

三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目

(海上部分)

环境影响报告书

(公示稿)

建设单位：中国长江三峡集团有限公司山东分公司

编制单位：浙江省环境科技股份有限公司

二〇二五年八月

三峡青岛一期3000MW 海上风电项目（海上部分）

环境影响报告书

建设单位：中国长江三峡集团有限公司山东分公司

编制单位：浙江省环境科技股份有限公司

二〇二五年八月

关于三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目（海上部分）环境影响报告书

删除不宜公开信息的说明

根据相关法律法规要求，报告书中涉及国家秘密或商业秘密的部分内容不宜公开，现将有关情况说明如下：

- （一）本项目涉及的地理位置坐标及标注项目位置的相关图件不宜公开；
- （二）本项目的工程投资等内容不宜公开；
- （三）本项目开展的调查数据不宜公开，包括环境质量现状调查数据、水文动力调查数据、地形地貌及工程地质调查数据等；

后附《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目（海上部分）环境影响报告书》（公示稿），特此说明。

目 录

1	总则	4
1.1	编制依据	4
1.2	评价内容和评价重点	9
1.3	环境影响要素识别与评价因子筛选	9
1.4	环境功能区划与评价标准	10
1.5	评价等级和评价范围	16
1.6	环境敏感区及环境保护目标	21
2	工程概况	23
2.1	建设项目概况	23
2.2	项目建设方案	23
2.3	施工方案	30
2.4	项目用地用海情况	41
3	工程分析	43
3.1	生产工艺与污染环节分析	错误!未定义书签。
3.2	工程各阶段污染源强核算	错误!未定义书签。
3.3	工程各阶段生态环境影响分析	错误!未定义书签。
4	环境现状调查与评价	63
4.1	区域自然环境概况	63
4.2	海洋资源和海域开发利用概况	66
4.3	海洋水文动力环境现状调查与评价	71
4.4	地形地貌与冲淤现状调查与评价	81
4.5	海洋水质环境质量现状调查与评价	81
4.6	海洋沉积物环境质量现状调查与评价	85
4.7	海洋生态环境现状调查与评价	87
4.8	海洋生物质量现状调查与评价	107
4.9	鸟类生态环境现状调查与评价	109
4.10	声环境现状监测与评价	117
4.11	电磁环境现状调查与评价	120
4.12	环境空气现状调查与评价	122

5	环境影响预测与评价	123
5.1	水文动力环境影响预测与评价	123
5.2	地形地貌与冲淤环境影响预测与评价	134
5.3	海水水质环境影响预测与评价	139
5.4	海洋沉积物环境影响分析与评价	149
5.5	海洋生态环境影响分析与评价	150
5.6	声环境影响评价	164
5.7	电磁环境影响预测与评价	175
5.8	鸟类影响分析	187
5.9	其它环境要素影响分析	191
5.10	海洋开发利用活动影响分析	192
5.11	环境敏感目标影响分析	197
6	环境事故风险分析与评价	205
6.1	风险识别	205
6.2	事故源项分析	209
6.3	溢油事故影响预测	211
6.4	其他事故风险分析	219
6.5	环境风险防范与应急措施	221
6.6	风险事故应急预案	226
6.7	小结	233
7	环境保护措施及其可行性论证	234
7.1	施工期污染防治对策措施	234
7.2	运营期污染防治对策措施	237
7.3	生态保护修复措施	240
7.4	其他保护对策措施	243
7.5	环境保护对策措施汇总	245
8	环境影响经济损益分析	249
8.1	环保投资估算	249
8.2	经济效益分析	249
8.3	社会效益分析	249
8.4	环境经济损益分析	250
9	海洋工程环境可行性分析	253

9.1	与国土空间规划的符合性分析	253
9.2	与生态保护红线及“三线一单”的符合性分析	260
9.3	与生态环境保护相关规划的符合性分析	265
9.4	项目与产业政策及其他相关规划的符合分析	270
9.5	项目选址选线和平面布置合理性分析	276
9.6	环境影响可接受性分析	286
10	环境管理与监测计划	288
10.1	环境管理	288
10.2	环境监测计划	289
10.3	总量控制	292
10.4	“三同时”验收一览表	292
11	环境影响评价结论	296
11.1	工程概况与工程分析结论	296
11.2	环境现状调查与评价结论	297
11.3	环境影响预测评价结论	299
11.4	环境风险分析与评价结论	301
11.5	环境保护对策措施结论	302
11.6	建设项目环境可行性总结论	302
11.7	其他意见和建议	302

1 总则

1.1 编制依据

1.1.1 国家法律法规及部门规章

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行；
- (2) 《中华人民共和国海洋环境保护法》，2023 年 10 月 24 日修订，2024 年 1 月 1 日施行；
- (3) 《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日修正；
- (4) 《中华人民共和国海域使用管理法》，2002 年 1 月 1 日施行；
- (5) 《中华人民共和国水污染防治法》，2018 年 1 月 1 日施行；
- (6) 《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日修订；
- (7) 《中华人民共和国噪声污染防治法》，2021 年 12 月 24 日通过，2022 年 6 月 5 日施行；
- (8) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 9 月 1 日施行；
- (9) 《中华人民共和国航道法》，2016 年 7 月 2 日修正；
- (10) 《中华人民共和国海上交通安全法》，2021 年 4 月 29 日修订，2021 年 9 月 1 日施行；
- (11) 《中华人民共和国湿地保护法》，2022 年 6 月 1 日施行；
- (12) 《中华人民共和国渔业法》，2013 年 12 月 28 日修正；
- (13) 《中华人民共和国野生动物保护法》，2018 年 10 月 26 日修订；
- (14) 《中华人民共和国安全生产法》，2021 年 6 月 10 日修订，2021 年 9 月 1 日施行；
- (15) 《中华人民共和国突发事件应对法》，2007 年 11 月 1 日施行；
- (16) 《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 10 月 1 日施行；
- (17) 《排污许可管理条例》，2021 年 3 月 1 日施行；
- (18) 《中华人民共和国自然保护区条例》，2017 年 10 月 7 日修订；
- (19) 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2018 年 3 月 19 日修改；
- (20) 《防治船舶污染海洋环境管理条例》，2018 年 3 月 19 日修订；

- (21) 《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》，2013 年 12 月 7 日修订；
- (22) 《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》，2021 年 9 月 1 日修改；
- (23) 《中华人民共和国船舶污染海洋环境应急防备和应急处置管理规定》，2019 年 11 月 28 日修正；
- (24) 《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》，2017 年 5 月 23 日修正；
- (25) 《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024 年 2 月 1 日实施；
- (26) 《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 日起施行；
- (27) 《交通运输部关于印发<船舶大气污染物排放控制区实施方案>的通知》（交海发〔2018〕168 号）；
- (28) 《铺设海底电缆管道管理规定》，1989 年 3 月 1 日起施行；
- (29) 《中国海洋渔业水域图（第一批）》（农业部公告，第 189 号），2002 年 2 月 8 日；
- (30) 《农业农村部办公厅关于进一步明确涉渔工程水生生物资源保护和补偿有关事项的通知》，农办渔〔2018〕50 号；
- (31) 《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）；
- (32) 《海上风电开发建设管理办法》（国能新能〔2010〕29 号），国家能源局、国家海洋局，2010 年 1 月 22 日。

1.1.2 地方法规及规范性文件

- (1) 《山东省环境保护条例》，2019 年 1 月 1 日起施行；
- (2) 《山东省海洋环境保护条例》，2018 年 11 月 30 日修正；
- (3) 《山东省海域使用管理条例》，2015 年 7 月 24 日修正；
- (4) 《山东省湿地保护条例》，2024 年 12 月 1 日施行；
- (5) 《山东省水污染防治条例》，2020 年 11 月 27 日修正；
- (6) 《山东省大气污染防治条例》，2018 年 11 月 30 日修正；
- (7) 《山东省电力设施和电能保护条例》，2024 年 5 月 30 日修正；
- (8) 《山东省环境噪声污染防治条例》，2018 年 1 月 23 日修正；

- (9) 《山东省生活垃圾管理条例》，2022 年 3 月 1 日施行；
- (10) 《山东省实施<中华人民共和国环境影响评价法>办法》，2018 年 11 月 30 日修正；
- (11) 《山东省实施<中华人民共和国渔业法>办法》，2018 年 11 月 23 日修正；
- (12) 《山东省“三线一单”管理暂行办法》，2021 年 12 月 31 日。

1.1.3 技术导则、标准和规范

- (1) 《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) 《海上风电工程环境影响评价技术规范》，2014 年 4 月 17 日；
- (4) 《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)；
- (5) 《环境影响评价技术导则 大气环境》(HJ2.2-2018)；
- (6) 《环境影响评价技术导则 声环境》(HJ2.4-2021)；
- (7) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007)；
- (8) 《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》(HY/T 0341-2022)；
- (9) 《水上溢油环境风险评估技术导则》(JT/T 1143-2017)；
- (10) 《环境影响评价技术导则 输变电工程》(HJ24-2020)；
- (11) 《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)；
- (12) 《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)；
- (13) 《海水水质标准》(GB3097-1997)；
- (14) 《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)；
- (15) 《海洋生物质量标准》(GB18421-2001)；
- (16) 《海洋调查规范》(GB/T12763-2007)；
- (17) 《海洋监测规范》(GB17378-2007)；
- (18) 《水生生物增殖放流技术规程》(SC/T9401-2010)。

1.1.4 功能区划和相关规划

- (1) 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》；
- (2) 《全国国土空间规划纲要（2021-2035 年）》；
- (3) 《“十四五”海洋生态环境保护规划》(环海洋〔2022〕4 号)；

- (4) 《专属经济区和大陆架空间利用管理试点方案》（自然资发〔2024〕187号）；
- (5) 《自然资源部办公厅关于印发 2024 年度专属经济区和大陆架可开发利用区域选划成果的函》（自然资办〔2024〕1996 号）；
- (6) 《“十四五”现代能源体系规划》；
- (7) 《2030 年前碳达峰行动方案》；
- (8) 《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》（国函〔2023〕102 号）；
- (9) 《山东省近岸海域环境功能区划》（2016-2020 年）；
- (10) 《山东省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》（鲁政字〔2020〕269 号）；
- (11) 《山东省“十四五”生态环境保护规划》；
- (12) 《山东省“十四五”海洋生态环境保护规划（修订版）》；
- (13) 《山东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》（征求意见稿）；
- (14) 《山东省湿地保护规划（2022-2030 年）》；
- (15) 《山东海上风电发展规划（2021-2030）》，国能综函新能〔2022〕7 号；
- (16) 《山东省能源发展“十四五”规划》，鲁政字〔2021〕143 号，2021 年 8 月 9 日；
- (17) 《山东省新能源产业发展规划（2018 年-2028 年）》；
- (18) 《山东省新能源和可再生能源中长期发展规划（2016-2030 年）》；
- (19) 《青岛市国土空间总体规划（2021-2035 年）》；
- (20) 《青岛市“十四五”生态环境保护规划》；
- (21) 《青岛市国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》；
- (22) 《青岛市生态环境局关于印发青岛市“三线一单”生态环境分区管控方案修改单和青岛市环境管控单元生态环境准入清单（2023 年版）的通知》；
- (23) 《青岛西海岸新区国土空间分区规划（2021-2035 年）》（征求意见稿）；
- (24) 《关于青岛西海岸新区国土空间规划“三区三线”划定成果的公告》。

1.1.5 工程技术文件

- (1) 建设单位环评委托书；
- (2) 《三峡青岛一期海上风电项目可行性研究报告》，上海勘测设计研究院有限公司，2025 年 7 月；

- (3) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目专属经济区和大陆架空间利用论证报告书（报批稿）》，山东海岛海岸带环境科技有限公司，2025 年 3 月；
- (4) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目海域使用论证报告书（报批稿）》，山东海岛海岸带环境科技有限公司，2024 年 12 月；
- (5) 《春季资源环境现状调查与评价报告》，自然资源部北海生态中心，2025 年 6 月；
- (6) 《秋季资源环境现状调查与评价报告》，自然资源部北海生态中心，2024 年 11 月；
- (7) 《山东半岛南部青岛以东海域海底电缆廊道规划研究报告》，自然资源部北海调查中心，2024 年 11 月；
- (8) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目选址通航安全研究报告》，大连海事大学，2024 年 11 月；
- (9) 《山东半岛南部青岛以东海域开发利用适宜性和生态资源影响评估关键技术研究项目 鸟类调查评价报告》（2024 年秋季、2024 年冬季、2025 年春季、2025 年夏季），自然资源部北海预报减灾中心；
- (10) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目电磁环境与声环境现状秋季调查专题报告》，青岛环海海洋工程勘察研究院有限责任公司，2025 年 2 月；
- (11) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目电磁环境与声环境现状春季调查专题报告》，青岛环海海洋工程勘察研究院有限责任公司，2025 年 5 月；
- (12) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目水下噪声和电磁对海洋生物影响专题研究报告》，浙江省环境科技股份有限公司，2025 年 8 月；
- (13) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目鸟类影响论证专题报告》，浙江省环境科技股份有限公司，2025 年 8 月；
- (14) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目数值模拟分析专题报告》，浙江省环境科技股份有限公司，2025 年 8 月；
- (15) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目生态保护修复方案》，浙江省环境科技股份有限公司，2025 年 8 月；
- (16) 《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目渔业影响论证专题》，浙江省环境科技股份有限公司，2025 年 8 月；
- (17) 建设单位提供的其他工程技术资料及图纸。

1.2 评价内容和评价重点

1.2.1 评价内容

本次评价对象主要包括海上风机机组、风机机组间的集电海底电缆、海上换流站、送出海底电缆，不包括陆上换流站及陆上电缆等陆域工程内容。

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）和《海上风电工程环境影响评价技术规范》，本次评价内容选择海水水质环境、海洋沉积物环境、海洋生物生态、鸟类生态、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境、声环境、电磁环境、环境风险作为评价内容。

1.2.2 评价重点

根据工程特点和周围环境状况，确定本次评价的重点为：

- （1）工程建设对海洋水文动力、地形地貌及冲淤环境的影响预测与评价；
- （2）风机基础、海上换流站、辅助平台及综合服务平台、电缆铺设施工悬浮物对海水水质环境的影响；
- （3）风机运行噪声对海洋生物的影响，对区域鸟类迁徙、栖息及其生境的影响；
- （4）工程建设对周围环境敏感区和环境保护目标的影响；
- （5）环境保护对策措施与生态保护修复措施。

1.3 环境影响要素识别与评价因子筛选

1.3.1 环境影响要素识别

1.3.1.1 施工期主要污染影响因素识别

（1）海洋生态环境影响

施工期海缆敷设开挖、桩基础施工等产生的悬浮泥沙对海水水质、沉积物的影响；施工船舶产生的生活污水及含油废水等对海水水质和海洋沉积物的影响。

（2）大气环境影响

施工船舶和施工机械设备产生的尾气对大气环境的影响。

（3）声环境影响

施工船舶和施工机械噪声对声环境的影响。

（4）固体废物

海上施工产生的生活垃圾、施工垃圾。

1.3.1.2 运营期主要污染影响因素识别

（1）海洋生态环境影响

运营期海上换流站桩基础防腐牺牲阳极锌释放，以及风机维护及检查期间产生的工作船生活污水、含油污水对海水水质和海洋沉积物的影响。

（2）大气环境影响

运维船舶产生尾气对大气环境的影响。

（3）声环境影响

风机运行噪声、海上换流站噪声对声环境的影响。

（4）电磁环境影响

海底电缆和海上换流站产生的工频电磁场、合成电场对电磁环境的影响。

（5）固体废物

运维船舶生活垃圾；风机检修过程中产生的含油固废等；运维人员产生的生活垃圾。

1.3.1.3 非污染因素影响识别

（1）海洋生态与生物资源影响

工程生态影响因素主要为：项目施工悬浮泥沙造成海洋生物和渔业资源的损失，以及项目建成后对海洋生物、鸟类栖息环境及迁徙的影响。

（2）水动力和冲淤影响

项目建成后对风电场局部水动力环境、地形地貌和冲淤环境的影响。

1.3.2 评价因子筛选

根据项目工程分析和周边环境现状调查，结合环境影响要素识别分析，筛选环境影响评价因子。施工期及运营期影响评价因子详见表 1.3-1。

表 1.3-1 环境影响评价因子一览表

评价时段	环境影响要素	预测评价因子	工程内容及其表征	影响程度与分析评价深度
施工阶段	海水水质环境	悬浮物	海缆铺设、风机及平台基础施工	+++
		石油类	施工船舶废水	+
		COD、BOD ₅ 、SS、氨氮	施工期生活污水	+

评价时段	环境影响要素	预测评价因子	工程内容及其表征	影响程度与分析评价深度
	沉积物环境	悬浮物	扫海、铺设海缆、风机基础结构的安装	++
	海洋生态环境	浮游生物、底栖生物、鸟类等	铺设海缆、风机及平台基础施工、风机机组和平台安装	+++
	渔业资源	游泳生物、鱼卵和仔稚鱼	铺设海缆、风机基础结构的安装	++
	大气环境	尾气	施工船舶和机械尾气	+
	噪声环境	施工噪声	风机基础打桩噪声	++
	固体废物	生活垃圾、一般固体废弃物	施工人员生活垃圾、扫海废物	++
运营阶段	水文动力环境	局部海流流向和流速	风机及平台基础占海	++
	海域冲淤环境	局部海域冲淤	风机及平台基础占海	++
	水质环境	COD、BOD ₅ 、SS、氨氮	运维工作人员生活污水	+
		石油类	运维船含油污水	+
	沉积物环境	锌	风机基础腐蚀	+
	海洋生态环境	生态损失、鸟类等	风机基础占海	++
	噪声、电磁环境	噪声、工频电场、工频磁场	海上风机噪声、海上换流站及海缆电磁	++
	固体废物	生活垃圾、含油废物	运维工作人员生活垃圾、检修废油等	+
事故状态	水质、沉积物、海洋生态	船舶溢油	风险事故下的溢油	+++

1.4 环境功能区划与评价标准

1.4.1 环境功能区划

1.4.1.1 近岸海域环境功能区划

本项目海上风电场选址位于《山东省近岸海域环境功能区划（2016-2020 年）》范围之外，本项目风电场 525kV 送出海缆穿越黄岛-日照东盐业养殖区、黄岛盐业养殖区、灵山湾旅游娱乐区、胶州湾近海港口航运区，各功能区的水质保护目标见表 1.4-1。

表 1.4-1 本项目穿越近岸海域环境功能区的水质保护目标

序号	功能区代码	名称	面积(km ²)	功能类别	水质保护目标	备注
1	SD267B II	黄岛-日照东盐业养殖区	6503.36	B	II	其中水产种质资源保护区、捕捞区内水质执行 I 类标准。
2	SD293B II	黄岛盐业养殖区	393.19	B	II	
3	SD266D IV	胶州湾近海港口	1018.81	D	IV（港口	港池所在区域执行 IV

	(III)	航运区			IV、航道 II、锚地 III)	类标准，锚地区域执 行III类，其余区域执 行II类标准。
4	SD291B II	灵山湾旅游娱乐 区	29.25	B	II	

1.4.1.2 大气环境功能区划

根据《青岛市环境空气质量功能区划分规定》，本项目海上风电场不在青岛市环境空气质量功能区划范围内。

1.4.1.3 声环境功能区划

本项目海上风电场场区位于山东省省管海域之外，无声环境功能区划。

1.4.2 评价标准

1.4.2.1 环境质量标准

本项目海上风电场及部分送出海缆位于山东省国土空间规划范围之外，海水水质执行《海水水质标准》（GB3097-1997）第一类标准，海洋沉积物执行《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）第一类标准，海洋生物质量执行《海洋生物质量》（GB18421-2001）第一类标准。软体动物（非双壳类）、甲壳类、鱼类生物质量标准采用《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 的参考值。

本项目部分送出海缆穿越《山东省近岸海域环境功能区划（2016-2020 年）》中的功能区，现状评价时对照各功能区的功能类别和水质保护目标进行评价，具体标准值见表 1.4-2~表 1.4-5。

表 1.4-2 海水水质标准

项目	第一类	第二类	第三类	第四类
SS	人为增加的量≤10		人为增加的量≤100	人为增加的量≤150
pH（无量纲）	7.8~8.5		6.8~8.8	
DO>	6	5	4	3
BOD ₅ ≤	1	3	4	5
COD≤	2	3	4	5
无机氮≤	0.20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐≤	0.015	0.030	0.030	0.045
Hg≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
Cd≤	0.001	0.005	0.01	0.01
Pb≤	0.001	0.005	0.010	0.050
Cu≤	0.005	0.010	0.050	0.050
Zn≤	0.020	0.050	0.10	0.50
As≤	0.020	0.030	0.050	0.050
总铬	0.05	0.10	0.20	0.50

石油类≤	0.05	0.05	0.30	0.50
硫化物≤	0.02	0.05	0.10	0.25
挥发性酚≤	0.005	0.005	0.01	0.05
硒≤	0.01	0.02	0.02	0.05
镍≤	0.005	0.01	0.02	0.05

表 1.4-3 海洋沉积物质量标准

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

表 1.4-4 海洋贝类生物（双壳）质量标准值（鲜重）（单位：mg/kg）

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

表 1.4-5 其他海洋生物质量评价标准（鲜重）（单位：mg/kg）

生物类别	总汞	镉	锌	铅	铜	砷	石油烃
软体动物（非双壳贝类）	0.3	5.5	250	10	100	1	20
甲壳类	0.2	2.0	150	2	100	1	20
鱼类	0.3	0.6	40	2	20	1	20

（2）声环境质量标准

本项目海上风电场不在青岛市声环境功能区划范围内，参照《声环境功能区划分技术规范》（GB/T19150-2014），声环境按 2 类功能区执行，执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 2 类标准，标准值见表 1.4-6。

表 1.4-6 声环境质量标准（单位：dB(A)）

类别	昼间	夜间
2 类	60	50

1.4.2.2 污染物排放标准

(1) 船舶污染物排放标准

本项目施工期施工船舶产生的含油污水执行《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》（交海发〔2007〕165号），生活污水和船舶垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018），船舶废气执行《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发〔2018〕168号）的要求，相应标准限值见 1.4-7。

表 1.4-7 船舶污染物排放标准

污染物	排放海域	船舶类型	排放控制要求
船舶含油污水	沿海海域	/	铅封管理，禁止向沿海海域排放
船舶生活污水	距最近陆地 3 海里以内	采用下列方式之一进行处理，不得直接排海： a) 利用船载收集装置，排入接收设施； b) 利用船载生活污水处理装置处理，达到以下规定要求后在航行中排放：(1) 在 2012 年 1 月 1 日以前安装（含更换）生活污水处理装置的船舶， $BOD_5 \leq 50\text{mg/L}$ ， $SS \leq 150\text{mg/L}$ ，耐热大肠菌群 ≤ 2500 个/L；(2) 在 2012 年 1 月 1 日以后安装（含更换）生活污水处理装置的船舶， $BOD_5 \leq 25\text{mg/L}$ ， $SS \leq 35\text{mg/L}$ ，耐热大肠菌群 ≤ 1000 个/L， $CODCr \leq 125\text{mg/L}$ ，pH: 6-8.5，总氯（总余氯） $< 0.5\text{mg/L}$ 。 污染物排放监控位置：生活污水处理装置出水口。	
	3 海里 < 与最近陆地间距离 ≤ 12 海里的海域	同时满足下列条件： (1) 使用设备打碎固形物和消毒后排放； (2) 船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。	
	与最近陆地间距离 > 12 海里的海域	船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。	
船舶垃圾	海域	应将塑料废弃物、废弃食用油、生活废弃物、焚烧炉灰渣、废弃渔用和电子垃圾收集并排放接收设施。 食品废弃物：在距最近陆地 3 海里以内（含）的海域，应收集运回陆地处理；在距最近陆地 3 海里至 12 海里（含）的海域，粉碎至直径不大于 25mm 后方可排放；在距最近陆地 12 海里以外的海域可排放。	
船舶大气污染物	大气污染物排放控制区	使用硫含量不大于 0.5% m/m 的船用燃油； 2015 年 3 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的施工船舶，所使用的单台发动机输出功率超过 130 千瓦的，应满足《国际防止船舶造成污染公约》第二阶段氮氧化物排放限值要求： 1. 当 n 小于 130rpm 时，14.4g/kWh； 2. 当 n 等于或大于 130rpm，但小于 2000rpm 时， $44n(-0.23)\text{g/kWh}$ ； 3. 当 n 等于或大于 2000rpm 时，7.7g/kWh。	

(2) 水下噪声排放限值

本项目施工期及营运期水下噪声参照《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T0341-2022），见表 1.4-8。

表 1.4-8a 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	219dB SEL _{cum} 或 213dB SPL _{pk}	216dB SEL _{cum} 或 213dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔，鱼鳔与听力无关	210dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	203dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔，鱼鳔与听力相关	207dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	203dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _{pk}	186dB SEL _{cum}	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 高
				(远) 低	(远) 中等
卵和幼体	210dB SEL _{cum} 或 207dB SPL _p	(近) 中等	(远) 中等	(近) 中等	(近) 中等
		(中) 低	(中) 低	(中) 低	(中) 低
		(远) 低	(远) 低	(远) 低	(远) 低

 SEL_{cum} 宜按 B.4.2 计算

表 1.4-8b 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	179dB SEL _w	199dB SEL _w	168dB SEL _w 或 213dB SPL _{pk}	183dB SEL _w 或 219dB SPL _{pk}
高频鲸目	178dB SEL _w	198dB SEL _w	170dB SEL _w 或 224dB SPL _{pk}	185dB SEL _w 或 230dB SPL _{pk}
超高频鲸目	153dB SEL _w	173dB SEL _w	140dB SEL _w 或 196dB SPL _{pk}	155dB SEL _w 或 202dB SPL _{pk}
海牛目	186dB SEL _w	206dB SEL _w	175dB SEL _w 或 220dB SPL _{pk}	190dB SEL _w 或 226dB SPL _{pk}
海豹类食肉目	181dB SEL _w	201dB SEL _w	170dB SEL _w 或 212dB SPL _{pk}	185dB SEL _w 或 218dB SPL _{pk}
其他海洋食肉动物	199dB SEL _w	219dB SEL _w	188dB SEL _w 或 226dB SPL _{pk}	203dB SEL _w 或 232dB SPL _{pk}

TTS: 暂时阈值漂移; PTS: 永久阈值漂移

 SEL_w 宜按公式 B.6 计算; SPL_{pk} 宜按公式 B.3 计算

(3) 大气污染物排放标准

施工扬尘和施工机械尾气执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 表 2 无组织排放监控浓度限值, 见表 1.4-9; 施工期机械废气排气烟度执行《非道路柴油移动机械排气烟度限值及测量方法》(GB36886-2018) 中的限值要求, 见表 1.4-10。

表 1.4-9 大气污染物排放标准

排放标准	标准限值			
	污染源	污染物	最高允许排放浓度 (mg/m ³)	无组织排放限值 (mg/m ³)
《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996) 表 2 无组织排放标准	施工	颗粒物	/	1.0
	运输车辆及机动车	一氧化碳	/	8
		二氧化硫	/	0.40
		氮氧化物	/	0.12

表 1.4-10 施工期机械废气执行标准

排放标准	类别	额定净功率 (P _{max} /kW)	光吸收系数 (m ⁻¹)	林格曼黑度级
非道路柴油移动机械排气烟度限值及测量方法 (GB36886-2018)	I类	P _{max}	3.00	1
		P _{max}	2.00	
		P _{max}	1.61	
	II类	P _{max}	2.00	1
		P _{max}	1.00	1 (不能有可见烟)
		P _{max}	0.80	

(4) 固体废物

施工期和运营期一般固废执行《一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准》(GB18599-2020)；生活垃圾经统一收集后，由环卫部门定期处理；危险废物执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2023)。危险废物转运执行《危险废物收集、贮存、运输技术规范》(HJ2025-2012)中相关要求。

(5) 工频电磁场

运营期工程内容涉及 525kV 海上换流站、525kV 送出海底电缆，频率 50Hz，根据《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)，工频电场强度控制限值 4kV/m，工频磁感应强度控制限值 100μT。根据《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》(GB39220-2020)，为控制合成电场所致公众曝露，换流站周边及海底电缆沿线环境中合成电场强度 E₉₅ 的限值为 25kV/m，且 E₈₀ 的限值为 15kV/m。

1.5 评价等级和评价范围

1.5.1 评价等级

1.5.1.1 海洋生态环境评价等级

本项目风机用海面积约为 396.0284hm²，挖沟埋设海缆总长度为 1218.138km。。根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025)，本项目总用海面积大于 200hm²，海洋生态环境影响评价等级为 1 级，见表 1.5-1。

表 1.5-1 建设项目海洋生态环境影响评价等级判定表

评价等级		1	2	3
影响类型				
用海面积 S (hm ²)	其他用海	S ≥ 200	100 ≤ S < 200	S < 100
挖沟埋设管缆总长度 L (km)		L ≥ 100	60 ≤ L < 100	L < 60

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，本项目风电场位于青岛市东南部国

管海域，位于黄渤海底层鱼类产卵场范围内，属于重要渔业水域生态环境敏感区，装机容量大于 300MW，海底电缆总长度大于 100km，水文动力环境、水质环境、沉积物环境、海洋生态评价等级为 1 级；总占海面积超过 $50\times 10^4\text{m}^2$ ，海洋地形地貌与冲淤环境影响评价等级为 1 级，见表 1.5-2 和表 1.5-3。

综合考虑《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）的判定原则和《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014 年）中评价等级判定标准，本项目海洋生态环境影响评价等级为 1 级。

表 1.5-2 海洋水文动力、水质、沉积物、生态和生物资源影响评价等级判定依据

技术导则	海洋工程分类	工程类型和工程内容	工程规模	工程所在海域特征和生态环境类型	单项海洋环境影响评价等级			
					水文动力环境	水质环境	沉积物环境	生态和生物资源环境
海上风电工程环境影响评价技术规范	海上风电项目	海上风电机组工程	装机容量 $\geq 300\text{MW}$	海洋生态环境敏感区	1	1	1	1
		海底电缆工程	长度 $\geq 100\text{km}$	海洋生态环境敏感区	1	1	1	1
	综合判定评价等级					1	1	1

表 1.5-3 海洋地形地貌与冲淤环境影响评价等级判据

技术导则	等级	工程类型和工程内容
海上风电工程环境影响评价技术规范	1	海上风电项目所有工程类型总占海面积超过 $50\times 10^4\text{m}^2$ 以上的或严重改变海岸线、滩涂、海床自然性状和产生较严重冲刷、淤积的工程项目。

1.5.1.2 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产生的电场、磁场、电磁场的设施属于免于管理范围，故本次仅对海上换流站、525kV 送出海缆电磁环境影响评价等级进行判定。

本项目海上换流站直流侧电压为 525kV，送出线路为 525kV 高压直流送出海缆，根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，本项目海上工程的电磁环境影响评价等级为一级，见表 1.5-4。

表 1.5-4 《海上风电工程环境影响评价技术规范》电磁环境影响评价等级判据

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价工作等级
交流电	500kV 及以上	输电线路	海底电缆	一级
		升压变电站	户内式	二级

1.5.1.3 环境风险评价等级

1) 危险物质数量与临界量比值 (Q)

根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)，计算所涉及的每种危险物质在厂界内的最大存在总量与其对应临界量的比值 Q。在不同厂区的同一物质，按其在厂界内的最大存在总量计算。当只涉及一种危险物质时，计算该物质的总量与其临界量比值，即为 Q；

当存在多种危险物质时，则按下式计算物质总量与其临界量比值 (Q)：

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

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

Q_1, Q_2, \dots, Q_n —每种危险物质的临界量，t。

当 $Q < 1$ 时，该项目环境风险潜势为 I。

当 $Q \geq 1$ 时，将 Q 值划分为：(1) $1 \leq Q < 10$ ；(2) $10 \leq Q < 100$ ；(3) $Q \geq 100$ 。

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》(HJ 1409-2025) 附录 G，油类物质的临界量为 100t。船舶在线量按单个船舶所载货油或船用燃料油全部舱容的数量确定。

本项目施工期风险物质主要来自于施工作业船舶，本项目基础施工时段，在同一作业区域和同一时段出现的施工船舶数量较多，施工期最大的船舶为海上换流站运输船舶 30000 吨级，参照《水上溢油环境风险评估技术导则》附录 C.9，船舶燃料油平均密度取 $0.9t/m^3$ ，全部舱容的燃油总量为 $2183m^3$ ，燃料油总重量为 1965t。

项目运营期每台风机润滑油约为 0.05t/台，风机变压器储油量约为 5t/台，项目共 214 台风机，总储油量为 1080.7t。海上换流站联接变总油量 480t，2 台站用变总油量为 30t，柴油发电机配备柴油约 10t。

表 1.5-5 项目危险物质数量与临界量比值 Q 计算表

序号	危险物质	临界量/t	最大存储量/t	该物质的 Q 值
1	施工船舶燃料油	100	1965	19.65
2	风机储油	100	1080.7	10.8
3	海上换流站	100	520	5.2

由表 1.5-5 可知，项目施工期物质的总量与临界量比值 $Q=19.65$ ，运营期物质的总量与临界量比值 $Q=16.0$ ，施工期大于运营期风险潜势，以下主要针对施工期开展评价等级判定。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）附录 C，分析项目所属行业及生产工艺特点，按照表 1.5-6 评估生产工艺情况。具有多套工艺单元的项目，对每套生产工艺分别评分并求和。本项目属于施工船舶使用燃油物质，属于其他行业中的涉及危险物质使用项目，行业及生产工艺 M=5，行业及生产工艺 M 划分为 M4。

表 1.5-6 行业及生产工艺表

行业	评估依据	分值
石化、化工、医药、轻工、化纤、有色冶炼等	涉及光气及光气化工艺、电解工艺（氯碱）、氯化工艺、硝化工艺、合成氨工艺、裂解（裂化）工艺、氟化工艺、加氢工艺、重氮化工艺、氧化工艺、过氧化工艺、胺基化工艺、磺化工艺、聚合工艺、烷基化工艺、新型煤化工工艺、电石生产工艺、偶氮化工艺	10/套
	无机酸制酸工艺、焦化工艺	5/套
	其他高温或高压，且涉及危险物质的工艺过程 a、危险物质贮存罐区	5/套（罐区）
管道、港口/码头等	涉及危险物质管道运输项目、港口/码头等	10
石油天然气	石油、天然气、页岩气开采（含净化），气库（不含加气站的气库），油库（不含加气站的油库）、油气管线 b（不含城镇燃气管线）	10
其他	涉及危险物质使用、贮存的项目	5

a 高温指工艺温度 $\geq 300^{\circ}\text{C}$ ，高压指压力容器的设计压力（P） $\geq 10.0\text{MPa}$ ；

b 长输管道运输项目应按战场、管线分段进行评价。

3) 危险物质与工艺系统危险性（P）分级的确定

根据危险物质数量与临界量比值（Q）和行业及生产工艺（M），按照表 1.5-7 确定危险物质及工艺系统危险性等级（P），分别以 P1、P2、P3、P4 表示。

表 1.5-7 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
$Q < 10$	P2	P3	P4	P4

综上，本项目施工期 Q 值为 19.65（ $10 \leq Q < 100$ ），M 取值为 M4，则 P 值为 P4。

4) 环境敏感程度（E）的分级确定

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 G，本项目环境风险源位于海域，产生的环境风险事故影响范围主要在海域，依据事故情况下危险物质泄漏可能影响生态敏感区的情况，本项目危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第二类区域或一般敏感区，环境敏感程度分级为 E2。

本项目危险物质及工艺系统危险性（P）值为 P4，环境敏感程度分级为 E2，其对

应的环境风险潜势等级为 II。根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）评价工作等级划分要求（表 1.5-8），本项目环境风险工作等级为三级。

表 1.5-8 评价工作等级划分

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

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

1.5.1.4 大气环境评价等级

本项目运营期运维船产生的少量废气为无组织排放，对环境空气质量影响较小，根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），大气环境影响评价等级为三级。

1.5.1.5 声环境评价等级

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）中评价等级判定标准，本项目风电场位于海上，声环境参照《声环境质量标准》的 2 类地区，项目周边无居民生活集中区，无声环境敏感目标，按照二级进行评价。

依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，本项目水下声环境影响评价工作不划定具体评价等级。

1.5.1.6 生态环境评价等级

依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》鸟类生态不划定具体评价等级。

1.5.2 评价范围

本项目海洋评价范围依照《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）及《海上风电工程环境影响评价技术规范》综合确定。

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），1 级评价项目在潮流主流向的扩展距离应不小于 15km~30km，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。本项目送出海缆穿越青岛西海岸国家级海洋公园，属于重要敏感区，评价范围以线路中心线两侧和两端外延 3km 为评价范围。

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，海洋水质、海洋沉积物、海洋生态环境影响评价范围主要依据评价区域及周边区域生态完整性确定；以主要评价因子受影响方向的扩展距离确定，1 级评价海上风电项目所有工程外缘线为起点向外扩展一般

应不小于 15km，海底管线沿垂直海底管线路由方向从管线外缘向两侧扩展不少于 5km。水下声环境影响评价范围：应至少与海洋生态评价范围一致。海洋水文动力和地形地貌与冲淤环境影响评价范围：应该根据工程特点和海域特性进行适当调整，原则上不低于海洋水质环境影响评价范围。

综合以上分析，确定本项目海洋环境评价范围为以风场区外缘线为起点，向四周外扩 15km，以送出海缆外扩 5km，向北与法定岸线围起的约 4100km² 海域。该范围包括水动力环境、水质环境、沉积物环境、海洋生态环境、海洋地形地貌与冲淤环境、水下声环境的评价范围。

1.6 环境敏感区及环境保护目标

1.6.1 环境保护目标

本工程环境保护目标为工程周围海域的海水水质、沉积物质量及海洋生物生态等，详见表 1.6-1。

表 1.6-1 环境保护目标一览表

项目	敏感/保护对象	影响要素	与工程位置关系	环境保护管理要求
环境保护目标	海水水质	水质	工程周边海域	项目实施后保持原水质类别，不因本工程建设发生恶化。
	海洋沉积物	沉积物	工程周边海域	项目实施后工程海域沉积物保持现有质量类别，不因本工程建设发生恶化。
	海洋生物及渔业资源	生物生态	工程周边海域	工程区域海洋生态（包括渔业资源）、水生生物群落结构不因本工程建设而发生明显改变。

1.6.2 环境敏感目标

1.6.2.1 海洋环境敏感目标

本项目海上风电场所在海域环境敏感目标包括黄渤海底层鱼类索饵场、黄渤海中上层鱼类越冬洄游路线，风电场送出海缆周边主要敏感目标包括青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线、西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线、黄岛区海岸防护物理防护极重要区生态保护红线、唐岛湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线、西海岸灵山岛特别保护海岛生态保护红线、青岛西海岸国家级海洋公园、养殖区和无居民海岛。

表 1.6-1 项目周边主要环境敏感区一览表

级别	序号	保护目标名称	保护目标
重要渔业水域	1	黄渤海底层鱼类索饵场	渔业资源及水质生态环境
	2	黄渤海中上层鱼类越冬洄游路线	渔业资源及水质生态环境
生态保护红线	3	青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	沙滩海岸
	4	西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线（灵山岛生态保护区）	海岸防护物理防护
	5	黄岛区海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	海岸防护物理防护极重要区
	6	唐岛湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线	重要滩涂及浅海水域
	7	西海岸灵山岛特别保护海岛生态保护红线	特别保护海岛
国家公园	8	青岛西海岸国家级海洋公园	文昌鱼和野生刺参、皱纹盘鲍等海珍品生态环境以及海砂资源
养殖区	9	海洋牧场	鲈鱼、黑头鱼、海参等养殖品种及其生存环境
无居民海岛	10	牛岛	
	11	唐岛	

2 工程概况

2.1 建设项目概况

项目名称：三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目

项目性质：新建

建设单位：中国长江三峡集团有限公司山东分公司

地理位置：项目风电场址位于山东青岛东南部海域专属经济区。

工程规模：项目规划场址面积约 400km^2 ，拟布置 214 台单机容量为 14MW 的风力发电机组，总装机容量 2996MW，配套建设 1 座 $\pm 500\text{kV}$ 海上换流站和 1 座陆上换流站。项目风电场年理论发电量为 1411865 万 kWh，预计总年上网电量为 963977 万 kWh，年等效满负荷小时数为 3217.5h。风电机组发出电能通过场内 40 回 66kV 集电海缆接入海上换流站，经换流站内升压和整流后通过 2 回 $\pm 500\text{kV}$ 直流电缆至海缆登陆点，转陆缆后接入陆上换流站。本报告评价对象为风电项目的海上部分工程内容，陆缆和陆上换流站的陆上工程内容另行评价。

计划工期：项目计划建设工期 24 个月。

2.2 项目建设方案

2.2.1 工程建设内容

三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目（海上部分）工程建设内容包括 214 台单机容量为 14MW 的风力发电机组、1 座海上换流站和生活辅助平台、2 座综合服务平台、40 回 66kV 场内集电海缆及 $\pm 525\text{kV}$ 送出海缆等。

海上风机：规划建设 214 台风机，采用四桩导管架基础形式。

海上换流站：在风电场区内设置 1 座 $\pm 525\text{kV}/3000\text{MW}$ 伪双极换流站。海上换流站采用整体式布置，上部共 7 层平台，下部为导管架基础。

海上辅助平台：导管架基础型式，为五层布置，在一层甲板通过栈桥与海上换流站连接。

综合服务平台：平台共 1 层，底层高程+15.00m，上部平台采用一层布置，下部基础采用导管架+裙桩套筒的基础型式。

66kV 场内集电海缆：风电场区内采用电压等级为 66kV 的 40 回光电复合海底电缆。

±525kV 送出海缆：海上换流站至登陆点的送出海缆采用电压等级为±525kV 的 1 回（4 根）光电复合海底电缆，海缆登陆后接入陆上换流站。

陆上工程包括陆上换流站、陆上电缆敷设及相关的配套辅助工程等，不属于本次评价内容。

2.2.2 总平面布置

2.2.2.1 工程总体布置

本项目风电场位于山东青岛东南侧深远海区域，规划容量为 3000MW。拟设计安装 214 台单机容量 14MW 的风力发电机组。在规划场址边界范围内，以垂直于主风能方向 S，东西向成行布置 8 排，平均行间距约 2490m，列间距 870~910m。

海上换流站布置于风电场中心附近位置，风机组与海上换流站之间铺设 66kV 集电海缆，共计 40 回路。海上换流站北侧拟建设一座海上生活辅助平台，通过钢栈桥与海上换流站连接。海上换流站通过 2 回±500kV 海缆送出至登陆点，海缆登陆点位于海上换流站西北侧青岛西海岸新区风河入海口的北侧。电缆登陆后通过向西敷设陆地电缆接入陆上换流站，逆变后接入 500kV 交流配电装置，并最终实现接入电网。

2.2.2.2 风电机组布置

本风电场规划装机规模为 3000MW，采用推荐的 14MW 机型进行风电场布置。布置方案主要按照垂直当地主风向 S 排布，并充分考虑场址走向、工程施工船舶进场、抛锚、掉头等对场地的要求，通过对各方案发电量及尾流影响情况计算与比较，风电机组布置方案如下：垂直于主风能方向 S，东西向平行布置 8 行共 214 台 WTG-1 风机的方案。

2.2.2.3 海上换流站布置

本项目新建一座±500kV 海上换流站，项目风电机组所发电能通过 40 回 66kV 海缆汇入海上换流站。考虑海上平台的建设条件、运维条件、工程投资，并结合所处位置的水深、场内集电海缆长度等。本项目海上换流站布置于风电场中心偏北的位置，即 G85、G86、G116、G117 风机之间海域。

海上换流站采用整体式布置，共分为 2 部分组成：上部组块平台和下部基础结构。换流站下部结构采用导管架基础型式，桩基础采用钢管桩基础。

2.2.2.4 海上辅助平台

海上辅助平台设置在海上换流站北侧，上部组块采用支撑框架体系，一层甲板层设置栈桥与换流站相通。

2.2.2.5 综合服务平台

本项目在风场东北和东南侧各设置一座综合服务平台，平台尺寸约 $20 \times 20\text{m}$ ，避开风机和海缆，平台共 1 层，底层高程+15.00m。

上部平台采用一层布置，总重量约 400 吨，下部基础采用导管架+裙桩套筒的基础型式，导管架基础重量约 1200 吨。

2.2.2.6 66kV 集电海缆布置

本项目风力发电机组采用一机一变单元制接线方式，经箱式变压器升压后，每 5~6 台风机一个集电回路，总计 40 回，经 66kV 交流集电海缆接入 $\pm 500\text{kV}$ 海上换流站。集电海缆拓扑采用链形布局方案，根据每台风机的容量及载流量要求，每回集电线路考虑连接 5~6 台风机，风机连接电缆不交叉重看，垂直段沿 J 形管敷设至机组配套升压设备高压侧或海上换流站。

2.2.2.7 500kV 送出海缆路由

风电机组所发电能通过 66kV 集电海缆汇入 $\pm 500\text{kV}$ 海上换流站升压后通过 4 回 $\pm 500\text{kV}$ 海缆送出至海缆登陆点， $\pm 525\text{kV}$ 海缆平行布置，海缆线路长度 $4 \times 175.3\text{km}$ ，总长 701.2km。

项目 $\pm 525\text{kV}$ 海缆的间距根据水深采用不等间距布置，海缆间距在 3m~50m 之间。

2.2.3 结构型式

2.2.3.1 风电机组

(1) 风机选型

根据工程可行性研究报告，本项目使用 14MW 的 WTG-1 机型进行风电场布置，推荐风机机型的参数见表 2.2-3。

表 2.2-3 推荐机型风机参数特征表

项目	单位	参数
机型	-	WTG-1
额定功率	MW	14
轮毂高度	m	152

项目	单位	参数
叶轮直径	m	270
叶片长度	m	131
安全风速（10min）	m/s	55
单位千瓦扫风面积	m ² /kW	4.09
切入风速	m/s	3
切出风速	m/s	25
额定风速	m/s	13
运行温度范围	℃	-10~40℃
生存温度范围	°C	-20~50℃
叶轮（含叶片、轮毂等总重量）	t	单叶片重~57.8t
机舱（含发电机、齿轮箱等总重量）	t	~390

(2) 风机基础

根据场地工程地质及海洋水文条件，结合各类基础型式进行比选，经分析比较本工程 214 台海上风机基础全部推荐采用四桩导管架基础。

导管架桩基础主要包括上部导管架和下部桩基础两部分。导管架采用圆形钢管焊接组成钢构架，底部跨度约 30m。导管架顶部通过过渡段承受上部塔筒传递下的荷载，过渡段法兰顶高程为 19.00m，外平台顶高程为 14.00m。过渡段将荷载通过四个主导管和四层斜撑导管传递到桩基。主导管和四层斜撑管均采用圆形钢管型式，4 根主导管直径 D=1500~3300mm，壁厚为 55~80mm；斜撑导管为 X 连接方式，直径为 750~1400mm。导管架桩基础采用先桩法，沉桩完成后，将上部导管架插尖插入钢管桩，并进行水下灌浆连接。桩基础直径为 3.3m，壁厚 40~70mm，泥面高程为 -40.00~-49.00m。

2.2.3.2 海上换流站

本工程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。海上换流站平台尺寸约为 92m（长）×81m（宽）。海上换流站共有两部分组成：上部组块和下部导管架结构。上部组块采用整体安装，共分 7 层。

海上换流站的设计标准的重现期按 100 年考虑，换流站下部基础采用导管架+裙桩套筒形式，导管架每侧设计 5 个主腿（共 10 个主腿）与上部组块主立柱相连接。在 10 个主腿底部设置 10 个裙桩套筒。导管架局部管节点用 Z 向性能钢加强，导管架布置靠船件、海缆保护 J 型套管和登陆系统等附属构件。

2.2.3.3 海上辅助平台

海上生活辅助平台基础为常规导管架+裙桩套筒基础。平台上部组块总重约 1600 吨，导管架总重约 2650 吨，上部组块投影最大尺寸约为 33.5m×24.0m。

生活辅助平台一层通过长 30m、宽 3m 的栈桥与海上换流站连接。海上辅助平台为

五层布置。

2.2.3.4 综合服务平台

本项目在风场东南角和东北角各设置一座综合服务平台，两座平台的结构相同，平台上部平面尺寸约 $20 \times 20\text{m}$ ，避开风机和海缆。

2.2.3.5 66kV 集电海缆

本项目共 214 台 14MW 风电机组分为 40 组，风机之间连接海缆全部采用 66kV 海底电缆，海缆型式均为铜导体 3 芯交联聚乙烯绝缘分相铅护套粗钢丝铠装光纤复合海底电缆。

项目风电场区内 66kV 集电电缆拟选用 XPE 绝缘光电复合三芯海底电缆，电缆截面从 $3 \times 95 \sim 800\text{mm}^2$ 。连接 1 台和 2 台风机，选用电缆截面为 $3 \times 95\text{mm}^2$ ；连接 3 台风机，选用电缆截面为 $3 \times 185\text{mm}^2$ ；连接 4 台风机，选用电缆截面为 $3 \times 400\text{mm}^2$ ；连接 5 台风机，选用电缆截面为 $3 \times 630\text{mm}^2$ ；连接 6 台风机，选用电缆截面为 $3 \times 800\text{mm}^2$ ；共采用 40 个回路即可完成电能汇集至海上换流站的任务。

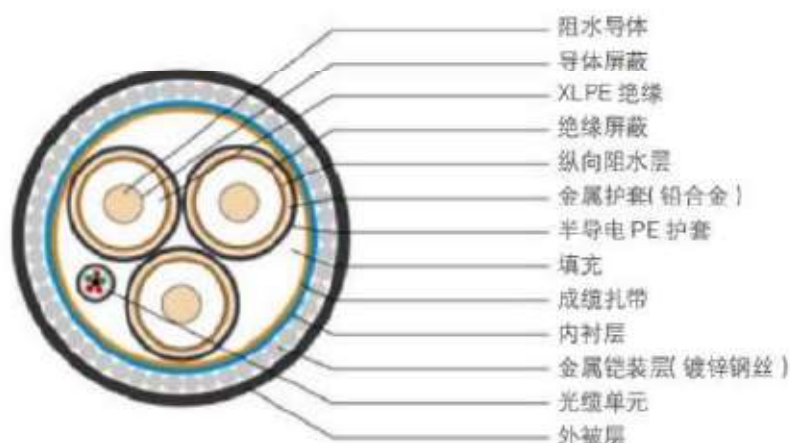
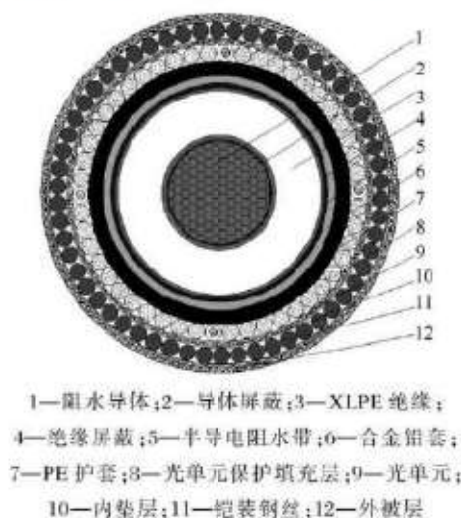


图 2.2-11 66kV 集电海缆结构示意图

2.2.3.6 $\pm 525\text{kV}$ 送出海底电缆

项目 $\pm 525\text{kV}$ 柔性直流海缆为连接海上换流站至登陆点的送出海底电缆。采用 XLPE 绝缘光电复合单芯海底电缆。海缆截面为 1600mm^2 ，复合 48 芯光纤，钢丝铠装，2 回路（正负各两根海缆）敷设，海缆结构示意图见图 2.2-12。

图 2.2-12 $\pm 525\text{kV}$ 送出海缆结构示意图

2.2.4 公用工程

2.2.4.1 给排水

海水就地取用，非饮用型淡水由平台海水淡化制备，饮用型淡水由货船定期补充。雨水就近排海。

(1) 海上换流站设置海水淡化设备 1 套，并配备淡水箱两个，提供设备冷却淡水补水和消防系统补水。

(2) 在升压站底层甲板露天区域设置甲板地漏，屋顶设雨水斗及管道，雨水直排入海。

(3) 淡水补水管采用不锈钢管，平台雨水系统管道及管件材质采用 O235B 碳钢材质，所有管件与管材成套供应。

(4) 生活辅助平台设置一套生活污水处理设施，生活污水经过处理达标后向海域排放。

2.2.4.2 水冷却系统

本工程海上换流站设置 2 座阀厅和 4 台联接变，需要冷却的设备主要为换流阀、联接变压器和空调设备，采用海水直流冷却系统，从深海取水。海水直流冷却系统由海水提升泵、过滤器、海水/淡水换热器、淡水/纯水换热器、防海生物装置、淡水循环主机、自动化仪表、管路阀门、泵控柜、换流阀内冷却系统等组成。

海水冷却系统的设备布置在平台的一层甲板的内冷水设备间，固定在一层甲板下方的深井泵护套管深入海面最低潮位以下，潜水深井泵安装在保护套管中。电解海水

产生的次氯酸钠溶液通过投加泵及管路喷放至每台水泵的进水口周边，防止海生物的生长；换流阀、主变压器和空调设备的循环管路接至各自对应的板式换热器。海水取水水泵吸水口设置在海面最低天文潮位以下 30m 深处，设置保护套管，潜水深井泵置于保护套管内，套管底部入口设置过滤格栅。

水冷却系统温度上升 9°，取排水均为天然海水，取排水量为 4200m³/h。

2.2.4.3 消防

（1）海上换流站消防总体方案

海上换流站的联接变压器、柴油发电机、站用变及事故油罐等容易引发 B 类火灾的设备及其设置场所均采用高压细水喷雾灭火系统。66kV GIS 室、直流场、交直流继电器室、空调机房、冷却设备室、海生物抑制装置室、海水淡化设备间等平台各房间采用高压细水喷雾灭火系统。66kV 开关柜、站用配电屏、应急配电屏、继保屏柜等柜式设备中使用探火管式灭火装置。各层配置高压细水雾喷枪，辅助灭火。在每层甲板、电气设备房出口附近、人员易接近的地方，设置一定数量的移动式灭火设施。

（2）海上辅助平台消防总体方案

对海上辅助平台各房间如柴油发电机等容易引发 B 类火灾的设备及其设置场所采用高压细水雾灭火系统；生活水泵房、污水处理间、通风机房、智能设备间、配电间、蓄电池室、储藏室、会议室、医务室、居住室及消防泵房等也采用高压细水雾灭火系统进行保护；在海上辅助平台每层各设置 2 只消火栓。配电屏、控制盘柜等柜式设备中采用探火管式气体灭火装置。在每层甲板、电气设备房出口附近、人员易接近的地方，设置一定数量的移动式灭火设施。

2.2.4.4 防腐蚀设计

本项目中钢结构外露部分（飞溅区、全浸区）辅以长寿命重防腐涂料双层改性环氧玻璃鳞片漆进行防腐，漆膜干膜厚度不低于 1000μm。本项目换流站结构、海上辅助平台结构、海上综合服务平台结构设置 1 套外加电流装置。

根据基础构件所处的不同腐蚀分区，分别采取相应的防腐措施：钢结构浪溅区和水位变动区防腐蚀采用重防腐涂料，水下区采用重防腐涂料+外加电流阴极保护的方式。

2.2.4.5 防冲刷设计

本工程导管架基础方案均采用预留冲刷深度来解决冲刷问题，采用的预留冲刷深度为 4.0m，即确保平台基础结构在桩基出露 4m 的条件下，基础结构的稳定、强度和

变形仍可满足规范规定的要求。

2.2.4.6 靠船和防撞设计

靠泊设计按工作运维船舶法向靠泊速度 0.45m/s 设计，结构防撞按工作运维船舶法向撞击速度按 2.00m/s 设计。对于海上换流站，在基础上考虑布置顶靠和侧靠，采用橡胶护舷缓冲消能。

2.2.4.7 安全监测设计

本项目对所有风机均进行基础振动、倾斜监测、风机基础不均匀沉降监测，并选择 22 台有代表性的风机进行重点监测。重点监测的风机设置的监测项目有：风机基础倾斜、振动、钢结构应力应变、腐蚀电位监测。为实现运行期各监测仪器能够实时自动在线监测，设置 1 套安全监测自动化系统。

海上换流站第一层平台上布置 4 个几何水准点，第二层甲板层和第四层甲板层的四个主立柱附近各设置 1 个倾斜监测点和 1 个振动监测点，在海上换流站下部导管架主应力方向的主腿及斜撑附近安装应力应变监测点，在海上换流站的导管架上布置 3 个防腐蚀监测点。

2.2.4.8 导航标识

为了风机的安全运行，防止船舶以外撞击，在风电场最外侧风机连线以外 300m，布置黄色航行警示标，以警示航行船舶进行有效避让。风机塔架上做好明显的警示标志，涂上醒目的警示色及夜间采用灯光照射等，以避免船只或飞行物对风机塔架或叶片的撞击。同时风场离岸距离较远，建议在风机及基础上配置远程高清摄像探头，同时建议设置基于 AIS 系统的海上电子围栏系统，增强对附近过往船只的监视、警示。

2.3 施工方案

2.3.1 施工工艺及方法

2.3.1.1 施工总体布置

施工现场作业区即风电场场址，现场主要布置船舶抛锚作业区、警戒区及设施等。为方便施工，拟将现场主起重船或平台船作为临时办公、休息场地。

本工程共设置一个施工临时布置区，施工临时布置区设置在青岛港大湾港务公司码头后方陆域，主要为综合仓库、风机设备临时堆场和临时生活办公用房等。总建筑

面积 4000m²，占地面积 66000m²。临时设施占地面积见表 2.3-1。

表 2.3-1 临时生产生活区占地一览表（青岛港大湾港务公司码头）

序号	名称	建筑面积（m ² ）	占地面积（m ² ）	备注
1	综合仓库	1000	2000	临时用地
2	风机设备堆场	0	60000	临时用地
3	临时生活办公用房	3000	4000	临时用地
4	合计	4000	66000	临时用地

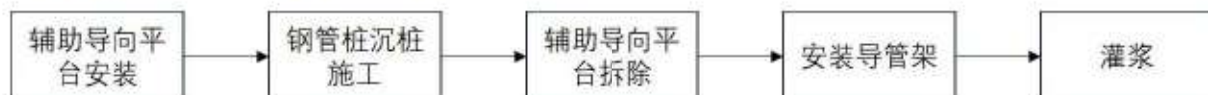
2.3.1.2 施工交通运输

本项目施工期内的外来运输物资主要为钢管桩、导管架等超大超重钢结构和机舱、轮毂、叶片等风电机组设备。其中，大型钢结构构件在东部沿江沿海大型钢结构厂家建造完成后由甲板运输驳直接运输至海上现场安装，不再进行码头转运；风电机组设备在风机和塔筒厂家生产完成后优先考虑直接运输至机位点安装，若海上施工与零星风电机组交货时间不匹配时，可考虑在本项目周边码头堆场进行临时堆存转运。

根据对本项目周边主要港口码头情况进行调研，本阶段施工临时布置区拟考虑设置在青岛港大湾港务公司码头的后方陆域，主要为零星风电机组设备的临时堆存场地。该码头位于青岛市黄岛区，距离本项目场址约 77 海里，码头岸线长 410m，宽 70m，前沿水深约 4~7m，码头条件可满足风电机组设备转运和堆存条件，同时施工期间对周边航道影响较小。

2.3.1.3 风机基础施工

本项目主体工程风电机组导管架基础共 214 台，14MW 风电机组基础上部导管架结构重约 1759.58t（含附属结构），底部根开 30m，总高 65~70m，设置 4 根钢管桩，每根钢管桩长约 70~90m，单根钢管桩重约 315t。导管架通过 4 个插入段立管分别插入 4 根基础钢管桩内，与钢管通过灌浆进行永久连接，采用先桩法安装，即先沉桩，后安装导管架。导管架基础施工工艺流程如下：



（1）驳船海上运输

辅助导向架平台运输拟采用 10000t 及以上自航甲板驳运输至施工现场。钢管桩属于大型钢构件，由制造企业制造完成后通过 10000t 级以上自航甲板运输驳船通过海运至施工现场。

（2）辅助导向平台安装

辅助导向架平台采用 2500t 级起重船现场安装。辅助平台安放好，进行第一根辅助桩沉桩施工，接着施打第一根辅助桩对角位置的辅助桩。然后在进行其他两根辅助桩的施工。辅助桩施打过程中加强平台标高、桩垂直度、桩顶标高的控制和测量。

（3）钢管桩沉桩施工

本工程沉桩施工采用锤击能量 2500kJ 液压锤，液压锤水下沉桩考虑配置水下沉桩定位架辅助施工，水下沉桩定位架导向筒内设置水下液压油缸，可配合水下打桩锤在钢管桩插桩完成后一次性沉桩至设计标高。

（3）辅助导向平台拆除

采用起重船吊离液压锤，吊除辅助导向平台，拆除工艺辅助桩。

（4）导管架安装

导管架建造完成后采用 15000t 级及以上自航甲板驳船由厂家运输至施工现场，单航次同时运输 2~3 个导管架，满足现场 2 台风机导管架安装需求。导管架运输至机位处后，由 2500t 级以上浮式起重船进行吊装。

首先测量定位，确定钢管桩位置，下放水下监控仪器，全程实时获取水下视讯，指挥控制导管架安装动作。导管架上系结缆风绳，在工作船上进行动作调整，配合接收的水下视讯信息，防止导管架体与基础钢管桩发生碰撞，并最终将导管架下部桩尖锥体插入钢桩内。导管架水下安装过程中，全程测评合格后，导管架初步固定，完成导管架安装。

（5）灌浆施工

本工程灌浆施工采用高强度混凝土灌浆材料。由潜水员或水下机器人在水下将注浆管与套管下部的注浆孔进行连接。钢套筒与钢管桩相连接部位之间的灌浆由高压泵泵送，压力灌浆工艺采用工作船上的灌浆泵进行施工。灌浆施工过程中，工作人员应严格根据灌浆方案确定灌浆量，通过机械化自动控制、水下摄像头或水下机器人（ROV）视频监控的方式，精确把控灌浆量，当灌浆溢流孔有浓浆溢出，即可完成灌浆。灌浆材料强度达标后，测量验收进入下一工序。

2.3.1.4 风电机组安装

本工程风电机组叶轮直径约 270m，轮毂中心安装高度约为 154m，采用自升降式支腿平台船分体安装，安装方式采用单叶片吊装法方案。

（1）风电机组组件预拼装及运输

风电机组主机在机组厂家预组拼，底节塔筒及内部电气设备在塔筒厂家预组拼。

风电机组各主机部件、叶片和塔筒从厂家附近码头装船，采用 10000t 级以上自航甲板驳船直接海运到施工现场。

（2）风电机组安装设备

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。自升式支腿平台船到达拟安装机位处后，完成腿预压、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。

（3）风电机组部件安装

风电机组单叶片吊装顺序是：第一段塔筒→第二段塔筒→第三段塔筒→第四段塔筒→机舱轮毂组合体→单叶片吊装。

（4）电气设备安装

主机吊装完成后，安装风机上的电气设备及动力电缆、接地电缆和塔外平台电缆。

2.3.1.4.1 66kV 集电海缆施工

本项目主体工程 66kV 集电海缆总长度约 516.938km，采用深海铺缆船，上风机段电缆敷设采用卷扬机牵引。由于海床为柔软的沉积淤泥层，根据锚重与投入淤泥层深度的关系，电缆埋深选择为 2.5~3.0m 之间。铺缆正常施工海况条件为六级以下风力，施工船受横流小于 2.5 节，施工进度正常铺设速度为 3~6m/min。主要施工工序如下：

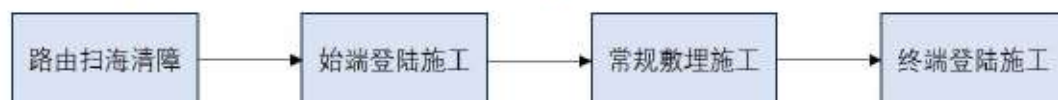


图 2.3-4 66kV 集电海缆施工工序

（1）路由扫海清障

路由扫海清障工作主要解决风电场内风机与风机之间、风机与海上换流站之间施工路由轴线上影响施工的废弃缆线、定置网、渔网等小型障碍物。采用锚艇尾系扫海工具（150 公斤海军锚），沿每条设计路由往返扫海一次，采用 DGPS 系统精确定位导航，控制范围为海缆路由范围内左右 50m 之内。对扫海清除的障碍物须存放在甲板上收集并运回陆上统一处理，禁止随意丢弃入海。路由扫海清障示意图 2.3-5。

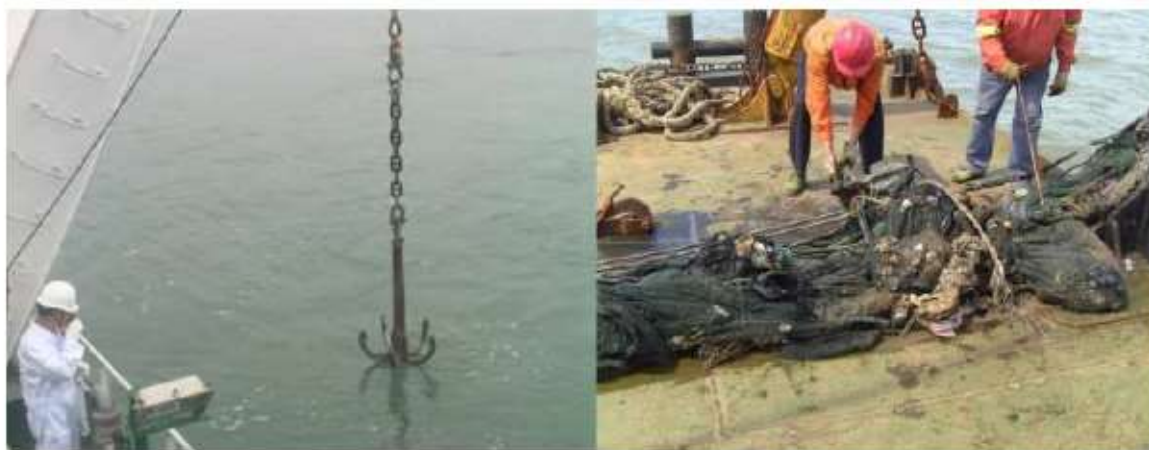


图 2.3-5 路由扫海清障图示

(2) 海缆始端登陆施工

66kV 集电海缆始端登陆风机平台采用卷扬机牵引通过“J”管的施工方式，登陆施工示意图见图 2.3-6，主要施工程序如下：

①施工船在风机平台处定位后，将牵引绳送到辅助小艇，由辅助小艇将预留在“J”管的钢丝绳与船上的牵引绳相连。施工船将海缆利用布缆机将电缆通过入水槽送入水中。

②在平台上作业人员及牵引设备准备就绪后，由平台指挥人员指令施工船慢慢收起牵引绳的松余量，并将预留的牵引钢丝回收到船上，用牵引网套将牵引钢丝和电缆连接。

③施工船准备就绪后，通知平台上作业人员，平台上作业人员慢慢将电缆牵引到平台，直到适量的余量抵达平台后，停止牵引作业。

④当海缆登上平台后，海缆固定参照风机布置图纸进行锚固安装。

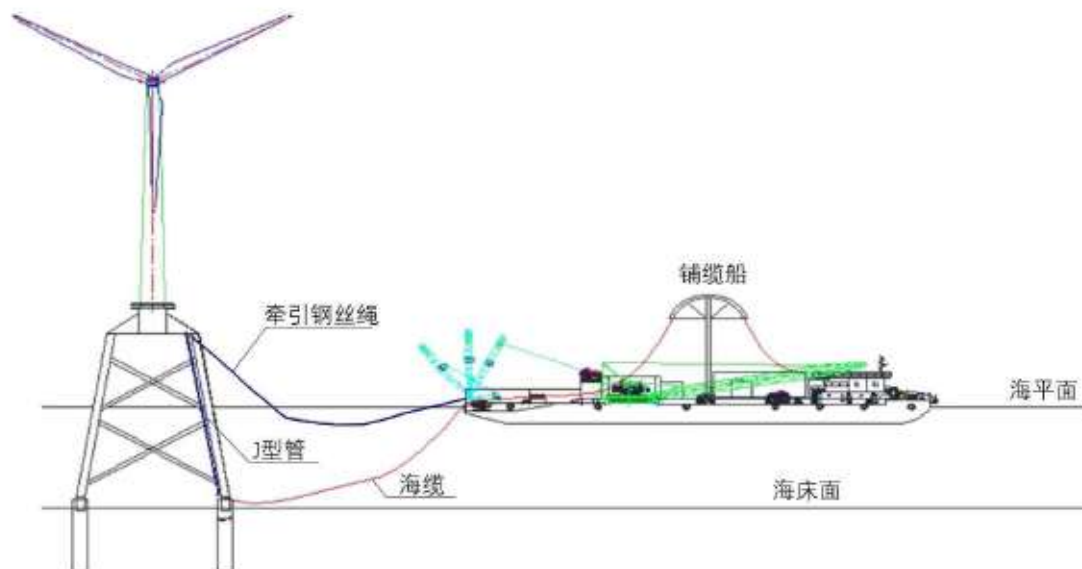


图 2.3-6 海缆登陆风机基础平台示意图

(3) 常规敷埋施工

66kV 集电海缆常规敷设区域为各风电机组之间、各回路终端风电机组至海上换流站之间，属于远海深水区域，采用专业海底电缆敷设船配备牵引式高压射水埋设机进行敷埋施工，其工作方式为：施工船钢丝绳牵引，导缆笼保护海缆，高压水泵吸入海水，用输水胶管向埋设机供水，水力喷射切割土体成槽，边敷设、边埋深的施工工艺。该类型的埋设机埋设速度约 3~6m/min。开沟犁宽 20~40cm，电缆埋深为 3.0m，埋深数据由设置埋设机上的传感器通过脐带海缆传输至中央控制室。常规敷埋施工示意图见图 2.3-7。

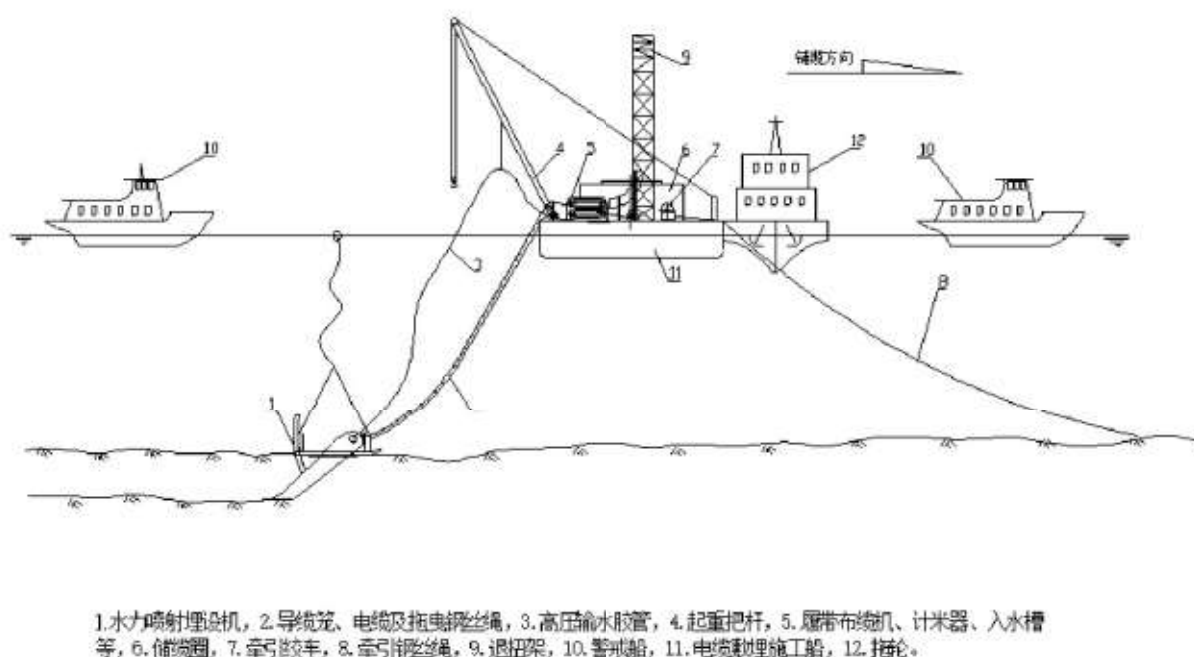


图 2.3-7 海缆敷埋施工示意图

(4) 海缆终端施工

施工船沿设计路由埋设电缆到达登陆区域后，回收埋设犁，将电缆脱出埋设犁后，根据距离平台的位置、实际的水深、适度的余量等因素将电缆翻出电缆仓并切断，翻出的电缆预留在施工船甲板上。在将电缆头端做密封处理后绑上牵引用止索，即可准备终端电缆登陆作业。具体的登陆作业步骤与始端登陆相同。海缆终端登陆海上换流站平台与登陆风机平台类似，均通过导管架上固定的“J”管进行登陆施工。

2.3.1.4.2 525kV 送出海缆施工

本工程 525kV 送出海缆施工主要自海上换流站至登陆点，总体施工工艺见图 2.3-8 和表 2.3-2。

具体施工工艺如下：

（1）路由扫海清障

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。采用 DGPS 系统精确定位导航，控制范围为海缆路由范围内左右 50m 之内。

（2）常规段敷埋施工

525kV 送出海缆在常规段敷埋施工工艺与 66kV 集电海缆施工工艺相同，均采用专业海底电缆敷设船配备牵引式高压射水埋设机，依靠水力埋设机的开沟犁挖沟后敷设，铺缆船铺缆时，开沟犁和高压水联合作用形成初步断面，在淤泥坍塌前及时铺缆，一边开沟一边铺缆，根据电缆直径选择犁的大小，开沟犁宽 20~40cm；常规段电缆埋深为 3.0m，铺缆正常施工海况条件为六级以下风力，铺设速度为 3~6m/min。电缆敷设时采用 GPS 定位系统进行定位，牵引钢缆的敷设精度控制在拟定路由±5m 范围内。

（3）登陆海上换流站施工

525kV 送出海缆在换流站平台的登陆，需穿过导管架上固定的“J”管，登平台前应将钢丝绳置换“J”管内预先设置的牵引绳索，用绞车将电缆由海底通过“J”管口牵引至平台预定位置。登陆施工工艺与 66kV 集电海缆登陆施工相同，详见 2.3.1.3.3 节。

（4）登陆段定向钻施工

本工程 525kV 送出海缆登陆方式采用非开挖水平定向钻方式，定向钻入土点位于岸线向陆一侧约 264 米处公园空地内，周边地形平坦，可满足施工空间要求，出土点位于岸线向海一侧约 400 米处，水深在 1 米左右（理论深度基准面），见图 2.3-9。该段底质类型以砂质为主，具备施工条件。定向钻入土点角度为 10°，出土点角度为 5°，曲率半径按照大于 756m 设计，最大埋深距离约 5 米。

主要施工工序为：测量放线→开挖工作坑→导向孔施工→扩孔→管线回拖。

①测量放线

测量前对全站仪、经纬仪、水准仪等测量仪器进行校定，确定穿越距离和设计穿越线路，根据施工图纸和有关资料，结合施工现场和钻机的实际情况，确定拉管的距离，描绘出导向管的路线图，图中反映敷设管线的进、出土点位置、长度、深度和管线的形状。

②开挖工作坑

根据管线出入点位置开挖工作坑，内外工作坑附近各开挖一座泥浆处理池，使废弃的泥浆流入泥浆处理池中，以便于在管线回拖完毕后，进行处理，保证处理的结果

达到环保要求。工作坑及泥浆池开挖土方就近堆在空地上，后期进行回填。

③设备就位

在工作井的前 2m 处架机，安装在管道轴线位置上，就位后将钻机锚固好，调整机头以达到一定的入土角度，以便导向开钻。

④导向孔施工

开钻前将探测仪的探头置于导向钻头上，并测试探头反射信号是否正常。将导向杆以设计入土角度入土开钻，钻孔过程中采用泥浆护壁工艺进行保护。入土深度达到设计管位中心高程时，导向杆沿管道轴线直走，直到接收井。

⑤扩孔

导向钻孔由工作井钻入接收井后，卸下导向钻头，换上回扩头进行回拉扩孔。扩孔宜采用分级、多次扩孔方式进行。

⑥回拖

保护管接上回扩头，将保护管拖入孔中，保护管回拖就位后，由预先穿在管内的钢丝牵引海缆穿管，海缆敷设完成。

（5）近养殖区水域施工

为减少悬浮泥沙对养殖区的影响，根据养殖区和路由位置关系，在近养殖区水域降低埋设速度，铺设速度为 2.0m/min。在养殖区附近施工过程中选择乘潮作业，即选择涨潮或者落潮期作业，保障悬浮泥沙向养殖区外侧扩散，尽可能减少对养殖区的影响。

（6）穿越航路段海缆施工

本项目场址离岸较远，在风电场至登陆点送出海缆施工的过程中存在两处穿越航路施工，一处为穿越第一航线长度约 2.0km，一处为穿越青岛港—上海、长江口航路，长度约 8.8km。根据可研施工设计，本项目海缆穿越航路段的埋深为 3.5m，通过调整船速及犁刀角度控制埋设犁的姿态，保证过渡段埋深从 3m 逐步均匀加深到 3.5m。

（7）海缆交越段施工

根据目前已有资料，本项目 525kV 送出海缆与 2 根已建国际光缆存在交越，交越点位置见图 2.3-13。

交越段施工拟采用下交越法敷设，下交越施工拟采用水下攻泥器同时配合挖沟机进行施工，下交越主要施工流程为：海缆路由测量定位→导向攻泥器下水定位→攻泥器钻杆钻进及穿引钢索回抽→挖沟机孔洞修正→扩孔→穿引柔性保护套管→海缆敷设

→两侧海缆与保护套管冲埋。

首先通过概位摸排、精确位置探测，确定光缆准确路由及埋深。通过水下攻泥器贯通引导钢索，形成光缆下 200m 通道。引导钢索总长不低于 500m（可接续延长），在通道两端各引出不少于 150m，使用挖沟机修正两端引导钢索至泥面以下 5m，形成 500m 泥下通道。使用引导钢索牵拉扩孔器和海缆柔性保护套管组合体，形成海缆保护套管通道，牵引海缆穿过通道，完成敷设。拖拉柔性保护套管过程中，保持行进状态监测，保障按预定路径、深度敷设，海缆穿出后在现场制做中间接头，实现海缆贯通。为保证现有国际光缆安全，海缆与光缆应保持足够的垂向距离，本阶段下交越段海缆埋深拟为海床面以下约 10m。

目前本项目海缆与国际光缆交越方案已获得中国联通青岛分公司支持性意见，见附件。

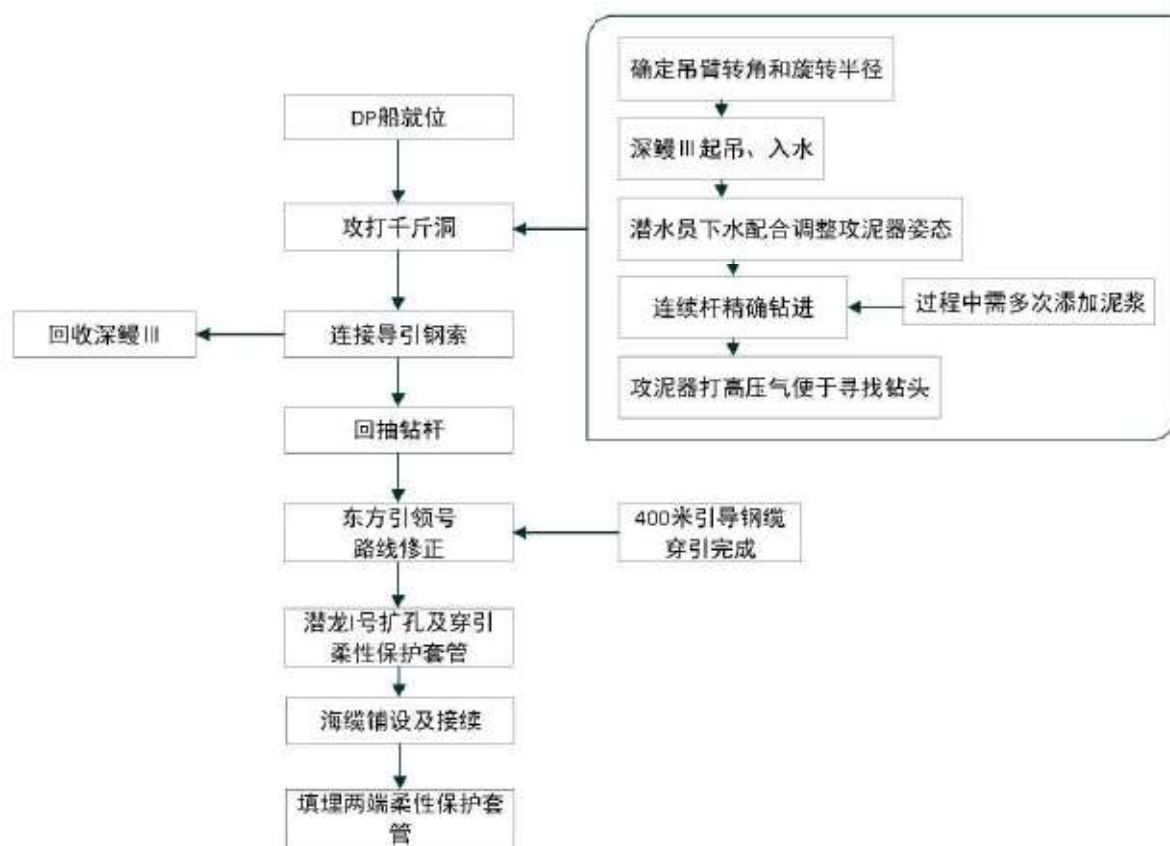


图 2.3-12 下交越海缆施工流程图

2.3.1.5 附属工程施工

2.3.1.5.1 海上换流站施工

海上换流站导管架基础拟采用后桩法施工，基础导管架拟由 25000t 级及以上半潜

驳船运输到现场压载入水后，由 5000t 级及以上浮式起重船辅助安装，待导管架调平后，再由浮式起重船配合送桩器完成钢管桩水下沉桩，最后采用多功能驳船进行导管架钢套管与钢管桩之间环形空间的灌浆连接。

海上换流站上部组块总重量约 31000t，拟采用满足浮托 31000t 级以上组块的驳船运输到现场后浮拖安装。海上换流站基础钢管桩、导管架和上部组块拟在东部沿江沿海地区具备海上换流站相关建造经验的大型钢结构厂家生产。上部组块在钢结构厂家前沿码头进行模块组装，组装完成后通过模块车或滑移装运至驳船后海运至施工现场，海上运输前需选择有利的天气时机并对运输船舶增加临时固定措施。

2.3.1.5.2 生活辅助平台施工

本工程拟在海上换流站附近新建生活辅助平台，海上辅助平台基础导管架重约 1500t（含附属结构），基础钢管桩共 4 根，单根重约 225t。基础上部采用钢结构平台，总重量约 2100t（含主要设备和舾装）。

