响可控。

工程对周边碍航物的影响:工程周围存在沉船、浅水区碍航物,工程与碍航物间最近距离约16km,距离较远,工程的建设与碍航物间基本上不存在相互影响。

(4)工程对附近无线电电磁环境的影响

工程对无线电通信信号、磁罗经、GNSS、AIS系统分析,该工程风电场的建设可能会对附近通导设备无线电电磁工作环境产生影响。

综上所述,工程的建设对所在水域通航环境的影响是客观存在的,建设单位应充分认识通航环境和安全营运的关系,按照要求设置相应配套的安全监管设施、设备、海上预警系统等,与辖区海事管理部门紧密联系、协调,积极配合,在各项保障措施的实施下,长乐外海J区海上风电场优化场址建设总体是可行的。

5.11.4 对锚地的影响

拟建风电场的西北侧是福州罗源湾、黄岐湾水域。西侧是闽江口水域,西南侧是松下港区,罗源湾水域共有8处锚地,分别为可门口北锚地、可门口南锚地、岗屿南锚地、岗屿北锚地1、岗屿北锚地2、可门口外1#锚地、下屿化学品专用锚地1和下屿化学品专用锚地2,其中距离拟建场址最近的是可门口外1#锚地,约15.3海里;黄岐湾水域有2处

锚地，分别为黄岐客船检疫锚地和福建瀚海船业有限公司配套锚地，其中距离拟建场址最近的是福建瀚海船业有限公司配套锚地，约15.8海里。闽江口附近有闽福港外01和闽福港外02两个推荐锚区，离拟建风电场超过30海里。松下港区现有东洛锚地、笠屿北锚地（1#锚地）和福清湾2#锚地，离拟建风电场超过30海里。以上锚地与本项目距离均远远大于风电场与锚地安全距离要求，对锚地无影响。

5.11.5 对海底电缆管道的影响

依据《海底电缆管道保护规定》，海底电缆建设后划定海底电缆保护区，其中沿海宽阔海域为电缆两侧各500m，海湾等狭窄海域为电缆两侧各100m。

工程场址周边存在有“TSE-1”光缆、马祖岛至台湾岛海底电缆（北）、马祖岛至台湾岛海底电缆（南）、川石岛至淡水海底电缆以及周边风电场内海底电缆。

工程场址与工程距离最近的海底电缆为马祖岛至台湾岛海底电缆（北），距离约812m，距离均符合《海底电缆管道保护规定》的要求。

在工程施工期间，尤其是#34～#41风机组施工期间，施工船锚泊或施工水下作业等，可能会对马祖岛至台湾岛海底电缆（北）产生一定影响，严重时，可能会导致断缆事故，建议施工前，施工单位应结合海底电缆布设情况，确定适宜的施工方案，并制定好相应的施工期安全保障方案，减少施工对海底电缆的影响。

同时，需要注意的是，工程的建设可能会导致马祖岛至台湾岛海底电缆（北）处海域冲淤环境发生变化，导致海缆埋深度减少，建议建设单位开展相关研究。

综上，本报告认为，工程在施工期对马祖岛至台湾岛海底电缆（北）存在一定的影响，在制定好适宜的施工方案、保障方案后，影响可控。

5.11.6 对周边风电场的影响

长乐外海J区海上风电场项目周边风电场主要包括长乐D、E区、I区（北）、I区（南）等海上风电场项目及海上换流站。

长乐外海J区海上风电场项目施工期悬浮泥沙会影响到项目西南侧的海上换流站、D、E区、西侧的I区（南）场区范围内水质环境。考虑到本项目与海上换流站、I区（北）、I区（南）和D、E区建设时序，施工期各项目施工船舶需做好协调，加强管理和瞭望，确保施工安全。

6 海洋生态环境风险评价

环境风险评价就是以突发性事故导致的危险物质环境急性损害防控为目标，对项目的环境风险进行分析、预测和评估，提出环境风险预防、控制、减缓措施，明确环境风险监控及应急建议要求，为项目环境风险防控提供科学依据。

6.1 评价依据

长乐外海J区海上风电场项目施工期涉及的危险物质有施工船用燃料油，运营期涉及的危险物质有日常维护维修船舶燃料油、风机润滑油等。

根据 2.5.2 环境风险评价等级小节，项目危险物质及工艺系统危险性为 P4，地表水环境（海洋）敏感性为 E2，由此确定项目施工期和运营期海洋风险潜势划分均为Ⅲ，施工期和运营期环境风险等级均为二级。

6.2 环境敏感目标分布

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）相关要求，通过对评价范围内可能受影响的环境敏感目标进行调查。项目发生风险事故时，危险物质（油类物质）排放点于渔业用海区。同时，项目所在近岸海域一个潮周期水质点可能达到的最大水平距离的两倍范围内存在东沙—东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区，详见表2.7-1。

6.3 环境风险识别

6.3.1 主要危险物质及分布情况

(1) 施工期

长乐外海J区海上风电场项目施工期涉及的危险物质有施工船用燃料油，按照施工船35艘全部投入施工保守估计，施工船载油量参考《水上溢油环境风险评估技术导则》的附表C中驳船载油总量计算，施工期燃料油总量6823.2t，Q值为68.232，计算过程详见表2.5-2、表2.5-3。

(2) 运营期

长乐外海J区海上风电场项目期涉及的危险物质有日常维护维修船舶燃料油，维护维修船舶为2艘小型船舶，载油量较小，保守按100t计算；海上风电场每台风机齿轮油1.4t、风机变压器油5t，41台风机总油量（齿轮油和变压器油）为262.4t；项目危险物质均为油类物质，总量为362.4t，Q值为3.624，计算见表2.5-4。

6.3.2 可能影响环境的途径

(1)施工期

①施工期间大量船舶在海上进行施工作业，由于不良天气、海况及人工误操作等原因，可能发生船舶碰撞的事故，造成溢油事故的发生；

②工程施工期间存在通航安全风险；

③施工期船舶燃料油泄漏对海洋环境的影响。

④施工期间遭到雷击、台风、地震等气象灾害时的风险；

(2)营运期

①工程投产后存在通航安全风险；

②风机内油品泄漏对海洋环境的影响。

③营运期日常巡检船舶燃料油泄漏对海洋环境的影响。

④鸟类飞行碰撞风机风险；

⑤海缆短路环境事故风险；

⑥海底电缆及风机基础泥沙冲刷掏空风险；

⑦风机损坏、倒塌风险。

6.4 溢油风险分析

6.4.1 环境风险识别

(1)风险识别的范围和类型

工程为海上风力发电项目，主体工程本身不涉及易燃易爆、有毒有害物品。工程溢油事故风险主要来源于施工期间施工船舶发生碰撞引起的溢油事故、营运期日常巡检船舶燃料油泄漏引起的溢油事故，其风险类型属于泄漏型事故风险。同时，工程营运期还存在机组检修油类的跑、冒、漏、滴等事故。

船舶燃料油是由各种烷烃、环烷烃和芳香烃组成的混合物，大部分为液态烃，伴有气态烃和固态烃，所含基本元素是碳和氢，两种元素的总含量平均为97%~98%，同时含有少量的硫、氧、氮等，其化学组分因产地不同而有所差异。

燃料油的典型特性见表6.4-1。

表 6.4-1 燃料油的典型特性

项目	特性	项目	特性
外观及气味	黑色粘稠有气味的液体	凝固点 (°C)	<26
液体相对密度	0.92~1.07	粘度 (pas)	<180
沸点 (°C)	>398.9	水溶性	微溶
20°C时蒸汽压 (kpa)	很低	自燃温度 (°C)	407.2
雷德蒸汽压 (kpa)	0.3 (50°C时)	挥发性	挥发
闪点 (°C)	65.6~221.1	灭火方法	CO ₂ 、干粉、泡沫
易燃性	不易燃	危险性	必须加热才能持续燃烧
爆炸极限	1%~5%	主要用途	船用燃料

(2)船舶溢油事故

根据交通运输部海事部门有关统计资料,我国1990年—2010年各类等级的溢油事故分档统计见表6.4-2。由于船舶溢油事故50t以下的数据不够完整,该表对一般船舶污染事故不做统计。

1990—2010年期间,共发生船舶溢油事故(溢油量≥50t)71起,其中我国海域发生较大船舶溢油污染事故36起,发生频率为1.71次/a,所占比例50.7%;发生重大船舶溢油事故9起,发生频率为0.43次/a,所占比例为12.7%;发生特别重大船舶溢油污染事故4起,发生频率为0.19次/a,所占比例为5.6%。根据分析结果可知,发生较大船舶溢油污染事故的频率较高,应引起重视。

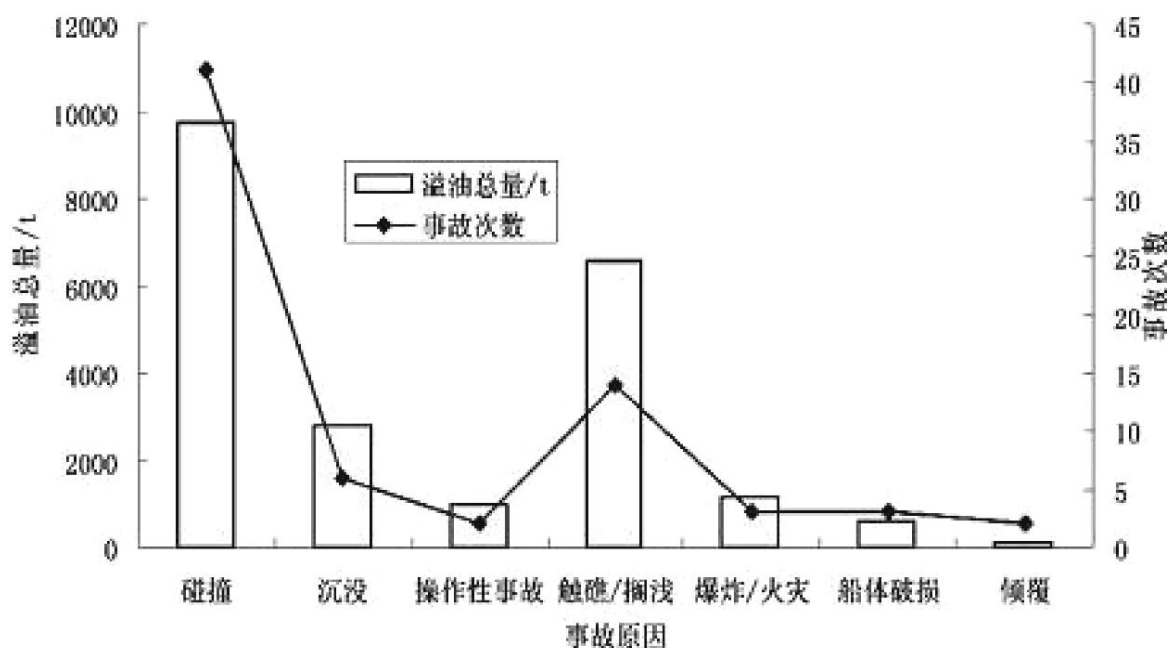


图 6.4-1 我国船舶溢油事故原因分析

表 6.4-2 我国 1990 年—2010 年船舶、码头溢油事故分档统计表

年份	较大船舶污染事故		重大船舶污染事故		特别重大船舶污染事故	
	事故次数	溢油总量	事故次数	事故次数	溢油总量	事故次数
1990	1	100	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0
1992	2	430	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0
1994	3	300	0	0	0	0
1995	5	1367	1	700	0	0
1996	3	785	2	1532	0	0
1997	3	490	0	0	1	1000
1998	2	392	0	0	0	0
1999	0	0	2	1089	0	0
2000	1	230	0	0	0	0
2001	1	200	0	0	1	2000
2002	4	825	1	900	0	0
2003	2	650	1	670	0	0
2004	1	100	0	0	2	3268
2005	2	571	1	950	0	0
2006	2	664	0	0	0	0
2007	2	350	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0
2009	2	532	1	500	0	0
2010	0	0	0	0	0	0
总计	36	7986	9	6341	4	6268

船舶溢油事故按事故原因可分为操作性事故和海损性事故。操作性事故一般指在装/卸货油、加燃油、其他作业期间发生的事故，包括违章故意排放。海损性事故一般指由于碰撞、触礁/搁浅、船体损坏、火灾爆炸等引起的船舶事故。根据《我国沿海港口船舶溢油事故分析及对策研究》，对于溢油量在1t以下的船舶溢油事故，其原因主要是操作性事故。对于溢油量在7t以上的船舶溢油事故，原因则主要是海损性事故。从图6.4-1对船舶溢油事故原因分析可以看出，7种事故原因所引起的船舶溢油事故次数和溢油总量的变化规律基本一致。即碰撞是船舶溢油事故的最主要原因，共发生溢油事件42起，其发生次数占总溢油次数的59.15%，其导致的溢油总量也最高，占有所有溢油事故溢油总量的44.35%；其次是触礁/搁浅而引起的船舶溢油事故，共发生溢油事件14起，占总船舶溢油事件次数的19.72%，其溢油总量为6564t，占有所有溢油事故溢油总量的29.79%。

由操作性原因和船体倾覆所导致的船舶事故次数最低，都为2起，占总船舶溢油事故的2.82%。因此，碰撞、触礁/搁浅是我国溢油量在50t以上船舶溢油事故发生的主要原因。

6.4.2 风险因子危害性识别

(1)火灾爆炸危险性

油品多属于易燃性物质，同时又有易蒸发的特点，挥发后与空气形成可燃性混合物，当混合物浓度达到一定比例时，遇到火种就可能燃烧或爆炸，通常采用闪点作为易燃液体的标准，根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169-2004）中物质危险性标准的判据，闪点低于21℃、沸点高于20℃的物质为易燃液体，燃料油的闪点一般在120℃以上，因此燃料油不属于易燃液体。

(2)人体健康危害性吸入、摄入或经皮肤吸收后对身体有害。可引起灼伤，对眼睛、皮肤、粘膜和上呼吸道具有强烈刺激作用。吸入后可引起喉、支气管的炎症、水肿、痉挛，化学性肺炎或肺水肿，接触后可引起灼伤感、咳嗽、喘息、气短、头痛、恶心和呕吐等。物质对人体健康的危害性通常是指物质的毒性，物质毒性危害程度分为极度危害、高度危害、中度危害和轻度危害四个级别。一般燃料油的LD50在500~5000mg/kg之间，对人体健康的危害程度属中度危害。

(3)溢油入海的生态危害

油品入海后主要漂浮于海面，短期内少量进入水体，其环境影响主要是隔绝了水体和空气之间的正常水汽交换，限制了日光向水体的透入，使水质和水体自净能力功能变差，破坏水生生态系统的光合作用及其物质和能量流，对于海洋动物的生理功能均有很大伤害；随着溢出物在海面的漂移扩散，溶解或分散于水体中的溢出物量会逐渐增多，其环境影响主要体现在污染水质并毒害水生生物，造成海洋生态和海岸滩涂的环境变化。

