华能山东半岛北N1场址海上风电项目

生态环境影响报告书

建设单位：华能威海发电有限责任公司

编制单位：青岛恒海盛海洋科技有限公司

2026年11月

生态环境影响报告书删除不宜公开信息的说明

华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目生态环境影响报告书已编制完成。根据相关法律法规，环境影响报告书部分内容不宜公开，现将有关情况说明如下：

（一）不宜公开信息内容 1、涉及国家秘密的内容：水深地形、海流、潮位等资料。2、涉及商业秘密的内容：水质、沉积物、生物生态、渔业资源、生物体质量等内容。3、涉及公民的姓名权、肖像权、荣誉权、名誉权的。4、行政机关制作的政府信息，由制作该政府信息的行政机关负责公开，本报告不宜公开。

（二）不宜公开信息依据 《建设项目环境影响评价政府信息公开指南》、《中华人民共和国政府信息公开条例》等。

（三）理由说明 涉及国家秘密、商业秘密、个人信息、政府信息的按上述依据规定不公开。

目　录

1 概述 1

1.1 项目背景及任务由来 1

1.2 建设项目概况 2

1.3 建设项目特点 3

1.4 环境影响评价过程 3

1.5 分析判定相关情况 4

1.6 关注的主要环境问题及环境影响 5

1.7 环境影响评价报告结论 5

2 总则 6

2.1 编制依据 6

2.2 项目附近环境功能区划及国土空间规划 12

2.3 环境影响因素识别与评价因子筛选 13

2.4 评价标准 16

2.5 评价等级和评价时段 20

2.6 评价范围和评价重点 27

2.7 环境敏感区及环境保护目标 30

3 项目概况 35

3.1 地理位置 35

3.2 建设项目概况 37

3.3 工程平面布置、结构和尺度 41

3.4 项目主要施工工艺和方法 68

3.5 工期 99

3.6 工程运营方案 99

3.7 项目用海情况 100

3.8 项目建设必要性 104

4 工程分析 106

4.1 工艺流程及产污环节分析 106

4.2 工程各阶段污染因子源强估算 109

4.3 工程各阶段非污染环节与环境影响分析 118
4.4 污染源源强汇总及总量控制 119
5 环境现状调查与评价 121
5.1 自然环境概况 121
5.2 海洋资源概况 136
5.3 海域开发利用现状 142
5.4 海洋生态环境现状调查与评价 157
5.5 珍稀海洋生物 217
5.6 海洋生态敏感区调查 229
5.7 鸟类及栖息地概况 236
5.8 声环境质量概况 273
5.9 电磁环境现状调查与评价 288
5.10 海草床生境现状调查与评价 290
5.11 环境空气质量现状调查与评价 303
6 环境影响预测与评价 304
6.1 水动力环境影响预测与评价 304
6.2 地貌与冲淤环境影响预测与评价 312
6.3 水质环境的影响分析 318
6.4 海洋沉积物环境影响分析 325
6.5 海洋生态环境及资源影响分析 326
6.6 噪声影响预测与评价 338
6.7 电磁环境影响预测与评价 355
6.8 对鸟类的影响 362
6.9 对环境敏感目标的影响分析 367
6.10 对其他海域开发活动的影响 376
6.11 其他环境要素环境影响预测与评价 388
6.12 累积影响分析 388
7 环境风险评价 390
7.1 风险识别 390

7.2 海上溢油事故分析 390
7.3 环境风险评价 392
7.4 环境风险管理 403
7.5 结论 415
8 环境保护措施及可行性论证 417
8.1 施工期污染防治措施及环保对策 417
8.2 运营期环境保护措施 424
8.3 生态保护修复措施 429
8.4 环境保护的措施经济技术可行性论证 437
8.5 环境保护设施和对策措施一览表 437
9 产业政策、规划符合性及选址分析 440
9.1 产业政策符合性分析 440
9.2 与《全国国土空间规划纲要（2021—2030）》的符合性分析 440
9.3 与《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》符合性分析 440
9.4 与《威海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》符合性分析 442
9.5 与《荣成市国土空间总体规划（2021—2035 年）》符合性分析 448
9.6 与海岸带保护规划的符合性分析 449
9.7 与《山东海上风电发展规划（2021-2030）》符合性分析 451
9.8 区域和行业规划的符合性分析 452
9.9 “生态环境分区管控”符合性分析 465
9.10 工程选址合理性分析 472
10 环境影响经济损益分析 476
10.1 环境保护投资费用估算 476
10.2 项目经济损益分析 477
10.3 环境保护的技术经济合理性 478
11 环境管理与环境监测 479
11.1 环境管理 479
11.2 环境监测 481
11.3 环境影响评价制度与排污许可制度的衔接 494

11.4 “三同时”验收一览表 494
12 环境影响评价结论 496
12.1 评价结论 496
12.2 建议 508
附表 510
附表 1 建设项目海洋生态环境影响评价自查表 510
附录 512
附录 1 2024 年 10 月浮游植物种类名录 512
附录 2 2024 年 10 月浮游动物种类名录 513
附录 3 2024 年 10 月底栖生物种类名录 514
附录 4 2024 年 10 月潮间带生物种类名录 515
附录 5 2024 年 10 月海草床调查大型底栖生物种名录 516
附录 6 2024 年 10 月海草床调查鱼卵和仔、稚鱼种名录 517
附录 7 2024 年 10 月海草床调查游泳动物种名录 518
附录 8 2025 年春季监测海域浮游植物种名录 519
附录 9 2025 年春季监测海域浮游动物种名录 520
附录 10 2025 年春季监测海域大型底栖生物种名录 521
附录 11 2025 年春季监测海域潮间带生物种名录 522
附录 12 2025 年春季监测海域游泳动物种名录 523
附录 13 2025 年春季监测海域海草床大型底栖生物种名录 524
附录 14 2025 年春季监测海域海草床鱼卵和仔、稚鱼种名录 525
附录 15 2025 年春季监测海域海草床游泳动物种名录 526
附件 527
附件 1 委托书 527
附件 2 核准文件（立项文件） 528
附件 3 威海市人民政府办公室《关于印发 2024 年重点项目安排方案的通知》 529
附件 4 华能山东公司关于调整半岛北海上风电基地 K、L、N1 场址坐标的请示 530

附件 5　关于支持华能山东公司半岛北海上风电基地 K、L、N1 场址有关工作的函 531
附件 6　CMA 检测报告 532
附件 7　秋季渔业资源调查报告 533
附件 8　项目集控中心用地预审与选址意见书 534
附件 9　项目集控中心用地预审意见 535
附件 10　山东海上风电发展规划（2021-2030）通知 536
附件 11　项目对鸟类影响评价报告专家评审意见 537
附件 12　项目通航安全研究报告专家咨询意见 538
附件 13　利益相关者证明材料 539
附件 14　项目海底电缆路由技术审查会专家审查意见 540
附件 15　中海油探矿权证书 541
附件 16　电磁、噪声专家评审意见 542
附件 17　华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目配套陆上运维中心及陆缆工程项目环评报告书批复 543
附件 18　高抗站通航安全专家意见 544
附件 19　威海市海洋发展局关于支持项目送出海缆廊道统筹利用的说明 545

1 概述

1.1 项目背景及任务由来

山东省是海洋强省，海洋资源得天独厚，海上风电作为海洋经济的重要组成部分，在提供清洁能源，促进能源结构调整，改善国民膳食结构和推动供给侧结构性改革和新旧动能转换等方面具有重要意义。

《山东省能源发展“十四五”规划》明确指出：加快能源结构调整步伐，实施“四增两减”工程，聚焦可再生能源、核能、天然气、省外来电做加法，打造全国重要的核电基地、海上风电基地、沿海 LNG 接卸基地、跨区域电力消纳基地和鲁北风光储输一体化基地；突出煤炭、煤电做减法，淘汰低质低效产能，实现能源消费增量全部由清洁能源供给、电力消费增量主要由清洁电力供应。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。科学布局陆上风电，适度有序推进陆上风电开发建设。到 2025 年，风电装机规模达到 2500 万千瓦。

2022 年 2 月 9 日山东省发展和改革委员会、山东省能源局印发了《山东海上风电发展规划（2021—2030 年）》（鲁发改能源〔2022〕86 号），共规划了渤中、半岛北和半岛南 3 个大型海上风电基地。其中半岛北基地共规划了 10 个海上风电场，场址序号为 K~P，规划风电场场址总面积为 1280 平方公里，规划装机容量 850 万千瓦。根据威海市人民政府办公室《关于印发 2024 年重点项目安排方案的通知》（威政办字〔2024〕5 号），华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目为市级重点项目（附件 3）。

半岛北基地 N 场址分为 N1 和 N2 场址两个部分，N2 场址海上风电项目由上海电气风电集团（烟台牟平）新能源有限公司负责建设，N1 场址海上风电项目由华能威海发电有限责任公司负责建设。目前 N2 场址海上风电项目用海已通过自然资源部组织的专家评审并取得用海批复，环境影响评价已获生态环境部批复。N1 场址位于山东半岛东北部海域，山东省管理海域以外。场址中心离岸距离约 59km，场址面积约 103km^2，风电场场区水深 55~59m，规划装机容量为 1100MW。

项目拟布置 79 台 WTG270-14000 型风力发电机组，新建 1 座 500kV 海上升压站、1 座海上高抗站和 1 座陆上集控中心，风电机组发出电能通过 66kV 海底电缆接入海上升压站，经升压后通过 2 回 500kV 交流海底电缆登陆，转 500kV 交流陆缆接入陆上集

控中心，在 500kV 海缆南部设置海上高抗站。其中海上风电机组、海上升压站、高抗站和海底电缆均需占用海域。

根据《中华人民共和国生态环境法典》《建设项目环境保护管理条例》等规定，项目建设需进行环境影响评价工作。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021年版）》，本项目建设海上风电场，属于“五十四、海洋工程，151.海洋能源开发利用类工程”中“总装机容量 5 万千瓦及以上的海上风电工程及其输送设施及网络工程”，应编制环境影响报告书。为此，华能威海发电有限责任公司委托青岛恒海盛海洋科技有限公司进行项目环境影响评价工作。

接受委托后，在认真研究建设单位提供的有关资料，并收集评价区已有资料的基础上，对本工程进行了现场踏勘，根据国家有关建设项目环境影响评价和海洋工程环境影响评价工作的行政法规和技术规范，编制了本报告书。

本项目评价主体为海域工程，环境影响评价时段为施工期及运营期，主要包括风电机组、海上升压站、海上高抗站、66kV 海底电缆、500kV 海底电缆，项目登陆后的登陆井、线缆、陆域集控中心等陆域配套设施已单独编制《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目配套陆上运维中心及陆缆工程项目环境影响报告书》，并于 2026 年 8 月 7 日取得山东省生态环境厅批复（附件 17），不属于本次环境影响评价的责任范围。

1.2 建设项目概况

项目位于山东省东北部海域，场址中心（升压站）离岸约 59km，水深约 55~59m。项目规划装机容量为 1106MW，拟布置 79 台 14MW 的风电机组，场区内建设一座±500kV 海上升压站，风电机组通过 15 回 66kV 集电海缆接入±500kV 海上升压站，升压后通过 2 回 500kV 海底电缆接至海缆登陆点，500kV 海缆南部设置海上高抗站。项目年理论发电量 528122 万 kW·h，预计项目年上网电量为 352607 万 kW·h，年等效满负荷小时数为 3188h，容量系数 0.364。

本项目总用海面积为 1044.1355hm^2，用海类型一级类为工业用海，二级类为电力工业用海。其中，风机用海面积为 452.2110hm^2，海上升压站用海面积为 0.5773hm^2，高抗站用海面积为 0.4158hm^2，风机、升压站、高抗站用海方式一级方式为构筑物，二级方式为透水构筑物；海底电缆用海面积 590.9314hm^2，用海方式一级方式为其他方式，二级方式为海底电缆管道。

项目总投资 1159942 万元，环保投资约 5249.0 万元，约占工程总投资 0.45%。工程

工期 18 个月。

1.3 建设项目特点

本工程对环境产生的影响主要为：施工期施工人员生活污水、船舶含油污水、风机基础施工和海底电缆产生的悬浮泥沙、施工人员产生的生活垃圾及施工船舶、机械产生的废气和噪声；本项目运营期产生的污染物主要为海上升压站、海上高抗站、风机产生的噪声，升压站及输电线产生的电磁辐射及无线电干扰影响，风机维护及检查期间工作人员、工作船舶产生的废水、废气和生活垃圾等。

工程通过采取本评价提出的各项污染防治措施、生态保护措施及风险防范措施，能有效减缓因工程施工造成的水生生态影响；运营期升压站和高抗站产生的生活污水处理达标后排放、对海洋环境影响很小，船舶生活污水、船舶含油污水、生活垃圾送陆域处理，不排海，对海洋环境不产生直接影响。

1.4 环境影响评价过程

2024 年 9 月中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司编制了《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目可行性研究报告》，2026 年 8 月对《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目可行性研究报告》进行了调整完善；2026 年 8 月青岛恒海盛海洋科技有限公司编制了《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目海域使用论证报告书》。

2023 年 8 月，华能威海发电有限责任公司委托我单位承担了华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目环境影响评价工作。根据《中华人民共和国生态环境法典》《建设项目环境保护管理条例》等规定，环评单位项目组成员在熟悉设计资料的基础上，进行了现场踏勘、环境监测和调查，在工程分析和环境影响筛选的基础上，依据环境保护法律法规及环境影响评价标准等开展了现状和预测评价，提出污染防治措施，编制完成了《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目生态环境影响报告书》。

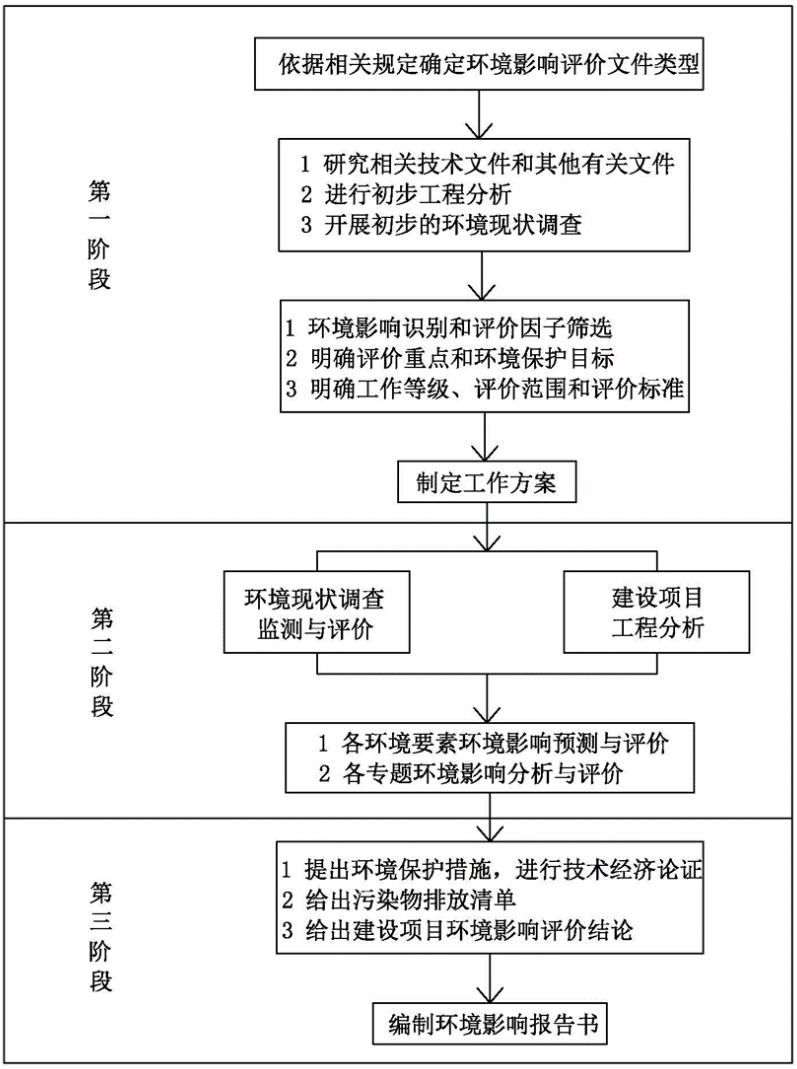


图 1.4-1　环境影响评价工作流程图

1.5 分析判定相关情况

（1）产业政策符合性分析

本项目为海上风电场建设项目，根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》的规定，本项目属于第一类“鼓励类”中第五项“新能源”中第 1 条“海上风电场建设与设备及海底电缆制造”，符合国家产业政策要求。

（2）选址、规划符合性分析

项目建设符合国家产业政策，符合《山东省国土空间规划（2021-2035）》《威海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》、海岸带保护规划、《山东海上风电发展规划（2021-2030）》《海上风电开发建设管理办法》等相关规划的要求，不占用生态保护红线区。

（3）“生态环境分区管控”符合性分析

表 1.5-1　项目“生态环境分区管控”符合性分析

内容	符合性分析
生态保护红线	本项目风场区位于山东省海域范围之外，不占用生态保护红线。海底电缆不穿越生态保护红线，不改变岸线形态，不影响周边水文动力及冲淤环境，不会对周边沙滩及岸线属性及分布造成影响；海底电缆施工时需挖沟埋设电缆，悬浮泥会进入红线区，但随着施工的结束，这种影响逐渐消失，影响是暂时性的。海底电缆的埋设对生态保护红线影响较小。
环境质量底线	根据环境质量现状调查分析，项目区域环境空气、声环境、海水水质、沉积物环境质量现状能够满足相应环境功能区划要求。通过环境影响分析，项目施工期和营运期污染物均妥善处置，不排海，不会突破环境质量底线。
资源利用上线	项目运营过程中不消耗电源、水资源等资源，为海上风电场建设项目，项目的建设充分利用此处的海上风能，装机符合相应规范要求。项目符合资源利用上线的要求。
生态环境准入清单	根据《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》，项目风场区位于管控单元以外，高抗站位于一般管控单元，送出海缆部分穿越海域一般管控单元，项目建设符合威海市生态环境准入清单要求。具体分析详见 9.9 节。

1.6 关注的主要环境问题及环境影响

本次评价依据“环境影响评价技术导则”的要求，对项目所在区域的环境现状进行了调查、监测，在项目环境影响分析的基础上，重点分析：工程建设与国土空间规划和相关规划的符合性；风机基础、电缆铺设施工对海洋环境、生态及渔业资源的影响；风机产生的水下噪声对海洋动物的影响；风机运行对区域鸟类迁徙、栖息及其生境的影响；工程建设对环境敏感区以及其他海洋环境保护目标的影响；溢油环境事故风险分析评价。

1.7 环境影响评价报告结论

本项目符合国家和山东省产业政策，符合近岸海域功能区划、国土空间规划以及生态保护红线规定，功能定位符合总体发展功能定位，项目社会效益显著。

项目建设对附近海域水文动力的影响较小，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。本项目风险水平为低风险，在落实了相关应急措施、设施，加强风险管理后，可以避免大的环境风险，项目所带来的环境风险是可以接受的，可控的。在认真落实本报告提出的各项环保对策和建议，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。

2 总则

2.1 编制依据

2.1.1 法律法规、条例

（1） 第十四届全国人民代表大会第四次会议，《中华人民共和国生态环境法典》，2026 年 3 月 12 日通过，自 2026 年 8 月 15 日起施行；

（2） 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国海域使用管理法》，2001.10 发布，2002.1 施行；

（3） 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国渔业法》，2025 年 12 月 27 日修订，2026 年 5 月 1 日起施行；

（4） 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国海上交通安全法》，2016.11.7 修订，2016.11.7 施行；

（5） 全国人民代表大会常务委员会，《中华人民共和国突发事件应对法》，2007.8.30 公布，2007.11.1 施行；

（6） 海事协商组织，《1973/1978 国际防止船舶造成污染公约及其附则I、II、III、IV、V及VI》。

（7） 中华人民共和国国务院，《建设项目环境保护管理条例》，2017.6.21 修订，2017.10.1 施行；

（8） 中华人民共和国国务院，《防治船舶污染海洋环境管理条例》，2018.3.19 修订，2018.3.19 施行；

（9） 中华人民共和国国务院，《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2018.3.19 修订，2018.3.19 施行；

（10） 中华人民共和国国务院，《中华人民共和国防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2018.3.19 修订，2018.3.19 施行；

（11） 中华人民共和国国家发展和改革委员会，《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行；

（12） 中华人民共和国原环境保护部，《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发〔2012〕77 号），2012 年 7 月 3 日；

（13） 中华人民共和国原环境保护部，《关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知》（环发〔2012〕98 号），2012 年 8 月 7 日；

（14） 中华人民共和国生态环境部，《环境影响评价公众参与办法》，2018.4.16发布，2019.1.1 施行；

（15） 中华人民共和国原环境保护部与原农业部，《关于进一步加强水生生物资源保护严格环境影响评价的通知》，环发〔2013〕86 号，2013 年 8 月；

（16） 中华人民共和国国家海洋局，《风暴潮、海浪、海啸和海冰灾害应急预案》，2015 年 6 月发布，2015 年 6 月实施；

（17） 中华人民共和国交通运输部，《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》，2010 年第 7 号令，2010.11.16 发布，2011.2.1 施行；

（18） 中华人民共和国交通运输部，《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》，2011 年第 4 号令，2011.1.27 发布，2011.6.1 施行, 2018.9.27修订；

（19） 山东省人民代表大会常务委员会，《山东省海洋环境保护条例》，2026 年 5 月 21 日修订，2026 年 8 月 15 日起施行；

（20） 中华人民共和国国务院，《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37 号），2013 年 9 月；

（21） 《海上风电开发建设管理办法》（国家能源局、国家海洋局，国能新能〔2016〕394 号，2016 年 12 月 29 日起施行）；

（22） 山东省人民代表大会常务委员会，《山东省海域使用管理条例》，2003.9发布，2004.1 施行，2015 年修订；

（23） 《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，2021 年 1 月 1 日；

（24） 《威海市人民政府关于印发威海市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知（威政字〔2021〕24 号）》，2021 年 6 月 17 日；

（25） 《关于发布 2023 年生态环境分区管控动态更新成果的通知》，威海市生态环境委员会办公室，2024 年 4 月 29 日；

（26） 山东省生态环境委员会办公室，《山东省深入打好碧水保卫战行动计划（2021—2025 年）》（鲁环委办〔2021〕30 号），2021 年 8 月 22 日实施；

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

（28） 《铺设海底电缆管道管理规定》（中华人民共和国国务院令（第 27 号），

1989 年 3 月 1 日起施行）；

（29） 《自然资源部办公厅关于北京等省（区、市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》（自然资办函〔2022〕2207 号，2022 年 10 月 14 日发布）；

（30） 《关于积极做好自然资源要素保障服务经济稳增长的通知》（鲁自然资字〔2022〕120 号）；

（31） 《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）。

2.1.2 技术规范

（1） 原环境保护部，《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ 2.1-2016），2016.12 发布，2017.1 实施；

（2） 生态环境部，《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409—2025），2025.01.10 发布，2025.2.01 实施；

（3） 生态环境部，《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ 24-2020），2020.12 发布，2021.5 实施；

（4） 生态环境部，《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018），2018.07 发布，2018.12 实施；

（5） 生态环境部，《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ/T 2.3-2018），2018.9 发布，2019.3 实施；

（6） 原环境保护部，《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ 610-2016），2016.1 发布，2016.1 实施；

（7） 生态环境部，《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ 2.4-2021），2021.12 发布，2022.7 实施；

（8） 生态环境部，《环境影响评价技术导则 土壤环境（试行）》（HJ 964-2018），2018.9 发布，2019.7 实施；

（9） 生态环境部，《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ 19-2022），2022.1 发布，2022.7.1 实施；

（10） 生态环境部，《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018），2018.10 发布，2019.3 实施；

（11） 国家海洋局，《海上风电工程环境影响评价技术规范》，2014 年 04 月 29

日；

（12） 国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会，《海洋监测规范》（GB 17378-2007），1998.6 发布，2008.5 实施；

（13） 国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会，《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007），2007.8 发布，2008.2 实施；

（14） 生态环境部，《近岸海域环境监测技术规范》（HJ442-2020），2020.12发布，2021.3实施；

（15） 国家海洋局，《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》，2002 年 4 月 30 日实施；

（16） 原国家环境保护总局，《海水水质标准》（GB 3097-1997），1997.12 发布，1998.7 实施；

（17） 国家质量监督检验检疫总局，《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002），2002.3 发布，2002.10 实施；

（18） 国家质量监督检验检疫总局，《海洋生物质量》（GB 18421-2001），2001.8 发布，2002.3 实施；

（19） 国家质量监督检验检疫总局，《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018），2018 年 7 月 1 日起实施；

（20） 山东省生态环境厅，《流域水污染物综合排放标准第 5 部分：半岛流域》（DB／37 3416.5-2018），2019 年 3 月 10 日实施；

（21） 中华人民共和国农业部，《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007），2017.12.18 发布，2008.3.1 实施；

（22） 中华人民共和国海事局，《船舶污染海洋环境风险评价技术规范（试行）》（海船舶〔2011〕588 号），2011 年 9 月 16 日；

（23） 生态环境部，《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版），2021.1.1.实施；

（24） 生态环境部，《船舶水污染防治技术政策》（环保部公告 2018 年第 8 号），2018.1.12 实施；

（25） 交通运输部，《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017），2017 年 11 月实施。

（26） 山东省生态环境厅，《山东省生态环境厅关于做好海洋工程建设项目施工

期环境影响跟踪监测监管工作的通知》（鲁环函〔2019〕408 号），2019.12.14 实施。

（27） 《海底电缆输电线路工程设计规范（报批稿）》；

（28） 《海底光缆工程设计规范》（GB/T 51154-2015）。

2.1.3 相关规划

（1） 《新型能源体系建设“十五五”规划》（国家发展改革委、国家能源局，发改能源〔2026〕884 号，2026 年 6 月 25 日）；

（2） 《可再生能源发展“十五五”规划》（国家发展改革委、国家能源局，发改能源〔2026〕1067 号，2026 年 7 月 23 日）；

（3） 《新型电力系统建设“十五五”规划》（国家发展改革委、国家能源局，发改能源〔2026〕942 号，2026 年 8 月 3 日）；

（4） 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》（新华社，2026 年 3 月 13 日）；

（5） 《山东省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》（山东省人民政府，2026 年 4 月 8 日）；

（6） 《山东省海上风电发展规划（2021—2030 年）》（山东省发展和改革委员会、山东省能源局，鲁发改能源〔2022〕86 号，2022 年 2 月 9 日）；

（7） 《威海港总体规划（局部修订）》（山东省人民政府，鲁政字〔2020〕143 号，2020 年 7 月 21 日）；

（8） 《山东省能源发展“十四五”规划》（山东省人民政府，2021 年 8 月）；

（9） 《山东省国土空间规划（2021—2035 年）》（山东省人民政府，鲁政发〔2023〕12 号，2023 年 12 月 27 日）；

（10） 《山东省海岸带及海洋空间规划（2020—2035 年）》（山东省自然资源厅，鲁自然资发〔2026〕13 号，2026 年 11 月 4 日）；

（11） 《威海市国土空间总体规划（2021—2035 年）》（山东省人民政府，鲁政字〔2023〕196 号，2023 年 10 月 31 日）；

（12） 《荣成市国土空间总体规划（2021—2035 年）》（山东省人民政府，鲁政字〔2024〕19 号，2024 年 2 月 4 日）；

（13） 《威海港总体规划（局部修订）》（山东省人民政府，鲁政字〔2020〕143 号，2020 年 7 月 21 日）。

2.1.4 项目基础资料

（1） 委托书；

（2） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目可行性研究报告》（中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司，2026 年 8 月）；

（3） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目海底电缆预选路由选择依据说明材料》（浙江华东岩土勘察设计研究院有限公司，2026 年 8 月）；

（4） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目选址通航安全研究报告》（集美大学，2024 年 12 月）；

（5） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目工程地质勘察报告》（中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司，2022 年 11 月）；

（6） 《华能山东半岛北海上风电基地（N1 场址）项目两季全潮水文观测专题分析报告》（青岛海洋工程勘察设计研究院有限公司，2024 年 4 月）；

（7） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目秋季海洋环境现状调查报告》（青岛恒海盛海洋科技有限公司，2024 年 11 月）；

（8） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目春季海洋环境监测报告》（青岛恒海盛海洋科技有限公司，2025 年 7 月）；

（9） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目 2024 年秋季渔业资源现状调查报告》（鲁东大学滨海生态高等研究院，2024 年 12 月）；

（10） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》（中国科学院声学研究所北海研究站，2026 年 8 月）；

（11） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目鸟类生态环境现状调查与影响评价报告》（山东大学，2026 年 8 月）；

（12） 《华能山东半岛北海上风电基地（N1 场址）项目两季全潮水文观测专题分析报告》（青岛海洋工程勘察设计研究院有限公司，2024 年 4 月）；

（13） 《半岛北 N 场址海上风电项目电磁辐射检测报告报告》（山东丹波尔环境科技有限公司，2023 年 10 月）；

（14） 《山东半岛北 N1 场址海上风电项目检测报告》（山东丹波尔环境科技有限公司，2024 年 12 月）；

（15） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目海缆路由调查勘测报告》（浙江华东岩土勘察设计研究院有限公司，2026 年 8 月）；

（16） 《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目 500kV 高抗站建设通航安全影响研究报告》（集美大学，2026 年 8 月）；

（17） 建设单位提供的其他资料。

2.2 项目附近环境功能区划及国土空间规划

2.2.1 工程附近海域环境功能区划

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2016—2020 年）》，本工程风场区位于山东省近岸海域环境功能区划范围之外；路由区穿越烟台－威海北近海盐业养殖区（SD101BII）、威海北盐业养殖区（SD131BII）、刘公岛－鸡鸣岛盐业养殖区（SD139BII），执行二类海水水质标准，其中水产种质资源保护区、捕捞区内水质执行I类标准；穿越威海港口航运区（SD135DIV（III））、黄石圈工业与城镇建设区（SD146CIII），执行三类海水水质标准。

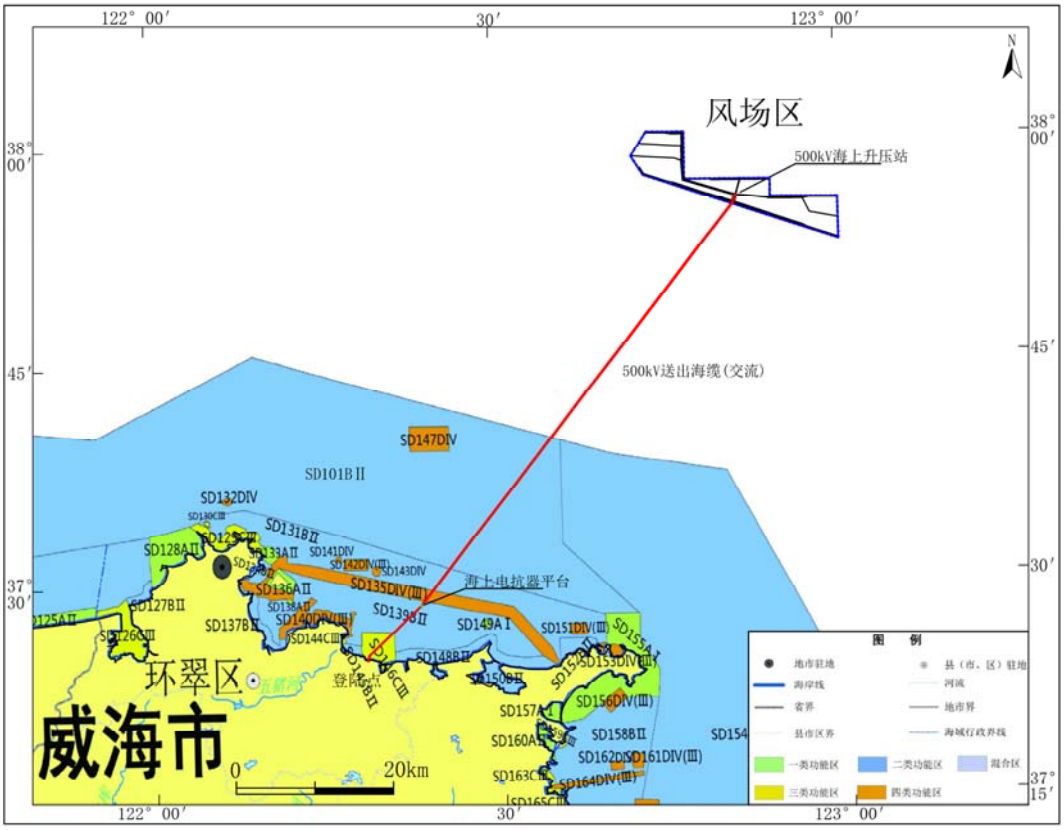


图 2.2-1 工程所在海域环境功能区划图

2.2.2 工程附近国土空间规划

根据《威海市国土空间总体规划（2021—2035 年）》，项目风电场区不在规划范围内，500kV 海缆穿越“威海港－鸡鸣岛渔业用海区（1-10）”，高抗站位于“威海港－鸡鸣岛渔业用海区（1-10）”，项目所在海域及周边海域的功能区分布见图 2.2-2。

图 2.2-2　工程与《威海市国土空间总体规划（2021—2035 年）》叠置图

图 2.2-3　项目与国土空间规划分区的位置关系图（近岸段放大）

2.3 环境影响因素识别与评价因子筛选

2.3.1 环境影响因素识别

2.3.1.1 施工期主要污染环境影响因素识别

（1）水环境：施工期打桩、海底电缆铺设等环节产生的悬浮泥沙对海洋水质环境造成影响，施工场地产生的生活污水、含油废水等，施工船舶产生的生活污水及含油废水。

（2）沉积物环境：悬浮泥沙沉降造成周边海域海底沉积物类型变化。

（3）大气环境：施工机械、船舶产生的废气等。

（4）声环境：施工船舶、机械设备等产生的噪声。

（5）固体废物：施工期间陆域及海上产生的生活垃圾。

2.3.1.2 运营期主要污染环境影响因素识别

（1）声环境影响

海上升压站、高抗站、风机产生的噪声。

（2）电磁辐射和干扰影响

升压站、高抗站及输电线产生的电磁辐射及无线电干扰影响。

（3）废水、废气、固废

风机维护及检查期间，工作船人员日常生活及维修过程中产生的废水、废气和固废。

2.3.1.3 生态影响因素

根据工程的规模、工艺流程等特征，工程各阶段主要生态影响如下：

（1）风电场建设和施工破坏了底栖生物赖以生存的底质环境，并造成部分底栖生物的直接死亡，施工悬浮泥沙对浮游生物、游泳动物等也将产生一定的影响。此外，工程改变区域自然环境和生态环境，可能对工程区域局部海域的生态适宜性和生物多样性产生影响。

（2）风电场建设引起工程海区潮流场、冲淤环境变化，改变海域的自然水深，工程后对水动力环境和地形地貌冲淤环境产生一定的影响。

（3）施工期和运营期船舶进出该海域，施工船舶、工作船与过往船舶相互干扰，

存在发生水上交通安全事故的隐患，可能诱发环境风险事故。

（4）风电场风机对鸟类迁徙、栖息和觅食产生一定的影响。

（5）施工期打桩和船舶噪声对斑海豹、东亚江豚等哺乳动物的影响，运营期风机和升压站对斑海豹、东亚江豚迁徙等哺乳动物的影响。

2.3.1.4 小结

通过前文的工程分析，对本项目施工、运营等阶段的主要污染及非污染影响因素有了进一步的认识，主要环境影响因素分析见表 2.3-1。

表 2.3-1　项目主要环境影响因素识别一览表

评价时段	环境影响要素	评价因子	产生影响内容及其表征	影响程度与分析评价深度
施工期	海洋生态	底栖生物	海缆铺设、构筑物建设	＋＋＋
		鱼卵、仔鱼	悬浮泥沙扩散	＋＋
		浮游生物	悬浮泥沙扩散	＋＋
		斑海豹、东亚江豚	施工期打桩噪声影响	＋
	海水水质	SS	海缆铺设、打桩产生悬浮物	＋＋＋
		石油类	船舶作业	＋
		COD、氨氮、总氮、总磷	施工人员	＋
	海洋水文动力	潮流	海上构筑物影响	＋＋＋
	海洋沉积物	底质	悬浮物扩散	＋＋
	海洋地形地貌与冲淤	冲淤环境	海上构筑物影响	＋＋＋
	噪声环境	噪声	船舶和机械作业	＋
	大气环境	SO_2、NOx、CO 等	船舶作业、运输	＋
	固体废弃物	生活垃圾、船舶垃圾	作业船舶、施工人员	＋
运营期	水环境	石油类	升压站、高抗站含油污水、工作船含油污水	＋
		COD、氨氮、总氮、总磷	船舶生活污水	＋
	噪声环境	噪声	风机运转及升压站、高抗站噪声	＋＋
	大气环境	SO_2、NOx、CO 等	工作船、升压站、高抗站柴油机	＋
	电磁环境	工频电磁场	升压站、高抗站、输电线路	＋
		无线电干扰		
	固体废弃物	生活垃圾、危险废物	工作船舶、检修固废	＋
	生态环境	鸟类的栖息、迁徙及生境、“三场一通道”	风场对鸟类的影响 风场对渔业资源的影响	＋＋＋
		斑海豹、东亚江豚	风机和升压站、高抗站对迁徙等影响	＋
	其他	通航	风场建设	＋

＋ 表示环境影响要素和评价因子所受到的影响程度为较小或轻微，需要进行简要的分析与影响预测；
＋＋ 表示环境影响要素和评价因子所受到的影响程度为中等，需要进行常规影响分析与影响预测；
＋＋＋ 环境影响要素和评价因子所受到的影响程度为较大或敏感，需要进行重点的影响分析与影响预测。

2.3.2 评价因子筛选

根据对项目的工程分析、项目所在地区各环境要素的特征以及存在的环境问题，确定的评价因子见下表。

表 2.3-2　评价因子筛选表

受影响对象	评价因子	工程内容及影响方式	影响性质	影响时段
海水水质	SS	海缆施工、打桩产生悬浮泥沙，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期
	石油类	施工船舶污水和运营期运维船舶污水，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期和运营期
	COD、氨氮	施工船舶和运维船舶工作人员，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期和运营期
初级生产力	叶绿素 a	施工悬沙造成浮游植物损失，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期
		风机、升压站、高抗站直接占用，直接影响	长期影响，可逆影响	运营期
浮游植物、浮游动物、潮间带生物、底栖生物、游泳动物	种类组成、生物量、密度、种群结构、群落特征、分布范围、物种多样性指数	海缆施工和打桩施工悬沙扩散，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期
		风机、升压站、高抗站占用，直接影响	长期影响	运营期
威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	沙滩、湿地生态系统	施工穿越，施工悬沙短期影响海水水质	短期影响，可逆影响	施工期
蓝点马鲛等水生生物“三场一通道”	分布范围、生产力等	施工打桩噪声、施工悬沙，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期
		风机、升压站、高抗站占用，直接影响	长期影响，可逆影响	运营期
斑海豹	种类、数量、种群规模、分布、迁徙、觅食等	施工期打桩噪声对斑海豹影响，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期
		运营期风机和升压站对斑海豹迁徙等影响，直接影响	长期影响，可逆影响	运营期
东亚江豚	种类、数量、种群规模、分布、迁徙、觅食等	施工期打桩噪声影响，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期
		运营期风机和升压站对东亚江豚觅食、迁徙等影响，直接影响	长期影响，可逆影响	运营期
岸线	长度、宽度、类型和功能	不影响自然岸线，500kV 海缆穿越人工岸线，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期
鸟类	鸟类的栖息、觅食	施工船舶和机械的干扰，风机建设影响鸟类迁徙，直接影响	长期影响，可逆影响	施工期和运营期
海洋沉积物	底质	悬浮物扩散，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期
水环境	生活污水、含油污水	施工期和运营期船舶生活污水、含油污水，不直接外排	短期影响，可逆影响	施工期和运营期
声环境	噪声	船舶和机械作业、施工水下噪声，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期
	风机噪声	风机水下噪声对生态影响，直接影响	长期影响，可逆影响	运营期
大气环境	SO_2、NO_2、CO 等	施工期船舶作业，运维船舶作业，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期和运营期
固体废弃物	生活垃圾	作业船舶、施工人员、不向外环境排放	短期影响	施工期和运营期
	废铅蓄电池，油渣、油垢、废油，含油抹布等危险废物	海上升压站、风机检修，不向外环境排放	短期影响，可逆影响	运营期
海洋水文动力	潮流	海上构筑物影响，间接生态影响	长期影响，可逆影响	运营期
海洋地形地貌与冲淤	冲淤环境	海上构筑物影响，间接生态影响	长期影响，可逆影响	运营期
电磁环境	工频电场、工频磁场	海上升压站、高抗站、输电线路，直接影响	长期影响，可逆影响	运营期
环境风险	石油类	船舶碰撞溢油事故等，直接影响	短期影响，可逆影响	施工期和运营期
其他	通航	风场建设，直接影响	长期影响，可逆影响	施工期和运营期

2.4 评价标准

2.4.1 环境质量标准

2.4.1.1 环境空气

项目区域无环境空气质量功能区划，根据《环境空气质量标准》（GB3095-2026），二类区为居住区、商业交通居民混合区、文化区、工业区和农村地区，执行《环境空气质量标准》（GB3095-2026）中的二级标准要求。具体标准值见表 2.4-1。

表 2.4-1 环境空气质量执行标准

序号	污染物项目	平均时间	过渡阶段浓度限值		浓度限值		单位
			一级	二级	一级	二级	
1	二氧化硫（SO_2）	年平均	20	60	20	20	$\mu g/m^3$
		日平均	50	150	50	50	
		1h 平均	150	500	150	150	
2	二氧化氮（NO_2）	年平均	140	40	30	30	
		日平均	80	80	50	50	
		1h 平均	200	200	200	200	
3	一氧化碳（CO）	日平均	4	4	4	4	mg/m^3
		1h 平均	10	10	10	10	
4	臭氧（O_3）	日最大 8 小时平均	100	160	100	160	$\mu g/m^3$
		1 小时平均	160	200	160	200	
5	颗粒物（粒径≤10μm，PM_{10}）	年平均	40	60	20	50	
		日平均	50	120	50	100	
6	颗粒物（粒径≤2.5μm，$PM_{2.5}$）	年平均	15	30	10	25	
		日平均	35	60	25	50	
7	总悬浮颗粒物（TSP）	年平均			80	200	$\mu g/m^3$
		日平均			120	300	
注：过渡阶段是指 2026 年 3 月 1 日至 2030 年 12 月 31 日。							

2.4.1.2 海水水质

根据国土空间规划结合，生态保护区执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的第一类标准，渔业用海区执行《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的第二类标准；其他海水水质调查海域中位于交通运输用海区（航道、锚地）执行第三类海水水质标准，交通运输用海区（港口区）水质执行第四类标准；生态控制区水质评价执行第一类标准，功能区外水质评价执行第一类标准。

表 2.4-2 海水水质标准 单位：mg/l，pH 无量纲

项目	pH	DO	COD	无机氮	活性磷酸盐	石油类	铜	铅
一类	7.8~8.5	＞6	≤2	≤0.20	≤0.015	≤0.05	≤0.005	≤0.001
二类	7.8~8.5	＞5	≤3	≤0.30	≤0.030	≤0.05	≤0.010	≤0.005
三类	6.8~8.8	＞4	≤4	≤0.40	≤0.030	≤0.30	≤0.050	≤0.010
四类	6.8~8.8	＞3	≤5	≤0.50	≤0.045	≤0.50	≤0.050	≤0.050

项目	锌	镉	总铬	总汞	砷	挥发酚	硫化物	
一类	≤0.020	≤0.001	≤0.05	≤0.00005	≤0.020	≤0.005	≤0.020	
二类	≤0.050	≤0.005	≤0.10	≤0.0002	≤0.030	≤0.005	≤0.050	
三类	≤0.10	≤0.010	≤0.20	≤0.0002	≤0.050	≤0.010	≤0.100	
四类	≤0.50	≤0.010	≤0.50	≤0.0005	≤0.050	≤0.050	≤0.250	

2.4.1.3 海洋沉积物

根据国土空间规划，生态保护区、渔业用海区执行第一类标准。其他沉积物调查海域中位于交通运输用海区（航道、锚地）执行第二类沉积物质量标准；生态控制区、功能区外沉积物评价执行第一类标准。

表 2.4-3 海洋沉积物质量标准（GB18668-2002）

序号	项目	标准值		
		一类	二类	三类
1	汞（$\times10^{-6}$）≤	0.20	0.50	1.00
2	镉（$\times10^{-6}$）≤	0.50	1.50	5.00
3	铅（$\times10^{-6}$）≤	60.0	130.0	250.0
4	锌（$\times10^{-6}$）≤	150.0	350.0	600.0
5	铜（$\times10^{-6}$）≤	35.0	100.0	200.0
6	铬（$\times10^{-6}$）≤	80.0	150.0	270.0
7	砷（$\times10^{-6}$）≤	20.0	65.0	93.0
8	有机碳（$\times10^{-6}$）≤	2.0	3.0	4.0
9	硫化物（$\times10^{-6}$）≤	300.0	500.0	600.0
10	石油类（$\times10^{-6}$）≤	500.0	1000.0	1500.0
11	六六六（$\times10^{-6}$）≤	0.50	1.00	1.50
12	滴滴涕（$\times10^{-6}$）≤	0.02	0.05	0.10
13	多氯联苯（$\times10^{-6}$）≤	0.02	0.20	0.60

2.4.1.4 海洋生物质量标准

双壳贝类生物质量执行《海洋生物质量》（GB1842-2001），生态保护区、渔业用海区执行《海洋生物质量》（GB 18421-2001）第一类标准，交通运输用海区（航道、锚地）执行第二类标准，生态控制区、功能区外执行《海洋生物质量》（GB 18421-2001）第一类标准。

其他软体动物、甲壳动物和鱼类等的重金属、石油烃评价参考《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C。

表 2.4-4 贝类质量标准（鲜重）（单位：mg/ kg）

项目	贝类一类标准	贝类二类标准	贝类三类标准
铬≤	0.5	2.0	6.0
铜≤	10	15	50（牡蛎 100）
锌≤	20	50	100（牡蛎 500）
砷≤	1.0	5.0	8.0
镉≤	0.2	2.0	5.0
汞≤	0.05	0.10	0.30

项目	贝类一类标准	贝类二类标准	贝类三类标准
铅≤	0.1	2.0	6.0
石油烃	15	50	80

注：引用《海洋生物质量》（GB18421-2001）中的标准

表 2.4-5 软体动物、甲壳类、鱼类质量标准（鲜重）（单位：mg/ kg）

项目	软体动物	甲壳类	鱼类
铬≤	/	/	/
铜*≤	100	100	20
锌*≤	250	150	40
砷*≤	1	1	1
镉*≤	5.5	2.0	0.6
汞*≤	0.3	0.2	0.3
铅*≤	10	2.0	2.0
石油烃*	20	20	20

注：*引用《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 中的标准

注：由于双壳类软体动物以外的其他生物体中铬无评价标准，因此不对双壳类以外的其他生物体中铬进行评价。

2.4.1.5 声环境质量标准

根据《声环境质量标准》（GB3096-2008），项目所在区域位于海上，场区“以工业生产、仓储物流为主要功能”，声环境划分为 3 类功能区，项目运营期执行《声环境质量标准》（GB 3096-2008）3 类环境噪声限值，具体限值见表 2.4-6。

表 2.4-6 声环境质量标准 单位：dB（A）

类别	适用范围	声环境质量噪声标准（GB3096－2008）	
		昼间	夜间
3 类区	以工业生产、仓储物流为主要功能，需要防止工业噪声对周围环境产生严重影响的区域	65	55

2.4.2 污染物排放标准

2.4.2.1 大气污染物排放标准

大气污染物排放执行《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）中的无组织排放监控浓度限值，见表 2.4-7。

表 2.4-7 大气污染物排放标准（无组织排放） （单位：mg/m^3）

污染物	无组织排放监控浓度限值标准	备注
颗粒物	1.0	《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）
SO_2	0.4	
NO_X	0.12	
非甲烷总烃	4.0	

2.4.2.2 船舶污染物排放标准

2.4.2.2.1 船舶生活污水、船舶生活垃圾、船舶含油污水

本项目的船舶污染物主要有施工人员、巡检人员的船舶生活污水，生活垃圾，施工船舶、检修船含油污水等，执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018），均

利用船载收集装置收集，排入接收设施由有资质单位接收处理。

2.4.2.2.2 船舶废气排放标准

船舶废气执行《船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）》（GB15097-2016）；同时应满足《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发〔2018〕168 号）中的控制要求：海船进入排放控制区，应使用硫含量不大于 0.5%m/m 的船用燃油。

2.4.2.3 升压站、高抗站生活污水排放标准

海上升压站和海上高抗站生活污水主要为临时休息室卫生间内生活污水，在一层甲板底部设置一套污水处理设备，处理能力 4500L/d，布置于污水处理设备间，生活污水通过管道送至污水处理设备处理，处理后生活污水水质达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）二级标准（COD≤300mg/L）排放入海。

2.4.2.4 噪声排放标准

工程施工场界噪声限值执行《建筑施工噪声排放标准》（GB12523—2025）的噪声排放限值，见表 2.4-8；厂界噪声限值执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中的 3 类标准，见表 2.4-9。

表 2.4-8 建筑施工场界噪声排放限值 单位：dB（A）

噪声限值 dB(A)		标准来源
昼间	夜间	
70	55	《建筑施工噪声排放标准》（GB12523—2025）

表 2.4-9 工业企业厂界环境噪声排放标准 单位：dB（A）

类别	适用范围	工业企业厂界环境噪声排放标准（GB12348－2008）	
		昼间	夜间
3 类区	声环境划分为 3 类功能区	65	55

2.4.2.5 固体废物

生活垃圾、一般工业固体废弃物等应满足《中华人民共和国生态环境法典》《固体废物分类与代码目录》《一般工业固体废物管理台账制定指南（试行）》等要求，妥善进行处理，不得形成二次污染；危险废物贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）要求，危险废物识别标志设置应满足《危险废物识别标志设置技术规范》（HJ 1276-2022），危险废物管理计划及台账制定应满足《危险废物管理计划和管理台账制定技术导则》（HJ1259-2022）的要求。

2.4.2.6 电磁

电磁环境执行《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中公众暴露控制限值：工频

电场强度≤4kV/m，工频磁感应强度≤100μT。

2.5 评价等级和评价时段

2.5.1 评价等级

项目风场位于山东省东北部海域，海底电缆自威海市环翠区黄石圈附近海域登陆。项目拟安装 79 台单机容量 14MW 的风力发电机组，建设 1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 高抗站；66kV 场内集电海缆总长度 195.5km、500kV 送出海缆长度约为 2×78.5km，海缆总长约 352.5km。

2.5.1.1 海洋生态环境评价等级

本项目规划装机容量为 1106MW，海缆总长度 352.5km。项目用海总面积约 1044.1355hm^2，用海类型一级类为工矿通信用海，二级类为可再生能源用海。其中，风机用海面积为 452.2110hm^2，海上升压站用海面积为 0.5773hm^2，高抗站用海面积为 0.4158hm^2，风机、升压站、高抗站用海方式一级方式为构筑物，二级方式为透水构筑物；海底电缆用海面积 590.9314hm^2，用海方式一级方式为其他方式，二级方式为海底电缆管道。

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409—2025），综合判断，本工程海洋生态环境影响评价等级为 1 级，判定结果见表 2.5-1。

表 2.5-1 海洋生态环境影响评价等级判定

影响类型和评价等级		1	2	3	本项目
挖沟埋设管缆总长度 L（km）		**L≥100**	60≤L＜100	L＜60	352.5
用海面积 S（ha））	其他用海	**S≥200**	100≤S＜200	S＜100	1044.1355

2.5.1.2 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，本项目工程位于海上，位于《声环境质量标准（2008）》的 3 类地区，无声环境敏感目标，按照三级进行评价。

2.5.1.3 大气环境评价等级判定

本工程营运期废气污染主要来自船舶、柴油发电机组排放的尾气，排放的污染物 NOx、CO 等。由于船舶停靠时间较短，因此船舶排放的尾气均采用定性分析。依据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），确定本项目大气环境影响评价等级为三级。

2.5.1.4 地表水环境评价等级

根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ2.3—2018）判定，水污染影响型根据排放方式和废水排放量划分，见表 2.5-2；水文要素影响型（近岸海域）根据受影响地表水域划分，见表 2.5-3。

表 2.5-2 水污染影响型评价等级判定表

评价等级	判定依据	
	排放方式	废水排放量 Q（m^3/d）/水污染物当量 W（无量纲）
一级	直接排放	Q≥20000 或 W≥600000
二级	直接排放	其他
三级 A	**直接排放**	**Q＜200 且 W＜6000**
三级 B	间接排放	--

表 2.5-3 水文要素影响型评价等级判定表

评价等级	受影响地表水域（近岸海域）
	工程垂直投影面积及外扩范围 A_1（km^2）/工程扰动水底面积 A_2（km^2）
一级	**A_1≥0.5；或 A_2≥3**
二级	0.5＞A_1＞0.15；或 3＞A_2＞0.5
三级	A_1≤0.15；或 A_2≤0.5

工程运营期间海上升压站和海上高压站生活污水主要为临时休息室卫生间内生活污水，处理后生活污水水质达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定标准排放入海，最大排放量为 1.05m^3/d，地表水污染影响型评价等级确定为三级 A。

工程垂直投影面积及外扩范围 A1=10.6km^2（升压站、风机、海底电缆等工程垂直投影面积）A1≥0.5km^2，因此判定本项目水文要素影响评价等级为一级。综上，根据表 2.5-3，确定运营阶段水文要素影响型评价等级为一级。结合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409—2025）判定结果，水环境评价等级确定为一级。

综上，本项目地表水评价等级：污染影响评价等级为三级 A，水文要素影响评价等级为一级。

2.5.1.5 地下水环境评价等级

本项目建设海上风电，根据《环境影响评价技术导则 地下水环境》（HJ610-2016）附录 A 地下水环境影响评价行业分类表，本项目属于“E 电力”中“34.其他能源发电”，项目地下水环境影响评价类别属于IV类。根据地下水评价导则 HJ610-2016 中 4.1 节，“IV 类建设项目不开展地下水环境影响评价”。故本项目不开展地下水环境影响评价。

2.5.1.6 土壤环境评价等级

根据《环境影响评价技术导则－土壤环境（试行）》（HJ964-2018），未对本项目的项目类别进行划分，本项目属于“其他行业”，属于IV类项目，“Ⅳ类建设项目可不开展土壤环境影响评价”。

2.5.1.7 环境风险评价等级

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）有关要求，结合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），进行评价等级判定。

2.5.1.7.1 施工期

（1）危险源类别

拟建项目存在的突发环境事件风险物质，包括施工期施工船舶，运营期工作船携带的燃料油，根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），油类物质临界量取 100t。其发生泄漏事故时，仅对地表水环境产生影响，不会对大气环境和地下水环境产生影响，因此，不需判定大气环境和地下水环境的风险等级。

（2）环境分析潜势初判

根据导则要求分析建设项目生产、使用、储存过程中涉及的有毒有害、易燃易爆物质，确定危险物质的临界量。定量分析危险物质数星与临界星的比值（Q）和所属行业及生产工艺特点（M），然后对危险物质及工艺系统危险性（P）等级进行判断。

根据导则，定量确定危险物质数量与临界量的比值公式为：

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

其中：q1、q2…qn——每种危险物质的最大存在总量，t；

Q1、Q2…Qn——每种危险物质的临界量，t。

当 Q＜1 时，该项目环境风险潜势为I。

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

项目施工使用施工船舶较多，每艘船舶为一个存储单元，按最不利因素考虑，工程施工时常规最大施工船舶为 20000t 级甲板驳（见表 2.5-4），最大燃油携带量参照《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017）附录 C 中表 C.9 驳船燃油舱中燃油数量关系表，燃料油密度约为 0.9g/cm^3，并结合同类型船舶调查和咨询，得出各类型船舶最大燃油载油量，得出 20000t 级甲板驳船最大燃油载油量为 1340t。因此，计算可得比值 Q=1340/100=13.4，即 10≤Q＜100。

表 2.5-4　各类型船舶最大燃油载油量

序号	名称及规格	单位	数量	吨位（t）	油舱体积（m^3）	载油量（t）	总载油量（t）
1	甲板驳船	艘	1	20000	1488	1339.2	1339.2
2	甲板驳船	艘	2	15000	1116	1004.4	2008.8
3	甲板驳船	艘	1	12000	890	801.0	801.0
4	带埋设机的铺缆船	艘	1	4000	240	216.0	216.0
5	带埋设机的铺缆船	艘	1	2000	120	108.0	108.0
6	灌浆船	艘	3	10000	744	669.6	2008.8
7	交通艇	艘	7	500	30	27.0	189.0
8	两栖挖掘机	辆	2	/	0.1	0.1	0.2
9	抛锚艇	艘	12	500	30	27.0	324.0
10	起重船	艘	2	3500	214	192.6	385.2
11	起重船	艘	2	4000	240	216.0	432.0
12	起重船	艘	2	5000	306	275.4	550.8
13	拖轮	艘	6	3000	180	162.0	972.0
14	拖轮	艘	4	4000	240	216.0	864.0
15	运输船	艘	2	10000	744	669.6	1339.2
16	运输船	艘	2	12000	890	801.0	1602.0
17	运输船	艘	2	7000	446	401.4	802.8
18	自升平台船	艘	1	3000	180	162.0	162.0
合计			53				14105.0

（3）危险物质及工艺系统危险性等级（P）判定

由于项目行业属于“其他”，根据表 2.5-5，M=5，依据 M 划分“（1）M＞20；（2）10＜M≤20；（3）5＜M≤10；（4）M=5，分别以 M1、M2、M3 和 M4 表示”，则本项目即为 M4。结合表 2.5-6 判定本项目的危险物质及工艺系统危险性等级（P）为 **P4**。

表 2.5-5　行业及生产工艺（M）

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≥300℃，高压指压力容器的设计压力（*P*）≥10.0MPa； b 长输管道运输项目应按站场、管线分段进行评价。		

表 2.5-6　危险物质及工艺系统危险性等级判断（P）

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

（4）环境敏感程度分级（E）判定

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），依据事故情况下危险物质泄漏可能影响生态敏感区的情况，分为三种类型，E1 为环境高度敏感区，E2 为环境中度敏感区，E3 为环境低度敏感区。

由于本项目发生事故时，按照事故位置在项目施工区域，排入水体的海水水质最高为第一类，根据表 2.5-7，本项目环境敏感程度为“E1 环境高度敏感区”。

表 2.5-7 环境敏感程度分级

敏感性	环境敏感特征
E1	**危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第一类区域或重要敏感区**
E2	危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第二类区域或一般敏感区
E3	上述地区之外的其他地区

（5）风险潜势判定

根据上述判定的本项目“危险物质及工艺系统危险性等级”为 P4，环境敏感程度分级为 E1，结合表 2.5-8，判定本项目地表水的环境风险潜势为Ⅲ。

表 2.5-8 建设项目环境风险潜势划分

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

（6）施工期评价等级判定

根据判定的环境风险潜势为Ⅲ，结合表 2.5-9，最终判定本项目地表水的环境风险评价等级为二级。本项目风险不涉及大气及地下水，项目的环境风险等级为二级。

表 2.5-9 环境风险评价等级结果表

环境风险潜势	VI、VI+	**III**	II	I
评价工作等级	一级	**二级**	三级	简单分析

2.5.1.7.2 运营期

（1）危险源类别

拟建项目存在的突发环境事件风险物质，包括运营期工作船携带的燃料油、海上升压站、高抗站的变压器油、电抗器油、柴油发电机储备柴油、单台风机变压器油，根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），油类物质临界量取 100t。其发生泄漏事故时，仅对地表水环境产生影响，不会对大气环境和地下水环境产生影响，因此，不需判定大气环境和地下水环境的风险等级。

（2）环境分析潜势初判

根据导则要求分析建设项目生产、使用、储存过程中涉及的有毒有害、易燃易爆物

质，确定危险物质的临界量。定量分析危险物质数星与临界星的比值（Q）和所属行业及生产工艺特点（M），然后对危险物质及工艺系统危险性（P）等级进行判断。

根据导则，定量确定危险物质数量与临界量的比值公式为：

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

其中：q1、q2…qn——每种危险物质的最大存在总量，t；

Q1、Q2…Qn——每种危险物质的临界量，t。

当 Q＜1 时，该项目环境风险潜势为I。

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

项目施工使用施工船舶较多，每艘船舶为一个存储单元，按最不利因素考虑，项目运营期间设置 2 艘工作船，定期对风机进行维护和检查，吨位约为 500t，参照《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017）载油量约为 23t；海上升压站、高抗站的变压器油量约为 150t，电抗器油量约为 66.5t，柴油发电机储备柴油约为 11t，单台风机变压器约 1.5t，因此，存储单元油量最大为 150t。

运营期 Q=150/100=1.5，即 1≤Q＜10。

（3）危险物质及工艺系统危险性等级（P）判定

由于项目行业属于“其他”，根据表 2.5-5，M=5，依据 M 划分“（1）M＞20；（2）10＜M≤20；（3）5＜M≤10；（4）M=5，分别以 M1、M2、M3 和 M4 表示”，则本项目即为 M4。结合表 2.5-6 判定本项目的危险物质及工艺系统危险性等级（P）为 **P4**。

表 2.5-10　行业及生产工艺（M）

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≥300℃，高压指压力容器的设计压力（P）≥10.0MPa； b 长输管道运输项目应按站场、管线分段进行评价。		

表 2.5-11 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≥100	P1	P1	P2	P3
10≤Q＜100	P1	P2	P3	P4
1≤Q＜10	P2	P3	P4	**P4**

（4）环境敏感程度分级（E）判定

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），依据事故情况下危险物质泄漏可能影响生态敏感区的情况，分为三种类型，E1 为环境高度敏感区，E2 为环境中度敏感区，E3 为环境低度敏感区。

由于本项目发生事故时，按照事故位置在项目运营区域排入水体的海水水质最高为第二类，根据表 2.5-7，本项目环境敏感程度为“E2 环境高度敏感区”。

表 2.5-12 环境敏感程度分级

敏感性	环境敏感特征
E1	危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第一类区域或重要敏感区
E2	**危险物质泄漏到海洋的排放点位于海水水质分类第二类区域或一般敏感区**
E3	上述地区之外的其他地区

（5）风险潜势判定

根据上述判定的本项目“危险物质及工艺系统危险性等级”为 P4，环境敏感程度分级为 E1，结合表 2.5-8，判定本项目地表水的环境风险潜势为**II**。

表 2.5-13 建设项目环境风险潜势划分

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

（6）运营期评价等级判定

根据判定的环境风险潜势为**II**，结合表 2.5-9，最终判定本项目环境风险评价等级为三级。本项目风险不涉及大气及地下水，项目的环境风险等级为三级。

表 2.5-14 环境风险评价等级结果表

环境风险潜势	VI、VI+	III	**II**	I
评价工作等级	一级	二级	**三级**	简单分析

2.5.1.8 电磁评价等级

本项目配套建设一座 500kV 海上升压站和海上高抗站，风电机组发出电能通过 66kV 集电海底电缆接入升压站，升压后通过 2 回 500kV 海底电缆登陆接入 500kv 高抗站，然后再经 500kV 海底电缆送出。本项目 500kV 升压站、高抗站和 500kV 海底电缆均为交流电，升压站属于户内式。

综上所述，根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014 年）和《环境影响评价技术导则 输变电》（HJ24-2020），本项目电磁环境影响评价等级为二级。

表 2.5-15 海上风电项目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	110kV	输电线路	海底电缆	三级
			边导线投影外 10m 范围内有电磁环境敏感目标的架空输电线路	二级
			边导线投影外 10m 范围内无电磁环境敏感目标的架空输电线路	三级
		升压变电站	户外式	二级
			户内式、地下式	三级
	220~330 kV	输电线路	海底电缆	三级
			边导线投影外 15m 范围内有电磁环境敏感目标的架空输电线	二级
			边导线投影外 15m 范围内无电磁环境敏感目标的架空输电线	三级
		升压变电站	户外式	二级
			户内式、地下式	三级
	500 kV 及以上	**输电线路**	**海底电缆**	**二级**
			边导线投影外 20m 范围内有电磁环境敏感目标的架空输电线路	一级
			边导线投影外 20m 范围内无电磁环境敏感目标的架空输电线路	二级
		升压变电站	户外式	一级
			户内式、地下式	**二级**
直流电	+-400kV 及以上	--	--	一级
	其他	--	--	二级

2.5.1.9 小结

本项目评价等级见表 2.5-16。

表 2.5-16 本项目评价等级

项目	评价等级	依据
海洋生态环境	1 级	HJ1409—2025
地表水环境	污染影响评价：三级 A； 水文要素影响评级等级：一级（海洋）	HJ/T2.3-2018
地下水	不开展	HJ610-2016
声环境	三级	HJ 2.4—2021
大气环境	三级	HJ 2.2-2018
土壤环境	不开展	HJ964-2018
环境风险	施工期二级，运营期简单分析	HJ169-2018、 HJ1409—2025
电磁环境	二级	HJ24-2020

2.5.2 评价时段

根据本工程污染特征，其评价时段分为项目施工期和运营期两个时段。

2.6 评价范围和评价重点

2.6.1 评价范围

2.6.1.1 海洋生态环境评价范围

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）5.2 评价范围：海洋生态环境影响评价范围应覆盖建设项目整体实施后可能对海洋生态环境造成影响的范围。根据评价等级、工程特点、生态敏感区分布情况，确定评价范围，具体要求包括：

评价范围以建设项目平面布置外缘线向外的扩展距离确定，1 级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。管缆、航道类项目穿越非生态敏感区时，以线路中心线向两侧和两端外延 1km 为参考评价范围。穿越一般敏感区时，以线路中心线向两侧和两端外延 2km 为参考评价范围；穿越重要敏感区时，以线路中心线向两侧和两端外延 3km 为参考评价范围；实际确定评价范围时，应结合生态敏感区主要保护对象的分布、物种生态习性、项目的穿越方式等适当扩展。建设项目涉及多个不相连的组成部分时，分别确定评价范围；各组成部分的环境影响范围可能存在明显叠加时，应整体考虑其评价范围。

根据以上要求，确定本项目海洋生态环境影响评价范围为：以风电场址和高抗站用海外缘线为起点向四周外扩 15km；由于项目海底电缆周边分布有生态保护红线、保护区等敏感目标、海底电缆部分的评价范围为海缆用海外缘线每侧向外扩展 5km，评价范围约 3282.5km^2。评价范围如图 2.6-1 所示，控制点见表 2.6-1。

2.6.1.2 其他评价范围

（1）声环境评价范围：根据 HJ 2.4-2009，声环境影响评价范围为风场区、登陆点及海上施工作业区周边 200m。根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（2014 年），项目水下声环境影响评价范围与海洋生态环境影响评价范围一致。

（2）大气环境评价范围：根据 HJ2.2-2018，三级评价不需设置大气环境影响评价范围。

（3）地表水环境评价范围：地表水环境评价范围采用海洋水质评价范围。

（4）电磁环境影响评价范围：500kV 海上升压站、高抗站评价范围为站界外 50m；500kV 海底电缆评价范围为电缆两侧边缘各外延 50m。

（5）鸟类：鸟类评价范围为风电场区边界线向外扩展 8km 区域。

（6）环境风险评价范围：项目施工期环境风险评价等级为二级，施工期评价范围为危险物质 48h 扩散范围；运营期环境风险评价等级为三级，根据《环境影响评价技术

导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），三级评价项目应定向分析说明海域环境影响后果，不需设置环境风险影响评价范围。

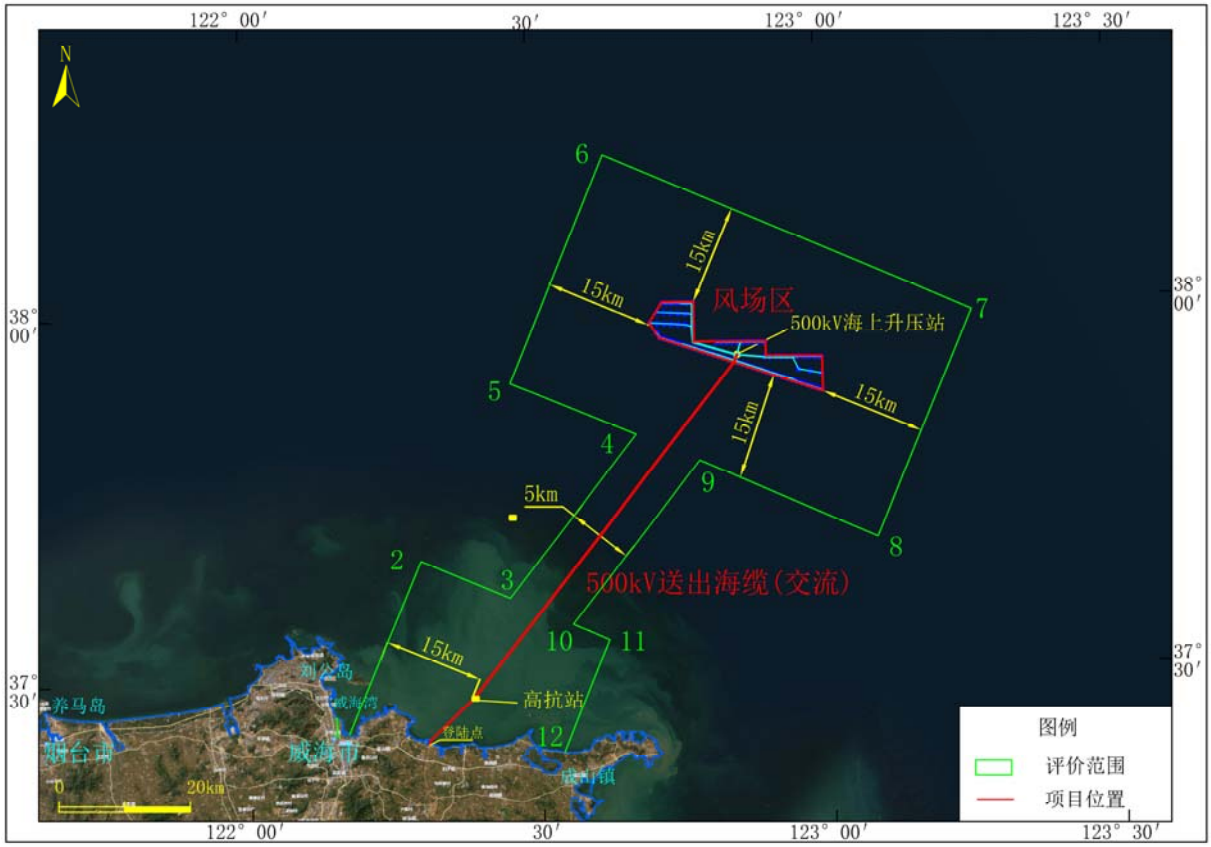


图 2.6-1 评价范围图

表 2.6-1 评价范围控制点（坐标系为 CGCS2000）

序号	北纬	东经
1	37° 25′ 45.983″	122° 10′ 06.782″
2	37° 39′ 50.460″	122° 17′ 54.766″
3	37° 36′ 39.140″	122° 27′ 02.964″
4	37° 49′ 46.737″	122° 40′ 30.153″
5	37° 54′ 13.326″	122° 27′ 33.217″
6	38° 12′ 43.209″	122° 37′ 45.994″
7	37° 59′ 15.395″	123° 15′ 37.323″
8	37° 40′ 54.439″	123° 05′ 11.495″
9	37° 47′ 29.904″	122° 47′ 0.292″
10	37° 34′ 23.287″	122° 33′ 28.439″
11	37° 33′ 01.258″	122° 37′ 11.412″
12	37° 23′ 56.924″	122° 32′ 14.222″

2.6.2 评价重点

本项目位于山东省东北部海域，主要进行海上风电建设，施工主要环节为桩基、海底电缆施工，因此，本项目评价工作重点主要为：

（1）项目建设对海洋生态环境的影响；

（2）风机运行对区域鸟类迁徙、栖息及其生境的影响；

（3）项目建设对环境敏感区以及其他海洋环境保护目标的影响；

（4）工程建设与国土空间规划和相关规划的符合性；

（5）环境保护对策措施和事故防范措施以及相应的对策建议。

2.7 环境敏感区及环境保护目标

本项目周边环境敏感区主要集中于路由近岸区，主要包括周边的生态保护红线、保护区、海岛；另外，项目评价范围涉及保护物种为斑海豹和东亚江豚，其他保护目标包括蓝点马鲛和小黄鱼等鱼类的“三场一通道”。项目用海区域附近海洋环境敏感区如下：

（1）生态保护红线

项目周边生态保护红线主要分布在近岸海域，主要有：项目送出海缆东侧最近约40m 的威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，西侧最近约0.89km 的威海沙龙王家村北砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，东侧最近约 1.98km 的逍遥港海草床生态保护红线，东侧最近约 4.61km 威海荣成砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，东侧最近约 11.69km 朝阳港滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线，西侧最近约 10.44km 刘公岛重要滩涂及浅海水域生态保护红线。

（2）保护区

项目周边保护区主要为：项目东侧最近约 1.54km 的威海海西头国家级海洋公园，西侧最近约 10.36km 的刘公岛国家级海洋公园，西侧最近约 10.44km 的刘公岛国家级海洋生态特别保护区。

（3）海岛

项目附近的海岛主要有：项目送出海缆东侧最近约 8.13km 的鸡鸣岛及其周边岛屿，西侧最近约 12.29km 的刘公岛及其周边岛屿。

（4）项目评价范围涉及保护物种包括斑海豹和江豚，其他保护目标包括蓝点马鲛和小黄鱼等鱼类的“三场一通道”。

图 2.7-1　工程周边敏感目标（生态保护红线）分布图（大范围）

图 2.7-2　工程周边敏感目标（生态保护红线）分布图（局部放大图）

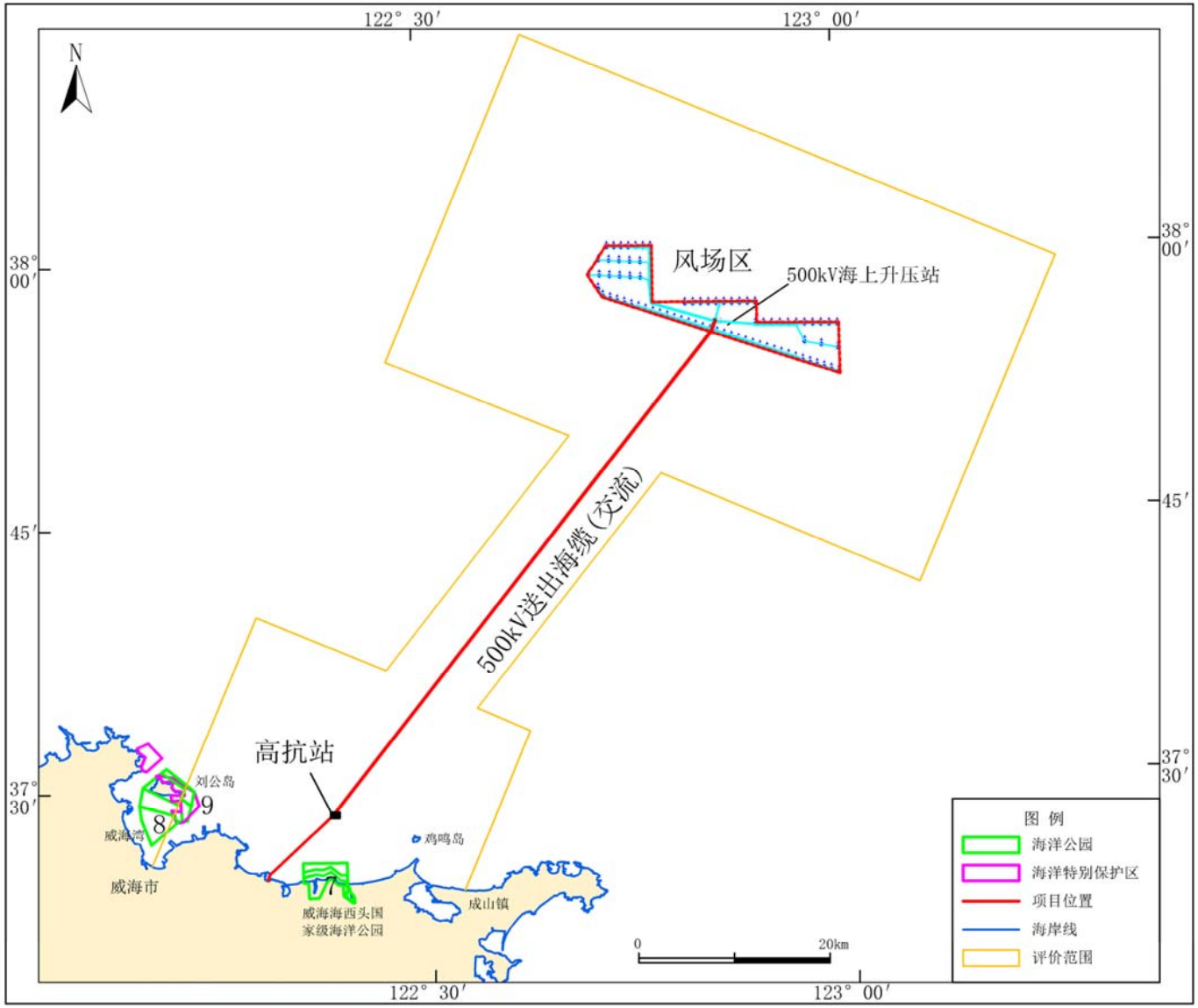


图 2.7-3　工程周边敏感目标（保护区、海岛）分布图（大范围）

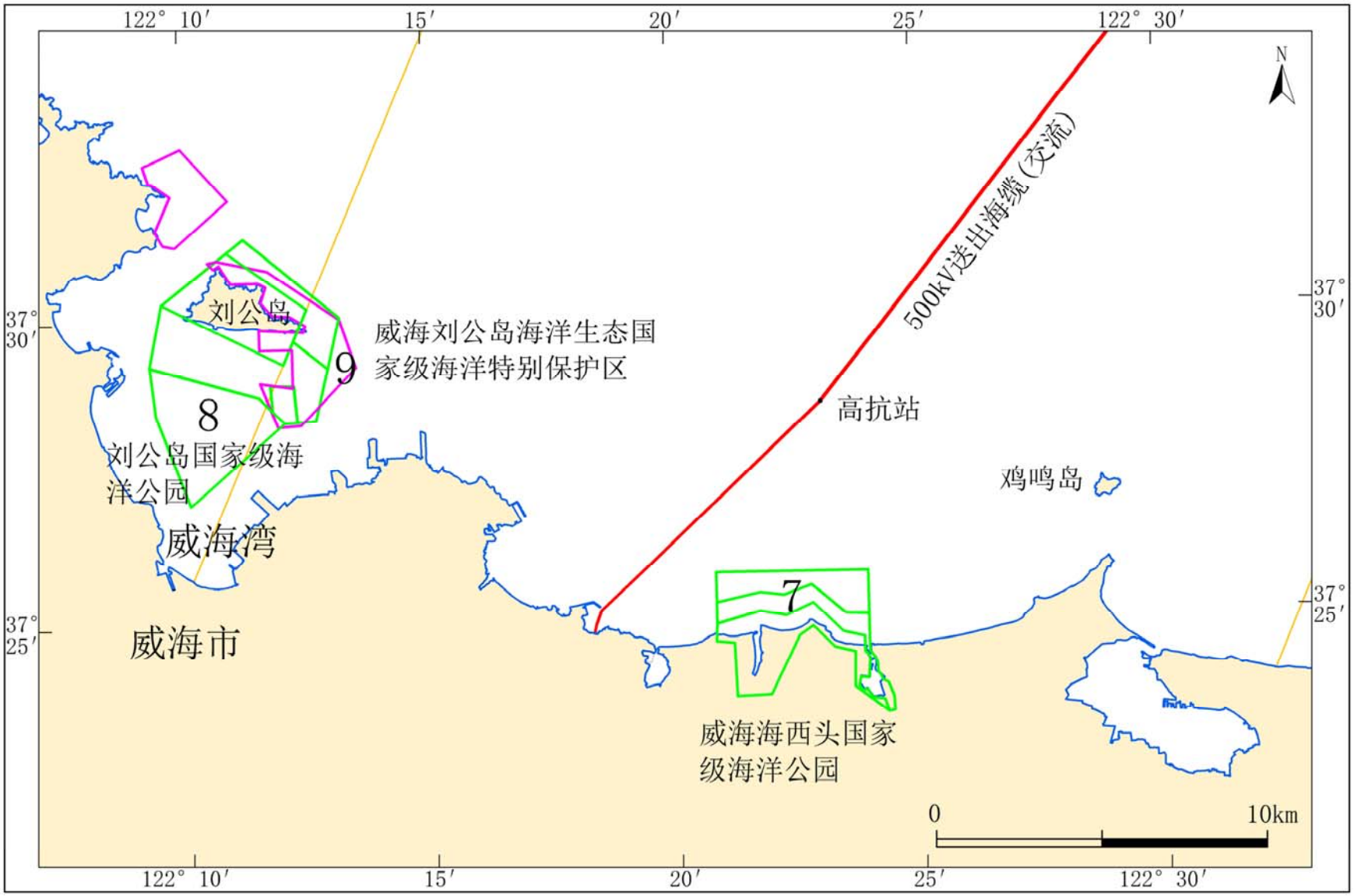


图 2.7-4　工程周边敏感目标（保护区、海岛）分布图（局部放大图）

表 2.7-1　项目附近环境敏感区及环境保护要求

序号	敏感区		相对本项目的位置关系	保护对象/保护要求
1	生态保护红线	威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	送出电缆东侧 40m，风电场西南侧 67.8km	砂质海岸、滨海湿地、近海海域海洋生态环境
2		威海沙龙王家村北砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	送出电缆西侧 0.89km，风电场西南侧 73.4km	砂质海岸
3		逍遥港海草床生态保护红线	送出电缆东侧 1.98km，风电场西南侧 73.5km	海草床特殊生境
4		威海荣成砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线	送出电缆东侧 4.61km，风电场西南侧 60.9km	砂质海岸
5		朝阳港滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线	送出电缆东侧 11.69km，风电场西南侧 65.4km	滨海湿地及浅海水域生态
6		刘公岛重要滩涂及浅海水域生态保护红线	送出电缆西侧 10.44km，风电场西南侧 72.6km	滩涂及浅海水域生态
7	自然保护地	威海海西头国家级海洋公园	送出电缆东侧 1.54km，风电场西南侧 67.8km	滨海湿地、近海海域海洋生态环境
8		威海刘公岛国家级海洋公园	送出电缆西侧 10.36km，风电场西南侧 72.6km	刘公岛历史遗迹、日岛历史遗迹
9		威海刘公岛海洋生态国家级海洋特别保护区	送出电缆西侧 10.44km，风电场西南侧 73.3km	海岛及其周边生态系统
10	重要水生生物天然集中分布区、栖息地	斑海豹栖息地、迁徙路线	工程距离庙岛群岛海豹省级自然保护区超过 152 千米，风电场区可能位于斑海豹迁徙路线的边缘区域，送出海缆中间段穿越斑海豹迁徙路线、近岸段穿越斑海豹的适宜栖息地（低适生区）	斑海豹的迁徙，5 月-6 月；7 月-8 月；斑海豹栖息
11		东亚江豚分布区	风电场距离东亚江豚热点分布区长岛海域超过 154km	东亚江豚的迁徙、觅食等，9 月上旬左右东亚江豚迁徙、觅食
12	三场一通道	蓝点马鲛	项目风场区位于蓝点马鲛索饵场和产卵场的边缘，500kV 海缆穿越蓝点马鲛洄游路线、产卵场和索饵场	产卵期：5 月中旬-7 月上旬 产卵盛期：5 月中旬-6 月中旬 洄游期：4 月下旬 索饵场：6-10 月
13		小黄鱼	项目风场区位于小黄鱼洄游路线的边缘，500kV 海缆穿越小黄鱼洄游路线	在北黄海产卵期：产卵期为 5~7 月，产卵盛期为 5 月下旬至 6 月上旬 洄游期：3 月、11 月
14		带鱼	项目风电场位于带鱼的洄游路线，500kV 海缆穿越带鱼洄游路线和产卵场的边缘	产卵期：集中于 5、6 月 洄游期：3-4 月、11 月
15		银鲳鱼	项目风场区位于银鲳洄游路线，500kV 海缆穿越银鲳洄游路线	产卵期：北黄海主要集中于 5、6 月 主要洄游期：3-4 月、11 月
16		中国明对虾	项目风场区不占用中国明对虾的“三场一通”，500kV 海缆穿越中国明对虾的洄游路线	产卵期：5 月中旬-6 月中旬 北黄海洄游期和索饵期：9-10 月
17	海岛	鸡鸣岛及其周边岛屿	送出电缆近岸段东侧 8.13km	海岛及周边海洋生态系统
18		刘公岛及其周边岛屿	送出电缆近岸段西侧 12.29km	

3 项目概况

3.1 地理位置

项目用海主体位于山东省东北部海域，属于山东省管理海域以外，地理坐标点（升压站）为：122° 51′ 10.638″ E、37° 56′ 06.528″ N，场址离岸最近距离约 57.8km，场址中心（升压站）离岸约 59km，水深约 55~59m。登陆点位于威海市环翠区黄石圈附近海域，登陆点坐标：122° 18′ 18.247″ E、37° 24′ 46.095″ N。项目地理位置见图 3.1-1。



图 3.1-1　项目地理位置图

图 3.1-2　项目地理位置图



图 3.1-3　项目地理位置图

3.2 建设项目概况

3.2.1 工程概况

（1）项目名称：华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目。

（2）项目性质：新建项目。

（3）建设单位：华能威海发电有限责任公司

（4）风电场址介绍：场址 N 装机规模为 200 万千瓦，分为 N1（场址南侧 110 万千瓦）和 N2（场址北侧 90 万千瓦）两部分。在山东省委、省政府指导下，华能集团与上海电气集团协商一致，确定由上海电气集团开发建设半岛北 N2 场址，华能集团开发建设半岛北 N1 场址。

原规划中 N1 场址由于东侧和南侧分别涉及成山角至丹东港航路、成山角定制线外至老铁山水道/大连港方向习惯航路，位置关系如图 3.2-1 所示，为保障通航安全，项目对场址进行了调整。经请示，山东省能源局于 2023 年 7 月 28 日正式下文同意调整 N1 场址范围及坐标（附件 4 和附件 5），如图 3.2-2 所示，调整后，N1 场址面积 117km^2。

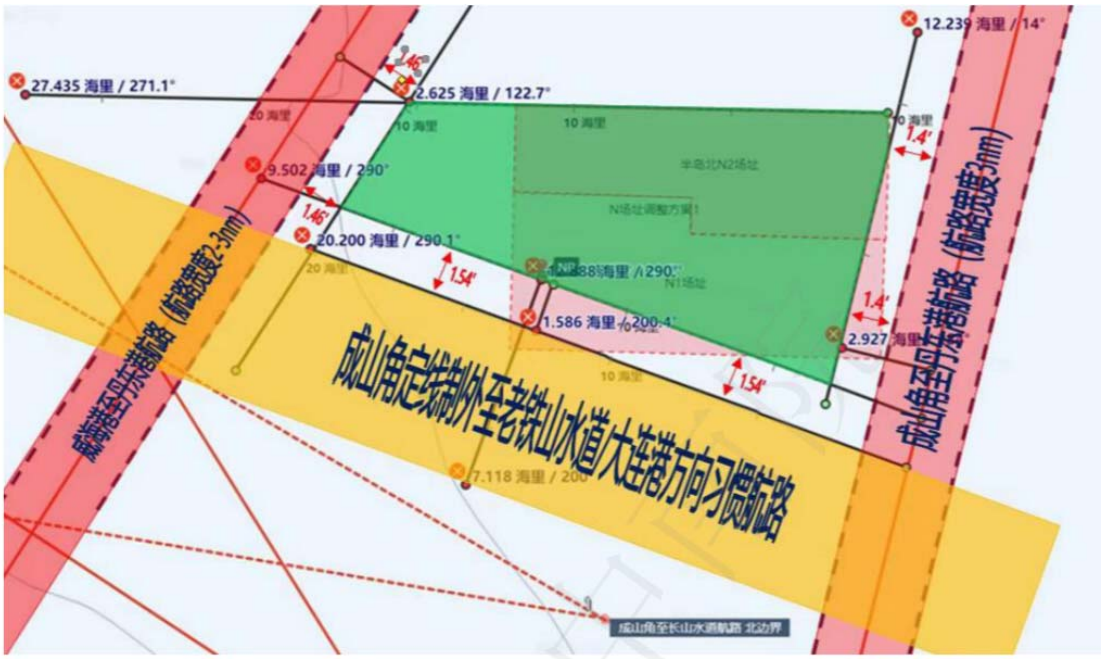


图 3.2-1　N 场址与航道相对位置示意图

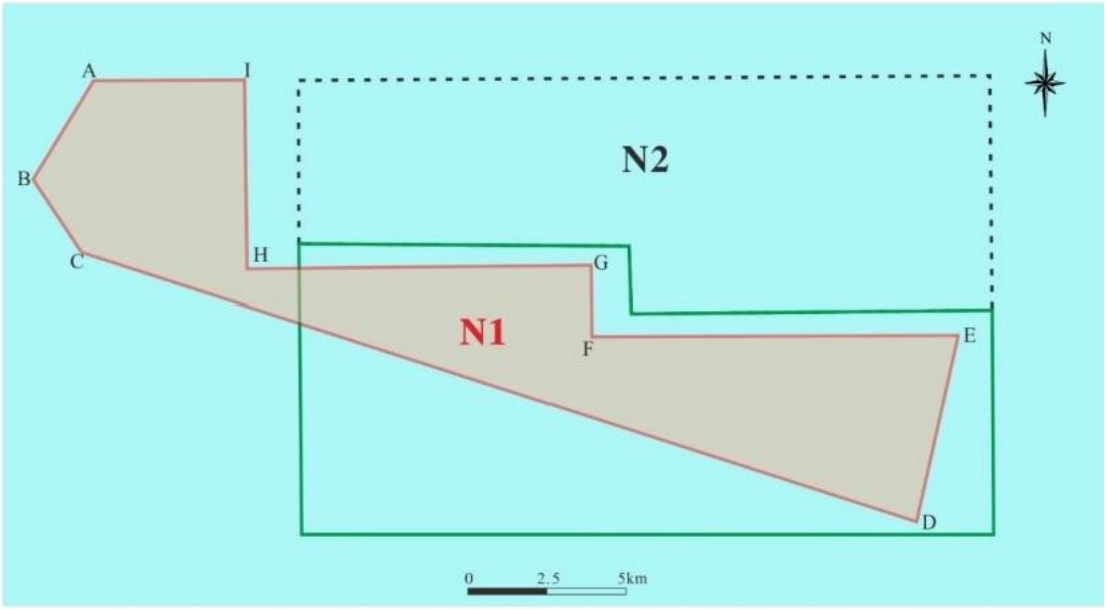


图 3.2-2　N1 场址位置示意图

为了集约节约利用海，风机站位布设时进一步压缩了 N1 场址面积，布机范围区域面积为 103km^2，布机范围与调整后 N1 场址位置关系如图 3.2-3 所示。

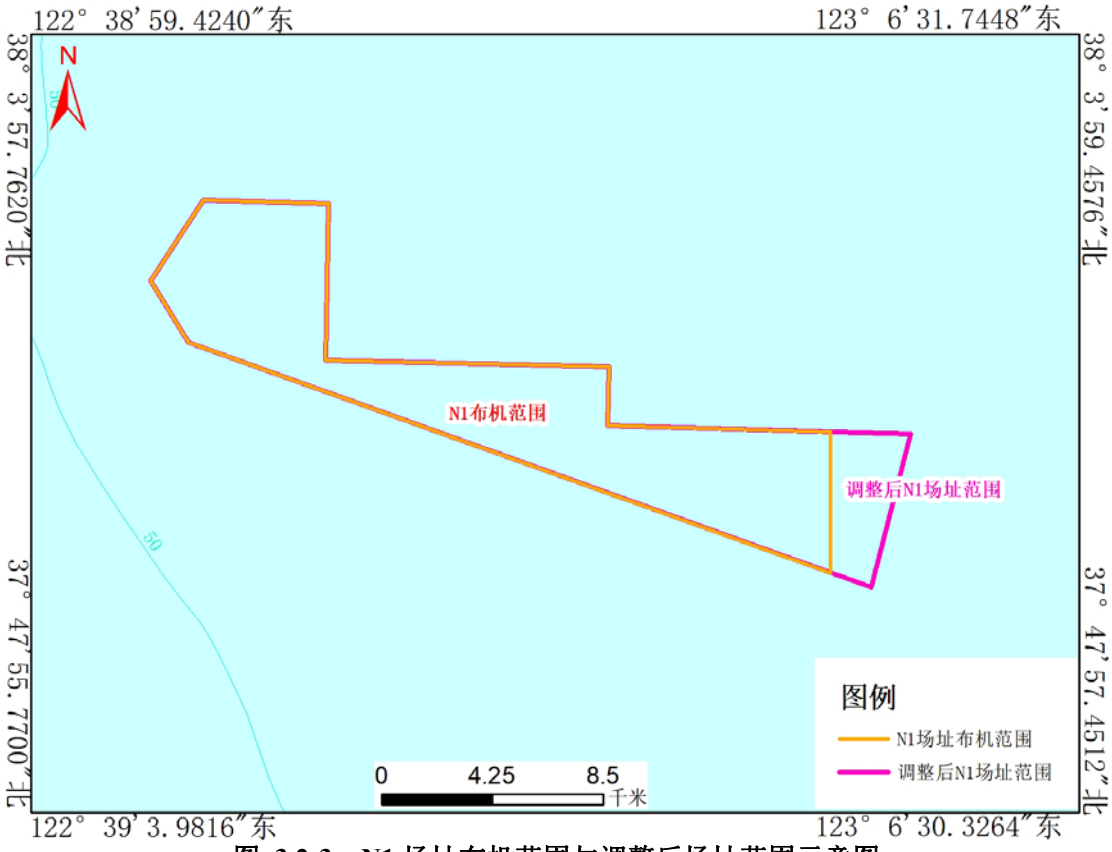


图 3.2-3　N1 场址布机范围与调整后场址范围示意图

（5）工程建设规模：风电场场址海域面积约 103km^2，装机容量为 1106MW，拟布置 79 台单机容量为 14MW 的 WTG270-14000 型风力发电机组。建设 1 座海上升压站、1 座海上高抗站（海上电抗器平台）和 1 座陆上集控中心；风电机组发出电能通过 15

回 66kV 海底电缆接入海上升压站，经升压后通过 2 回 500kV 交流海底电缆登陆，转 500kV 交流陆缆接入陆上集控中心，最终以 1 回 500kV 架空线路接至 500kV 昆嵛变。500kV 海缆路径设海上高抗站，高抗平台与登陆点直线距离约 10.1km，离岸最近距离约 6.6km。66kV 海缆总长度 195.5km，500kV 海缆单回长度为 78.5km。

项目年理论发电量 528122 万 kW·h，预计项目年上网电量为 352607 万 kW·h，年等效满负荷小时数为 3188h，容量系数 0.364。

（6）用海概况

本项目总用海面积为 1044.1355hm^2，用海类型一级类为工业用海，二级类为电力工业用海。其中，风机用海面积为 452.2110hm^2，海上升压站用海面积为 0.5773hm^2，高抗站用海面积为 0.4158hm^2，风机、升压站、高抗站用海方式一级方式为构筑物，二级方式为透水构筑物；海底电缆用海面积 590.9314hm^2，用海方式一级方式为其他方式，二级方式为海底电缆管道。申请用海期限 28 年，施工工期计划为 18 个月。

（7）投资

工程静态投资 1159942 万元，单位千瓦静态投资 10338.63 元/kW，项目动态投资 1156623.41 万元，单位千瓦动态投资 10457.72 元/kW。

3.2.2 项目组成

项目规划装机容量为 1106MW，包括 79 台单机容量为 14MW 的风力发电机组、1 座海上升压站、1 座海上高抗站、195.5km 的 66kV 场内集电海缆及 2×78.5km 的 500kV 送出海缆等。

海上风机：规划 79 台风机，采用四桩导管架基础形式。

海上升压站：在风电场内部设置 1 座 500kV 的三层海上升压站。

海上高抗站：500kV 海缆南部设置海上高抗站，上部组块采用三层布置。

66kV 场内集电海缆：风电场内采用电压等级为 66kV 的 15 回光电复合海缆。

500kV 送出海缆：海上升压站至陆上集控中心的送出海缆采用电压等级为 500kV 的双回光电复合海缆。

海缆登陆后接入陆上集控中心，集控中心拟布置在威海市环翠区金鸡大道与逍遥路路口的东北侧，距离海岸线直线距离约 3.3km。陆上工程包括陆上集控中心、陆上电缆敷设、施工期供水、供电、施工场地布置等相关的配套辅助工程，不属于本次评价范围内容。

项目组成见表 3.2-1。

表 3.2-1　工程组成一览表

工程组成		数量/规模	说明	评价责任
海上风电工程	风电机组	79 台	单机容量为 14MW 的风电机组	评价范围内
	66kV 场内集电海缆	195.5km	15 回 66kV 海底电缆连接风机与风机，接入 500kV 海上升压站	评价范围内
	500kV 送出海缆	2×78.5km	连接海上升压站、高抗站与陆上集控中心	评价范围内
	海上升压站	1 座	海上升压站输出电压 500kV，交流电。上部组块采用三层布置，平面最大尺寸为 58.5m×49.9m，高 17.0m，最高点距海平面 43.5m（不含吊机）。海上升压站上部组块钢结构重量为 3650t，安装设施约 310t，电气、暖通、消防、给排水设备重量约 2490t，上部组块总重约 6450t。	评价范围内
	海上高抗站	1 座	海上高抗站上部组块采用三层布置，平面最大尺寸为 43.0m×40.0，高 17.0m，最高点距海平面 43.5m（不含吊机）。高抗站上部组块钢结构重量为 1530t，安装设施约 120t，电气、暖通、消防、给排水设备重量约 1000t，上部组块总重约 2650t。	评价范围内
	控制保护设备及安装工程	/	包括：防腐蚀、防冲刷、靠船和防撞、桩基基础监测等	评价范围内
临辅工程	施工交通（码头工程）	1 处	威海港港区码头	不属于本次评价
	设备组（安）装工程	1 个施工主基地、1 个陆上施工基地及 2 大施工作业区	本工程拟规划风电场西南侧的威海湾港作为施工基地，承担风机设备全部物资的临时堆存、码头操作区、水运物资对外运输到岸码头、基础物资海上运输临时待泊码头、水运物资场内运输起岸码头等功能。	
			陆上施工基地计划布置在风电场陆上集控中心场址，主要负责承担陆上施工的办公生活区及海上风电场施工的物资补给。	
			2 大施工区，分别是海上施工区和陆上施工区。	
	施工供电、供水	/	租用、依托码头设施；海上升压站、高抗站施工场地依托附近设施；海上依靠补给船和船体发电机	
配套工程	通信、消防、电气	/	风机机组和升压站统一布置	评价范围内
	供水	/	海上升压站水源采用运维船供水。	
	排水	/	生活污水排水、含油污水收集系统，定期运回陆地处理。	
环保工程	废水治理		海上升压站、高抗站设置污水处理设备，处理后生活污水水质达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定标准排放入海；检修船舶生活污水统一收集后，送至有资质单位处理；检修船舶舱底含油污水利用船载收集装置收集，送陆域有资质单位处理。	评价范围内
	固体废物		船舶生活垃圾利用船载收集装置收集，由有资质单位接收处理；产生的维保废旧蓄电池、废油或含油抹布等危险废物收集后暂存于陆上集控中心危废间，后统一委托有资质单位接收处置。	
	废气处理		风力发电工艺过程无废气产生，海上升压站和高抗站设置 1 台柴油发电机组作为事故紧急备用电源，选择合格的燃油。	
	噪声治理		加强检修，减少高噪设备的使用。	
依托工程	陆上集控中心	1 处	位于山东省威海经济技术开发区泊于镇，金鸡大道与逍遥路路口东北侧	不属于本次评价

3.3 工程平面布置、结构和尺度

3.3.1 平面布置

3.3.1.1 工程总布置

项目拟设计安装 79 台单机容量 14MW 的 WTG270-14000 型风力发电机组，新建 1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 高抗平台，风电机组发出电能通过 66kV 海底电缆接入海上升压站，经升压后通过 2 回 500kV 交流海底电缆登陆，转 500kV 交流陆缆接入陆上集控中心，最终以 500kV 电缆接至 500kV 昆嵛变。

风电机组按照东西成行布置，各机位间列距约 760~1796m（2.8D~6.7D），行间距约 1500m~3499（5.6D~13.0D）。海底电缆登陆点位于升压站西南侧直线距离约 75.5km 处、陆上集控中心北侧直线距离约 3.3km 处；海上升压站布设位置位于 N1 场址中部，位于 FJ37 和 FJ60 风机中间，中心坐标为 37°56'6.528"，122°51'10.638"E；海上高抗站位于 500kV 海底电缆上，中心坐标为 37°28'29.055"N，122°23'2.205"E。

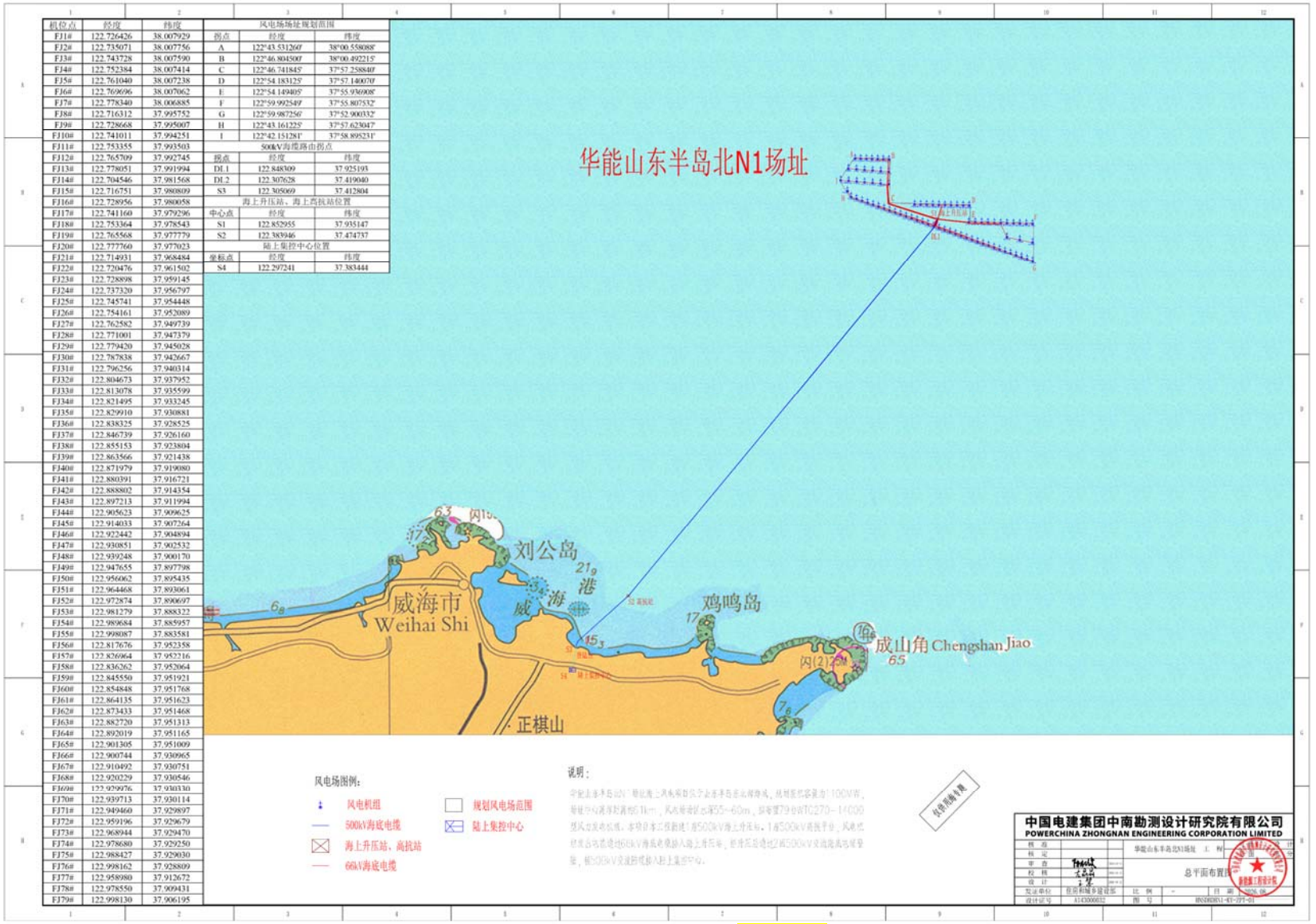
电缆登陆后向南敷设，后接入陆上集控中心（依托工程）500kV 配电装置，利用陆域风电场集控中心实现接入电网。登陆点与陆上集控中心之间通过敷设电缆连接，该段不属于本次环境影响评价责任范围。