辅助平台导管架基础拟采用后桩法施工，先进行导管架安装，待导管架调平后配合送桩器完成钢管桩水下沉桩，沉桩完成后，采用多功能驳船进行导管架钢套管与钢管桩之间环形空间的灌浆连接。

海上辅助平台基础钢管桩、导管架和上部组块拟在东部沿江沿海地区钢结构厂家生产。上部组块在钢结构厂家前沿码头进行模块组装，组装完成后通过模块车装运至 15000t 级以上自航甲板驳船后海上运输至施工现场，上部组块支腿与驳船上事先安置垫墩接触，并做好临时固定措施。

2.3.1.5.3 海上综合服务平台施工

本工程拟建 2 座平面尺寸 20m×20m 的综合服务平台，分别位于风电场址东北角和东南角。采用导管架基础形式，施工工艺与辅助平台一致，拟采用 10000t 级及以上自航甲板驳运输基础钢管桩与导管架，15000t 级及以上自航甲板驳运输综合服务平台上部组块，3500t 级及以上浮式起重船进行基础钢管桩、导管架和上部组块的安装。

2.3.2 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表 2.3-2。

表 2.3-2a 四桩导管架基础施工主要设备一览表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
----	--------	------	----	----	----

1	大型起重船	2500t 级及以上 (吊机规格 75m)	艘	5	
2	自航甲板船	15000t 级及以上	艘	8	导管架及导向架运输, 四锚定位
3	自航甲板船	10000t 及以上	艘	8	钢管桩运输, 四锚定位
4	多功能驳船	/	艘	5	灌浆
5	打桩锤	锤击能量 2500KJ 及以上的液压锤	台	5	钢管桩沉桩
6	打桩锤	/	套	5	定位架辅助桩值桩、打桩、拔桩
7	拖轮	8000HP 及以上	艘	8	拖运施工船舶、船只移位（全场调用）
8	抛锚艇	/	艘	8	船舶抛锚（全场调用）
9	补给船	/	艘	5	淡水与生活、生产物资补给
10	交通艇	/	艘	5	接送施工人员

表 2.3-2b 风机分体安装施工主要设备一览表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	自升式支腿船	800t 级以上	艘	5	桩腿应满足作业水深 50m 以上, 且水面以上最大安装高度 170m 以上
2	自航甲板驳	10000t 级及以上	艘	10	风电设备组件运输
3	抛锚艇	/	艘	5	船舶抛锚（全场调用）
4	拖轮	8000HP 及以上	艘	3	拖运施工船舶、船只位移（全场调用）
5	交通艇	/	艘	5	接送施工人员

表 2.3-2c 海上换流站、生活辅助平台及综合服务平台施工主要设备一览表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	半潜驳船	20000t 级及以上, 型宽不小于 55m	艘	1	海上换流站导管架运输及安装
2	浮托安装船	6000HP 及以上	艘	1	海上换流站上部组块运输及安装
3	浮式起重船	具备压载系统, 满足浮托 30000t 级以上组块的半潜船	艘	1	生活辅助平台、综合服务平台基础钢管桩沉桩、导管架和上部组块安装
4	浮式起重船	7500t 级及以上	艘	1	海上换流站基础导管架沉桩、导管架辅助安装
5	自航甲板船	10000t 及以上	艘	2	海上换流站钢管桩运输; 生活辅助平台、综合服务平台基础钢管桩、导管架运输
6	自航甲板船	15000t 级及以上	艘	1	生活辅助平台、综合服务平台上部组块运输
7	液压锤	锤击能量 2500KJ 及以上	台	1	
8	拖轮	15000HP	艘	2	
9	拖轮	10000HP	艘	2	拖运施工船舶、船只移位（全场调用）
10	抛锚艇	/	艘	4	船舶起抛锚
11	交通艇	/	艘	1	接送施工人员
12	多功能驳船	/	艘	1	灌浆

表 2.3-2d 场区电缆敷设施工主要设备一览表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	带埋设机的敷缆船	2000t 载重量	艘	3	海底电缆铺设
2	卷扬机	/	台	6	电缆牵引
3	拖轮	6000HP 及以上	艘	3	铺缆船拖航及稳定性控制
4	抛锚艇	/	艘	3	铺缆船抛锚
5	交通艇	/	艘	3	接送施工人员

表 2.3-2e 送出电缆敷设施工主要设备一览表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	敷缆船	载缆量 7000t 及以上	艘	2	±525kV 直流电缆铺设，具备 DP 能力
2	多功能驳船	/	艘	1	直流海缆硬接头施工
3	抛锚艇	/	艘	3	施工船抛锚
4	拖轮	8000HP 及以上	艘	2	拖运施工船
5	卷扬机	/	台	2	电缆牵引
6	交通艇	/	艘	3	接送施工人员
7	顶管千斤顶	/	套	1	
8	汽车吊	50t 级	台	1	

2.3.3 施工人员配置

本项目高峰时段投入劳动力约 1200 人，平均投入劳动力约 800 人。

2.3.4 施工进度计划

本项目施工工期约 24 个月。

2.4 项目用地用海情况

2.4.1 项目用地情况

本工程共设置一个施工临时布置区，施工临时布置区设置在青岛大湾港务有限公司码头后方陆域，主要为综合仓库、风机设备临时堆场和临时生活办公用房等。临时占地面积 66000m²。

陆上换流站为永久占地，不在本次评价范围内。

2.4.2 项目用海情况

本项目用海涉及领海内海域、毗连区和专属经济区海域。

2.4.3 项目占用岸线情况

本项目采用定向钻施工方式登陆，定向钻入土点在岸线向陆一侧约 264 米的空地

上，出土点为岸线向海一侧 400 米位置。根据《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目海域使用论证报告书》，以电缆管道外缘线向两侧外扩 10m 距离为送出海缆用海边界，由此界定本项目 525kV 送出海缆占用岸线的长度为 32.9m。

根据山东省大陆海岸线修测成果，本项目送出海缆以定向钻穿越方式占用的岸线类型为“其他岸线”中的“生态恢复岸线”。

3 工程分析

3.1 生产工艺与污染环节分析

本项目施工期主要为风机基础施工、风机安装，海上换流站、辅助平台及综合服务平台基础施工、平台上部组块安装，海缆敷设等。运行期海上风机将风能转化为机械能，然后通过风机机舱内的发电机转化为电能，通过海上换流站升压后经海缆送至陆上换流站。

3.1.1 施工期产污环节分析

施工期作业内容主要有风机基础施工与上部风机安装、海上换流站及生活平台、综合服务平台建设和海底电缆铺设，在施工过程中可能对周围海域产生一定的环境影响。

3.1.1.1 风机基础施工产污环节

风机基础施工过程中产污环节主要包括辅助导向平台安装及拆除、钢管桩沉桩时产生的悬浮物，打桩产生的噪声，灌浆施工产生的少量清洗废水和多余浆料，施工船舶产生的含油污水、船舶废气和船舶航行噪声，作业人员生活污水和生活垃圾。风机基础施工产污节点见图 3.1-1 所示。

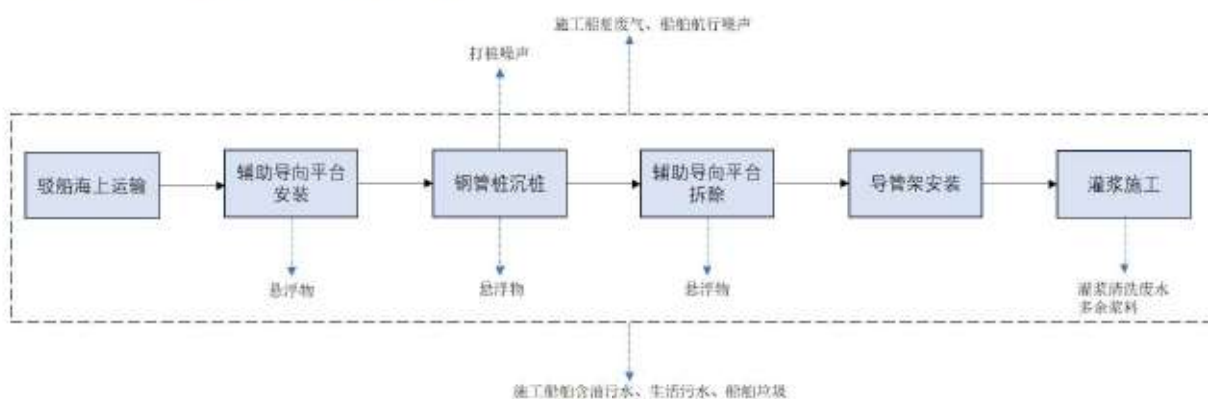


图 3.1-1 风机基础施工产污节点图

3.1.1.2 风机机组安装施工产污环节

风机机组安装施工过程中产污环节主要包括风机机组安装及电气设备安装产生的施工废料，风电机组叶片等部件吊装噪声，施工船舶产生的含油污水、船舶废气和船舶航行噪声，作业人员生活污水和生活垃圾等。风机机组安装施工产污节点见图 3.1-2

所示。

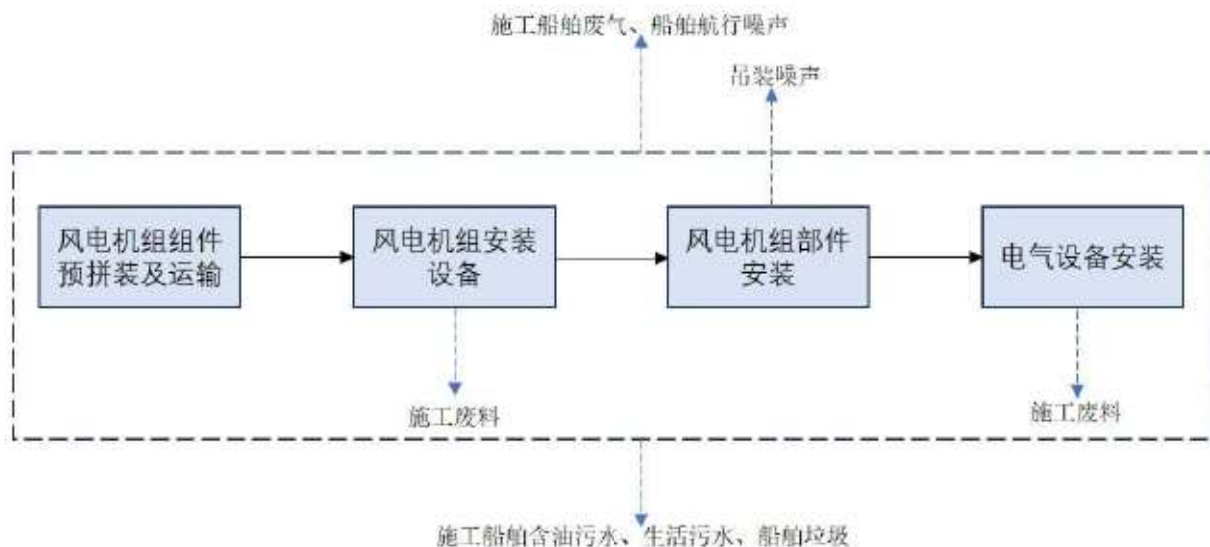


图 3.1-2 风电机组安装施工产污节点图

3.1.1.3 66kV 集电海缆施工产污环节

66kV 集电海底电缆施工过程中主要污染环节是电缆敷设过程中产生的悬浮物、以及扫海期间产生的废弃物。此外，还包括施工作业船舶燃油废气、噪声、含油污水及施工人员生活污水和生活垃圾。集电海底电缆敷设施工产污节点见图 3.1-3 所示。

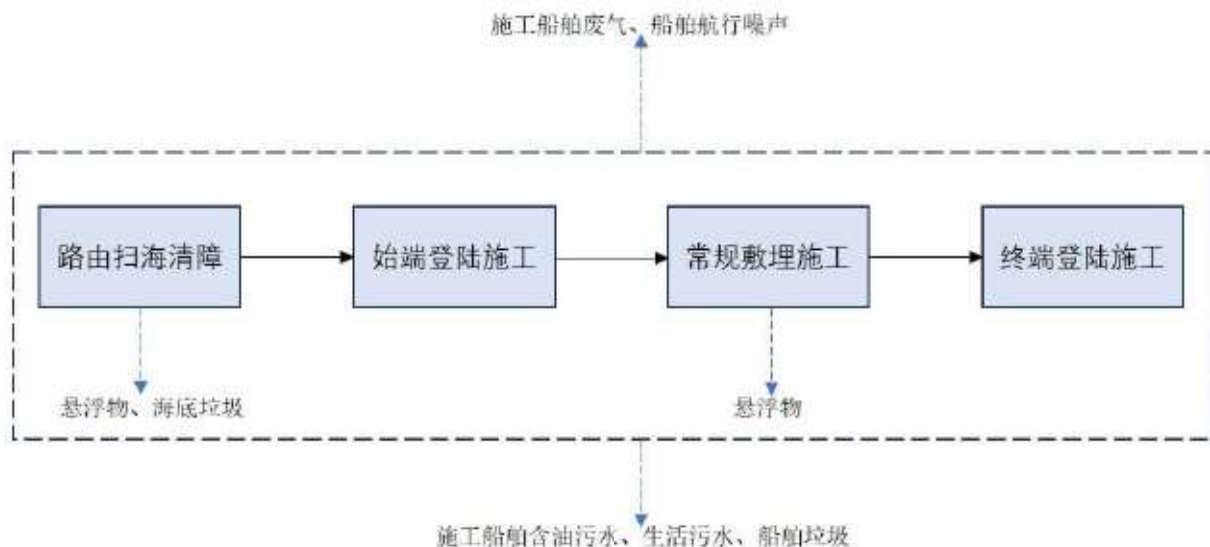


图 3.1-3 66kV 集电海缆施工产污节点图

3.1.1.4 525kV 送出海缆施工产污环节

525kV 送出海底电缆施工过程中主要污染环节是电缆敷设过程中产生的悬浮物、定向钻施工产生的钻屑泥浆以及扫海期间产生的废弃物。此外，还包括施工作业船舶燃油废气、噪声、含油污水及施工人员生活污水和生活垃圾。送出海底电缆敷设施工

产污节点见图 3.1-4 所示。

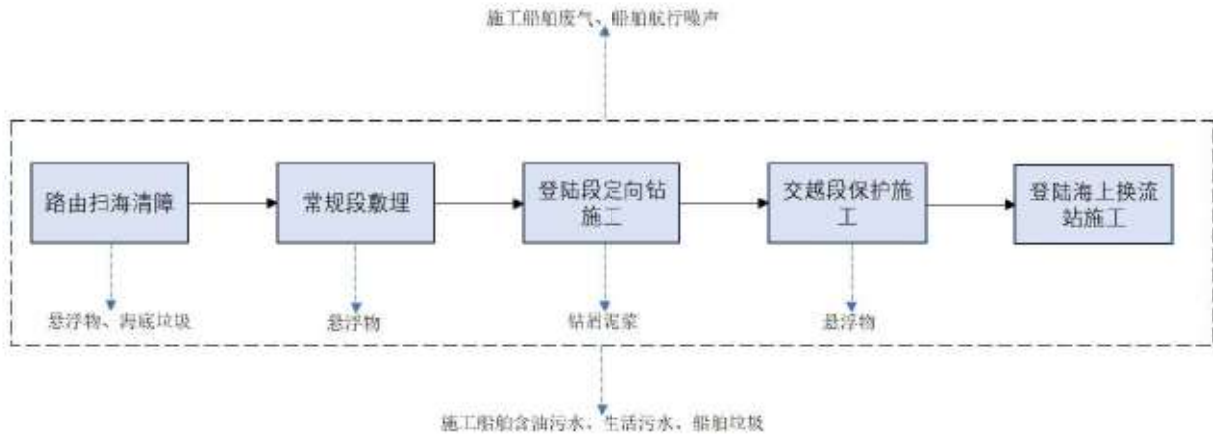


图 3.1-4 525kV 送出海缆施工产污节点图

3.1.1.5 海上换流站和辅助平台、综合服务平台施工产污环节

海上换流站和海上辅助平台、综合服务平台的上部钢结构和基础导管架、钢管桩制作选择东部沿江沿海地区具有相关经验的大型钢结构加工企业，采用大型运输驳直接运输到现场。海上换流站和辅助平台、综合服务平台施工主要污染环节包括打桩时产生的悬浮物和噪声、钢结构海上运输和安装施工时产生的船舶油污水、废气、固体废物，灌浆施工的少量清洗废水和多余浆料，以及作业人员生活污水与生活垃圾，施工产污节点见图 3.1-5 所示。

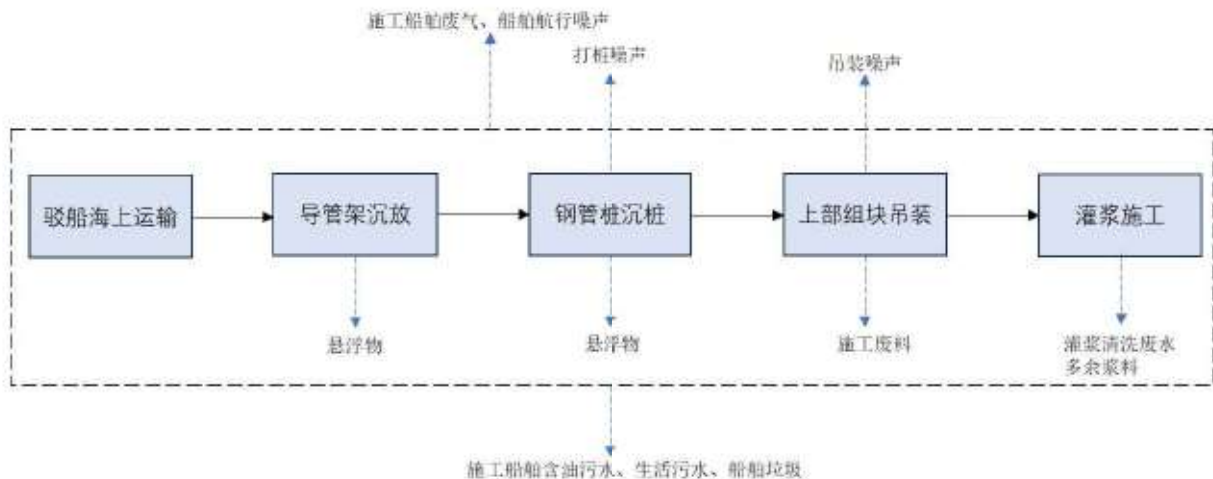


图 3.1-5 海上换流站、辅助平台和综合服务平台施工产污节点图

3.1.2 运营期产污环节分析

运营期风电场主要工艺是风机运转发电，是机械能向电能的能量形式的转化过程，该转化过程本身不产生污染物。其主要环境污染因素包括风机机组运行噪声等；海上换流站主要环境污染因素包括噪声、工频电磁场，换流站设备冷却产生的温排水；海

底电缆环境污染因素为 525kV 送出海缆工频电磁场影响。此外，风机和海上换流站维护过程会产生少量的废油和船舶废气以及运维人员的生活污水和生活垃圾。

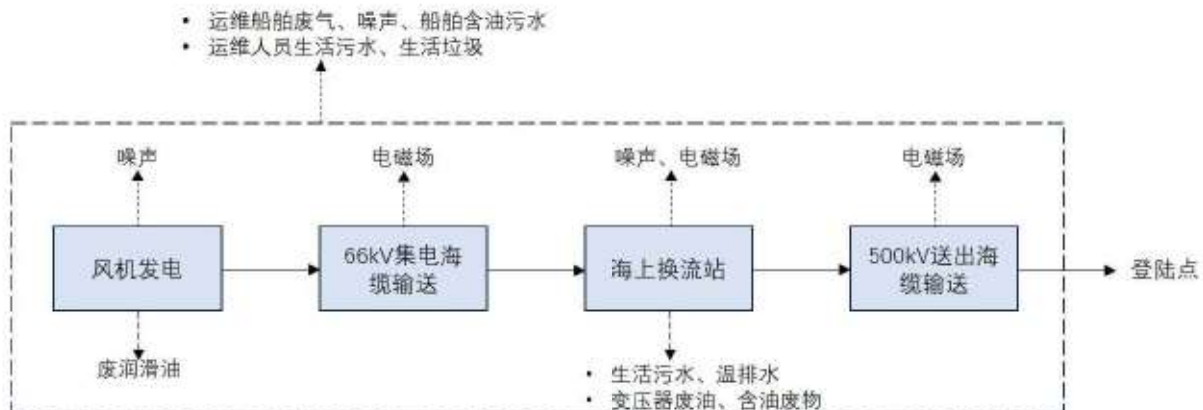


图 3.1-4 运营期产污节点图

3.2 工程各阶段污染源强核算

3.2.1 施工期污染源强核算

3.2.1.1 海上施工悬浮物源强核算

施工期间产生悬浮泥沙的施工环节主要为海缆敷设、风机桩基施工、海上换流站及辅助平台、综合服务平台桩基施工。

（1）海缆敷设

①扫海清障

本项目扫海作业范围一般在海缆两侧 50m，采用声呐仪器扫海，发现障碍物才进行打捞回收，因此悬浮泥沙污染仅在打捞点发生。打捞的障碍物主要是绳索、插网、渔网等小型障碍物，悬浮泥沙源强小于 1kg/s，影响时间为打捞的瞬间。总体来看，扫海清障作业悬浮物影响很小，相比海缆铺设作业产生的悬沙源强，扫海源强基本可以忽略。

②常规敷埋施工水域

海缆敷设挖沟作业时，施工设备会扰动海底泥沙和沉积物，产生悬浮沙，其计算公式如下：

产生速率=搅动横截面积×速度×沉积物密度×起沙率

产生量=搅动横截面积×长度×沉积物密度×起沙率

根据本工程施工方案，集电海缆敷设在泥面下 3m，开沟犁宽 20~40cm，正常铺设速度为 3~6m/min。本次评价源强核算海缆沟槽底宽约 0.4m，顶宽约 0.8m，铺设速度

取 5m/min，则单条海缆敷设正常土方量为 9.0m³/min。根据 2024 年 9 月表层沉积物调查资料，项目所在及附近海域表层沉积物主要为以粉砂质砂为主（占比为 53.3%），泥沙干容重按 1400kg/m³，悬浮组分起沙率按 15% 计算。由此计算得到正常施工条件下海缆施工悬沙源强计算见表 3.2-1。

表 3.2-1 常规敷埋施工段悬沙源强计算结果及取值

参数	参数取值	取值依据
搅动横截面积	1.8m ²	根据施工方案，海缆沟槽底宽约 0.4m，顶宽约 0.8m，埋深 3m
速度	5m/min	根据施工方案确定
沉积物密度	1400kg/m ³	根据表层沉积物调查资料估算
起沙率	15%	根据表层沉积物调查资料估算
产生速率	31.5kg/s	
海缆长度	1105.338km	66kV 场内集电海缆总长度为 516.938km；525kV 送出海缆总长度为 4×175.3km，常规敷埋施工段长度约 4×147.1km
产生量	417817.8t	

③近养殖区水域

为减少悬浮泥沙对养殖区的影响，在养殖区附近施工过程中选择乘潮作业，即根据养殖区和路由位置关系，选择涨潮或者落潮期作业，保障悬浮泥沙向养殖区外侧扩散。同时减小埋设犁埋设速度，取值为 2.0m/min。挖沟深度和断面、起沙率与一般段一致，由此计算得到近养殖区水域海缆施工悬沙源强计算见表 3.2-2。

表 3.2-2 近养殖区水域段海缆施工悬沙源强计算结果及取值

参数	参数取值	取值依据
搅动横截面积	1.8m ²	根据施工方案，海缆沟槽底宽约 0.4m，顶宽约 0.8m，埋深 3m
速度	2m/min	根据施工方案确定
沉积物密度	1400kg/m ³	根据表层沉积物调查资料估算
起沙率	15%	根据表层沉积物调查资料估算
产生速率	12.6kg/s	
海缆长度	67.2km	525kV 送出海缆长度为 4×175.3km，近养殖区段长度约 4×16.8km
产生量	25401.6t	

④穿越航路水域段

根据可研施工设计，本项目海缆穿越航路段的埋深为 3.5m，海缆沟槽底宽约 0.4m，顶宽约 0.8m。考虑在航路段施工船舶影响，减小埋设犁埋设速度，取值为 4m/min，起沙率与一般段一致，由此计算得到穿越航路段海缆施工悬沙源强计算见表 3.2-3。

表 3.2-3 穿越航路段海缆施工悬沙源强计算结果及取值

参数	参数取值	取值依据
搅动横截面积	2.1m ²	根据施工方案，海缆沟槽底宽约 0.4m，顶宽约 0.8m，埋深 3.5m
速度	4m/min	根据施工方案确定
沉积物密度	1400kg/m ³	根据表层沉积物调查资料估算
起沙率	15%	根据表层沉积物调查资料估算
产生速率	29.4kg/s	
海缆长度	43.2km	525kV 送出海缆长度为 4×175.3km，穿越航路段长度约 4×10.8km
产生量	19051.2t	

⑤定向钻登陆段水域

本项目登陆点向海一侧 400m 为定向钻穿越，不涉及挖沟埋设，不设置悬浮泥沙源强点位。

(3) 风机桩基施工

桩基施工时产生的悬浮泥沙量采取如下公式进行计算：

$$M = \left(\pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right) \times h \times \rho \times n$$

式中：

M ：悬浮泥沙量，kg；

D ：钢管桩直径，m；

h ：桩基平均入土深度，m；

ρ ：底质干密度，取 1400kg/m³；

n ：起砂率，根据类似风电场工程经验，按 1%计。

施工悬浮泥沙源强按以下公示计算：

$$S = M / (t \times 3600)$$

式中：

S ：悬浮泥沙源强，kg/s；

t ：施工时间，h。

1) 风机桩基沉桩

风机桩基通过液压锤振动下沉，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。本项目 14MW 导管架基础桩直径 3.3m，平均入土深度约为 80m，再悬浮泥沙占挤压泥土的 1%计，泥沙密度取 1400kg/m³，由此计算可得，单桩悬浮泥沙产生量约为 9579.3kg，所有风机产生总量约 8199.9t。施工时间单次按 5h 算，则风机桩基施工源强约为 0.53kg/s。根据类似工程实际施工经验，引

起周围海域悬浮物浓度增加（>10mg/L）范围一般在半径在 100m 内。

2) 辅助定位架沉桩

辅助定位架桩直径 3.6m，平均入土深度约为 20m，再悬浮泥沙占挤压泥土的 1% 计，泥沙密度取 1400kg/m³，由此计算可得，单桩悬浮泥沙产生量约为 2850.1kg，辅助定位架沉桩产生总量约 11.4t。施工时间单次按 5h 算，则辅助定位架沉桩源强为 0.16kg/s。

3) 辅助定位架拆除

辅助定位架拆除施工时产生的悬浮泥沙量采取如下公式进行计算：

$$S=\pi \times D \times d \times h \times \rho / (t \times 3600)$$

式中：S：悬浮泥沙源强，kg/s；

D：桩直径，m；

d：附着泥层厚度，m；

h：平均入土深度，m；

ρ ：底质干密度，取 1400kg/m³；

t：施工时间，h。

辅助定位架桩直径 3.6m，平均入土深度约为 20m，辅助桩壁附着泥层厚度约为 0.015m，附着泥沙密度取 1400kg/m³，由此计算可得，单桩悬浮泥沙产生量约为 4750.1kg，辅助定位架沉桩产生总量约 19.0t。施工时间单次按 5h 算，则辅助定位架拆除源强为 0.26kg/s。

3.2.1.2 废水

(1) 含油污水

工程施工期主要为海上作业，施工期间包括有起重船、工程驳船、拖轮、自升平台船、铺缆船、抛锚艇、交通艇等多种类型的施工船舶集中在工程海域作业，各作业阶段船机配备情况详见 2.3.2 节。

项目分阶段施工，根据《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，经计算，施工期船舶含油污水产生量为 178.8t/d，石油类浓度约为 5000mg/L，则石油类污染物产生量为 894kg/d。

施工期产生的舱底油污水按照海事主管部门对海上施工船舶的要求，统一收集在作业船舶上，待船舶靠岸后交由有资质的单位进行接收处理。

表 3.2-4 船舶含油污水产生量统计表

工程内容	船舶类型	数量(艘)	施工时间(d)	舱底油污水产生量(t/d·艘)	油污水产生量(t/d)	油污水产生总量(t)
风电机组基础施工	2500t 级以上起重船	5	570	0.68	3.4	1938
	15000t 级以上甲板驳船	8		4.2	33.6	19152
	10000t 级以上甲板驳船	8		2.8	22.4	12768
	多功能驳船	5		2.8	14	7980
	8000HP 拖轮	8		0.81	6.48	3693.6
	抛锚艇	8		0.14	1.12	638.4
	补给船	5		0.14	0.7	399
	交通艇	5		0.14	0.7	399
风电机组安装	800t 级以上自升式支腿船	5	540	0.22	1.1	594
	10000t 级以上自航甲板驳	10		2.8	28	15120
	抛锚艇	5		0.14	0.7	378
	8000HP 拖轮	3		0.81	2.43	1312.2
	交通艇	5		0.14	0.7	378
海上换流站及辅助平台、综合服务平台施工	20000t 级以上半潜驳船	1	270	5.6	5.6	1512
	6000HP 以上浮托安装船	1		7.27	7.27	1962.9
	30000t 级以上浮式起重船	1		8.33	8.33	2249.1
	7500t 级以上浮式起重船	1		2.1	2.1	567
	10000t 级以上自航甲板驳	2		2.8	5.6	1512
	15000t 级以上自航甲板驳	1		4.2	4.2	1134
	15000HP 拖轮	2		4.2	8.4	2268
	10000HP 拖轮	2		2.8	5.6	1512
	抛锚艇	4		0.14	0.56	151.2
	交通艇	1		0.14	0.14	37.8
	多功能驳船	1		2.8	2.8	756
集电海缆施工	2000t 敷缆船	3	480	0.54	1.62	777.6
	6000HP 拖轮	3		0.41	1.23	590.4
	抛锚艇	3		0.14	0.42	201.6
	交通艇	3		0.14	0.42	201.6
送出海缆施工	7000t 敷缆船	2	450	1.96	3.92	1764
	多功能驳船	1		2.8	2.8	1260
	抛锚艇	3		0.14	0.42	189
	8000HP 拖轮	2		0.81	1.62	729
	交通艇	3		0.14	0.42	189
合计		120	-	-	178.8	84314.4

(2) 生活污水

项目施工期生活污水主要为海上作业人员产生的生活污水。根据施工期人力资源配置情况，高峰时海上作业施工人员数量可达 1200 人，根据《水运工程环境保护设计规范》(JTS 149-2018)，废水产生量按用水量的 90% 计，海上施工人员生活用水量参照同类项目取 100L/人·d，估算施工高峰期生活污水产生量为 108t/d。

生活污水主要污染因子包括 COD、BOD₅、SS、氨氮，根据施工经验，各污染因子的浓度含量为 COD: 250mg/L，BOD₅: 150mg/L，SS: 350mg/L，氨氮: 40mg/L，

施工期产生的生活污水总量见表 3.2-4，生活污水各主要污染物产生量见表 3.2-5。

表 3.2-5 施工期生活污水产生及处置情况一览表

时间	人数	施工时间	产生量 (m ³)	处置量 (m ³)	排放量 (m ³)
风电机基础施工	400	19 个月	20520	20520	20520
风电机组安装	200	18 个月	9720	9720	9720
海上换流站及辅助平台、综合服务平台施工	100	9 个月	2430	2430	2430
集电海缆施工	300	16 个月	12960	12960	12960
送出海缆施工	200	15 个月	8100	8100	8100
合计			53730	53730	53730

表 3.2-6 施工期生活污水主要污染物产生及处置量表 (t)

污染物名称	COD	BOD ₅	SS	氨氮
高峰期产生量 (kg/d)	27	16.2	37.8	4.32
施工期总产生量 (t)	13.43	8.06	18.81	2.15

(3) 灌浆废水

本项目 14MW 风机导管架基础均采用灌浆连接，单台基础灌浆量为 65m³。本工程导管架钢套筒与钢管桩间灌浆为较为成熟的水下灌浆技术。风机钢管桩基础灌浆量通过精确计算确定，且灌浆过程机械化自动控制，灌浆施工时通过水下摄像头或水下机器人（ROV）监控，一般情况下不会产生泄漏情况。在灌浆臂提起的瞬间可能会产生少量泄漏，施工单位应加强现场管理，确保不产生溢流泄漏，不会对水质造成明显影响。

单台风机基础灌浆后清洗废水量约为 1.5m³，生活辅助平台及 2 座综合服务平台灌浆清洗废水量约为 4.5m³，则本项目灌浆清洗废水总产生量约为 325.5m³。灌浆设备和管理系统清洗废水统一收集在工作船配备的废料桶或废料箱内，灌浆结束后统一回收，交由陆域固废厂家接收处理，不可直接丢弃入海。

3.2.1.3 噪声

项目海上施工噪声主要来自施工船舶航行噪声、海底电缆敷设机械噪声以及风机施工点打桩作业产生的噪声。

(1) 船舶航行噪声

施工时将动用大量的运输船和工作船，作业船只在施工区的频繁行驶将对工程海域产生较大的干扰噪声。船舶通航时噪声包括机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声，其中机械噪声和螺旋桨噪声为主要噪声源。声源特性与船舶通航速度有关，表现为：低速运行时以船舶机械噪声为主，高速运行时以螺旋桨噪声为主。根据厦门大学在厦

门五缘海海域、珠海海域对海洋环境噪声与船舶噪声进行的记录，一般运输船舶噪声的均方根声压级平均值约 125.5dB/re 1 μ Pa，部分航速较快、吨位较大、航行中仍在施工的船舶期峰值声压级可以达到 150dB/re 1 μ Pa 以上。

（2）海底电缆敷设机械噪声

工程海底电缆的埋设由海缆敷设船进行。根据厦门海沧钱屿附近现场调查，由海域进行电缆敷设及船运通过等所造成的水下噪声谱级相比原来的水下环境背景噪声提高约 4~5dB。本工程水下环境背景噪声峰值声压级（ L_{peak} ）为 143.3dB~173.8dB，故本工程海底电缆敷设施工时叠加环境背景噪声后的水下噪声水平在 148.3dB~178.8dB。

（3）打桩噪声

工程海上施工作业对海洋环境有短时明显影响的是施工过程中的冲击打桩。根据打桩锤生产商 IHC Hrdro hammer BV 公司提供的产品资料，IHCS800 液压打桩锤在配备荷兰研究所 TNO/TPD 开发的隔声外壳后 7m 处的噪声级为 85dB（A），噪声源强约为 102dB（A）。风机基础四桩导管架基础施工时，风机打桩源强级 247-251dB。

张然在《海上风电场水下打桩噪声研究》（厦门大学，2019）研究得出较适合我国浅海海上风电场水下打桩噪声声源级估计的经验公式；径在 0~5m 内，拟合结果与实测数据基本吻合，误差小于 Nedwvell 和 Wyatt 的经验公式估算结果。

$$SL=10.22 \times D + 214.4 \quad (3-1)$$

$$SL=228.8 \times D^{0.06802} \quad (3-2)$$

其中，D 为风电场打桩施工的桩径尺寸，m。

本项目桩基直径为 3.3m，根据式（3-1）计算得出 $SL=249.13\text{dB}$ ；根据式（3-1）计算得出 $SL=248.17\text{dB}$ 。

综上，本项目风机基础及平台四桩导管架基础施工时，风机打桩源强级按 251dB 考虑。

3.2.1.4 废气

项目施工期大气污染物主要来自用施工船舶产生的废气，主要污染物为 SO_2 、 NO_x 、CO 等。施工船舶平均功率约为 5000 马力，按 1 马力功需要耗油 150g，则单艘施工船舶每小时耗油量为 750kg/h。燃烧的油料以轻柴油计算， SO_2 、 NO_x 和 CO 的源强如下：

（1）船舶 SO_2 源强

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

式中： G_s — SO_2 排放量，kg； B_0 —燃料量，kg； S_0 —油中硫含量，%； η —脱硫效率，%。

施工船舶使用含硫量小于 0.5% 的优质柴油，本报告以 0.5% 进行计算；船舶无脱硫装置，脱硫效率取 0，则单艘船舶每小时 SO_2 的排放量为： $2 \times 750 \times 0.5\% \times (1-0) = 7.5 \text{ kg/h}$ 。

(2) 船舶 NO_x 源强

燃烧 1t 柴油约产生 12.3kg NO_x ，施工船舶每小时耗油量为 750kg/h，则 NO_x 排放量约为 9.23kg/h。

(3) 船舶 CO 源强

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

式中： G_s —CO 排放量，kg； B_0 —燃料量，kg； q —燃料的燃烧不完全值，取 2%； C —燃料含碳量，85%~90%。

单艘船舶每小时 CO 的排放量为： $2.33 \times 750 \times 2\% \times 90\% = 31.46 \text{ kg/h}$ 。

工程高峰期施工船舶约 120 艘，则施工高峰期船舶 SO_2 、 NO_x 、CO 每小时排放量分别为 900kg/h、1107.6kg/h、3775.2kg/h。

3.2.1.5 固体废物

施工期固体废物主要为施工人员生活垃圾和生产垃圾。

(1) 生活垃圾

施工期高峰时海上作业施工人员数量可达 1200 人，按照每人 1kg/d 的产生量估算，则垃圾产生量约为 1200kg/d。船舶生活垃圾由施工船舶收集后运至陆域，上岸交由船舶污染物接收单位统一处理。

表 3.2-7 施工期生活垃圾产生及处置情况一览表

时间	人数	施工时间	产生量 (t)	处置量 (t)	排放量 (t)
风电机基础施工	400	19 个月	228	228	0
风电机组安装	200	18 个月	108	108	0
海上换流站及辅助平台、综合服务平台施工	100	9 个月	27	27	0
集电海缆施工	300	16 个月	144	144	0
送出海缆施工	200	15 个月	90	90	0
合计			597	597	0

(2) 生产垃圾

本工程海缆铺设作业垃圾主要为扫海清障作业时产生的各类生产垃圾，包括废弃缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物，按每 10kg/km 计算，66kv 海缆路由长度合计

约 516.938km，525kV 海底电缆总长度 701.2km，经估算路由清障作业共产生废弃物约 12.18t，随船携带，待船舶靠岸后外运处理。此外，风机在安装过程中也会有废弃的包装、焊接头等生产垃圾产生，均可由施工单位回收利用。

（3）灌浆作业多余浆料

本项目 14MW 风机导管架基础均采用灌浆连接，风机钢管桩基础灌浆量通过精确计算确定，且灌浆过程机械化自动控制，基本不产生多余浆料固废。

3.2.1.6 施工期污染物排放汇总

施工期污染物排放量见表 3.2-8。

表 3.2-8 施工期主要污染物产生情况一览表

环境要素	污染源	产生量	主要污染物	产生总量	排放/处理方式	处置量	排放量
水环境	船舶舱底油污水	178.8t/d	石油类	84314.4t	收集后交由船舶污染物接收单位统一处理	84314.4t	0
	船舶生活污水	108t/d	COD、BOD ₅ 、SS、氨氮	53730t	满足《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)的前提下收集处理或排放	53730t	53730t
	悬浮泥沙	常规敷埋施工段 海缆铺设	SS	417817.8t	自然排放	/	417817.8t
		近养殖区水域段 海缆铺设		25401.6t		/	25401.6t
		穿越航路水域段 海缆铺设		19051.2t		/	19051.2t
		风机桩基施工		8199.9t		/	8199.9t
		辅助定位架沉桩		11.4t		/	11.4t
		辅助定位架拆除		19.0t		/	19.0t
声环境	船舶航行	150dB (re 1μPa)	噪声	/	自然传播	/	150dB (re 1μPa)
	海缆敷设	148.3dB~178.8dB		/		/	148.3dB~178.8dB
	桩基施打	251dB		/		/	251dB
大气环境	船舶废气	900kg/h	SO ₂	/	采用低含硫燃油，废气自然扩散	/	900kg/h
		1107.6kg/h	NOx	/		/	1107.6kg/h
		3775.2kg/h	CO	/		/	3775.2kg/h
固体废物	海上生活垃圾	1200kg/d	生活垃圾	597t	由施工船舶收集上岸，交由船舶污染物接收单位统一处理	597t	0
	生产垃圾	12.18t	扫海清障垃圾	12.18t	随船携带，待船舶靠岸后外运处理	12.18t	0

3.2.2 运营期污染源强核算

3.2.2.1 噪声排放情况

工程运行期主要噪声源主要是风力发电机组运行噪声、海上换流站变压器产生的噪声。

（1）水上噪声

①风机空气噪声影响

风电机组类噪声可分两类：一类是气动噪声，由涡轮机转子叶片产生，通过空气传入水中，并随着风机转速的增加而增加；一类是机械振动噪声，由风机周围空气运动、机箱内齿轮箱和发电机机械振动产生，随风速增大而增强。参考相关数据，本工程所用风机为 3 个叶片、14MW 风力发电机组，平均风速 8.1m/s，风机电机采用低噪声的直驱永磁同步电机，综合国内外的调查数据，噪声源源强取值 110dB。

②海上换流站的噪声影响

海上换流站噪声选用低噪声变压器，且布置在室内，主变噪声在 65dB 左右。本换流站位于海上，周边无居民等敏感目标，因此换流站变压器产生的噪声对外环境无实质影响。

（2）水下噪声

运行期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。

根据厦门大学实测东海大桥海上风电场风机水下噪声，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。

3.2.2.2 工频电磁场影响

本项目新建 525kV 海上换流站 1 座，由于换流站电气设备均布置在室内，经过建筑物的屏蔽，电气设备室外工频场强值基本与周围环境本底值接近，故换流站对电磁环境影响很小；风电场集电海缆电缆为 66kV 等级，属于 100kV 以下电压等级的豁免范围。集电海缆和 525kV 直流送出海缆，埋设于海底 3.0m 以下，受输电线路保护铠甲屏蔽，沿线环境中电磁场强很小，远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中公众曝露控制限值电场强度 4V/m 和磁感应强度 0.1μT 的评价标准。

3.2.2.3 废水污染物排放情况

运营期废水主要是海上运维检修期间检修工作人员产生的生活污水、船舶含油污水等。

(1) 生活污水

运营期需对风机进行维护和检修时有人员进出。按每次巡检人数 5 人，每月巡检一次，每次 3 天，每年工作天数为 36 天。根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018），巡检人员生活用水量取 100L/人·d，废水产生量按用水量的 90%计，估算运营期船舶生活污水产生量为 0.45t/d（16.2t/a）。生活污水主要污染因子包括 COD、BOD₅、SS、氨氮，根据同类项目经验，各污染因子的浓度含量为 COD：250mg/L，BOD₅：150mg/L，SS：350mg/L，氨氮：40mg/L，生活污水各污染物主要排放量见表 3.2-4。运维船舶生活污水收集在船载生活污水收集装置中，在满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的前提下收集处理或达标排放。

表 3.2-9 运营期生活污水主要污染物产生量表（t/a）

污染物名称	COD	BOD ₅	SS	氨氮
海上生活污水	4.05	2.43	5.67	0.648

(2) 船舶含油污水

项目设备运营期间需定期进行维修和维护，根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018）要求，工作船舱底油污水产生量为 0.14t/d·艘，工作船每月巡查一次，每年工作天数为 36 天，含油污水产生量为 5.04t/a，石油类浓度约为 5000mg/L，石油类污染物产生量为 25.2kg/a。含油污水统一收集至运维船上铅封管理，待船舶靠岸后，根据国家相关法律法规要求，在当地寻找符合资质要求处置单位进行接收处理。

(3) 温排水

本项目取水在海上换流站南侧取水，取中下层海水。冷却后的温排水在换流站北侧甲板下方排水，排入海水表层。根据本项目送出工程可行性研究报告，排水口流量为 4200m³/h，温排水的温升取值为 9℃。

3.2.2.4 废气污染物排放情况

海上风场运营期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。运营期配备一艘运维船，大气污染物主要来自用运维船产生的废气，主要污染物为 SO₂、NO_x、CO 等。运维船功率约为 1000 马力，按 1 马力功需要耗油 150g，则单艘运维船每小时耗油量为 150kg/h。燃烧的油料以轻柴油计算，SO₂、NO_x 和 CO 的源强如下：

（1）船舶 SO₂ 源强

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

式中：G_S—SO₂ 排放量，kg；B₀—燃料量，kg；S₀—油中硫含量，%；η—脱硫效率，%。

船舶使用含硫量小于 0.5% 的优质柴油，本报告以 0.5% 进行计算，船舶不设脱硫装置，所以脱硫效率取 0，计算单艘施工船舶每小时 SO₂ 排放量为 1.50kg/h。

（2）船舶 NO_x 源强

燃烧 1t 柴油约产生 12.3kgNO_x，计算单艘施工船舶每小时 NO_x 排放量为 1.85kg/h。

（3）船舶 CO 源强

$$G_C = 2.33 \cdot B_0 \cdot q \cdot C$$

式中：G_S—CO 排放量，kg；B₀—燃料量，kg；q—燃料的燃烧不完全值，取 2%；C—燃料含碳量，85%~90%，取 90%。

计算单艘施工船舶每小时 CO 排放量为 6.29kg/h：

风电场每月巡检一次，每次 3 天，每年工作天数为 36 天，每天工作时长按 8h 计，则运维船 SO₂、NO_x、CO 年排放量分别为 432kg/a、532.8kg/a、1811.52kg/a。

3.2.2.5 固体废物排放情况

项目运行期固体废物主要是维护人员生活垃圾，风机机组、升压站检修时产生的含油废物以及运维中心的生活生产垃圾。

（1）生活垃圾

运维船产生的生活垃圾，按每次巡检人数 5 人，每月巡检一次，每次 3 天，每年工作天数为 36 天。按照每人 1kg/d 的产生量估算，则巡检人员生活垃圾年产生量为 180kg/a。生活垃圾由运维船收集后运至陆域，上岸交由船舶污染物接收单位统一处理。

（2）危险废物

风电机组设备每年检修一次，定期更换齿轮箱润滑油，风机润滑油 0.6t/台，检修过程中产生残油量取润滑油存量的 1%，为 0.006t/a·台，则 214 台风机总的残油量为 1.284t/a；海上换流站站主变压器每年检修一次，检修过程中将产生残油量约为 5t/a，则运行期风电机组和换流站检修共产生废油 6.284t/a。主变压器等检修过程中产生油渣、油垢、含油棉纱等固废，约为 0.2t/a。运行维护含油废物共计约 6.484t/a。

根据《国家危险废物名录（2025 年版）》，风机维修产生的含油废物属于危险废物，废物类别为 HW08 废矿物油与含矿物油废物，废物代码为 900-214-08。检修结束后，

将含油废物等集中收集含油废物箱中，由船舶运送上岸后一并送交由有资质单位处理。

海上换流站设置两组蓄电池，使用年限约 10 年。每次更换废铅蓄电池产生量约 18t，废铅蓄电池属于危险废物，更换后的废铅蓄电池由厂家回收。

3.2.2.6 运营期污染物排放汇总

运营期污染物排放量见表 3.2-10。

表 3.2-10 运营期主要污染物产生情况一览表

环境要素	污染源	产生量	主要污染物	排放/处理方式	处置量	排放量
水环境	生活污水	16.2t/a	COD、BOD ₅ 、SS、氨氮	满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的前提下收集处理或排放；运维人员生活污水可依托生活辅助平台上的生活污水处理装置	16.2t/a	16.2t/a
	检修船舶含油污水	5.04t/a	石油类	统一收集至运维船上，待船舶靠岸后交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理	5.04t/a	0
	温排水	4200m ³ /h，温升为 9℃	/	自然排放	/	4200m ³ /h
声环境	风机运转	110dB（A）	噪声	自然排放	/	110dB（A）
大气环境	运维船舶废气	432kg/a	SO ₂	采用低含硫燃油，废气自然扩散	/	432kg/a
		532.8kg/a	NO _x		/	532.8kg/a
		1811.52kg/a	CO		/	1811.52kg/a
固体废物	运行维护生活垃圾	60kg/a	—	由运维船收集上岸，交由船舶污染物接收单位统一处理	60kg/a	/
	运行维护含油废物	6.484t/a	检修废油、油渣、油垢、含油棉纱等危废	集中收集含油废物箱中，由船舶运送上岸后一并送交由有资质单位处理	6.484t/a	/
电磁环境	电缆线路	—	工频电磁场	自然排放	/	/

3.3 工程各阶段生态环境影响分析

3.3.1 施工期非污染影响

3.3.1.1 对海洋生态的影响

（1）对潮间带生物、底栖生物的影响

工程海缆施工时，采用专用海缆敷设船拖带埋设犁冲切海床，埋设冲切海床作业将对潮间带生物和底栖生物群落的栖息环境产生不可逆转的破坏作用，造成直接致死损害。另外，冲切海床泥沙堆积在电缆路由两侧，电缆铺设完成后自然回淤，海底泥沙堆积范围内的底栖生物在短期内也将因掩埋受到损害。

（2）对浮游生物、游泳生物的影响

项目施工对浮游生物和游泳生物的影响主要来自两方面：一是施工扰动海床搅起的悬浮沙影响；二是打桩、吊装等作业噪声、灯光污染影响。

从施工悬浮沙影响来看，施工过程产生的悬浮物会引起局部海域水体浑浊，这将降低阳光的透射率，从而导致局部海域内海洋初级生产力下降，浮游生物将受到不同程度的影响，尤其是对进行光合作用的浮游植物和滤食性浮游动物的影响较大。此外，海域水体混浊水质下降，也会对渔业资源造成一定的影响。

从施工噪声影响来看，海上风机、海上换流站及平台基础和上部结构施工会增加作业海域水上、水下噪声，尤其是冲击打桩阶段的高强噪声，会对鱼类生存活动产生影响。目前普遍认为，石首科鱼类因特殊的耳石结构，对声音的敏感性较其他科的鱼种较高，容易受到水下强噪声的影响，因此，海上作业期间会导致游泳生物迁移或受损。

（3）对鸟类的影响

项目施工期间对鸟类的影响主要来自两方面：一方面是施工噪声、光照对鸟类的直接影响，包括海上船舶通航、风机安装时的施工噪声、灯光污染对海面上觅食、迁飞鸟类的影响，以及施工主基地机械活动对风电场施工区及周边的鸟类影响；另一方面是施工悬浮沙导致游泳生物资源量的减小和栖息场所的改变，间接引起的鸟类觅食活动范围的变化。海缆铺设阶段整体未占用鸟类栖息地，除极个别鸟类会在施工船舶活动外，海缆铺设沿线非鸟类的常规觅食地和栖息地，且施工周期较短，整体不会影响鸟类觅食和栖息。

3.3.1.2 对通航环境的影响

施工期间工程海域将集结大量工程船舶，作业船舶一方面是在施工主基地和海上各作业区之间往返通航，一方面是在各作业区驻船或行船作业。

从施工基地至海上作业区之间工程船舶对通航环境的影响来看，施工临时布置区设置在青岛港大湾港务公司码头后方，该区域分布多处航道、锚地，船舶通航交通流密集。

从海上作业区施工船舶对通航环境的影响来看，施工对工程海域通航环境影响主要是对航道和习惯航路过往船舶的影响。工程仅海缆施工时存在短期影响，影响不大。习惯航路过往船舶通航水域具有一定的不确定性，且工程风电场址区施工作业活动规模相对较大，船舶密度大，持续时间长，存在一定的船舶碰撞风险。此外，项目场址区内也可能由于船舶调度问题或突发灾害天气发生作业船舶相互碰撞的潜在风险。

3.3.1.3 对周边海洋开发活动的影响

本项目海上风电场离岸较远，场址位于青岛南部的连青石渔场海域，场址周边 15km 范围无海域权属，送出海缆周边用海项目主要有养殖用海、航道锚地、海洋保护区及旅游娱乐用海等。

施工对周边海域开发活动的影响主要是施工期各类施工船舶对附近通航活动的影响，海缆施工期穿越养殖区和悬沙扩散对养殖区的影响，海缆施工对周边旅游娱乐用海活动和青岛西海岸国家海洋公园及生态保护红线的影响。

3.3.2 运营期非污染影响

3.3.2.1 对海洋水动力环境的影响

本项目风电场建成后，风机导管架下部支撑件及桩基等将形成阻水结构。但由于风机桩基桩径相对于广阔的海域来说相对较小，桩基间距较大，因此工程建设对涨、落潮流场的影响仅集中在桩基周边水域，桩基周围流速可能发生一定变化，但不会对场址周边区域外围海洋水动力产生较大影响。

3.3.2.2 对海底地形地貌和冲淤环境的影响

本项目风机之间间距较大，受基础钢结构阻水影响，潮流经过桩基时将发生绕流现象，桩基周围流场的局部变化可能导致桩基周边局部冲刷和淤积。

3.3.2.3 对海洋生态的影响

（1）对底栖生物的影响

本项目风机基础、海上换流站及辅助平台、综合服务平台桩基永久占用海域，将减少占用海域范围内底栖生物的栖息面积，对其造成一定的不利影响；场内集电海缆和送出海缆挖沟铺设后在海水作用下自然回淤，工程完工后一段时间内海床即可恢复，形成底栖生物新的栖息生境，不会对底栖生物生境造成永久性侵占。

（2）对鸟类的影响

项目建成后，风电场对鸟类的影响将仅局限于风电场和海上换流站所在海域，对于远离该海域的鸟类并没有影响。从国内外风电场对鸟类的影响研究来看，海上风电场对鸟类的影响主要体现在以下几个方面：对鸟类栖息活动和觅食的影响；对鸟类迁徙行为的影响；对鸟类存活的影响；对鸟类繁殖行为的影响。

该海域内没有鸟类繁殖和栖息，因此，不会对鸟类的繁殖和栖息地造成影响，但风电场运行可能会对鸟类在海面上觅食、迁飞行为产生不利影响，风机运行噪声、叶片反射光、警示灯及海上换流站主变电磁场将会使鸟类产生回避效应，影响其个体信息交流，并可能导致其改变迁徙路线，风机建设运行还可能导致飞行鸟类碰撞致死等，这些都会对鸟类栖息活动范围产生一定的负面影响。

（3）对渔业资源的影响

项目运行阶段对渔业资源的影响主要是风电基础和平台构筑物基础占海对鱼类栖息地的侵占，以及机组运行噪声对鱼类活动的影响。

风机和海上换流站及辅助平台、综合服务平台构筑物建设将直接侵占该范围内鱼类生存活动空间，但构筑物建成后，钢结构表面可能逐渐附着小型藻类，形成鱼类新的觅食场所。此外，风电机组运行的低频噪声处在大多数鱼种能够探测的频段范围内，风机运行噪声将使成鱼产生趋避，主动逃离，对鱼类生存活动影响不大。

3.3.2.4 对通航环境的影响

本项目风场水域紧邻青岛至长江口习惯航路，其他航路与本项目距离均在 5km 以上。本项目送出海缆避开了锚地，距离最近的灵山锚地约 1km。

项目建设后对水动力影响较小，海底地形地貌与冲淤环境的影响范围局限在场址周边局部海域，不会对较远距离航路的通航水域条件产生不利影响。另外，风机定期检修维护作业船穿越航道时存在一定的船舶碰撞风险。总体来看，正常海况条件下，

项目建设不会对附近航道、锚地、习惯航路通航环境造成较大影响。

3.3.2.5 对周边海洋开发活动的影响

工程周边用海项目主要有养殖用海、航道锚地、港口用海及电缆管道用海等活动。工程运营期间，往来风电场的维护船舶会对周边航道锚地、港口用海等正常活动产生一定影响。

4 环境现状调查与评价

4.1 区域自然环境概况

4.1.1 气候气象

本次评价收集到千里岩气象站 1988~2017 年气象统计数据。千里岩气象站位于南黄海千里岩岛，海拔 70.5m，距离海岸线约 50km，距离本风电场约 108km。

4.1.1.1 气温

根据千里岩海洋站（121.2300°E，36.1500°N）1988~2017 年实测观测的数据，年平均气温 13.2°C，1 月份气温最低，在 0~5°C 之间，最高气温出现在 7 月，在 22~26°C 之间，春季和秋季气温分别间于夏冬之间。

4.1.1.2 降水

根据千里岩海洋站（121.2300°E，36.1500°N）1988~2017 年实测观测的数据，气象站 1988~2017 年的平均降水量为 566.3mm，累年最大降水量为 1074.6mm，累年最小降水量为 330mm，单日最大降水量为 146.6mm。

4.1.1.3 湿度

根据千里岩海洋站（121.2300°E，36.1500°N）1988~2017 年实测观测的数据，千里岩海洋站 1988~2017 年的年平均相对湿度为 74%，累年最低湿度为 9%。

4.1.1.4 风况

风况数据由放置于风电场附近大型海洋资料浮标观测。该浮标位于本项目风资源观测浮标的东南侧，直线距离约 30 公里，数据观测发送频率为 1 小时一次。对 2022 年

4月1日00时—2024年4月30日23时期间观测资料进行分析。

该站位近三年风速平均值为 6.07m/s，最大风速为 21m/s，最大风速发生时间为 9月20日08时30分。表 4.1-1 统计了近三年各级风速频率，分析可得：该站位常年以 2至5级风(小风、中等强度风)为主，占比为 85.11%；其中 2级风占比为 15.77%，3级风占比为 26.05%，4级风占比为 26.42%，5级风占比为 16.87%。风向多为北风和南风。根据三年风速玫瑰图，该站为多为偏南风、偏北风，其中 290°~67.5°风向占比为 36.0%，120°~202.5°风向占比为 37%。

4.1.2 海洋自然灾害

4.1.2.1 海冰

2022/2023 年冬季，山东海域冰情较常年略偏轻，冰情等级为 2.5 级。浮冰最大面积较常年偏大，冰期较常年略偏短，严重冰期较常年偏短。

表 4.1-2 2022/2023 年山东海域冰期一览表

结冰海域	初冰日	终冰日	冰期(天)	严重冰期(天)
渤海湾南部	2022/12/16	2023/2/14	61	7
莱州湾	2022/12/13	2023/2/14	64	6
胶州湾	2022/12/18	2023/2/6	51	6
鳌山湾	2022/12/18	2023/2/6	51	5

“来源于 2023 年山东省海洋灾害公报”

严重冰期内，山东半岛南部海域海冰主要分布在胶州湾、鳌山湾、丁字河口等海域。浮冰类型以冰皮和尼罗冰为主，一般冰厚约 5 厘米，最大冰厚约 10 厘米。沿岸固定冰冰型以沿岸冰为主，厚度一般为 5~10 厘米，最大厚度 15 厘米，固定冰宽度一般为 100~150 米。

4.1.2.2 风暴潮

场址是北方风暴潮灾较为严重地区。影响该区的风暴潮一是热带气旋，二是温带气旋。分析乳山水文观测站的历史增减水资料，热带气旋引起的最大风暴潮增水值为 0.92m，是由 8509 号台风引起，最大风暴潮减水值为-0.47m，是由 7909 号台风引起。如恰值天文大潮期，潮位很高，风暴潮增水对沿海地区造成危害较为严重。

温带气旋也是工程海区发生较多的天气系统，包括黄海气旋、蒙古气旋、江淮气旋等类型，多发生在 10 月~翌年 4 月。温带气旋多为偏北大风，因此在海区发生较大的减水情况居多，乳山口站最大减水值为-1.16m，发生在 1980 年 10 月 26 日，为该站有水位记录以来最大减水值。温带气旋有时也会出现偏东南大风，产生较大的增水情

况，如 1979 年 1 月 29 日的天气过程，乳山口站增水值为 1.12m，为该站有水位记录以来最大增水值。

4.1.2.3 地震

自公元前 70 年至 2019 年 6 月，区域范围内共记录到 $M \geq 4.7$ 级地震 38 次，其中 4.7-4.9 级地震 13 次，5-5.9 级地震 16 次，6-6.9 级地震 5 次，7-7.9 级地震 3 次，8-8.9 级地震 145 次，即 1668 年 7 月 25 日郯城 8%2 级地震，最早记录到的地震是公元前 70 年山东安丘 7 级地震。分析认为，地震活动具有空间分布的不均匀性，但中、强地震特别是 6 级及其以上地震受活动断裂带的控制，沿活动断裂呈带状分布，活动断裂交汇处是地震多发处。区域内地震主要受沂沭断裂带的控制，渤海-安丘-郯城一线的北东向地带，这里包括了区域范围内的绝大多数 $M \geq 7$ 级地震和部分中强地震，也是小震密集分布的条带，构成郯庐地震带的主要地震活动段，历史上发生过公元前 70 年安丘 7 级地震、1668 年郯城 8%2 级地震以及 1548 年渤海 7 级地震、1969 年渤海 7.4 级地震等。

自 1970 年到 2019 年 6 月，区域范围内有地震台网观测到的 $2.0 \leq ML \leq 5.0$ 级地震 3640 次，其中 2.0-2.9 级地震 2974 次，3.0-3.9 级地震 609 次，4.0-4.9 级地震 57 次。分析认为，区域现代地震的空间分布主要表现为三个特征：一是现代地震也具有带状分布特征；二是区域内的主要活动断裂大多具有分段性，在活动性较强段，小震活动频次明显高于活动性较弱段，小震分布的分段性表明了断裂构造的活动也具有分段活动的性质；三是区域内小震分布除密集分布在条带上以外，在个别地点也存在小规模局部集中分布现象。

“国家电投山东半岛南海上风电基地 U 场址项目”位于本工程北侧，参考《国家电投山东半岛南海上风电基地 U 场址 900MW 项目工程场地地震安全性评价报告》成果，U 场址场地东南侧 III 类场地地震动峰值加速度为 0.15g，III 类场地地震动反应谱特征周期为 0.65s。

根据现有资料分析，风电场所在区域地质构造复杂，断裂构造发育，场址 5km 范围内无活断层通过。参考邻近工程地震安评成果，工程区 II 类场地地震动峰值加速度 $0.09g \leq a_{maxII} < 0.19g$ ，根据《海上风力发电场勘测标准》(GB51395-2019)附录 F，初步判定拟建海上风电场场址区域构造稳定性较好。

4.2 海洋资源和海域开发利用概况

4.2.1 海洋资源概况

4.2.1.1 港口资源

青岛港现有生产性泊位 123 个，其中万吨级以上泊位 97 个，10 万吨级以上泊位 30 个。设计年通过能力 3.82 亿吨，其中集装箱通过能力 1156 万 TEU。泊位共配备岸边装卸设备 344 台，其中门座起重机 138 台，集装箱桥吊 97 台，输油臂/输料臂 91 台，专用装船机 3 台，专用卸船机 7 台，邮轮登船桥 2 台，轮渡人行桥 2 台、车行桥 4 台。

（1）老港区

生产性泊位 29 个，其中万吨级以上泊位 19 个，设计年通过能力 1447 万吨。其中，邮轮泊位 1 个，可靠泊 15 万总吨邮轮(码头水工结构和长度可满足 22.5 万总吨级邮轮靠泊)；通用散货、件杂货泊位 23 个，集装箱泊位 2 个，粮食泊位 1 个，成品油泊位 2 个。泊位共配备门机 30 台，最大负载 45 吨；邮轮登船桥 2 台。

（2）前湾港区

生产性泊位 42 个，其中万吨级以上泊位 41 个，设计年通过能力 15183 万吨。其中，集装箱泊位 24 个，最大靠泊能力 20 万吨；煤炭泊位 2 个，最大设计靠泊能力 5 万吨(减载靠泊能力 10 万吨)；矿石泊位 2 个，最大设计靠泊能力 20 万吨(减载靠泊能力 25 万吨)；通用散货、件杂货泊位 11 个，冷冻品泊位 1 个，多用途泊位 2 个。泊位共配备门机 43 台，最大负载 40 吨；集装箱桥吊 91 台，最大负载 80 吨；装船机 2 台，最大装船效率 4500 吨/小时；卸船机 3 台，最大卸船效率 2500 吨/小时。

（3）黄岛港区

生产性泊位 18 个，其中万吨级以上泊位 11 个，设计年通过能力 7354 万吨。其中，原油、成品油泊位 8 个，最大设计靠泊能力 30 万吨；液体化工泊位 9 个，最大设计靠泊能力 8.5 万吨；件杂货泊位 1 个。泊位共配备输油臂 55 台，最大输送管径 500 毫米。

（4）董家口港区

生产性泊位 26 个，均为万吨级以上泊位，设计年通过能力 14081 万吨。其中，矿石泊位 3 个，最大设计靠泊能力 30 万吨(水工结构按靠泊 40 万吨散货船设计建设)；原油、成品油泊位 4 个，最大设计靠泊能力为 30 吨级(水工结构按靠泊 45 万吨油船设计建设)；通用散货泊位 12 个，最大设计靠泊能力 12 万吨；多用途泊位 2 个，液体化工泊位 4 个；液化天然气泊位 1 个，设计靠泊能力 15 万吨。泊位共配备门机 63 台，最大

负载 45 吨；集装箱桥吊 6 台，最大负载 65 吨；输油臂 19 台，输料臂 17 台，最大输送管径 500 毫米；装船机 1 台，装船效率 7500 吨/小时；卸船机 4 台，卸船效率 3500 吨/小时。

（5）鳌山湾港区

生产性泊位 3 个，设计年通过能力 90 万吨，目前正在改扩建。

（6）港点

大湾港点生产性泊位 2 个，配备门机 2 台，设计年通过能力 47 万吨。轮渡港点生产性泊位 3 个，配备人行桥 2 台、车行桥 4 台，设计年通过能力 1370 万人，滚装汽车 126 万辆。

4.2.1.2 海洋渔业资源

青岛西海岸新区海岸线长约 282 千米，海域面积 5000 平方千米，滩涂面积 83 平方千米，海洋渔业资源丰富。

海域滩涂生长栖息着动物 260 余种，植物 28 种。其中资源量大分布广的有带鱼、鲈鱼、鲑鱼、鳓鱼、银鲳、真鲷、黑鲷、黄鲫、河豚、小黄鱼、黄姑鱼、白姑鱼、海鳗、马面鲀、玉筋鱼、牙鲆、高眼蝶、舌鳎、斑、星鳗、缙鱼、梭鱼、鲐鱼、短鳍红娘鱼、宽纹虎鲨、团扇瑶、孔瑶、扁颌针鱼、多鳞、海马、鳎鱼、燕鰾、蛰鱼、星蝶、木叶蝶、油蝶、双髻鲨、银鱼、绵鲂、许氏平鲉、六线鱼、海龙、中国对虾、毛虾、鹰爪虾、三疣梭子蟹、日本鲟、乌贼、章鱼、鱿鱼、海参、海胆、海蜇、海带、裙带菜、石花菜、石莼等。

2022 年，全区实现水产品总产值 86.9 亿元，增长 9.1%。完成水产品总产量 35.06 万吨。其中，捕捞产量 6.27 万吨；养殖产量 28.78 万吨。海水养殖产量 28.51 万吨，占水产品总产量的 81.33%。海、淡水养殖面积 1.29 万公顷，增长 0.16%。以竹蛏、褶牡蛎、刺参、皱纹盘鲍、日本对虾、三疣梭子蟹、菲律宾蛤仔等产品而闻名，发展海洋渔业优势明显。

4.2.1.3 旅游资源

青岛西海岸新区旅游资源丰富多样，被世界旅游组织公认为“中国北方最具开发潜力的旅游度假地之一”。在 282 千米的海岸线上，沿海分布“亚洲第一滩”——金沙滩、北方“海上西湖”——唐岛湾公园、金沙滩姊妹滩——银沙滩、“天下第一古台”——琅琊台、“海上画屏”——灵山岛等众多景区景点，以及前湾、海西湾、灵山湾、

龙湾等 23 处港湾和斋堂岛、竹岔岛、沐官岛等 21 座岛屿，形成蓝色海洋旅游产业带。截至 2019 年底，西海岸新区有 A 级景区 20 家，其中 AAAA 级景区 9 家，AAA 级景区 5 家，AA 级景区 6 家。

4.2.1.4 岛礁资源

西海岸新区海域沿海有大小岛屿分布有多处，其中有居民的 4 处，主要包括竹岔岛、灵山岛、斋堂岛和沐官岛。无居民岛 38 处，主要分布有脱岛、大石岛、小石岛、象外岛、象里岛、象垠子、老泉石、小牙岛、洋礁岛、鸭岛、三尖岛、大连岛等。

距离本项目最近的海岛为星光岛、唐岛和牛岛。其中牛岛和唐岛位于唐岛湾，为无居民海岛；星光岛位于灵山湾，为人工有居民海岛，其岸线类型为人工岸线。

4.2.1.5 海岸线和滩涂资源

4.2.1.5.1 岸线资源

根据《青岛西海岸新区养殖水域滩涂规划（2017-2030 年）》，西海岸新区海岸线长 282km，本项目送出海缆登陆点位于风河口北侧沙滩，周边岸线类型为“其他岸线”中的“生态恢复岸线”，本项目海缆登陆点处采用定向钻的形式穿越海岸线，穿越岸线长度为 32.9 米。

4.2.1.5.2 滩涂资源

根据《青岛西海岸新区养殖水域滩涂规划（2017-2030 年）》，西海岸新区滩涂面积 83 平方公里。养殖水域滩涂资源广阔，水质优良，渔业资源丰富。

西海岸新区位于山东半岛胶州湾南口西海岸，海域北起洋河与胶州交界，南至甜水河与日照交界，面积约 5000 平方公里。以凤凰岛脚子石为界，西海岸新区管辖海域分为胶州湾内海域和胶州湾外黄海海域两部分。

胶州湾内红石崖以北，由于洋河胶莱河的泥沙冲淤为粉砂淤泥质海岸，红石崖至黄岛属于基岩海岸，黄岛至脚子石海岸为典型的岬角海湾相间海岸。北部洋河口附近由于潮间带较宽，水深较小；黄岛附近及以南海域水深较大，胶州湾口附近最深处达 67 米。

胶州湾外黄海海域，海岸线从薛家岛向南到甜水河口与日照的海域行政界线，除少许湾底的海岸为淤泥质外，其他基本为基岩海岸和砂质海岸。此海域为南黄海海域的一部分，海域开阔，水深较大，10 米等深线一般在湾口和岬角附近，20 米等深线离岸一般在 10 千米以内，最远不超过 20 千米，岸边水深坡度较大，离岸比较平缓。

4.2.1.6 登陆点周边河道情况

距离本项目登陆海缆最近的河流为风河，位于登陆点南侧，其河长 35 公里，河宽平均 60 米，流域面积 303 平方公里。河道特点一是弯多，干流自上而下有大小弯道 19 处，平均 1.4 公里 1 弯；二是支流较多，共有大小支流 24 条。这些支流均源短流急，汛期难以安全行洪；遇有潮水顶托，更易出现灾情。该河属常流河，是胶南县城工业及民用主要水源。

4.2.1.7 周边电网现状

青岛西海岸新区电网现有 500 千伏电站 2 座，主变 3 台，容量 2500MVA(琅琊 2×750MVA，观龙 1×1000MVA)。

2025 年规划观龙扩建第二台 1×1000MVA 主变；2026 年规划琅琊扩建第三台 1×1000MVA 主变；2028 年规划新建 500 千伏寨里变(1×1000MVA)。

4.2.2 海域开发利用概况

工程区及附近海域的海洋开发活动主要有港口航道、渔业用海、旅游娱乐用海、海底光缆、保护区等，其中以渔业用海为主。

4.2.2.1 航道、锚地

本项目送出海缆穿越青岛港-日照港（近）、青岛港-上海、长江口两条航道，青岛港主航路位于项目北侧约 13.7km。灵山锚地位于项目南侧约 1.2km，青岛港前海三号锚地、青岛港前海二号锚地位于项目南侧，分别距离本项目约 11.5km、11.6km。

4.2.2.2 海底光缆

本项目送出工程东北侧海域有 4 条海底光缆，分别为东亚环球光缆(EAC1)项目、跨太平洋直达光缆青岛段(SIN,s2)，距离本项目送出工程大于 20km。

国际光缆与本项目送出工程领海内海缆无交越，与领海外的海缆有交越。

4.2.2.3 养殖用海

本项目送出工程周边海域养殖活动用海类型主要是开放式养殖和人工鱼礁用海。

4.2.2.4 生态保护红线和保护区

本项目送出工程登陆段距离“青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线”约 520m；距离“西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线”最近

约 115m；距离“黄岛区海岸防护物理防护极重要区生态保护红线”约 1.1km；距离“西海岸灵山岛特别保护海岛生态保护红线”约 7.1km。

4.2.2.5 旅游娱乐用海

本项目周边分布有青岛皮划赛艇训练基地、城市阳台海水浴场项目、青岛国际游艇会展中心项目、青岛西海岸海洋梦世界项目、青岛西海岸海洋生态乐园项目、青岛西海岸海洋游乐城项目等用海活动。

4.3 海洋水文动力环境现状调查与评价

4.3.1 调查概况

4.3.1.1 调查时间

大潮期海流观测时间：2025 年 4 月 25 日 6 时起，4 月 26 日 7 时结束，时间间隔为 10min；小潮期海流观测时间：2024 年 9 月 9 日 8 时起，9 月 10 日 9 时结束，时间间隔为 10min。调查单位为自然资源部北海预报减灾中心。

潮位观测时间：2025 年 4 月 10 日 00 时~2025 年 5 月 9 日 23 时，2024 年 8 月 24 日 00 时~2024 年 9 月 23 日 23 时，时间间隔为 1 小时。潮位数据来源：自然资源部北海预报减灾中心。

4.3.1.2 调查站位

本次调查共设 8 个水文测验站（A~H），1 个潮位站站（I）。

4.3.2 海流特征

4.3.2.1 大潮期

4.3.2.1.1 海流流向频率

根据大潮期各站、各层海流实测资料，对各站流向频率进行统计，可以看出：A 站与 B 站表层 ENE 与 WSW 方向频率稍高。其余各站位流向 SE 方向与 NW 方向频率稍高，方向分布较为均匀。

4.3.2.1.2 海流流速频率

根据大潮期各站、各层海流实测资料，对各站流速频率进行统计。由表中可以看出：大潮期间，A 站表层流速集中在 11~60cm/s，中层流速集中在 11~60cm/s，底层流速集中在 11~50cm/s；B 站表层流速集中在 11~60cm/s，中层流速集中在 21~60cm/s，底层流速集中在 21~50cm/s；C 站表层流速集中在 11~50cm/s，中层流速集中在 11~50cm/s，底层流速集中在 11~50cm/s；D 站表层流速集中在 11~50cm/s，中层流速集中在 11~50cm/s，底层流速集中在 11~40cm/s；E 站表层流速集中在 11~50cm/s，中层流速集中在 11~50cm/s，底层流速集中在 11~40cm/s；F 站表层流速集中在 11~60cm/s，中层流速集中在 11~50cm/s，底层流速集中在 11~40cm/s；G 站表层流速集中在 11~60cm/s，中层流速集中在 11~50cm/s，底层流速集中在 0~30cm/s；H 站表层流速集中在 11~50cm/s，中层

流速集中在 11~50cm/s，底层流速集中在 11~40cm/s。

4.3.2.1.3 大潮期涨、落潮流速和历时

4.3.2.1.3.1 平均流速与最大流速

对大潮期各站、各层的海流资料进行统计，得到平均流速、最大流速及其对应流向以及涨潮落潮所经历的时间。

A 站各层平均涨潮流速在 32.3~37.9cm/s 之间；平均落潮流速在 31.5~46.2cm/s 之间。最大涨潮流速为 63.7cm/s，出现在表层，对应流向 242°；最大落潮流速为 70.7cm/s，出现在表层，对应流向为 69.3°。

B 站各层平均涨潮流速在 30.3~38.2cm/s 之间；平均落潮流速在 29.9~39.9cm/s 之间。最大涨潮流速为 60.1cm/s，出现在中层，对应流向 274.6°；最大落潮流速为 62.7cm/s，出现在表层，对应流向为 58.6°。

C 站各层平均涨潮流速在 31cm/s 到 35.2cm/s 之间平均落潮流速在 26.3cm/s 到 37.4cm/s 之间。最大涨潮流速为 56.0cm/s，出现在中层，对应流向 304.8°；最大落潮流速为 58.4cm/s，出现在表层，对应流向 137.7°。

D 站各层平均涨潮流速在 27.8cm/s 到 30.2cm/s 之间，平均落潮流速在 26.3cm/s 到 37.4cm/s 之间。最大涨潮流速为 54.9cm/s，出现在表层，对应流向 306.7°；最大落潮流速为 58.5cm/s，出现在表层，对应流向 113.9°。

E 站各层平均涨潮流速在 28.0cm/s 到 35.0cm/s 之间，平均落潮流速在 26.2cm/s 到 36.2cm/s 之间。最大涨潮流速为 55.4cm/s，出现在中层，对应流向 314.3°；最大落潮流速为 58.7cm/s，出现在表层，对应流向 115.5°。

F 站各层平均涨潮流速在 22.0cm/s 到 35.6cm/s 之间，平均落潮流速在 21.4cm/s 到 37.2cm/s 之间。最大涨潮流速为 55.1cm/s，出现在表层，对应流向 313.6°；最大落潮流速为 59.5cm/s，出现在表层，对应流向 119.3°。

G 站各层平均涨潮流速在 20.1cm/s 到 30.1cm/s 之间，平均落潮流速在 16.1cm/s 到 33.7cm/s 之间。最大涨潮流速为 57.4cm/s，出现在表层，对应流向 322.7°；最大落潮流速为 64.5cm/s，出现在表层，对应流向 116.6°。

H 站各层平均涨潮流速在 30.2cm/s 到 30.6cm/s 之间，平均落潮流速在 22.9cm/s 到 35.5cm/s 之间。最大涨潮流速为 55.5cm/s，出现在表层，对应流向 321.1°；最大落潮流速为 60.6cm/s，出现在表层，对应流向 139.3°。

4.3.2.1.3.2 涨落潮流历时

A 站涨潮流历时 6h40min, 落潮流历时 6h30min; B 站涨潮流历时 5h45min, 落潮流历时 6h10min; C 站涨潮流历时 5h30min, 落潮流历时 6h40min; D 站涨潮流历时 6h25min, 落潮流历时 6h00min; E 站涨潮流历时 6h05min, 落潮流历时 7h10min; F 站涨潮流历时 6h40min, 落潮流历时 5h50min; G 站涨潮流历时 6h20min, 落潮流历时 6h40min; H 站涨潮流历时 6h25min, 落潮流历时 6h30min。

4.3.2.1.4 潮流的调和分析

4.3.2.1.4.1 潮流的性质

同潮汐性质分类一样, 通常以主要分潮流最大流速的比值作为潮流类型划分的依据, 其标准是:

$$0 < \frac{W_{K_1} + W_{Q_1}}{W_{M_2}} \leq 0.5 \quad \text{为正规半日潮流}$$

$$0.5 < \frac{W_{K_1} + W_{Q_1}}{W_{M_2}} \leq 2 \quad \text{为不正规半日潮流}$$

$$2 < \frac{W_{K_1} + W_{Q_1}}{W_{M_2}} \leq 4 \quad \text{为不正规日潮流}$$

$$4 < \frac{W_{K_1} + W_{Q_1}}{W_{M_2}} \quad \text{为正规日潮流}$$

其中, W_{M_2} 、 W_{K_1} 、 W_{Q_1} 分别为主太阴半日分潮流、太阴太阳赤纬日分潮流和主太阴日分潮流的椭圆长半轴。

利用上述判别标准, 根据对观测到的各站各层海流资料进行调和计算的结果, 算得各站的比值。可以看出, A 站底层、B 站中层、C 站中层、F 站表层、H 站中层、底层为表现为正规半日潮流, 其余均表现为不正规半日潮流。

4.3.2.1.4.2 潮流的运动形式

潮流的运动形式通常分为旋转流和往复流, 与潮流椭圆的椭圆率 K 值的大小有关。 K 的绝对值通常在 0~1 之间, K 值越大, 旋转流形式越显著, K 值越小, 往复流形式越显著, 一般认为, K 的绝对值大于 0.25 时, 潮流开始表现为较强的旋转性, K 的绝对值小于 0.25 时, 潮流表现为较强的往复性。

根据调和结果，大潮期各站位潮流均以 M2 分潮流为主。A 站表层、底层，D 站表层、H 站表层倾向为往复流，其余均倾向于旋转流。

4.3.2.1.5 大潮期潮流最大流速与最大位移

场区潮流表现为正规半日潮流/不正规半日潮流。潮流的可能最大流速 \bar{v}_{\max} 按下列公式计算：

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

上式中： \bar{W}_{M_2} 、 \bar{W}_{S_2} 、 \bar{W}_{K_1} 、 \bar{W}_{O_1} 、 \bar{W}_{M_4} 、 \bar{W}_{MS_4} 分别表示 M₂、S₂、O₁、K₁、M₄、M_{S4} 分潮流的最大流速。

按规则半日潮流海区的公式计算，计算结果列入表 4.3-7。由表可以看出，所有站点中，A 站可能最大流速最大，为表层的 123cm/s；在场区站位（C、D、E、F、G、H）中，G、H 两个站位的可能最大流速最大，表层可达到 116cm/s。

4.3.2.1.6 余流性质

通过对潮流数据进行调和结果，得到各站大潮期余流，见表 4.3-8。余流结果：A 站余流值在 2.7~4.5cm/s 之间，中层流速最大，对应流向为 345°；B 站余流值在 4.7~12.1cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 57°；C 站余流值在 3.1~5.9cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 86°；D 站余流值在 1.6~5.1cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 120°；E 站余流值在 2.7~10.1cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 93°；F 站余流值在 1.8~5.7cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 73°；G 站余流值在 2.3~3.0cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 89°；H 站余流值在 2.8~3.6cm/s 之间，底层流速最大，对应流向为 309°。

综合来看，各站表层余流流速在 2.8~12.1cm/s 之间，各站余流流向均偏东向；各站中层余流流速在 1.8~4.7cm/s 之间，A 站、B 站流向偏东向，C 站、F 站、G 站、H 站流向偏南向，D 站偏西向、E 站偏北向；各站底层余流流速在 1.6~4.3cm/s 之间，A 站、B 站、E 站、F 站流向偏东、C 站、D 站、H 站流向偏南向，G 站流向偏北向。

4.3.2.2 小潮期

4.3.2.2.1 海流流向频率

根据小潮期各站、各层海流实测资料，对各站流向频率进行统计。可以看出：各站位各层流向分布均匀，流动性质接近旋转流。

4.3.2.2.2 海流流速频率

根据小潮期各站、各层海流实测资料，对各站流速频率进行统计。可以看出：小潮期间 C 站表层流速集中在 11~40cm/s，中层流速集中在 11~40cm/s，底层流速集中在 11~30cm/s；D 站表层流速集中在 11~30cm/s，中层流速集中在 11~30cm/s，中层流速集中在 21~40cm/s，底层流速集中在 11~30cm/s；E 站表层流速集中在 0~20cm/s，中层流速集中在 11~40cm/s，底层流速集中在 11~30cm/s，F 站表层流速集中在 11~40cm/s，中层流速集中在 11~40cm/s，底层流速集中在 11~30cm/s；G 站表层流速集中在 11~40cm/s，中层流速集中在 11~40cm/s，底层流速集中在 11~30cm/s，H 站表层流速集中在 11~30cm/s，中层流速集中在 11~40cm/s，底层流速集中在 11~40cm/s。