6.4.3 预测模型

溢油在海洋水体中的运动主要表现为两种过程：在平流作用下的整体位移和在剪流、湍流作用下的扩散。溢油自身的表面扩散过程持续时间很短，而持续时间较长的运动形式主要表现为平流输运和湍流扩散。本报告采用“油粒子”方法来模拟溢油在海洋环境中的时空行为，用随机方法模拟扩散过程，用定性方法模拟平流过程。

(1)动力学过程

动力学过程包括平流过程和扩散过程，溢油在每一瞬时的三维空间位置和分布状态则是各种运动过程的综合作用结果。

①漂移过程（平流运动）

漂移过程是油膜在外界动力场（如风应力，油水界面切应力等）驱动下的整体运动。海流的预测模式选择上述垂向积分的浅水方程组作为海流的控制方程。

②扩展过程

扩展过程是油料溢出到海面上，受到惯性力、重力、粘性力和表面张力共同作用，使油与海水产生了不平衡的压力分布面向四周扩散，分为惯性—重力阶段、重力—粘性阶段和粘性—表面张力阶段。对实际溢油事件的观察发现，在溢油的最初数小时里，扩展过程占支配地位。

扩散速度分量可以通过用拉格朗日独立粒子（随机游动）算法来模拟粒子云团在水中扩散，在 Δt 时间内平均移动为：

$$S_{rmsL} = \sqrt{2 \times D_L \times \Delta t}$$

$$S_{rmsT} = \sqrt{2 \times D_T \times \Delta t}$$

式中： S_{rmsL} 和 S_{rmsT} 分别是纵向和横向方向上的距离的平均平方根， D_L 和 D_T 是水平扩散系数， Δt 为时间步长。

(2)非动力学过程

非动力学过程包括蒸发和乳化作用。

①蒸发

蒸发是由石油烃类从液态向气态的相变而造成的油膜与空气之间的物质交换。溢油的组分、表面积及其物理特征、风速、海气温度、海况以及太阳辐射的强度等都影响蒸发的速率。低烃类组分有较高的饱和蒸发压，因此有较高的蒸发速率，蒸发后溢油中的低沸点烃类迅速减少。

蒸发率随着溢油区域的厚度变化。

对于溢油厚的部分：

$$F = \frac{1}{C} \left[\ln P_0 + \ln \left(\frac{K_m A v t C}{R T V} + \frac{1}{P_0} \right) \right]$$

式中：F—蒸发部分；

V—溢出体积（ m^3 ）；

R—空气常数；C—常数；

A—溢油面积（厚部分）（ m^2 ）；

T—海表温度（K）；

v —摩尔体积； t —时间；

K_m —质量输运系数，与 $U^{0.78}$ 成比例， U 为风速；

$$P_0 = C_r \cdot \exp\left(1 - \frac{T_0}{T}\right)$$

C_r 为常数， T_0 为油的沸点（K）。

对于溢油薄的部分：

$$R_{eva} = C_{eva} \frac{t}{t_{max}^c}$$

式中： R_{eva} —蒸发率；

C_{eva} —系数；

t_{max}^c —蒸发的最大时间，决定于溢油的组分。

②乳化作用

溢油在海水中乳化，形成毫米量级的乳化物（油包水颗粒）。海况能影响乳化的速度，但最终的乳化总量与海况无关，而仅取决于溢油中乳化剂的含量。形成的乳化物具有较高的密度和粘性，可以影响溢油的扩散过程。轻质的易挥发的油很少形成乳化物，重质燃料油或原油会形成相当大量的乳化物。当乳化颗粒与碎屑或生物残骸结合而重量增加时，将沉降到海底。

计算乳化物含水量的公式（Mackay等1980）为：

$$Y_w = \frac{1}{K_B} ((1 - e^{-K_A K_B (1 + U_w)^2 t})$$

式中： Y_w ——乳化物的含水量（%）；

$$K_A = 4.5 \times 10^{-6}$$

U_w ——风速；

$$K_B = \frac{1}{Y_w^F} \approx 1.25$$

Y_w^F ——最终含水量；

t ——时间。

◆密度变化

乳化对油密度的影响表示为：

$$\rho_e = (1 - Y_w) \rho_0 + Y_w \rho_w$$

式中： ρ_e ——乳化后油的密度；

ρ_0 ——乳化前油的初始密度；

ρ_w ——海水密度；

Y_w ——乳化物含水量。

蒸发对油密度的影响表示为：

$$\rho = (0.6\rho_0 - 0.34)F + \rho_0$$

综合两者的影响，油的密度表达为：

$$\rho = (1 - Y_w)(0.6\rho_0 - 0.34)F + \rho_0 + Y_w\rho_w$$

◆粘性变化

溢油在风化过程中粘性会增加，主要是由于蒸发和乳化，此外粘性很大程度上与油面温度有关。用HossainandMackay提出的方程在实际温度和水含量下计算油面粘性。

$$\eta = \eta^{oil} \exp \frac{2.5y_w}{1 - 0.654y_w}$$

式中： η ——乳化后油的运动粘性系数；

η^{oil} ——乳化前油的运动粘性系数；

y_w ——乳化物含水量。

蒸发也可以引起粘性的增加，计算为：

$$\eta^{oil} = \eta_0^{oil} \exp(C_4 F_e)$$

式中： C_4 ——油中无量纲量[wt%]；

F_e ——油蒸发的部分。

乳化和蒸发两种影响结合起来运算如下，它是两种影响不同形式的总和：

$$\frac{\eta^{oil}}{dt} = C_4 \eta_0^{oil} \frac{1}{V_{oil}^0} \frac{dV_e}{dt} + \frac{2.5\eta^{oil}}{(1 - y_{wl}^{max} y_w)^2} \frac{dy_w}{dt}$$

6.4.4 溢油预测条件

(1)流场参数

在进行流场良好验证的基础上，在实测潮型中选择大潮汐期的水动力场作为计算流场。

(2)气象参数

工程区属于季风气候，冬夏两季的风向差异明显，根据本项目测风站风速资料统计，工程区冬季常风向为NNE，平均风速约为9.83m/s；夏季常风向为SSW向，平均风速为7.84m/s。因此，气象工况取夏季主导风向SSW（平均风速7.84m/s）、冬季主导风向NNE（平均风速9.83m/s）。

(3)溢油源强

结合通航环境分析,选择风电场西侧作为船舶溢油预测点。本次以主要施工4000吨级拖船为例,燃油舱容量取为船舶吨位的10%,最多可装燃油400t,分5个燃油舱,平均一个舱装燃油80t,溢油量取为80t。

(4)预测条件组合

综合考虑潮流、风向等因素,对每个溢油点按照天气类型和溢油时刻进行组合:大潮×(静风+SW向+NNE向)×(涨潮+落潮)=6组次,总的方案组合条件情况见表6.4-2。

表 6.4-3 溢油计算工况表

溢油类型	污染物	溢油规模	典型风向	风速	潮型
船舶碰撞溢油事故 (持续泄漏 1h)	燃料油	80t	静风	-	涨潮/落潮
			夏季主导风向 SW	7.84m/s	涨潮/落潮
			冬季主导风 NNE	9.83m/s	涨潮/落潮
			不利风向 SE	13.8m/s	涨潮/落潮

6.4.5 溢油预测结果

在静风情况下,涨潮期间发生溢油,72h内扫海面积在131.3km²,最大漂移距离为9.8km,对敏感目标和岸线不造成影响;落潮期间发生溢油,72h内扫海面积在151.6km²,最大漂移距离为10.5km,6小时后对东沙-东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区造成影响。

在夏季主导风(SW,7.84m/s)情况下,涨潮期间发生溢油,72h内扫海面积在192.4km²,最大漂移距离为35.3km,12小时后对东沙-东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区造成影响;落潮期间发生溢油,72h内扫海面积在222.5km²,最大漂移距离为39.5km,3小时后对东沙-东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区造成影响。

在冬季主导风(NNE,9.83m/s)情况下,涨潮期间发生溢油,72h内扫海面积在223.6km²,最大漂移距离为48.7km,对敏感目标和岸线不造成影响;落潮期间发生溢油,72h内扫海面积在241.8km²,最大漂移距离为46.2km,对敏感目标和岸线不造成影响。

在不利风(SEE,13.8m/s)情况下,涨潮期间发生溢油,72h内扫海面积在216.8km²,最大漂移距离为54.2km,溢油42小时抵达闽江口重要渔业水域生态保护红线区,对岸线不造成影响;落潮期间发生溢油,72h内扫海面积在183.6km²,最大漂移距离为51.6km,2小时后对东沙-东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区造成影响,溢油48

小时抵达闽江口重要渔业水域生态保护红线区，对岸线不造成影响。

6.4.6 溢油风险对海洋环境影响分析

(1)对浮游生物的影响

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。表6.4-4和表6.4-5列举了油污染对一些海洋生物的影响情况。

表 6.4-4 石油产品对海洋生物的致死浓度(1)

生物种类	2号燃料油或煤油	废油（ppm）
海洋植物	<100μL/L	10
鲭鱼	50μL/L	1700
幼体和卵	0.1μL/L	1.25
浮游甲壳动物	5~50PPm	15~20
底栖甲壳动物	0.56mg/L	

表 6.4-5 石油产品对海洋生物的致死浓度(2)

种类	石油产品种类	浓度（ppm）	亚致死反应
普通小球藻	精制萘	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

(2)对游泳生物的影响

鱼类是海洋中主要的游泳生物，它们对油污染的抵抗能力比其他生物较强，但是，1mg/L的油浓度也会引起鱼类的中毒反应，而对于幼小的鱼苗，它们的敏感程度比成熟的鱼高100倍，而且它们不能像成体那样避开被油污染的水域。

(3)对其他海洋生物的影响

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物的同化作用下，能以各种不同方式富集于它们的食物链中，尤其在鱼类、软体类动物体内的富集，使这些动物受到污染。渔业生产也会受到油污染的影响。一方面可能降低渔业产量，另一方面易造成肉质带有油味而降低其商业价值，因而造成较大的经济损失。

综上所述，一旦发生大规模溢油事故，受污染区域内的海洋生物将会受到较严重的破坏。因此，杜绝溢油事故发生，或者是当发生溢油事故后，及时采取应急抢险措施，最大限度降低溢油事故对生态环境的影响。

6.4.7 风险防范及对策措施

详见7.3小节。

6.5 通航安全风险分析

本节内容引自福建船政交通职业学院2024年4月完成的《长乐外海J区海上风电场项目选址通航安全分析报告》。

6.5.1 交通事故统计分析

根据交通运输部《水上交通事故统计方法》中对水上交通事故等级的分类，本报告对福州海事局辖区2020—2022年水上交通事故进行了分类统计，如表6.5-1~6.5-2所示。

表 6.5-1 福州海事局辖区 2020—2022 年水上交通事故分类统计表单位起

年份	碰撞	搁浅	触礁	触碰	浪损	火灾、爆炸	自沉	风灾	操作性污染	其他	合计
2020	2	0	3	0	0	2	2	0	0	4	13
2021	4	1	1	2	0	1	4	0	0	1	14
2022	1	0	0	1	0	0	2	0	0	1	5
总计	7	1	4	3	0	3	8	0	0	6	32

表 6.5-2 福州海事局辖区 2020—2022 年水上交通事故等级统计表单位起

年份	事故总数	未定级	小事故	一般事故	大事故	重大事故
2020	13	0	7	5	1	0
2021	14	0	9	4	1	0
2022	5	0	3	0	2	0
合计	32	0	19	9	4	0

从上表可以看出，福州海事局辖区内2020—2022年发生的水上交通事故主要是小事故，大事故和重大事故数量相对较少，事故类型主要是碰撞、自沉及触礁事故。

6.5.2 海上事故致因分析

(1)事故类型和原因

根据上述事故统计资料，影响长乐外海J区风电场址邻近水域船舶交通安全，导致海上事故发生的原因主要为疏忽瞭望、未谨慎驾驶、恶劣海况和船舶未能遵守规则或操纵等。具体表现为：

①船长及驾驶员对当地水文气象、航道情况不熟悉；

②值班人员未保持正规瞭望，未对会遇局面做好准确判断；

③一些中小型船舶的驾驶行为不规范，安全意识薄弱、违章操作，不按规定的航路航行，随意追越和穿越，一些小型船舶或低标准船舶的航行设备存在缺陷，航行安全管理混乱，是小型船舶事故多发的主要原因之一；

④未进行连续有效的定位，并与障碍物保持一定的安全间距；

⑤渔船无序捕捞作业，也在一定程度上造成碍航，给船舶航行避让带来困难，也是安全航行的主要隐患。

(2)安全对策

①提高船舶驾引人员的技术技能；

②加强对中小型船舶的管理，加强巡逻艇巡航和对过往船舶的监管，确保船舶按章航行在各自规定的航道内。严防船舶超载和乱穿航道；

③提高对水域监控的能力、对船舶引导的能力、对应急事故的处理能力。

6.5.3 国内、外海上风电场水域通航安全现状分析

(1)国内外海上风电场水域事故案例

目前国内还未统计风电水域事故的案例。通过网络搜索到国外近年发生在海上风电场水域的下列案例：

①2010年4月7日，英国风电工程船Windcat3在RobinRigg海上风电场，因左机舱发生轻微电气火灾，导致一个电力供应逆变单元受损。没有人员伤亡，没有发生污染事故。

②2012年11月21日，风电维护船GeoffreyWhinfrey与SheringhamShoal海上风电场内一台风机发生碰撞。因海况恶劣，船舶应风电场业主要求到风电场接工作人员，船舶在风电场航行时违反避碰规则和公司相关规定，单凭利用风机上的信号灯导航，没有正规瞭望和正确使用助航设备，没有注意到风电场一台风机的信号灯熄灭，与一个风电涡轮机发生碰撞，导致人员受伤，船体受损严重。事故后英国MCA给予船长罚款3000英镑处罚。

③2013年2月18日，在德国北海一艘海上补给船与在建中的theBardOffshore1#海上风

电场一个风机基础发生碰撞，没有人员伤亡，船体轻微受损。

④2013年9月22日，台风“天兔”在广东省汕尾市沿海登陆，广东沿海地区风电场在此次台风期间受到巨大冲击。汕头红树湾风电场有25台风电机组，“天兔”过后有8台机组被拦腰折断倒塌在地，另外9台风机叶片被折断，剩余8台机组在外观上没有出现明显损毁现象。

⑤2014年7月，强台风“威马逊”席卷了海南、广东及广西等多个省，其中海南文昌和粤西等多地区都出现了灾情。这令此前安营扎寨的多家风电场受到了较大影响，一些风机出现了损坏。据统计，现场的13台风机被吹倒，5台风机则出现了损坏现象，如叶片破裂、发电机掉落、机舱被揭开等等，以致无法运行。

⑥2014年8月14日，长为40米的“OMSPollux”号风电维护船在进行正常的检查时，由于锚链断裂，船体撞上了Walney近海风力发电场中一个风机，导致船体严重受损，约10吨船用汽油泄漏到爱尔兰海中，大约10米宽，0.7海里长的海面遭到溢油污染，所幸无人受伤。泄漏的是轻油，能够自动蒸发或者自然降解。