工程用海总平面布置图如图 3.3-1 所示，接入电网示意见图 3.3-2。

3.3.1.2 风电机组布置

N1 风电场装机规模 1106MW，风电场风电机组布置综合考虑密度、风电机组利用率、湍流、叶片污染、气候影响停机、场用电等因素，拟安装 79 台单机容量 14MW 的 WTG270-14000 风电机组。

根据对测风资料的分析，场址区域风向以 NNW~N 和 SSW~S 方向为主，风向、风能分布较为集中，为了充分利用场址范围、减少机组间尾流相互影响，在规划场址边界范围内，充分考虑场址西北侧边界范围，考虑场址面积、形状，风电机组按照东西成行布置，各机位间列距 760~1796m（2.8D~6.7D），行间距约 1500m~3499（5.6D~13.0D）。



机位点	经度	纬度
FJ1#	122.726426	38.007929
FJ2#	122.735071	38.007756
FJ3#	122.743728	38.007590
FJ4#	122.752384	38.007414
FJ5#	122.761040	38.007238
FJ6#	122.769696	38.007062
FJ7#	122.778340	38.006885
FJ8#	122.716312	37.995752
FJ9#	122.728668	37.995007
FJ10#	122.741011	37.994251
FJ11#	122.753355	37.993503
FJ12#	122.765709	37.992745
FJ13#	122.778051	37.991994
FJ14#	122.704546	37.981568
FJ15#	122.716751	37.980809
FJ16#	122.728956	37.980058
FJ17#	122.741160	37.979296
FJ18#	122.753364	37.978543
FJ19#	122.765568	37.977779
FJ20#	122.777760	37.977023
FJ21#	122.714931	37.968484
FJ22#	122.720476	37.961502
FJ23#	122.728898	37.959145
FJ24#	122.737320	37.956797
FJ25#	122.745741	37.954448
FJ26#	122.754161	37.952089
FJ27#	122.762582	37.949739
FJ28#	122.771001	37.947379
FJ29#	122.779420	37.945028
FJ30#	122.787838	37.942667
FJ31#	122.796256	37.940314
FJ32#	122.804673	37.937952
FJ33#	122.813078	37.935599
FJ34#	122.821495	37.933245
FJ35#	122.829910	37.930881
FJ36#	122.838325	37.928525
FJ37#	122.846739	37.926160
FJ38#	122.855153	37.923804
FJ39#	122.863566	37.921438
FJ40#	122.871979	37.919080
FJ41#	122.880391	37.916721
FJ42#	122.888802	37.914354
FJ43#	122.897213	37.911994
FJ44#	122.905623	37.909625
FJ45#	122.914033	37.907264
FJ46#	122.922442	37.904894
FJ47#	122.930851	37.902532
FJ48#	122.939248	37.900170
FJ49#	122.947655	37.897798
FJ50#	122.956062	37.895435
FJ51#	122.964468	37.893061
FJ52#	122.972874	37.890697
FJ53#	122.981279	37.888322
FJ54#	122.989684	37.885957
FJ55#	122.998087	37.883581
FJ56#	122.817676	37.952358
FJ57#	122.826964	37.952216
FJ58#	122.836262	37.952064
FJ59#	122.845550	37.951921
FJ60#	122.854848	37.951768
FJ61#	122.864135	37.951623
FJ62#	122.873433	37.951468
FJ63#	122.882720	37.951313
FJ64#	122.892019	37.951165
FJ65#	122.901305	37.951009
FJ66#	122.900744	37.930965
FJ67#	122.910492	37.930751
FJ68#	122.920229	37.930546
FJ69#	122.929976	37.930330
FJ70#	122.939713	37.930114
FJ71#	122.949460	37.929897
FJ72#	122.959196	37.929679
FJ73#	122.968944	37.929470
FJ74#	122.978680	37.929250
FJ75#	122.988427	37.929030
FJ76#	122.998162	37.928809
FJ77#	122.958980	37.912672
FJ78#	122.978550	37.909431
FJ79#	122.998130	37.906195

风电场场址规划范围		
拐点	经度	纬度
A	122°43.531260′	38°00.558088′
B	122°46.804500′	38°00.492215′
C	122°46.741845′	37°57.258840′
D	122°54.183125′	37°57.140070′
E	122°54.149405′	37°55.936908′
F	122°59.992549′	37°55.807532′
G	122°59.987256′	37°52.900332′
H	122°43.161225′	37°57.623047′
I	122°42.151281′	37°58.895231′
500kV海缆路由拐点		
拐点	经度	纬度
DL1	122.848309	37.925193
DL2	122.307628	37.419040
S3	122.305069	37.412804
海上升压站、海上四抗站位置		
中心点	经度	纬度
S1	122.852955	37.935147
S2	122.388946	37.474737
陆上集控中心位置		
坐标点	经度	纬度
S4	122.297241	37.383444

图 3.3-1　工程总平面布置（盖章）

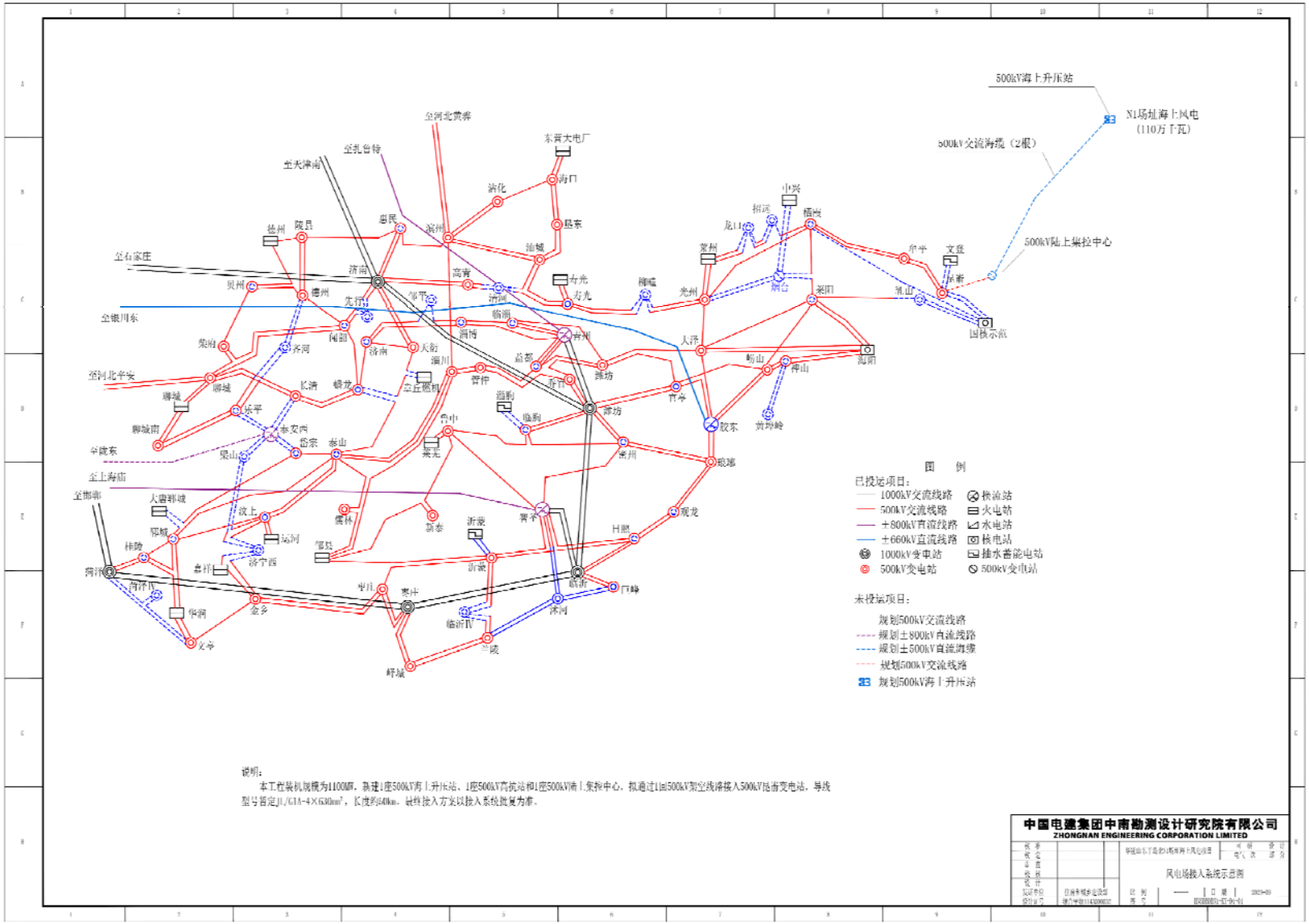


图 3.3-2 项目接入电网示意图

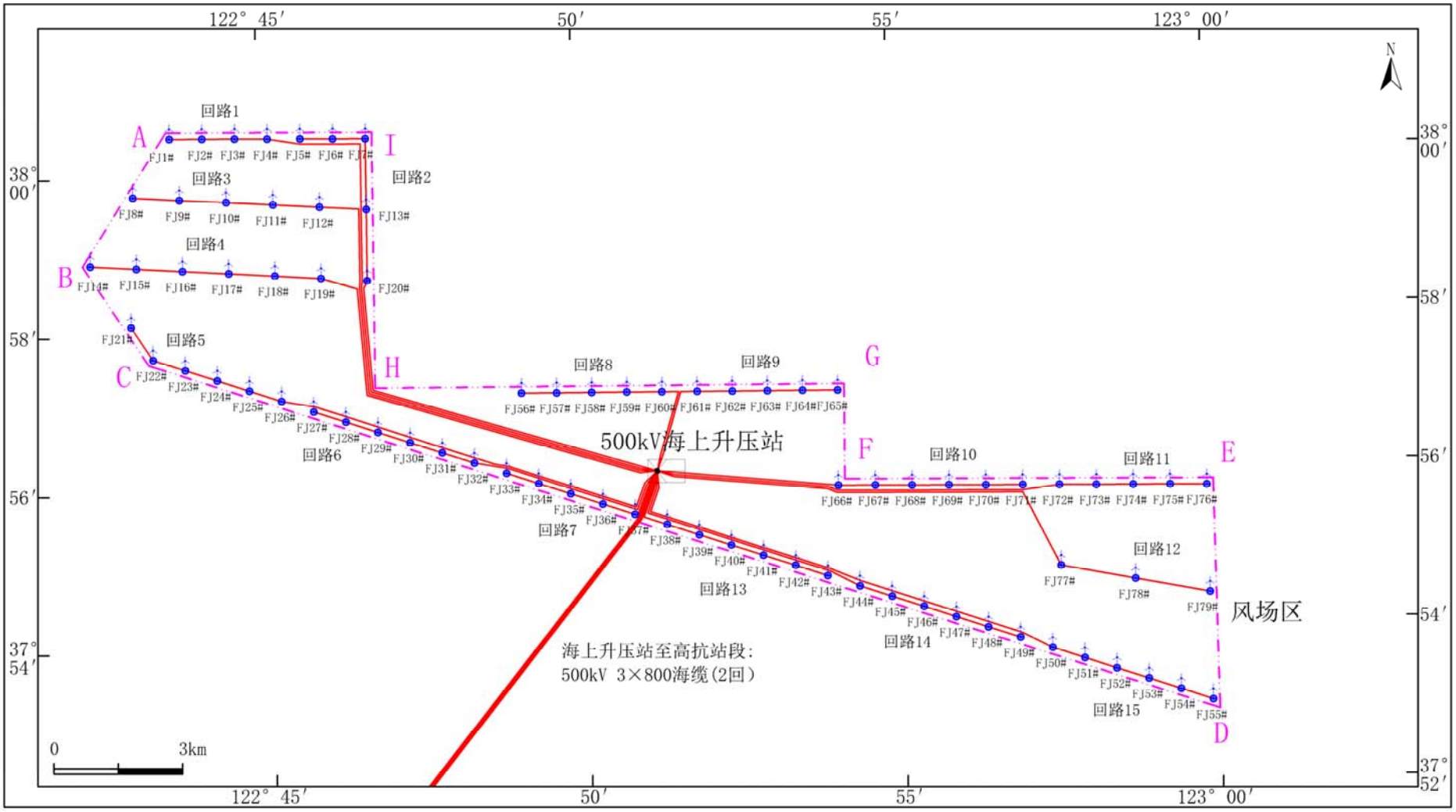


图 3.3-3 本项目风机布置示意图

3.3.1.3 海上升压站平面布置

根据风电场区域布置与登陆点位置，基于随机贪心智能算法研发的海缆集电线路优化软件对海上升压站进行选址，海上升压变电站选择宜靠近送出海底电缆的登陆点，工程陆上集控中心位于风电场西南方，根据风机布置情况，结合电缆路由等考虑，500kV海上升压站位置位于FJ37和FJ60风机中间。

海上升压站上部组块采用三层布置，平面最大尺寸为47m×53.7m，高17.0m，最高点距海平面43.5m（不含吊机），各层布置如下：

一层（甲板层）：该层为整体结构，兼作电缆层。平面最大尺寸 42m×48.7m，甲板尺寸 42m×37.5m，主要布置事故油罐、临时休息室、生活水泵房、蓄电池室、暖通机房等，500kV及66kV海缆通过J型管穿过本层夹板引上至配电装置，主变至500kV GIS及66kV GIS的电缆采用电缆桥架、支架敷设在此层。

二层：分为2个组块，二层平面最大尺寸42m×52.3m，甲板尺寸47m×50.2m，上下组块之间布置有走廊。1#组块中间布置主变和电抗器，周围布置500kV GIS、通信继保室、66kV GIS、暖通机房；2#组块中间布置主变和电抗器，周围布置500kV GIS、通信继保室、66kV GIS、暖通机房、柴油发电机室、低压配电室、应急配电室。主变与66kV GIS和500kV GIS之间采用电缆连接，电缆通过电缆夹层布置；应急配电室与低压配电室相邻布置，尽量减少设备之间连接电缆。

顶层：顶层平面最大尺寸47m×53.7m，甲板尺寸47m×50.2m，顶层含高抗散热器、500kV GIS检修孔、66kV GIS室检修孔等。

主变、高抗室屋顶：顶层平面最大尺寸46.6m×52.9m，屋顶尺寸为46.55m×49.6m，顶层含高抗散热器、500kV GIS检修孔、66kV GIS室检修孔等。

海上升压站每一层总布置见图 3.3-4～图 3.3-7。

图 3.3-4 海上升压站一层平面布置图

图 3.3-5 海上升压站二层平面布置图

图 3.3-6 海上升压站三层平面布置图

图 3.3-7 海上升压站顶层平面布置图

3.3.1.4 海上高抗站平面布置

高抗平台设置于 500kV 海缆路由的近岸端，距登陆点直线距离约 10.1km。工程 500kV 高压电抗器、500kVGIS、站用电等设备蚴布置在中间高抗平台内，电气设备布置主要从充分利用平台的空间考虑，力争紧凑合理。

海上高抗站上部组块采用三层布置，平面最大尺寸为 46m×43.01m，高 17.0m，最高点距海平面 43.5m（不含吊机），各层布置如下：

一层（甲板层）：平面最大尺寸 46m×43.01m，构筑物布置尺寸 38×34m，主要布置事故油罐、临时休息室，柴油罐间、生活水泵房，兼做电缆层，500kV 海缆通过 J 型管穿过本层夹板引上至配电装置，电抗器至 500kV GIS 的电缆采用电缆桥架、支架敷设在此层。

二层：二层平面最大尺寸 46m×43.01m，构筑物布置尺寸 38×34m，中间布置电抗器，周围布置 500kV GIS、二次设备间、低压配电室、应急配电室、消防设备间。电抗器与 500kV GIS 之间采用电缆连接，电缆通过电缆夹层布置；应急配电室与低压配电室相邻布置，尽量减少设备之间连接电缆。

三层：三层平面最大尺寸 46m×43.01m，构筑物布置尺寸 38×34m，布置有暖通机房、柴油发电机房以及蓄电池室。

顶层：顶层平面最大尺寸 42.1m×35.4m，构筑物布置尺寸 38×34m，顶层含高压电抗器、500kV GIS、柴油机检修孔。

高抗战每一层总布置见图 3.3-8～图 3.3-11。

图 3.3-8 海上高抗站一层平面布置图

图 3.3-9 海上高抗站二层平面布置图

图 3.3-10 海上高抗站三层平面布置图

图 3.3-11 海上高抗站顶层平面布置图

3.3.1.5 海底电缆

项目海底电缆包括两部分，66kV 场内集电海缆和海上升压站至登陆点的 500kV 送出海缆。

3.3.1.5.1 66kV 场内集电海缆

根据《海底电力电缆输电工程设计规范》（GB/T51190-2016）要求，平行敷设电缆间距不小于该处水深 1.2 倍，场址区水深约 55~59m，考虑集约节约用海及施工、维修要求，场址内集电线路海底电缆在非风机布设区电缆间距为 50m，平行敷设电缆间距为

施工可控经度的最小值；风机间缆敷设时基本都是船舷入水，敷缆船船长约 100m，半个船长 50m+偏差 10m+船头与风机 50~60m 的安全距离，敷缆船与风机基础风机的安全距离 120m，因此海缆距离风机的间距为 120m。场址内集电线路海底电缆总长度为 195.5km。

根据《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目可行性研究报告》，按风电机组布置及线路走向划分，以及集电线路输送容量，工程设置 15 回 66kV 集电线路，接至±500kV 海上升压站 66kV 配电装置。工程 4 回集电海缆与 N2 场址直流海缆存在交越。

风电机组至升压变采用“1 机 1 变”单元接线方式。根据风电机组布置情况，机组高压侧通过 66kV 海底电缆将若干台风电机组为一个联合单元接线方式，根据导体载流量和风机分组，选用海缆截面为 3×95mm^2、3×185mm^2、3×300mm^2、3×500mm^2 和 3×800mm^2 五种，光缆采用 2×48 芯。其中，连接 1~2 台风机的电缆采用 3×95 截面、连接 3 台风机的电缆采用 3×185 截面、连接 4 台风机的电缆采用 3×300 截面、连接 5 台风机的电缆采用 3×500 截面、连接 6 台风机的电缆采用 3×800 截面。

66kV 场内集电海缆平面布置示意图见图 3.3-12。

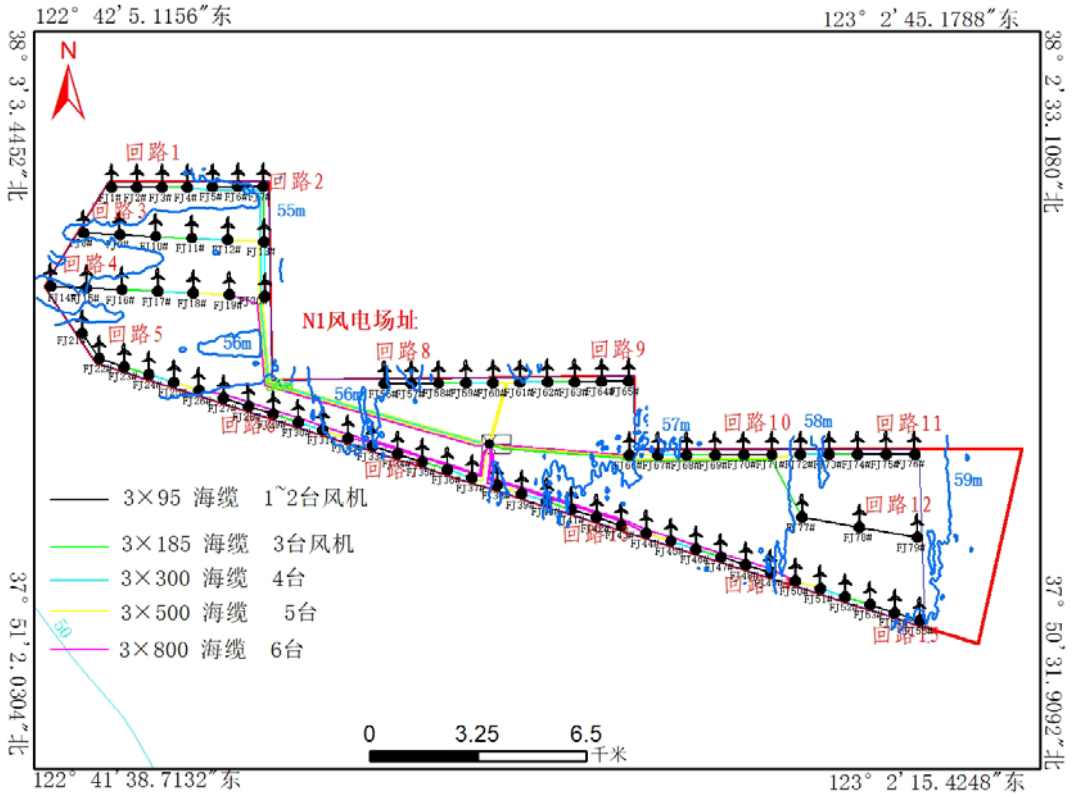


图 3.3-12 66kV 场内集电海缆平面布置示意图

3.3.1.5.2 500kV 送出海缆

（1）500kV 送出海缆平面布置

拟建路由从升压站向西南约 1.2km 穿过 N1 场址，在 N1 场址西边界处设拐点 TP1，

避让 FJ37 风机。

TP1 向西南延伸约 64.7km，穿越成山角至大连航路、成山角至老铁山水道、成山角至长山水道、威海港至成山角航路 4 条习惯性航路，穿越 1 处海底电缆，穿越 26 宗养殖用海，在海岸线北侧 6.7km 避让禁渔禁锚区设置拐点 TP2（高抗站位置），高抗站与周边航路保持安全距离。

TP2 继续向西南延伸约 9.2km，海缆路由与新区锚地和三进船业锚地分别保持 7.4km 和 4.1km 的安全距离。由于半岛北 O 场址和 P 场址规划与 Nl 共同出线，因此需与红线和未确权养殖池预留出足够距离，满足 O 场址和 P 场址路由海缆铺设空间，同时考虑码头附近水域涨落潮流速较大，海底沉积物易受侵蚀，为保证海缆安全，需与码头留出一定安全距离。海缆路由与威海奔腾港航配套建设基地码头距离为 104m，与威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线为 40m，避让生态保护红线区设置 TP3。

TP3 继续向西南延伸约 0.5km，海缆路由与屯侯家社区股份经济合作社村集体码头距离为 83m，避让村集体码头设置 TP4。

最后，TP4 向西南延伸 0.3km 在威海黄石圈登陆。

表 3.3-1 海底电缆路由坐标（CGCS2000 坐标系）

关键点	经度（E）	纬度（N）
升压站	122°51′ 10.638″	37°56′06.528″
TP1	122°50′53.020″	37°55′31.110″
高抗站（TP2）	122°23′02.465″	37°28′37.231″
TP3	122° 18′27.384″	37°25′08.825″
TP4	122° 18′20.694″	37°24′54.733″
登陆点	122° 18′ 18.247″	37°24′46.095″

根据《海底电力电缆输电工程设计规范》（GB/T51190-2016）要求，平行敷设电缆间距不小于该处水深 1.2 倍，项目两根送出海缆在登陆段间距按照 0.5m 设计；登陆点～水深 40m 区段，为确保海缆发生故障检修时插入的新缆段敷设不会对周边海缆（计划建设）造成影响，海缆间距按 1.2 倍水深进行设计，海缆间距为 0.5m~50m；水深 40m～56m 区段，若继续按国标 1.2 倍水深控制项目两根海缆之间的间距，将导致间距过大，与《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》中节约集约用海的原则相悖，经调研主流的海缆施工船舶 DP 定位能力及水下定位设备应用情况，海缆敷设施工厂家建议 40m 至 60m 水深范围路由设计间距≥50m。因此，在水深 40m～56m 范围内，海缆间距按 50m 设计。

500kV 送出海底电缆平面布置示意图见图 3.3-13。

图 3.3-13　500kV 送出海底电缆平面布置示意图

（2）海缆埋深

送出海底电缆埋深约 2m，航路段埋深为 3m，登陆点海缆埋深 1m，埋深情况平面布置见图 3.3-14，埋深情况见表 3.3-2。

表 3.3-2　500kV 送出海缆埋深情况表

编号	折点坐标（CGCS2000 坐标系）		埋深（m）
	纬度（N）	经度（E）	
升压站	37°56'6.528"	122°51'10.638"	2
A1	37°50′13.692″	122°45′27.179″	3
A2	37°30′33.456″	122°25′07.637″	2
登陆点	37°24′46.095″	122°18′18.247″	

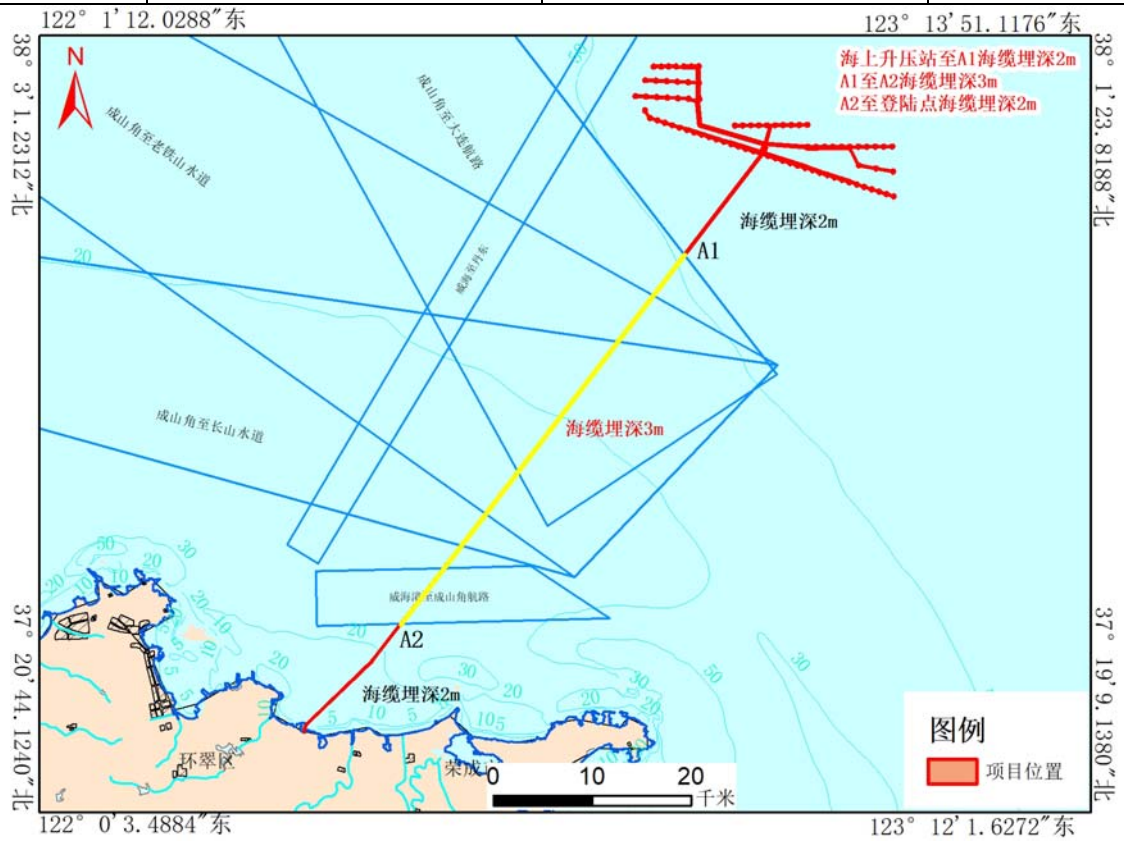


图 3.3-14　500kV 送出海底电缆敷埋深度示意

3.3.1.6 登陆段平面布置

登陆点位于威海市环翠区黄石圈，是一段长约 500m 人工岸线。登陆点向陆一侧为空地，西侧约 104m 为威海奔腾港航配套建设基地码头，东侧 83m 为村集体码头，码头右侧为废弃养殖池，详见图 3.3-15。登陆点距离集控中心直线距离约 3.3km。登陆点距离威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线约 40m。海缆登陆点的坐标为 122°18′18.247″E、37°24′46.095″N。

图 3.3-15　近岸登陆段卫星影像图

3.3.1.7 陆上集控中心平面布置

根据风电场接入陆地电网系统方案，N1 陆上集控中心选址在威海市，根据威海市政府规划，陆上集控中心位于金鸡大道与逍遥路路口的东北侧。海底电缆由威海黄石圈登陆点登陆后接入陆上集控中心，最终以回 500kV 电缆接至 500kV 昆嵛变，集控中心位置见图 3.3-16。

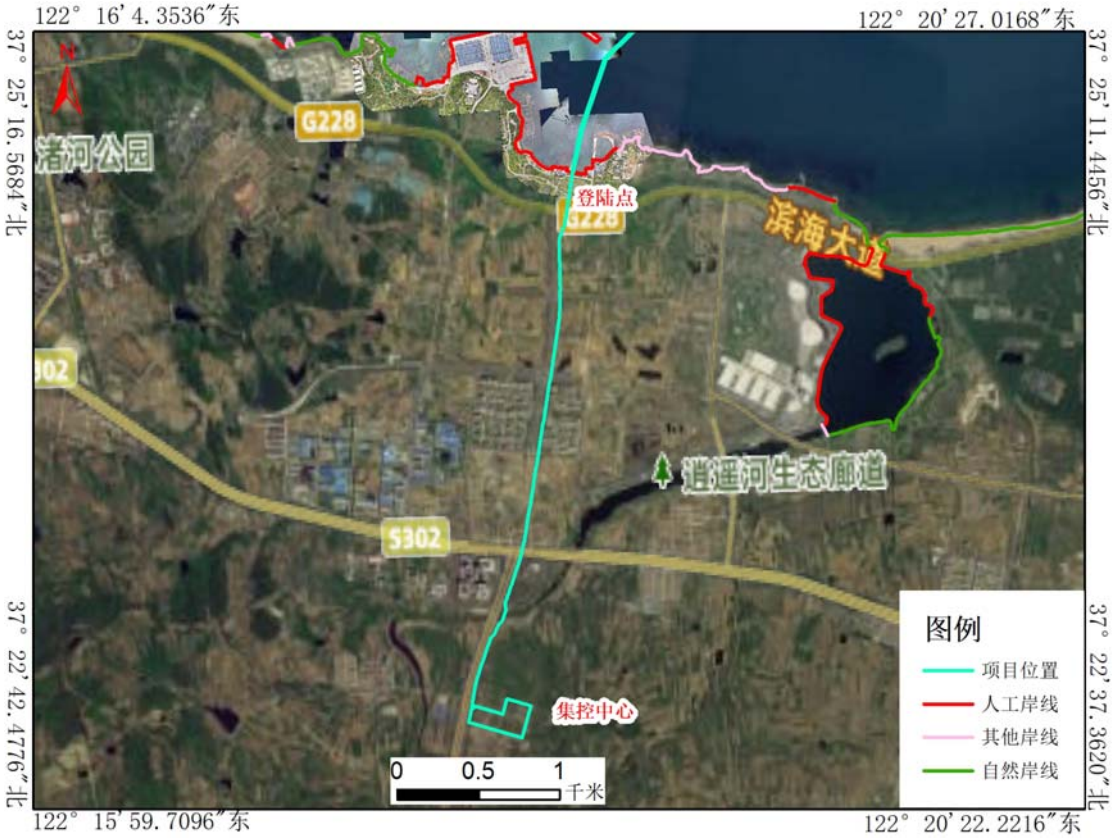


图 3.3-16 陆上集控中心选址卫星影像图

3.3.2 结构及设计尺度

3.3.2.1 风机

3.3.2.1.1 风机基础结构型式

根据《风电场工程等级划分及设计安全标准》有关规定，本工程规模属于大型，风电机组地基基础设计等级为甲级，结构安全等级为一级，结构重要性系数取 1.1；风机基础设计使用年限为 25 年；风机基础潮水设计标准为重现期 50 年，海上升压站平台潮水设计标准重现期为 100 年；风机基础抗震设防类别为标准设防类（丙类）。根据《海上风电场工程风电机组基础设计规范》（NB/T10105），基础平台底高程按下式计算：

$$T = H + \frac{2}{3}H_b + \Delta$$

式中：H 为极端高水位 1.85m；Hb 为极端高水位时的最大波高 18.11m；Δ为安全

加高，本次计算取 1.0m，计算得到基础平台底高程为 14.92m。

单桩基础考虑平台梁高等因素，计算得到基础顶高程为 15.92m，取 16.0m。

导管架基础考虑过渡段，计算得到基础法兰顶高程为 20.92m，取 21.0m。

根据本风场的地质、水文等建设条件，结合已建风电场经验，项目共 79 台风机均采用四桩导管架方案作为风电机组基础方案。四桩导管架基础用 4 根钢管桩定位于海底，4 根桩呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础。导管架承受波浪、海流荷载风机荷载及风机塔架传递的风荷载，并将荷载传递给 4 根垂直打入海底的钢管桩。经多组跟开及桩径计算比选，桩基中心距为 32m，桩径 3.5m，钢管桩平均桩长约为 91m，平均入土深度约为 85m，每根钢管桩重量约 321.5t。钢管桩和上部塔筒采用导管架连接段连接。导管架重量约为 2087.4t。根开为 32m，桩腿平面最大尺寸 35.5m×35.5m，主体高度约 78m。导管架基础桩基顶高程为-51.0m。导管架布置 4 层斜撑杆，上部为边长 14.0m 的平台。

根据风切变拟合曲线，测风塔各层风切变在 0.039~0.120 之间，综合风切变为 0.096，根据海洋水文条件及厂家提供的机组参数测算，选择风机轮毂高度为 154m。

风机扇叶半径 135m，塔架中心点与轮毂中心点水平距离为 3.67m。以塔架中心点为圆心，以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径，其长度为 135.05m，见图 3.3-18。

四桩导管架基础方案结构布置详见图 3.3-17。

图 3.3-17　四桩导管架基础方案结构图

3.3.2.2 风机上部结构形式

项目采用 79 台单机容量为 14MW 的 WTG270-14000 型风力发电机组作为代表机型。机型轮毂高度 154m，叶轮直径 270m。风力发电机主要包含风轮、机舱和塔杆三部分，在塔杆底部一般还配备有箱式变压器。机舱是风力发电机组的核心部分，内部主要由发电机、齿轮箱、控制系统、刹车机构等组成，目前厂家提供的技术参数见表 3.3-3。

图 3.3-18　风机塔架中心点、轮毂中心点与风叶关系示意图

表 3.3-3　推荐机型主要参数表

项目	单位	WTG270-14000 型风力发电机组
单机容量	kW	14000
叶轮直径	m	270
轮毂高度	m	154
风机高度范围	m	19~289
机组台数	台	79
塔筒重量	t	774
叶片数	片	3

功率调节方式		变速变桨
切入风速	m/s	3
额定风速（标准空气密度下）	m/s	12
切入风速（10 分钟平均值）	m/s	25
极端（生存）风速（3 秒最大值）	m/s	75

3.3.2.3 海底电缆

（1）66kV 场内集电海缆

66kV 交流海底电缆初拟选用交联聚乙烯绝缘，分相铅护套，钢丝铠装，光电复合，三芯海底电缆。海底电缆截面的选择应依据载流量选择，并按热稳定、电压降、经济电流密度进行校核。考虑便于采购和敷设，本工程根据导体载流量和风机分组，选择海缆截面为 3×95mm^2、3×185mm^2、3×300mm^2、3×500mm^2 和 3×800mm^2 五种，光缆采用 2×48 芯。其中，连接 1~2 台风机的电缆采用 3×95 截面、连接 3 台风机的电缆采用 3×185 截面、连接 4 台风机的电缆采用 3×300 截面、连接 5 台风机的电缆采用 3×500 截面、连接 6 台风机的电缆采用 3×800 截面。

表 3.3-4　电缆用海面积列表

电缆类型	线缆型号	线缆直径（mm）
66kV	3×95+2×SM48C	129.6
	3×185+2×SM48C	140.8
	3×300+2×SM48C	148.8
	3×500+2×SM48C	161.8
	3×800+2×SM48C	181.4

图 3.3-19　66kV 三芯海底电缆结构示意图

（2）500kV 送出海缆

海上升压站至高抗站以及高抗站至登陆点的送出海缆采用电压等级为 500kV 的双回光电复合电缆。从集约用海角度出发，结合国内主流海缆厂家制造水平，±500kV 海缆截面为 3×800mm^2，海缆直径为 305.7mm，每回海缆路由长度约 78.5km（海缆）+4km（陆缆）。

图 3.3-20　500kV 双回光电复合电缆结构示意图

3.3.2.4 海上升压站

海上升压站采用整体式布置，包括上部结构、导管架和桩基础。导管架采用四桩导管架型式，并设置水平撑和斜撑。上部结构拟整体安装，即整个升压站包括其内部的电气设备在陆上建造、组装后整体运输和安装。

（1）甲板高程确定

海上升压站底层甲板上表面高程设计参考规范《浅海钢质固定平台结构设计与建造

技术规范》（SY/4094），采用以下公式计算平台底高程：

T=H+2/3Hb+Δ+H1

T——底层甲板上表面高程（m）；

H——100 年一遇极端高水位（m）；

Hb——100 年一遇的最大波高（m）；

Δ——气隙，不小于 1.5m；

H1——底层甲板包括梁在内的结构高度（m）；

根据海洋水文资料，海上升压站 100 年一遇极端高水位约为 1.86m，100 年一遇的最大波高约 17.35m；海上升压站平台底计算得到高程为 16.42m，选取海上升压站平台底层甲板上表面高程为 16.5m。

（2）上部组块布置

海上升压站上部组块采用三层布置，平面最大尺寸为 47m×51m、高 17.0m，最高点距海平面 43.5m（不含吊机）。上部结构由立柱、甲板、梁格和支撑组成。上部组块主梁采用焊接 H 型钢 H900、H700 及热轧 H 型钢 HM588 次梁采用热轧 H 型钢 HM400 小梁采用热轧 H 型钢 HN350 等。立柱采用 01524、0762、0508 钢管，两层主甲板间斜撑采用 0762 钢管，各层甲板之上满铺 8mm 厚钢板，在立柱、撑杆与主梁交点处管节点用 Z 向钢材 EH36 加强。

上部组块栖装设计参考海上石油平台舶装，依据《海上固定平台安全规则》（国家经贸委）等规范设计，海上升压站上部组块钢结构重量为 3650t，打西装设施约为 310t 电气、暖通、消防、给排水设备重量约 2490t，上部组块总重约 6450t。

（3）导管架及桩基础

导管架基础包含导管架和钢管桩，导管架桩腿平面最大尺寸 57.242m×54.739m。

导管架顶标高 11.5m，底标高-56.0m。导管架主腿采用⌀2500 钢管，呈矩形布置，在标高-23.0m，-5.0m 处设水平圆管及斜拉圆管，导管架局部节点用钢材 EH36—Z35 加强。导管架上设靠船构件、登船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等，导管架约重 4210t。

海上升压站基础采用四桩导管架基础，采用⌀3700 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚分别为 60—90mm，桩长约为 102m，桩顶高程为－41.0m，桩底高程为－143m，桩入泥约 87m，单根桩重 700t，4 根桩总重约 2800t。

海上升压站沿导管架两侧分别设置 66kV 海缆保护 J 型套管和 500kV 海缆保护 J 型

套管。66kV 海缆和 500kV 海缆沿 J 型套管登入、送出海上升压站平台。电缆保护 J 型套管固定在导管架上，上部延伸到一层甲板，下面伸到泥面处，采用电缆柔性保护限制器固定。先进行导管架就位，后进行打桩作业，待钢管桩沉桩到位之后，导管架与钢管桩采用水上灌浆方式连接。

图 3.3-21　海上升压站俯视图（A 向俯视图）

图 3.3-22　海上升压站俯视图（B 向俯视图）

3.3.2.5 高抗站

海上高抗站作为海上风力发电场的重要构筑物，其重要性等级高于一般风机基础结构。根据《风电场工程等级划分及设计安全标准》（NB／T 10101）的规定，考虑建筑物的重要性和建筑物破坏后果的严重性，并考虑与本工程风机基础的设计标准相匹配，本工程海上高抗站结构设计使用年限为 25 年，结构安全等级为一级。根据《海上风力发电场设计标准》（GB/T51308）的相关规定，高抗站的环境荷载设计标准为 100 年一遇。根据《建筑工程抗震设防分类标准》（GB50223），高抗站抗震设防类别为标准设防类（丙类）。

海上高抗站采用整体式布置，包括上部结构、导管架和桩基础。导管架采用四桩导管架型式，并设置水平撑和斜撑。上部结构拟整体安装，即整个高抗站包括其内部的电气设备在陆上建造、组装后整体运输和安装。

（1）甲板高程确定

海上高抗站底层甲板上表面高程设计参考规范《浅海钢质固定平台结构设计与建造技术规范》（SY/4094），采用以下公式计算平台底高程：

T=H+2/3Hb+Δ+H1

T——底层甲板上表面高程（m）；

H——100 年一遇极端高水位（m）；

Hb——100 年一遇的最大波高（m）；

Δ——气隙，不小于 1.5m；

H1——底层甲板包括梁在内的结构高度（m）；

根据海洋水文资料，海上高抗站 100 年一遇极端高水位约为 1.81m，100 年一遇的最大波高约 17.12m；海上高抗站底甲板梁顶高程计算得到高程为 16.22m，选取海上高抗站底甲板梁顶高程为 16.5m。

（2）上部组块布置

海上高抗站上部组块采用三层布置，平面最大尺寸为 43.0m×46.0m，高 17.0m，最高点距海平面 43.5m（不含吊机）。上部结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成。上部组块主梁采用焊接H型钢H900、H700及热轧H型钢HM588，次梁采用热轧H型钢HM400，小梁采用热轧 H 型钢 HN350 等。立柱采用 01524、0762、0508 钢管，两层主甲板间斜撑采用 0762 钢管，各层甲板之上满铺 8mm 厚钢板，在立柱、撑杆与主梁交点处管节点用 Z 向钢钢材 EH36 加强。

上部组块栖装设计参考海上石油平台栖装，高抗站上部组块钢结构重量为 2530t，升西装设施约为 220t，电气、暖通、消防、给排水设备重量约 1670t，上部组块总重约 4420t。

（3）导管架及桩基础

导管架桩腿平面最大尺寸 22.46m×19.46m，顶标高 11.5m，底标高-45.0m。导管架主腿采用⌀2500 钢管，呈矩形布置，在标高-18.0m，-5.0m 处设水平圆管及斜拉圆管，导管架局部节点用钢材 EH36—Z35 加强。导管架上设靠船构件、登船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等，导管架约重 3630t。

海上高抗站基础采用四桩导管架基础，采用⌀3200 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚分别为 60—90mm，桩长约为 97m，桩顶高程为-30m，桩底高程为-127m，桩入泥约 82m，单根桩重 5l0t，4 根桩总重约 2040t。

海上高抗站沿导管架两侧分别设置 66kV 海缆保护 J 型套管和 500kV 海缆保护 J 型套管。66kV 海缆和 500kV 海缆沿 J 型套管登入、送出海上高抗站平台。电缆保护 J 型套管固定在导管架上，上部延伸到一层甲板，下面伸到泥面处，采用电缆柔性保护限制器固定。

先进行导管架就位，后进行打桩作业，待钢管桩沉桩到位之后，导管架与钢管桩采用水上灌浆方式连接。

图 3.3-23　高抗站 A 向侧视图

图 3.3-24　高抗站 B 向侧视图

3.3.3 其他相关设计

3.3.3.1 防腐蚀设计

由于钢结构处在不同的海洋环境区域（大气区、浪溅区、水位变动区、水下区、泥

下区），钢的腐蚀速率及腐蚀特征有较大差异，根据《海上风电场工程防腐蚀设计规范》，对主体结构钢构件的防腐设计，风机基础、海上升压站、高抗站采用防腐涂层方案和外加电流的阴极保护法，并预留腐蚀余量；对附属结构钢构件，只考虑防腐涂层保护。

由于钢结构处在不同的海洋环境区域（大气区、浪溅区、水位变动区、水下区、泥下区），钢的腐蚀速率及腐蚀特征有较大差异，根据《海上风电场工程防腐蚀设计规范》（NBT 10626），其中风机基础的防腐蚀设计采用防腐涂层方案和外加电流的阴极保护法，海上高抗站、高抗站的防腐蚀设计采用防腐涂层方案和牺牲阳极保护法， 并预留腐蚀余量；对附属结构钢构件，只考虑防腐涂层保护。

3.3.3.1.1 涂层保护设计

物理防护通过金属表面的绝缘处理，使金属与腐蚀介质隔离开。通常采用有着良好附着性、耐蚀性、抗渗性的材料。防腐蚀涂料的质量和配套性是选择海洋优质防腐涂料所需考虑的首要条件，除此之外，选用涂料还需从涂膜性能、作业性能和经济合理几个方面综合考虑。根据《海上风电场工程防腐蚀设计规范》（NBT 10626），海上风电场钢结构的暴露环境可分为大气区、浪溅区、水位变动区、全浸区。本阶段推荐风机基础防腐蚀涂层配套体系见表 3.3-5。海上升压站、高抗站防腐蚀涂层配套体系见表 3.3-6 和表 3.3-7。

表 3.3-5 风机基础防腐涂层配套体系表

防腐区间	构件	底层	中间层	面层
大气区	基础表面	环氧玻璃鳞片重防腐涂料，1000μm，2～3 道		聚氨酯面漆，80μm，1～2 道
	外平台钢格栅	热浸镀锌，120μm		
	基础内平台表面、外平台、爬梯、栏杆等	环氧玻璃鳞片重防腐涂料，800μm，2～3 道		聚氨酯面漆，80μm，1～2 道
浪溅区和水位变动区	基础外部	防浮冰环氧玻璃鳞片重防腐涂料，1000μm，2～3 道		聚氨酯面漆，80μm，1～2 道
	基础内部	环氧重防腐涂料，800μm，2～3 道		
	防撞构件	环氧玻璃鳞片重防腐涂料，600μm，2～3 道		聚氨酯面漆，80μm，1～2 道
全浸区	基础外部	环氧玻璃鳞片重防腐涂料，800μm，2～3 道		
	基础内部	环氧重防腐涂料，800μm，2～3 道		

表 3.3-6 海上升压站、高抗站基础结构涂装配套方案

适用范围	产品类型	干膜厚度 DFT /μm	总干膜厚度 TDFT /μm
导管架基础外表面、灌浆管线外表面及支撑外露部分、充气管外表面及支撑外露部分、防沉板	环氧树脂漆+聚氨酯面漆	2x400+60	860（大气区）
	玻璃鳞片环氧树脂漆+聚氨酯面漆	2x500+60	1060（飞溅区）
	环氧树脂漆	2x400	800（浸没区）
靠船防撞系统	玻璃鳞片环氧树脂漆+聚	2x500+60	1060

	氨酯面漆		
钢平台、爬梯、栏杆	热浸锌	120	120 热浸锌+490
	环氧封闭漆	30	
	玻璃鳞片环氧树脂漆	400	
	聚氨酯面漆	60	
钢格栅	热浸锌	120	120 热浸锌
电缆 J 形管内表面（喇叭口段除外）	热浸锌	120	120
	热浸锌	120	120 热浸锌+530
	环氧封闭漆	30	
	玻璃鳞片环氧树脂漆	500	
电缆 J 形管外表面	热浸锌	120	120 热浸锌+310（大气区）
	环氧封闭漆	50	
	环氧云铁防锈漆	200	
	聚氨酯面漆	60	
	热浸锌	120	120 热浸锌+610（飞溅区）
	环氧封闭漆	50	
	玻璃鳞片环氧树脂漆	500	
	聚氨酯面漆	60	
	热浸锌	120	120 热浸锌+530（浸没区）
	环氧封闭漆	30	
	环氧云铁防锈漆	500	

表 3.3-7 海上升压站、高抗站平台涂装配套方案

适用范围	构件	底漆	中间漆	面漆
室外部分	室外甲板、柱撑杆、梁、架、舱壁、设备、容器、管道、阀门外表面等	环氧富锌底漆 80μm	高固态环氧漆 3 道，共 300μm	聚氨酯漆 80μm
	室外楼梯钢格栅踏步走道钢格栅、油池钢格栅板栏杆	热浸锌 120μm		
室内部分	所有室内的柱和斜撑、室内楼梯梁、踏步、室内设备底座、所有墙体内表面	环氧富锌底漆 60μm	环氧漆 2 道，共 200μm	
给排水管路	消防管、排水管、雨水管	环氧连接漆 60μm	改性环氧重防腐 2 道，共 200μm	脂肪族聚氨酯漆 60μm

3.3.3.1.2 阴极保护设计

电化学防护是根据腐蚀微电池原理人为提高待保护材料电位来达到保护目的，通过在金属表面通以足够的阴极电流，使金属表面阴极极化，成为电化学电池中电位均一的阴极，从而防止其表面腐蚀的防腐技术，阴极保护措施一般适用于水下部位，对水位变动区也有一定的保护作用。

阴极保护的基本原理是通过给金属补充大量的电子，使被保金属整体处于过剩状态，使金属表面各点达到统一的负电位，金属原子不容易失去电子而变成离子溶于溶液，目前有两种方法可以实现这目的，即牺牲阳极的阴极保护和外加电流的阴极保护。

（1）牺牲阳极的阴极保护：将被保护金属与一种可以提供阴极保护电流的金属合

金相连，使被保护体极化以降低腐蚀速率的方法。在被保护金属与牺牲阳极所形成的海水电池中，被保护体金属为阴极，牺牲阳极的电位往往负于被保护体的电位，在保护电池中是阳极，被腐蚀消耗，故称之为“牺牲阳极”。

（2）外加电流的阴极保护：外加电流阴极保护是通过恒电位仪施加直流的两极分别接到外加的辅助阳极和被保护金属上，并使金属处于极化的负电位（保护电位），从而消除金属表面腐蚀微电池的作用，达到保护的目的。

两种阴极保护方式，原理上都可以应用，但各有优缺点，牺牲阳极法阴极保护， 不需要外部电流，施工工序较为简单，不会出现过保护的情况，是目前在海洋工程结构普遍采用的防腐蚀措施。单个构件造价较低，市场上易采购，安装完毕后不需要专人进行运维管理，但是缺点也很突出，牺牲阳极的保护电流只能监控，不能调节，每年需要定期水下检测，并且风电场区内水流流速较大，后期牺牲阳极存在脱落的可能， 因此当牺牲阳极达到保护年限后需要再次更换时，现场作业难度较大，风险较高，需要水下焊接。外加电流阴极保护需要专用的恒电位仪、参比电极、电源电缆等专用设备，其中输出电流连续可调，可通过远程智能监控系统进行维护，整个生命周期内的运行维护费用较少。

根据牺牲阳极和外加电流两种阴极保护技术特点比较，考虑海上钢结构防腐蚀可靠性、风电场场址水环境条件和运行管理等因素，本工程风机基础、海上升压站、高抗站导管架电化学防腐采用外加电流阴极保护方法。

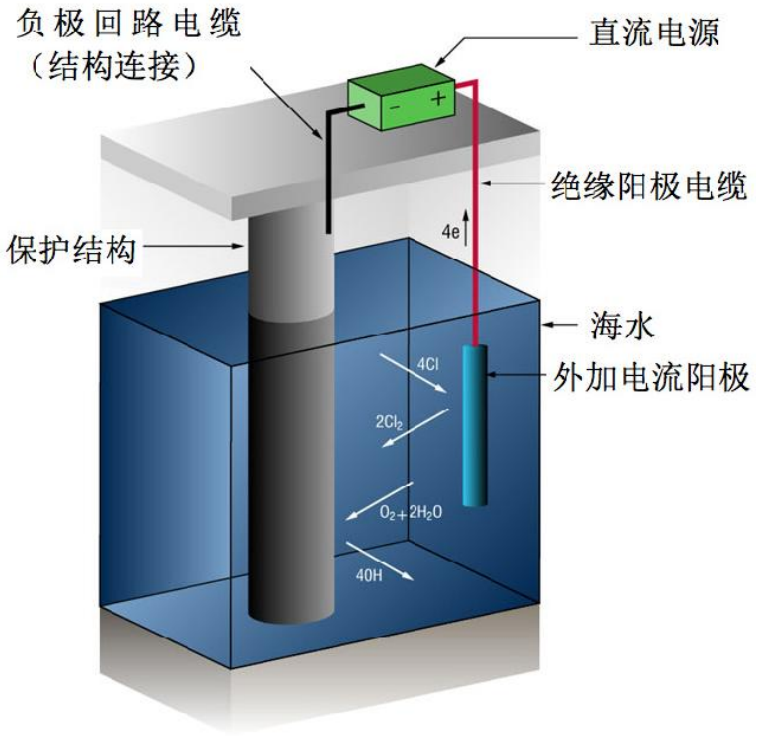


图 3.3-25　外加电流阴极保护结构及工作原理示意图

3.3.3.1.3 结构防腐蚀措施维护

对海上风电场钢结构的腐蚀状况及防腐蚀效果应定期进行巡视检查和定期检测，并对海上风电场的部分风机基础进行电位监测。巡视检查周期宜为三个月，内容主要包括大气区、浪溅区涂层老化破坏状况及结构腐蚀状况；定期检测周期一般为 5 年，可根据巡视检查结果的腐蚀状况适当缩短检测周期。检测应查明结构腐蚀程度，评价防腐蚀系统效果，预估防腐蚀系统使用年限，提出处理措施和意见。

3.3.3.2 防冲刷设计

海上钢结构常用的结构防冲刷处理方案有预留冲刷深度和采取防冲刷保护措施两种方法。其中，预留冲刷深度的办法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；防冲刷保护措施主要有在基础周围一定范围内抛石，砂被+砂袋，固化土和混凝土连锁排等。

对于本场址风电基础的局部冲刷情况，对于推荐的导管架基础，计算得到桩基的冲刷深度在 3.62~4.22m 之间，冲淤影响半径在 7.55~14.85m 之间。本场址导管架基础采预留冲刷深度暂定为 4.5m。

针对四桩导管架基础，钢管桩直径较小，对水动力环境的影响应相对较小，在海床整体形态相对稳定（不易侵蚀）的情况下，桩基周围的局部冲刷较轻微。现阶段对四桩导管架基础不做防冲刷措施保护，但是在基础结构分析计算中考虑冲刷深度的影响。综

合考虑工程区域整体冲刷和桩周局部冲刷的影响，结合局部冲刷深度成果和附近其他工程经验，在结构计算时，采用的预留冲刷深度暂定为 4.5m，海上升压站、高抗站导管架基础预留冲刷深度暂定为 5.0m。

同时，在风电场建成后，加强巡视，若发现冲刷程度超过预期的情况应及时进行防护加固处理。

3.3.3.3 靠船和防撞设计

为了风机的安全运行，防止船舶意外撞击，在风电场最外侧风机连线以外一定距离，拟布置黄色航行警示标，以警示航行船舶进行有效避让。船舶在靠泊到风机结构时，要减速慢行停靠到风机基础的靠船结构上。

根据《海上风电场工程风电机组基础设计规范》（NBIT10105），正常靠泊工况按 500t 级运维船以 0.45m/s 的法向速度靠泊，要求防撞构件可以正常使用；事故撞击工况按 500t 级运维船以风电场运维期间可能出现的最大表层流速进行校核，允许靠泊防撞构件出现一定程度的损坏，但主体结构不出现影响正常使用的破坏。

在正常靠泊工况下，结构不产生塑性变形，满足安全性要求。事故撞击工况下靠船构件中的靠船柱以及爬梯出现塑性区，但主体结构未出现塑性区，结构安全。对于更大速度的船舶撞击，防撞设施仅能起到有效缓冲撞击的作用，进而减小撞击对风机基础的影响，但不保证防撞设施的完好无损，当防撞设施损坏时，应进行及时维修；对于更大吨位的船舶，从结构设计方面考虑抵抗其撞击是不经济的，同时也难以实现，因此除在工程布置时，考虑海上升压站、高抗站、风机与航道间预留一定的安全距离外，项目建成后，可以通过安装航标警示标志、AIS 航标及建设单位向海事主管部门申请发布航行通告，提醒本风电场周边航路的航行船舶加强值班与瞭望，并采取相应的安全航行措施。

3.3.3.4 监测设计

海上钢结构监测设计的主要内容包括：巡视检查、变形监测、应力应变监测、振动监测、腐蚀监测和专项监测。

本工程风电场风机基础推荐采用 79 台导管架基础，海上升压站、高抗站推荐采用导管架基础。针对每种基础型式均采取典型监测和普通监测，典型监测机位数量比例不低于总数的 10%，海上升压站、高抗站全为典型监测。

3.3.3.4.1 巡视检查

海上风电机组基础巡视检查包括常规巡视检查、年度巡视检查及特殊巡视检查。

（1）常规巡视检查

配备专门人员和相应的巡视检查设备（如摄像机、照相机、望远镜、对讲机等），根据不同的建筑物制定相应的巡视检查措施，重点巡视检查各监测仪器设备及仪器电缆的完好及运行情况、钢结构外观情况（如腐蚀、破坏）等。做好日常巡视检查记录， 发现问题应及时上报，必要时附上照片或简图。海上风电机组基础常规巡视检查项目包括下列内容：

1）钢结构有无腐蚀、裂纹、凹陷。

2）基础连接部件有无异常，是否出现松动、裂纹、晃动、腐蚀。

3）周边有无影响基础安全稳定的情况。

4）监测设施有无损坏，运行是否正常。b）年度巡视检查

海上风电机组基础年度巡视检查结合年度安全监测综合分析成果进行，并检查下列内容：

1）防腐蚀涂层是否破损、脱落。

2）阴极保护装置有无损坏或缺失。

3）基础表面海洋生物附着程度。

（2）特殊巡视检查

当风电场区遇强震、强风暴潮、船舶意外撞击及其他影响工程安全运行的情况，应及时对基础进行特殊巡视检查，提供专项巡查报告。

3.3.3.4.2 监测要求

海上钢结构监测设计的主要内容包括：巡视检查、变形监测、应力应变监测、振动监测、腐蚀监测和专项监测。

（1）风机

在79台单桩基础风机中选取8台作为典型监测机位，布置完整监测项目，其余71 台作为普通监测机位。

在典型监测机位，设置的监测项目有：基础倾斜监测、基础不均匀沉降监测、基础振动监测、基础钢结构应力监测、腐蚀电位监测、冲刷监测。

普通监测机位主要布置的监测项目有基础倾斜监测、基础不均匀沉降监测和基础振动监测。

（2）海上升压站、高抗站

主要监测项目有：不均匀沉降监测、倾斜监测、振动监测、应力应变监测及腐蚀监

测。

3.3.3.5 导航标志

项目运营期在外圈风机基础平台布设海事专用视觉航标灯，配套在塔筒/机舱位置安装 AIS 实体无线电航标（专用航标），无需全部风机布设。

视觉航标灯为行业定型成品航标器材，固定安装于风机基础平台，按海事核定灯值频闪发光；配套 AIS 航标接入海事通航监管系统，持续推送障碍物位置信息，提示过往船舶避让风场风机。风机机舱顶部另设置航空障碍灯，用于航空器障碍物警示，属于独立的民航设施，与海事航标功能互不相同。



图 3.3-26　视觉航标灯图

3.3.3.6 消防设计

（1）海上升压站和海上高抗站

根据海上升压站和海上高抗站布置、设备性能及消防设计规范要求，油浸式变压器、油浸式电抗器、柴油发电机属于中危险级 B 类、E 类火灾，其他电气设备均属于中危险级 E 类、A 类火灾。

本工程对变压器、电抗器、柴油发电机房、柴油罐间、GIS 室、通信继保室等采用高压细水雾灭火系统进行保护。同时，在海上升压站和海上高抗站各层甲板设置不少于 2 支高压细水雾喷枪。

为快速准确、及时有效地探测及扑灭电气盘柜内的初期火灾，对低压配电柜、应急配电盘、继保柜、细水雾泵组控制柜等柜式电气设备等采用火探管式自动探火系统进行

消防灭火保护。

根据消防规范要求，在各层甲板、走廊通道、设备房间出口附近，设置移动式灭火器。为防止火灾烟气伤害人体，在各层平台设置 2 个消防装备箱，内含防护服、消防靴、手套、头盔、有绝缘木柄的消防斧、能连续使用 3h 的手提式安全灯以及 30min 自持式空气呼吸器各 1 套，供运维检修人员应急使用。

海上升压站和高抗站共布置 2 台室内油浸式主变压器，在平台一层设有一个事故油罐，当变压器发生火灾时，变压器油通过事故排油管排入变压器集油罐中。事故油罐底设手动事故排油阀和平时电动排水阀。事故排油阀平时常闭，平时电动排水阀常开。主变油坑等日常雨水、非含油废水（冲洗水）直接排入大海。当主变发生火灾事故时，立即自动关闭电动排水阀，事故油罐收纳主变火灾后的排放废油、废液。火灾结束后，打开手动事故排油阀，排放废油及废液，由船外运至陆上进行处理，事故废油废液不外排。

事故油池容量按高压细水雾灭火系统一次消防用水量与一台主变压器全部油量之和来确定，高压细水雾灭火系统一次消防用水量约 30m^3，主变压器全部油量约为 150t（约 170m^3），事故油池容量为 200m^3。

（2）风电机组

风电机组主要由叶轮、机舱、塔架及控制系统等组成。风机机舱内设备密集，齿轮箱增速机内存有大量齿轮润滑油， 属丙类可燃液体， 当检修或密封不严时可能造成外漏，存在一定的潜在火灾隐患。而且风电机组的机舱和塔筒高度一般在 50m 以上，常规的消防装备无法实施灭火。因此，风机内安装预防性的自动消防系统，保障风力机组的可靠运行。

风电机组消防系统包括火灾报警系统、灭火系统、灭火器等。主要保护场所是机舱、塔筒、轮毂，其中机舱的火灾危险性最高，是重点保护对象。

风电机组的机舱及机舱平台底板下部、塔架及竖向电缆桥架、塔架底部设备层、各类电气柜设置火灾自动探测报警系统。风电机组火灾报警信号传输至海上升压站火灾报警系统，并远传至陆上集控中心。

风电机组的机舱及机舱平台底板下部、轮毂、塔架底部设备层、各类电气柜配置自动灭火装置。自动灭火装置采用火探管式自动灭火系统。

此外，在每台风力发电机舱和底部塔内各至少放置 2 台 MF/ABC4 手提式磷酸铵盐干粉灭火器。

3.3.4 其他配套工程

项目海上升压站依托建设单位在陆上规划建设的陆上集控中心，按照“无人值守”的原则设计，在陆上集控中心建设远程集控中心，在远程集控中心实行海上风电场的实时远程监控。另外建筑工程完成后会进行相应的设备安装，施工过程中会有供水、供电、施工场地布置等相关的配套辅助工程。

3.3.4.1 通信

（1）场内通信方案

①风机与海上升压站之间的光纤通信

海上风电场采用“一机一变“单元接线方式，每台风机配置 1 台 66kV 变压器，集电线路采用 66kV 海底电缆分组汇集至海上风电场升压站 66kV 母线侧。每台风电机需将运行工况、控制等信息上传至控制系统，考虑在风电场内组建光纤传输网络，将每台风机与风电场中央监控系统相连。

根据风电场的风机布置情况，风电机组之间的通信采用光纤通信，拟选用 2×36 芯的海底光电复合缆，海底光电复合缆将光纤复合在集电线路的海底电缆中，光纤芯参数应与每台风电机的工控交换机光口参数相匹配。

②海上升压站与陆上集控中心的光纤通信

海上升压站至陆上集控中心的光缆均采用 2 根 2×36 芯海底光电复合缆。设置 SDH 光通信工作站作为海上升压站与陆上集控（运行管理）中心之间的主要信息传输通道，在海上升压站和陆上集控中心均配置 2 套 STM-16 光传输设备，从而建立海上升压站至陆上集控中心的光通信链路。

③海上高抗站与陆上集控中心的光纤通信

海上高抗至陆上集控中心的光缆均采用 2 根 2×36 芯海底光电复合缆。设置 SDH 光通信工作站作为海上高抗站与陆上集控（运行管理）中心之间的主要信息传输通道，在海上高抗站配置 2 套 STM-16 光传输设备，从而建立海上高抗站至陆上集控中心的光通信链路。

④备用通信方案

由于海上升压站采用“无人值守”设计，海上升压站、海上高抗站的所有监控信息需传输至陆上监控中心进行实时远程监控，为了保证通信设备应高可靠性，保证海缆故障时，仍能对海上风电场进行远程监控和运营调度，应考虑海陆之间的备用通信通道。备用通信方案主要有卫星通信（VSAT）和微波通信两种方式：微波通信速率高、延时短、投资较少且为一次性投资，但易受海上气候条件和陆上障碍物等的影响，且通信距

离一般不大于 40km;VSAT 通信稳定，不受外界环境条件影响，但通信速率较低、通信延时长、投资较高且后续需租用费。考虑到本工程通信的可靠性，暂采用 VSAT 通信作为备用传输路由，具体方案待后续施工阶段详细查勘后确定。VSAT 由若干 VSAT 远端站通过地球同步卫星和中心站（Hub）协同工作，共同构成的一个广域稀路由（站多，各站业务量小）的卫星通信专网。本工程暂考虑在陆上设立 VSAT 中心站，海上升压站平台设立远端站，建立卫星专用通信网络作为风电场的备用传输通道。

（2）无线通信

本工程配置 1 套无线宽带集群通信系统，基于 LTE 技术的无线传输系统可实现风电场内的移动办公等业务。整个网络架构主要由信息采集层、终端设备层、无线接入层和核心层及业务层组成。组网设计主要包括核心网、基站、网管系统、CPE 和巡检终端等，基站信号发射单元安装在室外，基站基带处理单元与核心网设备均部署在主控继保室。

另外，海上升压站配置有 1 套气象站用于提供一系列基本的天气统计信息、风力的瞬时大小、风向、气温、气压和湿度。

（3）应急通信

根据 GMDSS 及《海上固定平台安全规则》要求，至少配置甚高频调频无线电话（VHF）l 台，应急无线电示位标（EPIRB）2 台，双向甚高频无线电话 3 只，搜救雷达应答器（SART）2 台，NAVTEX 接收机 l 台。单边带无线电台（SSB）不少于 1 台，个人位置示位标（PLB）根据上平台人员数量，每人配备 l 台。

3.3.4.2 给排水

3.3.4.2.1 给水水源

海上升压站和海上高抗站按无人值守设计，平台生活用水采用船运淡水方案，供检修人员日常生活用水。

3.3.4.2.2 给水系统

海上升压站和海上高抗站生活给水、消防给水系统分开设置。

采用船运淡水的供水方式，正常情况下，船舶通过自带的加压泵，将淡水输送至一层水泵房生活水箱，水箱预留管道及供船舶使用专用通岸接口。水泵房设有 2 台生活变频给水加压泵（一用一备），通过给水加压泵送至各用水点。

海上升压站和海上高抗站按无人值守设计，考虑检修人员日常用水，人数按 12 人考虑，用水定额每人每天 120L，生活用水量为 1.5m^3/d，生活水箱容积取 5m^3，生活水箱贮水时间建议在 48h 内，当运维人员离开升压站平台时，应将生活水箱内的水放空，

放空水可供平台甲板冲洗用。生活给水箱配套水箱自洁消毒装置，为保证水质指标要求，水箱必须定期清洗消毒，每半年不得少于一次。

由于海上升压站所处自然环境恶劣，因此给水设备、阀门及管道外壁均须进行防盐雾腐蚀措施，同时内壁涂层须满足生活饮用水标准要求。

3.3.4.2.3 排水系统

（1）排水系统分类

海上升压站和海上高压站排水系统包括雨水排水和生活污水排水、含油污水排放系统。

（2）雨水排水系统

雨水排水系统主要排除屋顶甲板雨水。雨水设计流量按下式计算：

$Qy=q\phi F$

式中：Q_y——雨水设计流量，L/s；q——设计暴雨强度，L/s•m^2；

ϕ——径流系数；F——汇水面积，m^2。

设计暴雨强度根据当地或附近城市气象资料及暴雨强度公式确定，降雨历时按 5min 计算，雨水管道设计重现期按 10 年设计，雨水汇水面积包括屋顶天面及舾装侧墙 1/2 的面积。

（3）生活污水处理系统

海上升压站和海上高抗站生活污水主要为临时休息室卫生间内生活污水，在一层甲板底部设置一套污水处理设备，处理能力 4500L/d，布置于污水处理设备间，生活污水通过管道送至污水处理设备处理，处理后水质符合《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB4914）规定，处理达标后排入大海。

（4）含油废水收集系统

含油废水来源于主变压器的事故排油，柴油罐的临时排油、柴油发电机检修时的冲洗油水等，其排水性质呈周期性、间断性。

上述设备排油首先由设备底部油坑或储油挡板收集，通过排油地漏进入排油管道，最终排至事故油罐，油罐中液体依据重力实现油水分离。为了及时排出进入事故油罐中的雨水，事故油罐设置电动阀和液位计，液位计可将事故油罐高、低液位报警信号上传至陆上监控系统，并可高液位联锁开启电动阀排水，低液位时联锁关闭电动阀。设备事故排油时，电动阀由火灾报警系统联动关闭，事故油进入事故油罐，罐内积存的雨水通过重力实现油水分离，通过上层溢流管排入大海，废油暂存在事故油罐，由运维船抽走

外运。事故油罐容积按高压细水雾灭火系统一次消防用水量与一台主变压全部油量之和来确定。事故油罐排油管采用钢管，焊接连接，管道须做好防盐雾腐蚀处理。

3.3.5 依托工程

根据风电场接入陆地电网系统方案，N1 陆上集控中心选址在威海市，根据威海市政府规划，陆上集控中心位于金鸡大道与逍遥路路口的东北侧。海底电缆由威海黄石圈登陆点登陆后接入陆上集控中心，最终以回 500kV 电缆接至 500kV 昆嵛变，集控中心位置见图 3.3-27。

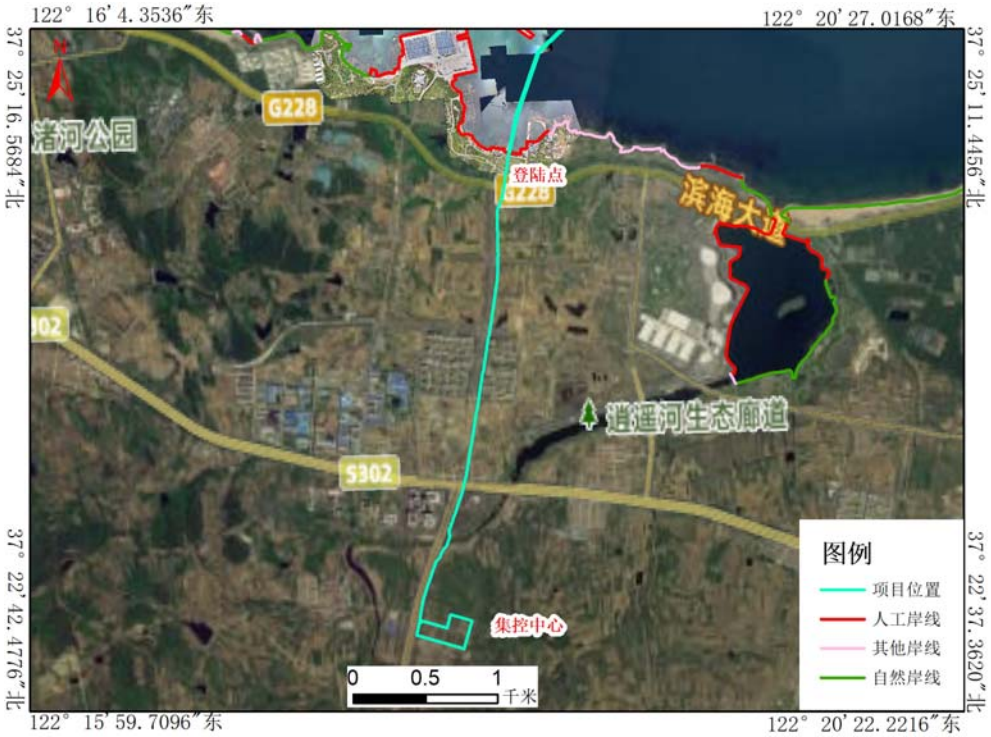


图 3.3-27 陆上集控中心选址卫星影像图

3.4 项目主要施工工艺和方法

3.4.1 施工布置

规划威海湾港区作为施工期间的主基地，承担施工物资临时堆存与转运，施工工厂等临时设施设置等功能。船舶避风锚地可选择在威海湾港区锚地和龙眼湾港区锚地。陆上集控中心施工区作为陆上辅助基地。

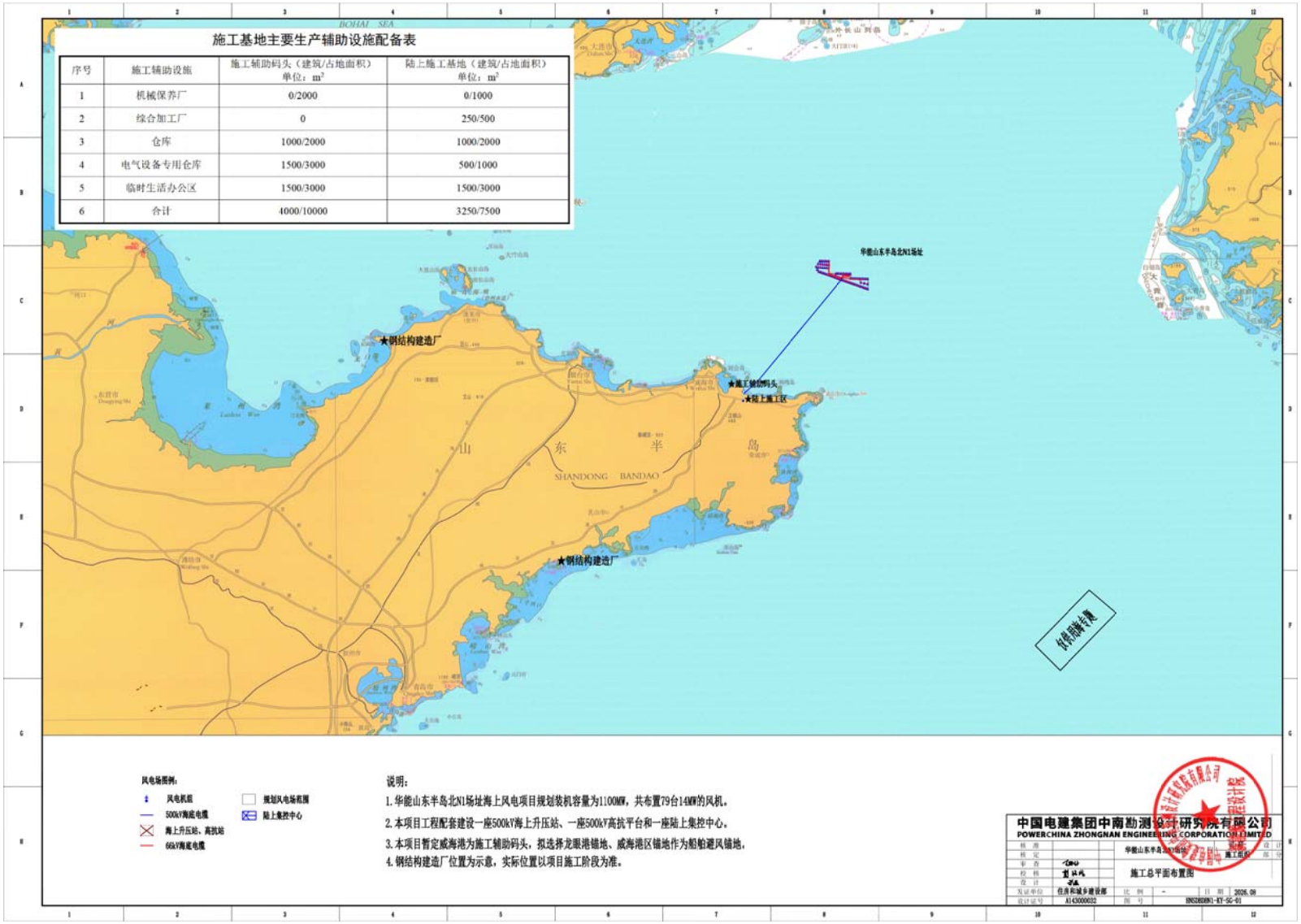


图 3.4-1　施工总平面布置图

3.4.2 施工交通运输

项目风电场位于山东省管海域以外，离岸距离约为 59km，主要通过海路与陆上交通系统连接。项目主要运输物件包括风机塔筒、机舱、轮毂、叶片、海上升压站及高抗站导管架与上部组块及风机基础钢结构构件等。以上物件由于尺寸重量限制，无法通过陆路运输，均考虑采用海路运输。

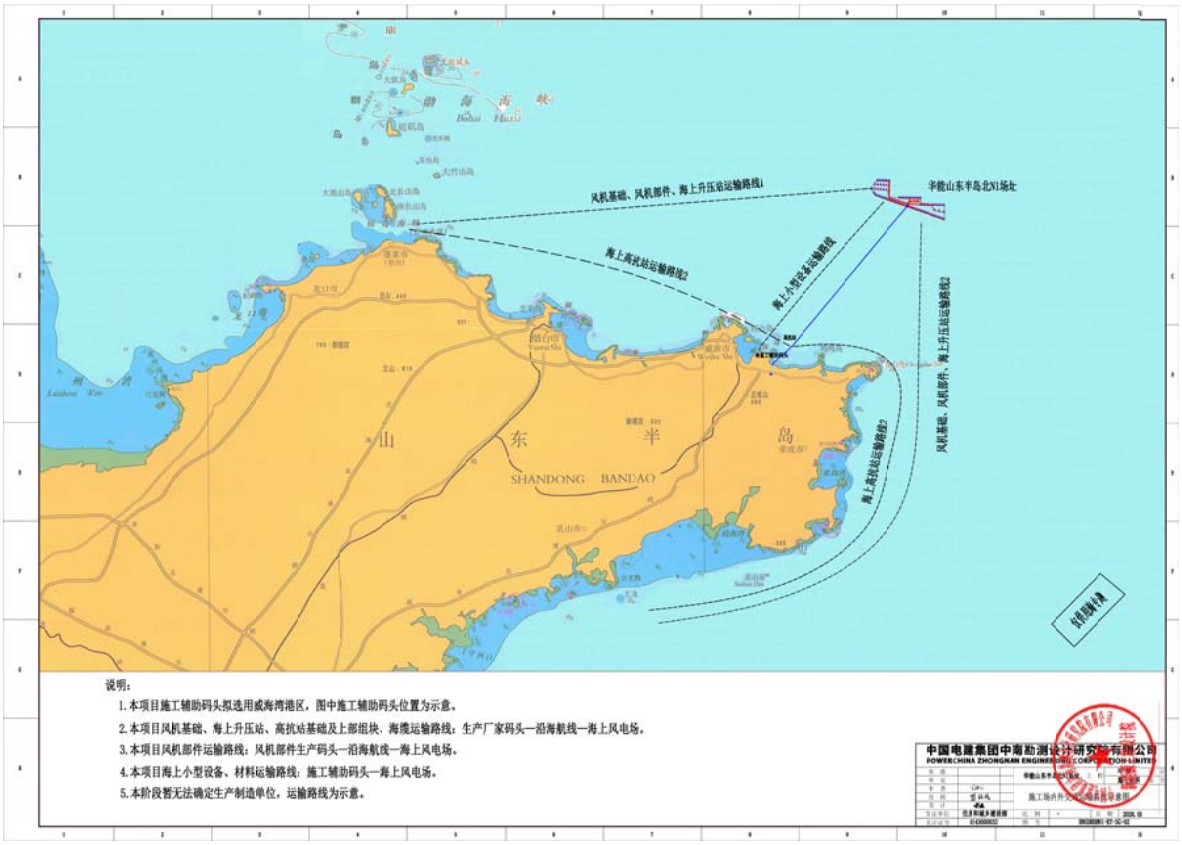


图 3.4-2　施工场内外交通运输路线图

（1）主要物件运输方案

外来建筑材料和物资：工程所涉及的施工期常规外来建筑材料和物资主要为钢材、油料、电缆与小型电气设备等，运输量小同时运输强度低，常规建筑材料计划在威海市就近采购，这些材料直接通过陆路运输至陆上施工现场。

风机设备：风机设备通过海路运输方式由风机生产基地码头装船，通过海路运至施工主基地或机位点。

风机基础、海上升压站与高抗站：上部组块、基础导管架及钢管桩在钢结构制造企业进行加工制造，钢结构加工完成后，直接在厂家的码头装船运至施工现场。

海缆：在海缆制造厂家制造，在生产基地附近码头装船，通过海路运至施工现场。

海上运输前应在运输路线上计划好遭遇恶劣天气时的规避路线、避风港口、锚地。场址附近的避风锚地有威海港锚地、烟台港锚地等，项目实施过程中根据运输路线确定

避风地点。

（2）航运条件

距工程现场最近的港口为威海湾港区，威海港位于山东省威海市，是山东港口青岛港五大港区之一。威海港是国家类开放口岸，是我国通往韩国日本、朝鲜土耳其俄罗斯便捷的出海口，搭乘山东港口一体化改革发展东风，威海港现已发展为东北亚地区重要的海上枢纽。威海港码头岸线长度 3.336 千米，陆域面积 183 万平方米，水域面积 153 万平方米，拥有生产性泊位 14 个，最大靠泊能力可达 10 万吨级，港区前沿最大水深 16.5 米，双向航道通行，港口水深海阔，终年不冻不淤，全年作业时间可达 330 天。选择威海湾港区作为项目的施工码头。

（3）场内交通运输

海上风电场工程主体建筑物全部位于海上，施工物资与设备在到达施工基地后需要进行运输方式的转化与调整，以满足工程施工的要求。

场内交通运输是指施工材料、构件、风机设备等从施工基地至风场内各个施工点以及船舶在各施工点之间的移船方案。项目风机施工区位于近海的区域，水深条件常年可满足施工船只正常运行，因此场内交通运输可通过船只自航或拖轮牵引进行移位与航行。同时本工程场区风机布置次序规整，点到点之间船只移位可依次进行。风机部件、风机基础等设备通过运输驳船进行场内交通运输，人员水上交通运输选用专用船舶。陆上主要通过附近的公路和新建道路进行交通运输。

根据场区水深条件，风机设备型号，海上施工强度，选择经济适宜的常规工程船只进行场内交通运输。根据作业码头周边航道分布情况，选择从施工基地出港，沿进出港航道，最后转至工程场区，该路线内水深可以全天候满足施工船舶的航行要求。

（4）施工基地

项目包括海上施工部分及陆上施工部分，施工现场覆盖范围较广，周边条件复杂。结合工程条件及施工条件，本工程施工期间规划 1 个施工主基地、1 个陆上施工基地及 2 大施工作业区。2 大施工作业区分别是海上施工作业区及陆上施工作业区。

工程拟规划风电场西南侧的威海湾港作为施工基地，承担风机设备全部物资的临时堆存、码头操作区、水运物资对外运输到岸码头、基础物资海上运输临时待泊码头、水运物资场内运输起岸码头等功能。

陆上施工基地计划布置在风电场陆上集控中心场址，主要负责承担陆上施工的办公生活区及海上风电场施工的物资补给，可通过港区码头进行施工人员和海上施工生活物

资的转运。

工程按照施工空间位置主要划分 2 大施工区，分别是海上施工区和陆上施工区。

海上施工区：此施工区为本风电场建设过程中最重要的一个施工区域，是海上施工项目，施工难度、施工区域面积是所有施工区中最大的。此区域内的施工项目主要有风机基础施工、风机安装施工、海上升压站及高抗站基础施工、海上升压站及高抗站上部结构安装施工、66kV 场内集电海缆敷设、500kV 送出海缆敷设施工、海缆登陆施工。

陆上施工区：此施工区主要指陆上集控中心的施工区域，其施工项目主要指陆上集控中心土建施工、设备及电气安装及站内附属工程等。

（5）水电供应条件

施工用水包括生产用水和生活用水，本工程施工高峰时段施工用水和生活用水强度不大。因此，采用从施工主基地附近的港口内部管网引接水源至施工基地，施工辅助基地用水考虑从市政管网系统接引，工程现场用水通过淡水补给船进行供应。

工程施工用电主要包括陆上施工基地内用电与海上施工作业用电两部分，其中陆上施工基地内用电可从附近的变电站引 l 回 l0kV 线路至施工区，在施工区设置 10/0.38kV 变压器，降压后供电。

海上作业的用电主要为船只动力、舱内通风、人员生活办公、部分施工设备用电，所需的生产、生活用电通过自带的发电机提供。

3.4.3 风电机组基础施工

项目包括 79 台海上风机，均为四桩导管架基础，采用四根直径为 3.4m 钢管桩，钢管桩平均桩长约 92m，每根钢管桩重量约 321.5t。钢管桩和上部塔筒采用导管架连接段连接。导管架重量约为 1891t，根开为 32m，主体高度约 78m。导管架基础桩基顶高程为-51.0m。

（1）钢结构加工及制作

A．导管架连接段的加工与制作

基础连接段结构及钢管桩均为直径及钢板厚度较大的焊接结构，结合施工技术条件，连接段各管节均采用自动埋弧焊焊接而成，管节卷板、焊接与钢管桩制造相同。在下料车间完成下料，各构件运输至小件制造区制造成小部件。在连接段拼接场地利用门机将拼接成体，并焊接牢固，做完部分喷涂。

四桩导管架连接段防腐方案为外表涂层、预留腐蚀余量和外加电流阴极保护防腐。连接段筒体等结构卷制完成后进行打砂处理，而后即进入涂装车间完成喷涂，组拼后焊

缝附近涂装采用临时搭设工棚内进行补充喷涂。

在导管架拼装场地利用门机先将导管架下部拼成单片，上部拼成整体，与钢管桩连接部分也拼成整体，焊接牢固并喷涂防腐漆，此过程应保证在室内操作。再设置组装胎架，借助组装胎架安装两个片体，并进行横向连接安装和焊接，最后安装导管架上部塔筒底座。



图 3.4-3　导管架主体加工示意图

B．钢管桩制造

工程钢管桩需求量很大，钢管桩制作采用常规的直缝加工制作工艺，其加工制作工艺主要为：

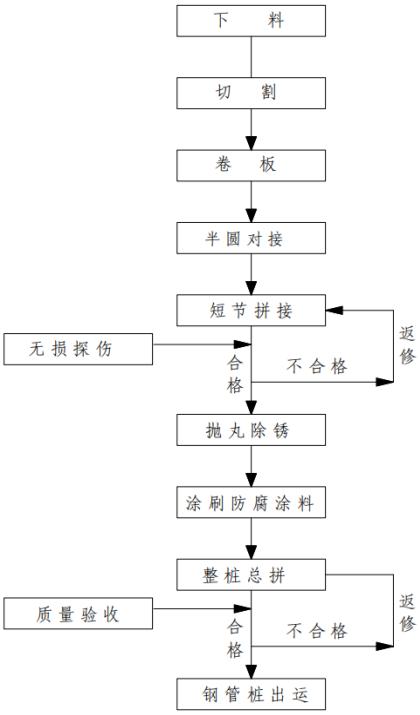


图 3.4-4　钢管桩加工制作工艺流程图

（2）基础钢结构运输

导管架场外运输需利用 12000t 级以上驳船进行，每次装载 2 台，通过拖轮拖带，将

装有导管架连接段的驳船运送至风电场安装或施工主基地临时存放。



图 3.4-5　导管架运输示意图

钢管桩在加工厂生产完成并经验收合格后，利用龙门吊或台车运至码头前沿进行出运，利用设置在出运码头的回转吊、履带吊或起重船进行装船，采用 10000t 级以上运输货船运输，每次运输 8 根钢管桩至风电场，供 2 台风机基础施工使用。钢管桩应合理堆放，避免运输途中相互碰撞产生局部挤压变形和相互摩擦导致防腐涂层破损。

（3）沉桩施工

为了确保沉桩施工精度，需要首先施打工艺辅助桩搭建导向架平台，然后插桩并利用打桩锤进行施工。典型的沉桩施工工艺如图 3.4-6。

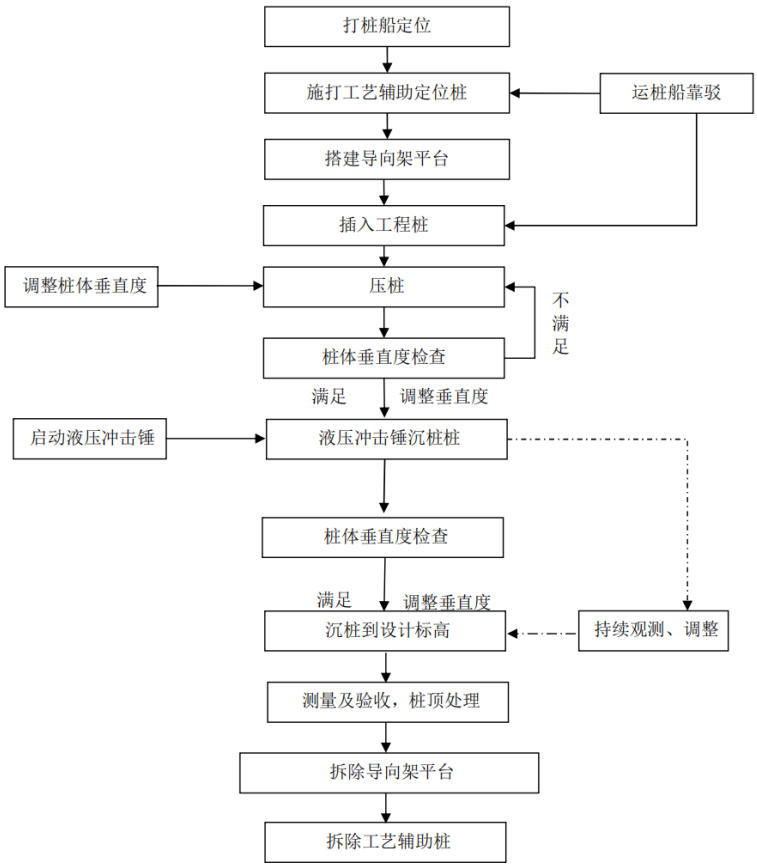


图 3.4-6　钢管桩沉桩施工工艺图

主要施工步骤：

A．作业船抛锚、定位和安装导向架

本工序需要在外海施工，打桩船抛锚采用八字形式，在抛锚位置处挂浮筒。

沉桩施工采用设置工艺辅助桩及导向架的方式来保证钢管桩沉桩的质量控制，通过打设工艺辅助桩保证导向架的稳定，在工艺导向架上设置四个 GPS 控制点及两台测倾仪，并通过设置在定位导向架上的液压调平装置进行工艺定位架的调平来保证同机位的钢管桩的桩位平面位置及垂直度。

四桩导管架基础沉桩施工时设置 4 根工艺辅助桩，工艺辅助桩布置在导管架每边的中心，直径为 2.4m，钢管桩壁厚为 26mm，周转使用。



图 3.4-7　工艺定位架示意图

B．沉桩

工程桩起吊翻桩：工程桩的翻身起吊采用起桩器配合主作业船副钩的方式进行吊装。起吊起桩器翻转，使起桩器夹具口呈水平状态。起桩器置于桩顶处，牵引起桩器，使桩顶套入起桩器夹口内。启动起桩器夹具，夹紧钢管桩。吊机缓慢起钩，使桩顶缓缓离地，吊机大臂随着钢管桩的起吊缓慢转动（或变幅），避免钢管桩在翻身过程中大幅滚动，待钢管桩竖直并稳定后，吊机起钩，使钢管桩脱离翻桩器。

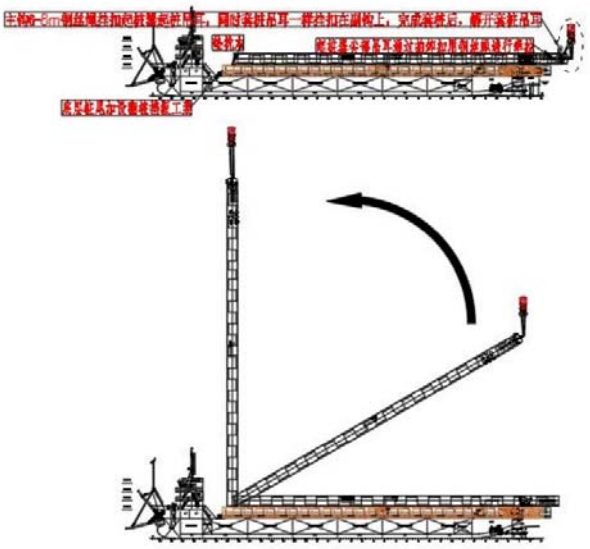


图 3.4-8　工程桩翻桩示意图

定位架插入工程桩：工程桩竖向起吊完成，主力浮吊通过吊机回转将工程桩插进定架桩套筒，定位架桩套管上顶部杯口位于水面以下，工程桩插桩时利用水下 ROV 观测进行导向插桩，当钢管桩进桩套管后，主力浮吊缓慢松钩直至钩头不带力，插桩过程中，吊机需注意钩头吨位变化。钢管桩顺利插入、完成自沉后，松开起桩器夹具，移除起桩器。

液压冲击锤沉桩：采用起重船吊液压冲击锤，钢管桩完成插桩后，吊机主钩挂送桩器，副钩挂冲击锤，同时起吊。先将送桩器有效插入钢管桩内。吊机向外变幅，将冲击锤套入已安装好的送桩器顶压桩，至主钩钩头不带力，冲击锤顶卸扣呈约 45°角状态，启动冲击锤，开始沉桩。

C．钢管桩顶部预处理

本工程地质条件较复杂，且桩顶标高偏差需控制在 50mm 内，可能会出现部分高桩，因此钢管桩要在安装基础钢结构标高位置进行切割处理。

（4）上部基础结构安装

四桩导管架基础结构主要分为上部连接段和基础工程桩两部分，上部连接段通过接缝灌浆的形式与基础工程桩连成整体，结构示意图如下：



图 3.4-9　四桩导管架基础结构示意图

风机基础施工时，利用工艺钢管桩定位导向钢桁架辅助工程钢管桩沉桩，沉桩完成后对桩顶进行处理、数据测量及验收，确保基础桩施工合格后，进行上部基础结构的吊装、安装并进行灌浆施工，其主要施工工艺如下：

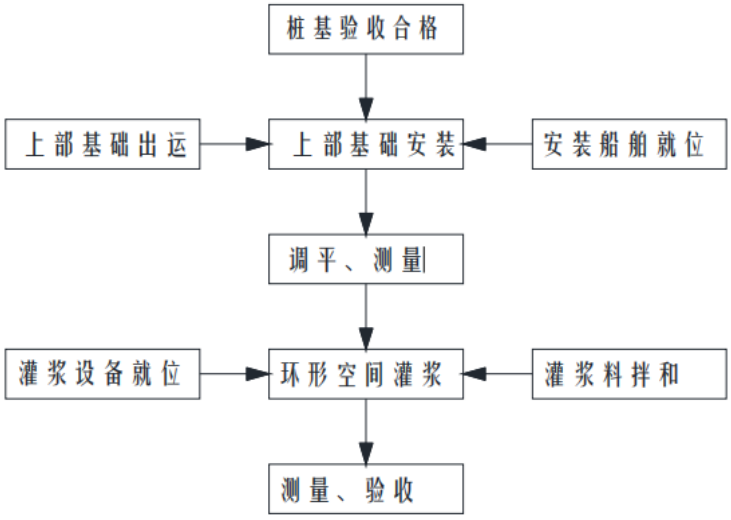


图 3.4-10　上部基础结构施工工艺流程图

主要施工步骤：

A．上部基础海上吊装及调平施工

起重船、运输船分别抛锚就位→竖直起吊导管架结构，运输船起锚驶出，工作船驶入、锚泊就位→工作船安装监控仪，起重船下放导管架→通过监控及工作船上缆风控制导管架位置，将导管架钢筒体插入钢管桩→验收合格后，对导管架进行初步固定，完成导管架吊装。导管架重量为 1891t，吊装时动力放大系数为 1.15，初步选择起重能力 3500t 以上的全回转起重船。

B．灌浆施工

上部基础吊装完成后，灌浆工作立即开始→利用预留注浆管道，向灌浆段腔体底部压注清水，冲洗灌浆腔体→连接注浆管，向底部灌注高强灌浆材料→通过监控，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，方可进入下一道工序。

（5）施工船机设备

基础施工单位工作面所需的船机设备见表 3.4-1。

表 3.4-1 基础施工主要船机配置表

序号	名称及规格	单位	数量	用途	备注
1	起重船	艘	2	钢管桩打桩、上部基础吊装、导向架起吊	起重能力 3500t 级以上，配置 1800KJ 液压打桩锤
2	运输船	艘	2	钢管桩运输	10000t 及以上
3	运输船	艘	2	导管架运输	12000t 及以上
4	拖轮	艘	2	拖运、移位船只	3000HP 及以上
5	抛锚艇	艘	4	驳船、起重船等起抛锚	
6	交通艇	艘	2	接送人员	
7	灌浆船	艘	1	导管架灌浆	

3.4.4 风电机组安装

海上分体吊装方案是将风电机组各组件各自完成自身的预组装后，运至风场机位，在现场依次进行塔筒、机舱、轮毂与叶片的安装。采用液压升降系统支腿顶升的自升式平台船是为了避免船只受涌浪的影响，达到稳定的作业工况，实现静对静吊装作业的目的，该方法受风浪、潮汐影响小，吊装定位精确，但对海床地质要求较高。

海上风电机组安装工艺流程如图 3.4-11。

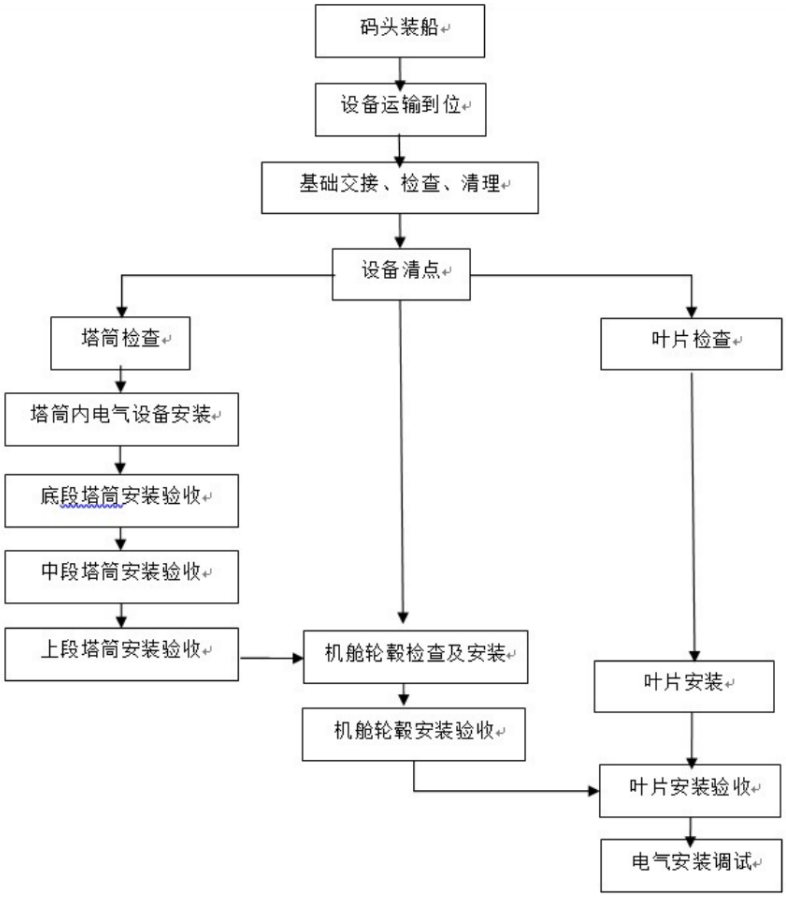


图 3.4-11　风机分体吊装安装施工工艺流程图

主要施工步骤：

①风机部件组装

由生产厂家在陆上完成塔筒、机舱、轮毂、叶片等主要部件的预组装，然后通过轨道移动台车运输至码头，采用履带吊等设备吊放到运输驳船上。

②风机海上运输

风机预拼装后的各组合体可通过自升式船舶或者平板驳船运输至工程现场。

③风机设备海上安装

风机吊装顺序：下端塔筒→第二节塔筒→第三节塔筒→上端塔筒→风机机舱→风轮组合体。本过程以风轮合体吊装为关键步骤，应根据吊装要求，选择符合相应吊高和吊重的自升式起重平台。

④主要施工设备

风机分体式吊装方案投入的主要设备如表 3.4-2。

表 3.4-2　配备的主要施工船机设备表

序号	船型	单位	数量	配置设备	用途	备注
1	自升平台船	艘	1	主钩吊高 137m 以上、吊重 800t	风机吊装	

				以上		
2	运输船	艘	2	7000t	风机运输	自航
3	拖轮	艘	2		起锚艇（拖轮）	3000HP
4	交通艇	艘	1		场内交通	自航

3.4.5 海上升压站施工

工程在风电场内部设置 1 座 500kV 的海上升压站，海上升压站上部组块采用三层布置。500kV 海上升压站由下部基础（包括桩基础、导管架）、上部组块组成。

导管架顶标高 11.5m，底标高-56.0m。导管架主腿采用Φ2500 钢管，呈矩形布置，在标高-23.0m，-5.0m 处设水平圆管及斜拉圆管，导管架局部节点用钢材 EH36—Z35 加强。导管架上设靠船构件、登船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等，导管架约重 4210t。

海上升压站基础采用Φ3700 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚分别为 60—90mm，桩长约为 102m，桩顶高程为-41.0m，桩底高程为-143m，桩入泥约 87m，单根桩重 700t，4 根桩总重约 2800t。

海上升压站上部组块分为 3 个模块，模块 1 和模块 2 对称，总重均为 2550t。模块 3 总重为 1350t，上部组块的整体总重约为 6450t。海上升压站基础导管架重约 4210t，采用直径 3700mm 的开口变壁厚钢管桩，共 4 根，桩长约为 102m，单根桩重 700t，4 根桩总重约 2800t。

海上升压站的施工内容包括钢结构制作、基础施工、上部组块安装三大部分。一般来说，主要施工工艺流程为：钢结构加工与制作→电气设备安装、调试→导管架沉放→钢管桩沉桩施工→上部组块整体安装→电气设备联动调试。

①钢管桩、导管架的制作、运输

钢管桩及导管架在陆上加工制作，海上进行安装施工。

根据对钢管桩运输要素的分析，钢管桩运输长度是船舶选型的控制要素，同时考虑导管架根开尺寸，导管架和钢管桩选择载重量 15000t 以上的运输船进行场内外运输。

②导管架沉放施工

在导管架运输至海上升压站位置后，首先开始进行导管架的沉放工序。为保证导管架安放水平，施工前，在辅助驳船上配备冲喷设备等，对海床实施扫海，确保海床无障碍物及基本平整。本工程导管架结构吊重约 4210t，根据导管架吊重、吊装尺寸的要求，本阶段初步选择起重能力 5500t 以上浮式起重船进行导管架的沉放工序。导管架安装到位后，应及早跟进沉桩施工，以免导管架在风浪作用下滑移，超出偏差要求。

导管架施工时调整起重船船位和钩头位置，保证主钩中心位于导管架重心正上方，主吊缓慢提升使导管架竖向带力，运输船解除海绑，吊索具安装人员撤离导管架，海绑拆除后继续起吊并下放升压站导管架；导管架下放接触泥面后，实时观察主钩吊重情况，随主钩下放，吊重逐渐减小，当吊重基本接近索具自重时表明导管架完全下放至泥面，复测导管架水平度，满足要求后安排人员上导管架顶部平台拆除吊索具。测量人员在导管架顶部架高精度水准仪，测量导管架顶部四角高差，如果水平度不满足要求，将吊索具安装在导管架顶部低的一角或轴线（往一侧倾斜，挂两点），通过起重船主钩缓缓提升、下降，反复调整几次，直到完成导管架水平度调整合格。若通过上述方式无法调平，可采用以下步骤处理：浮吊将吊装索具拆除，只保留水平度最低的吊点索具，缓慢起钩，将低点吊平，并高出其他主桩腿 0.5m。若仍无法调平，则潜水员下潜至防沉板处，在防沉板与海底空隙处摆放砂袋，直至空隙被填满为止。将导管架落下，检查水平度，如果符合要求导管架调平工作完成。如果不符合要求，重复上述步骤，直至导管架水平度达到要求。