4.3.2.2.3 小潮期涨、落潮流速和历时

4.3.2.2.3.1 平均流速与最大流速

对小潮期各站、各层的海流资料进行统计，得到平均流速、最大流速及其对应流向以及涨潮落潮所经历的时间，统计结果见表 4.3-11。

C 站各层平均涨潮流速在 21.6~29.3cm/s 之间；平均落潮流速在 15.6~26.8cm/s 之间。最大涨潮流速为 42.1cm/s，出现在表层，对应流向 332.4°；最大落潮流速为 38.9cm/s，出现在中层，对应流向为 2.5°。

D 站各层平均涨潮流速在 25.2~34.1cm/s 之间；平均落潮流速在 13.4~15cm/s 之间。最大涨潮流速为 51.0cm/s，出现在表层，对应流向 334.9°；最大落潮流速为 38.4cm/s，出现在中层，对应流向为 226.1°。

E 站各层平均涨潮流速在 12.6~30.7cm/s 之间；平均落潮流速在 19.7~24cm/s 之间。最大涨潮流速为 38.4cm/s，出现在中层，对应流向 338.5°；最大落潮流速为 41.8cm/s，出现在中层，对应流向为 347.7°。

F 站各层平均涨潮流速在 24.8~30.6cm/s 之间；平均落潮流速在 18.8~28.7cm/s 之间。最大涨潮流速为 51.5cm/s，出现在中层，对应流向 285.0°；最大落潮流速为 46.7cm/s，出现在表层，对应流向为 92.5°。

G 站各层平均涨潮流速在 21.1~36.2cm/s 之间；平均落潮流速在 14.7~19.3cm/s 之间。最大涨潮流速为 52.2cm/s，出现在表层，对应流向 337.5°；最大落潮流速为 37.4cm/s，出现在中层，对应流向为 242.1°。

H 站各层平均涨潮流速在 16.9~27.1cm/s 之间；平均落潮流速在 16.2~21.2cm/s 之间。最大涨潮流速为 38.4cm/s，出现在底层，对应流向 355.1°；最大落潮流速为

30.4cm/s，出现在底层，对应流向为 160.6°。

4.3.2.2.4 涨落潮流历时

C 站涨潮流历时 7h00min，落潮流历时 6h00min；D 站涨潮流历时 7h00min，落潮流历时 6h40min；E 站涨潮流历时 7h10min，落潮流历时 7h50min；F 站涨潮流历时 6h30min，落潮流历时 6h10min；G 站涨潮流历时 7h00min，落潮流历时 5h30min；H 站涨潮流历时 7h40min，落潮流历时 5h20min。

4.3.2.2.5 潮流的调和分析

4.3.2.2.5.1 潮流的性质

同潮汐性质分类一样，通常以主要分潮流最大流速的比值作为潮流类型划分的依据，其标准是：

$$0 < \frac{W_{K_1} + W_{Q_1}}{W_{M_2}} \leq 0.5 \text{ 为正规半日潮流}$$

$$0.5 < \frac{W_{K_1} + W_{Q_1}}{W_{M_2}} \leq 2 \text{ 为不正规半日潮流}$$

$$2 < \frac{W_{K_1} + W_{Q_1}}{W_{M_2}} \leq 4 \text{ 为不正规日潮流}$$

$$4 < \frac{W_{K_1} + W_{Q_1}}{W_{M_2}} \text{ 为正规日潮流}$$

其中， W_{M_2} 、 W_{K_1} 、 W_{Q_1} 分别为主太阴半日分潮流、太阴太阳赤纬日分潮流和主太阴日分潮流的椭圆长半轴。

利用上述判别标准，根据对观测到的各站各层海流资料进行调和计算的结果，算得各站的比值。由表 4.3-12 可以看出，C 表层、中层为不正规半日潮，D 站各层为不正规半日潮；E 站表层、中层为不正规半日潮，底层为正规半日潮；F 站表层、底层为正规半日潮，中层为不正规半日潮；G 站表层、中层为不正规半日潮，底层为正规半日潮；H 各层为不正规半日潮。

4.3.2.2.6 潮流的运动形式

潮流的运动形式通常分为旋转流和往复流，与潮流椭圆的椭圆率 K 的绝对值大小有关。 K 值通常在 0~1 之间， K 值越大，旋转流形式越显著， K 值越小，往复流形式越

显著，一般认为，当 K 的绝对值大于 0.25 时，潮流开始表现为较强的旋转性， K 的绝对值小于 0.25 时，潮流表现为较强的往复性。

根据调和和分析结果，小潮期各站位潮流均以 M_2 分潮流为主。各站各层的潮流运动形式均以旋转流为主。D 站表层，E 站中层，F 站底层，潮流运动形式接近较为明显的旋转流。

4.3.2.2.6.1 潮流最大可能流速与最大位移

场区潮流表现为正规半日潮流/不正规半日潮流。潮流的可能最大流速 \bar{v}_{\max} 按下列公式计算：

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

上式中： \bar{W}_{M_2} 、 \bar{W}_{S_2} 、 \bar{W}_{K_1} 、 \bar{W}_{O_1} 、 \bar{W}_{M_4} 、 \bar{W}_{MS_4} 分别表示 M_2 、 S_2 、 O_1 、 K_1 、 M_4 、 MS_4 分潮流的最大流速。

按规则半日潮流海区的公式计算。可以看出，所有站点中，H 站中层流速最大，为中层的 99.9cm/s；C 站底层流速最小，为 57.3cm/s。

4.3.2.2.6.2 潮流水质点最大可能运移距离

场区潮流表现为正规半日潮流/不正规半日潮流。潮流水质点的可能最大运移距离 \bar{L}_{\max} 按下面公式计算：

$$\bar{L}_{\max} = 184.3\bar{W}_{M_2} + 171.2\bar{W}_{S_2} + 274.3\bar{W}_{K_1} + 295.9\bar{W}_{O_1} + 71.2\bar{W}_{M_4} + 69.9\bar{W}_{MS_4}$$

上式中： \bar{W}_{M_2} 、 \bar{W}_{S_2} 、 \bar{W}_{K_1} 、 \bar{W}_{O_1} 、 \bar{W}_{M_4} 、 \bar{W}_{MS_4} 分别表示 M_2 、 S_2 、 O_1 、 K_1 、 M_4 、 MS_4 分潮流的最大流速。按规则半日潮流海区的公式计算。

4.3.2.2.7 余流的性质

通过对潮流数据进行调和和分析，得到各站小潮期余流，见表 4.3-16。余流结果：C 站余流值在 3.0~7.2cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 291°；D 站余流值在 6.0~10.8cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 313°；E 站余流值在 1.4~10.6cm/s 之间，中层流速最大，对应流向为 335°；F 站余流值在 1.2~12.1cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 82°；G 站余流值在 3.0~13.1cm/s 之间，中层流速最大，对应流向为 258°；H 站余流值在 4.2~7.5cm/s 之间，表层流速最大，对应流向为 168°。

各站位表层流速在 1.7~12.1cm/s 之间，C 站、D 站、G 站余流偏南向，E 站、F 站余流偏北向，H 站余流偏西向；中层余流流速在 2.5~13.1cm/s 之间，C 站 E 站 F 站余流

偏东向，D 站余流偏南向，G 站余流偏北向，H 站余流偏西向；底层余流流速在 1.2~6.1cm 之间，C 站余流偏北向，D 站、G 站、H 站余流偏西向，E 站余流偏东向，F 站余流偏南向。

4.3.3 潮位特征

4.3.3.1 大潮期

4.3.3.1.1 潮汐调和分析

对 2025 年 4 月 10 日至 2025 年 5 月 9 日一个月的潮位数据进行分析，得到主要潮汐分量与调和常数。

4.3.3.1.2 潮汐类型分析

通常根据主要日（ K_1 和 O_1 分潮）的振幅之和对主要半日分潮（ M_2 ）振幅之比的大小，将潮汐分为 4 种类型，即

$$\text{规则半日潮: } \frac{H_{K_1}+H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 0.5$$

$$\text{不规则半日潮: } 0.5 < \frac{H_{K_1}+H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 2$$

$$\text{不规则日潮: } 2 < \frac{H_{K_1}+H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 4$$

$$\text{规则日潮: } 4 < \frac{H_{K_1}+H_{O_1}}{H_{M_2}}$$

$$F=(K_1 + O_1)/M_2=(0.3711+ 0.2782)/1.3879=0.47$$

F 值小于 0.5，该站潮汐类型为正规半日潮。因接近 0.5，也呈现一定程度的不规则半日潮特征。

4.3.3.2 小潮期

4.3.3.2.1 潮汐调和分析

对 2024 年 8 月 24 日至 2024 年 9 月 23 日一个月的潮位数据进行分析，得到主要潮汐分量与调和常数。

4.3.3.2.2 潮汐类型分析

通常根据主要日（ K_1 和 O_1 分潮）的振幅之和对主要半日分潮（ M_2 ）振幅之比的大小，将潮汐分为 4 种类型，即

$$\text{规则半日潮: } \frac{H_{K_1}+H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 0.5$$

$$\text{不规则半日潮: } 0.5 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 2$$

$$\text{不规则日潮: } 2 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}} \leq 4$$

$$\text{规则日潮: } 4 < \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}$$

形态数 F 的计算如下:

$$F = (K_1 + O_1) / M_2 = (0.3810 + 0.2863) / 1.3952 = 0.48$$

F 值小于 0.5, 该站潮汐类型为正规半日潮。因接近 0.5, 也呈现一定程度的不规则半日潮特征。

4.3.4 温盐特征

4.3.4.1 大潮期

对大潮期（2025 年 4 月 25 日 06 时—2025 年 4 月 25 日 07 时）的气象及表层水温、盐度观测数据分析结果:

(1) 大潮期风速平均值为 5.4m/s, 最大风速为 7.9m/s, 最大风速发生时间为 25 日 19 时 10 分, 风向范围在 180°-200°之间, 多为南风、西南风。风速强度在 2-4 级, 其中 2-4m/s 风占比分别为 20.3%, 4-6m/s 风占比分别为 40.5%, 6-8m/s 风占比分别为 37.8%;

(2) 气温平均值为 12.93℃, 最大气温值为 13.4℃发生时间为 25 日 15 时, 最低气温为 11.6℃发生时间为 25 日 06 时;

(3) 气压平均值为 1019.0hPa, 最大气压值为 1021.3hPa, 最小气压值为 1017.7hPa, 日变化平稳, 未检测到显著天气系统影响;

(4) 相对湿度平均值为 85.2, 最大相对湿度为 92 发生时间为 25 日 18 时、19 时, 最小相对湿度 72 发生时间为 25 日 12 时 40 分;

(5) 表层水温平均值为 11.8℃, 最大表层水温值为 12.7℃发生时间为 25 日 14 时, 最小表层水温为 10.4℃发生时间为 25 日 22 时 20 分;

(6) 表层盐度平均值为 31.5, 最大表层盐度值为 32.4 发生时间为 25 日 22 时, 最小表层盐度值为 31.4 出现时间为 25 日 9 时 30 分。

4.3.4.1.1 小潮期

对小潮期（2024 年 9 月 9 日 08 时—2024 年 9 月 10 日 09 时）的气象及表层水温、盐度观测数据分析结果:

(1) 小潮期风速平均值为 3.2m/s, 最大风速为 5.3m/s, 最大风速发生时间为 9 日

21 时 20 分，风向范围在 290° - 335° 之间。风速强度在 0-3 级，其中 0-2m/s 风 23.2%，2-4m/s 风占比分别为 50.9%，4-6m/s 风占比分别为 25.9%；

(2) 气温平均值为 26.95°C ，最大气温值为 27.6°C 发生时间为 9 日 14 时，最低气温为 26.3°C 发生时间为 10 日 05 时；

(3) 气压平均值为 1012.7hPa ，最大气压值为 1013.8hPa ，最小气压值为 1011.8hPa ，日变化平稳，未检测到显著天气系统影响；

(4) 相对湿度平均值为 82，最大相对湿度为 86 发生时间为 10 日 4 时，最小相对湿度 78 发生时间为 9 日 14 时；

(5) 表层水温平均值为 27.5°C ，最大表层水温值为 28.1°C 发生时间为 9 日 14-15 时，最小表层水温为 27.2°C 发生时间为 10 日 3-5 时；

(6) 表层盐度平均值为 29.78，最大表层盐度值为 29.881 发生时间为 9 日 18 时，最小表层盐度值为 29.657 出现时间为 9 日 11 时。

4.3.5 悬浮泥沙分布特征

本次悬浮泥沙观测分为天文潮大潮期与天文潮小潮期两次，其中大潮期共设置 A、B、C、D、E、F、G、H 共 8 个同步观测点，观测时间为 2025 年 4 月 25 日 06:00 至 4 月 26 日 07:00；小潮期共设置 C、D、E、F、G、H 共 6 个同步观测点，观测时间为 2024 年 9 月 9 日 8:00 至 9 月 10 日 9:00，连续 26 小时每 1 小时取样一次，每次各站均取表层、中层和底层海水，对所有水样均进行含沙量测试。

4.3.5.1 含沙量一般特征

根据现场观测和实验室分析，将大潮期和小潮期水文泥沙测验中各站水体含沙量值进行统计分析。

观测期间各站含沙量总体不大，但存在明显的时空差异。大潮期含沙量变化范围为 2.90mg/L ~ 50.44mg/L ，平均含沙量的变化范围在 5.97 ~ 10.11mg/L 之间；小潮期含沙量变化范围为 2.22mg/L ~ 30.26mg/L ，平均含沙量的变化范围在 10.72 ~ 20.94mg/L 之间。大潮期 H 站平均含沙量最大，F 站次之，G 站最小；小潮期 C 站平均含沙量最大，F 站次之，E 站最小。

4.3.5.2 含沙量的层级变化

小潮期各站的平均含沙量大于大潮期，而各个层次的含沙量变化不大，各层海水混合较为均匀。其中大潮期各个站位表层海水含沙量的变化范围为 3.05mg/L —

14.64mg/L，平均含沙量的变化范围在 5.57—9.22mg/L 之间；中层海水各个站位含沙量的变化范围为 3.72mg/L—14.50mg/L，平均含沙量的变化范围在 6.23—8.28mg/L 之间；底层海水各个站位含沙量的变化范围为 2.90mg/L—50.44mg/L，平均含沙量的变化范围在 6.11—14.51mg/L 之间。小潮期各个站位表层海水含沙量的变化范围为 2.22mg/L—28.28mg/L，平均含沙量的变化范围在 11.14—21.26mg/L 之间；中层海水各个站位含沙量的变化范围为 2.26mg/L—21.36mg/L，平均含沙量的变化范围在 10.00—20.15mg/L 之间；底层海水各个站位含沙量的变化范围为 4.04mg/L—30.26mg/L，平均含沙量的变化范围在 11.03—21.39mg/L 之间。

4.3.5.3 含沙量的站位变化

大潮期大部分站位的含沙量分布在 5mg/L 到 15mg/L 之间，其中含沙量最高的站位为 H 站位，尤其是 H 站位的底层海水，在 9:00 和次日 7:00 检出的悬浮物含量分别高达 50.44mg/L 和 27.76mg/L。其次整体含沙量较高的站位是 A 站和 F 站，B、C、D、E、G 站的含沙量相对较少。小潮期大部分站位的含沙量分布在 10mg/L 到 20mg/L 之间，其中含沙量最高的站位为 C 站位，其次为 F 站位，D、E、G、H 站位的含沙量相对较少。

4.4 地形地貌与冲淤现状调查与评价

总体来看，工程区域水深较大，海床较平坦。2006 年—2024 年 18 年间，工程区域及其周围海床总体处于动态平衡状态，未发生大冲大淤。18 年间冲淤幅度平均 2.3m。场区周围海域表层沉积物以粉砂质砂(TS)为主。沉积物主要组分含量为砂。同时主要工程海域处于深水区域，海床遭受波浪、海流的动力作用较弱。

4.5 海洋水质环境质量现状调查与评价

春季调查资料引自《春季资源环境现状调查与评价报告》（2025 年 6 月，自然资源部北海生态中心），秋季调查资料引自《秋季资源环境现状调查与评价报告》（2024 年 11 月，自然资源部北海生态中心）。

4.5.1 调查概况

4.5.1.1 春季

本次共布设水质调查站位 79 个，生物（含海洋生物生态、生物质量、渔业资源）站位 43 个，潮间带沉积物 3 条断面（与潮间带生物断面相同），其中，在评价范围内布置了 63 个站位。

4.5.1.2 秋季

本次共布设水质调查站位 79 个，沉积物调查站位 45 个，生物（含生物质量和渔业资源）站位 43 个，潮间带生物断面 3 条。其中，在评价范围内共布设 63 个站位。

4.5.2 调查项目

调查项目包括：水温、盐度、溶解氧、pH、总碱度、总悬浮物、石油类、汞、铜、铅、镉、锌、砷、硒、有机碳、活性硅酸盐、活性磷酸盐、亚硝酸盐、硝酸盐、铵盐、硫化物、氰化物、氯化物、总磷、总氮、生化需氧量、化学需氧量、铬、镍、挥发酚、氟化物。

4.5.2.1 分析方法

水质样品的分析按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）和《海洋监测规范》（GB 17378-2007）进行，各项的分析方法如表 4.5-3。

表 4.5-3 海水调查项目及分析方法

序号	监测项目	分析方法	检出限	依据标准
1	pH	pH 计法	-	GB17378.4-2007
2	溶解氧	碘量法	-	
3	悬浮物	重量法	-	
4	化学需氧量	碱性高锰酸钾法	-	
5	生化需氧量	两日培养法	-	
6	油类	紫外分光光度法	3.5μg/L	
7	挥发性酚	4-氨基安替比林分光光	1.1μg/L	
8	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	0.2μg/L	
9	砷	原子荧光法	0.05 μg/L	
10	汞	原子荧光法	0.007μg/L	
11	有机碳	总有机碳仪器法	30.0μg/L	
12	氰化物	异烟酸-吡唑啉酮分光光度法	0.5μg/L	
13	总碱度	pH 法	-	GB12763.4-2007

序号	监测项目	分析方法	检出限	依据标准
14	氯化物	银量滴定法	-	
15	氟化物	离子选择电极法	0.07mg/l	GB/T 7484-1987
16	硒	原子荧光法	0.2μg/L	HJ442.3-2020
17	活性磷酸盐	流动分析法	0.72μg/L	HY/T147.1-2013
18	硝酸盐		0.60μg/L	
19	亚硝酸盐		0.35μg/L	
20	氨		1.08μg/L	
21	活性硅酸盐		0.84μg/L	
22	总磷		10μg/L	
23	总氮		20μg/L	
24	铜	电感耦合等离子体质谱法	0.12 μg/L	
25	铅		0.07 μg/L	
26	锌		0.10 μg/L	
27	镉		0.03 μg/L	
28	铬		0.05 μg/L	
29	镍		0.23 μg/L	

4.5.3 评价方法与评价标准

4.5.3.1 评价方法

(1) 采用单因子标准指数法，评价模式如下：

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

式中： $S_{i,j}$ — i 污染物在 j 点的污染指数；

$C_{i,j}$ — i 污染物在 j 点的实测浓度，mg/L；

$C_{s,j}$ — i 污染物的评价标准，mg/L。

当标准指数值 S_i 大于 1，表示第 i 项评价因子超出了其相应的评价标准，即表明该因子已不能满足评价海域海洋功能区的要求。

(1) 溶解氧的标准指数为：

$$S_{DO,j} = \frac{|DO_f - DO_j|}{DO_f - DO_s} \quad DO_f \geq DO_s$$

$$S_{DO,j} = 10 - 9 \frac{DO_j}{DO_s} \quad DO_f < DO_s$$

$$DO_f = (491 - 2.65S) / (33.5 + T)$$

式中： DO_s —溶解氧的海水水质标准，mg/L；

DO_j — j 点的溶解氧，mg/L；

DO_f—饱和溶解氧浓度，mg/L；

S—实用盐度符号，量纲为一；

T—水温，°C。

(3) pH 评价指数按下式如下：

$$S_{\text{pH},j} = \frac{7.0 - \text{pH}_j}{7.0 - \text{pH}_{\text{sd}}} \quad \text{pH}_j \leq 7.0$$

$$S_{\text{pH},j} = \frac{\text{pH}_j - 7.0}{\text{pH}_{\text{su}} - 7.0} \quad \text{pH}_j > 7.0$$

式中：S_{pH,j}—pH 值的指数，大于 1 表明该水质因子超标；

pH_j—pH 值实测统计代表值；

pH_{sd}—评价标准中 pH 值的下限值；

pH_{su}—评价标准中 pH 值的上限值。

4.5.3.2 评价标准

本次海域水质现状评价依据标准《海水水质标准》(GB 3097-1997)，海水水质标准见表 4.5-4。

表 4.5-4 海水水质标准 单位：mg/L (pH 除外)

项目	第一类	第二类	第四类
SS	人为增加的量≤10		人为增加的量≤150
pH (无量纲)	7.8~8.5		6.8~8.8
DO>	6	5	3
BOD ₅ ≤	1	3	5
COD≤	2	3	5
无机氮≤	0.20	0.30	0.50
活性磷酸盐≤	0.015	0.030	0.045
Hg≤	0.00005	0.0002	0.0005
Cd≤	0.001	0.005	0.01
Pb≤	0.001	0.005	0.050
Cu≤	0.005	0.010	0.050
Zn≤	0.020	0.050	0.50
As≤	0.020	0.030	0.050
总铬	0.05	0.10	0.50
石油类≤	0.05	0.05	0.50
硫化物≤	0.02	0.05	0.25
挥发性酚≤	0.005	0.005	0.05
硒≤	0.01	0.02	0.05
镍≤	0.005	0.01	0.05
氟化物	0.005		0.2

4.5.4 海水水质调查结果与评价

春季海水水质评价结果见表 4.5-8。如表所示，除 B26、B85 号站位铅含量超标，B25 底层铅含量超标，B85 中层铅含量超标，铅含量超标率为 2.99%，其中最大超标倍数 0.07 倍，其余站位均满足对应功能区水质标准。

秋季海水水质所有站位均达到对应功能区水质标准。

4.6 海洋沉积物环境质量现状调查与评价

4.6.1 调查概况

春季调查资料引自《春季资源环境现状调查与评价报告》（2025 年 6 月，自然资源部北海生态中心），秋季调查资料引自《秋季资源环境现状调查与评价报告》（2024 年 11 月，自然资源部北海生态中心）。

4.6.2 调查项目

调查项目包括：底质类型、粒度、有机碳、总氮、总磷、pH 和 Eh、硫化物、有机氯、油类、总汞、铜、铅、镉、锌、铬、砷、硒、挥发酚。

4.6.3 分析方法

样品的分析按照《海洋监测规范第 5 部分：沉积物分析》（GB 17378.5-2007）进行，各项的分析方法如表 4.6-1。

表 4.6-1 沉积物项目及分析方法

序号	分析项目	分析方法	引用标准	检出限
1	含水率	重量法	GB 17378.5-2007/19	-
2	pH	pH 计法	GB 17378.8-2007/26	-
3	有机碳	重铬酸钾氧化-还原容量法	GB 17378.5-2007/18.1	0.02%
4	粒度	激光粒度分布仪法	GB/T 12763.8-2007/6.3	-
5	石油类	荧光分光光度法	GB 17378.5-2007/13.1	1.0mg/kg
6	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	GB 17378.5-2007/17.1	0.3mg/kg
7	铜	火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.5-2007/6.2	2.0mg/kg
8	铅	火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.5-2007/7.2	3.0mg/kg
9	镉	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.5-2007/8.1	0.04mg/kg
10	锌	火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.5-2007/9.1	6.0mg/kg
11	汞	原子荧光法	GB 17378.5-2007/5.1	0.002mg/kg
12	总铬	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.5-2007/10.1	0.4μg/kg
13	砷	原子荧光法	GB 17378.5-2007/11.1	0.06mg/kg

4.6.4 评价方法与评价标准

4.6.4.1 评价方法

采用单项参数标准指数法计算沉积物的质量指数，即应用公式 $P_i = C_i / C_{si}$ 。

式中： P_i 为第 i 种评价因子的质量指数；

C_i 为第 i 种评价因子的实测值；

C_{si} 为第 i 种评价因子的标准值。

沉积物评价因子的标准指数 > 1 ，则表明该项指标已超过了规定的沉积物质量标准。

4.6.4.2 评价标准

本次海洋沉积物质量评价依据标准《海洋沉积物质量》（GB18668-2002），本次所有沉积物站位执行第一类标准。各监测站位执行的标准见表 4.6-2。

表 4.6-2 海洋沉积物质量标准

沉积物质量指标	第一类
有机碳 ($\times 10^{-2}$) \leq	2
硫化物 ($\times 10^{-6}$) \leq	300
石油类 ($\times 10^{-6}$) \leq	500
铜 ($\times 10^{-6}$) \leq	35
铅 ($\times 10^{-6}$) \leq	60
锌 ($\times 10^{-6}$) \leq	150
镉 ($\times 10^{-6}$) \leq	0.5
汞 ($\times 10^{-6}$) \leq	0.2
砷 ($\times 10^{-6}$) \leq	20
铬 ($\times 10^{-6}$) \leq	80.0

4.6.5 调查结果

春季调查潮间带沉积物粒度分析结果表明，该项目电缆登陆点附近潮间带沉积物类型为砂。C3-M2 断面铬含量超标，超标率为 7.17%，其余断面各监测因子均符合第一类海洋沉积物质量标准。

秋季沉积物测站粒度分析结果表明，该海域表层沉积物包含 4 种沉积物类型，以粉砂质砂（TS）为主，站位占比为 53.3%，细砂（FS）的站位所占比例为 24.4%，砂质粉砂（ST）的站位所占比例为 17.8%，粘土质粉砂（YT）的站位所占比例为 4.4%。

由监测结果及标准指数表结果可知：所有调查站位的沉积物质量监测因子均符合海洋沉积物质量第一类标准要求。

4.7 海洋生态环境现状调查与评价

4.7.1 调查概况

春季调查资料引自《春季资源环境现状调查与评价报告》（2025 年 6 月，自然资源部北海生态中心），秋季调查资料引自《秋季资源环境现状调查与评价报告》（2024 年 11 月，自然资源部北海生态中心）。

4.7.2 采样与分析方法

（1）叶绿素 a 和初级生产力

采样层次与水质采样层次相同，用采水器采集水样，经 GF/F 玻璃纤维滤膜过滤（过滤时抽气负压小于 50kPa）后，将滤膜对折，用铝箔包好，存放于低温冷藏壶中，带回实验室分析，采用分光法测定叶绿素 a 的含量。初级生产力采用叶绿素 a 法，按照 Cadee 和 Hegeman（1974）提出的简化公式估算。每 500mL 加入 2.00mL 碳酸镁溶液，使用抽滤泵抽滤。

（2）浮游植物

浮游植物定量分析样品用浅水 III 型浮游生物网（加重锤）自底至表层作垂直拖网进行采集。垂直拖网时，落网速度不超过 1m/s，起网为 0.5m/s。样品用鲁哥氏碘液固定，加入量为每升水加入 6.00mL~8.00mL。样品带回实验室经浓缩后镜检、观察、鉴定和计数。分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析。

（3）浮游动物

浮游动物样品用浅水 II 型浮游生物网从底层至表层垂直拖曳采集。采得的样品在现场用 5% 的中性甲醛溶液固定。在室内挑去杂物后以湿重法称取浮游动物的生物量，然后在体视显微镜下对标本进行鉴定和计数。分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析，并提供其种类名录。

（4）大型底栖生物

定量样品采用 0.05m² 采泥器，在每站位连续采集平行样品 4 次，经孔径为 0.50mm 的筛网筛洗干净后，放入 500mL 样品瓶中，加入体积分数为 5%~7% 的中性甲醛溶液暂时性保存，便于室内鉴定。样品在实验室内进行计数、称重及种类鉴定，分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析，并提供其种类名录。

（5）鱼卵仔稚鱼

调查选择适于在调查海区作业且设备条件良好的渔船承担，按照《海洋调查规范》

（GB/T 12763-2007）的相关规定进行样品的采集、保存和运输。定量采样：网具使用浅水 I 型浮游生物网（水深 <30m）或大型浮游生物网（30m < 水深 < 200m）垂直采样，由海底至海面垂直拖网，水深较浅时采用水平拖网的方式采集样品。定性采样：采用水平拖网法，网具采用浅水 I 型浮游生物网或大型浮游生物网，于表层水平拖曳 10min 取得，拖速保持在 2 节左右。海上采得的浮游生物样品按体积 5% 的量加入福尔马林溶液固定，带回实验室后将鱼卵仔鱼样品单独挑出，在解剖镜下计数和鉴定。

（6）游泳动物

游泳生物调查按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）的相关规定进行样品的采集、保存和运输。

①调查船舶要求：游泳生物调查船应由专业调查船承担，或选择适于在调查海区作业且设备条件良好的渔船承担，调查船舶应具备能在调查海区中定位的卫星定位仪、能在调查海区与陆地基地联络的通讯设备，性能良好的探鱼仪和雷达，能随时观察曳网情况的网位仪，与调查水深和调查网具相匹配的起网机和起吊设备，具备渔获物样品冷藏库或冷冻库。

②调查工作流程：采用单船有翼单囊拖网进行作业。调查时间选择在白天进行，综合拖速、拖向、流向、流速、风向和风速等多种因素，在距离站位位置 2nmile~3nmile 处放网，拖速控制在 2kn~3kn 左右，经 0.5~1h 后正好到达站位位置或附近。临放网前准确测定船位，放网时间以停止曳网投放，曳网着底开始受力时为准。拖网中尽量保持拖网方向朝向拖网站位，注意周围船只动态和调查船的拖网是否正常等，若出现不正常拖网时，视其情况改变拖向或立即起网。临起网前准确记录船位，起网时间以起网机开始卷收曳网时间为准。如遇严重破网等导致渔获量大量减少时，应重新拖网。

③样品处理：将囊网里全部渔获物收集，记录估计的网次总质量（kg）。渔获物总质量在 40kg 以下时，全部取样分析；渔获物大于 40kg 时，从中挑出大型的和稀有的标本后，从渔获物中随机取出渔获物分析样品 20kg 左右，然后把余下的渔获物按品种和不同规格装箱，记录该站位准确渔获物总质量（kg）。

4.7.3 评价方法

（1）初级生产力

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

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

式中：P—初级生产力 ($\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2\cdot\text{d}$)；Ca—叶绿素 a 含量 (mg/m^3)；
Q—同化系数 ($\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{mgChl-a}\cdot\text{h})$)，根据以往调查结果，取 3.7；
L—真光层的深度 (m)，取透明度的 3 倍；
t—白昼时间 (h)，根据以往调查结果，春季取 12，秋季取 11。

(2) 优势度

$$Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

(3) Shannon-Weaver 多样性指数 (H')

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

(4) Pielou 均匀度指数 (J)

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

上述 (2) ~ (4) 式中：

n_i —第 i 种的个体数量 (ind/m^3)； N —某站总生物数量 (ind/m^3)；
 f_i —某种生物的出现频率 (%)； P_i —第 i 种的个体数与总个体数的比值；
 S —出现生物总种数。

(5) Margalef 丰富度指数 (D)

$$D = (S-1) / \log_2 N$$

上述 (2) ~ (5) 式中：

n_i —第 i 种的个体数量 (ind)； N —某站总生物数量 (ind)；
 f_i —某种生物的出现频率 (%)； P_i —第 i 种的个体数与总个体数的比值；
 S —出现生物总种数。

(6) 鱼卵仔稚鱼密度

水平拖网密度计算：

$$N = \frac{n}{t \times V \times S}$$

式中：N—鱼卵仔稚鱼密度 (ind/m^3)；n—每网鱼卵仔稚鱼数量，单位为 (ind)；
S—网口面积 (m^2)，S 大型浮游生物网=0.5 m^2 ；
t—拖网时间 (h)；V—拖速 (m/h)；
垂直拖网密度计算：

$$N = \frac{n}{S \times L}$$

式中：N—鱼卵仔稚鱼密度（ind/m³）；n—每网鱼卵仔稚鱼数量，单位为（ind）；

S—网口面积（m²），S 浅水I型网=0.2m²；

L—采样绳长（m），垂直拖网 L=水深-2m。

（7）渔业资源

资源数量的评估根据底拖网扫海面积法（密度指数法），来估算评价区的资源重量密度和生物个体密度。

$$S = (y) / a (1-E)$$

式中：S—重量密度（kg/km²）或个体密度（ind/km²）；

a—底拖网每小时的扫海面积（扫海宽度取浮网长度的 2/3）；

y—平均重量渔获率（kg/h）或平均个体渔获率（ind/h）；E—逃逸率（取 0.5）。

（8）游泳生物优势种

根据渔获物中个体大小悬殊的特点，选用 Pinkas 等提出的相对重要性指数 IRI，来分析渔获物在群体数量组成中其生态的地位，依此确定优势种。

$$IRI = (N+W) F$$

式中：N—某一种类的 ind 数占渔获总 ind 数的百分比；

W—某一种类的重量占渔获总重量的百分比；

F—某一种类的出现的断面数占调查总断面数的百分比。

4.7.4 海洋生态调查结果

4.7.4.1 叶绿素 a 与初级生产力

4.7.4.1.1 春季

调查海域各站初级生产力变化范围为（199.26~532.10）mg·C/(m²·d)，平均值为 385.94mg·C/(m²·d)。最高值出现在 B27 站，最低值出现在 B79 站。

4.7.4.1.2 秋季

本次调查结果显示，各站表层叶绿素 a 变化范围在 (0.15~2.87) $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.59 $\mu\text{g/L}$ ；中层叶绿素 a 变化范围在 (0.23~3.89) $\mu\text{g/L}$ ，平均为 0.56 $\mu\text{g/L}$ ；底层叶绿素 a 含量变化范围为 (0.19~2.44) $\mu\text{g/L}$ ，平均为 1.09 $\mu\text{g/L}$ 。

本次调查海域的初级生产力变化范围在 (167.39~1296.50) $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，平均值为 358.19 $\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ ，其中 B18 站位初级生产力值最高，B48 站位初级生产力值最低。

4.7.4.2 浮游植物

4.7.4.2.1 春季

(1) 种类组成

调查海域共鉴定浮游植物 53 种（类），其中硅藻门 40 种，占浮游植物出现种数的 75.47%；甲藻门 12 种，占 22.64%；金藻门 1 种，占 1.89%。调查海域浮游植物种类组成以近海广温、广盐种为主，硅藻在调查海域占绝对优势。

(2) 密度分布

调查海域浮游植物密度变化范围在 (0.14~10.66) $\times 10^4$ 个/ m^3 之间，平均密度为 2.54×10^4 个/ m^3 。最高值出现在 B40 站，最低值出现在 B36 站。

(3) 优势种

浮游生物（包括浮游植物与浮游动物）优势种按 Mcnaughton 优势度指数 (Y) 计算。计算公式为：

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

式中： n_i ——群落中第 i 种的个体数；

N ——群落中所有物种的总个体数；

f_i ——第 i 种个体在各样品中的出现频率。

以优势度 $Y > 0.02$ 的标准确定优势种。

本次调查在密度上占优势的浮游植物种类为：密连角毛藻 (*Chaetoceros densus*)、圆筛藻 (*Coscinodiscus spp.*)、派格棍形藻 (*Bacillaria paxillifera*)、尖刺伪菱形藻 (*Pseudo-nitzschia pungens*) 和夜光藻 (*Noctiluca scintillans*)，其密度分别占浮游植物总密度的 31.17%、9.97%、12.88%、11.12% 和 9.78%。

①密连角毛藻

该种的站位出现率为 58.14%，各站间密度变化范围在 $(0\sim6.69) \times 10^4$ 个/ m^3 之间，平均为 0.79×10^4 个/ m^3 。

②圆筛藻

该种的站位出现率为 69.77%，各站间密度变化范围在 $(0\sim3.24) \times 10^4$ 个/ m^3 之间，平均为 0.25×10^4 个/ m^3 。

③派格棍形藻

该种的站位出现率为 25.58%，各站间密度变化范围在 $(0\sim5.99) \times 10^4$ 个/ m^3 之间，平均为 0.33×10^4 个/ m^3 。

④尖刺伪菱形藻

该种的站位出现率为 27.91%，各站间密度变化范围在 $(0\sim4.53) \times 10^4$ 个/ m^3 之间，平均为 0.28×10^4 个/ m^3 。

⑤夜光藻

该种的站位出现率为 20.93%，各站间密度变化范围在 $(0\sim3.20) \times 10^4$ 个/ m^3 之间，平均为 0.25×10^4 个/ m^3 。

(4) 种类多样性、均匀度和丰富度

多样性指数、均匀度、丰富度、优势度是反映浮游植物群落结构特点的一些重要参考指标。若样品的多样性指数值高、均匀度大、丰富度值高、优势度低，表明调查海域浮游植物群落结构相对较复杂而稳定，其生态结构能承受一定程度的干扰而不易崩溃。种类多样性(H')、均匀度 (J)、丰富度 (d) 和优势度 ($D2$) 的计算公式如下：

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

种类多样性(H'):

$$\text{均匀度 } (J): J = H' / \log_2 S$$

$$\text{丰富度 } (d): d = (S-1) / \log_2 N$$

$$\text{优势度 } (D2): D2 = (N1+N2) / NT \text{ 式中: } H' \text{—多样性指数;}$$

J —均匀度;

$p_i = n_i / N$ (n_i 是第 i 个物种的个体数, N 是全部物种的个数);

S —种类数;

d —丰富度;

$D2$ —优势度;

$N1$ —样品中第一优势种的个体数;

N2—样品中第二优势种的个体数；

NT—样品中的总个体数。

调查海域浮游植物样品的多样性指数 (H') 在 0.65~2.89 之间, 平均值为 1.88; 均匀度 (J) 在 0.32~0.94 之间, 平均值为 0.65; 丰富度 (d) 在 0.21~0.96 之间, 平均值为 0.50; 优势度 (D_2) 在 0.47~0.98 间, 平均值为 0.74。

4.7.4.2.2 秋季

(1) 种类组成

调查海域共鉴定浮游植物 82 种 (类), 其中硅藻门 67 种, 占浮游植物出现种数的 81.71%; 甲藻门 14 种, 占 17.07%; 金藻门 1 种, 占 1.22%。调查海域浮游植物种类组成以近海广温、广盐种为主, 硅藻在调查海域占绝对优势。

(2) 密度分布

调查海域浮游植物密度变化范围在 $(2.30\sim1018.15) \times 10^4$ 个/ m^3 之间, 平均密度为 92.31×10^4 个/ m^3 。最高值出现在 B71 站, 最低值出现在 B37 站。

(3) 种类多样性、均匀度和丰富度

各调查区站位浮游植物多样性指数范围在 1.68~3.74 之间, 平均值为 2.74, 多样性指数以 B75 站位最高, B37 站位最低; 均匀度指数范围在 0.37~0.81 之间, 平均值为 0.64, 均匀度指数以 B67 站位最高, B71 站位最低; 丰富度指数范围在 0.68~1.89 之间, 平均值为 1.06, 丰富度指数以 B31 站位最高, B59 站位最低。优势度指数范围在 0.29~0.83 之间, 平均值为 0.58, 优势度指数以 B37 站位最高, B1 站位最低。

4.7.4.3 浮游动物

4.7.4.3.1 春季

4.7.4.3.1.1 大中型浮游动物

(1) 种类组成

调查海域共鉴定大中型浮游动物 24 种 (类), 其中甲壳动物 14 种 (包括桡足类 11 种, 端足类 3 种) 浮游幼虫幼体 6 种, 水母类和毛颚动物各 2 种。甲壳动物和浮游幼虫幼体是调查海域的主要组成类群。

(2) 生物量分布

调查海域大中型浮游动物湿重生物量变化范围在 $(5.3\sim518.2)$ mg/ m^3 之间, 平均为 80.2mg/ m^3 。生物量最高值出现在 B71 站, 最低值出现在 B81 站。

（3）密度分布

大中型浮游动物密度变化范围在（4.85~416.43）个/m³之间，平均值为 95.32 个/m³。密度最高值出现在 B44 站，最低值出现在 B81 站。

（4）优势种

调查海域大中型浮游动物占优势的种类为中华哲水蚤（*Calanus sinicus*）、羽长腹剑水蚤（*Oithona plumifera*）、强壮箭虫（*Sagitta crassa*）、细足法虫戎（*Themisto gracilipes*）和腹针胸刺水蚤（*Centropages abdominalis*），其密度分别占大中型浮游动物总密度的 69.56%、10.83%、6.74%、5.51%和 4.95%。

①中华哲水蚤

该种的站位出现率为 100%，其密度变化范围在（2.50~61.11）个/m³之间，平均值为 66.31 个/m³。

②羽长腹剑水蚤

该种的站位出现率为 67.44%，其密度变化范围在（0~75.58）个/m³之间，平均值为 10.33 个/m³。

③强壮箭虫

该种的站位出现率为 93.02%，其密度变化范围在（0~51.11）个/m³之间，平均值为 6.42 个/m³。

④细足法虫戎

该种的站位出现率为 88.37%，其密度变化范围在（0~34.30）个/m³之间，平均值为 5.25 个/m³。

⑤腹针胸刺水蚤

该种的站位出现率为 97.67%，其密度变化范围在（0~29.07）个/m³之间，平均值为 4.72 个/m³。

（5）种类多样性、均匀度和丰富度

调查海域大中型浮游动物各站群落参数值分析统计结果见表 4.7-8。

调查海域大中型浮游动物样品的多样性指数（H'）在 0.67~2.92 之间，平均值为 1.45；均匀度（J）在 0.26~0.92 之间，平均值为 0.52；丰富度（d）在 0.68~2.55 之间，平均值为 1.13；优势度（D2）在 0.45~0.99 之间，平均值为 0.84。

4.7.4.3.1.2 中小型浮游动物

（1）种类组成

调查海域共鉴定中小型浮游动物 27 种（类），其中甲壳动物 13 种（包括桡足类 11 种，端足类 2 种），浮游幼虫幼体 9 种，尾索动物和毛颚类动物各 2 种，原生动物 1 种。甲壳动物和浮游幼虫幼体是调查海域的主要组成类群。

（2）密度分布

中小型浮游动物密度变化范围在（534.89~12650.00）个/m³ 之间，平均值为 4505.04 个/m³。密度最高值出现在 B69 站，最低值出现在 B33 站。

（3）优势种

调查海域中小型浮游动物占优势的种类为羽长腹剑水蚤（*Oithona plumifera*）、拟长腹剑水蚤（*Oithona similis*）、夜光藻（*Noctiluca scintillans*）、小拟哲水蚤（*Paracalanus parvus*）、蔓足类无节幼虫（*Nauplius larva*），其密度分别占中小型浮游动物总密度的 40.50%、24.78%、16.96%、3.12%和 2.80%。

①羽长腹剑水蚤

该种的站位出现率为 90.70%，其密度变化范围在（0~4839.74）个/m³ 之间，平均值为 1824.54 个/m³。

②拟长腹剑水蚤

该种的站位出现率为 41.86%，其密度变化范围在（0~4527.78）个/m³ 之间，平均值为 1116.26 个/m³。

③夜光藻

该种的站位出现率为 20.93%，其密度变化范围在（0~10250.00）个/m³ 之间，平均值为 764.08 个/m³。

④小拟哲水蚤

该种的站位出现率为 95.35%，其密度变化范围在（0~384.62）个/m³ 之间，平均值为 140.50 个/m³。

⑤蔓足类无节幼虫

该种的站位出现率为 74.42%，其密度变化范围在（0~918.37）个/m³ 之间，平均值为 125.99 个/m³。

（4）种类多样性、均匀度和丰富度

调查海域中小型浮游动物的多样性指数（H'）在 0.66~2.93 之间，平均值为 1.42；

均匀度 (J) 在 0.20~0.88 之间, 平均值为 0.39; 丰富度 (d) 在 0.73~1.21 之间, 平均值为 0.93; 优势度 (D2) 在 0.37~0.96 之间, 平均值为 0.84。

4.7.4.3.2 秋季

4.7.4.3.2.1 大中型浮游动物

(1) 种类组成

秋季调查海域共鉴定大中型浮游动物 80 种, 其中浮游幼虫幼体 26 种, 水母类 24 种, 甲壳动物 20 种 (包括桡足类 13, 十足类和枝角类各 2 种, 涟虫类、端足类和磷虾类各 1 种), 尾索动物 5 种, 毛颚动物 3 种, 原生动物和软体动物各 1 种。浮游幼虫幼体、水母类和甲壳动物是调查海域的主要组成类群。

(2) 生物量、生物密度与优势种

秋季调查海域大中型浮游动物湿重生物量变化范围在 (2.80~298.01) mg/m^3 之间, 平均为 $81.81 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。生物量最高值出现在 B43 站, 最低值出现在 B27 站。密度变化范围在 (8.79~872.18) 个/ m^3 之间, 平均值为 203.54 个/ m^3 。密度最高值出现在 B743 站, 最低值出现在 B27 站。

(3) 优势种

调查海域大中型浮游动物占优势的种类为中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)、强壮箭虫 (*Sagitta crassa*)、太平洋纺锤水蚤 (*Acartia pacifica*)、肥胖三角溞 (*Evadne tergestina*)、小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*) 和鸟喙尖头溞 (*Penilia avirostris*), 其密度分别占大中型浮游动物总密度的 28.59%、22.18%、14.34%、8.72%、3.70% 和 3.49%。

① 中华哲水蚤

该种的站位出现率为 83.72%, 其密度变化范围在 (0~534.83) 个/ m^3 之间, 平均值为 58.20 个/ m^3 。

② 强壮箭虫

该种的站位出现率为 100%, 其密度变化范围在 (1.45~178.82) 个/ m^3 之间, 平均值为 45.14 个/ m^3 。

③ 太平洋纺锤水蚤

该种的站位出现率为 95.35%, 其密度变化范围在 (0~379.63) 个/ m^3 之间, 平均值为 29.19 个/ m^3 。

④肥胖三角溞

该种的站位出现率为 83.72%，其密度变化范围在（0~166.31）个/ m^3 之间，平均值 17.75 个/ m^3 。

⑤小拟哲水蚤

该种的站位出现率为 93.02%，其密度变化范围在（0~51.25）个/ m^3 之间，平均值为 7.54 个/ m^3 。

⑥鸟喙尖头溞

该种的站位出现率为 76.74%，其密度变化范围在（0~97.83）个/ m^3 之间，平均值 7.09 个/ m^3 。

（4）种类多样性、均匀度和丰富度

调查海域大中型浮游动物样品的多样性指数（ H' ）在 1.14~3.48 之间，平均值为 2.33；均匀度（ J ）在 0.32~0.85 之间，平均值为 0.55；丰富度（ d ）在 1.16~5.10 之间，平均值为 2.72；优势度（ D_2 ）在 0.38~0.95 之间，平均值为 0.69。

4.7.4.3.2.2 中小型浮游动物

（1）种类组成

调查海域共鉴定中小型浮游动物 56 种（类）其中浮游幼虫幼体 21 种，水母类 8 种，甲壳动物 19 种（包括桡足类 13 种，端足类和枝角类各 2 种，涟虫类和磷虾类各 1 种），尾索动物 3 种，毛颚类动物 2 种，原生动物、鱼类和软体动物各 1 种。甲壳动物和浮游幼虫幼体是调查海域的主要组成类群。

（2）生物密度与优势种

中小型浮游动物密度变化范围在（919.82~6493.98）个/ m^3 之间，平均值为 2691.89 个/ m^3 。密度最高值出现在 B73 站，最低值出现在 B50 站。

（3）优势种

调查海域中小型浮游动物占优势的种类为小拟哲水蚤（*Paracalanus parvus*）、拟长腹剑水蚤（*Oithona similis*）、洪氏纺锤水蚤（*Acartia hongii*）、双壳类幼体（*Bivalvia larva*）、强壮箭虫（*Sagitta crassa*）、近缘大眼水蚤（*Corycaeus affinis*）和中华哲水蚤（*Calanus sinicus*），其密度分别占中小型浮游动物总密度的 33.99%、25.79%、15.56%、4.13%、3.94%、2.98%和 2.88%。

①小拟哲水蚤

该种的站位出现率为 95.35%，其密度变化范围在（0~3384.15）个/ m^3 之间，平均值为 760.78 个/ m^3 。

②洪氏纺锤水蚤

该种的站位出现率为 90.70%，其密度变化范围在（0~2127.35）个/ m^3 之间，平均值为 495.41 个/ m^3 。

③拟长腹剑水蚤

该种的站位出现率为 93.02%，其密度变化范围在（0~2131.04）个/ m^3 之间，平均值为 450.94 个/ m^3 。

④双壳类幼体

该种的站位出现率为 97.67%，其密度变化范围在（0~2771.74）个/ m^3 之间，平均值 289.47 个/ m^3 。

⑤强壮箭虫

该种的站位出现率为 100%，其密度变化范围在（9.87~546.30）个/ m^3 之间，平均值为 137.15 个/ m^3 。

⑥长尾住囊虫

该种的站位出现率为 67.44%，其密度变化范围在（0~739.13）个/ m^3 之间，平均值为 95.32 个/ m^3 。

⑦近缘大眼水蚤

该种的站位出现率为 97.67%，其密度变化范围在（0~413.46）个/ m^3 之间，平均值为 59.54 个/ m^3 。

（4）种类多样性、均匀度和丰富度

秋季调查海域中小型浮游动物的多样性指数（ H' ）在 0.56~3.40 之间，平均值为 2.44；均匀度（ J ）在 0.16~0.84 之间，平均值为 0.60；丰富度（ d ）在 0.92~2.20 之间，平均值为 1.42；优势度（ $D2$ ）在 0.40~0.96 之间，平均值为 0.63。

4.7.4.4 底栖生物

4.7.4.4.1 春季

（1）种类组成

调查海域共鉴定底栖生物 157 种（类），隶属于扁形动物、刺胞动物、纽形动物、环节动物、软体动物、节肢动物、星虫动物、棘皮动物、半索动物和脊椎动物共 10 个门类。其中环节动物 75 种，占底栖生物种类组成的 47.77%；节肢动物 41 种，占底栖

生物种类组成的 26.11%；软体动物 25 种，占底栖生物种类组成的 15.92%；棘皮动物和半索动物各 4 种，各占底栖生物种类组成的 2.55%；刺胞动物 3 种，占底栖生物种类组成的 1.91%；纽形动物 2 种，占底栖生物种类组成的 1.27%；扁形动物、星虫动物和脊椎动物各 1 种，分别占底栖生物种类组成的 0.64%。环节动物和节肢动物是调查海域底栖生物的主要组成类群。

（2）生物量分布

调查海域底栖生物生物量变化范围在 (2.00~42.95) g/m^2 之间，平均为 17.45 g/m^2 。生物量最高值出现在 B18 站，最低值出现在 B70 站。生物量组成以软体动物最占优势，平均值为 11.05 g/m^2 ，其次为软体动物，平均值为 2.08 g/m^2 。

（3）密度分布

调查海域底栖生物密度变化范围在 (145~1665) 个/ m^2 之间，平均为 708 个/ m^2 。密度最高值出现在 B39 站，最低值出现在 B71。生物密度组成以环节动物最占优势，平均值为 589 个/ m^2 ，其次为甲壳动物，平均值为 66 个/ m^2 。

（4）优势种

调查海域底栖动物种类分布以 B50 站最多，为 46 种；B17 站最少，为 20 种。底栖生物优势种为丝异须虫、双栉虫、寡节甘吻沙蚕、寡鳃齿吻沙蚕、掌鳃索沙蚕、长吻沙蚕、曲强真节虫、毛须鳃虫、管纓虫、尖叶长手沙蚕和马丁海稚虫，各种类密度分别占总密度的 9.91%、9.04%、6.28%、6.24%、6.78%、6.46%、4.60%、2.66%、3.29%、2.87%和 2.35%。

（5）种类多样性、均匀度和丰富度

调查海域底栖生物样品的多样性指数 (H') 在 3.58~4.83 之间，平均值为 4.32；均匀度 (J) 在 0.69~0.97 之间，平均值为 0.86；丰富度 (d) 在 2.26~4.23 之间，平均值为 3.11；优势度 (D_2) 在 0.17~0.50 之间，平均值为 0.27。

4.7.4.4.2 秋季

（1）种类组成

调查海域共鉴定底栖生物 138 种（类），隶属于扁形动物、刺胞动物、纽形动物、环节动物、软体动物、节肢动物、腕足动物、星虫动物、棘皮动物和半索动物共 10 个门类。其中环节动物 69 种，占底栖生物种类组成的 50.0%；节肢动物 34 种，占底栖生物种类组成的 24.64%；软体动物 23 种，占底栖生物种类组成的 16.67%；棘皮动物 4 种，占底栖生物种类组成的 2.90%；刺胞动物 3 种，分别占底栖生物种类组成的 2.17%；

扁形动物、纽形动物、腕足动物、半索动物和星虫动物各 1 种，分别占底栖生物种类组成的 0.72%。环节动物和节肢动物是调查海域底栖生物的主要组成类群。

（2）生物量、生物密度与优势种

秋季调查海域底栖生物生物量变化范围在 $(0.20\sim63.60)$ g/m^2 之间，平均为 20.79g/m^2 。生物量最高值出现在 B60 站，最低值出现在 B50 站，生物量组成以环节动物最占优势，平均值为 8.55g/m^2 ，其次为软体动物，平均值为 5.68g/m^2 。

（3）密度分布

调查海域底栖生物密度变化范围在 $(5\sim820)$ 个/ m^2 之间，平均值为 298 个/ m^2 。密度最高值出现在 B27 站，最低值出现在 B50 站。生物密度组成以环节动物最占优势，平均值为 233 个/ m^2 ，其次为甲壳动物，平均值为 30 个/ m^2 。

（4）优势种

调查海域底栖动物种类分布以 B23 站最多，为 40 种；B50 站最少，为 1 种。底栖生物优势种为寡节甘吻沙蚕、丝异须虫、长吻沙蚕、掌鳃索沙蚕、曲强真节虫、西方似蛰虫和寡鳃齿吻沙蚕，各种类密度分别占总密度的 7.65%、8.58%、7.88%、7.22%、5.46%、4.37%和 3.55%。

（5）种类多样性、均匀度和丰富度

调查海域底栖生物样品的多样性指数 (H') 在 $1.90\sim4.68$ 之间，平均值为 3.73；均匀度 (J) 在 $0.72\sim1.00$ 之间，平均值为 0.89；丰富度 (d) 在 $0.68\sim4.19$ 之间，平均值为 2.47；优势度 (D_2) 在 $0.20\sim0.75$ 之间，平均值为 0.35。

4.7.4.5 潮间带生物

4.7.4.5.1 春季

（1）种类组成及优势种

本次调查在 C1、C2、C3 共 3 条断面进行了潮间带生物的定量和定性调查，共获潮间带生物 28 种，隶属于纽形动物、环节动物、软体动物、节肢动物和棘皮动物门 5 个门类。其中，环节动物出现种类最多，为 13 种，占潮间带生物总种类数的 46.43%；节肢动物次之，为 7 种，占潮间带生物总种类数的 25.00%；软体动物 6 种，占潮间带生物总种类数的 21.43%；纽形动物和棘皮动物各 1 种，分别占总种类数的 3.57%，各断面种类数组成见表 4.7-22，其中 C3 断面潮间带生物种类数最多，为 17 种，C1 和 C2 断面种类数相同，均为 12 种。

（1）生物量

3 个断面平均生物量为 113.24g/m^2 ，其中，C2 断面生物量最高，各潮带平均生物量为 150.28g/m^2 ，C3 断面生物量最低，为 89.6g/m^2 。在 3 个断面中，生物量占优势的类群均为软体动物和节肢动物，分别占总生物量的 81.70% 和 11.77%。从潮带来看，中潮带平均生物量最高，各断面平均生物量为 105.61g/m^2 ，低潮带次之，为 6.31g/m^2 ，高潮带最低，为 1.32g/m^2 。

（2）生物密度

3 个断面中各断面平均生物密度为 569 个/ m^2 ，C1 断面生物密度最高，各潮带平均生物密度为 820 个/ m^2 ，C2 断面生物密度最低，为 128 个/ m^2 。在 3 个断面中，生物密度占优势的类群为环节动物，其占总生物密度的 64.40%。从潮带来看，三个断面中潮带平均生物密度最高，平均密度为 339 个/ m^2 ，低潮带次之，为 217 个/ m^2 ，高潮带最低，仅有 13 个/ m^2 。

（3）群落特征指数

潮间带生物的多样性指数 (H') 在 0.97~1.38 之间波动，平均为 1.13。从断面来看，平均多样性指数最高的为 C3 断面，为 1.38，最低的为 C2 断面，为 0.97。从潮带来看，中潮带多样性指数最高，3 个断面平均为 1.64，高潮带最低，为 0.52。

4.7.4.5.2 秋季

（1）种类组成及优势种

本次调查在 1、2、3 共 3 条断面进行了潮间带生物的定量和定性调查，共获潮间带生物 27 种，隶属于纽形动物门、环节动物门、软体动物门、节肢动物门、棘皮动物门 5 个门类。其中，环节动物出现种类最多，为 12 种，占潮间带生物总种类数的 44.44%；节肢动物次之，为 8 种，占潮间带生物总种类数的 29.63%；软体动物 5 种，占潮间带生物总种类数的 18.52%；纽形动物和棘皮动物各 1 种，分别占总种类数的 3.70%，其中 3 号断面潮间带生物种类数最多，为 20 种，2 号断面种类数最少，为 16 种。

（2）生物量

3 个断面平均生物量为 22.54g/m^2 ，其中，2 号断面生物量最高，各潮带平均生物量为 26.01g/m^2 ，1 号断面生物量最低，为 16.01g/m^2 。在 3 个断面中，生物量占优势的类群均为软体动物和节肢动物，分别占总生物量的 46.77% 和 43.93%。从潮带来看，中潮带平均生物量最高，各断面平均生物量为 36.71g/m^2 ，低潮带次之，为 31.42g/m^2 ，高

潮带最低，仅有 $0.95\text{g}/\text{m}^2$ 。

（3）生物密度

3 个断面中各断面平均生物密度为 $18\text{个}/\text{m}^2$ ，3 号断面生物密度最高，各潮带平均生物密度为 $29\text{个}/\text{m}^2$ ，1 号断面和 2 号断面生物密度相同，为 $12\text{个}/\text{m}^2$ 。在 3 个断面中，生物密度占优势的类群为环节动物门，其占总生物密度的 58.49% 。从潮带来看，三个断面低潮带平均生物密度最高，平均密度为 $29\text{个}/\text{m}^2$ ，中潮带次之，为 $21\text{个}/\text{m}^2$ ，高潮带最低，仅有 $4\text{个}/\text{m}^2$ 。

（4）群落多样性指数

潮间带生物的多样性指数（ H' ）在 $1.00\sim 1.50$ 之间波动，平均为 1.22 ，3 个断面高潮带均只发现 1 种生物，多样性指数为 0。从断面来看，平均多样性指数最高的为 1 号断面，为 1.50 ，最低的为 2 号断面，为 1.00 。从潮带来看，中潮带多样性指数最高，3 个断面平均为 1.95 ，高潮带最低，为 0。

4.7.5 渔业资源

4.7.5.1 鱼卵和仔、稚鱼

4.7.5.1.1 春季调查结果

（1）调查种类

调查海域共采集到鱼卵 4 种，采集仔、稚鱼 1 种，共采集到鱼卵仔稚鱼 5 种。

（2）数量及分布

水平拖网有 38 个站位捕获到鱼卵和仔、稚鱼，出现频率为 84.44% 。

垂直拖网鱼卵密度变化范围为 $(0\sim 0.9)\text{ind}/\text{m}^3$ ，平均密度为 $0.2\text{ind}/\text{m}^3$ ，最大值出现在 B36 号站位。仔、稚鱼密度变化范围为 $(0\sim 0.12)\text{ind}/\text{m}^3$ ，平均密度为 $0.003\text{ind}/\text{m}^3$ ，出现在 B54 号站位。鱼卵和仔、稚鱼密度变化范围为 $(0\sim 0.90)\text{ind}/\text{m}^3$ ，平均密度为 $0.20\text{ind}/\text{m}^3$ ，最大值出现在 B36 号站位。

4.7.5.1.2 秋季调查结果

（1）种类组成

调查海域共采集到鱼卵 6 种，采集仔、稚鱼 10 种，共采集到鱼卵仔稚鱼 15 种。

（2）数量及分布

水平拖网有 29 个站位捕获到鱼卵和仔、稚鱼，出现频率为 67.44% 。垂直拖网鱼卵密度变化范围为 $(0\sim 1.63)\text{ind}/\text{m}^3$ ，平均密度为 $0.22\text{ind}/\text{m}^3$ ，最大值出现在 B45 号站

位。仔、稚鱼密度变化范围为（0~0.66）ind/m³，平均密度为0.05ind/m³，最大值出现在 B73 号站位。鱼卵和仔、稚鱼密度变化范围为（0~1.74）ind/m³，平均密度为 0.27ind/m³，最大值出现在 B45 号站位。

4.7.5.2 游泳动物

4.7.5.2.1 春季调查结果

（1）种类组成

调查海域共获得游泳动物 57 种，其中鱼类 38 种，占 66.67%；甲壳类 15 种，占 26.32%；头足类 4 种，占 7.02%。

（2）优势种与优势度

调查海域游泳动物优势种有 4 种，重要种 14 种，常见种 10 种，一般种 8 种，少见种 21 种。优势种为细纹狮子鱼、方氏云鲷、双斑螭和角木叶鲷，重要种为绵鲷、鳀鱼、日本褐虾、日本枪乌贼、高眼鲷、鹰爪虾、小黄鱼、玉筋鱼、矛尾虾虎鱼、短鳍鱼衔、口虾蛄、星康吉鳗、虫鲷和黄鲛鲷。本次调查中，经济种类如双斑螭、日本枪乌贼和细纹狮子鱼具有一定的优势。

（3）生物多样性指数

调查海域游泳动物多样性指数分布范围在 2.62~3.44 之间，平均值为 3.05；均匀度分布范围在 0.64~0.79 之间，平均值为 0.70；丰富度分布在 1.40~2.72 之间，平均值为 1.91；优势度分布在 0.40~0.65 之间，平均值为 0.51。

4.7.5.2.2 秋季调查结果

（1）种类组成

调查海域共获得游泳动物 57 种，其中鱼类 39 种，占 68.42%；甲壳类 12 种，占 21.05%；头足类 6 种，占 10.53%。

（2）优势种与优势度

调查海域游泳动物优势种有 3 种，重要种 10 种，常见种 11 种，一般种 11 种，少见种 23 种。优势种为鳀、细纹狮子鱼和鹰爪虾，重要种为黄鲛鲷、鲈、绿鳍鱼、太平洋褶柔鱼、绵鲷、大泷六线鱼、日本枪乌贼、方氏云鲷、角木叶鲷和褐虾。本次调查中，经济种类如小型鳀、鹰爪虾和大型的细纹狮子鱼、黄鲛鲷、鲈和太平洋褶柔鱼具有一定的优势。

（3）生物多样性指数

秋季调查海域游泳动物多样性指数分布范围在 0.69~3.38 之间, 平均值为 21.5; 均匀度分布范围在 0.18~0.83 之间, 平均值为 0.54; 丰富度分布在 0.86~2.31 之间, 平均值为 1.33; 优势度分布在 0.41~0.98 之间, 平均值为 0.71。

4.7.5.3 鱼类

4.7.5.3.1 春季调查结果

(1) 种类组成

调查海域共捕获鱼类 38 种。其中暖水性鱼类有 10 种, 占鱼类种数的 26.32%, 暖温性鱼类有 19 种, 占鱼类种数的 50%, 冷温性鱼类 9 种, 占鱼类种数的 23.68%; 按栖息水层分, 底层鱼类有 32 种, 占鱼类种数的 84.21%, 中上层鱼类有 6 种, 占鱼类种数的 15.79%。

调查海域鱼类适温性以暖温性为主, 栖息水层以底层为主。

(2) 鱼类渔获量

调查海域各站鱼类渔获量平均生物密度为 880.6ind/h, 平均生物量为 10.14 kg/h; 成体鱼类渔获量平均生物密度为 418.63ind/h, 平均生物量为 6.20kg/h; 幼体鱼类渔获量平均生物密度为 461.97ind/h, 平均生物量为 3.94kg/h。

(1) 鱼类资源量评估

调查海域鱼类平均资源量为 342.33kg/km², 平均资源密度为 29.72×10³ind/km², 其中成体鱼类平均资源量为 209.36kg/km², 平均资源密度为 14.13×10³ind/km²; 幼体鱼类平均资源量为 132.97kg/km², 平均资源密度为 15.59×10³ind/km²。

4.7.5.3.2 秋季调查结果

(1) 种类组成

调查海域共捕获鱼类 39 种。其中暖水性鱼类有 12 种, 占鱼类种数的 30.77%, 暖温性鱼类有 19 种, 占鱼类种数的 48.72%, 冷温性鱼类 8 种, 占鱼类种数的 20.51%; 按栖息水层分, 底层鱼类有 35 种, 占鱼类种数的 89.74%, 中上层鱼类有 4 种, 占鱼类种数的 10.26%。

(2) 鱼类渔获量

调查海域各站鱼类渔获量平均生物密度为 3227.07ind/h, 平均生物量为 55.51kg/h; 成体鱼类渔获量平均生物密度为 957.22ind/h, 平均生物量为 36.79kg/h; 幼体鱼类渔获量平均生物密度为 2269.85ind/h, 平均生物量为 18.72kg/h。

（3）鱼类资源量评估

调查海域鱼类平均资源量为 $2239.65\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $168.49 \times 10^3 \text{ind}/\text{km}^2$ ，其中成体鱼类平均资源量为 $1501.88\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $47.44 \times 10^3 \text{ind}/\text{km}^2$ ；幼体鱼类平均资源量为 $737.77\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $121.05 \times 10^3 \text{ind}/\text{km}^2$ 。

4.7.5.4 头足类

4.7.5.4.1 春季调查结果

（1）种类组成

调查海域共捕获头足类 4 种，为短蛸、长蛸、双喙耳乌贼和日本枪乌贼，除小型双喙耳乌贼外，均具有较高的经济价值。其中日本枪乌贼为近海性种类，多栖息于沿岸水和外海水交汇区的近海水域，个体较大，游泳速度较快，洄游距离较长，对环境具有较好的适应能力，空间分布范围较广。

（2）头足类渔获量

调查海域各站头足类渔获量平均生物密度为 $42.51 \text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $0.32\text{kg}/\text{h}$ ；调查海域各站成体头足类渔获量平均生物密度为 $9.7 \text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $0.16\text{kg}/\text{h}$ ；调查海域各站幼体头足类渔获量平均生物密度为 $32.81 \text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $0.16\text{kg}/\text{h}$ 。

（3）头足类资源量评估

调查海域头足类平均资源量为 $10.68\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $1434.46 \text{ind}/\text{km}^2$ ，其中成体头足类平均资源量为 $5.42\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $327.27 \text{ind}/\text{km}^2$ ，幼体头足类平均资源量为 $5.26\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $1107.19 \text{ind}/\text{km}^2$ 。

4.7.5.4.2 秋季调查结果

（1）种类组成

调查海域共捕获头足类 6 种，为短蛸、长蛸、双喙耳乌贼、日本枪乌贼、太平洋褶柔鱼和金乌贼。

（2）头足类渔获量

调查海域各站头足类渔获量平均生物密度为 $296.19 \text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $8.56\text{kg}/\text{h}$ ；调查海域各站成体头足类渔获量平均生物密度为 $72.90 \text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $7.92\text{kg}/\text{h}$ ；调查海域各站幼体头足类渔获量平均生物密度为 $223.29 \text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $0.64\text{kg}/\text{h}$ 。

（3）头足类资源量评估

调查海域头足类平均资源量为 $147.97\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $5119.71 \text{ind}/\text{km}^2$ ，其

中成体头足类平均资源量为 $136.90\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $1260.17\text{ind}/\text{km}^2$ ，幼体头足类平均资源量为 $11.07\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $3859.54\text{ind}/\text{km}^2$ 。

4.7.5.5 甲壳类

4.7.5.5.1 春季调查结果

(1) 种类组成

本次调查共获得甲壳类 15，其中虾类 10 种：葛氏长臂虾、褐虾、红条鞭腕虾、日本鼓虾、日本褐虾、细巧仿对虾、鲜明鼓虾、鹰爪虾、周氏新对虾、大螯蛄虾，蟹类 4 种：慈母互敬蟹、隆背体壮蟹、泥脚隆背蟹、双斑蛄，口足类 1 种：口虾蛄。其中双斑蛄、口虾蛄和鹰爪虾均具有一定经济价值。

(2) 甲壳类渔获量

调查海域各站甲壳类渔获量平均生物密度为 $313.47\text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $1.07\text{kg}/\text{h}$ ；调查海域各站成体甲壳类渔获量平均生物密度为 $225.30\text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $0.86\text{kg}/\text{h}$ ；调查海域各站幼体甲壳类渔获量平均生物密度为 $88.17\text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $0.21\text{kg}/\text{h}$ 。

(3) 甲壳类资源量评估

调查海域甲壳类平均资源量为 $35.98\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $10.58 \times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中成体甲壳类平均资源量为 $28.85\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $7.60 \times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，幼体甲壳类平均资源量为 $7.13\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $2.98 \times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ 。

4.7.5.5.2 秋季调查结果

(1) 种类组成

本次调查共获得甲壳类 12，其中虾类 6 种：鹰爪虾、日本鼓虾、日本褐虾、鲜明鼓虾、中国明对虾、周氏新对虾，蟹类 5 种：双斑蛄、隆背体壮蟹、三疣梭子蟹、十一刺栗壳蟹和日本蛄，口足类 1 种：口虾蛄。

(2) 甲壳类渔获量

调查海域各站甲壳类渔获量平均生物密度为 $486.22\text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $2.48\text{kg}/\text{h}$ ；调查海域各站成体甲壳类渔获量平均生物密度为 $467.90\text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $2.34\text{kg}/\text{h}$ ；调查海域各站幼体甲壳类渔获量平均生物密度为 $18.33\text{ind}/\text{h}$ ，平均生物量为 $0.14\text{kg}/\text{h}$ 。

(3) 甲壳类资源量评估

调查海域甲壳类平均资源量为 $83.65\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $16.41 \times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，其中成体甲壳类平均资源量为 $78.82\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $15.79 \times 10^3\text{ind}/\text{km}^2$ ，幼体

甲壳类平均资源量为 $4.82\text{kg}/\text{km}^2$ ，平均资源密度为 $0.62 \times 10^3 \text{ind}/\text{km}^2$ 。

4.8 海洋生物质量现状调查与评价

4.8.1 调查概况

春季调查资料引自《春季资源环境现状调查与评价报告》（2025 年 6 月，自然资源部北海生态中心），秋季调查资料引自《秋季资源环境现状调查与评价报告》（2024 年 11 月，自然资源部北海生态中心）。

4.8.2 调查项目

调查项目包括铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷和石油烃。

4.8.3 采样与分析方法

4.8.3.1 采样方法

根据《海洋监测规范》（GB 17378-2007）和《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）中的要求，在项目海域指定站点使用拖网等方式采集生物体后，选取具有代表性的样品进行分析检测。

按要求选取足够数量的完好生物样，放入干净的聚乙烯袋中，应防止袋子被刺破。挤出袋内空气，将袋口打结或热封，将此袋和样品标签一起放入另一聚乙烯袋中，封口，于低温冰箱中贮存。若保存时间不太长（热天不超过 48h），可用冰箱或冷冻箱贮存样品。

4.8.3.2 分析方法

生物体样品的预处理和分析方法遵照《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》（GB 17378.6-2007）进行，各项项目的分析方法如表 4.8-1。

表 4.8-1 海洋生物质量调查项目及分析方法

检测指标	检测依据	分析方法	检出限
石油烃	荧光分光光度法	GB 17378.6-2007/13	0.2mg/kg
铜	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.6-2007/6.1	0.4mg/kg
铅	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.6-2007/7.1	0.04mg/kg
镉	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.6-2007/8.1	0.005mg/kg
总汞	原子荧光法	GB 17378.6-2007/5.1	0.002mg/kg
砷	原子荧光法	GB 17378.6-2007/11.1	0.2mg/kg
锌	火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.6-2007/9.1	0.4mg/kg
铬	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.6-2007/10.1	0.04mg/kg

4.8.4 评价方法与评价标准

4.8.4.1 评价方法

采用单项参数标准指数法计算生物的质量指数，即应用公式 $P_i = C_i / C_{si}$ 。

式中： P_i 为第 i 种评价因子的质量指数；

C_i 为第 i 种评价因子的实测值；

C_{si} 为第 i 种评价因子的标准值。

生物评价因子的标准指数 > 1 ，则表明该项指标已超过了规定的生物质量标准。

4.8.4.2 评价标准

贝类（双壳类）生物体内污染物质含量评价标准采用《海洋生物质量》（GB18421-2001）规定的标准值，甲壳类、鱼类和软体类生物体内污染物质（铜、铅、锌、镉、汞、砷、石油烃）含量评价标准参考采用《环境影响评价技术导则（HJ 1409-2025）》（附录 C）中规定的生物质量标准；生物体内铬含量缺乏评价标准，不对其进行评价。生物质量评价标准见表 4.8-2。

表 4.8-2 海洋生物体评价标准（湿重，单位：mg/kg）

生物类别		Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	石油烃	引用标准
贝类	一类	10	0.1	20	0.2	0.05	1.0	0.5	15	《海洋生物质量》 (GB18421-2001)
	二类	25	2.0	50	2.0	0.10	5.0	2.0	50	
	三类	50 (100)	6.0	100 (500)	5.0	0.30	8.0	6.0	80	
甲壳类		100	2.0	150	2.0	0.2	1	/	20	《环境影响评价技术导则（HJ 1409-2025）》（附录 C）
鱼类		20	2.0	40	0.6	0.3	1	/	20	
软体类		100	10.0	250	5.5	0.3	1	/	20	

4.8.5 调查结果

春季各站除 B17 号站位砷含量超标外，超标率为 2.17%，其余站位均满足要求，没有超标现象。

秋季所有站位均满足要求，没有超标现象。

4.9 鸟类生态环境现状调查与评价

4.9.1 调查概况

4.9.1.1 调查范围

根据《生物多样性观测技术导则 鸟类》（HJ 710.4-2014）要求，观测样地要能全面反映出观测区域内鸟类多样性的整体状况，具有多种生境的区域可根据需要在不同生境类型中设置足够数量的观测样线和样点，结合风电场和登陆点所在区域的实际情况，因此在研究区域海上布设 1 条长样线，样线长度 31.0 公里，在研究区域陆上布设 3 条样线，样线长度分别为 3.0 公里、2.4 公里和 2.7 公里。

经调查确认海上长样线 NH2 所在区域生境类型为 H3（沿海-外海），三条陆上样线种 NL1 和 NL3 所在区域类型均为 H2（沿海-外海滩涂），NL2 所在区域生境类型为 H1（沿海-河口）。

鸟类调查的评价范围为涵盖工程边界线向外拓展 8km。

4.9.1.2 调查内容

主要包括调查区域环境概况、鸟类种类组成、数量、居留型及食性；主要迁徙鸟类的种类、数量、迁徙行为、飞行模式等；鸟类优势类群及其生境选择；国家级重点保护鸟类受保护鸟类的种类与数量。

4.9.1.3 调查时间与频次

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，鸟类现状调查周期一般为一年，调查频次每季至少为 1 次以上，调查季节的划分一般以三月至五月为春季，六月至八月为夏季，九月至十一月为秋季，十二月至隔年二月为冬季。本项目鸟类调查时间及频次见表 4.9-3。

表 4.9-3 调查时间一览表

季节	时间
春季	2025.3.25、2025.3.26、2025.4.25
夏季	2025.6.5、2025.6.6
秋季	2024.9.10、2024.9.23、2024.9.24
冬季	2025.1.10、2025.1.11、2025.1.18

4.9.2 调查方法

研究项目鸟类调查依据《生物多样性观测技术导则 鸟类》（HJ 710.4—2014）和

《全国第二次陆生野生动物资源调查技术规程》开展，结合海上风电项目实情况，调查选用不限宽度样线法，陆上样线长度不小于 1km，海上样线长度不小于 10km。观测时需记录样线两侧所见到的鸟类，鸟类种类通过双筒望远镜、单筒望远镜和长焦数码相机进行识别，鸟类数量统计以直接计数法为主，数量较多时可采用辅助拍照的方式进行计数，大群鸟类可通过估算法进行计数。观测时天气应为晴天或多云天气，雨天或大风天气不能开展观测。

调查人员根据《生物多样性观测技术导则 鸟类（HJ 710.4—2014）》附录 F 生境类型表确认调查区域生境类型，然后乘船、陆上步行沿样线前进，调查样线两侧飞行和暂留的鸟类，调查人员一边行进一边利用望远镜和长焦数码相机观察样线两侧的鸟类，在观察过程中一边观察一边填写《鸟类外业调查记录表》，并选取适当时机和位置进行鸟类照片拍摄。当鸟类数量较少时，直接记录各种鸟类的种类和数量；当鸟类数量较多时，同时鸟类又处于迅速活动状态时，通过辅助拍照的方式进行计数；遇到大群鸟类时，通过估算法进行计数。

4.9.2.1 调查设备

研究项目鸟类调查主要使用以下设备：

- (1) 尼康（Nikon）MONARCH 5 双筒望远镜（8 倍×56mm）；
- (2) 科瓦（KOWA）TSN-773 单筒望远镜（20-60 倍×77mm）；
- (3) 佑测（UAVSAS）UC-3000H 激光测距望远镜；
- (4) 尼康（Nikon）D850 单反相机；
- (5) 尼康（Nikon）Z8 微单相机；
- (6) 尼康（Nikon）Z9 微单相机；
- (7) 尼康（Nikon）Z 600mm f/4 TC VR S 镜头；
- (8) 尼康（Nikon）Z 600mm f/6.3 VR S 镜头；
- (9) 尼康（Nikon）AF-S 500mm f5.6E PF ED VR 镜头；
- (10) 佳明（GARMIN）639csx 手持 GPS；
- (11) 大疆（DJI）精灵（Phantom）4 RTK 无人机；
- (12) 大疆（DJI）御（Mavic）2 专业版无人机。

4.9.2.2 数据处理

鸟类调查观测到的鸟类依据《中国鸟类野外手册：马敬能新编版》、《中国鸟类观

察手册》、《中国鸟类分类与分布名录（第四版）》、《中国鸟类图鉴》和《中国鸟类生态大图鉴》确定其中文名、学名、所属目科和居留型；依据《中国鸟类分类与分布名录（第四版）》和《中国动物地理》确定其区系；依据《鸟类学（第 2 版）》和《中国鸟类观察手册》确定其生态类型；依据《国家重点保护野生动物名录》（国家林业和草原局、农业农村部，2021 年 2 月 5 日公布）判定其重点保护等级，依据《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》（IUCN Red List of Threatened Species）（世界自然保护联盟，v2025-1）判定其濒危等级，依据《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》（国家林业和草原局，2023 年 6 月 30 日公布）判定其是否为“三有”陆生野生动物。

4.9.2.3 鸟类物种多样性评价方法

鸟类物种多样性以香农-维纳（Shannon-Wiener）生物多样性指数 H' 来评价，其计算方法详见图 4.9-3。

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

式中： $P_i = \frac{n_i}{N}$

S —种数；

P_i —样品中属于第 i 种的个体比例；

N —调查到的个体总数量；

N_i —第 i 种的个体数量。

图 4.9-3 香农-维纳生物多样性指数计算公式

4.9.3 结果分析

4.9.3.1 区域鸟类概况分析

三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目实施区域为一条海上长样线和 3 条陆上样线春季、夏季、秋季和冬季 4 个季节共调查发现鸟类 167 种，隶属 15 目 38 科。按目统计，以雀形目种类最多，鸮形目次之，分别为 69 种、28 种，各占整个调查区域鸟类总种数的 41.32%、16.77%，为优势目；按科统计，其中以鸥科种类最多，为 18 种，占整个调查区域鸟类的 10.78%，鸥科、鹭科次之，均为 16 种，占整个调查区域鸟类的 9.58%，为优势科。

4.9.3.2 海上调查区域

三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目实施区域一条海上长样线春季、夏季、秋季和冬季 4 个季节共调查发现鸟类 18 种，隶属 6 目 6 科。按目统计，以鸽形目种类最多，为 9 种，占调查区域鸟类总数的 50.00%，潜鸟目、鹬形目、鹰形目、鸻形目次之，都为 2 种，均占整个调查区域鸟类总种数的 11.11%，为优势目；按科统计，以鸥科种类最多，为 9 种，占整个调查区域鸟类的 50.00%，海燕科、潜鸟科、鹭科、鹰科次之，均为 2 种，各占整个调查区域鸟类的 11.11%，为优势科。

4.9.3.3 陆上调查区域

三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目实施区域 3 条陆上样线春季、夏季、秋季和冬季 4 个季节共调查发现鸟类 143 种，隶属 13 目 33 科。按目统计，以雀形目种类最多，鹬形目、雁形目次之，分别为 69 种、16、15 种，各占整个调查区域鸟类总种数的 48.25%、11.19%、10.49%，为优势目；按科统计，其中以鹭科种类最多，为 16 种，占整个调查区域鸟类的 11.19%，鸭科为 15 种，占整个调查区域鸟类的 10.49%，为优势科。

4.9.4 各季节调查结果详述

4.9.4.1 春季调查概况

在春季调查共记录鸟类 42 种，隶属 10 目 23 科。其中海上调查发现鸟类 4 种，隶属 2 目 2 科，陆上调查发现鸟类 38 种，隶属 9 目 22 科。优势类群包括雀形目 22 种和鸽形目 6 种。数量上，共记录 1974 只，其中陆上 1996 只，海上 8 只，优势种为红嘴鸥、麻雀、斑嘴鸭、棕头鸦雀，分别占当季调查的 56.99%、6.64%、4.71%、4.71%，以上四种共占当季调查数量的 73%。黑尾鸥、牛头伯劳、树鹩、丝光椋鸟、红胁蓝尾鸲、黑喉潜鸟、红喉潜鸟等 7 种鸟类数量最少，仅观测到 1 只。反映了本季度鸟类种类较少和数量较少的特征。

在调查的 42 种鸟类种，鸣禽的数量最多，高达 22 种，游禽次之，为 11 种，涉禽、陆禽、攀禽较少，分别为 5 种、3 种、1 种，未发现猛禽，5 种生态类型鸟类各占 2025 年春季调查区域鸟类总种数的 52.4%、26.2%、11.9%、7.1%、2.4%，调查区域鸟类明显以鸣禽和游禽为主，这 2 种生态类型鸟类合计占比达 78.6%。

居留型方面，留鸟种类最多，有 15 种，夏候鸟次之，为 11 种，旅鸟、冬候鸟较少，均为 8 种。留鸟、夏候鸟、旅鸟、冬候鸟分别占 2025 年春季调查区域鸟类总数的

35.7%、26.2%、19.0%、19.0%。在春季，该调查区域以留鸟和夏候鸟为主，这两种居留型鸟类占比高达 61.9%。

调查发现的 42 种鸟类未发现《国家重点保护野生动物名录》（国家林业和草原局、农业农村部，2021 年 2 月 5 日公布）国家重点保护野生动物；有 40 种属于《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》（IUCN Red List of Threatened Species）（世界自然保护联盟，v2025-1）LC（无危）级别；42 种全部属于《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》（国家林业和草原局，2023 年 6 月 30 日公布）中“三有”陆生野生动物。