⑦2016年5月12日，中交三航局江苏分公司租赁用于配合响水近海风电项目实干的“宝隆706”在北纬34°31'，东经120°00'附近海域与“灌云渔60210”发生碰撞，事故造成7人死亡。

⑧2016年9月4日，“辽河一号”轮进行座底安装风力发电设备施工时，由于受到潮流影响，艏、艉底部坐沙被掏空，造成船体发生严重中拱，船身中部结构造成损坏进水搁沉。搁浅的位置为沙质浅滩，周围是海产品养殖区。

⑨2017年7月14日，江苏省滨海县黄海海域发生强雷电天气，正在施工建设的国家电投滨海北区H2#400MW海上风电场工程海上升压站一层平台35kV电缆发生爆燃。据江苏广电总台报道，事故发生后，19名工人跳海求生，18人获救，1人下落不明。

⑩2018年10月18日1时45分，位于福建省莆田市的海上风电二期工程一平台突然下沉，导致17人遇险。

⑪2018年8月6日下午，福建霞浦某风电场在维修被“玛莉亚”台风吹倒的风车时发生吊车倒塌事故。

⑫2020年7月4日，“振江”号海工平台发生海上漫漫事故。

⑬2021年7月25日，海上风电安装平台“升平001”在惠州风电施工海域发生倾斜翻沉事故。事故造成4人失联。

⑭2022年7月2日，粤电阳江青洲一、青洲二海上风电场项目施工浮吊船“福景001”

轮在广东阳江附近海域防台锚地避台风“暹芭”时，发生锚链断裂、走锚遇险，此后，该船在海上沉没，造成重大人员伤亡事故。

(2) 风电水域交通事故特点

经分析，风电场水域水上交通事故具有如下特点：

- ①事故种类集中，以碰撞类事故为代表，也有火灾类事故。
- ②风电场日常交通维护船舶与风电设施发生碰撞较多。
- ③工程施工期施工船舶与海上风电设施碰撞也存在较大风险。
- ④风电场施工、船舶避台时，发生事故。

(3) 事故原因分析

- ①船舶在航行过程中未尽到船员正规瞭望职责、未按照规定安全航行。
- ②大风浪和雾等恶劣天气给船舶操纵带来困难，容易引发事故。
- ③风电场风电设施警示灯标维护不到位，部分灯光熄灭。
- ④施工船舶在防台避风时，因对台风路径及海况预报信息获取不及时或麻痹大意，以及对锚地选择以及自身船舶抗风情况过度自信，在锚泊前未对锚泊设备进行全面检查，而造成走锚、断链、搁浅、倾覆等事故。

总之，风电场附近的事故多为碰撞事故，原因多数为没有保持正规瞭望，同时没有遵守规则和恶劣天气条件导致的，只有保持正规瞭望，遵守规则，保证船舶设备的正常使用，维护风电场助航设施和其他安全设施设备的有效工作状态，另外，需加强安全管理、密切注意气象、海况变化，制定并严格遵守外海作业条件，严格做好安全防台措施，保证风电场施工和营运安全。

6.6 自然灾害风险分析

6.6.1 雷击风险

空中的尘埃、冰晶等物质在大气运动中剧烈摩擦生电以及云块切割磁力线，在云层上下层分别形成了带正负电荷的带电中心，运动过程中当异性带电中心之间的空气被其强大的电场击穿时，就形成放电。对风电场运行带来危害的主要是云地放电，带负电荷的云层向下靠近地面时，地面的凸出物、金属等会被感应出正电荷，随着电场的逐步增强，雷云向下形成下行先导，地面的物体形成向上闪流，云和大地之间的电位差达到一定程度时，即发生猛烈对地放电。雷电一般具有：冲击电流大；持续时间短；雷电流变化梯度大和冲击电压高等特点。通常雷击有三种形式，直击雷、感应雷、球形雷。

风机设备遭受雷击受损通常有下列四种情况：风机直接遭受雷击损坏，主要指叶片遭感应雷和球形雷破坏叶尖甚至整个叶片；雷电脉冲沿与设备相连的信号线、电源线或其他金属管线侵入使设备受损；设备接地体在雷击时产生瞬间高电位形成地电位“反击”而损坏；设备安装的方法或安装位置不当，受雷电在空间分布的电场、磁场影响而损坏。

6.6.2 台风风险

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

台风对风电场可能造成的损害包括：台风夹带的细小沙砾造成破坏叶片表面，轻则影响叶片气动性能，产生噪声，严重的将破坏叶片表面强韧性由此降低叶片整体强度；台风带来的狂风暴雨对输电线路的破坏；台风破坏测风装置，使风力发电机组不能正确偏航避风，设备不能降低受风面积，超过设计载荷极限，使设备遭到破坏；台风施加在设备上的静力效应和动力效应共同作用下不断施加疲劳载荷，最后达到或者超过叶片和塔架的设计载荷极限，导致引起部件机械磨损，缩短风力发电机组的寿命，严重的使叶片损坏及塔架倾覆。

6.6.3 地震风险

参照《中国地震动参数区划图》（GB18306-2015）和《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010，2016年版）有关规定，工程建筑场地类别为IV类。工程区II类场地基本的震动峰值加速度为0.10g，基本的震动加速度反应谱特征周期为0.45s，对应的抗震设防烈度为VII度，设计地震分组为第三组。IV类场地基本的震动峰值加速度调整为0.12g，基本的震动加速度反应谱特征周期为0.90s。

拟建场地及其附近未发现活动性断裂通过，新构造运动表现微弱，主要表现为断块差异升降，地壳运动相对稳定。近代地震活动强度不大，频度不高，区域构造属于相对稳定区，故本场地适宜风电场的建设。

6.7 其他环境风险分析

6.7.1 鸟类飞行碰撞风机风险分析

根据相关研究，大部分鸟类的迁徙是在天气晴好的白天，而且大部分鸟类飞行高度较高，即使飞行高度较低的鸟类，也能够较好地识别障碍物，避免与风机发生撞击。在飞行条件较差的时候，如下雨或者起雾时，则有可能发生鸟类与风机的撞击，目前的研

究总体结果表明概率较低。

从国内外对此问题的研究成果和其他已运行风电场对鸟类影响的观测资料看，鸟类能够顺利避开塔柱和旋转的叶片，其数量的增减只与食物的供给量有关，与风电场关系不大，并可合理布置风电机组，为候鸟留出安全飞行带，并在风机上加设灯光，采用色彩搭配等以减少候鸟撞击可能。同时，为减轻施工对周边鸥类的影响，应合理安排施工时间，尽量避开鸥类觅食活动时段，同时合理布置施工船舶运输路线。并且迁徙鸟类数量密度低，碰撞风机的概率不高，总体本项目海上风电场对迁徙鸟类的影响不大。

6.7.2 污损生物影响分析

根据马士德等人研究：污损生物附着后，由于钢结构表面不再接触海水，钢结构在海水中的平均腐蚀率将会降低，但污损生物可造成氧浓度差电池，促使由污损生物引起的贫氧区的局部腐蚀；且污损生物死亡后，有机体被细菌分解，也能引起局部腐蚀，因而污损生物的附着，虽然降低平均腐蚀率，但会促进局部腐蚀。

虽然本项目风机基础已通过防腐涂层进行防腐蚀设计，随着时间的增长，防腐涂层会存在老化、损坏，牺牲阳极也有可能被损坏、损耗。为确保钢管桩与牺牲阳极处于正常工作状态，应定期对防腐措施进行监测和维护。监测应重点关注防腐涂层破坏情况，牺牲阳极块焊脚完整性、消耗情况，并对钢管桩保护电位进行监测。测试导线集中露出承台/平台表面，测试时利用参比电极配合万用表或其他电位监测设备进行测量。若测得的保护电位超过或低于相关要求的电位范围，可能对风机基础钢管桩造成过保护或保护不足，需要及时采取相应的修补措施，以确保防腐蚀系统可以正常工作。

6.7.3 海底电缆及风机基础泥沙冲刷掏空风险分析

受长期泥沙冲刷的影响，在风电场海底电缆和海床之间有形成掏空的可能，风机基础也可能因局部冲刷产生深坑。

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

此外为进一步避免海底线缆损坏影响项目运行稳定，应遵守《中华人民共和国海上交通安全法》和《水上水下施工作业通航安全管理规定》的有关规定，敷设海底电缆施工作业，在适当的位置设立昼夜醒目的标志，并保证其完好、有效。敷设完毕后，向主管机关报送管线路由等相关资料，并申请发布航行通（警）告。并根据海底电缆保护规

定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作业。此外在项目建成运行后应开展定期的巡查观测潮滩冲刷变化情况，在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查，如发生局部冲刷及时进行回填保护。

6.7.4 风机损坏、海缆短路风险分析

海上风电不像陆上风电有成熟的装备和施工技术，故也具有一定试验性和不确定性。兆瓦级新型风电机组产品投入规模化生产运行后，质量和运行可靠性还未在海上得到充分检验。同时，从历史气象、海洋水文观测资料看，本项目风电场区海域台风、风暴潮发生概率较为频繁，台风、风暴潮等恶劣天气会对风机产生较大危害，在台风施加在设备上的静力效应和动力效应共同作用下不断施加疲劳载荷，最后达到或者超过叶片和塔架的设计载荷极限，轻则引起部件机械磨损，缩短风力发电机组的寿命，严重的使叶片损坏及塔架倾覆。

若电缆制造时存在隐患、电缆运行过负荷、过热等原因使电缆老化，绝缘强度降低等原因引起电缆相间或相对地击穿短路；过电压使电缆击穿短路。安装不当、电缆铺设时曲率半径过小，致使绝缘损坏。同时还存在场区来往船只等对电缆施加的外力，则可能发生电缆短路事故。

若发生电缆短路事故，可能会对工程附近的渔业资源造成一定影响，发生死鱼现象。为减少三相短路和单相短路事故产生的强电流危害影响，66kV海缆线路配置过流保护装置，用于在海缆发生断路时断开本进线断路器，并配置电路保护装置。保护动作时间约1s至2s，可将短路产生危害降到最小。

6.8 环境风险评价结论

长乐外海J区海上风电场项目涉及的主要危险物质为油类物质，存在的风险为施工期和营运期船舶碰撞溢油事故、风机内油品泄漏等。

项目施工船舶、检修船舶自备吸油毡、围油栏等应急设施；风机桩基周围加装防撞保护圈，外围的风机布设警示灯、雷达应答器；对电缆区设置警示标志；同时制定详细的应急预案。

在严格落实各项事故风险防范措施和应急预案情况下，项目运行过程中的环境风险可以防控。

7 环境保护措施及可行性论证

7.1 施工期污染防治措施

7.1.1 施工大气污染防治措施

施工期空气污染的主要环节为施工机械船舶废气等，项目海上施工应选用符合国家标准标准的施工船舶机械，加强施工机械船舶保养工作，选用符合国家标准的燃料油。

7.1.2 施工期水污染防治措施

(1) 施工期悬浮泥沙防治污染措施

①施工单位在施工过程中，应充分考虑附近海域环境特征、气象条件等，避免在极端天气情况下进行施工作业，桩基沉桩、固化土施工与导管架灌浆尽量避开涨潮及落潮发生期，控制海缆铺设速率，以减少悬浮物影响范围，确保施工作业对海域环境质量的影影响降低到最低程度。

②施工期加强对附近海域水质浊度及悬浮颗粒、溶解氧和盐度的变化等进行监测，并利用监测结果反过来约束施工作业。

③风机基础施工过程中，根据场址区地质情况精确定位桩基位置，选用高效的桩基施打设备，确保管桩平稳、快速贯入，减小对海床的扰动。合理控制工艺桩拔除强度，防止拔桩时桩体倾斜刮擦海床或拔除力过大造成局部掀沙。

④导管架连接灌浆作业过程中，工作人员应严格根据灌浆方案确定灌浆量，通过视频监控或潜水员配合，精确把控溢浆时间和溢浆量，灌浆结束后，灌浆设备和管理系统清洗废水收集在工作船上，严禁排海造成海水污染。

(2) 施工废水污染防治措施

①施工期间，施工船舶生活污水经船舶统一收集，靠岸后统一处置；施工船舶含油污水禁止向海域排放，应事先经海事部门对其排污设备实施铅封，然后由有资质公司进行接收处理。

②施工期使用的船舶应严格执行《防治船舶污染海洋环境管理条例》和《船舶污染物排放标准》。大型施工船舶设相应的防污设备和器材，并备油类记录簿，含油污水如实记录；设专用容器，回收施工残油、废油。

③加强施工设备的管理与养护，杜绝石油类物质泄漏，施工船舶甲板上机械出现设备漏水、冒油时，应立即停机处理，使用吸油棉及时吸取，并迅速堵塞泄水口，防止油污水入海，减少海水受污染的可能性。

④施工船舶甲板上偶尔出现的少量油（通常是润滑油）用棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱等应收集后运回陆地。船舶靠泊后，注意施工船舶等的清洁，及时维护和修理施工机械，施工机械若产生机油滴漏，应及时采取措施，用专用装置收集并妥善处理。建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等有害物质时，应立即采取措施，控制和消除污染，并向就近的港务监督局报告。

⑤建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等有害物质时，应立即采取措施，控制和消除污染，并向就近的港务监督局报告。

⑥施工船舶应配备适量的化学消油剂、吸油剂等物资，以防止发生船舶的小范围溢油事故的发生，同时制定事故预防和溢油应急计划。

7.1.3 施工期噪声环境保护对策措施

(1)注意鱼类在遭到水下噪声影响时所处的生命周期，尽力避免鱼类在繁殖期、产卵期时的施工，建立水中作业时间窗概念。水中作业时间窗表示在该段时间中对某个物种的潜在影响最小，或者在该窗时间内物种本身的生命周期使之不受影响。

(2)确定施工前应该对海域内不同鱼类的活动和分布进行全面的考虑。由于鱼类具有多种行为使得它们遭受噪声影响的程度也不同。如产卵场、索饵场和洄游通道功能的作用有一定的季节性。工程中作业顺序应安排得当，电缆铺设和风机施工尽可能地避开渔业敏感季节；如高机动游动的鱼类可以在施工进行时离开该海域而停止施工后返回，而其他鱼类如虾虎鱼则具有较低的机动性，无法快速离开一个海域，因此，可以依据不同的鱼种洄游迁徙的时间而确定四桶导管架施工的时间。

(3)施工单位应选择低噪声设备，对噪声较高的施工设备采取降噪措施，禁止使用不符合国家噪声排放标准的施工机械设备。施工期的一般施工活动中，应注意施工机械和运输机械的维护和更新，尽量采用低噪声环保机械，避免噪声过大的运输船只在海上运输作业。定期维护和及时修理施工机械，杜绝施工机械在运行过程中因维护不当而产生的异常噪声。