海上升压站基础施工流程见下图。

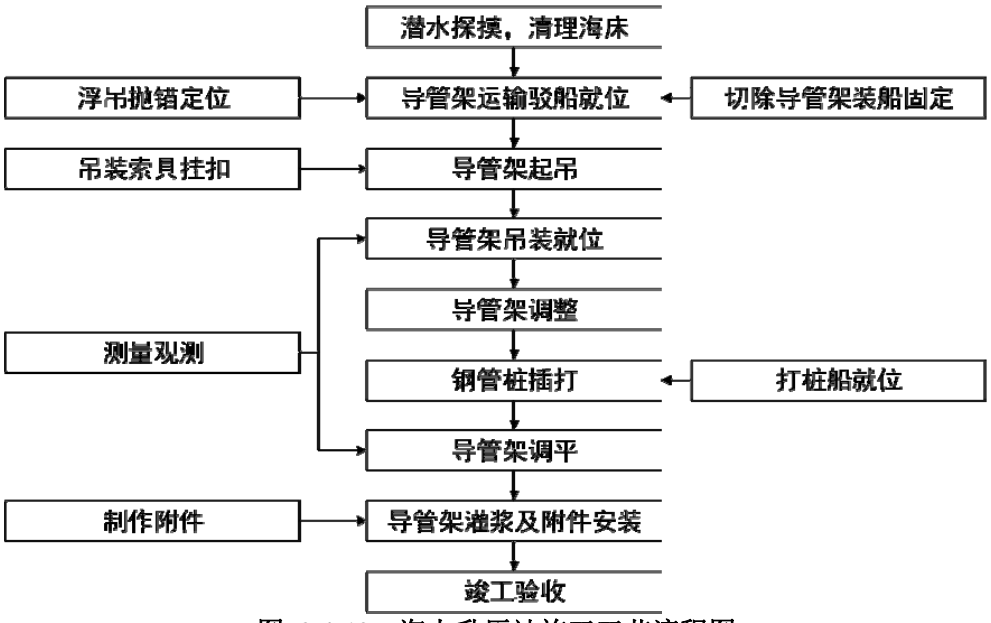


图 3.4-12　海上升压站施工工艺流程图

③钢管桩沉桩施工及灌浆施工

工程海上升压站基础区域水深满足大部分工程类船舶的正常航行与施工对水深条件的要求。为保证管桩的加工与施工质量，拟采用整根钢管桩的沉桩施工方式，不考虑分段接桩焊接的处理。

针对整根钢管桩沉桩施工的方式，根据国内海上升压站导管架施工经验，推荐采用

浮式起重船吊打的方式进行钢管桩的沉桩施工。为充分利用大型船舶，钢管桩沉桩施工同样考虑采用导管架施工所采用的浮式起重船进行施工。

工程导管架设计时已考虑钢管桩沉桩施工需求，沉桩过程中桩基为垂向入泥，钢管桩穿过导管架的桩靴，确保钢桩沉桩垂直度以及钢桩与导管架桩靴间的环缝的最小间距的精度，保证沉桩施工的角度与精度

控制满足要求，完成四根钢桩插桩后，根据测量导航系统实时观测结构水平度，按照“谁高打谁”的原则进行打桩。同时先施打距离打桩船远处的钢桩，保证打桩船臂架不会触碰近处钢管桩。沉桩完成后，复测导管架水平度，若导管架水平度偏差超过 0.5%，则需进行调平。浮吊对低点吊耳进行单独带力提拎测量水平度，测量符合要求精度后，准备进行灌浆施工。灌浆时确保灌浆期间钢管桩和导管架之间无相对位移，保证灌浆质量。

钢管桩沉桩拟选用锤击能量 1800kJ 及以上的液压打桩锤，施工设备来源较为广泛。

先进行导管架就位，后进行打桩作业，待钢管桩沉桩到位之后，导管架与钢管桩采用水上灌浆方式连接。灌浆施工由甲板驳船上所载的灌浆泵高压泵送灌注专用的灌浆材料，灌浆作业前，应进行原材料作业和配合比设计，并进行相关的试验工作。灌浆材料的性能必须确保满足设计要求，在施工监理方的监督下，采用小型压浆机将材料浆液压至导管与钢管桩的环缝内，自下而上注满。

④海上升压站上部组块制作

海上升压站上部组块平台共分 3 个模块，模块 1 和模块 2 对称，总重均为 2550t。模块 3 总重为 1350t，上部组块的整体总重约为 6450t。各电气设备按照功能需求设置在不同隔层范围内，工程海上升压站上部组块结构类同于海上石油类钻井平台上部组块结构，因此本阶段上部组块结构参考成熟的钻井平台上部组块结构的施工方案进行考虑，各个模块都在加工现场整体制作完毕后，现场分三次进行吊装。

上部组块建造流程概述：

根据本工程的特性，以及施工场地和机械设备的实际情况，上部组块结构的陆地建造将按照“甲板片分层预制，自下而上、由内而外、整体吊装”的原则进行。这样做的目的是尽量加大地面预制的深度，以减少高空作业的工作量。各层甲板片将在场地内整体预制，并完成涂装后，再转移到总装区进行总装。同时，各层甲板片上的相关设备和预制舱将在甲板片吊装完成后进行就位安装。消防给排水、电气、升装、通风、防腐保温等系统都将在陆地上完成施工，并进行单体调试和预试运，以减少海上工作量。

在这个过程中，每一个环节都将严格按照既定的计划和标准进行。首先，场地内将设置专门的预制区域，用于各层甲板片的预制。这些区域将根据甲板片的尺寸和重量进行合理布局，并配备相应的机械设备和安全设施。在预制过程中，采用先进的施工技术和工艺，确保甲板片的制造质量和精度。

在完成甲板片的预制后，将转移到总装区进行总装。这个区域将设置专门的吊装设备和滑道，以方便甲板片的安装和调整。在总装过程中，采用整体吊装的方法，确保甲板片的安全和稳定。同时，还将对相关设备和预制舱进行就位安装，确保它们的准确性和功能性。

最后，所有的系统和设备都将在陆地上完成施工、单体调试和预试运。这将大大减少海上工作量，提高施工效率和质量。在试运行过程中，对所有的系统和设备进行严格的测试和检验，确保它们的正常运行和使用效果。

⑤海上升压站上部组块运输与安装

A 海上升压站上部组块装船与运输：

工程海上升压站钢结构平台与内部电气设备组合形成整体的上部组块总重量约为6450t，可采用 SPMT 模块车滚装上船，滚装上船相比滑移装船效率更高，周期更短，模块车具有灵活机动的特点。装船方式根据建造场地条件确定。

运输用船舶应尽量保证升压站上部组块的整体边界在船舶型宽范围内，尤其应保证底部四根主柱位置在船舶型宽有效范围内。根据上述对运输船舶尺寸数据的要求并参考同类海工结构组块实际选用运输船舶的情况，拟选用 20000t 级以上甲板驳船进行运输。

海上运输条件复杂，升压站上部组块为大尺寸、超重量的构件，运输过程中受天气、海况等影响较大，船身可能出现横倾晃动的危险，因此需要根据升压站上部组块尺寸与重量等条件，统筹规划生产基地，选择有利的天气时机，并对运输船舶增加临时辅助固定装置，降低运输过程中的风险，增加运输过程中的可靠性。



图 3.4-13　海上升压站整体运输示意图

B．升压站上部组块的浮托法安装

根据钢桁架组合体上部结构整体吊装尺寸要求，选择 4000t 级以上起重能力的浮式起重船进行组合体的安装工作。

实际生产过程中，可能出现由于平台钢结构加工及电气设备安装误差等因素造成的平台实际重心与设计中心出现偏差现象，重控纠偏主要通过起吊设备和吊梁转换进行调节。吊装设备配置上考虑这一因素，起吊设备吊钩、吊绳及其他吊具具有一定安全富余度，可满足一定范围内重心偏差的纠偏。

⑥主要施工设备

所需的船机设备见表 3.4-3。

表 3.4-3　海上升压站主要船机配置表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	起重船	起重能力 4000t 及以上	艘	1	上部组块现场安装
2	起重船	起重能力 5000t 以上	艘	1	导管架、钢管桩施工，配置液压打桩锤
3	甲板驳船	载重量 15000t 以上	艘	1	钢管桩、导管架的运输
4	甲板驳船	载重量 20000t 以上	艘	1	上部组块运输
5	拖轮	4000HP	艘	2	拖运船舶
6	抛锚艇		艘	2	甲板驳船、起重船等抛错
7	交通艇		艘	2	接送人员
8	灌浆船		艘	1	

3.4.6 高抗站施工

项目风电场配套建设一座海上高抗站。海上高抗站由下部基础（包括桩基础、导管架）、上部组块组成。

导管架顶标高 11.5m，底标高-45.0m。导管架主腿采用 Φ2500 钢管，呈矩形布置，在标高-18.0m，-5.0m 处设水平圆管及斜拉圆管，导管架局部节点用钢材 EH36—Z35 加强。导管架上设靠船构件、登船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台以

及牺牲阳极等，导管架约重 3630t。

海上高抗站基础采用 03200 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚分别为 60—90mm，桩长约为 97m，桩顶高程为-30m，桩底高程为-127m，桩入泥约 82m，单根桩重 5lOt，4 根桩总重约 2040t。

海上高抗站上部组块采用三层布置。海上升压站平面最大尺寸为 43m×40m，高 17.0m，最高点距海平面 43.5m（不含吊机）。高抗站上部组块钢结构重量为 1530t，舸装设施约为 120t，电气、暖通、消防、给排水设备重量约 1000t，上部组块总重约 2650t。

海上高抗站的施工内容包括钢结构制作、基础施工、上部组块安装三大部分。一般来说，主要施工工艺流程为：钢结构加工与制作→电气设备安装、调试→导管架沉放→钢管桩沉桩施工→上部组块整体安装→电气设备联动调试。

①钢管桩、导管架的制作、运输

钢管桩及导管架在陆上加工制作，海上进行安装施工。

根据对钢管桩运输要素的分析，钢管桩运输长度是船舶选型的控制要素，同时考虑导管架根开尺寸，导管架和钢管桩选择载重量 12000t 以上的运输船进行场内外运输。

②导管架沉放及钢管桩沉桩施工

在导管架运输至海上升压站位置后，首先开始进行导管架的沉放工序。为保证导管架安放水平，施工前，在辅助驳船上配备冲喷设备等，对海床实施扫海，确保海床无障碍物及基本平整。本工程导管架结构吊重约 3630t，根据导管架吊重、吊装尺寸的要求，本阶段初步选择起重能力 5000t 及以上浮式起重船进行导管架的沉放工序。导管架安装到位后，应及早跟进沉桩施工，以免导管架在风浪作用下滑移，超出偏差要求。

导管架及钢管桩的施工工艺与海上升压站施工方式相同。钢管桩沉桩拟选用锤击能量 1800kJ 及以上的液压打桩锤。

③海上高抗站上部组块制作

海上高抗站上部组块平台共分三层。各电气设备按照功能需求设置在不同隔层范围内，在建造场地整体制作完毕后，现场进行一次性吊装。

上部结构由立柱、甲板、主次梁和斜撑组成，海上高抗站上部组块钢结构重量为 2530t，舟西装重量等约为 220t，电气，暖通，消防，排水设备及管道重量约 1670t，上部组块总重约 4420t。高抗站建造工艺与海上升压站建造工艺相似。

④海上高抗站上部组块运输与安装

海上高抗站上部组块装船与运输：

本工程海上高抗站钢结构平台与内部电气设备组合形成整体的上部组块总重量约为2650t，可采用SPMT模块车滚装上船，滚装上船相比滑移装船效率更高，周期更短，模块车具有灵活机动的特点。装船方式根据建造场地条件确定。

运输用船舶应尽量保证升压站上部组块的整体边界在船舶型宽范围内，尤其应保证底部四根主柱位置在船舶型宽有效范围内。根据上述对运输船舶尺寸数据的要求并参考同类海工结构组块实际选用运输船舶的情况，拟选用15000t级以上甲板驳船进行运输。

海上运输条件复杂，升压站上部组块为大尺寸、超重量的构件，运输过程中受天气、海况等影响较大，船身可能出现横倾晃动的危险，因此需要根据升压站上部组块尺寸与重量等条件，统筹规划生产基地，选择有利的天气时机，并对运输船舶增加临时辅助固定装置，降低运输过程中的风险，增加运输过程中的可靠性。

高抗站上部组块吊装：

根据钢桁架组合体上部结构整体吊装尺寸要求，选择4000t级以上起重能力的浮式起重船进行组合体的安装工作。高抗站吊装施工工艺与海上升压站施工工艺相似。

⑥海上高抗站主要施工设备

所需的船机设备见表 3.4-4。

表 3.4-4　海上高抗站工主要船机配置表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备注
1	起重船	起重能力4000t及以上	艘	1	上部组块现场安装
2	起重船	起重能力5000t以上	艘	1	导管架、钢管桩施工，配置液压打桩锤
3	甲板驳船	载笙量12000t以上	艘	1	钢管桩、导管架的运输
4	甲板驳船	载重量15000t以上	艘	1	上部组块运输
5	拖轮	4000HP	艘	2	拖运船舶
6	抛锚艇		艘	2	甲板驳船、起重船等抛错
7	交通艇		艘	2	接送人员
8	灌浆船		艘	1	

3.4.7 海缆敷设施工

本工程海上升压通过500kV海底电缆经500kV高抗站敷设至登陆点，转500kV陆缆后接至陆上集控中心。工程海域海床表层土为淤泥，海床段敷设方式为直埋方式； 登陆部分为海涂和浅滩，海缆登陆采用直埋敷设登陆方式；海缆登陆后进入岸边的海陆缆转换井，转500kV陆缆，陆缆部分采用电缆隧道敷设方式，接至陆上集控中心。

工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的66kV海底电缆；

海上升压站与陆上集控中心之间的 500kV 海底电缆，所需敷设海缆工程量为：66kV 海缆总长度 195.5km；2 回 500kV 海缆总长度 2×78.5km。根据水深要求，本场地采用深埋方式。

电缆海底最大埋深约 2m，穿越航路段电缆埋深约 3m。

3.4.7.1 施工区段划分

根据电缆敷设区域海洋环境的不同，将电缆敷设区分为以下 2 个主要区域进行：水深较浅区域和大于 2.5m 水深满足铺缆船吃水深度的深水区域。浅水区域采用两栖挖掘机乘退潮露滩时机挖沟，电缆敷设船乘潮敷设；深水区域采用射水挖沟犁高压射水挖沟，电缆敷设船敷设。

3.4.7.2 深水区施工

对于深水区域，水深满足铺缆船作业的位置，可采用铺缆船配合埋设犁方式完成电缆敷设。

海缆敷设主要施工工艺如下：

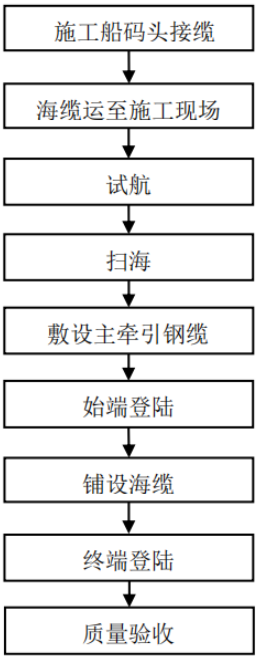


图 3.4-14　海缆敷设施工工艺

1）电缆装船

电缆在装船前应进行出厂检验，符合设计标准时才能过驳装船用于施工。装船时施工船航行到生产厂家码头，由厂家通过电缆桥架以及牵引设备，将厂区内的电缆从缆池内牵引至施工船甲板上的缆圈内，采用人工和机械辅助的方法，将电缆盘放在圈内，装船完毕后重新对海底电缆性能进行检查测试，确认各项性能指标满足设计标准要求。



图 3.4-15　海缆装船示意图

2）深水区海缆施工

根据锚重与投入表层深度的关系，电缆敷设深度应不小于泥面以下 3m，铺缆正常海况条件为六级以下风力，海上正常条件下的敷设速度为 6m/min，电缆海底最大埋深约 2.0m，开沟犁宽约 0.3m，沟上顶宽 1m。

采用牵引式铺埋电缆方法，铺设船上布置有主要铺缆设备，需根据电缆路由进行电缆的敷设施工，电缆埋深按 3m 以下埋深控制，对具有通航功能的海域敷设深度适当加深，施工船依靠水力埋设机的开沟犁挖沟后敷设，敷设过程应通过船上监测仪器全程监控，控制铺埋速度，监测电缆张力和埋设深度。

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，一边开沟一边铺设。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）终端上风机（海上升压站、高抗站）铺设

海底电缆在登上风机平台（或升压站）的铺设，需穿过与桩基固定的“J”型管，登平台前应将钢丝绳置换“J”形管内预先设置的牵引绳索，用船上绞车将电缆由海底通过“J”型管口牵引至平台塔筒内预定位置。



图 3.4-16　海缆风机平台登陆施工图

3.4.7.3 浅水区施工

对于靠岸部分水深较浅的区域，采用铺缆船直接铺设电缆难度较大，可利用高潮位时机，尽量将铺缆船冲滩尽量靠近登陆点。海缆敷设前，采用两栖挖掘机预先挖沟作业，水路挖掘机乘低潮沿管线将管线位置土壤挖出，抛于路由两侧，以形成管沟。铺缆船航行至登陆点外海一定水深海域抛锚，利用铺缆船、两栖挖掘机和卷扬机等设备配合完成电缆敷设。因滩涂水浅，埋设作业须乘潮进行。低潮作业船座底时，应密切注意船尾与埋设犁之间电缆的形状，应保证电缆的弯曲半径在允许范围之内。在涨潮时，船起浮过程中应保持电缆线松弛状态。

3.4.7.4 穿越基岩、海岸线处的施工

靠岸区域水深较浅、近岸 300m 区域内存在基岩，不适合海缆敷设船直接铺缆。施工可选择高潮位时段，将敷设船冲滩，尽可能靠近登陆点；利用船上工作艇，把尼龙缆沿预设预埋路径从敷设船牵引至登陆点，与岸侧拖缆绞车的钢缆相连。随后通过敷设船绞盘回绞尼龙缆，将拖缆绞车钢缆牵引至船尾，再把钢缆与海缆拖拉网套连接，由登陆点绞车回卷钢缆，牵引海缆至登陆点设计位置。

基岩区海缆布放期间，同步在施工船甲板为海缆加装球墨铸铁保护套管；海缆下水前，在缆体上方绑扎泡沫浮筒。牵引作业时，牵引绳应维持稳定张力、保持匀速牵引，全程监测牵引拉力，严格管控海缆张力与弯曲半径，实时核对卷扬机牵引速度，保障海缆安全登陆；基岩段海缆必须装设铸铁套管防护。海缆始端登陆就位后，针对基岩出露区段，在铸铁套管外侧加混凝土联排压盖，实施二次保护，断面见图 3.4-19。

岸线段干滩时段开挖施工，海缆埋深 1.0m，开挖基槽顶宽 1.0m，底宽 0.9m，深

1.306m，断面见图 3.4-18。

登陆段海缆在泥面为淤泥时采用海缆敷设船边冲边埋的方式进行海缆敷设，淤泥在海缆敷设完成后自然回淤，基岩段不存在开挖和回填。海岸线海缆敷设后需恢复至原状。

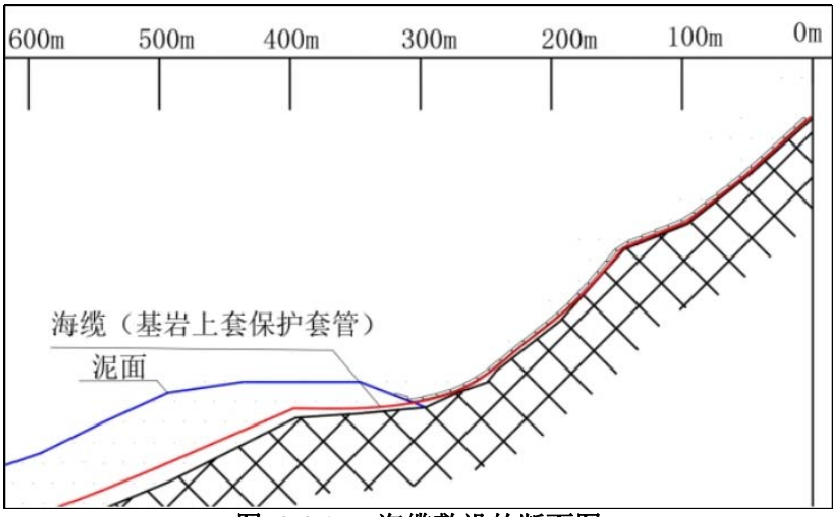


图 3.4-17　海缆敷设的断面图

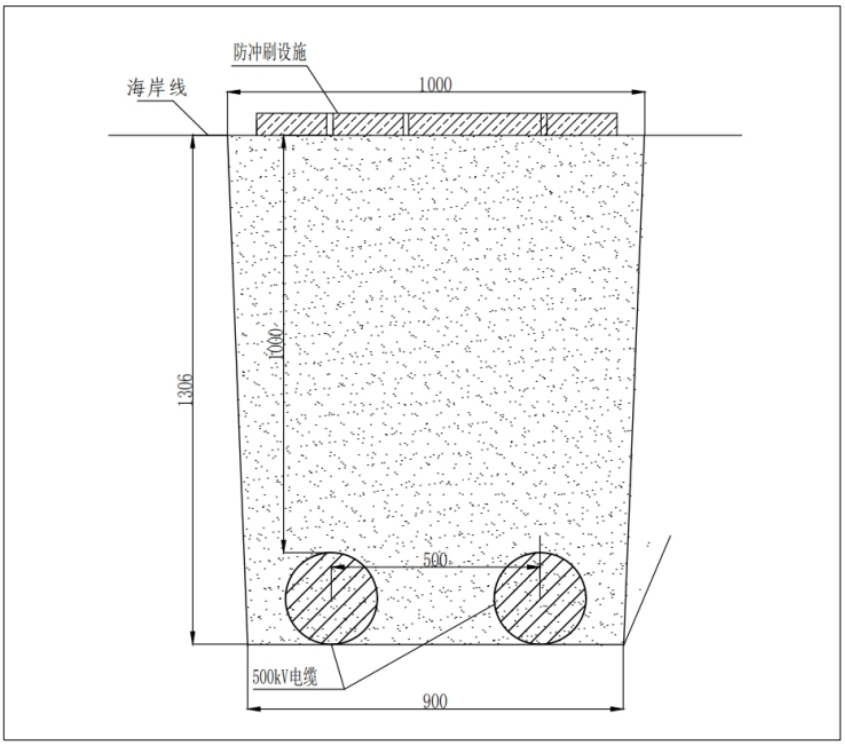


图 3.4-18　　岸线处海缆敷设断面图

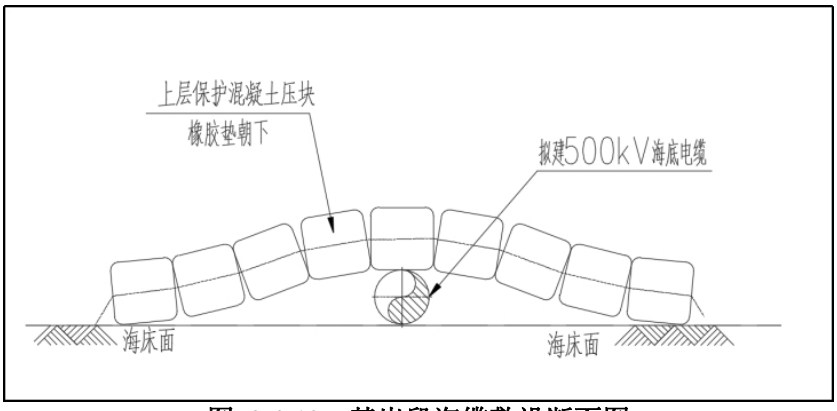


图 3.4-19　基岩段海缆敷设断面图

3.4.7.5 交越段施工

项目海缆与禁止抛锚和捕捞区内海缆和 N2 风电场送出海缆路由存在交越，交越施工采用上交越施工方式。在交越点附近采用磁力仪和浅地层剖面仪检测已建海底电缆管道，对电缆管道的埋设深度与走向进行测量，获得管线的精确坐标后，潜水员携带高压水枪清除已有管线上方土体，进行实际探摸，无误后标记已建管线的位置，在路由区清理障碍物，达到铺设的条件。

交越点处理的施工方案为：在管线交越前后各 50m 处设置浮漂，以明确交越位置，交越作业采取跨越式交越法，在正常敷设至被交越缆线或管线前方 100m 处，停止埋深作业，起出埋设机，采用抛放作业的方式跨越交越点，待过交越点 100m 之后，再由潜水员确认水下情况安全，之后重新投放埋设机进行后续的敷埋作业。

根据现行行业标准《海底管道系统》（SYT10037）-7，交越的两管线必须是分离的，且要永久保持不少于 0.3m 的垂直距离，因此要在交越点位置原有电缆和新敷电缆之间采用水泥压块对原有管道进行覆盖保护，以此隔离原有电缆及新敷缆线，避免运营时产生相互影响。在原有海底电缆管道上方放置水泥压块（单个规格：长 30cm、宽 30cm、高 30cm）；之后铺管船航行于路由上，在其上方铺设新建管缆，由辅助工程船在新建电缆上方再铺设水泥压块进行防护，一般交越处铺单层水泥压块。交越点水泥压块宽度 3.1m。交越点断面示意图见图 3.4-20。

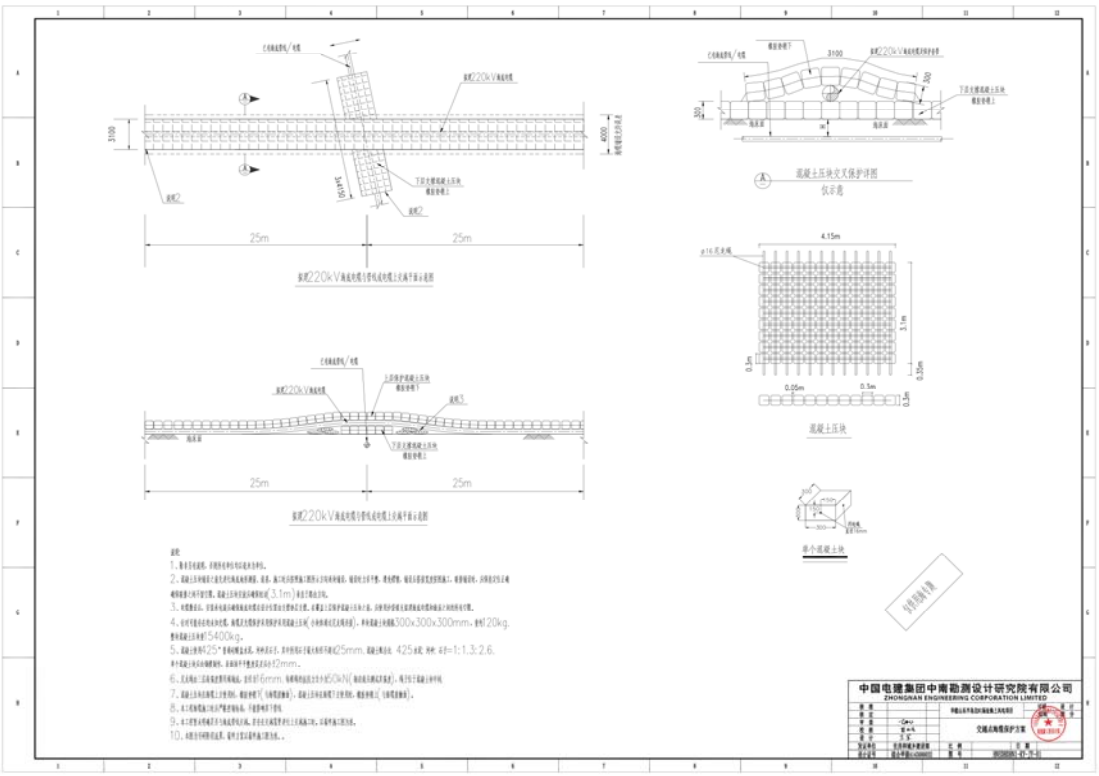


图 3.4-20　上交越防护图

3.4.7.6 穿越航道、航路海缆施工

根据《海上风电场交流海底电缆选型敷设技术导则》（NB/T31117-2017），穿越航道航路区域应加大埋深，满足“跨越航道、锚地等与航运关联的海域，埋置深度不宜小于 3.0m”的要求，项目海底电缆穿越航路的埋深为 3.0m。项目海缆穿越成山角至长山水道航路、成山角至老铁山水道航路、成山角至大连航路和威海港至成山角航路等 4 条航路，航路施工长度约 46.8km。

3.4.7.7 养殖区海缆施工

养殖区的施工方式（底播、筏式）：在海缆敷设前进行海缆路由扫侧，进行海上预调查工作。工作内容主要包括：对电缆路由之间及两侧范围内水深、地貌进行扫测；对电缆路由的地层进行扫测；对电缆路由上的礁石及其它障碍物进行扫测等。路由扫侧完成后进行清障，在清障施工前与渔民及养殖户沟通，告知对方我方作业情况，降低环境污染。海缆清障作业在铺缆船装船到达施工现场就位前完成即可。确保在船只作业范围内的海底没有影响施工船埋设作业任何物件。清障线路以设计路由为清障中线。在清障时，密切关注清障锚的状态，防止清障锚偏移路由线。清障主作业船拟采用抛锚艇。清障完成后进行海缆敷设作业。

3.4.7.8 电缆测试与保护

施工过程中，应对电缆进行绝缘测试和光纤的 OTDR 连续跟踪测试。单条电缆敷设安装完成后，从电缆终端进行最终测试，确认电缆施工顺利完成。

工程选用加强铠装的海缆，以提高海缆的机械强度，并通过海缆深埋的方式，避免海缆受到损坏。在施工完成后，设置相关标志并及时将实际敷设路由向当地主管部门及国家海洋管理部门申报。

工程海域海床表层土为新近沉积淤泥土，登陆部分为海涂和浅滩，推荐的海缆敷设方式为定向钻+直埋方式，建议采取以下防护措施进行海缆保护。

1）对于穿越航道区的海缆可加大电缆的埋深，在航道内施工时，需向海事主管机关申请交通管制，同时尽量避免航道封航。

2）海缆敷设完成后，建议在海缆 J 型管出口处采取抛填碎石或水泥压块等措施进行海缆保护。

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



图 3.4-21　水泥压块保护示意图



图 3.4-22　弯曲限制器示意图



图 3.4-23　海缆保护套管图

3.4.7.9 施工船舶及设备

所需的船机设备见表 3.4-5。

表 3.4-5　电缆敷设主要船机配置表

序号	机械设备名称	型号规格	单位	数量	备　注
1	两栖挖掘机		辆	2	开挖电缆沟及回填
2	卷扬机		台	2	电缆牵引
3	交通艇	2000HP 级以上	艘	2	人员运输及生活物资补给
4	带埋设机的铺缆船		艘	1	500kV 海缆敷设
5	带埋设机的 铺缆船		艘	1	66kV 海缆敷设
6	拖轮		艘	2	铺缆船拖航及稳定性控制
7	抛锚艇		艘	4	铺缆船起、抛锚

3.4.8 主要施工船机设备

本工程施工项目种类较多，同时存在陆上施工项目、海上施工项目，主要施工船机设备见下表。

表 3.4-6　拟配备的主要施工船机设备表

内容	名称及规格	单位	数量	用途	备注
风机基础施工	起重船	艘	2	钢管桩打桩、上部基础吊装、导向架起吊	起重能力 3500t 级以上，配置 1800KJ 液压打桩锤
	运输船	艘	2	钢管桩运输	10000t 及以上
	运输船	艘	2	导管架运输	12000t 及以上
	拖轮	艘	2	拖运、移位船只	3000HP 及以上
	抛锚艇	艘	4	驳船、起重船等起抛锚	
	交通艇	艘	2	接送人员	
	灌浆船	艘	1	导管架灌浆	
风机安装	自升平台船	艘	1	风机吊装	主钩吊高 137m 以上、吊重 800t 以上
	运输船	艘	2	风机运输	7000t、自航

	拖轮	艘	2	起锚艇（拖轮）	3000HP
	交通艇	艘	1	场内交通	自航
海上升压站施工	起重船	艘	1	上部组块现场安装	起重能力 4000t 级及以上
	起重船	艘	1	导管架基础施工，配置液压打桩锤	起重能力 5000t 级及以上
	甲板驳船	艘	1	钢管桩、导管架的运输	载重量 15000t 级以上
	甲板驳船	艘	1	上部组块的运输	载重量 20000t 级以上
	拖轮	艘	2	拖运、移位船只	4000HP 级以上
	抛锚艇	艘	2	驳船、起重船起抛锚	
	交通艇	艘	1	接送人员	
	灌浆船	艘	1	导管架灌浆	
海上高抗站施工	起重船	艘	1	上部组块现场安装	起重能力 4000t 级及以上
	起重船	艘	1	导管架基础施工，配置液压打桩锤	起重能力 5000t 级及以上
	甲板驳船	艘	1	钢管桩、导管架的运输	载重量 12000t 级以上
	甲板驳船	艘	1	上部组块的运输	载重量 15000t 级以上
	拖轮	艘	2	拖运、移位船只	4000HP 级以上
	抛锚艇	艘	2	驳船、起重船起抛锚	
	交通艇	艘	1	接送人员	
	灌浆船	艘	1	导管架灌浆	
电缆敷设	两栖挖掘机	辆	2	开挖电缆沟及回填	
	卷扬机	台	2	电缆牵引	
	交通艇	艘	2	人员运输及生活物资补给	2000HP 级以上
	带埋设机的铺缆船	艘	1	500kV 海缆敷设	
	带埋设机的铺缆船	艘	1	66kV 海缆敷设	
	拖轮	艘	2	铺缆船拖航及稳定性控制	
	抛锚艇	艘	4	铺缆船起、抛锚	

3.4.9 工程量与土石方平衡

3.4.9.1 工程量

风机工程量见表 3.4-7，升压站工程量见表 3.4-8，高抗站工程量见表 3.4-9，直埋电缆沟土工程量见表 3.4-10。

表 3.4-7　风机基础总工程量（79 台）

序号	项目	材质	单位	工程量
1	钢管桩	DH36	t	117084.9
2	钢管桩运输安装		根	316.0
3	导管架	EH36/EH36-Z35（导管架节点区、支撑节点区需采用 EH36-Z35）	t	149457.9
4	导管架运输安装		套	79.0
5	基础顶法兰		t	79.0
6	防撞构件	Q355D	t	2370.0
7	高强灌浆料	ld 强度不低于 50MPa，28 天强度	m^3	7031.0

		不低于 120MPa		
8	灌浆封隔器		个	316.0
9	外加电流保护装置	含 8-12 个参比电极	套	79.0
10	平台、梁、栏杆、爬梯等	Q235D	t	9914.5
11	钢格栅的制作与安装（含固定钩、夹具等）		m2	9480.0
12	J 型管制作	Q235D	t	3160.0
13	防坠落装置		套	316.0

表 3.4-8　升压站总工程量

	项目	单位	规格/型号	数量
一	上部组块结构部分			
1.1	主体结构	t	DH36/EH36	2578
1.1.1	主立柱	t	DH36/EH36	651
1.1.2	令斗撑	t	DH36	302
1.1.3	梁	t	DH36	1280
1.1.4	关键节点板	t	DH36-Z35、DH36	345
1.2	甲板铺板	t	Q235C	470
1.3	结构围壁	t	Q235C	433
1.4	栏杆、楼梯	t	Q235C	24
1.5	吊耳和插尖	t	DH36/DH36-Z35	36
1.6	避雷针、其他附属及加强构件	t	DH36/Q235C	20
1.7	设备基础及事故油罐	t	Q235C	85
1.8	螺栓	t	316L、碳钢	4
二	栖装部分			
2.1	复合氧化铝毯防火	m^2	厚度：20+20mm	4835
2.2	保温矿物棉复合板		厚度：75m	15111
2.3	防火油漆			8311
2.4	甲板防火敷料			3778
2.5	复合岩棉板衬板 1		厚度：30mm	5893
2.6	复合岩棉板衬板 2		厚度：50mm	5032
2.7	复合岩棉板隔墙板		厚度：50mm	257
2.8	复合岩棉板天花板		厚度：25mm	529
2.9	格栅吊顶			332
2.10	不锈钢板		316L	166
2.11	钢丝网		316L	7555
2.12	铝衬布			7555
2.13	橡胶地板地面		耐火橡胶地板厚 3mm	4533
2.14	PVC 地板		厚 2mm	408
2.15	防静电架空地板地面		架空高度 200-400mm	1511
2.16	防火门	套		34
2.17	矩形窗	套		6
2.18	避难室配套设备组合件	套		1
2.19	救生设施	套		1
2.20	平台吊机 l	套	组合件，5t 海工悬臂吊 l 套，臂长 30m	1
2.21	平台吊机 2	套	组合件，lt 海工变福悬臂吊机，臂长 4.5m	2
2.22	避难室配套设备	套	组合件	1
2.23	电动葫芦吊	套	组合件，3t，长 15m	2

	项目	单位	规格/型号	数量
2.24	电动葫芦吊	套	组合件，5t，长 15m	2
2.25	活动地板	m^2	450mm 高	175
2.26	手动平板液压推车	套	组合件	2
2.27	GIS 室析车	套	组合件，5t 海工析车 1 套	2
三	下部基础结构			
3.1	主体结构	t	DH36/EH36	3439
3.1.1	主腿	t	DH36/EH36	2010
3.1.2	水平撑	t	DH36/EH36	885
3.1.3	斜撑	t	DH36/EH36	544
3.2	加强部位及吊耳	t	DH36-Z35	256
3.3	靠船件、爬梯及登入系统	t	Q355D	115
3.4	J 形管	t	Q355D	180
3.5	牺牲阳极	t	A21I-1，铝－锌－钢合金牺牲阳极	50
3.6	防沉板	t	Q235C，8mm	150
3.8	灌浆材料	m3	高强度灌浆材料	160
3.9	灌浆管线	t	20#	20
3.10	密封封隔器	套	组合件，每根主腿 1 个，共 4 个	4
3.11	桩靴淄浆紧固器	套	组合件，每根主腿 1 个，共 4 个	4
3.12	主动密封装置	套	组合件，每根主腿 1 个，共 4 个	4
四	桩基			
4.1	钢管桩	t	DH36，共 4 根	2800
五	防腐涂装面积	上部结构及非浪溅区涂层面积：600um，57400m^2，浪溅区涂层面积：800um 厚，26000m^2		
六	交越工程量			
6.1	光缆跨越保护混凝土连体排	t		120
6.2	海缆保护套管	m		480
6.3	沙袋	m^2		3600

表 3.4-9　高抗站总工程量

	项目	单位	规格 I 型号	数量
一	上部组块结构部分			
1.1	主体结构	t	DH36/EH36	978
1.1.1	主立柱	t	DH36/EH36	251
1.1.2	令撑	t	DH36	102
1.1.3	梁	t	DH36	380
1.1.4	关键节点板	t	DH36-Z35、DH36	245
1.2	甲板铺板	t	Q235C	250
1.3	结构围壁	t	Q235C	233
1.4	栏杆、楼梯	t	Q235C	24
1.5	吊耳和插尖	t	DH36/DH36-Z35	36
1.6	避雷针、其他附属及加强构件	t	DH36/Q235C	20
1.7	设备基础及事故油罐	t	Q235C	85
1.8	嫘栓	t	316L、碳钢	4
二	栖装部分			
2.1	复合氧化铝毯防火	m^2	厚度：20+20mm	3219
2.2	保温矿物棉复合板		厚度：75m	10059
2.3	防火油漆			5532
2.4	甲板防火敷料			2515
2.5	复合岩棉板衬板 1		厚度：30mm	3923

	项目	单位	规格 I 型号	数量
2.6	复合岩棉板衬板 2		厚度：50mm	3350
2.7	复合岩棉板隔墙板		厚度：50mm	171
2.8	复合岩棉板天花板		厚度：25mm	352
2.9	格栅吊顶			221
2.10	不锈钢板		316L	111
2.11	钢丝网		316L	5029
2.12	铝笃布			5029
2.13	橡胶地板地面		耐火橡胶地板厚 3mm	3018
2.14	PVC 地板		厚 2mm	272
2.15	防静电架空地板地面		架空高度 200—400mm	1006
2.16	防火门	套		34
2.17	矩形窗	套		6
2.18	避难室配套设备组合件	套		1
2.19	救生设施	套		1
2.20	平台吊机 l	套	组合件，5t 海工悬臂吊 l 套，臂长 30m	1
2.21	平台吊机 2	套	组合件，lt 海工变幅悬臂吊机，臂长 4.5m	2
2.22	避难室配套设备	套	组合件	1
2.23	电动葫芦吊	套	组合件，3t，长 15m	2
2.24	电动葫芦吊	套	组合件，5t，长 15m	2
2.25	活动地板	m^2	450mm 高	175
2.26	手动平板液压推车	套	组合件	2
2.27	GIS 室析车	套	组合件，5t 海工析车 1 套	1
三	下部基础结构			
3.1	主体结构	t	DH36/EH36	2859
3.1.1	主腿	t	DH36/EH36	1630
3.1.2	水平撑	t	DH36/EH36	685
3.1.3	斜撑	t	DH36/EH36	544
3.2	加强部位及吊耳	t	DH36-Z35	256
3.3	靠船件、爬梯及登入系统	t	Q355D	115
3.4	J 形管	t	Q355D	180
3.5	牺牲阳极	t	A21I-1，铝－锌－钢合金牺牲阳极	50
3.6	防沉板	t	Q235C，8mm	150
3.8	灌浆材料	m^3	高强度灌浆材料	160
3.9	灌浆管线	t	20#	20
3.10	密封封隔器	套	组合件，每根主腿 l 个，共 4 个	4
3.11	桩靴淄浆紧固器	套	组合件，每根主腿 l 个，共 4 个	4
3.12	主动密封装置	套	组合件，每根主腿 l 个，共 4 个	4
四	桩基			
4.1	钢管桩	t	DH36，共 4 根	2040
五	防腐涂装面积	上部结构及非浪溅区涂层面积：600um，57400m^2，浪溅区涂层面积：800um 厚，26000m^2		

表 3.4-10　直埋电缆沟土工程量

编号	工程名称	单位	数量
1	土方开挖	m^3	2700
2	土方回填	m^3	2200
3	铺沙砖盖板	m^3	500

3.4.9.2 土石方平衡

本项目施工期间土石方主要涉及环节包括：海缆开挖、风机基础和海上升压站和高抗站施工等内容，开挖完成后以自然回淤为主，没有多余土石方产生。项目无需土石方。海缆基岩段和与 N2 海缆上交越的混凝土连锁排的混凝土方量约为 2178m^3。

3.5 工期

根据主要工程数量、工程施工特点、现场施工条件以及施工能力等因素分析，工程施工期约为 18 月，海上施工 13 个月。施工准备期 1.5 个月，第 1 个月初开始钢管桩加工制作，第 5 月初开始风机基础施工，第 8 月初开始风机安装施工。海上升压站于第 10 个月进行海上施工、高抗站于第 6 个月进行海上施工，第 11 个月首批机组并网发电，至第 18 个月底全部 79 台机组并网发电。详见表 3.5-1。

表 3.5-1　项目施工进度表

序号	项目	工期（月）	施工起止时间
1	施工准备	1.5	第 1 月初至第 2 月中旬
2	钢管桩制作	11	第 1 月初至第 11 月底
3	导管架制作	12	第 1 月初至第 12 月底
4	风机基础钢管桩施工	8	第 5 月初至第 12 月底
5	风机基础导管架施工	8	第 7 月初至第 13 月底
6	风机机组安装	9	第 8 月初至第 16 月底
7	66kV 海缆敷设	8	第 10 月初至第 17 月底
8	500kV 送出电缆敷设	5	第 6 月初至第 10 月底
9	海上升压站基础制作	5	第 1 月初至第 5 月底
10	海上升压站上部组块加工制作	9	第 1 月初至第 9 月底
11	海上升压站基础安装	1.5	第 6 月初至第 7 月中旬
l2	海上升压站上部组块安装和调试	1.5	第 10 月初至第 11 月中旬
13	海上高抗站基础制作	5	第 1 月初至第 5 月底
14	海上高抗站上部组块加工制作	7	第 1 月初至第 7 月底
15	海上高抗站基础安装	1.5	第 6 月初至第 7 月中旬
16	海上高抗站上部组块安装和调试	1.5	第 8 月初至第 9 月中旬
17	陆上集控中心施工及调试	7	第 2 月中旬至第 9 月中旬
18	风机消缺、调试并网	15	第 10 月初至第 18 月底
l9	全部风机投产发电		第 18 月底

3.6 工程运营方案

（1）运营期主要生产工艺

风电场运营期间主要工艺为海上风机发电，然后通过 66kv 海缆汇集至海上升压站，升压后由 500kv 海缆输送至陆域集控中心。

（2）运维管理方案

运营期，采用无人驻守、少人在运维、中心值守的方式管理。工作人员直接在陆上

集控中心办公楼通过人机对话对风电场的风力发电机组进行远方监视、控制。风电机组大修可外委有能力有资质单位进行，以减少风电场的定员。

运营期间设置 2 艘工作船，每艘总吨在 500 吨左右，每条船配备 12 人左右；海上日常巡检平均 2 次/月，平均每次 3 天，风电机组定检、大修，时间不固定。

海上巡检主要内容：①海上升压站和高抗站电力设备、铺控设备和消防等设备的日常巡视和特殊巡视；②风机基础和平台的日常巡视以及特殊工况、环境下的特殊巡视、风机防腐电位检测；③消防设备设施维护和年度检测；④海缆登陆点巡视、海缆终端测温和陆缆的巡视以及特殊巡视。

3.7 项目用海情况

（1）用海面积、类型及方式

项目总用海面积 1044.1355 公顷，用海类型一级类为工业用海，二级类为电力工业用海。其中风机用海面积为 452.2110 公顷，海上升压站用海面积为 0.5773 公顷，高抗站用海面积为 0.4158 公顷，风机、海上升压站和高抗站用海方式一级方式为构筑物，二级方式为透水构筑物；海底电缆用海面积 590.9314 公顷，申请立体分层设权（送出海底电缆穿越航道区段埋深 3m，其他区域埋深 2m；场内集电海底电缆立体设权高程-61m～-58m），用海方式一级方式为其他方式，二级方式为海底电缆管道。

工程使用海域分项列表见表 3.7-1，申请用海的宗海位置图见图 3.7-1，宗海界址图见图 3.7-2，宗海平面布置图见图 3.7-3，立体确权见图 3.7-4。

申请用海的面积测算采用高斯投影法、使用 CGCS2000 坐标系，中央子午线为 123°。绘图采用 Arcgis 软件成图，面积量算直接采用软件面积量算功能，其算法与坐标解析法原理一致，工程申请用海期限：28 年。

项目申请用海区域穿越人工岸线 20.8m，不改变岸线形态及属性。

表 3.7-1　项目建设各单元组成列表

序号	项目组成	申请用海面积（公顷）	用海方式	用海类型
1	风机	452.2110	透水构筑物	电力工业用海
2	海上升压站	0.5773	透水构筑物	
3	高抗站	0.4158	透水构筑物	
4	海底电缆（500kV）	302.5801	海底电缆管道	
5	海底电缆（66kV）	288.3513	海底电缆管道	
总申请用海面积		1044.1355（公顷）		

图 3.7-1　宗海位置图

图 3.7-2　宗海界址图

图 3.7-3　宗海平面布置图

图 3.7-4　立体确权示意图

3.8 项目建设必要性

3.8.1 项目建设是实现可持续发展的需要，符合我国能源发展战略

开发可再生能源是我国实现可持续发展的重要途径，也是能源战略的重要组成部分，我国政府对此十分重视，并为此颁布了《中华人民共和国可再生能源法》，对可再生能源的开发和利用进行立法保护。为实现我国国内生产总值（GDP）翻两番的总目标，能源消耗亦将随之增长。当前我国的能源结构以常规能源（煤、石油和天然气）为主，由于常规能源的不可再生性，势必使能源的供需矛盾日益突出。

风能、太阳能和潮汐能等新能源将是未来一段时间内大规模开发的能源种类。不管从技术、经济，还是规模上来看，风能都有一定的优势，随着风电机组国产化进程加快，风电机组的价格将进一步降低，风电的竞争力也将大大加强。作为可再生能源，风能的开发可以节约大量的燃料和水资源，改善地区能源结构。

随着化石资源（石油、煤炭）的大量开发，不可再生资源保有储量越来越少，终有枯竭的一天，因此需坚持可持续发展的原则，采取途径减少不可再生资源消耗的比重。目前，国家已将新能源的开发提到了战略高度，风能、太阳能和潮汐能等将是未来一段时间新能源发展的重点。从现有的开发技术和经济性看，风能开发具有一定的优势，随着风电机组国产化进程加快，风电机组的价格将进一步降低，风电的竞争力将极大增强。开发风电是降低国家化石资源消耗比重的重要措施，促进山东省经济的可持续发展。

3.8.2 项目建设符合山东省能源结构调整和可持续发展的需要

山东省是我国最大的经济省份之一，也是中国重要的能源基地之一。我国从 20 世纪 90 年代起由能源出口国已转变为能源进口国，尤其是石油需求量已超过了自产量的一半，而石油等能源价格受到国际投行等炒作因素，导致近年来的世界石油期货价格发生剧烈波动。由于我国对石油等能源对外依存度不断提高，能源问题逐渐威胁到我国经济的正常发展。另外，山东省电网电源结构单一，基本以火力发电为主，而火电的发展必然会受煤炭、交通、环保等因素的制约，随着 2000 年 9 月 1 日开始实施《中华人民共和国大气污染防治法》的出台，对新建、扩建火电厂的污染物排放标准或总量控制的力度逐步加大，新建和改建火电厂成本将大大增加，必将制约山东省常规能源—火力发电的建设和发展。

山东省目前已建成多座风力发电工程，可再生能源项目得到了逐步展开。目前，山东已在威海、烟台、滨州、东营、潍坊、青岛等沿海地区建设大型风电场，建立“绿色

能源”基地，积极开发利用山东地区的可再生能源—风力发电，替代部分煤电，适当减轻能源需求的压力，对改善山东省的电源结构和走能源可持续发展的道路是十分必要的。

3.8.3 项目建设有利于污染物排放的减少，促进低碳经济的发展

2021 年 3 月中央财经委员会第九次会议上提出将“碳达峰、碳中和”纳入生态文明建设整体布局，构建以新能源为主体的新型电力系统。“实现‘双碳’目标，能源行业是主战场，电力系统是主力军，大力发展风能、太阳能等新能源是当前的重中之重。”随着新能源装机占比不断提升，电力系统供应安全、运行安全、调峰消纳等方面将面临前所未有的挑战，构建功能更加强大、运行更加灵活、更加具有韧性的新型电力系统成为迫切需要。

本项目场区风能资源丰富，具备建设风电场的场址条件，项目风电场的建设对于大力发展风能等新能源具有重要的推动作用，有利于实现“双碳”目标。

3.8.4 可促进山东省和威海市地方经济的发展

建设本风电场，会带动地区相关产业如建材、交通、设备制造业的发展，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，从而带动和促进地区国民经济的全面发展和社会进步。随着风电场的相继开发，风电将为地方开辟新的经济增长点，对拉动地方经济的发展，加快实现小康社会起到积极作用。

3.8.5 可取得良好的社会效益，有利于企业的长远发展

本风电场的开发，可充分显示企业对社会效益巨大的清洁可再生能源开发的支持力度，也可充分体现对山东省工作的大力支持，有利于增强企业在社会和政府心目中的良好形象，取得良好的社会和政治效益，从而有利于企业的长远发展。

综上所述，本风电场风能资源丰富，对外交通便利，具备建设风电场的场址条件，开发本风电场符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，对于促进地区旅游业，带动地方经济快速发展将起到积极作用。因此，开发本风电场是十分必要的。

4 工程分析

4.1 工艺流程及产污环节分析

本工程生产工艺较简单，施工期主要为风机基础施工、风机安装、升压站和高抗站施工、电缆敷设等。营运期风机利用风能转化为机械能，然后通过风机机舱内的发电机转化为电能，通过风机内变压器和升压站两级升压后送出。

4.1.1 施工期

海上风电项目施工期间海上施工主要涉及的施工作业内容主要有风机基础施工与吊装、海上升压站建设和电缆敷设，在施工过程中可能对周围海域产生一定的环境影响；陆上施工作业主要为集控中心建设等，产污环节分析如下。

1、风机施工

（1）施工顺序

风机机组采用整体吊装方案，施工流程为：施工准备→各部件运输→预组装→【整体拖轮海上运输→起重船整体安装】。

风电机基础施工流程为：钢管桩制作→【钢结构运输→钢管桩沉桩施工→附属结构的安装】。

“【】”内为本项目评价范围。

（2）产污环节分析

风机基础施工与吊装施工工序和产污环节见图 4.1-1。

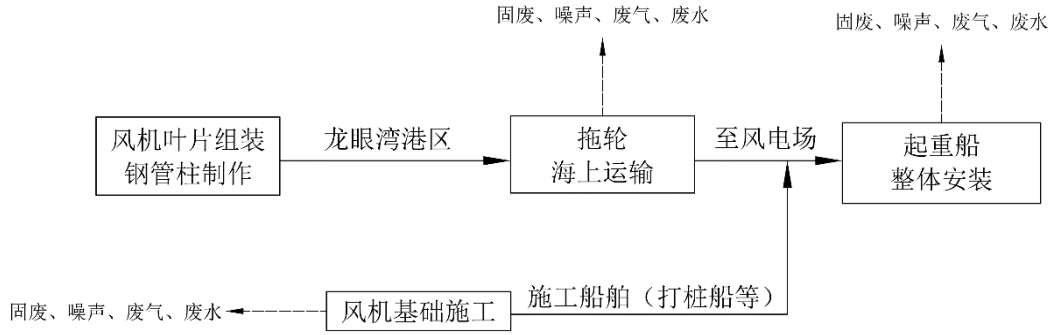


图 4.1-1 风机基础施工与吊装施工工序和产污环节图

由图可知，风机基础施工与吊装过程中海域主要污染环节为打桩时产生的悬浮物、施工船舶产生的废水、废气以及固体废弃物等，其中废气主要为施工机械燃油废气，固体废弃物主要为施工人员生活垃圾以及施工废料等；陆域主要污染环节为风机叶片组装、钢管桩制作过程中产生的粉尘以及生活污水等。

风机安装与吊装过程中基本无污染物排放。

2、海上升压站、高抗站

（1）施工顺序

钢结构加工与制作→电气设备安装、调试→【海上运输→导管架沉放→钢管桩沉桩施工→上部平台整体安装→电气设备联动调试】。

“【】”内为本项目评价范围。

（2）产污环节分析

海上升压站、高抗站施工工序和产污环节见图 4.1-2。

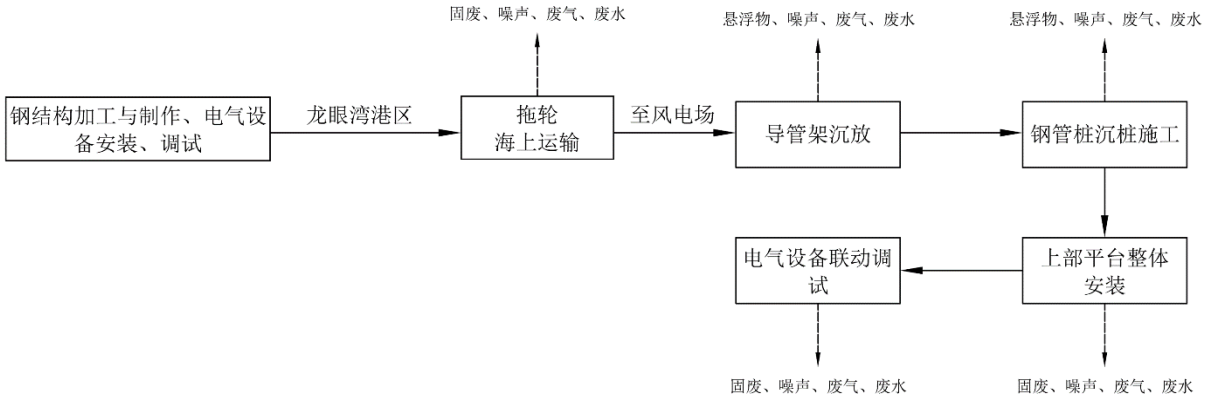


图 4.1-2 海上升压站、高抗站施工工序和产污环节图

由图可知，海上升压站、高抗站施工过程中海域主要污染环节为打桩时产生的悬浮物、施工船舶产生的废水、废气以及固体废弃物等，其中废气主要为施工机械燃油废气，固体废弃物主要为施工人员生活垃圾以及施工废料等。

设备运输及安装过程中基本无污染物排放。

3、海缆施工

（1）施工顺序

【铺缆船定位→高压水和挖沟犁开沟（挖掘机开沟）→拖曳埋设电缆】。

“【】”内为本项目评价范围。

（2）产污环节分析

海底电缆施工工序和产污环节见图 4.1-4。

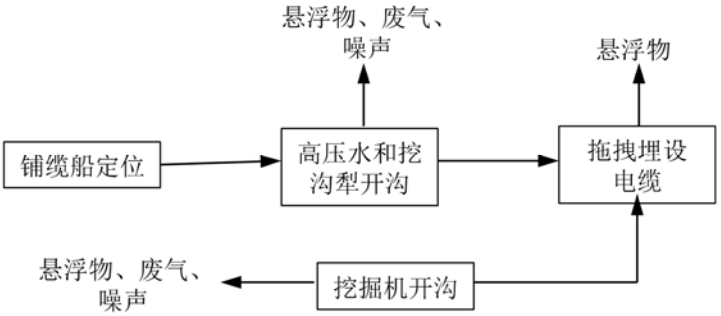


图 4.1-3 海底电缆施工工序和产污环节图

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

4.1.2 运营期

风电场运营期间主要工艺为海上风机发电，然后通过 66kv 海缆汇集至海上升压站，升压后由 500kv 海缆经高抗站输送至陆域集控中心。

（1）风机结构及工作原理

风力发电机组是把风能转化为电能的装置。其工作原理是利用空气流动经过叶片，形成叶片正反面压力差，带动风轮旋转并不断横切空气流体，由风轮转动带动发电机，将机械能转化为电能并输出。

（2）产污环节分析

运营期仅是风能向电能的转化过程，该转化过程本身不产生污染物。运营期风电场主要环境污染因素包括风机机组运行噪声，海上升压站、高抗站则有主变噪声、工频电磁场，海底电缆有工频电磁场。另外，风机运行维护船舶将产生少量的船舶污水、生活污水、船舶废气和噪声，以及风机维护维修的少量废油和海上升压站、高抗站主变压器、高压电抗器检修或发生事故时产生少量的油污水。

风电场运营期间主要流程及产污环节见图 4.1-4。

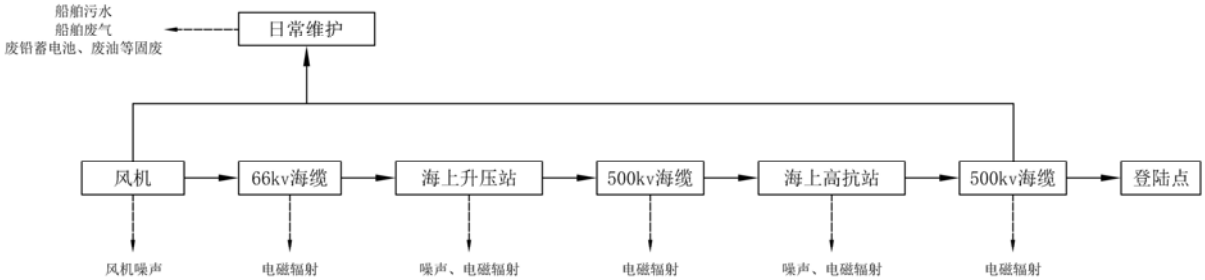


图 4.1-4 风电场运营期运行工序及产污环节示意图

4.2 工程各阶段污染因子源强估算

4.2.1 施工期污染因子源强估算

4.2.1.1 废水

4.2.1.1.1 含油污水

施工期间船舶含油污水主要来自机舱油污水，根据统计本项目施工期共投入各种船舶约 53 艘。《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018），船舶舱底油污水产生量依据船型而不同，具体统计情况见表 4.2-1。

根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018）要求，按保守考虑，所有船舶同时施工作业，则施工期船舶含油污水产生量为 64.17m^3/d。舱底油污水含油量按实测资料确定，无法确定时，按照 2000—20000mg/L 取值，本项目取平均值 11000mg/L。石油类污染物产生量为 676.17kg/d。海上年施工作业天数按 240 天计，则施工期船舶含油污水年产生量 14752.8m^3，石油类污染物年产生量为 162.28t/a。项目施工期产生的船舶含油污水统一收集后送至有资质单位处理。

表 4.2-1 船舶含油污水产生量统计

序号	名称及规格	单位	数量	吨位（t）	舱底油污水产生量（t/d·艘）	总舱底油污水
1	甲板驳船	艘	1	20000	5.6	5.6
2	甲板驳船	艘	2	15000	4.2	8.4
3	甲板驳船	艘	1	12000	3.05	3.05
4	带埋设机的铺缆船	艘	1	4000	1.01	1.01
5	带埋设机的铺缆船	艘	1	2000	0.54	0.54
6	灌浆船	艘	3	10000	2.7	8.1
7	交通艇	艘	7	500	0.14	0.98
8	两栖挖掘机	辆	2	/	0.14	0.28
9	抛锚艇	艘	12	500	0.14	1.68
10	起重船	艘	2	3500	0.95	1.9
11	起重船	艘	2	4000	1.01	2.02
12	起重船	艘	2	5000	1.39	2.78
13	拖轮	艘	6	3000	0.81	4.86
14	拖轮	艘	4	4000	1.01	4.04
15	运输船	艘	2	10000	2.7	5.4
16	运输船	艘	2	12000	3.05	6.1
17	运输船	艘	2	7000	1.96	3.92
18	自升平台船	艘	1	3000	0.81	0.81
合计			53			61.47

4.2.1.1.2 船舶生活污水

本项目施工期按照每艘施工船配置 5~6 人考虑，高峰时船舶上工作人员数量可达 300 人，参考《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》中附 3 生活源中表 2-1 农

村生活污水排放系数及污染物产污强度。项目施工主基地威海湾港区所在的山东威海市的农村生活污水排放系数及污染物产污强度为生活污水排放系数按 43.93L/人*d，COD、氨氮、总氮、总磷的产污强度分别为 38.34g/人*d、2.15g/人*d、3.20g/人*d、0.19g/人*d，本工程施工作业天数按 240d 计，船舶生活污水的年产生量为 3162.96t（13.18t/d），工程施工期间 COD、氨氮、总氮和总磷的年产生量分别为 2760.48kg、154.80kg、230.40kg、13.68kg，船舶生活污水统一收集后，送至有资质单位处理，禁止随意排放。

4.2.1.1.3 悬浮泥沙

工程施工期间产生的悬浮泥沙主要由风电桩基施工和风电海缆敷设施工扰动海底产生。

泥沙干容重按照公式 $g_d=1750D_{50}^{0.183}$ 计算，D_{50} 为泥沙中值粒径。

根据《华能山东半岛北 N 场址海上风电项目海床稳定性与局部冲刷专题报告》（青岛泛海海洋工程研究院有限公司，2025 年 6 月），工程海域及附近海底表层沉积物中值粒径为 0.01~0.05mm。本次中值粒径取 0.05mm；计算得到泥沙干容重为 1011.5kg/m^3。

（1）桩基施工

风机桩基、高抗站桩基和升压站桩基通过液压振动锤振动下沉，施工时振动导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。

风机采用四桩导管架基础，用 4 根钢管桩定位于海底，4 根桩呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础。四桩导管架基础桩径 3.4m，钢结构最大厚度约为 75mm，入土深度约为 86m，悬浮泥沙占挤压泥土的 1%计，泥沙密度取 1011.5kg/m^3，施工时间单次按 8h 算，则风机基础钢管桩的施工源强为 0.025kg/s。

升压站采用四桩导管架基础，用 4 根钢管桩定位于海底，4 根桩呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础。四桩导管架基础桩径 3700mm，最大壁厚为 90mm，入土深度约为 87m，悬浮泥沙占挤压泥土的 1%计，泥沙密度取 1011.5kg/m^3，施工时间单次按 8h 算，则风机基础钢管桩的施工源强为 0.033kg/s。

高抗站采用四桩导管架基础，海上升压站基础采用 3200mm 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，最大壁厚为 90mm，桩入泥约 82m，悬浮泥沙占挤压泥土的 1%计，泥沙密度取 1011.5kg/m^3，施工时间单次按 8h 算，升压站桩基施工源强为 0.027kg/s。

根据类似工程，风机打桩产生悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加

（>10mg/L）范围一般半径在 100m 内，而且悬浮泥沙扩散范围远小于海底电缆敷设产生的悬浮泥沙。

（2）海缆敷设产生的悬浮泥沙

1）深水区源强

水深大于 2.5m 区域，海底电缆通过“埋设犁”敷设在泥面下，海缆开挖深度 2~3m、开沟截面积按照 1.75m^2（电缆沟沟槽底宽 0.4m，沟上顶宽 1m）计、开沟速度 3m/min，工程区沉积物平均干密度按 1011.5kg/m^3，参考《海底电缆敷设施工悬浮泥沙起悬比研究》（上海勘测设计研究院有限公司、中国三峡新能源（集团）股份有限公司，张琴、郑磊夫、吴兴华、张蒙生，2023 年 9 月 27 日），起沙率以施工土方量的 10%计。

66kV 海缆和 2m 埋深送出海缆源强：产生速率=搅动沉积物的横截面积×管线埋铺设的速度×沉积物密度×起沙率×超挖系数（1.4×3×1011.5×0.1×1.2/60=8.5kg/s，根据计算可得，水深大于 2.5m 区域，电缆埋设施工悬浮物释放强度为 8.5kg/s。

3m 埋深送出海缆源强：产生速率=搅动沉积物的横截面积×管线埋铺设的速度×沉积物密度×起沙率×超挖系数（2.1×3×1011.5×0.1×1.2/60=12.7kg/s，根据计算可得，水深大于 2.5m 区域，电缆埋设施工悬浮物释放强度为 12.7kg/s。

2）浅水区源强

高潮位浅水条件下施工时，两栖挖掘机开槽会导致潮间带泥沙再悬浮，从而引起施工点周围水体浑浊，污染局部海水水质。本项目海缆开挖深度 2m、开沟宽按 1m 计、开沟速度 20m/h，工程区沉积物平均干密度按 1011.5kg/m^3，起沙率以施工土方量的 20%计，同时考虑施工时的超挖量，超挖系数按 1.2 计。

产生速率=搅动沉积物的横截面积×管线埋铺设的速度×沉积物密度×起沙率×超挖系数（2×1×20×1011.5×0.2×1.2/3600=0.78kg/s），根据计算可得，在潮间带区域施工条件下，电缆埋设施工悬浮物释放强度为 2.7kg/s。

4.2.1.2 噪声

本次工程施工噪声源主要包括以下几类：

（1）施工船舶运输及作业噪声

施工中风机及海上换流站设备、材料运输及安装将动用大量运输船只，这些运输船的频繁行驶和船舶上的液压锤、卷扬机等设备施工作业产生的噪声将对施工海域环境产生一定影响。

参考研究报告和有关资料：风机基础施工中各种船舶的叠加噪声级为 172dB；深浅

海区电缆敷设船的叠加噪声级为 167dB。

（2）桩基打桩噪声

冲击式水下打桩为海上风电场施工期间最大的水下噪声源强。桩基施打的水下噪声源强主要取决于桩柱管径、重锤敲击能量等。

本项目所选桩柱管径为 3.4m，根据同类项目桩基施工噪音类比，本项目管桩施打时水下噪声源强预计为 242dBre1μPa@1m。

4.2.1.3 废气

产生的废气主要为施工船舶排放废气，主要污染物为 SO_2、CO、NOx 等。

施工船舶工作时两台发电机运行，发电机平均功率按 500kW 计算，一艘船舶大气污染源强计算如下：

船舶发电机总功率：P=500kW×2=1000kW，换算成马力（0.735kW=1 马力）：1000kW/0.735=1360.5 马力。按 1 马力的功需要耗油 150g，则船舶停靠每小时的耗油量为：$B_0=150\times1360.5\times10^{-3}=204.08kg$。

燃烧的油料以轻柴油计算，SO_2、NOx 和 CO 的源强如下：

I.SO_2 源强

$Gs=2B_0S_0（1-\eta）$

式中：Gs—SO_2 排放量（kg）；

B_0—燃油量（kg）；

S_0—油中硫的含量（%）；

η—SO_2 的脱除效率（%）。

根据《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交通运输部，2018.11），沿海控制区船舶燃油中 S 的含量不超过 0.5%，船舶没有脱硫装置，所以η取 0，计算船舶每小时 SO_2 的排放量为：

$Gs=2B_0S_0（1-\eta）=2\times204.08\times0.5\%\times（1-0）=2.04kg/h$

II.NOx 源强

燃烧 1t 柴油约产生 12.3kg NOx，船舶每小时耗油量为 204.08kg，则 NOx 排放量约为 2.51kg/h。

III.CO 源强

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

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

计算得到，船舶每小时 CO 的排放量为：

$Gc=2.33\cdot B_0\cdot q\cdot C=2.33\times204.08\times2\%\times90\%=8.56kg/h$

本项目海上作业船舶数约为 53 艘，每天工作按 10h 计，年施工作业天数按 240d 计，每年船舶排放的 SO_2、NOx、CO 废气量分别为 259.49t/a、319.27t/a、1088.83t/a。

4.2.1.4 固体废物

（1）施工期高峰时船舶上工作人员数量可达 300 人，按照每人 1kg/d 的产生量估算，则垃圾产生量为 300kg/d。本距离岸边较远，施工期间船舶产生的生活垃圾，统一收集后委托资质单位接收处置。

（2）海域管沟开挖完成后利用海缆施工埋设装置自动降落回填，没有多余土石方产生；桩基入泥过程中冲刷土方全部在桩基四周自然沉降。

（3）钢管桩上部的高承台钢管箱内，将使用高性能海工混凝土浇筑灌浆。钢管桩与钢套箱的连接处采用定制橡胶条密封止水，在混凝土浇筑过程中，不会与海水直接接触，不存在向海水中扩散的可能，其不会对海洋生态环境构成不利影响。

表 4.2-2 施工期主要污染物产生情况一览表

环境要素	污染源		发生情况	主要污染物	排放/处理方式
水环境	含油污水	船舶含油污水	64.17m^3/d	石油类	送至有资质单位处理
	生活污水	船舶生活污水	13.18m^3/d	COD、氨氮、总氮、总磷	送至有资质单位处理
	悬浮泥沙	桩基施工	0.025kg/s、0.033kg/s、0.027kg/s	SS	自然排放
		海缆铺设	12.7kg/s，2.7kg/s		
声环境	施工船舶行驶、机械作业		167-172dB	噪声	自然传播
	打桩水下噪声		242dBre1μPa@1m		
大气环境	船舶废气		SO_2、NOx、CO 废气量分别为 259.49t/a、319.27t/a、1088.83t/a	SO_2、NOx、CO	间断排放
固体废弃物	生活垃圾		300kg/d	固废	送至有资质单位处理

4.2.2 运营期污染因子源强估算

4.2.2.1 废水

（1）生活污水

1）升压站、高抗站生活污水

运营期海上升压站、高抗站采用无人值守，仅巡视和检修时有人员进出。运营期间设置 2 艘工作船，每条船配备 12 人左右、总人数为 24 人，海上日常巡检平均 2 次/月，平均每次 3 天，每年工作天数为 72 天；按照检修人员每次在升压站、高抗站生活 2 天计，每年为 48 天，检修船舶从威海出发，参考《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》中附 3 生活源中表 2-1 农村生活污水排放系数及污染物产污强度，项目所在的山东威海市的农村生活污水排放系数及污染物产污强度，生活污水排放系数按 43.93L/人*d，COD、氨氮、总氮、总磷的产污强度分别按 38.34g/人*d、2.15g/人*d、3.20g/人*d、0.19g/人*d 计，升压站、高抗站生活污水的年产生量为 50.61t（1.05t/d），工程运营期间 COD、氨氮、总氮和总磷的年产生量分别为 44.17kg、2.48kg、3.69kg、0.22kg。

海上升压站、高抗站生活污水处理后达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定二级标准（COD≤300mg/L）排放入海。

2）船舶生活污水

运营期海上升压站采用无人值守，仅巡视和检修时有人员进出。运营期间设置 2 艘工作船，每条船配备 12 人左右、总人数为 24 人，海上日常巡检平均 2 次/月，平均每次 3 天，每年工作天数为 72 天；按照检修人员船舶在船上时间 1 天计，每年为 24 天，检修船舶从威海出发，参考《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》中附 3 生活源中表 2-1 农村生活污水排放系数及污染物产污强度，项目所在的山东威海市的农村生活污水排放系数及污染物产污强度，生活污水排放系数按 43.93L/人*d，COD、氨氮、总氮、总磷的产污强度分别按 38.34g/人*d、2.15g/人*d、3.20g/人*d、0.19g/人*d 计，船舶生活污水的年产生量为 25.30t（1.05t/d），工程运营期间 COD、氨氮、总氮和总磷的年产生量分别为 22.08kg、1.24kg、1.84kg、0.11kg。

船舶生活污水统一收集后，送至有资质单位处理，禁止随意排放。

综上，运营期生活污水年产生总量为，75.91t（1.05t/d），COD、氨氮、总氮和总磷的年产生量分别为 66.25kg、3.72kg、5.53kg、0.33kg。

（2）检修船含油污水

本项目运营期间设置 2 艘工作船，定期对风机进行维护和检查，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 0.14m^3/d.艘，工作船每周巡查一次，每年工作天数为 72 天，含油污水产生量为 20.16m^3/a，舱底油污水含油量取 11000mg/L，石油类污染物产生量为 221.76kg/a。

含油污水禁止排放，统一收集送有资质单位处理。

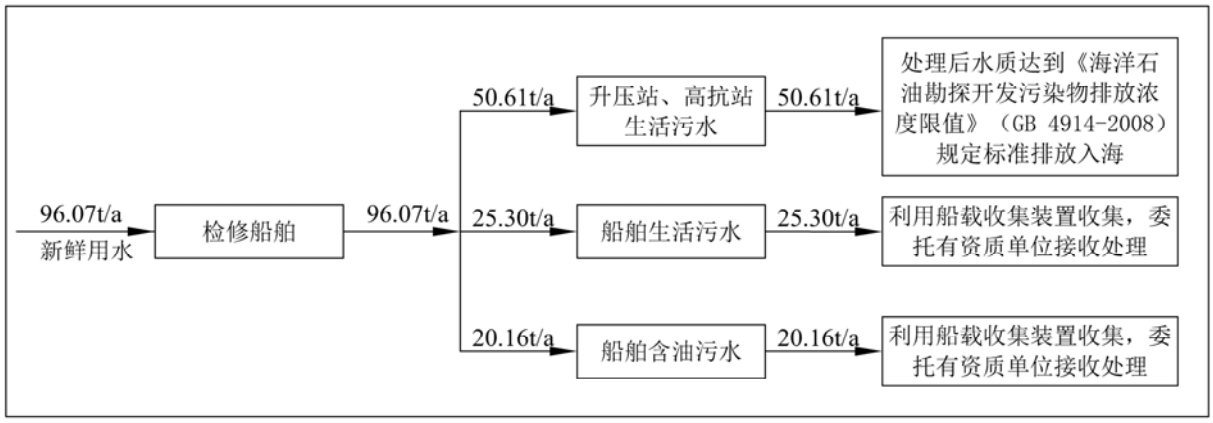


图 4.2-1 项目水平衡图

4.2.2.2 噪声

营运期的水下噪声主要由风机运转而产生，尤其是低频噪声通过结构振动经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生了水下噪声。

（1）风机噪声分析

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

A、机械噪声及结构噪声

①齿轮噪声。啮合的齿轮对或齿轮组，由于互撞和摩擦激起齿轮体的振动，而通过固体结构辐射齿轮噪声。

②轴承噪声。由轴承内相对运动元件之间的摩擦和振动及转动部件的不平衡或相对运动元件之间的撞击引起振动辐射产生噪声。

③周期作用力激发的噪声。由转动轴等旋转机械部件产生周期作用力激发的噪声。

④电机噪声。不平衡的电磁力使电机产生电磁振动，并通过固体结构辐射电磁噪声。

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

B、空气动力噪声

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

C、通风设备噪声

散热器、通风机等辅助设备产生的噪声。

D、单台风机噪声

参考目前明阳智能、金风科技、远景能源等主流风机品牌生产的 14MW 风机的技术规格书，风机的声功率均在 112dB（A）以下。为了防止现场由不同风速、异常切变风速、机组满发过载等因素导致实测噪声超标，因此本项目在做风机噪声影响范围预测时，在 112dB（A）的基础上加 2dB（A）的安全裕度，即本工程风力发电机组噪声源以取值 114dB（A）。

（2）升压站、高抗站噪声分析

工程采用噪声变压器，变压器满负荷运行且散热器全开时，其外壳 1.0m 处的噪声级不大于 70dB（A）。变压器属于固定噪声源，经采用无指向性点声源的几何发散衰减公式预测，变压器产生的噪声在距离其 50m 已经衰减到 36dB（A），能确保厂界噪声达到《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB 12348-2008）I 类标准。

（3）水下噪声

根据厦门大学对上海东海大桥、福建平海湾一期海上风电项目、如东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。不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段（63Hz 以下）风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在 125Hz 频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高 10dB/re1μPa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

4.2.2.3 废气

海上风场运营期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。

海上升压站设置 1 台柴油发电机组作为事故紧急备用电源，平时不运行。运行时柴油将作为发电机的能源，内燃后会产生 NOx、SO2 及 CO 等少量废气，全部为无组织自然排放，对大气环境影响较小。

4.2.2.4 固体废物

（1）生活垃圾

检修船产生的生活垃圾，每次巡检人数 24 人，按照每人 1kg/d 的产生量估算，则垃圾产生量为 24kg/d。每年工作天数为 72 天，则巡检人员生活污垃圾年产生量为 1.728t/a。

（2）危险废物

主要为海上升压站、高抗站变电设备运行产生的废旧蓄电池、检修过程中产生的油渣、油垢、废油等固废。

海上升压站、高抗站变电设备运行过程中产生废旧蓄电池，产生量约 30kg/a。主变压器定期检修，一般每年检修一次，检修过程中将产生油渣、油垢、废油等，产生量为 60kg/a。

风机日常维护也将产生少量含油棉纱废物，根据陆上同类工程类比情况，维护产生的废物量约为 80kg/a。

营运期产生的废旧蓄电池、废油或含油棉纱等均属危险废物，送有资质单位处理。

项目海上升压站设置事故油罐，陆上集控中心设有危废暂存间，项目海上产生的废油、油垢收集于事故油罐，含油棉纱废物、废旧蓄电池、废油等危险废物定期运往陆上集控中心危废暂存间，统一委托有资质单位接收处置。

表 4.2-3 危险废物类别及特性一览表

序号	危险废物名称	废物类别	危险废物代码	产生量（吨/年）	产生工序及装置	形态	有害成分	危险特性
1	废铅蓄电池	含铅废物 HW31	900-052-31	30kg/a	日常检修	固态	重金属	T,C
2	油渣、油垢、废油等	废矿物油与含矿物油废物 HW08	900-214-08	60kg/a	日常检修	固、液态	油类	T,I
3	含油抹布	其他废物 HW49	900-041-49	80kg/a	日常检修	固态	油类	T,I

4.2.2.5 电磁辐射及无线电干扰

海上风电场电磁辐射来源主要有两部分：海上升压站、海底 66kV 和 500kV 高压传输的海底电缆、陆域集控中心。国外实例证明，已经建成的海上风电场的风机系统、升压站和输电线路对船舶、包括维修船和直升机等，均未造成通信干扰。

风力发电场运行时会产生一定能量的电磁辐射，但其强度较低，且距离居民区较远，不会对居民身体健康产生危害。地下电缆剖面监测结果显示：在距离电缆剖面 50m 范围内，各监测点的工频电场强度为 4.01~6.04V/m，远小于 4kV/m 标准要求；各监测点的工频磁场强度为 1.05~62.43μT，远小于 0.1mT 标准要求。

表 4.2-4 运营期主要污染物产生情况一览表

环境要素	污染源	发生情况	主要污染物	排放/处理方式
水环境	升压站、高抗站生活污水	50.61m^3/a	COD、氨氮、总氮、总磷	处理后达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定标准

环境要素	污染源	发生情况	主要污染物	排放/处理方式
				排放入海。
	检修船舶生活污水	25.30m^3/a	COD、氨氮、总氮、总磷	收集至陆域，送有资质单位处理
	检修船含油污水	20.16m^3/a	石油类	收集至陆域，送有资质单位处理
声环境	风机噪声	114dB（A）	噪声	自然排放
	升压站噪声	70dB		
大气环境	柴油发电机	——	NOx、SO_2及CO	事故排放
固体废物	船舶垃圾	1.728t/a	——	陆域统一收集处理
	废旧蓄电池	30kg/a	——	收集送有资质单位处理
	油渣	60kg/a	——	收集送有资质单位处理
	含油棉纱废物	80kg/a	——	收集送有资质单位处理
电磁环境	电缆、升压站、高抗站	——	工频电磁场和无线电干扰	加强铠装保护、海底埋设

4.3 工程各阶段非污染环节与环境影响分析

（1）工程建设对水动力环境的影响

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

（2）工程建设造成海底地形地貌及冲淤变化

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

（3）对鸟类的影响

1）对鸟类栖息和觅食的影响

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

2）对鸟类迁徙的影响

如果风力发电场占有鸟类迁徙通道，横亘在鸟类迁徙路线上，会对鸟类迁徙成为障碍。

3）对鸟类存活的影响

风机叶片旋转的范围在离海面 19～289m 之间，是鸟类飞行通过风机的高风险区域，有被风机叶片撞击的危险。

（4）通航影响

施工期船舶增加对周边航道通行造成影响；运营期由于风场存在可能影响周边航道的正常通行。

（5）海洋生态和渔业生产

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

风场所在海域具有渔业捕捞功能，风场建成后将造成渔业捕捞面积减少。

（6）对周边海域海洋哺乳动物的影响

施工期打桩、电缆敷设等作业会产生高强度水下噪声，会对东亚江豚、斑海豹迁徙产生一定影响；项目运营期间，风机运行、海底电缆电磁辐射及运维活动产生的持续低频噪声，会对东亚江豚、斑海豹产生干扰。

4.4 污染源源强汇总及总量控制

4.4.1 污染源源强汇总

根据《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）要求，对项目运营产生的污染物进行源强核算。污染源源强核算方法采用《污染源源强核算技术指南准则》（HJ884-2018）具体规定。

表 4.4-1 本项目污染源排放清单表

类别	污染源	污染因子	污染物排放清单		排污口信息	拟采取的环保措施及主要运行参数	执行标准
			产生量	出厂排放量（t/a）			
水污染物	升压站、高抗站生活污水 50.61t/a	CODcr	44.17kg/a	0.01518	处理设施排放口	在一层甲板底部设一套污水处理设备，处理能力 4500L/d，处理达标排放	《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）二级标准（COD≤300mg/L）
		氨氮	2.48kg/a	0.00248			
		总氮	3.69kg/a	0.00369			
		总磷	0.22kg/a	0.00022			
	船舶生活污水 25.30t/a	CODcr	22.08kg/a	0	无	委托有资质单位处理	/
		氨氮	1.24kg/a	0			
		总氮	1.84kg/a	0			
		总磷	0.11kg/a	0			
	船舶含油污水 20.16t/a	石油类	221.76kg/a	0	无	委托有资质单位处理	/
固体废	船舶生活垃圾	生活垃圾	1.728t/a	0	无		/
	危废	废旧蓄电池	30kg/a	0	无	委托资质单位处理	/

类别	污染源	污染因子	污染物排放清单		排污口信息	拟采取的环保措施及主要运行参数	执行标准
			产生量	出厂排放量（t/a）			
物		（HW49）					
		油渣、油垢、废油（HW08）	60kg/a	0			/
		含油棉纱废物（豁免类）	80kg/a	0			/
噪声	风机	噪声设备	114dB（A）	114dB（A）	厂界	选择低噪声设备、采取隔声、吸声、减振、加强设备维护等措施	《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 3 类标准
	升压站、高抗站	噪声设备	70dB	70dB	厂界		

4.4.2 总量控制

（1）基本原则

国家提出的“总量控制”是区域性的，当局部不可避免地增加污染物排放时，应对同行业或区域内进行污染物排放量消减，使区域内污染源的污染物排放负荷控制在一定的数量内，使污染物的受纳水体、空气等环境质量可达到规定的环境目标。

实施污染物排放总量控制是考核各级政府和企业环境保护目标责任制的重要指标，也是改善环境质量的具体措施之一。目前，国家实施污染物排放总量控制的基本原则是：由各级政府层层分解、下达区域控制指标，各级政府再根据辖区内企业发展和污染防治规划情况，给企业分解、下达具体控制指标。对扩建和技改项目，必须首先落实现有工程的“三废”达标排放，并以新带老，尽量做到增产不增污。对确实需要增加排污总量的新建或扩建项目，可经企业申请，由当地政府根据环境容量条件，从区域控制指标调剂解决。

（2）控制对象

根据生态环境部印发的《主要污染物总量减排核算技术指南（2022 年修订）》的通知，应实行总量控制的项目为化学需氧量（COD）、氨氮（NH_3-N）、氮氧化物（NOx）、挥发性有机物（VOCs）等 4 项污染物。

结合本项目特点和工程分析，项目升压站、高抗站产生的生活污水量为 50.61t/a（1.05t/d），经升压站、高抗站平台上的生活污水处理装置处理达标后排海（COD≤300mg/L），因此，建议升压站、高抗站生活污水处理后的总量控制指标为 50.61t/a，COD 排放总量为 0.01518t/a、氨氮排放总量为 0.00248t/a。

船舶生活污水收集后送有资质污水处理单位处理，纳入污水处理单位总量，不单独申请。

5 环境现状调查与评价

5.1 自然环境概况

工程风电场位于山东省管理海域以外，海缆由威海市环翠区黄石圈附近海域登陆。

5.1.1 气象条件

项目位于山东半岛北部属温带季风气候，与同纬度内陆地区相比具有雨水适中、空气湿润、气候温和的特点，冬无严寒、夏无酷暑，四季分明，各季气候独具特色。

5.1.1.1 气温、降水、气压

项目收集到成山头海洋站（简称成山头站）相关气象数据，成山头站位于威海市荣成市成山头南酒楼棚处。

威海市年平均气温 11.6℃，年极端最高气温 34.0℃，年极端最低气温-15.7℃；年平均降水量 700.3mm，年最多降水量 1396.8mm，年最少降水量 347.6mm，最大日降雨量 474.6mm；年平均气压 1012.9hpa；年平均风速 5.3m/s，实测最大风速 22.9m/s，主导风向 NNW；年平均雷暴 15.3 天，年最多雷暴日数 29 天，年最少雷暴日数 7 天。

表 5.1-1　成山头站主要气象要素表

气候要素		单位	数值	备注
气温	年平均气温	℃	11.6	1960—2019 年
	年极端最高气温	℃	34.0	2018-8-3
	年极端最低气温	℃	-15.7	1977-2-16
降水	年平均降水量	mm	700.3	1960—2019 年
	年最多降水量	mm	1396.8	1982 年
	年最少降水量	mm	347.6	2002 年
	最大日降雨量	mm	474.6	1963 年 7 月
气压	年平均气压	hPa	1012.9	1960—2019 年
风速	年平均风速	m/s	5.3	1960—2019 年
	实测最大风速	m/s	22.9	2012 年
	主导风向	-	NNW	1960—2019 年
雷暴	年平均雷暴日数	天	15.3	1960—1995 年
	年最多雷暴日数	天	29	1964 年
	年最少雷暴日数	天	7	1977 年

5.1.1.2 风况

项目收集了成山头海洋站 1992 年 7 月~2023 年 7 月的近 30 年风速观测数据。其中，1992 年 1 月~2003 年 12 月为老站址观测数据，2004 年 1 月~2023 年 7 月为迁址后观测数据。2010 年起转为自动站观测，未收集到对比观测数据。

成山头海洋站历年年平均风速统计成果见表 5.1-1。海洋站多年平均风向主要集中

在 NNW 及 SSW 扇区，见图 5.1-1。

表 5.1-2 成山头海洋站历年年平均风速统计成果表

年份	平均风速（m/s）	年份	平均风速（m/s）	年份	平均风速（m/s）
1993 年	5.30	2006 年	4.29	2019 年	4.27
1994 年	5.31	2007 年	3.95	2020 年	4.48
1995 年	5.26	2008 年	4.19	2021 年	4.46
1996 年	5.24	2009 年	4.04	2022 年	4.50
1997 年	4.93	2010 年	4.29	2023 年	4.60
1998 年	5.17	2011 年	4.77	近 5 年均值	4.46
1999 年	5.07	2012 年	4.53	近 10 年均值	4.49
2000 年	5.06	2013 年	4.86	近 15 年均值	4.49
2001 年	4.98	2014 年	4.55	近 20 年均值	4.42
2002 年	4.40	2015 年	4.55	近 25 年均值	4.49
2003 年	4.28	2016 年	4.36	近 30 年均值	4.60
2004 年	4.29	2017 年	4.44		
2005 年	4.28	2018 年	4.70		

注：对应年份平均风速为前年 8 月至当年 7 月的平均风速，项目测风代表年为 2023 年。

图 5.1-1 海洋站数据多年平均风向玫瑰图（风频率：%）

5.1.1.3 雾况

威海市多年平均雾日 16d，最多年 30d（1978 年），最少年 7d（1965 年）。主要集中于 3~7 月，月平均雾日 2d~3.8d，7 月平均 3.8d，最多年 11d。9 月至翌年 2 月雾日较少，月平均在 0.0d～0.5d。全年雾和雨量大于 10mm 的天气有 10d～20d。

5.1.2 海洋水文

不宜公开。

5.1.3 区域地质

本节引自《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目工程地质勘察报告（初步勘察）》（中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司，2022 年 11 月）。

5.1.3.1 地质构造

场区地处山东半岛北部，其大地构造位置位于华北板块（I级）之胶辽隆起区（II级）和秦岭—大别—苏鲁造山带（I级）之胶南—威海隆起区（II级）的结合部位，地层分区属华北地层区鲁东地层分区。

1.第四系；2.前古生界；3.新生界玄武岩；4.中生界侵入岩；5.前古生界侵入岩；6.晚更新世主干断裂；7.早中更新世主干断裂；8.前第四纪断裂；9.物探推测次级断裂；10.逆断层；11.正断层；12. Ms7.0 地震；13.Ms6.0-6.9 级地震；14. Ms5.0-5.9 级地震；15. Ms4.7-4.9 级地震。主要活动断裂：F1.北沟镇—玲珑断裂；F2.招远—平度断裂；F3.凤仪店断裂；F4.林家庄断裂；F5.二十里铺—紫岘头断裂；F6.蛇窝泊断裂；F7.桃村断裂；F8.郭城—即墨断裂；F9.朱吴前裂；F10.海阳断裂；F11.金牛山断裂；F12.老母猪河断裂；F13.东殿后断裂；F14.海头—长门岛断裂；F15.响水—千里岩断裂；F16.长岛—芝罘断裂；F17.长岛—芝罘北侧海域断裂；F18.神道口断裂；F19.大竹岛—威海断裂；F20.西海头—俚岛断裂；F21.城南河断裂；F22.黄县断裂

图 5.1-2 区域构造图

从不同时代的深成侵入岩及变质岩分布情况来看，区域内经历了多期构造叠加及中深层次的韧性变形。主要断裂在中更新世以后活动性不强，该区地质构造较稳定。

山东半岛北部蓬莱至威海之间近海海域发育一系列北西向断裂，可统称为蓬莱-威海断裂带，它是北西向张家口-渤海断裂带的东南段。该断裂带由一系列北西走向的次级断裂组成，断裂最新活动时代为晚更新世。另外，在半岛北部发育一系列的北北东向断裂，它们往往具有明显的第四纪活动特征，最新活动时代在中更新世时期。区域内构造形迹为断裂构造为主，褶皱构造次之。

拟建海底电缆路由附近主要构造活动有大竹岛—威海断裂（F19），最新活动时代为晚更新世。

根据区域地质资料和临近陆域平面地质调查，场区表层为深厚第四系全新统海相沉积物覆盖，场址区及附近区域无大的活动性断裂与发震构造分布，总体上处于一个相对稳定的地块区内。

5.1.3.2 岩土层分布及工程地质

为了解工程周围地质情况，委托中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司于 2022 年 5~9 月进行了工程范围的地质调查工作。

根据场区分布范围、地形地质条件及初拟布置方案，结合建设方要求，在 N1 场址选取 7 个代表性机位、角点各布置 1 个钻孔，共 7 个钻孔（ZK06~ZK12），单孔孔深拟设计为 90m，总孔深 630m。

钻孔布置见图 5.1-3。

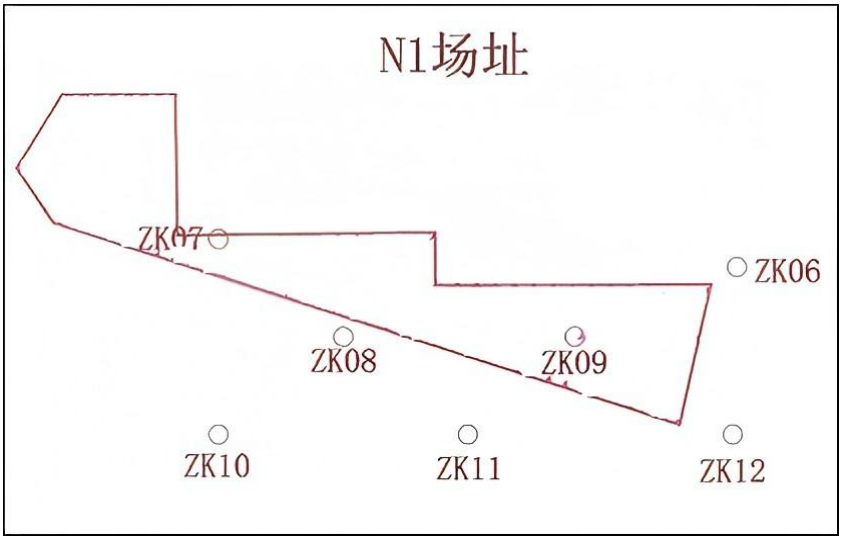


图 5.1-3　钻孔布置图

拟建场地位于山东省威海市东北部海域，水下地形开阔平坦，自西至东略微倾斜。

根据勘察资料，拟建场区勘察深度内，岩土层为第四系全新统海相沉积物（$Q_4^{m)}$）。根据地层岩性、时代成因及其物理力学性质特征，将其划分为 9 个工程地质大层，各岩土层主要地质特征自上而下分述如下：

1-1 层淤泥质粉质黏土（$Q_4^{m)}$）：灰黑色，流塑，韧性低，干强度低，土质不均，切面稍光滑。含大量贝壳碎屑和少量砂性土颗粒。局部富含有机质。场区普遍分布，厚度：3.60m～8.00m，平均 5.80m；层底标高：-66.90m～-61.20m，平均-64.09m；层底埋深：3.60m～8.00m，平均 5.80m。

1-2 层粉质黏土（$Q_4^{m)}$）：灰褐色，可塑，干强度低～中等，韧性低~中等，切面稍光滑，土质不均匀，局部夹粉土、粉砂薄层、偶见贝壳碎屑。场区仅 ZK08 孔未分布，厚度：2.10m～6.50m，平均 4.18m；层底标高：-70.30m～-66.20m，平均-68.03m；层底埋深：7.10m～11.60m，平均 9.62m。

2-1 层粉土（$Q_4^{m)}$）：灰色、灰黄色、浅灰色，中密～密实，饱和，切面粗糙无光泽，摇震反应迅速，干强度中等，韧性低，土质不均，约含 20%黏粒，局部含较多粉细砂颗粒。场区仅 ZK07、ZK11 孔未分布，厚度：1.80m～5.70m，平均 3.76m；层底标高：-75.80m～-68.40m，平均-70.90m；层底埋深：10.10m～17.30m，平均 12.32m。

2-2 层粉砂（$Q_4^{m)}$）：浅灰色，褐灰色，灰褐色，灰黄色，中密为主，饱和，主要成分为石英、长石、云母碎片，砂质一般不纯，夹粉土薄层，局部黏粒含量较多。场区仅 ZK06、ZK11 孔未分布，厚度：4.50m~13.60m，平均 10.46m；层底标高：-83.90m～-80.10m，平均-81.22m；层底埋深：21.30m～24.80m，平均 23.06m。

3-1 层黏土（$Q_4^{m)}$）：浅灰色、黄灰色，褐灰色，可塑～硬可塑，切面较光滑，干强度中等，韧性中等~韧性高，局部夹粉土薄层，偶见黑色斑点，土质较均匀。场区在 ZK06、ZK11 孔分布，厚度：9.60m～12.9m，平均 11.25m；层底标高：-81.30m～-79.90m，平均-80.60m；层底埋深：21.00m～23.00m，平均 22.00m。

3-2 层粉质黏土（$Q_4^{m)}$）：浅灰色、褐灰色，硬可塑为主，切面较光滑，干强度中等，韧性中等，局部夹粉土薄层，偶见黑色斑点，土质较均匀。场区普遍分布，厚度：7.70m～23.70m，平均 13.81m；层底标高：-104.00m～-87.60m，平均-94.86m；层底埋深：28.70m～45.50m，平均 36.57m。

3-3 层黏土（$Q_4^{m)}$）：浅灰色、黄灰色，可塑～硬塑，切面较光滑，干强度中等，韧性中等，土质较均匀，局部夹粉土薄层。场区仅 ZK08 孔分布，厚度：17.10m；层底标高：-108.20m；层底埋深：50.70m。

4-1 层粉土（$Q_4^{m)}$）：灰色，褐灰色，中密～密实，很湿～饱和，切面无光泽，摇震反应中等～迅速，干强度中等，韧性低，土质不均，含约 30%粉砂颗粒，局部黏粒含量较高。场区仅 ZK08 孔未分布，厚度：2.70m～4.40m，平均 3.50m；层底标高：-115.30m～-90.40m，平均-101.36m；层底埋深：31.50m～56.80m，平均 42.93m。

4-a 层粉质黏土（$Q_4^{m)}$）：褐灰色，硬可塑～硬塑，切面较光滑，无摇震反应，局部夹粉砂薄层，干强度中等，韧性中等，土质不均。场区仅 ZK08、ZK10 孔分布，厚度：2.50m—3.90m，平均 3.20m；层底标高：-112.10m—110.70m，平均-111.40m；层底埋深：53.20m—53.60m，平均 53.40m。

4-2 层粉砂（$Q_4^{m)}$）：灰黄色、浅灰色，密实为主，饱和，主要成分为石英、长石，偶见贝壳碎屑，含少量黏粒、细砂。场区在 ZK07、ZK10、ZK11 孔未分布，厚度：4.10m～20.80m，平均 14.25m；层底标高：-119.70m～-114.80m，平均-117.53m；层底埋深：57.30m～61.40m，平均 58.92m。

5 层粉质黏土（黏土）（$Q_4^{m)}$）：灰色，褐灰色，硬可塑~硬塑，切面有光泽，干强度中等，韧性中等，含少量铁锰质氧化物及钙质结核，含少量粉砂颗粒，偶见贝壳碎屑，土质均匀性一般。场区仅 ZK06 未分布，厚度：2.10m～16.30m，平均 8.68m；层底标高：-128.90m～-97.70m，平均-116.90m；层底埋深：38.80m～71.40m，平均 58.62m。

6-1 层粉土（$Q_4^{m)}$）：灰色，密实，饱和，切面无光泽，摇震反应中等～迅速，干强度中等，韧性低，含约 35%粉砂颗粒，局部黏粒含量较高，土质不均。场区在 ZK07、ZK08、ZK09 孔未分布，厚度：3.50m~7.70m，平均 5.75m；层底标高：-127.40m～-104.20m，平均-121.25m；层底埋深：45.30m～69.10m，平均 62.45m。

6-a 层粉质粘土（$Q_4^{m)}$）：灰色，可塑，切面较光滑，干强度中等，韧性中等，土质较均匀，局部夹粉土、粉砂薄层。场区仅在 ZK12 孔分布，厚度：1.00m，平均 1.00m；层底标高：-127.10m～-127.10m，平均-127.10m；层底埋深：67.60m～67.60m，平均 67.60m。

6-2 层粉砂（$Q_4^{m)}$）：灰色，褐灰色，密实，很湿～饱和，主要成分为石英、长石、云母碎片，砂质不纯~砂质较纯，分选性好。偶见贝壳碎屑，局部夹少量黏性土、细砂。场区 ZK06、ZK11 未分布，厚度：6.40m～19.20m，平均 10.38m；层底标高：-146.30m～-119.10m，平均-133.08m；层底埋深：62.90m～86.80m，平均 74.92m。

6-b 层粉质粘土（$Q_4^{m)}$）：灰色，可塑，切面较光滑，干强度中等，韧性中等，土质较均匀，局部夹粉土、粉砂薄层。场区仅在 ZK07 孔分布，厚度：1.90m，平均 1.90m；层底标高：-121.0m，平均-121.0m；层底埋深：64.80m，平均 64.80m。

6-3 层粉土（$Q_4^{m)}$）：灰色，密实，很湿～饱和，切面无光泽，摇震反应中等～迅速，干强度低，韧性低，土质不均，含约 35%粉砂颗粒，局部黏粒含量较高。场区仅在 ZK07 孔分布，厚度：2.40m，平均 2.40m；层底标高：-123.40m，平均-123.40m；层底埋深：67.20m，平均 67.20m。

7 层粉质黏土（$Q_4^{m)}$）：褐灰色，灰色，灰黑色，硬塑，切面稍光滑，韧性中等，干强度中等，局部含少量铁锰质氧化物及钙质结核，含少量粉砂、细砂颗粒，土质不均匀。场区仅 ZK08 未分布，厚度：2.10~20.00m,平均 8.40m；层底标高：-148.40～-118.30m,平均-136.70m；层底埋深：59.40～88.90m,平均 77.65m。

8-1 层粉土（$Q_4^{m)}$）：灰色，褐灰色，密实，饱和，主要成分为石英、长石、云母碎片，砂质较纯，分选性好，局部夹少量黏性土、细砂。场区仅 ZK07、ZK11 分布，厚度：2.80m～3.20m，平均 3.00m；层底标高：-146.20m～-121.50m，平均-133.85m；层底埋深：62.60m～90.00m，平均 76.30m。

8-1-a 层细砂（$Q_4^{m)}$）：灰色，密实，很湿～饱和，主要成分为石英、长石，偶见贝壳碎屑，局部夹少量黏性土、细砂。场区仅 ZK09 分布，厚度：10.50m，平均 10.50m；层底标高：-144.40m，平均-144.40m；层底埋深：85.30m，平均 85.30m。

8-2 层粉砂（$Q_4^{m)}$）：灰色，灰黑色，密实，饱和，韧性中等，土质较均匀，含少量铁锰质氧化物及钙质结核，含少量粉砂、细砂颗粒。场区仅 ZK07 未揭露，厚度：1.10m～20.60m，平均 11.30m；层底标高：-149.50m～-142.10m，平均-146.90m；层底埋深：83.20m～90.00m，平均 88.30m。

9-1 层黏土（$Q_4^{m)}$）：褐灰色，硬塑，切面较光滑，韧性好，干强度中等，局部夹粉土薄层，土质不均。场区仅 ZK06 孔揭露，厚度：7.40m；层底标高：-143.60m；层底埋深：85.30m。

9-2 层粉质黏土（$Q_4^{m)}$）：褐灰色，硬塑，切面较光滑，干强度中等，韧性中等，局部夹粉土薄层，土质不均。勘探深度范围内，场区在 ZK06、ZK09、ZK11 孔揭露，未揭穿。

图 5.1-4　工程地质剖面图（ZK06-1）

图 5.1-5　程地质剖面图（ZK06-2）

图 5.1-6　工程地质剖面图（ZK06-3）

图 5.1-7　工程地质剖面图（ZK07-1）

图 5.1-8　工程地质剖面图（ZK07-2）

图 5.1-9　工程地质剖面图（ZK07-3）

图 5.1-10　工程地质剖面图（ZK09-1）

图 5.1-11　工程地质剖面图（ZK09-2）

图 5.1-12　工程地质剖面图（ZK09-3）

图 5.1-13　工程地质剖面图（ZK012-1）

图 5.1-14　工程地质剖面图（ZK012-2）

图 5.1-15　工程地质剖面图（ZK012-3）

根据区域构造背景，断层分布及活动特征，地震活动性等因素，拟建工程场址区域构造稳定性较好；场区上部分布有平均厚 5.8m 的软弱土层厚度一般，在本区抗震设防烈度下，不存在砂土液化现象，结合本工程特性，综合判定属对建筑抗震一般地段；根据海底地形图，海床面较平缓初步判断无冲沟深槽、活动沙丘分布,场址区亦未发现浅层气、海底塌陷、滑坡等不良地质作用，影响本工程主要特殊性岩土为 1-1 淤泥质粉质黏土，不良地质作用弱发育。