4.9.4.2 夏季调查概况

本次夏季调查共记录鸟类 44 种，隶属 13 目 27 科。其中海上调查发现鸟类 6 种，隶属 2 目 2 科，陆上调查发现鸟类 39 种，隶属 12 目 26 科。数量上，共记录 1088 只，其中陆上 1054 只，海上 34 只，优势种为黑尾鸥、麻雀、白头鹎分别占当季调查的 19.58%、16.54%、10.94%，以上三种共占当季调查数量的 47.06%。雀鹰、普通秧鸡、黑翅长脚鹬、灰头麦鸡、西伯利亚银鸥、白翅浮鸥、大斑啄木鸟、红隼、游隼、棕背伯劳、黑领椋鸟等 11 种鸟类数量最少，仅观测到 1 只，反映了本季度鸟类种类较少和数量较少的特征。

调查的 44 种鸟类中，鸣禽的数量最多，为 16 种，涉禽、游禽次之。分别为 10 种、9 种，陆禽、攀禽、猛禽较少，均为 3 种，6 种生态类型鸟类各占 2025 年夏季调查区域鸟类总种数的 36.4%、22.7%、20.5%、6.8%、6.8%、6.8%，可见调查区域鸟类明显以鸣禽、涉禽和游禽为主，这 3 种生态类型鸟类合计占比高达 79.6%。

居留型方面，夏候鸟种类最多，有 19 种，留鸟次之，为 15 种，旅鸟、冬候鸟较少，分别为 6 种、3 种。夏候鸟、留鸟、旅鸟、冬候鸟、迷鸟分别占 2025 年夏季调查区域鸟类总数的 43.2%、34.1%、13.6%、6.8%、2.3%。44 种鸟类中候鸟（夏候鸟、冬候鸟、旅鸟）28 种，占 2025 年夏季调查区域鸟类总种数的 63.6%。

调查到的 44 种鸟类中有 4 种属于《国家重点保护野生动物名录》（国家林业和草原局、农业农村部，2021 年 2 月 5 日公布）中国家二级保护野生动物，为雀鹰、红隼、游隼、震旦鸦雀；有 2 种属于《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》（IUCN Red List of Threatened Species）（世界自然保护联盟，v2024-1）NT（近危）级别，为黑叉尾海燕、震旦鸦雀，有 39 种属于 LC（无危）级别；有 40 种属于《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》（国家林业和草原局，2023 年 6 月 30 日公布）中“三有”

陆生野生动物。

4.9.4.3 秋季调查概况

本次秋季调查共记录鸟类 45 种，隶属 12 目 25 科。其中海上调查发现鸟类 5 种，隶属 3 目 3 科，陆上调查发现鸟类 42 种，隶属 10 目 23 科。数量上，共记录 1402 只，其中陆上 1374 只，海上 28 只，优势种为红嘴鸥数、麻雀、环颈鸻分别占当季调查的 33.02%、10.91%、6.99%，以上三种共占当季调查数量的 51%。雉鸡、凤头蜂鹰、黑鸢、黑水鸡、灰斑鸻、山斑鸻、红尾伯劳、黄腰柳莺、田鸫这 9 种鸟类数量最少，观测到 1 只。反映了本季度鸟类种类较少和数量较少的特征。

调查的 45 种鸟类中，鸣禽的数量最多，为 19 种，涉禽、游禽次之。分别为 11 种、8 种，猛禽、攀禽较少，分别为 3 种、3 种、1 种，6 种生态类型鸟类各占 2024 年秋季调查区域鸟类总种数的 42.2%、24.4%、17.8%、6.7%、6.7%、2.2%，可见调查区域鸟类明显以鸣禽、涉禽和游禽为主，这 3 种生态类型鸟类合计占比高达 84.4%。

居留型方面，留鸟种类最多，有 16 种，夏候鸟、旅鸟次之，为 15、11 种，冬候鸟最少，均为 3 种。留鸟、夏候鸟、旅鸟、冬候鸟分别占 2025 年春季调查区域鸟类总数的 35.6%、33.3%、24.4%、6.7%。在秋季，该调查区域除冬候鸟外，其它三种居留型基本相当。

调查到的 45 种鸟类中有 3 种属于《国家重点保护野生动物名录》（国家林业和草原局、农业农村部，2021 年 2 月 5 日公布）中国家二级保护野生动物，为凤头蜂鹰、黑鸢、红隼；有 1 种属于《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》（IUCN Red List of Threatened Species）（世界自然保护联盟，v2024-1）NT（近危）级别，为黑叉尾海燕，有 40 种属于 LC（无危）级别；有 41 种属于《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》（国家林业和草原局，2023 年 6 月 30 日公布）中“三有”陆生野生动物。

4.9.4.4 冬季调查概况

本次冬季调查共记录鸟类 36 种，隶属 9 目 20 科。其中海上调查发现鸟类 3 种，隶属 2 目 2 科，陆上调查发现鸟类 35 种，隶属 9 目 20 科。数量上，共记录 1284 只，其中陆上 1276 只，海上 8 只，优势种为麻雀、斑嘴鸭、绿头鸭分别占当季调查的，以上三种共占当季调查数量的 29.75%、13.86%、13.40%。豆雁、白额雁、翘鼻麻鸭、琵嘴鸭、红胸秋沙鸭、扇尾沙锥、游隼、棕背伯劳、燕雀、苇鹀等 10 种鸟类数量最少，仅观测到 1 只。反映了本季度鸟类种类较少和数量较少的特征。

调查的 36 种鸟类中，游禽最多，为 13 种，鸣禽、涉禽次之，分别为 12 种、7 种，陆禽、猛禽、攀禽较少，分别为 2 种、1 种、1 种，6 种生态类型鸟类各占 2024 年冬季调查区域鸟类总种数的 36.1%、33.3%、19.4%、5.6%、2.8%、2.8%，可见调查区域鸟类明显以游禽和鸣禽为主，这 2 种生态类型鸟类合计占比达 69.4%。

居留型方面，留鸟种类最多，有 11 种，旅鸟次之，为 10 种，夏候鸟、冬候鸟较少，分别为 8 种、7 种，留鸟、旅鸟、夏候鸟、冬候鸟分别占 2024 年冬季调查区域鸟类总数的 30.6%、27.8%、22.2%、19.4%。

调查到的 36 种鸟类中有 2 种属于《国家重点保护野生动物名录》（国家林业和草原局、农业农村部，2021 年 2 月 5 日公布）中国家二级保护野生动物，为白额雁、游隼；有 34 种属于《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》（IUCN Red List of Threatened Species）（世界自然保护联盟，v2024-2）LC（无危）级别；有 34 种属于《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》（国家林业和草原局，2023 年 6 月 30 日公布）中“三有”陆生野生动物。

4.9.4.5 鸟类物种多样性

三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目实施区域设 1 条海上样线和 3 条陆上样线春季、夏季、秋季和冬季 4 个季节共调查发现鸟类 167 种，隶属 15 目 38 科。鸟类物种多样性以香农-维纳（Shannon-Wiener）生物多样性指数 H' 评价，从季节来看，夏季生物多样性指数最高，平均值达到 2.97，说明调查区域夏季鸟类物种多样性最丰富，从样线来看，NL3 生物多样性指数最高，平均值为 3.04，说明该样线所在区域鸟类物种多样性最丰富。

4.9.5 鸟类区系组成

三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目鸟类调查 1 条海上长样线和 3 条陆上样线共调查发现鸟类 167 种，隶属 15 目 38 科。166 种鸟类为广布种，东洋界种 1 种，广布种占调查区域鸟类总数数量的 99.4%，可见调查区域鸟类区系组成明显以广布种为主，符合调查区域在古北界和东洋界交界处的地理特征。

4.9.6 珍稀濒危鸟类及其习性分析

4.9.6.1 凤头蜂鹰（*Pernis ptilorhynchus*）

凤头蜂鹰隶属于鹰形目鹰科蜂鹰属。分布于古北界东部、印度及东南亚。栖息于

不同海拔高度的阔叶林、针叶林和混交林中，尤以疏林和林缘地带较为常见，有时也到林外村庄、农田和果园等小林内活动。主要以黄蜂、胡蜂、蜜蜂和其它蜂类为食，也吃其它昆虫和昆虫幼虫，偶尔也吃小的蛇类、蜥蜴、蛙、小型哺乳动物、鼠类、鸟等动物性食物。春季于 4 月初至 4 月末迁来，秋季于 9 月末至 10 月末迁走。在当地为旅鸟，迁徙时经过，2024 年秋季调查在 NH2 样线发现 1 只往南迁徙。

4.9.6.2 黑鸢 (*Milvus migrans*)

黑鸢隶属于鹰形目鹰科鸢属。分布于非洲、印度至澳大利亚。栖息于开阔平原、草地、荒地和低山丘陵地带。白天活动，常单独在高空飞翔。主要以小鸟、鼠类、蛇、蛙、鱼、野兔、蜥蜴和昆虫等动物性食物为食。在当地为留鸟，2024 年秋季调查在 NH2 样线发现 1 只单独高空飞行。

4.9.6.3 红隼 (*Falco tinnunculus*)

红隼隶属于隼形目隼科隼属。分布于非洲、古北界、印度及中国。栖息于山地和旷野中，多单个或成对活动，飞行较高。食大型昆虫、鸟和小哺乳动物。春季 3 月中旬至 4 月中旬陆续迁到北方繁殖地，10 月初至 10 月末迁离繁殖地。中国北部繁殖的种群为夏候鸟，南部繁殖种群为留鸟。在当地为留鸟，夏季数量少，但其它季节常见，常栖于路边电线杆及树冠上，2024 年秋季调查在 3 条陆上样线各发现 1 只。

4.9.6.4 白额雁 (*Anser albifrons*)

白额雁隶属于雁形目鸭科雁属。繁殖于北半球的苔原冻土带，越冬于温带农田。在中国，越冬区在长江流域及华东各省至湖北、湖南及台湾。栖于浅水芦苇丛中、滩涂或草地、农田。主要以植物性食物为食，觅食多在白天。有迁徙的习性，迁飞距离也较远，喜群居，迁徙季节常与豆雁混群，飞行时成有序的队伍，有“一”字形、“人”字形等。每年 8 月末至 9 月初离开繁殖地，迁往越冬地，通常到达中国的时间在 9 月末 10 月初，大量迁来的时间在 10 月中下旬，最迟到 11 月初；迁离中国的时间多在 3 月初至 3 月中下旬，最晚在 4 月末至 5 月初。迁徙主要在晚上进行，白天停息下来觅食和休息。在当地为冬候鸟，2024 年冬季调查在 NL2 样线发现 1 只混群于斑嘴鸭和绿头鸭中。

4.9.6.5 游隼 (*Falco peregrinus*)

游隼隶属于隼形目隼科隼属。分布于世界各地。在中国为不常见留鸟及季候鸟。

一般栖息于山地、丘陵、荒漠、半荒漠、海岸、旷野、草原、河流、沼泽与湖泊沿岸地带，也到开阔的农田、耕地和村屯附近活动。主要捕食野鸭、鸥、鸠鸽类、乌鸦和鸡类等中小型鸟类，偶尔也捕食鼠类和野兔等小型哺乳动物，游隼飞行甚快。在当地为冬候鸟，2024 年冬季调查在 NL2 样线发现 1 只栖息于闲置楼房窗台上。

4.9.6.6 雀鹰 (*Accipiter nisus*)

雀鹰隶属于鹰形目鹰科鹰属。繁殖于古北界，迁徙至非洲、印度、东南亚。栖息于针叶林、混交林、阔叶林等山地森林和林缘地带。日出性。常单独活动。以雀形目小鸟、昆虫和鼠类为食，有时亦捕食野兔、蛇、昆虫幼虫。春季于 4-5 月迁到繁殖地，秋季于 10-11 月离开繁殖地。在当地为冬候鸟，4-5 月和 9-11 月迁徙时常见。2025 年夏季调查在陆地样线 NL1 发现 1 只。

4.9.6.7 震旦鸦雀 (*Paradoxornis heudei*)

震旦鸦雀隶属于雀形目莺鹋科鸦雀属。为中国东部及东北至西伯利亚东南部的特有种。主要栖息于河流、江边、湖泊沼泽芦丛和河口沙洲及沿海滩涂芦苇丛中。夏季以昆虫为食，冬季也吃浆果，主要食物是芦苇茎内、茎表、叶表上面移动能力较差的小虫以及介壳虫等。震旦鸦雀食源单一，很少离开芦苇丛觅食生活，在其分布区内严重依赖芦苇生境生存，没有芦苇，它就会失去生存空间。在当地为留鸟，栖于近水的芦苇、香蒲等湿地生境中。2025 年夏季调查在陆地样线 NL2 发现 7 次共计 19 只活动于路边芦苇丛。

4.9.7 小结

综上所述，三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目所在区域并非鸟类的繁殖地，仅有部分鸟类在此觅食，有极少数鸟类在日常活动或迁徙时会飞过场区附近，但本项目距离海岸及沿海岛屿非常远，除少数岛屿繁殖的海洋性鸟类和极个别偏离主要迁徙路线的鸟类外，仅有部分鸟类会随船舶飞到此处，场区的鸟类多样性极低。此外，风电场的风机间距较大，鸟类有足够多的飞行规避空间，通过一些有效措施让鸟类提前规避，进一步降低觅食和迁徙路过鸟类的撞击风险。

4.10 声环境现状监测与评价

本节引自《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目电磁与声环境现状春季调查专题

报告》（青岛环海海洋工程勘察研究院有限责任公司，2025 年 5 月）和《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目电磁与声环境现状秋季调查专题报告》（青岛环海海洋工程勘察研究院有限责任公司，2024 年 11 月）。

4.10.1 调查概况

本次评价共布设水上水下声环境调查站位 9 个，春季调查时间为 2025 年 5 月 15 日，秋季调查时间为 2024 年 11 月。

4.10.2 调查内容

水上噪声包括等效连续 A 声级 L_{Aeq} 、累积百分声级 L_{10} (dB)、累积百分声级 L_{50} (dB)和累积百分声级 L_{90} (dB)。

水下噪声调查内容为频程频带声压级 (L_{ps})、噪声功率谱密度级以及各测点的峰值声压级。

4.10.3 调查结果

4.10.3.1 春季

4.10.3.1.1 水上噪声环境调查结果

由海上声环境现场调查结果可知，工程海域水上声环境连续等效 A 声级主要分布在 45dB~52dB 之间。测量时间内，声环境的平均峰值分布在 46~55dB，调查海域声环境现状质量良好。

4.10.3.1.2 水下噪声环境调查结果

（1）结果分析

在 20HZ 至 20KHZ 内，三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目海上风电场工程海域各站各层全频带累计声压级分布在 120.0dB/1 μ Pa~151.1dB/1 μ Pa，均值为 140.8dB/1 μ Pa，各站各层峰值声压级在 143.3dB/1 μ Pa~173.8dB/1 μ Pa 之间，最大峰值声压出现在 12 号测站底层。

（2）趋势分析

工程海域水下声环境倍频带声压级与声压谱级变化趋势基本一致。各测站在水深 30m 处（底层）测量结果随着频率的增高而下降，水深 2m（表层）和 15m（中层）处测量结果在 20HZ 至 630HZ 呈下降趋势，630HZ 至 1250HZ 之间略有升高，1250HZ 至 20000HZ 总体呈下降趋势。

（3）特定频率分析

特定频率（如 100Hz）的声压谱级的动态变化范围为 40dB。总体上，在 100Hz-500Hz 频率的倍频带声压级在 140dB/1 μ Pa 以下，声压谱级在 126dB/1 μ Pa 以下；500Hz-1kHz 频率的倍频带声压级均在 135dB/1 μ Pa 以下，声压谱级在 114dB/1 μ Pa 以下；1kHz-5kHz 频率的倍频带声压级在 130dB/1 μ Pa 以下，声压谱级在 106dB/1 μ Pa 以下；而在 5kHz 以上频率的倍频带声压级在 116dB/1 μ Pa 以下，声压谱级在 85dB/1 μ Pa 以下。

4.10.3.2 秋季

4.10.3.2.1 水上声环境现状调查结果

由海上声环境现场调查结果可知，工程海域水上声环境连续等效 A 声级主要分布在 57dB~64dB 之间。测量时间内，声环境的平均峰值分布在 59~67dB。调查海域声环境现状质量良好。

4.10.3.2.2 水下声环境调查结果

（1）结果分析

在 20Hz 至 20kHz 内，三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目海上风电场工程海域各站表层全频带累计声压级分布在 110.25dB/1 μ Pa~1225.99dB/1 μ Pa，均值为 120.09dB/1 μ Pa，各站表层峰值声压级在 147.60dB/1 μ Pa~175.01dB/1 μ Pa 之间，最大峰值声压出现在 7 号、8 号和 9 号测站，即送出海缆路由区。

（2）趋势分析

工程海域水下声环境倍频带声压级与声压谱级变化趋势基本一致。各测站测量结果随着频率的增高而下降。

（3）特定频率分析

特定频率（如 100Hz）的声压谱级的动态变化范围为 23dB。总体上，在 100Hz-500Hz 频率的倍频带声压级在 121dB/1 μ Pa 以下，声压谱级在 107dB/1 μ Pa 以下；500Hz-1kHz 频率的倍频带声压级均在 110dB/1 μ Pa 以下，声压谱级在 88dB/1 μ Pa 以下；1kHz-5kHz 频率的倍频带声压级在 109dB/1 μ Pa 以下，声压谱级在 83dB/1 μ Pa 以下；而在 5kHz 以上频率的倍频带声压级在 96dB/1 μ Pa 以下，声压谱级在 64dB/1 μ Pa 以下。

4.11 电磁环境现状调查与评价

本节引自《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目电磁与声环境现状春季调查专题报告》（青岛环海海洋工程勘察研究院有限责任公司，2025 年 5 月）和《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目电磁与声环境现状秋季调查专题报告》（青岛环海海洋工程勘察研究院有限责任公司，2024 年 11 月）。

4.11.1 调查概况

本次海上电磁环境调查站位共设置 12 个调查站位，包括风电场区测站 9 个和送出海缆路由区测站 3 个。

4.11.2 调查内容

调查内容包括工频电场强度、工频磁场感应强度和合成电场。

4.11.3 调查方法

分析方法及使用仪器一览表见表 4.11-2。

表 4.11-2 电磁环境分析方法及使用仪器一览表

检测项目	分析方法	分析仪器名称
工频电场强度	《交流输变电工程电磁环境监测方法(试行)》 HJ 681-2013	电磁辐射分析仪 SEM-600
工频磁场强度	《交流输变电工程电磁环境监测方法(试行)》 HJ 681-2013	电磁辐射分析仪 SEM-600
合成电场	《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》 (GB39220-2020)	高压直流合成电场检测系统 HDEM-1

4.11.4 监测结果分析与评价

4.11.4.1 春季

(1) 工频电场和工频磁场现状调查结果与评价结论

工程海域工频电场强度在 $0.312\text{V/m} \sim 3.412\text{V/m}$ 之间，满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）的要求（公众暴露电场强度控制限值 4000V/m ）；工频磁感应强度在： $0.0898\mu\text{T} \sim 0.0933\mu\text{T}$ ，满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）的要求（公众暴露磁感应强度控制限值 $100\mu\text{T}$ ）。

(2) 合成电场现状调查结果与评价结论

工程海域合成电场的现状调查结果列于下表 4.11-4。工程海域合成电场强度 E95 数值在 $0.05 \sim 0.43$ 之间，E80 数值在 $0.00 \sim 0.37$ 之间，均满足《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》（GB39220-2020）标准限值要求（环境中合成电场强度 E95 的限值为 25kV/m ，且 E80 的限值为 15kV/m ）。

4.11.4.2 秋季

(1) 工频电场和工频磁场现状调查结果与评价结论

工程海域工频电场和工频磁场的现状调查结果列于下表 4.11-5。工程海域工频电场强度在 $0.138\text{V/m} \sim 0.522\text{V/m}$ 之间，满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）的要求（公众暴露电场强度控制限值 4000V/m ）；工频磁感应强度在： $0.0899\mu\text{T} \sim 0.0932\mu\text{T}$ ，满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）的要求（公众暴露磁感应强度控制限值 $100\mu\text{T}$ ）。

（2）合成电场现状调查结果与评价结论

工程海域合成电场强度 E95 数值在 0.05kV/m~0.15kV/m 之间，E80 数值在 0.05kV/m~0.10kV/m 之间，均满足《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》（GB39220-2020）标准限值要求（环境中合成电场强度 E95 的限值为 25kV/m，且 E80 的限值为 15kV/m）。

4.12 环境空气现状调查与评价

根据 2025 年 06 月 09 日发布的《2024 年青岛市生态环境状况公报》显示，2024 年，青岛市空气质量优良率为 85.5%，排名全省第三，在全国 168 个城市种处于中游偏上水平。细颗粒物（PM_{2.5}）、可吸入颗粒物（PM₁₀）、二氧化硫（SO₂）、二氧化氮（NO₂）、一氧化碳（CO）、臭氧六项污染物浓度均达到国家二级标准，为达标区域。

表 4.12-1 监测因子和标准指一览表

监测因子	单位	浓度值	标准值（二级）
PM _{2.5}	μg/m ³	26	35
PM ₁₀		49	70
SO ₂		9	60
NO ₂		27	50
O ₃		158	160
CO	mg/m ³	1.1	4

5 环境影响预测与评价

5.1 水文动力环境影响预测与评价

5.1.1 控制方程

模式垂向采用 σ 坐标系，与 Z 坐标系的变换关系如下：

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

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

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

(1) 连续方程

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

(2) 动量方程

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

(3) 温度、盐度和密度方程

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

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

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

（4）湍流闭合方程

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

在 σ 坐标系中，水平扩散项定义为：

$$\begin{aligned} DF_x &\approx \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_m H \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_m H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ DF_y &\approx \frac{\partial}{\partial x} \left[2A_m H \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_m H \frac{\partial v}{\partial y} \right] \\ D(F_T, F_S, F_{q^2}, F_{q^2 l}) &\approx \left[\frac{\partial}{\partial x} (A_h H \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h H \frac{\partial}{\partial y}) \right] (T, S, q^2, q^2 l) \end{aligned}$$

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

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

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

A_h 、 K_h 是水平与垂向热力涡动摩擦系数；

q^2 和 l 分别是湍动能和湍动的长度尺度。

K_m 、 K_h 、 K_q 分别由下列公式确定： $K_m = l q S_m$ ， $K_h = l q S_h$ ， $K_q = 0.2 l q$

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

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

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

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

5.1.2 边界条件和初始条件

(1) 海面边界条件 $\sigma=0$:

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

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

(2) 海底边界条件 $\sigma=-1$:

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

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

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

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

式中, \hat{P} 、 \hat{E} 分别是降雨量和蒸发量;

(τ_{sx}, τ_{sy}) 为表面风应力在 x , y 向的分量;

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

Q_b 为底部水体通量;

C_d 为底应力拖曳系数, 由近海底 z_ϕ 处的流速呈对数分布计算:

$$C_d = \max \left[\frac{\kappa^2}{\ln \left(\frac{z_\phi}{z_0} \right)^2}, 0.0025 \right], \quad \text{其中 } \kappa \text{ 为卡门常数, } \kappa=0.4; \quad z_0 \text{ 为海底粗糙度, 一般取}$$

为 0.001~0.002m。

(3) 固体侧边界条件:

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

(4) 开边界条件:

模型可以采用两种方法指定开边界条件:

- ①在开边界指定有实测得到的水位或者嵌套的大区域网格计算所得到的水位。
- ②利用开边界上各分潮的调和常数计算得到强迫水位。公式如下:

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

其中: $\bar{\zeta}_o$ 是相对于静止水平面的平均水位;

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

N_o 是分潮总数。

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

5.1.3 计算域的确定及网格划分

数学模型的网格剖分与本工程方案尺度相适应, 对本工程方案进行合理概化, 对潮流运动进行详细的模拟。

模型采用三角形网格剖分计算区域, 工程前三角形网格节点数为 55615 个, 三角形网格数为 110791 个, 由于工程后不存在岸线变化, 工程后与工程前采用相同的网格, 最大网格长约 6.1km, 位于外海边界处; 最小网格长 3.0m, 位于风电桩基处。大范围网格剖分见图 5.1-1, 工程区局部网格剖分见图 5.1-2a。

桩基附近的模型计算网格见图 5.1-2b, 风电桩基类似于陆点, 工程后将风电桩基处理成陆点不参与计算, 即工程前后的网格相同, 工程后桩基处的水深改变为负数成为陆点。

模型水深由以下海图给出，并采用项目区域实测地形进行局部调整，所有水深都经过绘图水深和平均海平面的转化。

5.1.4 模型验证

(1) 模型的验证-春季

模型的验证有两部分，包括用项目区域附近 2025 年 4 月 25~26 日（春季）的 8 个站点（站位编号为 A、B、C、D、E、F、G、H）的潮流资料和 2 个站的潮位资料（董家口站、灵山湾站，观测站位见图 5.1-4）的潮位资料与计算结果比较，绘制潮位曲线图和流向、流速曲线如图。实测流速为六层（表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H、底层），验证时采用表层、0.6H 和底层实测流速、流向资料。

由潮位和潮流的计算数据和实测数据的对比情况分析，潮位验证的平均绝对误差为 7.9cm，流速和流向的验证也基本上与实测资料一致，其中流速的平均绝对误差小于 10%，流向的平均绝对误差小于 15 度，满足相关规范的要求。从潮位过程和流速、流向验证曲线图对照可以看出，模拟结果与实测数据基本吻合，各站位为不规则半日潮流，实测海流受潮流与风应力共同作用。根据潮位和潮流流速、流向的验证效果可知本模型可以用于本项目工程的动力场和物质输运分析。

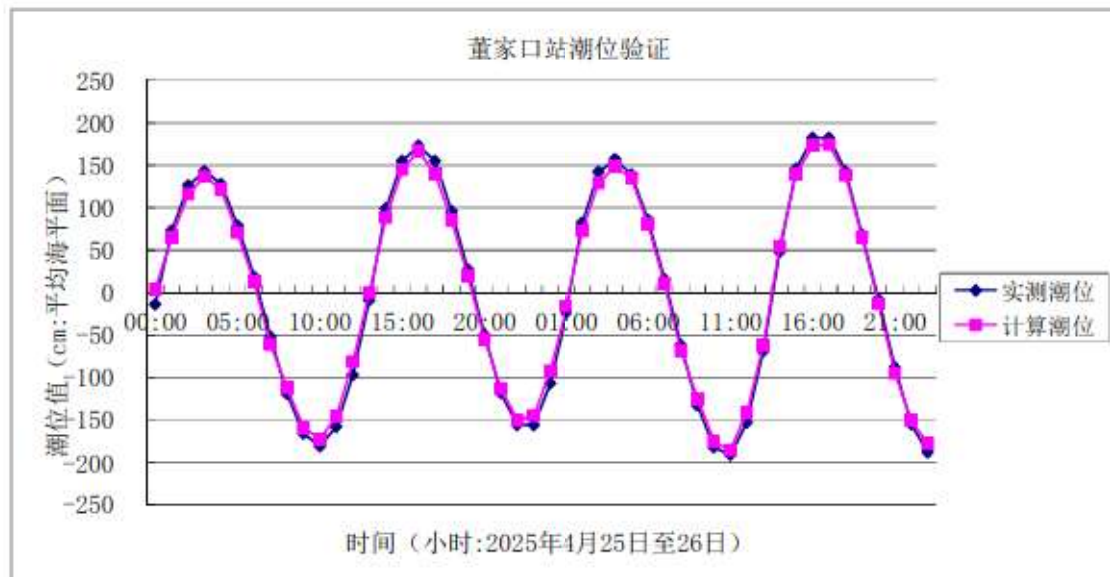


图 5.1-5a 董家口站潮位过程验证

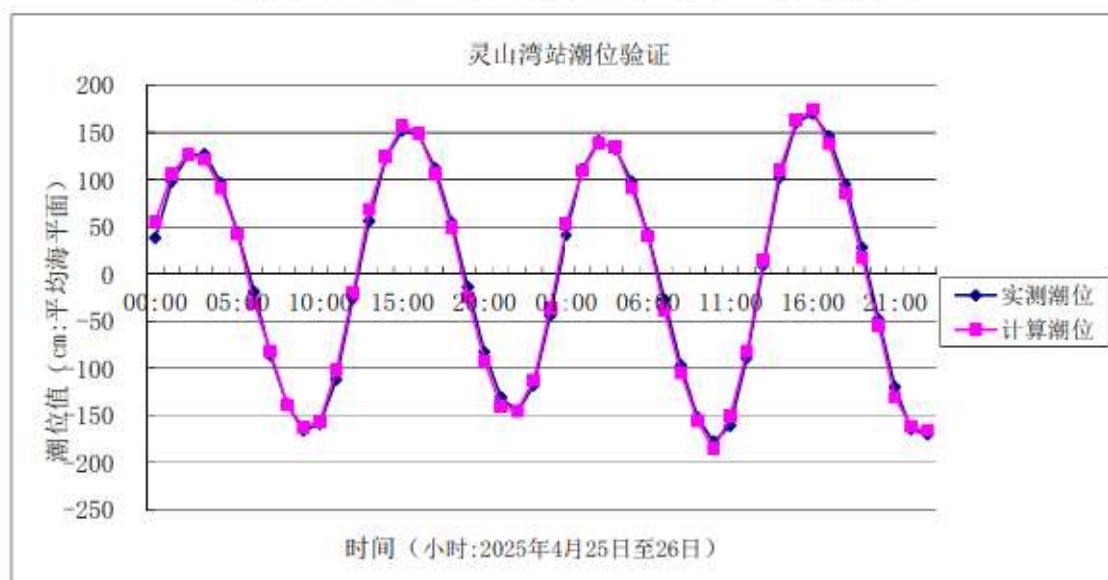


图 5.1-5b 灵山湾站潮位过程验证

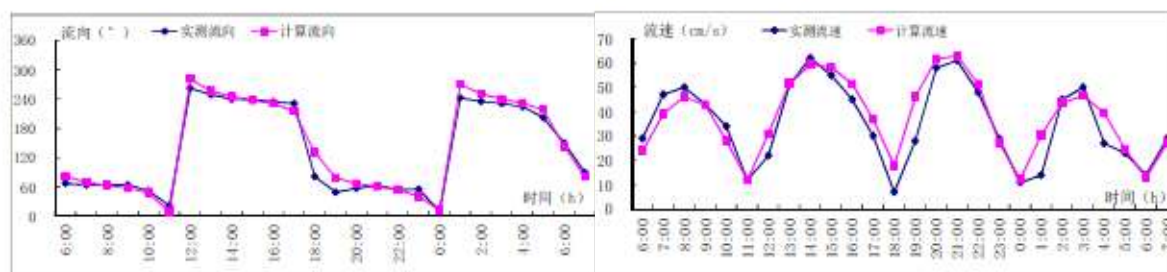


图 5.1-6a A 站表层实测流速与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

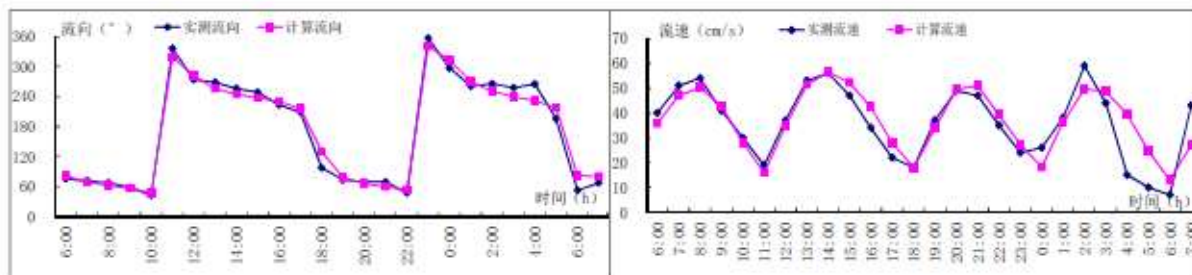


图 5.1-6b A 站 0.6H 层实测流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

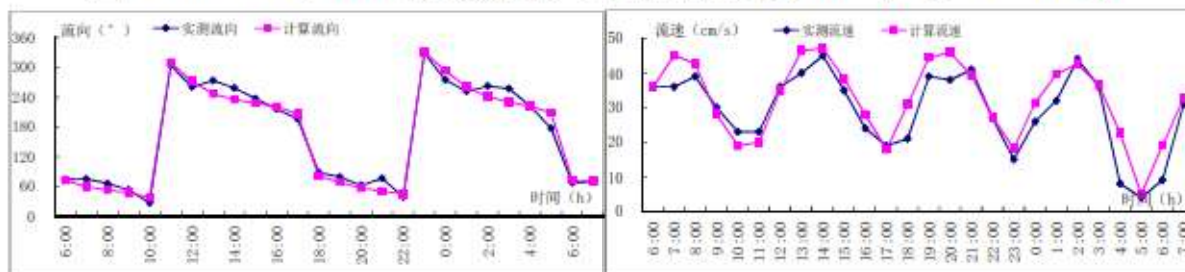


图 5.1-6c A 站底层实测流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

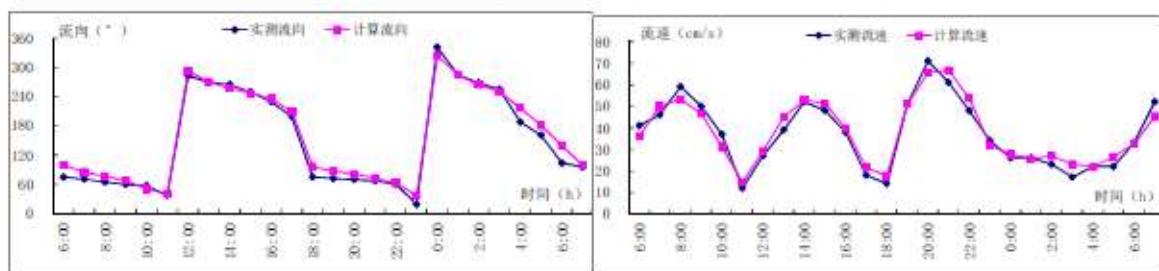


图 5.1-7a B 站表层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

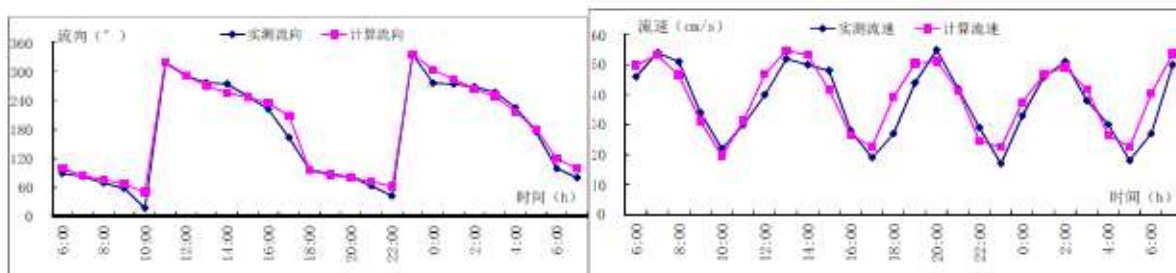


图 5.1-7b B 站 0.6H 层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

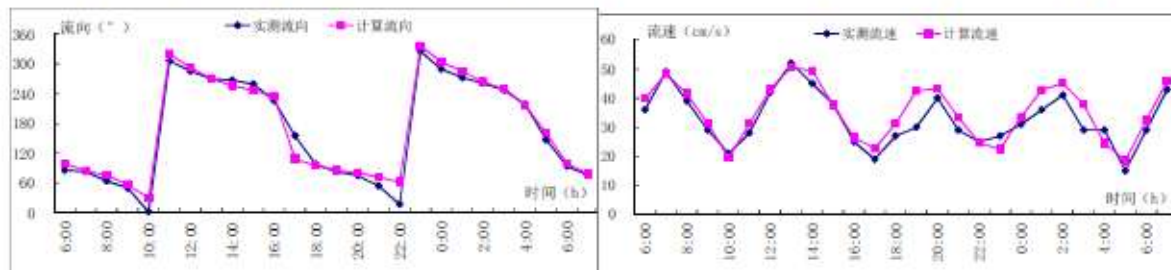


图 5.1-7c B 站底层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

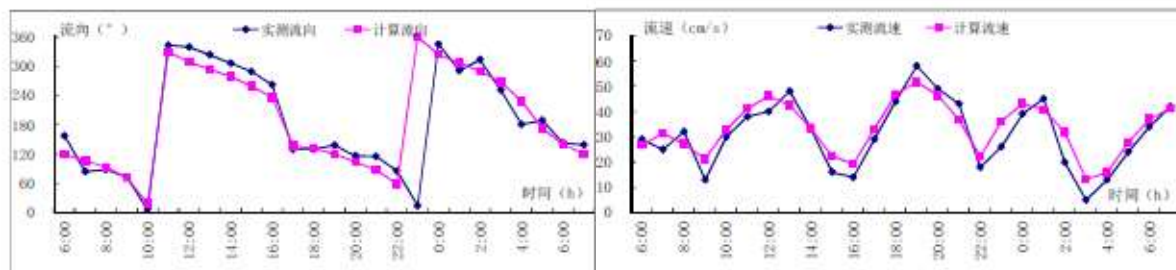


图 5.1-8a C 站表层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

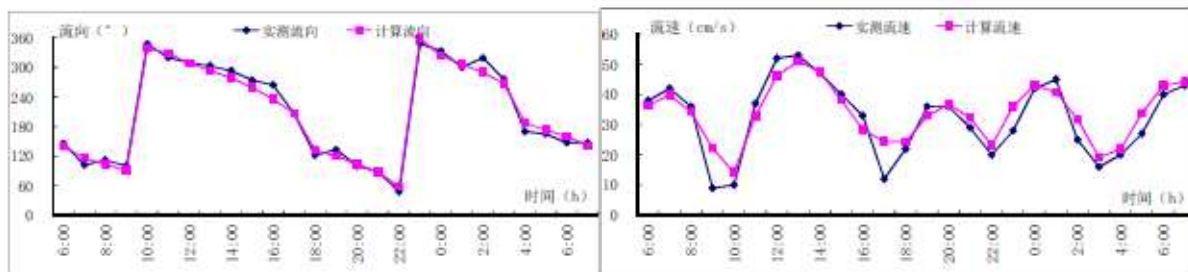


图 5.1-8b C 站 0.6H 层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

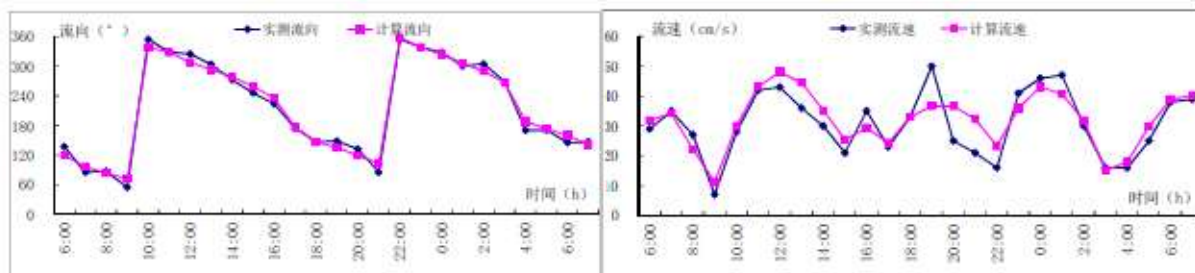


图 5.1-8c C 站底层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

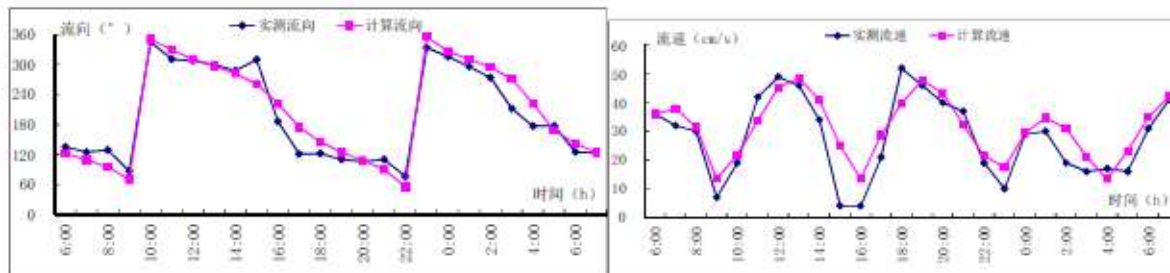


图 5.1-9a D 站表层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

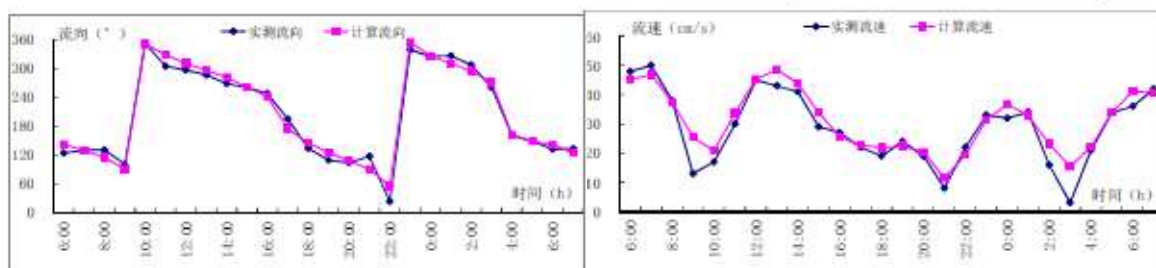


图 5.1-9b D 站 0.6H 层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

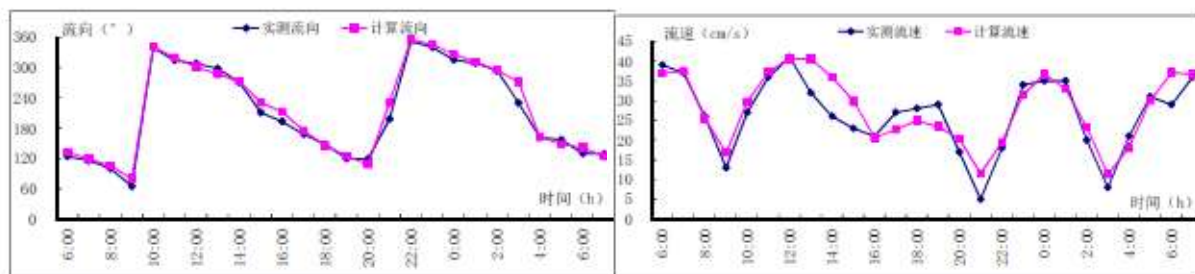


图 5.1-9c D 站底层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

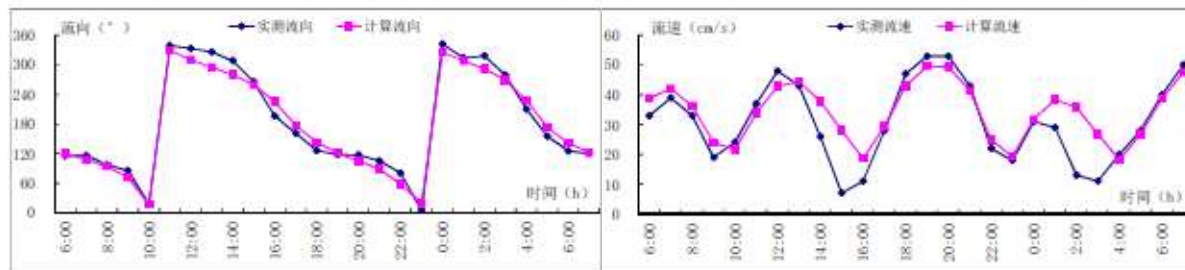


图 5.1-10a E 站表层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

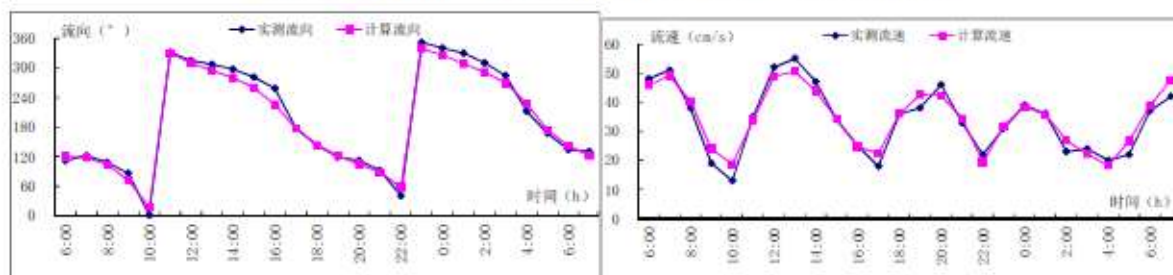


图 5.1-10b E 站 0.6H 层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

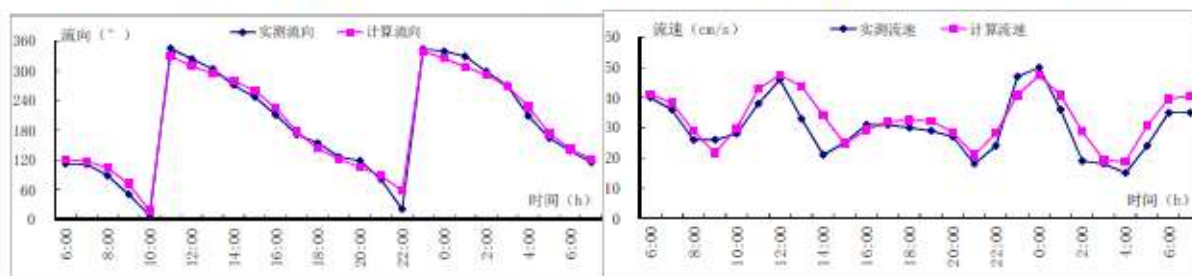


图 5.1-10c E 站底层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

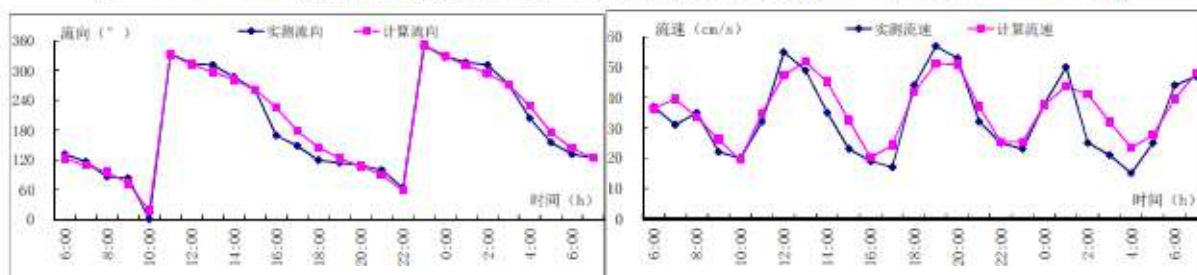


图 5.1-11a F 站表层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

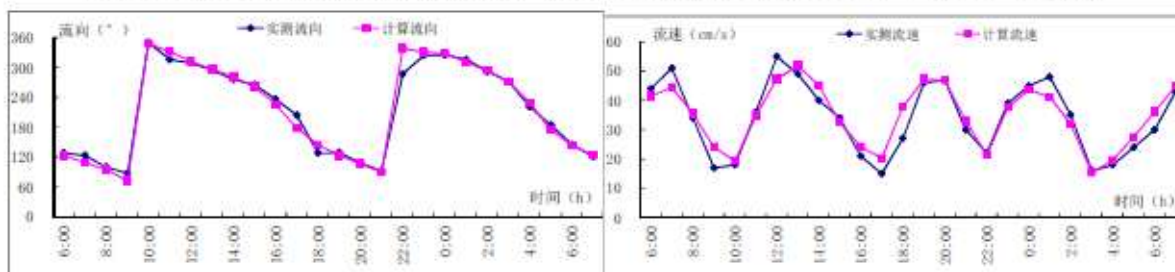


图 5.1-11b F 站 0.6H 层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

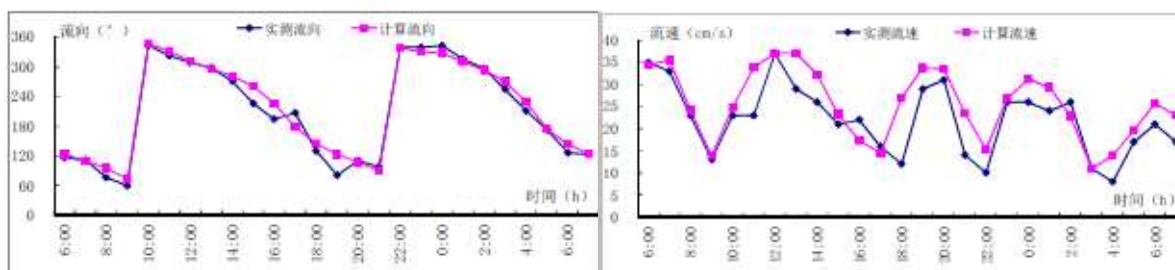


图 5.1-11c F 站底层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

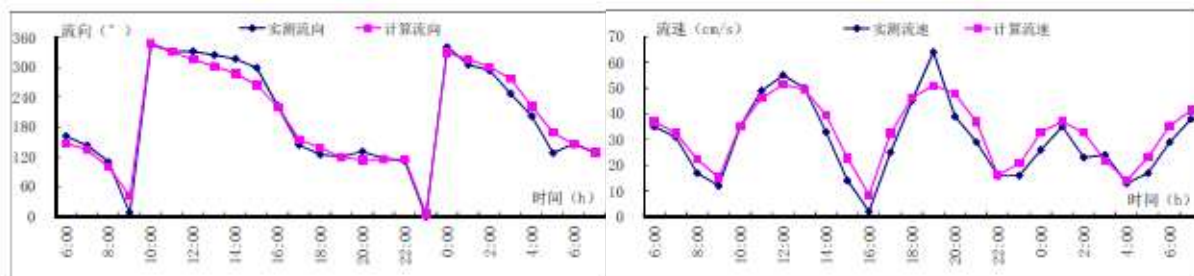


图 5.1-12a G 站表层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

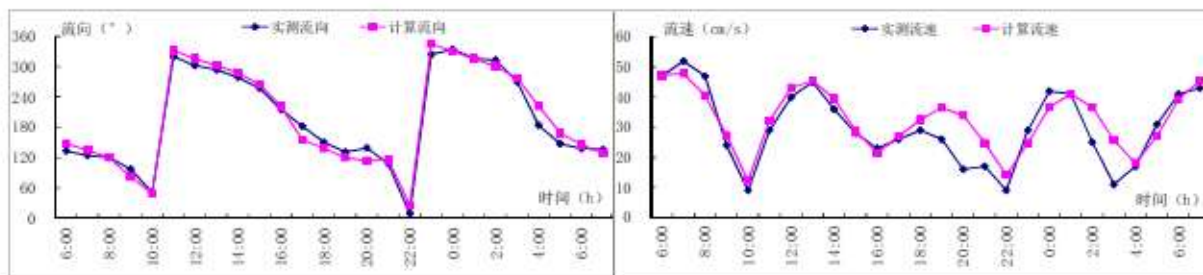


图 5.1-12b G 站 0.6H 层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

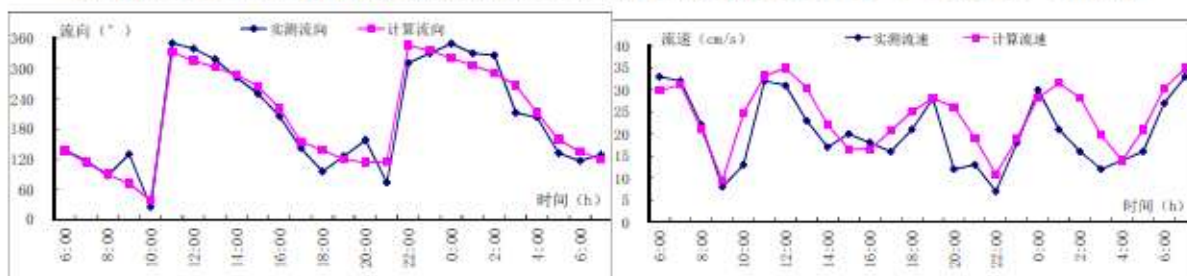


图 5.1-12c G 站底层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

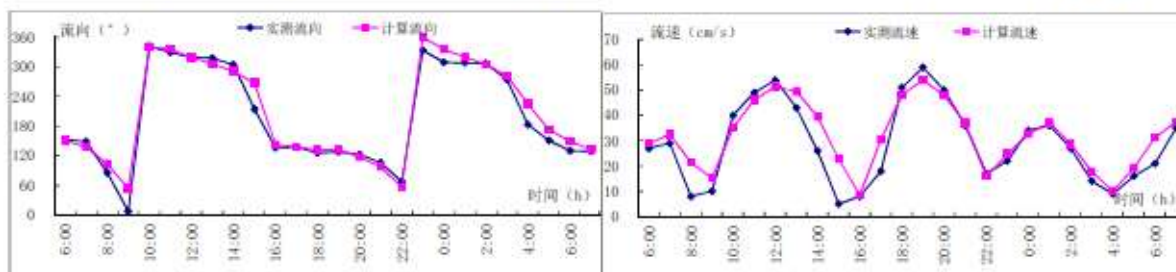


图 5.1-13a H 站表层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

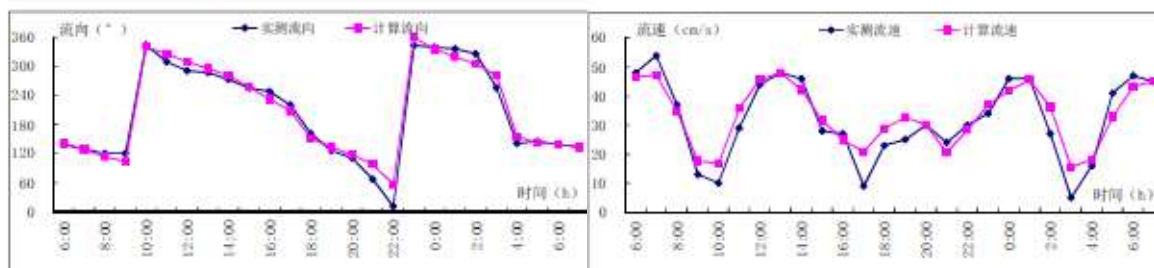


图 5.1-13b H 站 0.6H 层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

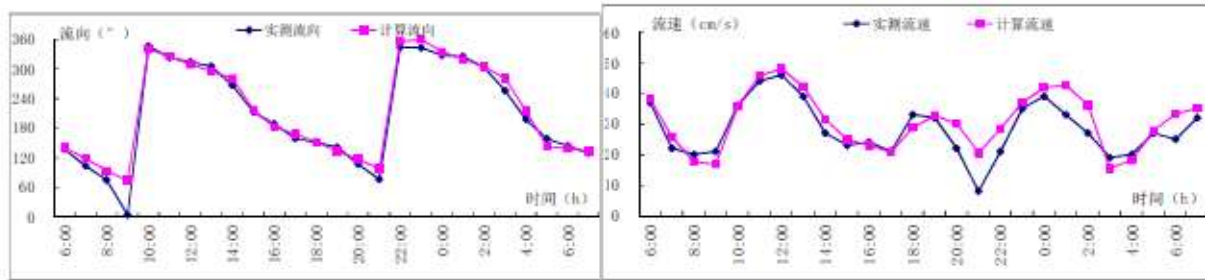


图 5.1-13c H 站底层实测流速流向与计算结果比较(2025 年 4 月 25~26 日)

5.1.5 潮流流场模拟结果

模拟结果显示：

(1) 项目附近海域的涨急表层流速最大在 60-70cm/s，中层最大流速在 50-60cm/s 左右，底层最大流速在 40-50cm/s 左右，流速自表层向底层略有减小，但表底层流速差异并不大；落急时刻流速与涨急时刻流速相接近，即风电场区没有明显的涨潮或者落潮优势。

(2) 流向以东南-西北向为主，涨潮流由东南往西北方向，落潮流由西北往东南方向。风电场区海流呈逆时针旋转流特征，每半个潮周期即旋转一周。

(3) 涨平、落平时刻，流速微弱，流速小于 20cm/s。

整体分析，通常条件下，本项目所在海区为中潮海区，潮差中等，水动力中等，海流同时受到其他驱动力的影响，如风应力、波浪应力和温盐斜压力等，因此，实测海流的规律性一般，风电场区海流呈旋转流特征。

5.1.6 风电桩基附近流场模拟结果

为了比较工程前后风电桩基引起的流场改变，在此绘制工程前后涨急、落急时刻的流速改变图进行分析。由于风电桩基的直径相对于开阔海洋环境来说较小，因此，对于大范围的流场基本没有影响，大范围的流场图也不能清晰地反映风电桩基局部区域的流场，需要将风电桩基附近的小范围流场放大进行比较，根据工可报告，风电桩基由 4 个桩柱组成，单个桩柱的直径取 3.0m。

在此选取风电桩基区小范围的流场进行分析。在风电桩基的顺流方向，由于桩基的阻挡，形成了缓流区，流速最大减小幅度为 25cm/s 左右，涨急时刻流速减小幅度大于 5cm/s 的范围向顺流方向西延伸的最远距离为 110m 左右，落急时刻流速减小幅度大于 5cm/s 的范围延伸的最远距离为 160m 左右，流速减小的范围呈长条形，为顺流方向。而在桩基的顺流方向两侧，涨急时刻流速增大，最大增幅为 15cm/s；桩基群的整体阻挡效应并未显现，这主要是由于单个桩柱的直径较小，只有 3.0m，而桩基之间的距离

远大于桩基，因此各个桩基之间对水动力不存在相互叠加的影响，但单个桩基的 4 个桩柱之间存在相互叠加的影响。

通过以上的分析可知，桩基引起的流速改变的幅度和范围较小，流速最大改变幅度为 25cm/s 左右，流速改变幅度大于 5cm/s 的范围向东南方向延伸 160m 左右，向西北方向延伸 110m 左右，风电场各个风电桩基之间不存在相互叠加的影响。

5.2 地形地貌与冲淤环境影响预测与评价

5.2.1 控制方程

泥沙运动控制方程如下：

$$\frac{\partial(hS)}{\partial t} + \frac{\partial(huS)}{\partial x} + \frac{\partial(hvS)}{\partial y} + \alpha\omega(S - S_*) = 0$$

S 为沿深度平均的含沙量， S_* 为波流共同作用下的挟沙能力， α 为沉降几率或恢复饱和系数， ω 为泥沙沉速，可根据泥沙粒径计算得到。

潮流作用下的挟沙能力可表示为

$$S_{*c} = \beta_c \frac{\gamma_s}{(\gamma_s - \gamma)} \frac{V^3}{c^2 h \omega}$$

其中， β_c 为根据实验或者现场资料确定的系数， γ_s 和 γ 分别为泥沙与水的容重， c 为谢才系数， V 为垂向平均流速。

①底床临界起动流速

泥沙悬浮的判定通过实际摩擦流速 U_f 和临界摩擦流速 $U_{f,c}$ 的比较得以实现。主要通过两种方式：一是利用泥沙运移阶段参数 T ；二是利用临界摩擦流速 $U_{f,c}$ 和沉降速度的比值。

a.泥沙运移阶段参数 T

$$T = \begin{cases} \left(\frac{U_f}{U_{f,c}} \right) - 1, U_f > U_{f,c} \\ 0, U_f \leq U_{f,c} \end{cases}$$

$$U_f = \sqrt{ghI} = \frac{\sqrt{g}}{C_s} |\vec{v}|$$

式中： I ——能量梯度；

C_z ——谢才系数, $C_z = 18 \ln(4h / d_{90}), m^{1/2} / s$;

$|\bar{v}|$ ——流速, m/s。

b. 临界摩擦流速 $U_{f,c}$ 和沉降速度的比值

$$\frac{U_{f,c}}{w_s} = \begin{cases} \frac{4}{d^{\phi}}, 1 < d^{\phi} \leq 10 \\ 0.4, d^{\phi} > 10 \end{cases}$$

② 沉降速度

非粘性土沉降速度公式:

$$w_s = \begin{cases} \frac{(s-1)gd^2}{18\nu}, d \leq 100 \mu m \\ \frac{10\nu}{d} \left\{ \left[1 + \frac{0.01(s-1)gd^3}{\nu^2} \right]^{0.5} - 1 \right\}, 100 < d \leq 1000 \mu m \\ 1.1[(s-1)gd]^{0.5}, d_{\phi} > 1000 \mu m \end{cases}$$

式中: d ——非粘性颗粒粒径;

s ——非粘性土密度;

ν ——粘滞度;

g ——重力加速度。

5.2.2 计算结果

5.2.2.1 工程前后项目区域冲淤变化分析

桩基建成以后,除了海床的自然演变以外,还有由于桩基压缩桩基之间的过水断面引起流速改变造成的冲淤变化以及桩基阻挡水流引起的冲淤,各种冲淤交织在一起同时进行,冲刷过程变得较为复杂。在桩基的冲淤演变过程中,一般将这一复杂的综合冲刷过程分为三个独立的部分:即自然演变冲刷、一般冲刷和局部冲刷,假定三者独立地、相继地进行,分别进行计算,最后叠加,作为桩基的最大冲刷深度。通常情况下,海床的自然演变冲刷认为已达到冲淤平衡状态,即自然演变冲淤幅度为零,因此本报告只计算桩基附近的一般冲刷和局部冲刷,其中局部冲刷参考局部冲刷公式进行计算,本节仅计算由于桩基压缩和阻挡水流引起的局部冲刷,采用经验公式进行估算。本节计算的一般冲刷和局部冲刷叠加得到桩基附近的最大冲刷深度。

为了定量地研究本项目工程完成以后周边近岸区的泥沙回淤情况，在完成潮流数值计算以后，对于泥沙的淤积影响进行计算分析。回淤强度的计算采用以下公式进行计算：

$$P = \frac{\alpha_{swt}}{\gamma_d} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{2m} \right]$$

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

5.2.2.1.1 计算参数的确定

为沉降几率，取 0.67；

t 为年淤积历时，单位取秒（S），一年即为 31557600 秒；

S 为水体平均悬沙含量，单位： kg/m^3 ，根据 2025 年 4 月同步的实测悬沙含量资料，桩基附近海区的平均含沙量为 0.0038kg/m^3 ；

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

V_1 ， V_2 分别为数值计算工程前、工程后全潮平均流速，单位为 m/s ，全潮平均流速的取值采用流速大小绝对值的平均值；全潮平均流速为包含大中小潮全潮周期内的平均流速。

M 根据当地的流速与含沙量的关系近似取作 1。

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

5.2.2.1.2 计算结果分析

风电桩基完成以后，桩基群对水流的整体阻挡效并不明显，由于涨落潮流的主流向以东南-西北向为主，因此在风电桩基东南-西北向的流速减小，导致在桩基群的附近和东南-西北向产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.11m/a 左右，而在桩基的东北-西南两侧，由于水动力的增强，则表现出略有冲刷，最大冲刷幅度为 0.09m/a 左右。

整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 2cm/a 的范围不超过桩基区 100m ，桩基群之间基本不存在相互叠加影响。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

5.2.2.2 风电桩基附近的冲刷深度分析

在桩基引起的泥沙冲刷研究中，桩基建成后，除海床的自然演变以外，桩基阻挡水流引起的冲刷，各种冲刷交织在一起同时进行，冲刷过程非常复杂。桩基周围海床的最大冲刷深度，是各种冲刷综合作用的结果，直接威胁着桩基基础的安全。为了便于研究和计算，把这一复杂综合的冲刷过程，分为独立的三部分，即自然（演变）冲刷、一般冲刷和局部冲刷，并假定它们独立地相继进行，可以分别计算，然后叠加。在本项目研究当中，桩基的周边地貌为滨海至浅海海积平原，水深在 40m~50m 之间，通常情况下，海床的自然演变已达到平衡状态，即自然冲刷较小。项目建设中的一般冲刷是由于桩基占用过水断面面积而引起，在本项目风电桩基分布中，相邻桩基的距离在 300m 以上，两个桩基之间由于桩基占用过水面积而使流速增加的现象并不明显，根据估算，一般冲刷的最大幅度为 9cm/a 左右，只分布在桥墩附近的小范围内，其冲刷幅度和范围都较小；局部冲刷为桩基周边由于流速的增加而引起，在桩基周边普遍存在。

综合以上分析可知，在本项目当中，主要分析桩基周边的局部冲刷程度。桩基阻挡水流，水流在桩基两侧绕流，形成十分复杂的、以绕流旋涡体系为主的绕流结构，引起桩基周围急剧的泥沙运动，形成桩基周围局部冲刷坑（图 5.2-2）。旋涡体系是一个复杂的综合水流结构，包括两侧绕流旋涡和桩基前向下水流在床面附近形成的马蹄形旋涡、桩基两侧边界层分离形成的尾流旋涡以及床面附近形成的小旋涡。

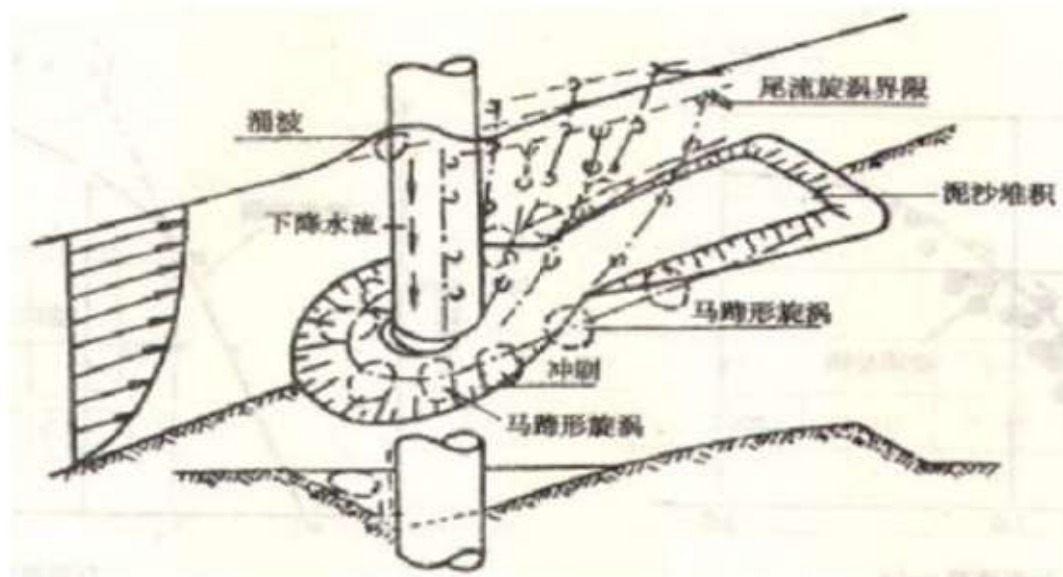


图 5.2-2 墩台（桩基）冲刷示意图

按照沙质海床的桩基冲刷计算公式进行计算：

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

上式中, h_b —局部冲刷深度 (m) 从一般冲刷后床面算起;

K —墩形系数; 取 0.95。

B_1 —计算墩宽 (m) 按照桩基的直径, 取 3.5m。

h —一般冲刷后水深 (m); 由工程前水深可知, 桩基处平均水深为 50m。

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

d —冲刷层平均粒径 (mm); 取粉砂的平均粒径为 0.032mm。

v —行近流速 (m/s), 取一般冲刷后墩前垂向平均流速; 根据数模和实测结果, 取 0.35m/s。

V_0 —河床泥沙起动流速 (m/s) 由张瑞瑾公式计算, 即:

$V_0 = \left(\frac{h}{d}\right)^{0.14} (29d + 0.000000605 \frac{10+h}{d^{0.72}}) 0.5$; 其中: V_0 —起动流速 (m/s); h —水深

(m), 取平均水深为 45m; d —粒径(m), 取粉砂的平均粒径为 0.000032m。

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

n —指数, $n = \frac{1}{\left(\frac{v}{v_0}\right)^{0.23+0.19rgd}}$

其中 B_1 和 K_ξ 由下图决定。

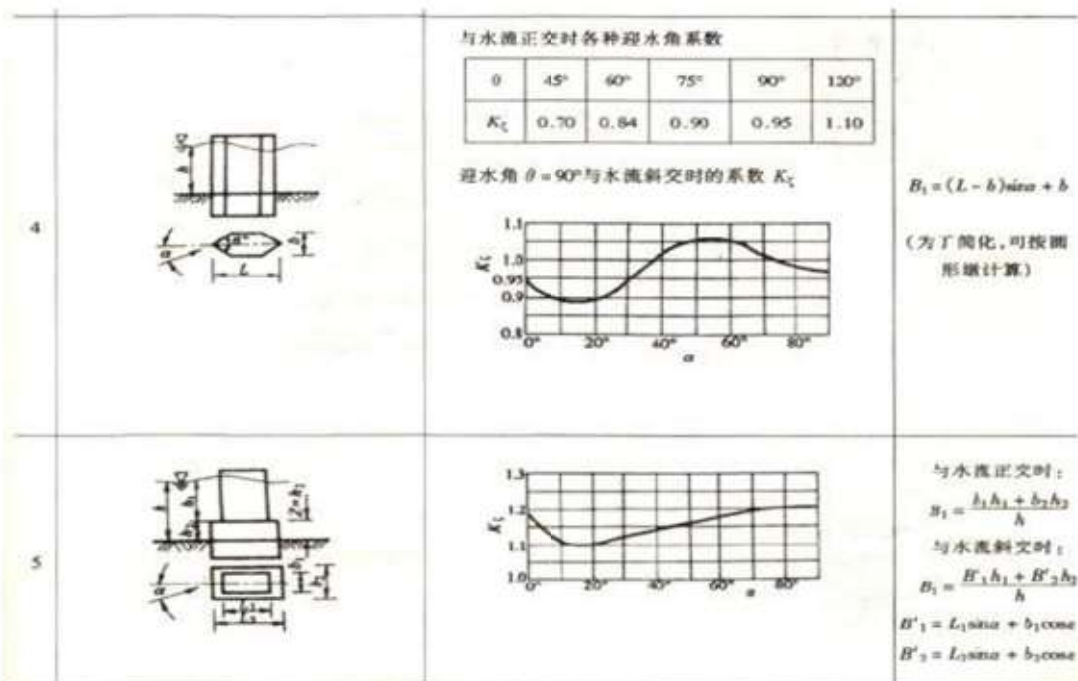


图 5.2-3 桥墩（桩基）冲刷公式的参数选取

根据以上的设定，不考虑海床的自然冲刷和桩基修筑以后的一般冲刷，由经验公式得出桩基的局部冲刷深度为 5.1m，叠加一般冲刷（最大 0.11m）后风电桩基处的最大冲刷深度可达到 5.2m 左右。

本项目风机基础采用的结构防冲刷处理方案为预留冲刷深度，可从结构设计方面解决冲刷造成的稳定、强度和变形的安全性影响，可靠性较高。工程已预留冲刷深度，因此，桩基冲刷不会对桩基的稳定性产生影响。

5.3 海水水质环境影响预测与评价

5.3.1 施工悬浮泥沙影响分析

5.3.1.1 三维潮流泥沙输运扩散方程

采用数值模拟对铺缆工程施工造成的悬沙影响进行计算。控制方程为：

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial(uP)}{\partial x} + \frac{\partial(vP)}{\partial y} + \frac{\partial(wP)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial P}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial P}{\partial z} \right) + S_p - KP$$

式中：P 为污染物的浓度；

u、v、w 分别为 X、Y、Z 方向的平均流速；

D_x 、 D_y 、 D_z 分别为 X、Y、Z 方向的扩散系数；扩散系数先根据相关的研究进行估值，然后由实测资料率定，取 $100\text{m}^2/\text{s}$ ；

K 为污染物的降解率；COD、BOD₅、TN 和 TP 的降解系数分别取 0.04、0.1、0.01 和 0.035L/d。悬沙为保守物质，降解系数为零。

S 为污染源强度；

本次模拟采用 Sigma 坐标系下三维泥沙平流扩散、沉降控制方程为：

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

中：C 为水体悬沙含量， S_c 为输入源强， w_f 为泥沙有效沉速， $w_f = w - w_s$ ， w_s 为泥沙静水中沉速，根据静水单颗粒圆球公式进行计算得到；泥沙沉速 w 由沙玉清平流公式计算

$w = \frac{1}{24} \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \frac{gD^2}{\nu}$ ，其中 γ_s 为泥沙密度，取 $2.4 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ， γ 为水体密度，取

$1.03 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，D 为泥沙直径，根据实测的海底表层沉积物中值粒径，在此取 0.015mm， ν 为运动粘滞系数，根据海水温度取 22 摄氏度海水的粘滞系数 $0.958 \text{m}^2/\text{s}$ 。

K_M 为水平扩散系数，采用欧拉公式

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

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

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

侧开边界的边界条件:

$$\text{入流时 } C|_{\Gamma} = p_0 ;$$

Γ 为水边界， p_0 为边界上浓度，计算冲射式挖沟施工悬沙增量时，因本底悬沙浓度不大，不考虑本底值，取 $p_0 = 0$ 。

$$\text{出流时 } \frac{\partial C}{\partial t} + U_n \frac{\partial C}{\partial \bar{n}} = 0 \quad U_n \text{ 为边界法向流速;}$$

$$\text{自由表面上: } w_f C + K_r \frac{\partial C}{\partial z} = 0$$

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

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

泥沙沉速 w_s 采用武汉水利电力学院静水泥沙沉速公式计算，

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

其中， v 为水运动粘滞系数，取值 $0.01146 \text{ cm}^2/\text{s}$ ； D 为泥沙粒径（mm），取实测表层沉积物的中值粒径平均值 0.015； α 为重率系数，取 1.7。

泥沙起动用窦国仁的泥沙起动公式：

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

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

落淤的临界流速：

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

初始条件：

模拟施工期本底值均置为 0，仅考虑悬沙增量。

5.3.1.2 悬浮泥沙源强度

本工程悬沙主要来自集电海缆铺设、送出电缆铺设和风电桩基施工。根据工程分析，项目施工悬沙源强见表 5.3-1。

表 5.3-1 施工悬沙源强一览表

分段	源强
常规敷埋段	31.5kg/s
送出海缆近养殖区段	12.6kg/s
送出海缆穿越航路段	29.4 kg/s
桩基施工	0.53 kg/s

三维分层采用 σ 坐标，分成 $0\sim 0.2H$ （表层）、 $0.2H\sim 0.4H$ 、 $0.4H\sim 0.6H$ 、 $0.6H\sim 0.8H$ 、 $0.8H\sim H$ （底层）五层，五层的水深分别取 $0.2H$ 做为分层水深。

海底电缆敷设悬沙计算方法：送出电缆铺设施工 1050 个源点，风电场址集电电缆敷设施工 1160 个源点单独计算，每个源点单独分开计算，再统计所有单个源点引起的计算网格点上出现的最大浓度得到包络浓度，每个源点释放时间为 30 分钟，按照电缆铺设速度 5m/min 即大约 150m 设置一个源点，下一个源点的释放时间依次往后推迟 30 分钟，集电海缆施工 26.02kg/s ，每个源点持续排放悬沙时间为 0.5 小时。

风电桩基施工计算方法：风电桩基 214 个源点为连续源，源强为 0.53kg/s 。

模拟计算过程中仅仅考虑工程施工产生的悬浮泥沙增量的影响，潮流对海底床作用产生的泥沙将不计算。选择桩基周围和连接管线总共 2424 个源点进行模拟计算（图 5.3-1），源点选取覆盖整个电缆铺设路径和风电桩桩基，预测施工产生的悬浮泥沙对水质环境的影响范围与程度。

高压水流冲射开沟上扬悬沙按最不利方式考虑，上扬高度估算为 10m ，由于路由上水深变化较大，源强在各水层设置如表 5.3-2。

表 5.3-2 源强在各水层设置系数

水深	0m-10m	10m-20m	20m -30m	30m -50m
0H~0.2H	0.1	0	0	0
0.2H~0.4H	0.1	0.1	0	0
0.4H~0.6H	0.2	0.2	0.1	0
0.6H~0.8H	0.3	0.3	0.3	0.3
0.8H~1.0H	0.3	0.4	0.6	0.7

5.3.1.3 送出电缆悬浮物的影响范围

图 5.3-2 为送出电缆铺设施工过程中悬沙扩散的包络范围。泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流输运作用影响，因此泥沙的扩散方向与潮流的方向相同。

在此对海底送出电缆铺设引起的悬沙影响进行估计。为了估计悬浮泥沙的影响大小，根据模型的计算结果，分别计算了不同浓度的覆盖面积和最远扩散距离，详见表 5.3-3、表 5.3-4。

表 5.3-3 送出电缆铺设悬浮泥沙各层浓度的最大影响范围面积（km²）

悬浮泥沙 浓度增量	(0.8-1H)	(0.6-0.8H)	(0.4-0.6H)	(0.2-0.4H)	(0-0.2H)	垂向平 均	
>10mg/L (超 I、II 类海水水 质)	407.028	226.044	36.520	11.069	4.477	210.714	悬浮沙 沉降海 底覆盖 厚度超 过 2cm 的面积
>20mg/L	269.041	147.924	7.557	4.536	1.221	126.725	
>50mg/L	163.751	26.238	1.946	0.837	0.044	23.414	
>100mg/L (超 III 类 海水水 质)	62.190	16.419	0.429	0.045	0.000	14.750	
>150mg/L (超 IV 类海水水 质)	17.338	5.741	0.043	0.000	0.000	4.569	0.250

表 5.3-4 底层 10mg/L 悬浮泥沙的最大扩散距离 (km)

扩散方向	1050 个源点最大扩散距离
北向	2.35
西向	2.21
南向	3.32
东向	2.36

由上述图表可以看出，从悬浮物最大浓度增量包络线分布分析可知，0.8-1.0H 层超 I、II 类海水水质 ($>10\text{mg/L}$) 的面积为 407.028km^2 ；增量浓度 $>20\text{mg/L}$ 的面积为 269.041km^2 ；增量浓度 $>50\text{mg/L}$ 的面积为 163.751km^2 、超 III 类 ($>100\text{mg/L}$) 的面积为 62.190km^2 、超 IV 类 ($>150\text{mg/L}$) 海水水质的面积为 17.338km^2 。

0.6-0.8H 层超 I、II 类海水水质 ($>10\text{mg/L}$) 的面积为 226.044km^2 ；增量浓度 $>20\text{mg/L}$ 的面积为 147.924km^2 ；增量浓度 $>50\text{mg/L}$ 的面积为 26.238km^2 、超 III 类 ($>100\text{mg/L}$) 的面积为 16.419km^2 、超 IV 类 ($>150\text{mg/L}$) 海水水质的面积为 5.741km^2 。

0.4-0.6H 层超 I、II 类海水水质 ($>10\text{mg/L}$) 的面积为 36.520km^2 ；增量浓度 $>20\text{mg/L}$ 的面积为 7.557km^2 ；增量浓度 $>50\text{mg/L}$ 的面积为 1.946km^2 、超 III 类 ($>100\text{mg/L}$) 的面积为 0.429km^2 、超 IV 类 ($>150\text{mg/L}$) 海水水质的面积为 0.043km^2 。

0.2-0.4H 层超 I、II 类海水水质 ($>10\text{mg/L}$) 的面积为 11.069km^2 ；增量浓度 $>20\text{mg/L}$ 的面积为 4.536km^2 ；增量浓度 $>50\text{mg/L}$ 的面积为 0.837km^2 、超 III 类 ($>100\text{mg/L}$) 的面积为 0.045km^2 、超 IV 类 ($>150\text{mg/L}$) 海水水质的面积为 0.000km^2 。

0.0-0.2H 层超 I、II 类海水水质 ($>10\text{mg/L}$) 的面积为 4.477km^2 ；增量浓度 $>20\text{mg/L}$ 的面积为 1.221km^2 ；增量浓度 $>50\text{mg/L}$ 的面积为 0.044km^2 、超 III 类 ($>100\text{mg/L}$) 的面积为 0.000km^2 、超 IV 类 ($>150\text{mg/L}$) 海水水质的面积为 0.000km^2 。

垂向平均浓度超 I、II 类海水水质 ($>10\text{mg/L}$) 的面积为 210.714km^2 ；增量浓度 $>20\text{mg/L}$ 的面积为 126.725km^2 ；增量浓度 $>50\text{mg/L}$ 的面积为 23.414km^2 、超 III 类 ($>100\text{mg/L}$) 的面积为 14.750km^2 、超 IV 类 ($>150\text{mg/L}$) 海水水质的面积为 4.569km^2 。

由施工造成的悬浮沙沉降后在海底覆盖的沉积物厚度超过 2cm 的总面积约为 0.250km^2 ，未出现沉积物厚度超过 10cm 的范围。悬浮沙引起的沉降淤积厚度跟悬浮沙浓度、沉降速度、施工作业引起的悬沙浓度持续时长以及沉积物密度有关，从沉降淤积厚度范围来看，沉降厚度超过 2cm 的范围很小，这主要是由于管线施工为瞬时点源，施工结束后悬沙浓度大于 10mg/L 的水体持续时间只有一至三小时左右，因此沉降厚度

较小。

5.3.1.4 集电电缆悬浮物的影响范围

图 5.3-3 为集电电缆铺设施工过程中悬沙扩散的包络范围。集电电缆施工悬沙不同浓度的覆盖面积和最远扩散距离详见表 5.3-5、表 5.3-6。

泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流输运作用影响，因此泥沙的扩散方向与潮流的方向相同。从图中可以看出，跟潮流的主流向一致，悬沙往北和往东南方向扩散的距离较远，而往西扩散的距离则较小。

表 5.3-5 海底集电电缆铺设悬浮泥沙各层浓度的最大影响范围面积（km²）

悬浮泥沙 浓度增量	(0.8-1H)	(0.6-0.8H)	(0.4-0.6H)	(0.2-0.4H)	垂向平均	桩基施 工(底 层)	
>10mg/L (超 I、II 类海水水 质)	408.538	226.912	0.000	0.000	208.435	0.783	悬浮沙 沉降海 底覆盖 厚度超 过 2cm 的面积
>20mg/L	229.048	153.907	0.000	0.000	148.432	0.000	
>50mg/L	144.846	124.736	0.000	0.000	117.170	0.000	
>100mg/L (超 III 类海水水 质)	121.077	53.862	0.000	0.000	50.740	0.000	
>150mg/L (超 IV 类海水水 质)	95.184	22.959	0.000	0.000	23.759	0.000	0.251

表 5.3-6 底层 10mg/L 悬浮泥沙的最大扩散距离(km)

扩散方向	1160 个源点最大包络范围
北向	1.88
西向	1.83
南向	1.92
东向	1.97

由上述图表可以看出，从悬浮物最大浓度增量包络线分布分析可知，0.8-1.0H 层超 I、II 类海水水质（>10mg/L）的面积为 408.538km²；增量浓度 >20mg/L 的面积为 229.048km²；增量浓度 >50mg/L 的面积为 144.846km²、超 III 类（>100mg/L）的面积为 121.077km²、超 IV 类（>150mg/L）海水水质的面积为 95.184km²。