(4)加强施工监管。国外海上风电场发展起步早，对于施工的监管也较为成熟，总体上在安全区的划定和缓冲措施的规定上比较完善，我国现在还未出台较为完善的施工管理及保护规范，可以结合国外成熟的相关协议以及我国自身海洋环境的特点，设立明确、具有可操作性的管理措施，帮助完善施工的监管。

(5)合理安排施工期。海上风电场建设会造成海洋浮游生物受损，因此选择施工期应

尽量避免浮游生物旺盛季节，减少对海洋生物的影响。

(6)加强对施工人员的个人防护，对在高噪声设备附近工作的施工人员配备必要的防噪声耳塞、头盔等防护用品。

(7)加强施工管理、文明施工，减少施工期不必要的噪声影响，尽可能减少产生噪声的夜间施工作业。

(8)春、夏季（4~6月）是鱼类产卵高峰期，从减缓对渔业资源影响的角度出发，打桩、电缆铺设应避开海洋鱼类产卵高峰期。同时打桩前可采取预先轻轻打几下桩，以“软启动”方法驱赶桩基周围的鱼类，为减缓后续正式打桩时产生的水下噪声对鱼类的影响。

7.1.4 施工期固体废物处置措施

(1)对施工产生的废料或者焊接垃圾等，应及时收集回收，交有资质的固体废物处置单位统一处置。

(2)施工中禁止任意向海洋抛弃各类固体废物，同时应尽量避免各类物料散落海中。施工中产生的固体废物应由施工单位负责及时清理处置。施工结束时，需做好施工现场的清理和固体废物的处理处置工作，不得在地面有明显的固体废物残留。对有利用价值的施工废弃材料也应由施工单位负责及时清理处置。

(3)施工人员生活垃圾集中收集，清运至陆上，按当地环卫部门规定统一处置。

(4)各施工单位要加强对施工人员的教育和管理，保证生活垃圾集中处置。

7.1.5 施工期海洋生态保护措施

(1)施工区域海洋生态保护措施

①项目在选址和布置时，避开了海洋生态保护红线和保护区等敏感区域。

②尽量选择落潮时施工降低悬沙污染，为了避免悬浮物对海洋生态的影响，需加强对海水中悬浮物的监测。

③作业季节及作业周期：回避鱼类的迁徙期和产卵孵化期（主要为春夏季），避开海洋生物的主要繁殖期（4-6月），同时进行现场监测，采集真实规范的样品，并对其浊度及悬浮物颗粒、溶解氧和盐度的变化进行监测。

④对生态环境进行跟踪监测，及时掌握经济动物和保护物种的生物量、分布、种类等的变化。

⑤施工过程中严禁向海域内倾倒、排放污染物，避免水环境污染。

⑥施工期间加强对海洋哺乳类的监测，发现有海洋哺乳动物在评价区出现，应该停

工进行驱赶。

(2)底栖生物保护措施

①海缆铺设过程中要严格划定施工作业区域，准确按照设计路线铺设海缆，控制作业面宽度，禁止随意扩大施工范围。

②对海缆施工方案进行合理优化，选择科学合理的施工方法和顺序，减少施工对海洋环境的影响。

③优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短作业时间，减少海缆施工对海域的影响时间。

④施工应避免恶劣天气，保障施工安全并避免施工中电缆铺设等产生的悬浮物在不利天气下大量扩散入海。

⑤海底电缆应适当深埋，可增加海底电缆的使用安全和有利于生态环境的自我修复。

⑥施工机械、设备和人员产生的所有污染物禁止在海域随意排放和丢弃，应收集至陆域处理，减少对周边海域水体环境影响。

⑦检查施工器械，不得出现润滑油或燃料油跑、冒、滴、漏于登陆段施工区域。

⑧施工船舶驻锚泊时，根据施工作业需求和海况条件，由专业人员精准确定锚泊点，避免反复抛锚减少不必要的拖作业，降低对底栖生物损害程度。

(3)渔业资源和渔业生产保护措施

①优化施工进度安排，涉及悬浮泥沙产生的海缆铺设、风机基础施工工段尽量错峰施工，控制悬浮泥沙叠加影响的周期。

②对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞、养殖作业活动的范围、时间。同时严格划定施工作业区域，控制施工船舶在鱼类产卵场高峰期进入施工区的数量，减少对海洋生物的影响。

③施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测调查，及时了解项目施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

④施工期对在项目海域从事滩涂养殖和捕捞作业的渔民造成收入下降的，建设单位应与当地渔业主管部门及渔民协商，落实补偿措施。

⑤加强施工期污水管理，统一收集集中处理，严禁污水直接排海。

⑥在进行首次水下打桩时先进行小强度的“软启动”，以驱赶海洋鱼类游离作业区。

⑦在设计、工程施工时，严格遵守有关设计和相关规定，完善环保设施，采取积极措施，尽量减少对海洋环境质量的影响，如遇突发性涉海污染事故，应及时采取积极的

措施，将对渔业损失的污染影响程度降低到最小。

⑧严禁施工废水与废物排海，特别是加强渔业产卵期（4~6月）施工船舶废水与施工固体废物监管。项目海缆敷设，应尽量避免渔业产卵期（4~6月）。

⑨项目施工前，先用大马力渔船驱赶鱼群；留出足够的时间让鱼群游离，起到大范围驱赶作业，从而减少后续施工对渔业资源特别是重要海洋生态保护生物的影响。

(4)生态保护红线区保护措施

①项目在选址和布置时，避开了海洋生态保护红线和保护区等敏感区域。

②项目风机尽量避让生态保护红线区，建设单位为减轻项目建设对生态保护红线区的生态环境影响。项目风机采取退让措施，项目风机与生态保护红线保护区的最近距离由140m调整至620m，最大限度减轻项目建设对生态保护红线保护区的影响。

③项目施工期临生态保护红线和大黄鱼产卵场一侧风机和海缆敷设避开产卵期（4~6月）。

7.1.5 施工期鸟类保护措施

(1)尽可能选用低噪声设备，并加强设备的维护和保养，减少施工机械噪声和车辆运输噪声对鸟类的干扰。根据项目评价区鸟类的的生活习性，合理安排施工期尽可能避开候鸟迁徙高峰期，在鸟类非迁徙季节竖立和组装风机。在鸟类迁徙高峰期要严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少对外界的漏光量，尤其是在大雾、小雨、强逆风或无月的夜晚，应停止施工。同时，在施工人员进场后，要立即进行鸟类保护的宣传教育，明确禁止施工人员进入候鸟群分布区，杜绝猎杀鸟类的行为。

(2)在越冬、迁徙强度大的季节（10月至次年3月），严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少对外界的漏光量，尤其是在有大雾、小雨或强逆风的夜晚，应该停止施工。

7.1.6 施工期其他环保措施

(1)工程施工建设要坚持“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，把工程施工对海洋生态环境带来的不利影响控制到最低程度。

(2)建议调整局部施工标段施工进度，尽量避免或减少当地经济鱼类繁育的保护期施工，减少施工过程对海域生态环境的损害。

(3)桩基施工噪声缓解和对鱼类的保护措施。桩基础施工应避免采用撞击式的打桩作

业方式，建议采用环保型液压式打桩机。鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出控制；桩基周围建议采用气泡帷幕等屏蔽措施，减缓噪声能量的散播。

(4)严格限制工程施工和作业范围，以减小施工作业对经济鱼类繁育场和底栖生物的影响。

(5)尽量选用先进低噪的施工设备和船舶，并注意日常设备维护，降低施工噪音，减轻对鱼类的影响。必须加强施工期船舶生活污水的收集处理和生活垃圾的收集处置，严禁向海域倾倒各种垃圾与排放废污水。

(6)建设单位应加强对施工的管理，提高工程施工效率、缩短施工时间，做到文明施工，有序作业，从而缩短施工的影响。

(7)施工单位应加强环保教育，重视保护环境的问题，做好施工设备日常维修工作，以保证各种设备正常运行。

(8)施工期间加强交通安全意识，预防海上船舶碰撞溢油事故发生；

(9)业主和施工单位应制定突发事件的应急预案，当发生施工船舶事故时将损失减少到最小的程度。

7.2 营运期环境保护对策措施

7.2.1 营运期水环境保护对策措施

(1)本项目营运期间，需要对风机及其相关设备进行维护，在维护过程中要防止润滑油等油类的跑、冒、漏、滴，废油统一收集至废油箱中，靠岸后委托有资质的单位进行处理回用。

(2)含油废物（抹布、废滤网）也要统一妥善保管，不得随意丢弃，维护结束后，应将废油、含油废物等一并交由有资质的单位处理，避免污染项目海域生态环境。

(3)检修船舶的污水均统一收集后送至有资质单位处理，均不外排。

7.2.2 营运期大气环境保护措施

本工程营运期的大气污染物主要为检修船舶的尾气。营运期间加强船舶的维修保养，选用符合国标的燃油。

7.2.3 营运期噪声处理措施

机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源，这部分噪声是能够控制的，其主要途径是：

①避免或减少撞击和摩擦，使齿轮和轴承保持良好的润滑状态；

②为减小机械部件的振动噪声，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能；

③尽可能选择低噪声的设备。

风电机组的主要部件安装于机舱内部，这些部件产生的振动直接传递给机舱，引起机舱振动并产生噪声。为降低风机噪声源强，建议在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构噪声传递，同时隔离机舱内部的噪声向外传播。

建设单位先期委托技术单位进行了噪声电磁环境影响专题工作，但鉴于时间、经费等因素的考虑，关于水下噪声对海洋生物的影响的相关工作还需在后续的工作中继续开展，应重点关注：

①海洋鱼类及哺乳动物的听阈值和声信号的敏感性研究；

②对海洋鱼类生物生活、生长和发育的影响；

③对海洋鱼类及哺乳动物的通讯影响。

7.2.4 营运期固体废物处理措施

(1)一般固体废物

维修船工作人员对风机进行维修、监测及养护期间产生的固废应由维修船收集并运回陆域处理。维修船工作人员营运期间生活垃圾总量较少，船舶生活垃圾运至陆上集中收集处置。

(2)危险废物

营运期废旧变压器以及风机维护产生的少量废油（通常是润滑油）属于危险固废。风机维护产生的少量废油（通常是润滑油）可用锯末或棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱等收集后运回陆地，并委托有资质单位统一回收处置、处理。废旧蓄电池、变压器由专业厂家回收利用。

7.2.5 营运期生态环境保护措施

项目实施不可避免地对海洋生态和渔业资源造成直接损害。为减少项目建设对海洋生态和渔业资源的影响，项目建成后应立即采取以增殖及鱼类放流为主的生态修复补偿措施，增殖放流品种优先选取当地海域的常见种和优势种或经济价值高的种类。放流品种、规格和数量可根据本工程所在地的环境特征和工程特征执行，具体应在当地渔业主

管部门指导下，按照当地海洋功能区划，鱼类产卵场位置确定，并与放流计划同步，便于增殖流的组织和管理。

(1)生态修复目标

本项目生态修复目标为：“损害什么，修复什么；损害多少，修复多少”。

(2)生态修复内容

施工过程中造成的鱼卵、仔鱼、游泳生物资源损失以渔业资源增殖放流方式来补偿。开展渔业资源增殖放流，选择适合本地放流的海域进行增殖放流工作，投入金额为460.4638万元。

(3)增殖放流原则

根据《中国水生生物资源养护行动纲要》精神及农业农村部《水生生物增殖放流管理规定》的要求，人工增殖放流应遵循以下工作原则：

- ①依法规范原则。人工增殖放流工作应按照国家 and 地方有关法律法规的规定及有关政策的要求执行，相关操作须符合相应的工作和技术规范。
- ②因地制宜原则。人工增殖放流应根据项目区及其周边水域生态环境和生物群落结构特点，使放流工作取得最佳效果。
- ③科学有序原则。以人工增殖放流为主要手段的水域生态环境修复是一项长期、系统的工作，要科学论证、有序推进，确保放流工作成效。
- ④突出重点原则。人工增殖放流既要兼顾全局，更要突出重点，选择合适的地点、适宜的种类，按照科学论证的实施方案执行。

(4)增殖放流方案

根据《水生生物增殖放流管理规定》，在当地渔业部门指导下开展渔业资源增殖放流工作。放流品种以当地优势种为主，建议放流地点为工程附近的生态保护红线区内，应在当地海洋部门的指导下进行放流。

表 7.2-1 项目生态保护修复一览表

保护修复类型	生物资源恢复
保护修复内容	渔业增殖放流
工程量	投入资金460.4638万元，用于苗种购买、运输、投苗
实施计划	计划在2027—2028年春季开展
责任人	福建省福能海韵发电有限公司
备注	可分两年实施

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》（农渔发

〔2022〕1号〕的附件3-9东海增殖放流分水域适宜性评价表，福州闽江口外海域适宜放流黄姑鱼、长毛对虾、日本对虾、三疣梭子蟹、真鲷、黑鲷等，本项目建议开展黄姑鱼、日本对虾、三疣梭子蟹、真鲷的增殖放流，实际放流品种和放流时间与当地渔业局沟通后确定，建设单位应确保渔业资源修复措施落实到位，渔业增殖放流建议在春季开展。

种苗供应单位须具有市级或市级以上水产原（良）种（繁育）场（基地）资质。项目实施后，具体放流数量、时间、地点及放流品种等应按照当地增殖放流计划并结合本工程的建设实际情况实施。

7.2.6 鸟类影响对策措施

(1)风机叶片涂装警示色。鸟类通常以视觉判断飞行路线中的障碍物，为了降低迁飞时发生鸟撞的可能性，风力发电机机组叶片应涂装成橙红与白色相间颜色鲜艳的警示条带，对附近鸟类起到警示的作用，使鸟类在飞行中能及时分辨出安全路线，及时规避风机，防止鸟类撞上风机转动的叶片而死亡。

(2)慎选光源设备。风电场区域的照明设备应选用白色闪光灯，并且尽可能少安装灯，灯的亮度和闪烁次数也要尽可能小和低。禁用钠蒸气灯，禁止长时间开启明亮的照明设备，建议使用声控灯，需要照明的设备加装必要的遮光设施，以减少光源对夜间迁徙鸟类的干扰。

(3)尽可能选用低噪声设备，并加强设备的维护和保养，减少施工机械噪声和车辆运输噪声对鸟类的干扰。根据项目评价区鸟类的生活习性，合理安排施工期尽可能避开候鸟迁徙高峰期，在鸟类非迁徙季节竖立和组装风机。在鸟类迁徙高峰期要严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少对外界的漏光量，尤其是在大雾、小雨、强逆风或无月的夜晚，应停止施工。同时，在施工人员进场后，要立即进行鸟类保护的宣传教育，明确禁止施工人员进入候鸟群分布区，杜绝猎杀鸟类的行为。

(4)在迁徙强度大的季节（10月至次年3月），严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少对外界的漏光量，尤其是在有大雾、小雨或强逆风的夜晚，应该停止施工。