拟建场地为滨海水下堆积平原，水下地形总体自西北向东南略微倾斜，海底地势总体较为平坦,地貌单元较单一，所在场地海床稳定性较好从勘探揭露地层分析，场区覆盖层厚度较大，根据本次勘察情况，覆盖层厚度均大于 90m，未见孤立岩礁；场区岩土种类较多，地层整体上软下硬，中下部土体物理力学性质相对较好，分布基本稳定。采取一定的工程措施后，较适宜工程建设。

综上所述，拟建场地基本稳定，较适宜本工程的建设。

5.1.3.3 水文地质条件

场址区地下水按赋存形式和埋藏条件，主要为松散岩类孔隙水。

松散岩类孔隙水主要赋存于松散沉积层中。场区内上部的淤泥质粉质黏土属饱和软土，该含水地层与海水有直接联系。场地分布有软塑～硬塑状态黏性土层，渗透性差，为相对隔水层，分布其间或其下伏的砂土层孔隙水一般具有承压性。场区深部粉砂层中孔隙水因上覆相对隔水层而多具承压性，含水量一般～较丰富。

场址距陆域最近距离约 57.8km，场区地下水与陆岸的地下水水力联系较差。

5.1.3.4 地震

（1）区域地震

工程所在地胶东半岛及其邻近海域分布有两条地震带，一条是山东半岛北部沿海的蓬莱一威海地震带，该地震带对历史地震和现代小震活动具有明显控制作用，发生过破坏性地震 11 次，其中 4.75~5.9 级地震 9 次，6 级地震 1 次，7 级地震 1 次，现代地震也很活跃。

另一条地震带是牟平－乳山地震带，呈南北方向，沿牟平、乳山一线南北两端向海域延伸，其较蓬莱一威海地震带规模要小，在这个地震带上曾发生过 1046 乳山 6 级地震；1939 年乳山下初 5.5 级地震，都造成了不同程度的灾害。近年来在这个地震带上曾发生过多次 4 级左右的强有感地震。

从地震活动性看，蓬莱-威海断裂带全新世以来一直处于活动状态所以地震强度、发震频率均较高，而内陆地区由于地壳相对稳定，主要断裂在中更新世以后活动性不强，地震能量不易集中，多以小震、群震和有感地震释放。

（2）基本地震动参数

根据《中国地震动参区划图》（GB18306-2015）和《山东省建设工程抗震设防条例》，拟建场区临近陆域在Ⅱ类场地条件下，基本地震峰值加速度值为 0.10g，地震动反应谱特征周期 0.35s。根据《建筑抗震设计规范（2016 年版）》（GB50011-2010）附录 A，场区抗震设防烈度为VII度，抗震设计分组为第一组。

图 5.1-16　近 500 年渤海地区中强震(M≥4.0）分布（1548-2005）

图 5.1-17　地震动峰值加速度图

图 5.1-18　地震动反应谱特征周期

（3）区域构造稳定性评价

根据已收集到的区域地质资料，可能影响到该工程建设的断裂主要为 NE 向牟平-即墨断裂与 NW 向蓬莱一威海断裂，其中 NW 向蓬莱一威海断裂为活动断裂，其他断裂为非活动断裂，而蓬莱一威海地震带对历史地震和现代小震活动具有明显控制作用，于 1548 年发生过 7 级地震以上断裂距离场地均大于 50km。场区地震设防烈度为 7 度，按照《海上风力发电场勘测标准》（GB51395-2019）6.3.5 中规定，当抗震设防烈度小于 8 度时，或非全新世活动断裂可不考虑发震断裂错动对建筑物的影响。建筑场地类别属 I 类，场地调整后的基本地震动加速度反应谱特征为 0.45s，调整后的地震动峰值加速度为 0.125g。鉴于场区离岸较远缺少海域地震资料，陆域地震资料参照度有限，建议下阶段开展地震安全性专题评价与地震地质灾害专题评价工作，最终地震动参数以地震安评报告为准。

根据区域构造背景，断层分布及活动特征，地震活动性等因素，参考《海上风力发电场勘测标准》（GB51395-2019）表 F 中规定，拟建工程场址区域构造稳定性较好。

5.1.4 地形地貌与冲淤状况

5.1.4.1 地形地貌

拟建场址位于山东省威海市东北部海域，为平坦的滨海水下堆积平原，水深 55.00m~60.00m，水下地形总体由西向东略微倾斜。

工程区位于北黄海东南部的堆积平原，地形平缓。北黄海海底基本为 NW—ES 方向敞开的箕状形态，海底相对平坦，见图 5.1-19。北黄海水深一般小于 80m，平均水深 38m，水深较深的区域主要分布在渤海海峡老铁山水道与 SE-NW 走向的黄海海槽南北黄海交界处，水深分别可达 86m 与 84m。除渤海海峡出现封闭的冲刷洼地、成山角外侧出现较小的冲刷洼地外，总体海底地势呈由北、西皆向中部倾斜，并由中部向东南倾入南黄海，北黄海西部地势较平缓，平均坡降 4cm/100m，东部、东北部较陡，平均坡降 7cm/m，尤其是西朝鲜湾海域，由于潮流沙脊群的存在，造成该区域地形起伏较大。

图 5.1-19　北黄海及周边海域海底地形图

拟建海底电缆路由位于山东半岛东北部海域，水深 0m~59m。路由区水下地形开阔平坦，场内集电线路海底电缆路由所在海域为倾斜的侵蚀堆积平原。升压站至登陆点海底电缆路由的北部区域地貌主要为倾斜的侵蚀堆积平原，路由中部为堆积台地，近岸段地貌为水下堆积岸坡。

5.1.4.2 冲淤状况

本节引自《华能山东发电有限公司半岛北海上风电基地（N1 场址）海床稳定性与局部冲刷专题分析报告》（青岛泛海海洋工程研究院有限公司，2025 年 6 月）。

黄海是一个半封闭的陆架浅海，以我国山东半岛成山头与朝鲜的长山串联线为界，将黄海分成南北两部分，连线以北为北黄海，北黄海处于山东半岛与辽东半岛之间，北邻辽宁，西南傍山东，东邻朝鲜，西边经渤海海峡与渤海沟通，其海底地形的显著特点是山东半岛和朝鲜半岛西岸地形坡度较大。

山东半岛北岸沿岸多基岩岬角及沙质海岸，沿岸陆上无大河注入，近岸水清沙少，沿岸 10m 等深线贴岸分布，20m 和 30m 等深线大致呈 WNW~ESE 走向，工程区附近水下地形较缓，水下地形坡度在 1‰左右，近岸 10m 和 20m 等深线的形态和位置变化不大，近岸海床地形保持基本稳定。

收集了工程及附近海域海图（0182-6，1：25 万，1959—1969 年测深）、2008 年实测水深（1：5 万）以及场址区 2023 年实测水深资料，通过不同时期水深对比，研究场址及附近海域海底冲淤变化情况。

1）（1959-1969）年—2008 年场址区及附近海底冲淤变化

场址处于北黄海浅海平原，等深线非常稀疏，海底平坦，场址区水深 55~58m。20 世纪 60 年代至 2008 年期间，工程海域附近西侧 50m 等深线向岸移动，海底略有侵蚀（图 5.1-20）。从对比图来看，2008 年 50m 等深线所在海域，20 世纪 60 年代时水深 47.0~49.5m，说明场区西侧海区有约 0.5—3.0m 的侵蚀。

图 5.1-20 （1959-1969）年—2008 年工程附近海域等深线对比图

2）2008 年—2023 年场址区海底冲淤变化

2023 年工程海域水深测量结果表明，场址区水深 55m 至 59m，总体趋势由西向东水深略有增大（图 5.1-21）。

图 5.1-21 2023 年场址区水深地形图

将 2008 年和 2023 年场址区及附近水深点重合海域进行水深对比，可知：场址中部海区水深变化总体较小，海底有冲有淤，中西部以淤积为主，最大淤积幅度 0.4m；中东部以冲刷为主，最大冲深 0.9m（图 5.1-22）。

图 5.1-22 2008 年—2023 年场址区水深对比

3）（1959-1969）年—2023 年场址区冲淤变化

工程场址区 20 世纪 60 年代至 2023 年 63 年间大部分海底有所淤积，其间淤积幅度 0m~2.0m，场址区大部分海域有约 0~1m 的淤积，南部海区淤积幅度略高，为 1.0m~2.0m；东北部局部海域有所侵蚀，侵蚀幅度不超过 0.7m（图 5.1-23）。

工程海区位于 50m 等深线外侧，多年水深数据对比分析后可知，场址海域多年间整体略有淤积，平均淤积速率小于 0.05m/a。

图 5.1-23 工程海域（1959-1969）年—2023 年海底冲淤变化（m）

5.1.4.3 沉积物粒度

沉积物资料引自《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目秋季海洋环境现状调查报告》（青岛恒海盛海洋科技有限公司，2024 年 11 月）。青岛恒海盛海洋科技有限公司于 2024 年秋季在项目附近海域进行沉积物粒度调查，调查结果见表 5.1-3 和图 5.1-24。由粒度调查结果可以看出，调查站位 2、6、7、12、21、A1、A3、A4 为砂质粉砂，调

查站位 4、16、A2 为粉砂质砂，调查站位 9、14、18、19、23、25、26、28、30、A5、A6 为粉砂。

图 5.1-24　沉积物等比值中值粒径（φ）等值线图

表 5.1-3　调查海域沉积物质量监测结果（粒度）

站号	粒组含量（%）			粒度参数（φ）					谢帕德命名
	砂	粉砂	粘土	中值粒径 M_d	平均粒径 M_z	分选系数 σ_i	偏态 S_{ki}	峰态 K_g	
2									砂质粉砂
4									粉砂质砂
6									砂质粉砂
7									砂质粉砂
9									粉砂
12									砂质粉砂
14									粉砂
16									粉砂质砂
18									粉砂
19									粉砂
21									砂质粉砂
23									粉砂
25									粉砂
26									粉砂
28									粉砂
30									粉砂
A1									砂质粉砂
A2									粉砂质砂
A3									砂质粉砂
A4									砂质粉砂
A5									粉砂
A6									粉砂

5.1.5 区域水深地形

用海范围及外扩 2km 范围水深资料引自中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司 2026 年 4 月测量水深图，送出海缆区水深资料引自浙江华东岩土勘察设计研究院有限公司 2026 年 8 月测量水深图。由于图件较多且地形较为平坦，本报告仅列出外围部分水深图件。

项目风机所在的风电场水深-55m~-59m 之间，西北高、东南低变化较为平缓，风场区水深地形见图 5.1-26。项目海缆长度较长，海缆段所在的水深跨度较大，拐点 TP1 附近水深约-56m，拐点 TP2 附近水深约-20m，拐点 TP3 附近水深约-13m，拐点 TP4 附近水深约-6m。海缆区域水深地形见图 5.1-27。

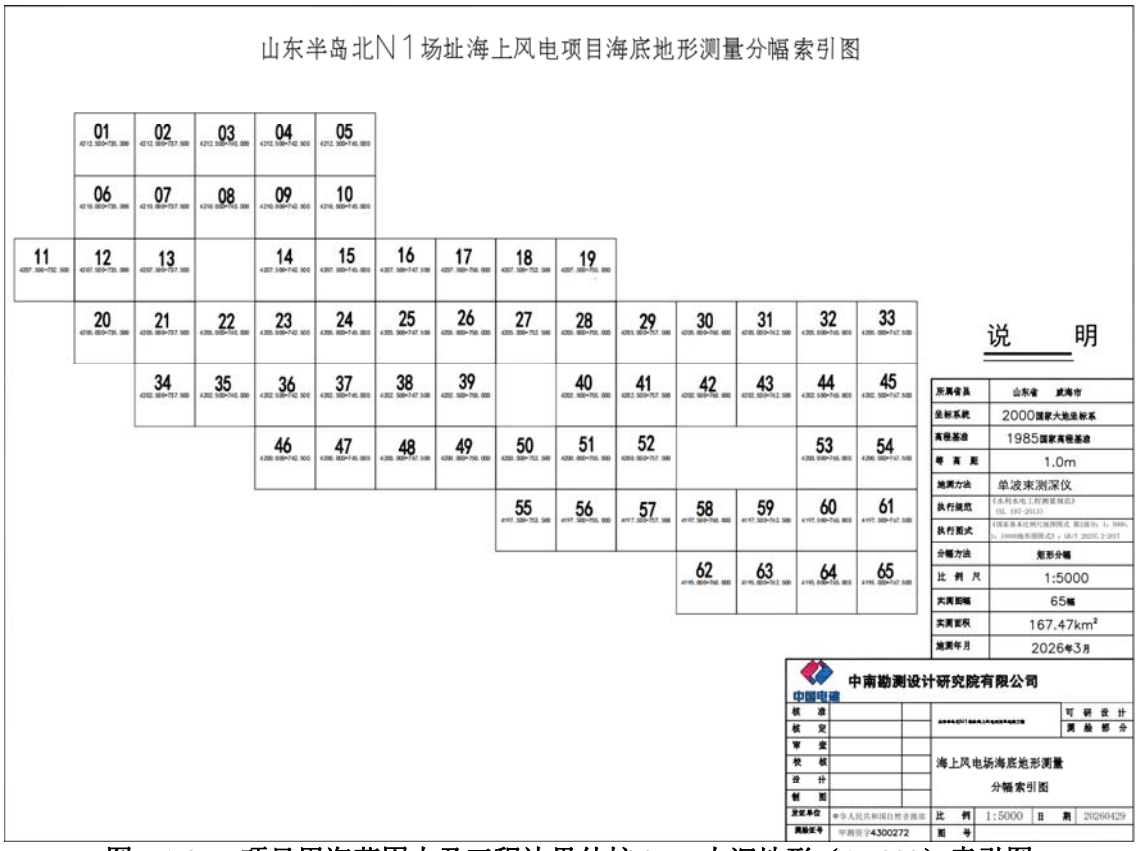


图 5.1-25　项目用海范围内及工程边界外扩 2km 水深地形（1:5000）索引图

图 5.1-26　项目风电场区水深地形图

图 5.1-27　项目海缆区水深地形图

5.1.6 主要自然灾害

5.1.6.1 海冰

海冰灾害影响我国渤海和黄海海域，2020 年黄海北部海域海冰最大分布面积 2615 平方千米，出现在 2 月 5 日；浮冰外缘线离岸最大距离 10 海里，出现在 2 月 6 日。2020 年 2 月 6 日渤海及黄海北部海冰分布见图 5.1-28；2021 年黄海北部海域海冰最大分布面积 5548 平方千米，出现在 1 月 9 日；浮冰外缘线离岸最大距离 17 海里，出现在 1 月 8 日。2021 年 1 月 9 日渤海及黄海北部海冰分布见图 5.1-29。2022 年黄海北部海域海冰最大分布面积 3010 平方千米，出现在 1 月 9 日；浮冰外缘线离岸最大距离 13 海里，出现在 2 月 17 日。2022 年 2 月 17 日渤海及黄海北部海冰分布见图 5.1-30。2022/2023 年冬季，渤海及黄海北部海冰分布面积 24191 平方千米，为本年度冬季最大值，出现在 1 月 24 日~28 日；浮冰外缘线离岸最大距离 59 海里，出现在 2 月 28 日。2023 年 1 月 25 日渤海及黄海北部海冰分布见图 5.1-31。

图 5.1-28　2020 年 2 月 6 日渤海及黄海北部海冰分布图

图 5.1-29　2021 年 1 月 9 日渤海及黄海北部海冰分布图

图 5.1-30　2022 年 2 月 17 日渤海及黄海北部海冰分布图

图 5.1-31　2023 年 1 月 25 日渤海及黄海北部海冰分布图

5.1.6.2 风暴潮

山东省沿海是风暴潮多发区域，影响我省的风暴潮除台风风暴潮外，还有温带风暴潮。据统计 1898~1997 年的近百年时间内，影响山东沿海的台风近 130 个，平均每次 1.3 个，7~9 月份占总个数的 80%左右，其中 8 月份最集中。在山东登陆的年平均次数为 0.2 次/年，一般情况下，主要是受台风外围或近中心影响。

根据 1949~2000 年《台风年鉴》的资料统计，直接影响山东沿海造成大风或降水的热带气旋共 106 个，年均 2.04 个；最多年份 4 个；最少为零个。其中直接登陆或登陆后影响山东沿海的热带气旋年均 0.75 个；而中心进入山东沿海的热带气旋平均年 0.3 个。

风暴潮是一种灾害性的自然现象，它是由台风、热带风暴、温带气旋、强寒潮等天气系统的强风暴雨或气压骤变引起的海面异常升降现象。风暴潮多见于夏秋季节，它的特点是来势猛、速度快。威海市沿海地区风暴潮灾害主要由北上台风引起，个别由寒潮大风或强温带气旋引起。2007 年 03 月威海遭受了近四十年来最强的一次风暴潮，海上阵风十三级，最高潮位 320cm，北部沿海地区出现海水倒灌，直接经济损失逾九亿元人

民币，给威海民众的生命和财产造成很大损失。

根据《2022 中国海洋灾害公报》，2022 年 10 月 2—4 日，受强冷空气影响，渤海湾、莱州湾和山东半岛北部沿海出现了一次强温带风暴潮过程（“221003”温带风暴潮台风风暴潮），山东海岸防护工程、盐田、海水养殖和渔船受损，直接经济损失 113039.27 万元。

根据《2023 北海区海洋灾害公报》，2023 年，北海区风暴潮灾害未造成直接经济损失，近十年北海区风暴潮灾害直接经济损失和死亡失踪人口统计见图 5.1-32。



图 5.1-32　2014—2023 年北海区风暴潮灾害死亡失踪人口和直接经济损失统计

5.1.6.3 赤潮

赤潮是近海水域中一些浮游生物暴发性繁殖或高密度聚集而引起水色异常和水质恶化的一种自然现象。赤潮发生会造成海域大面积缺氧，导致水生动植物大量死亡。

根据《2023 年山东省海洋生态预警监测公报》，2023 年，山东省管辖海域全年累计发现赤潮 2 次，累计赤潮面积 43km^2。

5 月 10 日，黄河口北部海域暴发夜光藻赤潮，面积约 30km^2。8 月 16 日，日照近岸海域暴发多环马格里夫藻赤潮，面积约 13km^2。

2001 年-2023 年，山东省管辖海域赤潮灾害发现次数共计 87 次，累计面积约 13127.99km^2。其中，2005 年赤潮发生次数 12 次，为有记录以来最多的一年；赤潮总面积最大值出现在 2021 年，为 3805.63km^2，山东省管辖海域最常见的赤潮原因种为夜光藻。

5.1.6.4 绿潮

根据《2023 年山东省海洋生态预警监测公报》，2023 年 5 月，黄海浒苔绿潮连续 17 年暴发，最大分布面积 61159km^2。

最大覆盖面积 998km，总体呈现“南北跨度大、东西分布广”“发生时间早、整体

生物量大”等特点。山东省于 5 月 19 日正式启动前置打捞工作。

8 月 3 日本年度浒苔绿潮灾害应急处置工作结束。2023 年浒登滩量较去年减少了 93%，岸滩清理浒苔 1.63 万吨。

5.2 海洋资源概况

5.2.1 海岸线资源

威海海岸带北起牟平环翠交界，南至乳山口，总长度 967.57km。评价范围内岸线长度为 97060.9m，其中自然岸线 34997.7m、人工岸线 60308.5m、其他岸线 1754.7m，项目周围岸线资源情况分布见图 5.2-1。



图 5.2-1　项目海缆登陆附近岸线资源、海岛分布图

5.2.2 风能资源

风电场主风向和风能均主要集中在 N 及 SSW，其中以 N 向风向频率最大，占比 13.19%；N 向风能频率最大，占比 17.69%。风速年内变化以春冬季风速相对较大，夏

秋季相对偏小；年内月平均最大风速为 10.51m/s，最小月平均风速为 6.69m/s，最大最小月平均风速差为 3.82m/s，约为年平均风速的 42.4%，风速年内变化幅度较大。风电场风电机组 154m 轮高度处全年平均风速为 8.47m/s，年平均风功率密度为 719.9W/m^2，100m 高度处全年平均风速为 8.18m/s，年平均风功率密度为 622.3W/m^2，根据《海上风力发电场设计标准》（GB/T51308）风功率密度等级评判标准，本风电场风功率等级为 5 级，风能资源丰富，具备较好的风能资源。

5.2.3 滩涂资源

根据《威海市养殖水域滩涂规划（2018-2030 年）》，威海东部海域。面积广阔，拥有可利用的滩涂面积 366700 公顷，其中包括沿海 10 个较大的海湾，包括桑沟湾、爱伦湾、俚岛湾、荣成湾、石岛湾、黑泥湾、王家湾、龙眼湾、马栏湾和临洛湾，总面积 2 万多公顷和近岸 50 个大小岛屿的周边水域。其中，荣成湾和桑沟湾是较大的两个海湾。威海南部海域。15 米等深线以内浅海海域面积 29270 公顷，滩涂 12600 公顷。

5.2.4 岛礁资源

威海沿线海水清澈，松林成片，海鸟翔集，有 30 多处港湾、185 个大小岛屿。其中，面积在 500 平方米以上的海岛 98 个，有居民海岛 6 个，无居民海岛 179 个。知名海岛有市区的刘公岛、日岛、黑岛、双岛、小石岛，乳山南黄岛、小青岛，荣成鸡鸣岛、苏山岛、海驴岛等。5.25.2

项目评价范围内的岛屿主要为项目东侧最近约 8.13km 的鸡鸣岛，西侧最近约 12.29km 的刘公岛。

鸡鸣岛位于威海市荣成市港西镇虎头角北约 8 公里海域中，海岛形状酷似雄鸡，面积约 0.31 平方公里。

刘公岛位于中国东部山东半岛东端威海湾湾口，岛面积 3.15 平方公里，岛岸线长 14.95 公里。为威海市海上天然屏障，在国防上有着极其重要的地位。刘公岛地处胶东地盾的东北部，是一长期隆起地带。区内出露的地层以下元古代胶东岩群的各类变质岩为主。自上元古代至晚第三纪，一直处于隆起上升状态，遭受风化侵蚀，没有接受沉积，直至新生代第四纪中更新世开始有残积坡积、洪积冲积、海积等堆积层。

5.2.5 港口资源

工程附近港口航运资源主要是威海湾港区、龙眼湾港区和威海奔腾港航配套建设基地码头。

图 5.2-2　项目附近港口资源示意图

（1）威海湾港区

威海湾东面有刘公岛为屏障，西、北、南三个方向均有大陆环抱，东北和东南向为进出港海口，为基岩海岸，距深水航道距离小，浪静水阔，拥有良好的港址资源。

威海港因其特殊的地理位置，历史上是海防要地。港区水域面积为 $196.65\times10^4m^2$，内港水域面积为 $20\times104m^4$，陆域面积为 $13\times10^4m^2$。威海港是我国沿海地区性重要港口和山东省第三大集装箱港口，是山东省对韩贸易的重要口岸，集装箱运输喂给港。威海港口岸与世界上 70 多个国家和地区的港口建立了贸易联系，拥有 5 条国际班轮航线。优越的地理位置和良好的港口条件使威海港在我国沿海港口中独具特色，港口发展极具潜力。威海港是省属地方中型港口，为国家一类开放口岸，区域性枢纽港，包括新老两个港区。老港区坐落在威海市中心东侧，主要承担客运和滚装运输业务；新港区位于威海湾南岸，威海经济技术开发区内，主要承担散杂货和集装箱运输业务，最大可停靠 3 万吨级船舶，拥有岸边集装箱装卸桥，港口设备最大起重能力为 45t，疏港铁路直达码头前沿。

威海湾港区是威海港的发展起源地和现有的核心港区，分别为老港作业区、新港作业区和崮山作业区。老港作业区拥有 4 个泊位，其中万吨级泊位 1 个，5000 吨级泊位 3 个，码头岸线长 590m，主要承担客运和滚装运输业务。新港作业区位于威海湾南岸，威海经济技术开发区内，距市中心 16km，共有 9 个泊位，由四个单位经营管理，其中威海港股份有限公司经营管理 4 个泊位，分别为 2 万泊位 2 个；1 万吨级泊位 1 个，3000 吨级泊位 1 个，设计通过能力为 257 万吨、19 万 TEU；威海威洋石油有限公司经营管理 2 个液化泊位（1 个 2000 吨级泊位、1 个 5 万吨级泊位），主要货物为成品油、化工品、液化气，码头总长 408m，设计通过能力为 150 万吨；华能威海发电有限责任公司经营管理 2 个 2 万吨级煤炭专用泊位，码头总长 375m，设计通过能力为 290 万吨；威海广源公司经营管理 1 个 500 吨级通用泊位，码头长 40m，年设计通过能力为 5 万吨，因为用于施工码头，2007 年无吞吐量。另外，威海湾新港作业区正在建设三期、四期工程，其中三期为 2 个 2 万吨级集装箱泊位；四期为 1 个 7 万吨级散杂泊位和 3 个 5 万吨级通用泊位。崮山作业区包括威海三进船业有限公司经营管理的 2 个 5000 吨级通用泊位和 1 个 3000 吨级通用泊位，主要为进口造船所用的钢材，出口船体部件，码头长度为 360m，设计通过能力为 22 万吨。

图 5.2-3　威海湾港区规划布置图

（2）龙眼湾港区

龙眼湾港区位于荣成市成山镇龙眼湾内，拥有 10 个泊位，其中 1 个 5 万吨级通用泊位、4 个 1 万吨级泊位（3 个通用泊位、1 个液化泊位）、3 个 5000 吨级泊位（2 个通用泊位、1 个滚装泊位）、2 个 3000 吨级泊位（1 个通用泊位、1 个滚装泊位）。码头总长 1280m，设计通过能力为 370 万吨。龙眼湾港区码头泊位现状见表 5.2-1，港区布置见图 5.2-4。

表 5.2-1　龙眼湾港区码头泊位现状表

企业名称	码头泊位名称	主要用途	前沿水深（m）	码头长度（m）	泊位数（个）	靠泊吨级（DWT）
荣成市龙眼港务有限责任公司	1 号	通用	12	200	1	50000
	2 号	通用	10	140	1	10000
	3 号	通用	10	130	1	10000
	4 号	通用	7	100	1	5000
	5 号	通用	6	100	1	5000
	6 号	通用	6	100	1	3000
	7 号	滚装	7	100	1	3000
	8 号	滚装	9	120	1	5000
	9 号	液化	10	150	1	10000
	10 号	通用	10	140	1	10000

图 5.2-4　龙眼湾港区规划布置图

（3）威海奔腾港航配套建设基地码头

威海奔腾港航配套建设基地位于威海经济技术开发区泊于镇黄石圈湾，总投资 8 亿元，目前厂区占地 200 亩。初步规划并着手建设的有砼沉箱预制场地、3000 吨级沉箱出运码头、10000 平方米的船体配件钢构生产车间，还将建设 500 米多功能性防波堤及船用综合停靠码头以及 50000 吨级船坞各一座。



图 5.2-5　威海奔腾港航配套建设基地码头位置图

5.2.6 渔业资源

威海沿海一线属典型的北温带季风型海洋性气候，所属海区处黄、渤海的接合部，受太平洋环流影响，四季水温波动范围在 1～25℃之间，海洋动植物资源十分丰富，是两大海区许多经济鱼虾产卵、越冬、索饵的天然良港和南北洄游的必经之路。

威海拥有山东省三大渔场中的烟威、石岛两大渔场。沿海海域常见经济价值较高的水生动物有 70 多种，盛产小黄鱼、带鱼、鲅鱼、鲐鱼、鳓鱼、黄姑鱼、青鱼、比目鱼（牙鲆、石鲽、圆斑星鲽等）、对虾、鹰爪虾、三疣梭子蟹、墨鱼、海蜇等鱼类、虾蟹类、头足类和腔肠类动物，浅海海底和滩涂广泛分布有贻贝、扇贝、魁蚶、牡蛎、鲍鱼（皱纹盘鲍）、竹蛏、缢蛏、文蛤、杂色蛤、泥蚶、毛蚶、海螺和海参（刺参）、海胆（马粪海胆）等贝类、棘皮类动物，其中皱纹鲍鱼、刺参、文蛤、泥蚶、红螺、马粪海胆等堪称海产珍品，威海刺参、龙须岛鹰爪虾、石岛黄花鱼等驰名中外。沿海一线水生植物资源丰富，其中有经济价值的常见品种有石莼、裙带、石莼、石花菜、边紫菜、羊栖菜、江蓠等。

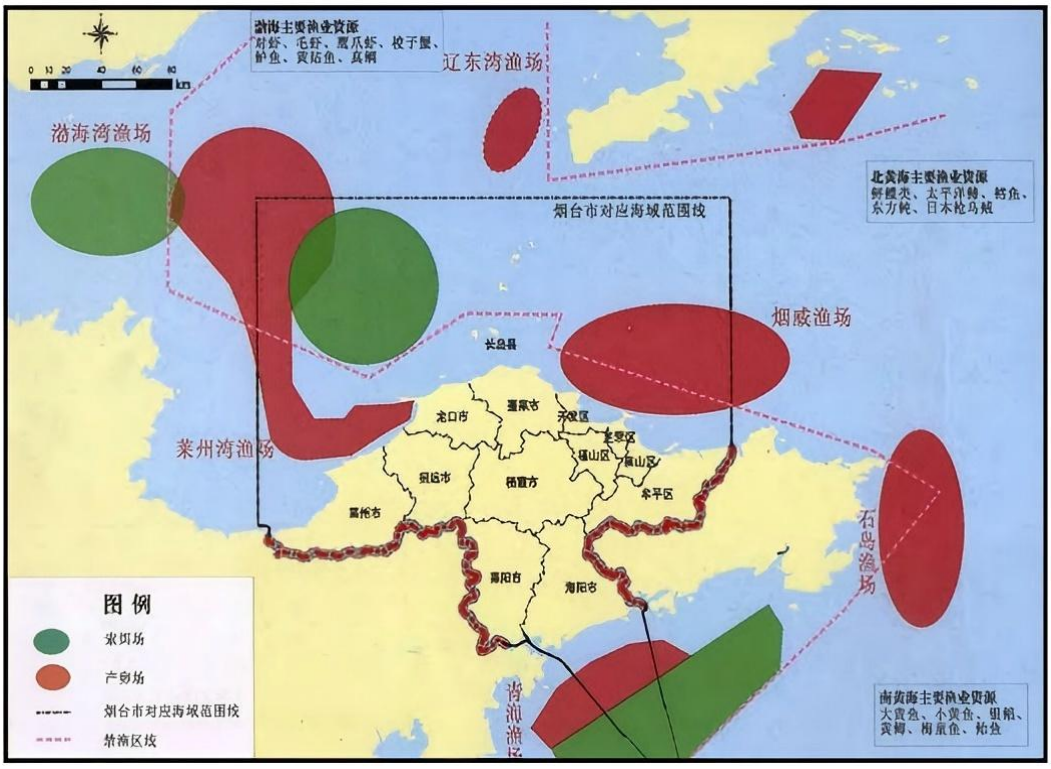


图 5.2-6　工程附近渔场及渔业资源分布图

依靠优越的自然资源条件，威海市海洋捕捞业迅速发展壮大。针对近海渔业资源持续衰退，传统外海作业渔场大幅减少的严峻形势，威海市各级各部门认真贯彻关于加快发展远洋渔业的指示精神，加大捕捞结构的调整力度，控制压缩近海捕捞强度。经过连续多年的休渔，威海渔业资源得以恢复，海洋与渔业经济主要指标继续保持在全省、全国领先地位。

5.2.7 旅游资源

威海三面环海，拥有“海、山、岛、泉、古、俗”等自然、人文景观资源，海滨滩平、沙细、礁奇，海水洁净清澈，万亩松林点缀其间；海岸沿线，散落着近百个大小岛屿和三十多个迷人的海湾，旅游资源十分丰富，素有“花园城市”之美誉。近 20 年来，威海市紧紧围绕建设生态化海滨旅游城市，以发展滨海度假、观光旅游为特色，加大旅游资源开发力度，共投入 30 亿元用于旅游资源的开发。

威海具有城市景观、海岛风光、海岸、温泉、历史遗迹、名山古刹等 10 多种类型，名胜古迹和游览区（点）80 多处，其中国家级重点风景名胜区有刘公岛、成山头，省级风景名胜区有铁槎山、圣水观、圣经山，省级旅游度假区有环翠、银滩、石岛湾、天鹅湖。1996 年威海被联合国评为全球改善人居环境 100 个范例城市之一，1998 年又被评为中国优秀旅游城市。威海旅游资源形成了“一线”（千公里福文化海岸线）、“两点”（刘

公岛、成山头）、“三园”（环翠楼公园、威海公园、国际海水浴场公园）、“四区”（四个省级旅游度假区）、“五山”（圣经山、伟德山、铁槎山、正棋山、岠嵎山）、“六游”（景点游览、城市观光购物、度假疗养、道教寻踪、民俗体验、会议旅游）的旅游格局，是全球唯一获得“联合国人居奖”的城市。威海旅游业面临广阔的发展前景，旅游业已被列为威海市国民经济四大支柱产业之一。

5.2.8 矿产资源

截至 2020 年底，威海市已发现矿产资源 49 种（含亚矿种），查明资源储量的矿产 23 种，即能源矿产 1 种、金属矿产 11 种、非金属矿产 9 种、水气矿产 2 种。威海市矿产资源区域分布特色明显，金矿资源主要分布在乳山市，铜、铅、钼及玻璃用砂、锆英石砂矿等主要分布在环翠区和荣成市，石墨分布于文登区、环翠区，花岗岩遍布全市，尤以荣成市域为主，地热资源主要分布于环翠区和文登区。

截至 2020 年底，全市共有探矿权 36 个，其中金 32 个、铁 1 个、蛇纹岩 1 个、矿泉水 2 个，勘查工作程度详查以上占 94.4%。采矿权 55 个，其中饰面用花岗岩 19 个、地热 15 个、金矿 10 个、铁矿 3 个、银矿 2 个、矿泉水 4 个、建筑用花岗岩 2 个，年开采矿石总量 243.48 万吨，全市矿产资源开发利用工业总产值 14.76 亿元，开发利用水平持续提升。

5.3 海域开发利用现状

5.3.1 社会经济概况

本节引用《2025 年威海市国民经济和社会发展统计公报》（威海市统计局，2026 年 4 月）。

2025 年，全市上下坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党的二十大和二十届历次全会精神，牢记习近平总书记“威海要向精致城市方向发展”殷切嘱托，全面落实“走在前、挑大梁”使命任务，坚定不移大抓经济、大抓基层、大抓落实，经济社会高质量发展取得新成效，“精致城市·幸福威海”建设迈出坚实步伐，实现“十四五”规划圆满收官。

（1）综合

初步核算，全年实现地区生产总值 3896.09 亿元，比上年增长 5.8%。其中，第一产业增加值 353.10 亿元，增长 4.3%；第二产业增加值 1407.68 亿元，增长 4.5%；第三产业增加值 2135.31 亿元，增长 6.8%。三次产业结构为 9.1:36.1:54.8。

（2）农林牧渔业

全年实现农林牧渔业增加值 374.53 亿元，增长 4.5%。其中，农林牧渔专业及辅助性活动增加值 21.43 亿元，增长 9.8%。

根据农作物产量调查数据，全年粮食总产量 76.45 万吨，与上年基本持平。其中，夏粮产量 29.34 万吨，增长 0.9%；秋粮产量 47.11 万吨，下降 0.5%。

全年油料总产量 21.40 万吨，增长 0.3%。茶叶总产量 652.92 吨，增长 1.1%。

全年园林水果总产量 135.26 万吨，增长 3.5%，其中，苹果 118.78 万吨，增长 3.2%。

全年猪肉产量 9.22 万吨，禽蛋类总产量 12.94 万吨，牛奶总产量 2.21 万吨。

全年水产品总产量 355.23 万吨，增长 4.0%。水产养殖面积 13.50 万公顷，增长 11.3%；养殖产量 233.93 万吨，增长 4.4%。

年末农业机械总动力 497.52 万千瓦，增长 0.5%；农用水泵 12.57 万台，节水灌溉类机械 1.38 万套，农用拖拉机 20.07 万台；全年小麦机耕面积 2.65 万公顷，机播面积 4.99 万公顷，机收面积 4.99 万公顷；全年玉米机耕面积 1.57 万公顷，机播面积 6.41 万公顷，机收面积 5.91 万公顷。

（3）工业和建筑业

全年规模以上工业增加值增长 7.4%，其中，大中型工业企业增加值增长 7.8%，国有控股企业增加值增长 36.4%。在行业大类中，铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业增长 39.9%，电力、热力生产和供应业增长 28.8%，通用设备制造业增长 13.1%。

全年规模以上工业企业营业收入 2920.24 亿元，增长 2.0%；利润总额 198.29 亿元，增长 8.3%。营业收入利润率 6.79%。产销衔接良好，产品销售率 97.1%。

全年建筑业增加值 224.73 亿元，下降 2.1%。

（4）服务业

全年规模以上服务业营业收入增长 5.8%，其中，科学研究和技术服务业增长 27.0%，租赁和商务服务业增长 9.6%，居民服务、修理和其他服务业增长 8.7%。

（5）财政税收、金融和保险

全年一般公共预算收入 257.91 亿元，增长 3.3%。其中，税收收入 172.66 亿元，增长 2.0%。税收收入占一般公共预算收入比重为 66.9%。全市一般公共预算支出 485.56 亿元，增长 1.1%。其中，一般公共服务、社会保障和就业、农林水、城乡社区、教育等重点支出分别增长 6.8%、6.1%、3.9%、0.9%和 0.7%，基层“三保”等重点支出得到较好保障。

（6）城市建设、环境保护和安全生产

年末全市建成区绿化覆盖率46.36%，建成区绿地率43.72%，人均公园绿地面积25.06平方米，生活垃圾无害化处理率 100%。市区建成区绿化覆盖率 46.49%，建成区绿地率44.07%，人均公园绿地面积 25.51 平方米，生活垃圾无害化处理率 100%。

全年发电量 322.72 亿千瓦时，增长 53.2%。全社会用电量 231.09 亿千瓦时，增长8.3%，其中，工业用电量 149.87 亿千瓦时，增长 9.0%。

全年完成污染减排项目 20 个，投资额 2.38 亿元。全市空气质量优良率 91%，空气质量全省最优。

（7）人口和人民生活

年末全市常住人口 291.16 万人，其中，城镇人口 216.65 万人，比上年末增加 2.20万人，常住人口城镇化率 74.41%，比上年提高 0.83 个百分点。年末全市户籍人口 250.15万人，户籍人口城镇化率 63.26%，比上年提高 0.81 个百分点。

全年全体居民人均可支配收入 54748 元，增长 5.5%。其中，城镇居民人均可支配收入 64590 元，增长 4.9%；农村居民人均可支配收入 32619 元，增长 5.9%。全体居民人均消费支出 32088 元，增长 4.7%。其中，城镇居民人均消费支出 37737 元，增长 4.1%；农村居民人均消费支出 19387 元，增长 5.4%。全体居民食品烟酒消费支出占消费总支出的比重 25.3%，其中，城镇居民食品烟酒消费支出占消费总支出的比重 24.9%，农村居民食品烟酒消费支出占消费总支出的比重 27.4%。

（13）社会保院和社会福利事业

全市有 245.33 万人参加基本养老保险，居民基础养老金标准提高至每人每月 220元。有 257.62 万人参加基本医疗保险，居民医保补助标准提高到每人每年 700 元。有2.54 万人领取失业保险金。有 8114 名职工享受工伤保险待遇，有 1.28 万名女职工享受生育津贴待遇。

5.3.2 海域使用现状

项目用海位于山东半岛东北部海域，风电场址位于山东省管理海域以外，风场区离岸较远，周边开发利用活动较少；海缆沿线周边海域的海洋开发利用活动主要为：港口锚地、渔业用海、工业用海、海岛和其他风电项目等。项目周边海域的开发利用现状见图 5.3-1～图 5.3-4 和表 5.3-1～表 5.3-2。

图 5.3-1　项目周边海域开发利用现状图

图 5.3-2　项目评价范围内海域开发利用现状局部放大图 1

图 5.3-3　项目评价范围内海域开发利用现状局部放大图 2

图 5.3-4　项目评价范围内海域开发利用现状局部放大图 3

表 5.3-1　评价范围内开发利用现状一览表 1

表 5.3-2　评价范围内工程开发利用现状一览表 2

5.3.2.1 渔业用海区

威海以海带、刺参、乳山牡蛎为三大主导品种，同时大力发展鲍鱼、扇贝、对虾、大菱鲆、三文鱼等优质品种，形成筏式养殖、底播养殖、多营养层次综合养殖、深远海网箱及陆基工厂化循环水养殖等多元模式，是我国重要的“海上粮仓”与海水养殖产业标杆。

项目评价范围内渔业用海主要包括开放式养殖中的底播、筏式和人工鱼礁等。场内集电线路海底电缆路由周边养殖区分布较远，最近养殖区为荣成好运角实业有限公司筏式养殖 61，距离约 35km。路由周边渔业养殖主要分布于离岸 10km 范围以外。养殖以底播品种包括蛤、魁蚶、海参等，筏式养殖裙带菜、海带等。

5.3.2.2 港口航运业

项目周边有多个港口、锚地、航道、航路，其中港口、锚地、航道主要分布于近岸区域。场内集电线路海底电缆路由、升压站和高抗站周边 2 海里内无港口、锚地、航道分布，位置关系见图 5.3-5。

（1）港口码头

项目周边港口用海 2 个，分别为威海湾港区和威海奔腾港航配套建设基地码。

项目海缆距离威海奔腾港航配套建设基地码头 104m。威海奔腾港航配套建设工程有限公司（更名为威海华滋海洋工程有限公司）坐落在美丽的海滨城市威海，厂区位于威海经济技术开发区泊于镇黄石圈湾，成立于 2006 年 4 月，总投资 8 亿元，目前厂区占地 200 亩。由浙江奔腾投资有限公司和上海三航奔腾公司投资成立，建设 3000 吨级出运码头一座，3000 吨级材料码头一座，5000 吨级特大型构件码头一座，3000 吨级工程船舶停泊维修码头及后方陆域配套生产、生活设施等。

威海湾港区，最近距离为 2.7km。威海湾港区是威海港的发展起源地和现有的核心港区，分别为老港作业区、新港作业区和崮山作业区。老港作业区拥有 4 个泊位，其中万吨级泊位 1 个，5000 吨级泊位 3 个，码头岸线长 590m，主要承担客运和滚装运输业务。新港作业区位于威海湾南岸，威海经济技术开发区内，距市中心 16km，共有 9 个泊位，由四个单位经营管理，其中威海港股份有限公司经营管理 4 个泊位，分别为 2 万泊位 2 个；1 万吨级泊位 1 个，3000 吨级泊位 1 个，设计通过能力为 257 万吨、19 万 TEU；威海威洋石油有限公司经营管理 2 个液化泊位（1 个 2000 吨级泊位、1 个 5 万吨级泊位），主要货物为成品油、化工品、液化气，码头总长 408m，设计通过能力为 150

万吨；华能威海发电有限责任公司经营管理 2 个 2 万吨级煤炭专用泊位，码头总长 375m，设计通过能力为 290 万吨；威海广源公司经营管理 1 个 500 吨级通用泊位，码头长 40m，年设计通过能力为 5 万吨，因为用于施工码头，2007 年无吞吐量。另外，威海湾新港作业区正在建设三期、四期工程，其中三期为 2 个 2 万吨级集装箱泊位；四期为 1 个 7 万吨级散杂泊位和 3 个 5 万吨级通用泊位。崮山作业区包括威海三进船业有限公司经营管理的 2 个 5000 吨级通用泊位和 1 个 3000 吨级通用泊位，主要为进口造船所用的钢材，出口船体部件，码头长度为 360m，设计通过能力为 22 万吨。

（2）锚地

项目评价范围内锚地用海 2 个，威海市三进船业有限公司锚地项目，建设单位为威海市三进船业有限公司，位于项目西侧距离约 4.1km。新区锚地是威海港引航检疫/待泊锚地，位于威海港南口外侧东北，为商渔船碰撞高风险警示区，位于项目西侧距离约 7.4km。

（3）航道、航路

项目 500kV 海缆出场区后穿越成山角至长山水道、成山角至老铁山水道和成山角至大连航路，近岸段海缆需穿越威海港至成山角航路。

项目 500kV 海缆距威海新港主航道 2.0km。威海湾港区新港作业区航道，位于威海港新港 1 号灯浮与新港区各码头之间，设有 1 号~20 号、L 号灯浮，通用码头航道走向为 051°~231°，航道长 4500 米，宽 550 米，水深 8.2 米~18.4 米；新港区客运航道自威海港新 9 号灯浮开始至新港客运码头，航道全长 2500 米，有效宽度 160 米，水深 9.1 米。该航道均为单向航道，航道左右均为养殖区，航行中需谨慎操作。

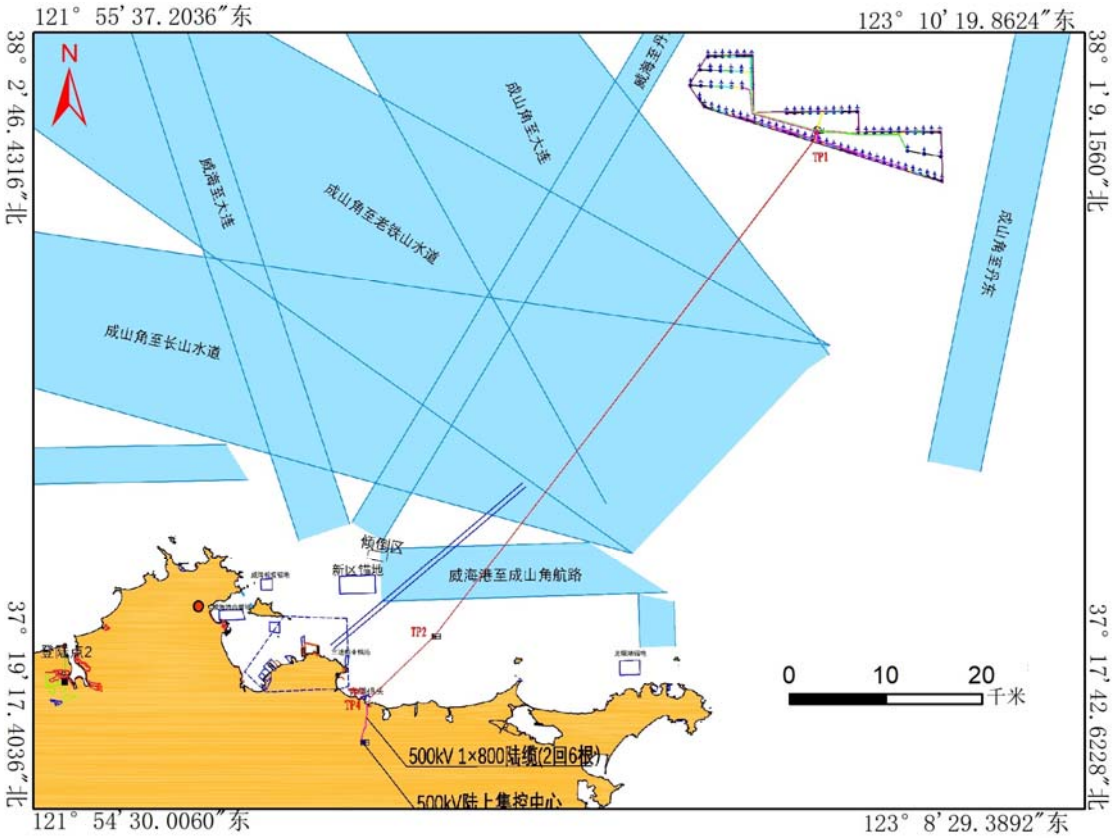


图 5.3-5 项目周边的港口、航道、锚地分区图

5.3.2.3 海岛

工程附近海域有多个岛屿，包括刘公岛、荣成鸡鸣岛等，详见 5.2 节。

5.3.2.4 倾倒区

在离岸约 15km 处有一个临时倾倒区，位于拟建路由西侧约 8.6km，为定向临时倾倒区，使用期限到期后不再续批，已封闭，位置见图 5.3-6。

图 5.3-6 临时倾倒区、禁渔禁锚区位置图

5.3.2.5 海底电缆

在威海北部离岸约 8km 处，有 1 处禁止抛锚和捕捞区，宽约 1.5km，长约 40km，西起威海市东至荣成，呈北西－南东向分布，项目送出海缆穿越该禁止抛锚和捕捞区，相对位置见图 5.3-6，其管理单位为北部战区相关部门。

5.3.2.6 近岸路由、登陆点附近开发现状

登陆点位于威海市环翠区黄石圈，是一段长约 500m 人工岸线，向陆地方向西侧约 40m 为威海万海万斯达广安装配式建筑有限公司，东侧 84m 为屯侯家社区股份经济合作社村集体码头，主要功能为渔业码头，东侧有废弃养殖池，见图 5.3-7。

2025 年对登陆点附近的海岸线进行了现场踏勘，踏勘点位见图 5.3-8，登陆段岸线类型为人工岸线，代表性现场照片见图 5.3-9。



图 5.3-7 近岸路由、登陆点附近开发现状影像图

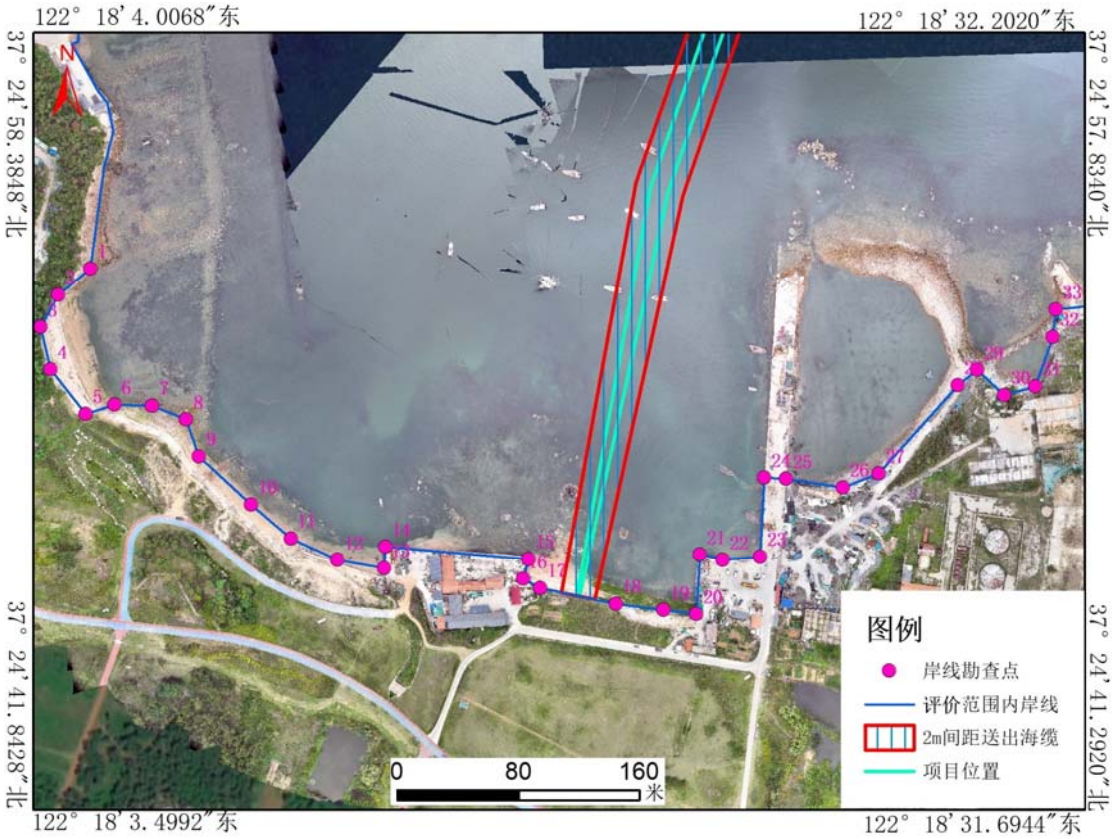


图 5.3-8　登陆点附近岸线勘查点分布图



点 1



点 3



点 7



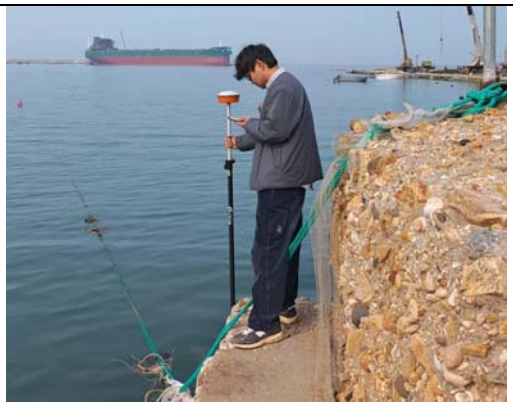
点 11



点 16



点 18



点 21



点 27

图 5.3-9　登陆点附近岸线勘查现场照片

5.3.2.7 其他风电项目

根据《山东海上风电发展规划（2021—2030 年）》，半岛北基地共规划了 6 个海上风电场，规划风电场场址总面积为 1280 平方公里，规划容量 850 万千瓦。场址 M 装机规模为 150 万千瓦，水深在 50~53 米之间，场址中心离岸距离约为 84 公里；场址 N 装机规模为 200 万千瓦，水深在 52~60 米之间，场址中心离岸距离约为 64 公里；场址 O 装机规模为 150 万千瓦，水深在 60~64 米之间，场址中心离岸距离约为 70 公里；场址Ｐ装机规模为 200 万千瓦，水深在 61~68 米之间，场址中心离岸距离约为 97 公里。场址 O、P、M 项目均未启动。

L 场址风电场面积 130km^2，装机容量为 504MW，安装 42 台单机容量 12MW 的风电机组，总装机容量为 504MW，配套建设 1 座 220kV 海上升压站和 1 处陆上运维中心。L 场址已于 2024 年 12 月 3 日取得《烟台市人民政府关于华能山东半岛北 L 场址海上风电项目用海的批复》（烟政海字〔2024〕7 号）。

N2 风电场场址规划范围海域面积约 116km^2，装机容量为 900MW，拟布置 75 台单机容量为 12MW 的风力发电机组。N2 风电场新建 1 座升压站和 1 座陆上集控中心，风电机组发出电能通过 66kV 海底电缆接入升压站，升压后通过 1 回 2 根 320kV 海底电缆接入陆上集控中心。66kV 海缆长度 112.4km，单根 320kV 海缆长度为 145.5km。N2 海上风电项目海域使用论证已报送自然资源部并通过专家评审。

项目场内集电海缆与上海电气山东半岛北 N2 场址海上风电项目的送出海缆电缆存在交越的情况。

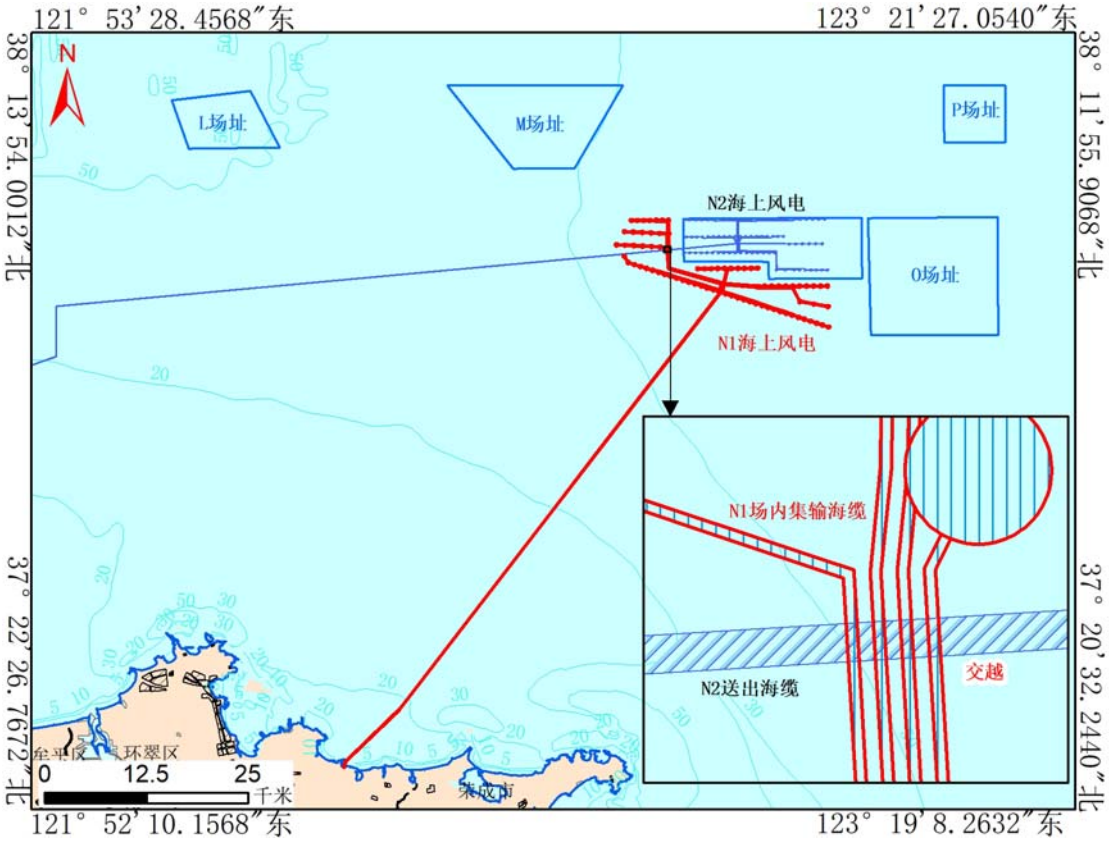


图 5.3-10 N1 场址与周围风电场址位置关系图

5.3.2.8 中海油探矿权

中国海洋石油有限公司是中国最大的海上原油及天然气生产商，也是全球最大的独立油气勘探及生产企业之一，主要业务为勘探、开发、生产及销售原油和天然气。中海石油（中国）有限公司天津分公司是中国海洋石油有限公司下属的一家境内分公司，主要负责渤海海域石油天然气资源勘探开发生产，位于天津市塘沽区。

经核实，项目与中海石油（中国）有限公司天津分公司已取得的油气探矿权（证书编号：〔T10000020251018001660〕，有效期：2025 年 5 月 12 日至 2030 年 5 月 11 日，详见附件 15）面积存在重叠，见图 5.3-11。

图 5.3-11 项目与中海油探矿范围的叠加图

5.3.3 海域使用权属

风电场址处相邻用海权属为其他项目风电用海，路由所在海域周边相邻权属现状以开放式养殖用海为主。

海缆交越的通信海缆管理部门为部队，无权属信息。海缆穿越的航路、航道等未进行确权。

工程穿越用海共确权 27 宗用海，其中 26 宗为渔业用海，1 宗为电力工业用海；项

目相邻的 N2 海上电场项目用海已取得专家意见，尚未取得用海批复，项目海缆穿越 26 宗养殖用海已确权。

用海的确权情况一览表见表 5.3-3。海域使用权属现状图见图 5.3-12。

图 5.3-12　工程相邻权属现状图

表 5.3-3　项目相邻权属情况一览表

5.4 海洋生态环境现状调查与评价

5.4.1 海水水质环境质量现状调查与评价

5.4.1.1 资料来源

现状调查与评价资料引自《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目秋季海洋环境现状调查报告》（青岛恒海盛海洋科技有限公司，2024 年 11 月）、《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目春季海洋环境监测报告》（青岛恒海盛海洋科技有限公司，2025 年 7 月）和《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目海洋环境春秋季补充调查报告》（青岛恒海盛海洋科技有限公司，2026 年 7 月）。项目海洋生态环境现状调查各项调查内容、调查时段及频次、调查站位数量以及调查因子均符合导则要求，调查资料汇总见表 5.4-1。

青岛恒海盛海洋科技有限公司于 2024 年 10 月 10 日~21 日（秋季）在项目区域邻近海域共设置水质站位 30 个，沉积物站位 16 个，生物生态和生物体质量站位 18 个，潮间带站位 3 个，评价范围内水质点位共 22 个，调查站位数量满足导则要求，秋季调查站位设置如图 5.4-1 和表 5.4-2 所示。

2025 年 4 月 9 日和 5 月 28 日~5 月 31 日（春季）项目区域邻近海域共设置水质站位 33 个，生物生态（含生物质量、渔业资源）站位 21 个及 3 个潮间带站位，渔业资源站位 20 个，评价范围内水质点位 24 个，调查站位数量满足导则要求，调查站位设置如表 5.4-3 和图 5.4-2 所示。

由于 2024 年秋季和 2025 年春季海水水质未调查硫化物，在 2025 年 11 月 8 日～9 日（秋季）和 2026 年 4 月 24～25 日（春季）对项目附近海域进行了硫化物的补充调查，调查站位同 2025 年春季站位，补充调查站位见图 5.4-2 和表 5.4-4。

表 5.4-1　海水水质调查站位符合性一览表

序号	调查航次	站位总数量	评价范围内站位数量	导则要求	符合性
1	2024 年秋季	30	22	16	符合
2	2025 年秋季（补充硫化物）	33	24		
3	2025 年春季	33	24	16	符合
4	2026 年春季（补充硫化物）	33	24		

表 5.4-2　2024 年秋季海洋环境现状调查站位

站位	经度	纬度	监测内容
1			水质、生物体质量、海洋生物生态
2			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
3			水质
4			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态

站位	经度	纬度	监测内容
5			水质
6			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
7			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
8			水质
9			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
10			水质
11			水质
12			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
13			水质
14			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
15			水质、生物体质量、海洋生物生态
16			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
17			水质
18			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
19			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
20			水质
21			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
22			水质
23			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
24			水质
25			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
26			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
27			水质
28			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
29			水质
30			水质、沉积物、生物体质量、海洋生物生态
C1			潮间带
C2			潮间带
C3			潮间带

图 5.4-1　2024 年秋季海洋环境现状调查站位图（秋季）

表 5.4-3　2025 年春季海洋环境现状调查站位

站位	经度	纬度	监测内容
2025 年			
1			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
2			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
3			水质
4			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
5			水质
6			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
7			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
8			水质
9			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
10			水质
11			水质
12			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
13			水质
14			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源

站位	经度	纬度	监测内容
15			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
16			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
17			水质
18			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
19			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
20			水质
21			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
22			水质
23			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
24			水质
25			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
26			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
27			水质
28			水质、生物体质量、海洋生物生态、渔业资源
29			水质
30			水质、生物体质量、海洋生物生态
31			海水、生物体质量、生物生态、渔业资源
32			海水、生物体质量、生物生态、渔业资源
33			海水、生物体质量、生物生态、渔业资源
C1			潮间带
C2			潮间带
C3			潮间带

图 5.4-2　2025 年春季海洋环境现状调查站位图

表 5.4-4　2025 年秋季、2026 年春季海洋环境补充调查站位、经纬度及调查内容

站位	经度	纬度	监测内容
1			水质中硫化物、双壳贝类
2			水质中硫化物、双壳贝类
3			水质中硫化物
4			水质中硫化物、双壳贝类
5			水质中硫化物
6			水质中硫化物、双壳贝类
7			水质中硫化物、双壳贝类
8			水质中硫化物
9			水质中硫化物、双壳贝类
10			水质中硫化物
11			水质中硫化物
12			水质中硫化物、双壳贝类
13			水质中硫化物
14			水质中硫化物、双壳贝类
15			水质中硫化物、双壳贝类
16			水质中硫化物、双壳贝类
17			水质中硫化物
18			水质中硫化物、双壳贝类
19			水质中硫化物、双壳贝类
20			水质中硫化物
21			水质中硫化物、双壳贝类
22			水质中硫化物

站位	经度	纬度	监测内容
23			水质中硫化物、双壳贝类
24			水质中硫化物
25			水质中硫化物、双壳贝类
26			水质中硫化物、双壳贝类
27			水质中硫化物
28			水质中硫化物、双壳贝类
29			水质中硫化物
30			水质中硫化物、双壳贝类
31			水质中硫化物、双壳贝类
32			水质中硫化物、双壳贝类
33			水质中硫化物、双壳贝类

5.4.1.2 调查项目与分析方法

（1）调查项目

pH、水温、盐度、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、活性磷酸盐、无机氮（硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮）、悬浮物质、石油类、总铬、汞、铜、镉、铅、锌、砷、五日生化需氧量、镍、硒、挥发酚、硫化物，其中石油类项目只调查表层。

（2）分析方法

调查项目的采样和分析方法参照《海洋监测规范》（GB 17378-2007）、《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）和《海洋监测技术规程 第 1 部分：海水》（HY/T 147.1-2013）的有关技术要求进行。

海水水质具体分析项目及分析方法详见表 5.4-5。

表 5.4-5 海水水质监测分析方法及检出限

序号	监测项目	分析方法	引用标准	检出限
1	水深	水深测量	GB/T 12763.2-2007	/
2	水温	表层水温表法	GB 17378.4-2007	/
3	透明度	透明圆盘法	GB 17378.4-2007	/
4	盐度	盐度计法	GB 17378.4-2007	/
5	pH	pH 计法	GB 17378.4-2007	/
6	悬浮物质	重量法	GB 17378.4-2007	2mg/L
7	COD	碱性高锰酸钾法	GB 17378.4-2007	0.15mg/L
8	溶解氧	碘量法	GB 17378.4-2007	/
9	活性磷酸盐	磷钼蓝分光光度法	GB 17378.4-2007	/
10	氨氮	次溴酸盐氧化法	GB 17378.4-2007	/
11	亚硝酸盐氮	萘乙二胺分光光度法	GB 17378.4-2007	/
12	硝酸盐氮	锌镉还原法	GB 17378.4-2007	/
13	石油类	紫外分光光度法	GB 17378.4-2007	3.5ug/L
14	铬	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.1-2013	0.05ug/L
15	铜	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.1-2013	0.12ug/L
16	铅	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.1-2013	0.07ug/L
17	锌	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.1-2013	0.10ug/L
18	镉	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.1-2013	0.03ug/L

序号	监测项目	分析方法	引用标准	检出限
19	砷	原子荧光法	GB 17378.4-2007	0.5ug/L
20	汞	原子荧光法	GB 17378.4-2007	0.007ug/L
21	生化需氧量	五日培养法	GB 17378.4-2007	/
22	镍	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.1-2013	0.23ug/L
23	硒	原子荧光法	HJ 442.3-2020	0.2ug/L
24	挥发酚	4-氨基安替比林分光光度法	GB 17378.4-2007	1.1ug/L
23	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	GB 17378.4-2007	0.2ug/L

5.4.1.3 评价方法与评价标准

（1）评价标准

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2026—2035 年）（征求意见稿）》，一类环境功能区、二类环境功能区、三类环境功能区和四类环境功能区，应分别执行不低于《海水水质标准》（GB3097-1997）中第一类、第二类、第三类和第四类海水水质标准。2024 年秋季调查站位 1~23 位于山东省管理海域以外，站位 24~29 位于 SD178B II（威海—烟台近海渔业二类功能区），站位 30 位于 SD173B II（逍遥港海草床生态保护二类功能区）；2025 年春季调查站位 1~23 位于山东省管理海域以外，站位 24~29、31 和 32 位于 SD178B II（威海—烟台近海渔业二类功能区），站位 30 位于 SD173B II（逍遥港海草床生态保护二类功能区），站位 33 位于 SD172B II（逍遥湾至朝阳港砂质海岸海岸防护二类环境功能区）；2026 年春季站位 1 和 2 位于 SD172B II（逍遥湾至朝阳港砂质海岸海岸防护二类环境功能区），站位 3～9 位于 SD178B II（威海—烟台近海渔业二类功能区），站位 10 位于山东省管理海域以外；2025 年秋季和 2026 年春季硫化物的补充调查的站位标准执行情况同 2025 年春季，1~23 位于山东省管理海域以外，站位 24~29、31 和 32 位于 SD178B II（威海—烟台近海渔业二类功能区），站位 30 位于 SD173B II（逍遥港海草床生态保护二类功能区），站位 33 位于 SD172B II（逍遥湾至朝阳港砂质海岸海岸防护二类环境功能区）。

因此，2024 年秋季调查站位 24～30 执行水质二类标准；2025 年春季调查站位 24～33 执行水质一类标准；2025 年秋季和 2026 年春季硫化物站位 24～29、31 和 32 执行水质二类标准，站位 30 和 33 执行水质一类标准。2024 年秋季和 2025 年春季、2025 年秋季和 2026 年春季中站位 1~23 所在位置无功能区划分，按评价标准逐级评价。

表 5.4-6　海水水质评价标准　单位：mg/L

项目	pH	DO	COD	无机氮	活性磷酸盐	石油类	铜	铅
一类	7.8~8.5	＞6	≤2	≤0.20	≤0.015	≤0.05	≤0.005	≤0.001
二类	7.8~8.5	＞5	≤3	≤0.30	≤0.030	≤0.05	≤0.010	≤0.005
三类	6.8~8.8	＞4	≤4	≤0.40	≤0.030	≤0.30	≤0.050	≤0.010
四类	6.8~8.8	＞3	≤5	≤0.50	≤0.045	≤0.50	≤0.050	≤0.050

项目	锌	镉	总铬	总汞	砷	挥发酚	硫化物	BOD5	硫化物
一类	≤0.020	≤0.001	≤0.05	≤0.00005	≤0.020	≤0.005	≤0.020	≤1	≤0.02
二类	≤0.050	≤0.005	≤0.10	≤0.0002	≤0.030	≤0.005	≤0.050	≤3	≤0.05
三类	≤0.10	≤0.010	≤0.20	≤0.0002	≤0.050	≤0.010	≤0.100	≤4	≤0.10
四类	≤0.50	≤0.010	≤0.50	≤0.0005	≤0.050	≤0.050	≤0.250	≤5	≤0.25

图 5.4-3a　2024 年秋季监测站位所在海洋功能区示意图

图 5.4-3b　秋季监测站位所在海洋功能区局部放大示意图

图 5.4-4a　春季监测站位所在海洋功能区示意图

图 5.4-4b　春季监测站位所在海洋功能区局部放大示意图

（2）评价方法

①一般性水质因子（随着浓度增加而水质变差的水质因子）的指数计算公式：

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

式中：$S_{i,j}$——评价因子 i 的水质指数，大于 1 表明该水质因子超标；

$C_{i,j}$——评价因子 i 在 j 点的实测统计代表值，mg/L；

C_{si}——评价因子 i 的水质评价标准限值，mg/L。

②溶解氧（DO）的标准指数计算公式：

$S_{DO,j}=DO_s/DO_j$　　$DO_j \le DO_f$

$S_{DO,j}=|DO_f-DO_j|/(DO_f-DO_s)$　　$DO_j > DO_f$

式中：$S_{DO,j}$——溶解氧的标准指数，大于 1 表明该水质因子超标；

DO_j——溶解氧在 j 点的实测统计代表值，mg/L；

DO_s——溶解氧的水质评价标准限值，mg/L；

DO_f——饱和溶解氧浓度，mg/L，对于河流，$DO_f=468/(3.16+T)$；对于盐度比较高的湖泊、水库及入海河口、近岸海域，$DO_f=(491-2.65S)/(3.35+T)$；

S——实用盐度符号，量纲一；

T——水温，℃。

③pH 值的指数计算公式：

$$S_{pH,j}=\frac{7.0-pH_j}{7.0-pH_{sd}} \qquad pH_j \le 7.0$$

$$S_{pH,j}=\frac{pH_j-7.0}{pH_{su}-7.0} \qquad pH_j > 7.0$$

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 值下限值，根据《海水水质标准》取 7.8；pH_{su}—

评价标准中 pH 值上限值，根据《海水水质标准》取 8.5。

5.4.1.4 水质监测结果与评价

5.4.1.4.1 秋季调查结果与评价

（1）2024 年秋季

2024 年秋季评价海域水质调查结果见表 5.4-7；各评价因子标准指数见表 5.4-8 和表 5.4-9。

调查表明：2024 年 10 月监测海域中除 30 号站位海水无机氮和活性磷酸盐参数以外，其余各监测站位各监测指标全部符合《海水水质标准》（GB 3097-1997）中的一类标准。执行一类标准，30 号站位海水无机氮最大超标倍数为 6.445，活性磷酸盐最大超标倍数为 1.533；执行二类标准，30 号站位海水无机氮最大超标倍数为 3.967，活性磷酸盐最大超标倍数为 0.267；执行三类标准，30 号站位海水无机氮最大超标倍数为 2.725，活性磷酸盐最大超标倍数为 0.267；执行四类标准，30 号站位海水无机氮最大超标倍数为 1.980，活性磷酸盐满足四类标准要求。

综上，2024 年秋季 1~23 号站位海水水质满足一类标准要求，24~29 号站位海水水质满足所在功能区二类标准要求，30 号站位海水水质中无机氮和活性磷酸盐因子超所在功能区二类标准，其他监测因子均满足二类标准要求，30 号站位海水无机氮最大超标倍数为 3.967，活性磷酸盐最大超标倍数为 0.267。30 号站位位于逍遥湖，与逍遥河相通，秋季无机氮和磷酸盐浓度较高可能与河流水体受陆域面源污染有关，调查期逍遥湖水力连通性较差。

（2）2025 年秋季水质硫化物

2025 年秋季调查海域海水硫化物调查结果见表 5.4-10，评价结果见表 5.4-11。分层采样的点位采用多层数据的平均值进行评价，评价结果表明，2025 年秋季 1~23 号站位海水水质中硫化物满足一类标准要求，24~33 号站位海水水质中硫化物满足所在功能区二类标准要求。

表 5.4-7　2024 年秋季水质监测结果

备注：“/”表示不适用。

表 5.4-8　2024 年秋季水质质量评价指数（一类）

备注：检出率占样品总数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计计算。

表 5.4-9　2024 年秋季水质质量评价指数（二~四类）

表 5.4-10　2025 年秋季海水硫化物调查结果统计表

注：“检出限+L”表示未检出；“/”代表不适用。

表 5.4-11　2025 年秋季调查海域海水硫化物评价结果（按功能区评价）

注：检出率占样品总数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加计算。

5.4.1.4.2 春季调查结果与评价

（1）2025 年春季

2025 年春季评价海域水质调查结果见表 5.4-12，各评价因子标准指数见表 5.4-13。

调查表明：分层采样的点位采用多层数据的平均值进行评价，2025 年春季监测海域全部站位各监测指标全部符合《海水水质标准》（GB3097-1997）中的一类标准。

综上，2025 年春季 1~23 号站位海水水质满足一类标准要求，24~33 号站位海水水质满足所在功能区二类标准要求。

（2）2026 年春季水质硫化物

2025 年秋季调查海域海水硫化物调查结果见表 5.4-14，评价结果见表 5.4-15。分层采样的点位采用多层数据的平均值进行评价，评价结果表明，2026 年春季 1~23 号站位海水水质中硫化物满足一类标准要求，24~33 号站位海水水质中硫化物满足所在功能区二类标准要求。

表 5.4-12　2025 年春季水质监测结果

表 5.4-13　2025 年春季水质质量评价指数（一类）

备注：检出率占样品总数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计计算。

表 5.4-14　2026 年春季海水硫化物调查结果统计表

注：“检出限+L”表示未检出；“/”代表不适用。

表 5.4-15　2026 年春季调查海域海水硫化物评价结果（按功能区评价）

注：检出率占样品总数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加计算。

5.4.2 沉积物质量现状调查与评价

5.4.2.1 调查时间、调查站位

为了解工程周围沉积物质量情况，青岛恒海盛海洋科技有限公司于 2024 年 10 月 10 日~10 月 21 日（秋季）对项目附近海域进行了 15 个站位的沉积物质量现状调查，具体见报告 5.4.1.1 节；2026 年 3 月 14 日进行了 3 条断面 9 个站位的潮间带沉积物调查，采样点位设置如图 5.4-5 和表 5.4-17 所示。评价范围内调查站位数量满足导则要求。

表 5.4-16　沉积物调查站位符合性一览表

序号	调查航次	站位总数量	评价范围内站位数量	导则要求	符合性
1	2024 年秋季	15	11	8	符合
2	2026 年春季	3 条断面 9 个站位	9	9	符合

图 5.4-5　2026 年 3 月潮间带沉积物调查断面分布图

表 5.4-17　2026 年 3 月潮间带沉积物调查站位、经纬度

站位	北纬	东经	调查内容
C1			潮间带沉积物
C2			潮间带沉积物
C3			潮间带沉积物

5.4.2.2 调查项目与分析方法

（1）调查项目

pH、粒度、有机碳、石油类、硫化物、铬、铜、锌、镉、铅、砷、汞、硒。

（2）采样和分析方法

调查项目的采样和分析方法参照《海洋监测规范》（GB17378-2007）、《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）等有关技术要求进行。样品按照表 5.4-18 的方法进行分析。

表 5.4-18　海洋沉积物分析方法

序号	监测项目	分析方法	引用标准	检出限
1	石油类	紫外分光光度法	GB 17378.5-2007	3.0×10-6
2	硫化物	碘量法	GB 17378.5-2007	4.0×10-6
3	有机碳	重铬酸钾氧化-还原容量法	GB 17378.5-2007	/
4	汞	原子荧光法	GB 17378.5-2007	0.002×10-6
5	砷	原子荧光法	GB 17378.5-2007	0.06×10-6
6	硒	氢化物-原子荧光光谱法	GB/T 20260-2006	/
7	铬	电感耦合等离子体质谱法	GB/T 20260-2006	9.90×10-6
8	铜	电感耦合等离子体质谱法	GB/T 20260-2006	0.42×10-6
9	锌	电感耦合等离子体质谱法	GB/T 20260-2006	6.33×10-6

序号	监测项目	分析方法	引用标准	检出限
10	镉	电感耦合等离子体质谱法	GB/T 20260-2006	0.08×10-6
11	铅	电感耦合等离子体质谱法	GB/T 20260-2006	6.06×10-6

5.4.2.3 评价方法及评价标准

（1）评价标准

根据功能区海洋环境保护要求，沉积物执行一类标准。各沉积物监测站位执行的标准见表 5.4-19。

表 5.4-19 沉积物质量评价标准值

《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）										
指标	（$\times10^{-6}$）≤									（$\times10^{-2}$）≤
	铬	铜	锌	镉	铅	砷	汞	石油类	硫化物	有机碳
一类	80	35	150	0.5	60	20	0.2	500	300	2
二类	150	100	350	1.5	130	65	0.5	1000	500	3
三类	270	200	600	5	250	93	1	1500	600	4

（2）评价方法

沉积物环境质量评价采用单因子标准指数法进行，公式如下：

$$I_i=C_i/S_i$$

式中：I_i—i 项评价因子的标准指数；C_i—i 项评价因子的实测浓度；S_i—i 项评价因子的评价标准值。

5.4.2.4 沉积物质量现状监测结果

（1）沉积物质量调查

2024 年秋季评价海域沉积物质量现状调查结果见表 5.4-20，评价结果见表 5.4-21。

评价海域沉积物现状评价结果表明：评价结果显示，2024 年 10 月监测海域海洋沉积物环境质量较好，各监测站位评价项目全部符合《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）中的一类标准。

（2）潮间带沉积物调查

2026 年春季调查海域潮间带沉积物调查结果见表 5.4-22，2026 年春季调查海域潮间带沉积物各项监测指标的单因子标准指数评价结果见表 5.4-24。

评价结果表明：2026 年春季调查海域所有调查站位潮间带沉积物各项调查因子均符合《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）一类标准要求。

表 5.4-20　2024 年秋季调查海域沉积物监测结果

表 5.4-21　2024 年秋季调查海域沉积物质量评价指数

表 5.4-22　2026 年春季调查海域潮间带沉积物调查结果

表 5.4-23　2026 年春季调查海域潮间带沉积物粒度调查结果

表 5.4-24　2026 年春季潮间带沉积物监测指标单因子标准指数评价结果（一类标准）

注：1.检出率占样品总数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计计算。

5.4.3 海洋生物体质量现状调查与评价

5.4.3.1 调查时间、调查站位

为了解工程周边海洋生物体质量情况，青岛恒海盛海洋科技有限公司于 2024 年 10 月 10 日~10 月 21 日（秋季）和 2025 年 4 月 3 日、4 日、9 日和 10 日（春季）分别对项目附近海域进行生物体质量现状调查，由于 2024 年秋季和 2025 年春季海洋生物未调查到双壳贝类，在 2025 年 11 月 8 日～9 日（秋季）和 2026 年 4 月 24～25 日（春季）对项目附近海域进行了双壳贝类的补充调查。具体见报告 5.4.1.1 节，评价范围内调查站位数量满足导则要求。

表 5.4-25　海洋生物质量调查站位符合性一览表

序号	调查航次	站位总数量	评价范围内站位数量	导则要求	符合性
1	2024 年秋季	18	12	5	符合
2	2025 年秋季（补充双壳贝类）	21	16		
3	2025 年春季	21	16	5	符合
4	2026 年春季（补充双壳贝类）	21	16		

5.4.3.2 调查项目与分析方法

本次生物体质量调查项目包括：石油烃、铅、镉、铜、锌、砷，汞和总铬 8 项指标。样品的采集、保存、分析的原则与方法按《海洋调查规范》GB12763-2007 和《海洋监测规范第 6 部分：生物体分析》（GB17378-2007）的要求进行，方法详情见表 5.4.3-1。

样品采集、贮存和预处理方法参照《海洋监测规范第 6 部分：生物体分析》（GB17378-2007）有关规定执行。

表 5.4-26　海洋生物体质量检测方法

序号	监测项目	分析方法	引用标准	检出限
1	铜	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013	0.08mg/kg
2	铅	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013	0.03mg/kg
3	锌	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013	1.66mg/kg
4	镉	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013	0.03mg/kg
5	铬	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013	0.30mg/kg
6	砷	原子荧光法	GB 17378.6-2007	0.2mg/kg
7	汞	原子荧光法	GB 17378.6-2007	0.002mg/kg
8	石油烃	荧光分光光度法	GB 17378.6-2007	0.2mg/kg

5.4.3.3 评价标准与评价方法

（1）评价标准

贝类生物体质量评价采用《海洋生物质量》（GB 1842-2001）中规定的标准值。软体动物（非双壳类）和甲壳类、鱼类生物体内污染物质（铜、铅、锌、镉、汞）含量评价标准参考《环境影响评价技术导则海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 表 C.1 中

的标准。软体动物（非双壳类）和甲壳类、鱼类生物体内铬含量缺乏评价标准，不对其进行评价。

根据《山东省近岸海域环境功能区划（2026-2035 年）》（征求意见稿），确定各调查站位所属功能区及执行的评价标准等级，见表 5.4-27 和表 5.4-28。

表 5.4-27　生物体质量各调查站位所属功能区及评价标准

调查站位	功能区	评价标准
25、26、28、31、32	SD178B II（威海—烟台近海渔业二类功能区）	一类
30	SD173B II（逍遥港海草床生态保护二类功能区）	一类
33	SD172B II（逍遥湾至朝阳港砂质海岸海岸防护二类环境功能区）	一类
1~23	山东省管理海域以外	逐级评价

表 5.4-28　海洋生物体评价标准

生物体污染物评价调查标准（鲜重：mg/kg）								
项目	Cr	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Hg	石油烃
鱼类	/	20	40	1	0.6	2	0.3	20
甲壳类	/	100	150	1	2	2	0.2	20
软体类	/	100	250	1	5.5	10	0.3	20
双壳贝类（一类）	0.5	10	20	1.0	0.2	0.1	0.05	15
双壳贝类（二类）	2.0	25	50	5.0	2.0	2.0	0.10	50
双壳贝类（三类）	6.0	50（牡蛎 100）	100（牡蛎 500）	8.0	5.0	6.0	0.30	80

（3）评价方法

海洋生物质量评价方法采用单因子污染指数评价法，如下式计算。

$$I_i = C_i / S_{ij}$$

式中：

I_i——i 测项的污染指数；C_i——i 测项的实测浓度或指标值；S_{ij}——i 测项的 j 类生物质量标准值。

5.4.3.4 生物体质量监测结果与评价

5.4.3.4.1 秋季调查结果与评价

（1）2024 年秋季

2024 年秋季评价海域海洋生物体质量监测结果见表 5.4-29，质量评价指数见表 5.4-30。

2024 年 10 月评价结果表明，监测海域各站位软体动物（非双壳类）、甲壳类和鱼类生物体质量中的铜、锌、镉、铅、汞含量全部符合《环境影响评价技术导则海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 表 C.1 中的标准，软体动物（非双壳类）、甲壳类和鱼类生物体质量中的砷的含量超标，最大超标倍数为 4.93，超标率为 85.6%，生物体中砷

超标可能与重金属富集、生物放大效应有关。

表 5.4-29　2024 年秋季调查海域海洋生物体肌肉组织重金属及石油烃含量（湿重，单位：mg/kg）

表 5.4-30　2024 年秋季调查海域海洋生物体重金属及石油烃质量评价指数

注：当检出率占样品数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分分别按检出限的 1/2 和 1/4 量值参与统计。

（2）2025 年秋季

2025 年秋季评价海域双壳贝类生物体质量监测结果见表 5.4-31，质量评价指数见表 5.4-32 和表 5.4-33。

2025 年 11 月评价结果表明，除砷外，各调查站位各调查因子均能满足《海洋生物质量标准》（GB18421-2001）一类标准。环境功能区内砷超标率为 28.6%，最大超标倍数为 0.3 倍，超标站位均位于近岸海域。生物体中砷超标可能与重金属富集、生物放大效应有关。

表 5.4-31　2025 年秋季双壳贝类生物体质量监测结果（湿重，mg/kg）

注：“检出限+L”表示未检出。

表 5.4-32　2025 年秋季双壳贝类生物体质量单因子指数评价结果（按功能区评价，山东省管理海域以内）

注：1.检出率占样品总数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加计算；2.“/”表示不适用。

表 5.4-33　2025 年秋季双壳贝类生物体质量单因子指数评价结果（山东省管理海域以外）

5.4.3.4.2 春季调查结果与评价

（1）2025 年春季

2025 年春季评价海域海洋生物体质量监测结果见表 5.4-34，质量评价指数见表 5.4-35。

2025 年春季评价结果显示，监测海域各站位软体动物（非双壳类）、甲壳类和鱼类生物体质量中的铜、锌、镉、铅、汞含量全部符合《环境影响评价技术导则海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 表 C.1 中的标准，软体动物（非双壳类）、甲壳类和鱼类生物体质量中的砷的含量超标，最大超标倍数为 5.20，超标率为 90.0%，生物体中砷超标可能与重金属富集、生物放大效应有关。

表 5.4-34　2025 年春季调查海域海洋生物体肌肉组织重金属及石油烃含量（湿重，mg/kg）

备注：“/”表示不适用。

表 5.4-35　2025 年春季调查海域海洋生物体重金属及石油烃质量评价指数

注：当检出率占样品数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分分别按检出限的 1/2 和 1/4 量值参与统计。

（2）2026 年春季

2026 年春季评价海域双壳贝类生物体质量监测结果见表 5.4-36，质量评价指数见表 5.4-37 和表 5.4-38。

2026 年 4 月评价结果表明，除砷外，环境功能区内各调查站位各调查因子均能满足《海洋生物质量标准》（GB18421-2001）一类标准。环境功能区内砷超标率为 57.1%，最大超标倍数为 1.6 倍，超标站位均位于近岸海域。环境功能区外双壳贝类站位 4、6、9、12、14、15、16、19、21、23 等站位满足一类标准要求，站位 1、2、7、18 等站位满足二类标准要求。生物体中砷超标可能与重金属富集、生物放大效应有关。

表 5.4-36　2026 年春季双壳贝类生物体质量监测结果（湿重，mg/kg）

注：“检出限+L”表示未检出。

表 5.4-37　2026 年春季双壳贝类生物体质量单因子指数评价结果（按功能区评价，山东省管理海域以内）

注：1.检出率占样品总数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加计算；2.“/”表示不适用。

表 5.4-38　2025 年秋季双壳贝类生物体质量单因子指数评价结果（山东省管理海域以外）

5.4.4 海洋生态环境现状调查与评价

5.4.4.1 调查时间、调查站位

为了解工程周边的海洋生态环境质量情况，青岛恒海盛海洋科技有限公司于 2024 年 10 月 10 日~10 月 21 日（秋季）、2025 年 4 月 3 日、4 日、9 日和 10 日（春季）分别对项目附近海域进行海洋生态环境现状调查。

2024 年秋季在项目区域邻近海域共设置洋生态环境（包含渔业资源）调查站位 18 个，潮间带调查断面 3 个。评价范围内海洋生态环境（包含渔业资源）点位共 13 个、潮间带调查断面 3 个，调查站位数量满足导则要求，秋季调查站位设置如图 5.4-1 和图 5.4-1 所示。

2025 年春季项目区域邻近海域共设置海洋生态环境调查站位 21 个，潮间带调查断面 3 个。评价范围内 2025 年春季海洋生态环境点位共 16 个、潮间带调查断面 3 个，调查站位数量满足导则要求。春季调查站位设置如表 5.4-3 和图 5.4-2 所示。

表 5.4-39　海水水质调查站位符合性一览表

序号	调查航次	站位总数量	评价范围内站位数量	导则要求	符合性
1	2024 年秋季	18	13	10	符合
2	2024 年秋季潮间带	3	3	3	
3	2025 年春季	21	16	10	符合
4	2025 年春季潮间带	3	3	3	

5.4.4.2 海洋生态调查内容和调查方法

调查项目包括：叶绿素 a 及初级生产力、浮游植物、浮游动物、大型底栖生物和潮间带生物。

（1）叶绿素 a

取水样 1L，加 5mL 饱和碳酸镁后用玻璃纤维滤膜现场过滤，滤膜冷冻避光干燥保存，带回实验室提取后测定。

（2）浮游植物和浮游动物网样

①浮游植物采用浅水III型网具采样，浅水III型浮游生物网内径 37cm，网口面积 0.1m^2；浮游动物采用浅水I型网具采样，浅水I型浮游生物网内径 50cm，网口面积 0.20m^2。下网前应检查网具是否有破损，发现破损应及时修补或及时更换网衣；检查网底管的流量计是否处于正常状态，并把流量计指针拨至零；放网入水，当网口接近水面时，需调整计数器指针于零的位置；网口入水后，下网速度一般不能超过 1m/s，以钢丝绳保持紧直为准；当网具接近海底时，绞车应减速，当沉锤着底，钢丝绳出现松弛时，应立即停车，记下绳长。

②网具达到海底后可立即起网，速度保持在 0.5m/s 左右；网口未露出水面前不可停车；网口离开水面后应减速并及时停车，谨防网具碰刮船底或卡环碰撞滑轮。

③把网升至适当高度，用冲水设备自上而下反复冲洗网衣外表面（勿使冲洗的海水进入网口），使黏着于网上的标本集中于网底管内；将网收入甲板，开启网底管活门，把标本装入标本瓶，再关闭网底管活门，用洗耳球冲洗筛绢套，如此反复多次，直至残留标本全部收入标本瓶。分别加入固定剂即可。

（3）大型底栖生物

①0.05m^2 的采泥器每次取 3 次，特殊情况下不少于 2 次。

②将采集到的沉积物放入网目为 0.5mm 底栖生物分样筛内，冲掉底泥，用筛子将底泥洗净，镊子挑出底栖动物于 100mL 聚乙烯瓶中用 5%甲醛固定。

（4）潮间带生物

潮间带生物在各断面潮间带的高、中、低潮区分别采集定性样品和定量样品。定性样品在各断面周围随机采取；定量样品则用大小为 25cm×25cm 的取样框随机抛投，先拾取框内滩面上的底栖生物，再挖取至 30cm 深处内的底泥（基岩岸滩采岩石表面生物样），用 0.5mm 孔径的套筛淘洗，所获底栖生物样品用 5%的甲醛溶液固定保存，带回实验室分析、鉴定。室内分析时吸干样品表面水分，称重。

5.4.4.3 海洋生态评价方法

（1）优势度（Y）及计算方法

优势种的概念有两个方面含义，一方面指占有广泛的生境，可以利用较高的资源，具有广泛适应性，在空间分布上表现为空间出现频率（fi）较高，另一方面，表现为个

体数量（ni）庞大，丰度百分比（ni/N）较高。综合优势种概念的两个方面，得出优势种优势度（Y）的计算公式：Y=ni/N×fi（本报告规定优势度 Y≥0.02 时为优势种）。

（2）生物生态评价方法及其指数计算

①香农－威纳（Shannon—Weaner）多样性指数：

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

式中：

H′——物种多样性指数值；

S——样品中的总种数；

Pi——第 i 种的个体丰度（ni）与总丰度（N）的比值（ni/N）。

②均匀度指数

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

式中：

J′——均匀度指数值；

H′——物种多样性指数值；

S——样品中总种数。

③丰富度指数

$$d=（S-1）/\log_2 N$$

式中：

d——丰富度指数值；*S*——样品中的总种数；*N*——群落中所有物种的总丰度。

④单纯度指数

$$C=SUM（ni/N）^2$$

所有物种丰度或生物量，ni 为第 i 个物种的丰度或生物量。

（3）种类优势度（D）

采用 Simpson 物种优势度：

$$D=\sum_{i=1}^{s}(\mathrm{P}_i)^2$$

式中：

S—采泥样品中的种类总数；

Pi—第 i 种的个体数与样品中的总个体数的比值（ni/N）。

物种丰富度计算方法为物种在各站位的平均分布密度，如某站没有出现该种，则不计入。采用 PRIMER5.0 软件进行上述指数的计算。

5.4.4.4 叶绿素 a 调查结果分析

5.4.4.4.1 2024 年秋季

2024 年秋季监测结果表明，监测海域表层初级生产力变化范围为 35.2mgC/m^2·d～451mgC/m^2·d，平均值为 135mgC/m^2·d。

2024 年 10 月监测海域表层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.347μg/L～2.82μg/L，平均值为 0.737μg/L，10m 层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.347μg/L～2.10μg/L，平均值为 0.668μg/L，50m 层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.340μg/L～0.983μg/L，平均值为 0.543μg/L，底层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.407μg/L～2.16μg/L，平均值为 0.678μg/L，其中仅 1 号站位有 45m 层，叶绿素 a 含量为 0.450μg/L，6 和 15 号站位有 47m 层，叶绿素 a 含量分别为 0.510μg/L 和 0.407μg/L。

具体数据详见表 5.4-40。

5.4.4.4.2 2025 年春季

2025 春季监测结果表明，表层海水叶绿素 a 含量变化范围为 2.02μg/L～4.17μg/L，平均值为 3.05μg/L，最小值出现在 4 号站位，最大值出现在 14 号站位；10m 海水叶绿素 a 含量变化范围为 1.20μg/L～2.46μg/L，平均值为 1.98μg/L，最小值出现在 2 号站位，最大值出现在 14 号站位；50 m 海水叶绿素 a 含量变化范围为 1.33μg/L～2.34μg/L，平均值为 1.80μg/L，最小值出现在 4 号站位，最大值出现在 1 号站位；底层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.66μg/L～2.46μg/L，平均值为 1.65μg/L，最小值出现在 2 号站位，最大值出现在 28 号站位。

监测海域初级生产力变化范围为 286.6mg C·m^{-2}·d^{-1}~1115.2 mg C·m^{-2}·d^{-1}，平均值为 583.2mg C·m^{-2}·d^{-1}，最大值出现在 26 号站位，最小值出现在 19 号站位。

具体数据详见表 5.4-41。

表 5.4-40 2024 年秋季评价海域 Chl-a 浓度结果（单位：叶绿素 a（μg/L）、初级生产力(mgC/m2·d）

表 5.4-41 2025 年春季评价海域 Chl-a 浓度结果（单位：μg/L）

5.4.4.5 浮游植物调查结果分析

5.4.4.5.1 2024 年秋季

①种类组成及物种数

2024 年 10 月监测海域共检出浮游植物 46 种，隶属于硅藻门和甲藻门。其中硅藻门 40 种，占比为 87.0%；甲藻门 6 种，占比为 13.0%。

监测海域各监测站位浮游植物物种数变化范围为 9 种~23 种，平均值为 14 种，最小值出现在 4 号站位，最大值出现在 18 号站位，物种数见表 5.4-42。

表 5.4-42　2024 年 10 月监测海域各监测站位浮游植物物种数（单位：种）

②浮游植物密度及优势种

2024 年 10 月监测海域浮游植物密度变化范围为 1.97×10^4 个/m^3~21.93×10^4 个/m^3，平均值为 10.23×10^4 个/m^3，最大值出现在 19 号站位，最小值出现在 16 号站位，见表 5.4-43。

监测结果显示，监测海域浮游植物优势种有笔尖形根管藻（*Rhizosoleniastyliformis*）、柔弱几内亚藻（*Guinardiadelicatula*）、威利圆筛藻（*Coscinodiscuswailesii*）、圆筛藻（*Coscinodiscussp.*）、尖刺伪菱形藻（*Pseudo-nitzschiapungens*）、夜光藻（*Noctilucascientillans*）。第一优势种为夜光藻（*Noctilucascientillans*），优势度为 0.249。

表 5.4-43　2024 年 10 月监测海域各监测站位浮游植物密度（单位:$\times10^4$ 个/m^3）

③浮游植物多样性分析

2024 年 10 月浮游植物监测结果分析显示，监测海域浮游植物多样性指数（H’）变化范围为 0.83～2.88，平均值为 2.00，最大值出现在 2 号站位，最小值出现在 4 号站位；均匀度指数（J）变化范围为 0.29～1.00，平均值为 0.70，最大值出现在 2 号站位，最小值出现在 4 号站位；丰富度指数（D）变化范围为 0.63～1.70，平均值为 1.06，最大值出现在 18 号站位，最小值出现在 4 号站位。

表 5.4-44　2024 年 10 月监测海域各监测站位浮游植物多样性指数

5.4.4.5.2　2025 年春季

①种类组成

2025 年春季监测海域共检出浮游植物 43 种，隶属于硅藻门和甲藻门。其中硅藻门 38 种，占比为 88.4%；甲藻门 5 种，占比为 11.6%。

②浮游植物物种数及密度

2025 年春季监测结果显示，监测海域各监测站位浮游植物物种数变化范围为 4 种~17 种，平均值为 9 种，最大值出现在 18 号站位，最小值出现在 25 号站位。

监测海域浮游植物密度变化范围为 9.8×10^2 个/m^3~3.1×10^6 个/m^3，平均值为 3.0×10^5

个/m^3，最大值出现在 6 号站位，最小值出现在 7 号站位。

表 5.4-45　2025 年春季监测海域各监测站位浮游植物物种数及密度

③浮游植物优势种

监测海域浮游植物优势种有密连角毛藻（*Chaetoceros densus*）、斯托根管藻（*Rhizosolenia stolterforthii*）、圆海链藻（*Thalassiosira rotula*）。

表 5.4-46　2025 年春季监测海域浮游植物优势种及优势度

优势种		优势度
中文名	拉丁名	
密连角毛藻	*Chaetoceros densus*	0.115
斯托根管藻	*Rhizosolenia stolterforthii*	0.020
圆海链藻	*Thalassiosira rotula*	0.166

④浮游植物多样性分析

2025 年春季浮游植物监测结果分析显示，监测海域浮游植物多样性指数（*H'*）变化范围为 0.22～1.70，平均值为 0.97，最大值出现在 2 号站位，最小值出现在 9 号站位；均匀度指数（*J'*）变化范围为 0.11～0.76，平均值为 0.47，最大值出现在 25 号站位，最小值出现在 9 号站位；丰富度指数（*d*）变化范围为 0.25～1.62，平均值为 0.71，最大值出现在 18 号站位，最小值出现在 31 号站位。

表 5.4-47　2025 年春季监测海域各监测站位浮游植物多样性指数

5.4.4.6 浮游动物调查结果分析

5.4.4.6.1 2024 年秋季

①浮游动物种类组成及物种数

2024 年 10 月监测海域共检出浮游动物 46 种。其中，桡足类种类最丰富，共 14 种，占比为 30.4%；浮游幼虫共 13 种，占比为 28.3%；水母类共 7 种，占比为 15.2%；被囊类共 4 种，占比为 8.7%；枝角类和毛颚类均为 4 种，占比为 4.3%；端足类、莹虾类、磷虾类、腹足类均为 1 种，占比均为 2.2%。

监测海域各监测站位浮游动物物种数变化范围为 10 种~29 种，平均值为 19 种，最小值出现在 30 号站位，最大值出现在 12 号站位，物种数见表 5.4-48。

表 5.4-48　2024 年 10 月监测海域各监测站位浮游动物物种数（单位：种）

②浮游动物密度、生物量及优势种

2024 年 10 月监测海域浮游动物密度变化范围为 29.08 个/m^3~1482.53 个/m^3，平均值为 501.37 个/m^3，最大值出现在 14 号站位，最小值出现在 28 号站位；浮游动物生物

量变化范围为 8.47mg/m^3~876.69mg/m^3，平均值为 296.88mg/m^3，最大值出现在 14 号站位，最小值出现在 28 号站位。结果见表 5.4-49。

监测海域浮游动物优势种有五角水母（*Muggiaeaatlantica*）、中华哲水蚤（*Calanussinicus*）、太平洋纺锤水蚤（*Acartiapacifica*）、鸟喙尖头溞（*Peniliaavirostris*）、强壮箭虫（*Sagittacrassa*）、异体住囊虫（*Oikopleuradioica*）、小齿海樽（*Doliolumdenticulatum*）、软拟海樽（*Doliolettagegenbauri*）。第一优势种为五角水母（*Muggiaeaatlantica*），优势度为 0.230。

表 5.4-49　秋季监测各站浮游动物密度和生物量统计表

③浮游动物生物多样性

2024 年 10 月浮游动物监测结果分析显示，监测海域浮游动物多样性指数（H’）变化范围为 0.16～2.47，平均值为 1.50，最大值出现在 6 号站位，最小值出现在 1 号站位；均匀度指数（J）变化范围为 0.06～1.00，平均值为 0.61，最大值出现在 6 号站位，最小值出现在 1 号站位；丰富度指数（D）变化范围为 1.23～3.22，平均值为 2.28，最大值出现在 12 号站位，最小值出现在 21 号站位，见表 5.4-50。

表 5.4-50　秋季监测海域各站位浮游动物多样性指数

5.4.4.6.2 2025 年春季

①种类组成

2025 年春季监测海域共检出浮游动物 36 种。包括桡足类、浮游幼体、水母类、毛颚类、磷虾类、糠虾类、端足类、枝角类、被囊类、仔稚鱼、鱼卵共 11 个类别。其中，桡足类和浮游幼体种类最丰富，均为 9 种，占比均为 25.0%；水母类共 7 种，占比为 19.4%；毛颚类、磷虾类、糠虾类均为 2 种，占比均为 5.6%；端足类、枝角类、被囊类、仔稚鱼、鱼卵均为 1 种，占比均为 2.8%。

②浮游动物物种数、密度和生物量

2025 年春季浮游动物监测结果显示，监测海域各监测站位浮游动物物种数变化范围为 3 种~17 种，平均值为 12 种，最大值出现在 31 号站位，最小值出现在 30 号站位。

监测海域浮游动物密度变化范围为 7.6 个/m^3~2866.4 个/m^3，平均值为 966.8 个/m^3，最大值出现在 6 号站位，最小值出现在 30 号站位；浮游动物生物量变化范围为 40.2mg/m^3~1.33×10^{4}mg/m^3，平均值为 958mg/m^3，最大值出现在 30 号站位，最小值出现在 28 号站位。

表 5.4-51　2025 年春季监测海域各监测站位浮游动物物种数、密度和生物量

③浮游动物优势种

监测结果显示，监测海域浮游动物优势种有中华哲水蚤（*Calanus sinicus*）、腹针胸刺水蚤（*Centropages abdominalis*）、洪氏纺锤水蚤（*Acartia (Acartiura) hongi*）、桡足类幼体（Copepoda larva）、异体住囊虫（*Oikopleura dioica*）。

表 5.4-52　2025 年春季监测海域浮游动物优势种及优势度

优势种		优势度
中文名	拉丁名	
中华哲水蚤	*Calanus sinicus*	0.423
腹针胸刺水蚤	*Centropages abdominalis*	0.410
洪氏纺锤水蚤	*Acartia (Acartiura) hongi*	0.033
桡足类幼体	Copepoda larva	0.028
异体住囊虫	*Oikopleura dioica*	0.080

④浮游动物多样性分析

2025 年春季浮游动物监测结果分析显示，监测海域浮游动物多样性指数（*H'*）变化范围为 0.89～1.61，平均值为 1.14，最大值出现在 31 号站位，最小值出现在 16 号站位；均匀度指数（*J'*）变化范围为 0.35～0.86，平均值为 0.48，最大值出现在 30 号站位，最小值出现在 16 号站位；丰富度指数（*d*）变化范围为 0.89～2.72，平均值为 1.40，最大值出现在 31 号站位，最小值出现在 18 号站位。