0.6-0.8H 层超 I、II 类海水水质（>10mg/L）的面积为 226.912km²；增量浓度 >20mg/L 的面积为 153.907km²；增量浓度 >50mg/L 的面积为 124.736km²、超 III 类（>100mg/L）的面积为 53.862km²、超 IV 类（>150mg/L）海水水质的面积为

22.959km²。

0.4-0.6H 层超 I、II 类海水水质 (>10mg/L) 的面积为 0.000km²；增量浓度 >20mg/L 的面积为 0.000km²；增量浓度 >50mg/L 的面积为 0.00km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.000km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.000km²。

0.2-0.4H 层和 0.0-0.2H 层无大于 10mg/L 的水体出现。

垂向平均浓度超 I、II 类海水水质 (>10mg/L) 的面积为 208.435km²；增量浓度 >20mg/L 的面积为 148.432km²；增量浓度 >50mg/L 的面积为 117.170km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 50.740km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 23.759km²。

桩基施工底层超 I、II 类海水水质 (>10mg/L) 的面积为 0.783km²；增量浓度 >20mg/L 的面积为 0.00km²；增量浓度 >50mg/L 的面积为 0.00km²、超 III 类 (>100mg/L) 的面积为 0.00km²、超 IV 类 (>150mg/L) 海水水质的面积为 0.00km²。

由施工造成的悬浮沙沉降后在海底覆盖的沉积物厚度超过 2cm 的总面积约为 0.251km²，未出现沉积物厚度超过 10cm 的范围。

5.3.2 温排水对水质环境影响分析

5.3.2.1 热输运控制方程

(1) 控制方程

$$\frac{\partial hT}{\partial t} + \frac{\partial huT}{\partial x} + \frac{\partial hvT}{\partial y} + \frac{\partial hwT}{\partial \sigma} = hF_T + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{D_v}{h} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right) + \frac{K_s \Delta T}{\rho C_p} + hT_s S$$

$$hF_T \approx \left[\frac{\partial}{\partial x} (hD_h \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (hD_h \frac{\partial}{\partial y}) \right] T$$

式中：T 为水体温度；

ΔT 为水气温差；

T_s 为源项温度；

D_h 为温度水平扩散系数；

D_v 为温度垂向扩散系数；

K_s 为水面综合散热系数；

C_p 为水体比热。

(2) 定解条件

1) 初始条件： $T(x, y, z, 0) = T_0(x, y, z)$

2) 边界条件：入流边界为 $T = T(t)$ 。

5.3.2.2 求解方法

模型采用有限体积法对控制方程进行空间离散化。浅水方程的时间积分和扩散方程采用半隐式格式求解，平流项采用显示格式求解，垂直对流项采用全隐式格式求解。

5.3.2.3 计算参数的选择

水流数学模型中的主要参数为粗糙高度 h_s 、水平涡粘系数 A 、垂向涡粘系数 ν_t 。

根据项目附近海域的实际情况，通过模型率定粗糙高度 h_s 选为 0.017m。

A 采用 Smagorinsky 扩散率公式计算，认为水平涡粘系数与水平网格尺度及速度梯度非线性项有关。

$$A = c_s^2 l^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

式中： c_s 为常数，选为默认值 0.28；

l 为水平网格尺度；

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad (i, j = 1, 2)$$

变形率

ν_t 采用 log-law 模型计算。

温升场数学模型中主要包含有水平扩散系数 D_h 、垂向扩散系数 D_v 以及水面综合散热系数 K_s 等 3 个待定参数。

水平扩散系数 D_h 采用 A 的线性关系 ($D_h = A/\sigma$, σ 取 1)。

垂向扩散系数 D_v 采用 ν_t 的线性关系 ($D_v = \nu_t/\sigma$, σ 取 1)。

水面综合散热系数 K_s 按照《冷却水工程水力、热力模拟技术规程》(SL160-2012) 推荐的公式确定：

$$K_s = (b + k)\alpha + 4\varepsilon\sigma(T_s + 273)^3 + (1/\alpha)(b\Delta T + \Delta e)$$

式中： $\alpha = (22.0 + 12.5v^2 + 2.0\Delta T)^{1/2}$ ；

$$\Delta T = T_s - T_a;$$

$$\Delta e = e_s - e_a;$$

$$k = \frac{\partial e_s}{\partial T_s};$$

K_s 为水面综合散热系数 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$);

α 为水面蒸发系数 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{hPa})$);

b 可取为 $0.66 \times \frac{P}{1000}$ ($\text{hPa}/^\circ\text{C}$);

P 为水面以上 1.5m 处的大气压 (hPa);

v 为水面以上 1.5m 处的风速 (m/s);

ε 为水面辐射系数, 可取 0.97;

σ 为 Stefan-Boltzman 常数, 其值为 5.67×10^{-8} ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}^4)$);

T_a 为水面以上 1.5m 处的气温 ($^\circ\text{C}$);

T_s 为水面水温 ($^\circ\text{C}$);

e_s 为水温为 T_s 时相应的水面饱和水汽压 (hPa);

e_a 为水面以上 1.5m 处的水汽压 (hPa);

温盐模拟中水气热交换包括潜热通量 (蒸发引起的热损失)、显热通量 (对流引起的热通量)、短波辐射、长波辐射四个子物理过程。如每个过程都考虑, 则需要设置多个参数, 不少参数为率定值, 难以确定, 水气总的热交换量难以采用国内常用的水面综合散热系数表征。

报告采用等效替换的方式, 使用显热通量子模块。

$$Q_c = \begin{cases} \rho_{\text{air}} c_{\text{air}} c_{\text{heating}} V_{10} \Delta T & T_a > T_s \\ \rho_{\text{air}} c_{\text{air}} c_{\text{cooling}} V_{10} \Delta T & T_a < T_s \end{cases}$$

式中: ρ_{air} 为空气密度, 取 1.225 kg/m^3 ;

c_{air} 为空气比热容, 取 $1007 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$;

V_{10} 为 10m 高度处风速 (m/s);

c_{heating} 和 c_{cooling} 为热传导系数;

ΔT 为水气温差 ($T_s - T_a$)。根据 K_s 定义, 可建立关系 $K_s =$

$\rho_{\text{air}} c_{\text{air}} c_{\text{cooling}} V_{10}$, 其中仅 c_{cooling} 一个未知量, 可通过其他已知量计算, 得到

c_{cooling} 约 0.0073。

5.3.2.4 冷却水的计算工况

本项目温排水量 $4200\text{m}^3/\text{h}$ ，即 $1.111\text{m}^3/\text{s}$ ，中下层取水后表层排放，温排水温差为 9°C ，为连续排放源。夏季温排水水体温度为 29°C ，环境本底值温度为 20°C 。模拟连续计算 8 天温水排放的温升扩散过程。

冬季温排水水体温度为 19°C ，环境本底值温度为 10°C 。模拟连续计算 8 天温水排放的温升扩散过程。

5.3.2.5 温升计算分析

排水口水域的温度场分布，主要取决于排水口的位置、形式、出口流速及受纳水域潮流流速、流态、本底温度等。随着潮流的变化，温排水在排水口附近水域内形成的水温分布形态亦发生变化。

模拟温升场采用的计算方法为连续计算 8 天达到稳定的温度场，潮位和潮流均在潮流场数模进行了验证，在潮流场数模基本吻合的条件下，再进行温度场的数值模拟计算。

冷却水排放附近温升最大包络线影响范围（表层）统计结果见表 5.3-8 和图 5.3-3。

表 5.3-8 温升包络线（表层）特征值统计表

温升值	夏季扩散面积(km^2)	冬季扩散面积(km^2)
3°C	0.0005	0.0003
2.5°C	0.0010	0.0007
2°C	0.0047	0.0036
1.5°C	0.0129	0.0102
1°C	0.0155	0.0129
0.5°C	0.0652	0.0493

根据夏季温水排放的模拟结果，排放点附近的最大温升为 3.2°C ，温升值（表层） 0.5°C 、 1°C 、 1.5°C 、 2°C 、 2.5°C 、 3°C 的包络范围分别为 0.0652km^2 、 0.0155km^2 、 0.0129km^2 、 0.0047km^2 、 0.0010km^2 、 0.0005km^2 。温升超过 1°C 的范围主要分布在的排放点附近，温升超过 1°C 的范围与排放点的最远距离为 50m 左右。

根据冬季温水排放的模拟结果，排放点附近的最大温升设为 2.8°C ，温升值（表层） 0.5°C 、 1°C 、 1.5°C 、 2°C 、 2.5°C 、 3°C 的包络范围分别为 0.0493km^2 、 0.0129km^2 、 0.0102km^2 、 0.0036km^2 、 0.0007km^2 、 0.0003km^2 。温升超过 1°C 的范围主要分布在的排放点附近，温升超过 1°C 的范围与排放点的最远距离为 40m 左右。

图 5.3-3 为夏季表层水体温升包络线，图 5.3-4 为冬季表层水体温升包络线。无论是冬季还是夏季，中层水体基本没有受到温排水的影响，温升值都在 0.1°C 以下，这主

要是由于水体的垂向混合速度较慢而水平扩散速度较快所导致，即水体的水平混合要大于垂向混合。

5.3.3 项目废水对水质环境影响分析

5.3.3.1 施工期废水影响

本项目海上施工期间产生的废水主要为船舶含油污水、施工人员生活污水、灌浆废水。施工船舶设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，船舶生活污水在满足排放标准前提下船速不低于 4 节排放，3 海里以内需要处理达标后在航行中排放，航速低于排放标准要求时先收集贮存后，待船舶靠岸交由有资质的单位进行接收处理；船舶含油污水收集后，待船舶靠岸交由有资质的单位进行接收处理；灌浆设备和管理系统清洗废水统一收集在工作船配备的废料桶或废料箱内，灌浆结束后统一回收，交由陆域固废厂家接收处理，严禁排海。综上，施工期废水不会对海域水质产生明显影响。

5.3.3.2 运营期废水影响

项目运营期间产生的废水主要为维护人员生活污水、检修船舶含油污水。维护和检修时产生的船舶生活污水、船舶含油污水在运维船上分类收集，船舶生活污水收集在船载生活污水收集装置中，在满足标准要求下达标排放；含油污水统一收集至运维船上铅封管理，待船舶靠岸后，交由有资质的单位进行接收处理。

因此，项目运营期废水不会对所在海域水质环境造成明显不利影响。

5.4 海洋沉积物环境影响分析与评价

5.4.1 施工期影响分析

本项目海底电缆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、粘度高，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，施工造成的悬浮沙沉降后在海底覆盖的沉积物厚度超过 2cm 的总面积约为 0.501km²，本项目施工未出现悬浮沙沉降覆盖厚度超过 10cm 的范围。

综上，施工期没有其他污染物混入，施工期产生的污水和垃圾不向海域排放，不会影响海底沉积物质量。

5.4.2 运营期影响分析

运营期海上换流站桩基础防腐采用防腐涂料和牺牲阳极锌释放，释放量极小，风机维护及检查期间产生的工作船生活污水达标排放，船舶含油污水收集后不排海，因此，项目运营期对沉积物影响较小。

5.5 海洋生态环境影响分析与评价

5.5.1 施工期影响分析

5.5.1.1 悬浮泥沙对海洋生物的影响

（1）对浮游生物的影响

工程海底电缆铺设施工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。从水生生态系食物链角度看，初级生产力下降，必将影响正常食物链的传递，最终导致水域可利用生物资源量下降。

一般而言，悬浮物的浓度增加量在 10mg/L 以下时，水体中的浮游植物不会受到影响；当悬浮物的浓度增加量在 10~50mg/L 时，浮游植物将会受到轻微的影响；而当悬浮物浓度增加量 50mg/L 以上时，浮游植物会受到较大的影响，特别是中心区域，悬浮物含量较高，海水透光性极差，浮游植物生长将受显著抑制。

（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遁，游泳生物的回避效应使得该海域的生物量有所下降，从而影响使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。随着施工的开始，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。

5.5.1.2 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 $0.1\sim 10\text{mg/L}$ ，对浮游动物的急性中毒致死浓度范围为 $0.1\sim 15\text{mg/L}$ ，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的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、低沸点的组份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 $0.1\sim 10\text{mg/L}$ ，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 $0.1\sim 15\text{mg/L}$ 之间，当水体中的油含量为 0.05mg/L ，小型拟溲水蚤的半致死时间为 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 $2.0\sim 15\text{mg/L}$ 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 $0.01\sim 0.1\text{mg/L}$ 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。据相关报导，20 号燃料油对黑鲷的 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不排入工程区附近海域，均集中收集处理，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。

5.5.1.3 施工对底栖生物的影响

工程海缆埋设过程中的开挖作业及风机桩基占用将对海洋底栖环境造成破坏，使底栖生物丧失。

5.5.1.4 施工噪声对海洋生态的影响

海域中某些海洋生物对噪声较敏感，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。施工噪声主要来自施工船舶航行、设备和机械等产生的噪声。

5.5.2 运营期影响

5.5.2.1 占用影响

运营期对海洋生态的影响主要是海底电缆及风机桩基对底栖生物生境的破坏，在该范围的底栖生物不可恢复。

5.5.2.2 电磁影响

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。

5.5.2.3 温排水影响

（1）对浮游生物的影响

温排水的热效应会改变局部海区的自然水温状况，大量的研究表明：水体增温对浮游藻类的生长、种类组成、优势种都有影响，影响的程度与环境水温及增温幅度有关。如环境水温较低时，水体增温能促进藻类生长，且藻类增量随着温度的增长而增大；环境水温适中时，弱增温和中增温区（温升 $\leq 3^{\circ}\text{C}$ ）能促进藻类生长，强增温区（温升 $> 3^{\circ}\text{C}$ ）则会抑制藻类的生长；环境温度较高时，水体增温会抑制藻类生长，增温幅度越大，抑制效应越强。杜晓明等人对受热电厂温排水影响的水域野外调查数据和室内模拟增温试验结果表明：（1）环境水温 $< 25^{\circ}\text{C}$ 时，水体增温有利于藻类的发育；环境水温 $> 25^{\circ}\text{C}$ 时，增温对藻类的发育就有抑制作用（除蓝藻）；温度在 30°C 以上时，水体进一步增温，可使藻类的种群数量急剧减少；（2）不同季节不同增温区藻类的密度，春季强增温区（ $5^{\circ}\text{C}\sim 6^{\circ}\text{C}$ ） $>$ 弱增温区（ $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ ） $>$ 自然环境温区，夏季自然环境温

区>弱增温区（2°C~3°C）>强增温区（5°C~6°C），秋季弱增温区（2°C~3°C）>强增温区（5°C~6°C）>自然环境温区，说明水温较低时，水体增温能刺激藻类大量繁殖，但水温较高时增温则对藻类的生长有害。

热排放同样也会影响浮游动物的数量、种类和多样性。金腊华等人研究认为，在水体强增温时（温升>3°C），水生生物群落中种类开始减少，特别是在夏季自然水温较高时在强增温区，即水温超过 35°C 时，浮游动物的种类和数量都会减少，而当水体适度增温时（温升≤3°C），浮游动物种类平均增加 76%。金琼贝等人研究表明：弱增温对浮游动物的种类和数量增加有促进作用，弱增温区浮游动物多样性指数增加；强增温区其浮游动物的种类数和数量则减少，多样性指数下降。

综上，本项目所在海域春季大潮期表层水温平均值为 11.8°C，最大表层水温值为 12.7°C，最小表层水温为 10.4°C，小潮期表层水温平均值为 27.5°C，最大表层水温值为 28.1°C，最小表层水温为 27.2°C。根据温排水预测结果，小潮期水温均在 15°C 以下，温升 3~5°C 不会对海域藻类及水生生物产生明显不利影响，大潮期区域水温均在 25°C 以上，温排水温升 3°C 面积为 0.0155km²，可能对藻类及水生生物产生影响，但这种影响是暂时的，水温随时间推移降低，影响减小。

（2）对鱼类的影响

鱼类属变温动物，一般在适温范围内，水温提高会促进鱼类的生长。但如果超过其适温范围，则会对某些鱼类的繁殖、胚胎发育、鱼苗的成活造成不同程度的影响，抑制鱼类的新陈代谢和生长发育；如果超过其忍受限度，还会导致死亡。另一方面，幼鱼和成鱼能感受到环境水温的微弱变化，对超出适温范围的高温（超出其喜爱的温度 1~3°C）或低温水体，均具有回避反应，这种回避现象排除了夏季幼鱼和成鱼受到热威胁的可能。此外，水温变化会影响鱼类的产卵、渔期的迟早、渔场的变动。

根据美国佛罗里达 Bisayne 湾电厂温排水的研究，环境水温达 32°C 时，80 种鱼类中有一半会消失；达 36°C 时，有 75% 的种类消失；在温升为 3~4°C 区域，夏季渔获物很低，而冬季有所恢复，但平均年渔获量仍低于对照站；在温升 2~3°C 区域，夏季出现低渔获量，但春、冬季出现高渔获量，总体该区域渔获量高于年平均渔获量；在温升低于 2°C 区域与对照站之间没有出现统计上的差异。

项目所在海域表层水温统计结果结合温排水预测结果，项目区海域海水环境水温相对较低，温排水温升≤3°C 时，增温仍在评价海域大部分鱼类适温范围内，对评价海域鱼类生长不会造成明显影响，一定范围内鱼类种群数量随水温升高而提高，但可能

会引起鱼类产卵行为和鱼类群落结构的变化；温升 3°C （海上换流站温排水排水口处，最大温升的包络面积为 0.0155km^2 ）影响范围内，超出大部分鱼类适温范围，影响评价海域鱼类的繁殖、胚胎发育、鱼苗的成活，幼鱼和成鱼则产生回避反应。

（3）对甲壳类（虾、蟹）的影响

根据调查结果，工程海域甲壳类主要品种为葛氏长臂虾、褐虾、红条鞭腕虾、日本鼓虾、日本褐虾、细巧仿对虾、鲜明鼓虾、鹰爪虾、周氏新对虾、大螯蛄虾、慈母互敬蟹、隆背体壮蟹、泥脚隆背蟹、双斑蛄、口虾蛄等。调查到的甲壳类适温范围多在 $18\sim 31^{\circ}\text{C}$ 之间，水温大于 38°C 不能正常运动，大于 39°C 将导致其死亡。

本项目所在海域春季大潮期表层水温平均值为 11.8°C ，最大表层水温值为 12.7°C ，最小表层水温为 10.4°C ，小潮期表层水温平均值为 27.5°C ，最大表层水温值为 28.1°C ，最小表层水温为 27.2°C 。根据温排水预测结果，小潮期水温均在 15°C 以下，大潮期区域水温在 28°C 左右，温升 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 时，增温仍在评价海域大部分甲壳类生物成体和幼体适温范围内，不会对甲壳类产生明显不利影响。

（4）对水体赤潮发生的潜在影响

增温可能导致水体赤潮的发生，原因可能是两个方面：其一，增温可促进有机物的分解，使水中营养盐浓度增高；其二，增温使水中的浮游植物繁殖加快，尤其是喜温的蓝、绿藻等。

由于温排水排放将对局部海域的赤潮生物生长有一定程度的促进作用，结合前叙电厂温排水对浮游植物的影响分析，可认为本工程温排水对排水口附近海域富营养化发展会起到一定促进作用。赤潮的发生机理复杂，在化学、生物和物理三个方面的条件同时具备时才会可能发生。①生物条件：需要该区域有赤潮生物细胞和底栖孢囊，并通过种间竞争形成优势种群；②化学条件：水中的营养盐（主要是氮盐和磷盐）、微量元素和某些特殊的有机物的存在形式和浓度等因素满足赤潮生物大量增殖的需要；③物理条件（水文和气象）：水体稳定、水体交换率低、上升流的存在、适宜的水温和盐度、风力、风向、气温、日照强度、降雨和淡水注入等都是引发赤潮并延续的外部条件。此外，研究表明赤潮的发生与地球温室效应也可能有关。

考虑到适宜的海水温度是赤潮生物生存和繁殖的一个重要环境因子，项目运行期间循环取排水将使局部海域的海水温度有所提高，因此，建议建设单位在运营期间加强海上换流站温排水排放口附近海域水温和赤潮的监测。

5.5.2.4 卷吸效应影响

（1）卷吸效应对浮游生物的影响

据东北师范大学的观测报告，机械冲击对进入冷却系统中的浮游植物造成的损伤率达到 11.98%-27.08%。根据试验数据可得经过 72h 后，浮游藻类损伤后恢复的数量与自然海水中的数量相同，经过 3 天后即可恢复到原来的数量。但是由于卷吸效应是持续不断进行的，取水口附近海域的浮游植物持续不断受到损伤，浮游植物恢复到原来水平比较困难，由此造成本海域初级生产力下降，群落结构发生变化，食物链受到影响。

浮游动物个体相对较大，对机械冲击较为敏感，经过冷却系统，其损伤率可能重些，其中部分个体立即致死。浮游动物的总损伤率为 55%，高于浮游植物。本海域浮游动物的优势种主要为桡足类，为虾和幼鱼的主要摄食对象，桡足类的减少，必然会影 响本海域渔业资源情况。

（2）卷吸对鱼卵、仔鱼、甲壳类幼体的影响

本项目利用自然海水进行冷却，将对水体中经济资源的补充资源产生一定的影响。对鱼类浮游生物来说，主要是鱼卵和仔稚鱼资源。国内若干电厂的现场实测结果，进入电厂冷却系统的梭鱼幼鱼（体长 25~40mm）的损伤率为 31.6%~46.3%。国外有关报道认为，卷吸效应造成的幼鱼致死率与幼鱼的体长有关，两者呈负相关关系。幼鱼体长在 14~40mm 范围内体长每增加 1mm，幼鱼因卷吸而造成的死亡率减少约 3%。冷却系统对仔虾的损伤实验表明，因卷吸进入冷却系统的仔虾致死率为 24.3%~56.9%，平均为 40.7%。仔虾损伤率随其密度的增加而增加，两者呈正相关关系。然而，在加氯情况下，进入冷却系统的卵子和幼体的死亡率接近 100%。

项目运营期，生活于取水口附近上层水体的鱼卵、仔鱼将被吸入。在取水过程中具有游泳能力的游泳动物成体大部分可以回避因机械卷吸造成的死亡，但鱼卵、仔稚鱼因缺少游泳能力难以回避。

（3）卷吸效应对底栖生物的影响

底栖生物成体由于底埋或底表生活方式，受取水口卷吸作用甚微，不会产生明显影响。但在繁殖季节，底栖生物的早期发育阶段主要以浮游幼虫方式度过，浮游幼虫的个体大小一般为 50~100 微米，个体非常微小，有可能被少量吸入。从法国沿海电站观测表明，卷吸的机械冲击对个体微小的浮游植物并未产生明显的影响，对浮游动物的影响亦很小，死亡率低于 10%，因此卷吸的机械冲击损伤对个体微小底栖生物浮

游幼虫不会产生明显影响。冷却过程中施氯消毒对底栖生物浮游幼虫影响较小，牡蛎幼虫在 10mg/L 余氯浓度和水温 30℃条件下，48 分钟内无死亡现象。汤氏弦钟水蚤在余氯浓度为 1mg/L 时，96 小时死亡率为 30%。

5.5.3 生物资源损失量

采用《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）进行生态损失量计算。本工程为海上风电场建设项目，项目建设造成的生物损失主要由三部分组成：一为风机、海上换流站、生活辅助平台、综合服务平台基础的桩基占用海域及电缆沟开挖占用海域；二为桩基施工及海缆施工产生的悬浮泥沙扩散影响；三为海上换流站取排水卷载效应。

5.5.3.1 评估方法

（1）占用渔业水域生物损失计算方法

占用渔业水域，使该部分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 种生物资源受损量，单位为尾或个或千克（kg），在这里指底栖生物和潮间带生物资源受损量；

D_i —评估区域内第 i 种生物资源密度，单位为尾（个）每平方千米[尾（个）/km²]、尾（个）每立方千米[尾（个）/km³]或千克每平方千米（kg/km²）；

S_i —第 i 种生物占用的渔业水域面积或体积，单位为平方千米（km²）或立方千米（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，按下式计算：

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

式中：

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

D_{ij} ——某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源密度，单位为尾平方千米、个平方千米或千克平方千米（kg/km²）；

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

n ——某一污染物浓度增量分区总数。

污染物对各类生物的损失率见下表 5.5-1。

表 5.5-1 污染物对各类生物损失率

各污染区内悬浮物浓度增量范围（mg/L）	污染物超标倍数（Bi）	各类生物损失率（%）	
		鱼卵和仔稚鱼	成体
10~20mg/L	Bi≤1 倍	5	1
20~50mg/L	1<Bi≤4 倍	20	5
50~100mg/L	4<Bi≤9 倍	40	10
>100 mg/L	Bi>9 倍	50	20

5.5.3.2 项目用海区域生物资源密度

鱼卵、仔稚鱼、游泳生物、浮游植物、浮游动物、底栖生物的生物资源密度取春、秋两季现状调查结果数据平均值，生物资源密度见表 5.5-2。

表 5.5-2 生物资源平均密度表

序号	调查项目		生物资源密度			
			单位	春季调查	秋季调查	平均值（计算取值）
1	渔业资源	鱼卵	粒/m ³	0.20	0.22	0.21
2		仔稚鱼	尾/m ³	0.003	0.05	0.03
3		鱼类成体	kg/km ²	209.36	1501.88	855.62
4		鱼类幼体	kg/km ²	132.97	737.77	435.37
5		头足类成体	kg/km ²	5.42	136.90	71.16
6		头足类幼体	kg/km ²	5.26	11.07	8.17
7		甲壳类成体	kg/km ²	28.85	78.82	53.84
8		甲壳类幼体	kg/km ²	7.13	4.82	5.98
9	底栖生物		g/m ²	17.45	20.79	19.12
10	浮游植物		cells/m ³	2.54×10 ⁴	92.31×10 ⁴	47.43×10 ⁴
11	浮游动物		mg/m ³	80.20	81.81	81.01

5.5.3.3 损失评价结果

（1）占用海域造成的海洋生物损失

本项目 214 台风机导管架桩基基础（4 桩导管架、桩基直径 4m）、1 座海上换流站桩基基础（8 桩导管架、桩基直径 5m）、1 座生活辅助平台桩基基础（4 桩导管架、桩基直径 4m）、2 座综合服务平台管桩（4 桩导管架、桩基直径 4m）占用海域面积为

1.1065hm²，水深按照 45m 计算，生物损失量见表 5.5-3。

表 5.5-3 项目占用造成的生物资源损失

序号	生物类型	单位	生物量	占用面积 (km ²)	水深 (m)	损失量	单位
1	鱼卵	粒/m ³	0.21	0.011	45	103950	粒
2	仔稚鱼	尾/m ³	0.03			14850	尾
3	鱼类成体	kg/km ²	855.62			9.41	kg
4	鱼类幼体	kg/km ²	435.37			4.79	kg
5	头足类成体	kg/km ²	71.16			0.78	kg
6	头足类幼体	kg/km ²	8.17			0.09	kg
7	甲壳类成体	kg/km ²	53.84			0.59	kg
8	甲壳类幼体	kg/km ²	5.98			0.07	kg
9	底栖生物	g/m ²	19.12			0.21	t
10	浮游植物	cells/m ³	47.43×10 ⁴			2.34×10 ¹¹	cells
11	浮游动物	mg/m ³	81.01			40.10	kg

根据计算结果，本工程桩基占用海域共造成浮游植物总损失量为 2.34×10¹¹ 个，浮游动物损失量为 40.10kg，底栖生物损失量为 0.21t，鱼卵损失量为 1.04×10⁵ 粒，仔稚鱼损失量为 1.49×10⁴ 粒，游泳生物（成体）：鱼类 9.41kg、头足 0.78kg、甲壳 0.59kg，游泳生物（幼体）：鱼类 4.79kg、头足 0.09kg、甲壳 0.07kg。

（2）电缆施工对底栖生物的影响

电缆施工对底栖生物的影响主要来自电缆沟开挖及其两侧覆土，悬浮沙沉降覆盖厚度超过 2cm 面积底栖生物按 50%损失计算，悬浮沙沉降覆盖厚度超过 10cm 面积底栖生物按 100%损失计算。

由施工造成的悬浮沙沉降后在海底覆盖的沉积物厚度超过 2cm 的总面积约为 0.501km²，本项目施工未出现悬浮沙沉降覆盖厚度超过 10cm 的范围。造成的底栖生物损失见表 5.5-4。

表 5.5-4 海缆施工造成的底栖生物损失一览表

生物资源	资源密度	影响面积 (km ²)	水深 m	损失率	损失量	总损失量
底栖生物	19.12g/m ²	悬浮沙沉降覆盖厚度超过 2cm 面积	0.501	/	0.5	t
		悬浮沙沉降覆盖厚度超过 10cm 面积	0	/	1.0	0

综上，项目占用造成底栖生物损失量为 4.79t。

（3）施工悬沙造成的海洋生物损失

生物损失按各超标倍数对应的平均生物损失率计算，项目区水深范围为 0~49m，平均水深按照 24.5m 进行计算，根据 5.3 节，对施工悬沙进行分层预测，本次渔业资源

损失采用垂向平均影响面积进行计算。

表 5.5-5 本项目施工悬浮泥沙扩散面积

浓度增量范围 (mg/L)	超标倍数 (Bi)	送出电缆施工悬 沙垂向平均扩散 面积 (km ²)	集电电缆施工悬 沙垂向平均扩散 面积 (km ²)	桩基施工底层施 工悬沙扩散面积 (km ²)	合计 (km ²)
10~20	Bi≤1 倍	210.714	208.435	0.783	419.932
20~50	1<Bi≤4 倍	126.725	148.432	0.000	275.157
50~100	4<Bi≤9 倍	23.414	117.170	0.000	140.584
≥100	Bi>9 倍	14.750	50.740	0.000	65.490

项目施工悬浮泥沙扩散造成的生物资源损失计算见表 5.5-5。

表 5.5-6 施工悬浮泥沙造成渔业资源的损失量

生物资源	资源密度	影响面积 (km ²)		平均水深 m	损失率	持续周期	损失量	一次损失量	单位
鱼卵	0.21 粒/m ³	Bi≤1	419.932	24.5	5%	1	108027507	848958987	粒
		1<Bi≤4	275.157		20%		283136553		
		4<Bi≤9	140.584		40%		289321872		
		Bi>9	65.490		50%		168473025		
仔稚鱼	0.03 尾/m ³	Bi≤1	419.932	24.5	5%		15432501	121279851	尾
		1<Bi≤4	275.157		20%		40448079		
		4<Bi≤9	140.584		40%		41331696		
		Bi>9	65.490		50%		24067575		
鱼类成体	855.62kg/km ²	Bi≤1	419.932	/	1%		3593.02	38600.07	kg
		1<Bi≤4	275.157		5%		11771.49		
		4<Bi≤9	140.584		10%		12028.65		
		Bi>9	65.490		20%		11206.91		
鱼类幼体	435.37 kg/km ²	Bi≤1	419.932	/	5%		9141.29	53738.81	kg
		1<Bi≤4	275.157		10%		11979.51		
		4<Bi≤9	140.584		30%		18361.82		
		Bi>9	65.490		50%		14256.19		
头足类成体	71.16kg/km ²	Bi≤1	419.932	/	1%		298.82	3210.28	kg
		1<Bi≤4	275.157		5%		979.01		
		4<Bi≤9	140.584		10%		1000.40		
		Bi>9	65.490		20%		932.05		
头足类幼体	8.17kg/km ²	Bi≤1	419.932	/	5%		171.54	1008.44	kg
		1<Bi≤4	275.157		10%		224.80		
		4<Bi≤9	140.584		30%		344.57		
		Bi>9	65.490		50%		267.53		
甲壳类成体	53.84kg/km ²	Bi≤1	419.932	/	1%		226.09	2428.91	kg
		1<Bi≤4	275.157		5%		740.72		
		4<Bi≤9	140.584		10%		756.90		
		Bi>9	65.490		20%		705.20		

生物资源	资源密度	影响面积 (km ²)		平均水深 m	损失率	持续周期	损失量	一次损失量	单位
甲壳类幼体	5.98kg/km ²	Bi≤1	419.932	/	5%		125.56	738.13	kg
		1<Bi≤4	275.157		10%		164.54		
		4<Bi≤9	140.584		30%		252.21		
		Bi>9	65.490		50%		195.82		
浮游植物	47.43×10 ⁴ cells/m ³	Bi≤1	419.932	24.5	5%		2.44×10 ¹⁴	1.43×10 ¹⁵	cells
		1<Bi≤4	275.157		10%		3.20×10 ¹⁴		
		4<Bi≤9	140.584		30%		4.90×10 ¹⁴		
		Bi>9	65.490		50%		3.81×10 ¹⁴		
浮游动物	81.01mg/m ³	Bi≤1	419.932	24.5	5%		41672.90	244982.04	kg
		1<Bi≤4	275.157		10%		54611.65		
		4<Bi≤9	140.584		30%		83707.02		
		Bi>9	65.490		50%		64990.48		

根据计算结果，工程建设悬浮泥沙扩散共造成浮游植物总损失量为 1.43×10^{15} 个，浮游动物总损失量为 244.98t，鱼卵损失量为 8.49×10^8 粒，仔稚鱼损失量为 1.21×10^8 粒，游泳生物成体：鱼 38600.07kg、头足 3210.28 kg、甲壳 2428.91kg，游泳生物幼体：鱼类 53738.81 kg、头足 1008.44 kg、甲壳 738.13kg。

(4) 换流站取排水的卷载效应造成的海洋生物资源损失

本项目海上换流站循环冷却水的取排水量为 4200m³/h，取水量为 3.68×10^7 m³/a，换流站区域水深按 45m 考虑，鱼卵、仔稚鱼全年出现的天数占全年的比率按 75% 计算（考虑产卵期一般在 5~7 月，冬季一般没有鱼卵、仔稚鱼），幼鱼、浮游动物和浮游植物按照 100% 计。

经计算，项目海上换流站取排水卷载效应造成生物资源的年损失量为浮游植物总损失量为 1.75×10^{13} 个，浮游动物损失量为 2981.17kg，鱼卵损失量为 5.80×10^6 粒，仔稚鱼损失量为 8.28×10^5 粒，游泳生物（成体）：鱼类 699.71kg、头足 58.19kg、甲壳 44.03 kg，游泳生物（幼体）：鱼类 356.04kg、头足 6.68kg、甲壳 4.89kg。

表 5.5-7 卷载效应造成的生物资源损失一览表

生物类型		单位	生物量	取水量 (m³/a)	生物资源全 年占比率	损失量	单位
渔业资源	鱼卵	粒/m³	0.21	3.68×10 ⁷	75%	5796000	粒
	仔稚鱼	尾/m³	0.03		75%	828000	尾
	鱼类成体	kg/km²	855.62		100%	699.71	kg
	鱼类幼体	kg/km²	435.37		100%	356.04	kg
	头足类成体	kg/km²	71.16		100%	58.19	kg
	头足类幼体	kg/km²	8.17		100%	6.68	kg
	甲壳类成体	kg/km²	53.84		100%	44.03	kg

甲壳类幼体	kg/km ²	5.98		100%	4.89	kg
浮游植物	cells/m ³	47.43×10 ⁴		100%	1.75×10 ¹³	cells
浮游动物	mg/m ³	81.01		100%	2981.17	kg

(5) 小结

综上，项目建设共造成底栖生物损失量 5.00t，鱼卵损失量 8.55×10^8 粒，仔稚鱼损失量 1.22×10^8 尾，鱼类成体损失量 39309.19kg，鱼类幼体损失量 54099.64kg，头足类成体损失量 3269.25kg，头足类幼体损失量 1015.21kg，甲壳类成体损失量 2473.53kg，甲壳类幼体损失量 743.09kg，浮游植物损失量 1.45×10^{15} cells，浮游动物损失量 248003.31kg。

5.5.4 海洋生物资源补偿经济价值评估

5.5.4.1 计算方法

(1) 鱼卵、仔稚鱼经济价值的计算

鱼卵、仔稚鱼的经济价值应折算成鱼苗进行计算。鱼卵、仔稚鱼经济价值按以下公式计算：

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

式中：M——鱼卵和仔稚鱼经济损失金额；

W——鱼卵和仔稚鱼损失量；

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，根据近多年来主要鱼类苗种平均价格，商品鱼苗的平均价格按 0.8 元/尾计。

(2) 成体生物资源经济价值计算：

$$M = W \times E$$

式中：M——第 i 种类生物成体生物资源的经济损失额；

W——第 i 种类生物成体生物资源损失的资源量；

E——底栖生物的平均价格按 10 元/kg 计；商品鱼苗价格以 0.8 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) 渔业资源幼体经济价值的计算

幼体的经济价值应折算成成体进行计算，当折算成成体的经济价值低于鱼类苗种价

格时，则按鱼类苗种价格计算。幼体折算成成体的经济价值按公式计算：

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

式中：M——生物幼体的经济损失金额；

W——生物幼体的资源量；

P——生物幼体折算为成体的换算比例，按 100% 计算；

E——生物成体商品价格；

G——生物幼体长成最小成熟规格的重量，鱼、蟹类按平均成体的最小成熟规格 0.1kg/尾计算，虾类按平均成体的最小成熟规格 0.005kg/尾~0.01kg/尾计算，单位为千克每尾（kg/尾）。

（4）浮游植物、浮游动物资源经济价值计算：

根据《建设项目对国家级水产种质资源保护区影响专题论证报告编制指南》（农办渔〔2014〕14 号），浮游植物经济损失换算成鱼产力（30kg 浮游植物生产 1kg 鱼），浮游动物经济损失换算成鱼产力（10kg 浮游动物生产 1kg 鱼），按照下列公式计算：

$$M = W/30 \times E$$

$$M = W/10 \times E$$

式中：M——经济损失额，单位为元（元）；

W——生物资源损失量，单位为千克（kg）；

E——保护区主要摄食浮游植物/浮游动物的鱼类平均成体价格。

5.5.4.2 损害补偿年限的确定

本工程桩基永久占用海域对水域生态系统造成不可逆影响，补偿年限按 20 年计。施工产生的悬浮泥沙扩散造成的生物资源损害是短期的，其生物资源损害的补偿按 3 倍计算。

5.5.4.3 生态补偿金额计算结果

经计算，项目生态补偿金为 4326.45 万元，详见表 5.5-10。

表 5.5-10 生态损失总赔偿额表

影响类型	海洋生物种类	直接损失量	单位	单价	单位	成活率/转化率	补偿倍数	补偿金额（万元）
占用	鱼卵	103950	粒	0.8	元/尾	1%	20	1.663
	仔稚鱼	14850	尾	0.8	元/尾	5%		1.188
	鱼类成体	9.41	kg	10	元/kg	-		0.188
	鱼类幼体	4.79	kg	3	元/kg	-		0.029
	头足类成体	0.78	kg	10	元/kg	-		0.016

	头足类幼体	0.09	kg	20	元/kg	-		0.004
	甲壳类成体	0.59	kg	10	元/kg	-		0.012
	甲壳类幼体	0.07	kg	20	元/kg	-		0.003
	底栖生物	0.21	t	10	元/kg	-		4.200
	浮游植物	2.34×10 ¹¹	cells	15	元/kg	30kg 浮游植物生产 1kg 鱼		0.325
	浮游动物	40.10	kg	15	元/kg	10kg 浮游动物生产 1kg 鱼		0.120
海缆施工	底栖生物	5.00	t	10	元/kg	-	3	15.00
悬浮泥沙扩散影响	鱼卵	848958987	粒	0.8	元/尾	1%	3	2037.50
	仔稚鱼	121279851	尾	0.8	元/尾	5%		1455.36
	鱼类成体	38600.07	kg	10	元/kg	-		115.80
	鱼类幼体	53738.81	kg	3	元/kg	-		48.36
	头足类成体	3210.28	kg	10	元/kg	-		9.63
	头足类幼体	1008.44	kg	20	元/kg	-		6.05
	甲壳类成体	2428.91	kg	10	元/kg	-		7.29
	甲壳类幼体	738.13	kg	20	元/kg	-		4.43
	浮游植物	1.43×10 ¹⁵	cells	15	元/kg	30kg 浮游植物生产 1kg 鱼		298.16
	浮游动物	244982.04	kg	15	元/kg	10kg 浮游动物生产 1kg 鱼		110.24
卷载效应	鱼卵	5796000	粒	0.8	元/尾	1%	20	92.74
	仔稚鱼	828000	尾	0.8	元/尾	5%		66.24
	鱼类成体	699.71	kg	10	元/kg	-		13.99
	鱼类幼体	356.04	kg	3	元/kg	-		2.14
	头足类成体	58.19	kg	10	元/kg	-		1.16
	头足类幼体	6.68	kg	20	元/kg	-		0.27
	甲壳类成体	44.03	kg	10	元/kg	-		0.88
	甲壳类幼体	4.89	kg	20	元/kg	-		0.20
	浮游植物	1.75×10 ¹³	cells	15	元/kg	30kg 浮游植物生产 1kg 鱼		24.33
	浮游动物	2981.17	kg	15	元/kg	10kg 浮游动物生产 1kg 鱼		8.94
合计								4326.45

注：浮游植物的单个细胞鲜重按孙军等《浮游植物生物量研究》（海洋学报，1999 年 21 卷第 2 期 75-85）确定：取值约为 $1.39 \times 10^6 \text{pg/cell}$ 。

5.6 声环境影响评价

5.6.1 噪声对工程海域海洋生物影响

根据现状调查，本项目海域受噪声敏感的生物主要有角木叶鲸、高眼鲸等哺乳动物和石首鱼科等。

海上风电场工程建设所产生的水下噪声将掩蔽海洋生物在生物学上所需要的重要的声信息，引起海洋生物行为的变化，甚至引起海洋生物伤亡。目前有关此方向研究成果尚不多，虽然人们对海洋哺乳动物，如海豚、江豚和海豹等的水下声特性已有一些研究成果，但在很大程度上还不了解人为噪声对鱼类和其他非哺乳物种包括鱼卵、幼鱼等的影响，噪声对鱼类影响的数据目前还非常有限。水下噪声场分布与许多海洋生物行为状态转变之间存在着一定的联系。在强噪声环境下，海洋生物将离开喜爱的栖息地、改变浮游和潜水的规律、改变发音的形式、音量和节奏。

5.6.1.1 噪声对海洋生物听觉和行为影响

由于某些海洋生物所生存的环境具有高度的声学复杂度，因此其也具有“声场景分析”的能力。海洋生物可以从水中声传播的微质元振动察觉出声源的方向，也可以用声音进行交流、定位及回避捕食者的地点、以及对周围环境的感知。

（1）声波将损害鱼耳朵的感受细胞

试验和研究证明，当水域声音声压值大于逃逸阈值（AVRT 值时），鱼类会逃离该水域，而仅当鱼类长时间、连续性暴露在远高于 AVRT 声压值条件下，噪声才会对鱼类身体器官造成影响，并出现鱼类昏迷和死亡的现象。在所研究的 3 种鱼中有三种的声音感受阈值 AHT 主要位于 20~500Hz 这一低频带，声压值为 70~150dBre1 μ Pa-m，而研究表明，逃逸值 AVRT 值一般远高于声音感受阈值 AHT 值，对于不同鱼类 AVRT 一般在 150~180dBre1 μ Pa-m。

海上风电场施工中所产生的噪声在多方面能对海洋生物产生影响，这些影响包括改变动物行为，对动物造成物理性损伤或死亡率提高。影响的严重程度受到多种因素影响，如水下噪声的声强和声频特性、动物遭到噪声时与噪声源的相对距离和位置、噪声的作用时间、动物的密度和动物的体积大小，以及动物本身的解剖构造。施工期噪声对海洋生物听觉的潜在影响包括 TTS 和 PTS。

（2）暂时性听力损失 TTS

长时间暴露于低声级的噪声环境，或者暴露于短时间的高声级噪声环境中，都可

能造成动物听觉组织损伤（耳中的感觉毛细胞受损），或者暂时性听力损失——（TTS）。对于造成听力组织受损或者 TTS 的噪声声级或持续暴露时间，其大小或者时间长短受到多种因素影响，这些因素包括声波的重复率、声压值、频率、持续时间、鱼器官的大小和老化程度、还有很多其他的因素等等。声场中的声压峰值和声暴露级都是影响组织损伤和 TTS 程度的重要因素。TTS 产生时的声级较之组织受损时的声级要低。非听觉组织损伤的声音阈值根据鱼体质量不同而不同。Carlson【Carlson, T., M., 2007】等提议将声压峰值和声暴露级分开制定过渡时期动物受声音影响的门限值，包括听力损伤的门限值和 TTS 的门限值，对于普通听觉和特殊听觉的动物都要建立过渡时期施工期噪声门限值。

TTS 的范围（即损失了多少分贝的听力）受到多种因素的影响。TTS 产生后的恢复时间根据暴露程度的不同需要数分钟至数日。Popper【A.N.Popper.2007】等发现普通听觉和特殊听觉的鱼类都可以从不同等级的 TTS 来恢复听力，一般只需要不足 18h。

（3）永久性听阈跃升 PTS

水下更强烈的噪声级可能导致鱼类的“永久性听阈跃升”（PTS）。PTS 为永久性的听力丧失，通常为感觉毛细胞的死亡而导致 PTS。目前，只有非常少量的论文研究鱼类受到极强烈的噪声影响后会造成鱼耳内感觉细胞的毁灭。听力丧失导致的间接影响关系到动物的健康程度，导致鱼对捕食者方位的判断力下降、无法交流、或者无法对周围物理环境进行感知。

部分海洋生物会游离噪声源，借此减少遭到水下噪声的影响。而幼体鱼和鱼卵由于受海流影响或者自身能力而游动非常缓慢，鱼卵也可能是固定的，因此鱼卵若停留在噪声的海域或海底也将遭到噪声影响。目前仅有很少的资料提及噪声对正在孵化的鱼卵或鱼幼体的影响。虽然 Banner 和 Hyatt【Banner, Arnold and Martin Hyatt, 1973】研究发现：当红鲈鱼暴露在宽频噪声（100-1000Hz）中，在水下噪声比原来的背景噪声高出 15dB 时，海域中鱼卵和胚胎的死亡率将增加，但是已经孵化的幼体和长头鲷鱼的幼体暴露在相同的噪声中则没有受到影响。

（4）声波将改变鱼的行为模式

强噪声会使某些鱼类离开一个区域很短时间，如渔船及机械产生的低频噪声可能引起鱼群规避船舶，许多鱼种使用声波吸引配偶或其它行为，任何噪声对这些声波的掩蔽都可改变鱼的活动行为。也有证据表明：某些仔鱼可能利用礁石声来发现礁石，这些鱼会到达高声强的区域。因此当存在较大的噪声声强时，这些仔鱼可能会被弄糊

除了，以至于不能发现礁石，同时噪声可能掩蔽礁石的回声声波，再次阻止仔鱼发现礁石。

5.6.1.2 鱼类的发声和听力特性

研究表明，多数有关噪声对鱼类听觉阈值影响的研究有着高强度（>150dB）和长时间（>12h）的特点。然而在真实环境下只有少数剧烈活动如空气枪震源（airgun）（Popper et al., 2005）、主动声呐（activesonar）（Popper et al., 2007）和水下爆破（Underwater Explosions）（Gaspin, 1975）等能达到这个强度。由于鱼类有着较强的游泳能力，对强噪声也有规避行为，由此可以推测，鱼类通常较少情况下会长时间连续暴露在高强度噪声下，同时上述研究也表明多数情况下噪声暴露结束后鱼类的听力也可恢复至之前的水平。

5.6.1.3 噪声对海洋生物影响的实验研究

根据厦门大学在江苏如东近海海域对某些典型海洋鱼类行为受水下噪声影响实验研究结果进行类比分析，结论如下。

（1）运动轨迹：观察了花鲈，鲻，矛尾复鰕虎，辫子鱼等鱼种的活动状况。对风电场记录的不同强度的风电场噪声，在最大噪声源强为 163dB/1uPa 时，这些鱼种没有出现回避噪声源的现象，即这些鱼种对海上风电场营运期水下噪声“无明显反应”；对发射的不同频率（100~900kHz）、不同强度的连续波噪声（143~166dB /1uPa），实验鱼种没有出现明显的“逃逸”行为。

（2）对噪声源的反应：在不同频率、不同强度噪声以及风电场记录的不同强度的水下噪声源刺激下，甲壳类动物如本实验中的梭子蟹、花蛤、文蛤等对水下噪声“无明显反应”；实验中观测到在发射脉冲式水下噪声、载波频率为 400~500Hz、有效声压级为 166dB/1uPa 时，辫子鱼出现明显游动，游动行为比原来有所增加；在不同频率（100~900kHz）、不同强度噪声（147~178dB /1uPa）的水下噪声源刺激下，甲壳类动物如本实验中的梭子蟹、花蛤、文蛤等“无明显反应”；

（3）死亡率：在上述使用的不同噪声源下，连续 3 天持续的间断性（晚上不进行）现场实验，没有发现这些噪声对实验鱼种、甲壳类等产生“致死”现象。

5.6.2 石首鱼科发声特性实验研究

根据北海站水下噪声研究室到浙江舟山近海养殖场对网箱养殖的石首鱼发声情况（2014 年 10 月）进行了测试结果可知，养殖的大黄鱼、黄姑鱼在白天觅食时会发声，

夜间有自然发声的习性。监测数据从傍晚 18 点左右开始记录到零星发声，19 点至 22 点群体发声明显，此后鱼群零星发声直至无声。石首鱼科鱼类包括大黄鱼、小黄鱼、叫姑鱼、梅童鱼等，它们具有较为完备的听觉系统，对声音极为敏感，其中大黄鱼对声音的感知尤为明显，水下强噪声可使其受到惊吓跳出水面。

5.6.3 水下噪声对石首鱼科（大黄鱼）影响的实验研究

根据厦门大学开展的水下噪声对大黄鱼影响的实验研究进行类比分析，结论如下：

（1）大黄鱼幼苗对声音的敏感频率在 800Hz，声强约 140dB 时对声波即有明显反应，声强 150dB 时有少量幼苗死亡，当声强达到 172dB 时有较多幼苗直接死亡。

（2）大黄鱼小鱼的测试结果与幼苗明显不同。小鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声强达到 150dB 以上，小鱼仍未有致死现象，仅有主动避开声源的行为，当声源强度达到 187dB，在声源正上方的小鱼开始变得十分迟钝，当声强达到 192dB 时，仅观察到声源正上方的 2 只小鱼的直接致死，由此说明小鱼最大可承受声压大于幼苗。

（3）大黄鱼成鱼的声敏感频率也在 600Hz 附近，当声源达到 192dB 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，但未能直接致死。但在声源约为 140dB 时，成鱼对声波没有条件反射行为发生。

可见，不同大小和年龄的大黄鱼对水中声音的反应存在明显差异。三种不同尺寸的对声音的敏感频率集中在 600-800Hz 频带上，与大黄鱼主动发声时的主要谱峰位置相吻合。但不同年龄的大黄鱼的声敏感频率有略微差别，生长年龄越小的鱼，其声敏感频率越高。但大黄鱼的发声信号特征与鱼体耳石大小、生长年龄、雄雌等之间更为定量的关系，还需深入的实验研究。

5.6.4 海洋生物受水下噪声影响的声压阈值

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）详见下表 5.6-1，表 5.6-2：

表 5.6-1 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	179 dB SELw	199 dB SELw	168 dB SELw 或 213 dB SPL _{pkb}	183 dB SELw 或 219 dB SPL _{pk}

高频鲸目	178 dB SELw	198 dB SELw	170 dB SELw 或 224 dB SPLpk	185 dB SELw 或 230 dB SPLpk
超高频鲸目	153 dB SELw	173 dB SELw	140 dB SELw 或 196 dB SPLpk	155 dB SELw 或 202 dB SPLpk
海牛目	186 dB SELw	206 dB SELw	175 dB SELw 或 220 dB SPLpk	190 dB SELw 或 226 dB SPLpk
海豹类食肉目	181 dB SELw	201 dB SELw	170 dB SELw 或 212 dB SPLpk	185 dB SELw 或 218 dB SPLpk
其他海洋食肉动物	199 dB SELw	219 dB SELw	188 dB SELw 或 226 dB SPLpk	203 dB SELw 或 232 dB SPLpk

表 5.6-2 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	219 dB SELcum 或 213 dB SPLpk	216 dB SELcum 或 213 dB SPLpk	186 dB SELcum	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔，鱼鳔与听力无关	210 dB SELcum 或 207 dB SPLpk	203 dB SELcum 或 207 dB SPLpk	186 dB SELcum	(近) 中等	(近) 高
				(中) 低	(中) 中等
				(远) 低	(远) 低
有鱼鳔，鱼鳔与听力相关	207 dB SELcum 或 207 dB SPLpk	203 dB SELcum 或 207 dB SPLpk	186 dB SELcum	(近) 高	(近) 高
				(中) 高	(中) 高
				(远) 中等	(远) 中等
卵和幼体	210 dB SELcum 或 207 dB SPLpk	(近) 中等	(远) 中等	(近) 中等	(近) 中等
		(中) 低	(中) 低	(中) 低	(中) 低
		(远) 低	(远) 低	(远) 低	(远) 低

5.6.5 施工期水下噪声对海洋生物影响评估

施工中所产生的冲击波噪声在多方面将对海洋生物产生影响，这些影响包括改变动物行为，对动物造成物理性损伤或死亡率提高。影响的严重程度受到多种因素影响，如水下噪声的声强和声频特性、动物所遭受到噪声时与噪声源的相对距离和位置、噪声的作用时间，对鱼类来说，噪声的影响与鱼群的密度和鱼类的体积大小，以及鱼本身的解剖构造有。

因此，施工期应注意海洋生物的保护措施。

5.6.5.1 施工期海洋生物安全距离要求

风机基础施工作业对渔业资源将产生一定的影响，主要体现于对游动鱼类的驱赶作用。

根据分析以及其他已经建成风电场的施工期打桩噪声的实测结果，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： $SL=228.5 \cdot D^{0.0672}$ 。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 251dB $\text{re}1\mu\text{Pa}@1\text{m}$ 。

采用《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T 0341-2022）中的方法计算声传播。计算得到项目海域的海洋动物影响距离为如表 5.6-3 所示：

表 5.6-3 桩水下噪声影响预测

序号	项目海域鱼类声源级保护阈值	基础施工（峰值源强 251dB）
1	196dB（超高频鲸目，TTS）	1140m
2	213dB（无鱼鳔，致死或潜在致死）	130m
3	186dB（无鱼鳔，TTS）	4100m
4	207dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力无关，致死或潜在致死）	278m
5	186dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力无关，TTS）	4100m
6	207dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力相关，致死或潜在致死）	278m
7	186dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力相关，TTS）	4100m
8	207dB（卵和幼体）	278m

综上，在 4100m 之内，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。以 155dB $\text{RMSre}1\mu\text{Pa}$ 作为石首科成鱼的影响阈值，算出在打桩施工中，对其保护的距離为离施工打桩桩基 4.4km。

5.6.5.2 施工噪声对海洋生物影响

（1）施工噪声对周围海洋生物影响

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”，可以减小对周围海域海洋生物的影响。

（2）其他施工活动的影响

本工程的其他水下施工噪声，如施工船舶噪声、灌浆等噪声声源级可达到 150~170dB，可能对该海域中的石首鱼科幼鱼等的行为产生某些干扰；而一般的水下噪声，如抛沙抛石等所产生的水下噪声，噪声声压级已低于 120dB，基本上已和海洋环境噪声相当，不会对鱼类等的行为产生影响。

（3）累加影响

虽然相关测量数据及研究表明中小幅度的撞击式桩基施工不会对一定距离外（如 200m 左右）的鲸豚类动物及海洋鱼类造成直接致死或致伤，但长时间较高声压水平的桩基施工对海洋生物的累积效应可能造成慢性影响。这些慢性影响包括：遮蔽效应和听力损失，行为模式改变和紧张等。

施工噪声可能会对鱼类的交流、行为、觅食和避敌产生短期的有害影响，施工船将会对在这一带水域活动的鱼类、特别是石首科鱼类造成滋扰，受影响的鱼类将因回避而离开施工区。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，如当航道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。

5.6.6 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，基本上与海域其它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/re1 μ Pa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。因此，运营期噪声对海洋生物影响较小。

5.6.6.1 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 $TL=20 \cdot \lg R$ 。经预测，在离风机 100m 处海上风电场水下噪声中心频率 630Hz 1/3 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： $R=10 \left((155-133+10) / 20 \right) = 40 \text{ m}$

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 40m。

（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/rel μPa 、125dB/rel μPa 、140dB/rel μPa 。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 $10 \lg \Delta f_i$ ，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/rel μPa 、146.6dB/rel μPa 和 161.6dB/rel μPa 。

由公式可分别算得：海上风电场在营运期中水下噪声对对幼鱼大黄鱼叫声的影响距离为 46.7m，对 6 个月的大黄鱼叫声的影响距离为 8.3m，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 50m。

5.6.6.2 营运期水下噪声对海洋生物的影响

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。

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。本项目噪声在水下传播衰减较快等特点，可得出本工程

对海洋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。

5.6.6.3 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，而噪声对于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，得出了在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鲷鱼幼体（sole larvae）的影响。他们利用实际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）刺激鲷鱼幼体，根据鲷鱼幼体的身体发育程度，把鲷鱼幼体分为 4 个阶段的鲷鱼幼体，观测每个阶段鲷鱼的死亡率。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鲷鱼幼体，与对照组相比（即未进行噪声刺激），鲷鱼幼体的存活率没有明显的差别，这表明这些鲷鱼幼体能够忍受峰值声压级高达 211dB 打桩噪声的刺激（LoesJ.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。鲷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，噪声对其的显著影响，且这时幼体并没有鱼鳔（LoesJ.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的研究。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、鳗等的噪声实验研究，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。

5.6.6.4 营运期不同风速水下噪声对海洋生物影响

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/re1 μ Pa 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可以接受范围内。

由于海洋生物种群个体差异较大，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。

5.6.7 声环境影响评价结论

5.6.7.1 施工期水下噪声影响

（1）根据现状调查，本项目海域存在石首科鱼类和角木叶鲸、高眼鲸等。依据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T0341-2022），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，其中听力影响阈值又分为暂时阈值漂移（TTS）和永久阈值漂移（PTS），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；对有鱼鳔的鱼类以及卵体和幼体的潜在致死距离为 316m，物理损伤保护距离为 4100m。在 4100m 之内，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。以 155dB_{RMS}re1 μ Pa 作为石首科成鱼的影响阈值，算出在打桩施工中，对其保护的距为离施工打桩桩基 4.4km。建议以 4.4km 作为保护距离。

（2）水下噪声的累加效应影响：虽然相关测量数据及研究表明撞击式桩基施工不会对一定距离外的鱼类等海洋生物造成直接的影响，但长时间较高声压水平（160dB 以上）的桩基施工对海洋生物特别是石首科鱼类可能造成慢性影响；长时间暴露于水下噪声对海洋哺乳动物、海洋鱼类等海洋生物可能造成的慢性威胁包括：遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。水下打桩等的弱重复冲击波，可使鱼类等海洋生

物的损伤呈现累积效应，其表现在：损伤的发生率升高，阈值降低和程度加重，导致不可逆转性损伤。且随着暴露次数增加，不仅损伤的发生率升高，而且损伤的阈值降低，程度加重，机体的潜在性病变等对致伤更为敏感。

(3) 施工期其他一般施工活动如抛沙、抛石及航运等水下施工和海上运输活动将使水下噪声级在某些低频段上有所提高。如抛石、抛沙在离施工较近的海域（10m 范围）的水下噪声谱级可达 105~115dB；不同船型及运行速度产生的船舶噪声强度不同，但航运噪声主要在较低频率上，且噪声随着传播距离增大而逐渐衰落。根据目前国际上对连续存在的水下噪声可能对海洋生物的行为干扰的安全级阈值设定 120dB 的导则要求，本工程所采用的一般水下施工等活动基本上不会对海洋生物带来影响。

由于施工期相对时间较短，同时某些鱼类可以采用游离避开噪声源等方法远离施工区，在施工结束后再返回该区域。建议施工单位一方面应该尽量缩短总的施工时间，另一方面在打桩中每分钟的打桩次数尽量减少。需要特别强调在进行首次水下打桩时先进行小强度的“软启动”，以达驱赶海洋鱼类游离作业区，到达一定距离外的安全海域。

5.6.7.2 营运期水下噪声影响

(1) 海上风电场在营运期总体的水下噪声强度比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1 μ Pa，总体噪声谱级都在 120dB/1 μ Pa 以下，已和海洋背景噪声相当。因此，营运期水下噪声对本工程海域的海洋生物基本上不会带来明显的影响。

(2) 根据本课题所开展的不同强度的水下噪声对鱼类等海洋生物的海上现场和实验室模拟实验，同时结合本项目位于浅海海域，海底地质以粉土、粉砂、及粉质粘土为主，噪声传播衰减较快等特点，可得出营运期水下噪声强度对海域中典型鱼类、甲壳类等影响不明显。

(3) 基于对石首鱼科的发声特性研究，本专题研究报告采用 10dB 作为发声动物掩蔽效应的信噪比临界值，将 1/3 倍频程声压级作为对比标准，可算出本工程营运期水下噪声对石首鱼科幼鱼的影响距离（掩蔽效应）为 50m。

(4) 要深入研究风电场对水下噪声的影响除了必须对实际海上风电场的水下噪声频谱进行实测，更需要调查区域海洋鱼类的听阈值，海洋生物对声信号的敏感性研究等方面需要国家层面、长周期的投入，需要进行大量的基础数据调查和实验。

(5) 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，而噪声对于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。

5.7 电磁环境影响预测与评价

本海上风电场电磁环境来源主要有两部分：1 座海上 525kV 海上换流站、风电场内 66kV 和风电场外 525kV 的海底电缆。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。

5.7.1 风电场内海底电缆电磁环境对海洋生物的影响

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 $10-4T$ ，平均强度为 $60 \mu T$ ，磁场方向为垂直于地平面方向，地球赤道的磁通量为 $30 \mu T$ ，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强度的不同、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。

5.7.1.1 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。

5.7.1.2 海洋生物的电磁学特性分析

（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它们予以特别的关注。在 Nishi, Kawamura 等（2004）对鳗鲡洄游线性的研究中发现，洄游数千千米进行产卵的日本鳗鲡（*Anguilla japonica*）对 $12.663 \mu\text{T}$ 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, et al, 1998）；另一项研究显示，磁场暴露能够延缓鲑鱼（*Salmo trutta*）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，当欧洲鲈鱼（*Silurus glanis*）暴露于一个磁场强度持续为 $0.4\sim 0.6\text{T}$ 的磁场中时，其生物量下降，死亡率升高，但与之相反的是，幼体鳊鱼（*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, Retal., 2004）。

（3）海底电缆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（A.J.Kalmijn, , 1982; A.B.Gill, 2012, PK.Adair, 1998; Centre for 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。其它海洋生物，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，即鳗鱼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。

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，从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。

5.7.2 风电场电磁环境分析

本项目电磁环境来源主要有两部分：1 座海上 525kV 海上换流站、风电场内 66kV 和风电场外 525kV 的海底电缆。其中，66kV 海底电缆用于风电场内风电机组与海上换流站之间的连接。根据《建设项目分类管理名录 2021 版》，对于 100kV 以下电缆进行豁免，所以 66kV 的电缆不做电磁评价。本项目电磁环境主要分析 525kV 海上换流站和风电场外 525kV 的海底电缆。

5.7.2.1 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。

(4) 合成电场：直流带电导体上电荷产生的电场和导体电晕引起的空间电荷产生的电场合成后的电场。度量合成电场强度的物理量为电场强度，其单位为伏特每米 (V/m)，工程上常用千伏每米 (kV/m)。

5.7.2.2 工频电磁场产生原理分析

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。变电站产生的电磁场及无线电干扰值大小与电压等级、设备性能、平面布置、地形条件等密切相关。输电线路运行产生的工频电场、工频磁场强度大小与线路的电压等级、运行电流、导线排列及周围环境有关。

(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中形成一个低频电场。电场与电压大小成正相关，且易受到周围物体的影响发生畸变。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。通常一般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；随输电线轴线侧向距离的增加，其电场也下降。输电线下的电场除与导线对地高度有关外，还与导线的排列方式有关。

（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 $1.256\mu T$ 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，如发生源的电压、电流消失，电磁场也会同时消失不见。电力电磁场频率低，变化缓慢。电场很容易被屏蔽，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。电力设备如变压器、电缆等大多有金属外壳，其外面几乎没有电场，屋内式变电所的所有设备都在钢筋混凝土建筑物内，对电场屏蔽更佳。

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。

5.7.3 525kV 送出海底电缆电磁环境影响评价

根据调查，目前国内海上 $\pm 525kV$ 直流电缆投运较少，针对海底 $\pm 525kV$ 直流电缆电磁监测分析尚未开展，因此本次类比对象选择与本项目电压接近的厦门柔性直流输电科技示范工程的 $\pm 320kV$ 电缆线路。

表 5.7-1 送出电缆电磁辐射可比性分析

序号	分类	评价工程	类比工程
1	项目名称	本工程	厦门柔性直流输电科技示范工程
2	电压等级	$\pm 525kV$	$\pm 320kV$

3	电缆截面积	2000mm ²	2000mm ²
4	地理位置	山东青岛	福建厦门
5	地形	地势平坦	地势平坦

本工程直流电缆电压等级略高于厦门柔性直流输电科技示范工程，额定输送容量比较接近，但目前国内尚未有±500kV 直流电缆投运，因此，选用厦门柔性直流输电科技示范工程±320kV 直流电缆进行类比是合适的。厦门柔性直流输电科技示范工程±320kV 直流输电线路衰减断面处合成电场强度最大值（0.32~0.35）kV/m，监测结果满足《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》（GB39220-2020）中合成电场强度 E95 的 2.5kV/m，且 E80 的 1.5kV/m 的限值要求。本工程直流线路电压等级为±525kV，略高于本次类比对象厦门柔性直流输电科技示范工程的电压等级，理论上本工程的电磁环境各项评价物理量指标略大于类比对象的监测值。根据监测，厦门柔性直流输电科技示范工程±320kV 直流输电线路衰减断面处的合成电场强度最大值远小于《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》（GB39220-2020）中合成电场强度 E95 的 2.5kV/m，且 E80 的 1.5kV/m 的限值要求，同时也考虑了电磁波在海水中传播的能量衰减速率较空气环境中更大，因此，可以推测本工程线路建成后合成电场强度、直流磁感应强度均将小于标准限值。根据《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020），“如国内没有同类型项目，可通过搜集国外资料、模拟试验等手段取得的数据、资料进行评价。”本项目利用数值计算软件 comsol 对±525kV 直流海缆内部及周边的电场进行仿真计算补充说明。

（1）电场仿真计算

利用数值计算软件 comsol 对±525kV 直流海缆内部及周边的电场进行仿真计算，在额定工作条件下其电场分布情况如下图所示。从数值仿真计算结果中可以看出，由于本项目采用的直流海缆在绝缘层外有金属护层，同时金属护层是两端直接接地的，因此在正常工作时海缆金属护层为地电位，海缆导体周边的电场分布被约束在电缆导体与金属护层之间的绝缘层内。

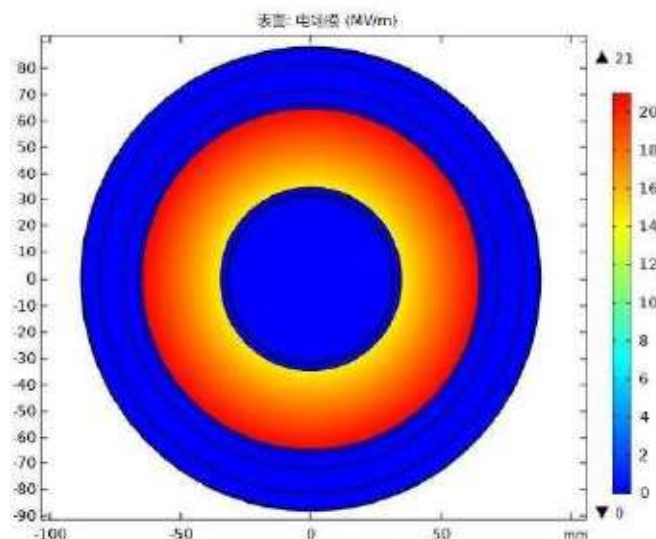


图 5.7-1 ±525kV 直流海缆额定电压下内部电场分布

根据仿真计算结果，由于本项目采用的直流海缆在绝缘层外有金属护层，同时金属护层是两端直接接地的，因此在正常工作时海缆金属护层为地电位。拟建陆上直流海缆采用加强金属护层，在正常运行工况下产生的合成电场将满足《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》（GB39220-2020）中合成电场强度 E95 的 25kV/m，且 E80 的 15kV/m 的限值要求。

（2）磁场强度计算

将功率 3000MW 和 ±525kV 直流海底电缆，则通过公式 $P=UI$ ，可计算出最大直流电流约为 3000A。

由于海水和空气介质的非磁属性，同时也考虑了电磁波在海水中传播的能量衰减速率较空气环境中更大，磁场强度在相同距离上空气中还会略大些的基本思路，预测 525kV 海底电缆所辐射的磁场强度。根据公式可以进行预测计算 525kV 导线上方 A 点处的磁场强度：

$$H = \frac{I}{2\pi\sqrt{h^2 + L^2}}$$

式中：I—导线 i 中的电流值；

h—计算 A 点距导线的垂直高度；

L—计算 A 点距导线的水平距离。

将磁场强度转换为磁感应强度，转换公式如下：

$$B=\mu_0H$$

式中：B:磁感应强度；

H:磁场强度；

μ_0 :真空中相对磁导率 ($\mu_0=4\pi\times 10^{-7}\text{H/m}$)。

下图给出了在容量 1600MW, 电压 $\pm 525\text{kV}$, 电流为 1600A 下的电缆磁感应强度的总体分布情况。

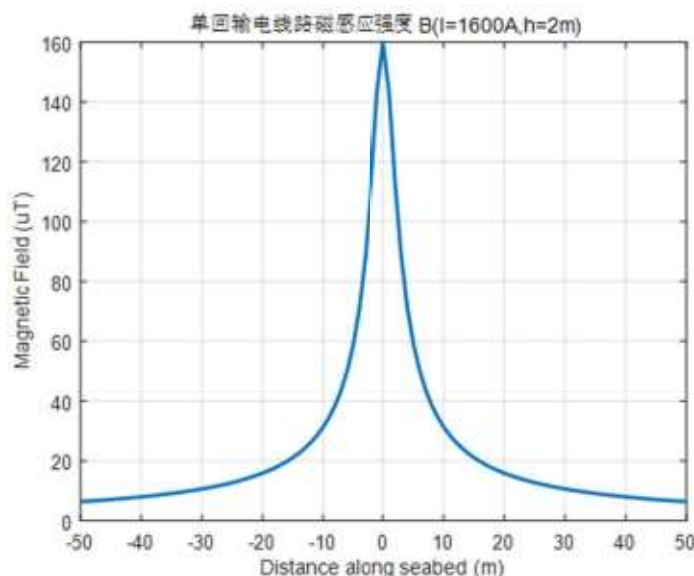


图 5.7-2 525kV 电缆磁感应强度的总体分布情况

由图中可见, 在电缆线中心距离上的磁感应强度为 $160\mu\text{T}$, 之后随与此点距离的增加, 其值快速衰减, 离电缆中心处 10m 处, 磁感应强度为 $31\mu\text{T}$ 。研究表明, 掩埋电缆能最高效地减小磁场峰值, 对于埋设于浅水区的海底电缆, 电磁波在海水中的传播的能量衰减速率较空气环境中更大。电磁波在海水中传播时激起的传导电流, 致使电磁波的能量急剧衰减, 频率愈高, 衰减愈快。因此, 本项目海底电缆在正常运行工况下产生的磁感应强度可以满足 10mT 的标准限值要求。

5.7.4 海上换流站电磁效应

由于目前已投运的换流站相对于交流变电站而言, 数量非常少, 布局、占地面积等差异较大。且本工程换流站在直流系统中电压等级低, 占地面积较大。2022 年北京冬奥会重点配套工程— ± 500 千伏张北可再生能源柔性直流电网试验示范工程是世界首个柔性直流电网工程, 因此本次评价选择 ± 500 千伏张北可再生能源柔性直流电网试验示范工程的 $\pm 500\text{kV}$ 北京换流站作为类比对象, $\pm 500\text{kV}$ 北京换流站已于 2020 年 6 月 29 日竣工投产, 并于 2021 年 3 月完成竣工环保验收。表 5.7-2 为换流站可比性分析表。

表 5.7-2 变电站可比性分析

序号	变电站	±500kV 北京换流站	本项目海上换流站
1	电压等级	500kV	525kV
2	主变压器容量	7×567MVA	/
3	主变压器形式	三相有载调压变压器	三相有载调压变压器
4	500kV 电气布置	户内 GIS 布置	户内 GIS 布置
5	站区地形	微丘地区	海上

变电站产生的电磁场大小与电压等级、设备性能、平面布置、地形条件等均密切相关。从表 5.4-1 可见，北京换流站在电压等级、总平面布置等方面与本项目海上换流站较为相似，本项目换流站位于海上，电磁扩散损失条件更好，理论上电磁环境影响更小。±500 千伏张北可再生能源柔性直流电网试验示范工程是世界首个柔性直流电网工程，选用±500kV 北京换流站作为类比对象，可基本反映本工程投产后的电磁环境影响。

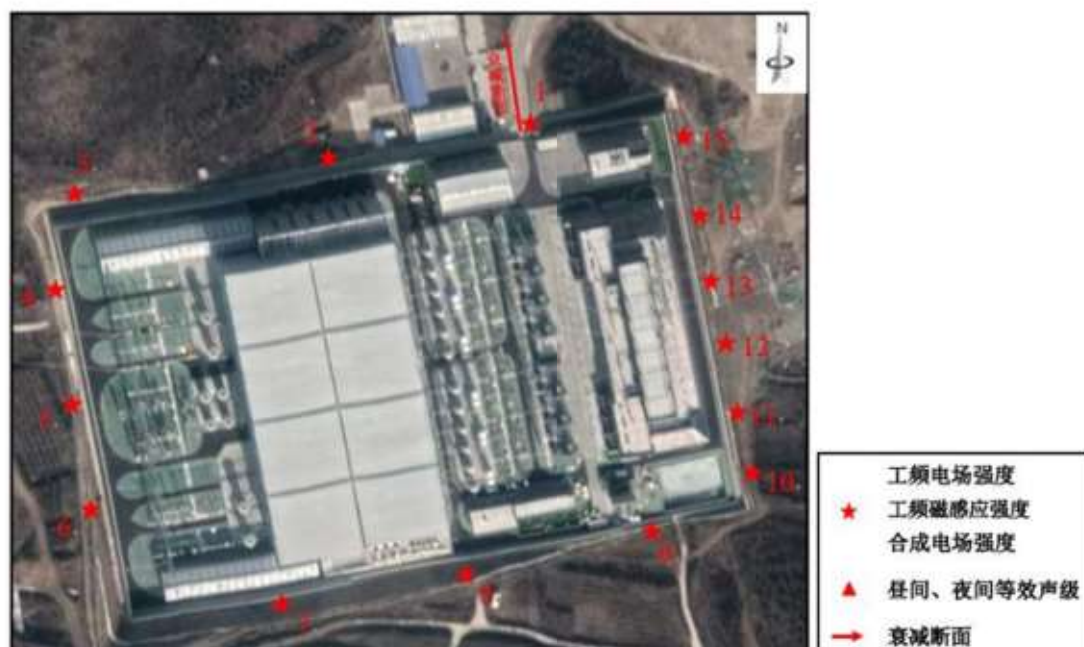


图 5.7-3 500kV 北京换流站平面布置及监测点位图

监测点布放在 500kV 北京换流站四周厂界，以及在靠近最高电压等级配电装置一侧垂直与围墙外不同距离处。工频电磁场监测结果与衰减断面监测结果分别见表 5.7-3、5.7-4。

表 5.7-3 北京换流站工频电磁场监测结果

序号	监测点位号	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	合成电场强度 (kV/m)	
				80%值	最大值
1	北京站 1 号测点	44.88	0.14	0.34	0.46
2	北京站 2 号测点	20.95	0.15	-0.11	-0.14
3	北京站 3 号测点	2.63	0.11	0.12	0.21

序号	监测点位号	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	合成电场强度 (kV/m)	
				80%值	最大值
4	北京站 4 号测点	2.74	0.09	0.45	0.52
5	北京站 5 号测点	3.64	0.08	0.31	0.32
6	北京站 6 号测点	3.27	0.09	-0.21	-0.25
7	北京站 7 号测点	2.85	0.13	-0.04	-0.04
8	北京站 8 号测点	2.71	0.07	-0.03	-0.03
9	北京站 9 号测点	7.58	0.44	-0.03	-0.03
10	北京站 10 号测点	7.66	0.25	0.07	0.12
11	北京站 11 号测点	16.22	0.11	0.07	0.08
12	北京站 12 号测点	372.67	0.64	0.07	0.15
13	北京站 13 号测点	2408.00	0.82	0.43	0.63
14	北京站 14 号测点	179.13	0.15	0.59	1.05
15	北京站 15 号测点	39.14	0.07	0.81	0.87

表 5.7-4 北京换流站工频电磁场衰减断面监测结果

序号	与围墙距离 (m)	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (μT)	合成电场强度 (kV/m)	
				80%值	最大值
1	距换流站围墙 5.0m	52.15	0.11	-0.36	-0.52
2	距换流站围墙 10.0m	51.83	0.09	-0.45	-0.63
3	距换流站围墙 15.0m	49.44	0.05	-0.49	-0.66
4	距换流站围墙 20.0m	45.85	0.03	-0.48	-0.59
5	距换流站围墙 25.0m	43.83	0.03	-0.45	-0.53
6	距换流站围墙 30.0m	40.15	0.02	-0.41	-0.47
7	距换流站围墙 35.0m	37.87	0.02	-0.37	-0.43
8	距换流站围墙 40.0m	35.73	0.02	-0.32	-0.38
9	距换流站围墙 45.0m	33.06	0.02	-0.28	-0.35
10	距换流站围墙 50.0m	31.83	0.02	-0.23	-0.31

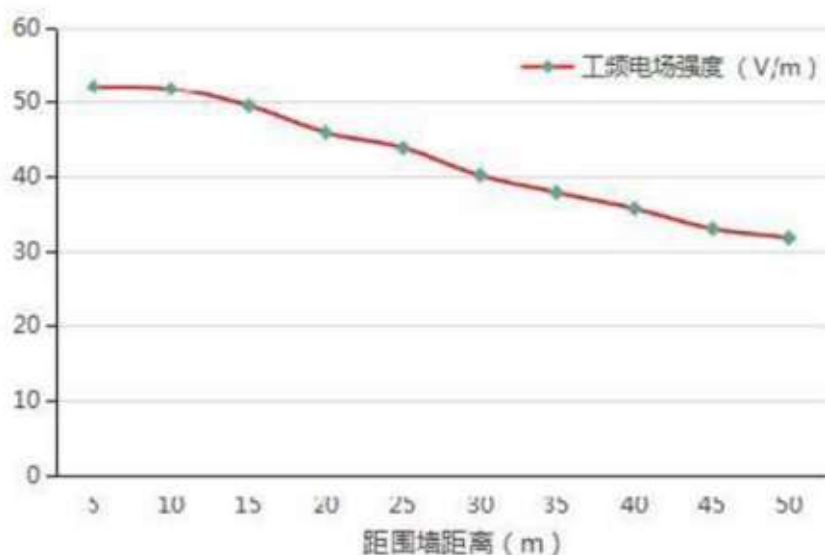


图 5.7-4 500kV 北京换流站平面布置及监测点位图

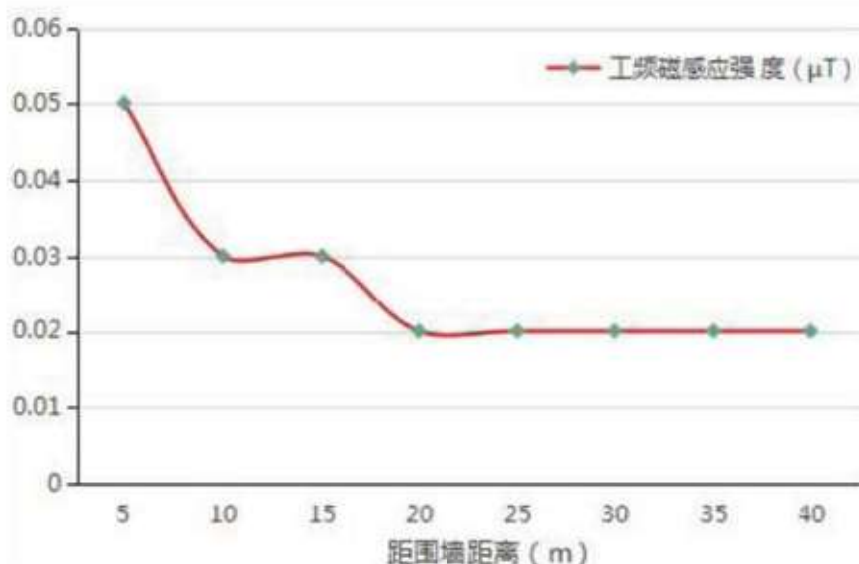


图 5.7-5 500kV 北京换流站平面布置及监测点位图

换流站厂界：±500kV 北京换流站合成电场 80%监测值在 0.03kV/m~0.81kV/m 之间，最大值监测范围在 0.03kV/m~1.05kV/m 之间，满足《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》（GB39220-2020）中合成电场强度 E95 的 2.5kV/m，且 E80 的 15kV/m 的限值要求。厂界工频电场强度监测值在 2.63V/m~2408V/m，磁感应强度为 0.07 μT~0.82 μT，工频电场强度、工频磁感应强度监测值满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）表 1“公众暴露控制限值”工频电场强度 4kV/m、工频磁感应强度 100 μT 标准限值要求。

换流站衰减断面：±500kV 北京换流站衰减断面合成电场 80%监测值 0.23kV/m~0.49kV/m 之间，最大值监测范围在 0.31kV/m~0.66kV/m 之间，满足《直流输电工程合成电场限值及其监测方法》（GB 39220-2020）中合成电场强度 E95 的 25kV/m，且 E80 的 15kV/m 的限值要求。衰减断面工频电场强度监测值在 31.83V/m~52.15V/m，磁感应强度为 0.02 μT~0.11 μT，工频电场强度、工频磁感应强度监测值满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）表 1“公众暴露控制限值”工频电场强度 4kV/m、工频磁感应强度 100 μT 标准限值要求。

本工程 525kV 海上换流站所产生的电场强度及工频磁感应强度应类似于北京换流站类比监测结果，海上换流站外围场地更宽阔，更有利于电磁扩散衰减。因此，可以预测，525kV 海上换流站的最大电场强度及最大磁感应强度均能满足《电磁环境控制限制》（GB8702-2014）中 4kV/m 和 100 μT 的限值要求。

5.7.5 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。

初步结论如下：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。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。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益还是有害。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。

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 $0.2\text{mT} \sim 4.05\text{mT}$ ，而在 $0 \sim 0.2\text{mT}$ 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》（GB 8702-2014）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。

综上，本项目所在区域涉及鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类海洋生物，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》（GB 8702-2014）公众暴露控制限值 4kV/m 和 $100\mu\text{T}$ 的限值要求。本项目海底电缆在正常运行工况下产生的磁感应强度可以满足 10mT 的标准限值要求。项目建设对电磁环境的影响较小。