(5)加强鸟类监测。组织专业人员，开展风电场区域鸟类种类和数量监测。每年春季3月—4月、秋季10月~11月候鸟大规模迁徙期间，以及每年5月—8月加强燕鸥类繁殖地及繁殖鸟的监测，要密切观测候鸟动向，做好观测记录，在遇到大群候鸟路过或经监测发现影响主要鸟类繁殖行为时，应当停机，并及时制定相应的保护措施。风电场的鸟类监测应作为监测计划中一部分。风电场建成后，一旦发现与夜间迁徙候鸟或白天集群迁徙、觅食的鸟类撞击率较高的风电机，要适时关闭风机。

(6)应在风电场区域建立鸟类观测点,为了更好地解决项目评价区风能资源开发和候鸟资源保护之间的矛盾,建议长时期对鸟类进行连续观测,加强风电场区域鸟类活动特征(如觅食地、栖息地选择、迁徙路线、高度等)以及鸟类与风机撞击情况及鸟类在输电线路上的栖息情况的观测,合理调整运行及防范措施。将风电场对鸟类的影响防范工作纳入区域发展规划,协调区域滩涂及邻近地区的开发建设。

(7)特殊情况下的风电场运行管理。在有雾、小雨或强逆风的夜晚,尤其在迁徙强度大的季节,应停止运行风机,以减少鸟的撞机伤亡。

7.3 风险防范对策措施

7.3.1 溢油事故风险防范对策措施

工程各项施工活动、营运期日常维护维修基本都需要依赖船舶,加之项目工程靠近东沙—东引岛周边海域重要渔业资源产卵场生态保护红线区,如一旦发生施工、运维船舶碰撞、倾翻等突发性事件容易诱发海上溢油事故,将对海域生态环境带来严重的影响。因此,对海上溢油事故应进行防范及应急处理,实行“预防为主、平灾结合、常备不懈”的方针,最大程度减轻事故的危害与损失。

7.3.1.1 船舶事故防范措施

项目的船舶事故风险主要发生于施工船舶与施工船舶、运维船舶与过往渔船以及货运船舶之间事故碰撞而产生的燃油外溢及油舱破裂而造成油渗漏。所以溢油风险防范措施要从海上施工的各个环节加以控制。施工和运维船舶要严格遵守《中华人民共和国防治船舶污染海洋环境管理条例》(2010年3月)的有关规定,加强管理和监督,积极采取预防措施:

①施工和运维通告及对外界运输条件的要求:施工和运维前应通过海事局发布施工和运维航行通告;施工和运维期间应注意与过往船只的相互避让,防止船舶碰撞;船舶进出应实施引航员制度和锚泊制度,以防船只拖锚、碰撞、挤压、搁浅、触礁等事故发生;施工和运维船舶应实施值班、瞭望制度;在大雾、大风等不利气象条件下应按要求停止作业。

②为保障项目涉海建设的顺利进行,施工和运维时应加强对施工船只人员的安全教育和管理,在条件允许的情况下,建立统一的通讯系统,统一指挥。同时还要强化施工和运维人员的环境保护意识。

③施工和运维单位应根据海事部门划定的桩基、电缆铺设水域界限、施工和运维作

业区域、通航区域进行施工和运维。保证施工和运维期间主航道内船舶能安全通行。严格遵守施工和运维区域与车渡航线之间的关系，以最大可能地降低船舶碰撞风险发生的可能性。施工和运维期间做好施工作业区防护措施，可通过设置隔离带严禁捕鱼船只靠近施工作业区。

④施工和运维船舶的要求：施工和运维船舶进行水上水下施工等作业活动的，应当遵守相关操作规程，并采取必要的安全和防治污染的措施；施工和运维人员应当具备相关安全和防治污染的专业知识和技能。根据《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》（交海发〔2007〕165号），施工和运维船舶污水不得向沿海海域排放油类污染物，船舶产生的油类污染物须定期排放至岸上或水上移动接收设施。

⑤对船舶驾驶员的业务技术要求：对所用船舶驾驶员及其他船上工作人员应进行严格培训，制定严格的操作规程，提高溢油危害的认识和安全运输的责任感，明确所应承担的防止船舶溢油的责任和义务，切实落实《中华人民共和国防止船舶污染海域管理条例》规定的防治污染有关措施。

7.3.1.2 溢油事故应急预案

本工程应急计划区主要为风电场区和电缆路由铺设附近海域；应急事件包括船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故。

溢油风险事故发生后，能否迅速而有效地做出溢油应急反应，对于控制污染、减少污染损失以及消除污染等都起着关键性的作用。根据《关于对重大环境污染事故隐患进行风险评价的通知》《突发环境事件应急预案管理暂行办法》《中国海上船舶溢油应急计划》等文件的要求，通过对污染事故的风险评价，各有关企业单位应制定防止重大环境污染事故发生的工作计划，消除事故隐患的实施及突发性事故应急处理办法等。为使项目在施工和营运期对溢油事故能快速做出反应，最大限度地减少溢油污染对附近水域和敏感点的损失，建设单位应在工程开工前制定一份可操作的溢油应急预案。项目溢油污染事故应急预案主要内容见表7.3-1。

表 7.3-1 突发事故应急预案主要内容

序号	项目	内容
1	总则	
2	危险源概况	详述危险源船舶事故溢油事故泄漏
3	应急计划区	风电场区及邻近海域
4	应急组织	应急救援指挥部—负责现场全面指挥； 应急小组—负责事故控制、救援、善后处理

5	应急状态分类及应急响应程序	规定事故的级别及相应的应急分类响应程序
6	应急设施、设备与材料	1.防火灾、爆炸事故应急设施、设备与材料，主要为消防器材； 2.防海上溢油、扩散，主要是围油栏、吸油材料等。
7	应急通讯、通知和交通	规定应急状态下的通讯方式、通知方式和交通保障、管制
8	应急环境监测及事故后评估	由专业队伍负责对事故现场进行侦察监测，对事故性质、参数与后果进行评估，为指挥部门提供决策依据
9	应急防护措施、清除泄漏措施方法和器材	事故现场：控制事故、防止扩大、蔓延及连锁反应。 清除现场泄漏物，降低危害，相应的设施器材配备； 邻近区域（包括海域）：控制防火区域，控制和清除污染措施及相应设备配备
10	应急撤离组织计划、医疗救护与公众健康	事故现场：现场及邻近人员撤离组织计划及救护； 码头邻近区（包括海域）：受事故影响的邻近区域人员及公众撤离组织计划及救护
11	应急状态终止与恢复措施	规定应急状态终止程序；事故现场善后处理，恢复措施； 邻近区域解除事故警戒及善后恢复措施
12	记录和报告	设置应急事故专门记录，建立档案和专门报告制度， 设专门部门和负责管理
13	附件	与应急事故有关的多种附件材料的准备和形成

7.3.1.3 溢油风险事故应急设备配备

船舶燃料油发生泄漏，应根据泄漏量的大小，扩散方向、气象及海况条件，迅速调整围油方向和面积，缩小围油栏的包围圈，利用收油机最大限度地回收流失的油品，然后加消散剂对余油进行分散乳化处理，破坏油膜，减轻其对海域的污染。

(1) 围油栏

围油栏是防止油品或类油性化学品扩散，缩小泄漏扩散面积，配合溢油回收的有效工具，是使用最广泛，需量最大的防污器材。

(2) 人工回收

人工回收是在泄漏量较小，海况条件适宜的情况下，组织人员利用舢板、小船、拖轮等，使用网具、撇油器、吸附材料等回收处理的方法。

(3) 机械回收

机械回收就是用油回收船、吸油装置、油拖把装置、网袋回收装置等来回收海上的泄漏物。

(4) 吸附材料

吸附材料要求吸附性能好，吸附量至少应在自身重量的10倍以下，而且不易变质，弹性和韧性好，能够反复使用。目前，应用最多的是以聚丙烯和聚氨酯高分子材料制成的吸油材料。吸附材料在使用时通常是直接向泄漏面上散布，吸附饱和时，用人力或船

拖带网袋方式回收。也可把吸附材料装在长形网袋中，形成一条围栏形状，用拖船拖带。

(5) 消散剂

消散剂使用最多的是乳化分散型，消散剂一般是在大部分泄漏物回收后，处理残余油膜时使用。当消散剂喷洒在浮油上面时，经搅拌或波浪作用，将油膜分散成微小颗粒，从而加速其在海水中的扩散，达到清洁海面的目的。

7.3.1.4 溢油风险事故应急措施

(1) 应急反应程序从现场事故源出现开始启动；当任何人发现船损、溢油、火灾等意外事故时，应立即采取有效措施通知主管部门及消防队，报告事故发生的时间、地点、性质及程度等，并立即通知溢油可能对其产生影响的单位，加强观测，做好防范准备。建设单位指定的现场指挥者应立即赶赴现场，同时组织紧急处置，迅速拟定出消除溢油的方案，提出所需的人力和设备；

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

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

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

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

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

(7) 对溢油和溢油周围水域、沿岸进行监测和监控，及时疏散附近船舶、维持正常的通航秩序；如碰撞的船舶受损严重可能沉没，应立即通知拖轮、工程船赶往现场施救，将遇难船舶拖离到安全水域或合适地点进行搁浅；受损船舶如沉没，应准确测定船位，

必要时按规定设标，并及时组织力量打捞清障。

7.3.2 通航环境风险防范对策措施

7.3.2.1 施工期通航环境风险防范对策措施

(1)在工程施工建设期间，为减少施工船舶对现有航道的影响，保证施工船舶和过往船舶的安全，应采取以下保障措施：

①施工期间选择合理的航道，并加强警戒。必要时发布航行通告，以保证施工船舶及过往船只的安全要求。

②积极配合海事部门的管理：加强海事巡航，引导过往船舶安全通航。为保障施工安全，需要根据施工水域的范围以及施工作业的具体需要安排船舶通航需求，配备满足要求的导助航设施，并加强海事巡航检查，引导过往船舶安全通航。

③设置施工警戒区，防止过往船舶误闯本工程施工场地。可配备AIS设施以监控风电场区附近船舶的活动，主动预防可能会进入风电场区或对风机运行造成影响的船舶行为。

(2)为保证工程施工安全，海上船舶碰撞、倾覆等事故发生，施工单位必须有水上施工经验，施工过程中需科学合理安排施工工序，周密考虑工程施工期间的安全措施，应主要包括：

①项目施工期间需制订切实有效的安全管理措施和一旦发生突发性事故的应急预案，预案应包括应急事故组织机构、应急救援队伍、应急设施及物资的配备、应急报警系统、应急处理措施、应急培训计划等内容。

②施工船舶穿越航道时应谨慎驾驶、注意瞭望，密切注意航道上及邻近泊位船舶方向，听从调度部门的统一调度，切忌冒险穿越。建议相关部门加强对该水域的监控，做好施工船舶与过往船舶之间的协调与疏导工作，以免事故发生。为避免造成安全事故，建议施工期及建成后应设置警戒区及警示标志。在电缆铺设的过程中，应设置阶段性施工警戒区，随时根据电缆铺设进度及时设置施工警戒区，防止周围船舶误闯施工区域。

③电缆铺设水域部分处于外海海域，易受风暴潮和台风等恶劣天气影响，加之潮流等因素，故施工条件比较复杂，要做好安全防范工作。

④施工作业开工前按规定向海事局有关部门申办妥水上水下施工作业手续，报送施工设计方案，作业方案，划定施工界限，获得施工许可，申请发布有关施工作业航行通告和航行警告，在施工海域设置警戒区并配备符合标准的警戒标志。在施工期间，遵

守海事部门的现场监管，研究两栖施工设备的干扰问题，制订相互避让办法。

⑤本工程施工船舶在风电场区附近海域航行时，需谨慎驾驶，控制航速，使用助航仪器，做好应急准备，并按章鸣放雾号。同时，船舶还应遵守安全航行的有关规定，谨慎驾驶并正确显示航行信号。当施工船舶在风机附近航行时，应准确定位，注意与其他施工船舶的避让。施工船舶应在划定的施工警戒区域内施工作业，避免发生交通事故。

⑥施工船舶应显示规定信号，加强值班、瞭望和VHF收听，随时采取安全措施，夜间应在锚缆入水处各显示红灯一盏。施工船舶应通过VHF06频道主动与附近航行船舶保持通讯联系，主动避让。作业区附近航行船舶和施工船舶应听从现场巡逻艇的指挥

⑦项目附近海域的保护区，应标定保护区范围，及时公布，避免施工设备进入保护区造成安全事故。一旦出现事故时及时通知，做好减少污染准备。两栖施工设备作业时，应保持足够的谨慎，对周围环境的各种因素有足够的考虑；对各种特殊情况应事先制定应急预案，并保持应有的戒备，以便能及早采取行动来避免事故的发生。

⑧在风电场场界连线外侧考虑设置一排黄色间距1.0海里的航行警示灯，以警示船舶有效避让；设计专门机构负责警戒，安装海上风机监视系统，随时掌握风电场设施水域周围的船舶航行动态。

7.3.2.2 营运期通航环境风险防范对策措施

风电场营运期间，应按照《交通运输部海区航标设置管理办法》及《中国海区水上助航标志》等相关要求，调整与设置风电场区及周边的助航标志。建议沿风电场外围风机连线外大致200—500m显著位置设置水上浮标，可采用方位标或专用标。设标方法需要达到的目的就是将风电场水域与通航水域区分开，并且与施工期的航标布设保持连贯性和一致性。航标的性质上，利用了固定标与浮标系统相结合，采用视觉（包括形状、颜色、灯光、灯质等多方式）、听觉和无线电等多系统警示船舶。建设单位应根据相关规定和要求委托专门机构开展风机和风电场专用标的设计和设置工作，并报主管机关批准。风电维护人员应注意经常检查助航标志的有效性，发现失效应及时报告。任意助航标志失效时应及时发布航行通（警）告，并及时修复。

7.3.3 自然灾害风险防范对策措施

7.3.3.1 防雷措施

风机的防直击雷保护是利用风机叶轮装设风机的防直击雷保护装置。根据《风力发电机组装配和安装规范》（GB/T19568-2004）要求，风机机组接地电阻要求在任何季节均不大于 3.5Ω 。风机的接地是在塔筒内设置集中接地板供塔筒内设备接地用，集中接地

板通过软铜辫与风机基础钢管桩连接后，利用其基础钢管桩作为自然接地体可靠接地。

7.3.3.2 防台风措施

为减少台风给风电场带来的损失，根据台风的破坏机理及相关工程研究，本报告提出下列防范措施：

①装置性能可靠的测风仪器，建议使用受风面积小、不易受破坏且能精确测量风速、风向的红外超声波感应仪，避免因测风仪器损坏使风力发电机组不能正确偏航避风。

②推荐使用强度高、质量轻的碳纤维增强型塑料作为风机叶片的填充材料以提高风机叶片的强韧性，从而提高风机设计荷载。

③加强风机运行的强度监测，优化运行。在叶片上设置具有检测作用的光导纤维，实时了解叶片的载荷、温度、被伤害和疲劳程度，根据实际情况，及时维修并对其优化合理使用。

7.3.4 防止鸟类碰撞风机风险防范对策措施

为减少鸟撞风机给风电场带来的损失，提出下列防范措施：

(1)根据鸟类的生活习性，合理安排施工期，尽可能避开繁殖季节施工。项目在鸟类迁徙高峰期要严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少对外界的漏光量，尤其是在大雾、小雨、强逆风或无月的夜晚，应停止施工。