表 5.4-53　2025 年春季监测海域各监测站位浮游动物多样性指数

5.4.4.7 底栖生物调查结果分析

5.4.4.7.1　2024 年秋季

①种类组成及物种数

2024 年 10 月监测海域共检出大型底栖生物 57 种，其中，多毛类种类最丰富，共 27 种，占比为 47.4%；甲壳类共 14 种，占比为 24.6%；软体动物共 13 种，占比为 22.8%；棘皮动物、扁形动物、纽形动物均为 1 种，占比均为 1.8%。

监测海域各监测站位大型底栖生物物种数变化范围为 6 种~18 种，平均值为 12 种，最小值出现在 14 号站位，最大值出现在 9 号站位，物种数见表 5.4-54。

表 5.4-54　2024 年 10 月监测海域各监测站位大型底栖生物物种数（单位：种）

②底栖生物密度、生物量及优势种

2024 年 10 月监测海域大型底栖生物密度变化范围为 130.00 个/m^2~680.00 个/m^2，

平均值为 387.00 个/m^2，最大值出现在 25 号站位，最小值出现在 14 号站位；大型底栖生物生物量变化范围为 2.12g/m^2~220.09g/m^2，平均值为 39.21g/m^2，最大值出现在 9 号站位，最小值出现在 30 号站位。见表 5.4-55。

监测海域大型底栖生物优势种有薄壳索足蛤（*Thyasiratokunagai*）、光滑河篮蛤（*Potamocorbulalaevis*）、内肋蛤（*Endopleuralubrica*）、日本角吻沙蚕（*Goniadajaponica*）、丝异须虫（*Heteromastusfiliformis*）、掌鳃索沙蚕（*Ninoepalmata*）、指节扇毛虫（*Amphareteanobothrusiformis*）。第一优势种为掌鳃索沙蚕（*Ninoepalmata*），优势度为 0.133。

表 5.4-55　秋季监测底栖生物密度和生物量统计表

③底栖生物生物多样性

2024 年 10 月监测结果分析显示，监测海域大型底栖生物多样性指数（H’）变化范围为 1.58～2.48，平均值为 2.09，最大值出现在 4 号站位，最小值出现在 18 号站位；均匀度指数（J）变化范围为 0.68～0.98，平均值为 0.86，最大值出现在 1 和 2 号站位，最小值出现在 18 号站位；丰富度指数（D）变化范围为 1.95～4.39，平均值为 3.02，最大值出现在 9 号站位，最小值出现在 14 号站位。

表 5.4-56　秋季监测海域各站位底栖生物生物多样性指数统计表

5.4.4.7.2　2025 年春季

①种类组成

2025 年春季监测海域共检出大型底栖生物 80 种，包括节肢动物、环节动物、软体动物、刺胞动物、棘皮动物、纽形动物共 6 个类别。其中，环节动物种类最丰富，共 32 种，占比为 40.0%；软体动物共 22 种，占比为 27.5%；节肢动物共 21 种，占比为 26.3%；刺胞动物、棘皮动物均为 2 种，占比均为 2.5%；纽形动物共 1 种，占比为 1.3%。

②大型底栖生物物种数、密度和生物量

监测结果显示，监测海域各监测站位大型底栖生物物种数变化范围为 2 种~26 种，平均值为 13 种，最大值出现在 12 号站位，最小值出现在 30 号站位。

监测海域大型底栖生物密度变化范围为 20.0 个/m^2~2740.0 个/m^2，平均值为 739.5 个/m^2，最大值出现在 9 号站位，最小值出现在 30 号站位；大型底栖生物生物量变化范围为 1.56 g/m^2~126g/m^2，平均值为 31.7 g/m^2，最大值出现在 16 号站位，最小值出现在 32 号站位。

表 5.4-57　2025 年春季监测海域各监测站位大型底栖生物物种数、密度和生物量

③大型底栖生物优势种

监测结果显示，监测海域大型底栖生物优势种有日本角吻沙蚕（*Goniada japonica*）、角海蛹（*Ophelina acuminate*）、薄壳索足蛤（*Thyasira tokunagai*）。

表 5.4-58　2025 年春季监测海域大型底栖生物优势种及优势度

优势种		优势度
中文名	拉丁名	
日本角吻沙蚕	*Goniada japonica*	0.037
角海蛹	*Ophelina acuminate*	0.020
薄壳索足蛤	*Thyasira tokunagai*	0.095

④大型底栖生物多样性分析

2025 年春季监测结果分析显示，监测海域大型底栖生物多样性指数（*H'*）变化范围为 0.69～2.80，平均值为 1.97，最大值出现在 12 号站位，最小值出现在 30 号站位；均匀度指数（*J'*）变化范围为 0.38～1.00，平均值为 0.84，最大值出现在 30、31、33 号站位，最小值出现在 16 号站位；丰富度指数（*d*）变化范围为 1.44～5.37，平均值为 3.15，最大值出现在 12 号站位，最小值出现在 30 号站位。

表 5.4-59　2025 年春季监测海域各监测站位大型底栖生物多样性指数

5.4.4.8 潮间带生物调查结果分析

5.4.4.8.1　2024 年秋季

①种类组成及物种数

2024 年 10 月监测海域潮间带生物样品定量分析共检出潮间带生物 81 种，其中软体动物种类最丰富，共 35 种，占比为 43.2%；多毛类共 25 种，占比为 30.9%；甲壳类共 16 种，占比为 19.8%；腔肠动物共 2 种，占比为 2.5%；扁形动物、纽形动物、鱼类均为 1 种，占比均为 1.2%。

各监测站位潮间带生物物种数变化范围为 2 种~28 种，平均值为 11 种。最小值出现在 C2－高潮站位，最大值出现在 C1-中潮站位，物种数见表 5.4-60。

表 5.4-60　2024 年 10 月各监测站位潮间带生物物种数（单位：种）

②潮间带生物密度、生物量及优势种

2024 年 10 月监测海域潮间带生物密度变化范围为 128.00 个/m^2~4492.00 个/m^2，平均值为 1053.78 个/m^2，最大值出现在 C1－高潮站位，最小值出现在 C3-低潮站位；潮间带生物生物量变化范围为 53.69g/m^2~1377.53g/m^2，平均值为 331.28g/m^2，最大值出现

在 C1-中潮站位，最小值出现在 C3-高潮站位，见表 5.4-61。监测海域潮间带生物优势种有短滨螺（*Littorinabrevicula*）、东方小藤壶（*Chthamaluschallengeri*）。

表 5.4-61　秋季监测各站潮间带生物密度和生物量统计表

③潮间带生物多样性

2024 年 10 月监测结果分析显示，监测海域潮间带生物多样性指数（H’）变化范围为 0.24～2.89，平均值为 1.54，最大值出现在 C2－低潮站位，最小值出现在 C2－高潮站位；均匀度指数（J）变化范围为 0.34～0.90，平均值为 0.68，最大值出现在 C2－低潮站位，最小值出现在 C2－高潮站位；丰富度指数（D）变化范围为 0.24～5.01，平均值为 2.36，最大值出现在 C1－低潮站位，最小值出现在 C2－高潮站位，见表 5.4-62。

表 5.4-62　秋季监测各站潮间带生物多样性指数统计表

5.4.4.8.2　2025 年春季

①种类组成

2025 年春季监测海域共检出潮间带生物 63 种（种名录见附录），包括腔肠动物、扁形动物、纽形动物、多毛类、软体动物、甲壳类、鱼类共 7 个类别。其中，软体动物种类最丰富，共 24 种，占比为 38.1%；多毛类共 20 种，占比为 31.7%；甲壳类共 14 种，占比为 22.2%；腔肠动物共 2 种，占比为 3.2%；扁形动物、纽形动物、鱼类均为 1 种，占比均为 1.6%。

②潮间带生物密度、生物量及优势种

2025 年春季潮间带生物监测结果显示，监测海域潮间带生物物种数变化范围为 15 种~41 种，平均值为 32 种，最大值出现在 C1 断面，最小值出现在 C3 断面；潮间带生物密度变化范围为 1740.0 个/m^2~8080.0 个/m^2，平均值为 4401.3 个/m^2，最大值出现在 C1 断面，最小值出现在 C3 断面；潮间带生物生物量变化范围为 568 g/m^2~1.64×10^3g/m^2，平均值为 1.26×10^3g/m^2，最大值出现在 C2 断面，最小值出现在 C3 断面。

表 5.4-63　春季监测各站潮间带生物物种数、密度和生物量统计表

③潮间带生物优势种

监测结果显示，监测海域潮间带生物优势种有波部豆滨螺（*Peasiella habei*）、短滨螺（*Littorina brevicula*）、小结节滨螺（*Nodilittorina exigua*）、白脊管藤壶（*Fistulobalanus albicostatus*）、朝鲜马耳他钩虾（*Melita koreana*）、东方小藤壶（*Chthamalus challengeri*）。

表 5.4-64　春季监测海域潮间带生物优势种及优势度

④潮间带生物多样性

2025 年春季监测结果分析显示，监测海域潮间带生物的生物多样性指数（*H′*）变化范围为 2.01～2.64，平均值为 2.43，最大值出现在 C2 断面，最小值出现在 C3 断面；均匀度指数（*J′*）变化范围为 0.71～0.74，平均值为 0.72，最大值出现在 C3 断面，最小值出现在 C1 断面；丰富度指数（*d*）变化范围为 2.49～5.81，平均值为 4.65，最大值出现在 C2 断面，最小值出现在 C3 断面。

表 5.4-65　春季监测各站潮间带生物多样性指数统计表

5.4.5 渔业资源现状调查与评价

渔业资源现状调查与评价引自《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目 2024 年秋季渔业资源现状调查报告》（鲁东大学滨海生态高等研究院，2024 年 12 月）和《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目春季海洋环境监测报告》（青岛恒海盛海洋科技有限公司，2025 年 7 月）。

鲁东大学滨海生态高等研究院于 2024 年 10 月 11 日至 10 月 15 日在项目海区进行的调查，布设 17 个渔业资源调查站位，评价范围内调查站位数量满足导则要求，站位见表 5.4-67、图 5.4-6。

青岛恒海盛海洋科技有限公司于 2025 年 4 月 3 日、4 日、9 日和 10 日（春季）对项目附近海域进行了渔业资源现状调查，渔业资源站位 20 个。评价范围内调查站位数量满足导则要求。春季调查站位设置如表 5.4-3 和图 5.4-2 所示。

表 5.4-66　渔业资源调查站位符合性一览表

序号	调查航次	站位总数量	评价范围内站位数量	导则要求	符合性
1	2024 年秋季	17	12	10	符合
2	2025 年春季	20	15	10	符合

图 5.4-6　2024 年秋季渔业资源调查站位图

表 5.4-67　2024 年秋季渔业资源调查站位坐标

站位	经度	纬度
1		
2		
4		
6		
7		
9		
12		
14		
15		
16		
18		
19		

站位	经度	纬度
21		
23		
25		
26		
28		

5.4.5.1 调查项目与分析方法

（1）调查项目

调查内容包括鱼卵、仔稚鱼种类组成、数量分布及资源密度。利用单船底拖网进行渔业资源现场调查，分析渔获物种类组成、渔获物（重量、尾数）分类群组成、资源密度（重量、尾数）、渔获物优势种、多样性分析和幼体比例。

（2）分析方法

渔业资源采样及样品分析均按《海洋调查规范》（GB/T 12763.6-2007）和《海洋渔业资源调查规范》（SC/T 9403-2012）进行。鱼类种类名称及分类地位以《海洋生物分类代码（GB/T 17826-1999）》和《中国海洋生物名录》为依据。调查船只功率为 180kW，调查网具为单船底拖网，网长 55m，囊网网目 860 目。拖曳时，网口宽度约 35m。每站拖曳 1h，平均拖速 3kn。渔获物现场分类并记录种类，样本冰冻保存带回实验室详细测定生物学数据。经济性游泳动物生物学测定采用随机取样法收集各种类的样品，超过 20ind.的种类，随机抽取 20ind.进行生物学测定，不足 20ind.则测定全部样品，生物学测定内容包括体长、体重、性别等生物学特性。依据调查海域物种分布和经济种类等情况，本次调查海域渔获物主要分为鱼类、虾类、蟹类和头足类 4 大类群进行分别描述。

鱼卵、仔稚鱼是鱼类资源进行补充和可持续利用的基础，在鱼类生命周期中数量最大、对环境的抵御能力最弱，是死亡最多的敏感发育阶段，这期间在形态学、生理学和生态学等特性方面均发生很大的变化，其孵化和成活率的高低、残存量的多寡将决定鱼类世代的发生量，即补充群体资源量的密度。

鱼卵、仔鱼调查根据《海洋调查规范第 6 部分：海洋生物调查》（GB12763.6）的有关要求执行。定量样品采集使用浅水 I 型浮游生物网（口径 50cm，长 145cm）自底至表垂直取样，定性样品采集使用大型浮游生物网（口径 80cm，长 280cm）表层水平拖网 10min，拖网速度 2kn。采集的样品经 5%甲醛海水溶液固定保存后，在实验室进行样品分类鉴定和计数。

按《海洋调查规范第 6 部分：海洋生物调查》（GB/T12763.6）、《海洋水产资源调查手册》和《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》的相关规定执行。渔业资源拖网调查所用网具为单拖底拖网，网口 900 目，网目尺寸 56，网口周长 78.4m，囊网网

目 10mm。每点拖曳 1h，平均拖速 2kn。拖曳时，网口高度 3m，网口宽度约 8m。渔获物在实验室鉴定种类，并按种类记录重量、尾数等数据。鉴定后，用感量为 0.01g 电子天平称重。渔业资源使用标准化之后的相对资源密度计算，按照每点拖曳 1h，平均拖速 2kn 进行标准化处理。

鱼卵、仔稚鱼调查根据《海洋调查规范第 6 部分：海洋生物调查》（GB12763.6-2007），采用大型浮游生物网（网口内径 80cm，网长 280cm，网目直径 0.507mm）表层水平拖网，每站拖网 10min，拖速 2.5 节左右。采集到的样品用体积分数为 5%的福尔马林溶液固定保存，样品的室内分析处理均按《海洋调查规范》中规定的方法进行。实验室镜检将鱼卵、仔稚鱼挑出，根据其形态特征，进行分类鉴定、计数。

5.4.5.2 游泳动物调查结果与评价

5.4.5.2.1 2024 年秋季

①种类组成

本次调查共捕获渔业资源种类 43 种，其中，鱼类 25 种，占总种类数的 58.14%；虾类 7 种，占 16.28%；蟹类 7 种，占 16.28%；头足类 4 种，占 9.30%（表 5.4-68）。

各站位渔获种类分布平均为 14.24 种/站，分布范围在 10～19 种之间，最高值出现在 15 和 25 号站位，最低值出现在 12 号站位。

表 5.4-68　2024 年秋季游泳动物种类组成

②渔获物（重量、尾数）分类群组成

按重量计算，本次调查鱼类占 88.31%，虾类占 5.76%，蟹类占 4.28%，头足类占 1.65%。按数量计算，本次调查鱼类占 56.69%，虾类占 31.07%，蟹类占 8.49%，头足类占 0.75%。

A．鱼类

拖网渔获物中共捕获鱼类25种，其重量组成为：细纹狮子鱼36.87%、白姑鱼10.80%、绵鰧9.30%、高眼鲽8.87%、矛尾虾虎鱼8.83%、黄鲛鳚8.49%、鲬7.83%、绿鳍鱼3.98%和绒杜父鱼1.16%，重量组成占5%以上的7种鱼类合计占鱼类总渔获量的90.99%；尾数组成为：矛尾虾虎鱼49.06%、白姑鱼20.02%、绵鰧10.20%、高眼鲽5.61%、鲬3.23%、细纹狮子鱼2.62%、多鳞鳙2.10%、细条天竺鲷1.45%和绿鳍鱼1.22%，数量组成占5%以上的4种鱼合计占鱼类总渔获量的84.89%。

B．虾类

拖网渔获物中共捕获虾类 7 种，其重量组成为：鹰爪虾 63.31%、口虾蛄 26.02%、脊腹褐虾 3.98%、日本鼓虾 3.72%、鲜明鼓虾 2.43%、葛氏长臂虾 0.52%和红条鞭腕虾 0.02%，重量组成占 5%以上的 2 种虾类合计占虾类总渔获量的 89.33%；尾数组成为：鹰爪虾 66.04%、口虾蛄 13.48%、日本鼓虾 9.52%、脊腹褐虾 4.31%、鲜明鼓虾 4.04%、葛氏长臂虾 2.52%和红条鞭腕虾 0.09%，数量组成占 5%以上的 3 种虾类合计占虾类总渔获量的 89.04%。

C．蟹类

拖网渔获物中共捕获蟹类 7 种，其重量组成为：日本蟳 28.71%、三疣梭子蟹 19.96%、泥脚隆背蟹 16.99%、枯瘦突眼蟹 14.06%、双斑蟳 10.37%、艾氏活额寄居蟹 8.95%和隆线强蟹 0.95%，重量组成占 5%以上的 6 种蟹类合计占蟹类总渔获量的 99.05%；尾数组成为：双斑蟳 35.53%、泥脚隆背蟹 26.64%、日本蟳 17.76%、艾氏活额寄居蟹 5.59%、隆线强蟹 5.59%、三疣梭子蟹 4.61%和枯瘦突眼蟹 4.28%，数量组成占 5%以上的 5 种蟹类合计占蟹类总渔获量的 91.12%。

D．头足类

拖网渔获物中共捕获头足类 4 种，其重量组成为：长蛸 62.71%、短蛸 36.54%、日本枪乌贼 0.70%和双喙耳乌贼 0.06%；尾数组成为：短蛸 66.67%、长蛸 18.52%、日本枪乌贼 11.11%和双喙耳乌贼 3.70%。

③渔获物（重量、尾数）平面分布

拖网平均渔获重量为 3.88kg/h，渔获重量最高站位为 9 号站（10.03kg/h），渔获重量最低站位为 16 号站（0.96kg/h）。渔获重量在 1.00~10.00kg/h 的站位 15 个，仅 1 个站位渔获重量小于 1.00kg/h（表 5.4-69）。

拖网平均渔获尾数为 210.71ind./h，渔获尾数最高站位为 25 号站（815ind./h），最低渔获尾数站位为 1 号和 2 号站（44ind./h）。渔获尾数大于 500ind./h 的站位 2 个，渔获尾数在 200~500ind./h 的站位 4 个，其余 11 个站位渔获尾数低于 200ind./h（表 5.4-69）。

图 5.4-7　渔获重量分布图

图 5.4-8　渔获数量分布图

表 5.4-69　渔获量统计表

A．鱼类

拖网中鱼类渔获重量平均为 3.43kg/h，其中 9 号站最高为 9.64kg/h，23 号站最低为

0.85kg/h。拖网中鱼类渔获尾数平均为 125.76ind./h，以 28 号站最高为 424ind./h，2 号站最低为 17ind./h.。

B．虾类

拖网中虾类渔获重量平均为 0.22kg/h，以 25 号站最高为 1.08kg/h，1 号、2 号、12 号站最低为 0.01kg/h。拖网中虾类渔获尾数平均为 65.47ind./h，以 25 号站最高为 388ind./h，12 号站最低为 1ind./h。

C．蟹类

拖网中蟹类渔获重量平均为 0.17kg/h，2 号站最高为 0.54kg/h，12 号站位最低为 0.02kg/h。拖网中蟹类渔获尾数平均为 17.88ind./h，以 19 号站最高为 62ind./h，28 号站位最低为 1ind./h。

D．头足类

拖网中头足类渔获重量平均为 0.06kg/h，其中，以 23 号站最高为 0.44kg/h，1 号、2 号、6 号、7 号、9 号、12 号、14 号、16 号、18 号站最低为 0kg/h。拖网中头足类渔获尾数平均为 1.59ind./h，以 25 号站最高为 6ind./h，1 号、2 号、6 号、7 号、9 号、12 号、14 号、16 号、18 号站最低为 0ind./h。

④资源密度（重量、尾数）

根据扫海面积法计算，调查海域渔业资源密度（重量、尾数）中，重量和尾数密度均值分别为 383.87kg/km^2 和 23.70（10^3ind./km^2）。资源重量密度与资源尾数密度分布不均匀，重量密度以 9 号站最高为 940.13kg/km^2，16 号站最低为 117.02kg/km^2。资源尾数密度最大值出现在 25 号站位为 89.39（10^3ind./km^2），最小值出现在 2 号站位，为 4.16（10^3ind./km^2），见表 5.4-70。

图 5.4-9　游泳动物资源重量密度分布图

图 5.4-10　游泳动物资源尾数密度分布图

表 5.4-70　调查海域游泳动物资源密度

A．鱼类

调查海域鱼类平均资源重量密度为 333.73kg/km^2，以细纹狮子鱼最高为 215.98kg/km^2，以尖海龙最低为 0.06kg/km^2；鱼类平均资源尾数密度为 12.88（10^3ind./km^2），以矛尾虾虎鱼最高为 5.65（10^3ind./km^2），以许氏平鲉和长蛇鳚最低为 0.09（10^3ind./km^2），见表 5.4-71。

表 5.4-71　调查海域秋季鱼类平均资源密度

B．虾类

调查海域虾类平均资源重量密度为 29.41kg/km^2，以鹰爪虾最高为 23.45kg/km^2，以红条鞭腕虾最低为 0.12kg/km^2；虾类平均资源尾数密度为 9.06（10^3ind./km^2），以鹰爪虾最高为 7.16（10^3ind./km^2），以红条鞭腕虾最低为 0.15（10^3ind./km^2），见表 5.4-72。

表 5.4-72　调查海域虾类平均资源密度表

C．蟹类

调查海域蟹类平均资源重量密度为 14.87kg/km^2，以枯瘦突眼蟹最高为 8.75kg/km^2，以隆线强蟹最低为 1.20kg/km^2；蟹类平均资源尾数密度为 1.60（10^3ind./km^2），以双斑蟳最高为 2.41（10^3ind./km^2），以三疣梭子蟹最低为 0.18（10^3ind./km^2），见表 5.4-73。

表 5.4-73　调查海域蟹类平均资源密度

D．头足类

调查海域头足类平均资源重量密度为 12.45kg/km^2，以长蛸最高为 20.64kg/km^2，以双喙耳乌贼最低为 0.09kg/km^2；头足类平均资源尾数密度为 0.33（10^3ind./km^2），以短蛸最高为 0.28（10^3ind./km^2），以日本枪乌贼和双喙耳乌贼最低为 0.14（10^3ind./km^2），见表 5.4-74。

表 5.4-74　调查海域头足类平均资源密度

⑤渔获物优势种

拖网调查优势种有 4 种，依次为矛尾虾虎鱼、白姑鱼、鹰爪虾和细纹狮子鱼，占总渔获重量的 53.54%，占总渔获尾数的 63.32%；重要种有 10 种，依次为绵鳚、高眼鲽、鲬、黄鲛鳚、口虾蛄、日本蟳、多鳞鳙、绿鳍鱼、日本鼓虾和泥脚隆背蟹，占总渔获重量的 38.42%，占总渔获尾数的 24.57%；常见种有 14 种，占总渔获重量的 6.98%，占总渔获尾数的 10.22%；剩下的 15 种为少见种，占总渔获重量的 1.06%，占总渔获尾数的 1.90%。

⑥多样性指数

调查海域游泳动物种类多样性指数平均为 1.93，变化范围为 1.20～2.32；物种均匀度指数平均为0.74，变化范围为0.47～0.90；物种丰富度指数平均为2.66，变化范围1.82～3.40（表 5.4-75）。

图 5.4-11　游泳动物物种多样性指数分布图

图 5.4-12　游泳动物物种丰富度指数分布图

图 5.4-13　游泳动物物种均匀度指数分布图
表 5.4-75　游泳动物生物多样性指数统计表

⑦幼体比例

2024 年秋季调查期间共捕获鱼类 25 种，根据渔获物分析，秋季航次调查中鱼类幼体总生物量占鱼类总生物量的 8.93%，鱼类幼体总尾数占鱼类总尾数的 43.17%，因此鱼类幼体平均渔获量为 306.16g/h、54.29ind./h，经换算鱼类幼体资源密度均值为 35.97kg/km^2、5.95（10^3ind./km^2）。

2024 年秋季调查期间共捕获虾类 7 种，根据渔获物分析，秋季航次调查中虾类幼体总生物量占虾类总生物量的 9.79%，虾类幼体总尾数占虾类总尾数的 16.98%，因此虾类幼体平均渔获量为 21.89g/h、11.12ind./h，经换算虾类幼体绝对资源密度均值为 2.22kg/km^2、1.36（10^3ind./km^2）。

2024 年秋季调查期间共捕获蟹类 7 种，根据渔获物分析，秋季航次调查中蟹类幼体总生物量占蟹类总生物量的 8.42%，蟹类幼体总尾数占蟹类总尾数的 26.64%，因此蟹类幼体平均渔获量为 13.98g/h、4.76ind./h，经换算蟹类幼体绝对资源密度均值为 1.25kg/km^2、0.43（10^3ind./km^2）。

2024 年秋季期间共捕获头足类 4 种，根据渔获物分析，秋季航次调查中头足类幼体总生物量占头足类总生物量的 1.11%，头足类幼体总尾数占头足类总尾数的 14.81%，因此头足类幼体平均渔获量为 1.51g/h、0.50ind./h，经换算头足类幼体绝对资源密度均值为 0.17kg/km^2、0.07（10^3ind./km^2）。

5.4.5.2.2 2025 年春季

①游泳动物种类组成

2025 年春季调查海域共捕获游泳动物 45 种（种名录见附录），总尾数为 21121ind，总重量为 172.52kg。

鱼类种类最丰富，共 26 种，占比为 57.8%；虾类共 7 种，占比为 15.6%；蟹类共 8 种，占比为 17.8%；头足类共 4 种，占比均为 8.9%。

②渔获量

2025 年春季调查海域各调查站位的渔获物尾数范围为 37.00ind/h~3517.00ind/h，平

均值为 1056.05ind/h，最大值出现在 21 号站位，最小值出现在 9 号站位；渔获物重量范围为 2.80 kg/h~18.19kg/h，平均值为 8.63kg/h，最大值出现在 28 号站位，最小值出现在 4 号站位。

表 5.4-76　2025 年春季调查海域各站位渔获量

渔获物以鱼类为主。鱼类的尾数占比为 71.9%，虾类的尾数占比为 24.3%，蟹类的尾数占比为 0.4%，头足类的尾数占比为 3.4%。鱼类的重量占比为 83.7%，虾类的重量占比为 7.6%，蟹类的重量占比为 0.5%，头足类的重量占比为 8.2%。

表 5.4-77　2025 年春季调查海域游泳动物重量、尾数及其占比

A.鱼类

2025 年春季调查海域鱼类渔获尾数变化范围为 13.00ind/h~2664.00ind/h，平均值为 759.25ind/h，最大值出现在 21 号站位，最小值出现在 4 号站位；渔获重量变化范围为 2.18kg/h~13.73kg/h，平均值为 7.22kg/h，最大值出现在 23 号站位，最小值出现在 4 号站位。

B.虾类

2025 年春季调查海域 2、4、12 号站位未捕获虾类。虾类渔获尾数最大值为 976.00ind/h，出现在 26 号站位；渔获重量最大值为 2.57kg/h，出现在 28 号站位。

C.蟹类

2025 年春季调查海域 4、7、12、14、16 号站位未捕获蟹类。蟹类渔获尾数最大值为 14.00ind/h，出现在 26 号站位；渔获重量最大值为 0.24kg/h，出现在 18 号站位。

D.头足类

2025 年春季调查海域 6、9、14、14、19 号站位未捕获头足类。头足类渔获尾数最大值为 94.00ind/h，出现在 23 号站位；渔获重量最大值为 2.41kg/h，出现在 28 号站位。

③渔业资源密度

2025 年春季调查海域渔业资源尾数密度的变化范围为 1120.31ind/km^2~78469.92ind/km^2，平均值为 25141.13ind/km^2，最大值出现在 21 号站位，最小值出现在 9 号站位；重量密度的变化范围为 91.34kg/km^2~488.11kg/km^2，平均值为 232.72kg/km^2，最大值出现在 28 号站位，最小值出现在 4 号站位。

表 5.4-78　2025 年春季调查海域各站位渔业资源密度

A.鱼类

调查结果显示，2025 年春季调查海域鱼类尾数密度的变化范围为 401.05ind/km^2~58857.89ind/km^2，平均值为 17921.27ind/km^2，最大值出现在 21 号站位，最小值出现在 4 号站位；重量密度的变化范围为 69.43kg/km^2~332.45kg/km^2，平均值为 191.43kg/km^2，最大值出现在 28 号站位，最小值出现在 4 号站位。

B.虾类

2025 年春季调查海域 2、4、12 号站位未捕获虾类。虾类尾数密度的最大值为 22707.53ind/km^2，出现在 28 号站位；重量密度的最大值为 62.12kg/km^2，出现在 28 号站位。

C.蟹类

2025 年春季调查海域 4、7、12、14、16 号站位未捕获蟹类。蟹类尾数密度的最大值为 315.32ind/km^2，出现在 26 号站位；重量密度的最大值为 5.02kg/km^2，出现在 18 号站位。

D.头足类

2025 年春季调查海域 6、9、14、14、19 号站位未捕获头足类。头足类尾数密度的最大值为 3504.19ind/km^2，出现在 23 号站位；重量密度的最大值为 92.95kg/km^2，出现在 28 号站位。

④游泳动物优势种及 IRI 指数

调查海域游泳动物优势种共有 3 种，分别为绵鰕虎鱼、六丝钝尾虾虎鱼、日本褐虾，相对重要性指数及渔获量见表 5.4-79。

表 5.4-79　2025 年春季调查海域游泳动物优势种及其渔获量、IRI 指数

鱼类中优势种有绵鰕虎鱼、六丝钝尾虾虎鱼、普氏僵虾虎鱼，虾类中优势种有口虾蛄、日本鼓虾、日本褐虾，蟹类中优势种有双斑蟳、大寄居蟹，头足类中优势种有短蛸、日本枪乌贼、双喙耳乌贼。

⑤游泳动物多样性分析

2025 年春季调查结果显示，调查海域游泳动物多样性指数（*H'*）变化范围为 0.36～1.71，平均值为 1.38，最大值出现在 25 号站位，最小值出现在 14 号站位；均匀度指数（*J'*）变化范围为 0.18～0.66，平均值为 0.52，最大值出现在 9 号站位，最小值出现在 14 号站位；丰富度指数（*d*）变化范围为 1.21～3.47，平均值为 2.45，最大值出现在 32、

33 号站位，最小值出现在 14 号站位。

表 5.4-80　2025 年春季调查海域各调查站位游泳动物多样性指数

5.4.5.3 鱼卵、仔稚鱼调查结果与评价

5.4.5.3.1　2024 年秋季

①种类组成

鱼卵、仔稚鱼在定性分析中，共采集到 283ind.鱼卵和 9ind.仔稚鱼样品。其中鱼卵隶属于 3 目 4 科 5 属，分别为细条天竺鲷、鳀、青鳞小沙丁鱼、斑鰶、带纹条鳎；仔稚鱼隶属于 1 目 1 科 1 属，为鳀。（表 5.4-81）。

表 5.4-81　鱼卵、仔稚鱼定性调查种类组成表

鱼卵、仔稚鱼定量调查中，共采集到 55ind.鱼卵和 16ind.仔稚鱼样品。其中鱼卵隶属于 2 目 4 科 4 属，分别为细条天竺鲷、鳀、青鳞小沙丁鱼、小黄鱼；仔稚鱼隶属于 2 目 2 科 2 属，分别为鳀、银汉鱼。

表 5.4-82　鱼卵仔稚鱼定量调查种类组成表

②数量分布

调查海域平均鱼卵数量 3.24ind.，鱼卵数量最高站位为 2 号站，为 25ind.。调查海域平均仔稚鱼数量 0.94ind.，仔稚鱼数量最高站位为 1 号站，为 12ind.，见表 5.4-83、图 5.4-14。

图 5.4-14　鱼卵数量平面分布图

图 5.4-15　仔稚鱼数量平面分布图
表 5.4-83　鱼卵仔稚鱼数量分布表

③资源密度

秋季调查海域鱼卵的资源密度均值为 0.36ind./m^3。其中，鱼卵资源密度最高的为 2 站位 2.38ind./m^3，秋季调查海域仔稚鱼的资源密度均值为 0.12ind./m^3。其中，仔稚鱼资源密度最高的为 1 站位 1.24ind./m^3，见图 5.4-16、图 5.4-17 和表 5.4-84。

图 5.4-16　秋季鱼卵资源密度分布图

图 5.4-17　秋季仔稚鱼资源密度分布图
表 5.4-84　秋季鱼卵、仔稚鱼资源密度统计表

5.4.5.3.2 2025 年春季

①鱼卵和仔、稚鱼种类组成

2025 年春季监测海域鱼卵和仔、稚鱼定量调查和定性调查种名录见表 5.4-85 和表 5.4-86。

表 5.4-85 监测海域鱼卵和仔、稚鱼种名录（定量）

表 5.4-86 监测海域鱼卵和仔、稚鱼种名录（定性）

定量调查共捕获鱼卵 1 种，仔、稚鱼 1 种；定性调查共捕获鱼卵 1 种，仔、稚鱼 3 种。捕获鱼卵和仔、稚鱼物种及分布情况见表 5.4-87 和

表 5.4-88。

表 5.4-87 2025 年春季定量调查站位鱼卵和仔、稚鱼种类及数量（ind/m^3）

表 5.4-88 2025 年春季定性调查站位鱼卵和仔、稚鱼种类及数量（ind/网）

②鱼卵和仔、稚鱼资源密度

2025 年春季鱼卵和仔、稚鱼定量分析结果显示，调查海域除 12、15 号站位之外，其余站位均未捕获鱼卵，捕获鱼卵的平均值为 0.22ind/m^3，鱼卵密度最大值为 2.33ind/m^3，出现在 12 号站位；除 7、12、16、23 号站位之外，其余站位均未捕获仔、稚鱼，捕获仔、稚鱼的平均值为 0.03ind/m^3，仔、稚鱼密度最大值为 0.18ind/m^3，最大值出现在 23 号站位。

表 5.4-89 2025 年春季调查海域鱼卵和仔、稚鱼资源密度

5.4.5.4 主要经济种类的“三场一通道”

受调查时间及调查站位的限制，渔业资源现状调查资料不足以阐明渔业资源洄游分布特征，根据 908 专项《山东近海经济生物资源调查与评价》《山东近海产卵场、索饵场综合评价》等相关成果对山东周边海域重要经济种类的“三场一通道”分布特征进行概述。

（1）蓝点马鲛

蓝点马鲛（*Scombero morus niphonius*）隶属于鲈形目（*Perciformes*）、鲭科（*Scombridae*）、马鲛属（*Scombero morus*），俗称：鲅鱼（辽宁、河北、山东），马加、马鲛（福建、浙江、江苏），燕鱼（江苏以南）。属暖水性中上层鱼类，分布于印度洋及太平洋西部水域，在渤、黄、东、南海以及日本海均有分布，是重要的经济鱼类。

①种群与洄游

山东近海群系的蓝点马鲛越冬场在黄海东南部（32°00′~33°40′N，124°00′~127°15′E），底质为泥沙和细沙，水深 60 ~80m。4 月下旬，蓝点马鲛由越冬场经大沙渔场，进入海州湾和山东半岛南部各产卵场，产卵期在 5~7 月。主群则沿 122°30′N 北上，首批鱼群 4 月底越过山东高角，向西进入烟威近海产卵场以及渤海的莱州湾、渤海湾等主要产卵场，产卵期为 5~7 月。在山东高角处，从主群分出的另一支群体继续北上，抵达黄海北部的又一产卵场海洋岛，产卵期为 5 月中到 6 月初。产卵之后，亲鱼和幼鱼均在产卵场附近海域分散索饵。8 月下旬随着近岸水温下降，鱼群陆续向较深水域行适温洄游，并继续强烈摄食，生长育肥，渤海蓝点马鲛幼鱼开始外泛，主群于 9 月上旬至 10 月上旬前后抵达烟威渔场西部水深 20~30m 水域。10 月上、中旬，表层水温降至 12℃~13℃时，黄、渤海的蓝点马鲛主群向东南移动经海州湾外围海域，汇同海州湾内索饵鱼群在 11 月上旬迅速向东南洄游，经大沙渔场的西北部返回沙外及江外渔场越冬。

②产卵场与产卵期

蓝点马鲛的主要产卵场在山东近海包括渤海湾、莱州湾、烟威近海、乳山近海和海州湾，密集区分布在渤海湾南端、乳山外以及日照-胶南外海。产卵期 5~7 月，由南至北相应推迟。其中，莱州湾和渤海湾的产卵期为 5 月下旬至 7 月上旬，以 5 月下旬至 6 月中旬为产卵盛期，产卵个体（性腺成熟度为 Va 和 Vb 期）占 10.1%～41.5%。烟威近海产卵期为 5 月中旬至 7 月上旬，以 5 月下旬至 6 月中旬为产卵盛期，产卵个体占 10.2%～30.1%。乳山近海产卵期为 5 月上旬至 6 月下旬，以 5 月中旬至 6 月上旬为产卵盛期，产卵个体占 10.4%～12.0%。海州湾产卵期为 5 月中旬至 6 月中旬，产卵盛期在 5 月中旬至 6 月上旬，产卵个体占 10.1%～34.4%。

③索饵场与索饵期

每年 6—7 月，蓝点马鲛稚鱼在莱州湾、烟威近海、乳山近海、海州湾等产卵场浅水区索饵，8 月当年生蓝点马鲛幼鱼以分布于产卵场的幼鳀为食，9 月蓝点马鲛幼鱼开始进入产卵场外侧较深水处索饵。10 月后，渤海的蓝点马鲛陆续经渤海海峡进入黄海北部，在此索饵。随着气温继续下降，此部分蓝点马鲛会同烟威渔场的蓝点马鲛进入石岛渔场、连青石渔场索饵，至 1 月基本到达黄海中部的越冬场索饵。

从图 5.4-18 可以看出，项目风场区位于蓝点马鲛索饵场和产卵场的边缘，500kV 海缆穿越蓝点马鲛洄游路线、产卵场和索饵场。

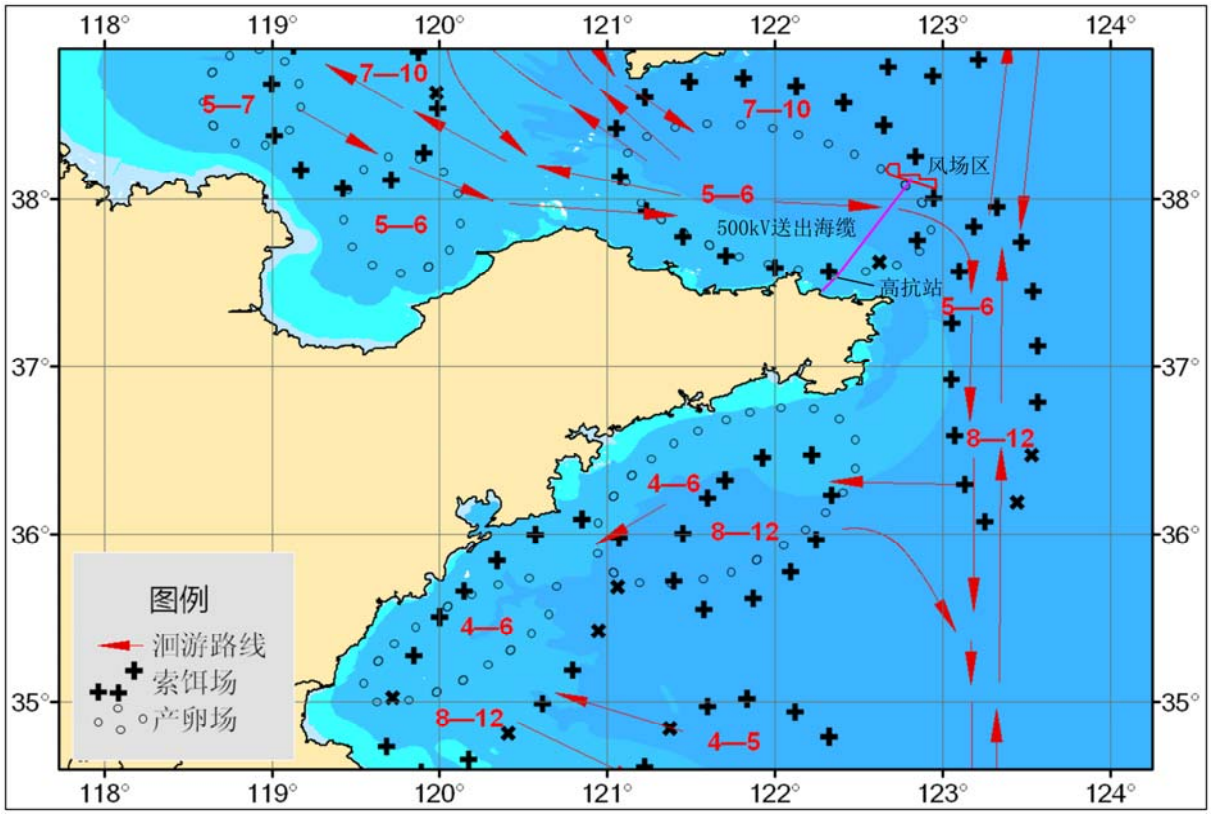


图 5.4-18　蓝点马鲛“三场一通道”分布示意图

（2）小黄鱼

小黄鱼（Larimichthys polyactis）隶属于鲈形目（Percifor mes），石首鱼科（Sciaenidae），黄鱼属（Larimichthys）。俗称黄花鱼。属暖温性、底层鱼类，广泛分布于渤海、黄海、东海。是我国最重要的海洋渔业经济种类之一，历史上与小黄鱼、带鱼和墨鱼并称“四大渔业”，在我省近海其他 3 种渔业已经衰退情况下，小黄鱼仍维持较高捕捞产量。

①种群与洄游

小黄鱼广泛分布于黄、渤海。黄、渤海的小黄鱼基本上划分为三个群系，即黄海北部—渤海群系、黄海中部群系、黄海南部群系。我省捕获的小黄鱼主要为黄海北部—渤海群系和黄海中部群系，主要分布于黄海 34°N 以北黄海北部和渤海水域。黄海北部—渤海群系和黄海中部群系小黄鱼越冬场在黄海中部，水深 60~80m，底质为泥砂、砂泥或软泥，底层水温最低为 8℃，盐度为 33~34，越冬期为 1~3 月份。之后，随着水温的升高，小黄鱼从越冬场向北洄游，经成山头分为两群，一群游向北，另一群经山东半岛北部海域进入渤海，在渤海沿岸、鸭绿江口等海区产卵。产卵期主要为 5 月，产卵后鱼群分散索饵，在 10~11 月随着水温的下降，小黄鱼逐渐游经成山头以东，124°E 以西海区向越冬场洄游。

②产卵场与产卵期

主要产卵场有烟威近海、乳山外海、海州湾产卵场。产卵期为 5~7 月，产卵盛期为 5 月下旬至 6 月上旬。

小黄鱼主要产卵期为 4～5 月，由南向北略为推迟，产卵场一般都分布在河口区和受入海径流影响较大的沿海区，底质为泥砂质、砂泥质或软泥质，产卵场的主要范围一般都分布在低盐水与高盐水混合区的偏高温区（刘效舜，1990）。小黄鱼在产卵期昼夜 24 小时均产卵，主要产卵时间为 17～22 时，以 19 时为产卵高峰。实验室内卵子孵化的最低水温为 9.8℃，最高为 20.4℃，水温 11~17℃，19~20℃对小黄鱼孵化都是合适的，水温低于 10℃，对孵化不利。小黄鱼产卵场的表层水温为 17~22℃（刘效舜，1990）。

根据历史资料，目前小黄鱼的重要产卵场在烟威近海、乳山近海和海州湾，而莱州湾出现小黄鱼的鱼卵和仔稚鱼均很少，已不成为小黄鱼的重要产卵场

③索饵场与索饵期

每年 7~8 月，当年生小黄鱼幼鱼主要分布在莱州湾、烟威近海、乳山近海、海州湾等产卵场。9~10 月，渤海的小黄鱼幼鱼主要在渤海中部索饵育肥。10 月下旬至 11 月，渤海的小黄鱼幼鱼陆续经渤海海峡进入黄海北部，会同在烟威近海索饵育肥的小黄鱼幼鱼经石岛外海陆续向位于黄海中南部深水区。12 月以后又移动到济州岛东南的越冬场。

从图 5.4-19 可以看出，项目风场区位于小黄鱼洄游路线的边缘，500kV 海缆穿越小黄鱼洄游路线。

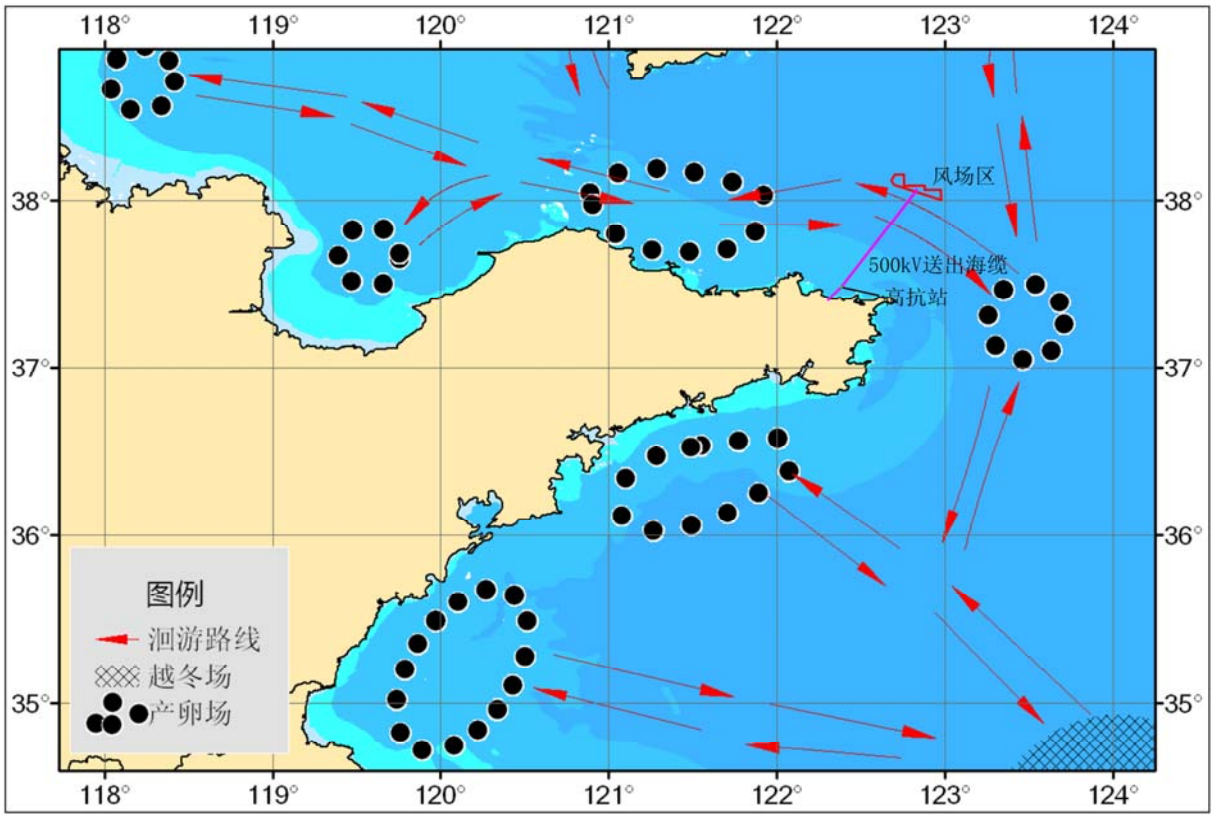


图 5.4-19　小黄鱼产卵场、越冬场及洄游路线分布示意图

（3）带鱼

黄海、渤海带鱼种群在黄海有海州湾、海阳和乳山近海、鸭绿江口近海等产卵群；渤海有莱州湾、渤海湾、辽东湾等产卵群。本种群的生态习性为在浅水，温、盐度较低的河口区产卵，产卵期集中于 5、6 月，其他月份产卵个体较少。因海区较封闭，受气象影响大，产卵、索饵和越冬期明显（图 5.4.5-4）。

黄海、渤海带鱼产卵场位于黄海沿岸和渤海的莱州湾、渤海湾、辽东湾 3 个湾内。从渤海的两个产卵场和黄海 3 个产卵场条件看，它们都是在水深 20m 左右，底温 14～19℃，盐度 27.0～31.0 的河口混合水海区，水深较浅，受气候因子影响大的海域。

春汛，3～4 月带鱼自济州岛附近越冬场开始向产卵场作产卵前期索饵洄游和产卵洄游。黄、渤海带鱼经大沙渔场游往黄海的海州湾、乳山湾、辽东半岛东岸、烟威近海和渤海的莱州湾、辽东湾、渤海湾等海区。海州湾带鱼产卵群体自大沙渔场经连青石渔场南部，沿 20～40 1TI 水深斜坡，向沿岸游到海州湾的石臼所、岚山头外海产卵；乳山湾带鱼产卵群体经连青石渔场北部进入产卵场。历年以灰岛东南至苏山岛西北一带为鱼群分布的中心；黄海北部带鱼产卵群体自成山头外海游向海洋岛、大鹿岛南、大长山岛北和庄河、新金沿岸产卵。

带鱼产卵群体从烟威渔场游进渤海，其群体可分为南、北两个部分：南部群体进入

莱州湾，产卵中心在黄河 El 东北，水深 20m 处。北部群体分别分布于渤海中部和辽东湾东西两岸，两者之间的群体有一定的联系。辽东湾东岸带鱼产卵群体，春汛在复县外海金州湾洄游分布，经长兴岛向北到熊岳河口为止。辽东湾西岸带鱼产卵群体自大清河口经秦皇岛、山海关、绥中等处近海到葫芦岛海区。

秋汛，渤海南、北部产卵群体于产卵后，部分索饵群体向渤海中部和滦河口近海进行索饵，部分索饵群体游出渤海海峡到烟威渔场索饵。黄海北部带鱼索饵群体于 11 月在海洋岛近海汇同烟威渔场的鱼群向南移动。海州湾渔场小股索饵群体北游乳山、石岛绕过成山头到达烟威近海，大股索饵群体分布于海州湾渔场东部和青岛近海进行索饵。

10 月向东移动到青岛东南近海同来自渤海、烟威、黄海北部各渔场的鱼群汇合。乳山渔场索饵群体 8、9 月分布在石岛近海，9 月、10 月、11 月等先后同渤海、烟威、黄海北部和海州湾等渔场索饵群体在石岛东南和南部的陡坡和水温梯度大的海区汇合形成非常浓密的鱼群，当鱼群移动到 36°N 以南时，随着陡坡宽阔缓和水温梯度减少，逐渐广泛分散游往大沙渔场。

每年秋末冬初，随着水温迅速下降，11 月前带鱼越冬鱼群离开渤海，12 月底前后离开黄海北部、中部，从大沙渔场进入济州岛附近越冬场。在济州岛南部海区，终年底温 14～18℃，底盐 33.0～34.5，冬季沿黄海海沟向黄海南部出现的明显水舌，这就是黄海暖流。黄海、渤海带鱼越冬场就在黄海暖流影响的海域内。并向东海迤逦接连东海带鱼越冬场。

从图 5.4-20 可以看出，项目风电场位于带鱼的洄游路线，500kV 海缆穿越带鱼洄游路线和产卵场的边缘。

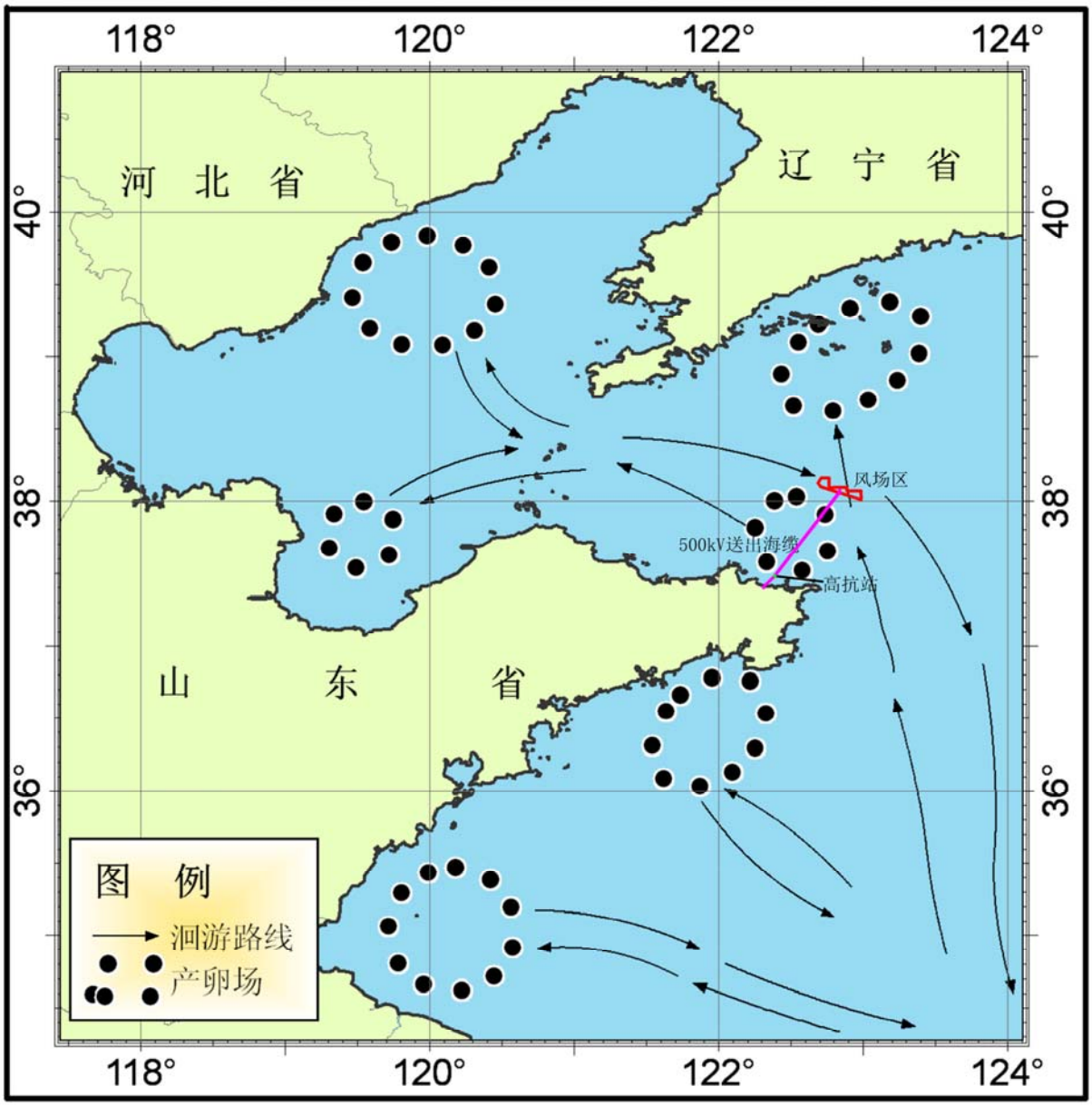


图 5.4-20 带鱼产卵场、越冬场及洄游路线分布示意图

（4）银鲳

黄、渤海银鲳越冬场位于济州岛西南侧海区及济州岛与五岛列岛之间的对马渔场，水深 60~100m，此外，在 34-37°N、122-124°E 的黄海洼地西部，水深约 60m 的海域，也有部分银鲳越冬。每年 12 月至翌年 3 月为银鲳的越冬期。秋末，当黄、渤海沿岸水温下降到 14-15℃时，在沿岸河口索饵的银鲳群体开始向黄海中南部海区集结，沿黄海暖流南下。12 月，银鲳主要分布于 34-37°N,122-124°E 的连青石渔场和石岛渔场南部海区，1 月至 3 月，越冬银鲳主群体南移至济州岛西南海区和对马渔场，水温为 15-18℃，盐度为 33-34 的越冬场，3-4 月，银鲳开始由越冬场沿黄海暖流北上，向黄、渤海沿岸的产卵场洄游，当洄游至大沙渔场北部 33-34°N、123-124°E 海区时，分出一路游向海州湾产卵场，另一路继续北上到达成山头附近，又分支，分别向海洋岛渔场和渤海各渔

场洄游。5-7 月为黄、渤海银鲳种群的产卵期，在北黄海的产卵盛期为 5-6 月，产卵场分布在沿海河口浅海混合水域的高温低盐区，水深一般为 10-20 余 m，底质以泥砂质和砂泥质为主，水温为 12-23℃，盐度为 27-31。主要产卵场均位于海州湾，莱州湾和辽东湾等水域的河口区。黄海南部的吕泗渔场为我国最大的银鲳产卵场，在此产卵的银鲳群体属东海银鲳种群。7-11 月为银鲳的索饵期，索饵场与产卵场基本重叠，到秋末随着水温的下降，在沿岸索饵的银鲳向黄海中南部集群，沿黄海暖流南下越冬。

从图 5.4-21 可以看出，项目风场区位于银鲳洄游路线，500kV 海缆穿越银鲳洄游路线。

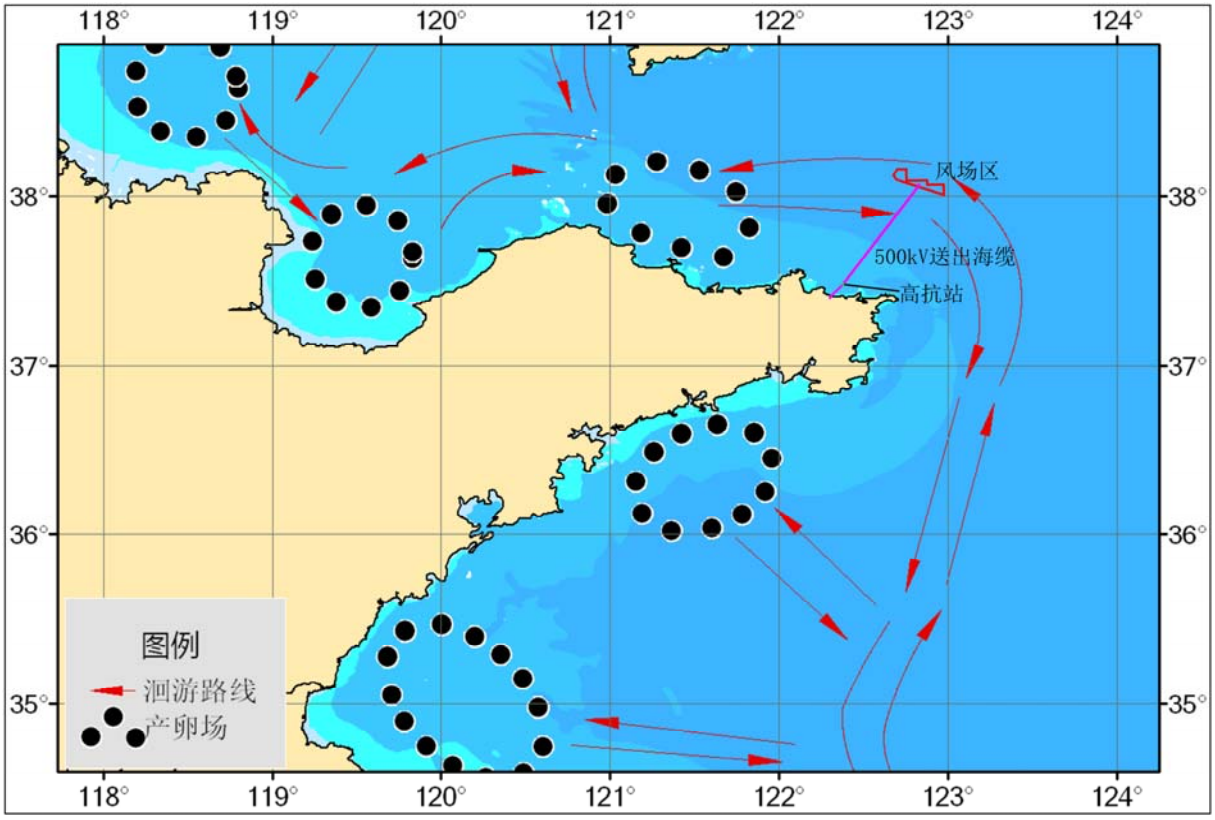


图 5.4-21　银鲳产卵场、越冬场及洄游路线分布示意图

（5）中国明对虾（*Fenneropenaeus chinensis*）

中国明对虾属节肢动物门甲壳纲十足目对虾科对虾属。是我国分布最广的对虾类，中国明对虾属广温、广盐性、一年生暖水性大型洄游虾类。

莱州湾对虾每年秋末冬初，便开始越冬洄游，到黄海东南部深海区越冬；翌年春北上，形成产卵洄游。4 月下旬开始产卵，怀卵量 30 万～100 万粒，雌虾产卵后大部分死亡。卵经过数次变态成为仔虾，仔虾约 18 天经过数十次蜕皮后，变成幼虾，于 6~7 月份在河口附近摄食成长。5 个月后，即可长成 12cm 以上的成虾，9 月份开始向渤海中部及黄海北部洄游，形成秋收渔汛。其渔期在 5 月中旬至 10 月下旬。

中国明对虾的生殖活动分交配和产卵 1 次进行，9～10 月是当年虾交配的盛期，可是直至翌年 5 月中旬产卵季节，交配以后的雌体大量摄食，性腺迅速发育，至 11 月初离开近岸进行越冬洄游；翌年 4—5 月下旬底层水温升至 12℃时虾开始产卵，这时 60%以上虾雌体已经抱卵，卵块呈鲜艳的绿褐色，随着卵子的发育，约经 20 多天至 5 月下旬，卵子逐渐变为褐色或黑绿色，表示即将进入产卵孵化期，第一次散仔时间为 5 月底～6 月初；6 月中旬开始出现第二次产卵高峰，大部分雌体又开始抱卵，第二次抱卵孵化时间较第一次大为缩短，6 月下旬卵块即变为褐黑色并相继散仔。一般每年 2 次产卵，两次产卵的间隔时间为 30 天左右。

从图 5.4-22 可以看出，项目风场区不占用中国明对虾的“三场一通”，500kV 海缆穿越中国明对虾的洄游路线。

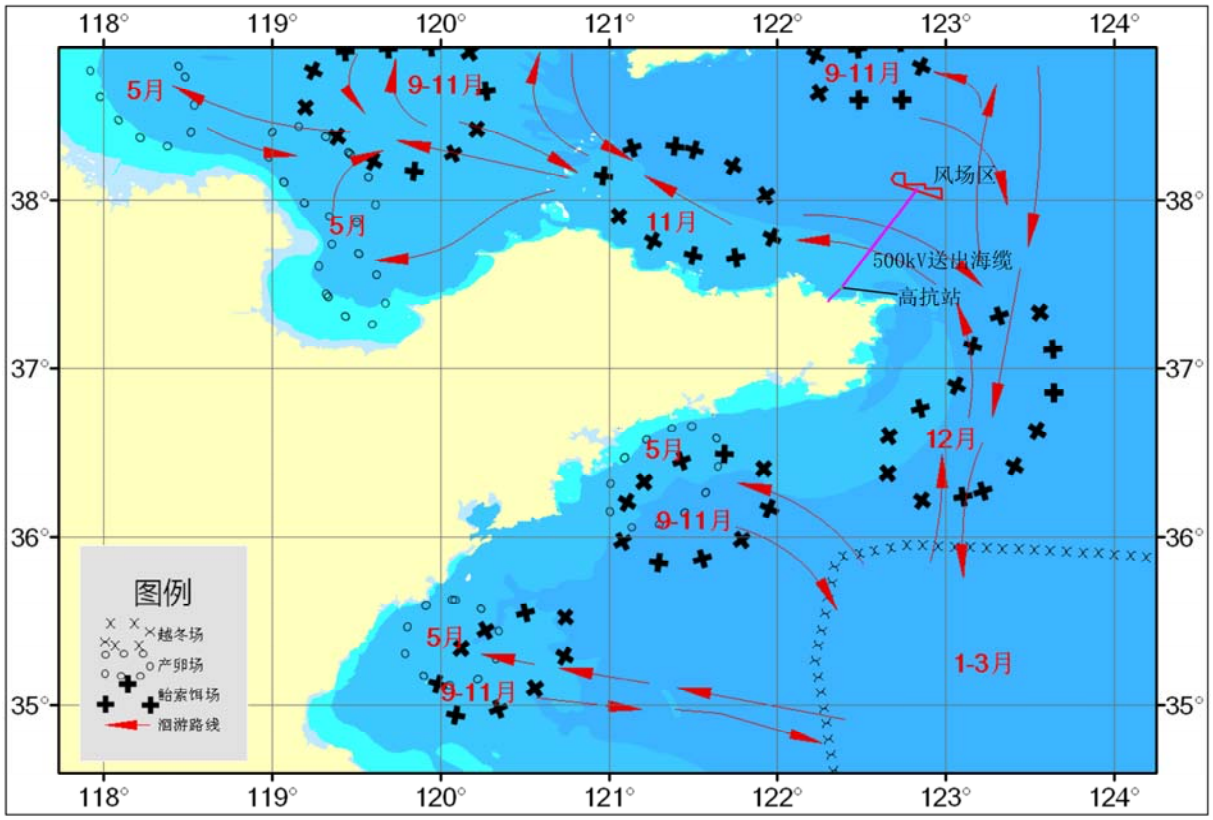


图 5.4-22　中国明对虾卵场、越冬场及洄游路线分布示意图

（6）渔场

工程区附近渔场主要是其风电场西南部的烟威渔场，烟威渔场位于山东半岛北部的 38°30′N 以南海域，面积约 7200nmile^2，是进入渤海产卵和离开渤海越冬的鱼类过路渔场。目前，主要鱼类有细纹狮子鱼、小黄鱼、绒杜父鱼等。



图 5.4-23　黄渤海渔场分布图

5.4.6 海洋生态健康状况评价

本项目参考《近岸海洋生态健康评价指南》（GB/T42631-2023）“河口生态系统和海湾生态系统”评价方法对调查海域的生态健康状况进行评价。

5.4.6.1 评价指标类别与权重分值

生态系统健康评价包括水环境、沉积环境、生物质量、栖息地、生物群落五类指标，各类指标权重分值见表 5.4-90。

表 5.4-90　河口生态系统和海湾生态系统指标权重分值

指标	水环境	沉积环境	生物质量	栖息地	生物群落
权重分值	15	10	10	20	45

5.4.6.2 水环境

（1）评价指标及赋值

水环境评价指标见表 5.4-91。水环境指标的权重分值为 15，按照 I 级、II级、III级进行赋值。

表 5.4-91　河口生态系统和海湾生态系统水环境评价指标

指标	I 级	II级	III级
优良（一 、二类）水质面积比例 a %	≥80	50≤·<80	<50
权重赋值	15	10	5
a 河口生态系统和海湾生态系统水环境评价范围为离岸 10km 以内海域。			

根据本项目 2024 年秋季、2025 年春季调查结果，综合各项水质调查指标均满足优良（一、二类）水质面积比例≥80%，赋值 15。

（2）水环境健康指数

水环境健康指数 Windx 根据优良水质（一、二类）面积比例所对应赋值确定。本项目优良水质（一、二类）面积比例所对应赋值为 15，水环境为健康。

5.4.6.3 沉积环境

（1）评价指标

沉积环境评价包括有机碳含量、硫化物含量两类指标，各评价指标及各级别对应赋值见表 5.4-92。

表 5.4-92　沉积环境评价指标

序号	指标	I 级	II级	III级
1	有机碳含量%	≤2	2<·≤4	>4
2	硫化物含量 μg/g	≤300	300<·≤600	>600
3	权重赋值	10	5	1

（2）评价指标计算

各项评价指标按下式计算：

$$S_q = \frac{\sum_1^n S_{qi}}{n}$$

式中：

Sq——沉积环境中第 q 项评价指标数值；n ——评价区域监测点位总数；Sqi——沉积环境中第 i 个点位第 q 项评价指标赋值。

根据 2024 年秋季调查结果，本项目各监测点位有机碳含量均＜2%，硫化物含量＜300μg/g，有机碳含量及硫化物含量赋值均为 10。

（3）沉积环境健康指数

沉积环境健康指数按下式进行计算：

$$S_{indx}=\frac{\sum_1^m S_q}{m}$$

式中：Sindx——沉积环境健康指数；m ——评价指标总数；Sq ——第 q 项评价指标数值。

经计算，本项目 Sindx=10，沉积环境为健康。

5.4.6.4 生物质量

（1）评价指标及赋值

生物质量评价包括汞（Hg）、镉（Cd）、铅（Pb）、砷（As）和石油烃五类指标，各评价指标见表 5.4-93。

表 5.4-93 生物质量评价指标

序号	指标/(μg/g)	I 级	II 级	III级
1	Hg	≤0.05	0.05<·≤0.30	>0.30
2	Cd	≤0.2	0.2<·≤5.0	>5.0
3	Pb	≤0.1	0.1<·≤6.0	>6.0
4	As	≤1.0	1.0<·≤8.0	>8.0
5	石油烃	≤15	15<·≤80	>80
/	权重赋值	10	5	1

每个生物样品生物质量的赋值按下式计算：

$$BR_q=\frac{\sum_1^n BR_i}{n}$$

式中：

BRq——第 q 份样品数值；

n ——评价的污染物指标总数；

BRi ——第 i 项评价指标赋值。

对 2025 年 4 月调查的海洋生物质量指标进行评价，经计算，各项样品的赋值如下表所示：

表 5.4-94 2025 年春季生物质量样品赋值

站位	各项评价指标赋值					各项样品数值
	汞	镉	铅	砷	石油烃	
1	5	1	10	5	10	6.2
1	5	10	1	5	10	6.2
1	5	10	10	5	10	8
2	5	10	10	5	10	8
2	5	5	10	5	10	7
2	5	5	10	5	5	6
4	10	1	1	5	10	5.4
4	5	10	10	5	5	7
4	10	10	5	5	5	7
6	5	1	1	5	10	4.4

6	10	1	10	5	5	6.2
6	10	10	10	5	5	8
7	5	10	10	10	10	9
7	10	10	1	5	10	7.2
7	10	10	5	5	5	7
9	5	10	1	10	10	7.2
9	5	10	1	5	10	6.2
9	5	10	10	5	10	8
12	5	1	1	5	10	4.4
12	5	5	10	5	10	7
12	10	10	10	5	5	8
14	5	1	1	5	10	4.4
14	10	5	10	5	10	8
14	10	10	10	10	5	9
15	5	1	10	5	10	6.2
15	10	1	5	5	5	5.2
15	5	10	10	5	5	7
16	5	1	1	10	10	5.4
16	5	1	10	5	5	5.2
16	5	5	10	5	5	6
18	5	1	1	5	10	4.4
18	10	10	5	5	10	8
18	10	10	10	5	10	9
19	5	1	1	5	10	4.4
19	5	5	10	5	5	6
19	5	10	10	5	5	7
21	10	1	1	5	10	5.4
21	5	5	10	5	5	6
21	5	10	1	5	5	5.2
23	5	10	1	5	10	6.2
23	10	10	1	5	10	7.2
23	10	10	10	10	5	9
25	5	1	1	5	10	4.4
25	10	10	5	5	10	8
25	10	5	1	5	10	6.2
26	5	10	1	10	10	7.2
26	5	10	5	5	10	7
26	10	10	5	10	10	9
28	5	1	10	5	10	6.2
28	10	1	10	10	5	7.2
28	5	10	1	5	5	5.2
30	10	1	1	5	10	5.4
30	10	10	10	5	10	9
30	10	10	10	5	10	9
31	5	10	1	10	10	7.2
31	5	5	10	5	10	7
31	5	10	10	5	10	8
32	5	1	1	5	10	4.4
32	5	10	10	5	5	7
32	10	1	10	10	5	7.2
33	5	1	10	5	10	6.2
33	5	10	1	5	5	5.2
33	5	10	10	5	5	7

对 2024 年 10 月调查的海洋生物质量指标进行评价，经计算，各项样品的赋值如下

表所示：

表 5.4-95　2024 年秋季生物质量样品赋值

站位	各项评价指标赋值					各项样品数值
	汞	镉	铅	砷	石油烃	
1	10	1	5	5	10	6.2
	10	1	5	10	10	7.2
	10	10	5	5	10	8
2	10	1	5	10	10	7.2
	10	10	5	5	10	8
	10	10	5	5	10	8
4	10	1	5	10	10	7.2
	10	10	5	5	10	8
	10	5	5	5	10	7
6	10	1	5	10	10	7.2
	10	10	5	5	10	8
	10	10	5	5	10	8
7	10	1	5	5	10	6.2
	10	10	5	5	10	8
	10	1	5	5	10	6.2
9	10	1	5	5	10	6.2
	10	10	5	5	10	8
	10	10	5	5	10	8
12	10	1	5	10	10	7.2
	10	5	5	5	10	7
	10	10	5	5	10	8
14	10	10	5	10	10	9
	10	5	5	5	10	7
	10	10	5	5	10	8
15	10	1	5	5	10	6.2
	10	5	5	5	10	7
	10	10	5	5	10	8
16	10	1	5	10	10	7.2
	10	5	5	5	10	7
	10	10	5	5	10	8
18	10	1	5	5	10	6.2
	10	10	5	5	10	8
	10	10	5	5	10	8
19	10	1	5	10	10	7.2
	10	10	5	5	10	8
	10	10	5	5	10	8
21	10	10	5	10	10	9
	10	10	5	5	10	8
	10	10	5	5	10	8
23	10	10	5	10	10	9
	10	5	5	5	10	7
	10	10	5	5	10	8
25	10	10	5	5	10	8
	10	5	5	5	10	7
	10	10	5	5	10	8
26	10	1	5	10	10	7.2
	10	10	5	5	10	8
	10	5	5	5	10	7
28	10	1	5	10	10	7.2
	10	5	5	5	10	7
	10	10	5	5	10	8
30	10	10	5	5	10	8
	10	10	5	10	10	9
	10	5	5	5	10	7

（2）生物质量健康指数

生物质量健康指数按下列公式计算：

$$BR_{indx}=\frac{\sum_1^m BR_q}{m}$$

式中：

BRindx——生物质量健康指数；

m ——评价区域监测生物样品总数；

BRq——评价区域第 q 份样品数值。

经计算，本项目春季调查资料 BRindx=6.7，秋季调查资料 BRindx=7.6，平均值为 7.1，生物质量为亚健康。

5.4.6.5 栖息地

（1）评价指标及赋值

栖息地评价包括滨海湿地分布面积、表层沉积物主要粒径组分含量年度变化两类指标，各评价指标见表 5.4-96。

表 5.4-96 栖息地评价指标

序号	指标	I 级	II 级	III级
1	滨海湿地分布面积变化	增加或无变化	减少 ≤5%	减少 >5%
2	表层沉积物主要粒径组分含量年度变化	≤2%	2%<·≤5%	>5%
/	权重赋值	20	10	5

根据水深对比结果，近岸 10m 和 20m 等深线的形态和位置变化不大，近岸海床地形保持基本稳定，间接说明本项目评价范围内滨海湿地分布面积无明显变化，指标赋值为 20。

（2）栖息地健康指数

栖息地健康指数按下式计算：

$$E_{indx}=\frac{\sum_1^m E_i}{m}$$

式中：

Eindx —— 栖息地健康指数；m ——栖息地评价指标总数；Ei ——第 i 项栖息地评价指标数值。

经计算，本项目栖息地健康指数为 20，栖息地为健康。

5.4.6.6 生物群落

（1）评价指标

生物群落评价包括浮游植物密度、浮游动物密度、浮游动物生物量、鱼卵及仔鱼密度、大型底栖动物密度、大型底栖动物生物量六类指标，各评价指标见表 5.4-97。A、

B、C、D、E 分别为浮游植物密度、浮游动物密度、浮游动物生物量、大型底栖动物密度、大型底栖动物生物量的评价标准值，本项目位于威海市岸海域，具体标准值见表 5.4-98。

表 5.4-97　生物群落评价指标

序号	指标	I 级	II 级	III级
1	浮游植物密度 [a]cells/m^3	50% A≤·≤150%A	10%A≤·<50%A 或 150%A<·≤200%A	<10%A 或 >200%A
2	浮游动物密度 [b]ind./m^3	75% B≤·≤125%B	50%B≤·<75%B 或 125%B<·≤150%B	<50%B 或 >150%B
3	浮游动物生物量 [c]mg/m^3	75% C≤·≤125%C	50%C≤·<75%C 或 125%C<·≤150%C	<50%C 或 >150%C
4	鱼卵及仔鱼密度 [d]ind./m^3	>50	5<·≤50	≤5
5	大型底栖动物密度 ind./m^2	75% D≤·≤125%D	50%D≤·<75%D 或 125%D<·≤150%D	<50%D 或 >150%D
6	大型底栖动物生物量 g/m^2	75% E≤·≤125%E	50%E≤·<75%E 或 125%E<·≤150%E	<50%E 或 >150%E
/	权重赋值	45	30	15
[a] 浮游植物密度采用浅水III型浮游生物网垂直拖网采样的密度。 [b] 浮游动物密度采用浅水II型浮游生物网垂直拖网采样的密度。 [c] 浮游动物生物量采用浅水 I 型浮游生物网垂直拖网采样，除去水母类等胶质生物后的生物量。 [d] 鱼卵与仔鱼的密度为鱼类主要产卵季节的调查结果。				

表 5.4-98　评价指标标准值

序号	分区	评价指标	评价标准值			
			春季	夏季	秋季	冬季
1	威海近岸海域	浮游植物密度（×10^5 cells/m^3）	30	1	20	1
2		浮游动物密度（×10^3ind./m^3）	20	3	20	20
3		浮游动物生物量（mg/m^3）	270	140	120	100
4		大型底栖动物密度（ind./m^2）	250	360	170	180
5		大型底栖动物生物量（g/m^2）	20	20	10	30

（2）评价指标计算

各指标的赋值（Dq）根据平均值（ $\overline{D_q}$ ）及赋值要求确定。各项指标平均值 $\overline{D_q}$ 按下式计算：

$$\overline{D_q}=\frac{\sum_1^n D_{qi}}{n}$$

式中：

$\overline{D_q}$ ——评价区域第 q 项评价指标平均值；n ——评价区域监测点位总数；Dqi——第 i 个点位第 q 项评价指标赋值。

根据春季及秋季的海洋生态现状调查结果，经计算，本项目各项评价指标赋值分别如下：

表 5.4-99　项目生物群落评价指标赋值

序号	评价指标	指标赋值计算结果		
		春季	秋季	平均值
1	浮游植物密度	30	15	22.5

2	浮游动物密度	15	15	15
3	浮游动物生物量	15	15	15
4	鱼卵及仔鱼密度	15	15	15
5	大型底栖动物密度	15	15	15
6	大型底栖动物生物量	15	15	15

（3）生物群落健康指数

生物群落健康指数按下式计算：

$$D_{indx}=\frac{\sum_{1}^{m} D_q}{m}$$

式中：

Dindx——生物群落健康指数；m ——生物评价指标总数；Dq——第 q 个生物评价指标赋值。

经计算，调查海域 Dindx=16.3，生物群落为不健康。

5.4.6.7 生态健康指数

生态健康指数按下列公式计算：

$$CEH_{indx}=W_{indx}-S_{indx}-BR_{indx}-E_{indx}-D_{indx}$$

式中：CEHindx 为生态系统生态健康指数。

经计算，本次调查海域 CEHindx=72.2，生态系统处于亚健康状态。

表 5.4-100　生态健康状况评价结果

序号	评价指标类别	赋值	健康状态
1	水环境	15	健康
2	沉积环境	10	健康
3	生物质量	7.1	亚健康
4	栖息地	20	健康
5	生物群落	16.3	不健康
6	生态健康指数	68.4	亚健康

5.4.7 生物多样性评价

参考《近岸海域海洋生物多样性评价技术指南》（HY/T 215-2017）中的评价方法对调查海域的海洋生物多样性进行评价。

5.4.7.1 海洋生物多样性评价指标的等级划分

根据《近岸海域海洋生物多样性评价技术指南》（HY/T 215-2017），对本项目 2025 年春季、2024 年秋季秋两季调查的浮游植物、浮游动物、底栖生物以及潮间带生物的各项生物多样性评价指标进行等级划分，划分标准见表 5.4-101 所示，具体等级划分结果见表 5.4-102。

表 5.4-101　生物多样性评价指标等级划分标准

一级指标	二级指标	适用条件		单位	分级标准				
					V	IV	III	II	I
浮游植物物种多样性	浮游植物总物种数	海域面积 km^2	<200	种	0~<28	≥28～<54	≥54~<105	≥105～<180	≥180
			≥200	种	0~<49	≥49~<91	≥91~<149	≥149～<180	≥180
	浮游植物种类多样性指数	均适用		无量纲	0~<0.9	≥0.9～<1.8	≥1.8~<2.5	≥2.5～<3.8	≥3.8
浮游动物物种多样性	浮游动物总物种数	海域面积 km^2	<200	种	0~<19	≥19~<42	≥42～<68	≥68～<192	≥192
			≥200	种	0~<34	≥34～<74	≥74～<110	≥110～<192	≥192
	浮游动物平均单站物种数	季节	春季	种	0~<4	≥4～<13	≥13～<30	≥30~<109	≥109
			秋季	种	0~<6	≥6～<14	≥14~<32	≥32～<82	≥82
	浮游动物丰度	季节	春季	ind/m^3	0~<35	≥35~<148	≥148~<702	≥702~<5268	≥5268
			秋季	ind/m^3	0~<16	≥16~<100	≥100～<241	≥241~<1380	≥1380
	浮游动物生物量	季节	春季	mg/m^3	0~<45	≥45～<148	≥148～<552	≥552~<3607	≥3607
			秋季	mg/m^3	0~<31	≥31～<96	≥96～<230	≥230~<1900	≥1900
	浮游动物种类丰富度指数	均适用		无量纲	0~<1.0	≥1.0~<2.0	≥2.0~<3.5	≥3.5～<5.0	≥5.0
	浮游动物种类多样性指数	均适用		无量纲	0~<0.9	≥0.9~<1.5	≥1.5～<2.4	≥2.4～<4.0	≥4.0
潮间带生物物种多样性	潮间带生物总物种数	海域面积 km^2	<200	种	0~<27	≥27~<66	≥66～<152	≥152~<243	≥243
			≥200	种	0~<44	≥44~<104	≥104~<277	≥277~<492	≥492
	潮间带生物栖息密度	季节	春季	$\times10^2 ind/m^2$	0~<0.5	≥0.5~<2	≥2~<28	≥28~<924	≥924
			秋季	$\times10^2 ind/m^2$	0~<0.7	≥0.7~<4	≥4~<30	≥30~<654	≥654
	潮间带生物生物量	季节	春季	g/m^2	0~<11	≥11～<128	≥128～<813	≥813~<4249	≥4249
			秋季	g/m^2	0~<24	≥24~<193	≥193~<1174	≥1174～<8503	≥8503
			冬季	g/m^2	0~<4	≥4~<33	≥33~<254	≥254~<1573	≥1573
	潮间带生物种类丰富度指数	均适用		无量纲	0～<1.0	≥1.0～<2.0	≥2.0～<4.0	≥4.0～<6.0	≥6.0
	潮间带生物种类多样性指数	均适用		无量纲	0～<0.5	≥0.5～<1.1	≥1.1～<1.8	≥1.8～<3.9	≥3.9
大型底栖生物物种多样性	大型底栖生物总物种数	海域面积 km^2	<200	种	0~<22	≥22～<38	≥38~<160	≥160～<474	≥474
			≥200	种	0~<66	≥66~<217	≥217~<490	≥490～<578	≥578
	大型底栖生物栖息密度	季节	春季	ind/m^2	0~<10	≥10~<66	≥66~<440	≥440~<2890	≥2890
			秋季	ind/m^2	0~<10	≥10～<90	≥90～<374	≥374～<1235	≥1235
	大型底栖生物生物量	季节	春季	g/m^2	0~<1	≥1~<5	≥5~<38	≥38～<408	≥408
			秋季	g/m^2	0~<1	≥1~<6	≥6～<46	≥46~<500	≥500
	大型底栖生物种类丰富度指数	均适用		无量纲	0~<1.4	≥1.4～<2.7	≥2.7~<5.9	≥5.9~<17.1	≥17.1
	大型底栖生物种类多样性指数	均适用		无量纲	0~<0.1	≥0.1~<1.1	≥1.1~<1.6	≥1.6~<4.2	≥4.2

表 5.4-102　本项目生物多样性评价指标等级划分结果

一级指标	二级指标	季节	单位	调查结果	分级
浮游植物物种多样性	浮游植物总物种数	春季	种	43	V
		秋季	种	46	V
	浮游植物种类多样性指数	春季	无量纲	0.97	IV
		秋季	无量纲	2.00	III

浮游动物物种多样性	浮游动物总物种数	春季	种	36	IV
		秋季	种	46	IV
	浮游动物平均单站物种数	春季	种	12	V
		秋季	种	19	III
	浮游动物丰度	春季	ind/m^3	966.8	II
		秋季	ind/m^3	501.37	II
	浮游动物生物量	春季	mg/m^3	958	II
		秋季	mg/m^3	296.88	II
	浮游动物种类丰富度指数	春季	无量纲	1.40	IV
		秋季	无量纲	2.28	III
	浮游动物种类多样性指数	春季	无量纲	1.14	IV
		秋季	无量纲	2.47	II
潮间带生物物种多样性	潮间带生物总物种数	春季	种	63	IV
		秋季	种	81	IV
	潮间带生物栖息密度	春季	$\times10^2\ ind/m^2$	44.01	II
		秋季	$\times10^2\ ind/m^2$	10.54	III
	潮间带生物量	春季	g/m^2	1260	II
		秋季	g/m^2	331.28	III
	潮间带生物种类丰富度指数	春季	无量纲	4.65	II
		秋季	无量纲	5.01	II
	潮间带生物种类多样性指数	春季	无量纲	2.43	II
		秋季	无量纲	2.89	II
大型底栖生物物种多样性	大型底栖生物总物种数	春季	种	80	IV
		秋季	种	57	V
	大型底栖生物栖息密度	春季	ind/m^2	739.5	III
		秋季	ind/m^2	387	II
	大型底栖生物生物量	春季	g/m^2	31.7	III
		秋季	g/m^2	39.21	III
	大型底栖生物种类丰富度指数	春季	无量纲	3.15	III
		秋季	无量纲	4.39	III
	大型底栖生物种类多样性指数	春季	无量纲	1.97	II
		秋季	无量纲	2.48	II

5.4.7.2 评价指标的赋值

（1）赋值方法

海洋生物多样性指标的分值范围为 0~100，划分为 5 个等级，各等级相应的分值见表 5.4-103 所示。

表 5.4-103　海洋生物多样性指标的赋值标准

等级	V	IV	III	II	I
分值	0~<25	≥25~<50	≥50~<75	≥75~<100	100

根据赋值标准，按下式对海洋生物多样性的二级指标进行赋值：

$$Y_{ij}=\frac{Y_{ij_{max}}-Y_{ij_{min}}}{I_{ij_{max}}-I_{ij_{min}}}(I_{ij}-I_{ij_{min}})-Y_{ij_{min}}$$

式中：

Y_{ij}——第 i 个一级指标中第 j 个二级指标的赋值得分，$Y_{i_{max}}$—— 第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标所隶属等级的分值上限，$Y_{i_{min}}$——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标所隶属等级的分值下限，见表 5.4-103；

$I_{i_{max}}$—— 第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标所隶属等级的指标值上限，$I_{i_{min}}$——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标所隶属等级的指标值下限，I_{ij}——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标的实测值，见表 5.4-101。

（2）赋值得分

经计算，本项目各项指标的赋值得分如下表所示：

表 5.4-104　本项目生物多样性评价指标赋值得分

一级指标	二级指标	季节	赋值得分
浮游植物物种多样性	浮游植物总物种数	春季	21.94
		秋季	23.47
	浮游植物种类多样性指数	春季	26.94
		秋季	57.14
浮游动物物种多样性	浮游动物总物种数	春季	51.47
		秋季	58.82
	浮游动物平均单站物种数	春季	75.00
		秋季	56.94
	浮游动物丰度	春季	76.45
		秋季	80.71
	浮游动物生物量	春季	78.32
		秋季	76.00
	浮游动物种类丰富度指数	春季	35.00
		秋季	54.67
	浮游动物种类多样性指数	春季	35.00
		秋季	76.09
潮间带生物物种多样性	潮间带生物总物种数	春季	32.92
		秋季	40.42
	潮间带生物栖息密度	春季	75.45
		秋季	6.29
	潮间带生物量	春季	78.25
		秋季	53.52
	潮间带生物种类丰富度指数	春季	83.13
		秋季	87.63
	潮间带生物种类多样性指数	春季	82.50
		秋季	87.98
大型底栖生物物种多样性	大型底栖生物总物种数	春季	27.32
		秋季	21.59
	大型底栖生物栖息密度	春季	95.02
		秋季	75.38
	大型底栖生物生物量	春季	70.23
		秋季	70.76

	大型底栖生物种类丰富度指数	春季	53.52
		秋季	63.20
	大型底栖生物种类多样性指数	春季	78.56
		秋季	83.46

5.4.7.3 海洋生物多样性综合指数计算

海洋生物多样性综合指数（MBI） 按下式计算，数值范围 0～100。

$$MBI = \sum_{i=1}^{s} W_i \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} W_{ij}$$

式中：

MBI——海洋生物多样性综合指数； Wi ——第 i 个一级指标的权重；

Y_{ij} ——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标的赋值得分；

W_{ij}——第 i 个一级指标中的第 j 个二级指标的权重。评价指标采用等权重，并且各层级指标权重之和均等于 1。

经计算，本项目现状调查资料 MBI=68.77。

5.4.7.4 海洋生物多样性现状评价与分级

按海洋生物多样性综合指数（MBI）得分，海洋生物多样性的现状划分为四个等级：高、中、一般、低。见表 5.4-105，由表可知，本项目调查海域海洋生物多样性现状等级为中。

表 5.4-105 海洋生物多样性现状分级

海洋生物多样性等级	海洋生物多样性综合指数	海洋生物多样性现状
高	≥75~100	海洋生物物种高度丰富，物种分布均匀，各生物群落的物种多样性高 度丰富，生态系统类型丰富多样
中	≥50~<75	海洋生物物种较丰富，物种分布较均匀，局部区域或部分生物群落的 物种多样性高度丰富，局部地区生态系统高度丰富
一般	≥25~<50	海洋生物物种较少：物种分布较不均匀，局部区域或个别生物群落的 物种多样性较高，但生物多样性总体水平一般
低	0~<25	海洋生物物种贫乏，物种分布不均匀，生态系统类型单一，生物多样性 总体低

5.4.7.5 海洋生物多样性变化趋势

根据项目周边 2019 年春季的海洋生物调查资料分析结果，对比分析海洋生物多样性变化趋势。

根据《近岸海域海洋生物多样性评价技术指南》（HY/T 215-2017），对 2019 年春季调查的浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物的各项生物多样性评价指标进行

等级划分，划分标准见表 5.4-101 所示，具体等级划分结果见表 5.4-106。

表 5.4-106　2019 年春季生物多样性评价指标等级划分结果

一级指标	二级指标	单位	调查结果	分级
浮游植物物种多样性	浮游植物总物种数	种	48	V
	浮游植物种类多样性指数	无量纲	2.31	III
浮游动物物种多样性	浮游动物总物种数	种	23	V
	浮游动物平均单站物种数	种	/	/
	浮游动物丰度	ind/m^3	11107	I
	浮游动物生物量	mg/m^3	337.9	III
	浮游动物种类丰富度指数	无量纲	1.18	IV
	浮游动物种类多样性指数	无量纲	2.15	III
潮间带生物物种多样性	潮间带生物总物种数	种	27	V
	潮间带生物栖息密度	$\times10^2$ ind/m^2	6.99	III
	潮间带生物量	g/m2	143	III
	潮间带生物种类丰富度指数	无量纲	0.73	V
	潮间带生物种类多样性指数	无量纲	1.39	III
大型底栖生物物种多样性	大型底栖生物总物种数	种	84	IV
	大型底栖生物栖息密度	ind/m^2	346	III
	大型底栖生物生物量	g/m^2	17.9	III
	大型底栖生物种类丰富度指数	无量纲	2.36	IV
	大型底栖生物种类多样性指数	无量纲	3.30	II

根据 5.4.7.2 节评价指标的赋值方法，各项指标的赋值得分如下表所示：

表 5.4-107　2019 年春季生物多样性评价指标赋值得分

一级指标	二级指标	季节	赋值得分
浮游植物物种多样性	浮游植物总物种数	2019 年春季	24.49
	浮游植物种类多样性指数	2019 年春季	68.21
浮游动物物种多样性	浮游动物总物种数	2019 年春季	16.91
	浮游动物平均单站物种数	2019 年春季	/
	浮游动物丰度	2019 年春季	100.00
	浮游动物生物量	2019 年春季	61.75
	浮游动物种类丰富度指数	2019 年春季	29.50
	浮游动物种类多样性指数	2019 年春季	68.06
潮间带生物物种多样性	潮间带生物总物种数	2019 年春季	15.34
	潮间带生物栖息密度	2019 年春季	59.60
	潮间带生物量	2019 年春季	51.09
	潮间带生物种类丰富度指数	2019 年春季	18.25
	潮间带生物种类多样性指数	2019 年春季	60.36
大型底栖生物物种多样性	大型底栖生物总物种数	2019 年春季	27.98
	大型底栖生物栖息密度	2019 年春季	68.72
	大型底栖生物生物量	2019 年春季	59.77
	大型底栖生物种类丰富度指数	2019 年春季	43.46
	大型底栖生物种类多样性指数	2019 年春季	91.35

经计算，2019 年春季海洋生物多样性 MBI=50.19、海洋生物多样性现状等级为中。

本项目春秋 2 季海洋生物多样性综合 MBI=68.77，根据表 5.4.7-4 只保留春季结果计算本项目春季海洋生物多样性 MBI 值=68.96、只保留秋季结果计算本项目秋季海洋生物多样性 MBI 值=68.58，海洋生物多样性现状等级均为中。

从对比结果可以看出：本项目春秋两季海洋生物多样性差别不大，较 2019 年海洋生物多样性有明显提高，说明近年来海洋生物多样性逐渐转好。

5.5 珍稀海洋生物

5.5.1 斑海豹现状

斑海豹是中国北方海域中的旗舰物种，也是受关注度极高的海洋生态系统健康指示种，其独有魅力备受公众喜爱，被称为“海上大熊猫”。它们主要在渤海和黄海生活、栖息与繁衍。斑海豹是国家一级保护动物，是唯一在我国海域繁殖的鳍足类动物。

为加强对山东省海域斑海豹的保护工作，山东省人民政府于 2001 年 6 月批准成立庙岛群岛海豹省级自然保护区，本节根据《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》（庙岛群岛海豹省级自然保护区管理处，2017 年 7 月）的相关内容并结合近期科研机构的调查研究成果（《斑海豹小种群报告》（自然资源部第一海洋研究所 北京市企业家环保基金会，2024 年））、相关文献等，对斑海豹的分布、栖息、迁徙等现状进行介绍。

5.5.1.1 全球斑海豹的主要分布区及数量

根据《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》，斑海豹是在温带、寒温带的沿海和海岸生活的海洋性哺乳类动物，斑海豹在世界的分布区主要在北太平洋的北部和西部海域及其沿岸和岛屿。斑海豹在中国主要分布于渤海和黄海，偶见于东海和南海。

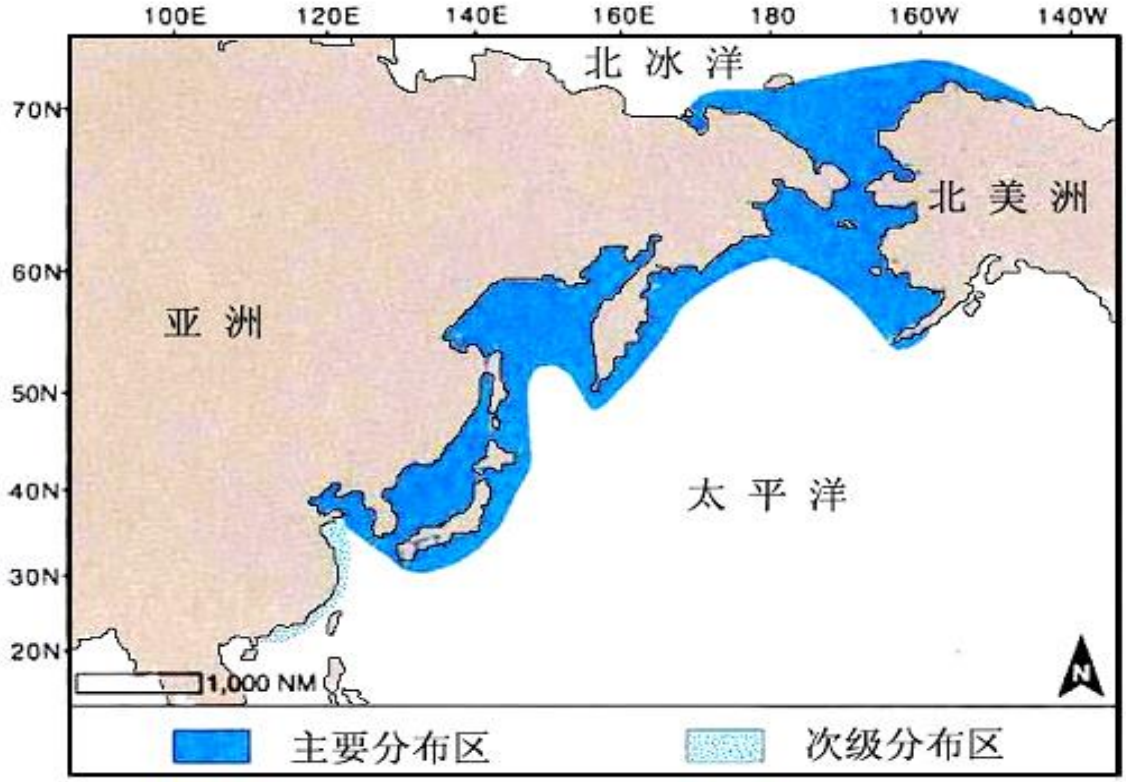


图 5.5-1　斑海豹在世界的分布（仿 Jefferson et al., 2008）
（《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》）

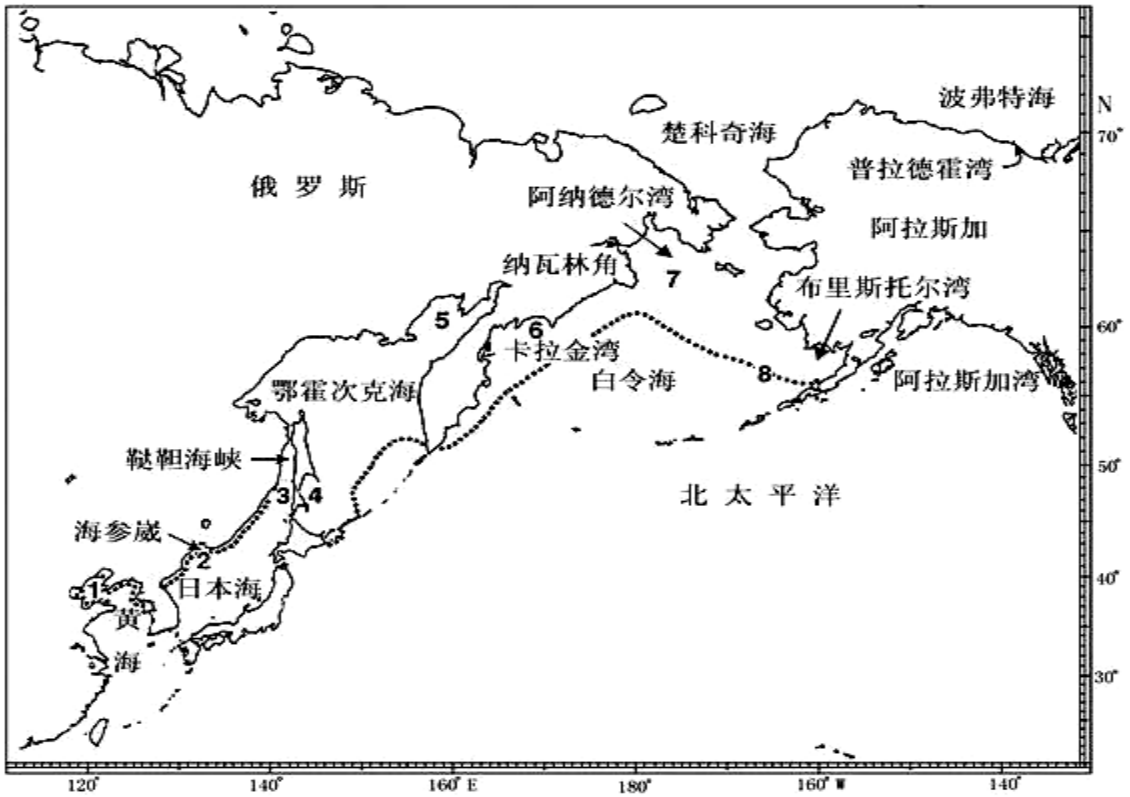


图 5.5-2　世界上斑海豹的繁殖区示意图（仿 Rugh et al., 1997）

图中数字：1.辽东湾；2.符拉迪沃斯托克；3.鞑靼海峡；4.萨哈林岛东海岸至北海道岛北部；5.舍利霍夫湾；6.卡拉金湾至奥柳托尔斯基角；7.阿纳德尔湾；8.布里斯托湾至普里比洛夫群岛
（《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》）

根据《斑海豹小种群报告》，全球估计有 640000 头成熟斑海豹个体，其中白令海的数量超过 460000 头，鄂霍次克海约有 180000 头，渤黄海和日本海的斑海豹种群仅占 1%[1]。斑海豹在全球范围内有八个主要繁殖区，渤海是斑海豹全球最南端繁殖区[2]，虽然生活在该区域的斑海豹种群数量稀少，但却是一个拥有独立遗传基因的地理边缘小种群，具有重要生态意义和保护研究价值。

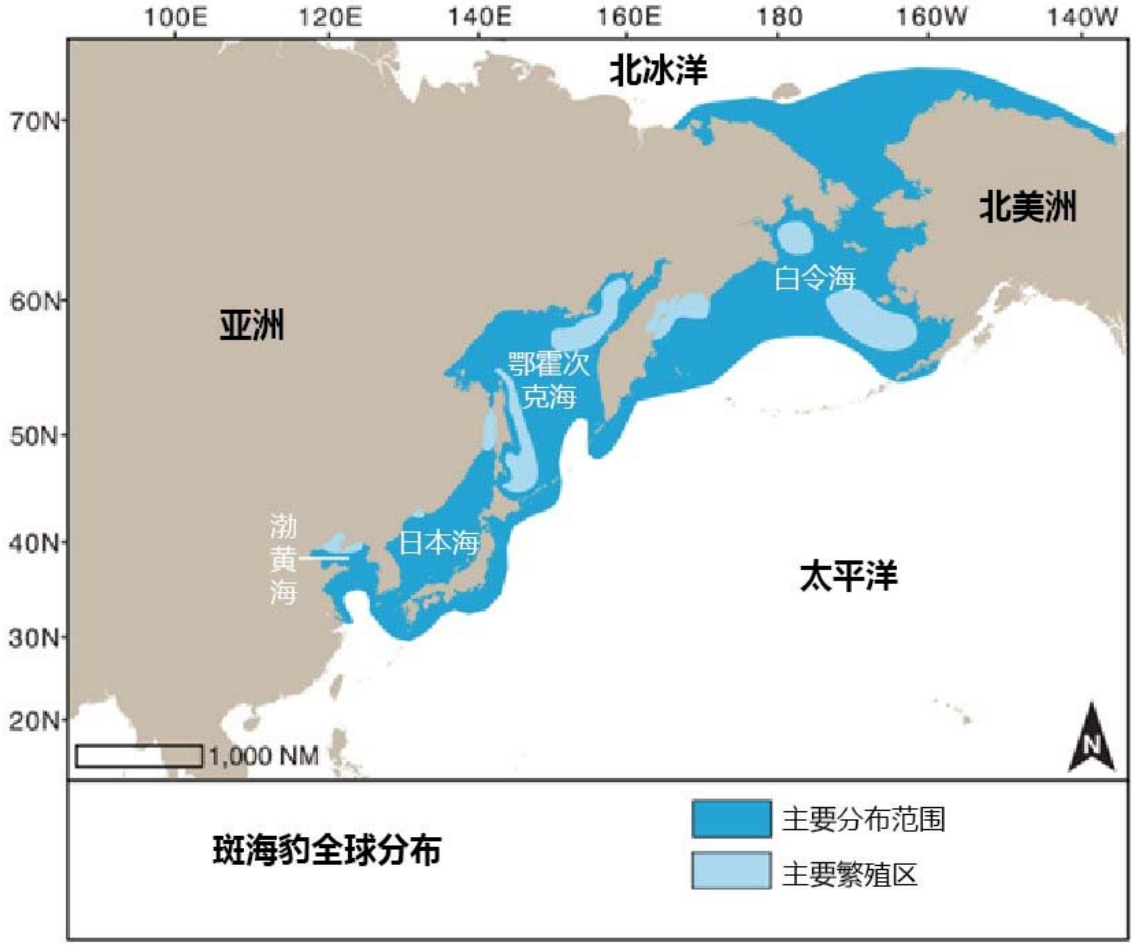


图 5.5-3 斑海豹的全球分布[3]（《斑海豹小种群报告》）

5.5.1.2 中国斑海豹的数量、分布及迁徙

（1）种群数量

研究表明 20 世纪 40 年代渤海种群规模最高峰估计为 8000 头左右，自 20 世纪 40 年代以来，受全球变化和人类活动影响，该种群规模已下降约 80%，最低时降至 1000 头，有局部灭绝风险[4]（图 5.5-4）。因此，斑海豹被列为中国国家一级保护野生动物，并被认定为受威胁等级物种。目前，中国海域内斑海豹数量估计为 2000 头左右[4]。