5.7.6 电磁环境影响评价结论

（1）根据类比分析， 525kV 在埋设海底下 3.6m 深，其在海底面上所产生的电场

强度和磁感应强度均小于 4kV/m、0.1mT 的限值要求；本工程 525kV 海上换流站所产生的电场强度及工频磁感应强度均小于 4kV/m、0.1mT 的限值要求。

(2) 据本项目引用的厦门大学的实验室模拟实验，风电场电磁环境对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物基本上没有影响。

(3) 由于实验的时间、规模、经费等均有限，海洋生物对磁场的这种生理反应的持久性尚需要进一步评估。建议相关单位进一步开展此方向的研究，并在项目运营期进行海底电缆等电磁环境的跟踪监测。

5.8 鸟类影响分析

5.8.1 施工期

5.8.1.1 施工期噪声对鸟类影响分析

本项目施工期产生的噪声及震动主要包括运输船舶、风机基础承台施工、风力发电机组安装、海上整体吊装、海上电缆挖泥船开挖、海上电缆铺设、高压水枪冲散以及抛石等施工活动产生的噪声。其中，液压打桩机、起重机和运输船只产生的噪声为主要声源。

施工期产生的噪声会对施工区域及邻近区域觅食的鸟类产生影响，使该区域鸟类的数量减少、多样性降低，待施工结束后，其影响可以消除。本项目远离海岸，鸟类多样性很低，海上风电场施工期间，若选择合适的建设时间，避开鸟类迁徙和繁殖季节，海上风机建设期间对鸟类几乎无影响。

本项目的海缆登陆点位于青岛风河口北侧，此处为沙滩和草地生境，无泥质滩涂，所分布鸟类多为常见鸟类。海缆登陆点的施工可能会对滨海湿地的鸟类有暂时影响，例如占用部分栖息地和觅食地，但影响较为短暂，且铺设完成后不再占用，不会对鸟类产生长期影响。本项目的建设并不影响这些鸟类的繁殖、觅食和迁徙等行为。

5.8.1.2 施工活动对鸟类的影响分析

海上风电场施工期间，工程主体建筑物全部位于海上，施工材料、构件、风机设备等全靠船舶运至各个施工地点。海上风机、换流站、海缆的施工建设，需要自升式海上平台船、甲板驳船以及履带式起重机等专用船舶及机械。施工船舶的穿梭航行，会干扰鸟类的迁徙行为；风机叶轮、轮毂等在海面上耸立，会对部分低飞小型鸟类的迁徙造成阻碍影响，尤其是雾天的时候；施工人员的活动也会干扰鸟类的迁徙和正常

觅食；施工活动过程中还会产生一定的污染物，主要包括施工人员产生的生活污水、施工船舶产生的油污水、施工垃圾等；海上风电场施工和海底海缆的铺设会对工程海域海洋底栖生物和鱼类的生境造成一定的扰动，短期内该海域底栖生物和鱼类的种类和生物量会减少，进而影响鸟类（主要是鸥类）的觅食。根据环保的要求，施工过程中产生的污染物均严格管理，不得向海上排放，因此污染物基本不会对鸟类造成影响；鸟类的警觉性较高，有趋避行为，有趋避行为，可选择远离施工海域，而且施工期风机未运行，施工对鸟类迁徙的影响较小；施工作业属于短期行为，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工程周边，施工活动对水域的扰动影响有限，仅局部影响周围海域内底栖生物和鱼类的种类和数量，经过一定时间的恢复将会恢复原状，因此，施工对鸟类觅食的影响较小。

海缆登陆点位于西海岸新区风河口北侧沙滩，登陆点所在岸线为其他岸线（生态恢复岸线），向海一侧现状为沙滩，地形平坦，地势开阔，无明显遮挡物，整体上登陆点周边地形地貌条件良好，交通便利。本工程±525kV 海缆登陆方式采用非开挖水平定向钻方式，定向钻入土点位于岸线向陆一侧约 264 米处公园空地内，定向钻最大埋深距离约 5 米，定向钻施工不会破坏岸线类型，不会改变地形地貌现状情况，因此登陆点附近的施工基本不会对鸟类的栖息地造成明显的影响。

5.8.1.3 施工灯光对鸟类的影响分析

本项目海上风电场施工期间，各个施工点的照明灯光、船舶航行灯光以及船上照明灯光、施工焊接火花等，会吸引夜间飞行的鸟类或受光源吸引或受光源迷惑，存在鸟类碰撞光源附近障碍物或已竖立的风机的风险。灯光方面对鸟类的影响整体较小，且可以采取一定的保护措施予以规避。

5.8.2 营运期

5.8.2.1 项目运营期对鸟类觅食的影响

建成后，本项目对鸟类的影响局限于海洋生境中，此刻的影响主要来自风力发电机组的运营。风机叶片运转和产生的噪声可能会对鸟类的正常觅食活动产生一定影响，也不能完全排除鸟类与风机碰撞的可能性。但由于鸟类本身有趋避行为，风机对其影响相对比较有限。

根据目前已有的研究资料，风机运转的噪声可能会对陆地繁殖鸟类的繁殖地选择有所影响，欧洲部分地区陆地风电场的研究表明，地面繁殖鸟类会远离风机，推测是

受噪声影响所致（朱永可 2016），但在海洋风力发电厂中未发现此情况。根据对渤海湾南岸（石婷婷 2020）和莱州湾南岸（张欠欠 2019）陆地风机的调查，风机区域内的鸟类多样性和非风机区域并无显著差异，风机噪声、叶片反光并未影响鸟类的觅食及栖息行为。

根据调查和文献资料，在项目区域觅食的鸟类主要为少数海洋性鸟类，如黑叉尾海燕、白额鸢、扁嘴海雀、黑尾鸥等。通常来说，翼展较大的鸟类撞击风险更高（Brown et al. 1992），恶劣天气下撞击风险更高（Larsen and Clausen 2002）。其中黑尾鸥受影响的可能性较大，且存在一定的撞击风险。根据观察，上述鸟类在觅食期间的飞行高度大多在距离海面 30m 以内，而风力发电机组的叶片旋转的高度多在 24-300m 之间，因此鸟类虽然有一定的概率会撞到风力发电机的叶片，但风险相对较低。国外的相关研究也表明，这些类群的鸟类可以很好地适应海上风电场的影响。此外，由于该海域并不是鸟类的主要觅食区且鸟类本身能主动规避这些区域，因此对鸟类觅食的影响将会非常小。

根据山东半岛北部某海上风电场的监控数据（未发表数据），在距离海岸 50 公里的海上升压站记录到了黑嘴鸥、红隼、池鹭、白鹭、戴胜、白鹡鸰、灰椋鸟、红喉姬鹳等鸟类，其中黑嘴鸥经常在海上升压站及风机处觅食，风电场的机座及升压站等设施可能为其提供了更加便利的平台。而池鹭、白鹭、红喉姬鹳等迁徙鸟类可能也会在此临时停歇。此外，戴胜、白鹡鸰等长距离飞行能力相对不太强的鸟类，在风电场建成后，这些鸟类可能也会随船舶到此活动。在项目运营阶段，需要对监控录像进行重点分析，收集更多的数据，以便更好地评估风电场运营阶段对鸟类的影响。

5.8.2.2 项目运营期对鸟类迁徙的影响

鸟类迁徙路线上的风电场会给鸟类迁徙带来巨大威胁，白天迁徙的鸟类往往需要飞得更高以躲避风力发电涡轮机组。Everaert（2003）在比利时佛兰德斯风电场的研究发现，风力发电塔造成鸟类死亡的数量与当地候鸟迁徙路线密切相关，风电塔越接近迁徙通道，鸟类死亡数量越多。另外，风电场对鸟类迁徙的威胁不仅在于碰撞造成的直接死亡，风力涡轮机的存在给鸟类的飞行造成阻碍。无论风力涡轮机是否旋转，鸟类都会避免飞进风电场区域，并且减慢飞行速度（Osborn et al. 1998）。鸟类改变迁徙路线或回避障碍物会造成不必要的能量损失（Langston et al. 2003），进而影响其迁徙路线上停歇地和取食地的选择、换羽以及区域间的固有联系，造成潜在的不利影响（Drewitt et al. 2006）。

夜间能见度低，迁徙鸟类甚至可能无法看清风力涡轮机的扇叶，从而发生碰撞。Erickson 等（2001）在美国 31 处陆地风电设施的研究中发现，风力涡轮机造成死亡的鸟类中大约一半为夜晚迁移的雀形目种类。在春秋迁徙季节，雀形目鸟类是与风力涡轮机碰撞风险最大的类群（Higgins et al.1996, Osborn et al.1998），因此，风电场的建设应尽量避免鸟类迁移路线。但鸟类的迁徙通道一般较为宽阔，而且许多鸣禽的夜间迁徙路线并不为人所知（Langston et al.2003），因此实际操作上相当困难。

对位于鸟类迁徙通道附近的风电场来说，其光源也是影响鸟类安全的重要因素。夜间迁徙鸟类，遇上大雾、降雨、强逆风的夜晚时，容易受到迁徙通道旁的光源吸引，从而向着光源飞行而与光源周围的障碍物发生碰撞。有研究表明，海上风电场的灯光比陆地的影响更大，同时其指出鸟类不易受到红色光源的吸引（赵雪冰等 2019）。目前，关于噪音是否会增加迁徙鸟类与涡轮机碰撞几率的研究较少。虽然有假说认为具有鸣笛声的涡轮机应能减少发生鸟类碰撞的机率，但是尚未得到验证。

根据国家发展改革委同财政部、国家林草局编制的《候鸟迁飞通道保护修复中国行动计划（2024-2030 年）》，全球有 9 条主要候鸟迁飞通道，其中 4 条经过中国，分别为东亚-澳大利西亚迁飞通道、中亚迁飞通道、西亚-东非迁飞通道以及西太平洋迁飞通道。山东省整体位于东亚-澳大利西亚迁飞通道和西太平洋迁飞通道。其中，东亚-澳大利西亚迁飞通道北起俄罗斯远东地区和美国阿拉斯加，途经中国、韩国、日本等东亚区域，南至东南亚和大洋洲，涉及 22 个国家及地区，是世界上受威胁种类最多的候鸟迁飞通道。在我国，此通道主要覆盖东北、华北、华中、华东、华南、南海以及西南、西北的部分区域。有 280 余种迁徙水鸟和 510 余种迁徙陆鸟经过此通道，代表性水鸟有勺嘴鹬、丹顶鹤、卷羽鹈鹕、东方白鹳和中华秋沙鸭等，代表性陆鸟有大鸨、红翅绿鸠和黄胸鹀等。西太平洋迁飞通道北起俄罗斯远东地区以及美国阿拉斯加的北极和亚北极区域，经过美国夏威夷等太平洋岛屿和太平洋西部区域，南至澳大利亚、新西兰等 10 余个国家和地区。在我国，此迁飞通道主要覆盖东部沿海地区及包括东海、南海诸岛在内的太平洋岛屿。此通道以海洋性鸟类为主，代表性物种有斑尾塍鹬、白额鹳、红脚鹬和中华凤头燕鸥等，总计约 100 余种鸟类。

在本项目场址及其周边邻近地区中，有多种鸟类（旅鸟、夏候鸟和冬候鸟）存在迁徙习性，可能会途经本风电场所在的区域。具体到项目周边，根据国家林业和草原局 2022 年 12 月颁发的《全国鸟类迁徙通道保护行动方案（2021-2035 年）》，项目西侧沿海地区有多处地点位列“中国重要候鸟迁徙通道目录”之中，包括胶州湾、青岛一日

照海岸湿地与岛屿、崂山、薛家岛、青岛全市等。

具体到本项目而言，场址距离海岸线及沿海岛屿较远，均在 80km 以上，很少有鸟类迁徙跨越风机所在区域，但考虑到鸟类迁徙过程中由于受天气等原因影响，会暂时性的偏离常规迁徙路线，所以不排除部分鸟类在迁徙过程中有较低概率跨越风机所在区域。此外，本风电场的风机间距相对较大，邻近风机之间也有比较大的空间。对于经过本区域的迁徙鸟类而言，具有充足的可供选择规避的空间。总体而言，该风机对鸟类迁徙基本上没有影响，但考虑到各种因素，我们建议风机需要添加警示灯、雾灯、警示条、涂抹紫外涂料等措施，提高其在能见度不好的条件下的醒目程度，让鸟类提前发现其存在，从而提前做出规避措施，进一步降低迁徙鸟类和风机叶片碰撞的概率。

5.8.3 小结

三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目所在区域并非鸟类的繁殖地和迁徙通道仅有部分鸟类在此觅食，有极少数鸟类在日常活动或迁徙时会飞过场区附近，但本项目距离海岸及沿海岛屿非常远，除少数岛屿繁殖的海洋性鸟类和极个别偏离主要迁徙路线的鸟类外，仅有部分鸟类会随船舶飞到此处，场区的鸟类多样性极低。此外，风电场的风机间距较大，鸟类有足够多的飞行规避空间。通过一些有效的措施让鸟类提前规避，进一步降低觅食和迁徙路过鸟类的撞击风险。

虽然该项目对鸟类迁徙的影响可能非常小，但也不能完全排除鸟类的撞击风险，我们建议建设单位在营运期持续监测风机周边区域内鸟类活动情况以及风电场对鸟类的影响，以便于在更好地记录和分析经过风机区域或者在风机区域活动的各种鸟类，一旦有意外情况发生要及时报告主管部门并采取针对性措施。

综上，由于本项目远离海岸及岛屿，且风机间距较大，对周边鸟类的繁殖没有影响，对周边鸟类觅食以及迁徙行为影响微乎其微。通过制定严格的施工及运营方案，可以进一步有效降低风机对鸟类的潜在影响。因此，在严格落实相关保护措施的情况下，从对鸟类影响的角度来评估，本项目是可行的。

5.9 其它环境要素影响分析

5.9.1 大气环境影响分析

5.9.1.1 施工期海域环境空气影响评价

本工程在施工过程中对大气环境的影响主要为施工机械、船舶产生的废气，由于

海面较开阔，废气很快会消散，对大气环境影响很小。且海上施工区周围无环境敏感点，各类施工废气对大气环境敏感点不会产生影响。

5.9.1.2 运营期海域环境空气影响评价

海上风场运营期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。运维船产生的废气在开阔海域很快会消散，对大气环境影响很小。

5.9.2 固体废物环境影响分析

5.9.2.1 施工期海域固体废物影响评价

施工期固体废物主要为施工人员生活垃圾和生产垃圾。生活垃圾由施工船舶收集后运至陆域，上岸交由船舶污染物接收单位统一处理；海缆铺设扫海清障作业时产生的各类生产垃圾，包括废弃缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物，随船携带，待船舶靠岸后外运处理，风机在安装过程中也会有废弃的包装、焊接头等生产垃圾产生，均可由施工单位回收利用，因此，施工期固体废物对周围环境影响很小。

5.9.2.2 运营期海域固体废物影响评价

项目运营期固废主要是维护人员生活垃圾及风机机组检修的含油废物。

海上风机检修产生的含油废物集中收集含油废物箱中，由船舶运送上岸后一并送交由有资质单位处理。运营期运维船生活垃圾随船携带，统一收集，船舶靠岸后交由船舶污染物接收单位统一处理，对周围环境影响较小。

5.10 海洋开发利用活动影响分析

5.10.1 对通航环境的影响分析

本节内容主要引用《三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目选址通航安全研究报告》（大连海事大学，2024 年 11 月）中的相关分析结果。

5.10.1.1 对船舶交通流的影响

当项目建成后，由于风电场占用一定范围的水域，在客观上使风电场附近的可航水域范围变小。这将使原本经常性穿越场区水域的小型船舶无法穿越场区，因而在某种程度上使穿越场区的交通流绕道航行，从而增加了附近航路的船舶交通流密度。

但是本项目所在水域，尤其东侧可航水域宽阔，本项目建设后，船舶会调整航线，

保持适当安全距离，整体对水域船舶通航影响较小。

项目海底电缆路由较长，穿越多处航路和禁行区域等，相互影响较大。

5.10.1.2 对船舶航路的影响

本项目与“青岛-长江口”习惯航路紧邻，与在航路中通航船舶相互影响较大。距离小于《海上风电场选址通航安全技术指南（试行）》中的“最小安全距离”，相互影响明显。

现阶段仍有部分小型船舶航经风电场水域，通过发布航行通告、在海图上标示风电场位置以及设置相应的导助航标志等手段，过往船舶，能够根据航海任务需求设计新的计划航线，并与风电场保持一定的安全距离，从而保障水域通航安全。

另外，建设单位需要开展风场导助航设施配布的研究，并在主管机关的监督下布设，最大限度的降低水域通航风险。

5.10.1.3 对视觉了望的影响

本项目场区呈不规则多边形，南北跨度大，场区内安装海上风力发电机组。当船舶经过场区附近，尤其是夜间航行时，考虑到夜晚数量较多的助航标志集中在场区水域，可能对周边船舶的视觉了望产生一定影响。特别是当船舶在航经风电场附近时，因风机信号灯及助航标志灯光影响，可能通过视觉观测时因疏忽没有及时发现其他船舶。因此，当船舶在海上风电场附近行驶时必须时刻保持机警和谨慎，利用一切可用手段保持正规了望，以便及早发现来船。

另一方面，考虑到风机尺寸与布置间距的关系，正常情况下（如在能见度良好的白天）船舶对近距离他船的视觉了望受场区风机遮挡的影响有限。且风机尺寸尚不足以对视觉和雷达信号产生大范围的遮挡。如下图 5.10-1 所示，为船舶靠近海上风电场（南北向间距 500m，东西向间距 1000m）时的视觉了望效果。由于本项目风机布置间距大于图片中风机密度，因此本项目场区风机对瞭望视线的阻挡影响相对图片较小。但无论如何，在海上风电场附近行驶时应特别机警和谨慎，利用一切可用手段保持正规了望，以便及早发现来船。特别是在风电场场区端角处，视线容易被风机设备遮挡，不利于及时发现来船。



图 5.10-1 海上风电场附近视觉了望效果示意图

5.10.1.4 对船舶避碰行为的影响

一方面，由于场区风机的建设，使航路周边的可航水域范围减小，当两船相互驶近致有构成碰撞危险时，或大船避让附近渔船和施工船舶时，让路船可能难以采取大幅度的转向避碰措施。

另一方面，在航路交叉处与他船交叉相遇时，若规定的让路船由于场区风机或灯光影响而疏忽了望，可能在发现他船时，两船已经接近到 2nm 以内。此时，两船已近构成了避碰规则上所定义的紧迫局面，仅凭让路船的行动已近难以留有足够的水域供他船安全通行。规定的直航船可以果断采取避碰行动，以避免贻误时机形成紧迫危险。

5.10.1.5 对船舶操纵的影响

船舶操纵性通常受风、浪、流、海况等情况以及岸壁效应、浅水效应的影响。风电场建成后，对附近航路的风、浪、流、海况等不会产生显著的影响，也不会产生岸

壁效应和浅水效应等。因此本项目不会对船舶的操纵性产生实质性影响。

但是当船舶在靠近风电场时，驾驶人员的心理压力会在一定程度上受风电场的影响。尤其在风大流急时刻，船舶风流压角增大导致驾驶人员心理压力进一步增大。这种压力可能导致驾驶员对附近船舶的动态形成误判，或者延长驾驶人员对于碰撞危险的综合反应时间，因而造成对船舶进行盲目操纵或操纵不及时。因此，为充分保证船舶通航安全，当船舶在风电场附近航行时，建议船长到驾驶台指挥航行，且若当时环境许可，应适当降低船舶航速，以留出足够时间供驾驶人员判断局面。

5.10.1.6 对渔船活动的影响

有关研究表明，风电场建成后，场区鱼类将有所增加，且渔民发现在风电场场区内会更容易捕到鱼类。这在客观上将诱使渔船在场区内从事捕捞作业。而且，本项目海域附近水域渔港众多，项目选址位于渔业区域附近，且风电场跨度大，完全禁止渔船进入风电场是困难的。

然而，渔船在作业的过程中，因渔具和航速限制，使其操纵性能收到影响，尤其是风大流急时，客观上存在与风机碰撞的可能性；而且，沿海常见的渔船帆张网作业还因其依靠锚具固定网具，存在损坏海底电缆的可能性；另外，商船在风电场附近航行时本身可航水域就受限，且小型渔船有时受风机遮挡或在夜间灯光较弱不容易被商船发现，一旦小型渔船在风电场中突然出现，往往使商船难以对局面做出准确的判断。

针对渔船在风电场水域航行和作业存在的风险，需要制定相应的通航安全管理规定。建设单位应当主动与当地政府、渔业等相关单位进行联系，请政府及渔业部门牵头，加大风电场建设的宣贯力度，疏导渔船交通流，对渔船的进出港航线进行调整并公告。避免风电场建成后渔船随意进入或穿越风电场水域，对风电场安全和附近船舶通航安全带来不利影响。

5.10.1.7 施工船舶的碍航性分析

本工程主体工程施工期，施工内容主要包括海底测量、施工材料运输、桩基施工、风机安装、以及海缆敷设等。施工阶段运输船、施工船、警戒船等大量汇聚在工程水域，不可避免对附近的通航安全带来影响。尤其是海缆敷设工作施工水域穿越沿岸小型船舶航路，对该航路的小型船舶通航安全带来影响。因此，在施工前应做好相应的通航安全保障工作，须根据施工内容和施工工序，划定合理的施工安全水域。同时，针对不同的施工阶段，制定完善的交通组织和警戒方案，并编制相应的通航安全

应急预案等。

在制定施工组织和施工通航安全保障方案时，风机吊装阶段的施工船安全和相关通航安全保障措施须予以着重考虑。通常，风机吊装过程中，风不得超过 6 级，波浪不得超过 1.5m。

5.10.1.8 对监管系统、船舶通讯信号等的影响分析

海上风电场因其发电与变压原理，产生电磁辐射，客观上将对一定距离范围内的海上通讯导航设备的工作性能带来不同程度的影响。因此，在没有得到权威部门的系统论证前，可以从实践应用的角度对海上风电场对海上监管系统、船舶通讯信号等的影响进行分析研究。

5.10.1.9 对海上搜救的影响

海上风电场对海上搜救应急产生一定影响，可能阻断船舶救援需要，干扰直升机和低空飞行器搜救效率，干扰搜救直升机雷达（用于搜索、监视和导航）效能，风电场内水域的运维船、工作船和其他小型船舶发生险情事故，由于海上风电场内风机设备的阻挡和限制，增加了场内水域的海上搜救难度，风电场建设单位、所有人或者使用人要完善海上搜救应急配套设备设施建设、及时防范事故险情发生，定期组织开展应急救援演练，配合海上搜救应急行动，提升风电场及周边水域的海上搜救效率。

5.10.2 对渔业生产活动的影响分析

根据水质影响预测结果分析，本项目施工过程悬沙扩散范围主要集中在风电场附近海域，对周边渔业生产活动会造成一定影响。项目所在海域渔业生产活动较少，但仍可能存在捕捞渔船，风电场建设过程中，施工船只作业会增加附近海域的通航密度，风电场建设完成后，出海渔船尽量避开风电场场区，避免对风机和海缆造成损坏，因此风电场的建设对渔船通航、作业都会造成一定的影响。但风电场外围水域对渔船而言，可航水域开阔，满足其通航安全要求。

项目施工期产生的悬浮泥沙、桩基和海缆占用生境等，会对渔业资源造成一定的损失，项目施工尽可能的避开渔业敏感季节（如产卵期）。

5.11 对青岛西海岸国家级海洋公园影响分析

5.11.1 对青岛西海岸国家级海洋公园功能分区影响分析

根据《青岛西海岸国家级海洋公园总体规划（2016-2025 年）》，青岛西海岸海洋公园于 2014 年获国家海洋局批准成立，是以保护珍贵的活化石—文昌鱼和野生刺参、皱纹盘鲍等海珍品生态环境以及海砂资源为主要保护对象的国家级海洋公园。海洋公园东起薛家岛街道办事处，沿海岸线向西一直延伸到琅琊镇，范围包括薛家岛、唐岛湾、灵山湾、龙湾及琅琊台沿海一线及部分陆域，总面积 45855.35hm²。

如图 5.11-2 所示，本项目送出海缆穿越“青岛西海岸国家级海洋公园”适度利用区 3.2km、生态与资源恢复区 7.3km。

根据生态与资源恢复区管理要求：“杜绝陆源污染物对海洋的污染和人类开发活动对该区域的生态和资源的破坏”，根据适度利用区管理要求：“严格限制在海洋特别保护区内实施采石、挖砂、围垦滩涂、围海、填海等严重影响海洋生态的利用活动”。

本项目海缆开挖会对“生态与资源恢复区”底栖生物造成一定生物资源损失，同时施工悬沙会对周边水域水质产生短暂影响，项目建设后会采取渔业增殖放流等措施进行生态恢复，总体海缆敷设对“青岛西海岸国家级海洋公园”影响较小，符合“生态与资源恢复区”管理目标。本项目送出海缆建设不属于“采石、挖砂、田垦滩涂、围海、填海”等严重影响海洋生态的利用活动，符合“适度利用区”管理要求。

综上，项目建设对青岛西海岸国家级海洋公园功能分区影响较小。

5.11.2 对青岛西海岸国家级海洋公园生态影响分析

5.11.2.1 水动力、冲淤环境影响分析

根据 5.1 节、5.2 节，特征点 T1~T3、T9、位于青岛西海岸国家级海洋公园，从工程前后的特征点流速可以看出，工程前后青岛西海岸国家级海洋公园处的流速变化值小于 0.1cm/s，水动力环境影响较小，项目实施后对于流场的改变只局限在风电场区附近的小范围内；从特征点冲淤幅度来看，青岛西海岸国家级海洋公园处冲刷幅度均小于 0.1cm/a，冲淤环境基本不受影响。

5.11.2.2 悬浮泥沙影响分析

本项目送出工程共占用调整前“青岛西海岸国家级海洋公园”约 87.0 公顷，其中海缆占用“适度利用区”面积约 24.9 公顷，占用“生态与资源恢复区”面积约 62.1 公顷。本

项目送出海缆敷设采用专业海底电缆敷设船配备牵引式高压涉水埋设机作业，海缆施工对“青岛西海岸国家级海洋公园”影响是短暂的，主要是施工期悬沙影响（图 5.11-3），随着施工的结束悬浮泥沙影响随之消失，不会对“青岛西海岸国家级海洋公园”水质产生长久影响。海缆敷设施工时，避开主要经济鱼类的产卵盛期；在生态保护区附近海域施工时，降低海缆开挖速率、选择海流较缓，避开大潮时施工，最大可能降低悬沙影响范围。

项目营运期海缆全程埋设与海底，不会影响“青岛西海岸国家级海洋公园”的用海功能。综合来看，项目海缆建设对项目建设对“青岛西海岸国家级海洋公园”的影响可接受，项目建设后将通过采取渔业增殖放流等措施对生态资源予以恢复。

5.11.3 对拟调整的青岛西海岸国家级海洋公园影响分析

目前国家青岛西海岸国家级海洋公园范围已进行了调整，但尚未批复。根据青岛西海岸新区海洋发展局的复函（见附件 8），本项目送出海缆不涉及整合优化后的海洋公园范围（图 5.11-4）。

5.11.3.1 水动力、冲淤环境影响分析

根据 5.1 节、5.2 节，特征点 T8、T10 位于拟调整的青岛西海岸国家级海洋公园，从工程前后的特征点流速可以看出，工程前后拟调整的青岛西海岸国家级海洋公园处的流速变化值小于 0.1cm/s ，项目实施后对于流场的改变只局限在风电场区附近的小范围内；从特征点冲淤幅度来看，拟调整的海洋公园冲刷幅度均小于 0.1cm/a ，冲淤环境基本不受影响。

5.11.3.2 悬浮泥沙影响分析

根据数模结果，本项目送出海缆施工悬沙将扩散至拟调整后的“青岛西海岸国家级海洋公园”，悬沙扩散至“青岛西海岸国家级海洋公园”东西最大距离为 24.17km ，南北最大距离约 0.64km ，影响面积为 332.0 公顷（图 5.11-4）。为最大程度降低对周边青岛西海岸国家级海洋公园以及保护区的影响，海缆开挖过程中应注意采取相应措施，降低敷设速度，减小悬沙源强，最大可能降低悬沙影响范围。

目前建设单位已取得青岛西海岸新区海洋发展局《关于支持三峡青岛一期 3000MW 海上风电项目相关情况的复函》，应最大限度减少项目施工对海洋公园保护目标、生态环境及利益相关者的影响。

5.12 环境敏感目标影响分析

5.12.1 对生态保护红线的影响分析

项目周边生态保护红线主要分布在领海以内送出海缆周边，领海外部界限内 $\pm 525\text{kV}$ 海底电缆施工预测悬沙（ 10mg/L 包络线）与周边保护区叠置图见图 5.12-1。

5.12.1.1 青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线

5.12.1.1.1 水动力、冲淤环境影响分析

根据 5.1 节、5.2 节，特征点 T1 位于青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，从工程前后的特征点流速可以看出，工程前后青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线处的流速变化值小于 0.1cm/s ，项目实施后对于流场的改变只局限在风电场区附近的小范围内；从特征点冲淤幅度来看，冲淤幅度小于 0.1cm/a 变化较小，冲淤环境基本不受本项目的影

5.12.1.1.2 悬浮泥沙影响分析

本项目送出工程距离“青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线”最近约 520m ，根据悬沙预测结果，悬沙扩散至“青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线”东西最大距离为 1.18km ，南北最大距离约 0.86km ，影响面积为 84.8 公顷（图 5.12-2）。

本项目海缆施工期较短，因此悬沙对红线区的影响时间较短，不会对红线区产生长久影响，综合来看施工悬沙对红线的影响可接受。为降低施工悬沙对保护区的影响，海缆敷设施工时，应避开主要经济鱼类的产卵盛期；同时在生态保护区附近海域施工时，降低海缆开挖速率、选择海流较缓，避开大潮时施工，最大可能降低悬沙影响范围。

5.12.1.2 西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线

5.12.1.2.1 水动力、冲淤环境影响分析

根据 5.1 节、5.2 节，特征点 T8、T10 位于西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线，从工程前后的特征点流速可以看出，工程前后西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线处的流速变化值小于 0.1cm/s ，项目实施后对于流场的改变只局限在风电场区附近的小范围内；从特征点冲淤幅度来看，红线区冲刷幅度均小于 0.1cm/a ，冲淤环境基本不受影响。

5.12.1.2.2 悬浮泥沙影响分析

本项目送出工程距离“西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线”最近距离约 115 米。根据悬沙预测结果，悬沙扩散至“西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线”东西最大距离为 24.17km，南北最大距离约 0.64km，影响面积为 332.0 公顷（图 5.12-3）。

因为海缆施工期较短，悬沙对红线区的影响时间较短，不会对红线区产生长久影响，综合来看施工悬沙对红线的影响可接受。为降低施工悬沙对保护区的影响，海缆敷设施工时，应避开主要经济鱼类的产卵盛期；同时在生态保护区附近海域施工时，降低海缆开挖速率、选择海流较缓，避开大潮时施工，最大可能降低悬沙影响范围。

5.12.1.3 黄岛区海岸防护物理防护极重要区生态保护红线

5.12.1.3.1 水动力、冲淤环境影响分析

根据 5.1 节、5.2 节，特征点 T7 位于黄岛区海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，从工程前后的特征点流速可以看出，工程前后黄岛区海岸防护物理防护极重要区生态保护红线处的流速变化值小于 0.1cm/s，项目实施后对于流场的改变只局限在风电场区附近的小范围内；从特征点冲淤幅度来看，红线区冲刷幅度均小于 0.1cm/a，冲淤环境基本不受影响。

5.12.1.3.2 悬浮泥沙影响分析

本项目送出海缆距离“黄岛区海岸防护物理防护极重要区生态保护红线”最近距离约 1.1km，悬沙不会扩散至该生态保护红线区（图 5.12-4），对其无影响。

5.12.1.4 西海岸灵山岛特别保护海岛生态保护红线

5.12.1.4.1 水动力、冲淤环境影响分析

根据 5.1 节、5.2 节，特征点 T11 位于西海岸灵山岛特别保护海岛生态保护红线，从工程前后的特征点流速可以看出，工程前后西海岸灵山岛特别保护海岛生态保护红线处的流速变化值小于 0.1cm/s，项目实施后对于流场的改变只局限在风电场区附近的小范围内；从特征点冲淤幅度来看，红线区冲刷幅度均小于 0.1cm/a，冲淤环境基本不受影响。

5.12.1.4.2 悬浮泥沙影响分析

本项目送出工程距离“西海岸灵山岛特别保护海岛生态保护红线”最近距离约 7.1km。

本项目送出工程海底电缆距离海岛较远，工程建设不会对岛上的林木资源和地质遗迹资源产生影响。根据数模预测结果（图 5.12-5），海底电缆施工悬沙不会扩散至保护区，施工期船舶污水禁止向海域排放，不会对海域核心区的水质产生影响，也不会对珍贵海洋生物资源产生影响。由于距离海岛较远，船舶施工噪声对海岛鸟类资源影响有限。

5.12.2 对养殖区的影响分析

5.12.2.1 施工期

项目海缆穿越“青岛鲁海丰海洋牧场（西区）建设项目”，同时施工期间产生的悬浮泥沙会扩散至“青岛鲁海丰深海养殖基地”和“青岛鲁海丰海珍品养殖基地建设项目”养殖区。

5.12.2.1.1 对占用养殖区的影响

项目周边养殖活动主要分布在领海以内送出海缆周边，海底电缆建成后埋于泥面以下，不影响养殖，但是若在输电线路区内开展养殖捕捞活动，张网作业及采捕存在损坏海底电缆的可能性，因此从保护海底电缆的角度看，海底电缆区域内需限制渔业活动。因此本项目的建设将导致海缆穿越区域的开放式养殖活动无法正常开展。

为最大程度降低对周边养殖区的影响，海缆开挖过程中时可进行分段施工，避免多段同时施工造成的悬浮泥沙扩散范围叠加，有效控制整体的影响范围；在海缆施工区域周围安装浊度仪等监测设备，实时监测悬浮泥沙的浓度；同时，避开鱼类产卵盛期。在平潮期海流速度较小，此时进行施工，悬浮泥沙的扩散范围会受到较大限制。且建设单位已与周边养殖区进行协调沟通，已取得利益相关者协调文件。

5.12.2.1.2 水动力、冲淤环境影响分析

根据 5.1 节、5.2 节，特征点 T9 位于养殖区，从工程前后的特征点流速可以看出，养殖区工程前后的变化值小于 0.1cm/s ，可见本项目实施后对于流场的改变只局限在风电场区附近的小范围内；从特征点冲淤幅度来看，冲淤幅度小于 0.1cm/a 变化较小，养殖区冲淤环境基本不受本项目的影

5.12.2.1.3 施工悬沙对养殖区的影响

根据本项目用海数值模拟结果（图 5.12-6），海缆施工悬浮泥沙扩散将对周边养殖区产生影响。施工期内悬浮泥沙扩散将对受影响养殖区水质产生影响，对渔业养殖造

成一定影响，随着施工的结束，影响随之消失，不会造成长久影响。

5.12.2.2 运营期

本项目送出工程为海底电缆建设，海底电缆全程埋设于海底，营运期不会产生污染物，不会对周边养殖活动产生影响。

5.13 对“渔业三场一通道”的影响分析

根据现状章节，项目风电场区涉及鲈鱼的产卵场、绿鳍马面鲈的索饵场以及小黄鱼、带鱼、银鲳鱼、蓝点马鲛、白姑鱼等经济物种的洄游通道。

5.13.1 对地方性渔业物种的影响

小黄鱼、带鱼、银鲳、白姑鱼、绿鳍马面鲈等属于地方性渔业物种，项目风电场位于小黄鱼、带鱼、银鲳、白姑鱼的洄游通道，位于绿鳍马面鲈的索饵场。项目建成后，风机及换流站、辅助平台等桩基永久占用部分海洋空间，风机、换流站、生活辅助平台及综合服务平台均采用导管架结构，为透水构筑物，且风机之间间距大于 810m，不会截断鱼类的洄游通道，对鱼类洄游影响较小。项目海缆施工时产生少量悬浮泥沙，对附近洄游的鱼类产生影响，由于海缆敷设时间较短，随着施工结束，对水质影响将随之消失，海缆建成后敷设于海底，对鱼类洄游活动不产生影响。

根据 5.1 节、5.2 节，特征点 T15~T17 位于小黄鱼“三场一通道”、带鱼“三场一通道”、银鲳“三场一通道”，从工程前后的特征点流速可以看出，特征点 T15~T17 工程前后的变化值小于 0.1cm/s，可见本项目实施后对于流场的改变只局限在风电场区附近的小范围内；从特征点 T15~T17 冲淤幅度来看，冲淤幅度小于 0.1cm/a 变化较小，冲淤环境基本不受本项目的影 响。白姑鱼“三场一通道”、绿鳍马面鲈“三场一通道”距离项目风电场较远，根据特征点影响分析可知，项目施工对水动力及冲淤环境的影响仅局限于风电场周边，不会对深远海的白姑鱼“三场一通道”、绿鳍马面鲈“三场一通道”产生影响。

运营期间，风机和海上换流站等的导管架结构，桩基基础可能会被鱼类当作栖息，对绿鳍马面鲈索饵影响很小。

综上，项目建设对于地方性渔业“三场一通道”的影响几乎可以忽略。

5.13.2 对长距离洄游种类的影响

鲈、蓝点马鲛属于长距离洄游种类，项目风电场位于鲈产卵场的边缘区，海缆穿越蓝点马鲛的产卵场、索饵场、洄游通道，风电场位于其洄游通道。

项目风电场区位于规划场址，路由经海底电缆廊道规划研究，风电场区位于鲈产卵场的边缘区，路由不可避免的穿越鲈产卵场。鲈 5-6 月先后抵达青岛-石岛外海、烟台-威海外海、海洋岛外海约 40m 以浅的水域产卵，7 月下旬产卵结束，鲈产浮性卵，卵分布在 0~10m 的水层中。项目施工期风机桩基及海缆开挖集中在海域的底层，风电场区水深约 42~49m，施工活动产生的悬浮泥沙难以扩散到表层水域，同时，在产卵场附近施工时降低施工开挖速率，将海缆的敷设速率降低至 3m/min，减小悬浮泥沙产生源强，因此，施工悬浮泥沙对鲈鱼卵产生影响的可能性较小。根据打桩噪声预测，对鱼卵的影响距离为 278m，为了避免项目施工对鲈产卵场产生影响，施工单位需合理安排工期，西侧靠近产卵场区域施工时避让鲈的集中产卵期（5 月中旬-6 月中旬）。

项目海缆穿越蓝点马鲛的产卵场，蓝点马鲛产卵期在 5-6 月，产卵为浮性卵，鱼卵分布在表层，项目海缆开挖在底层，海缆穿越蓝点马鲛产卵场区域水深约 28-30m，海缆开挖产生的悬浮泥沙对鱼卵产生影响的可能性较小。为了避免海缆施工对蓝点马鲛产卵场产生影响，项目在该段施工时应避让蓝点马鲛的集中产卵期（5-6 月）。

根据 5.1 节、5.2 节，特征点 T14、T18、T20、T21 位于鲈“三场一通道”、蓝点马鲛“三场一通道”。从工程前后的特征点流速可以看出，特征点 T18 工程前后的平均流速变化幅度大于 0.1cm/s，特征点 T14、T20、T21 变化值小于 0.1cm/s，可见本项目实施后对于流场的改变只局限在风电场区附近的小范围内；从特征点冲淤幅度来看，T18 号点存在大于 0.1cm/a 的冲刷，而特征点 T14、T20、T2 冲淤环境基本不受本项目的影 响。因此，项目建设仅改变特征点 T18 即鲈洄游通道处的水动力及冲淤环境，但这种影响主要表现在海床，对上层鱼类洄游通道几乎无影响。

运营期间，风机和海上换流站等采用导管架结构，属于透水构筑物，且风机间距较大（大于 810m），不会阻隔鱼类洄游活动，桩基基础可能会被鱼类当作栖息，对鲈鱼的产卵及洄游、蓝点马鲛洄游影响很小。

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强烈的屏蔽作用，根据历史研究资料未显示电磁会对洄游形式发生任何影响改变，加之鱼类活动空间较大，项目海底电缆建成运行后，不会对海洋生物产生明显不利影响。

综上，经采取产卵场附近放缓施工速度、避让鲈、蓝点马鲛集中产卵期等措施后，项目对鲈、蓝点马鲛等主要经济鱼类“三场一通道”的影响可以接受。

6 环境事故风险分析与评价

6.1 风险识别

项目在施工期和运行期均存在突发环境事故的可能，主要包括项目海域内的通航环境风险、船舶碰撞溢油风险、热带气旋、风暴潮、台风等气象自然灾害风险长时期冲刷造成电缆和海床之间形成淘空的风险和海底电缆突发事故风险，通过分析，本次评价以船舶碰撞溢油事故为评价重点，进行模拟预测分析。

6.1.1 风险类型识别

6.1.1.1 通航事故风险

风电场建设过程中，施工船只作业会增加附近海域的通航密度。本项目风电场的建设布局考虑了通航需求，对渔船通航、作业可能会造成影响不大；风电场外围水域对可航水域开阔，完全满足其通航安全的要求。

6.1.1.2 船舶溢油事故风险

船舶溢油污染分为事故性污染和操作性污染两大类，事故性污染是指船舶碰撞、搁浅、触礁等突发性事故造成的污染；操作性污染是指加油作业以及船舶事故性排放机舱油污水、洗舱水、废油等造成的污染。造成溢油事故除一些不可抗拒的自然因素外，绝大部分是由于操作不当或违章作业等人为原因引起的。

（1）船舶与风机碰撞溢油风险

根据国内外风电场场区水域船舶碰撞事故资料，2014 年 8 月 14 日，长 40 米的-OMSPollux II 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。所幸泄露的是轻油，能够自动蒸发或者自然降解。

（2）船舶碰撞溢油风险

项目施工期各类船舶数量较多，存在施工船舶之间以及施工船舶与渔船可能发生碰撞溢油事故风险。最可能发生的船舶溢油事故位置为施工作业量较大的风电场附近。溢油发生后，油膜在海面上漂浮扩散，阻止海气交换，将对海洋水环境、生态环境和景观造成影响。本项目的施工作业船舶可能影响工程水域船舶的通航，船只相互干扰、

碰撞的几率增加，存在一定的安全隐患。

1) 溢油对海域水质和沉积物环境的影响

受溢油影响的海域，油膜覆盖在海水表面，可溶性组分不断溶于水中，在风浪的冲击下，油膜不断破碎分散，并与水混合成为乳化油，增加了水中的石油浓度。油膜覆盖下，影响海-气之间的交换，致使溶解氧减小，从而影响水的物理化学和生物化学过程。溢油后，石油的重组分可自行沉积，或粘附在悬浮物颗粒中，沉积在沉积物表面。油块可在重力作用下沉降，从而影响沉积物表面物理性质和化学成分。

2) 溢油对海域生物资源的影响

油膜覆盖下，影响水-气之间的交换，致使溶解氧减小，光照减弱，从而影响浮游动物、浮游植物及底栖生物的生长。而溶解及乳化后的油会对水生生物资源造成一定危害，沉积到底质的油类将对底栖生物造成严重影响。因此，一旦发生事故溢油且处理不及时，将对油膜扫过海域的水生生物资源造成一定影响，主要体现在溢油突发时的急性致死影响及围油、回收油不彻底而产生的长期慢性污染影响。

6.1.1.3 风机损坏溢油风险分析

本项目海上风机及支撑结构设计时，考虑 50 年一遇最大风速情况下，风机发生上述故障无法偏航，叶片正面迎风情况下风机极端荷载，并将其与 50 年一遇极端高潮位下累计平率 H1%波浪联合作用，以确保风机、基础结构安全可靠。从风机的结构来看，风机塔架上百米高，风机直径上百米宽，受风面积大，且在风的作用下运转，存在发生倒塌事故的概率。

营运期风机主要带油设备为变压器，采用三组单母分段接线，设专用分段开关，本项目风机配套升压变压器设有事故油罐，因此在事故状态下发生排油时不会直接排入大海，且规定设置的事故油罐体积不小于变压器存油量。事故后的污油由船转接外运，另行专门处理，因此不会对项目辖区内的海域有污染影响。

6.1.1.4 海洋气象灾害风险

风机遭受雷电、台风等自然灾害风险事故。无论施工期还是运营期间都应做好防台风，防雷等措施。

6.1.2 物质危险性识别

项目涉及的有毒、有害危险物质主要包括燃料油、变压器油，其危险物质的理化性质见下表。

表 6.1-1 燃料油理化性质及危险特性表

类别	柴油、燃料油	
理化性质	外观与性状	黄色或棕色液体
	闪点/沸点 (°C)	≥60°C/282~338°C
	相对密度	对水 0.856~0.941
	溶解性	不溶于水
燃烧爆炸危险性	危险性类别	第 3 类易燃液体
	闪点(°C)	52~55
	爆炸极限(v %)	3.1~11.6
	火灾危险性分类	乙类
	禁忌物	硝酸、浓硫酸、高锰酸钾等强氧化剂
	急救方法	<p>皮肤接触：立即脱去所有被污染的衣物，包括鞋类。用流动清水冲洗皮肤和头发(可用肥皂)。如果出现刺激症状，就医。</p> <p>眼睛接触：立即用流动、清洁水冲洗至少 15 分钟。如果疼痛持续或复发，就医。眼睛受伤后，应由专业人员取出隐形眼镜。</p> <p>吸入：如果吸入本品气体或其燃烧产物，脱离污染区。把病人放卧位，保暖并使其安静。开始急救前，首先取出假牙等，防止阻塞气道。如果呼吸停止，立即进行人工呼吸，用活瓣气囊面罩通气或有效的袖珍面具可能效果更佳。呼吸心跳停止，立即进行心肺复苏术。送医院或寻求医生帮助。</p> <p>食入：禁止催吐。如果发生呕吐，让病人前倾或左侧位躺下(头部保持低位)，保持呼吸道通畅，防止吸入呕吐物。仔细观察病情。禁止给有嗜睡症状或知觉降低，即正在失去知觉的病人服用液体。意识清醒者可用水漱口，然后尽量多饮水。寻求医生或医疗机构的帮助。</p>
毒理性质	毒性	低毒
	健康危害	急性中毒主要表现为乏力、头痛、酩酊感、神志恍惚等；严重者出现定向力障碍、意识模糊等。吸入液体可引起肺炎，严重时可发生肺水肿。慢性影响以神经衰弱综合症为主要表现，还有呼吸道刺激症状，接触性皮炎等。

表 6.1-2 变压器油理化性质及危险特性表

类别	变压器油	
理化性质	外观与性状	浅色液体
	闪点/沸点 (°C)	≥135°C
	相对密度	882kg/m³
	溶解性	不溶于水，溶于有机溶剂
燃烧爆炸危险性	危险性类别	可燃物
	爆炸极限(v %)	7.4~10.2
	火灾危险性分类	丙类
	禁忌物	温度升高超过物理性质的指标时，会释放出可燃的蒸气和分解产物
	急救方法	<p>皮肤接触：立即脱去被污染的衣物，擦去矿物油，并用香皂和大量水清洗。衣物未清洗前勿使用。如果发生刺激反应，请与医生联系。</p> <p>眼睛接触：用大量的水清洗。如果发生刺激反应，请与医生联系。</p>

类别	变压器油	
		吸入：如果吸入雾、烟或蒸气引起刺激反应，立即转移到新鲜空气处。如果呼吸困难可进行吸氧。如症状未缓解，请与医生联系。如呼吸停止应进行人工呼吸并立即送医院就诊。 食入：用水清洗口腔。如果吞下量较大请与医生联系。不要进行催吐。
毒理性 质	毒性	低毒
	健康危害	矿物白油缓慢生物降解产品将在环境中保留一段时间。存在污染地面、土壤和水的风险。吸入蒸气或烟雾(在高温情况下才会产生)会刺激呼吸道。长期或重复皮肤接触会造成脱脂或刺激。眼睛接触可能引起刺激。

6.1.3 有毒有害物质转移途径识别

本项目涉及的危险物质为柴油（燃料油）和变压器油，向环境转移的途径主要通过水体污染（海水污染），具体分析见表 6.1-3。

表 6.1-3 危险物质向环境转移的途径识别

危险物质	危险物质特性	环境风险类型	危险物质影响环境的途径和影响方式
柴油	易燃易爆、有毒有害	物质泄漏	水体（海水）
变压器油	有毒有害	物质泄漏	水体（海水）

6.1.4 可能受影响的环境保护目标的识别

对本项目周边的环境敏感区和敏感目标进行识别，根据项目用海特征和所在海域的资源生态基本情况，项目用海周边的生态敏感目标主要是养殖区、国家级海洋公园、生态保护红线。该项目周边的环境敏感目标见表格 6.1-4。

表 6.1-4 评价海域主要环境风险敏感目标

类型	名称	保护目标	位置方位
生态保护 红线	青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	近岸沙滩海岸	南侧
	西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线	重要滩涂及浅海水域生态环境	南侧
	西海岸灵山岛特别保护海岛生态保护红线	海岛生态环境	南侧
	西海岸新区海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	海岸线	北侧
国家级海洋公园	青岛西海岸国家级海洋公园（调整前）	文昌鱼和野生刺参、皱纹盘鲍等海珍品生态环境以及海砂资源	穿越南侧
	青岛西海岸国家级海洋公园（拟调整）		

6.2 事故源项分析

6.2.1 事故发生概率

6.2.1.1 船舶碰撞事故概率

（1）国内水上交通事故发生情况

海上轮船溢油事故率即溢油事故发生的概率，是指在特定的时间内，事故可能出现的次数。据统计，1974-2018 年我国近海 50t 及以上海洋溢油事故共计 117 次，其中 50t 及以上溢油事故 92 次、500t 及以上溢油事故 24 次、3.4 万 t 及以上溢油事故 1 次；共造成油品损失 186105t（引自《中国近海沿岸海洋溢油事故研究》，陈勤思等，海洋开发与管理，2020 年第 12 期）。2018 年“桑吉”号溢油事故的溢油总量占历年溢油总量的 74%，是我国唯一一次灾难性海洋溢油污染事故。

在溢油事故次数方面：①1974-2018 年我国近海 50t 及以上海洋溢油事故次数总体呈先增后减的态势。1993-1994 年事故次数明显增加，1994-1997 年为事故高发期，其中 1996 年最高达到 8 次；2009 年后事故次数明显减少，2010—2018 年为事故低发期，其中 2014-2017 年事故次数为 0。②1974—2018 年我国近海 500t 及以上海洋溢油事故中，1984 年最高达到 3 次，1985—1995 年和 2006—2018 年事故次数较少。将 1974-2018 年我国 50t 及以上海洋溢油事故的原因分为 10 类，碰撞是导致海洋溢油事故次数最多（58 次）和溢油总量最大（159987t）的因素；触礁导致海洋溢油事故的溢油总量达到 10967t，仅次于碰撞；沉没和管道导致海洋溢油事故次数分别达到 15 次和 10 次，但溢油总量较小，分别为 3903t 和 4465t。

（2）山东省水上交通事故发生情况

依据 2018-2022 年山东省海事局水上交通事故报告水上事故类型发生次数统计如下：

表 6.2-1 2018~2022 年山东省水上交通事故统计

年份 季度	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年
一季度	21	11	4	9	2
二季度			3	4	3
三季度	15	15	5	8	9
四季度	6	21	19	3	2
合计	42	47	31	24	16
经济损失（百万）	32.25	56.79	18.68	144.17	10.06

由上表可知 2018~2022 年期间辖区共发生水上交通事故 160 次，事故发生频率成

下降趋势，共造成经济损失 26195 万元。

（3）本项目水上交通事故概率

参考国际油气生产商会(OGP)编制的《风险评估数据指南》(2010 年 3 月版)，船舶发生重大事故的的概率为 1.1×10^{-6} 次/年。本项目施工期主要为驳船、拖轮等。根据本工程施工方案，本工程施工船舶按 120 艘计，则本工程发生船舶碰撞事故的的概率为 1.32×10^{-4} 次/年。发生碰撞事故后，再发生溢油事故的的概率按 50% 计算，则本工程发生船舶碰撞溢油风险的的概率为 6.6×10^{-5} 次/年。

6.2.1.2 海上换流站油类事故泄漏概率

本项目海上换流站联接变和站用变储存有变压器油、换流站平台还设有柴油储罐用以发电。上述油类储存装置均为常压储罐。根据《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ169-2018)附录 E，泄漏频率见下表。

表 6.2-2 泄漏频率表

部件类型	泄漏模式	泄漏频率
常压单包容储罐	泄漏孔径为 10mm 孔径	$1.00 \times 10^{-4}/a$
	10min 内储罐泄漏完	$5.00 \times 10^{-6}/a$
	储罐全破裂	$5.00 \times 10^{-6}/a$
泵体和压缩机	泵体和压缩机最大连接管泄漏孔径为 10%孔径 (最大 50mm)	$5.00 \times 10^{-4}/a$
	泵体和压缩机最大连接管全管径泄漏	$1.00 \times 10^{-4}/a$

本项目选择油类储罐全破裂模式计算泄漏频率，则海上换流站油类储罐的泄漏频率为 5.0×10^{-6} 次/a。

6.2.2 最大可信事故

按照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ 169-2018)中的定义，“最大可信事故”系指“基于经验统计分析，在一定可能性区间内发生的事故中，造成环境危害最严重的事故”。参照《水上溢油环境风险评估技术导则》(JT/T 1143-2017)中的定义，“最大可信水上溢油事故”系指“在所有预测的概率不为零的事故中，溢油量最大的水上溢油事故”。根据风险识别，施工船舶碰撞溢油为本项目主要的风险，本次评价采用本项目施工期船舶最大船型 30000 吨级运输船舶、7000 吨级敷缆船施工碰撞后单舱燃料油全部泄漏为本项目的最大可信事故。

6.2.3 溢油源强分析

根据本项目的设计，溢油事故主要可能发生在施工期的船舶碰撞。工程施工期所

需的主要船舶包括：起重船、自航驳船、自升平台船、甲板驳船、铺缆船、多功能驳、拖轮、交通艇、抛锚艇、补给船、灌浆船等。

根据《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017），敷缆船 7000 吨级，海上换流站运输船舶 30000 吨级，参照《水上溢油环境风险评估技术导则》附录 C.9，船舶燃料油平均密度取 0.9t/m^3 ，源强见下表 6.2-3。考虑在 1 个小时内泄漏入海，预测 72 小时油膜的扩散范围。

表 6.2-3 溢油预测源强设定

施工船舶等级	燃油舱单舱燃油量	源强 (t)
3 万吨级	395m^3	355.5t
7000 吨级	54.6m^3	49.1t

6.3 溢油事故影响预测

溢油污染分为事故性污染和操作性污染两大类，事故性污染是指船舶碰撞、搁浅、触礁等突发性事故造成的污染；操作性污染是指加油作业以及船舶事故性排放机舱油污水、洗舱水、废油等造成的污染。造成溢油事故，除一些不可抗拒的自然因素外，绝大部分是由于操作不当或违章作业等人为原因引起的。溢油发生后，油膜在海面上漂浮扩散，阻止海气交换，将对海洋水环境和景观造成影响。

施工期场区施工船舶较多，施工船舶之间以及施工船舶与其他船舶（如渔船、货运船舶等）可能发生碰撞溢油事故，溢油将对场区和周围生态环境造成影响。工程运行期，主要溢油风险为风电场附近来往船舶、检修作业船与风机碰撞溢油事故，以及风机失稳油料泄露等。

（1）溢油对海域水质和沉积物环境的影响

受溢油影响的海域，油膜覆盖在海水表面，可溶性组分不断溶于水中，在风浪的冲击下，油膜不断破碎分散，并与水混合成为乳化油，增加了水中的石油类浓度。油膜覆盖下，影响海一气之间的交换，致使溶解氧减小，从而影响水的物理化学和生物化学过程。

（2）溢油对海域生物资源的影响

油膜覆盖下，影响水一气之间的交换，致使溶解氧减小，光照减弱，从而影响浮游动物、浮游植物及底栖生物的生长。而溶解及乳化后的油会对水生生物资源造成一定危害，沉积到底质的油类将对底栖生物造成严重影响。因此，一旦发生事故溢油且处理不及时，将对油膜扫过海域的水生生物资源造成一定影响，主要体现在溢油突发

时的急性致死影响及围油、回收油不彻底而产生的长期慢性污染影响。

6.3.1 预测方法

在项目施工期间，有施工船舶在项目区施工水域进行施工作业，船舶流量增加会影响工程附近水域其他船舶的正常航行、避让，增加了船舶航行环境的复杂性，增大了海上交通安全事故的发生概率。

本工程施工期施工船舶包括 7000 吨级敷缆船，30000 吨级运输船舶等。主要施工地点为风电场区以及送出海缆沿线。因此，溢油发生点选择在风电场区中部（溢油 2#源点）以及连陆电缆与航道的交汇处（溢油 1#源点）。

（1）溢源源强设定

根据施工船舶最大吨位，参照《水上溢油环境风险评估技术导则》附录 C.8，船舶燃料油平均密度取 0.9t/m^3 ，源强见下表。

表 6.3-1 溢油预测源强设定

施工船舶等级	燃油舱单舱燃油量	源强 (t)
3 万吨级	398m^3	358.2t
7000 吨级	68m^3	61.2t

（2）预测时长：72h。

（3）预测参数及工况组合：

计算工况考虑夏、冬两季和不利风况下涨潮期、落潮期的溢油，其中风速为平均风速和最大作业风速。夏季风向为 SSW，风速为 3.6m/s ；冬季风向为 NNW，风速为 4.1m/s ；不利风向为 N 和 SE，风速为 13.8m/s 。

预测工况组合见下表：

表 6.3-2 溢油预测工况组合

工况	预测点位置	溢油量	潮期	风向		风速 (m/s)	备注
1	1#（连陆电缆与航道交汇处） 120.84136963°E, 35.67849409°N	61.2t	涨潮	夏季主导风向	SSW	3.6	平均风速
2			落潮				
3			涨潮	冬季主导风向	NNW	4.1	平均风速
4			落潮				
5			涨潮	不利风向	N	13.8	最大可作业风速
6			落潮				
7			涨潮		SE	13.8	最大可作业风速
8			落潮				
9	2#（风电场区中部） 121.68066502°	358.2t	涨潮	夏季主导风向	SSW	3.6	平均风速
10			落潮				
11			涨潮		NNW	4.1	平均风速

12	E, 35.24271879° N		落潮	冬季主导 风向			
13			涨潮	不利风向	N	13.8	最大可作业 风速
14			落潮				
15			涨潮		SE	13.8	最大可作业 风速
16			落潮				

为方便预测计算，1#溢油源点假设 2000 个油粒子代表 61.2 吨的油料，即每个油粒子代表 30.6kg 的油量；2#溢油源点假设 10000 个油粒子代表 358.2 吨的油料，即每个油粒子代表 35.82kg 的油量。由于溢油发生在不同地点时扩散范围差异较大，每个油粒子代表的溢油油膜面积和影响范围跟溢油点、溢油发生时间（涨潮、落潮）、风速、流速、波浪等因素有关，所以，每个油粒子代表的溢油油膜面积是一个受多因素影响的、不断变化的值。溢油模拟的情况只是一个大概的范围，具体的油膜范围受多种环境影响因子控制。

不可溶泄漏物多为油状液体，密度比水轻，在空气的蒸发或挥发以及在水中溶解性都很小。因此，当石油类物质溢散到水层表面时，就会发生各种变化，产生各种现象，反映出溢油的特征。首先发生的变化是快速扩散，同时产生挥发现象，挥发速度的快慢决定于石油的性质、天气状况和地形位置。溢油在自然界还可发生各种反应，如氧化反映、乳化作用、溶解作用、微生物降解等。各种反映之间都是相互关联的，这些现象和反应会造成溢油性质的改变，或者影响到水面除油的方法。因此，不可溶泄漏物溢出到海面以后，存在以下几种运动形态：

（1）扩展：由于油品比水轻，将漂浮于水面。在初期阶段由于受重力和表面张力的作用而在水面上向四周散开，范围越扩越大。这个过程称为油的扩展。

（2）漂移：是指油膜在海流、风、波浪、潮汐等因素的作用下引起的漂移。

（3）分散：油品在海面形成油膜以后，受到破碎波的作用使一部分油品以油滴形式进入水中形成分散油。一部分油滴重新上升到水面，也有部分油滴从海面逸出而挥发到大气中。

（4）乳化：由于机械动力，如涡旋、破碎浪花、湍流等因素，使油品和水激烈混合，形成油包水乳化物和水包油乳化物。

（5）吸附沉淀：部分油品粘附在海水中的悬浮颗粒上，并随之沉到海底。

（6）生物降解：海洋环境中的微生物对水中的油品有降解作用。

油品在海洋环境中的归宿问题是个复杂的问题，由于受到各种环境条件（温度、盐度、风、波浪、悬浮物、地理位置和本身的化学组成等）的影响，每一次事故溢出

物的归宿也不尽相同。其主要的影响因素有乳化、吸附沉淀和生物降解等。

溢油在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与湍流作用下的扩散。溢油自身的表面扩展过程持续时间很短，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。平流和湍流两种运动模式同时存在，通常称为“平流—扩散”问题。以往多数的研究方法都是基于各种类型的平流扩散方程的数值求解，这类数值方法的困难在于数值扩散问题，即数值离散引进的一种与物理扩散无关的伪扩散效应，可能存在数值扩散完全掩盖物理扩散的现象，使所得到的数值结果完全失真，不能描述真实的物理过程。

本次模拟采用“油粒子”方法来模拟溢油在海洋环境中的形成，即把溢油分成许多离散的小油滴（或小斑块）来模拟溢油在水体中的输运扩散过程。采用“粒子—扩散”概念的方法可以真实地重现许多实际观测到的溢油扩散特征。例如潮流和风将油膜拉长，波浪导致油膜的破裂等特征。

“粒子扩散”的概念，是把浓度场模拟为由大量的粒子组成的“云团”，其个每一个粒子携带一定数据的示踪物质，采用拉格朗日法模拟油粒子在特定的流场条件下发生平移和位移的过程。再迭加油粒子在湍流场中的随机运动，即采用同时考虑到平流和湍流的扩散模式。

6.3.2 参数选取

本报告采用溢油粒子漂移模型进行预测，溢油模型采用的动力是根据潮流模型计算的结果和风场叠加后的动力，边界条件等设置见潮流模型。

油粒子模式为：假设油膜由油粒子为代表，所有油粒子在海流和风作用下作拉格朗日运动，某一油粒子其运动遵循下列运动方程控制：

原坐标为 (X_0, Y_0) 油粒子在经时间 $\Delta t = t - t_0$ 后漂移到坐标 (X, Y) 则

$$X = X_0 + u_i \times \Delta t + R_x$$

$$Y = Y_0 + v_i \times \Delta t + R_y$$

$$u_i = u_{ci} + \alpha w_{xi}$$

$$v_i = v_{ci} + \alpha w_{yi}$$

u_{ci} 和 v_{ci} 分布是坐标 (X_i, Y_i) 的海流东、北分量； w_{xi} 、 w_{yi} 为风速东、北分量， α 为风对油膜拖曳系数，取值范围为 0.03~0.05，在此取平均值 0.04； R 为随机扩散位移，同流速、流向、时间有关。

$$R_x = \beta u_{ci} \times (\alpha + 1/e^t)$$

$$R_y = \beta v_{ci} \times (\alpha + 1/e')$$

跟踪每一油粒子(X, Y)的位置, 统计油粒子扫过的网格面积, 可得油膜在各区域的面积。

6.3.3 风险组合

在本报告中分别对大潮涨潮初期和落潮初期发生溢油泄漏事故的情况进行计算, 并选取常风和不利风向的大风情况进行预测分析。

根据潮流状况与风况的条件确定预测组合。潮流分涨初时刻、落潮初始时刻发生溢油的状况。模拟工况组合情况如表 6.3-3。溢油源点位于送出海缆与航道交汇处。

6.3.4 风险事故影响评估

6.3.4.1 1#点溢油预测模拟结果

根据溢油模型, 预测 1#溢油源点 8 种风险组合溢油事故发生后的油膜漂移轨迹及其扩散范围见图 6.3-2, 各风况下的油膜的扫海面积、抵达敏感区时间见表 6.3-3。

从计算结果可见, 不同组合情况下油膜漂移轨迹有差异, 油膜漂移主要取决于风况与潮流的共同作用。

工况 1, 夏季常风 SSW 向风, 溢油发生在涨潮初期时, 油粒子随涨潮流和 SSW 向主要在溢油点北侧扩散, 由于溢油点附近海域为逆时针旋转流, 因此油粒子先向西北扩散, 再折向西南, 再折向东北基本上呈圆形旋转。此工况下油粒子 72 小时内未抵岸, 主要影响外海海域。

工况 2, 夏季常风 SSW 向风, 溢油发生在落潮初期时, 油粒子随落潮流向东扩散, 再折向东北然后在溢油点北侧呈圆形旋转。此工况下油料子 72 小时内未抵岸, 主要影响外海海域。

工况 3, 冬季常风 NNW 向风, 溢油发生在涨潮初期时, 油粒子先向西再折向西南, 然后呈圆形旋转向南扩散, 油粒子在 72 小时内最远向南扩散的距离约 33km。

工况 4, 冬季常风 NNW 向风, 溢油发生在落潮初期时, 油粒子先向东再折向南呈圆形向东南方向旋转, 油粒子在 72 小时内未靠岸最远向南扩散的距离约 34km。

工况 5 和工况 6, N 向大风作用下, 油粒子主要呈 S 形向南扩散, 溢油发生在涨潮初期时, 油粒子先向西再折向南, 向南最远扩散的距离约 91km; 溢油发生在落潮时, 油粒子先向东再折向南, 向南最远扩散的距离约 78km。此两种工况条件下油粒子在 72 小时内都未靠岸。

工况 7，SE 向大风作用下，溢油发生在涨潮初期时，油粒子主要呈 S 形向西北方向扩散，大约在 53 小时后在胶州湾口门处抵岸，部分油粒子继续向胶州湾内扩散，64 小时后在胶州湾西北侧再次靠岸。

工况 8，SE 向大风作用，溢油发生在落潮初期时，油粒子主要呈 S 形向西北方向扩散，大约在 56 小时后在青岛市区中部抵岸，大部分油粒子抵岸后即停止运动。

各种工况油膜扩散的影响范围见表 6.3-3。

表 6.3-3 溢油事故中油膜漂移距离、扫海面积和抵岸时间

工况	典型风向	风速(m/s)	初始溢油时刻	漂移距离(km)	扫海面积(km ²)	抵岸时间(h)
工况 1	SSW	3.6	涨潮初期	23.2	341.6	--
工况 2			落潮初期	31.0	452.3	--
工况 3	NNW	4.1	涨潮初期	32.8	556.2	--
工况 4			落潮初期	29.7	517.8	--
工况 5	N	13.8	涨潮初期	91.2	953.6	--
工况 6			落潮初期	78.3	825.3	--
工况 7	SE	13.8	涨潮初期	97.6	901.0	53
工况 8			落潮初期	70.2	793.2	56

表 6.3-4 油膜抵达敏感区的时间

工况	典型风向	风速(m/s)	初始溢油时刻	抵达敏感区时间(h)	污染岸线长度(h)
工况 1	SSW	3.6	涨潮初期	--	--
工况 2			落潮初期	--	--
工况 3	NNW	4.1	涨潮初期	--	--
工况 4			落潮初期	--	--
工况 5	N	13.8	涨潮初期	--	--
工况 6			落潮初期	--	--
工况 7	SE	13.8	涨潮初期	养殖区(29h)、西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线（青岛西海岸国家级海洋公园）(29h)、青岛大公岛特别保护海岛生态保护红线（青岛大公岛省级自然保护区）(36h)、青岛文昌鱼珍稀濒危物种分布区生态保护红线（青岛大公岛省级自然保护区）(39h)、胶州湾（53h）	13
工况 8			落潮初期	--	16

6.3.4.2 2#点溢油预测模拟结果

根据溢油模型，预测 2#溢油源点 8 种风险组合溢油事故发生后的油膜漂移轨迹及其扩散范围见图 6.3-3，各风况下的油膜的扫海面积、抵达敏感区时间见表 6.3-5。

从计算结果可见，不同组合情况下油膜漂移轨迹有差异，油膜漂移主要取决于风况与潮流的共同作用。

工况 9，夏季常风 SSW 向风，溢油发生在涨潮初期时，油粒子随涨潮流和 SSW 向主要在溢油点北侧扩散，由于溢油点附近海域为逆时针旋转流，因此油粒子先向西北扩散，再折向西南，再折向东北基本上呈圆形旋转。此工况下油粒子 72 小时内未抵岸，主要影响外海海域。

工况 10，夏季常风 SSW 向风，溢油发生在落潮初期时，油粒子随落潮流向东扩散，再折向东北然后在溢油点北偏东方向呈圆形旋转。此工况下油料子 72 小时内未抵岸，主要影响外海海域。

工况 11，冬季常风 NNW 向风，溢油发生在涨潮初期时，油粒子先向西再折向西南，然后呈圆形旋转向南扩散，油粒子在 72 小时内最远向南扩散的距离约 46km。

工况 12，冬季常风 NNW 向风，溢油发生在落潮初期时，油粒子先向东再折向南呈圆形向东南方向旋转，油粒子在 72 小时内未靠岸最远向南扩散的距离约 50km。

工况 13 和工况 14，N 向大风作用下，油粒子主要呈 S 形向南扩散，溢油发生在涨潮初期时，油粒子先向西再折向南，向南最远扩散的距离约 114km；溢油发生在落潮时，油粒子先向东再折向南，向南最远扩散的距离约 101km。此两种工况条件下油粒子在 72 小时内都未靠岸。

工况 15，SE 向大风作用下，溢油发生在涨潮初期时，油粒子主要呈 S 形向西北方向扩散，72 小时内油粒子未靠岸，向溢油点西北方向最远扩散约 112km。

工况 16，SE 向大风作用，溢油发生在落潮初期时，油粒子主要呈 S 形向西北方向扩散，72 小时内油粒子未靠岸，向溢油点西北方向最远扩散约 108km。

表 6.3-5 溢油事故中油膜漂移距离、扫海面积和抵岸时间

工况	典型风向	风速(m/s)	初始溢油时刻	漂移距离(km)	扫海面积(km ²)	抵岸时间(h)
工况 9	SSW	3.6	涨潮初期	32.5	633.8	--
工况 10			落潮初期	36.8	669.7	--
工况 11	NNW	4.1	涨潮初期	46.1	983.4	--
工况 12			落潮初期	49.5	849.5	--
工况 13	N	13.8	涨潮初期	113.7	1131.9	--
工况 14			落潮初期	101.2	1028.6	--
工况 15	SE	13.8	涨潮初期	112.4	1157.7	--
工况 16			落潮初期	107.6	1108.3	--

表 6.3-6 油膜抵达敏感区的时间

工况	典型风向	风速(m/s)	初始溢油时刻	抵达敏感区时间(h)	污染岸线长度(h)
工况 9	SSW	3.6	涨潮初期	--	--
工况 10			落潮初期	--	--

工况 11	NNW	4.1	涨潮初期	--	--
工况 12			落潮初期	--	--
工况 13	N	13.8	涨潮初期	--	--
工况 14			落潮初期	--	--
工况 15	SE	13.8	涨潮初期	--	--
工况 16			落潮初期	--	--

6.3.5 溢油事故对环境敏感目标的影响

当发生船舶溢油事故时，若未能及时采取风险防范措施，油粒子在溢油漂移的过程中会对海域工程附近的若干环境敏感目标造成影响。不同的风向、风速影响的敏感目标不同，表 6.3-4 给出了一旦发生溢油风险事故油粒子最快抵达周边敏感目标的时间情况。

根据油膜最快抵达敏感区时间的分析表明，发生溢油事故后，如未能及时采取有效的应急管控措施，油膜最快 29 个小时抵达养殖区；最快 29 个小时抵达西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线（青岛西海岸国家级海洋公园）；最快 36 个小时抵达青岛大公岛特别保护海岛生态保护红线（青岛大公岛省级自然保护区）；最快 39 个小时抵达青岛文昌鱼珍稀濒危物种分布区生态保护红线（青岛大公岛省级自然保护区）；最快 53 个小时抵达胶州湾。

结合保护目标的重要和敏感程度和溢油抵达时序，本项目确在项目建设和生产运营过程中，应加强管理，避免事故的发生。一旦发生溢油事故应立即启动应急预案，采取应急措施，在油膜扩散到敏感区之前及时进行围控，避免溢油造成严重污染。

6.3.6 溢油事故风险后果评价

海难性事故最可能发生事故风险概率划分和危害后果定性分类见表 6.3-7 和表 6.3-8。

根据本项目的溢油量和风险发生概率，本项目的风险概率和风险后果处于极小和小风险区，由最可能发生事故风险评估矩阵图（见图 6.3-4）可知本项目为低风险项目，但是仍需要采取适当的、必要的措施降低风险。

表 6.3-7 最可能发生事故风险概率划分

分类	说明	定义
F1	极大	每 1 个工作日内发生一次的事件
F2	大	每 1~10 个工作日内发生一次的事件
F3	中	每 10~50 个工作日内发生一次事件
F4	小	每 50~100 个工作日内发生一次的事件
F5	极小	超过 100 个工作日内发生一次的事件

表 6.3-8 最可能事故危害后果定性分类

分类	描述语	详细说明
C1	特别重大	事故级别为特别重大，船舶溢油 1000 吨以上，或造成直接经济损失 2 亿元以上，或对环境造成特别重大影响。
C2	重大	事故级别为重大，船舶溢油 500 以上不足 1000 吨，或造成直接经济损失 1 亿元以上不足 2 亿元，或对环境造成重大影响。
C3	较大	事故级别为较大，船舶溢油 100 吨以上不足 500 吨，或者造成直接经济损失 5000 万元以上不足 1 亿元，或对环境造成较大影响。
C4	一般	事故级别为一般，船舶溢油 50 吨以上不足 100 吨，或者造成直接经济损失 1000 万元以上不足 5000 万元，或对环境造成一般影响。
C5	较小	事故级别为较小，船舶溢油量 50 吨以下，或者造成直接经济损失不足 1000 万元，或对环境造成影响较小。

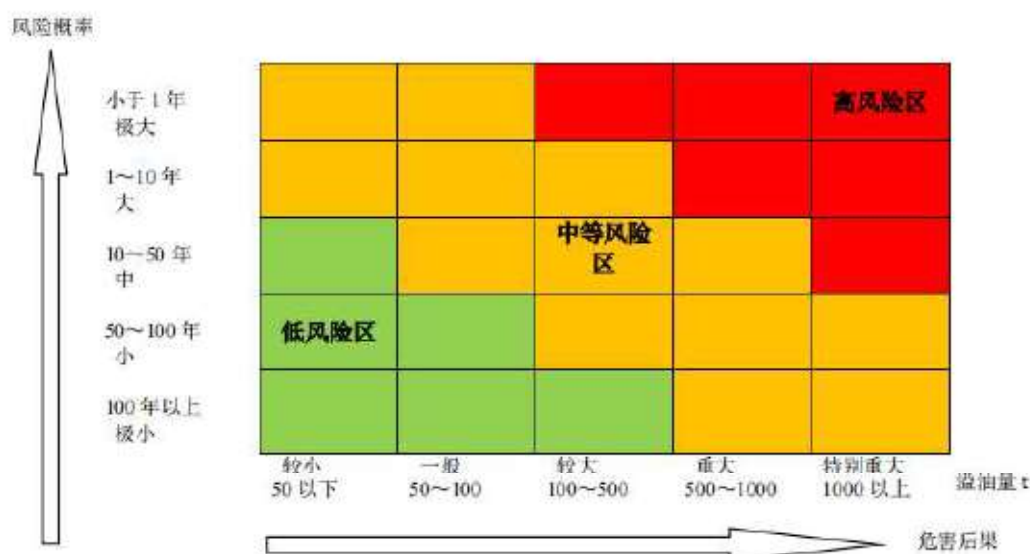


图 6.3-4 最可能发生事故风险评估矩阵图

6.4 其他事故风险分析

6.4.1 海底电缆及风机基础泥沙冲刷风险

受长期泥沙冲刷的影响，风电场海底线缆和海床之间有可能形成掏空的可能，而风机海缆如埋设在局部冲刷坑范围内则可能出现海缆出露甚至泥沙冲刷掏空的可能。

此外，考虑工程海域可能遭受风暴潮的影响，风暴潮带来的强劲潮流和风能共同作用也可能造成海缆及基础处的局部冲刷，威胁基础稳定和海缆安全。在施工过程中应避免在电缆和海床之间形成空间，减小局部冲刷，同时应在基础承载设计中预留必要的冲刷余量，在接入风机 J 型管时采用预留长度余量，减缓潮流冲刷影响，确保海缆安全。

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，向主管机关报送海缆路由等相关资料，并申请发布航行通（警）告。根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作用。项目建成运行后应开展定期的巡查观测潮滩冲刷变化情况，在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查，如发生局部冲刷及时进行回填保护。

6.4.2 风机损坏及倒塌风险

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，本项目风电场区海域台风、风暴潮发生概率较大，且台风、风暴潮等恶劣天气会对风机产生较大危害，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。

6.4.3 集电线路短路风险

当集电线路发生短路故障以后，其主要特征是短路点将流过强大的短路电流。这一短路电流将比系统的正常工作电流大许多倍，乃至几十倍，短路电流的危害主要有：

（1）对人身的伤害。当电气设备发生接地或线路一相落地时，故障电流就会从接地点向四周扩散，形成电压梯度。离接地点越近，电位越高，电位梯度越高。若人处在故障电流区域，不同身体之间会形成电压差，对人体造成伤害。

（2）短路电流热效应危害。短路电流往往会有电弧产生，它不仅能烧坏故障元件本身，也可能烧坏周围设备和伤害周围人员。巨大的短路电流通过导体时，一方面会使导体大量发热，造成导体过热甚至熔化，以及绝缘损坏。

（3）短路电流的电动力效应危害。巨大的短路电流将在电气设备中产生很大的电动力，可引起电气设备的机械变形、扭曲、甚至严重损坏。

（4）短路电流的磁效应危害。当系统发生不对称短路时，不对称短路电流产生不平衡的交变磁场，对送电线路周围的通讯线路可能产生干扰破坏。

（5）短路电流产生电压降影响其它设备正常工作。很大的电流通过线路时，在线路上产生很大的电压降，影响用电设备的正常工作。

6.4.4 鸟类飞行撞击风机风险

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，也能够较好的识别障碍物，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，特别是在离岸建设风电场，撞击概率就更小。

6.5 环境风险防范与应急措施

6.5.1 船舶溢油事故防范与应急措施

6.5.1.1 船舶溢油防范措施

6.5.1.1.1 施工期船舶事故溢油防范措施

(1) 制订切实有效的安全管理措施和一旦发生突发性事故应急预案。参加施工作业的船舶必须经过相关的安全检查，有关人员须经过水上作业的相关安全培训和教育，并认真落实安全管理措施和发生突发情况应急措施。

(2) 根据工程施工方案，提出加强施工期间水上通航秩序安全管理的对策和措施，确保工程施工和船舶通航的安全。海事主管机关在工程施工期间，加强航道区的船舶秩序的管理；加强与港作船联系，及时了解施工船所处位置，必要时可请施工船避让。

(3) 施工船进行打桩作业时，应于明显易见处，显示规定信号（白天显示旗号、夜间显示灯号）。施工船舶应配置有效的通讯工具并指派专人守听，应指派专人值班瞭望，密切注视周围船舶动态。

(4) 严禁施工作业单位擅自扩大施工作业安全区，严禁无关船舶进入施工作业水域，并提前、定时发布航行公告。施工单位需向海事主管机关申请划定施工作业区，设置航行警戒标，配置现场警戒船。

(5) 灾害性天气下暂停施工，进行工程安全观测；当气象预报风力超过施工船抗风等级前，应提前撤离施工现场，择地避风；若发生险情应及时上报有关部门。

(6) 为防止施工船舶出现故障无法移动，建议在施工区附近安排一艘拖轮，并配备一定数量集油设备和器材，如围油栏、吸油材料、消油剂等，以便随时进行应急抢救等救助工作，同时发生少量溢油事故时，可现场及时进行围栏清理。

(7) 施工船舶一旦发生污染水域事故，应尽力采取控制和消除污染的措施，同时向海事主管机关报告，接受调查处理。

6.5.1.1.2 营运期船舶事故溢油防范措施

(1) 海上风机应涂有醒目的警示色、夜间需采用灯光照射的办法。在风电场场界

连线外侧 300m 考虑设置一排黄色航行警示标，以警示船舶有效避让。应设立专门机构负责警戒，安装海上风机监视系统随时掌握风电场设施水域周围的船舶航行动态。并配置有效的通讯设备，与海事主管机构随时保持通讯联系，以便在发生突发事件能及时获得海事主管机构的应急援助。

(2) 向海事主管机关申请发布航行通告和航行警告，提出协助进行水上安全维护申请。并在以后出版的有关海图上进行标记。

(3) 对风机周围加装防撞保护，避免渔船碰撞引发事故。建议船舶尽量远离风电场水域航行，减少船载雷达阴影区，船舶过往需要加强瞭望，谨慎驾驶，通过调整雷达增益改善显示效果。

(4) 加强风机基础冲刷监控，定期进行跟踪监控，防止风机基础淘空倒塌，如果发生风机倒塌事故，将及时上报县、市、省相关主管部门及海事、海监部门，对外发布航行预警通告，确保不对周边海上作业构成安全影响。风电场业主将及时组织吊装、施工单位，对倒塌风机及基础结构进行吊装、转运至陆上处理，防止风机内部润滑油料泄漏，一旦发生泄漏，立即采取围油栏围挡，采取吸油毡等对泄漏油料吸附回收。

6.5.1.2 船舶溢油应急措施

(1) 围控和机械回收

燃料油溢到水面后，自身重力和风、流以及其他因素的作用下会迅速扩散和漂移。因此，溢油应急反应的首要任务是尽快采取有效措施，控制溢油，阻止其进一步扩散和漂移，以减少水域污染范围，减轻污染损害程度。这种将溢油控制在较小范围并阻止其进一步扩散和漂移所采取的措施称为溢油围控。

围油栏对溢油围控、导流和防范作用，要通过适当布放形式来实现。在开阔水域布放围油栏，主要采用两船拖带和三船拖带方式，具体要根据实际情况而定。

① 两船拖带之“J”型

如下图所示，这种形式需要用两艘船。一艘作为主拖船，用于拖带围油栏较短的一端，同时存放所需的回收设备和回收作业人员；另一艘作为辅拖船，用于拖带围油栏较长的一端。围油栏的长度需要 200~400m。从主拖船至 J 形底部之间围油栏的长度为 20~40m，撇油器放置在 J 形的底部。围油栏要尽可能紧靠在主拖船的一侧（10~20m），以便于撇油器或其它回收设备的操作。

为了获得并保持理想的围油栏底部形状，可以通过拉动连接围油栏与船舶之间的绳索，对围油栏底部的形状进行适当的调整。在进行两船拖带作业时，一般情况下，

主拖船为指挥船，主拖船应根据溢油围扫情况及时、准确地向前面的拖船发出指令，拖船应注意随时与主拖船良好的通信联络，严格按照指令及时调整航向和航速，只有这样才能时刻保持良好的 J 型围扫形式，达到理想的溢油回收效果。