(2)施工阶段，若在迁徙季，则加强对电场区域的鸟类跟踪监测，尤其在9至11月，候鸟迁徙季节，增加鸟类监测的频次。若是越冬或繁殖季加强对施工周边海岛进行跟踪调查。

③建议在风机上适当的位置安设不同色彩的闪烁灯光，并用紫外线固化涂料涂漆在风电机叶轮表面，以增加鸟类对风电机的可见度，促使鸟类产生趋避行为，降低撞击风险。

④应在风电场区域建立鸟类观测站，加强风电场区域鸟类活动特征（如觅食地、栖息地选择、迁徙路线、高度等）以及鸟类与风机撞击情况及鸟类在输电线路上的栖息情况的观测，合理调整运行及防范措施。将风电场对鸟类的影响防范工作纳入区域发展规划，协调区域滩涂及邻近地区的开发建设。

⑤定期维护风机，使齿轮和轴承保持良好的润滑状态，从而减小风机工作时的噪声，建议在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构噪声传递，同时隔离机舱内部的噪声向外传播，以避免对鸟类飞行的干扰。

7.3.5 污损生物影响的风险防范对策措施

由分析所知，海洋污损生物对海上风电场的建设会产生影响，尤其是对风电机组桩基平台的影响需引起足够的重视。

污损生物对海洋结构物造成损坏或影响其使用性能称为污损，对污损生物的防除称为防污（黄宗国等，1984）。针对海洋污损生物群落的形成过程及附着机理，人们采取了各种各样的防除方法。根据其原理的不同大致可以分为物理防污法、化学防污法和生物防污法三大类。

物理防污法是传统的防污方法的重要组成部分，其本质是利用物理能量破坏污损生物与附着基体之间的粘附作用或干扰其生长发育过程，操作方便、时效性较强。物理防污法主要有机械清除法、空穴化水喷射流除污法、可剥落涂层防污法、低表面能涂料防污法、超声波防污法、紫外线防污法等。

化学防污法是指利用特定的化学物质对污损生物进行灭活或毒杀，干扰其附着过程降低附着强度。化学防污法主要可分为直接加入法、防污橡胶、化学防污涂料法和电解防污法。

生物防污的作用机理十分复杂，有抑制附着、抑制变态、干扰神经传导和趋作用等。目前生物防污法尚处于实验研究阶段，与实际应用还有一定距离。海上风电场的风电机组桩基和海底电缆管道容易受到污损生物的影响。

建议建设单位对场址海区内的污损生物群落结构、组成、种群数量、生态规律等进行充分的调查研究。在大规模普查的基础上，要加强对主要污损物种、优势种（主要是藤壶、牡蛎、贻贝等危害性较大的污损生物种类）的研究，深入探究其附着的条件及影响其生存繁殖的因素，明确其生存史中易清除的阶段。并综合考虑其防除的经济成本和环境影响，选择合适的污损生物防除手段。

7.3.6 海底电缆及风机基础泥沙冲刷掏空的风险防范对策措施

受长期泥沙冲刷的影响，在风电场海底电缆和海床之间有形成掏空的可能。本项目数值模拟结果表明，风电场建成后，每排风电桩基沿涨落潮强流向延伸区域，出现淤积现象；每排风机之间的区域略微冲刷；根据流速变化的分析，由于风机建设造成的风机周边海域流速变化并不大，所以附近海域对冲淤环境影响也较为有限。随着冲淤过程的深入和场区地形向适应工程后水动力环境方向的调整，冲淤强度将逐年减小，因此项目建成后桩基和电缆泥沙掏空风险较小。但为避免电缆掏空风险，在施工过程中应避免在

电缆和海床之间形成空间,以防止海区内较为强劲的潮流和风浪作用造成局部冲刷现象;对于基础局部冲刷的保护则应在基础承载设计中预留必要的冲刷余量,并在营运期开展定期的巡查观测潮滩冲刷变化情况,在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查,如发生局部冲刷及时进行回填保护。

此外,为进一步避免海底线缆损坏影响项目运行稳定,应遵守《中华人民共和国海上交通安全法》和《水上水下施工作业通航安全管理规定》的有关规定,铺设海底电缆施工作业,在适当的位置设立昼夜醒目的标志,并保证其完好、有效。铺设完毕后,向主管机关报送管线路由等相关资料,并申请发布航行通(警)告,并根据海底电缆保护规定要求禁止在电缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作业。

7.3.7 风机损坏风险防范对策措施

7.3.7.1 风机损坏风险应急措施和预案

(1)应急措施

①风电场设置有完整的现场监控系统,一旦发生损坏、倒塌事故可通过现场监控系统进行及时预警;

②风电场运行维护期间制定了严格的运行维护措施,一般在风暴潮、地震等自然灾害发生后,风电场运行维护人员将及时进入现场,并配合专业检测人员检查风机及基础结构损伤情况;

③若风机发生倒塌事故,应及时上报县、市、省相关主管部门及海事、海监部门,对外发布预警通告,确保不对周边海上作业构成安全影响;风电场建设单位将及时组织吊装、施工单位,对倒塌风机及基础结构进行吊装、转运至陆地处理,现场视损伤情况确定是否进行重建工作。

(2)应急预案

为使本项目发生风机损坏事故能快速作出反应,最大限度地减少风机损坏对风机发电和安全的影响,建设单位应建立应对突发性事故的抢险指挥系统,组织制定风险应急预案,并定期进行演习。

①应急指挥组织

结合本项目特点,项目运行管理机构可联合安全、电网部门组成风险应急指挥部。指挥部对各部门和人员的职责有明确分工,具体到职责、分工、协作关系,做到人人心中有数。经过应急事故处置培训的人员要轮流值班,并建立严格交接班制度。

②信息收集和报告

根据风机的日常运行与维护状况，一旦发现风机损坏或可能引起风机损坏情况，应及时向风险应急指挥部报告。

③应急响应和行动

发现风机损坏情况，应根据损坏程度和是否引起安全事故，采取相应措施，包括停止风机运行、对风机塔架进行维护等。

④应急培训和演习

对项目管理人员进行应急响应培训，同时对项目周边人员进行应急响应知识的宣传。进行演练准备、组织和训练，一旦遇到突发风险事故，可迅速展开应急抢险，及时控制事态发展和蔓延，降低风险损失。

7.3.7.2 风机防撞事故风险防范

大型船舶多配备雷达，一般可较早地发现海上风电场，而本项目风电场区周边小型生产、作业渔船较多，加之渔船自身观测设备缺乏，雨、雾、大风等恶劣海况下，存在船舶碰撞风机的风险。建议在风机桩基周围加装防撞保护圈，避免渔船碰撞引发事故，对电缆区设置警示标志，禁止打桩、抛锚。建议最外围的风机，应每隔3台在风机上布设警示灯，每隔5台设置雷达应答器。

7.4 小结

工程在施工期和营运期采取的污染防治和生态保护措施可行，污染物得到妥善处理，且污染防治措施便于操作实施，处理效果较好，治理成本较低，从经济和技术方面考虑，工程的污染防治和生态保护措施可行。

表 7.4-1 施工期主要环保对策措施及相应设备、工具一览表

保护要素	主要环保对策措施	投入主要设备和工具						
		规模/型号	数量	处置效果	实施地点	实施时间	责任主体	运行机制
水环境	海上船舶油污水铅封上岸处置	油污水收集装置	各施工船自配	全部收集	船体	施工期	施工单位	建设单位 委托施工单位 进行环境保护 相关工作的开展， 由建设单位和 监理单位负责监督
	船舶生活污水禁止随意排放，委托接收处理	污水收集装置	各施工船自配	全部收集	船体	施工期	施工单位	
生态环境	严格划定施工作业范围	管理措施、方法， 配套装置等		减少生态 环境影响	施工区域	施工期	委托单位、 施工单位 及建设单位	
	优化施工方案，加强科学管理							
	施工高峰期应尽量避免 4~6月海洋鱼类产卵高峰期							
	施工海域设置明显警示标志，告知施工周期							
	开展生态环境及渔业资源跟踪监测调查							
固体废物	禁止任意向海洋抛弃各类固体废物， 船舶垃圾收集后委托资质单位接收处理	垃圾桶	施工船舶自配	全部收集	船体	施工期	施工单位	
声环境	选择低噪声设备	配套设施、 管理措施和方法		减噪、降噪	施工区域	施工期	施工单位	
	定期维护和及时修理施工机械							
	加强对施工人员的个人防护							
	加强施工管理， 打桩施工避开鱼类产卵期（4-6月）							
	以“软启动”方法驱赶桩基周围的鱼类							

表 7.4-2 营运期主要环保对策措施及相应设备、工具一览表

保护要素	主要环保对策措施	投入主要设备和工具						
		规模/型号	数量	处置效果	实施地点	实施时间	责任主体	运行机制
生态环境	增殖放流为主的生态修复补偿措施	管理措施方法		减少生态环境影响	用海区域	营运期	建设单位和委托相关单位	建设单位内部设立专门的环境保护管理部门，对各生产运行环节环保工作进行管理和监督及具体工作的协调处理。
	维护结束后，应将废油、含油废物等一并送交有资质单位回收处理	接收装置	各一套					
鸟类	风机上适当的位置安设闪烁灯光	闪烁灯	每个风机一个	降低对鸟类影响、积累数据	风机	营运期	建设单位	
	紫外线固化涂料涂漆在风电机叶轮表面	紫外线涂料	每个风机一套		风机		委托相关单位	
	加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测	/			项目区			
	开展风电场对鸟类的影响研究							
声环境	风机机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动	配套装置和材料	每个风机	隔音、吸音、减噪、减震	风机	营运期	风机设计制造单位	
	减少撞击和摩擦，使风机齿轮和轴承保持良好的润滑状态							
固体废物	危险废物收集后委托资质单位接收处理	收集罐	配套	及时收集	使用地点	营运期	建设单位	
	维修、监测及养护期间产生的固废、生活垃圾收集后委托资质单位接收处理	船舶垃圾桶	维护船自配	全部收集	维护船			
水环境	船舶生活污水收集送有资质单位处理	污水收集装置	船体自配	全部收集	维护船	营运期	建设单位	

8 环境影响经济损益分析

环境保护的技术经济合理性分析是环境影响评价的一项重要工作内容，其主要任务是估算建设项目需要投入的环保投资和所能收到的环境保护效果。因此，在环境经济损益分析中除需计算用于控制污染所需投资的费用外，还要同时核算可能收到的环境与经济实效。

然而，经济效益比较直观，很容易用货币直接计算，而污染影响带来的损失一般是间接的，很难用货币直接计算。因而，环境影响经济具体定量化分析，目前难度还是较大的，多数是采用定性分析与半定量相结合的方法进行讨论。

8.1 环境保护投资费用估算

环境保护投入包括为预防和减缓建设项目不利环境影响而采取的各项环境保护措施和设施的建设费用、运行维护费用，直接为建设项目服务的环境管理与监测费用以及相关科研费用均列为环境保护投入。

项目工程投资约632791.43万元，环保投资合计1610.4638万元，占工程总投资的0.25%；环保投资估算见表8.1-1。

表 8.1-1 环保投资估算一览表

时段	措施类别	措施内容	投资（万元）
施工期	船舶污水	委托有资质单位接收处理	120.0
	固体废物	船舶垃圾委托处理	50.0
	环境监测	制定施工期环境监测计划，并尽快落实实施。	220.0
	环境监理	委托有资质的单位开展环境监理	80.0
营运期	船舶污水	委托有资质单位接收处理	80.0
	固体废物	船舶生活垃圾、废油渣、含油抹布等，委托有资质单位接收处理	50.0
	生态补偿措施	建设单位承担生态补偿 (从实际出发采取生态系统效益的价值估算值)	460.4638
	环境管理与监测 (含营运期跟踪监测)	建立环境管理机构，落实监测计划	550.0
	合计		1610.4638

8.2 项目经济损益分析

8.2.1 经济效益分析

项目位于福建省福州市长乐东部区域，本项目建成后，每年可为电网提供清洁能源298563.9万kW·h，项目年发电量较大，项目的经济效益良好。

8.2.2 社会效益分析

社会影响效果分析拟建项目的建设及运营活动对项目所在地可能产生的社会影响和社会效益。本项目影响的范围主要为福州市长乐区及其周边地区。

建设本风电场，会带动地区相关产业如建材、交通、设备制造业的发展，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，从而带动和促进地区国民经济的全面发展和社会进步。随着风电场的相继开发，风电将为地方开辟新的经济增长点，对拉动地方经济的发展，加快实现小康社会起到积极作用。

项目建设不仅是福建省能源供应的有效补充，而且作为绿色电能，有利于缓解电力工业的环境保护压力，促进地区经济的可持续发展，项目社会效益显著。

8.2.3 环境效益分析

8.2.3.1 环境损失

环境经济损失是指采取相应环保措施后，项目仍然造成的环境损失。本项目的建设对环境产生一定的影响，如局部水域水质浑浊（短时间），对区域水质及海洋生物的影响，施工现场水上水下噪声的影响等。在工程设计和施工方案中采取必要的措施，使其对环境的不利影响控制在国家允许的限值以内，以致不影响周围环境使用功能要求，以实现项目建设、国民经济的可持续发展。

工程施工过程会增加海水中悬浮物含量，导致海水透明度和光照强度的下降，对浮游生物、游泳生物会造成一定程度的影响。本项目建设会破坏底栖生物的栖息环境，造成底栖生物的损失，在一定程度上干扰了作业区域海生生物的正常栖息。根据分析计算，工程建设造成生物损失量共计：浮游动物总损失量为318.80t，鱼卵损失量为 19.66×10^6 粒，仔稚鱼损失量为 17.19×10^6 尾，游泳动物损失量为110.26kg，底栖生物损失11.43t。

8.2.3.2 环境经济收益

项目施工期和营运期各项环保工程措施，包括直接投资的环保设施和属于管理范畴的工程措施，其环境经济效益主要体现在：通过各项环保工程措施的落实，使环境保护的整体战略在施工期和营运期全过程得到有效贯彻，从而切实有效地保护生态环境，并创建社区良好的环境，达到社会经济建设和环境资源保护的协调发展。

工程安装41台16MW风机，年上网电量为2985.639GWh，按《中国电力行业年度发展报告2024》，2023年全国6000kW及以上火电厂供电标准煤耗301.6gce/kWh和全国电力单位火电发电量烟尘排放量、SO₂排放量、NO_x排放量和CO₂排放量分别为0.013、0.077、

0.125和821g/kWh,本工程每年可替代标准煤约90.05万t,减排烟尘约38.81t、SO₂约229.89t、NO_x约373.2t, CO₂约245.12万t,按灰分20%测算,减少灰渣产生量约为18.01万t。并减少相应的废水排放和低温排水,可见风电场建设有十分显著的环境效益。建设本项目不仅可以减少化石资源的消耗,且有利于缓解环境保护压力,实现经济与环境的协调发展,项目节能和环保效益较好。