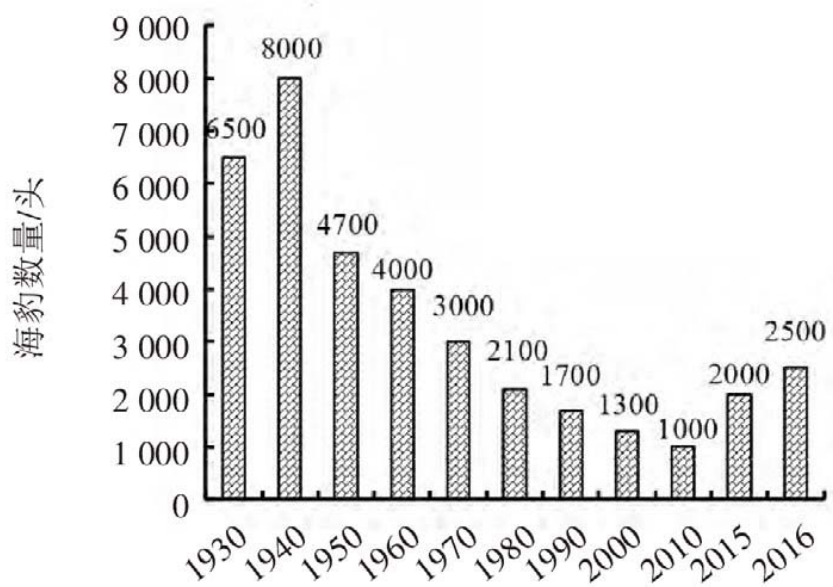


图 5.5-4　渤海斑海豹数量变化统计（《斑海豹小种群报告》）

（2）繁殖

渤海是斑海豹在中国唯一的繁殖地，特别是在辽东湾的浮冰区，是全球斑海豹 8 个分布区中最南端的一个[5]。每年的 1 至 3 月是斑海豹发情交配的季节，它们的孕期约 10 个月，通常在冬季繁殖、浮冰上产仔，每胎 1 仔。

每年冬季斑海豹穿越渤海海峡进入辽东湾进行繁殖。斑海豹繁殖场最初认为是 40°30′~45′N，121°~122°E 之间的固定冰边缘和浮冰区内（王丕烈，1985；鹿叔锌等 2002），1986~1987 年间王丕烈利用破冰船和飞机进行调查，重新界定了斑海豹的繁殖区经纬度为 40°00′N，120°50′~121°40′E 至 40°40′N，121°10′~121°50′E。但由于斑海豹属冰上产仔类型的冷水性海洋哺乳动物，因此，辽东湾斑海豹繁殖区的位置每年会随着辽东湾海冰范围的大小而发生变化。

由图 5.5-2、图 5.5-3 均可以看出，项目距离斑海豹的繁殖地较远。

（3）栖息地

1）斑海豹的食性和主要行为特点

斑海豹主要以沿岸小型鱼类（如鳀鱼、青鳞鱼）及头足类为食，其食性随季节和地理环境变化。该物种通常独居或结成小群活动，偏好栖息于水小于 50 米的沿岸浅水区。其习性表现出明显的昼行性，并依赖高频声呐系统进行导航、觅食与社会交流。斑海豹的分布与生活史特征有关，大致可以分为两个时期：晚秋到初春期间，在海冰上进行分娩、哺乳、繁殖和换毛；夏季到秋季在更广阔的海域进行索饵迁徙。

2）斑海豹在渤黄海的分布

根据《斑海豹小种群报告》，斑海豹的空间分布具有明显时序特征，在繁殖季（12

月至次年 1 月）和迁徙季（5-7 月）分别表现出集聚和扩散的种群分布格局（图 5.5-5）。根据卫星信标示踪和生态模型研究，斑海豹展现出明显的季节性分布。在冬季，它们主要集中于辽东湾，而在夏季则扩散至黄海。斑海豹在中国的关键栖息地主要分布于辽东湾和渤海海峡，其中辽东湾是其主要繁殖生境，而渤海海峡则为重要迁徙通道，这些区域是斑海豹渤黄海的保护优先区域[6]（图 5.5-10），辽河口、大连近岸的虎平岛和蚂蚁岛、盘锦双台子河口、长山列岛等区域是斑海豹的高频目击区域和停留区域。**项目距离最近的为长山列岛区域（超 152km），该区域被划为庙岛群岛海豹省级自然保护区。**

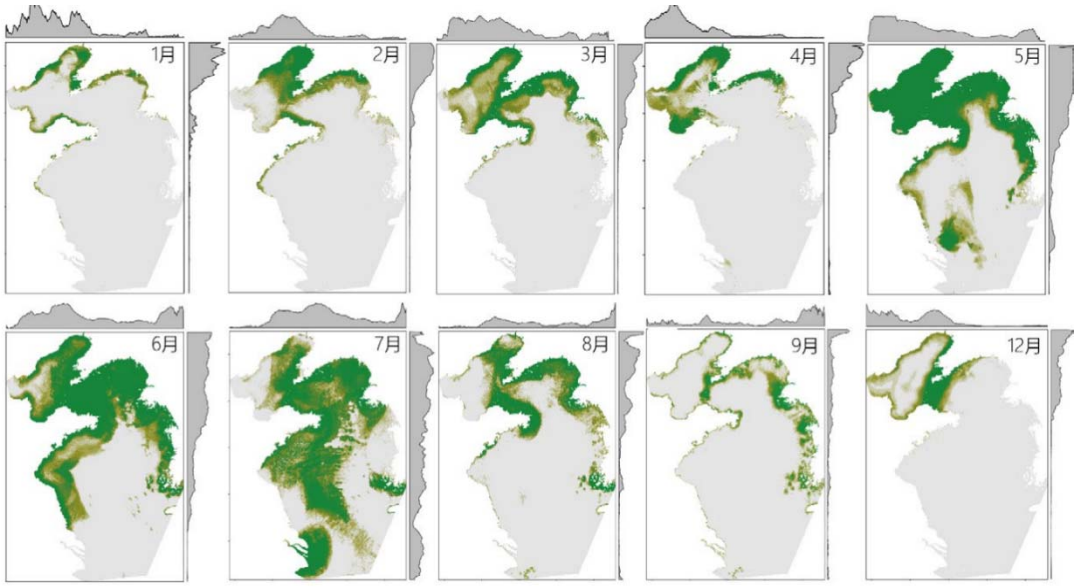


图 5.5-5　斑海豹在渤黄海的月度分布（颜色越深越适合斑海豹栖息）
（《斑海豹小种群报告》）



图 5.5-6　项目与庙岛群岛海豹省级自然保护区的位置关系图

3）庙岛群岛海域斑海豹的分布

根据《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》，长山列岛区域的斑海豹主要活动在庙岛群岛海域，庙岛群岛各岛屿有斑海豹的分布，但分布不均匀。其中北长山的双礁、马枪石、小黑山的海豹礁及附近水域斑海豹数量相对比较多，而猴矶岛、车由岛、大小黑山岛、大小竹山岛海域斑海豹的数量及出现频率一般，其他区域发现或观察到斑海豹的次数相对较少。近些年来，尽管庙岛群岛中各岛斑海豹的发现次数或个体数量发生了一些变化，但是总体上斑海豹在庙岛群岛的空间分布格局未发生明显变化。

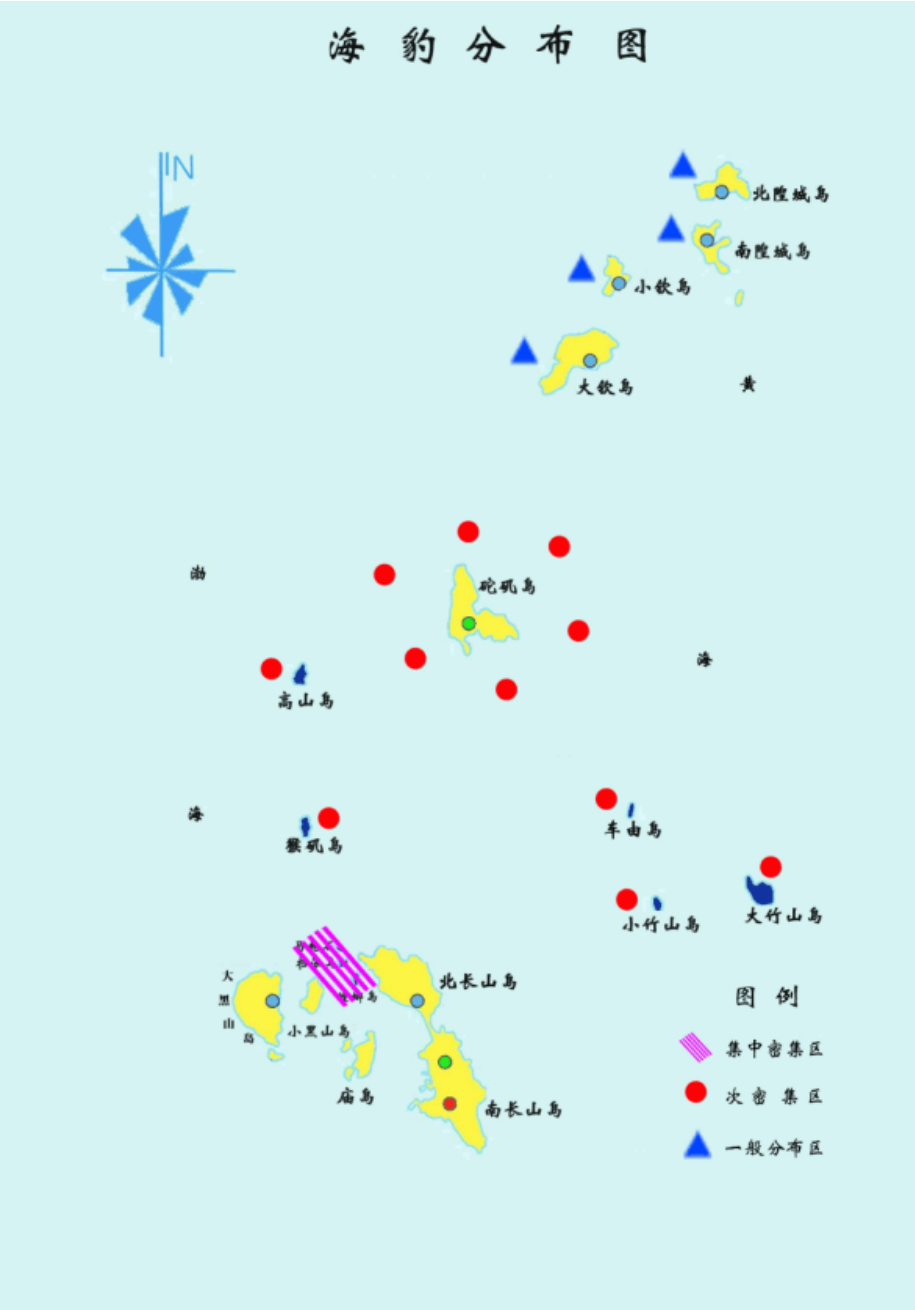


图 5.5-7 庙岛群岛斑海豹聚集区分布图（《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》）

4）本项目与斑海豹栖息地的位置关系

项目距离斑海豹的重要栖息地（高频目击区域和停留区域）较远，距离最近的庙岛群岛海豹省级自然保护区超过 152km。

根据图 5.5-5 及图 5.5-10 可以看出，辽东湾沿岸、辽东半岛南岸、山东半岛北岸均分布有斑海豹的栖息地，本项目 500kV 海缆近岸段穿越斑海豹的适宜栖息地。

另外，根据邢衍阔等[7]对斑海豹栖息地的预测结果（图 5.5-8），斑海豹在黄渤海海域广泛分布，高适生区主要分布于渤海辽东湾近岸和黄海东部海域，分别为辽东湾的秦皇岛至葫芦岛海域、盘锦辽河口海域、大连渤海海域和烟台庙岛群岛附近海域，以及

黄海东部白翎岛附近海域，面积约为 $3.397\times10^4km^2$；中适宜区主要位于渤海中部海域以及黄海北部近岸海域，面积约为 $6.135\times10^4km^2$；低适生区主要位于渤海湾、莱州湾和黄海北部部分海域，面积约为 $9.867\times10^4km^2$；在俄罗斯彼得大帝湾也有斑海豹的适宜分布区域。**可以看出，本项目风电场区位于非适生区，500kV 海缆部分位于低适生区。**

西太平洋斑海豹觅食迁徙行为分析与适宜栖息地预测是科研成果，是基于最大熵模型（MaxEnt）对斑海豹的适宜栖息地进行预测，其研究成果为斑海豹的适宜生境，不是斑海豹的实际栖息地。根据项目周边开发利用现状，本工程送出海缆近岸段目前主要为筏式养殖区，人类活动频繁，不具备斑海豹适宜栖息地的生境条件；另外，根据近年来现状调查、走访记录了解，本工程送出海缆近岸段没有斑海豹栖息、活动迹象，无相关斑海豹目击记录。

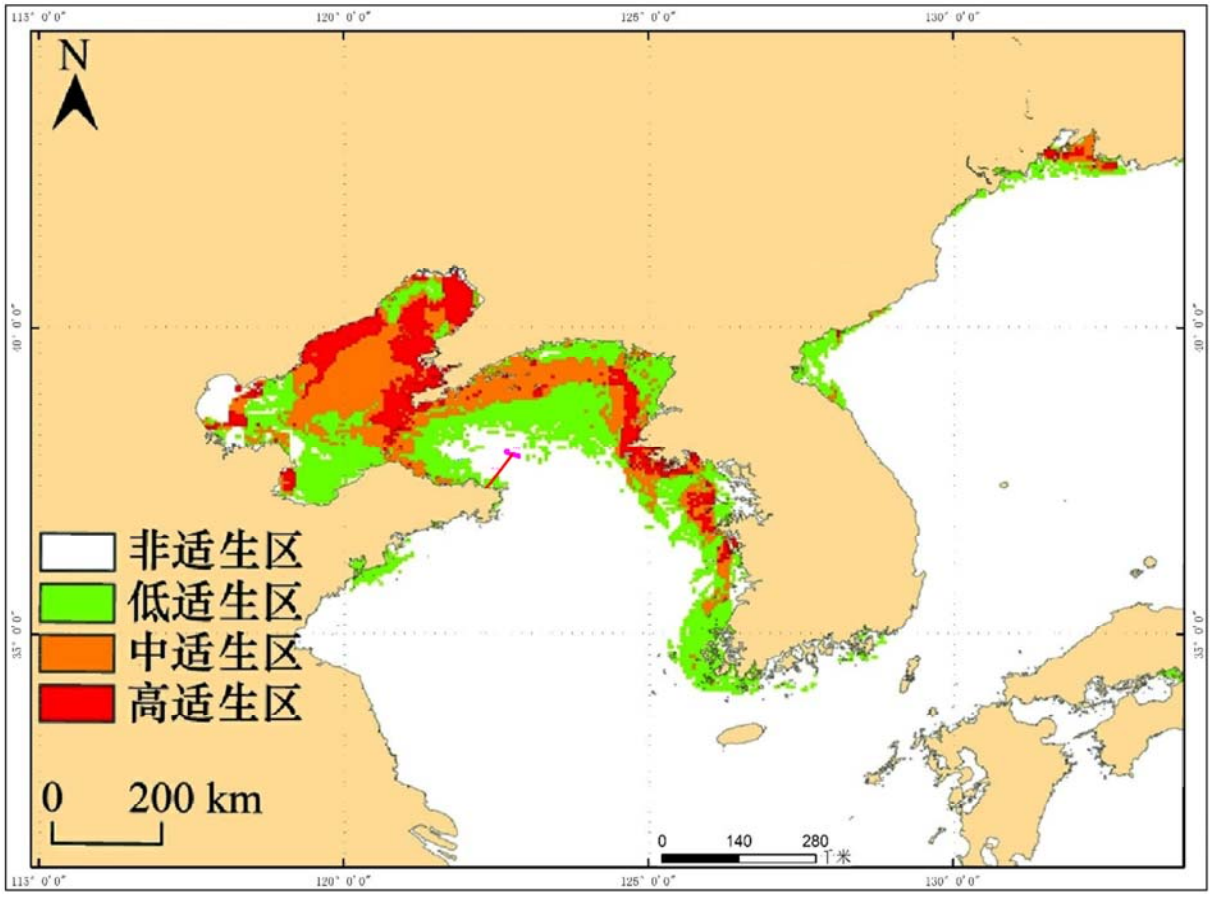


图 5.5-8 斑海豹的适宜栖息地分布

（《西太平洋斑海豹觅食迁徙行为分析与适宜栖息地预测》，2025）

（4）迁徙路线

根据《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》，2008～2011 年韩家波等利用 Argos 卫星跟踪系统对斑海豹进行迁徙研究，结果发现斑海豹既有沿辽宁沿海迁徙，又有途经山东庙岛群岛后经由黄海北部进入朝鲜近岸海域迁徙。同时 2011 年释放的一头斑海豹

在信号消失之前出现在山东半岛以南海域，提示有继续向南移动的可能。通过对斑海豹个体迁徙路线的观察，研究者发现斑海豹向朝鲜海域迁徙的两条路线没有十分明显的区分，并可证实，白翎岛不是渤海斑海豹迁徙的终点。在实验动物中，在到达白翎岛的 8 头斑海豹中，至少有 5 头继续向南迁移，最远甚至穿过朝鲜海峡到达日本海。**由图 5.5-9 可以看出，本项目风电场区可能位于斑海豹迁徙路线的边缘区域。**



图 5.5-9 斑海豹迁徙路线图（《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》）

根据《斑海豹小种群报告》，斑海豹在渤黄海主要有 3 条清晰的迁徙路线（图 5.5-10）。冬季在辽东湾度过繁殖期；3 月开始聚集到长岛栖息、觅食；到 5 月逐渐往黄海扩散；秋季，斑海豹将再次经长岛前往辽东湾繁殖区。辽东湾（繁殖地）、渤海海峡（迁徙通道）等近岸区域是斑海豹在渤黄海的保护优先区。具体迁徙规律如下：

①在 3 月和 4 月，山东半岛周围的斑海豹沿着“1”号路线迁徙到渤海。辽东湾斑海豹中，有些沿着“1”号路线和渤海海峡迁徙到山东半岛，有些沿着“2”号路线迁徙到辽东半岛东部。

②在 5 月和 6 月，辽东半岛周围的斑海豹沿着“2”号路线迁徙到朝鲜半岛。渤海的斑海豹中，有些先通过渤海海峡，然后沿着“2”号路线迁徙到朝鲜半岛，而另一些则沿着“3”号路线迁徙到长江口。

③7 月和 8 月，朝鲜半岛周围的斑海豹主要沿着“2”号路线迁徙回辽东半岛，而黄海的其他斑海豹则主要沿着“3”号路线迁徙到山东半岛。

④9 月到 11 月，辽东半岛周围的斑海豹向辽东湾迁徙。山东半岛周围的斑海豹中有一些沿着渤海海峡迁徙到辽东湾，而另一些则留在那里。

⑤12 月到来年 2 月，大部分斑海豹在辽东湾进行繁殖、产仔、哺育[5]。

图 5.5-10 可以看出，本项目风电场区距离斑海豹迁徙路线较远，500kV 海缆近岸段穿越斑海豹的适宜栖息地，中部穿越“3”号迁徙路线（山东半岛至长江口方向）。

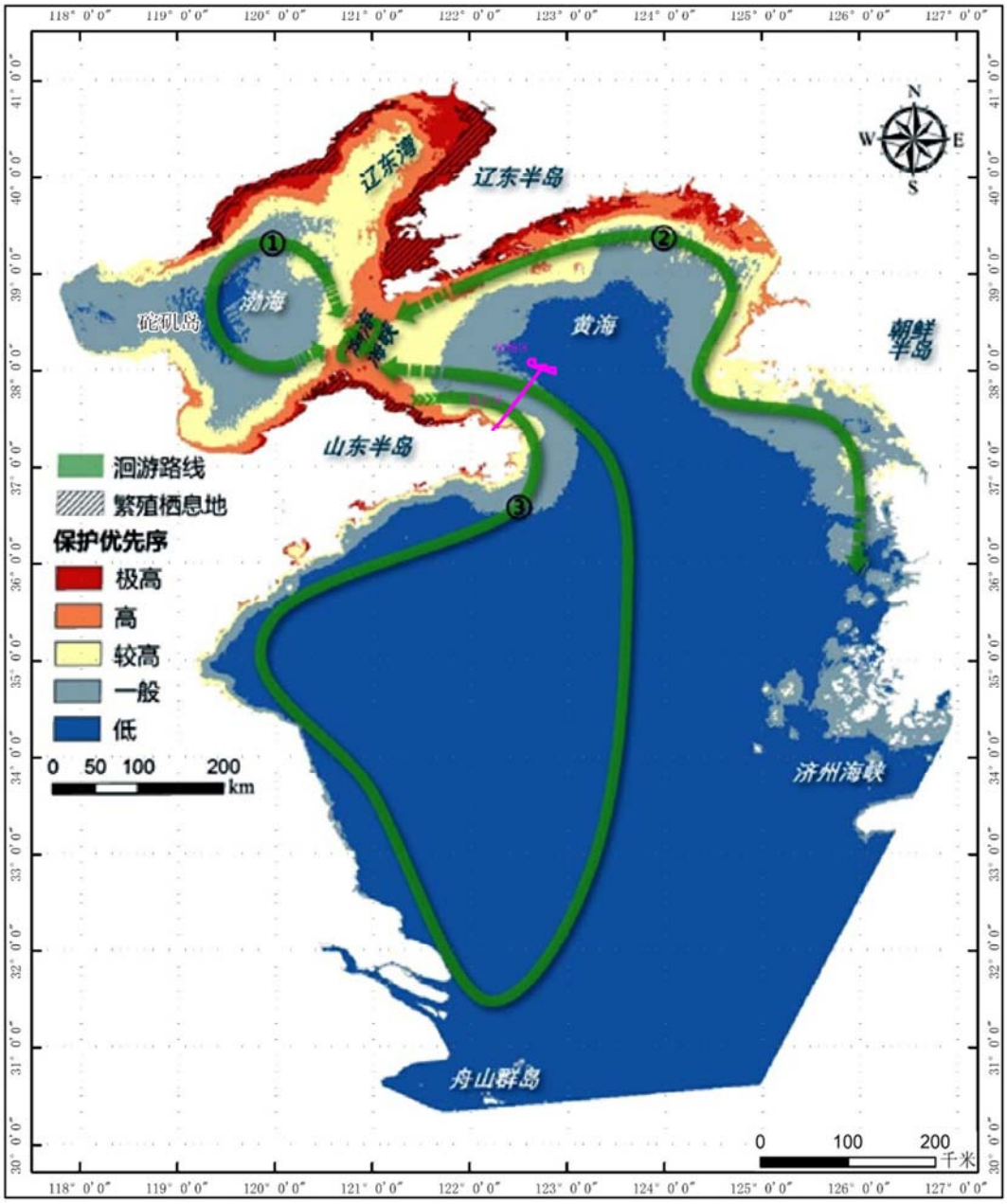


图 5.5-10 斑海豹在渤黄海内的保护优先区域（红区）、繁殖生境（阴影区）和迁徙路线（绿带）

（3）本项目与斑海豹繁殖栖息、迁徙通道的位置关系

由以上分析可知，斑海豹的繁殖地位于渤海，特别是在辽东湾的浮冰区，本项目不

占用斑海豹的繁殖地，距离较远；本项目距斑海豹的关键栖息地较远（超 152km），项目风电场区不占用斑海豹的栖息地，500kV 海缆近岸段穿越斑海豹的适宜栖息地，该区域为低适生区；根据《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》，本项目风电场区可能位于斑海豹迁徙路线的边缘区域，根据《斑海豹小种群报告》，风电场区位于“3”号迁徙路线（回山东半岛方向）北侧外部，500kV 海缆中间段穿越“3”号迁徙路线（山东半岛至长江口方向）。

总体来看，本项目风电场区不占用斑海豹的繁殖栖息地，根据《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》斑海豹迁徙路线，本项目风电场区可能位于斑海豹迁徙路线的边缘区域，项目 500kV 海缆中部穿越斑海豹迁徙路线；根据《斑海豹小种群报告》，本项目 500kV 海缆近岸段穿越斑海豹的适宜栖息地（低适生区），中部穿越“3”号迁徙路线（山东半岛至长江口方向）。

相关参考文献
[1] Boveng, P. 2016. Phoca largha . The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T17023A45229806. https://dx.doi.org/10.2305/ IUCN.UK.2016-1.RLTS.T17023A45229806.en. Accessed on 08 October 2024.
[2] Yan H ,Wang N ,Wu N , et al. Abundance, Habitat Conditions, and Conservation of the Largha Seal (Phoca largha) During the Past Half Century in the Bohai Sea, China[J]. Mammal Study, 2018, 43(1): 1-9.
[3] Kathryn J. Frost, John J. Burns. 2018. Spotted Seal: Phoca largha . Encyclopedia of Marine Mammals (Third Edition), pp. 928-931.
[4] 王诺, 丁凯. 渤海海洋环境对斑海豹生存影响研究[J]. 海洋通报, 2019, 38(02): 202-209.
[5]焦凤荣 . 辽东湾斑海豹资源的保护与管理 [J]. 中国水产 ,2015,(04):35-38.
[6] Zhuang H, Fei S, Zhang C, et al. Spatial-temporal shifting patterns and in situ conservation of spotted seal (Phoca largha) populations in the Yellow Sea ecoregion[J]. Integrative Zoology, 2024, 19: 307—18.
[7] 邢衍阔，王震，鹿志创，韩家波，杜静，高祥刚，吴英超，孔重人，田甲申. 西太平洋斑海豹觅食迁徙行为分析与适宜栖息地预测[J]. 生态学报,2025,45(19).
[8] 李永涛，于国旭，程兆龙，左涛，牛明香，王俊. 长岛海域东亚江豚种群密度和分布的初步研究[J]. 动物学杂志,2023,58(5) :658-668.

5.5.2 东亚江豚现状

东亚江豚是国家二级保护野生动物，也是国际自然保护联盟（IUCN）名录中的濒危级海洋哺乳动物，主要分布在我国黄、渤海海域，是评估黄、渤海生态系统健康状况与完整性的重要旗舰物种和指示物种。

（1）江豚的摄食习性

东亚江豚主要以小型鱼类、甲壳类和头足类动物为食（Barrosetal.2002，Parketal.2005，Shirakiharaetal.2008）。Lu 等（2016）分析了中国黄渤海沿岸 23 头东亚江豚死亡样本胃容物，食物组成以鱼类为主，主要是拉氏狼牙虾虎鱼、澳洲鲭、小黄鱼和黄姑鱼 4 种，其中，3 种为洄游性鱼类。长岛海域是鱼类洄游的必经之地，每年 4 月下旬，大群洄游性鱼类会经此进入渤海产卵；9 月上旬前后，因渤海表层水温降低，鱼

群陆续经长岛海域离开渤海，开始做适温洄游（李晓炜等 2018）。Akamatsu 等（2010）研究了大村湾（Omura）的东亚江豚后发现，其种群有伴随食物资源和水文变化（潮汐）进行迁移的行为。因此推测，5 月洄游性鱼类途经长岛海域吸引了大量东亚江豚群体聚集摄食，9 月以后东亚江豚种群逐渐开始跟随洄游性鱼类离开。鱼类的季节性洄游可能是造成长岛海域东亚江豚季节分布的主要原因。

（2）东亚江豚繁殖

东亚江豚雌雄性通常在 5 岁左右达到性成熟，每年繁殖一次，每胎产 1 仔。

东亚江豚在春季（3-5 月）至夏季（春末到夏天）进入繁殖高峰期，此时水温回升，鱼类产卵洄游至沿岸海域，江豚随之向饵料丰富的近岸区域聚集。繁殖期间更倾向于选择近岸浅水区，如黄渤海沿岸。

（3）东亚江豚的栖息分布与迁徙规律

1）东亚江豚热点分布区

中国水产科学研究院黄海水产研究所水生野生动物保护科研团队持续开展了黄、渤海的东亚江豚种群生态调查和监测，查明了东亚江豚的分布热点区和种群数量。确认渤海莱州湾（黄河口）海域、长岛海域和青岛的崂山湾海域是东亚江豚的重要栖息地，估算渤海湾东亚江豚种群数量为 5000 头，山东半岛沿岸的东亚江豚种群数量约为 15000 头。

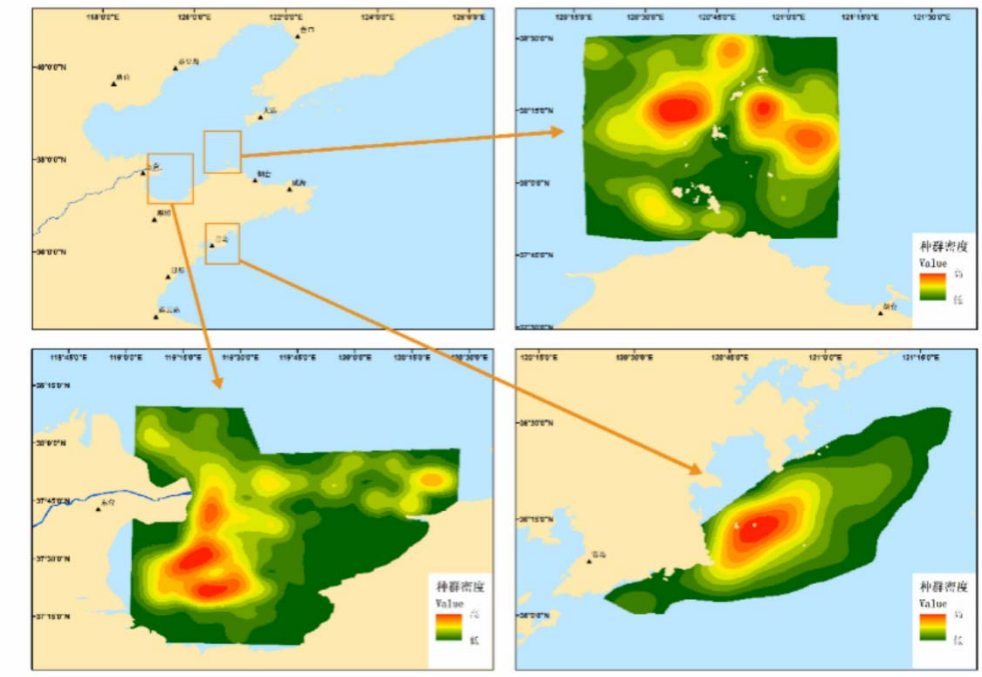


图 5.5-11　东亚江豚种群热点分布区示意图（黄海水产研究所）

2）长岛海域东亚江豚的种群数量、分布及迁徙规律

项目距离最近的东亚江豚种群热点分布区为长岛海域，距离超过 154km。长岛海域，砣矶岛－大钦岛西北侧和东南侧为江豚两个高密度分布区，长山岛－砣矶岛－竹山岛之间水域和北隍城岛东北水域种群遇见率较低。

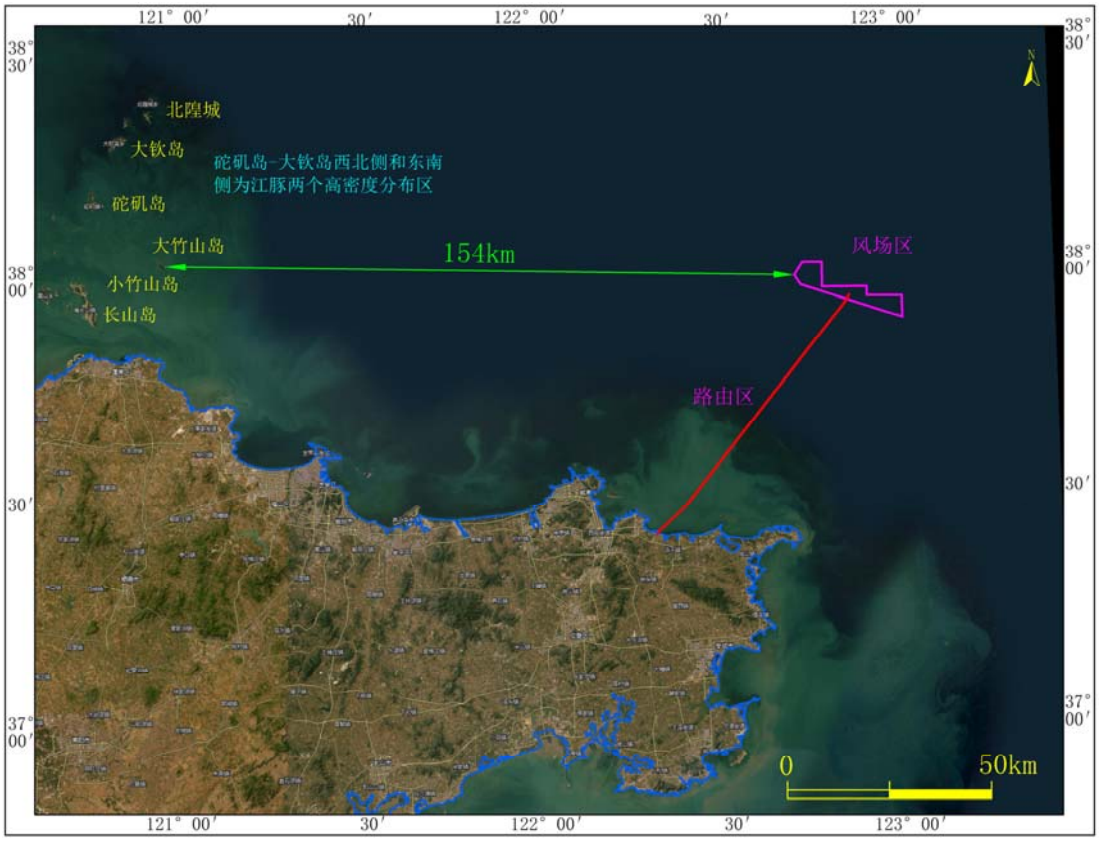


图 5.5-12　项目风电场区与长岛海域位置关系图

根据李永涛团队的 2019 年~2021 年的 5 次调查研究，5 月和 10 月长岛海域东亚江豚种群分布特征相似，砣矶岛－大钦岛西北侧和东南侧为东亚江豚高密度分布区。据统计，长岛海域 5 月和 10 月东亚江豚平均种群密度为（0.56±0.11）ind/km^2（0.46~0.68ind/km^2）和（3.63±0.25）ind/km^2（3.38~3.88ind/km^2）。长岛海域 5 月东亚江豚平均种群数量为（20209±202）ind，并在 20066~20352 头之间波动，10 月东亚江豚平均种群数量为（2971±681）ind，并在 2195~3473ind 之间波动。其中，长岛海域在特定月份（如 10 月）观测到的种群密度为已知分布区中最高，但不同季节种群遇见率存在极显著差异，5 月份远高于 10 月份，表明其长岛海域东亚种群存在季节性迁移规律。据推测，5 月洄游性鱼类途经长岛海域吸引了大量东亚江豚群体聚集摄食，9 月以后东亚江豚种群逐渐开始跟随洄游性鱼类离开。鱼类的季节性洄游可能是造成长岛海域东亚江豚季节分布的主要原因。

5.6 海洋生态敏感区调查

5.6.1.1 保护区

本项目周边的保护区包括威海海西头国家级海洋公园，刘公岛国家级海洋公园，刘公岛国家级海洋生态特别保护区。

5.6.1.1.1 威海海西头国家级海洋公园

威海海西头国家级海洋公园 2014 年 3 月 13 日经国家海洋局批准成立。位于山东省威海经济技术开发区最东部泊于镇。泊于镇东接荣成市港西镇，南邻桥头镇，西与崮山镇交界，北濒黄海。面积 73 平方公里，海岸线长 14 公里。获批的海西头国家级海洋公园建于威海经济技术开发区东部滨海新城，自然景观优美独特。保护区总规划面积 1274.33 公顷，其中陆域面积 287.78 公顷，海域面积 986.55 公顷，分为重点保护区、生态与资源恢复区、适度利用区三个功能区。

重点保护区，面积共约 371.12hm^2，占保护区总面积的 29.09%。重点保护区一分南北两部分两块区域。南部的芦苇重点保护区：主要保护滨海湿地，重点保护湿地芦苇等植被。北部重点保护区部分：该重点保护区主要是为了保护近海海域海洋生态环境。

生态与资源恢复区位于重点保护区北部，靠近重点保护区海域。面积为 381.01hm^2，占保护区的 29.90%，该区以自然恢复为主，人工修复为辅。

适度利用区位于海洋公园南部，面积为 522.20hm^2，占保护区总面积的 40.98%，其中陆域面积 285.72hm^2，海域面积 236.48hm^{2,} 适度利用区在确保海洋生态系统安全的前提下，充分挖掘现有资源潜力，通过科学规划、合理布局，在满足保护需求的前提下，开发海上游乐、渔业文化、滨海湿地观光等生态旅游产品，实现资源价值最大化。“在适度利用区，岸滩资源合理利用项目中岸潜项目、海岸林中休闲项目、石家河口赶潮项目等，综合开发滨海森林休闲、康体、运动旅游，开发建设林下休闲游步道、林下露营基地、滨海森林户外运动基地、自驾车营地等旅游休闲服务设施。”经区农业经济发展局相关科室负责人说，陆上资源合理利用项目有山野密林拓展项目、滨海湿地生态旅游项目、滨海乡村民宿项目，其中有儿童休闲小广场，以海西头村为主发展集住宿、餐饮、娱乐、休闲与体验等功能于一体的滨海乡村特色民宿，供游客休憩。

保护对象：主要保护对象为滨海湿地、近海海域海洋生态环境。

地理位置：保护区位于山东省威海经济技术开发区泊于镇茅子草口至逍遥河之间海域。地理坐标介于 37°23′24″N~37°25′80″N、122°20′48″E~122°24′90″E 之间。

生态环境：湿地生态系统是海洋公园最主要保护的生态系统，湿地中生长着多种多样的植物，流水流经湿地时，其中所含的营养成分被湿地植被吸收，或者积累在湿地泥

层之中，净化下游水源。湿地中的营养物质养育了鱼虾、树木、野生动物和湿地农作物。湿地是鸟类、鱼类、两栖动物繁衍、栖息、迁徙、越冬的场所，其中有许多是珍稀、濒危物种。

景观资源及历史民俗：海洋公园森林覆盖率达 68%，森林类型属海防林且具有风景林特点，具有观赏价值。植被属华北植物区系，有乔、灌树种 21 科 36 属 79 种，主要品种有黑松、刺槐、柞树。区内风光秀丽，空气清新。山峦起伏、树林浓郁苍翠，山海相映，形成生机勃勃的沿海森林生态的优美景观。

保护区管理：为推进保护区各项工作的开展，主要做了以下几项工作：一是成立机构，完善制度。2015 年 11 月，成立了海洋公园管理机构—海西头国家级海洋公园管理委员会，专门负责海洋公园建设、管理等各项工作。管理机构成立后，立即着手编制了《威海海西头国家级海洋公园管理办法》《威海海西头国家级海洋公园开发建设管理制度》等各项管理规章制度，对海洋公园开发、维护等进行了规范，确保各项工作有章可循。二是编制规划。经筛选，委托浙江旅游职业学院为规划编制单位，该单位编制的浙江洞头海洋公园总体规划，于 2014 年 9 月通过了国家海洋局评审，在全国是首例。目前，我区已先后组织了两次总体规划集体会审工作，重点是与东部滨海新城规划无缝对接，编制文本已经上报。三是开展拆迁工作。2016 年 4 月，启动海洋公园选址范围内岸线拆迁工作，该段岸线涉及养殖户 65 户，各类房产和大棚 42000 平方米，参池 400 亩，预计需拆迁资金 2 亿元。现已完成了部分陆上建筑的拆除工作。同时，还对海洋公园规划中的湿地公园完成了评估工作。



图 5.6-1　威海海西头国家级海洋公园功能分区

5.6.1.1.2 刘公岛国家级海洋公园

威海刘公岛国家级海洋公园是依托刘公岛为核心的，包括海洋与海岛历史文化资源的海洋公园，由国家海洋局 2011 年 5 月 19 日批准建立。威海刘公岛国家级海洋公园面积 2838 公顷，范围内包括刘公岛、日岛等 5 个海岛，主要包括重点保护区、适度利用区、预留区及生态与资源恢复区，其中重点保护区面积为 804.7 公顷，适度利用区面积为 893.1 公顷，预留区面积为 313.7 公顷，生态与资源恢复区面积为 826.5 公顷。

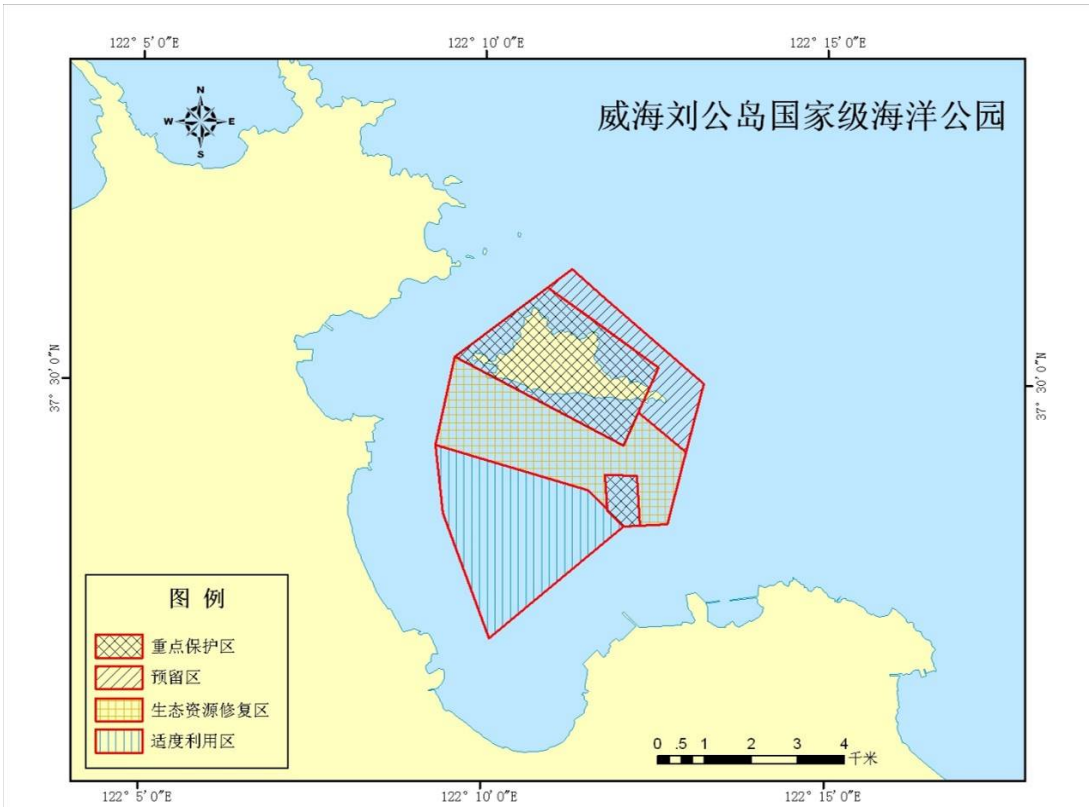


图 5.6-2　威海刘公岛国家级海洋公园功能分区

（1）重点保护区

刘公岛海洋公园的重点保护区主要包括刘公岛历史遗迹保护区、日岛历史遗迹保护区两个区域。

（2）适度利用区

刘公岛国家级海洋公园的适度利用区为渔业观光区，面积 893.1 公顷。

（3）生态与资源修复区

刘公岛国家级海洋公园的生态与资源恢复区主要为刘公岛西部海域生态与资源恢复区，面积 1816.4 公顷。

（4）预留区

刘公岛海洋公园的预留区为包括黑鱼岛、大弘岛、小弘岛及其周边海域，面积 313.7 公顷。

5.6.1.1.3 威海刘公岛海洋生态国家级海洋特别保护区

威海刘公岛海洋生态国家级海洋特别保护区位于威海市环翠区，保护区范围主要包括刘公岛附近海域及周边无人海岛，刘公岛是我国著名的爱国主义教育基地，因刘公岛爱国主义教育基地品牌，现已成为中外游客来威海旅游的首选之地，前来接受教育和旅游观光的人数以年均 15%的速度递增。刘公岛周边的海岛包括大泓岛、小泓岛、日岛、

三连岛（青岛、黄岛、连林岛）、牙石岛、黑鱼岛、黑岛，这些海岛均维持原始风貌，尚未被开发利用，周边海域渔业资源非常丰富，生物多样性较高，由于海岛生态系统的特殊性，生态系统较为脆弱极易被破坏且破坏后难以恢复，为了有效保护及改善周边海域的海洋生态环境，促进周边海洋旅游资源的合理利用，保护区于 2009 年经国家海洋局批准正式成立，依据《海洋特别保护区管理办法》《海洋特别保护区分类分级标准》（HT/T117-2010），山东威海刘公岛国家级海洋生态特别保护区属于国家级海洋特别保护区中海洋生态保护区的类别，范围包括刘公岛周边海域和临近的大泓岛、小泓岛、日岛、黑岛、黄岛、青岛、连林岛、牙石岛、黑鱼岛八个海岛，总面积 1187.79 公顷，主要分为重点保护区、适度利用区和生态修复区三大部分，其中，重点保护区面积 211.42 公顷，生态与资源恢复区面积为 869.56 公顷，适度利用区面积为 106.81 公顷。

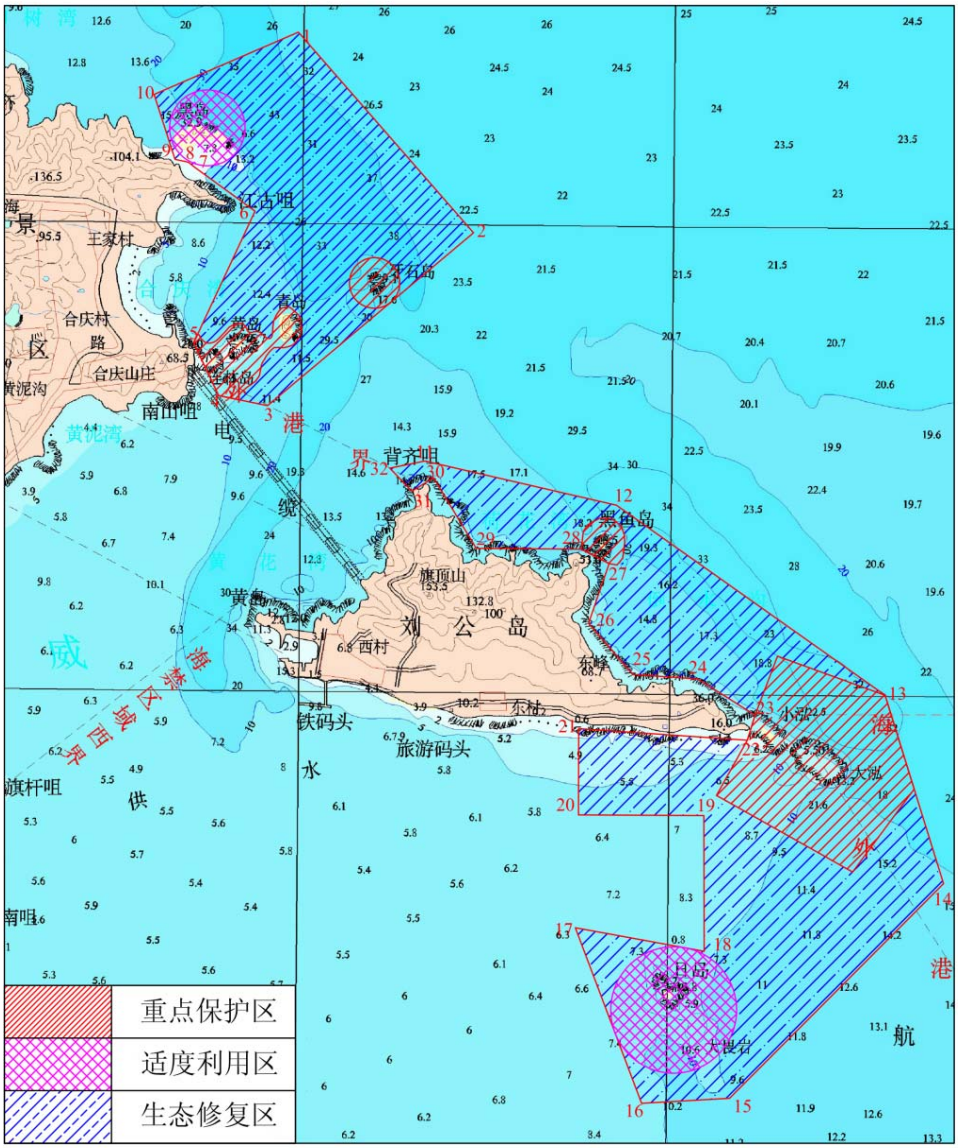


图 5.6-3　威海刘公岛海洋生态国家级海洋特别保护区功能分区

（1）重点保护区

刘公岛海洋生态特别保护区的重点保护区为牙石岛、黑鱼岛、青岛、黄岛、连林岛、大泓岛、小泓岛岛陆及周边一定范围内海域。

（2）适度利用区

刘公岛海洋生态特别保护区的重点保护区主要包括黑岛适度利用区、日岛适度利用区两个区域。

①黑岛适度利用区

以 122º09′31.83″E，37º32 ′24.25″N 为中心，以周边 300 米为半径的区域，区域面积为 28.27 公顷，利用方向为海岛休闲娱乐——海钓基地。

海岛是我国海洋经济发展中的特殊区域，海岛旅游是一项新兴的旅游产业，有着巨大的发展潜力。海钓作为一项重要的休闲活动，素有“海上高尔夫”之称，是目前世界上最具发展前景的行业之一。威海是国内外的渔具生产重要基地，拥有得天独厚的海钓优势，但海钓运动的发展相对落后，海钓资源未得到充分的发掘。可利用黑岛的优势建设海钓基地。

黑岛位于刘公岛景区的辐射范围之内，可以借助游客参观刘公岛之际，作为刘公岛旅游景区的一个部分，使游客在劳累之余有一个休憩的游乐场所，这样既可延长游客在威海的逗留时间，又可同时宣传威海的渔具产业，带动威海的相关旅游业的发展。

②日岛适度利用区

以 122º12′05.11″E，37º28′39.02″N 为中心，以 500 米为半径的周边区域，区域面积为 78.54 公顷，利用方向为爱国主义教育和海岛观光。

该区域主要是刘公岛爱国主义教育基地的延伸。此外，在春秋季节，岛上有时可欣赏到“海市蜃楼”。据《威海卫志》记载，“日岛海市”是威海的八景之一。清代福建巡抚、威海人王士任的《日岛海市》有这样的描写：东溟遥望白云村，幻出奇景千万重。才见冠裳皆列象，俄惊楼阁已无踪。桑田沧海浮仙岛，玉女金童笑祖龙。应是蓬莱原不远，探幽何必到三峰。

（3）生态修复区

刘公岛海洋生态特别保护区的生态修复区主要为保护区范围内除重点保护区、适度利用区以外的其他区域，总面积 869.56 公顷。

保护区内的生态修复的主要目的是改善区内的生态环境，以大型海藻藻场建设为海洋名贵经济动物的繁衍创造条件，同时为刘公岛的进一步利用创造良好的自然环境条

件。

5.6.1.2 海岛

工程附近海域岛屿主要有鸡鸣岛及其周边岛屿和刘公岛及其周边岛屿等，详见 5.2.4 节。

5.7 鸟类及栖息地概况

鸟类及栖息地现状调查与评价引自《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目鸟类生态环境现状调查与影响评价报告》（山东大学，2026 年 8 月），该报告 2026 年 8 月 1 日通过专家评审，并根据评审意见完成修改。

5.7.1 调查评价范围和资料来源

按照相关法规和政策文件，海上风电场的鸟类多样性调查评价应涵盖工程边界线向外扩展至少 8km 的海域。由于本海上风力发电场的边界距离最近的海岸 60km，边界 8km 内全为海域，没有任何形式的陆地存在。因此，我们除对项目所在区域进行调查外，适当增加了一些鸟类集中分布区，并对工程建设期间材料运输可能经过的地方进行了取样调查。调查取样范围主要涵盖了项目区域以南海岸线的主要生境类型（威海市部分海岸线和海驴岛）以及项目所在地附近海域。

在调查初期，我们发现项目南侧海岸大多已被开发成旅游景区，且部分海岸已建成陆地风机，整体生境多样性差异不大，且鸟类多样性较低。考虑到实地调查的数据不太能够反映本地区的鸟类实际情况，我们着重对项目所在南岸的整个荣成地区的相关观鸟记录和历史文献进行了汇总梳理，同时补充了邻近的文登区的相关资料。

历史资料来源主要有《山东省鸟类分布名录》（赛道建和孙玉刚主编，2013 年，科学出版社），《山东省鸟类志》（赛道建，2017，科学出版社），中国观鸟记录中心的历史数据，同时参考了邻近地区已发表的相关学术文献。

5.7.2 调查时间和调查方法

5.7.2.1 调查时间

鸟类有不同的活动规律，从居留型上来讲有留鸟、夏候鸟、冬候鸟、旅鸟以及迷鸟之分，因此需要在不同季节进行多次调查，以便更可能的调查到足够的鸟类数量。2020 年 10 月—2022 年 7 月，2023 年 3 月至 2026 年 1 月期间，我们开展了 27 次调查（表 5.7-1），并按照以下标准对季节进行了划分：其中 3 月—5 月为春季，6 月—8 月为夏季，9 月—11

月为秋季，12 月—次年 2 月为冬季。每个季节进行了两次调查，相邻两次调查的时间间隔为至少一个月，每个季节调查时间 3~5 天。

表 5.7-1　历次调查时间表

调查时间	调查内容
2020 年 10 月 27 日—10 月 28 日	秋季鸟类调查
2020 年 12 月 31 日—2021 年 1 月 2 日	冬季鸟类调查
2021 年 5 月 10 日—5 月 12 日	春季鸟类调查
2021 年 6 月 15 日—6 月 16 日	夏季鸟类调查
2021 年 8 月 2 日—8 月 5 日	夏季鸟类调查
2021 年 10 月 1 日—10 月 4 日	秋季鸟类调查
2022 年 1 月 5 日—1 月 8 日	冬季鸟类调查
2022 年 4 月 5 日—4 月 8 日	春季鸟类调查
2022 年 7 月 17 日—7 月 19 日	夏季鸟类调查
2023 年 3 月 11 日—3 月 12 日	春季鸟类调查
2023 年 6 月 17 日—6 月 18 日	夏季鸟类调查
2023 年 8 月 8 日—8 月 9 日	夏季鸟类调查
2023 年 10 月 1 日—10 月 4 日	秋季鸟类调查
2023 年 11 月 18 日—11 月 23 日	秋季鸟类调查
2024 年 1 月 1 日—1 月 3 日	冬季鸟类调查
2024 年 2 月 10 日—2 月 11 日	冬季鸟类调查
2024 年 4 月 4 日—4 月 7 日	春季鸟类调查
2024 年 7 月 10 日—7 月 13 日	夏季鸟类调查
2024 年 10 月 1 日—10 月 4 日	秋季鸟类调查
2025 年 1 月 4 日—1 月 5 日	冬季鸟类调查
2025 年 3 月 1 日—3 月 2 日	春季鸟类调查
2025 年 5 月 17 日—5 月 18 日	春季鸟类调查
2025 年 7 月 5 日—7 月 6 日	夏季鸟类调查
2025 年 8 月 9 日—8 月 10 日	夏季鸟类调查
2025 年 9 月 20 日—9 月 21 日	秋季鸟类调查
2025 年 11 月 1 日—11 月 2 日	秋季鸟类调查
2026 年 1 月 17 日—1 月 18 日	冬季鸟类调查

注：2025 年以来的 8 次调查为针对陆地及路由登陆点附近海域的补充调查，因涉及到登陆点调整，所以进行了补充调查。

5.7.2.2 调查路线和调查面积

本海上风电场工程距离海岸线最近约 58km，对应的海岸地区的景观类型主要为礁石海岸、沙质沙滩为主，多被开发成了旅游景区。此外，还有海驴岛这一黑尾鸥、黄嘴白鹭等鸟类的繁殖地。

根据上述风力发电场及周边的生境类型，我们设置了三个主要调查区域：1）项目所在海域及 8km 评价范围内；2）海缆送出沿线海域；3）海岸区域。其中，项目所在海域及 8km 评价范围内设置了 2 条完整样线，样线总长度约为 94km，另有 2 条海上样线有部分位于评价范围内，在评价范围内的总长度约为 26km（表 5.7-2），上述样线的总调查面积约为 96km^2，约占项目 8km 评价范围面积（约 820km^2）的 11.7%，已满足规范要求的调查面积不少于 10%的标准；海缆送出沿线海域设置了 2 条样线，1 条靠近场

区，1 条靠近登陆点，此外还在海驴岛至项目区域设置了 1 条样线（表 5.7-3）；海岸区域设置了 5 条样线和 1 个样点，覆盖了项目南侧海岸主要生境、海缆登录点以及近海岸的海驴岛（表 5.7-4）。样线位置示意图见图 5.7-1。

海域调查过程中，除近海岸区域外，所见到的主要为鸥类，且都随调查船只及其他船只活动，存在较大概率的重复计数，调查过程中重点关注种类，以及遇见的最大数量。

表 5.7-2　项目所在海域及 8km 评价范围内样线设置表

样线编号	起点坐标	终点坐标	生境类型	样线长度	调查面积	调查时间
海 1（覆盖 N1 场址并外展）	37°59'39.37"N，122°42'43.45"E	38°0'18.56"N，123°1'58.56"E	海洋	49km	39.2km^2	2021 年 5 月、8 月、10 月，2022 年 1 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月
海 2（N2 场址内）	38°0'17.34"N，122°47'38.77"E	37°57'13.57"N，122°59'41.98"E	海洋	45km	36km^2	2021 年 5 月、8 月、10 月，2022 年 1 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月
海 3（龙眼湾至风电场）	37°35'11.97"N，122°41'51.29"E	38°1'1.75"N，122°44'50.16"E	海洋	48km（约 8km 在评价范围内）	38.4km^2（6.4km^2）	2021 年 5 月、8 月、10 月，2022 年 1 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月
海 4（近场区路由）	37°56'28.31"N，122°58'24.42"E	37°47'3.98"N，122°42'51.58"E	海洋	30km（约 18km 在评价范围内）	24km^2（14.4km^2）	2021 年 5 月、8 月、10 月，2022 年 1 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月

表 5.7-3　海缆送出沿线海域样线起止坐标及样线长度表

样线编号	起点坐标	终点坐标	生境类型	样线长度	调查面积	调查时间
海 4（近场区路由）	37°56'28.31"N，122°58'24.42"E	37°47'3.98"N，122°42'51.58"E	海洋	30km（约 17km 紧挨海缆路由）	24km^2	2021 年 5 月、8 月、10 月，2022 年 1 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月
海 5（登陆点附近海域）	37°25'15.06"N，122°18'21.01"E	37°27'3.34"N，122°20'53.78"E	海洋	5km	4km^2	2025 年 1 月、3 月、5 月、7 月、8 月、9 月、11，2026 年 1 月

表 5.7-4　海岸区域样线起止坐标及样线长度表

样线编号	起点坐标	终点坐标	生境类型	样线长度	调查面积	调查时间
陆 1（成山头西侧）	37°23'45.51"N，122°42'3.20"E	37°24'37.55"N，122°41'25.17"E	礁石海岸+农田	2.2km	1.1km^2	2020 年 10 月、12 月，2021 年 5 月、6 月、8 月、10 月，2022 年 1 月，2023 年 10 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月，2025 年 1 月、3 月、5 月、7 月、8 月、9 月、11，2026 年 1 月
陆 2（马兰湾南侧）	37°24'47.55"N，122°41'8.83"E	37°25'4.23"N，122°38'57.39"E	沙滩+礁石海岸	4.4km	2.2km^2	2020 年 10 月、12 月，2021 年 5 月、6 月、8 月、10 月，2022 年 1 月，2023 年 10 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月，2025

样线编号	起点坐标	终点坐标	生境类型	样线长度	调查面积	调查时间
						年 1 月、3 月、5 月、7 月、8 月、9 月、11，2026 年 1 月
陆 3（龙眼湾至河口渔港）	37°24'56.31"N，122°38'11.70"E	37°24'48.05"N，122°35'39.68"E	沙滩+荒地	4.2km	2.1km^2	2020 年 10 月、12 月，2021 年 5 月、6 月、8 月、10 月，2022 年 1 月，2023 年 10 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月，2025 年 1 月、3 月、5 月、7 月、8 月、9 月、11，2026 年 1 月
陆 4（仙人桥村至朝阳港大桥）	37°24'25.11"N，122°35'9.32"E	37°24'15.21"N，122°30'0.35"E	沙滩+陆地风电场	8.2km	4.1km^2	2020 年 10 月、12 月，2021 年 5 月、6 月、8 月、10 月，2022 年 1 月、4 月、7 月，2023 年 10 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月，2025 年 1 月、3 月、5 月、7 月、8 月、9 月、11，2026 年 1 月
陆 5（威海逍遥湖景区两侧，覆盖登陆点）	37°24'37.02"N，122°20'51.38"E	37°25'15.78"N，122°16'44.25"E	沙滩+陆地风电场	7.2km	3.6km^2	2020 年 10 月、12 月，2021 年 5 月、6 月、8 月、10 月，2022 年 1 月、4 月、7 月，2023 年 10 月，2024 年 1 月、4 月、7 月、10 月，2025 年 1 月、3 月、5 月、7 月、8 月、9 月、11，2026 年 1 月

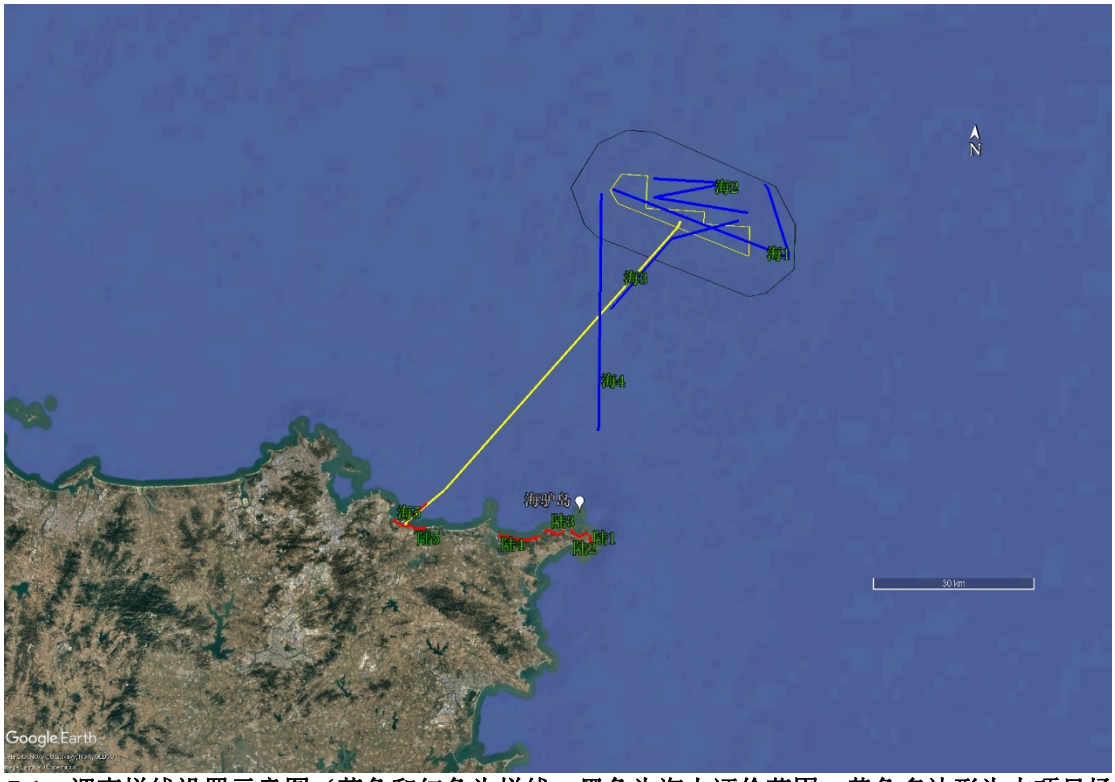


图 5.7-1　调查样线设置示意图（蓝色和红色为样线，黑色为海上评价范围，黄色多边形为本项目场址）

5.7.2.3 调查方法

（1）直接计数法

调查方法根据《全国第二次陆生野生动物资源调查技术规程》，采用直接计数法进行调查，直接记录物种种类，计数调查区域中水鸟的绝对数量，统计数量以观察记录到最多一次的个体数量为准，在调查区域调查以步行为主，而在比较开阔、生境均匀的大范围区域借助汽车进行调查；在调查海域时以船只（轮渡、渔船及快艇等）调查为主。

记录所有观察到的鸟类种类、数量以及分布，观察记录后，对个别种类进行摄影记录。所有调查均在天气状况良好，无大风的条件下进行。陆上调查时的行进速度 1~2km/h，部分鸟类分布集中区停留时间会适当延长。海上样线调查时，调查人员乘船沿较为固定的线路前进，调查人员从船上调查船两侧 400m 以内飞行和水中的鸟类，船行的速度在 7—16 节。

因海上距离较远，且陆地样线分布较远，海上调查和陆地调查人员分两组同步进行。

（2）历史资料收集法

在实际调查过程中，因调查强度、样线设置沿线的生境状况，我们发现实际调查得到的数据不能很好地体现项目所在海域及周边地区的鸟类状况。为补充实际调查的不足，我们着重对项目所在南岸的整个荣成地区的相关观鸟记录和历史文献进行了汇总梳理，同时补充了邻近的文登区的相关资料。资料来源主要有《山东省鸟类志》（赛道建，2017，科学出版社），中国观鸟记录中心的历史数据（表 5.7-5），同时参考了邻近地区已发表的相关学术文献。

此外，我们还利用“卫星追踪”“迁徙”“satellite tracking”“migration”，以及收集到的相关重点保护物种的中文名和学名作为关键词搜索了国内外已发表的和本地区鸟类有关的相关学术文献。

表 5.7-5　中国观鸟记录中心数据基本情况汇总

报告编号	观测时间	观测地点	鸟种数量
2025041301224	2024-12-2812:01 至 2024-12-2816:02	烟墩角	2
2024122200230	2024-12-2208:32 至 2024-12-2210:00	成山镇	1
2024121800398	2024-12-1812:00 至 2024-12-1813:00	荣成市崖头街道五岛	7
2024121400646	2024-12-1414:00 至 2024-12-1415:00	桑沟湾湿地公园	18
2024101300926	2024-10-1311:48 至 2024-10-1316:48	荣成市俚岛镇王家山	13
2024101800608	2024-10-1310:30 至 2024-10-1316:30	伟德山	9
2024101300945	2024-10-1308:56 至 2024-10-1309:56	荣成成山林场	4
2024101300955	2024-10-1307:59 至 2024-10-1308:59	摩天岭风景区	10
2024101200973	2024-10-1216:37 至 2024-10-1217:33	荣成市八河水库	13
2024101200559	2024-10-1215:02 至 2024-10-1216:00	荣成大天鹅国家级自然保护区	22
2024101200425	2024-10-1209:04 至 2024-10-1211:04	海驴岛	20

报告编号	观测时间	观测地点	鸟种数量
2025042702105	2024-10-0113:00 至 2024-10-0115:17	天鹅湖生态旅游区	7
2024101600777	2024-09-2909:30 至 2024-09-2911:15	香庭海岸国际海水浴场	7
2024091601239	2024-09-1608:18 至 2024-09-1610:20	成山头国家重点风景名胜区	4
2024083100272	2024-08-3112:00 至 2024-08-3113:00	布鲁威斯沉船	2
2024082800198	2024-08-2811:00 至 2024-08-2812:00	布鲁威斯沉船	3
2024082300010	2024-08-2211:00 至 2024-08-2213:00	烟墩角	4
2024082100175	2024-08-2110:00 至 2024-08-2112:00	桑沟湾湿地	18
2024081400598	2024-08-1417:00 至 2024-08-1418:00	桑沟湾湿地公园	14
2024073000035	2024-07-3006:33 至 2024-07-3007:00	荣成市环湖路（王家）	13
2024073000016	2024-07-3005:30 至 2024-07-3006:30	桑沟湾湿地公园	31
2024072900469	2024-07-2917:00 至 2024-07-2918:00	桑沟湾湿地公园	26
2024072900083	2024-07-2908:00 至 2024-07-2909:00	荣成市环湖路（王家）	13
2024072900020	2024-07-2905:00 至 2024-07-2907:00	桑沟湾湿地公园	32
2024072800250	2024-07-2811:08 至 2024-07-2811:10	荣成市滕家镇西寺村	5
2024072500143	2024-07-2506:00 至 2024-07-2507:00	石岛湾（威海市荣成市）	6
2024071500041	2024-07-1414:00 至 2024-07-1416:00	鸡鸣岛	1
2024071500040	2024-07-1214:00 至 2024-07-1216:00	威海荣成市成山头风景区	3
2025121500350	2024-06-1510:43 至 2024-06-1517:43	荣成市崂山街道产子石	4
2025081801026	2024-06-0313:05 至 2024-06-0314:00	布鲁威斯沉船	1
2024051200376	2024-05-1210:00 至 2024-05-1211:00	威海荣成市成山头风景区	16
2024040401145	2024-04-0408:12 至 2024-04-0409:12	赵家村	6
2024040401110	2024-04-0315:00 至 2024-04-0317:00	荣成大天鹅国家级自然保护区	23
2024040401077	2024-04-0309:30 至 2024-04-0310:30	桑沟湾湿地公园	19
2024031801276	2024-03-1815:00 至 2024-03-1817:00	樱花湖广场	18
2024031500926	2024-03-1520:00 至 2024-03-1521:00	荣成大天鹅国家级自然保护区	19
2025091100362	2024-03-1114:30 至 2024-03-1117:30	荣成市桑干河植物园（伟德东路南100 米）	4
2024021600718	2024-02-1612:00 至 2024-02-1613:00	那香海景区	7
2024021501944	2024-02-1518:00 至 2024-02-1519:00	车道河	4
2024021502055	2024-02-1516:30 至 2024-02-1517:48	荣成大天鹅国家级自然保护区	5
2024021500665	2024-02-1509:00 至 2024-02-1510:30	荣成市烟墩角天鹅湖（烟墩角文化广场西）	3
2024021500371	2024-02-1508:00 至 2024-02-1509:00	荣成市环湖路（王家）	1
2024021302247	2024-02-1309:30 至 2024-02-1310:30	荣成大天鹅国家级自然保护区	4
2025041700908	2024-01-2810:10 至 2024-01-2811:40	荣成大天鹅国家级自然保护区	2
2024012301867	2024-01-2311:05 至 2024-01-2311:50	樱花湖广场	8
2024012301860	2024-01-2309:08 至 2024-01-2310:45	桑沟湾湿地公园	14
2024050502106	2024-01-1123:32 至 2024-01-1123:32	荣成大天鹅国家级自然保护区	9
2024010901667	2024-01-0915:00 至 2024-01-0916:00	桑沟湾湿地公园	31
2024011601561	2024-01-0711:27 至 2024-01-0717:27	天鹅湖	1
2024010701968	2024-01-0710:00 至 2024-01-0712:00	天鹅湖	18
2024010701890	2024-01-0707:30 至 2024-01-0709:00	桑沟湾湿地公园	23
2024010604061	2024-01-0616:45 至 2024-01-0617:15	樱花湖广场	12
2024011302552	2024-01-0609:00 至 2024-01-0615:00	荣成滨海公园	8
2024010501704	2024-01-0516:00 至 2024-01-0517:00	桑沟湾湿地公园	11
2024010501756	2024-01-0515:33 至 2024-01-0517:00	桑沟湾湿地公园	13
2024010108695	2024-01-0115:00 至 2024-01-0116:00	荣成大天鹅国家级自然保护区	18
2024010105278	2024-01-0112:00 至 2024-01-0113:00	布鲁威斯沉船	4

报告编号	观测时间	观测地点	鸟种数量
2024010402828	2023-12-2415:00 至 2023-12-2416:00	樱花湖广场	20
2024051501468	2023-10-2308:08 至 2024-03-2721:08	樱花湖广场	22
2024010202614	2023-07-2811:34 至 2023-07-2911:00	天鹅湖等	34
2024031100838	2023-07-0718:00 至 2023-07-0719:00	樱花湖广场	2
2024031100837	2023-07-0711:00 至 2023-07-0712:00	荣成市俚岛镇联洛湾	4
2024010208364	2021-12-0406:53 至 2021-12-0415:53	荣成大天鹅国家级自然保护区	5

5.7.2.4 调查设备

调查工具采用单筒望远镜、双筒望远镜、GPS、长焦相机，参考资料为《中国鸟类野外手册（马敬能新编版）》《中国鸟类图鉴》和《东亚鸟类图鉴》。

5.7.2.5 调查人员组成

本项目实施过程中共有 9 人参与，含 4 位固定人员和 5 位非固定人员（观鸟爱好者），均参与实地调查，每次实地调查人员 2—4 人，分为两组，每组至少 1 位固定人员。4 位固定人员中，生态学副教授 1 名、博士 1 名，硕士研究生 2 名，志愿者 5 名。主要人员名单如下表：

表 5.7-6　项目调查人员组成表

姓名	职称/身份	单位
王玉志	副教授	山东大学
胡运彪	博士	山东大学外聘人员
张欠欠	硕士研究生	山东大学
石婷婷	硕士	东营一中

5.7.2.6 结果分析

现场调查过程中，我们在项目所在海域及项目南岸陆地样线（不含登陆点）记录到的鸟类种类数远低于文献资料，现场调查结果仅作为计算多样性指数的参考，整体的鸟类时空分布以综合了文献资料的数据为准。居留型参考了《中国鸟类分类与分布名录》（第四版），并进一步参考《山东省鸟类志》根据威海地区的实际情况进行了微调。

在报告中，我们分四个板块进行了分析：1. 项目所在海域及南侧海岸（包含风电场区、登陆点及南岸陆地生境）的整体鸟类概况；2. 风电场区的鸟类概况；3. 项目南侧陆地区域的鸟类概况（含登陆点附近的陆地生境）； 4.海缆路由沿线海域的鸟类概况。此外，将海驴岛作为一个特殊地区单独介绍。

5.7.3 鸟类现状调查结果与分析

5.7.3.1 鸟类整体概况

现场调查过程中，在项目评价海域及项目南侧海岸区域仅记录到鸟类 53 种，但综

合文献资料后，区域内的鸟类种类数为 220 种（详见**表** 5.7-8）。按居留型划分，其中留鸟 39 种，占比 17.7%；夏候鸟 54 种，占比 24.6%；冬候鸟 61 种，占比 27.7%；旅鸟 140 种，占比 63.6%（图 5.7-2）。

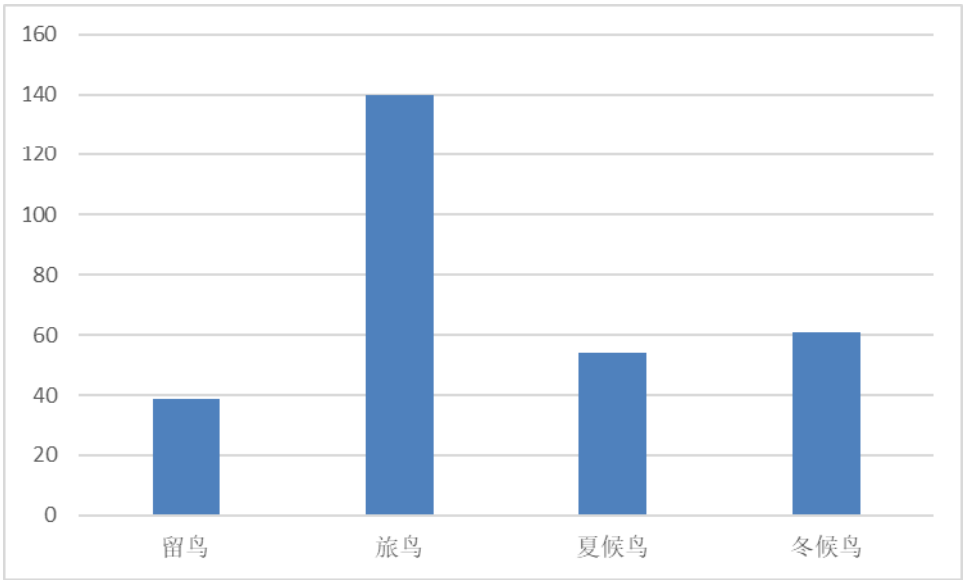


图 5.7-2　各居留型鸟类组成图

按生态类群划分，其中游禽 49 种，占比 22.3%；涉禽 54 种，占比 24.5%；猛禽 21 种，占比 9.5%；攀禽 9 种，占比 4.1%；陆禽 5 种，占比 2.3%；鸣禽 82 种，占比 37.3%。

根据《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），国家一级重点保护鸟类有 6 种，分别为青头潜鸭、东方白鹳、黑脸琵鹭、黄嘴白鹭、黑嘴鸥和遗鸥。其中现场调查记录到 1 种，为黄嘴白鹭。

国家二级重点保护鸟类有 41 种，分别为疣鼻天鹅、大天鹅、小天鹅、鸿雁、白额雁、斑头秋沙鸭、鸳鸯、花脸鸭、角鸊鹈、黑颈鸊鹈、白琵鹭、小杓鹬、白腰杓鹬、大杓鹬、翻石鹬、大滨鹬、红角鸮、长耳鸮、短耳鸮、鹗、黑翅鸢、凤头蜂鹰、短趾雕、赤腹鹰、日本松雀鹰、雀鹰、苍鹰、白腹鹞、白尾鹞、黑鸢、灰脸鵟鹰、大鵟、普通鵟、红隼、红脚隼、燕隼、游隼、云雀、红胁绣眼鸟、蓝喉歌鸲和红喉歌鸲。其中现场记录到 6 种，分别为白腰杓鹬、大杓鹬、翻石鹬、雀鹰、黑鸢和红隼。

按山东省自然资源厅 2025 年 7 月颁布的《山东省重点保护野生动物名录（征求意见稿）》，省级重点保护鸟类有 37 种，分别为黑雁、灰雁、斑脸海番鸭、普通秋沙鸭、红胸秋沙鸭、红头潜鸭、斑背潜鸭、赤膀鸭、赤颈鸭、针尾鸭、凤头䴙䴘、灰斑鸠、白胸苦恶鸟、绿鹭、草鹭、绿背鸬鹚、黄脚三趾鹑、蛎鹬、凤头麦鸡、蒙古沙鸻、东方鸻、中杓鹬、斑尾塍鹬、三宝鸟、蓝翡翠、黑枕黄鹂、虎纹伯劳、黄腹山雀、中华攀雀、崖沙燕、暗绿绣眼鸟、蓝歌鸲、黑尾蜡嘴雀、黄雀、铁爪鹀、红颈苇鹀和田鹀。其中，现

场记录到 1 种，为中杓鹬。

根据《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》（IUCN Red List of Threatened Species，截至 2026 年 3 月），CR（极危）级别物种 1 种，为青头潜鸭；属于 EN（濒危）级别的有 4 种，分别为东方白鹳、黑脸琵鹭、大杓鹬和大滨鹬；属于 VU（易危）级别的有 7 种，分别为鸿雁、红头潜鸭、角鸊鹈、黄嘴白鹭、黑嘴鸥、遗鸥和田鸡；属于 NT（近危）级别的有 10 种，分别为鹌鹑、白眼潜鸭、罗纹鸭、凤头麦鸡、白腰杓鹬、蛎鹬、黑尾塍鹬、斑尾塍鹬、灰尾漂鹬和红颈苇鳽。其中现场记录到 4 种，分别为黄嘴白鹭、白腰杓鹬、大杓鹬、黑尾塍鹬。

5.7.3.2 风电场区鸟类概况

现场调查中，在风电场区仅记录到黑尾鸥活动，春季、夏季和秋季均有记录，其中春季记录到 27 只，夏季记录到 125 只，秋季记录到 12 只。另外，在秋季调查时记录到一队迁徙的雁鸭类，但因距离较远，无法精确到种。未记录到国家重点保护鸟类和省级重点保护鸟类。

根据各文献中的鸟类迁徙卫星追踪数据，迁徙过程中会经过风电场所在海域及周边海域的有大天鹅、小天鹅、鸿雁、灰雁、豆雁、白额雁、赤颈鸭、绿翅鸭、罗纹鸭、白眉鸭、花脸鸭、黄嘴白鹭、白琵鹭、黑脸琵鹭、蛎鹬、中杓鹬、大杓鹬、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、凤头蜂鹰、燕隼和游隼等。

上述鸟类中，国家一级重点保护鸟类有黑脸琵鹭和黄嘴白鹭；国家二级重点保护鸟类有大天鹅、小天鹅、鸿雁、白额雁、花脸鸭、大杓鹬、凤头蜂鹰、燕隼和游隼；省级重点保护鸟类有灰雁、赤颈鸭、蛎鹬和中杓鹬。

5.7.3.3 南侧海岸陆地区域鸟类概况

风电场区南侧海岸陆地生境中记录到的鸟类与本地区鸟类组成一致。在布设的陆地样线现场调查中仅记录到 53 种鸟类。其中：1）春季记录到 39 种，共计 3055 只。香农威纳指数为 1.817，优势种为黑尾鸥、红嘴鸥和麻雀，占比分别为 46.46%、20.79%和 12.59%。2）夏季记录到 40 种，共计 2168 只。香农威纳指数为 1.712，优势种为黑尾鸥、麻雀和家燕，占比分别为 45.24%、17.82%和 12.35%。3）秋季记录到 33 种，共计 1548 只。香农威纳指数为 2.874，优势种为麻雀、红嘴鸥、家燕、普通鸬鹚和黑尾鸥，占比分别为 16.23%、13.36%、11.07%、10.36%和 8.32%。4）冬季记录到 24 种，共计 1525 只。香农威纳指数为 2.231，优势种为黑尾鸥、麻雀、普通鸬鹚和喜鹊，占比分别为 45.92%、

16.01%、12.81%和 8.42%。

登陆点所在位置有一小型码头，有渔船停泊，南侧约 240 米为滨海大道，两侧有道路绿化植被。该区域未发现鸟类繁殖，海岸处发现的鸟类主要以黑尾鸥、红嘴鸥、白鹭、麻雀和喜鹊为主。道路两侧绿化植被中还有白头鹎、大山雀等鸟类。

综合天鹅湖国家级自然保护区以及本区域的文献资料后，南岸陆地区域内记录的鸟类种类数为 220 种。国家一级重点保护鸟类有 6 种，分别为青头潜鸭、东方白鹳、黑脸琵鹭、黄嘴白鹭、黑嘴鸥和遗鸥。其中现场调查记录到 1 种，为黄嘴白鹭。国家二级重点保护鸟类有 41 种，分别为疣鼻天鹅、大天鹅、小天鹅、鸿雁、白额雁、斑头秋沙鸭、鸳鸯、花脸鸭、角鸊鹈、黑颈鸊鹈、白琵鹭、小杓鹬、白腰杓鹬、大杓鹬、翻石鹬、大滨鹬、红角鸮、长耳鸮、短耳鸮、鹗、黑翅鸢、凤头蜂鹰、短趾雕、赤腹鹰、日本松雀鹰、雀鹰、苍鹰、白腹鹞、白尾鹞、黑鸢、灰脸鵟鹰、大鵟、普通鵟、红隼、红脚隼、燕隼、游隼、云雀、红胁绣眼鸟、蓝喉歌鸲和红喉歌鸲。其中现场记录到 6 种，分别为白腰杓鹬、大杓鹬、翻石鹬、雀鹰、黑鸢和红隼。

省级重点保护鸟类有 37 种，分别为黑雁、灰雁、斑脸海番鸭、普通秋沙鸭、红胸秋沙鸭、红头潜鸭、斑背潜鸭、赤膀鸭、赤颈鸭、针尾鸭、凤头䴙䴘、灰斑鸠、白胸苦恶鸟、绿鹭、草鹭、绿背鸬鹚、黄脚三趾鹑、蛎鹬、凤头麦鸡、蒙古沙鸻、东方鸻、中杓鹬、斑尾塍鹬、三宝鸟、蓝翡翠、黑枕黄鹂、虎纹伯劳、黄腹山雀、中华攀雀、崖沙燕、暗绿绣眼鸟、蓝歌鸲、黑尾蜡嘴雀、黄雀、铁爪鹀、红颈苇鹀和田鹀。其中，现场记录到 1 种，为中杓鹬。

属于 CR（极危）级别物种有 1 种，为青头潜鸭；属于 EN（濒危）级别的有 4 种，分别为东方白鹳、黑脸琵鹭、大杓鹬和大滨鹬；属于 VU（易危）级别的有 7 种，分别为鸿雁、红头潜鸭、角鸊鹈、黄嘴白鹭、黑嘴鸥、遗鸥和田鹀；属于 NT（近危）级别的有 10 种，分别为鹌鹑、白眼潜鸭、罗纹鸭、凤头麦鸡、白腰杓鹬、蛎鹬、黑尾塍鹬、斑尾塍鹬、灰尾漂鹬和红颈苇鹀。其中现场记录到黄嘴白鹭、白腰杓鹬、大杓鹬、黑尾塍鹬。

5.7.3.4 海缆路由沿线海域鸟类概况

在本项目中，海缆路由主要可能在施工期对潜在的觅食鸟类有所影响或者夜间灯光对迁徙鸟类有所吸引，但随着施工结束其直接影响也将会消失，在调查过程中，我们重点关注了可能会在沿线觅食的鸟类。另外，因距离陆地距离存在显著差异，近场区附近的路由所在海域及遇到的鸟类非常少，只有零星的黑尾鸥个体，且少于项目所在海域的

个体数，在此不做定量分析。

在登陆点附近海域，鸟类数量和种类数相对较多，且与登陆点处的鸟类在种类组成上基本一致。越靠近海岸线，鸟类数量越多，以黑尾鸥为主，繁殖季节，在登陆点所在区域以及西侧的奔腾码头附近，活跃的黑尾鸥数量均在上百只以上。另有少量白鹭等偶尔在停泊的渔船边休息。因该区域人为干扰较大，未发现黄嘴白鹭等国家重点保护鸟类在此停歇或觅食。

5.7.3.5 海驴岛鸟类介绍

海驴岛位于山东省荣成市成山头西北的大海中，距海岸 1600 余米，面积约 1300 平方米。其远离海岸，无人居住，岛上山体悬崖顶端相对平坦，一些低矮的灌丛生长稀疏，海岛周围海域食物资源丰富，这种环境对鸟类来说是绝佳的繁殖栖息场所，吸引了大量的黑尾鸥和黄嘴白鹭等鸟类每年来此繁衍。2018 年起，为保护岛上的繁殖鸟类及生态景观，登岛游览被禁止，仅可以进行乘船在外围区域环岛游览。据以往的文献数据，海驴岛上繁殖的黑尾鸥数量超过 1 万只，黄嘴白鹭数百只，此外还有白鹭等近千只。每年 5~8 月是海驴岛鸟类的重要繁殖季节，数量非常大，且经常会到海驴岛南侧的海岸活动。

5.7.3.6 部分鸟类的迁徙路线卫星追踪数据及初步分析

经查阅相关文献，我们查阅到在 220 种鸟类中，有 37 种鸟类已发表的卫星追踪数据（表 5.7-7），绝大多数会横跨渤海湾或者山东半岛北部的黄海海域，其中部分种类的部分个体的路线经过项目所在海域或周边海域。

综合各文献中的迁徙路线数据，迁徙过程中可能会经过风电场所在海域及周边海域的有大天鹅、小天鹅、鸿雁、灰雁、豆雁、白额雁、赤颈鸭、绿翅鸭、罗纹鸭、白眉鸭、花脸鸭、黄嘴白鹭、白琵鹭、黑脸琵鹭、蛎鹬、中杓鹬、大杓鹬、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、凤头蜂鹰等。

表 5.7-7　有卫星追踪数据的鸟类名录表

中文名	拉丁学名	目	居留型	保护级别及受胁等级	文献出处
疣鼻天鹅	*Cygnus olor*	雁形目	W	二级	Meng et al.2024
大天鹅	*Cygnus cygnus*	雁形目	W	二级	Newman et al. 2009 等
小天鹅	*Cygnus columbianus*	雁形目	W	二级	Wei et al. 2023
鸿雁	*Anser cygnoides*	雁形目	P	二级/VU	Batbayar et al. 2011
豆雁	*Anser fabalis*	雁形目	P/W		Meng et al. 2022
白额雁	*Anser albifrons*	雁形目	P	二级	Deng et al. 2019
灰雁	*Anser anser*	雁形目	P	省级	Yan et al. 2020
翘鼻麻鸭	*Tadorna tadorna*	雁形目	W		Wang et al. 2018
花脸鸭	*Sibirionetta formosa*	雁形目	W	二级	Takekawa et al. 2010

中文名	拉丁学名	目	居留型	保护级别及受胁等级	文献出处
罗纹鸭	*Mareca falcata*	雁形目	W	NT	Takekawa et al. 2010
赤颈鸭	*Mareca penelope*	雁形目	P/W	省级	Takekawa et al. 2010
斑嘴鸭	*Anas zonorhyncha*	雁形目	R/S/W		Ma et al. 2023
绿头鸭	*Anas platyrhynchos*	雁形目	R/P/W		Ma et al. 2023
绿翅鸭	*Anas crecca*	雁形目	W		Takekawa et al. 2010
东方白鹳	*Ciconia boyciana*	鹳形目	P	一级/EN	Yang et al. 2021 等
白琵鹭	*Platalea leucorodia*	鹈形目	P	二级	Xi et al. 2021
黑脸琵鹭	*Platalea minor*	鹈形目	P	一级/EN	Jia et al. 2020 等
苍鹭	*Ardea cinerea*	鹈形目	R/S		Ye et al. 2018
黄嘴白鹭	*Egretta eulophotes*	鹈形目	S/P	一级/VU	Huang et al. 2022
蛎鹬	*Haematopus ostralegus*	鸻形目	S/P	省级/NT	Zhao et al. 2026
反嘴鹬	*Recurvirostra avosetta*	鸻形目	S		Wu et al. 2022
中杓鹬	*Numenius phaeopus*	鸻形目	P	省级	Kuang et al. 2020
大杓鹬	*Numenius madagascariensis*	鸻形目	P	二级/EN	Morrick et al. 2021
翻石鹬	*Arenaria interpres*	鸻形目	P	二级	Minton et al. 2011, 2016
大滨鹬	*Calidris tenuirostris*	鸻形目	P	二级/EN	Chan et al. 2019
尖尾滨鹬	*Calidris acuminata*	鸻形目	P		AWSG 2011
三趾滨鹬	*Calidris alba*	鸻形目	P		Minton et al. 2013, 2016
红脚鹬	*Tringa totanus*	鸻形目	P		AWSG 2011
遗鸥	*Ichthyaetus relictus*	鸻形目	W	一级/VU	Liu et al. 2016
黑尾鸥	*Larus crassirostris*	鸻形目	R/S/W		Xia et al. 2023
西伯利亚银鸥	*Larus vegae*	鸻形目	P/W		Xiao et al. 2025
凤头蜂鹰	*Pernis ptilorhynchus*	鹰形目	P	二级	Shiu et al. 2006
赤腹鹰	*Accipiter soloensis*	鹰形目	S/P	二级	Pierce et al. 2021
日本松雀鹰	*Accipiter gularis*	鹰形目	P	二级	Pierce et al. 2021
灰脸鵟鹰	*Butastur indicus*	鹰形目	P	二级	Shiu et al. 2006
燕隼	*Falco subbuteo*	隼形目	P	二级	李思梦等 2025
游隼	*Falco peregrinus*	隼形目	P	二级	Gu et al. 2021

注意：居留型中的 R 代表留鸟，P 代表旅鸟，S 代表夏候鸟，W 代表冬候鸟，部分种类可能有多种居留型的个体；保护级别一列中的“一级”代表国家一级保护动物，“二级”代表国家二级保护动物，省级代表山东省重点保护野生动物（参考山东省自然资源厅 2025 年 7 月颁布的《山东省重点保护野生动物名录（征求意见稿）》）；CR 代表极危，EN 代表濒危，VU 代表易危，NT 代表近危。

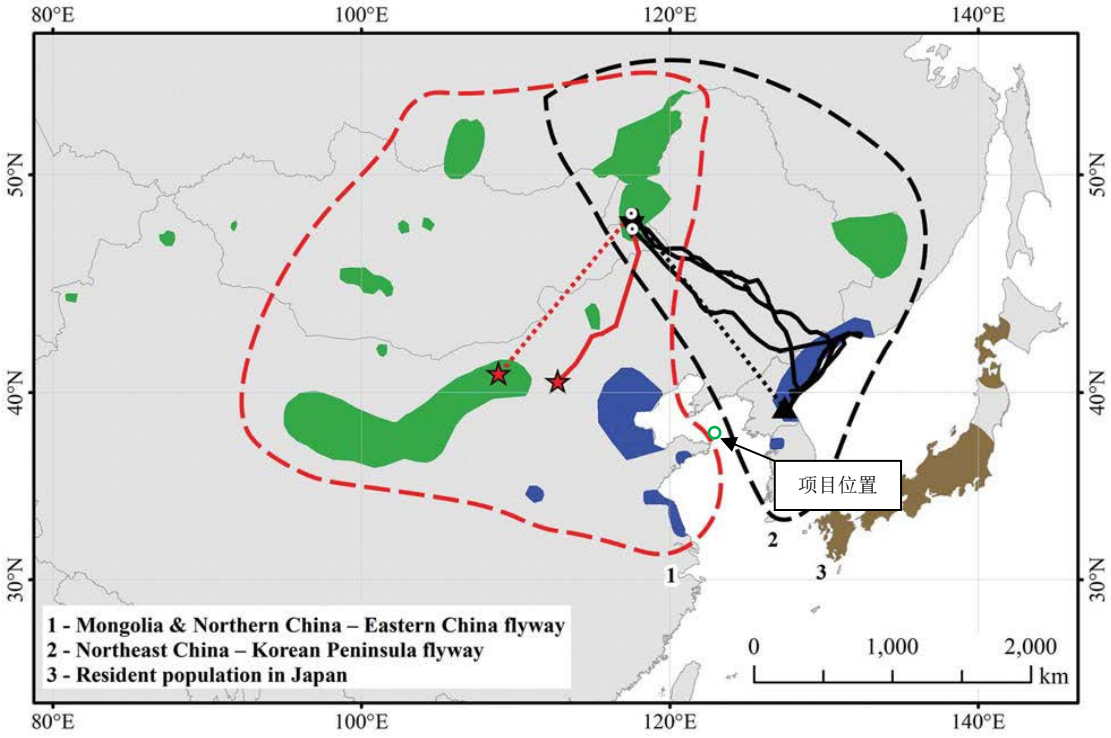
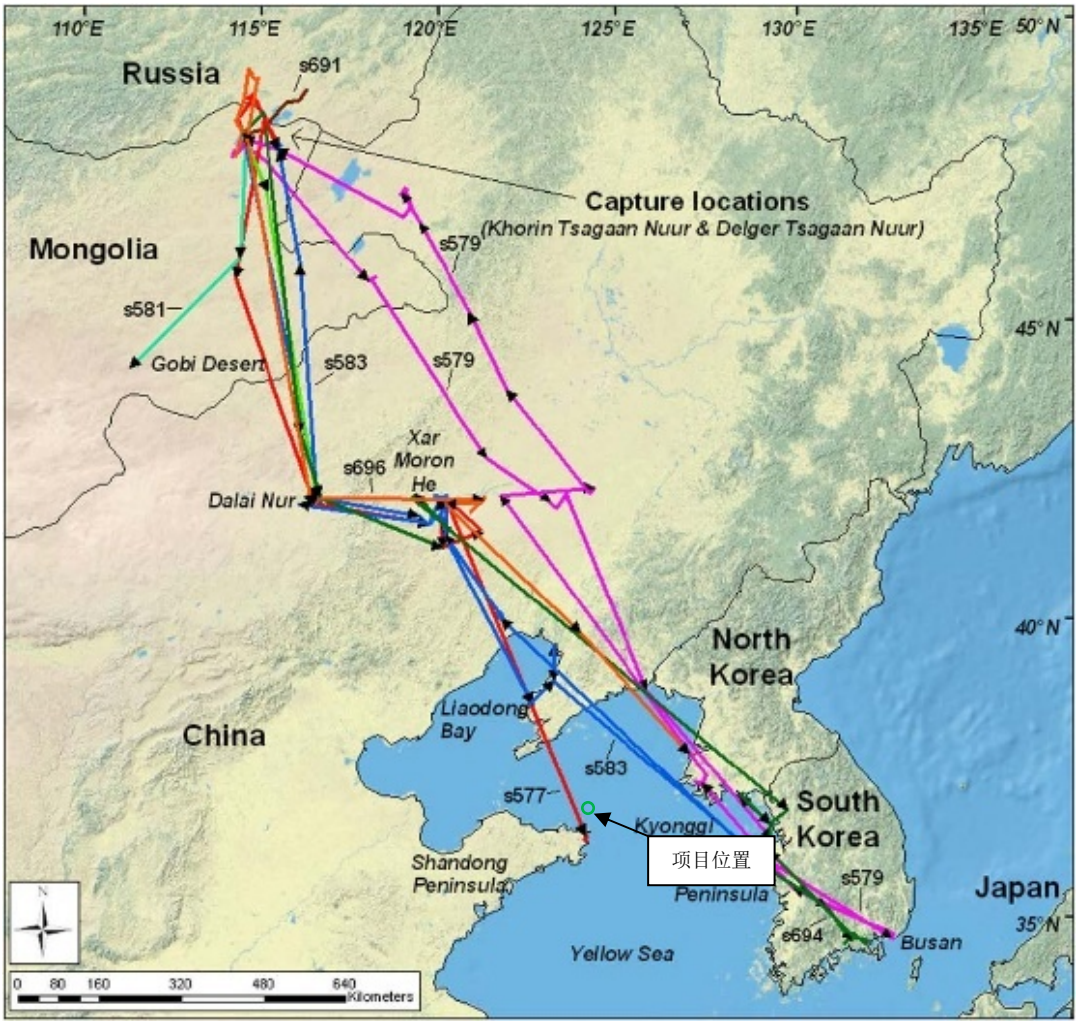