J 型

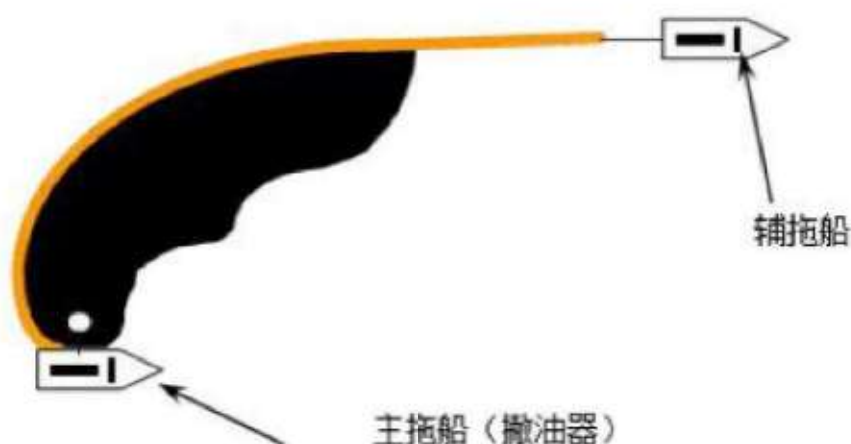


图 6.5-1 “J”型拖带

②两船拖带之“U”型

如下图所示，U 形拖带由三艘船来完成。拖带时，在前面两艘拖带船同时并进的的同时，第三艘船舶则应根据两艘拖船行进的速度，始终处于 U 形的底部外侧，利用撇油器对 U 形底部聚集的油膜进行回收作业。此种形式的围扫作业，回收量较大。

U 型

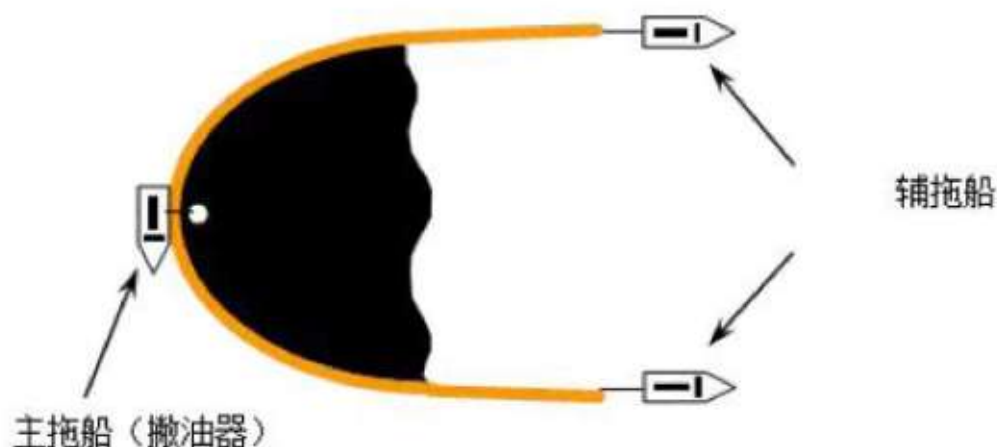


图 6.5-2 “U”型拖带

(2) 喷洒化学消油剂

使用化学消油剂的原则为，海面溢油首先使用机械回收，消油剂应严格控制使用，在发生油污染事故时，应优先采取机械回收措施，对少量确实无法回收的油，经海洋

行政主管部门准许后，方可使用少量的化学消油剂。一次性使用化学消油剂的数量，应根据不同海域和敏感区等情况，由行政主管部门做出具体规定。作业者应按规定向主管部门报告，经准许后方可使用。

在海面浮油可能发生火灾或者严重危及人命和财产安全，又无法使用回收方法处理，而使用化学消油剂可以减轻污染和避免扩大事故后果的紧急情况下，使用消油剂的数量和报告程序可不受限制，但事后应将事故情况和使用化学消油剂情况详细报告主管部门。

6.5.2 风机倒塌事故防范与应急措施

6.5.2.1 风机倒塌事故防范措施

(1) 每台风机都配备事故油槽，当风机变压器发生泄漏导致漏油时，事故油槽可接收变压器全部漏油，确保泄漏情况下油不会进入海域；

(2) 风电场设置有完整的现场监控系统，一旦发生风机或升压站倒塌事故可通过现场监控系统进行及时预警；

(3) 风电场运行维护期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、升压站及基础结构损伤情况；

6.5.2.2 风机倒塌事故应急措施

(1) 如果发生风机倒塌事故，首先应立即通知海上风电场的管理层、应急小组和所有相关工作人员，并同时上报当地海事部门，对外发布航行预警通告，确保不对周边海上作业构成安全影响。

(2) 根据预先制定的紧急响应计划，启动相应的应急措施。包括但不限于疏散人员、关闭相关设备、启动消防和救援程序等。风电场业主应及时组织吊装、施工单位，对倒塌风机及基础结构进行打捞，转运至陆上处理，现场视损伤情况确定是否进行重建工作。

(3) 如果发生少量风机机组润滑油落入海中，应立即动用工程本身配备的应急设施对落入海洋的油污进行处理。

6.5.3 自然灾害防范与应急措施

6.5.3.1 自然灾害事故防范措施

（1）防雷措施

针对雷电对设备的破坏特性，建议在叶片上翼面复合材料中加入具有良好导电性能和比重轻的碳纤维，并在叶尖部位装一个接闪器，通过电缆与叶片法兰连接，再由轮毂通过塔架内的接地线接入地网形成雷电通道。当雷电击中叶片时，强大的雷电流通过雷电通道泻入大地，达到避雷效果，而不致使对叶片及其他设备造成损坏。

对于雷电脉冲的危害，每台升压变压器高压侧均装设一组氧化锌避雷器，避雷器能把因雷电感应而窜入电力电缆线、信号传输线的高电压限制在一定范围内，保证设备不被击穿而达到防雷效果。

本项目风电场风力发电机组和升压变压器部分接地电阻小于 4Ω ，风力发电机塔架基础可作为自然接地体，再敷设必要的人工接地体。对地电阻小，雷电流能够迅速散流到大地，设备不会因地电位“反击”而损坏。

通过风电场的合理布置并采取上述防雷击措施，风机及电气接线和升压设备能有效抵御雷击造成的损害。

（2）台风（热带气旋）破坏预防措施

为减少台风给风电场带来的损失，根据台风破坏机理提出下列防范措施：

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。

（3）雾航防范措施

在能见度不良情况下船舶施工要严格执行安全操作，将风险控制措施落实到位：

1) 船舶在雾天施工前应严格执行安全管理体系文件中的相关规定，完成各项准备工作；船长应督促驾驶员对各种航行仪器、雾号和航行灯进行检查，以确保施工中正常使用，督促有关人员检查排水和水密设备，使之处于良好状态。

2) 当视线恶劣、渔船密集、避让困难、航道复杂及船长对航行安全无把握时, 为确保船舶雾航安全, 在条件许可的情况下, 船长有权择地锚泊或滞航, 切勿盲目航行。

3) 能见度小于 5 海里时, 即认为能见度不良, 应处于雾航的戒备状态, 做好一切雾航准备工作, 开启雷达并调整到最佳状态, 注意守听 VHF 和加强了望等。

4) 当航经近岸、船舶密集、水道狭窄、风电场区周边等复杂水域遇雾时, 应视情在驾驶台或船首增加了望人员, 船首了望人员应及时将所发现或听到的情况及疑点报告驾驶台。

5) 充分利用 AIS、雷达、VHF 等助航仪器, 获取他船的信息跟踪其动态, 视情发布本船雾航警报, 以提醒过往船舶注意。对碍航船应及早协调避让, 避免造成行动上的误会。

6) 对于海上固定的渔区在设计航线时就应考虑远离, 沿岸航行应注意到渔网渔船随时出现的可能性, 谨慎驾驶提前警惕防止事故发生。

6.5.3.2 自然灾害事故应急措施

(1) 制定详细的天气预警系统, 与气象部门合作, 实时接收并分析天气预报; 一旦发生自然灾害事故应急响应紧急撤离计划, 确保人员安全。配备足够的应急物资与医疗用品。

(2) 与当地和国家应急响应机构建立快速响应合作机制, 确保在需要时能快速获得外部支持。

6.6 风险事故应急预案

6.6.1 海上溢油事故应急预案

对于重大或不可接受的风险, 应制定应急响应方案, 建立应急反应体系, 事件一旦发生时可迅速加以控制, 使危害和损失降到尽可能低的程度。

(1) 溢油应急指挥组织。该组织应由企业生产管理部门、公安、消防、海事部门、环保部门、救捞部门、海洋部门、渔监、水产部门、卫生防疫、安监等职能部门组成, 并确定事故应急领导小组, 组长应由项目主管经理担任并全面负责。

(2) 溢油联络机构。应建立相应的快速灵敏的报警系统和通讯联络系统, 以便发生事故时及时进行抢险作业。

(3) 溢油作业队伍的建设。确立各种事故的抢险人员体系, 并登记保存于计算机

系统，同时应对抢险人员作定期培训和演练的计划，以确保关键时发挥其主力军作用。

（4）溢油应急设施的配备。配置相当数量的溢油应急设备和器材，建议充分利用区域内溢油应急防治设备。

（5）溢油应急行动计划应报当地海事部门备案。

（6）一旦发生溢油事故，应立即采取全面有效措施向可能受到危害者通告并向当地海事部门上报。

6.6.2 主要溢油应急保障

2021 年，青岛市人民政府办公厅印发《青岛市海上溢油事件应急预案》。2022 年，青岛市人民政府印发《青岛市海上溢油应急能力建设规划（2021-2030 年）》。

根据《青岛市海上溢油应急能力建设规划（2021-2030 年）》，海上溢油监测力量全面覆盖青岛海域，多重覆盖离岸 50 海里以内水域，重点覆盖青岛港区主要大型油品、危险品码头和重要环境敏感资源。在天气和航空条件允许的情况下，航空监视力量 2 小时内达到 50 海里以内水域，3 小时内达到管辖的任一水域。离岸 50 海里以内水域的海上溢油清除力量到达时间为 6 小时。溢油清污设备可在 5 级海况下出动，在 4 级海况下可以开展应急作业，在 3 级海况下能够保证较好的回收效果。海上溢油清除能力达到 3500 吨。其中到 2025 年，全市海上溢油清除能力达到 3000 吨。岸线清除能力达到 3500 吨。回收物陆上接收处置能力与海上溢油清除能力及岸线清污能力规模相适应。经过专业培训的专职溢油应急人员数量占企业应急人员的 15%以上。

本项目在施工期或运行期发生溢油事故时，可依托港区的溢油应急设备和应急队伍进行溢油应急处理。当溢油事故较严重，港区的溢油应急设备和应急队伍无法满足溢油应急清污能力时，应及时请求政府部门启动相应预案的应急行动，调用附近区域溢油应急设备。

目前本工程项目正在前期论证阶段，已搜集掌握青岛港相关信息，待项目具备施工许可后，将于青岛港一并商谈施工码头租赁、港区环境污染处置依托协议、施工期和运营期溢油风险应急协议。经初步沟通，青岛港现有风险应急设施能够满足应急需求。

建设单位应与周边地区具有船舶泄漏和救援队伍的单位、地方海洋局和海监等相关部门建立联动机制，成立专业救援队伍，由应急中心统一指挥。对抢险人员作定期培训和演练，以确保关键时候发挥作用。应急队伍应由熟悉燃料油特性、和防污染、船舶安全的管理人员组成，负责航道的日常安全和突发事故应急处理等工作。

6.6.3 海上溢油事故应急预案

6.6.3.1 现场指挥

根据应急处置工作需要，应急指挥部可组建现场指挥部，下设若干工作组，分工协作、有序开展现场处置和救援工作，工作组数量和组成部门可根据实际需要增减调整。其中，船舶发生较大海上溢油事件时，按船舶管辖权分别由海事部门或海洋发展部门会同有关区（市）政府和成员单位成立现场指挥部；发生陆源所致较大海上溢油事件时，生态环境部门会同有关区（市）政府和成员单位成立现场指挥部。其他应由应急指挥部指挥协调处置的海上溢油事件，按污染源分别由上述部门负责组织现场指挥部。

综合协调组：由现场指挥部抽调有关部门工作人员组成，负责综合协调、上传下达、公文流转、会议组织、会议纪要编辑、信息简报和综合文字起草，资料收集归档，抢险救援证件印制发放，处置信息调度、汇总、上报，与上级工作组的协调联络等工作。

专家咨询组：可根据应急行动需要组织成立不同领域的专家咨询组，履行专家咨询组职责，提供专业咨询意见。

现场指挥组：按污染源分别由青岛海事局、市海洋发展局、市生态环境局按照管理职责牵头成立，负责组织现场清污力量开展清污作业，及时向应急指挥部反馈现场信息，提出应急力量和应急物资设备需求，为指挥部决策提供建议。

专业清污组：由青岛海事局牵头，市海洋发展局、市生态环境局、山东港口青岛港集团有限公司等组成，负责调派海上溢油专业清污力量，组织、指导有关单位参与清污行动，及时向应急指挥部反馈现场图片、视频等信息，为应急指挥部决策提供参考。

近海清污组：由市海洋发展局牵头，市生态环境局、市交通运输局、青岛海事局、相关沿海各区（市）政府、山东港口青岛港集团有限公司等组成，负责统一调配渔业、港口、涉海单位清污力量，开展近海和胶州湾水域清污工作。

近岸清污组：由市城市管理局牵头，相关沿海区（市）政府、市生态环境局等组成，负责辖区内可能漂移到近岸或已上岸油污的清理工作。

新闻宣传组：由市委宣传部牵头，市委网信办、市生态环境局、市海洋发展局、青岛海事局和相关区（市）政府等组成，负责舆情的监控收集、研判、引导，回应公众信访投诉，研究制定新闻发布方案，协调新闻报道，媒体记者的接待、管理，公众

自救防护知识宣传等工作。

环境监测与预报组：由生态环境部北海局、市生态环境局、市气象局、青岛海事局、市海洋发展局和相关区（市）政府等组成，负责对溢油的扩散、飘移、分布，海洋气象、海况，海洋、大气环境污染等情况进行监视、监测，并及时向应急指挥部报告相关信息。

医疗救护组：由卫生健康委牵头，有关区（市）政府和相关医疗机构等组成，负责指导、开展、协调做好溢油应急处置过程中伤员医疗救治和疫情防控工作。

物资保障组：由青岛海事局牵头，市应急局、市发展改革委、市工业和信息化局、市财政局、市交通运输局、市海洋发展局、市市场监管局和相关区（市）政府等组成，负责根据需要组织协调、统筹安排应急物资的调拨、生产、储备和供应，打击哄抬物价和囤积居奇；提供应急处置资金保障。

危废处置组：由生态环境部北海局、青岛海事局、市交通运输局、市公安局和相关区（市）政府等组成，负责指导、协调回收油污、废弃物的临时储存、转运和处置工作。

陆上交通保障组：由市交通运输局牵头，市公安局和相关区（市）政府等组成，负责抢险救灾行动的陆上交通运输应急保障，根据工作需要保障抢险人员、应急物资和危险废物陆上紧急运输的交通畅通。

海上交通管制组：由青岛海事局牵头，青岛海警局、市海洋发展局、市公安局港航分局组成，负责海上交通安全，维护现场秩序和通航秩序、实施海上交通管制，发布海上航行警（通）告。

法律支持和索赔组：由司法局牵头，青岛海事局、市生态环境局、市海洋发展局、市财政局、青岛海警局、市公安局和有关法律专家等组成，负责做好海上溢油事故法律支持和索赔工作，负责组织对海上溢油造成的人员伤亡、财产损失、污染损害、应急资源投入使用、应急保障等情况进行汇总，做好海上溢油事件造成的海洋生态环境损害评估等工作，组织向污染损害责任方提出索赔法律诉讼等。

善后处置组：由相关区（市）政府牵头，青岛海事局、市海洋发展局、市生态环境局、市人力资源社会保障局、市文化和旅游局等相关部门（单位）组成，组织制定恢复重建方案并实施，尽快恢复当地生态环境、生产生活和社会秩序。

6.6.3.2 应急处置措施

现场指挥部应根据海上溢油的来源、种类、数量、周边海域环境等具体情况，结

合专家咨询组的意见，科学制定溢油应急处置方案，并报应急指挥部。

现场指挥部按照应急处置方案，组织应急队伍力量，调配应急设备物资，实施具体应急处置措施，开展溢油应急处置行动，并及时向应急指挥部报告现场应急处置的进展情况。

应急处置措施通常包括但不限于以下内容：警戒与管制、海上溢油评估、溢油源控制、监视监测、溢油围控、封堵与清除、重要目标保护、油污储运与处置、应急人员的安全防护等。

警戒与管制：根据溢油特性和海上应急处置行动的需要，划定警戒区，实施交通管制，禁止无关船舶进入，严防发生船舶碰撞等次生事故。

海上溢油评估：组织相关单位开展海上溢油评估工作，评估内容包括查明溢油源、溢油特性（闪点、爆炸极限、密度、水溶性等理化特性）、海上溢油量，预测海上溢油扩散范围、评估海上溢油损害和溢油应急所需物资、装备、人员等。

溢油源控制：根据不同的溢油来源采取相应的控制措施。陆源溢油一般可采取围堵、切断管（罐）阀、转运等方式控制或消除溢油源，防止溢油进一步扩散入海。船舶溢油一般可采取拖离、过驳、减载、封堵船体、抽出残油、围油栏围控等方式控制溢油源或将溢油源拖离敏感海域，防止溢油进一步扩散和减少污染损害。

监视监测：组织相关单位和力量利用各自监视监测网络，对溢油的扩散、漂移、分布，海洋气象、海况，海洋、大气环境污染等情况进行监视、监测和预测。

溢油围控、封堵与清除：组织应急力量、调用清污设备和物资开展海上溢油围控、回收、清除、焚烧和岸线油污清理、船体及海上设施的油污清洗等相关应急处置工作。

重要目标保护：组织力量保护可能受海上溢油影响的设施、工业取水口、渔业养殖区、易受损资源和其他敏感区域等，救助、清洗或转移受到溢油污染的濒危动植物及其他重要目标，并及时向可能受影响的敏感区域的管理单位或者其他机构通报有关信息。

油污储运与处置：组织开展回收废油及油污废弃物的临时储存、转运及无害化处理工作。

应急人员的安全防护：应急队伍应配备安全防护用具。应急队伍进入事件现场前，应明确告知事件性质、污染物情况、污染范围、个人防护措施、人员伤害紧急处理方法等，对现场应急处置人员进行安全防护教育。根据需要在应急处置现场配备医护人员。

6.6.3.3 应急行动的管理与控制

现场指挥部应当对现场应急处置行动的全过程进行管理和控制，监督、指挥、指导应急力量开展应急处置作业，及时收集应急处置行动进展信息，及时评估应急处置行动效果，必要时调整应急处置方案以应对最新事态发展。同时加强人力、设备器材和物资的管理，做好应急行动过程中有关影像资料和工作记录的管理、存档。

现场指挥部应及时将溢油事件发展趋势及重大行动决定向应急指挥部报告。如果海上溢油事件的事态进一步扩大，直接或间接造成巨大灾害，由应急指挥部提出建议，经市政府主要领导同意，向省、国家有关方面请求支援。

6.6.3.4 应急响应终止

现场指挥部根据应急处置行动的进展情况，经评估后认为应急处置效果达到下列条件时，可申请应急指挥部终止应急响应：

（1）现场抢险活动（包括人员搜救、海面溢油围控与清除、污染源控制和处置等）已经完成；

（2）溢油源已经得到完全控制；

（3）溢油事件所造成的大规模污染损害已经基本得到控制；

（4）溢油对敏感区域的污染威胁已经排除；

（5）溢油对周边地区构成的环境污染和安全威胁已经排除。

应急指挥部接到现场指挥部终止应急响应的申请后，应组织专家评估或进行现场勘验，认为海上溢油已经得到有效控制和清除的，报请总指挥，由总指挥宣布应急响应终止。

由沿海区（市）政府组织的海上溢油事件应急处置行动的终止响应可参照上述条件决定。

6.6.3.5 信息发布与舆情引导

海上溢油事件的信息发布应当遵循依法、及时、准确、客观的原则。事发地区(市)政府、应急指挥部要在海上溢油事件发生后及时向社会发布简要信息，随后适时发布初步核实情况、事态进展、政府应对措施和公共安全防范措施等，并根据事件进展情况做好后续发布工作。

一般海上溢油事件，由事发地区(市)政府负责对外发布信息；较大海上溢油事件，由应急指挥部对外发布；重大及以上海上溢油事件由应急指挥部会同新闻宣传主管部

门按有关规定统一协调组织发布。任何单位和个人不得编造、传播有关海上溢油事态发展或者应急处置工作的虚假信息。

海上溢油事件发生后，事发地区(市)政府、应急指挥部要组织做好网络舆情和媒体引导工作，及时回应群众关切问题。

参与海上溢油事件应急响应的各有关单位部门、应急队伍归口组织、管理部门应做好所属人员、队伍的教育、管理工作，防止有关人员私自发布、传播、泄露有关信息。

6.6.3.6 后期处置

1、油污和废弃物处置

现场指挥部应当妥善处置应急行动中回收的海上溢油、油污及其他固体、液体废弃物，避免造成二次污染和次生灾害。生态环境部门负责组织协调有资质的企业对回收的油污和污染物进行处置。

2、污染赔偿和索赔

根据有关国际公约和国内法律法规的规定，海上溢油的应急处置行动费用、溢油污染损害由海上溢油事件的责任方承担。

溢油应急处置结束后，现场指挥部应及时收集、汇总、整理应急行动期间所有的相关工作记录和材料，汇总统计应急处置行动产生的费用，依法向海上溢油事件的责任方索赔，相关部门应配合做好索赔工作。

溢油污染事件造成的污染损害，由受损方依据相关法律、法规向造成污染损害的责任方索赔。

海上溢油事件造成国家海洋生态环境、自然资源、渔业资源损害的，分别由生态环境部门、自然资源部门、海洋发展部门作出评估，代表国家向造成污染损害的责任方索赔。

3、恢复与重建

事件处置结束后，事发地区(市)政府和市政府有关部门组织对海上溢油造成的污染损害、损失、重建能力及可利用资源等进行全面评估，必要时有针对性地制定恢复重建方案,并组织实施。

4、总结评估

应急处置结束后，应急指挥部应组织对海上溢油事件处置行动进行评估，总结经验教训，提出改进建议。

6.6.3.7 预案管理

1、宣传、培训

应急指挥部、相关主管部门、沿海各（区）市政府应组织编制海上溢油预防、避险、自救、减灾等应急常识资料，开展相关知识宣传普及工作，定期组织溢油应急指挥人员参加相应的应急知识和指挥决策培训。

2、演练

应急指挥部应至少每两年组织一次海上溢油事件应急演练，以保证本应急预案的有效实施和不断完善，提高实战能力。由应急指挥部办公室制定演练方案，演练资料要及时归档。

6.7 小结

本项目主要危险物质为燃料油、润滑油、变压器油，在项目施工、运营过程可能会导致油品泄漏。通过采取各项风险防范措施，根据可能出现的环境风险制定相应的应急预案，加强风险管理，环境风险事故发生概率及可能造成的环境影响可大大降低，环境风险水平可以接受。

7 环境保护措施及其可行性论证

7.1 施工期污染防治对策措施

7.1.1 水污染防治对策

7.1.1.1 污废水污染防治措施

本项目海域施工中会产生船舶含油污水、船舶作业人员生活污水、定向钻泥浆以及一些施工清洗废水，应采取有效措施进行处置。

(1) 对于项目场址所采用的各类施工船舶，在水上作业时应遵照交通运输部发布的《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》中对海上施工船舶的要求管理，禁止直接向海域水体排放机舱所处的舱底含油污水、船舶垃圾、含有毒有害物质污水等。

(2) 严格执行国家《船舶水污染物排放控制标准》(GB 3552-2018) 相关规定，严禁所有施工船只的含油废水等在施工海域排放。大型施工船舶配置相应的防污设备和器材，并配备油类记录簿，含油污水如实记录；设专用容器，回收施工残油、废油；对船舶油污水进行统一收集运至岸上，委托有资质单位接收处置。

(3) 船舶油污水经收集后，委托具有船舶污染物接收资质的单位接收上岸处置，严禁随意排放至海域和陆域。在距最近的领海基线大于 12 海里的海域，船舶生活污水在船速不低于 4 节时排放且不超过相应船速下的最大允许排放速率前提下排放；距最近的领海基线在 3 海里至 12 海里之间的海域，需使用设备打碎固形物和消毒后，同时在船速不低于 4 节时排放且不超过相应船速下的最大允许排放速率前提下排放。距最近的领海基线在 3 海里以内的海域，船舶生活污水应利用船载收集装置收集，排入接收设施，利用船载生活污水处理装置处理达到《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018) 要求后排放。船舶垃圾中的食品废弃物在距最近的领海基线在 3 海里至 12 海里之间的海域，粉碎或磨碎至直径不大于 25 毫米后方可排放；在距最近的领海基线 3 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施，与其他船舶垃圾一并委托上岸后处置。

(4) 施工期间注意施工船舶等的清洁，及时维护和修理施工机械，施工机械若产生机油滴漏，应及时用专用装置收集并委托有资质单位处理。

(5) 建立溢油应急体系。船舶一旦发生事故导致溢油时，立即采取措施，控制和

消除污染，并向海洋、渔业主管部门报告。

（6）船舶应遵守《防治船舶污染物海洋环境管理条例》中关于作业报告、船舶污染事故应急处置等相关规定。

7.1.1.2 悬浮沙污染防治措施

本项目风机、海缆、海上换流站和海上生活辅助平台施工过程扰乱海域底部沉积物，进而产生悬浮物，提出相应的悬浮沙污染防治措施。

①施工前应结合项目周边及项目自身施工进度，合理安排施工整体进度计划，制定好施工主要节点流程图。项目在各个阶段施工作业时，严格按照施工方案执行，保证施工进度和控制施工强度，以免增加悬浮沙增量。

②浅水区海缆始端登陆施工时，本项目采用定向钻的方式登陆，基本不会对海水造成大面积的扰动，造成的悬浮沙污染影响较小。

③深水区海缆敷设作业时，采用专用海缆船，通过海缆船埋设犁敷埋电缆时，悬浮沙与船速、电缆沟尺度及海域底质特征有关，施工时将根据海缆路由区底质详勘报告确定各区段具体的海缆埋深和沟槽宽度，控制高压水冲泥管道压力，减小超挖量，同时控制拖轮航速，减小悬浮沙的产生量。

④深水区海缆终端登陆平台作业时，由潜水员配合进行高压水冲泥作业，作业时潜水员与船上人员密切沟通，严格控制高压输水胶管射水压力和射水方向。

⑤风机和海上换流站桩基打桩过程中，根据场址区域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。

⑥在邻近生态红线区域的施工中，应控制作业强度，通过减缓施工速度、优化工艺参数等方式，从源头减少悬沙产生量，降低对敏感生态区域的扰动风险。

⑦特殊区域保护海缆作业时，由潜水员配合进行抛填碎石或水泥压块作业，作业时潜水员与船上人员密切沟通，精确确定抛填石块量，严格控制抛填碎石或水泥压块的落水速度和抛填量，防止抛石落水速度过快或过量抛填造成悬浮沙扩散范围增大。

⑧施工作业期间，在整体施工计划框架下，根据季节性海流条件，合理优化调整各施工作业区施工计划，将重点悬浮沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱等不利于悬沙扩散的潮期内。

本项目通过合理安排海上施工时间，采取合理的施工方案，合理优化施工工艺，可最大程度降低悬浮物的扩散，减少悬浮沙对周边水质环境和海洋生态环境的影响。

7.1.2 大气污染防治对策

本项目施工期产生的废气主要为海上施工船舶废气。采取的主要废气防治措施为：

（1）通过合理布置施工方案，提高施工船舶的使用率。选用具有合适功率的施工机械作业，加强过程检验，提高一次施工成功率，避免返工情况发生。

（2）施工船舶按照《交通运输部关于印发船舶大气污染物排放控制区实施方案的通知》（交海发〔2018〕168号）的相关要求，应使用硫含量不大于 0.5% m/m 的船用燃油，降低船舶硫氧化物、氮氧化物、颗粒物和挥发性有机物等大气污染物的排放。

（3）加强对施工机械，运输车辆的维修保养。禁止不符合国家废气排放标准的机械和车辆进入工区，禁止以柴油为燃料的施工机械超负荷工作，减少烟度和颗粒物排放。

（4）加强对施工人员的环保教育，提高全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工，减少施工期的大气污染。

（5）加强对施工机械，运输车辆和施工船舶的维修保养。禁止不符合国家废气排放标准的机械、车辆和船舶进入工区，禁止以柴油为燃料的施工机械超负荷工作，减少烟度和颗粒物排放。

本项目通过合理布置施工方案，加强施工期管理，施工期产生船舶废气的排放能满足船舶废气排放的控制要求，对环境空气造成的污染较小。

7.1.3 噪声污染防治对策

施工期间主要噪声源为施工船舶和机械噪声，采取的降噪措施如下：

（1）避免在同一地点安排大量动力机械设备和船舶，以避免局部声级过高。

（2）合理安排施工计划，除混凝土连续浇注、抢修外，严格禁止在夜间进行产生噪声污染的施工作业，夜间 22:00~6:00 需施工，应向有关生态环境部门申报，获批准后方可进行。

（3）施工单位应选用噪声低的施工机械施工车辆和施工船舶，禁止不符合国家噪声排放标准的机械设备、运输车辆和施工船舶进入工区。

（4）海上打桩作业时，在打桩锤上加装隔音及消音材料，降低结构辐射噪声，同时隔离桩体内部的噪声向外传播。

（5）在海上风机组吊装安装作业时，吊装船上的工作人员与场地施工观察员保持密切联系，保证吊装安装作业的准确度和稳定度，以免产生安装误差，多次反复安装产生过多噪声污染。

(6) 加强施工设备、船舶的维护保养，发生故障应及时维修，保持润滑，紧固各部件，减少运行振动噪声；改进施工机械，整体设备应安放稳固，并与地面保持良好接触，有条件的应使用减振机座。加强施工管理、文明施工，杜绝施工机械在运行过程中因维护不当而产生的其它噪声。

(7) 应合理安排施工车辆进出场地的行驶线路和时间，对工程车辆加强管理，禁止鸣号、注意限速行驶，文明驾驶以减小地区交通噪声。

(8) 主变、电抗器和散热器等选用低噪声设备，导线和金具等加工精良，防止缺陷处或毛刺处空气电离产生电晕可听噪声水平。

施工过程中，严格管理施工船舶和机械，选用低噪声设备，采取合理有效的噪声控制措施后，可有效降低施工过程中的噪声污染，不会对周边居民造成影响。

7.1.4 固体废物处置措施

本项目在海域施工过程中产生的固体废物主要有船舶作业人员生活垃圾、废弃材料设备、多余料浆、清障废物和定向钻钻屑等，拟对施工固体废弃物采取如下措施：

(1) 对于施工期产生的船舶生活垃圾和施工固废，应用专用容器收集运至陆上统一处置。

(2) 对于海底电缆施工前扫海清障打捞产生的固体废弃物，应在施工船舶上设置专门的收集装置，打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理，禁止在海上随意弃置。

(3) 对能利用的施工废弃材料由施工单位负责及时清理处置。施工废水处理系统产生的污泥及时外运处理。

(4) 各施工单位加强对临时居住人员的教育和管理，不随地大小便，不随手乱扔垃圾，保证粪便和生活垃圾能集中处置。

通过采取以上固体废物的处理处置措施，能够尽量减少固体废弃物的产生，且各类固体废弃物均能得到有效处置，不随意排放，不会对环境造成重大污染。

7.2 运营期污染防治对策措施

7.2.1 水污染防治对策措施

本项目运营期产生的含油污水以及少量生活污水，处理措施如下：

(1) 生产废水

运营期产生的含油污水予以妥善收集处理，产生的含油污水予以妥善收集处理。

检修船舶含油污水执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）和《1973 年国际防止船舶造成污染公约》（MARPOL 73/78），经污水接收船接收后送至陆上由有资质单位统一处理。

（2）生活污水处理

运营期维护人员在检修船舶产生的生活污水，在距最近的领海基线大于 12 海里的海域，船舶生活污水在船速不低于 4 节时排放且不超过相应船速下的最大允许排放速率前提下排放；距最近的领海基线在 3 海里至 12 海里之间的海域，需使用设备打碎固形物和消毒后，同时在船速不低于 4 节时排放且不超过相应船速下的最大允许排放速率前提下排放。距最近的领海基线在 3 海里以内的海域，船舶生活污水应利用船载收集装置收集，排入接收设施，利用船载生活污水处理装置处理达到《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）要求后排放。

本项目运营期间，海上换流站产生的含油污水收集交由陆上有资质的单位处理，风电场运维船舶生活污水可以满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）前提下排放，运维期工作人员的生活污水可以经海上辅助平台的生活污水处理设施处理达标后排放。因此，运营期间废水均能得到有效处置，对环境影响较小。

7.2.2 大气污染防治措施

本项目运营期主要是风力发电，工艺过程无废气产生，废气主要来自运维船舶。项目运营期运维船舶采用低含硫燃油，项目位于开阔海域，废气可自然扩散，对境空气影响较小。

7.2.3 噪声污染防治措施

运营期间的噪声主要来自风机，风机噪声主要包括机械和结构噪声、空气动力噪声以及通风设备噪声。

机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源，这部分噪声是能够控制的，其主要途径是避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件。为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声。

风电机组的主要部件安装于机舱内部，这些部件产生的振动直接传递给机舱，引起机舱振动并辐射产生噪声。为降低风机噪声源强建议在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪

声向外传播。

对于海上噪声，通过采取高阻尼材料降低来振动噪声和隔离噪声传播等措施能够有效控制其传播距离，减小噪声的影响范围，且海上远离居民区，产生的噪声不会对居民区产生影响。

7.2.4 固体废物处置措施

运营期的固体废物主要包括设备维修时产生的废油、营运人员生活垃圾以及营运产生废弃蓄电池等，采取的处置措施如下：

（1）项目运行期风机、海上换流站及相关设备进维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油、机油。在维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴，油渣油垢、废油应储存在专设的废油箱中。维护结束后，应将废油、含油废物等收集并运至陆域交由有资质单位处置。

（2）风机运维产生的废铅酸蓄电池，暂存在海上换流站上设置危废贮存设施内，并采取必要的防风、防晒、防雨、防漏、防渗、防腐措施。危废储存设施设置场所标志和危险废物识别标志等，危险废物交具备资质的专业单位处置，并由专人管理和维护，做好出入库和转移台账，满足《危险废物贮存污染控制标准（GB18597-2023）》要求。

（3）对于海上换流站事故中泄漏的废事故油和机组维修时产生的油渣油垢、废油等均属于危险废物，主变压器废事故油由事故油罐收集，机组维修时产生的油渣油垢、废油等用专用桶收集，运至陆域交由有资质单位外运处置。

（4）项目运行期间产生的废铅酸蓄电池，委托有资质的单位外运处置。

运营期产生的少量废油和废弃蓄电池收集后分别交由有资质的单位处理，生活垃圾交由环卫部门处理，变压器附近设置事故油池，能够有效降低事故发生时可能造成环境污染，因此，通过采取以上措施能够有效降低本项目运营期间的固体废弃物污染。

7.2.5 电磁污染防治措施

运营期间，电缆线路和海上换流站的高压设备会产生一定的电磁污染，采取的防治措施如下：

（1）优化换流站选址与平面布置，选址应尽可能远离航道、生态敏感区等，并保持一定的防护距离。

(2) 输电线路设计中应选择合理优化的路径方案，在线路设计中严格执行有关设计规程、规范，合理设计电缆埋深，减小电缆对附近电磁环境影响。

(3) 海上换流站的设备采用低损耗 IGBT 或 SiC（碳化硅）器件，降低开关噪声；变压器选用低磁漏型（如干式或环氧树脂浇注式），减少杂散磁场。直流电缆采用铜带/铝箔屏蔽层，抑制电磁辐射。信号传输优先采用光纤或双绞屏蔽线，屏蔽层单点接地。

(4) 为限制电晕产生的电磁环境影响，在设备定货时应要求导线和其它金具等提高加工工艺，防止尖端放电和起电晕。

(5) 换流站控制室采用金属屏蔽舱体（如镀锌钢板或铜网），屏蔽效能 $\geq 60\text{dB}$ 。门窗采用导电密封条，穿墙孔洞使用金属波导管或导电衬垫。

(6) 加强电磁环境监测，及时发现问题并按照相关要求进行处理。

(7) 设置安全警示标志，沿线应于醒目位置设置安全警示标志。

(8) 加强对当地群众的有关高压输电方面的环境宣传教育工作，提高环境保护意识和自我安全防护意识。

通过合理布设线路与进行定期的设备检修与维护，能够有效减少电磁辐射的产生，降低其危害。

7.3 生态保护修复措施

7.3.1 施工期海洋生态及敏感目标保护措施

7.3.1.1 对渔业资源及海洋生态的保护措施

(1) 优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间、开挖量，尽量减小施工悬浮物剧烈扩散对海洋生态环境的影响，施工高峰期尽量避开主要鱼类产卵季节。

(2) 严格限制项目施工区域，在其用海范围内划定施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

(3) 在施工海域设置明显的警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

(4) 对施工期附近水域，结合海洋牧场开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解项目施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

(5) 施工中的水下打桩可能对周围海域的海洋生物、特别是石首鱼科鱼类的行为活动带来一定影响。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预测，在时间上控制一次一桩。

（6）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，尽量采用低噪声机械设备，避免噪声过大的运输船只在海上运输作业。

（7）打桩时采用软启动方式。即首桩采用小幅度的冲击，而后逐渐增强强度，以驱赶附近活动的鱼类，尤其石首鱼科鱼类。

（8）海缆登陆采用定向钻等对环境影响较小的施工方式，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间、开挖量，尽量减小施工悬浮物剧烈扩散对海洋生态环境的影响。

（9）海缆登陆采取定向钻等非直接开挖的施工方式，减小对滩涂生境的破坏，保护鸟类滩涂觅食地。由于一些鸟类具有趋光性，因此在鸟类迁飞季节，应调暗或者尽量关掉夜间及凌晨时段的灯光照明，避免在趋光性的作用下使鸟类大量的飞入项目施工区域而增加鸟类受伤的风险。

（10）建设单位在施工现场张贴通告和设立投诉电话，建设单位在接到环境投诉后应及时处理。

7.3.1.2 对青岛西海岸国家级海洋公园的保护措施

本项目送出海缆穿越“青岛西海岸国家级海洋公园”适度利用区 3.2km、生态与资源恢复区 7.3km。

（1）送出海缆敷设时采用专业海底电缆敷设船配备牵引式高压涉水埋设机作业。

（2）海缆敷设施工时，避开主要经济鱼类的产卵盛期。

（3）在生态保护区附近海域施工时，降低海缆开挖速率、选择海流较缓，避开大潮时施工，最大可能降低悬沙影响范围。

7.3.2 运营期海洋生态及敏感目标保护措施

7.3.2.1 对渔业资源及海洋生态的保护措施

（1）实施生态补偿，结合海洋牧场与海上风电融合项目，弥补项目施工和运行等因素对海洋渔业资源造成的损失。

（2）在运行期间应根据实际情况安排开展项目邻近海域渔业资源和生态环境监测工作，结合施工期生态环境调查结果，评估工程在施工期和运行期周围海域渔业资源和生态环境的变动情况，评估生态补偿措施和海洋牧场的实施效果，为更好地恢复和

保护海域渔业资源和生态环境提供科学依据。

(3) 加强渔业资源和生态保护宣传。在进行海洋生物增殖放流时，举行仪式，以保护海域生态环境为主题，加强社会环境保护教育。

7.3.2.2 对青岛西海岸国家级海洋公园的保护措施

项目营运期海缆全程埋设与海底，不会影响“青岛西海岸国家级海洋公园”的用海功能。项目建设后将通过采取渔业增殖放流等措施对生态资源予以恢复。

7.3.3 鸟类保护措施

7.3.3.1 施工期鸟类保护措施

(1) 合理安排施工时间，尽量在鸟类非迁徙季节（迁徙季节 3-4 月和 9-11 月）竖立风机，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过施工区时应降低施工强度；严格控制光源使用量，减少使用红色闪光灯和钠蒸汽灯，对光源进行遮蔽，减少漏光量，尤其是在有大雾或强逆风的夜晚，应该停止施工，减小施工期对鸟类的影响；

(2) 海缆登陆采取定向钻等非直接开挖的施工方式，减小对滩涂生境的破坏，保护鸟类滩涂觅食地。由于一些鸟类具有趋光性，因此在鸟类迁飞季节，应调暗或者尽量关掉夜间及凌晨时段的灯光照明，避免在趋光性的作用下使鸟类大量的飞入项目施工区域而增加鸟类受伤的风险。

7.3.3.2 运营期鸟类保护措施

(1) 采用在风机上适当的位置安设闪烁灯光、以及采用不同色彩搭配，如旋转时形成鹰眼图案，或将叶片部分涂成红色，促使鸟类产生趋避行为，降低撞击风险。此外，为减少反射阳光对雀鸟的影响，风力发电机的机件使用非反光涂料。

(2) 由于一些鸟类具有趋光性，因此在鸟类迁飞季节，应调暗或者尽量关掉夜间及凌晨时段的灯光照明，避免在趋光性的作用下使鸟类大量的飞入项目场址区域而增加鸟类与风机的相撞风险，可安装鸟类警示趋避器等防撞设备。

(3) 加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测，合理调整运行及防范措施。观测周期包括施工期以及建成以后的运营期，运营期一般观测 2 年以上，以确定其对鸟类及其栖息地的影响。观测研究内容主要为鸟类迁飞路径鸟类与风机发生撞击情况等。

(4) 在运行期，通过设立鸟类观察救助站，持续监测风场对鸟类的影响；候鸟迁

徙高峰的时候，及时观测鸟类动向，如遇到大群候鸟停歇风电场内及附近，可以采取驱赶措施，必要时应当停机驱赶。万一发现鸟类伤亡，应及时救治受伤鸟只，鸟类观察救助站人员应当接受专业鸟类知识培训，并将伤亡记录及时向有关单位汇报。

7.4 其他保护对策措施

7.4.1 海缆保护措施

本工程采取以下防护措施进行海缆保护。

(1) 建设单位应按照国家法律法规，维护自己的合法权益，保护海底电缆的安全。

(2) 为保证本工程海底电缆安全，应对风电场桩基础局部冲刷进行观测，如发现冲刷严重，应采取抛石回填等措施，避免冲刷导致海缆掏空。

(3) 为保护风电场的海缆，海底路由区两侧 500m 海域范围内，应严禁各类船舶抛锚、底拖网等作业活动。在海底电缆铺设线路两侧设立明显标识，加强对渔民的管理，避免渔业捕捞对电缆产生危害。

(4) 在电缆登陆点和沿线设立电缆保护区，保护范围内设立明显的警告设施，避免各种人为活动影响电缆的正常运行。

7.4.2 通航环境保护措施

7.4.2.1 施工期通航环境保护措施

为保证项目施工安全和最大程度降低对附近海域航行的不利影响，施工单位应有水上施工经验，施工过程中需科学合理安排施工工序，周密考虑项目施工期间的安全措施，主要包括：

(1) 建设业主、施工作业单位应向所在辖区的海事机构申请办理水上水下施工作业许可。经海事机构审批同意，划定施工作业水域，核发《水上水下施工作业许可证》后，并发布航行通（警）告后方可施工。在施工过程中，施工作业者应严格按海事机构确定的安全要求和防污染措施进行作业，并接受海事机构的现场监督检查，做到既要保证施工顺利进行，又要保证施工水域通航安全。

(2) 船舶驾驶员的业务技术应符合要求。

(3) 应实施值班、了望制度。

(4) 做到有序施工，施工船在预先规定的区域内作业，严禁乱穿乱越。

(5) 施工单位根据作业需要，须划定与施工作业相关的安全作业区时，应报经海

事机构核准、公告；设置有关标志，严禁无关船只进入施工作业海域，并提前、定时发布航行公告。

（6）实施施工作业的船舶、排筏、设施须按有关规定在明显处昼夜显示规定的号灯、号型；在现场作业船舶上应配备有效的通信设备。

（7）避开在雾季、台风季节和冬北季风期间施工，在遇到不利天气时及时安排施工船舶避风，禁止在能见度不良和风力大于 6 级的天气进行作业。

（8）施工船舶以船为单位、以船长为组长组成各船的安全小组，负责本单位的安全宣传、教育，制定安全生产措施以及日常的安全监督、检查等，执行安全领导小组的决定，落实安全措施，分解安全责任落实到人。

（9）成立安全生产组织，设立安全员，负责日常安全生产的工作，监督水上作业人员全部穿好救生衣，佩戴安全帽。

（10）建立溢油应急体系。船舶一旦发生事故导致溢油时，立即采取措施，控制和消除污染，并向海洋、渔业主管部门报告。

（11）发生船舶交通事故时，应尽可能关闭所有油仓管系统的阀门、堵塞油舱通气孔，防止溢油。由于在设计中对航行、监控、通信与警告等设备设施已有了明确的规划，且码头主要用于电厂接卸设备，其使用频次和强度较小，因此如果严格遵守相关环保措施和设计方案，船舶溢油风险损失会很小。

此外，还应加强与气象部门联系，在恶劣天气到来之前做好事故防范，确保船舶和人员的安全。

7.4.2.2 运营期通航环境保护措施

商船或渔船在失控情况下存在碰撞风机桩基的可能性，对拟建工程的基础结构构成一定威胁。因此必须采取相应的安全保障措施保证海域通航安全，应加强宣传和监控，主要措施包括：

（1）在外围风机设置醒目的警示标志，并在水面以上基础支撑结构涂覆高可见度反光漆，确保昼夜可视。

（2）专题设计风电场导助航设施，满足能见度不良（如雾天、夜间）条件下的航行安全需求。在风电场外围风机水面以上的基础支撑涂染醒目的油漆等警示标志。建设单位落实安全主任责任，按照“三同时”（同时设计、同时施工、同时投入使用）原则，配套建设以下设施：①设置海上风电场专用航标、海底电缆标识、防碰撞设施或者警戒船，②建设船舶自动识别系统、甚高频通信系统、水文气象信息采集系统、视

频监控系统、网络传输系统等基础设施并保证其正常有效运行，③实时掌握现场海况，对施工和运维船舶、出海人员、附近过往船舶及海上风电场水域实行监控、预警和应急处置，确保通航安全。

（3）整个风电场工程施工完成后，建设单位应当将海上风电场水域范围、安全警示标志、风机数量、海底电缆线路布设等有关通航安全的技术参数报海事管理机构备案，第一时间申请更新航海图书资料，并发布相应《航海通告》。

（4）风电场投产运营后，业主单位应制定相应的日常检查养护制度。定期检查风机基础的安全状况，对风机标志灯进行监控和日常维护，灯光出现故障时要及时维修，并通知相关主管机关。特别是在恶劣天气以后应及时检查风机基础、设备的安全状况及专用航标的工作状况，防止影响通航安全的因素发生。

（5）运维船出海检查时，应选择良好的气象、水文和海浪条件，保证执行检查工作船舶的航行和作业安全。并在靠船时注意慢速挂靠、减轻碰撞，防止漏油污染。

（6）业主经检查发现存在影响附近水域通航安全的情况，应及时通知相关主管部门，申请发布相应的航行警（通）告；发现存在安全隐患时及时处理，并向相关主管机关报告。

7.5 环境保护对策措施汇总

本项目环境保护对策措施汇总见表 7.5-1。

表 7.5-1 环境保护对策措施一览表

时间	保护要素	污染源/保护对象	主要环保对策措施	投入设备/管理方法	处置效果	实施地点	责任主体
施工期	水环境	作业人员生活污水	船舶生活污水根据所在海域位置在满足《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)的前提下收集处理或排放	各施工船自配生活污水污水处理装置/管理措施方法	满足标准	施工区	施工单位、建设单位建设、使用和管理
		施工船舶产生的含油污水	海上船舶舱底油污水铅封上岸交由有船舶污染物接收单位统一处理，禁止随意排放	各施工船自配油污水收集装置	全部收集	施工船	
		悬浮泥沙	严格控制施工范围，合理安排工期，避开极端天气	管理措施方法	降低悬浮泥沙影响	施工区	
	大气环境	施工船舶废气	采用低硫燃油；加强对施工机械、船舶的维修保养	管理措施方法	管理措施方法	施工区	施工单位、建设单位建设、使用和管理
	声环境	施工船舶噪声	禁止非必要鸣笛，安装消声器及加装隔音/消音材料；加强定期维护和及时修理施工机械；加强施工监督管理，合理安排施工时间；做好施工船舶的调度及交通疏导工作	配备设施、管理措施和方法	减噪、降噪	施工区	施工单位、建设单位建设、使用和管理
	固体废物	作业人员生活垃圾	海上生活垃圾在船舶上设置垃圾桶随船携带，待船舶靠岸后交由有船舶污染物接收单位统一处理	各施工船自配垃圾桶	全部收集	施工船	施工单位、建设单位建设、使用和管理
		扫海清障固体废物	扫海清障固体废物统一收集在工作船配备的垃圾桶，统一回收交由指定单位接收处理。	各扫海清障船自配垃圾桶	全部收集	施工船	
	生态环境	渔业资源	严格划定施工作业范围；优化施工方案，加强科学管理；施工高峰期应尽量避开春、夏季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	配备设施、管理措施和方法	减少生态环境影响	施工区	施工单位、建设单位建设、使用和管理，委托专业单位
		青岛西海岸国家级海洋公园	采用专业海底电缆敷设船配备牵引式高压潜水埋设机作业；避开主要经济鱼类的产卵盛期施工；降低海缆开挖速率、选择海流较缓，避开大潮时施工，最大可能降低低悬浮泥沙影响范围。	配备设施、管理措施和方法	降低对青岛西海岸国家级海洋公园的影响	施工区	
		鸟类	合理安排施工时间	管理措施方法	降低对鸟类的影响	施工区	

时间	保护要素	污染源/保护对象	主要环保对策措施	投入设备/管理方法	处置效果	实施地点	责任主体
	通航环境	-	加强施工作业安全管理，避开不利天气施工。	管理措施方法	降低对通航环境的影响	施工区	施工单位、建设单位建设、使用和管理，可委托专业单位
运营期	水环境	运维作业人员生活污水	生活污水在船舶上统一收集，根据所在海域位置在满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）的前提下收集处理或排放；换流站检修期间也可依托生活辅助平台生活污水处理装置处理达标后排放	运维船舶自配污水收集装置、管理措施方法	满足标准	运维船	建设单位建设、使用和管理
		运维作业船舶污水	废油、含油废水等在船舶上统一收集，待船舶靠岸后交由有资质的单位进行接收处理。	运维船舶自配油污水收集装置	全部收集	运维船	建设单位建设、使用和管理
		运维船舶	采用低含硫燃油	管理措施方法	管理措施方法	运维船	建设单位建设、使用和管理
	声环境	风机运行噪声	在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪声向外传播；减少撞击和摩擦，使风机齿轮和轴承保持良好的润滑状态	风机配套装置和材料	隔音、吸音、减噪、减震	风机	建设单位建设、使用和管理
	固体废物	运维作业人员生活垃圾	生活垃圾在船舶上设置垃圾桶随船携带，待船舶靠岸后交由有船舶污染物接收单位统一处理	运维船舶自配垃圾桶	全部收集	运维船	建设单位建设、使用和管理
		废弃蓄电池	暂存在海上换流站上设置危废贮存设施内，全部收集，待船舶靠岸后委托有资质的单位外运处置。	运维船舶自配废蓄电池垃圾箱	全部收集	运维船	建设单位建设、使用和管理
		运维作业船舶含油废物	维修产生的含油废物收集至含油废物箱中，待船舶靠岸后交由有船舶污染物接收单位统一处理	运维船舶自配含油废物箱	全部收集	运维船	建设单位建设、使用和管理
	电磁环境	电磁污染	优化换流站选址与平面布置，选址应合理，输电线路设计中应选择合理优化的路径方案；在设备定时时应要求导线和其它金具等提高加工工艺	管理措施方法	管理措施方法	电缆线路和海上换流站区域	建设单位建设、使用和管理
	生态环境	渔业资源	增殖放流，加强渔业资源和生态保护宣传	管理措施方法	减少生态环境影响	增殖放流区域	建设单位建设、使用和管理
		青岛西海岸国家级海洋公园	增殖放流等措施对生态资源予以恢复	管理措施方法	降低对青岛西海岸国家级海洋公园	增殖放流区域	建设单位落实，可委托专业单位

时间	保护要素	污染源/保护对象	主要环保对策措施	投入设备/管理方法	处置效果	实施地点	责任主体
					的影响		
		鸟类	风机上适当的位置安设闪烁灯光；紫外光固化涂料涂漆在风电机叶轮表面；加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测	风机配备闪烁灯及紫外光涂料；相关措施和方 法	降低对鸟类影响	风机及用 海区域	
	通航环境	-	设置足够的导助航设施；风机机柱上涂有醒目的警示色；安装海上风机监视系统；相关设施防撞配件的安装和维护；发布航行通告	对应设施配备导航设施、警示标志、监视系统 及防撞装置	保证通航安全	风机及用 海区域	建设单位落实，可委托 专业单位

8 环境影响经济损益分析

8.1 环保投资估算

本项目环保投资 5623.45 万元，包括水环境保护、固废处理、渔业资源修复、鸟类保护、环境监测及建设管理费用等，环保投资估算详见表 8.1-1。

表 8.1-1 环保投资估算表

序号	项目和费用名称		投资（万元）	备注
工程施工期	施工生产、生活污水收集和处理		100	海上风电场
	噪声影响减免措施		30	海上风电场施工以管理为主
	固体废弃物处理		40	固废收集装置及清运处理费
	工程环境监理费		54	
	小计		224	
工程运营期	污染物处置	生活污水收集和处理	100	海上风电场
		固体废物收集和处理	40	
	生态补偿	海洋生物资源修复补偿	4326.45	渔业资源增殖放流和生态补偿
	鸟类保护	鸟类保护措施	75	鸟类救护、宣传教育、涂叶片警示色等
	跟踪监测	海水水质、沉积物、海洋生态监测	625	选取春季或秋季其中1季
		噪声、电磁监测	50	海上风电场
		鸟类监测	75	
	环境管理	工程环境管理费	54	
		宣传技术培训费	54	
	小计		5399.45	
合计			5623.45	

8.2 经济效益分析

风力发电是新能源中技术最成熟、最具有规模开发条件和商业化前景的发电方式之一。本工程经济效益主要为风力发电收入。本工程装机容量 3000MW，设计年平均上网量 1042412 万 kWh。

8.3 社会效益分析

(1) 有效调整资源结构，缓解用电紧张

本工程利用海域开发风能资源，是山东省重要的海上风电项目，其建设能够适应国家新能源发展的政策需求，有助于山东省开发海上风能资源，提高地区能源供应能力，缓解用电紧张问题。

（2）降低碳排放，有利于生态保护

风能是绿色资源，风力发电几乎不产生大气污染物，进一步提升了当地的空气质量，为该地区的可持续发展提供了可靠保障。积极开发丰富的风力资源，替代一部分矿物能源，对于降低煤炭消耗、缓解环境污染等具有非常积极的意义。项目的开发建设，每年可减少多种大气污染物的排放，如二氧化硫（SO₂）、一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO₂）等污染物的排放，本工程不仅是山东省能源供应的有效补充，而且作为绿色能源，有利于缓解电力工业的环境保护压力，促进山东省生态环境的可持续发展。

（3）推动电力技术进步，实现海上风电快速发展

本风电场的建设能有效促进地方经济，带动产业链发展同时通过引、消化国外先进技术，选用国产风电机组使我国制造能力进一步提升。项目建设对技术进步和产业升级有着良好的推动作用，实现海上风电规模化开发带动风电装备及服务业发展，以龙头企业为依托实现全产业链发展，为海上风电产业打造成具有国际竞争力的优势企业打造坚实基础。

因此，本项目具有显著的社会效益。

8.4 环境经济损益分析

8.4.1 环境直接、间接经济损失估算

（1）工程对环境影响

项目建成后仅对风机基础局部水域的潮流场产生影响，其他海域的潮流场基本不受影响，但存在局部淤积现象。风机基础和电缆铺设等施工时将产生悬浮物扩散，此影响随施工结束而逐渐消失。施工人员生活污水和施工船舶废水在正常情况下不会对海域环境造成影响。

海上施工时泥沙入海将导致浮游生物数量减少，电缆挖沟作业将彻底破坏该区内底栖生物的栖息环境，对该区域内的底栖生物造成不可逆转的损害。本项目施工噪声对渔业资源的影响主要体现于鱼类的驱赶作用，对其的影响也会随施工结束而消失。

本项目风电场区域位于东亚—澳大利西亚迁飞通道和西太平洋迁飞通道之上，但在开展鸟类现状调查时，海上区域均未发现大量鸟类飞过，4个季节共计调查发现鸟类

12 种，鸟类种类比较少，可见该海域不是鸟类迁徙的主要通道。由于风电场的存在，鸟类的趋避行为会使经过的鸟类迁徙路线产生一定的影响，但是综上所述，影响不大。

（2）生物资源损失

本工程项目实施所造成的海洋生态环境资源损失主要包括装机基础施工占海和电缆沟开挖时悬浮泥沙扩散对浮游生物（鱼卵、仔稚鱼、浮游植物和浮游动物等）和游泳生物资源造成影响带来的损失，以及风机基础施工和海底电缆敷设对底栖生物生境造成破坏带来的损失。本项目建设共造成底栖生物损失量 5.00t，鱼卵损失量 8.55×10^8 粒，仔稚鱼损失量 1.22×10^8 尾，鱼类成体损失量 39309.19kg，鱼类幼体损失量 54099.64kg，头足类成体损失量 3269.25kg，头足类幼体损失量 1015.21kg，甲壳类成体损失量 2473.53kg，甲壳类幼体损失量 743.09kg，浮游植物损失量 1.45×10^{15} cells，浮游动物损失量 248003.31kg。生态损失补偿金额为 4326.45 万元。

8.4.2 环境直接、间接经济收益估算

目前世界上的太阳能、风能、海洋能等作为可再生能源正处于飞速发展时期，但我国电力结构以火电为主，水电、核电、风电、太阳能发电所占比重较少。为此本报告对比燃煤发电技术评价本项目实施所具有的环境效益。

8.4.2.1 节能效益

本项目作为山东省深远海海上项目，不仅是山东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，促进地区经济的持续发展，项目社会效益显著。同时本项目采用海上风电柔性直流送出方案，将会为后续深远海海上风电建设提供重要的示范意义。

本工程总装机规模为 3000MW，年理论发电量 1417812 万 kWh，预计总年上网电量为 968470 万 kWh，2022 年全国 6000 千瓦及以上火电厂供电标准煤耗 300.7 克/千瓦时（《中国电力行业年度发展报告 2023》数据）。按此标准计算，工程建设投运后每年可为国家节约标准煤约 286 万吨，起到了节煤增电的良好经济效益。

8.4.2.2 污染物减排效益

风力发电作为一种清洁能源，相比火电工业在运行过程中不会产生包含烟尘、SO₂、NO_x 等大气污染物。本工程装机容量 3000MW，每年可提供 968470 万 kWh 的上网电量，有利于国民经济发展。

与相同发电量的火力发电厂相比，按清洁生产指标计算，根据《中国电力行业年

度发展报告 2024》，SO₂ 排放量按 0.083g/kWh 计，NO_x 排放量按 0.133g/kWh 计，烟尘排放量按 0.017g/kWh 计，CO₂ 排放量按 821g/kWh 计，废水排放量按 0.054kg/kWh 计。则本风电工程可相应地减少的污染物排放量：SO₂ 804t/a，NO_x 1288t/a，烟尘 165t/a，CO₂ 795 万 t/a，废水 52 万 t/a。风电场的建设替代了燃煤电厂的建设，将大大减少对周围环境的污染，还可节约不可再生的化石能源、减少污染及保护生态环境的作用。

对于减排 SO₂ 等带来的经济价值，暂按其在中国的排污费用折算。根据《中华人民共和国环境保护税法》（2018 年 1 月 1 日实施），每一大气污染物污染当量取值为 1.2 元，SO₂ 的污染当量值 0.95kg，NO_x 的污染当量值为 0.95kg，烟尘污染当量值为 2.18kg。针对减排 CO₂ 所能带来的经济价值，采用碳税法计算固定 CO₂ 的经济价值，根据国际通用的瑞典碳税率（137.24 美元），每减少排放 1t CO₂ 所带来的经济效益折合人民币为 994.194 元。

据此计算，本工程大气污染物减排效益约 789663.366 万元/a，详见表 8.4-1。

表 8.4-1 大气污染物减排效益

序号	项目	减排量（万 t/a）	单价	环境效益（万元/a）
1	烟尘	0.0165	1.2 元/2.18kg	9.08
2	SO ₂	0.0804	1.2 元/0.95kg	101.56
3	NO _x	0.1288	1.2 元/0.95kg	162.69
4	CO ₂	794	994.194 元/t	789390.036
5	合计	/	/	789663.366

8.4.3 环境经济损益综合分析与评价

综上所述，本项目具有明显的节能、污染物减排的环境效益，同时还具有一定社会效益，缓解电力供需矛盾和改善电源结构，有效调整资源结构，推动电力技术进步，实现海上风电快速发展。但本工程在建设和运行过程中会不可避免的造成生态渔业资源损失、鸟类和海洋生态等方面的环境影响，可通过跟踪监测、生态补偿等措施进行恢复。

9 海洋工程环境可行性分析

9.1 与国土空间规划的符合性分析

9.1.1 与《全国国土空间规划纲要(2021-2035 年)》的符合性分析

(1)大陆架和专属经济区

根据《全国国土空间规划纲要(2021-2035 年)》中专属经济区、大陆架及其相关要求：“在专属经济区、大陆架及其他管辖海域开展海洋开发利用活动，应统筹国防安全、航行通道安全、海洋生态系统保护，以及国际通信、海洋油气勘探开发、海上风电、海洋捕捞生产深远海养殖和其他战略性新兴产业发展的空间需求。

符合性分析：本项目风电场和部分 525kV 直流海缆位于专属经济区、大陆架海域建设单位已多次征求北部战区海、陆、空等军事意见，场址的通航安全论证已通过评审并取得山东海事局的意见，项目开发建设采取生态保护措施，施工避开鱼类的集中产卵期，并制定生态跟踪监测方案，项目建设海上风电场，建设单位已统筹考虑国际通信和海上风电产业发展的空间需求。

本项目在鲁东海域专属经济区开发海上风电，符合大陆架和专属经济区的要求。

(2)海上风电布局的符合性

海上风电场布局应避免对航空线路、船舶航路、锚地和海底通信光缆相关设施造成干扰，为船舶穿越所在海域及武器平台发射保留通道，确保渔船前往作业海域不受阻。促进海上风电与海洋油气开发、深远海养殖综合开发利用。

符合性分析：本项目风电场位于山东半岛南部的专属经济区范围，风电场址不占用船舶航路锚地和海底通信光缆，不影响航空线路。风机行间距 810m(3.05D)~908m(3.4D)，列间距 2330(8.76D)~2645m(9.94D)，不影响渔船穿越。建设单位同中海石油(中国)有限公司天津分公司签订了深远海风电试点项目和油气勘探开发互不影响及权益保障协议(见附件)，不影响中海油在重叠区域的油气勘探开发工作。

综上所述，项目风电场布局符合《全国国土空间规划纲要(2021-2035 年)》的相关要求。

9.1.2 与《自然资源部办公厅关于印发 2024 年度专属经济区和大陆架可开发利用区域选划成果的函》的符合性分析

根据《自然资源部办公厅关于印发 2024 年度专属经济区和大陆架可开发利用区域

选划成果的函》(自然资办(2024)1996 号)的选划结果,鲁东海域可开发利用区域为风电用海区,面积 399.7km^2 ,项目与鲁东海域可开发利用区域的位置关图见图 9.1-1。

(1)空间准入要求符合性

鲁东海域选划区域的空间准入要求:“该区域主导功能为海上风电场及其配套设施建设,兼容功能为深远海养殖(含海洋牧场等),其他用海经论证评估不影响海上风电的基本功能的前提下,可适度兼容”。

本项目为海上风电项目,风电场址位于选划区域范围,符合选划鲁东海域选划区域的主导功能要求。

(2)与开发建设要求的符合性分析见表 9.1-1。

表 9.1-1 开发建设要求的符合性分析

序号	开发建设要求	符合性分析	结论
一	区域附近习惯性航路较为密集,项目实施前应与海事部门做好沟通	区域距离青岛-长江口习惯性航路较近,项目通航安全评估论证报告已通过评审,取得山东海事局的支持意见	符合
二	区域压占探矿权,项目实施前应与矿权人做好利益相关者协调	区域压占中海石油(中国)有限公司的探矿权,已取得中海石油(中国)有限公司天津分公司的协调意见,支持本项目建设	符合
三	区域外西南海域为国际光缆保护区,应采取有效措施及其国际海缆保护	本项目海缆穿越中国联通的国际光缆,已制定交越方案和保护措施,建设单位已同联通青岛公司达成协议	符合
四	区域外东部海域为中韩渔业暂定措施水域,开发活动应在划定范围内进行	本项目距离中韩渔业暂定措施水域 18.9km ,风电场全部位于划定区域范围	符合
五	项目实施前应与军方做好沟通,避免影响国防安全和军事活动	建设单位已征求北部战区海、陆、空等军事意见,项目场址所在区域影响因素清晰,专门编制军民融合方案,制定影响消减措施,预置军事功能及预留建设接口。	符合
六	区域位于黄海冷水团范围内,建议与深海养殖融合发展	本项目为海上风电项目,后期考虑与深远海的渔业养殖进行融合	符合
七	合理安排施工时间,避开鲈鱼等海洋生物的繁殖期、洄游期等敏感时	鲈鱼主要产卵洄游期为 5-7 月,施工期打桩等大噪声作业避开主要敏感时期	符合
八	节约集约用海,科学设计海上风电场平面布局,统筹考虑海上风电输送路由管廊和登陆点规划	本项目风电场布置经过多个方案比选,考虑集约布置,本项目送出海缆符合山东半岛南部青岛以东海域海底电缆廊道规划研究,已通常考虑后期该区域的风电项目统一送出和共用登陆点	符合

(3) 与管控要求的符合性分析见表 9.1-2。

表 9.1-2 管控要求的符合性分析

序号	管控要求	符合性分析	结论
一	严格限制改变海域自然属性和构筑物用海规模，降低对海洋生态环境的影响	本项目风机、换流站、生活辅助平台、综合服务平台的用海方式为透水构筑物，对海域的自然属性影响较小	符合
二	加强用海论证，坚持集约节约用海，推广“风电+”等综合利用模式，海缆登陆要做好自然岸线的保护	本项目风电场布置经过多个方案比选，已考虑集约布置，根据远期规模，考虑与深远海渔业共同开发。项目登陆段海缆采用定向钻的施工方式，避免对自然岸线的破坏	符合
三	严格按照批准的用海范围和方式开展建设活动	建设单位应严格按照批准的用海范围和方式进行项目建设	符合
四	统筹考虑军事安全和军民融合	本项目专门编制军民融合方案，制定影响消减措施，预置军事功能及预留建设接口	符合
五	加强海洋生态跟踪监测和灾害地质预警监测	本项目已制定生态跟踪监测方案和防灾应急措施	符合

综上所述，本项目在选划场址内开展海上风电场建设，符合规划区域的空间准入要求、开发建设和管控要求，项目建设符合《自然资源部办公厅关于印发 2024 年度专属经济区和大陆架可开发利用区域选划成果的函》（自然资办〔2024〕1996 号）。

9.1.3 与《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》符合性分析

《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》提出“构筑和谐多元海洋空间”——优化海洋开发保护格局。

优化海洋开发利用空间。坚持生态用海、集约用海原则，优化海洋开发利用空间格局。统筹考虑海上风电、海上光伏发展需求，预留用海空间，支持渤中、半岛北、半岛南三大海上风电基地建设，引导新增海上风电向深远海布局。

构建现代能源保障体系。加快推进能源线网建设。持续扩大“外电入鲁”，优化电网结构，强化智能电网建设，提升既有直流通道送电能力和可再生能源比例，加快推动陇东至山东特高压输电通道建设，充分预留新增特高压输电通道和海上风电登陆输电通道的建设条件。加快规划建设新型能源体系。深入推进能源革命。因地制宜综合利用海域、沿海滩涂地、废弃坑塘水面、采煤沉陷区等发展光伏发电，重点打造鲁西南采煤沉陷区及黄河故道、鲁北盐碱滩涂地等规模化风电光伏基地。科学布局陆上风电，加快推进海上风电基地建设，推动“风光同场”海上清洁能源开发，打造千万千瓦级深远海海上风电基地。

本项目送出海缆穿越青岛市西海岸新区南部海域，属于海洋开发空间利用区域，

风电场区位于深远海海域，不在省管海域范围内。本项目送出海缆不占用《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》中的海洋生态保护空间和海洋生态保护红线，符合《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》中“引导新增海上风电向深远海布局”的要求。

本项目属于深水海上风电开发项目，项目的建设和营运对于减少石化资源的消耗、推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，实现绿色发展，可以利用良好的风能资源，向电网提供清洁的可再生能源，有利于提高海上风电技术水平。本项目不仅是山东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，促进地区经济的持续发展，项目社会效益显著。同时本项目采用海上风电柔性直流送出方案，将会为后续深远海海上风电建设提供重要的示范意义。

本项目海底电缆全程埋设于海底，用海方式不会改变海域的自然属性，不会对保护区水文动力环境产生影响。

综上，项目建设符合《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》的要求。

9.1.4 与《青岛市国土空间总体规划（2021-2035 年）》符合性分析

根据《青岛市国土空间总体规划（2021-2035 年）》（青政字〔2025〕16 号），本项目风电场不在该规划范围内，送出海缆穿越“利根湾特殊用海区”、“唐岛湾外交通运输用海区”、“薛家岛南渔业用海区”、“薛家岛游憩用海区”、“青岛港交通运输用海区”、“灵山岛特殊用海区”、“灵山岛东南渔业用海区”。

表 9.1-3 青岛市海域国土空间总体规划分区及管控符合性分析

分区名称	管控要求			符合性分析	是否符合
	空间准入	利用方式	保护要求		
利根湾特殊海区	本区域的基本功能为特殊用海，为禁航区。执行《中华人民共和国海上交通安全法》相关规定，用海活动需征求相关部门意见。在本功能未利用时允许兼容旅游、渔业开发利用现状。	禁止新增填海造地和新增围海。允许适度改变海域自然属性的非透水构筑物、透水构筑物等用海方式。集约节约利用海域空间。	保护海域生态环境及渔业资源。严格控制水下施工用海活动。加强渔业资源养护，严格执行休渔制度。加强海域污染防治和监测，避免对毗邻生态保护区产生不良影响。	本项目送出海缆穿越“利根湾特殊用海区”，送出海缆全程埋设于海底，不会改变海域的自然属性。电缆位于海底，可与水体养殖等其它水体用海活动相容，符合集约节约的用海原则。工程运营期不会对所在功能区以及周边保护区水质产生影响，仅施工阶段产生的悬沙造成短暂影响，随之施工结束影响随之消失，不会对所在功能区和周边保护区水质产生长久影响。根据本功能区的空间准入要求，本项目用海活动需取得相关部门同意项目建设的意见后方可进行。	符合
唐岛湾外交通运输用海区	本区域的基本功能为交通运输用海。保障航道、锚地水域功能。禁止实施有碍航行、锚泊安全的活动。	禁止建设与航道、锚地功能不符的永久性设施。	保护海域生态环境、航道锚地区水深地形条件，防止航运区淤积、防治船舶污染、海上溢油等污染事故。加强海域污染防治和监测，避免对毗邻生态保护区产生不良影响。	本项目送出海缆全程埋设于海底，且距离最近锚地有一定安全距离，不会影响航道通航、锚泊安全等活动，符合“空间准入”要求；本项目送出工程施工完成后将全程埋设于海底，不影响航道、锚地功能，不属于“与航道、锚地功能不符的永久性设施”，符合“利用方式”要求；海缆施工船舶生活污水、含油废水妥善收集、不向海域排放，海缆施工产生的悬沙影响是暂时的，随着施工的结束影响随之消失，不会破坏海域生态环境，施工方应做好海上溢油应急处置工作，禁止对邻近生态保护区产生影响。海底电缆运营期不会改变所在功能区的水深地形条件，无污染物产生。综上，项目用海不会损害交通运输用海区的用海功能。	符合
薛家岛南渔业用海区	本区域的基本功能为渔业用海，兼容游憩用海，控制养殖规模和捕捞强度。在船舶习惯航路和依法设置的航通、锚地及两侧缓冲水域	禁止新增填海造地和新增围海。允许适度改变海域自然属性的非透水构筑物、透水构筑物等用海方式。集约节约利用海域空间，支持开展底播、人工	保护海域生态环境和传统渔业资源。合理控制海水养殖密度。本海域内的无居民海岛按照无居民海岛清单进行管理。加强海洋环境质量监测和综合治理。	本项目送出工程为海底电缆管道建设，电缆全程埋设于海底，不会对水体养殖产生影响，不会损害渔业用海区的用海功能。施工期海缆敷设产生的悬沙会对养殖区水质产生短暂影响，对影响到的养殖户给与补偿，施工结束后影响随之消失，不会对水质产生长久影响。	符合

分区名称	管控要求			符合性分析	是否符合
	空间准入	利用方式	保护要求		
薛家岛游憩用海区	禁止养殖。	鱼礁、水面和平台设施养殖（渔业设施或平台等构筑物设施）。鼓励立体综合用海，有序发展海洋牧场，大力发展休闲渔业。			
	本区域的基本功能为游憩用海。保障旅游观光、休闲娱乐、体育运动等海上娱乐活动用海。合理控制旅游开发强度，保障旅游基础设施建设。在基本功能未利用时允许兼容渔业功能，不得扩大现有规模。山东崂山国家级风景名胜区内有关的活动遵守风景名胜区管理规定。	禁止新增填海造地和新增围海。允许适度改变海域自然属性的非透水构筑物、透水构筑物等用海方式。集约节约利用海域空间。	保护海域生态环境、自然岸线、竹岔岛自然岸线及海底电缆管道。本海域内的无居民海岛按照无居民海岛清单进行管理。妥善处理有居民海岛生活垃圾。加强海域污染防治和监测，避免对毗邻生态保护区产生不良影响。	本项目送出工程为海底电缆管道建设，不会改变所在功能区海域自然属性；海缆全程埋设于海底，与水体娱乐用海活动相容，符合集约节约用海原则；工程运营期不会对所在功能区以及周边保护区水质产生影响，仅施工阶段产生的悬沙造成短暂影响，随之施工结束影响随之消失，不会对所在功能区和周边保护区水质产生长久影响。	符合
青岛港交通运输用海区	本区域的基本功能为交通运输用海，兼容骨灰倾倒活动和锚地功能，维护航行安全。禁止在港口、航道、锚地进行与航运无关、妨碍航行安全的活动，严禁在规划港口航运区内建设其他永久性设施。山东崂山国家级风景名胜区内有关的活动遵守风景名胜区管理规定。	允许适度改变海域自然属性的非透水构筑物、透水性构筑物等用海方式。禁止建设与航道、锚地功能不符合的水永久性设施。支持符合港口转型升级规划要求的货运码头改造升级为旅游码头。	保护海域生态环境、航道锚地、自然岸线重要渔业资源及海底电缆管道，维护港区、航道、锚地水生态环境、加强海洋环境监测。	本项目送出工程为海底电缆管道建设，且距离最近锚地有一定安全距离，不会影响航道通航、锚泊安全等活动，符合“空间准入”要求；本项目送出工程施工完成后将全程埋设于海底，不影响航道、锚地功能，不属于“与航道、锚地功能不符的永久性设施”，符合“利用方式”要求；海缆施工船舶生活污水、含油废水妥善收集、不向海域排放，海缆施工产生的悬沙影响是暂时的，随着施工的结束影响随之消失，不会破坏海域生态环境，施工方应做好海上溢油应急处置工作，禁止对邻近生态保护区产生影响。海底电缆运营期不会改变所在功能区的水深地形条件，无污染物产生。综上，项目用海不会损害交通运输用海区的用	符合

分区名称	管控要求			符合性分析	是否符合
	空间准入	利用方式	保护要求		
	风景名胜区管理规定。边界区域海域行政界线及海域管理按照国家、省有关文件执行。			海功能。	
灵山岛特殊海区	本区域的基本功能为特殊用海，为禁航区。执行《中华人民共和国海上交通安全法》相关规定，用海活动需征求相关部门意见。在基本功能未利用时允许兼容旅游、渔业开发利用现状。	禁止新增填海造地和新增围海。允许适度改变海域自然属性的非透水构筑物、透水构筑物等用海方式，集约节约利用海域空间。	保护海域生态环境、渔业资源、灵山岛自然岸线及海底电缆管道。妥善处理有居民海岛生活垃圾。加强海洋环境监测。	本项目送出海缆穿越“灵山岛特殊用海区”，送出海缆为海底电缆管道建设，全程埋设于海底，不会改变海域的自然属性。电缆位于海底，可与水体养殖等其它用海活动相容，符合集约节约的用海原则，工程运营期不会对所在功能区水质产生影响，仅施工阶段产生的悬沙会造成短暂影响，随施工结束影响随之消失，不会对所在功能区水质产生长久影响。根据本功能区空间准入要求，本项目用海活动需取得相关部门同意项目建设的意见后方可进行。	符合
灵岛南渔业海区	本区域的基本功能为渔业用海。边界区域海域行政界线及海域管理按照国家、省有关文件执行。	禁止新增填海造地和新增围海。集约节约利用海域空间，发展休闲渔业。	保护海域生态环境及渔业资源。严格控制水下施工用海活动。加强渔业资源养护，严格执行休渔制度。加强海域污染防治和监测，避免对毗邻生态保护区产生不良影响。	本项目送出工程为海底电缆管道建设，电缆全程埋设于海底，符合集约节约利用海域空间的原则，不会损害渔业用海区的用海功能。施工期海缆敷设产生的悬沙会对养殖区水质产生短暂影响，对影响到的养殖户给与补偿，施工结束后影响随之消失，不会对水质产生长久影响。	符合

综上，本项目送出工程海底电缆建设符合《青岛市国土空间总体规划（2021-2035 年）》。

9.1.5 与《青岛西海岸新区国土空间分区规划（2021-2035 年）》（征求意见稿）符合性分析

《青岛西海岸新区国土空间分区规划（2021-2035 年）》提出国土空间的总体格局：坚守底线，按照国家要求统筹划定“永久基本农田、生态保护红线、城镇开发边界”三条控制线。

永久基本农田：优先划定耕地和永久基本农田。坚持耕地和永久基本农田“应保尽保、应划尽划”，划定永久基本农田面积 427.68 平方公里(64.15 万亩)。

生态保护红线：按照“化解矛盾冲突、规模数量稳定、空间布局优化”的原则，严守生态保护红线管理要求，划定生态保护红线面积 702.13 平方公里。其中陆域生态保护红线面积 161.06 平方公里，海洋生态保护红线面积 541.07 平方公里。

城镇开发边界：严格避让永久基本农田和生态保护红线，合理划定城镇开发边界面积 496.33 平方公里。

本项目风电场不在该规划范围内。根据《关于青岛西海岸新区国土空间规划“三区三线”划定成果的公告》，本项目送出海缆不占用永久基本农田和生态保护红线，见图 9.1-4。本项目的开发将有效提高风能资源的利用，有利于提高海上风电技术水平，为下一步山东省海上风电规模化开发提供宝贵经验和示范。

综上，本项目建设与《青岛西海岸新区国土空间分区规划（2021-2035 年）》相符。

9.2 与生态保护红线及“三线一单”的符合性分析

9.2.1 与山东省“三区三线”划定成果的符合性分析

根据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142 号），生态保护红线是国土空间规划中的重要管控边界，生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许上述文件中列举的 10 类对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

通过将本项目与“三区三线”成果中的生态保护红线叠加分析，本项目用海不占用农业空间，生态空间及城镇空间，不占用永久基本农田。本项目送出

海缆距离最近的生态红线为“西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线”约 115m。周边海洋保护区见图 9.2-1。

因此，项目建设符合生态保护红线的管理要求。

表 9.2-1 本项目与“三区三线”中生态保护红线区位置关系表

序号	名称	保护目标	方位	最近距离 (km)
1	青岛灵山湾近岸沙滩海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	近岸沙滩海岸	南侧	0.52
2	西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线	重要滩涂及浅海水域生态环境	南侧	0.12
3	西海岸灵山岛特别保护海岛生态保护红线	特别保护海岛及其生态环境	南侧	7.1
4	西海岸新区海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	海岸线	北侧	1.1
5	唐家湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线	重要滩涂及浅海水域生态环境	北侧	2.7
6	青岛大公岛特别保护海岛生态红线	特别保护海岛	北侧	10.7
7	青岛文昌鱼珍稀濒危物种分布生态红线	珍稀濒危物种	北侧	10.6

9.2.2 与《山东省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》符合性分析

项目位于山东省青岛市南侧海域，依据《山东省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》（鲁政〔2020〕269号）。全省海域划定环境管控单元 428 个，其中优先保护单元 160 个，主要涵盖海洋自然保护地、海洋水产种质资源保护区等重要海洋生态功能区、海洋生态敏感区和脆弱区、海洋生态保护红线。重点管控单元 145 个，主要涵盖工业或城镇建设用海区、港口区、倾废区、排污混合区、围填海区等开发利用强度较高的海域，以及水动力条件较差、水质超标、生态破坏较重和存在重大风险源的海域。一般管控单元 123 个，主要涵盖海域优先保护单元、重点管控单元以外的区域。

本项目海上风电场区不在《山东省“三线一单”生态环境分区管控方案》的实施范围内；525kV 送出海缆穿越胶州湾近海港航运区重点管控单元、凤凰岛海洋文化旅游娱乐区重点管控单元、黄岛-胶南盐业养殖区一般管控单元。项目用海不会改变海域自然属性。本项目海底线缆和风机桩基在施工期间除短期增加的悬浮泥沙外，无污染物直接入海，不会影响海洋生态环境质量，符合重

点管控单元和一般管控单元的管控要求。

(1)生态保护红线符合性

本项目风电场不在山东省省管海域范围内，525kV 送出海缆不占用山东省“三区三线”划定成果中的生态保护红线，符合生态保护红线的管控要求。

(2)环境质量底线符合性

本项目位于深远海海域，海洋环境质量现状受人为活动影响较少，海洋环境质量现状较好。本项目风机基础为导管架结构，为透水构筑物，海缆采用海底电缆管道用海方式，不会对用海区域水文动力环境、地形地貌与冲淤环境产生明显影响。施工期及运营期产生的少量污染物均有合理的处置措施，不排海，不会对海水水质和沉积物质量造成不利影响，不会对所在海域生态环境造成明显不利影响。综上，项目建设符合环境质量底线要求。