项目拟投入1610.4638万元落实各项环保措施,可通过必要的污染治理有效减缓工程建设过程中各环境污染因子对环境造成的影响以及生物资源的损失,施工期和营运期污染防治措施的设置及运行、环保人员工资等投入,从财务角度看利润是负值。但环保投入的间接经济效益是显著的,可以减少废气、污水、噪声、固体废物对环境的污染,防范、减少事故对海域的污染,保护环境的同时对区域经济的可持续发展意义重大。

8.2.4 环境经济损益综合评价

综合分析项目的建设经济损益,项目建设带来的环境资源的损失及负面影响有限,并通过投入环境保护投资进行了减缓与预防。项目建设带来的经济效益和社会效益是十分显著的。因此,项目可以实现经济效益、社会效益与环境效益的协调发展。

9 环境管理与监测计划

9.1 环境管理

9.1.1 环境管理的目的和任务

环境管理是工程管理的一部分，是工程环境保护工作有效实施的重要环节。环境管理目的在于保证工程各项环境保护措施的顺利实施，使工程施工和运行产生的不利环境影响得到减免，以实现工程建设与生态环境保护、经济发展相协调。

本工程环境管理工作由建设单位、监理单位和施工单位共同承担。建设单位具体负责和落实从项目施工开始至结束的一系列环境保护管理工作。对施工期工区内的环境保护工作进行检查、落实，协调各有关部门之间的环保工作，并配合地方海洋环保部门共同做好工区的环境保护监督和检查工作。

环境监理单位承担环境保护监理工作，按照国家对建设项目环境保护管理要求，依据环境影响报告书、环境保护设计文件和合同、标书中的有关内容对施工过程中的环境保护工作进行监理，制定具体监理方案，确保落实各项保护措施、实施进度和质量。项目环境保护监理贯穿于项目施工全过程。项目在施工期产生一定量的悬浮物、废弃泥浆及其他施工垃圾等，对环境产生一定程度的不利影响，施工单位应严格按照环境保护有关条例规定开展施工活动。主要包括：

(1)根据项目设计文件中有关环保内容，落实项目的环保措施和各项经费，合理安排施工时间、方式，确保将项目建设对海洋环境的影响减到最小；确保施工期间船舶、机械废水、生活污水收集上岸清运；合理安排施工方式、时间；保证施工船舶排放符合国家有关规定。

(2)委托有资质单位按照有关监测技术规范进行环境监测，定期提供监测数据和分析报告。

9.1.2 环境管理体系

工程环境管理分为外部管理和内部管理两部分。外部管理是指国家及地方海洋环境保护行政主管部门，依据国家相关法律法规和政策，按照工程需达到的环境标准与要求，依法对各工程建设阶段进行不定期监督、检查及环境保护竣工验收等活动。

内部管理是指建设单位执行国家和地方有关环境保护的法律法规、政策，贯彻环境保护标准，落实环境保护措施，并对工程的过程和活动按环保要求进行管理。内部管理分为施工期和营运期两个阶段。

施工期内部管理由建设单位负责，对工程施工期间环境保护措施进行优化、组织和实施，保证达到建设项目环境保护要求。施工期内部环境管理体系由建设单位、施工单位、设计单位和监理单位共同组成，通过各自成立的相应机构对工程建设的环保负责。

营运期由工程运行管理单位负责，对环境保护措施进行优化、组织和实施。

9.1.3 环境管理职责

9.1.3.1 施工期环境管理职责

(1) 建设单位

工程开工前建设单位应设置“环境保护领导小组”和“环境保护办公室”。“环境保护领导小组”成员由建设单位、监理单位、设计单位及施工单位等各有关单位的主要领导组成，其中建设单位主要领导任主要负责人，负责确定工程环保方针、审查项目环境目标和指标、审批环保项目立项和投资投入报告、审批环保项目实施方案和管理方案、检查环境管理业绩、培养职工环境保护意识等工作。

“环境保护办公室”为工程施工期“环境保护领导小组”的常设办事机构，设专职人员1人。具体负责和落实工程建设过程中环境保护管理工作，其主要职责包括：

①通过开展调查研究，确定适合本工程的环境保护方针和经济技术政策，确立环境保护目标，并结合工程施工方案予以分解；

②制定、贯彻工程环境保护的有关规定、办法、细则，并处理执行过程中的有关事宜；

③组织编制工程环境保护总体规划和年度计划，组织规划和计划的全面实施，做好环境保护年度预决算，配合财务部门对环境保护资金进行计划管理；

④委托进行环保专项设计，检查设计进度，组织设计成果的验收和审查，并保证各项环境保护措施的有效实施；

⑤依照法律、规定和方法，对整个工程各项环境保护措施的实施情况进行监督和管理，实施环境质量一票否决制；

⑥协调各有关部门之间的关系，听取和处理各环境管理机构提交的有关事宜和汇报，不定期向上级海洋环境保护行政主管部门汇报工作，配合地方海洋、环保部门共同做好工区的环境保护监督和检查工作；

⑦督促承包商环境管理机构的工作，内部处理环境违法、违规行为，表彰先进事迹；

⑧检查督促接受委托的环境监测部门监测工作的正常实施，加强环境信息统计，建

立环境资料数据库；

⑨完善内部规章制度，搞好环境管理的日常工作，做好档案、资料收集、整理等工作。

(2) 施工单位

施工期的生态环境保护措施相关费用应由施工单位承担，并在招标文件中明确。施工单位应确保措施到位，落实相关费用。各施工承包单位在进场后均应设置“环境保护办公室”，设专职人员1~2人，实施工程招标文件或设计文件中规定的环境保护对策措施，及时处理施工过程中出现的环境问题，接受有关部门对环保工作的监督和管理。主要包括以下内容工作：

①制定环境保护年度工作计划和编写环境保护工作季报、年报；

②检查所承担的环保设施的建设进度、质量及运行、检测情况，处理实施过程中的有关问题；

③核算年度环境保护经费的使用情况；

④接受环保管理办公室和环境监理单位的监督，报告承包合同中环保条款的执行情况。

(3) 环境监理单位

为了更加有效地实施工程环境保护管理，成立环境监理部。环境监理部的机构组织、监理内容和监理制度见“9.4环境监理”。

(4)设计单位根据国家法律法规、生态环境保护主管部门要求、环境影响报告书和批复等有关文件，从环境保护角度优化工程设计，选用对环境影响小的设计方案，反馈于建设单位和施工单位。

9.1.3.2 营运期环境管理职责

营运期间，环境管理职能由项目运营方承担，安排专职人员对项目营运期环境保护工作统一管理、并配合地方海洋渔业、生态环境、自然资源等行政主管部门共同做好项目营运期环境管理，包括管理房污废水处理等的监督和检查工作。

工程建成运行后，在工程管理部门中设置“环境保护办公室”，设兼职人员1人，具体负责和落实工程建成运行后的环境保护管理工作，其主要职责包括：

(1)根据相关的环境保护法律法规及技术标准，确定工程营运期环境保护方针 and 环境保护目标，制定营运期环境保护管理办法；

(2)负责落实环保经费及环境监测工作的正常实施，做好环境信息统计；

(3)协调处理营运期工程影响区出现的各项环境问题，配合地方海洋渔业、生态环境、自然资源等行政主管部门共同做好工程营运期环境管理工作，主要包括生态补偿、固体废物处理、污废水处理等的监督和检查工作。

9.1.4 环境管理制度

(1)环境保护责任制

在环境保护管理体系中，建立环境保护责任制，明确各环境管理机构环境保护责任。

(2)分级管理制度

建立由各参建单位分工负责的环境保护分级管理制度。在施工招标文件、承包合同中，明确污染防治和生态保护设施与措施条款，由各施工承包单位负责组织实施，建设单位环境保护办公室负责定期检查，并将检查结果上报建设单位，对检查中所发现的问题通报监理单位，由监理单位督促施工单位整改。在施工招标文件、承包合同中，明确污染防治和生态保护设施与措施条款，由各施工承包单位负责组织实施，环境监理联合工程监理进行日常监督检查，环境保护领导小组负责定期检查，对检查中所发现的问题通报监理单位，由监理单位督促施工单位整改。

(3)监测和报告制度

环境监测是环境管理部门获取施工区环境质量信息的重要手段，是进行环境管理的主要依据。委托具备相应监测资质的机构，按环境监测计划要求对工程区域及周围的环境质量进行定期监测，及时提交监测成果，并根据环境监测结果，适时优化调整环境保护措施。

(4)“三同时”验收制度

根据《建设项目环境保护“三同时”管理办法》，工程建设过程中的污染防治及其他公害的措施必须与建设项目同时设计、同时施工、同时投入运行。有关“三同时”项目必须按合同规定经有关部门验收合格后才能正式投入运行。防治污染的设施不得擅自拆除或闲置。

(5)制定突发事件的处理措施

工程施工期间，如发生污染事故及其它突发性环境事件，除应立即采取补救措施外，施工单位还要及时通报可能受到影响的海域，并报建设单位环保部门与地方海洋行政主管部门接受调查处理。同时，要调查事故原因、责任单位和责任人，对有关单位和个人给予行政或经济处罚，触犯国家有关法律者，移交司法部门处理。

(6)宣传、培训制度

为增强工程建设者包括管理人员和施工人员的环境保护意识，建设单位环境管理机构应经常采取广播、宣传栏、专题讲座等方法对工程参建人员进行环境保护宣传，增强环保意识，使其都能自觉地参与环境保护工作，让环境保护从单纯的行政干预和法律约束变成人们的自觉行为。

对环境保护专业技术人员应定期进行业务培训，同时组织考察学习，以提高其业务水平。

9.2 环境监测计划

9.2.1 施工期及营运期环境监测计划

为了分析、验证和复核本工程对环境影响评价结果，及时反映工程实际影响，需对工程进行跟踪监测，以便及时提出合理化建议和对策、措施，达到保护工程周围环境质量、生物多样性和渔业资源的目的。环境监测应委托具备CMA资质等相应技术能力的单位进行，技术要求按照有关环境监测规范的规定执行，并在施工完成后及时向海洋环境主管部门提交符合要求的跟踪监测计量认证分析测试报告，以备查。

根据风电场环境特征及工程特征，同时结合《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）、《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》制定环境监测计划一览表，施工期和营运期环境监测计划方案见表9.2-1。

表 9.2-1 环境监测计划实施表

监测内容	监测位置	监测时间、频率	监测项目
水质	设 20 个监测站位	施工期春季和秋季各监测 1 次，在施工高峰年实施； 验收时监测 1 次；营运期每年监测春季或者秋季 1 次	pH、悬浮物、石油类、化学需氧量、 溶解氧、无机氮、活性磷酸盐等
沉积物	设 12 个监测站位	验收时监测 1 次，营运期 2 年 1 次	pH、石油类、重金属（锌）
海洋生态	海洋生态 12 个站位	施工期春季和秋季各监测 1 次，在施工高峰年实施； 验收时监测 1 次；营运期每年监测 1 次	叶绿素 a、浮游植物、 浮游动物（含鱼卵、仔鱼）、底栖生物
生物体质量	项目附近设 3 个监测站位	施工期每年监测 1 次； 营运期每年监测 1 次。	生物类型不少于 3 类，优先选择双壳贝类； 石油醚、重金属 （铜、铅、镉、锌、砷、铬、汞）
渔业资源	设 12 个监测站位	施工期监测 1 次，选择施工高峰时段； 营运期每年监测 1 次，应选择在产卵季节开展。	鱼类、头足类、甲壳类及鱼卵仔鱼
鸟类	结合风电场区位与鸟类活动特征，共 布设 12 处鸟类监测样点/观测样线， 覆盖主要鸟类通道与栖息区域	施工期每年监测 1 次； 营运期每年监测 1 次。 监测时间应选择鸟类越冬或迁徙时间内开展	鸟类种类和数量，迁徙活动情况， 栖息觅食情况，鸟类撞击情况等
地形地貌 与冲淤	风电场区外扩边界 500m 范围	营运期每 1~3 年监测 1 次，遇灾害性天气加密监测， 5 年之后根据前期监测分析结果，可降低监测频次。	水深地形
噪声	施工区、风机基础 外缘不同距离设 9 个站位	施工期 1 次，营运期每年 1 次	噪声频带有效声压级、噪声声压谱级
电磁辐射	海底电缆外缘设 9 个监测站位	验收时监测 1 次； 营运期选择风机正常工作时间每年测量 1 次	工频电场、工频磁场（水平分量和垂直分量）

9.2.2 应急监测

本工程主要事故类型为船舶溢油事故。当发生紧急环境污染事故时，立即启动相应级别的应急预案，在向管理部门报告的同时，迅速组织应急监测，为应急指挥提供决策依据。根据发生事故的类型、事故的影响大小及周围的环境情况等，视具体情况进行海洋环境监测和地下水监测，同时对事故发生的原因、泄漏量、污染的程度以及采取的处理措施、处理效果等进行统计、建档，并及时上报有关主管部门。应急环境监测计划见表9.2-2。

表 9.2-2 应急环境监测计划表

环境要素	海水水质
监测项目	pH、石油类、悬浮物、COD
监测点位	风险事故发生点覆盖区及海洋环境敏感点
监测频次	事故期间根据具体情况及要求取样监测； 事故之后定期监测，直至水体环境恢复正常
监测单位	委托有资质的环境监测单位

注：本计划仅作原则性参考，具体监测项目、站位分布及监测要求视风险事故类型、规模进行调整。

9.3 污染物排放清单及管理要求

根据《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）要求，对项目运营产生的污染物进行源强核算。污染源源强核算方法采用《污染源源强核算技术指南准则》（HJ884-2018）具体规定。本项目污染物排放清单见表9.3-1。

表 9.3-1 项目污染源排放清单表

环境要素	污染源	产生量	主要污染物	排放量	排放/处理方式
水环境	检修船舶生活污水	18.2m³/a	COD、氨氮、总氮、总磷	0	委托有资质单位接收处理
	检修船舶含油污水	7.28m³/a	石油类	0	委托有资质单位接收处理
声环境	风机噪声	110dB/re20μPa	噪声	/	自然排放
大气环境	检修船舶废气	——	SO ₂ 、NO _x	/	自然排放
固体废物	船舶生活垃圾	0.26t/a	生活垃圾	/	委托有资质单位接收处理
	废润滑油	57.3/3a	危险废物	/	危废暂间暂存， 委托有资质单位处置
	废铅蓄电池	0.03t/a		/	
	含油抹布	0.01t/a		/	
电磁环境	电缆	——	工频电场、工频磁场	——	加强铠装保护、海底/地下埋设

9.4 环境监理

工程施工期间应实行环境监理制度，以便对各项环保措施实施的进度、质量及效果等进行监督控制，及时处理和解决可能出现的环境污染生态破坏事件。

9.4.1 机构设置与工作方式

根据工程规模和施划，施工期环境保护监理部门拟设专职人员1人。环境监理人员采用定期巡视方式，对施工区环境保护工作进行动态管理。随时检查各项环境监测数据，现场巡视发现问题后立即要求承包商限期治理并以公文函件确认。对于限期处理的环境问题，进行检查验收将结果形成纪要下发承包商。