图 5.7-3　疣鼻天鹅的大致迁徙路线图



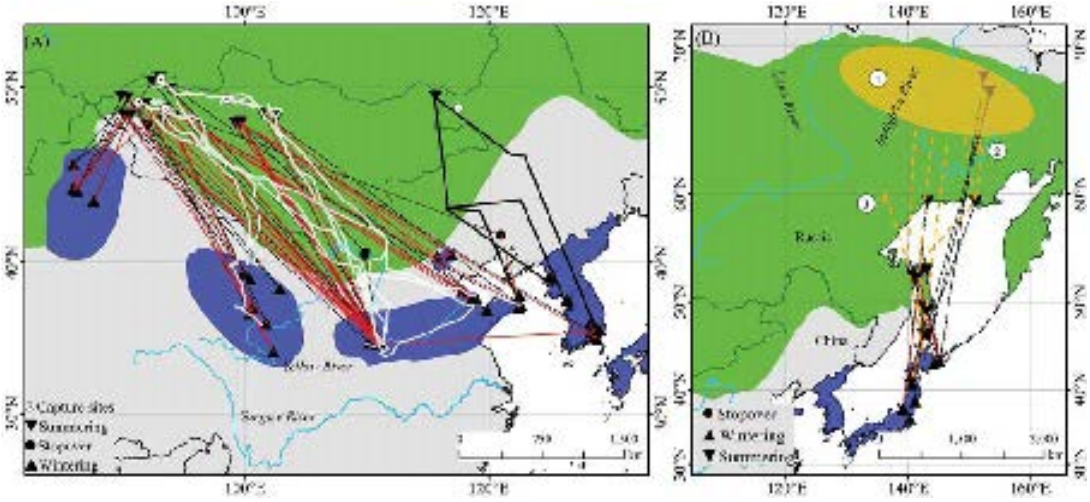


图 5.7-4　大天鹅的大致迁徙路线图

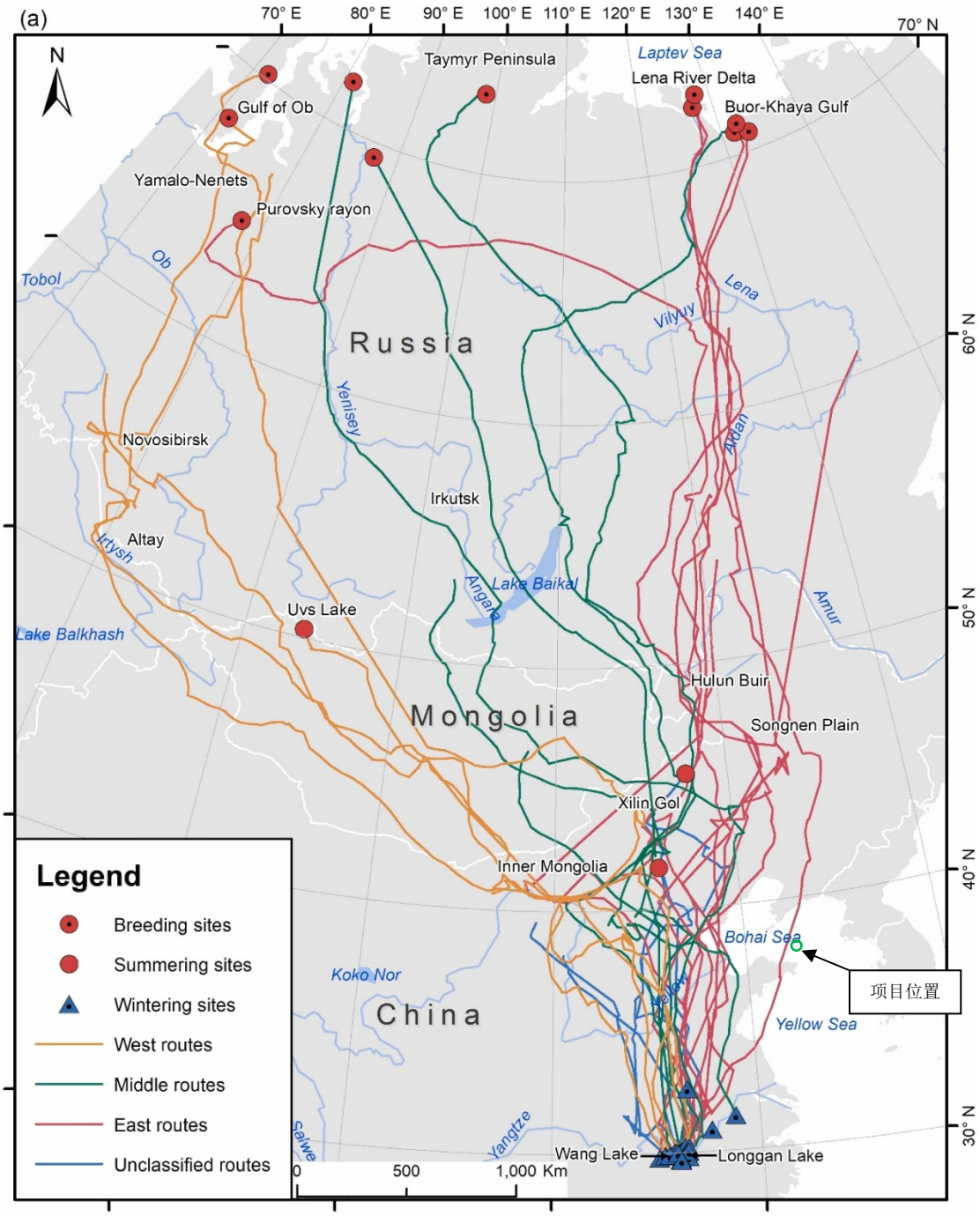


图 5.7-5　小天鹅的大致迁徙路线图

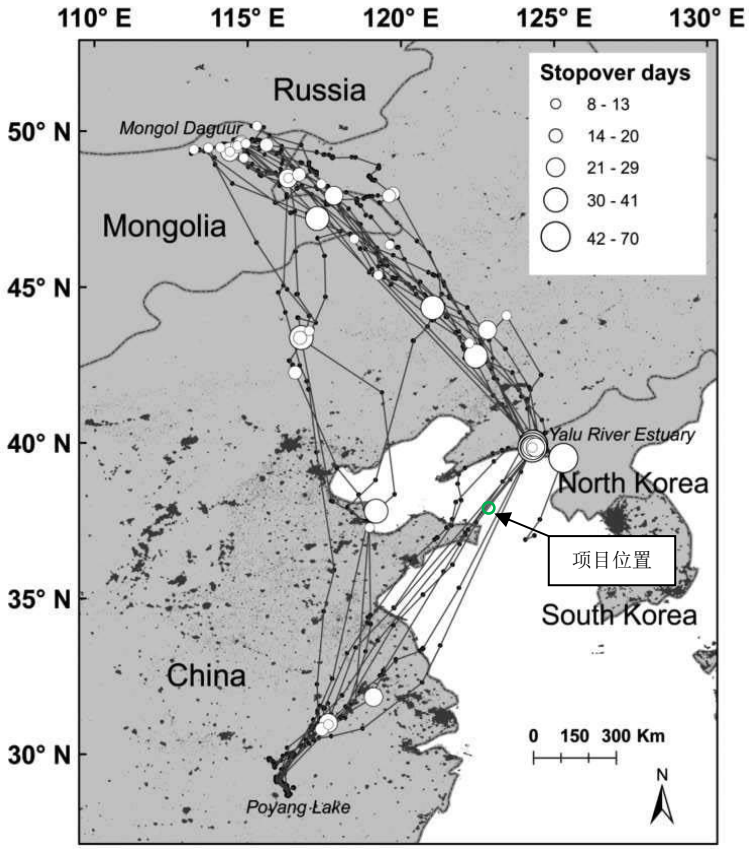


图 5.7-6 鸿雁的大致迁徙路线图

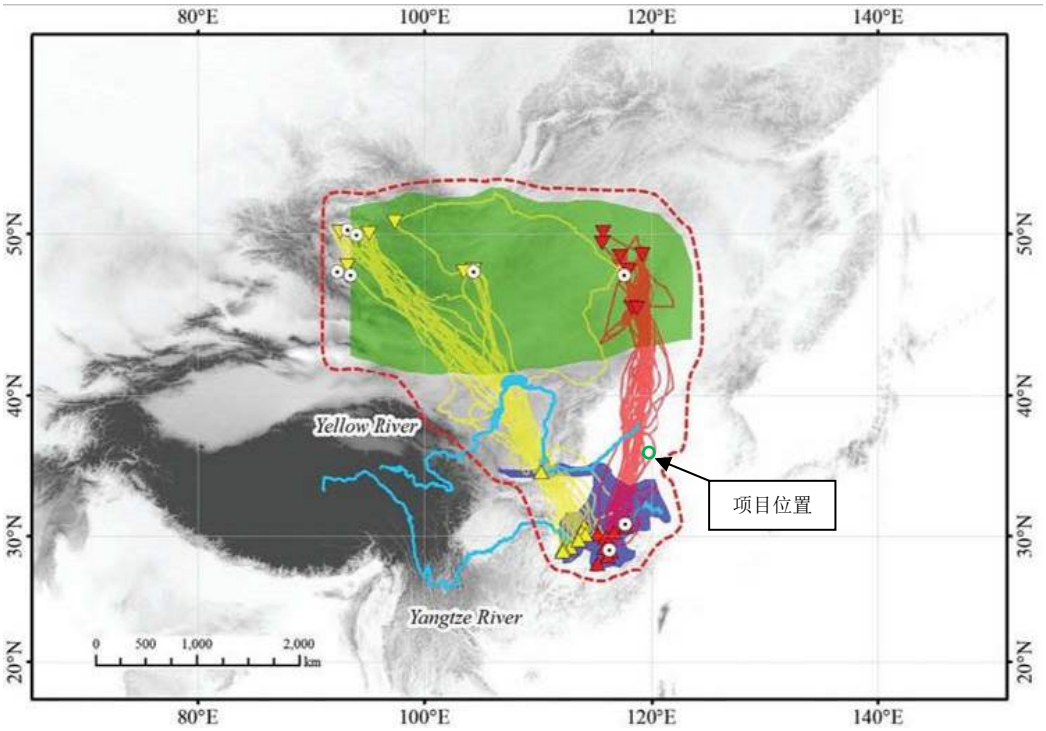


图 5.7-7 灰雁的大致迁徙路线图

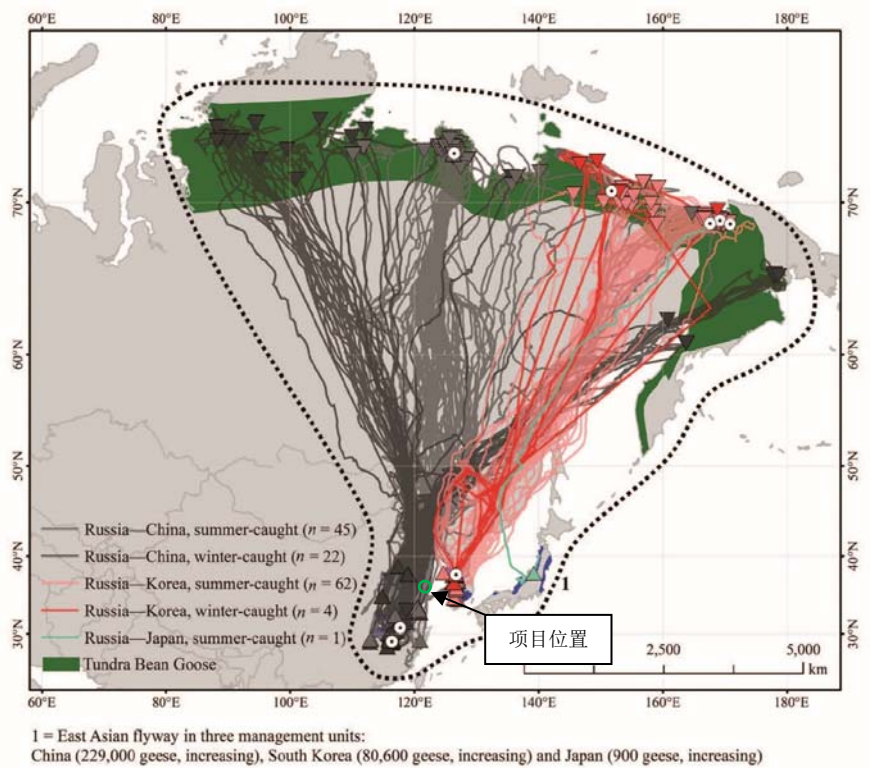


图 5.7-8　豆雁、短嘴豆雁的大致迁徙路线图

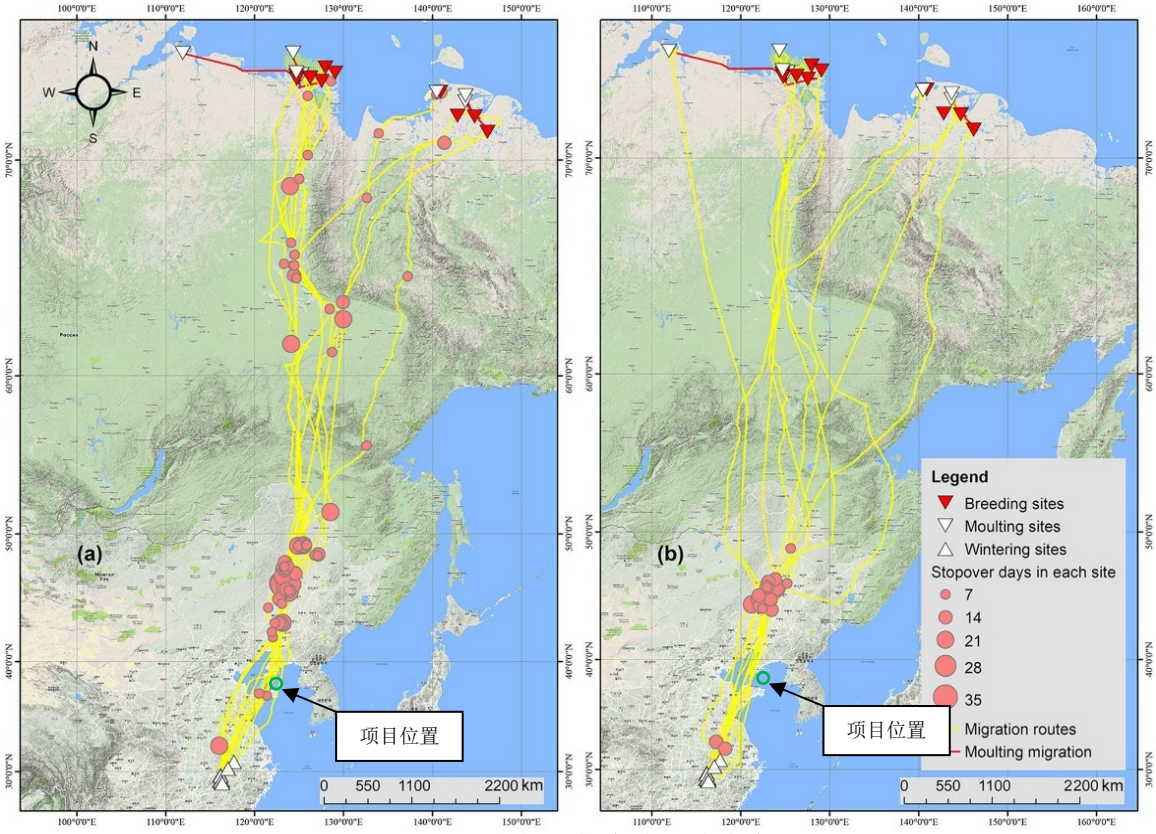


图 5.7-9　白额雁的大致迁徙路线图

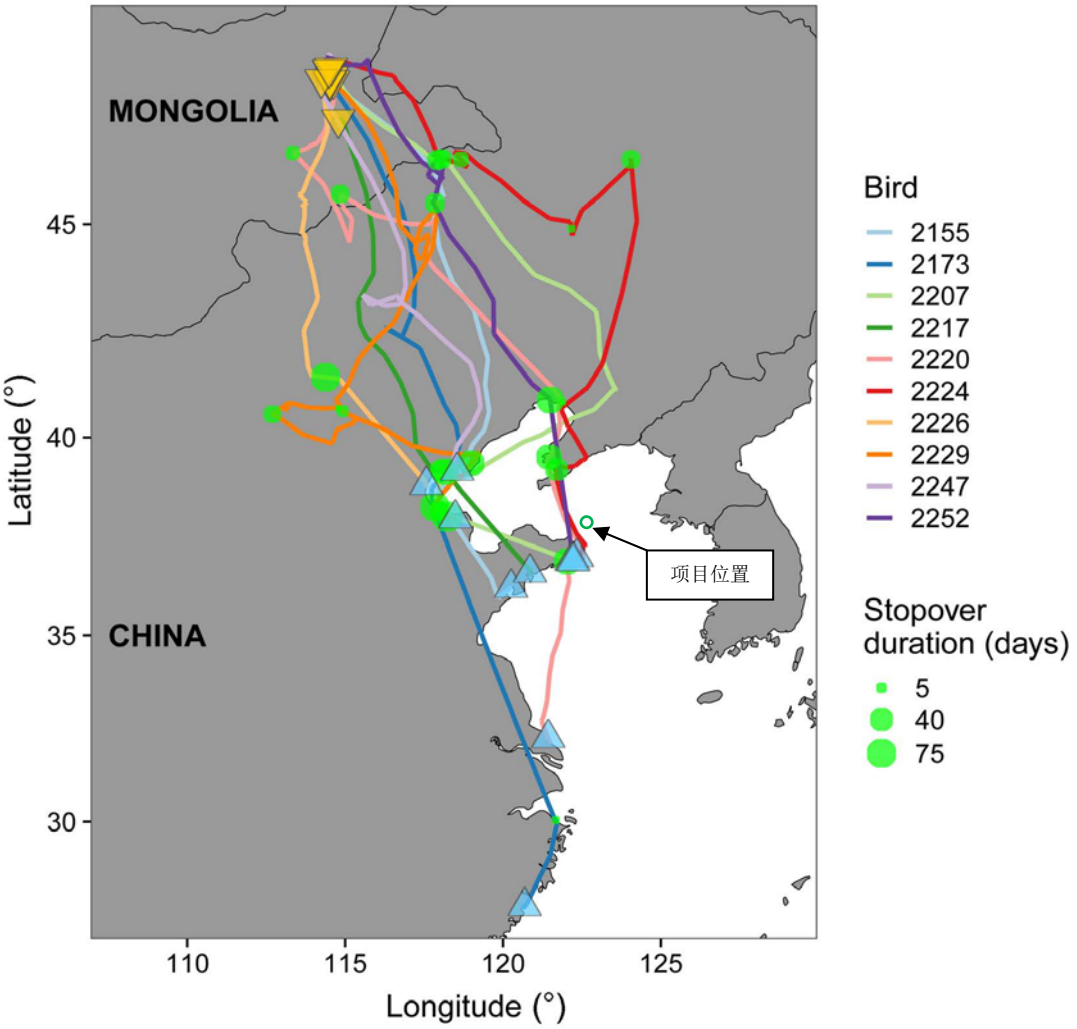


图 5.7-10　翘鼻麻鸭的大致迁徙路线图

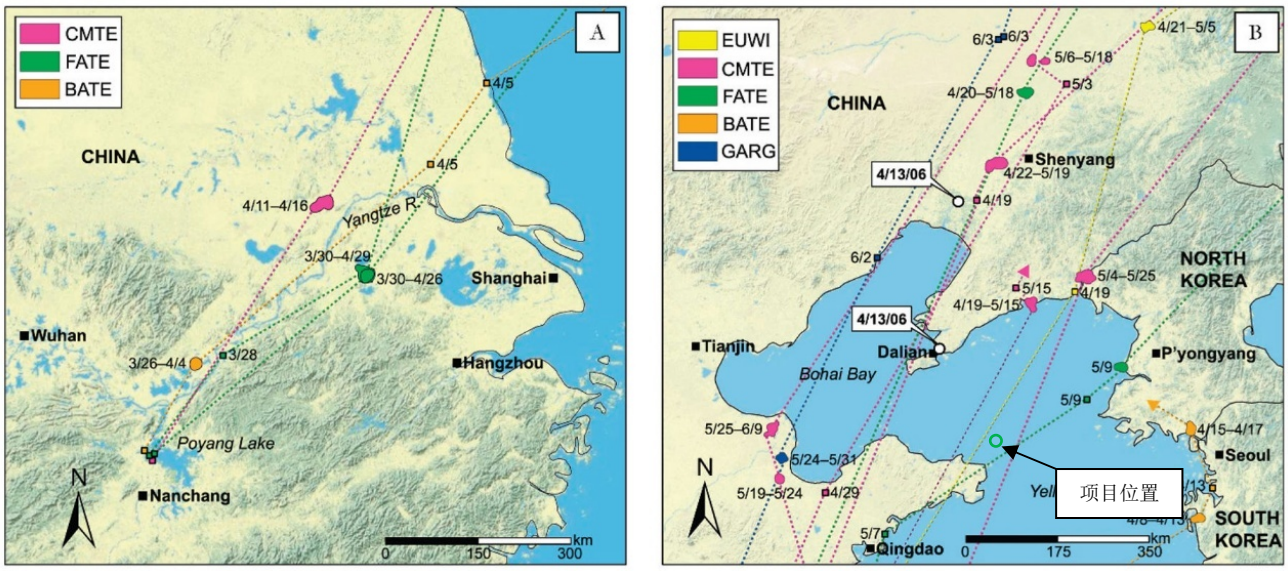


图 5.7-11　赤颈鸭、绿翅鸭、罗纹鸭、白眉鸭、花脸鸭的大致迁徙路线图

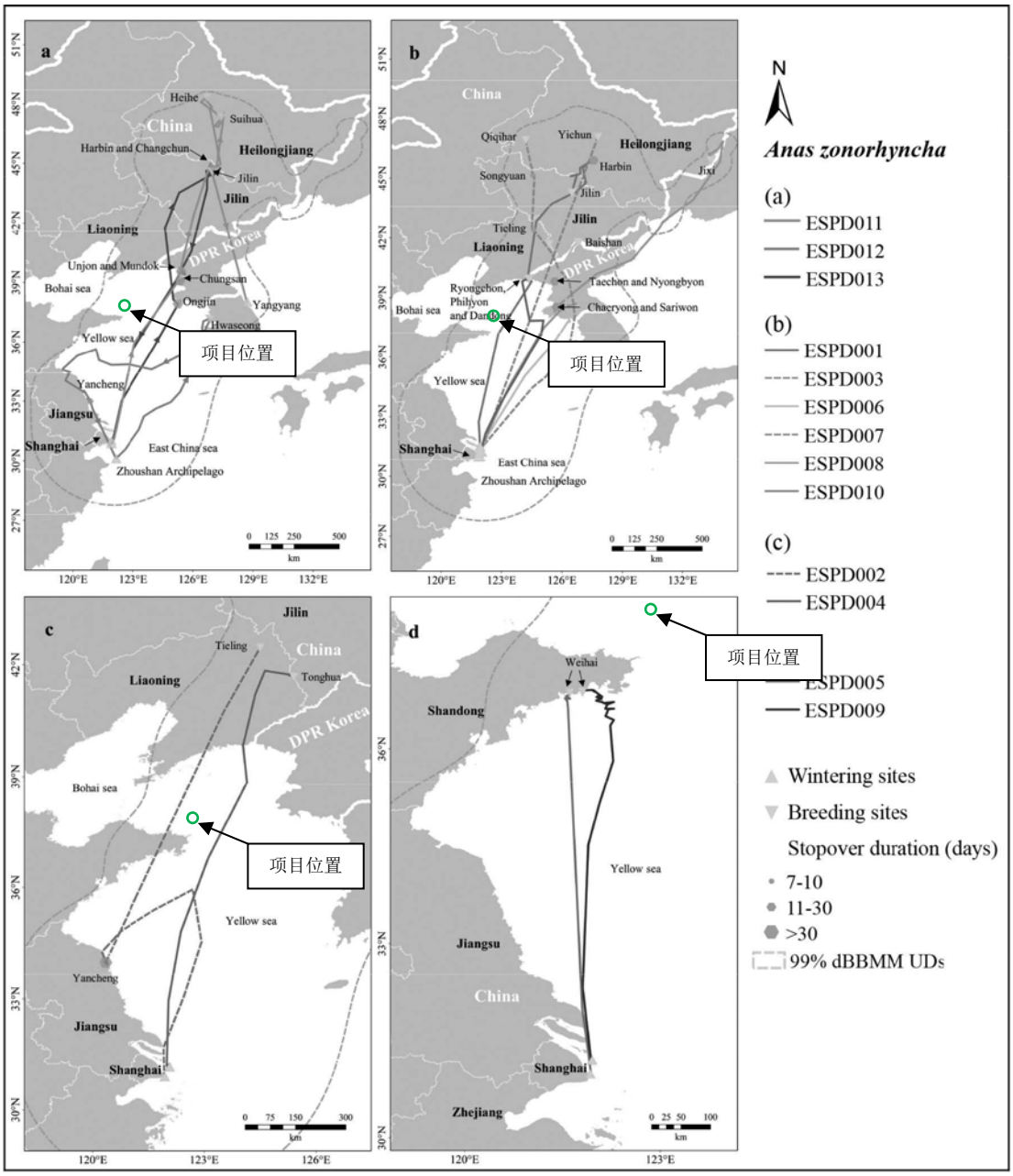


图 5.7-12　斑嘴鸭的大致迁徙路线图

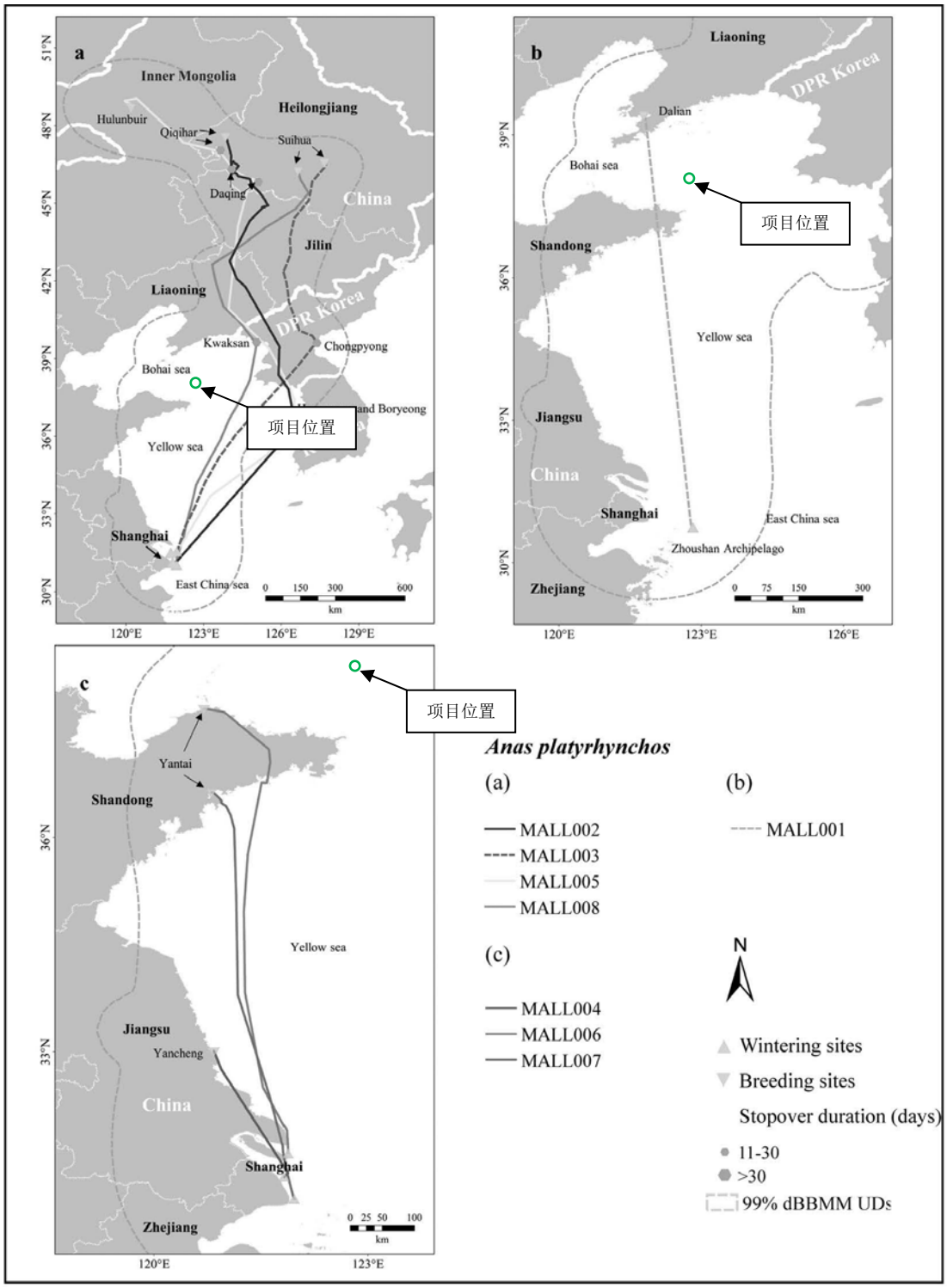


图 5.7-13　绿头鸭的大致迁徙路线图

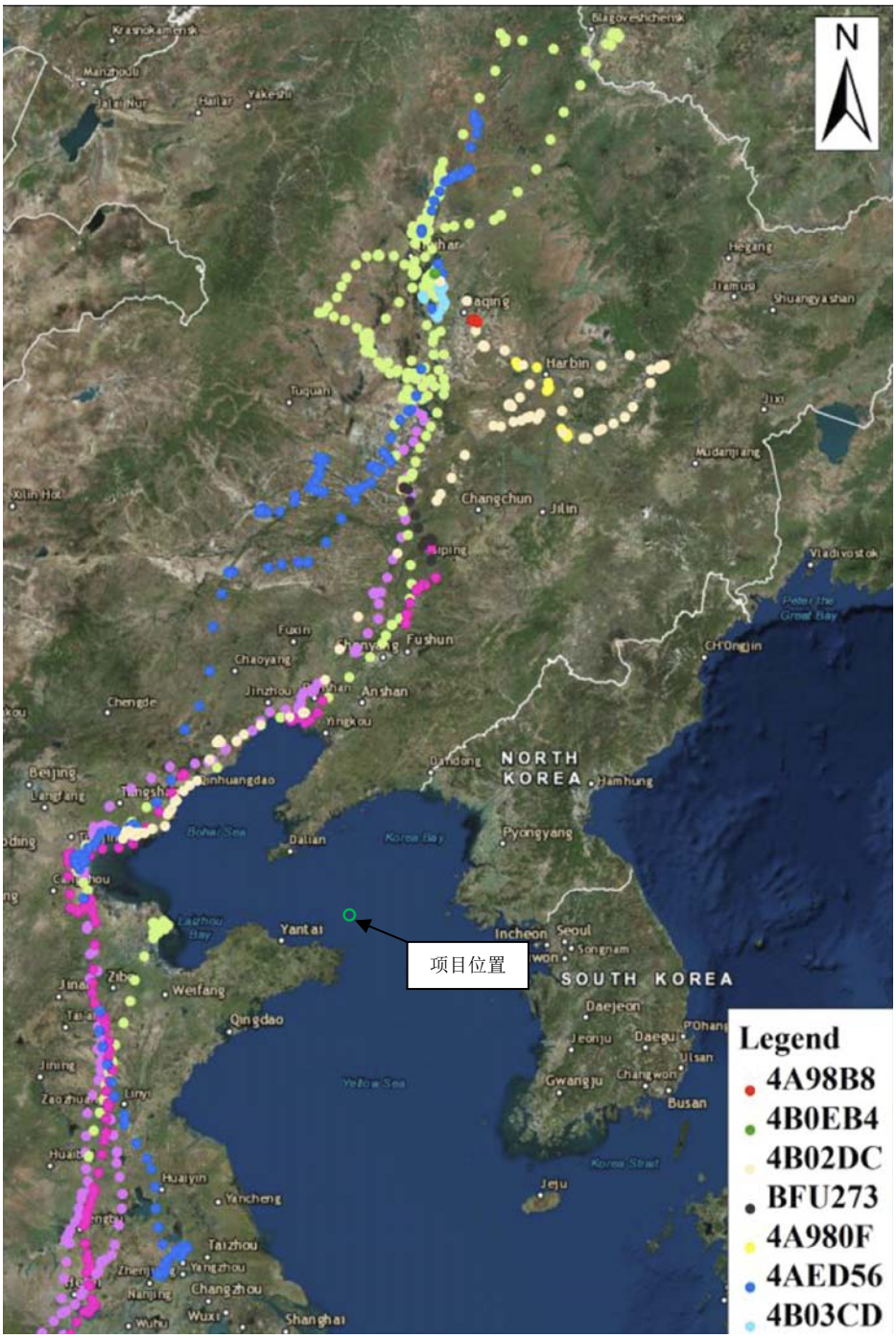


图 5.7-14　东方白鹳的大致迁徙路线图

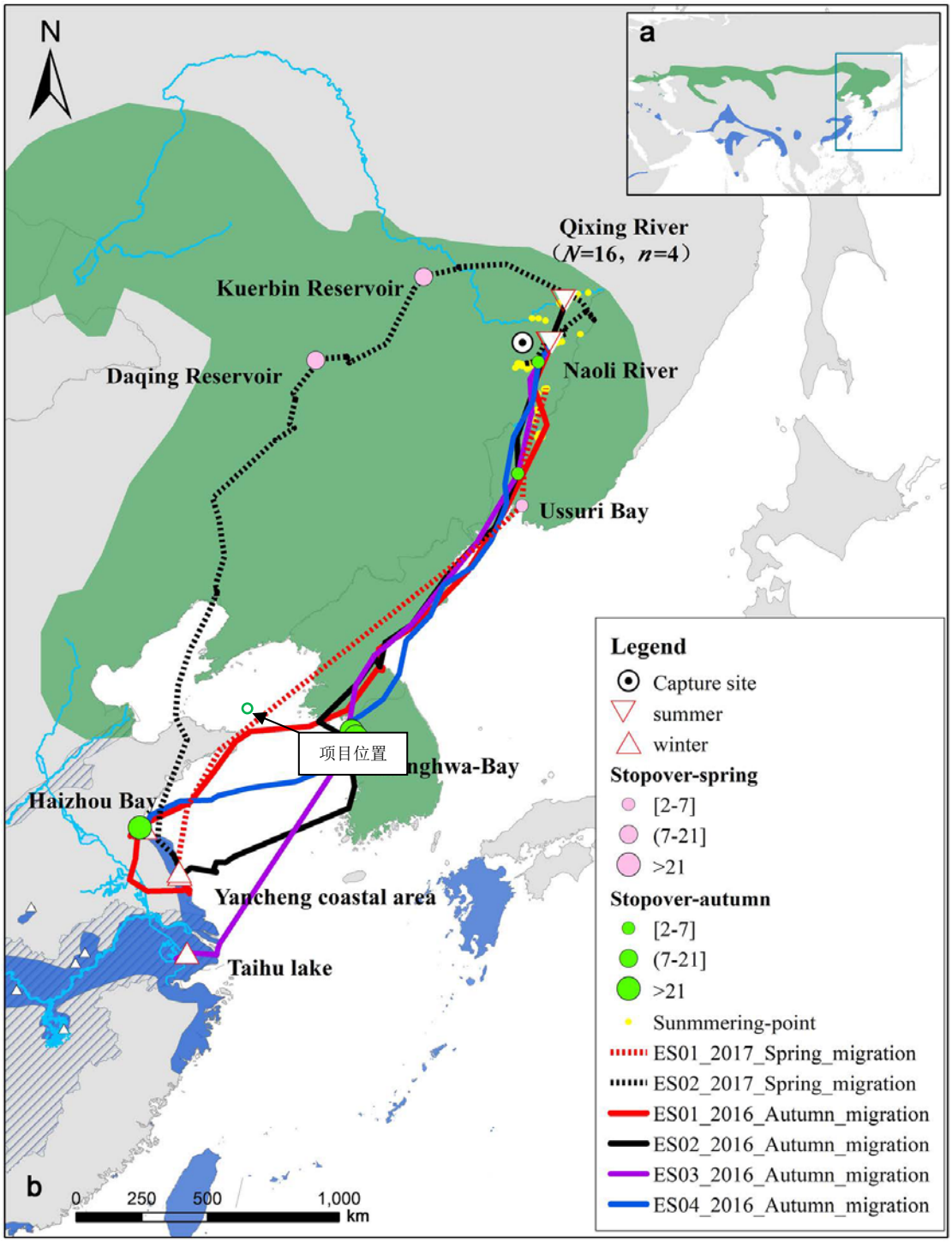


图 5.7-15　白琵鹭的大致迁徙路线图

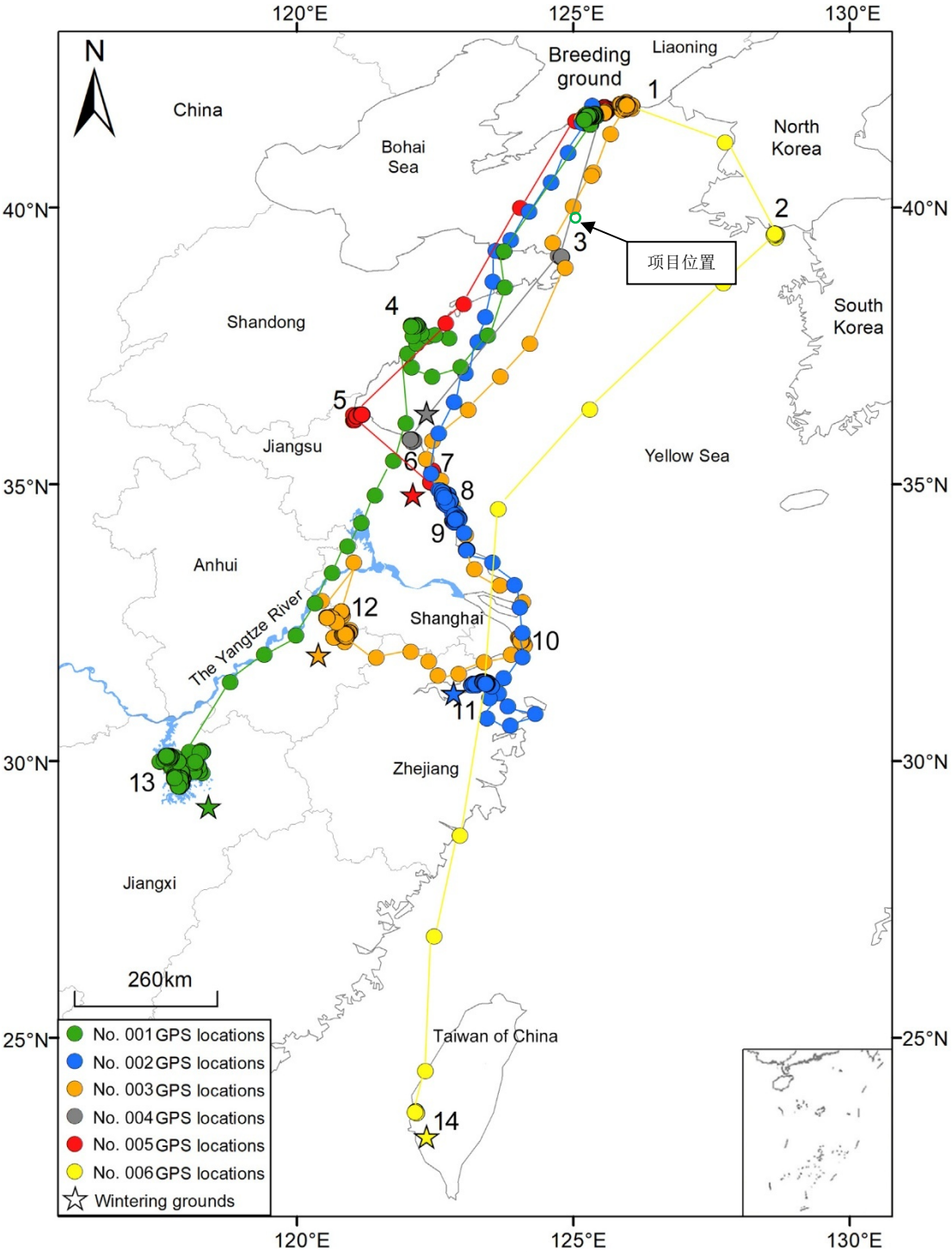


图 5.7-16　黑脸琵鹭的大致迁徙路线图

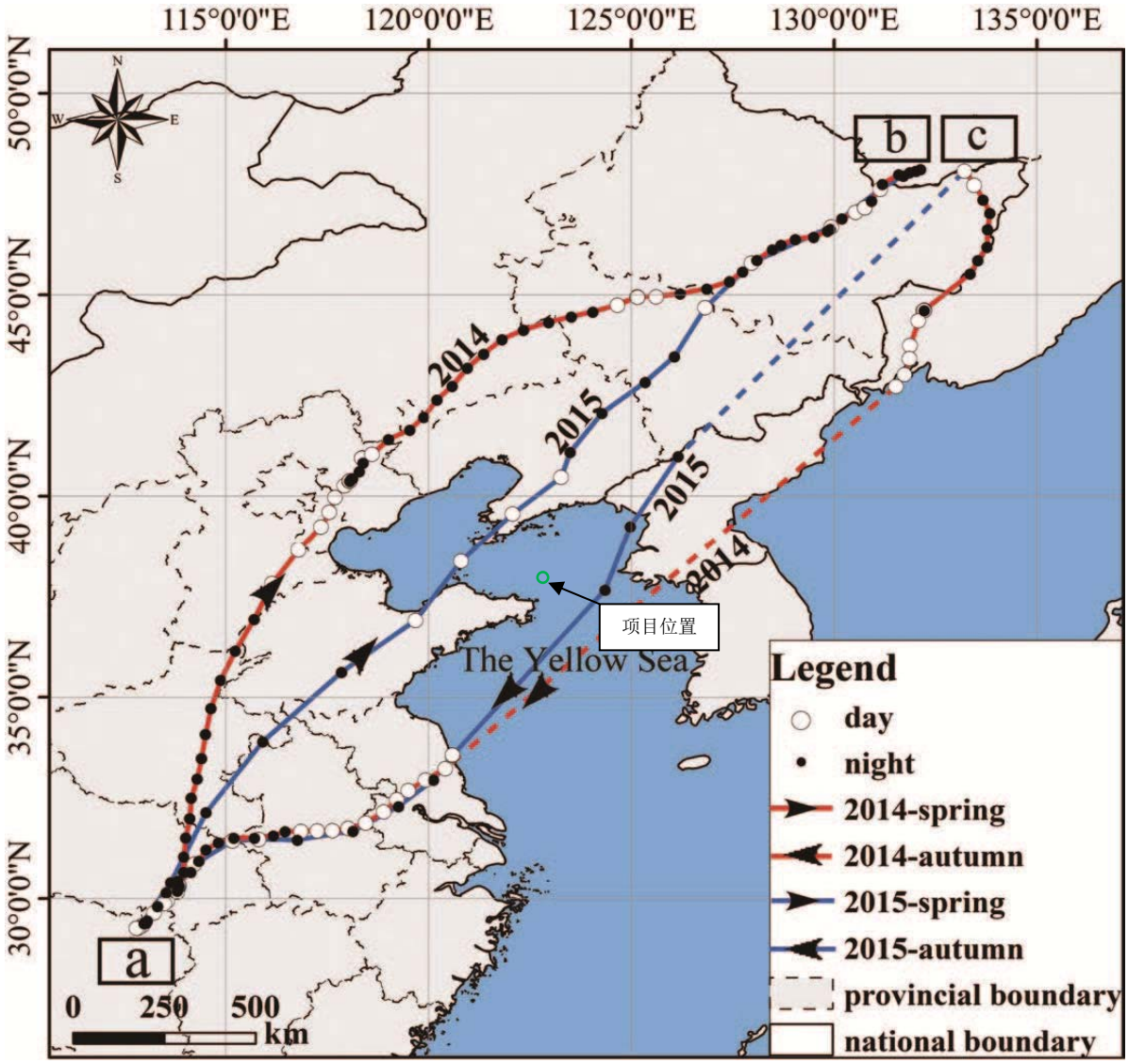


图 5.7-17　苍鹭的大致迁徙路线图

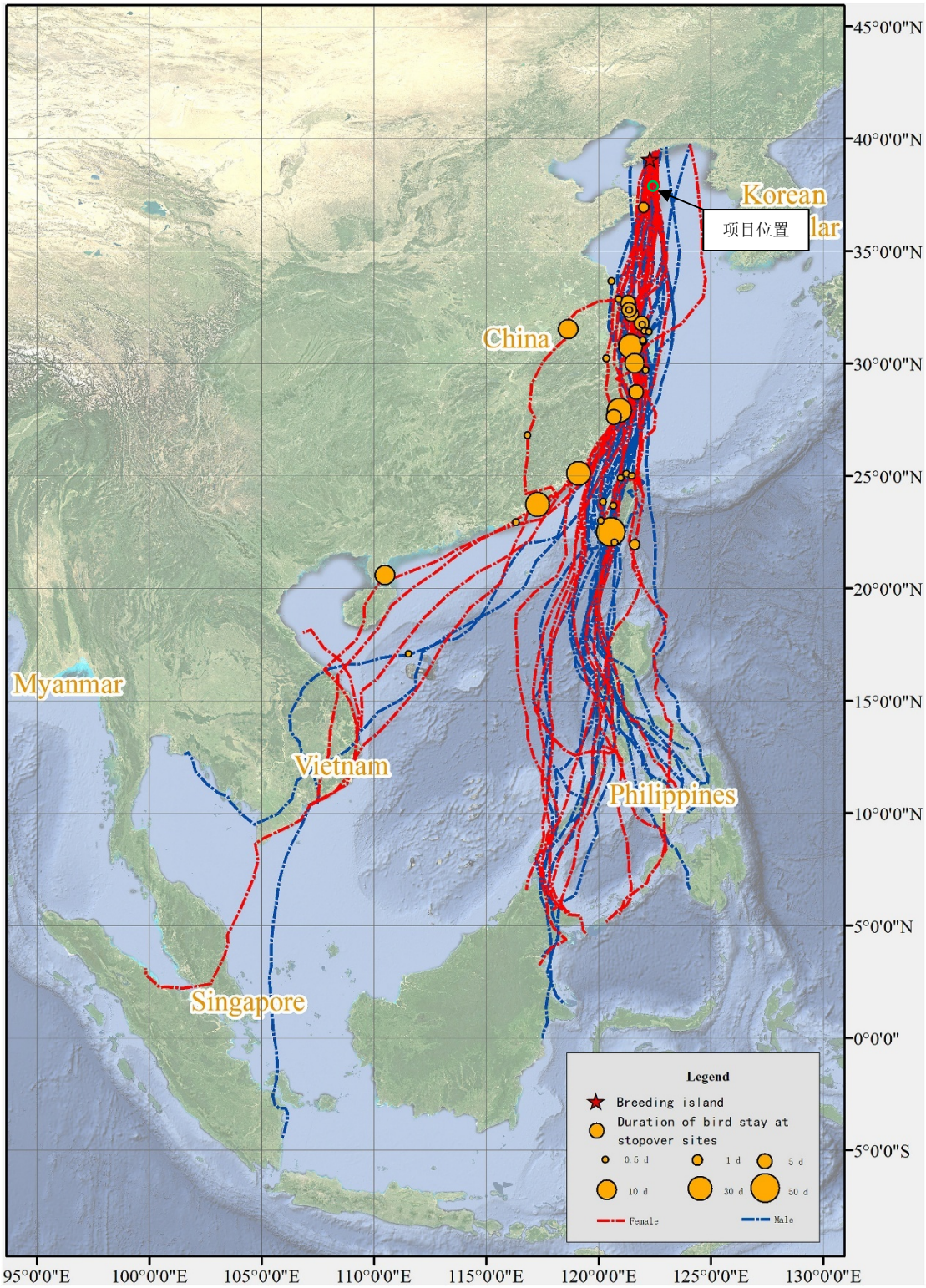


图 5.7-18　黑脸琵鹭的大致迁徙路线图

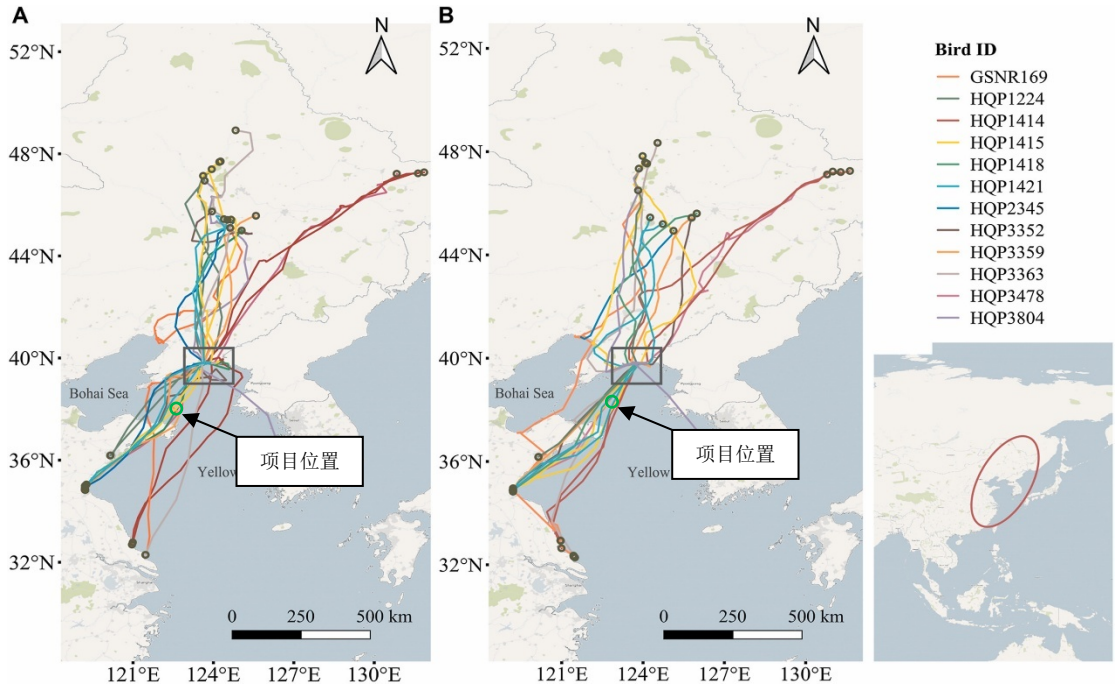


图 5.7-19 蛎鹬的大致迁徙路线图

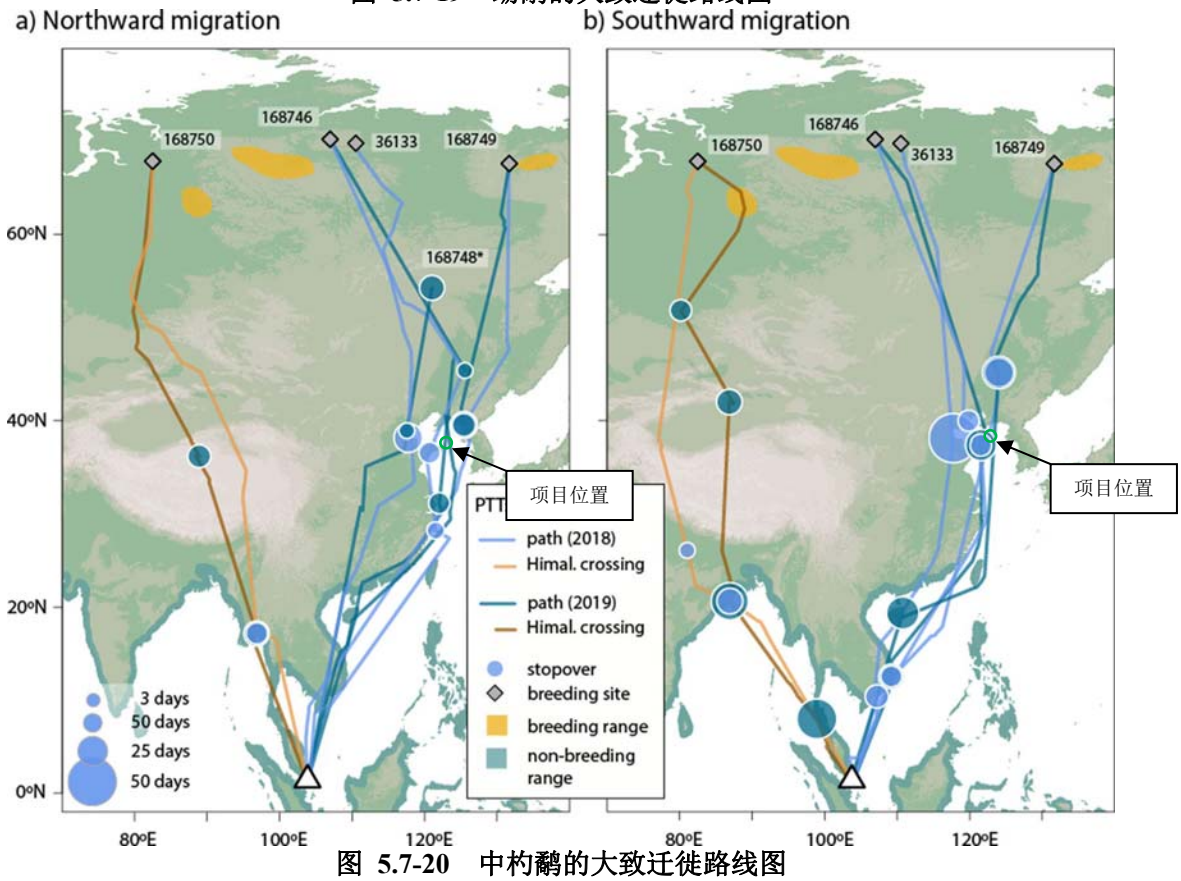


图 5.7-20 中杓鹬的大致迁徙路线图

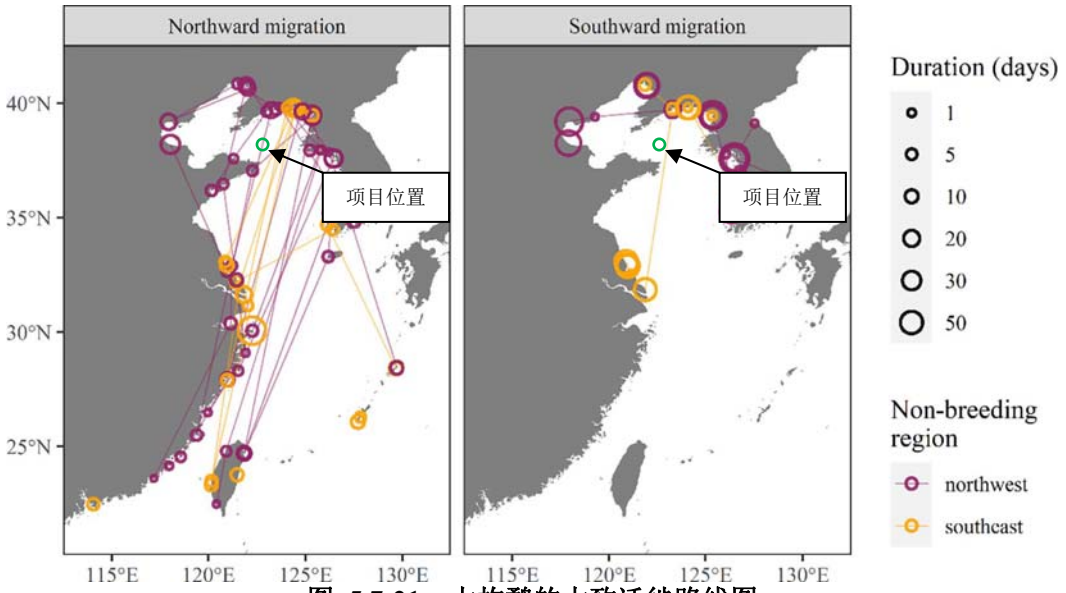


图 5.7-21　大杓鷸的大致迁徙路线图



图 5.7-22　大滨鹬的大致迁徙路线图

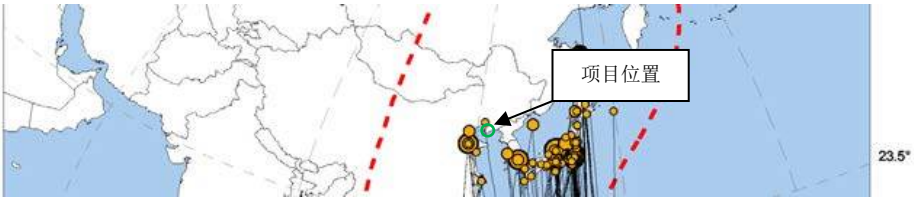


图 5.7-23　三趾滨鹬的大致迁徙路线图

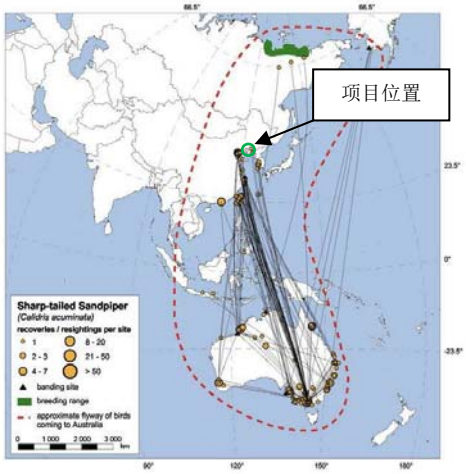


图 5.7-24　尖尾滨鹬的大致迁徙路线图

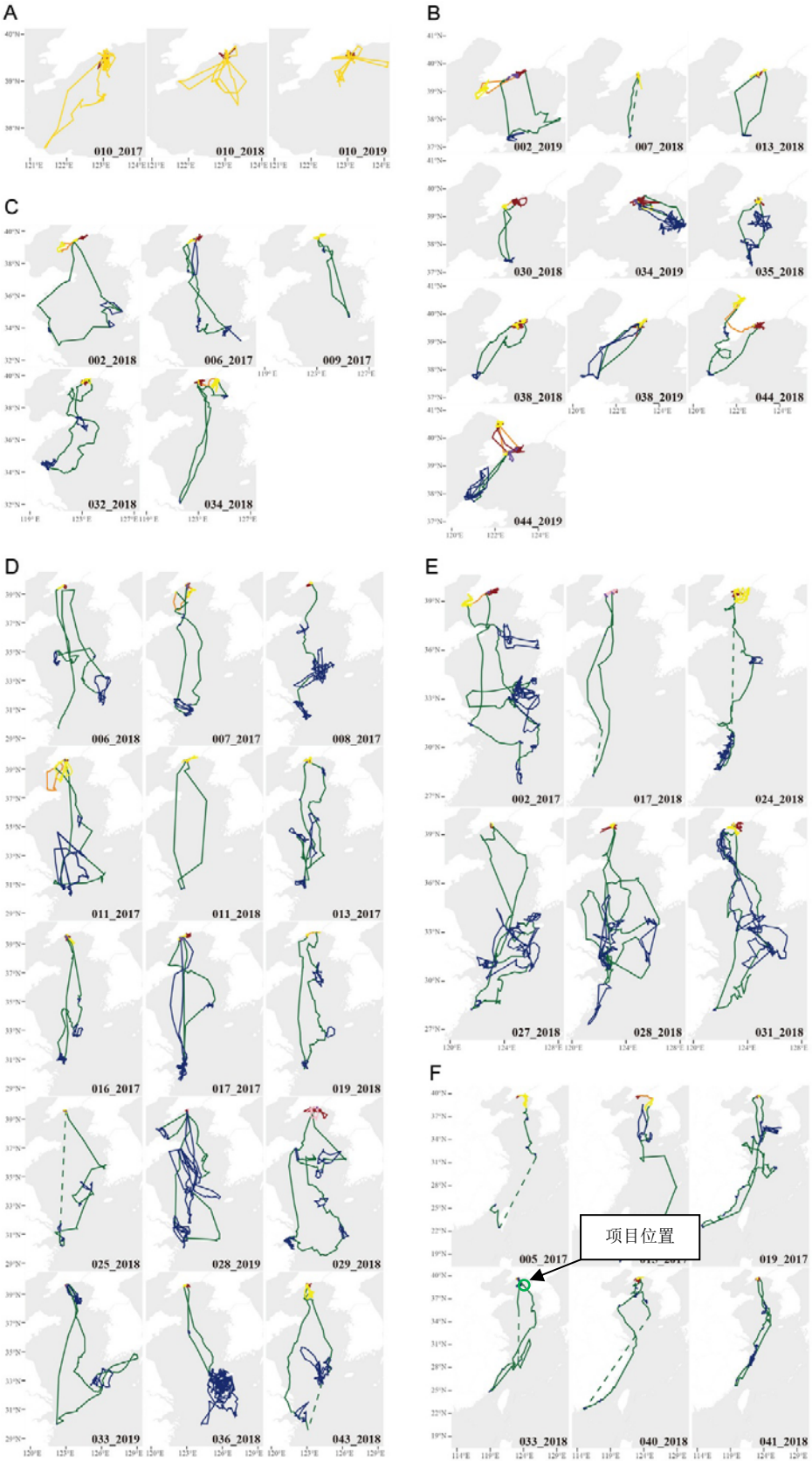


图 5.7-25　黑尾鸥的大致迁徙路线图

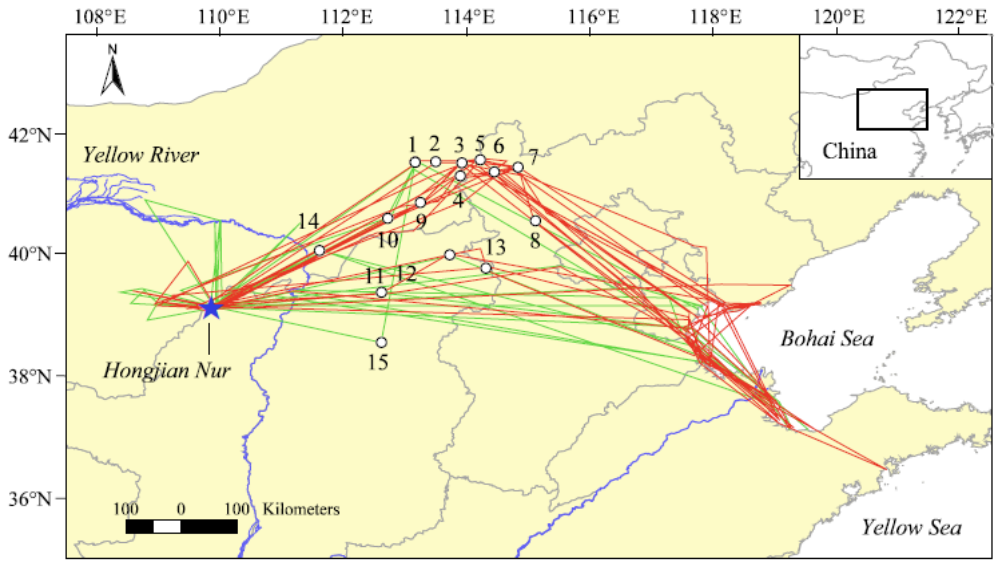


图 5.7-26　遗鸥的大致迁徙路线图

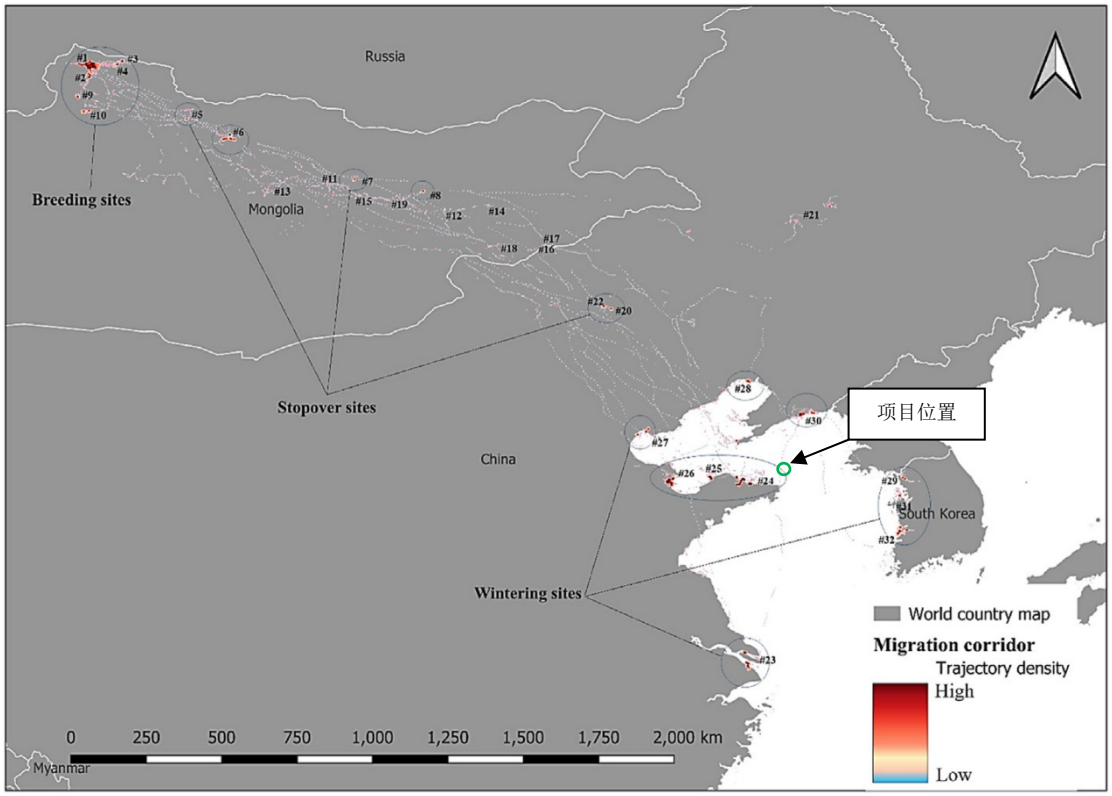


图 5.7-27　西伯利亚银鸥的大致迁徙路线图

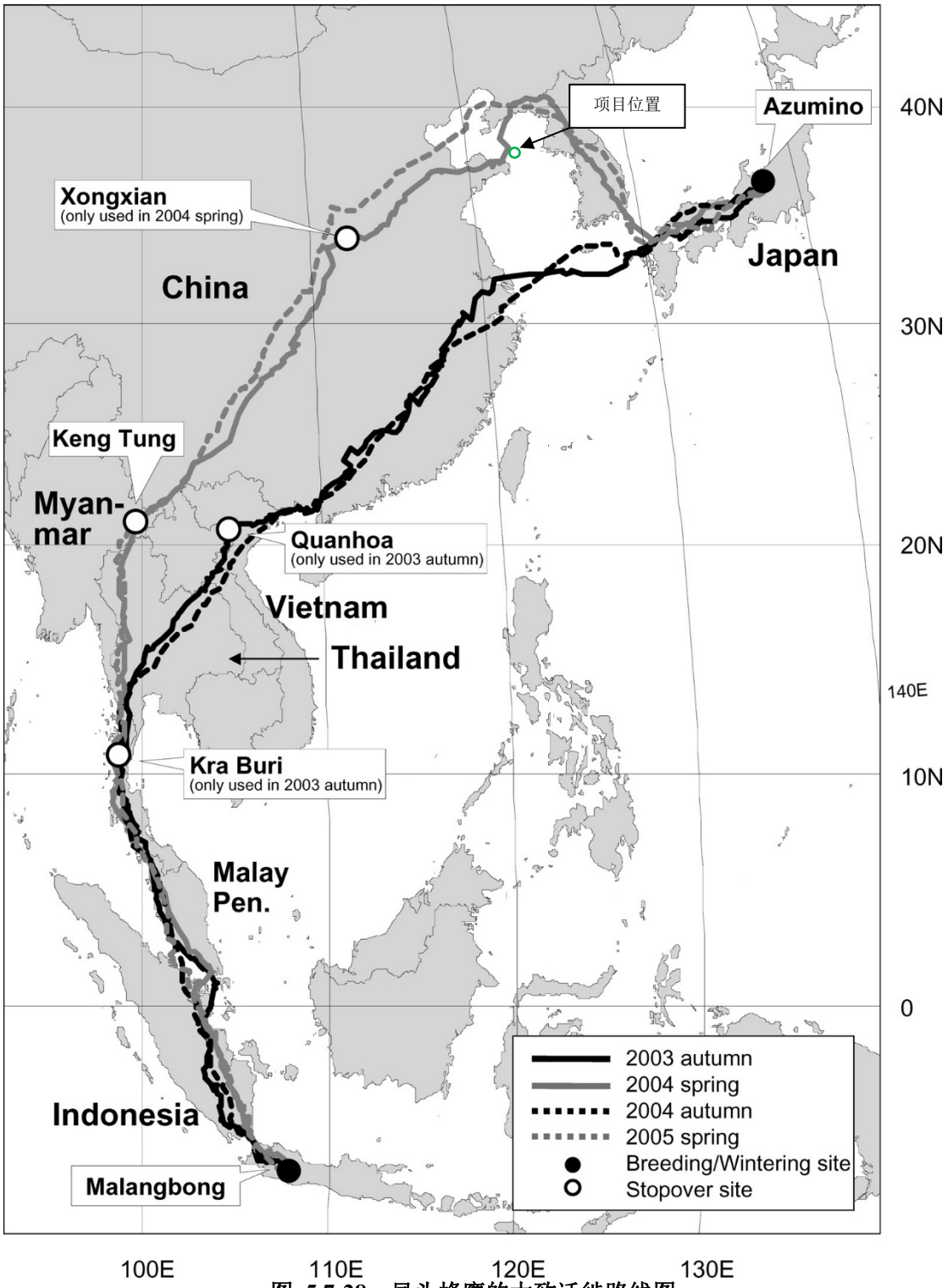


图 5.7-28　凤头蜂鹰的大致迁徙路线图

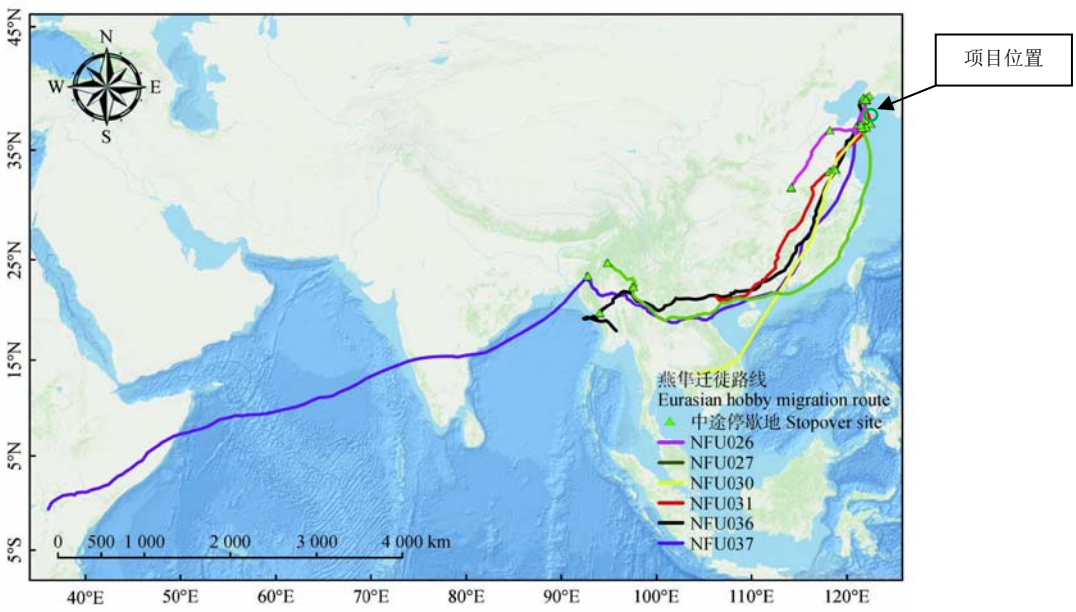


图 5.7-29　燕隼的大致迁徙路线图

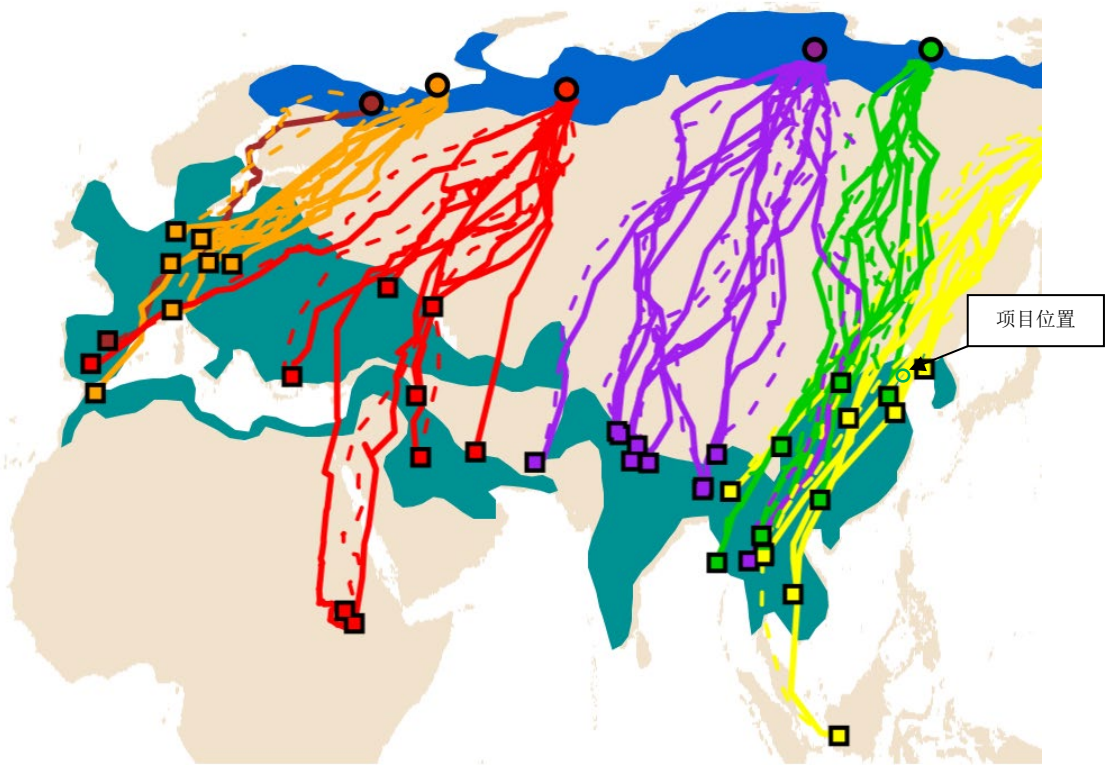


图 5.7-30　游隼的大致迁徙路线图

5.7.3.7 优势鸟类及习性分析

根据调查数据及以往的历史资料，我们按照遇见率和种群数量对鸟类的常见程度进行了评级。其中水鸟最常见的有黑尾鸥、红嘴鸥、苍鹭和白鹭，这些水鸟中除黑尾鸥、红嘴鸥外，几乎都在滩涂及河流入海口中活动，分布多集中于河流入海口，受风电场影响的概率很低；陆地活动的鸟类最常见的有珠颈斑鸠、喜鹊、麻雀、家燕、金腰燕和白

鹬鸻等，主要见于海岸，几乎不受风电场的影响。

5.7.3.8 各种栖息地现状及常见鸟类分析

1）海洋生境中的主要鸟类介绍

在海洋生境中，即风电场选址及周边低潮时不会露出滩涂的区域，鸟类主要为游禽，以黑尾鸥为主，偶有红嘴鸥和西伯利亚银鸥。这些鸥类大多伴随船只活动，行为以觅食为主，相比于靠近海岸海域以及滩涂等生境，数量明显较少。黑尾鸥是海洋生境中的优势鸟类，在海驴岛上有上千只的繁殖种群，全年可见，不属于国家一级和二级保护鸟类。黑尾鸥体型稍大，翼展 1.2 米左右。除黑尾鸥外，西伯利亚银鸥也有少量分布，翼展 1.5 米左右，体型较大，主要见于非繁殖季节。根据 Langston（2010）的研究，银鸥的撞击风险为中等。

项目所在的海洋生境中并不是黑尾鸥和西伯利亚银鸥的主要栖息场地。在实地调查过程中，上述两种鸟类主要见于海岛、海岸滩涂、河口等生境。

根据对当地渔民的访问，项目所在区域的鸟类数量极少，多围绕渔船分布，其出现在调查区域与否和渔船有密切关系。在项目调查过程中，当附近无渔船时，几乎很难见到鸥类，而当出现渔船或轮渡时，常伴随有数十只或近百只黑尾鸥。

此外，综合各文献中的迁徙路线数据，迁徙过程中会经过风电场所在海域及周边海域的有大天鹅、小天鹅、鸿雁、灰雁、豆雁、白额雁、赤颈鸭、绿翅鸭、罗纹鸭、白眉鸭、花脸鸭、黄嘴白鹭、白琵鹭、黑脸琵鹭、蛎鹬、中杓鹬、大杓鹬、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、凤头蜂鹰等。

2）滩涂生境中的主要鸟类介绍

滩涂是指大潮高潮位与低潮位之间的潮浸地带，根据其物质组成成分可以分为岩滩、沙滩和泥滩三类。在本研究地区内，滩涂以沙滩为主，岩滩主要见于岛屿周边，面积很小。

根据我们的现场调查和历史数据，滩涂中的鸟类以鸥类为主，伴有少量鹭类和鸻鹬类等涉禽，常见种类为黑尾鸥、红嘴鸥、苍鹭、白鹭、环颈鸻等。其中，黑尾鸥数量较多，密度最高的地区，每平方千米可达 1000 只以上，主要集中于海驴岛以及海驴岛南侧海岸。

由于项目沿岸地区几乎无泥质滩涂，且大多数被旅游、养殖等活动所开发，适合鸻鹬类的生境较少，山东半岛北部地区不是鸻鹬类的主要停歇地点，这一情况在实地调查中得到了验证，调查过程中发现的一些鸻鹬类数量均较少，多为几十只或几只，未发现

集大群现象。项目建设对鸻鹬类的影响总体很小。

除了鸻鹬类外，在滩涂地带活动的鸟类还有一些大型涉禽，其中常见的有苍鹭、白鹭。这些鸟类体型较大，除了在滩涂活动外，还可以在一些水较深的地区活动，也见于一些沿海礁石。常见的苍鹭和白鹭在本地区多为留鸟和夏候鸟，分布相对没有那么集中，因此受施工的影响相对较小。

表 5.7-8　调查区域鸟类名录、居留型、生态型、保护级别及常见程度表

中文名	拉丁学名	目	科	生态类群	居留型	保护级别及 IUCN 受胁等级	实地调查是否记录
环颈雉	*Phasianus colchicus*	鸡形目	雉科	陆禽	R		是
鹌鹑	*Coturnix japonica*	鸡形目	雉科	陆禽	P/W	NT	
疣鼻天鹅	*Cygnus olor*	雁形目	鸭科	游禽	W	二级	
大天鹅	*Cygnus cygnus*	雁形目	鸭科	游禽	W	二级	
小天鹅	*Cygnus columbianus*	雁形目	鸭科	游禽	W	二级	
黑雁	*Branta bernicla*	雁形目	鸭科	游禽	W	省级	
鸿雁	*Anser cygnoides*	雁形目	鸭科	游禽	P	二级/VU	
豆雁	*Anser fabalis*	雁形目	鸭科	游禽	P/W		
短嘴豆雁	*Anser serrirostris*	雁形目	鸭科	游禽	P/W		
白额雁	*Anser albifrons*	雁形目	鸭科	游禽	P	二级	
灰雁	*Anser anser*	雁形目	鸭科	游禽	P	省级	
斑脸海番鸭	*Melanitta stejnegeri*	雁形目	鸭科	游禽	P	省级	
鹊鸭	*Bucephala clangula*	雁形目	鸭科	游禽	W		
斑头秋沙鸭	*Mergellus albellus*	雁形目	鸭科	游禽	W	二级	
普通秋沙鸭	*Mergus merganser*	雁形目	鸭科	游禽	W	省级	
红胸秋沙鸭	*Mergus serrator*	雁形目	鸭科	游禽	W	省级	
翘鼻麻鸭	*Tadorna tadorna*	雁形目	鸭科	游禽	W		
赤麻鸭	*Tadorna ferruginea*	雁形目	鸭科	游禽	W		是
鸳鸯	*Aix galericulata*	雁形目	鸭科	游禽	P	二级	
赤嘴潜鸭	*Netta rufina*	雁形目	鸭科	游禽	P		
红头潜鸭	*Aythya ferina*	雁形目	鸭科	游禽	P/W	省级/VU	
青头潜鸭	*Aythya baeri*	雁形目	鸭科	游禽	P	一级/CR	
白眼潜鸭	*Aythya nyroca*	雁形目	鸭科	游禽	P	NT	
凤头潜鸭	*Aythya fuligula*	雁形目	鸭科	游禽	P		
斑背潜鸭	*Aythya marila*	雁形目	鸭科	游禽	P	省级	
琵嘴鸭	*Spatula clypeata*	雁形目	鸭科	游禽	P/W		
花脸鸭	*Sibirionetta formosa*	雁形目	鸭科	游禽	W	二级	
罗纹鸭	*Mareca falcata*	雁形目	鸭科	游禽	W	NT	
赤膀鸭	*Mareca strepera*	雁形目	鸭科	游禽	P/W	省级	
赤颈鸭	*Mareca penelope*	雁形目	鸭科	游禽	P/W	省级	
斑嘴鸭	*Anas zonorhyncha*	雁形目	鸭科	游禽	R/S/W		是
绿头鸭	*Anas platyrhynchos*	雁形目	鸭科	游禽	R/P/W		是
针尾鸭	*Anas acuta*	雁形目	鸭科	游禽	P/W	省级	
绿翅鸭	*Anas crecca*	雁形目	鸭科	游禽	W		
小䴙䴘	*Tachybaptus ruficollis*	䴙䴘目	䴙䴘科	游禽	R		是
凤头䴙䴘	*Podiceps cristatus*	䴙䴘目	䴙䴘科	游禽	P/S/W	省级	
角䴙䴘	*Podiceps auritus*	䴙䴘目	䴙䴘科	游禽	P	二级/VU	
黑颈䴙䴘	*Podiceps nigricollis*	䴙䴘目	䴙䴘科	游禽	P/W	二级	
山斑鸠	*Streptopelia orientalis*	鸽形目	鸠鸽科	陆禽	R		是
灰斑鸠	*Streptopelia decaocto*	鸽形目	鸠鸽科	陆禽	R	省级	
珠颈斑鸠	*Spilopelia chinensis*	鸽形目	鸠鸽科	陆禽	R		是
普通雨燕	*Apus apus*	夜鹰目	雨燕科	攀禽	S		
白腰雨燕	*Apus pacificus*	夜鹰目	雨燕科	攀禽	S		

大杜鹃	*Cuculus canorus*	鹃形目	杜鹃科	攀禽	S		
白胸苦恶鸟	*Amaurornis phoenicurus*	鹤形目	秧鸡科	涉禽	S	省级	
黑水鸡	*Gallinula chloropus*	鹤形目	秧鸡科	涉禽	S/W		
白骨顶	*Fulica atra*	鹤形目	秧鸡科	涉禽	P/W		
黑喉潜鸟	*Gavia arctica*	潜鸟目	潜鸟科	涉禽	P/W		
东方白鹳	*Ciconia boyciana*	鹳形目	鹳科	涉禽	P	一级/EN	
白琵鹭	*Platalea leucorodia*	鹈形目	鹮科	涉禽	P	二级	
黑脸琵鹭	*Platalea minor*	鹈形目	鹮科	涉禽	P	一级/EN	
大麻鳽	*Botaurus stellaris*	鹈形目	鹭科	涉禽	P/W		
黄斑苇鳽	*Ixobrychus sinensis*	鹈形目	鹭科	涉禽	S		
夜鹭	*Nycticorax nycticorax*	鹈形目	鹭科	涉禽	R		是
绿鹭	*Butorides striata*	鹈形目	鹭科	涉禽	S	省级	
池鹭	*Ardeola bacchus*	鹈形目	鹭科	涉禽	S		是
牛背鹭	*Bubulcus coromandus*	鹈形目	鹭科	涉禽	S		
苍鹭	*Ardea cinerea*	鹈形目	鹭科	涉禽	R/S		是
草鹭	*Ardea purpurea*	鹈形目	鹭科	涉禽	S/P	省级	
大白鹭	*Ardea alba*	鹈形目	鹭科	涉禽	R/S		是
中白鹭	*Ardea intermedia*	鹈形目	鹭科	涉禽	S/P		是
白鹭	*Egretta garzetta*	鹈形目	鹭科	涉禽	R/S		是
黄嘴白鹭	*Egretta eulophotes*	鹈形目	鹭科	涉禽	S/P	一级/VU	是
普通鸬鹚	*Phalacrocorax carbo*	鲣鸟目	鸬鹚科	游禽	S/P/W		是
绿背鸬鹚	*Phalacrocorax capillatus*	鲣鸟目	鸬鹚科	游禽	S/W	省级	
黄脚三趾鹑	*Turnix tanki*	鸻形目	三趾鹑科	涉禽	P	省级	
蛎鹬	*Haematopus ostralegus*	鸻形目	蛎鹬科	涉禽	S/P	省级/NT	
反嘴鹬	*Recurvirostra avosetta*	鸻形目	反嘴鹬科	涉禽	S		
黑翅长脚鹬	*Himantopus himantopus*	鸻形目	反嘴鹬科	涉禽	S/P		是
凤头麦鸡	*Vanellus vanellus*	鸻形目	鸻科	涉禽	P	省级/NT	
金鸻	*Pluvialis fulva*	鸻形目	鸻科	涉禽	P		是
灰鸻	*Pluvialis squatarola*	鸻形目	鸻科	涉禽	P		是
金眶鸻	*Charadrius dubius*	鸻形目	鸻科	涉禽	S		是
环颈鸻	*Charadrius alexandrinus*	鸻形目	鸻科	涉禽	S/P		是
蒙古沙鸻	*Charadrius mongolus*	鸻形目	鸻科	涉禽	P	省级	
东方鸻	*Charadrius veredus*	鸻形目	鸻科	涉禽	S/P	省级	
小杓鹬	*Numenius minutus*	鸻形目	鸻科	涉禽	P	二级	
中杓鹬	*Numenius phaeopus*	鸻形目	鹬科	涉禽	P	省级	是
白腰杓鹬	*Numenius arquata*	鸻形目	鹬科	涉禽	P	二级/NT	是
大杓鹬	*Numenius madagascariensis*	鸻形目	鹬科	涉禽	P	二级/EN	是
斑尾塍鹬	*Limosa lapponica*	鸻形目	鹬科	涉禽	P	省级/NT	
黑尾塍鹬	*Limosa limosa*	鸻形目	鹬科	涉禽	P	NT	是
翻石鹬	*Arenaria interpres*	鸻形目	鹬科	涉禽	P	二级	是
大滨鹬	*Calidris tenuirostris*	鸻形目	鹬科	涉禽	P	二级/EN	
尖尾滨鹬	*Calidris acuminata*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
长趾滨鹬	*Calidris subminuta*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
三趾滨鹬	*Calidris alba*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		是
黑腹滨鹬	*Calidris alpina*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		是
丘鹬	*Scolopax rusticola*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
针尾沙锥	*Gallinago stenura*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
大沙锥	*Gallinago megala*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
扇尾沙锥	*Gallinago gallinago*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
矶鹬	*Actitis hypoleucos*	鸻形目	鹬科	涉禽	S/P		
白腰草鹬	*Tringa ochropus*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
灰尾漂鹬	*Tringa brevipes*	鸻形目	鹬科	涉禽	S/P	NT	
青脚鹬	*Tringa nebularia*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
鹤鹬	*Tringa erythropus*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
红脚鹬	*Tringa totanus*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		是
林鹬	*Tringa glareola*	鸻形目	鹬科	涉禽	P		
普通燕鸻	*Glareola maldivarum*	鸻形目	燕鸻科	涉禽	S		

红嘴鸥	*Chroicocephalus ridibundus*	鸻形目	鸥科	游禽	P/W		是
黑嘴鸥	*Saundersilarus saundersi*	鸻形目	鸥科	游禽	S/P	一级/VU	
遗鸥	*Ichthyaetus relictus*	鸻形目	鸥科	游禽	W	一级/VU	
黑尾鸥	*Larus crassirostris*	鸻形目	鸥科	游禽	R/S/W		是
普通海鸥	*Larus canus*	鸻形目	鸥科	游禽	W		是
西伯利亚银鸥	*Larus vegae*	鸻形目	鸥科	游禽	P/W		是
小黑背银鸥	*Larus fuscus*	鸻形目	鸥科	游禽	P/W		
白额燕鸥	*Sternula albifrons*	鸻形目	鸥科	游禽	S/P		是
普通燕鸥	*Sterna hirundo*	鸻形目	鸥科	游禽	S/P		是
灰翅浮鸥	*Chlidonias hybrida*	鸻形目	鸥科	游禽	P		
白翅浮鸥	*Chlidonias leucopterus*	鸻形目	鸥科	游禽	P		
红角鸮	*Otus sunia*	鸮形目	鸱鸮科	猛禽	S	二级	
长耳鸮	*Asio otus*	鸮形目	鸱鸮科	猛禽	W	二级	
短耳鸮	*Asio flammeus*	鸮形目	鸱鸮科	猛禽	P	二级	
鹗	*Pandion haliaetus*	鹰形目	鹗科	猛禽	W	二级	
黑翅鸢	*Elanus caeruleus*	鹰形目	鹰科	猛禽	R	二级	
凤头蜂鹰	*Pernis ptilorhynchus*	鹰形目	鹰科	猛禽	P	二级	
短趾雕	*Circaetus gallicus*	鹰形目	鹰科	猛禽	P	二级	
赤腹鹰	*Accipiter soloensis*	鹰形目	鹰科	猛禽	S/P	二级	
日本松雀鹰	*Accipiter gularis*	鹰形目	鹰科	猛禽	P	二级	
雀鹰	*Accipiter nisus*	鹰形目	鹰科	猛禽	S/P	二级	是
苍鹰	*Accipiter gentilis*	鹰形目	鹰科	猛禽	P/W	二级	
白腹鹞	*Circus spilonotus*	鹰形目	鹰科	猛禽	P	二级	
白尾鹞	*Circus cyaneus*	鹰形目	鹰科	猛禽	P/W	二级	
黑鸢	*Milvus migrans*	鹰形目	鹰科	猛禽	R/P	二级	是
灰脸鹭鹰	*Butastur indicus*	鹰形目	鹰科	猛禽	P	二级	
大鹭	*Buteo hemilasius*	鹰形目	鹰科	猛禽	P/W	二级	
普通鹭	*Buteo japonicus*	鹰形目	鹰科	猛禽	P/W	二级	
戴胜	*Upupa epops*	犀鸟目	戴胜科	攀禽	R		是
三宝鸟	*Eurystomus orientalis*	佛法僧目	佛法僧科	攀禽	S/P	省级	
普通翠鸟	*Alcedo atthis*	佛法僧目	翠鸟科	攀禽	R		
蓝翡翠	*Halcyon pileata*	佛法僧目	翠鸟科	攀禽	P	省级	
灰头绿啄木鸟	*Picus canus*	啄木鸟目	啄木鸟科	攀禽	R		
大斑啄木鸟	*Dendrocopos major*	啄木鸟目	啄木鸟科	攀禽	R		
红隼	*Falco tinnunculus*	隼形目	隼科	猛禽	R	二级	是
红脚隼	*Falco amurensis*	隼形目	隼科	猛禽	S/P	二级	
燕隼	*Falco subbuteo*	隼形目	隼科	猛禽	P	二级	
游隼	*Falco peregrinus*	隼形目	隼科	猛禽	P	二级	
黑枕黄鹂	*Oriolus chinensis*	雀形目	黄鹂科	鸣禽	S	省级	
虎纹伯劳	*Lanius tigrinus*	雀形目	伯劳科	鸣禽	S	省级	
牛头伯劳	*Lanius bucephalus*	雀形目	伯劳科	鸣禽	S		
红尾伯劳	*Lanius cristatus*	雀形目	伯劳科	鸣禽	S/P		是
棕背伯劳	*Lanius schach*	雀形目	伯劳科	鸣禽	R/S/P		
楔尾伯劳	*Lanius sphenocercus*	雀形目	伯劳科	鸣禽	W		
灰喜鹊	*Cyanopica cyanus*	雀形目	鸦科	鸣禽	R		是
喜鹊	*Pica serica*	雀形目	鸦科	鸣禽	R		是
秃鼻乌鸦	*Corvus frugilegus*	雀形目	鸦科	鸣禽	R		
小嘴乌鸦	*Corvus corone*	雀形目	鸦科	鸣禽	P		
大嘴乌鸦	*Corvus macrorhynchos*	雀形目	鸦科	鸣禽	R		
煤山雀	*Periparus ater*	雀形目	山雀科	鸣禽	R		
黄腹山雀	*Pardaliparus venustulus*	雀形目	山雀科	鸣禽	R	省级	
沼泽山雀	*Poecile palustris*	雀形目	山雀科	鸣禽	R		
大山雀	*Parus minor*	雀形目	山雀科	鸣禽	R		是
中华攀雀	*Remiz consobrinus*	雀形目	攀雀科	鸣禽	S/P	省级	
云雀	*Alauda arvensis*	雀形目	百灵科	鸣禽	W	二级	
文须雀	*Panurus biarmicus*	雀形目	文须雀科	鸣禽	W		
棕扇尾莺	*Cisticola juncidis*	雀形目	扇尾莺科	鸣禽	S		

东方大苇莺	*Acrocephalus orientalis*	雀形目	苇莺科	鸣禽	S		是
黑眉苇莺	*Acrocephalus bistrigiceps*	雀形目	苇莺科	鸣禽	P		
崖沙燕	*Riparia riparia*	雀形目	燕科	鸣禽	P	省级	
家燕	*Hirundo rustica*	雀形目	燕科	鸣禽	S/P		是
金腰燕	*Cecropis daurica*	雀形目	燕科	鸣禽	S/P		是
白头鹎	*Pycnonotus sinensis*	雀形目	鹎科	鸣禽	R		是
黄眉柳莺	*Phylloscopus inornatus*	雀形目	柳莺科	鸣禽	P		是
黄腰柳莺	*Phylloscopus proregulus*	雀形目	柳莺科	鸣禽	P		
褐柳莺	*Phylloscopus fuscatus*	雀形目	柳莺科	鸣禽	P		
双斑绿柳莺	*Phylloscopus plumbeitarsus*	雀形目	柳莺科	鸣禽	P		
淡脚柳莺	*Phylloscopus tenellipes*	雀形目	柳莺科	鸣禽	P		
极北柳莺	*Phylloscopus borealis*	雀形目	柳莺科	鸣禽	P		
远东树莺	*Horornis canturians*	雀形目	树莺科	鸣禽	S		
银喉长尾山雀	*Aegithalos glaucogularis*	雀形目	长尾山雀科	鸣禽	R		是
棕头鸦雀	*Sinosuthora webbiana*	雀形目	鸦雀科	鸣禽	R		是
震旦鸦雀	*Paradoxornis heudei*	雀形目	鸦雀科	鸣禽	R		
红胁绣眼鸟	*Zosterops erythropleurus*	雀形目	绣眼鸟科	鸣禽	P	二级	
暗绿绣眼鸟	*Zosterops simplex*	雀形目	绣眼鸟科	鸣禽	S	省级	
八哥	*Acridotheres cristatellus*	雀形目	椋鸟科	鸣禽	R		
灰椋鸟	*Spodiopsar cineraceus*	雀形目	椋鸟科	鸣禽	R		
灰背鸫	*Turdus hortulorum*	雀形目	鸫科	鸣禽	P		
乌鸫	*Turdus mandarinus*	雀形目	鸫科	鸣禽	R		是
白眉鸫	*Turdus obscurus*	雀形目	鸫科	鸣禽	P		
白腹鸫	*Turdus pallidus*	雀形目	鸫科	鸣禽	P		
赤颈鸫	*Turdus ruficollis*	雀形目	鸫科	鸣禽	P/W		
红尾斑鸫	*Turdus naumanni*	雀形目	鸫科	鸣禽	P/W		
斑鸫	*Turdus eunomus*	雀形目	鸫科	鸣禽	P/W		
乌鹟	*Muscicapa sibirica*	雀形目	鹟科	鸣禽	P		
北灰鹟	*Muscicapa dauurica*	雀形目	鹟科	鸣禽	P		
蓝歌鸲	*Larvivora cyane*	雀形目	鹟科	鸣禽	P	省级	
蓝喉歌鸲	*Luscinia svecica*	雀形目	鹟科	鸣禽	P	二级	
红喉歌鸲	*Calliope calliope*	雀形目	鹟科	鸣禽	P	二级	
红胁蓝尾鸲	*Tarsiger cyanurus*	雀形目	鹟科	鸣禽	P/W		
白眉姬鹟	*Ficedula zanthopygia*	雀形目	鹟科	鸣禽	P		
鸲姬鹟	*Ficedula mugimaki*	雀形目	鹟科	鸣禽	P		
红喉姬鹟	*Ficedula albicilla*	雀形目	鹟科	鸣禽	P		
北红尾鸲	*Phoenicurus auroreus*	雀形目	鹟科	鸣禽	R/P		是
蓝矶鸫	*Monticola solitarius*	雀形目	鹟科	鸣禽	S/P		
东亚石鹏	*Saxicola stejnegeri*	雀形目	鹟科	鸣禽	S/P		
戴菊	*Regulus regulus*	雀形目	戴菊科	鸣禽	W		
麻雀	*Passer montanus*	雀形目	雀科	鸣禽	R		是
树鹨	*Anthus hodgsoni*	雀形目	鹡鸰科	鸣禽	P/W		
红喉鹨	*Anthus cervinus*	雀形目	鹡鸰科	鸣禽	P		
田鹨	*Anthus richardi*	雀形目	鹡鸰科	鸣禽	P		
黄鹡鸰	*Motacilla tschutschensis*	雀形目	鹡鸰科	鸣禽	P		
灰鹡鸰	*Motacilla cinerea*	雀形目	鹡鸰科	鸣禽	P		
黄头鹡鸰	*Motacilla citreola*	雀形目	鹡鸰科	鸣禽	S/P		
白鹡鸰	*Motacilla alba*	雀形目	鹡鸰科	鸣禽	R/P		是
燕雀	*Fringilla montifringilla*	雀形目	燕雀科	鸣禽	P/W		
锡嘴雀	*Coccothraustes coccothraustes*	雀形目	燕雀科	鸣禽	P/W		
黑尾蜡嘴雀	*Eophona migratoria*	雀形目	燕雀科	鸣禽	S	省级	
金翅雀	*Chloris sinica*	雀形目	燕雀科	鸣禽	R		
黄雀	*Spinus spinus*	雀形目	燕雀科	鸣禽	P/W	省级	
铁爪鹀	*Calcarius lapponicus*	雀形目	铁爪鹀科	鸣禽	P/W	省级	
栗耳鹀	*Emberiza fucata*	雀形目	鹀科	鸣禽	P		
三道眉草鹀	*Emberiza cioides*	雀形目	鹀科	鸣禽	S		
黄喉鹀	*Emberiza elegans*	雀形目	鹀科	鸣禽	P		

红颈苇鹀	*Emberiza yessoensis*	雀形目	鹀科	鸣禽	P	省级/NT	
苇鹀	*Emberiza pallasi*	雀形目	鹀科	鸣禽	W		
田鹀	*Emberiza rustica*	雀形目	鹀科	鸣禽	W	省级/VU	
小鹀	*Emberiza pusilla*	雀形目	鹀科	鸣禽	P/W		
灰头鹀	*Emberiza spodocephala*	雀形目	鹀科	鸣禽	P/W		
黄眉鹀	*Emberiza chrysophrys*	雀形目	鹀科	鸣禽	P/W		

注：居留型中的 R 代表留鸟，P 代表旅鸟，S 代表夏候鸟，W 代表冬候鸟，部分种类可能有多种居留型的个体；保护级别一列中的“一级”代表国家一级保护动物，“二级”代表国家二级保护动物，省级代表山东省重点保护野生动物（参考山东省自然资源厅 2025 年 7 月颁布的《山东省重点保护野生动物名录（征求意见稿）》）；CR 代表极危，EN 代表濒危，VU 代表易危，NT 代表近危。

5.7.4 小结

1）风电场及南侧陆地区域鸟类整体概况

现场调查过程中，在项目评价海域及项目南侧海岸区域仅记录到鸟类 53 种，但综合文献资料后，区域内的鸟类种类数为 220 种。按生态类群划分，其中游禽 49 种，占比 22.3%；涉禽 54 种，占比 24.5%；猛禽 21 种，占比 9.5%；攀禽 9 种，占比 4.1%；陆禽 5 种，占比 2.3%；鸣禽 82 种，占比 37.3%。按居留型划分，其中留鸟 39 种，占比 17.7%；夏候鸟 54 种，占比 24.6%；冬候鸟 61 种，占比 27.7%；旅鸟 140 种，占比 63.6%。

根据《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），国家一级重点保护鸟类有 6 种，分别为青头潜鸭、东方白鹳、黑脸琵鹭、黄嘴白鹭、黑嘴鸥和遗鸥。其中现场调查记录到 1 种，为黄嘴白鹭。

国家二级重点保护鸟类有 41 种，分别为疣鼻天鹅、大天鹅、小天鹅、鸿雁、白额雁、斑头秋沙鸭、鸳鸯、花脸鸭、角鸊鹈、黑颈鸊鹈、白琵鹭、小杓鹬、白腰杓鹬、大杓鹬、翻石鹬、大滨鹬、红角鸮、长耳鸮、短耳鸮、鹗、黑翅鸢、凤头蜂鹰、短趾雕、赤腹鹰、日本松雀鹰、雀鹰、苍鹰、白腹鹞、白尾鹞、黑鸢、灰脸鵟鹰、大鵟、普通鵟、红隼、红脚隼、燕隼、游隼、云雀、红胁绣眼鸟、蓝喉歌鸲和红喉歌鸲。其中现场记录到 6 种，分别为白腰杓鹬、大杓鹬、翻石鹬、雀鹰、黑鸢和红隼。

按山东省自然资源厅 2025 年 7 月颁布的《山东省重点保护野生动物名录（征求意见稿）》，省级重点保护鸟类有 37 种，分别为黑雁、灰雁、斑脸海番鸭、普通秋沙鸭、红胸秋沙鸭、红头潜鸭、斑背潜鸭、赤膀鸭、赤颈鸭、针尾鸭、凤头䴙䴘、灰斑鸠、白胸苦恶鸟、绿鹭、草鹭、绿背鸬鹚、黄脚三趾鹑、蛎鹬、凤头麦鸡、蒙古沙鸻、东方鸻、中杓鹬、斑尾塍鹬、三宝鸟、蓝翡翠、黑枕黄鹂、虎纹伯劳、黄腹山雀、中华攀雀、崖沙燕、暗绿绣眼鸟、蓝歌鸲、黑尾蜡嘴雀、黄雀、铁爪鹀、红颈苇鹀和田鹀。其中，现场记录到 1 种，为中杓鹬。

根据《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》（IUCN Red List of Threatened Species，

截至 2026 年 3 月），CR（极危）级别物种 1 种，为青头潜鸭；属于 EN（濒危）级别的有 4 种，分别为东方白鹳、黑脸琵鹭、大杓鹬和大滨鹬；属于 VU（易危）级别的有 7 种，分别为鸿雁、红头潜鸭、角鸊鹈、黄嘴白鹭、黑嘴鸥、遗鸥和田鸡；属于 NT（近危）级别的有 10 种，分别为鹌鹑、白眼潜鸭、罗纹鸭、凤头麦鸡、白腰杓鹬、蛎鹬、黑尾塍鹬、斑尾塍鹬、灰尾漂鹬和红颈苇鳽。其中现场记录到 4 种，分别为黄嘴白鹭、白腰杓鹬、大杓鹬、黑尾塍鹬。

2）风电场区与鸟类迁徙路线关系分析

各文献中的鸟类迁徙卫星追踪数据，迁徙过程中会经过风电场区所在海域及周边海域的有大天鹅、小天鹅、鸿雁、灰雁、豆雁、白额雁、赤颈鸭、绿翅鸭、罗纹鸭、白眉鸭、花脸鸭、黄嘴白鹭、白琵鹭、黑脸琵鹭、蛎鹬、中杓鹬、大杓鹬、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、凤头蜂鹰、燕隼和游隼等。

上述鸟类中，国家一级重点保护鸟类有黑脸琵鹭和黄嘴白鹭；国家二级重点保护鸟类有大天鹅、小天鹅、鸿雁、白额雁、花脸鸭、大杓鹬、凤头蜂鹰、燕隼和游隼；省级重点保护鸟类有灰雁、赤颈鸭、蛎鹬和中杓鹬。

此外，基于合理的推测，还有一些鸻鹬类及雀形目鸟类在迁徙时也有可能会经过项目所在海域或周边海域。

5.8 声环境质量概况

工程海域声环境质量现状调查内容引自《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》（中国科学院声学研究所北海研究站，2026 年 8 月）。

5.8.1 监测点位及调查时间

中国科学院声学研究所北海研究站 2026 年 8 月 26 日和 2024 年 10 月 24 日对山东半岛北 N2 场址海上风电场工程海域的声环境质量进行了现场调查。根据《海上风电工程海洋环境影响评价技术规范》，在工程海域共设置 9 个噪声调查站点（各站点均开展水上、水下声测量），见图 5.8-1，各站点经纬度坐标见表 5.8-1。

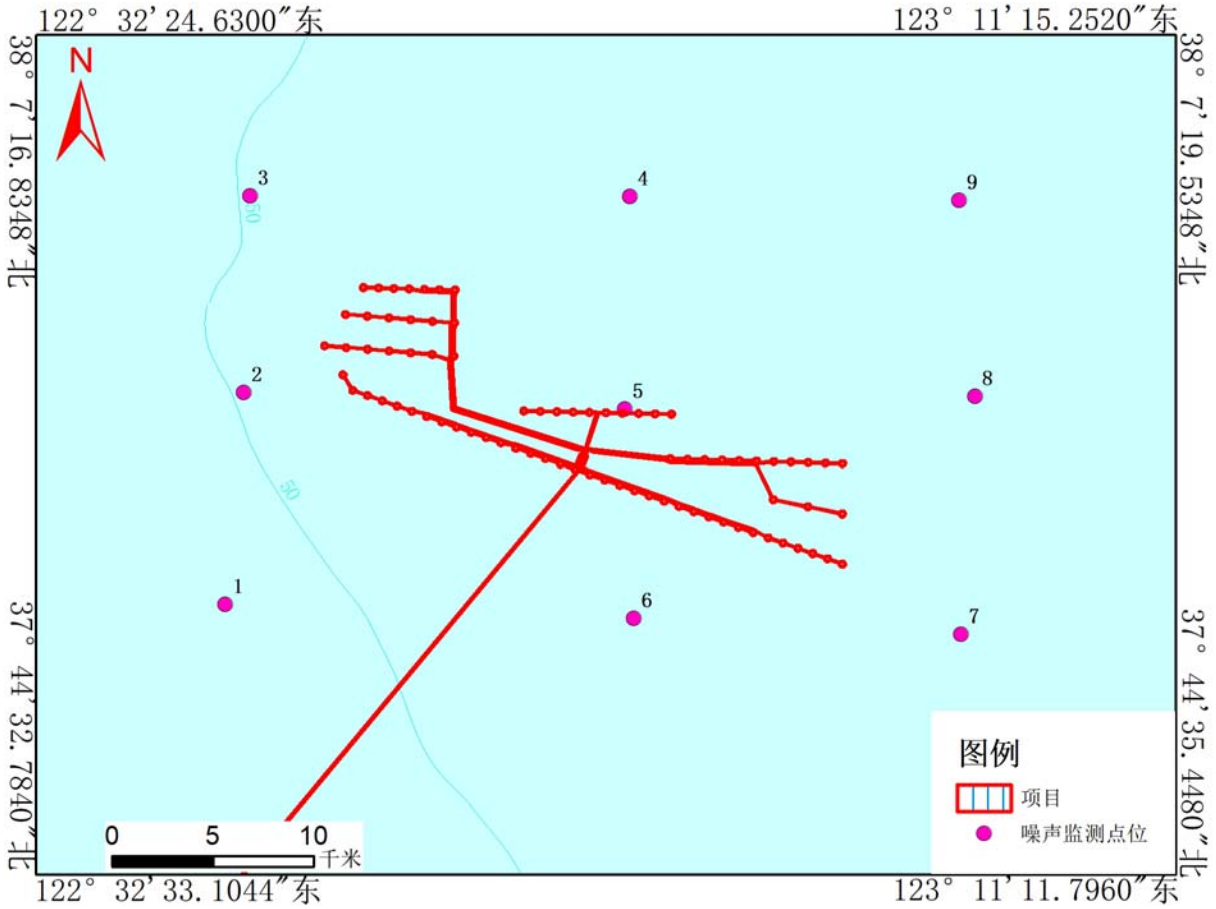


图 5.8-1　工程海域声环境调查站点布设示意图

表 5.8-1　监测站位坐标表

点号	经度	纬度
1	122°38′56"	37°51′53"
2	122°39′32"	37°57′37"
3	122°39′44"	38°02′56"
4	122°52′39"	38°02′57"
5	122°52′30"	37°57′11"
6	122°52′48"	37°51′32"
7	123°03′55"	37°51′06"
8	123°04′24"	37°57′32"
9	123°03′52"	38°02′51"