(3)资源利用上线符合性

本项目的风机场及海缆位于海域范围内，不占用土地资源。项目利用风能发电，属清洁能源类项目，不属于高耗能、高耗电、高耗水行业。项目的建设利于海上风能资源的有效利用。因此，本项目建设符合资源利用上限要求，

经分析，项目建设与《山东省人民政府关于实施“三线一单”生态环境分区管控的意见》的相关管控要求相符。

9.2.3 与《青岛市“三线一单”生态环境分区管控方案》符合性分析

根据青岛市“三线一单”划定成果，本项目风电场区不在《青岛市“三线一单”生态环境分区管控方案》的实施范围内；525kV 送出海缆穿越胶州湾近海港航运区重点管控单元、凤凰岛海洋文化旅游娱乐区重点管控单元、黄岛-胶南盐业养殖区一般管控单元，具体分析见表 9.2-2。

本项目为海上风电项目，不属于高耗能、高污染、资源消耗型项目，项目施工期与运行期污染物排放较少，施工期和运行期在采取生态环境保护措施后对环境影响较小，不会降低区域生态功能。本项目不属于《青岛市环境管控单元生态环境准入清单》（2023 年版）中禁止开发项目，符合《青岛市“三线一单”生态环境分区管控方案》中的管控要求。

表 9.2-2 本項目與生態環境准入清單的符合性分析

環境管轄單元名稱	管轄單元分類	空間布局約束	污染排放管轄	風險防範管轄	資源開發效率要求	相符性分析
膠州灣近海港口航運區	重點管轄單元	1. 禁止盲目新增高污染、高耗能工業項目用海。 2. 膠州灣海域內禁止圍填海、采挖砂石（因清淤和航道、河道疏浚需要除外），禁止從事筑池、網箱、浮筏等設施養殖以及建設人工魚礁。	落實船舶水污染接收、轉運、處置聯單制度。完善船舶污染廢棄物收集、儲存、處理處置系統。	加強對港區突發環境事件風險防範，提升船舶與港口碼頭污染事故應急處置能力，針對可能污染近岸海域的海上溢油事故，強化應急能力建設，建立應急響應區域聯動機制。	/	本項目 525kV 送出海纜穿越膠州灣近海港口航運區，不屬於空間布局約束禁止的高污染、高耗能工業項目用海、建設內容不設計禁止的圍填海、采挖砂石，不屬於筑池、網箱、浮筏等設施養殖以及建設人工魚礁，與空間布局約束相符；施工期船舶污水經收集後委託有能力的單位處置，與污染排放管轄要求相符；本項目施工船舶和運維船舶碰撞可能發生溢油事故，將編制突發環境時間應急預案，配備足夠應急物資，減小溢油事故風險和對環境的不利影響，與環境風險防範要求相符。
鳳凰島海洋文化娛樂區	重點管轄單元	在海上旅遊活動區域內禁止圍填海，嚴格限制改變海域自然屬性。保護自然岸線，嚴格控制岸線附近的景區建設工程。	1. 合理控制旅遊開發強度，嚴格控制陸源污染。 2. 旅遊餐飲業廢水應強化達標排放。 3. 在旅遊開發活動中採取有效措施，保護區域環境，防止污染和環境質量下降。	落實旅遊區域防護措施，做好各種海洋災害和突發事故下的應急預案和措施。	注重保護海岸自然景觀和沙灘資源，禁止非公益性設施占用公共旅遊資源，修復主要城鎮周邊海岸	本項目 525kV 送出海纜穿越鳳凰島海洋文化旅遊娛樂區，不涉及圍填海，改變海域自然屬性，不會破壞或占用自然岸線，與空間布局約束要求相符；施工期產生的各項污染採取相應的防治和處理措施，不會對環境產生不利影響，與污染排放管轄要求相符，本項目施工船舶和運維船舶碰撞可能發生溢油事故，將編制突發環境時間應急預案，配備足夠應急物資，減小溢油事故風險和對環境的不利影響，與環境風險防範要求相符；本項目不占用鳳凰島海洋文化

黄岛-胶南盐业养殖区	一般管控单元	<p>1.禁止破坏性捕捞方式，合理有序开展捕捞作业；严格执行禁渔期、禁渔区制度以及渔具渔法规定。</p> <p>2.对可能会影响渔业资源发育幼、索饵、产卵的开发活动加强管控。</p>	<p>开放式养殖用海应注重控制养殖密度和养殖方式，减少养殖污染，推广生态养殖。</p>	/	<p>开展增殖放流活动，保护和恢复水产种质资源。</p>	<p>本项目525kV送出海缆穿越黄岛-胶南盐业养殖区，不会在该区域进行捕捞活动，施工产生的悬浮物将造成一定量的渔业资源损失，在施工期尽可能避免让渔业敏感期，进行渔业资源补偿和增殖放流的前提下对渔业资源的影响较小，与空间布局约束要求相符；本项目不属于养殖活动，与污染物排放管控要求相符；运行期将开展增殖放流对渔业资源进行补偿，与资源开发效率要求相符。</p>	<p>旅游资源。</p>	<p>旅游娱乐区海岸自然景观和沙滩资源，与资源开发效率要求相符。</p>
------------	--------	---	---	---	------------------------------	---	--------------	--------------------------------------

9.3 与生态环境保护相关规划的符合性分析

9.3.1 与《“十四五”海洋生态环境保护规划》符合性分析

2022 年发布的《“十四五”海洋生态环境保护规划》提出：“强化精准治污，以近岸海湾、河口为重点，分区分类实施陆海污染源头治理，深入打好重点海域综合治理攻坚战，陆海统筹持续改善近岸海域环境质量；保护修复并举，着力构建海洋生物多样性保护网络，恢复修复典型海洋生态系统，强化海洋生态监测监管，提升海洋生态系统质量和稳定性；要有效应对海洋突发环境事件和生态灾害，加强海洋环境风险源头防范，全面摸排重大海洋环境风险源，加强应急响应能力建设；坚持综合治理，强化“水清滩净、鱼鸥翔集、人海和谐”的美丽海湾示范建设和长效监管，切实解决老百姓反映强烈的突出海洋生态环境问题；推进海洋应对气候变化的响应监测与评估，有效发挥海洋固碳作用，提升海洋适应气候变化的韧性。

本项目为新能源开发工程，项目建设是推动我国能源清洁化的重要举措，积极发展海上风电对降低碳排放具有显著作用，是实现我国碳达峰、碳中和目标的有效手段。另外，工程施工期和运营期产生的各类污染物处置均符合国家或地方法规和标准的要求。项目在运营阶段建设单位对工程周边海域的海水水质环境、海洋沉积物环境和海洋生态环境定期进行监测，同时制定溢油应急计划加强海上溢油风险防范。

综上，项目建设与《“十四五”海洋生态环境保护规划》相符合。

9.3.2 与《山东省“十四五”海洋生态环境保护规划（修订版）》符合性分析

2021 年 10 月 9 日，山东省生态环境委员会办公室印发了《山东省“十四五”海洋生态环境保护规划》（鲁环委办〔2021〕35 号），规划提出的主要目标和指标为：到 2025 年，近岸海域环境质量持续改善，优良水质面积比例不低于 92%，主要入海河流国控断面实现消劣。海洋生态破坏趋势得到根本遏制，典型海洋生态系统和生物多样性得到有效保护，海洋生态系统质量和稳定性稳步提升，大陆自然岸线保有率不低于 35%。亲海空间环境质量和公益服务品质明显增强。海洋生态环境监管能力短板加快补齐，海洋环境污染事故应急响应处置能力显

著提升，陆海统筹的生态环境治理制度不断健全，海洋生态环境治理体系更加完善。

规划还提出了“防控环境风险，建设安全海洋”的具体要求，坚持预防为主，摸排重大海洋环境风险源，构建以政府为主导、企业为主体的环境风险防控体系，加强预警和应急能力建设，推动实施海洋生态环境损害赔偿，形成突发事件协同处置合力，有效降低海洋生态环境风险，保障沿海居民生命财产安全和海洋生态环境安全。以沿海石化、危化品码头、石油平台及运输管道、海上船舶、核电等领域为重点，建设污染物泄漏预警预报设施，完善应急导流槽、事故调蓄池、应急闸坝、消防事故水池等事故排水收集截留设施。强化海洋环境风险及生态灾害预警。建立海洋环境风险动态监管平台和监视监测系统，实现全天候、立体化风险监视监控。配合建立国家—海区—沿海省市—涉海企事业单位的突发海洋环境事件应急响应体系和信息系统，统筹调配企业应急资源，基本形成覆盖重点海域的快速应急响应圈。优化各级海洋环境突发事件应急能力建设布局，提升人才队伍、实验室、应急船舶、应急装备、物资保障、监测等应急能力。根据工作需要，配备海洋环境应急监测监视船舶，提升海洋生态环境监测能力。加强沿岸应急场地和接收点建设，提高应急回收物陆上接收处置能力。

本项目送出海底电缆穿越青岛南部海域，未占用自然岸线、海涂和岛礁海洋空间资源。项目运营期对海洋水质和海洋沉积物基本无影响，针对本项目施工期可能存在的溢油环境风险，建设单位提出了一系列的溢油事故防范与应急措施（详见第 6 章），建立本项目的原油泄漏风险监测与预警系统，根据溢油应急能力一级防备目标配备了溢油应急物资设备和溢油应急船舶等，编制完成了工程运行可能发生的各项事故风险应急预案，并要求与地方政府和海事环保等部门进行衔接。因此本项目符合《山东省“十四五”海洋生态环境保护规划（修订版）》。

9.3.3 与《青岛市“十四五”生态环境保护规划》符合性分析

2021 年 9 月青岛市人民政府印发的《青岛市“十四五”生态环境保护规划》中提出：以美丽海湾保护与建设为统领，系统谋划陆、岸、海治理任务，推动近岸海域生态环境持续改善，严守海洋生物生态休养生息底线，防范化解海洋环境风险，建设“碧海蓝天，洁净沙滩”美丽海洋，提升公众临海亲海获得感

和幸福感。强化海洋污染防治。

1.全面清理整治海水养殖污染。严格海水养殖空间与容量管控，督促依法依规开展海水养殖环境影响评价，实施养殖企业废水达标处理试点。开展渔业养殖环境和退水口监视监测监督管理，推广应用滩涂池塘养殖尾水的梯度利用，2025 年年底前，规模以上水产养殖尾水实现达标排放。加强养殖生产中苗种、药物、饲料使用及质量等监督管理，严禁在水产养殖中使用国家禁用兽药及其化合物，逐步取缔滩涂和入湾流域内的非法养殖和不符合分区管控要求的人工投饵养殖。开展生态养殖与综合养殖，综合养殖模式选取在生态上具有互补性的养殖品种，提高资源利用率，减少环境有机污染。根据滩涂底质条件、水质条件，科学规划养殖布局，扩大藻类栽培面积，对养殖海区进行“绿化”；探索水产养殖容量管理和布局景观化，推动深海养殖。

2.加强船舶与港口污染控制。推进智慧港口建设。规范拆船行为，禁止冲滩拆解。加强对进出管辖海域国际航行船舶压载水管理的监督检查，船舶在管辖海域向海洋排放的船舶垃圾、生活污水、含油污水、含有毒有害物质污水、废气等污染物以及压载水，应当符合法律、行政法规、国家缔结或者参加的国际条约以及相关标准的要求，船舶应当将不符合上述排放要求的污染物排入港口接收设施或者由船舶污染物接收单位接收。2025 年年底前，纳入名录管理的渔港污水和垃圾收集处置率达到 100%。三级以下渔港及渔船临时停泊点全部纳入常态化环境监管。

3.推进沿岸及海上垃圾污染防治。加强海上倾倒区管控，禁止在海上处置放射性废弃物或者其他放射性物质，严格控制具有高度持久性和毒性的合成有机化合物排放入海。合理安排倾倒频率，避免集中、大量倾倒，避免鱼虾繁殖期进行倾倒，确保倾倒区周围水体能自净和恢复。建立全程监控系统，对倾倒活动进行全程监管。港口、海岛配备专门的垃圾收集设施，建立近岸海域垃圾定期清理制度。探索开展海洋塑料垃圾和微塑料污染现状调查及海洋生态环境影响评估。

4.加强监管和应急处置能力建设。强化船舶燃油质量监管，严肃查处违规使用劣质燃油行为。强化应急能力建设，完善联动机制，鼓励企业增加围油栏、吸油毡、收油机等应急物资储备，加强应急队伍培训和实战演练。定期更新和维护黄岛油港区、大港港区、董家口港区溢油应急设备库装备和设施，对装卸

石油或危险化学品的港口、码头和装卸站等重点风险源定期开展应急演练。

项目用海对周边海域的水动力环境、地形地貌与冲淤环境和生态环境影响很小，不会对所在海域产生严重影响，不存在潜在的、重大的安全和环境风险，能确保生态功能不降低。本项目为清洁能源项目，建设完成有利于调整青岛市能源结构，实现经济社会的可持续发展。

因此，本项目的建设实施符合《青岛市“十四五”生态环境保护规划》。

9.3.4 与《山东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》（征求意见稿）符合性分析

根据《山东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》（征求意见稿），山东省管海域共划分为“生态保护区”、“生态控制区”和“海洋发展区”三类一级区；“生态保护区”、“生态控制区”、“渔业用海区”、“交通运输用海区”、“工矿通信用海区”、“游憩用海区”和“特殊用海区”七类二级区。本项目送出海缆穿越“交通运输用海区”、“渔业用海区”、“游憩用海区”，位置关系见图 9.3-1。

与各功能分区的符合性分析如下：

1) 交通运输用海区

本项目送出工程为海底电缆管道建设，且距离最近锚地有一定安全距离，不会影响航道通航、锚泊安全等活动，且海底电缆施工完成后将全程埋设于海底，不影响航道、锚地功能；海缆施工船舶生活污水、含油废水妥善收集、不向海域排放，海缆施工产生的悬沙影响是暂时的，随着施工结束影响随之消失，不会破坏海域生态环境，施工方应做好海上溢油应急处置工作，禁止对邻近生态保护区产生影响。海底电缆营运期不会改变所在功能区的水深地形条件，无污染物产生。综上，项目用海不会损害交通运输用海区的用海功能。

2) 渔业用海区

本项目送出工程为海底电缆管道建设，电缆全程埋设于海底，符合集约节约利用海域空间的原则，不会损害渔业用海区的用海功能。施工期海缆敷设产生悬沙会对养殖区水质产生短暂影响，对影响到的养殖户给与补偿，施工结束后影响随之消失，不会对水质产生长期影响。项目建设完成后将采取增殖放流等生态补偿措施恢复海洋生态环境。

3) 游憩用海区

本项目送出工程为海底电缆管道建设，不会改变所在功能区的海域自然属

性；海缆全程埋设于海底，与水体娱乐用海活动相兼容，符合集约节约用海原则；工程运营期不会对所在功能区以及周边保护区水质产生影响，仅施工阶段产生的悬沙造成短暂影响，随之施工结束影响随之消失，不会对所在功能区和周边保护区水质产生长期影响。

综上，本项目送出工程海缆建设符合《山东省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》（征求意见稿）。

9.3.5 与《青岛市国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》符合性分析

根据《青岛市国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》，以青岛全域生态安全战略格局为基础，以生态保护红线、自然保护地、生态敏感区、生态受损区等为重点。本项目领海外部界限以内±525kV 海缆穿越“海域生态恢复区”和“海湾生态修复区”，具体分析见表 9.3-1。本项目送出海缆与各生态修复分区位置关系见图 9.3-2。

表 9.3-1 生态修复区符合性分析表

修复分区	修复要求	符合性分析	是否符合
灵山湾生态修复区	完善沿海防护林体系，提升岛屿生态功能。	本项目送出海缆不穿越灵山湾生态修复区，不会破坏该岛屿的生态功能。	符合
海域生态恢复区	加强生态空间整体保护，提升海洋生物多样性，遏制渔业资源衰退。	本项目敷设海缆施工时间较短，随着施工结束悬沙影响逐渐消失，不会对保护区产生长期影响。海缆敷设施工时，应避免主要经济鱼类的产卵盛期；在生态保护区附近海域施工时，应考虑降低海缆开挖速率、选择海流较缓，避开大潮时施工，最大可能降低悬沙影响范围。对海洋生态环境造成的损失，应采取生态补偿的措施予以修复。海缆施工完成后将全程埋设于海底，对各生态修复分区无影响。登陆段采用定向钻方式登陆，不会破坏岸线原有结构。项目建设后会采取人工增殖放流等措施进行生态资源恢复。	符合

本项目送出海缆在近海深水区域敷设采用专业海底电缆敷设船配备埋设机，登陆段采用定向钻的方式登陆。海缆施工过程中会产生大量悬沙，对周边水域海洋生态产生一定影响，且海缆沟开挖会造成一定数量底栖生物资源的损失。海缆敷设施工时，应避免主要经济鱼类的产卵盛期；在生态保护区附近海域施工时，应考虑降低海缆开挖速率、选择海流较缓，避开大潮时施工，最大可能降低悬沙影响范围。对海洋生态环境造成的损失，本项目将采取生态补偿等措

施予以修复。海缆施工完成后将全程埋设于海底，对各生态修复分区无影响。登陆段采用定向钻方式登陆，不会破坏岸线原有结构。项目建设后会采取人工增殖放流等措施进行生态资源恢复。

综上，本项目符合《青岛市国土空间生态修复规划（2021-2035 年）》。

9.4 项目与产业政策及其他相关规划的符合分析

9.4.1 与《产业结构调整指导目录（2024 年本）》符合性分析

项目建设海上风电场，为清洁能源项目，装机容量为 1400MW，属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，第一类“鼓励类”中“五、新能源”目录中“1.风力发电技术与应用：15MW 等级及以上海上风电机组技术开发与设备制造，漂浮式海上风电技术，高原、山区风电场建设与设备生产制造，海上风电场建设与设备及海底电缆制造，稀土永磁材料在风力发电机中应用”，为鼓励类项目。

因此，项目建设符合国家产业政策要求。

9.4.2 与《“十四五”现代能源体系规划》的符合性分析

2022 年 1 月，国家发改委、国家能源局印发的《“十四五”现代能源体系规划》（以下简称《规划》）的发展目标为“展望 2035 年，能源高质量发展取得决定性进展，基本建成现代能源体系。非化石能源消费比重在 2030 年达到 25%的基础上进一步大幅提高，可再生能源发电成为主体电源，新型电力系统建设取得实质性成效，碳排放总量达峰后稳中有降”。

《规划》提出“大力发展非石化能源——加快发展风电、太阳能发电”。全面推进风电和太阳能发电大规模开发和高质量发展，优先就地就近开发利用，加快负荷中心及周边地区分散式风电和分布式光伏建设，推广应用低风速风电技术。在风能和太阳能资源禀赋较好、建设条件优越、具备持续整装开发条件、符合区域生态环境保护等要求的地区，有序推进风电和光伏发电集中式开发。开展风电、光伏发电制氢示范。鼓励建设海上风电基地，推进海上风电向深水远岸区域布局。积极发展太阳能热发电。

表 9.4-1 《“十四五”现代能源体系规划》专栏 3（节选）

专栏 3 能源绿色低碳转型工程

风电和光伏发电。积极推进东部和中部等地区分散式风电和分布式光伏建设，优化推进新疆、青海、甘肃、内蒙古、宁夏、陕北、晋北、冀北、辽宁、吉林、黑龙江等地区陆上风电和光伏发电基地化开发，重点建设广东、福建、浙江、江苏、山东等海上风电基地。

山东省是全国能源消费大省，煤炭和石油仍是主要的能源消费方式。因此，积极发展海上风电，逐步推进海上风电规模化发展，是“十四五”期间全省能源发展建设，提升全省能源生产供应能力，能源消费结构进一步优化的重要措施。本项目是促进山东经济低碳、可持续发展的需要，更是适应我国新常态下能源革命新形势、符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。

因此，本项目建设符合《“十四五”现代能源体系规划》关于建设海上风电基地的规划目标。

9.4.3 与《山东省能源发展“十四五”规划》的符合性分析

2021年8月，山东省人民政府发布《山东省能源发展“十四五”规划》（以下简称《规划》）。《规划》明确：2025年能源发展主要目标：1.总量目标。能源消费总量控制在4.54亿吨标准煤以内，煤炭消费量控制在3.5亿吨左右。能源综合生产能力达到1.25亿吨标准煤。电力装机总量达到1.9亿千瓦左右，力争达2.1亿千瓦左右。全社会用电量达到8600亿千瓦时左右。2.结构目标。煤电发电量、清洁能源发电量、省外电量占全社会用电量的比重由68:15:17优化到60:20:20。煤炭消费比重下降到60%以内，非化石能源消费比重提高到13%左右。可再生能源电量占比提高到19%左右。3.效率目标。完成国家下达的单位地区生产总值能耗降低目标。4.生态目标。完成国家下达的单位地区生产总值二氧化碳排放降低目标。5.民生目标。人均年生活用能达到500千克标准煤左右。展望到2035年，清洁能源成为能源供应主体，化石能源基本实现清洁高效利用。能源生产消费模式得到根本性转变，碳排放达峰后稳中有降，能源与生态环境实现和谐发展。能源自主创新体系基本建成，科技战略支撑和引领作用显著增强，能源领域科技创新走在全国前列。全面建成清洁低碳、安全高效的现代能源体系，为新时代现代化强省建设提供坚实的能源保障。

《规划》提出“加快能源结构调整步伐”实施可再生能源倍增行动。以风电、光伏发电为重点，以生物质、地热能、海洋能等为补充，因地制宜推动可再生能源多元化、协同化发展。到2025年，可再生能源发电装机规模达到8000

万千瓦以上，力争达到 9000 万千瓦左右。以海上风电为主战场，积极推进风电开发。加快发展海上风电。按照统一规划、分步实施的总体思路，坚持能建尽建原则，以渤中、半岛南、半岛北三大片区为重点，充分利用海上风电资源，打造千万千瓦级海上风电基地。推进海上风电与海洋牧场融合发展试点示范，加快启动平价海上风电项目建设，推动海上风电规模化发展。

表 9.4-2 《山东省能源发展“十四五”规划》专栏 2（节选）

专栏 2 风电、光伏发电重点工程	
海上风电	建成半岛南首批海上风电与海洋牧场融合发展试点示范项目，打造千万千瓦级海上风电基地。

本项目为海上风电项目，符合《规划》要求和国家能源发展政策方针，对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，推动提高我国大容量海上风电机组的国产化水平，促进当地旅游业、带动地方经济快速发展，提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。

9.4.4 与《山东省海上风电发展规划（2021-2030）》的符合性分析

《山东海上风电发展规划（2021-2030 年）》于 2022 年 1 月获得国家能源局综合能源司复函（国能综函新能[2022]7 号），山东省发展和改革委员会、山东省能源局于 2022 年 2 月印发了山东海上风电规划（鲁发改能源[2022]86 号），共规划渤中、半岛南、半岛北 3 个大型海上风电基地，规划共布置 25 个海上风电场场址，规划总面积约 5380 平方公里，规划总装机容量 3500 万千瓦。涉及山东沿海多个地级市。

本项目位于山东半岛南部海域，风电场址处于深远海水区，场址中心离岸距离约 135km，最小离岸距离 117km。场址范围水深在 42~49m 之间，风电场场址规划面积 400km²，规划容量为 3000MW。符合《山东海上风电发展规划（2021-2030 年）》。

9.4.5 与《山东省新能源产业发展规划（2018 年-2028 年）》的符合性分析

2018 年 9 月 17 日，山东省人民政府以鲁政字〔2018〕204 号印发《山东省新能源产业发展规划（2018-2028 年）》。文件提出按照“统筹规划、陆海并举”的原则，围绕山东半岛东部、北部沿海、海上风电带以及鲁中、鲁西南内陆山区风电带，科学有序推进风电规模化发展，打造海陆“双千万千瓦级风电基地”。

海上，按照海上风电开发与海洋功能区划、海洋主体功能区规划、重点海域海洋环境保护规划、沿岸经济建设、产业布局等统筹协调的总体要求，开展好海上风电规划修编工作。按照整体规划、分布实施、集约节约原则和统一资源配置、统一开发建设思路，科学有序推进海上风电开发建设，重点支持海上风电项目与海洋牧场等其他开发利用活动融合发展，最大限度发挥海域资源效益。

本项目风电场位于山东半岛南部国管海域，毗邻山东省管理海域，属于海上风电全产业链基地的一部分，是山东省重点推进的新能源项目内容，符合《山东省新能源产业发展规划（2018 年-2028 年）》的要求。

9.4.6 与《山东省新能源和可再生能源中长期发展规划（2016-2030 年）》的符合性分析；

2017 年 5 月 3 日，山东省发展和改革委员会以鲁发改能源〔2017〕418 号印发《山东省新能源和可再生能源中长期发展规划（2016-2030 年）》。文件提出围绕山东半岛东部、北部沿海及海上风电带，加强海上风电开发与海洋功能区划、海岸线开发利用规划、重点海域海洋环境保护规划、沿岸经济建设、产业布局等统筹协调，以鲁北、莱州湾、渤中、长岛、半岛北、半岛南等 6 个百万千瓦级海上风电基地为重点，积极推进潮间带及近海风电项目建设，打造海上千万千瓦级风电基地。

本项目属于半岛南海上风电全产业链基地的一部分，是山东省重点推进的新能源项目内容。因此，项目建设符合《山东省新能源和可再生能源中长期发展规划（2016-2030 年）》的要求。

9.4.7 与《海上风电开发建设管理办法》的符合性分析

根据《海上风电开发建设管理办法》，本项目主要从以下几条开展符合性分析：

（1）第七条 海上风电场应当按照生态文明建设要求：统筹考虑开发强度和资源环境承载能力，原则上应在离岸距离不少于 10 公里、滩涂宽度超过 10 公里时海域水深不得少于 10 米的海域布局。在各种海洋自然保护区、海洋特别保护区、自然历史遗迹保护区、重要渔业水域、河口、海湾、滨海湿地、鸟类迁徙通道、栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域，以及划定的生态红线区内不得规划布局海上风电场。

目前海上风电“单 30”政策文件已发布，新增海上风电项目要从之前的“海上风电场原则上应在离岸距离不少于 10 公里、滩涂宽度超过 10 公里时海域水深不得少于 10 米”变成“离岸距离 30km 以外或水深在 30m 以上”。本项目风机距离海岸线最近距离 117km，根据实测水深数据，风电场址约 42~49m。项目选址满足相关布局要求。

项目不占用海洋自然保护区和海洋特别保护区，项目所在区域不属于河口、海湾、滨海湿地等重要、敏感和脆弱生态区域。风电场不占用海洋生态红线区。根据鸟类现状调查专题报告，在本项目场址及其周边邻近地区中，在项目区及邻近地区分布的鸟类约有 161 种，风机所在区域为深远海区域，在该区域活动的鸟类种类及数量均较低，除少数岛屿繁殖的海洋性鸟类外，绝大多数为随船舶到此活动，风机建设对其影响相对较小。另外，鸟类行为能主动躲避风机，水鸟迁徙高度一般高于风机叶片上缘，风机运行对在水鸟迁徙造成的撞机概率很小。但鉴于仍有可能会有少量鸟类在迁徙过程中可能会途经项目区域，建议通过合理的增设红色警示灯光将有效地降低撞击风险，将其对鸟类迁徙的影响降到最低。

因此，项目建设符合《海上风电开发建设管理办法》第七条规定。

(2) 第十九条 海上风电项目建设用海应遵循节约和集约利用海域和海岸线资源的原则，合理布局，统一规划海上送出工程输电电缆通道和登陆点，严格限制无居民海岛风电项目建设。

本海上风电项目，建设用海遵循了节约和集约利用海域原则，合理布局，项目不占用岸线和无居民海岛，且输电电缆位于划定的海缆通道。本项目建设符合《海上风电开发建设管理办法》第十九条规定。

综上，项目建设符合《海上风电开发建设管理办法》的管理要求。

9.4.8 与《2030 年前碳达峰行动方案》符合性分析

2021 年 10 月 24 日，国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》（以下简称《方案》）。《方案》围绕贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和的重大战略决策，按照《中共中央国务院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》工作要求，聚焦 2030 年前碳达峰目标，对推进碳达峰工作作出总体部署。

《方案》提出能源绿色低碳转型行动，要求大力发展新能源。全面推进风

电、太阳能发电大规模开发和高质量发展，坚持集中式与分布式并举，加快建设风电和光伏发电基地。加快智能光伏产业创新升级和特色应用，创新“光伏+”模式，推进光伏发电多元布局。坚持陆海并重，推动风电协调快速发展，完善海上风电产业链，鼓励建设海上风电基地。积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏发电、风电互补调节的风光热综合可再生能源发电基地。因地制宜发展生物质发电、生物质能清洁供暖和生物天然气。探索深化地热能以及波浪能、潮流能、温差能等海洋新能源开发利用。进一步完善可再生能源电力消纳保障机制。到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上。

面对全球气候和环境挑战，大力发展可再生能源已成为能源发展的必然趋势。我国承诺在 2020 年碳排放强度下降 40%~45%，非化石能源占比达到 15% 的基础上，计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰，并计划到 2030 年非化石能源占一次能源的比重提高到 20% 左右。在调整能源结构和应对气候变化的双重约束下，大力发展风电、太阳能等技术成熟、经济性较好的可再生能源就显得十分重要。

山东省省内电源装机以火电机组为主，节能减排压力巨大，大力发展核电、风电等新能源产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。山东省沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。开发利用山东省近海风能资源，不仅有利于山东能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，实现经济社会的可持续发展，为山东打造风电产业基地创造良好条件。

本项目的风电开发建设符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，实现 2030 年前碳达峰目标有着重要的意义。

因此，本项目建设符合《2030 年前碳达峰行动方案》的要求。

9.5 项目选址选线和平布置合理性分析

9.5.1 工程选址选线合理性分析

9.5.1.1 项目选址与区位条件和社会条件的适宜性分析

9.5.1.1.1 区位条件适宜性

青岛西海岸新区位于青岛市西部、胶州湾西岸，东与市南区隔海相望，西、西南分别与潍坊市、日照市接壤，北临胶州市，南濒黄海。青岛西海岸现状 500 千伏变电站 2 座，主变 3 台，容量 2500MVA(琅琊 2×750MVA 观龙 1×1000MVA)，2025 年规划观龙扩建第二台 1X1000MVA 主变，2026 年规划琅琊扩建第三台 1X1000MVA 主变，2028 年规划新建 500 千伏寨里变(1×1000MVA)，青岛西海岸新区电网可容纳本项目的接入。

风电场场址 150m 高度年均风速为 8.41m/s，年平均风功率密度为 728W/m²，170m 高度年均风速为 8.49m/s，年平均风功率密度为 761W/m²，风功率等级为 3~4 级；场址区域风向集中在 N~NNE 及 SSE~S 方向；风能集中分布在 N 和 S 方向，主导风能方向为 S 方向。风电场风向风能分布较为一致，均集中在南北方向，有利于风资源的开发利用。本场址风能资源丰富，具有很好的开发利用价值。

9.5.1.1.2 社会条件

青岛西海岸新区交通便利，区内的沈海高速(G15)黄岛段是连接青岛市区与黄岛区的重要通道也是黄岛区对外交通的主要出口之一。此外，沈海高速(南村至青岛日照界段)改扩建工程已启动，将原有的双向四车道扩建为双向八车道，提高了通行能力和服务水平。青兰高速(G22)黄岛段是连接胶州湾北岸和西岸城区的重要通道。此外海洋青岛前湾港区 3 号疏港高速，(鲁高速 S7603)是黄岛区连通青岛前湾港的一条重要疏港高速公路。该高速连接了青岛前湾港区 2 号疏港高速公路和青兰高速公路，为青岛前湾港的货物运输提供了便捷的通道。

青岛西海岸新区港口众多，具有董家口港、黄岛油港区、前湾港、积米崖港和黄岛港等一众港口资源，可为海上风电建设提供很好的作业支持。

本工程施工机械设备主要为大型的起重船、自升式平台船、驳船、拖轮及其它工程用船可通过租借或者合作共建的方式解决，可满足本工程的需求

综上分析，项目所在区域具有优越的地理位置，场址风能资源丰富且风能集中，利于风资源利用，项目区位条件优越、社会条件良好，能够满足本项目

建设和营运的要求，从区位条件和社会条件适宜性方面考虑，项目用海选址是适宜的。

9.5.1.2 项目选址与自然资源 and 生态环境的适宜性分析

(1) 水深、海底地形地貌

本场址处于青岛深远海海域，水深在 42~49 米之间，海底地形总体平缓，整体呈西北高东南低趋势。场区内未发现明显陡坎、海沟等。场址及其周边 5km 范围内未见海岛、暗礁以及水下沙堤等地貌类型，较适宜本工程的建设

(2) 工程地质条件

工程场地在大地构造上处于扬子断块区的北部边缘地带。华北断块区边界受深大断裂控制，断块区内部在构造和地貌上总体格局是北北东向的隆起区与沉降区相间。依据初步勘察现有钻孔成果结合水深情况，风场区适宜采用基础，适宜后期风电场的建设。

(3) 水文和气象条件

青岛市属温带季风气候，与同纬度内陆地区相比海洋性显著，具有空气润，雨量充沛，温度适中，四季分明的特点。据气象资料统计，青岛市区多年平均气温 12.7℃，8 月平均气温最高，为 25.3℃；1 月平均气温最低，为-0.5℃。年平均风速为 5.2 米/秒，以南东风为主导风向。海雾多且频繁，年平均浓雾 513 天、轻雾 108.2 天，在避开台风、大雾等不利气象条件下，全年均可施工。根据海流调查结果，各站的流速多集中在 11~40cm/s 之间，尤其是表层和中层的流速。底层流速相对较低，多在 11~30cms。区域海流的流速不大，适宜工程建设。

本项目所在区域风能条件优良，选址区域水文气象条件适宜本工程建设。

(4) 海洋自然灾害

热带气旋可能对本工程建设造成较大影响外，其他自然资源、环境条件均适宜本工程的建设。本项目建设运营应重点关注热带气旋，并采取了必要的相关设计和防范措施。

(5) 生态环境适宜性

本工程风机建设需永久占用一定面积的海域，用海不可避免的将会对所在海域的生态环境造成一定的影响。建设形成的占压作用，一定程度上将造成周边海域生物生境的变化和生物量的损失，这些都是影响本项目生态效益的主要因素。生态补偿方式缓解工程建设对海洋生态环境的影响。工程用海不会造成

海域海洋生态环境的恶化，选址海域的生态环境能够适应本工程用海，不影响周围海洋产业发展。

综上，工程海域海床稳定，地形地貌、地质及水文条件较好，生态环境影响较小。选址区域的自然资源和生态环境条件适宜本工程的建设。

9.5.1.3 项目选址与周边其他用海活动的适宜性分析

本项目周边海域的用海活动主要包括海底光缆、港口航运等。

(1)项目选址与港区、航道的适应性分析

项目不占用青岛港区及周边的锚地。风电场距离青岛港区较远，本项目施工期依托青岛港青岛港大湾港务公司码头作为风电机组到港码头。施工期间将有大量的施工船舶和运输船舶进出工程区，将给进出附近港区通航的船舶带来一定影响，项目施工期需注意加强施工船舶的调度和管理，并与港区管理部门充分做好沟通，已保证港区进出港船舶安全和项目顺利施工。

(2)项目选址与周边海底电缆管道的适应性分析

项目±525kV 海底电缆穿越中国联通的海底光缆，施工时应上交越保护方案，符合相关规范要求，可避免对周围海缆的影响。因此，项目选址与周边的海洋开发活动相适宜。

综上所述，本项目选址合理。

9.5.2 工程平面布置合理性分析

9.5.2.1 登陆点选择

本项目在可行性研究阶段设置两个登陆点进行比选，其中登陆点一设置在西海岸新区的“风河”河口北侧沙滩，登陆点二设在西海岸新区的石雀滩附近。

预选登陆点比边见表 9.5-1。

表 9.5-1 预选登陆点优劣势比选

比选内容	登陆点一	登陆点二	比选结论
与陆上换流站直线距离	8.2km	24km	登陆点一优
与海上换流站直线距离	163km	153km	登陆点二优
岸线类型	其他岸线中的自然恢复的砂质岸线	自然岸线中的砂质岸线	均采用定向钻工艺
登陆后穿越生态红线概况	未穿越生态林	未穿越生态林	相同
登陆后穿越基本农田概况	未穿越基本农田	未穿越基本农田	相同
综合比较	整体而言，登陆点一较登陆点二距肉陆上换流站近、施工和运维成本低等优势，预留有两个海上风电场的陆上输电通道，因此登陆点一较优。		

9.5.2.2 主路由方案比选

根据上述登陆点选择方案，以及研究海域生态红线区的位置，本项目±525kV 主路由共规划三个预选方案，见图 9.5-2。

综合比较，将方案一作为推荐方案。影响路由方案比选的主要因素和比选结果见表 9.5-2。±525kV 海缆位于规划廊道范围内（图 9.5-4），选址合理；三个方案的区域地质环境、断裂和地震、水文条件等方面基本一致。相比较其他因素而言：预选路由方案三路由穿越山岛生态保护区，方案二登陆点距离陆上换流站较远，方案一虽然路径最长，但海缆布置避开了“西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线”、灵山锚地、习惯性航路等限制性因素。海底电缆已按照《海底电力电缆输电工程设计规范》（GB/T51190-2016）的最小间距要求布置，平面布置合理。

表 9.5-2 影响路由比选的主要因素评价表

评价内容	方案一	方案二	方案三	推荐
区域地质环境	本项目海底电缆预选路由位于青岛市东南侧海域，项目区域范围内虽然构造复杂，断裂构造发育，但均为非全新世活动断裂，可不考虑其对海底电缆的影响。海底电缆路由区附近无大面积地壳塌陷等危及场址安全的潜在地质灾害产生的条件。同时海底电缆铺设也不会引起次生地质、地震灾害。			基本相同
断裂和地震	预选路由周边场地地震动反应谱特征周期为 0.45s(对应 I 类场地)，对应 I 类场区设计地震峰值加速度值为 0.10g，场区抗震设防烈度为 7 度。			基本相同
海底地形地貌	处于青岛深远海海域，水深在 45~49m 之间，海底地形总体平缓，整体呈西北高东南低趋势。场区内未发现明显陡坎、海沟等。场址及其周边 5km 范围内未见海岛、暗礁以及水下沙堤等地貌类型，水深整体呈现由陆向海逐渐变深的趋势。			基本相同
气象水文环境	路由区属于温带季风气候，海洋性显著，具有空气湿润，雨量充沛，温度适中，四季分明的特点。多年平均气温 12.7℃，8 月平均气温最高，为 25.3℃；1 月平均气温最低，为 -0.5℃。年平均风速为 5.2 米/秒，以东南风为主导风向。年平均降水量为 662.1mm，集中在夏季，年平均 25 日均降雪日数为 10 天。年平均气压为 1008.6mbar。年平均相对湿度为 73%。海雾多且频繁，年平均浓雾 51.3 天、轻雾 108.2 天。计算工程海域平均海平面在 1985 国家高程基准面以上 1cm，理论深度基准面在平均海面以下 218cm。潮汐属于正规半日潮性质，一个太阴日中出现两次高潮和两次低潮，最高高潮位为 2.82m，最低低潮位为 -2.32m，年平均高潮位为 1.36m、年平均低潮位为 -1.21m，观测年平均海平面为 0.01m，年平均潮差 2.57m，最大潮差 4.45m，平均涨潮历时 5.85h，年平均落潮历时 6.55h。			基本相同
登 陆 点	登陆点一位于青岛西海岸新区凤河口北侧沙滩附近，登陆点二位于青岛西海岸新区薛家岛街道南岛小镇小区东南侧的沙滩附近。	登陆点一、二均位于沙滩，周边现状为粉砂质海滩，整体较为平坦，没有影响海缆登陆的不利条件。主干路由预选方案路径不同，方案一和方案二避让生态红线区，方案三穿越西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护红线区，整体而言，登陆点一较登陆点二距离陆上换流站近、施工和运维成本低等优势，预留有两个海上风电场的陆上输电通道。		登陆点一

评价内容		方案一		方案二	方案三	推荐
开发活动及相关规划	国土空间规划	“利根湾特殊用海区”、“唐岛湾外交通运输用海区”、“薛家岛游憩用海区”、“薛家岛南渔业用海区”、“青岛港交通运输用海区”、“灵山岛特殊用海区”和“灵山岛东南渔业用海区”		“薛家岛游憩用海区”、“薛家岛南渔业用海区”、“青岛港交通运输用海区”、“灵山岛特殊用海区”和“灵山岛东南渔业用海区”	“利根湾特殊用海区”、“灵山湾-琅琊台湾渔业用海区”、“灵山岛生态保护区”、“灵山岛特殊用海区”、“青岛港交通运输用海区”和“灵山岛东南渔业用海区”	方案一、二
	海洋生态红线	不占用		不占用	西海岸灵山湾重要滩涂及浅海水域生态保护区	方案一、二
	利益相关者	中国联合网络通信集团有限公司的跨太平洋直达光缆项目、青岛鲁丰海洋牧场(西区)建设项目		中国联合网络通信集团有限公司的跨太平洋直达光缆项目、青岛听长虹养殖基地项目、青岛鲁丰海珍品养殖基地建设项目	中国联合网络通信集团有限公司的跨太平洋直达光缆项目、青岛大栏石海洋牧业有限公司海洋牧场项目、筏式养殖、牧海人立体养殖、饲用鼠尾藻高效养殖、青岛牧海人海洋牧场、青岛涛声依旧海洋牧场	方案一
	经济性	175.2km		160.4km	164.2km	方案二、三
评价	优势	1. 不占用生态红线和生态保护区		1. 不占用生态红线和生态保护区	1. 海缆总长度最小	方案一
		2. 登陆点距离和成本优势		2. 海缆总长度略小	2. 登陆点距离和成本优势	

9.5.2.3 风机布置方案

9.5.2.3.1 布置原则

本风电场规划装机规模为 3000MW，计划安装 214 台风电机组；结合场址风能资源分布情况和场址建设条件，开展风电场风机布置工作。风机布置遵循以下原则：

(1)首先应充分考虑风电场所在海域周边限制条件，如：港口、航道、油气管道、养殖区、生态保护区、鸟类栖息地及迁徙路线、海底光缆等，在规划允许的范围内布置风电机组；

(2)根据场址区风资源分布特点，充分利用风电场盛行风向进行布置，合理选择风力发电机组间距，尽量减少风力发电机组间尾流影响；

(3)风力发电机组布置方案充分考虑工程施工船舶进场、抛锚、掉头等对风力发电机组间距的要求。

(4)风电机组布置时应按照节约、集约用海原则，在技术可行的范围内尽量减小风电场涉海面积。

9.5.2.3.2 选定机型不同布置方案比较

根据本阶段收集到的风资源数据，场址主风向较为集中，因此本项目分别考虑垂直于主风向 NNE、S，改变行列间距布置 14MW 的 WTG-1 机型的多种布置方案，具体布置见图 9.5-5。

方案一：垂直于主风能方向 S，平行场址边界等行间距布置 8 行，平均行间距约为 2490m，列间距为 870m~990m。

方案二：垂直于主风向 S，平行场址边界等行间距布置 9 行，平均行间距为 2180m，列间距为 870m~990m。

方案三：垂直于主风向 NNE，平行场址边界等行间距布置 11 行，平均行间距为 1935m，列间距为 1270m~1730m。

方案四：垂直于主风向 NNE，平行场址边界等行间距布置 10 行，平均行间距为 1935m，列间距为 1270m~1730。

各布置方案见下图。

根据相应的布置结果，设计单位利用风能资源评估专业软件（WAsP），结合测风年风资源情况及选定机型在标准空气密度下的功率曲线，推算本海上风电场标准状态下的年发电量，结果见表 9.5-3。。

表 9.5-6 不同风机布置方案下的汇总表

参数	理论发电量 [万 kWh]	考虑尾流的 净发电量[万 kWh]	平均尾 流损失 [%]	年上网电 量[万 kWh]	等效利用 小时数[h]	容量系 数	排序
一	1411865	1201966	14.87	963977	3217.5	0.367	1
二	1411865	1196838	15.23	959864	3203.8	0.366	2
三	1411865	1162106	17.69	932009	3110.8	0.355	4
四	1411865	1167048	17.34	935972	3124.1	0.357	3

由表 9.5-3 可知，在统筹考虑周边待建的深远海海上风电项目的情况下，方案在场址的整体上网电量最优，平均尾流影响最较小，年等效满负荷利用小时数最高，容量系数最大。因此，推荐方案一，即垂直于主风能方向 S，东西向平行布置 8 行共 214 台 WTG-1 风机的方案。

9.5.2.3.3 风电机组平面布置合理性分析

根据以上方案比选结果，场区内风电机组为主要沿场址范围线方向平行进行布置，可充分利用场址范围，布置 214 台 14MW 机组，总装机容量 2996MW。风电机组按 8 行布置，风机行间距 810m（3.05D）~909m（3.4D），列间距 2330（8.76D）~2645m（9.94D）。

（1）风电机组选择

本报告在初步选择 14~18MW 等不同单机容量的机型进行总体参数的比较和布置。本次选取的机型是在考虑了本项目将来实施难易、风机成熟度与运行经验、风电机组产能与供货等方面后，确定采用目前在福建海域已成功并网发电的单机容量为 14MW 的风电机组。

（2）与其他场址风电项目对比分析

收集近期其他风资源相近、规模百万兆瓦级的风电场项目基本设计参数，与本项目进行对比，具体见表 9.5-4 所示。

表 9.5-4 本项目与其他风电场相关参数对比一览表

风电项目		粤电阳江青洲一、二 100 万 kW 海上风电项目（已投产）	三峡阳江青洲六 100 万 kW 海上风电项目（拟建）	本项目
装机容量	万 kW	100	100	300
轮毂处风速水平	m/s		8.36	8.4
场址面积	km ²	163	173	400
外包络面积	km ²	145	149.09	395
平均行距	叶轮直径倍数	3.1	3.08	3.3

平均列距	叶轮直径倍数	11.1	10.5	9.5
平均尾流		12.21	15.81	12.35
最大尾流	%	17.58	19.17	15.33
每 10 万容量包络面积	km ²	14.5	14.9	13.25
单位面积发电量	kWh/m ²	22.7	23.98	26.06

由表可以看出，本项目与近期同级别海上风电项目相比，行间距相当，列间距小幅缩减，本项目每 10 万装机 kW 容量的包络面积为 13.25 平方公里，较类似百万兆瓦级的风电场项目进行了优化；同时保持尾流水平相当或更优，单位面积发电量也进一步优化。

另外，本项目离岸距离较远，场址水深较深，风机布置中也应考虑减少风电场尾流损耗，提升项目经济性因素。经过方案比选，本项目推荐横向间距 3.3~3.4D，纵向间距 8.76D~9.94D 的布置方案为统筹考虑后最优方案，本项目风机平面布置合理。

9.5.2.3.4 风电场整体布置合理性分析

风电场西侧距离太平洋直达光缆青岛段项目的海底光缆约 3.5km，且避开青岛-长江口的习惯性航路，同时考虑军事协调意见，风电场的布置避开了海底光缆、习惯性航路和军事等限制因素，风电场的整体布置合理。

9.5.2.4 海上换流站和 66kV 海缆布置的合理性分析

本项目场内海缆布置共 3 个预选方案，见图 9.5-7 和图 9.5-8。

（1）方案一

214 台风电机组通过 40 回 66kV 的集电线路接入海上换流站，海上换流站站址位于第三排和第四排中间，风电场内增设集电路线廊道，集电线路路径考虑为集中敷设方式。

（2）方案二

214 台风电机组通过 40 回 66kV 的集电线路接入海上换流站，海上换流站站址位于第四排和第五排中间，风电场内增设集电线路廊道，集电线路路径考虑为合并集中敷设方式。

上述两个集电线路方案对比结果见表 9.5-5 从经济性上考虑，方案二比方案一省多 8172.69 万元。从用海的角度，方案一比方案二 66kV 海缆和送出海缆的长度较短，海缆的用海面积方案一较少，符合节约用海的原则，因此推荐方案一。

海上换流站对比（1 台 3000MW 和 2 台 1.5GW 换流站）

（1）方案一：1×3000MW 方案

新建 1 座±525kV/3GW 海上换流站，采用 1 回（4 根）±525kV/1600mm² 海缆接至 1 座陆上换流站。

（2）方案二：2×±525kV/1.5GW

新建 2 座±525kV/1.5GW 海上换流站，分别各采用 1 回（2 根）±525kV/1400mm² 海缆接至 1 座陆上换流站。

经比较，300 万 kW 单个换流站技术经济性可行，透水构筑物的用海面积较少，工程投资和运维费用低，采用单台 300 万 kW 换流站更优。

换流平台方向结合海流、风机布置和施工便利性，采用正南、正北布置方式。区域海流东西向为主，现在电缆在南北侧从导管架沿 J 管上平台，浮托平台的槽口留在东西向，同洋流通向，即方便浮托船进入，也可以减少洋流对导管架的受力，降低施工和后期运行的风险。

本项目风电场区水深 42~49m（当地理论基准），按照《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》“电缆平行铺设时的间距不宜小于最高水位水深的 2 倍”计算，海底电缆铺设的间距不宜小于 84m。按照《电力工程电缆设计规范》（GB/T2017-2018）“电缆平行铺设时的间距不宜小于最高水位水深的 1.2 倍”计算，海底电缆铺设的间距不宜小于 50.4m，本项目风电场区并行 66kV 海缆间距为 50m，已为不宜小于的间距，海缆间距不宜减小，66kV 海缆间距合理。本项目 66kV 海缆每 5~6 回集中布置，即符合集约用海的原则，又避免并行回路数过多影响海缆施工，海缆的布置合理。

因此，本项目升压站和集电线路的布置合理。

9.5.2.5 生活辅助平台和综合服务平台平面布置合理性

9.5.2.5.1 生活辅助平台

在海上换流站采取无人值守设计的前提下，为保证本工程海上换流站实施的可行性，兼顾海上换流站施工、运维，在海上换流站平台旁设置生活辅助平台，布置相应的生活设施，距离较近，方便施工期和运维期工作人员使用。另外，本项目设置 1 座海上换流站，换流站的海缆回数较多，生活平台与换流站预留 30m 的通道，便于场区集电海缆的布置，综上生活辅助平台的布置合理。

9.5.2.5.2 综合服务平台

考虑本项目离岸较远，结合海事部门的相关建议，拟在风电场的东北角和东南角

新建 2 个综合服务平台，为该海域的航行船只提供临时应急综合服务平台和物资。同时在该平台上加装海空预警探测雷达和技术侦察设备，对风电场基础设施可能对 JS 设备造成的遮蔽或干扰问题进行补盲设计，同时弥补岸基装备探测距离的不足，延伸了海上方向侦察预警范围。

9.6 环境影响可接受性分析

9.6.1 水动力环境影响可接受性

本项目风机桩基桩径有限，占海面积很小，桩基群排间距和列间距均较大，虽占用一定海域面积，但对整个水文动力环境、冲淤环境的影响并不大。因此，本项目用海方式能够最大程度减少对水文动力环境、冲淤环境的影响。因此，本项目用海方式是合理的。

9.6.2 冲淤环境影响可接受性

本项目 66kV 集电海底电缆埋设于海床以下，不会对水动力及冲淤环境造成影响。就数值模拟结果来看，风电场桩基建设造成的影响较为有限。在总规划装机容量 3000MW 的前提下，工程在场址海域呈点状分布，风机之间的间距较大，受基础钢结构阻水，有利于减缓项目建设对水文动力环境、冲淤环境的影响。根据现阶段平面布置方案，本项目建设对周边海域的水文动力环境、冲淤环境总体影响不大，影响范围基本局限于风电场规划场址范围及周边一定范围的海域。因此，项目基本不会对所在海域的水动力环境和冲淤环境造成不良影响。

9.6.3 水质环境影响可接受性

拟建项目符合国家《产业结构调整指导名录》（2024 年本），评价海域的海水和沉积物质量现状良好。项目施工除施工过程悬浮泥沙会对周边海域生态环境产生短期影响外，施工所产生的废水、固废污染物等处置去向明确，均得到妥善处理处置，不排海，对海洋环境影响程度和范围均较小，属于短期和可恢复性质。因此，项目基本不会对所在海域的海洋环境造成不良影响。

9.6.4 生态环境影响可接受性

本工程风机建设需永久占用一定面积的海域，用海不可避免的将会对所在海域的生态环境造成一定的影响。建设形成的占压作用，一定程度上将造成周边海域生物生

境的变化和生物量的损失，这些都是影响本项目生态效益的主要因素。场内集电海缆铺设后自然回淤，工程完工后一段时间内海床即可恢复，形成底栖生物新的栖息生境，不会对底栖生物生境造成永久性侵占。项目建设完成后，拟采取增殖放流的方式补偿本项目对渔业资源的损失。工程用海不会造成海域海洋生态环境的恶化，选址海域的生态环境能够适应本工程用海，不影响周围海洋产业发展。

综上，工程海域海床稳定，地形地貌、地质及水文条件较好，生态环境影响较小。选址区域的自然资源和生态环境条件适宜本工程的建设。

9.6.5 环境风险影响可接受性

项目施工期存在船舶发生溢油等环境事故风险，但概率较小。同时对于施工船舶溢油等突发事件也有相应的应急预案和防范措施。

综上所述，在建设单位切实落实报告书提出的环境保护对策措施和建议的前提下，从海洋环境保护角度考虑，工程对环境的影响是可接受的。

10 环境管理与监测计划

10.1 环境管理

施工期环境管理工作由建设单位、监理单位、施工单位共同承担，并接受生态环境主管部门监督和检查。运行期，原施工期的环境管理职能全部移交由项目场址运行管理单位承担，运行单位应配备环保专业人员，负责开展运行期环境保护工作。

（1）建设单位环境管理机构设置

除了施工单位应设置环境保护管理机构外，针对项目场址的建设施工，项目建设单位还应成立专门小组，负责监督施工单位对各项环境保护措施的落实情况，并应在选择施工单位前，将主要环境保护措施列入招标文件中，将各施工单位落实主要环境保护措施的能力作为项目施工单位中标考虑因素，将需落实的环境保护措施列入施工中标单位签署的合同中，聘请有资质的施工监理机构对施工单位环境保护措施落实情况进行跟踪监理，并且配合环境保护主管部门对项目施工实施监督、管理和指导。

加强建设项目的环境管理，根据本报告提出的污染防治措施和对策，制定切实可行的环境污染防治办法和措施。

项目建设单位环保管理机构的职责如下：

- ①宣传并执行国家有关环保法规、条例、标准，并监督有关部门执行；
- ②负责施工期与运行期的环境保护管理工作。负责监督各项环保措施的落实与执行情况；
- ③在施工地点，应由工程环境监理人员在施工现场跟踪监控管理，监察环保设施设置与实施情况；
- ④工程环境监理纳入工程监理，接受环保主管部门的指导和监督，以便更好地履行职责；
- ⑤按环保部门的规定和要求填报各种环境管理报表；
- ⑥按环保部门的规定进行环保设施竣工验收；
- ⑦协调、处理因项目场址建设和运营所产生的环境问题而引起的各种投诉，并达成相应的谅解措施；
- ⑧环境监测工作以及监测计划的实施，应由建设单位的环保机构完成，在不具备条件的情况下亦可委托有资质的环境监测单位协助进行。

（2）施工单位环境管理机构设置

施工单位应设立内部环境保护管理机构，主要由施工单位主要负责人及专业技术人员组成，专人负责环境保护工作，实行定岗定员，岗位责任制，负责各个施工工序的环境管理工作，保证施工期环保设施的正常进行，各项环境保护措施的落实。施工单位的管理内容主要为：

①负责制定、监督、落实有关环境保护管理规章制度，负责实施环境保护控制措施、管理污染治理设施，并进行详细的记录，以备检查。

②及时向环境保护主管机构或向单位负责人汇报与项目场址施工有关的污染因素、存在问题、采取的污染控制对策、实施情况等，提出改进建议。

③按本报告提出的各项环境保护措施，编制详细施工期环境保护措施落实计划，明确各施工工序的施工场地位置、环境影响、环境保护措施、落实责任机构（人）等，并将该环境计划以书面形式发给相关人员，以便各项措施的有效落实。

（3）环境保护管理要求

针对项目风电场的建设和投入营运，提出如下环境保护管理要求：

①所有与项目直接相关的污染防止设施的建设必须与项目主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。

②项目竣工投入试运营后，应按照有关要求项目进行建设项目环保竣工验收。

③建议项目在落实各项环境保护设施时，采用环保主管部门认证合格单位的污染治理技术或设施。

10.2 环境监测计划

通过环境监测可以及时掌握工程施工期污染物排放情况及对施工现场周围区域环境质量的影响程度，并反映和掌握营运期防治污染措施的有效程度和治理污染设施的运行治理效果，为环境管理工作提供科学依据。

10.2.1 跟踪监测计划

对海水水质、沉积物质量、海洋生物质量、海洋生态、水下噪声进行监测，如有问题应及时采取防治措施。建设单位应委托有资质的单位开展施工期环境监测。

本项目监测站位在本报告海洋环境现状调查站位中选取与项目距离较近的站位，水质站位 15 个、沉积物站位 12 个、生物站位 12 个，潮间带站位 3 个，布设水下噪声

监测站位 9 个，电磁监测站位 14 个，监测过程中可视情况做适当的调整。

10.2.1.1 监测范围

监测范围与评价范围一致

10.2.1.2 监测内容

10.2.1.2.1 海水水质

为了解项目施工期悬浮物的污染状况，桩基施工及电缆沟开挖对海洋水质环境的影响，监测施工过程中悬浮物影响程度和范围，评价施工期水质是否满足海水水质标准，为施工期环境管理提供依据，对项目施工期水环境质量进行跟踪监测。

(1) 监测项目：悬浮物、油类、化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐、铜、锌等

(2) 监测站位：共布设 15 个监测站位，监测点位见表 10.2-1 和图 10.2-1。

(3) 监测频率

施工期：每年监测二次，分别在丰水期、枯水期进行；SS 每个月监测一次；

运营期：施工结束全部风机投入运营后进行 1 次调查。

10.2.1.2.2 沉积物质量

(1) 监测项目：有机碳、油类、铜、锌

(2) 监测站位：共布设 12 个监测站位，监测点位见表 10.2-1 和图 10.2-1。

(3) 监测频率

施工期：每年进行 1 次调查（春季或秋季），可结合施工工艺和施工进度适当增加监测频次。

运营期：施工结束全部风机投入运营后进行 1 次调查。

10.2.1.2.3 生物

(1) 监测项目：叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源（鱼卵仔稚鱼、游泳生物）

(2) 监测站位：共布设 12 个监测站位，监测点位见表 10.2-1 和图 10.2-1。

(3) 监测频率：

施工期：每年进行 2 次调查（春季、秋季），可结合施工工艺和施工进度适当增加监测频次。

运营期：施工结束全部风机投入运营后进行 1 次调查。

10.2.1.2.4 水下噪声

(1) 监测项目：噪声频带有效声压级、噪声声压谱级。

(2) 监测位置：在风电场施工区域布设 9 个噪声监测点，监测点位见表 10.2-2 和图 10.2-2。

(3) 监测频次：

施工期：每年代表性一季；

运营期：每年代表性一季，连续监测 3 年。

10.2.1.2.5 鸟类

(1) 监测内容：工程建设区及邻近地区鸟类的种类组成、数量、分布以及迁徙、迁飞特征、穿越风电场、与风机发生撞击的情况等。

(2) 监测范围：监测范围以风机区域及周边 8km 海域为主

(3) 监测频率：

施工期：监测时段应主要安排在鸟类迁徙高峰，开展春、夏、秋、冬 4 个季节的鸟类监测，监测 1 年。

运营期：监测时段应主要安排在鸟类迁徙高峰，开展春、夏、秋、冬 4 个季节的鸟类监测，连续监测 3 年。

10.2.1.2.6 地形地貌与冲淤

(1) 监测项目：水深地形、风机墩柱局部冲刷监测（冲刷深度、冲刷坑直径和冲刷坑形状等参数，若有必要，应对风机墩柱局部冲刷进行加测。在风暴潮等恶劣气象条件过后对风机墩柱局部冲刷情况进行必要的加测）。

(2) 监测位置：以风机场外扩边界 2km 的海域。

(3) 监测时间及频次：

施工期：桩基施工完成后 6~12 个月内，在每根桩基周边 80m 范围内进行冲刷坑测量。

运营期：水深地形、风机墩柱局部冲刷监测，开展 1 次。

10.2.1.2.7 电磁环境监测

(1) 监测布设：布设 12 个监测点。

(2) 监测项目：工频电场强度、工频磁感应强度。

(3) 监测频率：

运营期：每年 1 次。

10.2.2 事故监测计划

本工程事故风险主要为船舶溢油事故，若发生溢油事故，在进行溢油应急处置过程中及处置结束后，在溢油扩散范围边界和内部根据具体情况设置多个跟踪监测点位（站位布设根据实际情况进行调整），进行跟踪监测，监测项目、监测指标、监测方法等事故监测内容与前述章节监测内容保持一致，直至各项指标恢复到溢油事故前的现状水平。

10.3 总量控制

根据《国务院关于印发“十四五”节能减排综合工作方案的通知》（国发〔2021〕33 号）文件和《山东省生态环境保护“十四五”规划》，大气污染物总量控制的项目为氮氧化物、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，运营期风力发电，产生的少量废气为无组织排放，无需申请总量控制指标，生活污水在船舶统一收集上岸后交由有资质单位处理，含油污水在船舶统一收集上岸后交由有资质单位处理，因此无需申请废水污染物总量指标。

10.4 “三同时”验收一览表

“三同时”验收一览表见表 10.4-1。

表 10.4-1 “三同时”验收一览表

实施 时段	项目	污染源	主要环保设施/措施	处理效果	验收内容
施工期	水污 染物	悬浮泥沙	合理安排工期，避开极端天气。	/	/
		生活污水	船舶生活污水根据所在海域位置在满足《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)的前提下收集处理或排放。	满足《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)	严格执行环保措施
		船舶含油污水	铅封交由有船舶污染物接收单位统一处理，禁止随意排放。		
	大气 污 染 物	船舶废气	采用低硫燃油。	废气排放满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)表 2 中无组织排放监控浓度限值要求，二氧化硫 $\leq 0.4\text{mg/m}^3$ ，氮氧化物 $\leq 0.12\text{mg/m}^3$ 。	严格执行环保措施，满足《大气污染物综合排放标准》
			加强对施工机械、船舶的维修保养。		
	噪声	船舶航行、海缆敷设、桩基施工噪声	安装消声器及加装隔音/消音材料、定期维护和及时修理施工机械。	满足《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)。	严格执行环保措施
	固体 废 弃 物	生活垃圾	在船舶上设置垃圾桶随船携带，待船舶靠岸后交由有船舶污染物接收单位统一处理。		
		灌浆多余浆料	统一收集在工作船配备的废料桶内，统一回收交回相关单位接收。	满足《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(2020 年修订)中规定	严格执行环保措施，无固体废物外排
		扫海清除固废	设置 1 个垃圾桶，统一收集在工作船配备的垃圾桶，统一回收交由相关单位接收。		
	生态 环境	/	严格划定施工作业范围；工高峰期应尽量避开春、夏季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；开展生态环境跟踪监测调查。	/	严格执行环保措施
运营期	鸟类	/	合理安排施工时间。	/	/
	通航 环境	/	加强施工作业安全管理；拟定施工期间水上交通安全维护方案；收集气象水文资料，做好环境预测；建立工程水域事故应急预案。	/	/
	风险	船舶事故溢油	制订切实有效的安全管理措施和应急预案；对有关人员进行水上作业的相关安全培训和教育；加强航道区的船舶秩序的管理；施工船进行打桩作业时显示规定信号（白天显示旗号、夜间显示灯号）；		

實施 時段	項目	污染源	主要環保設施/措施	處理效果	驗收內容
運營期	水污 染物	生活污水	擬定水上交通安全維護方案。 生活污水在船舶上統一收集，根據所在海域位置在滿足《船舶水污 染物排放控制標準》（GB3552-2018）的前提下收集處理或排放；換 流站檢修期間可依托輔助平台生活污水處理裝置處理達標後排放	滿足《船舶水污染物排放控 制標準》（GB3552-2018）	嚴格執行環保措施， 無污水外排
		船舶含油污水	船舶上統一收集，待船舶靠岸後交由有資質的單位進 行接收處理，禁止隨意排放		
	噪声	風機轉動	機艙內表面貼附阻尼材料對機艙進行表面自由阻尼處理、使風機 齒輪和軸承保持良好的潤滑狀態。	滿足《工業企業廠界環境噪 聲排放標準》（GB12348- 2008）中 2 類功能區標準。	嚴格執行環保措施， 滿足噪聲排放標準
	固體 廢物	生活垃圾	在船舶上設置垃圾桶隨船攜帶，待船舶靠岸後交由有船舶污染接 收單位統一處理。	滿足《中華人民共和國固體 廢物污染環境防治法》（2020 年修訂）中規定	嚴格執行環保措施， 無固廢外排
	生態 環境	含油廢物	設置含油廢油箱，收集至含油廢物箱中，待船舶靠岸後交由有船舶 污染接收單位統一處理。	/	嚴格執行增殖放流措 施
	鳥類	增殖放流	採取增殖放流的措施進行海洋生物資源恢復，具體以農業部門審核 通過的方案為準。	/	嚴格執行環保措施
		/	安裝閃爍燈、風機葉輪表面塗紫外光固化塗料塗漆、風機的葉片採 用橙紅與白色相間的警示色。	/	嚴格執行環保措施
	通航 環境	/	設置導航設施、風機柱上塗有醒目的警示色、相關設施防碰撞配 件的安裝和維護、安裝海上風機監視系統、發布航行通告。	/	嚴格執行環保措施
	風險	船舶事故溢油	海上風機塗有醒目的警示色、夜間採用燈光照射的辦法；向海事主 管機關申請發布航行通告和航行警告；對風機周圍加裝防碰撞保護。	/	嚴格執行環保措施
		風機倒塌	風機都配備事故油槽、風電場設置有完整的現場監控系統、工程本 身配備應急設施。	/	嚴格執行環保措施
環境管 理	環境 監理	電氣設備	加強風電場值班、運行等相關人員的安全教育，各種操作按照規章 執行；海纜鋪設線路設置標誌，并向相應職能管理部門申報。	/	嚴格執行環保措施
		自然災害	設置雷電通道、使用强度高、質量輕的碳纖維增強型塑料作為風 機葉片的填充材料；船舶在霧天施工前應嚴格執行安全管理體系文 件中的相關規定。	/	嚴格執行環保措施
	環境 監理	環境監理	採用巡視方式進行環境監理。	/	嚴格執行環保措施

实施 时段	项目	污染源	主要环保设施/措施	处理效果	验收内容
	环境 监测	环境监测	水质、海洋生物生态、沉积物噪声、鸟类、地形地貌与冲淤环境。	/	严格执行环保措施

11 环境影响评价结论

11.1 工程概况与工程分析结论

本项目风电场址位于山东青岛东部专属经济区，项目规划场址面积约 400km²，拟布置 214 台单机容量为 14MW 的风力发电机组，总装机容量 2996MW，配套建设 1 座 ±525kV 海上换流站和 1 座陆上换流站。项目风电场年理论发电量为 1411865 万 kWh，预计总年上网电量为 963977 万 kWh，年等效满负荷小时数为 3217.5h。风电机组发出电能通过场内 40 回 66kV 集电海缆（总长度 516.938km）接入海上换流站，经换流站内升压和整流后通过 4 回 ±525kV 直流电缆（海域段总长度 701.2km，其中单回路长约 175.3km）至海缆登陆点，转陆缆后接入陆上换流站。陆上换流站与陆域电缆作为单独项目进行核准立项建设，不在本次评价范围内。

本项目计划建设工期 24 个月。

本工程施工期主要环境影响为风机和平台基础施工和电缆沟开挖施工导致海底泥沙悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境，并由此可能对工程海域海洋生态环境（底栖生物和浮游生物）和渔业资源造成一定损害，海上施工作业也对工程海域渔业生产产生一定影响。同时，施工活动的侵扰会对工程海域鸟类栖息活动产生一定影响。施工过程中产生的施工污废水、废气、扬尘、施工噪声和固体废弃物可能对工程区域环境质量造成一定污染。此外，海上施工还可能对海域通航环境造成一定影响。项目海缆敷设悬浮泥沙产生速率为 31.5kg/s，近养殖区水域段海缆铺设悬浮泥沙产生速率为 12.6kg/s，穿越航路段海缆铺设悬浮泥沙产生速率为 29.4kg/s；风机桩基施工悬浮泥沙产生速率为 0.53kg/s，辅助定位架沉桩悬浮泥沙产生速率为 0.16kg/s，辅助定位架拆除悬浮泥沙产生速率为 0.26kg/s；施工船舶产生的含油污水量为 178.88t/d，船舶生活污水产生量为 108t/d。施工船舶航行噪声可达 150dB（re 1 μPa），海缆敷设产生的水下噪声约为 148.3dB~178.8dB，风机桩基施打产生的噪声约为 251dB。

本工程为风力发电项目，海上风电运营期对环境的影响主要源于风力发电机组运行噪声、风机运营维护产生的含油废水、含油废物以及检修人员生活污水和生活垃圾。风电机组运行噪声约为 110dB（A），运行噪声对鸟类、海洋生物栖息和觅食活动可能产生影响。此外，风机桩基对工程海域水动力、地形地貌和冲淤环境有一定影响，对周围海域通航环境产生一定影响。运营期风机维护产生的船舶生活污水量为 5.4t/a，船

船含油污水量为 1.68t/a。

11.2 环境现状调查与评价结论

11.2.1 海洋水文动力调查结论

2025 年 4 月大潮期实测结果显示，A 站底层、B 站中层、C 站中层、F 站表层、H 站中层、底层为表现为正规半日潮流，其余均表现为不正规半日潮流；A 站表层、底层，D 站表层、H 站表层倾向为往复流，其余均倾向于旋转流。所有站点中，A 站可能最大流速最大，为表层的 123cm/s；在风电场区站位（C、D、E、F、G、H）中，G、H 两个站位的可能最大流速最大，表层可达到 116cm/s。

2024 年 9 月小潮期实测结果显示，C 表层、中层为不正规半日潮，D 站各层为不正规半日潮；E 站表层、中层为不正规半日潮，底层为正规半日潮；F 站表层、底层为正规半日潮，中层为不正规半日潮；G 站表层、中层为不正规半日潮，底层为正规半日潮；H 各层为不正规半日潮。各站各层的潮流运动形式均以旋转流为主。D 站表层，E 站中层，F 站底层，潮流运动形式接近较为明显的旋转流。所有站点中，H 站中层流速最大，为中层的 99.9cm/s；C 站底层流速最小，为 57.3cm/s。

11.2.2 海水水质现状调查结论

2025 年春季调查海域海水水质评价结果表明，除两个站位铅含量超标，超标率为 2.99%，其余站位均满足对应功能区水质标准。

2024 年秋季调查海域海水水质评价结果表明，所有站位均达到对应功能区水质标准，项目周边海域海水水质状况较好。

11.2.3 海洋沉积物现状调查结论

2025 年春季潮间带沉积物调查的一个断面铬含量超标，超标率为 7.17%，其余断面各监测因子均符合第一类海洋沉积物质量标准。

2024 年秋季调查结果表明，所有调查站位的沉积物监测因子均符合第一类海洋沉积物质量标准要求，沉积物质量较好。

11.2.4 海洋生物质量调查结论

2025 年春季调查除一个站位砷含量超标外，超标率为 2.17%，其余站位均满足要求，没有超标现象。

2024 年秋季调查结果表明，所有调查站位采集到的海洋生物物质超标率为 0，没有出现超标现象。

11.2.5 海洋生态现状调查结论

2025 年春季调查表层叶绿素 a 平均含量为 $1.23\text{mg}/\text{m}^3$ ，初级生产力平均值为 $385.94\text{mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，共鉴定浮游植物 53 种，大中型浮游动物 24 种，中小型浮游动物 27 种。调查共记录底栖生物 157 种，平均生物量为 $17.45\text{g}/\text{m}^2$ 。共获潮间带生物 28 种，平均生物量为 $113.24\text{g}/\text{m}^2$ ；春季调查共出现鱼卵 4 种，仔稚鱼 1 种，鱼卵平均密度为 $0.2\text{ind}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼平均密度为 $0.003\text{ind}/\text{m}^3$ 。游泳动物调查共捕获 57 种，鱼类平均资源量为 $342.33\text{kg}/\text{km}^2$ ，头足类平均资源量为 $10.68\text{kg}/\text{km}^2$ ，甲壳类平均资源量为 $35.98\text{kg}/\text{km}^2$ 。

2024 年秋季调查表层叶绿素 a 平均含量 $0.59\text{mg}/\text{m}^3$ ，初级生产力平均值为 $358.19\text{mg} \cdot \text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，共鉴定浮游植物 82 种，大中型浮游动物 80 种，中小型浮游动物 56 种。调查共记录底栖生物 138 种，平均生物量为 $20.79\text{g}/\text{m}^2$ 。潮间带生物 27 种，平均生物量为 $22.54\text{g}/\text{m}^2$ 。秋季调查共出现鱼卵 6 种，仔稚鱼 10 种，鱼卵平均密度为 $0.22\text{ind}/\text{m}^3$ ，仔稚鱼平均密度为 $0.05\text{ind}/\text{m}^3$ 。游泳动物调查共捕获 57 种，鱼类平均资源量为 $2239.65\text{kg}/\text{km}^2$ ，头足类平均资源量为 $147.97\text{kg}/\text{km}^2$ ，甲壳类平均资源量为 $83.65\text{kg}/\text{km}^2$ 。

11.2.6 鸟类调查结论

本项目调查实施区域为一条海上长样线和 3 条陆上样线。春季、夏季、秋季和冬季 4 个季节共调查发现鸟类 167 种，隶属 15 目 38 科。按目统计，以雀形目种类最多，鸻形目次之，分别为 69 种、28 种，各占整个调查区域鸟类总种数的 41.32%、16.77%，为优势目；按科统计，其中以鸥科种类最多，为 18 种，占整个调查区域鸟类的 10.78%，鸥科、鹭科次之，均为 16 种，占整个调查区域鸟类的 9.58%，为优势科。166 种鸟类为广布鸟，东洋界种 1 种，广布种占调查区域鸟类总数数量的 99.4%，可见调查区域鸟类区系组成明显以广布种为主。

项目区域位于东亚—澳大利亚—西亚迁飞通道和西太平洋迁飞通道，但本次海上样线调查结果显示，四个季节共计发现鸟类 12 种，鸟类数量比较少，可见风电场所在海域不是鸟类迁徙的主要通道。由于风电场的存在，鸟类的趋避行为会使经过的鸟类迁徙路线产生一定的影响，但影响不大。

11.3 环境影响预测评价结论

11.3.1 水文动力环境影响分析结论

由于风电桩基尺度较小，桩基之间距离较大，风电场建设对工程海域大范围的潮流流态影响很小，工程海域工程前后的潮流场基本一致。风电场建设对工程海域潮流场的影响仅体现在桩基附近局部小范围区域内的流速、流向略有变化。桩基引起的流速改变的幅度和范围较小，流速最大改变幅度为 25cm/s 左右，流速改变幅度大于 5cm/s 的范围向东南方向延伸 160m 左右，向西北方向延伸 110m 左右，风电场各个风电桩基之间不存在相互叠加的影响。总体而言，风电场建设对工程海域的潮流影响很小。

11.3.2 地形地貌与冲淤环境影响分析结论

风电桩基完成以后，桩基群对水流的整体阻挡效并不明显，由于涨落潮流的主流向以东南-西北向为主，因此在风电桩基东南-西北向的流速减小，导致在桩基群的附近和东南-西北向产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.11m/a 左右，而在桩基的东北-西南两侧，由于水动力的增强，则表现出略有冲刷，最大冲刷幅度为 0.09m/a 左右。

整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 2cm/a 的范围不超过桩基区 100m，桩基群之间基本不存在相互叠加影响。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

11.3.3 海水水质的影响结论

施工产生的悬沙扩散影响主要位于底层，对中层和表层的影响甚小，风电场区集电海缆施工垂向平均浓度超 I、II 类海水水质 ($>10\text{mg/L}$) 的面积为 151.506km^2 ，增量浓度大于 10mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 0.91km 海域。送出海缆施工垂向平均浓度超 I、II 类海水水质 ($>10\text{mg/L}$) 的面积为 72.5423km^2 ，增量浓度大于 10mg/L 的最大影响范围为风电场及其周边 0.95km 海域。冷却水排放附近温升 0.5°C 最大包络线影响范围为 0.6671km^2 。

悬沙影响主要出现在施工点附近海域，这种影响主要在海缆铺设过程出现，海缆铺设施工迅速，一旦施工完毕，工程所在区域周边水质环境可在较短时间内恢复。本工程船舶设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，不向海域内排放。因此，项目施工对所在海域水

质带来的影响是局部的、短期的和可逆的，一旦施工结束，影响即可消除。

运营期间风机维护和检修时产生的船舶生活污水、船舱底油污水在运维船上分类收集，待船舶靠岸后，生活污水交由船舶污染物接收单位统一处理，含油污水交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理，基本不会对所在海域水质环境造成影响。

11.3.4 海洋沉积物的影响

项目风机机组建设没有大量土石方，不会影响海底沉积物质量。工程施工期与运营期间严禁向海域内丢弃垃圾和建筑废料，污水统一收集后处理，不向海域内排放，不会对周边海域的沉积环境产生明显影响。

11.3.5 海洋生态环境影响

本项目建设共造成底栖生物损失量 186.5t，鱼卵损失量 166034994 粒，仔稚鱼损失量 23719285 尾，鱼类成体损失量 8819.93kg，鱼类幼体损失量 4487.9kg，头足类成体损失量 733.54kg，头足类幼体损失量 84.22kg，甲壳类成体损失量 61.98kg，甲壳类幼体损失量 333.79kg，浮游植物损失量 3.75×10^{14} cells，浮游动物损失量 5.71×10^6 mg，生态补偿金额为 1015.43 万元。

11.3.6 大气环境影响结论

施工机械、船舶产生的废气，由于海面较开阔，废气很快会消散，对大气环境影响很小，且海上施工区周围无环境敏感点，废气对大气环境敏感点不会产生影响。

海上风场运营期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。运维船产生的废气在开阔海海域很快会消散，对大气环境影响很小。

11.3.7 噪声环境影响结论

项目海上风电场施工打桩作业中产生的水下噪声具有不连续，持续时间有限，无多声源叠加等特点，在打桩作业中采取“软启动”使噪声源强缓慢增强等措施后，能驱使鱼类离开施工水域，可进一步减小水下噪声导致渔业资源的损失，建议工程打桩施工避开鱼类的产卵期。本工程所采用的一般水下施工等活动基本上不会对海洋生物带来影响。海上风电场在运营期总体的噪声强度比较低，不会对海洋生物产生较大影响。

11.3.8 电磁环境影响结论

根据类比分析结果，项目海上升压站、海缆和运维中心电磁辐射（工频电场、工频磁场）均满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)中 4000V/m 和 100 μ T 的限值要求。本工程产生的电磁影响对海洋生物的影响较小。

11.3.9 固体废物环境影响结论

本项目施工期船舶生活垃圾收集后运至陆域，上岸交由船舶污染物接收单位统一处理，海缆铺设扫海清障作业时产生的生产垃圾随船携带，待船舶靠岸后外运处理，对周围环境影响很小。

运营期运维船生活垃圾随船携带，靠岸后交由船舶污染物接收单位统一处理，风机检修产生的含油废物集中收集含油废物箱中，由船舶运送上岸后一并送交由有资质单位处理，对周围环境影响较小。

11.3.10 鸟类影响结论

本项目施工期间对鸟类的各种影响是暂时的。施工期大型船只和机械活动一方面会对鸟类造成干扰，另一方面会影响海洋和底栖生物分布，从而影响鸟类的食物分布；施工产生的噪声会对在施工区及邻近区域觅食的鸟产生影响，使该区域鸟类的数量减少、多样性降低；晚上施工的照明系统会干扰夜间迁徙的鸟类，吸引鸟类与工程设施相撞。运行期间对鸟类的影响主要表现在以下两个方面，一是影响鸟类的觅食，二是影响候鸟的迁徙。风机建成后，平常在该海域觅食的海鸟可能由于风机的存在而迁往它处；途经风电场区迁徙的候鸟在迁徙过程中，白天一般会主动规避风力发电机组，夜晚由于光线较弱将存在与风机叶片相撞的可能。本工程项目风电场区远离陆地和海岛，超出大部分鸟类活动的范围，也不在某些鸟类迁徙的必经之路上，因此对鸟类活动的影响较小。

11.4 环境风险分析与评价结论

本项目海上风电工程施工期和运行期潜在的主要环境事故风险有施工船舶之间、施工船舶与风机、其他船舶与风机碰撞溢油风险；风机桩基失稳内部油料泄漏风险等。

船舶溢油事故会对海洋生物的生长、发育以及群落结构直接产生影响，还会破坏食物链，使海洋生态系统失调，直接与潜在影响较大。但由于多数施工所用船舶载油量小，一般管理操作失误不会引起较大的溢油事故。本报告提出了相应的事故防范措

施，在合理安排施工计划并及时上报有关航运指挥部门前提下，事故发生概率和环境风险影响总体可控。

11.5 环境保护对策措施结论

工程建设对环境产生一定的影响，如局部水域水质混浊（短时间），对区域水质及海洋生物的影响等。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，不影响周围环境使用功能要求。

工程施工和运营过程中污水、噪声、电磁、生态、环境空气、固体废弃物等均有合理的处置和防治措施，环境保护对策措施合理、可行。

11.6 建设项目环境可行性总结论

本项目为风力发电项目，属于可再生能源和清洁能源利用项目，属于《产业结构调整指导目录（2024 年本）》中的鼓励类项目，符合国家产业政策的要求。海上风电机组和 66kV 集电海缆位于《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》范围之外，风电场 525kV 送出海缆穿越《青岛市国土空间总体规划（2021-2035 年）》中的特殊用海区、交通运输用海区、渔业用海区、游憩用海区，项目建设符合相关规划的要求，不占用或穿越生态保护红线。本项目对于降低煤炭消耗、减轻环境污染，缓解环境保护压力、改善区域能源结构等具有非常积极的意义，是发展低碳经济、建设节约型社会的具体体现。

本项目各类废气、噪声排放均满足国家标准要求，污水和固体废物得到妥善处置，对周围敏感目标影响较小，各污染防治措施具有经济技术可行性。项目建设对附近海域水文动力和冲淤环境的影响较小，对周边生态环境的影响较小。正常工况下，本项目排放的污染物能满足相应环境质量标准要求。在认真落实本报告提出的各项环保对策措施和生态补偿措施后，并加强环保管理的前提下，从环境保护的角度，项目建设是可行的。

11.7 其他意见和建议

（1）建设单位应认真落实本报告书提出的各项环保措施和污染防治措施，认真执行环保措施“三同时”制度，力争将项目建设对环境造成的不利影响降至最低。

（2）认真执行施工期的环境监理制度，确保各项环境保护措施和污染防治措施有效运行。

（3）认真执行建设项目环境影响跟踪监测制度和后评估制度，发现问题，及时采取补救措施，并上报有关管理部门，必要时应停止施工和运营。