9.4.2 工作范围及职责

施工环境监理的工作范围包括施工区及所有因工程建设可能造成环境污染和生态破坏的区域。施工环境监理的主要职责为：

(1)依照国家环境保护法律法规及标准要求，以经过审批的工程影响报告书、环境保护设计及施工合同中相关条款为依据，监督检查承包商或施工单位对施工区环保设施建设的进度、质量及效果。

(2)指导、检查督促各施工承包单位环境保护办公室的设立和正常运行

(3)根据实际情况，就承包商提出的施工组织设计、技术方案和进度，就承包商提出的施工组织设计、技术方案和进度提出清洁生产等环保方面的改进意见，以证实满足要求。

(4)审查承包商提出的环境保护措施工艺流程、方法设备清单及各项审查承包商提出的环境保护措施工艺流程、方法设备清单及各项保障指标。

(5)加强现场的监控，重点检查环保设施的施工质量、运行情况。对在监理过程中发现环境问题，以书面形式通知责任单位进行限期处理整改。

(6)对承包商施工过程及结束后的现场，依据环境保护要求进行检查和质量，依据环境保护要求进行检查和质量评定。

9.4.3 监理工作制度

环境监理工程师根据情况做出记录；每季度编制季度小结，每年一份环境保护工作总结报告，进行阶段性汇报。

9.5 总量控制

根据《国务院关于印发“十三五”节能减排综合工作方案的通知》（国发〔2016〕74

号)文件和《福建省“十四五”生态环境保护专项规划》，大气污染物总量控制的项目为SO₂、NO_x和挥发性有机物，水污染物总量控制的项目为化学耗氧量和氨氮两个指标。

结合本项目特点和工程分析，项目为海上风力发电项目，发电工艺无大气污染物排放，无需申请大气污染物总量；生活污水和船舶油污水委托有资质单位进行处理，因此无需申请废水污染物总量指标。

9.6 项目竣工环境保护验收

根据《中华人民共和国生态环境法典》《建设项目环境保护管理条例》《关于发布〈建设项目竣工环境保护验收暂行办法〉的公告》(国环规环评〔2017〕4号，附件1)有关规定，自2020年9月1日起由企业自主全面开展建设项目竣工环境保护验收。建设单位是建设项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照本办法规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督。

本项目竣工环境保护验收的主要内容表9.6-1。

表 9.6-1 环境保护竣工验收主要内容

内容		主要环境保护措施	验收要求
验收项目		“三同时”落实情况	按环评报告及设计部门提出的要求验收
施 工 期	海水水质	(1)船舶舱底含油污水交由有资质的单位处理。 (2)船舶生活污水统一收集后,委托有船舶污染物处理资质单位接收处理,不外排。 (3)施工船舶应配备适量的化学消油剂、吸油剂等物资,以防止发生船舶的小范围溢油事故的发生,同时制定事故预防和溢油应急计划。	委托协议,看是否有污水收集装置、应急装备、是否有预防应急预案
	噪声污染	(1)选用低噪声设备。(2)定期检查维护保养。 (3)夜间禁止高噪声设备作业。(4)风机基础施工以“软启动”方法驱赶桩基周围的鱼类,减缓风机基础施工时产生的水下噪声对鱼类的影响。	验收是否落实措施
	固体废物	(1)施工机械设备使用后的废油(含擦油布等)必须集中收集至含油废物箱,交由有资质单位处理,不得将废油(布)乱丢弃,由船舶污染物单位接收处理。 (2)施工船舶人员的生活垃圾经船舶上垃圾桶收集,上岸后由当地的环卫部门每日清运处置。	验收是否落实措施
	海洋生态	(1)电缆敷设应尽可能避开海洋鱼类产卵高峰期(4~6月)。 (2)优化施工方案,尽可能减少海底开挖面积、开挖量,缩短水下作业时间,严格限制工程施工区域在其用海范围内。 (3)施工结束后,应根据现状调查和本项目施工期的生态环境影响情况采取适当的生态补偿措施(如增殖放流),以促进受影响区段的生态恢复。	验收是否落实措施
	鸟类及其生境	(1)根据鸟类的生活习性,合理安排施工期,尽可能避开繁殖季节施工。 (2)施工阶段,若在迁徙季,则加强对电场区域的鸟类跟踪监测,候鸟迁徙季节,增加鸟类监测的频次。 (3)建议在风机上适当的位置安设不同色彩的闪烁灯光,并用紫外线固化涂料涂漆在风电机叶轮表面,以增加鸟类对风电机的可见度,促使鸟类产生趋避行为,降低撞击风险。	验收是否落实措施

续表 9.6-1 环境保护竣工验收主要内容

内容		主要环境保护措施	验收要求
运营期	海水水质	(1)检修船舶生活污水、检修船含油污水交由有资质的单位接收处理。 (2)风机日常维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴，废油储存在专设的废油箱中。 含油的连通软管和其他含油废物（擦油布、废滤网等）应统一存放在维修船上妥善保管。 维护结束后，应将废油、含油废物等废物箱，统一交由有资质单位回收处理。	委托协议
	噪声污染	(1)定期对风机进行维护，使齿轮和轴承保持良好的润滑状态，避免或减少撞击和摩擦； 建议可在机舱内表面贴附阻尼材料，降低风机结构噪声。	验收是否落实措施
	固体废物	(1)一般固体废物：维修船工作人员对风机进行维修、监测及养护期间产生的固废应由维修船收集并运回陆域处理。维修船工作人员营运期间生活垃圾总量较少，船舶生活垃圾运至陆上集中收集处置。 (2)危险废物：营运期废旧变压器以及风机维护产生的少量废油（通常是润滑油）属于危险固废。 风机维护产生的少量废油（通常是润滑油）可用锯末或棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱等收集后运回陆地，并委托有资质单位统一回收处置、处理。废旧蓄电池、变压器由专业厂家回收利用。	验收是否落实措施、委托协议
	海洋生态	(1)设立海洋生态环境跟踪监测系统，对海域的环境质量等进行定期监测。 (2)在大雾天气、鸟类迁徙高峰期的夜间，若有鸟类集中穿越风电场区， 派专人巡视风场，遇到有撞击受伤的鸟类要及时送至鸟类救护站，由鸟类救护站人员紧急救助。 (3)加强特殊极端气象情况下的风电场运行管理，必要时应停止运行风机，以减少鸟的撞击伤亡。	验收是否落实措施
环境管理环	环境管理情况	按报告书要求进行管理，设专职人员对风电场环境保护工作统一管理。	验收是否落实措施
	环境监测	施工期环境监测与监理计划落实情况，并建立营运期环境监测方案。	验收是否落实措施
	其他	环保措施设计，三同时落实情况	验收是否落实措施

10 环境影响评价结论

10.1 评价结论

10.1.1 建设概况

长乐外海J区海上风电场场址位于长乐东犬岛东侧海域，场址中心西距东犬岛约46km，西距长乐梅花镇岸边约70km，规划面积76km²，理论水深约56—62m。风场选址避开海洋保护区、航道区和锚地区等区域。

长乐外海J区海上风电场项目拟布置41台单机容量16MW的风力发电机组，总装机规模为656MW。风电场采用11回66kV集电线路接入海上换流站。风电场年上网电量298563.9万kW·h，等效满负荷小时数4551h，容量系数0.52。

项目施工期为20个月，项目工程投资约632791.43万元，环保投资合计1610.4638万元，占工程总投资的0.25%。

10.1.2 环境质量现状

(1)海水水质现状

春季调查海域所有站位的化学需氧量、溶解氧、铜、镉、铅、砷、汞、锌、石油类含量均符合该海域功能区划的要求。部分站位的无机氮和活性磷酸盐的含量超过第一类海水水质标准，但符合第二类海水水质标准，多集中西部海域。

(2)沉积物质量现状

春季调查海域沉积物所有调查站位的有机碳、石油类、铜、铅、镉、铬、锌、汞和砷含量均符合《海水、海洋沉积物和海洋生物质量评价技术规范》（HJ1300-2023）第一类海洋沉积物质量标准。

(3)海洋生物质量调查结果

春季调查海域所监测生物（以贝类为参考）的铅、镉、汞、铬和砷的含量均符合“海洋生物质量评价标准”一类标准（优）；调查海域的海洋生物质量总体良好。

(4)春季调查海域生态环境调查结果

①表层叶绿素a浓度的平均值为0.53mg/m³，介于0.15~0.93mg/m³之间。

②初级生产力：平均值为29.1mgC/（m²·d），在14.3-49.9mgC/（m²·d）之间。

③浮游植物：共鉴定出浮游植物4门91种，其中硅藻门71种，甲藻门18种，蓝藻和绿藻门各1种。

④浮游动物：共鉴定到种的浮游动物118种，以桡足类较为优势，共记录到57种；

其次为水螅水母类，鉴定到34种；幼虫类鉴定到11种，毛颚类鉴定到8种，尾索类及栉水母类各记录5种和3种。

⑤浅海大型底栖生物：共有大型底栖生物 4 大类 55 种，其中以多毛类最多（19 种），甲壳类次之（17 种），软体动物与棘皮动物各 11 种和 8 种。

(5)渔业资源调查结果

2026 年 4 月调查鉴定游泳动物 64 种，其中鱼类 39 种，虾类 16 种，蟹类 9 种。

(6)环境空气质量现状

2025年长乐区空气质量中的SO₂、NO₂、PM₁₀、CO、O₃-8h、PM_{2.5}均符合《环境空气质量标准》（GB3095-2026）二级过渡阶段浓度限值要求，项目所在区域为达标区。

(7)鸟类现状

在项目评价区内未记录到水鸟，项目评价区外海上调查记录到水鸟单次调查最大数量为423只，其中褐翅燕鸥274只、粉红燕鸥6只、普通燕鸥15只、黑尾鸥68只、西伯利亚银鸥4只、黄脚银鸥1只、白鹭55只等；褐翅燕鸥为优势种类。

10.1.3 污染物排放情况

(1)水污染物

项目产生的水污染主要为船舶生活污水、检修船含油污水等。

(2)大气污染物

海上风场营运期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。检修船舶在往返项目区的途中产生少量的尾气，为无组织自然排放。

(3)噪声

项目噪声主要来自风机运行噪声，参考相关数据，在风机轮毂处的最大声功率级取110dB/re20μPa。

(4)固体废物

项目固体废物主要为检修船舶生活垃圾0.26t/a，生活垃圾收集后交由市政垃圾场处理。危险废物包括废铅蓄电池、废油渣、废油、含油抹布等，危险废物委托有资质单位进行处理。

10.1.4 主要环境影响

(1)大气环境影响预测与评价

海上风场营运期不产生废气，对大气环境无影响，项目设置检修船舶1艘，船舶产

生的废气对大气环境影响较小。

(2)海洋生态环境影响

①对水文动力环境的影响

工程建设前后涨、落急时刻流场变化较小，一般小于0.03m/s，主要集中在风电场风机桩基附近。

②对冲淤环境的影响

工程建设后工程所在海域冲淤分布趋势与工程前基本一致，工程所在海域以淤积趋势为主，淤积变化量基于小于7cm/a，但由于风机直径较小，对工程外部海域冲淤趋势基本不影响。

③对海水水质的影响

电缆敷设悬浮物浓度增量大于10mg/L影响范围叠加约为216.2km²，悬浮物浓度增量大于100mg/L的影响范围为28.5km²。电缆敷设实际影响是暂时的，随着工程结束，悬浮物对水环境的影响也将消失。

④对沉积物的影响

本项目施工期废水收集后均委托有资质单位进行处理，污水不排海，不会对沉积物质量产生不利影响。本项目采用外加电流的防腐方式，无牺牲阳极的锌离子释放，因此，项目建设对沉积物质量的影响较小。

⑤对海洋生态的影响

项目建设造成的生物资源损失量：浮游动物总损失量为318.80t，鱼卵损失量为19.66×10⁶粒，仔稚鱼损失量为17.19×10⁶尾，游泳动物损失量为110.26kg，底栖生物损失11.43t。

(3)鸟类影响分析

项目对其所在海域及周边地区的鸟类的繁殖行为没有影响，对极少数鸟类的觅食有潜在影响，但影响有限。项目所在海域并非该区域鸟类的主要迁徙通道。

(4)声环境影响评价

工程风机施工中的水下打桩施工将对周围海域的海洋生物带来一定影响。因此，本工程施工中，应采取一些保护措施，在进行首次水下打桩时先进行小强度的“软启动”，以驱赶海洋鱼类游离作业区，到达一定距离外的安全海域。

海上风电场在营运期总体的水下噪声强度比较低，总体噪声谱级都在120dB/1μPa以下，已和海洋背景噪声相当，对本工程海域的海洋生物基本上不会带来明显的影响。本工程营运期水下噪声对石首鱼科幼鱼的影响距离为168m。水下噪声对鱼卵、仔鱼的影响

目前数据较少，仔稚鱼与成熟阶段相比，可能会受到更多的水下噪声的影响。

(5)固体废物环境影响评价

工程营运期间产生的生活垃圾委托市政环卫部门；危险废物委托有资质单位进行处理。采取以上措施后，本工程产生的固体废物不会对环境造成影响。

(6)环境风险评价

项目涉及的主要危险物质为油类物质，存在的风险为施工期和营运期船舶碰撞溢油事故、风机齿轮油和变压器油泄漏。在严格落实各项事故风险防范措施和应急预案情况下，本项目运行过程中的环境风险可以防控。

10.1.5 公众意见情况

项目在公示期间未收到公众参与反馈意见。

10.1.6 环境保护措施

针对项目施工期和营运期污染物产生情况，本项目采取了相应的废气、废水、噪声和固体废物污染防治措施，所采取的措施技术可行，经济合理，能够确保污染物的达标排放，并减少对周边环境的影响。

10.1.7 环境影响经济损益分析

项目施工期为20个月，总投资约632791.43万元，环保投资合计1610.4638万元，占总投资的0.25%。项目建设可在区域内带来较大的经济效益、环境效益和社会效益。

10.1.8 环境管理和监测计划

企业成立安全环保部门，作为环境保护工作的常设管理机构，负责环境保护工作，并制定了详细的海洋监测计划和自行监测计划，对项目达标排放情况定期进行监测。

10.1.9 环境影响可行性结论

项目符合产业政策，符合福州市国土空间规划和生态环境分区管控要求，项目社会效益和环境效益显著。在全面加强环保管理、执行环保“三同时”制度和认真落实各项环保对策措施和整改措施的前提下，项目建设对环境的影响较小，从环境保护的角度，本项目可行。

10.2 建议

(1)工程施工期间应加强环保管理工作，进行毗邻海域海洋环境要素的监视、监测工作，避免危及周边海域。

(2)拟建海上风电场非鸟类主要迁徙通道，但仍建议建设单位在项目结束后定期对鸟类活动进行监测。