5.8.2 调查时间及海况

2026 年 8 月 26 日声环境调查期间，天气阴，海况 2-3 级，环境条件见表 5.8-2。2024 年 10 月 24 日声环境调查期间，天气晴，海况 1-2 级，环境条件见表 5.8-3。

表 5.8-2　各站点开展声环境调查时的环境条件（夏季）

站点编号	风速（m/s）	水深（m）	海况（级）	天气	水温（5m）（℃）
#1	5.8	48.0	2-3	阴	27.9
#2	6.6	52.0	2-3	阴	27.8
#3	6.7	52.5	2-3	阴	27.6
#4	4.7	54.5	2-3	阴	27.8
#5	2.7	54.7	2-3	阴	27.8
#6	2.2	56.5	2-3	阴	27.7
#7	2.1	58.5	2-3	阴	28.1

#8	3.7	58.4	2-3	阴	28.2
#9	4.2	58.0	2-3	阴	28.3

表 5.8-3 各站点开展声环境调查时的环境条件（秋季）

站点编号	风速（m/s）	水深（m）	海况（级）	天气	水温℃（10m）
#1	2.2	47	1-2 级	晴	18.2
#2	1.5	50	1-2 级	晴	18.3
#3	1.8	50	1-2 级	晴	18.3
#4	2.0	53	1-2 级	晴	18.3
#5	2.1	54	1-2 级	晴	18.3
#6	2.4	56	1-2 级	晴	18.5
#7	1.6	58	1-2 级	晴	18.3
#8	1.7	60	1-2 级	晴	18.2
#9	1.7	57	1-2 级	晴	18.5

图 5.8-2 所示为课题组成员在山东半岛北 N1 场址海上风电场工程海域进行水上、水下噪声调查作业时的现场工作情况。



图 5.8-2 工程海域水上、水下环境噪声测量

5.8.3 调查内容及测量时间

（1）水上调查

根据《环境影响评价技术导则声环境》（HJ/T2.4-2021）的要求，每个站点连续测量时间均为 10min 以上。测量计算结果为：

①等效连续声级 L_{eq}；

②最大声级 L_{max}；

（2）水下调查

与水上环境噪声测量位置相同，共调查 9 个站点。根据站点的海域深度，设置 3 个水层深度，测量记录时间均为 2min 以上。

调查内容为频带声压级、声压谱级以及各测点的峰值声压级。

1）水下噪声频带声压级 L_{pf}

$$L_{pf}=20\lg\frac{p_f}{p_0} \quad (1)$$

式中：L_{pf}—噪声频带声压级，单位为分贝（dB）；

p_f—测量所得的某频带噪声声压，单位为帕（Pa）；

p_0—基准声压，单位为帕（Pa），通常取 $p_0=1\mu$ Pa。

2）水下噪声声压谱[密度]级 L_{ps}

在海洋中基准声压的谱密度级为 1μPa/$\sqrt{Hz}$,当声能在 Δf 中均匀分布时：

$$L_{ps}=L_{pf}-10\lg\Delta f \quad (2)$$

式中：L_{ps}—噪声声压谱级，又称为等效谱级，单位为分贝（dB），基准值为 1μPa/$\sqrt{Hz}$；

L_{pf}—测得的中心频率为 f 的频带声压级，单位为分贝（dB），基准值为 1μPa；

Δf—带通滤波器的有效带宽。

3）背景噪声测量修正值 *K*

在水下噪声测量中，为减小背景干扰噪声对测量目标的影响，应对测得的结果进行修正，即将实测频带声压级 L_{pf0} 减去修正值 K，得到修正后的频带声压级 L_{pf}，如下式所示：

$$L_{pf}=L_{pf0}-K \quad (3)$$

本工程所进行的海洋背景噪声测量用船载方式进行，测量中船位抛锚并关闭发动机和辅机，水下没有其他的干扰声源存在，因此干扰噪声修正值 K=0。

4）全频带累积声压级

频率不同的声波是不相干的，不会形成相干干涉，所以，声信号总的声能量是各个频率分量上的能量叠加之和。在获取 1/3 倍频程频带声压级的基础上，可以运用不同频带上的声压级叠加原理，对 1/3 倍频程带宽频带声压级进行累加，求取全频带累积声压级，表示为 L_p，用于描述各水下测量点上的环境噪声强度。

$$L_p=10\lg(10^{0.1L_{pf1}}+10^{0.1L_{pf2}}+\ldots+10^{0.1L_{pfN}}) \quad (4)$$

L_{pf}—中心频率为 f 的 1/3 倍频程频带声压级，单位为分贝（dB）。

5.8.4 水上声环境现状

5.8.4.1 夏季调查结果

表 5.8-4 工程海域夏季水上声环境质量调查结果（A 计权）单位：dB/20uPa

站点编号	噪声源	最大声级（dB）	等效连续声级（dB）	累积百分声级 L10（dB）	累积百分声级 L50（dB）	累积百分声级 L90（dB）
#1	海上声环境	91.7	72.7	74.0	63.3	57.2
#2	海上声环境	92.2	71.5	72.0	65.0	59.3
#3	海上声环境	92.1	71.4	72.3	62.5	56.5
#4	海上声环境	92.9	75.2	73.2	62.5	54.5
#5	海上声环境	89.2	68.5	67.6	59.3	53.9
#6	海上声环境	84.2	66.6	67.9	57.8	49.8
#7	海上声环境	79.8	63.3	65.6	59.5	53.1
#8	海上声环境	89.9	70.4	68.9	60.5	53.9
#9	海上声环境	88.0	67.8	68.5	60.7	55.6

5.8.4.2 秋季调查结果

表 5.8-5 工程海域水上声环境质量调查结果（A 计权）单位：dB/20uPa

站点编号	噪声源	最大声级（dB）	等效连续声级（dB）	累积百分声级 L10（dB）	累积百分声级 L50（dB）	累积百分声级 L90（dB）
#1	海上声环境	68.6	43.7	45.5	42.4	40.3
#2	海上声环境	73.7	51.5	50.4	46.1	44.6
#3	海上声环境	78.5	59.5	64.0	58.0	46.5
#4	海上声环境	70.5	54.6	70.3	51.5	48.5
#5	海上声环境	76.3	54.7	56.5	50.5	46.2
#6	海上声环境	68.5	44.6	44.5	40.6	38.2
#7	海上声环境	69.0	42.6	45.4	43.0	40.4
#8	海上声环境	68.4	51.4	53.9	41.4	39.3
#9	海上声环境	72.1	53.3	55.2	51.8	42.6

5.8.5 水下声环境现状

根据《声学水下噪声测量》（GB/T5265-2009）的要求，测声换能器系统采用船载方式进行噪声测量时，在噪声测量期间不能启动主机和辅机，禁止船上进行能产生撞击声传入水中的人为活动，并避开测量点附近可能存在的各种干扰噪声源（如舰艇航行、施工等）。特别注意对噪声有异常情况的记录，同时记录监测点位深度、测点深度、涨落潮情况、气象条件等。

5.8.5.1 夏季调查结果

（1）峰值声压

表 5.8-6 各站点设计的测量深度与对应的峰值声压级（夏季）

站点编号	测点深度（m）	峰值声压（dB/1uPa）	全频带累积声压级 L_p(dB/1uPa)		
			各测量点	各站点平均值	调查海域平均值
#1	5	148	134	135	135
	27	145	138		
	42	144	131		
#2	5	153	135	140	
	27	164	144		
	42	145	131		
#3	5	151	137	134	

	27	142	134		
	42	144	128		
#4	5	153	138	137	
	27	159	138		
	42	148	130		
#5	5	149	133	130	
	27	156	129		
	42	141	126		
#6	5	148	132	129	
	27	140	126		
	42	144	124		
#7	5	145	135	133	
	27	153	134		
		145	129		
#8	5	149	137	134	
	27	144	132		
	42	145	132		
#9	5	150	138	136	
	27	155	136		
	42	144	130		

（2）工程海域频带声压级和声压谱级

夏季监测海域频带声压级和声压谱级如下：

表 5.8-7　工程海域夏季水下噪声环境调查结果－声压谱级（1）单位：dB（*re*1uPa/$\sqrt{\text{Hz}}$）

站点编号	测量深度	声压谱级																
		20	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**
#1	5	125.5	117.1	109.6	112.4	108.7	103.3	97.9	96.9	94.0	89.8	88.1	86.8	82.6	82.7	83.0	82.3
	27	131.1	117.0	109.7	105.7	98.6	96.3	94.7	88.9	84.3	80.5	76.6	72.9	71.0	70.4	68.6	67.1
	42	121.8	115.7	113.8	112.4	104.7	101.4	98.5	89.6	84.0	78.7	75.7	72.3	69.5	68.4	68.4	65.8
#2	5	127.0	118.8	114.2	112.5	108.2	102.2	97.9	97.0	94.8	90.7	93.4	92.8	88.1	87.3	86.5	85.7
	27	132.9	129.2	128.9	124.9	122.3	119.5	114.6	109.8	106.5	103.0	97.2	95.5	93.0	86.8	86.4	86.0
	42	123.3	113.7	111.2	107.7	102.6	101.5	99.2	95.0	89.4	83.2	81.5	77.0	76.1	74.6	73.3	71.3
#3	5	127.9	123.6	117.1	114.3	111.4	104.2	98.0	96.4	92.7	88.4	86.0	86.1	85.1	84.6	84.0	82.5
	27	127.5	115.5	108.2	100.9	98.6	97.9	93.0	89.9	87.5	84.4	80.8	79.4	78.6	77.5	75.0	73.3
	42	119.5	113.1	109.5	106.3	100.5	97.8	92.3	89.2	87.2	82.4	79.5	77.0	76.5	73.4	71.6	69.2
#4	5	130.1	123.7	116.0	113.9	109.1	101.6	95.5	93.7	89.7	85.2	82.7	81.8	79.5	80.6	80.3	79.0
	27	126.6	114.9	108.3	98.7	95.7	93.7	92.8	93.1	93.3	92.0	88.3	85.8	83.6	79.2	80.7	79.7
	42	121.9	115.9	111.2	108.2	102.3	99.0	93.4	88.1	83.7	79.5	76.0	73.6	71.8	70.7	70.9	67.6
#5	5	124.1	117.2	114.4	111.7	106.3	97.9	92.7	93.2	89.6	86.2	82.5	80.3	77.6	78.5	79.0	77.8
	27	115.8	114.1	113.6	110.2	109.2	103.8	99.3	98.5	96.4	93.7	87.3	91.0	90.0	85.2	83.0	81.1
	42	111.8	112.1	113.1	104.2	100.2	94.7	90.4	82.9	78.6	75.5	72.0	69.6	66.0	65.5	66.0	63.0
#6	5	124.1	117.2	112.0	110.6	105.3	97.7	92.3	91.2	88.4	84.3	81.1	79.6	76.7	77.3	78.5	76.7
	27	115.4	114.2	111.0	101.3	95.0	92.7	90.1	84.7	82.2	81.5	77.7	74.2	70.0	69.5	67.4	65.6
	42	111.9	111.8	109.4	102.9	98.6	93.7	89.6	82.9	80.3	80.8	77.1	72.6	70.2	69.3	68.7	64.9
#7	5	127.0	118.8	110.8	111.1	106.6	100.2	94.3	93.3	90.1	86.7	84.3	82.2	79.5	80.8	81.1	77.5
	27	125.0	118.3	115.8	113.4	113.2	107.1	101.4	99.7	95.8	92.6	89.4	88.9	87.2	82.4	78.8	76.8
		118.0	114.6	114.2	109.0	102.7	100.5	95.7	89.2	82.8	80.1	75.5	74.5	71.5	69.1	67.8	64.3
#8	5	128.9	122.0	115.0	114.7	109.0	101.6	95.8	95.3	91.5	86.6	84.1	82.7	80.4	81.4	82.7	79.5
	27	122.0	118.0	115.8	105.7	99.4	96.7	93.5	89.9	87.4	84.6	81.4	79.7	77.6	77.4	75.0	72.4
	42	124.4	117.5	111.0	109.3	103.1	103.7	99.6	89.6	83.7	79.6	75.7	73.8	71.3	70.4	68.9	66.5
#9	5	128.9	125.7	112.4	113.9	107.7	99.8	93.7	93.2	90.2	86.4	83.1	81.8	79.4	80.1	80.8	79.7
	27	126.2	122.4	120.5	111.7	108.2	102.5	95.0	92.7	89.3	86.8	83.1	80.2	75.5	75.1	72.8	70.7
	42	117.1	117.9	114.3	108.0	101.8	98.6	94.5	87.4	82.4	79.3	75.9	74.4	70.9	69.2	68.6	65.5

表 5.8-8　工程海域夏季水下噪声环境调查结果－声压谱级（2）单位：dB（*re*1uPa/$\sqrt{\text{Hz}}$）

站点编号	测量深度	声压谱级														
		800	**1000**	**1250**	**1600**	**2000**	**2500**	**3150**	**4000**	**5000**	**6300**	**8000**	**10k**	**12.5k**	**16k**	**20k**
#1	5	79.8	74.4	75.4	72.1	66.8	61.2	60.0	55.5	55.6	54.9	50.9	50.2	48.9	45.8	45.4
	27	66.3	64.9	66.5	61.1	59.6	58.1	55.9	53.8	52.4	51.4	48.8	46.4	44.4	41.8	44.0
	42	63.9	62.7	62.3	58.2	58.1	57.6	55.8	54.1	50.9	51.3	49.3	46.0	45.3	44.4	42.7
#2	5	83.7	77.6	75.7	74.6	69.0	65.1	62.5	59.1	58.3	58.3	54.5	53.4	51.7	47.4	46.4
	27	84.1	81.2	85.6	76.7	68.4	62.8	58.7	55.8	53.1	51.7	49.6	48.5	45.7	42.6	46.0
	42	69.1	67.5	64.2	61.3	59.7	57.7	56.2	56.3	53.2	52.4	50.6	47.7	47.5	44.5	42.6
#3	5	80.6	76.8	73.9	73.2	67.4	64.6	60.3	58.1	55.7	55.4	51.5	50.5	48.8	44.6	44.8
	27	71.5	69.9	75.0	67.7	61.9	59.4	57.4	54.5	51.9	52.4	50.3	47.6	45.3	42.1	44.8
	42	65.9	64.4	63.5	59.0	59.1	60.2	58.1	55.2	52.0	52.1	50.7	48.5	48.4	45.7	43.1
#4	5	77.5	74.9	74.2	69.7	65.4	64.7	62.3	59.7	57.3	57.2	51.9	53.5	52.3	49.0	51.7
	27	75.9	73.1	77.4	71.1	61.4	58.4	57.0	54.2	52.4	55.3	54.1	47.7	45.1	42.1	44.5
	42	66.2	64.2	62.7	59.7	58.7	58.8	58.2	54.2	51.4	50.7	48.9	46.3	44.2	43.4	41.7
#5	5	76.7	73.7	74.0	69.1	65.6	65.0	61.5	58.3	57.8	57.9	52.0	51.3	49.5	44.5	45.5
	27	78.5	71.9	75.1	63.7	57.7	55.8	54.5	52.7	50.2	48.7	46.3	43.3	41.2	38.8	42.3
	42	60.3	59.7	57.1	55.1	54.0	52.5	51.6	50.1	47.8	46.9	45.9	42.5	41.0	39.5	38.3
#6	5	72.9	72.7	73.9	69.1	64.0	61.2	60.1	58.5	57.3	55.7	50.5	49.3	48.9	44.3	46.0
	27	63.7	61.1	63.6	57.3	55.6	54.1	52.3	51.5	49.0	47.3	45.1	42.6	40.9	38.7	42.6
	42	62.4	60.5	57.7	56.0	58.5	65.9	61.7	49.9	48.0	52.8	47.6	46.8	48.0	40.4	38.2
#7	5	76.0	73.1	70.1	68.3	64.6	64.0	61.6	56.9	56.3	56.7	51.1	49.6	49.4	44.1	45.8
	27	75.2	74.0	77.6	66.9	62.4	58.6	55.7	52.2	50.1	48.9	46.4	44.5	42.6	39.9	42.6
		62.6	63.1	59.8	58.3	56.6	54.9	53.8	51.3	49.4	49.1	47.1	43.3	44.5	40.4	39.2
#8	5	77.3	76.6	74.0	70.1	69.0	70.9	65.5	61.7	60.0	57.9	54.0	51.3	50.0	45.1	46.4
	27	73.8	73.3	79.9	69.1	63.8	63.3	59.7	57.2	54.1	51.8	48.3	49.2	45.1	41.9	43.8
	42	64.2	64.4	61.6	59.1	59.3	61.1	57.5	55.4	50.9	50.4	48.2	44.7	43.2	41.1	39.7
#9	5	76.1	74.6	75.5	68.6	66.9	66.7	65.7	60.8	57.3	57.3	51.7	51.0	49.4	44.8	46.3
	27	70.9	70.5	73.1	67.8	63.4	59.3	57.5	55.2	52.7	51.4	48.8	47.2	45.0	41.8	44.5
	42	63.8	63.7	60.7	58.7	57.2	55.5	54.5	53.1	50.7	49.8	48.4	45.0	44.9	42.5	41.1

表 5.8-9　工程海域夏季水下噪声环境调查结果一频带声压级（1）单位：dB/1uPa

站点编号	测量深度	1/3oct 倍频程频带声压级															
		20	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**
#1	5	132.2	124.8	118.2	122.1	119.4	114.9	110.6	110.6	108.6	105.5	104.7	104.5	101.3	102.4	103.6	104.0
	27	137.7	124.6	118.4	115.3	109.3	107.9	107.3	102.6	99.0	96.1	93.2	90.6	89.7	90.1	89.2	88.8
	42	128.5	123.3	122.5	122.1	115.3	113.0	111.2	103.3	98.7	94.3	92.4	89.9	88.2	88.1	89.0	87.5
#2	5	133.7	126.5	122.8	122.2	118.9	113.8	110.6	110.6	109.4	106.3	110.0	110.5	106.8	107.0	107.1	107.4
	27	139.5	136.8	137.5	134.6	132.9	131.1	127.3	123.5	121.2	118.6	113.9	113.2	111.7	106.5	107.1	107.7
	42	129.9	121.3	119.9	117.3	113.2	113.2	111.8	108.6	104.0	98.9	98.2	94.7	94.8	94.3	94.0	93.0
#3	5	134.6	131.2	125.7	123.9	122.0	115.9	110.7	110.1	107.4	104.1	102.7	103.7	103.8	104.3	104.7	104.2
	27	134.1	123.1	116.8	110.5	109.3	109.5	105.7	103.6	102.2	100.0	97.4	97.0	97.3	97.2	95.7	95.0
	42	126.2	120.8	118.1	115.9	111.1	109.4	105.0	102.9	101.8	98.1	96.1	94.7	95.1	93.1	92.2	90.9
#4	5	136.8	131.4	124.6	123.5	119.7	113.2	108.1	107.4	104.3	100.9	99.4	99.5	98.1	100.2	101.0	100.6
	27	133.2	122.5	116.9	108.3	106.3	105.3	105.5	106.7	107.9	107.7	104.9	103.5	102.3	98.8	101.3	101.4
	42	128.5	123.6	119.9	117.8	112.9	110.7	106.1	101.8	98.4	95.1	92.6	91.3	90.4	90.4	91.6	89.2
#5	5	130.7	124.9	123.0	121.3	117.0	109.5	105.4	106.8	104.3	101.8	99.2	98.0	96.3	98.2	99.7	99.5
	27	122.4	121.8	122.2	119.9	119.8	115.4	112.0	112.2	111.1	109.4	104.0	108.6	108.7	104.8	103.6	102.8
	42	118.5	119.8	121.7	113.9	110.8	106.3	103.0	96.5	93.2	91.1	88.7	87.3	84.7	85.2	86.6	84.7
#6	5	130.7	124.9	120.6	120.2	116.0	109.3	104.9	104.9	103.1	99.9	97.8	97.2	95.4	97.0	99.2	98.4
	27	122.0	121.8	119.7	111.0	105.7	104.4	102.7	98.4	96.8	97.2	94.3	91.9	88.7	89.1	88.1	87.3
	42	118.5	119.5	118.1	112.6	109.3	105.3	102.2	96.5	95.0	96.5	93.7	90.3	88.9	89.0	89.4	86.6
#7	5	133.6	126.4	119.5	120.7	117.2	111.9	107.0	106.9	104.7	102.3	101.0	99.9	98.2	100.5	101.8	99.2
	27	131.6	126.0	124.5	123.0	123.8	118.7	114.0	113.4	110.4	108.3	106.1	106.6	105.9	102.0	99.5	98.5
		124.6	122.2	122.8	118.7	113.3	112.2	108.4	102.9	97.5	95.8	92.2	92.2	90.1	88.8	88.5	86.0
#8	5	135.5	129.6	123.6	124.3	119.6	113.3	108.4	108.9	106.2	102.3	100.7	100.4	99.1	101.1	103.4	101.1
	27	128.6	125.6	124.4	115.3	110.0	108.3	106.1	103.5	102.0	100.3	98.1	97.4	96.3	97.1	95.7	94.0
	42	131.0	125.1	119.6	119.0	113.8	115.4	112.3	103.3	98.3	95.3	92.4	91.5	90.0	90.1	89.6	88.2
#9	5	135.5	133.4	121.1	123.6	118.4	111.4	106.4	106.8	104.9	102.0	99.8	99.4	98.0	99.8	101.5	101.4
	27	132.9	130.0	129.1	121.3	118.9	114.1	107.7	106.4	104.0	102.5	99.7	97.9	94.2	94.8	93.4	92.4
	42	123.7	125.6	122.9	117.7	112.4	110.2	107.2	101.1	97.1	94.9	92.6	92.1	89.6	88.9	89.3	87.2

表 5.8-10　工程海域夏季水下噪声环境调查结果－频带声压级（2）单位：dB/1uPa

站点编号	测量深度	1/3oct 倍频程频带声压级														
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
#1	5	102.5	98.1	100.1	97.8	93.5	88.9	88.7	85.2	86.3	86.6	83.6	83.9	83.6	81.6	82.1
	27	89.0	88.6	91.2	86.8	86.3	85.8	84.6	83.5	83.2	83.1	81.5	80.1	79.1	77.5	80.7
	42	86.5	86.4	86.9	83.9	84.8	85.3	84.5	83.8	81.7	83.0	82.0	79.7	80.0	80.1	79.4
#2	5	106.4	101.2	100.4	100.3	95.7	92.8	91.2	88.8	89.0	90.0	87.2	87.1	86.4	83.2	83.2
	27	106.8	104.9	110.3	102.4	95.1	90.5	87.4	85.5	83.8	83.4	82.4	82.2	80.4	78.4	82.7
	42	91.8	91.2	88.9	87.0	86.4	85.4	84.9	86.0	83.9	84.1	83.3	81.4	82.2	80.2	79.3
#3	5	103.3	100.4	98.6	98.9	94.1	92.3	89.0	87.8	86.4	87.1	84.2	84.2	83.5	80.3	81.6
	27	94.1	93.6	99.7	93.4	88.6	87.1	86.1	84.2	82.6	84.1	83.0	81.3	80.1	77.9	81.6
	42	88.6	88.0	88.1	84.7	85.8	87.9	86.8	84.9	82.7	83.8	83.4	82.2	83.2	81.4	79.8
#4	5	100.2	98.6	98.9	95.4	92.1	92.4	91.0	89.4	88.0	89.0	84.6	87.3	87.0	84.7	88.4
	27	98.6	96.8	102.1	96.8	88.1	86.1	85.7	83.9	83.1	87.1	86.8	81.4	79.9	77.8	81.3
	42	88.9	87.9	87.3	85.4	85.4	86.5	86.9	83.9	82.2	82.4	81.6	80.0	78.9	79.1	78.5
#5	5	99.4	97.4	98.7	94.8	92.2	92.7	90.2	88.0	88.5	89.6	84.7	85.0	84.3	80.2	82.2
	27	101.2	95.6	99.8	89.4	84.4	83.5	83.2	82.4	80.9	80.4	79.0	77.0	76.0	74.6	79.0
	42	83.0	83.4	81.7	80.8	80.7	80.2	80.3	79.8	78.5	78.7	78.6	76.2	75.7	75.2	75.1
#6	5	95.6	96.3	98.5	94.8	90.7	88.9	88.8	88.2	88.0	87.5	83.3	83.1	83.7	80.0	82.8
	27	86.3	84.8	88.3	83.0	82.3	81.8	81.0	81.2	79.7	79.0	77.8	76.3	75.6	74.5	79.3
	42	85.1	84.2	82.4	81.7	85.2	93.6	90.4	79.6	78.7	84.5	80.3	80.5	82.7	76.1	75.0
#7	5	98.7	96.8	94.8	94.0	91.3	91.7	90.3	86.6	87.0	88.4	83.8	83.3	84.1	79.8	82.6
	27	97.9	97.7	102.3	92.5	89.1	86.3	84.4	81.9	80.8	80.6	79.1	78.2	77.3	75.6	79.3
		85.3	86.7	84.5	84.0	83.3	82.6	82.5	81.0	80.1	80.8	79.9	77.0	79.3	76.1	75.9
#8	5	100.0	100.2	98.6	95.8	95.7	98.6	94.2	91.4	90.7	89.6	86.7	85.0	84.8	80.8	83.1
	27	96.5	97.0	104.6	94.8	90.5	91.0	88.4	86.9	84.8	83.5	81.0	82.9	79.8	77.6	80.6
	42	86.8	88.1	86.3	84.8	86.0	88.8	86.2	85.1	81.6	82.2	80.9	78.4	77.9	76.8	76.5
#9	5	98.8	98.3	100.2	94.3	93.6	94.4	94.4	90.5	88.0	89.0	84.5	84.7	84.2	80.5	83.0
	27	93.6	94.2	97.7	93.5	90.1	87.0	86.2	84.9	83.4	83.1	81.5	80.9	79.8	77.5	81.3
	42	86.5	87.4	85.4	84.4	83.9	83.2	83.2	82.8	81.4	81.5	81.1	78.8	79.6	78.2	77.9

5.8.5.2 秋季调查结果

①峰值声压

水下噪声结果详见表 5.8-11。

表 5.8-11 各站点设计的测量深度与对应的峰值声压级

站点编号	测点深度（m）	峰值声压（dB/1uPa）	全频带累积声压级 Lp（dB/1uPa）		
			各测量点	各站点平均值	调查海域平均值
#1	4	167	136	133	133
	28	161	130		
	42	160	127		
#2	4	169	138	136	
	28	169	138		
	42	162	128		
#3	4	169	136	132	
	28	164	129		
	42	164	127		
#4	4	164	131	129	
	28	162	128		
	42	160	125		
#5	4	161	128	129	
	28	161	130		
	42	160	128		
#6	4	164	127	125	
	28	163	124		
	42	161	122		
#7	4	165	138	135	
	28	164	131		
	42	163	131		
#8	4	164	133	131	
	28	162	132		
	42	160	127		
#9	4	165	139	136	
	28	163	132		
	42	162	132		

②工程海域频带声压级和声压谱级

调查结果见表 5.8-12～表 5.8-15。

表 5.8-12　工程海域水下噪声环境调查结果－声压谱级（1）单位：dB（re1uPa/$\sqrt{\text{Hz}}$）

站点编号	测点位置	声压谱级															
		20	**25**	**31.5**	**40**	**50**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**	**315**	**400**	**500**	**630**
#1	4	132.4	124.2	117.2	110.7	106.3	100.6	100.0	96.1	93.3	91.1	92.3	90.0	89.9	87.9	86.7	84.0
	28	120.0	118.0	109.2	102.9	101.5	101.3	102.4	97.7	95.1	91.8	92.9	88.0	87.6	85.9	84.9	83.0
	42	118.1	112.2	103.3	99.7	98.6	99.1	99.2	95.2	93.8	91.2	92.7	88.7	87.7	85.3	84.5	82.4
#2	4	134.0	126.1	118.5	109.9	101.0	99.7	100.3	95.1	91.5	89.9	87.8	87.5	86.0	84.1	83.1	81.5
	28	130.6	123.2	116.8	107.8	101.0	98.5	99.7	94.3	90.7	89.0	87.1	86.6	85.1	83.8	82.5	81.2
	42	120.1	114.4	107.3	100.6	96.1	97.6	97.5	92.5	91.3	89.6	87.1	86.5	84.1	81.9	80.7	78.5
#3	4	131.4	123.5	116.1	108.2	104.8	100.6	100.6	95.5	91.0	89.7	88.4	89.1	88.1	85.2	83.9	81.9
	28	119.5	116.0	108.5	100.2	98.6	99.9	105.1	96.4	92.7	90.6	88.3	88.7	85.8	82.6	81.8	78.6
	42	119.0	113.1	104.3	98.4	96.1	97.5	95.2	91.6	90.3	89.1	87.8	88.7	86.2	83.1	81.5	78.9
#4	4	126.4	117.9	108.9	104.5	101.7	102.4	99.9	96.3	93.5	93.2	90.7	89.7	88.7	86.5	85.4	83.4
	28	116.8	113.4	106.6	105.6	103.4	105.3	101.9	96.9	94.9	92.8	90.3	89.3	87.0	84.8	84.3	82.4
	42	115.1	109.7	103.2	103.3	101.3	103.4	98.2	95.2	93.6	92.2	90.1	89.4	87.2	84.8	84.1	82.3
#5	4	120.8	111.8	105.9	106.4	105.2	107.5	105.8	104.9	98.9	94.5	92.4	91.1	91.1	89.4	85.2	83.6
	28	112.4	108.6	108.1	109.8	109.1	112.0	110.5	109.3	102.1	96.4	93.3	91.6	90.8	88.9	85.2	84.2
	42	109.1	105.3	105.6	107.2	107.0	110.1	108.7	107.6	101.1	95.6	93.0	91.1	90.1	87.9	84.4	83.5
#6	4	121.6	113.9	105.3	104.5	103.7	99.7	97.4	94.3	91.8	89.8	87.6	87.1	87.1	84.3	82.9	80.3
	28	111.8	106.1	102.1	99.1	99.3	102.3	102.5	97.1	94.5	92.2	89.2	87.5	87.1	84.0	81.6	78.4
	42	110.1	104.7	99.9	97.2	97.0	100.0	97.2	94.9	92.9	91.0	88.3	87.2	86.9	83.6	81.9	78.8
#7	4	134.3	125.8	118.3	108.0	105.0	105.6	100.6	96.2	93.8	91.5	87.7	87.1	85.8	84.0	83.7	81.4
	28	120.8	118.5	109.3	103.2	108.8	110.4	104.6	99.1	96.6	94.1	89.2	87.2	85.3	83.6	81.9	80.5
	42	122.7	114.2	106.4	100.2	106.6	108.3	99.8	96.3	94.7	93.0	88.6	87.2	85.1	83.7	82.9	80.9
#8	4	129.1	120.5	111.8	107.3	102.4	98.3	97.9	95.2	93.3	90.9	89.8	89.0	88.8	85.0	84.5	82.7
	28	120.9	118.2	118.0	103.1	100.9	98.6	103.2	97.6	95.7	92.0	89.3	87.1	86.8	83.1	82.1	81.1
	42	117.7	113.9	109.1	97.8	97.3	95.5	95.9	94.5	94.1	91.3	89.4	87.7	86.0	82.3	81.8	80.4
#9	4	134.8	126.8	118.8	108.4	104.9	103.8	100.9	96.2	91.4	89.4	86.6	85.9	84.9	82.9	82.3	81.3
	28	121.8	120.1	114.3	103.0	105.1	108.2	105.7	99.4	93.6	91.4	88.1	85.9	84.0	82.3	81.3	79.9
	42	123.8	117.0	108.8	100.3	102.7	105.6	101.3	96.5	91.4	89.8	87.3	85.8	84.0	82.4	81.9	80.5

表 5.8-13　工程海域水下噪声环境调查结果－声压谱级（2）单位：dB（re1uPa/$\sqrt{\text{Hz}}$）

站点编号	测点位置	声压谱级														
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
#1	4	81.1	79.8	79.0	76.1	69.3	68.5	69.7	68.0	65.4	63.8	63.2	60.7	60.9	58.8	56.1
	28	80.6	78.1	76.4	75.7	71.1	68.8	68.7	67.1	66.0	63.8	62.0	60.4	58.2	55.8	53.2
	42	80.2	78.5	77.6	76.0	70.3	67.5	66.9	67.2	64.7	64.2	61.3	58.7	56.8	55.0	52.9
#2	4	79.4	78.7	75.5	75.2	70.8	68.1	68.6	66.2	63.3	59.7	56.7	53.7	50.7	47.6	46.6
	28	79.0	77.4	74.5	76.3	72.6	67.2	66.5	65.0	62.4	59.7	56.9	53.7	49.7	46.4	45.3
	42	76.5	75.6	74.6	74.5	71.3	67.5	65.7	64.2	62.9	59.5	56.0	52.3	48.1	43.8	41.3
#3	4	79.6	78.9	76.1	75.8	71.3	69.8	68.9	66.5	63.7	60.3	56.2	53.4	50.2	47.0	46.9
	28	77.3	76.6	75.2	74.8	70.1	66.9	66.4	65.0	62.7	59.2	56.0	50.6	45.3	41.2	39.7
	42	77.1	76.3	75.0	75.9	71.1	67.0	65.9	64.8	62.7	59.7	56.8	51.7	47.3	43.4	41.4
#4	4	81.0	80.4	77.9	76.6	71.4	71.5	70.2	67.0	64.5	61.8	59.7	56.2	53.8	50.2	48.4
	28	80.0	79.0	77.8	76.3	70.8	67.3	66.6	65.2	63.0	60.0	55.9	52.5	48.0	44.8	42.3
	42	80.3	78.9	77.5	77.1	72.2	68.4	66.9	65.7	64.0	61.3	57.5	53.0	49.0	45.2	43.0
#5	4	81.3	80.9	77.3	74.9	69.7	68.0	66.9	64.2	62.3	58.4	54.9	52.2	50.2	47.9	47.6
	28	81.1	78.1	75.4	74.8	69.9	66.2	63.8	61.2	59.0	56.3	53.4	50.9	47.7	43.7	40.4
	42	79.9	79.0	75.6	74.0	70.0	67.5	65.1	62.8	60.2	57.0	53.6	50.7	47.8	44.5	41.7
#6	4	78.5	78.6	75.6	73.8	69.1	65.7	65.8	63.0	60.7	58.4	56.6	52.8	51.0	48.2	47.6
	28	76.8	75.3	73.1	71.3	68.5	65.5	63.9	61.4	59.0	55.1	51.9	51.5	48.4	43.1	40.2
	42	76.6	75.4	74.0	72.9	69.0	65.2	64.3	62.3	59.9	57.6	53.4	49.0	47.9	45.2	41.5
#7	4	79.2	78.8	76.0	74.5	69.5	66.6	65.7	63.0	60.5	57.5	54.5	51.5	49.1	47.7	47.5
	28	78.8	76.4	74.5	73.5	69.5	64.8	62.0	59.4	56.6	53.9	50.9	48.5	45.8	42.5	40.5
	42	78.9	76.4	74.4	73.6	69.9	64.9	62.6	60.3	57.3	54.3	51.2	48.6	46.0	43.8	41.6
#8	4	79.2	77.5	77.2	75.5	69.2	68.6	68.9	66.7	65.6	63.5	60.7	58.4	57.1	55.4	53.8
	28	78.0	75.8	75.0	75.1	70.7	65.7	67.1	66.3	66.2	64.9	63.6	60.6	57.3	54.6	52.5
	42	77.8	76.2	75.9	75.2	70.0	67.7	67.0	68.1	66.0	65.9	63.3	60.4	57.1	53.8	51.2
#9	4	78.9	78.8	76.8	76.0	69.6	66.6	66.0	62.6	60.1	57.0	52.9	49.7	47.9	45.6	46.5
	28	78.2	76.3	75.3	75.3	69.0	64.2	62.4	59.0	56.8	54.1	51.4	47.5	43.8	41.1	40.0
	42	78.5	76.5	74.9	75.1	69.8	64.9	62.8	60.0	57.8	54.9	52.0	48.2	44.9	41.8	40.1

表 5.8-14　工程海域水下噪声环境调查结果一频带声压级（1）单位：dB/1uPa

站点编号	测点位置	1/3oct 倍频程频带声压级																
		20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
#1	4	139.0	131.9	125.8	120.3	117.0	112.2	112.7	109.7	108.0	106.7	109.0	107.6	108.5	107.6	107.4	105.7
	28	126.6	125.6	117.8	112.5	112.1	112.9	115.1	111.3	109.8	107.4	109.6	105.7	106.3	105.6	105.6	104.6
	42	124.8	119.8	111.9	109.3	109.3	110.8	111.8	108.9	108.4	106.9	109.3	106.4	106.3	104.9	105.2	104.1
#2	4	140.6	133.8	127.1	119.5	111.6	111.4	113.0	108.7	106.2	105.6	104.5	105.2	104.7	103.8	103.8	103.1
	28	137.2	130.9	125.4	117.4	111.6	110.2	112.4	107.9	105.4	104.7	103.8	104.3	103.8	103.5	103.2	102.8
	42	126.7	122.0	115.9	110.3	106.7	109.3	110.2	106.2	106.0	105.3	103.7	104.2	102.7	101.5	101.4	100.2
#3	4	138.0	131.1	124.7	117.8	115.4	112.2	113.2	109.2	105.7	105.4	105.1	106.8	106.8	104.9	104.6	103.6
	28	126.1	123.7	117.1	109.9	109.3	111.6	117.8	110.0	107.4	106.2	104.9	106.3	104.5	102.3	102.5	100.3
	42	125.6	120.8	113.0	108.0	106.7	109.2	107.8	105.3	105.0	104.7	104.4	106.3	104.9	102.8	102.2	100.5
#4	4	133.0	125.6	117.5	114.1	112.4	114.1	112.6	109.9	108.2	108.8	107.4	107.4	107.4	106.1	106.1	105.0
	28	123.5	121.1	115.2	115.3	114.1	117.0	114.5	110.5	109.6	108.4	107.0	106.9	105.7	104.5	105.0	104.1
	42	121.7	117.4	111.8	113.0	112.0	115.1	110.9	108.8	108.3	107.8	106.7	107.1	105.9	104.5	104.8	104.0
#5	4	127.5	119.4	114.5	116.1	115.8	119.2	118.4	118.5	113.6	110.2	109.1	108.8	109.8	109.1	105.9	105.3
	28	119.1	116.2	116.8	119.4	119.7	123.6	123.2	122.9	116.7	112.1	110.0	109.3	109.5	108.5	105.8	105.9
	42	115.7	113.0	114.2	116.8	117.6	121.7	121.3	121.2	115.7	111.3	109.6	108.7	108.8	107.6	105.1	105.2
#6	4	128.2	121.5	113.9	114.2	114.3	111.3	110.1	107.9	106.4	105.4	104.2	104.7	105.8	104.0	103.6	102.0
	28	118.4	113.7	110.7	108.8	109.9	113.9	115.1	110.7	109.1	107.9	105.8	105.1	105.7	103.7	102.3	100.0
	42	116.7	112.3	108.5	106.8	107.7	111.6	109.9	108.5	107.5	106.6	104.9	104.8	105.6	103.3	102.6	100.4
#7	4	140.9	133.4	126.9	117.7	115.7	117.2	113.3	109.9	108.4	107.1	104.3	104.7	104.4	103.6	104.4	103.1
	28	127.4	126.1	117.9	112.8	119.5	122.1	117.2	112.7	111.3	109.8	105.9	104.9	104.0	103.3	102.6	102.1
	42	129.4	121.8	115.0	109.9	117.2	119.9	112.4	110.0	109.4	108.6	105.2	104.8	103.8	103.4	103.6	102.6
#8	4	135.7	128.1	120.4	116.9	113.1	110.0	110.5	108.8	108.0	106.5	106.5	106.6	107.5	104.7	105.2	104.4
	28	127.5	125.8	126.6	112.7	111.5	110.2	115.9	111.3	110.3	107.6	106.0	104.8	105.4	102.7	102.8	102.8
	42	124.3	121.5	117.8	107.4	107.9	107.1	108.6	108.2	108.8	107.0	106.1	105.4	104.7	101.9	102.5	102.1
#9	4	141.5	134.4	127.4	118.0	115.5	115.5	113.6	109.9	106.1	105.1	103.3	103.6	103.6	102.6	103.0	102.9
	28	128.4	127.8	122.9	112.6	115.7	119.8	118.3	113.0	108.2	107.1	104.8	103.6	102.6	101.9	102.0	101.5
	42	130.4	124.6	117.4	110.0	113.3	117.3	114.0	110.2	106.0	105.4	104.0	103.5	102.7	102.1	102.5	102.2

表 5.8-15　工程海域水下噪声环境调查结果－频带声压级（2）单位：dB/1uPa

站点编号	测点位置	1/3oct 倍频程频带声压级														
		800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10k	12.5k	16k	20k
#1	4	103.8	103.5	103.7	101.8	96.0	96.2	98.4	97.7	96.1	95.5	96.0	94.5	95.6	94.5	92.8
	28	103.3	101.7	101.1	101.4	97.8	96.5	97.4	96.8	96.7	95.5	94.8	94.1	92.9	91.5	90.0
	42	102.9	102.2	102.3	101.7	97.0	95.2	95.6	96.9	95.4	95.9	94.0	92.4	91.5	90.7	89.7
#2	4	102.1	102.4	100.2	100.9	97.5	95.8	97.3	96.0	94.0	91.4	89.4	87.4	85.4	83.3	83.3
	28	101.7	101.1	99.2	102.0	99.3	94.9	95.2	94.8	93.1	91.4	89.6	87.4	84.4	82.1	82.0
	42	99.2	99.3	99.3	100.2	98.0	95.2	94.4	93.9	93.6	91.3	88.8	86.0	82.9	79.5	78.0
#3	4	102.2	102.6	100.8	101.5	98.0	97.5	97.7	96.2	94.4	92.0	88.9	87.2	85.0	82.7	83.6
	28	99.9	100.3	99.9	100.5	96.8	94.6	95.1	94.7	93.4	90.9	88.8	84.3	80.0	76.9	76.4
	42	99.8	100.0	99.7	101.6	97.8	94.7	94.6	94.5	93.4	91.4	89.5	85.4	82.1	79.1	78.1
#4	4	103.7	104.1	102.6	102.3	98.1	99.1	98.9	96.7	95.3	93.5	92.5	89.9	88.5	85.9	85.2
	28	102.7	102.7	102.5	102.0	97.5	95.0	95.3	94.9	93.7	91.7	88.6	86.2	82.7	80.5	79.0
	42	102.9	102.5	102.2	102.8	98.9	96.1	95.6	95.4	94.7	93.0	90.2	86.7	83.7	80.9	79.7
#5	4	103.9	104.5	102.0	100.6	96.4	95.7	95.6	93.9	93.0	90.1	87.6	85.9	84.9	83.6	84.3
	28	103.8	101.8	100.1	100.5	96.6	93.9	92.5	90.9	89.7	88.1	86.1	84.7	82.4	79.4	77.1
	42	102.6	102.7	100.3	99.7	96.7	95.2	93.8	92.6	90.9	88.8	86.3	84.4	82.6	80.2	78.5
#6	4	101.2	102.3	100.3	99.5	95.8	93.4	94.5	92.7	91.4	90.1	89.3	86.5	85.8	84.0	84.4
	28	99.5	99.0	97.8	97.0	95.2	93.2	92.6	91.1	89.7	86.8	84.6	85.2	83.1	78.8	76.9
	42	99.2	99.1	98.7	98.6	95.7	92.9	93.0	92.0	90.7	89.3	86.1	82.8	82.7	80.9	78.3
#7	4	101.9	102.4	100.7	100.1	96.2	94.3	94.4	92.7	91.2	89.2	87.3	85.2	83.8	83.4	84.2
	28	101.5	100.1	99.2	99.2	96.2	92.5	90.7	89.1	87.3	85.6	83.7	82.2	80.5	78.3	77.2
	42	101.6	100.1	99.1	99.3	96.6	92.6	91.3	90.0	88.0	86.0	83.9	82.3	80.8	79.5	78.3
#8	4	101.8	101.1	101.9	101.2	95.9	96.3	97.7	96.4	96.4	95.2	93.4	92.2	91.8	91.2	90.5
	28	100.6	99.5	99.7	100.8	97.4	93.4	95.8	96.0	96.9	96.6	96.3	94.4	92.0	90.3	89.2
	42	100.5	99.9	100.6	100.9	96.7	95.4	95.7	97.8	96.7	97.7	96.0	94.1	91.8	89.6	87.9
#9	4	101.6	102.5	101.5	101.7	96.3	94.3	94.7	92.3	90.8	88.7	85.6	83.5	82.6	81.3	83.3
	28	100.8	100.0	100.0	101.0	95.7	91.9	91.1	88.7	87.5	85.8	84.1	81.2	78.6	76.9	76.8
	42	101.1	100.2	99.6	100.8	96.5	92.6	91.5	89.7	88.5	86.7	84.7	82.0	79.6	77.5	76.8

5.8.6 结论

1、水上噪声环境调查结论

（1）夏季调查结论

工程海域夏季海面上环境噪声等效噪声级（A 计权）主要分布在 63.3~72.7dB 之间，平均值为 69.7dB；最大声级（A 计权）的算术平均值为 88.8dB。

（2）秋季调查结论

工程海域秋季海面上环境噪声等效噪声级（A 计权）主要分布在 42~59dB 之间，平均值为 50dB；最大声级（A 计权）的算术平均值为 71.3dB。

2、水下噪声环境调查结论

（1）夏季调查结论

工程海域夏季水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 135dB，噪声谱级的总动态变化范围是 94.7dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 50.0dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 109.8dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 86.5dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 81.2dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 60.0dB 以下。

（2）秋季调查结论

工程海域秋季水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 133dB，噪声谱级的总动态变化范围是 94dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 43dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 109dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 87dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 81dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 66dB 以下。

5.9 电磁环境现状调查与评价

5.9.1 夏季

夏季电磁环境现状引自《山东半岛北 N1 场址海上风电项目电磁辐射夏季检测报告报告》（山东丹波尔环境科技有限公司，2025 年 8 月），2025 年 8 月 21 日对该海域开展了夏季电磁环境现场调查。调查站点见图 5.9-1，共调查 9 个站点。根据交流输变电工程电磁环境监测方法（HJ681—2013），每个站点测量记录时间均为 75s 以上。

调查站位的电磁环境监测结果见表 5.9-1，根据监测结果，2025 年 8 月调查站位的电场强度在 0.04~0.06（V/m）之间，磁感应强度在 0.0040~0.0051（μT）之间。

调查结果表明：项目周边电磁站位的电磁强度和磁感应强度均远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场强度≤4kV/m，工频磁感应强度≤100μT。

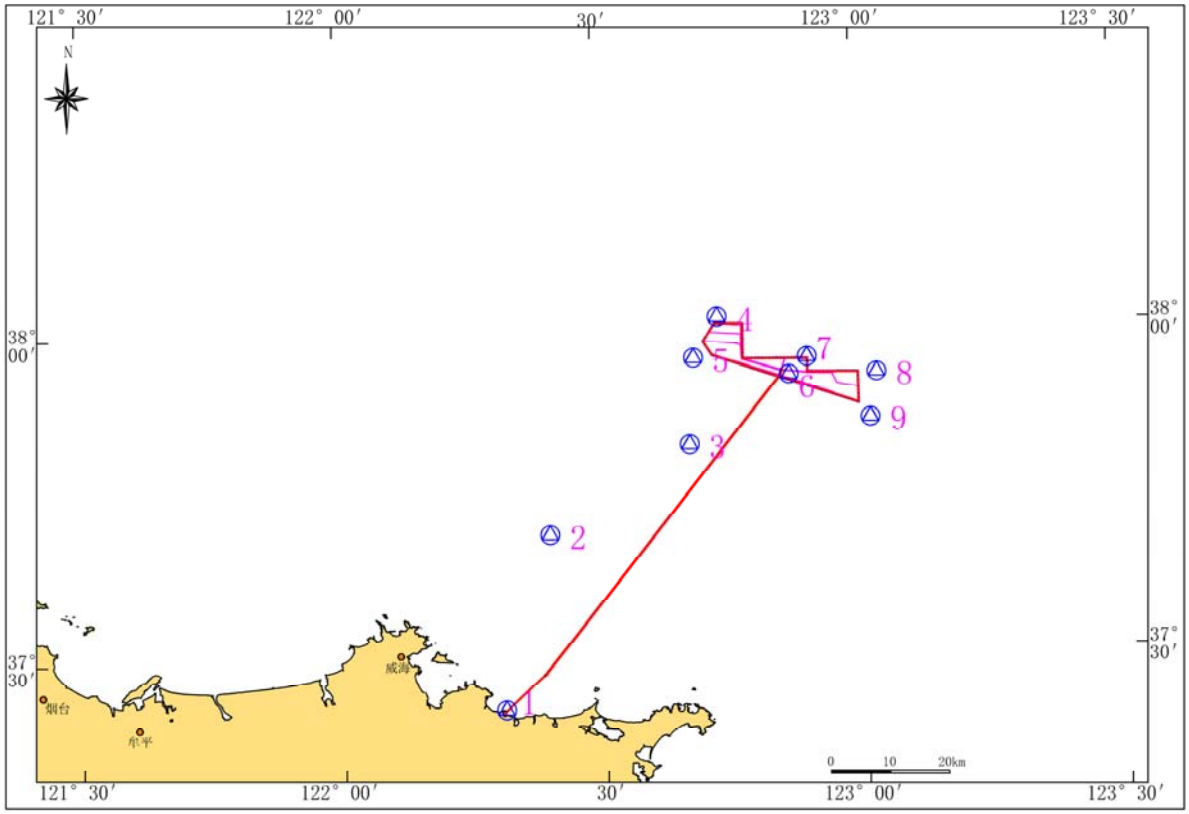


图 5.9-1　电磁调查站点图

表 5.9-1　工频电场强度和工频磁感应强度检测结果

点位编号	检测结果	
	电场强度（V/m）	磁感应强度（T）
1	0.05	0.0051
2	0.05	0.0042
3	0.04	0.0043
4	0.05	0.0040
5	0.06	0.0043
6	0.05	0.0043
7	0.05	0.0046
8	0.06	0.0040
9	0.05	0.0046
范围	0.04~0.6	0.0040~0.0051

5.9.2 秋季

秋季电磁环境现状引自《山东半岛北 N1 场址海上风电项目检测报告》（山东丹波尔环境科技有限公司，2024 年 12 月），2024 年 10 月 24 日对该海域开展了秋季的电磁环境现场调查。调查站点见图 5.9-1，共调查 9 个站点。根据交流输变电工程电磁环境监测方法（HJ681—2013），每个站点测量记录时间均为 75s 以上。

调查站位的电磁环境监测结果见表 5.9-2，根据监测结果，2024 年 10 月调查站位的电场强度在 0.03~0.07（V/m）之间，磁感应强度在 0.0028~0.0041（μT）之间。

调查结果表明：项目周边电磁站位的电磁强度和磁感应强度均远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场强度≤4kV/m，工频磁感应强度≤100μT。

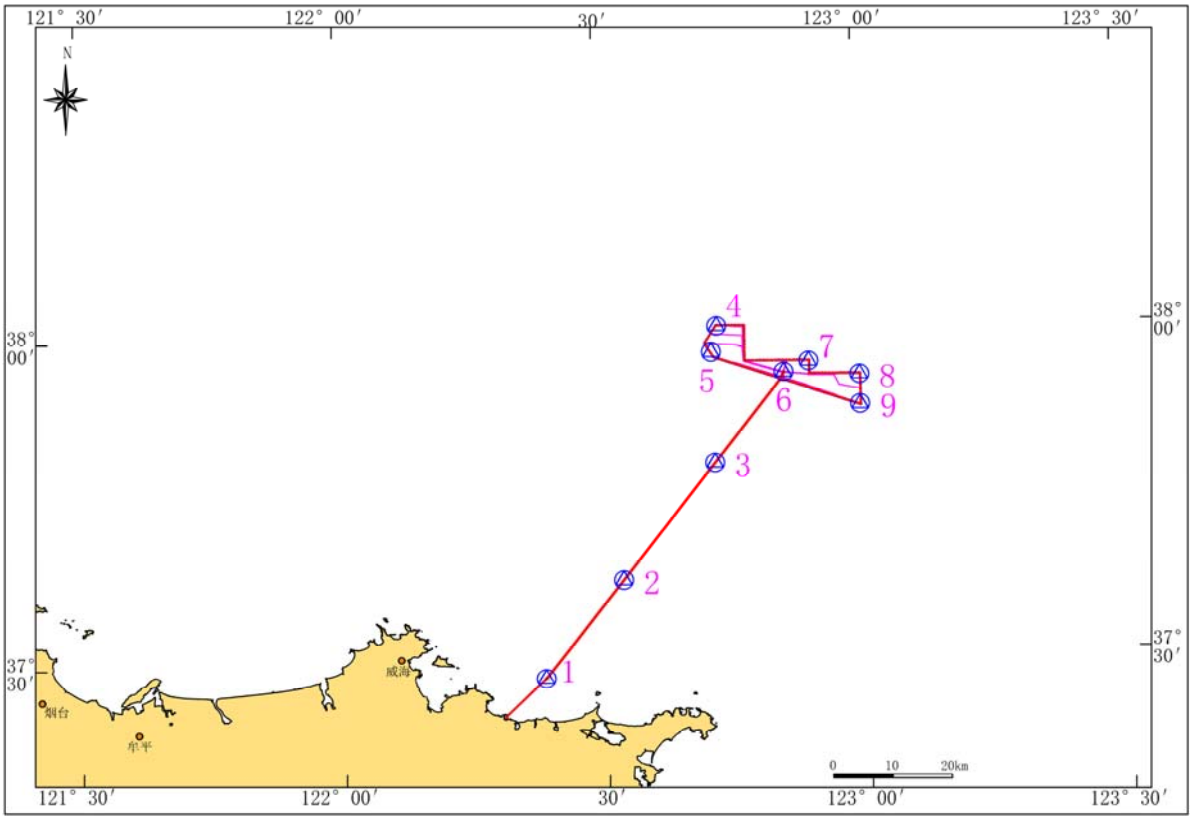


图 5.9-2　秋季电磁调查站点图

表 5.9-2　工频电场强度和工频磁感应强度检测结果

点位编号	检测结果	
	电场强度（V/m）	磁感应强度（T）
1	0.07	0.0034
2	0.04	0.0041
3	0.03	0.0038
4	0.03	0.0028
5	0.05	0.0039
6	0.07	0.0031
7	0.03	0.0031
8	0.04	0.0029
9	0.03	0.0030
范围	0.03~0.07	0.0028~0.0041

5.10 海草床生境现状调查与评价

5.10.1 调查概况

海草床现状调查与评价引自《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目秋季海洋环境现状调查报告》（青岛恒海盛海洋科技有限公司，2024 年 11 月）、《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目海草床调查报告》（中国海洋大学，2024 年 10 月）和《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目春季海洋环境监测报告》（青岛恒海盛海洋科技有限公司，

2025 年 7 月）、《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目海草床调查报告》（中国海洋大学，2025 年 5 月）。

项目东南侧约 2.2km 处为“逍遥港海草床生态保护红线”，为了解工程海域海草床情况，青岛恒海盛海洋科技有限公司于 2024 年 10 月 10 日~10 月 21 日和 2025 年 5 月 31 日对该海域开展春秋两季海草床海域环境现状调查；中国海洋大学于 2024 年 10 月 11 日~13 日和 2025 年 5 月 22 日~23 日开展春秋两季海草床植被调查。

调查范围为逍遥港海草床生态保护红线，在调查区域内均匀布设 6 个海草调查站位。对逍遥港海草床面积种类、生物群落和生境进行了调查与分析。调查站位的具体坐标及位置见表 5.10-1 及图 5.10-1。

表 5.10-1　海草床调查站位表

调查站位	经度	纬度
A1		
A2		
A3		
A4		
A5		
A6		

图 5.10-1　海草床现状调查站位图（秋季）

5.10.2 调查分析方法

海草床植被调查分析方法如下：

（1）种类和面积

通过多站位潜水观测和样品实地踏查的方式，记录该区域发现的所有海草物种，并拍照记录。

现场勘察主要采用潜水调查的方式。在确保安全的情况下由潜水员手持水下摄像机进行潜水拍照与录像，以便更加准确地识别海草分布状况及海草床附近的地貌特征。在海草覆盖度≧5%的区域边界、拐点及中心位置记录 GPS 定位点，在实验室进一步对拍摄录像和定位点进行分析整合，对定点坐标进行图像空间计算，估算海草床具体分布面积。

（2）盖度和生态特征

每个样带设置 3 个 50×50cm 海草样方，现场潜水对每个样方进行盖度估算。若为多物种混合样方，分别估算每个物种的盖度比例。确保海草植株根茎叶完整，置于样品袋低温保存，带回实验室分析。

a．茎枝密度和生物量监测

采用固定样方法开展茎枝密度的调查。现场潜水统计每个样方植株数量，并进行现场记录。之后将样方内植株全部取出，用剪刀在叶鞘根部将茎枝地上组织和地下组织分开，用纯水冲洗后，分别置于 60℃烘箱中烘干至恒重，称量各部分组织干重（g），分别计算地上生物量（gDW/m^2）和地下生物量（gDW/m^2）。

茎枝密度=样方内茎枝数量/样方面积；

生物量=样方内组织干重/样方面积。

b．形态学指标

植株干重测定之前，选取样方内根、茎、叶完整的所有植株，用清水洗净并用干纱布拭去多余水分，进行形态学指标测量。

①地上组织形态学相关指标：

茎枝高度（cm）：使用直尺测量。

单株叶片数（片/株）：通过肉眼观察计数。

叶鞘长（cm）：使用直尺测量。

叶宽（cm）：使用游标卡尺测量。

②地下组织形态学相关指标：

单株茎节数（个/株）：通过肉眼观察计数。

最大根长（cm）：使用直尺测量。

茎节直径（cm）：使用游标卡尺测量。

茎节长（cm）：使用直尺测量。

（3）生物群落调查

①大型藻类

每个样带设置 3 个 50×50cm 样方，调查每个 50×50cm 样方内大型藻类的盖度、种类。

②海草附着生物生物量

在完成海草形态学测样后，各样方分别取 10 株海草刮取附着生物清洗后放入恒温干燥箱中（60℃~80℃）烘干至恒重，称取附着生物生物量。

（4）环境调查

①水环境

调查参数包括透明度、水温、盐度、溶解氧、悬浮物、无机氮、活性磷酸盐、石油类。

②底质环境

调查参数包括粒度、有机碳、硫化物、总磷、总氮、石油类。

②高程

通过现场踏勘进行高程测量，主要依托 RTK 及无人机航拍。

5.10.3 秋季调查结果

（1）海草床调查水环境

①监测结果

2024 年 10 月对 6 个海草床水环境监测站位进行水环境样品采集分析，监测结果见表 5.10-2。

表 5.10-2　2024 年 10 月海草床水环境监测结果统计表

②评价结果

2024 年秋季海草床海水各监测项目进行单因子标准指数评价，评价结果见表 5.10-3、

表 5.10-4。

评价结果显示，2024 年秋季海草床水环境调查溶解氧、石油类各监测站位均满足《海水水质标准》（GB 3097-1997）一类标准要求；执行一类标准，无机氮超标率 100%，最大超标倍数为 6.845，活性磷酸盐超标率 100%，最大超标倍数为 1.733；执行二类标准，无机氮超标率 100%，最大超标倍数为 4.230，活性磷酸盐超标率 100%，最大超标倍数为 0.367；执行三类标准，无机氮超标率 100%，最大超标倍数为 2.923，活性磷酸盐超标率 100%，最大超标倍数 0.367；执行四类标准，无机氮超标率 100%，最大超标倍数为 2.138，活性磷酸盐满足四类标准要求。由于站位位于逍遥湖，与逍遥河相通，秋季无机氮和磷酸盐浓度较高可能与河流水体受陆域面源污染有关，调查期逍遥湖水力连通性较差。

表 5.10-3　2024 年秋季海草床水环境监测项目评价结果（一类标准）

表 5.10-4　2024 年秋季海草床水环境监测活性磷酸盐、无机氮评价结果

（2）海草床调查底质环境监测结果

①监测结果

2024 年 10 月对 6 个海草床底质环境监测站位进行底质环境样品采集分析，监测结

果见表 5.10-5、

表 5.10-6。

表 5.10-5　2024 年 10 月海草床底质环境监测结果统计表

表 5.10-6　2024 年 10 月海草床底质环境粒度监测结果统计表

②评价结果

2024 年秋季海草床海洋沉积物各项监测因子的评价结果见**表 5.10-7**。

评价结果显示，海草床海洋沉积物中各站位有机碳、石油类和硫化物均满足《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）一类标准要求。

表 5.10-7　2024 年秋季海草床海洋沉积物评价结果（一类标准）

（3）海草床调查大型底栖生物监测结果

①海草床调查大型底栖生物种类组成及物种数

2024 年 10 月海草床生物调查样带共检出大型底栖生物 26 种，其中多毛类种类最丰富，共 14 种，占比为 53.8%；棘皮动物共 1 种，占比为 3.8%；甲壳类共 6 种，占比为 23.1%；纽形动物共 1 种，占比为 3.8%；软体动物为 4 种，占比均为 15.4%。

2024 年 10 月海草床生物调查样带各监测站位大型底栖生物物种数变化范围为 6 种~14 种，平均值为 9 种，最小值出现在 1 号监测样带中 C1-2 号站位，最大值出现在 6 号监测样带中 C6-1 号站位。

表 5.10-8　2024 年 10 月海草床调查样带各监测站位大型底栖生物物种数（单位：种）

②海草床调查大型底栖生物密度、生物量

2024 年 10 月海草床生物调查样带大型底栖生物密度变化范围为 150.00 个/m^2~420.00 个/m^2，平均值为 273.89 个/m^2，最大值出现在 4 号监测样带中 C4-1 号站位，最小值出现在 1 号监测样带中 C1-2 号站位；海草床生物调查样带大型底栖生物生物量变化范围为 1.18g/m^2~3.02g/m^2，平均值为 1.99g/m^2，最大值出现在 6 号监测样带中 C6-1 号站位，最小值出现在 1 号监测样带中 C1-2 号站位。

表 5.10-9　2024 年 10 月海草床调查样带各监测站位大型底栖生物密度和生物量

③海草床调查大型底栖生物优势种

监测结果显示，海草床大型底栖生物优势种有不倒翁虫（*Sternaspis scutata*）、彩虹明樱蛤（*Moerella iridescens*）、刚鳃虫（*Chaetozone setosa*）、轮双眼钩虾（*Ampelisca*

cyclops）、内肋蛤（*Endopleura lubrica*）、塞切尔泥钩虾（*Eriopisella sechellensis*）、双齿围沙蚕（*Perinereis aibuhitensis*）、双唇索沙蚕（*Lumbrineris cruzensis*）、丝异须虫（*Heteromastus filiformis*）、中华蜾蠃蜚（*Sinocorophium sinensis*）。

表 5.10-10　海草床大型底栖生物优势种及优势度

④海草床调查大型底栖生物多样性分析

2024 年秋季监测结果分析显示，海草床大型底栖生物多样性指数（*H'*）变化范围为 1.64～2.48，平均值为 2.03，最大值出现在 6 号监测样带中 C6-1 号站位，最小值出现在 1 号监测样带中 C1-2 号站位；均匀度指数（*J'*）变化范围为 0.87～0.97，平均值为 0.93，最大值出现在 4 号监测样带中 C4-2 号站位，最小值出现在 4 号监测样带中 C4-1 号站位；丰富度指数（*d*）变化范围为 1.85～3.50，平均值为 2.43，最大值出现在 6 号监测样带中 C6-1 号站位，最小值出现在 1 号监测样带中 C1-2 号站位

表 5.10-11　监测海域各监测站位大型底栖生物多样性指数

（4）海草床调查鱼卵和仔、稚鱼监测结果

①海草床调查鱼卵和仔、稚鱼种类组成及物种数

本次调查共捕获鱼卵 5 种，仔、稚鱼 3 种。

表 5.10-12　2024 年 10 月调查样带鱼卵和仔、稚鱼各调查站位捕获种类表（单位：种）

备注：“/”表示未捕获。

②海草床调查鱼卵和仔、稚鱼资源密度

2024 年 10 月海草床调查站位鱼卵和仔、稚鱼分析结果显示，调查海域的鱼卵密度为 0.011ind/m^3~0.052ind/m^3，平均值为 0.026ind/m^3，最大值出现在 6 号站位，最小值出现在 5 号站位；仔、稚鱼仅有 1、5 和 6 号站位有捕获，1 号和 5 号站位密度为 0.005ind/m^3，6 号站位密度为 0.003ind/m^3，其他站位均未捕获。

表 5.10-13　2024 年 10 月海草床调查样带鱼卵和仔、稚鱼资源密度

备注：“/”表示未捕获。

（5）海草床调查游泳动物监测结果

①海草床调查游泳动物种类组成

2024 年 10 月海草床调查共捕获游泳动物 16 种（种名录见**表 5.10-14**），总重量为 0.86kg，总数量为 100ind。鱼类共 10 种，占比为 62.5%，虾类共 4 种，占比为 25.0%，蟹类共 2 种，占比均为 12.5%。蟹类的重量占比为 3.3%，鱼类的重量占比为 86.8%，虾

类的重量占比为 10.1%。蟹类的数量占比为 3.0%，鱼类的数量占比为 80.0%，虾类的数量占比为 17.0%。

表 5.10-14　2024 年 10 月海草床调查游泳动物种名录

②海草床调查游泳动物生物量

调查结果显示，2024 年 10 月海草床调查各调查站位渔获物尾数范围为 24ind/h~52ind/h，平均值为 33ind/h，最大值出现在 1 号站位，最小值出现在 2 号站位；渔获物重量范围为 0.24 kg/h~0.33 kg/h，平均值为 0.29kg/h，最大值出现在 5 号站位，最小值出现在 6 号站位。

表 5.10-15　2024 年 10 月海草床调查游泳动物生物量

③渔业资源密度

2024 年秋季海草床海域渔业资源尾数密度的变化范围为 2256.17ind/km^2~5110.57ind/km^2，平均值为 3213.33ind/km^2，最大值出现在 1 号站位，最小值出现在 2 号站位；重量密度的变化范围为 22.17kg/km^2~32.56kg/km^2，平均值为 27.68kg/km^2，最大值出现在 5 号站位，最小值出现在 6 号站位。

表 5.10-16　2024 年秋季海草床各站位渔业资源密度

④泳动物优势种

海草床海域游泳动物优势种共有 5 种，为多鳞鱚（*Sillago sihama*）、细条天竺鲷（*Jaydia lineata*）、凤鲚（*Coilia mystus*）、鳀（*Engraulis japonicus*）、玉筋鱼（*Ammodytes personatus*）。

⑤游泳动物多样性分析

2024 年秋季调查结果显示，海草床海域游泳动物多样性指数（*H'*）变化范围为 1.42～1.99，平均值为 1.72，最大值出现在 5 号站位，最小值出现在 2 号站位；均匀度指数（*J'*）变化范围为 0.88～0.96，平均值为 0.92，最大值出现在 5 号站位，最小值出现在 2 号站位；丰富度指数（*d*）变化范围为 1.46～2.15，平均值为 1.78，最大值出现在 1 号站位，最小值出现在 5 号站位。

表 5.10-17　2024 年秋季海草床各站位游泳动物多样性

（6）海草床调查海草监测结果

①海草床种类和面积

通过海草植株形态学特征对调查区域的海草进行了种类鉴定。结果表明，该调查区域分布的海草种类均为鳗草属的鳗草（*Zosteramarina*）。

在实验室进一步对拍摄照片和定位点进行分析整合，对定点坐标进行图像空间计算，估算海草床具体分布面积。经计算当前逍遥湖海草床面积约为 8057m^2。现场调查结果发现，逍遥湖海草床分布面积小于设计勘察海草床面积，调整海草床取样的样带和站位，如所示**图 5.10-2**、**表 5.10-18**。

图 5.10-2　调查区域海草分布和站位布设图

表 5.10-18　调查站位表

站位	经度	纬度
X1		
X2		
X3		
X4		
X5		
X6		

②海草床盖度、茎枝密度和生物量

调查区域各调查站位海草样品的盖度、茎枝密度和生物量统计结果如**表 5.10-19** 所示。

调查区域各调查站位海草床的盖度均在 55%以上，调查区域鳗草的平均茎枝密度为 41 株/m^2，X1-3 鳗草的茎枝密度最大，为 70 株/m^2，X3-1 鳗草的茎枝密度最小，为 14 株/m^2。

调查区域鳗草的平均地上生物量为 49.7gDW/m^2，X1-3 鳗草的地上生物量最大，为 147.8gDW/m^2，X4-1 鳗草的地上生物量最小，为 15.1gDW/m^2。

调查区域鳗草的平均地下生物量为 25.8gDW/m^2，X1-2 鳗草的地下生物量最大，为 67.5gDW/m^2，X4-2 鳗草的地下生物量最小，为 10.1gDW/m^2。

表 5.10-19　调查区域海草植株统计

③海草形态学指标

A．地上组织形态学指标：

调查区域各调查站位海草样品的茎枝高度、叶鞘长、叶片数和最大叶宽统计结果如**表 5.10-20** 所示。

调查区域鳗草的平均茎枝高度为 52.0cm，X6-2 鳗草的平均茎枝高度最大，为 65.3cm，X5-2 鳗草的平均茎枝高度最小，为 43.2cm。

调查区域鳗草的平均叶鞘长为 13.0cm，X6-2 鳗草的平均叶鞘长最大，为 15.2cm，

X2-1 鳗草的平均叶鞘长最小，为 10.3cm。

调查区域鳗草的平均单株叶片数为 3.2 片/株。调查区域鳗草的平均最大叶宽为 6.7mm，X2-3 鳗草的平均最大叶宽最大，为 7.5mm，X1-2 鳗草的平均最大叶宽最小，为 5.2mm。

表 5.10-20　调查区域海草植株地上形态学指标的统计

B.地下组织形态学指标：

调查区域各调查站位海草样品的茎节长、茎节直径、茎节数和最大根长（cm）统计结果如**表 5.10-21** 所示。

调查区域鳗草的平均茎节长为 11.0cm，X6-3 鳗草的平均茎节长最大，为 13.3cm，X2-3 鳗草的平均茎节长最小，为 7.3cm。调查区域鳗草的平均茎节直径为 4.2mm，X2-1 鳗草的平均茎节直径最大，为 4.7mm，X1-1 鳗草的平均茎节直径最小，为 3.7mm。调查区域鳗草的平均茎节数为 8.0 个/株。调查区域鳗草的平均最大根长为 8.2cm，X1-3 鳗草的平均最大根长最大，为 10.0cm，X6-1 鳗草的平均最大根长最小，为 7.2cm。

表 5.10-21　调查区域海草植株地下形态学指标的统计

④生物群落调查

A.大型藻类：

本次调查仅在 X3 和 X4 区域发现少量硬毛藻（*Chaetomorphaantennina*），平均盖度约为 40%，其他区域均未发现大型藻类。

B.海草附着生物生物量：

调查区域各调查站位海草样品的附着生物生物量的统计结果如**图 5.10-3** 所示。调查区域鳗草的平均附着生物生物量为 0.49gDW/m^2，X3-3 鳗草的平均附着生物生物量最大，为 0.24gDW/m^2，X6-2 鳗草的平均附着生物生物量最小，为 0.75gDW/m^2。

图 5.10-3　调查区域海草附着生物生物量

5.10.4 春季调查结果

（1）海草床调查水环境监测结果

①监测结果

2025 年 5 月对 6 个海草床水环境监测站位进行水环境样品采集分析，监测结果见**表 5.10-22**。

表 5.10-22　2025 年 5 月海草床水环境监测结果统计表

②评价结果

2025 年春季海草床海水各监测项目进行单因子标准指数评价，评价结果见**表 5.10-23**。

评价结果显示，2025 年春季海草床各海水监测站位各监测因子均符合《海水水质标准》（GB 3097-1997）一类标准要求。

表 5.10-23　2025 年春季海草床海水监测因子评价结果

（2）海草床调查底质环境监测结果

①监测结果

于 2025 年 5 月对 6 个海草床底质环境监测站位进行底质环境样品采集分析，监测结果见**表 5.10-24**、

表 5.10-25。

表 5.10-24　2025 年 5 月海草床底质环境监测结果统计表

表 5.10-25　2025 年 5 月海草床底质环境粒度监测结果统计表

②监测结果

2025 年春季海草床海洋沉积物各项监测因子的评价结果见**表 5.10-26**。

评价结果显示，执行《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）一类标准，石油类和硫化物含量满足一类标准要求，有机碳含量超标率为 16.7%，最大超标倍数为 0.335。执行二类标准，海草床海洋沉积物各站位监测项目均满足标准要求。

表 5.10-26　2025 年春季海草床海洋沉积物监测项目单因子标准指数评价结果

（3）海草床调查大型底栖生物监测结果

①海草床调查大型底栖生物物种数、密度和生物量

2025 年 5 月海草床生物调查样带共检出大型底栖生物 16 种，包括节肢动物和环节动物 2 个类别。其中，环节动物共 11 种，占比为 68.8%；节肢动物共 5 种，占比为 31.3%。

2025 年 5 月海草床各监测站位大型底栖生物物种数变化范围为 2 种~11 种，平均值为 5 种，最大值出现在 2 号站位，最小值出现在 3 号站位。

海草床大型底栖生物密度变化范围为 40.0 个/m^2~1040.0 个/m^2，平均值为 235.0 个/m^2，最大值出现在 2 号站位，最小值出现在 3 号站位；大型底栖生物生物量变化范围

为 0.340g/m^2~83.3g/m^2，平均值为 21.7g/m^2，最大值出现在 2 号站位，最小值出现在 4 号站位。

表 5.10-27　2025 年 5 月海草床各监测站位大型底栖生物物种数、密度和生物量

②大型底栖生物优势种

监测结果显示，海草床大型底栖生物优势种有隐居螺羸蜚（*Monocorophium insidiosum*）、内肋蛤（*Endopleura lubrica*）、凸壳肌蛤（*Arcuatula senhousia*）。

③大型底栖生物多样性分析

2025 年春季监测结果分析显示，海草床大型底栖生物多样性指数（*H'*）变化范围为 0.45～1.74，平均值为 1.09，最大值出现在 6 号站位，最小值出现在 4 号站位；均匀度指数（*J'*）变化范围为 0.56～0.97，平均值为 0.80，最大值出现在 6 号站位，最小值出现在 2 号站位；丰富度指数（*d*）变化范围为 0.56～2.28，平均值为 1.43，最大值出现在 6 号站位，最小值出现在 4 号站位。

表 5.10-28　监测海域各监测站位大型底栖生物多样性指数

（4）海草床调查鱼卵和仔、稚鱼监测结果

①海草床调查鱼卵和仔、稚鱼种类组成及物种数

定量调查未捕获鱼卵和仔、稚鱼；定性调查共捕获鱼卵 1 种，仔、稚鱼 3 种。定性调查捕获鱼卵和仔、稚鱼物种及分布情况见**表 5.10-29**。

表 5.10-29　2025 年 5 月定性调查站位鱼卵和仔、稚鱼种类及数量（ind/网）

②海草床调查鱼卵和仔、稚鱼资源密度

2025 年春季海草床定量调查未捕获鱼卵和仔、稚鱼。

（5）海草床调查游泳动物监测结果

①海草床调查游泳动物种类组成

2025 年春季海草床海域共捕获游泳动物 32 种，总尾数为 41ind，总重量为 2.63kg。

鱼类种类最丰富，共 11 种，占比为 68.8%；虾类共 3 种，占比为 18.8%；蟹类共 2 种，占比为 12.5%；未捕获头足类。

②海草床调查游泳动物生物量

2025 年春季海草床海域各调查站位的渔获物尾数范围为 10.00ind/h~16.00ind/h，平均值为 13.67ind/h，最大值出现在 1、6 号站位，最小值出现在 2 号站位；渔获物重量范

围为 0.10kg/h~3.22kg/h，平均值为 0.88kg/h，最大值出现在 3 号站位，最小值出现在 5 号站位。

渔获物以鱼类为主。鱼类的尾数占比为 73.2%，虾类的尾数占比为 17.1%，蟹类的尾数占比为 98%，头足类的尾数占比为 0.0%。鱼类的重量占比为 97.9%，虾类的重量占比为 1.4%，蟹类的重量占比为 0.7%，头足类的重量占比为 0.0%。

表 5.10-30　2024 年 10 月海草床调查游泳动物生物量

③渔业资源密度

2025 年春季海草床海域渔业资源尾数密度的变化范围为 2054.05ind/km^2~3027.03ind/km^2，平均值为 2666.67ind/km^2，最大值出现在 4 号站位，最小值出现在 2 号站位；重量密度的变化范围为 19.65kg/km^2~867.41kg/km^2，平均值为 222.16kg/km^2，最大值出现在 3 号站位，最小值出现在 5 号站位。

表 5.10-31　2025 年春季海草床各站位渔业资源密度

④泳动物优势种

海草床海域游泳动物优势种共有 1 种，为蓝点马鲛。

⑤游泳动物多样性分析

2025 年春季调查结果显示，海草床海域游泳动物多样性指数（*H'*）变化范围为 1.49～1.79，平均值为 1.63，最大值出现在 3 号站位，最小值出现在 1 号站位；均匀度指数（*J'*）变化范围为 0.93～1.00，平均值为 0.97，最大值出现在 2、3 号站位，最小值出现在 1 号站位；丰富度指数（*d*）变化范围为 1.46～2.79，平均值为 2.19，最大值出现在 3 号站位，最小值出现在 5 号站位。

表 5.10-32　2025 年春季海草床各站位游泳动物多样性

（6）海草床调查海草监测结果

①海草床种类和面积

通过海草植株形态学特征对调查区域的海草进行了种类鉴定。结果表明，该调查区域分布的海草种类均为鳗草属的鳗草（*Zosteramarina*）。

在实验室进一步对拍摄照片和定位点进行分析整合，对定点坐标进行图像空间计算，估算海草床具体分布面积。经计算当前逍遥湖海草床面积约为 8509m2。现场调查结果发现，逍遥湖海草床分布面积小于设计勘察海草床面积，调整海草床取样的样带和

站位，如所示图 5.10-4、表 5.10-33。

图 5.10-4　调查区域海草分布和站位布设图

表 5.10-33　调查站位表

站位	经度	纬度
X1		
X2		
X3		
X4		
X5		
X6		

②海草床盖度、茎枝密度和生物量

调查区域各调查站位海草样品的盖度、茎枝密度和生物量统计结果如**表 5.10-34** 所示。

调查区域各调查站位海草床的盖度均在 40%以上，调查区域鳗草的平均茎枝密度为 47 株/m^2，X2-1 鳗草的茎枝密度最大，为 77 株/m^2，X3-3 鳗草的茎枝密度最小，为 17 株/m^2。

调查区域鳗草的平均地上生物量为 57.2g DW/m^2，X2-1 鳗草的地上生物量最大，为 168.5g DW/m^2，X4-1 鳗草的地上生物量最小，为 17.5g DW/m^2。

调查区域鳗草的平均地下生物量为 30.2g DW/m^2，X1-2 鳗草的地下生物量最大，为 81.0g DW/m^2，X4-2 鳗草的地下生物量最小，为 11.7g DW/m^2。

表 5.10-34　调查区域海草植株统计

③海草形态学指标

A．地上组织形态学指标：

调查区域各调查站位海草样品的茎枝高度、叶鞘长、叶片数和最大叶宽统计结果如**表 5.10-35** 所示。

调查区域鳗草的平均茎枝高度为 55.7cm，X6-3 鳗草的平均茎枝高度最大，为 67.2cm，X2-1 鳗草的平均茎枝高度最小，为 43.9cm。

调查区域鳗草的平均叶鞘长为 12.8cm，X1-1 鳗草的平均叶鞘长最大，为 15.6cm，X6-1 鳗草的平均叶鞘长最小，为 11.3cm。

调查区域鳗草的平均单株叶片数为 3.5 片/株。调查区域鳗草的平均最大叶宽为 6.2mm，X6-2 鳗草的平均最大叶宽最大，为 7.2mm，X3-1 鳗草的平均最大叶宽最小，为 4.6mm。

表 5.10-35　调查区域海草植株地上形态学指标的统计

B.地下组织形态学指标：

调查区域各调查站位海草样品的茎节长、茎节直径、茎节数和最大根长（cm）统计结果如**表 5.10-36** 所示。

调查区域鳗草的平均茎节长为 10.1cm，X5-2 鳗草的平均茎节长最大，为 11.6 cm，X2-3 鳗草的平均茎节长最小，为 8.3cm。调查区域鳗草的平均茎节直径为 4.0mm，X4-3 鳗草的平均茎节直径最大，为 4.3mm，X6-2 鳗草的平均茎节直径最小，为 3.5mm。调查区域鳗草的平均茎节数为 7.4 个/株。调查区域鳗草的平均最大根长为 7.9cm，X4-1 鳗草的平均最大根长最大，为 9.5cm，X1-1 鳗草的平均最大根长最小，为 6.5cm。

表 5.10-36　调查区域海草植株地下形态学指标的统计

④生物群落调查

A.大型藻类：

本次调查仅在 X1 和 X6 区域发现少量硬毛藻（*Chaetomorpha antennina*），平均盖度约为 25%，其他区域均未发现大型藻类。

B.海草附着生物生物量：

调查区域各调查站位海草样品的附着生物生物量的统计结果如图 5.10-5 所示。调查区域鳗草的平均附着生物生物量为 0.81g DW/m^2，X4-1 鳗草的平均附着生物生物量最大，为 1.3g DW/m^2，X3-3 鳗草的平均附着生物生物量最小，为 0.49g DW/m^2。

图 5.10-5　调查区域海草附着生物生物量

5.11 环境空气质量现状调查与评价

根据《威海市 2024 年生态环境质量公报》，环境空气主要污染物可吸入颗粒物（PM10）、二氧化硫和二氧化氮年均值、一氧化碳 24 小时平均第 95 百分位数浓度值 4 项指标分别为 36μg/m^3、6μg/m^3、15μg/m^3、0.7mg/m^3，达到国家《环境空气质量标准》（GB3095-2012）一级标准（40μg/m^3、20μg/m^3、40μg/m^3、4mg/m^3）；细颗粒物（$PM_{2.5}$）年均值和臭氧日最大 8 小时滑动平均值的第 90 百分位数浓度值 2 项指标分别为 19μg/m^3 和 146μg/m^3，达到《环境空气质量标准》二级标准（35μg/m^3、160μg/m^3）。项目所在区域属于达标区。

6 环境影响预测与评价

6.1 水动力环境影响预测与评价

为了全面了解和掌握工程附近海域潮流的时空分布和变化特征，在收集相关历史资料的基础上，结合该海域海流和潮汐特征，模拟工程海域潮流现状，并预测工程方案条件下的流场，研究工程方案的实施对工程周边海域水动力条件变化的影响，并为计算冲淤环境演变和悬浮物扩散提供水力学条件。考虑到项目海域水深超过 50m，模拟分辨率要求较高，决定采用三维潮流泥沙数值模拟。

6.1.1 控制方程及边界条件

1、控制方程及边界条件

（1）控制方程

质量守恒方程：

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0$$

动量方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}-fv=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(N_x\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(N_y\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(N_z\frac{\partial u}{\partial z}\right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}+fu=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left(N_x\frac{\partial v}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(N_y\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(N_z\frac{\partial v}{\partial z}\right)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}+u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z}+\frac{\partial}{\partial x}\left(N_x\frac{\partial w}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(N_y\frac{\partial w}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(N_z\frac{\partial w}{\partial z}\right)$$

当流速变化远小于重力加速度的影响时，可忽略垂向流速的影响，上式近似采用 $\frac{\partial P}{\partial z}=-\rho g$ 。

式中：t——时间；h——相对于 xoy 坐标平面的静水深，m；u、v、w——空间流速矢量 V 沿 X、Y、Z 方向的分量，m/s；x、y、z——原点 o 置于某一水平基面，Z 轴垂直向上的直角坐标系坐标；P——水压强，N/m^2；Nx、Ny、Nz——X、Y、Z 向水流紊动黏性系数，m^2/s。

（2）定解条件

初始条件：

$$\begin{cases}\zeta(x,y,t)|_{t=t0}=\zeta(x,y,t_0)=0\\ u(x,y,t)|_{t=t0}=v(x,y,t)|_{t=t0}=0\end{cases}$$

边界条件：

在本次研究采用的数值模式中，需给定两种边界条件，即闭边界条件和开边界条件。

①开界条件：

所谓开边界条件即水域边界条件，在此边界上，或者给定流速，或者给定潮位。本研究中开边界给定潮位，即：

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

A_0 为平均海面，F_i、$(v_0+u)_i$ 为天文要素，H_i、g_i 为某分潮调和常数，即振幅与迟角。

②闭边界条件：

所谓闭边界条件，即水陆交界条件。在该边界上，水质点的法向流速为 0，即：

$V_n = 0$

对于潮滩，水陆交界的位置随着潮位的涨落而变化，因此模型中考虑了动边界内网格节点的干湿变化。

2、基本方程初始条件

$U(x,y,t_0)=U_0(x,y)$　　$V(x,y)=V_0(x,y)$

$$\eta(x,y,t_0)=\eta_0(x,y)$$

其中，U_0 、V_0 、η_0 分别为初始流速和潮位。在本次模拟中，采用冷启动，初始流速和潮位均为 0。

3、基本方程数值方法

①空间离散

模型对计算区域的空间离散采用的是有限体积法，可对不同的计算区域采用多种网格剖分形式。在岸界和工程结构物附近采用非等距三角形网格进行单元划分，极大地增强了系统对岸线变化和结构物形状的适应性，提高了计算精度。

②浅水方程

对浅水方程的具体积分求解过程比较复杂，在此不对其展开论述，需要说明的是在求解浅水方程时，对相邻单元交接面的处理是采用了近似 Reimann 算子对两单元之间的对流通量进行计算，同时还采用了 ROE 方法对左右进出单元的单独变量进行估算。通过采用线性梯度重构方法（Linear gradient-reconstruction technique）在空间上可以实现

二阶精度。

6.1.2 用海工程数值模拟资料选取与控制条件

1、计算域设置

项目所建立的海域数学模型计算域计算范围南侧开边界设置在日照附近—韩国光州广域市，北侧在辽东湾湾顶，地理位置为东经 117～126 度，北纬 34～41 度之间。开边界采用潮位驱动，给定开边界上不同节点处的潮位值，开边界点的潮位值利用 Chinatide 预报的实时水位取得，本文考虑了八大主要分潮 Q_1、P_1、O_1、K_1、M_2、S_2、K_2、N_2，时间间隔为 1 小时。模型采用正压模型，温度及盐度设置为常数，分别为 15 ℃和 35‰。为了提高计算效率，同时又保证工程海域有足够的分辨率，采用局部加密的非结构三角形网格对计算域进行划分，在距工程较远的区域采用较大的网格，最大网格分辨率为 5000m，工程附近采用较小网格，最小网格分辨率为 20m。整个计算模拟区域内由 99103 个节点和 196425 个三角单元组成。

项目考虑了周围已建风电项目（BDB6 场址、L 场址和 N2 场址）的影响。为了研究风电场工程建设对其所在海域潮流动力特性的影响程度，在模型中对风机桩基附近的计算网格进行了局部加密，考虑到工程海域的潮流具有一定的旋转流特性，且桩之间会相互阻水，因此可保守将风机基础概化为完全不透水结构，考虑到完全挖空网格，这种风机概化方式对环境的影响最大，故不涉及保险系数。挖空示意图见图 6.1-2。

图 6.1-1　大范围计算域网格布置图

图 6.1-2　工程前项目区域计算域网格布置图

图 6.1-3　工程后项目区域计算域网格布置图

2、计算时间步长和底部糙率

数值模型计算时间步长根据 CFL 条件进行动态调整，确保模型计算稳定收敛，最小时间步长 0.1s。底床糙率通过曼宁系数进行控制。其中曼宁系数计算公式如下：其中曼宁系数 M 与床层粗糙度长度 K_s 之间的关系可以用下面的公式估计。

$$M = \frac{25.4}{K_s^{\frac{1}{6}}}$$

3、水平涡动粘滞系数

采用考虑亚尺度网格效应的 Smagorinsky（1963）公式计算水平涡粘系数，表达式如下：

$$A = c_s^2 l^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

式中 c_s 为常数，l 为特征混合长度，由 $S_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)$，（i，j=1，2）计算得到。

6.1.3 模型验证

1、场区水文验证

潮位、潮流数据采用 2022 年 4 月 18 日 1:00 至 2022 年 4 月 19 日 2:00 期间在工程附近海域 6 个站位的实测海流资料和 2 个同步观测的潮位资料对模型计算结果进行验证。潮位、潮流具体测流点位置分布如图 6.1-4 所示。测点的地理位置及坐标见表 6.1-1。

表 6.1-1 水文观测站位坐标

站位	东经 E	北纬 N	调查内容
H1			潮流
H2			潮流
H3			潮流
L2、H4			潮位、潮流
H5			潮流
H6			潮流
L1			潮位

图 6.1-5 为潮位的模拟值和实测值的对比，图 6.1-6 为流速和流向的模拟值和实测值的对比。从图中可以发现各测站潮位、流速和流向的模拟过程线与实测值吻合较好，涨、落潮的峰值亦基本吻合，能够有效反映工程海域的水动力状况，且满足《水运工程模拟试验技术规范》（JTS/T 231-2021）有关规定的要求和工程需要，可以作为进一步分析研究该海域相关工程问题的基础性资料。

图 6.1-4 测流点位置分布如图

L1 站位

L2 站位

图 6.1-5 潮位验证

图 6.1-6 流速流向对比图

2、送出海缆区水文验证

送出海缆段附近潮位、潮流数据采用 2026 年 1 月 22 日 17:00 至 2026 年 1 月 23 日 19:00 期间在工程附近海域 4 个站位的实测海流资料和 1 个同步观测的潮位资料对模型计算结果进行验证。潮位、潮流具体测流点位置分布如图 6.1-7 所示。测点的地理位置及坐标见表 6.1-2。

表 6.1-2　送出海缆附近水文观测站位坐标

站位	东经 E	北纬 N	调查内容
S1			潮流
S2			潮流
S3			潮流
S4			潮流
L1			潮位

图 6.1-7　送出海缆测流点位置分布如图

图 6.1-8 为潮位的模拟值和实测值的对比，从图中可以发现各测站潮位、流速和流向的模拟过程线与实测值吻合较好，涨、落潮的峰值亦基本吻合，能够有效反映工程海域的水动力状况，且满足《水运工程模拟试验技术规范》（JTS/T 231-2021）有关规定的要求和工程需要，可以作为进一步分析研究该海域相关工程问题的基础性资料。

图 6.1-8　L1 潮位站潮位对比图

图 6.1-9　流速流向对比图

6.1.4 工程海域潮流场基本特征

6.1.4.1 大范围海域潮流场模拟结果分析

项目用海位于山东半岛东北部海域，大范围海域流场模拟结果见图 6.1-10。

涨急时刻，计算域内山东半岛东北部的潮流由东南往西北流，涨急流速整体比落急时刻略大，潮流整体呈现东南流速大西北流速小的特征，成山头东侧部海域流速较大，最大流速可达 130cm/s。工程附近海域流速一般在 30cm/s 至 80cm/s 之间，风电场址附近流速大于登陆电缆附近流速。

落急时刻，计算域内山东半岛东北部的潮流由西北往东南流，潮流整体呈现东南流速大西北流速小的特征，成山头东侧部海域流速较大，工程附近海域流速一般在 30cm/s 至 80cm/s 之间，风电场址附近流速大于登陆电缆附近流速。

图 6.1-10a　大范围海域流场图（涨急时刻）

图 6.1-10b　大范围海域流场图（落急时刻）

6.1.4.2 工程海域潮流场计算结果分析

图 6.1-11 为工程海域工程前（表、中、底层）涨、落急时刻流场图。图 6.1-12 为工程海域工程后（表、中、底层）涨、落急时刻流场图，由图可知。

涨急时刻，工程风电场址附近海域潮流总体由东南流向西北，工程左侧海域流速较小，工程右侧流速偏大。风电场址内表中底层流速呈递减趋势，表层流速一般在

55~60cm/s 之间，中层流速一般在 50~55cm/s 之间，底层流速一般在 45~50cm/s 之间。

落急时刻，工程附近潮流流向东南，流速分布也呈现左侧流速偏小，右侧流速偏大。风电场址内表中底层流速呈递减趋势，表层流速一般在 40~50cm/s 之间，中层流速一般在 36~45cm/s 之间，底层流速一般在 32~41cm/s 之间，整体来说，涨急时刻流速大于落急时刻流速。

图 6.1-11a　工程前涨急时刻流场图（表层）

图 6.1-11b　工程前涨急时刻流场图（中层）

图 6.1-11c　工程前涨急时刻流场图（底层）

图 6.1-12a　工程前落急时刻流场图（表层）

图 6.1-12b　工程前落急时刻流场图（中层）

图 6.1-12c　工程前落急时刻流场图（底层）

6.1.5 工程建设对流场的影响

图 6.1-13 和图 6.1-14 分别为本工程风电场建成后风电场址附近海域落急时刻和涨急时刻的计算潮流场。受风机桩基阻水绕流作用的影响，在风电场工程建设后，风机桩基周围的潮流流速发生了一定变化。根据数模计算结果，提取出风电场区附近工程前后涨急、落急时刻的流速变化特征，见图 6.1-15。

由图可知，在风机桩基附近，由于桩基的阻水作用，其迎流侧和背流侧均存在一定范围的流速减小区。桩基周围 50m 范围之内的流速变幅为 10～20cm/s，而该范围之外的流速变幅基本上不超过 10cm/s；而且背流侧的流速减小范围比迎流侧更大。同时，过水断面的减小造成桩基位置垂直流向两侧的流速则略有增大，增幅不足 10cm/s，并且相邻风机间的距离越远，其流速变化更小。从图中还可以看出北侧 N2 场址风机对本项目 N1 场址风机有一定程度的影响，但影响较小，最大流速影响不超过 0.05m/s。

由预测结果可知，工程建设对所在海域潮流动力环境的影响有限，主要集中在场区内风机桩基附近水域，且距离风电场越远，造成的影响越不明显。总体而言，本风电场工程建设不会改变邻近海域的控制性动力因素，工程建设所引起的潮汐、潮流变化对区域水文动力环境的影响很小。

图 6.1-13a　工程后涨急时刻流场图（表层）

图 6.1-13b　工程后涨急时刻流场图（中层）

图 6.1-13c　工程后涨急时刻流场图（底层）

图 6.1-14a　工程后落急时刻流场图（表层）

图 6.1-14b　工程后落急时刻流场图（中层）

图 6.1-14c　工程后落急时刻流场图（底层）

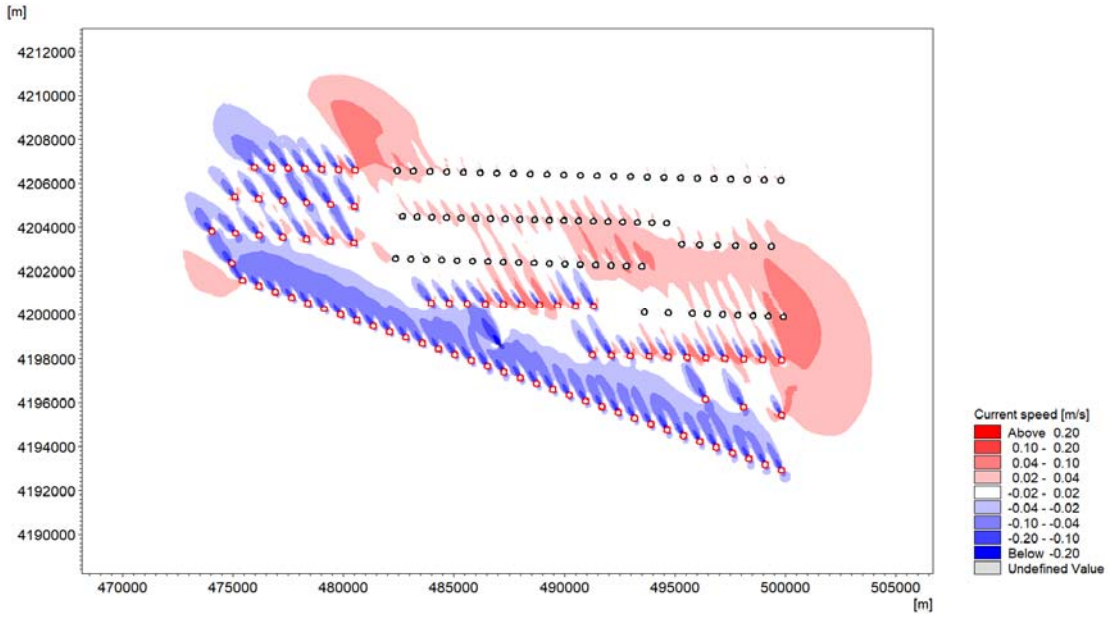


图 6.1-15a　工程实施前后涨急时刻流场变化（垂向平均）

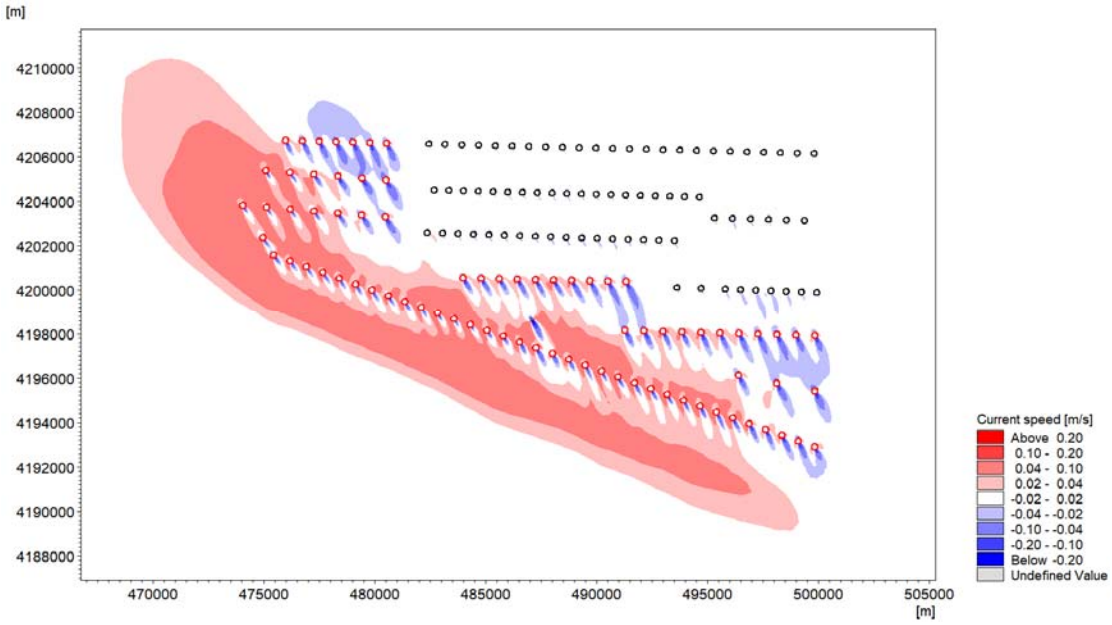


图 6.1-15b　工程实施前后落急时刻流场变化（垂向平均）

为了进一步分析风电场建设对工程区域附近流场的影响，在风电场区范围内的两排风机之间等间距选取了 5 排共计 25 个特征点，位置见图 6.1-16。所选特征点围绕风机周围进行均匀布设，基本覆盖了流速变化的主要区域，具有较好代表性。表 6.1-3 和表 6.1-4 分别给出了工程前后代表点涨潮流流速流向对比表和工程前后代表点落潮流流速

流向对比表。由表可知，工程后所选各特征点涨、落急时刻的流速以减小为主，变化范围不超过 8.2cm/s，流向变化范围不超过 5.1°。可以看出，流速变化范围主要集中在风机装机附近，所选各特征点的流速变化范围为 0～8.2cm/s。

从潮流的验证结果和不同时刻的流场分布图来看，数学模型能够比较真实地反映出工程实施前附近海域的流场情况，数值模拟结果以相对较高的分辨率展示了工程海域潮流运动的时空分布和演变规律，工程建设对周边水动力环境的影响仅局限在风机附近海域，对周边水动力环境影响微小。

图 6.1-16　工程前后流速变化分析特征点位置

表 6.1-3　工程前后代表点涨潮流流速流向对比

（流速单位：cm/s，流向为与 N 方向的夹角，单位：°）

特征点	涨潮流						
	最大流速（cm/s）				最大流速对应流向（°）		
	工程前	工程后	变化量	相对变化率%	工程前	工程后	差值
1	59.7	60.0	0.3	0.5	312.8	312.6	-0.2
2	61.9	61.9	0.0	0.0	317.0	316.7	-0.3
3	61.6	61.4	-0.2	-0.3	320.5	320.1	-0.4
4	60.8	60.3	-0.5	-0.8	323.3	322.9	-0.4
5	60.6	59.3	-1.3	-2.1	326.1	326.7	0.6
6	59.3	59.6	0.3	0.5	314.5	314.2	-0.3
7	59.4	59.6	0.2	0.3	318.2	317.8	-0.4
8	59.2	58.8	-0.4	-0.7	321.2	320.7	-0.5
9	58.7	57.4	-1.3	-2.2	323.8	326.6	2.8
10	58.8	58.7	-0.1	-0.2	326.5	327.5	1.0
11	56.9	57.6	0.7	1.2	316.4	315.8	-0.6
12	58.1	56.7	-1.4	-2.4	318.7	323.5	4.8
13	56.7	55.1	-1.6	-2.8	321.3	322.2	1.0
14	56.7	57.4	0.7	1.2	323.3	323.2	-0.1
15	55.5	60.1	4.6	8.3	327.9	327.6	-0.4
16	55.3	47.1	-8.2	-14.8	318.1	318.5	0.4
17	55.8	55.9	0.1	0.2	321.4	323.7	2.3
18	54.0	55.2	1.2	2.2	323.2	321.0	-2.2
19	55.1	56.0	0.9	1.6	330.4	329.5	-0.9
20	60.7	61.4	0.7	1.2	328.7	328.1	-0.5
21	52.8	49.4	-3.4	-6.4	319.5	317.8	-1.7
22	50.1	53.7	3.6	7.2	322.8	321.2	-1.6
23	54.1	54.2	0.1	0.2	321.1	320.9	-0.2
24	56.3	56.3	0.0	0.0	323.2	322.9	-0.3
25	59.5	59.7	0.2	0.3	327.8	327.6	-0.2

表 6.1-4　工程前后代表点落潮流流速流向对比

（流速单位：cm/s，流向为与 N 方向的夹角，单位：°）

特征点	落潮流						
	最大流速（cm/s）				最大流速对应流向（°）		
	工程前	工程后	变化量	相对变化率%	工程前	工程后	差值
1	37.7	37.6	-0.1	-0.4	141.7	141.8	0.0
2	41.7	41.7	0.0	-0.1	145.8	146.0	0.2
3	44.0	44.1	0.1	0.2	149.5	149.7	0.2
4	45.7	46.8	1.1	2.3	152.3	151.9	-0.5

特征点	落潮流						
	最大流速（cm/s）				最大流速对应流向（°）		
	工程前	工程后	变化量	相对变化率%	工程前	工程后	差值
5	47.6	46.7	-0.9	-1.9	154.8	152.5	-2.3
6	37.5	37.4	-0.1	-0.4	143.4	143.5	0.0
7	40.7	40.5	-0.1	-0.3	148.1	148.1	0.0
8	42.9	47.9	5.0	11.6	151.0	145.9	-5.1
9	44.7	47.2	2.4	5.4	153.9	154.5	0.6
10	46.6	45.3	-1.3	-2.8	155.6	150.9	-4.7
11	36.4	40.1	3.8	10.3	145.7	143.3	-2.3
12	40.2	42.9	2.7	6.6	149.6	151.4	1.7
13	44.0	45.3	1.3	2.9	147.3	147.9	0.6
14	46.0	45.6	-0.4	-0.9	152.0	153.5	1.5
15	47.4	46.2	-1.1	-2.4	155.2	154.9	-0.3
16	35.8	40.6	4.8	13.4	147.5	146.6	-0.9
17	45.5	40.6	-4.9	-10.8	150.8	147.9	-2.8
18	48.2	47.7	-0.6	-1.2	151.4	152.5	1.2
19	45.0	44.8	-0.2	-0.5	155.8	156.0	0.2
20	42.4	42.2	-0.2	-0.6	154.7	154.7	0.0
21	35.9	36.1	0.2	0.7	149.2	153.5	4.3
22	39.1	38.1	-1.0	-2.5	156.3	156.1	-0.1
23	40.0	39.7	-0.2	-0.6	158.5	158.7	0.2
24	41.4	41.0	-0.3	-0.8	159.0	159.2	0.2
25	43.5	43.2	-0.3	-0.6	158.2	158.2	0.0

6.2 地貌与冲淤环境影响预测与评价

工程实施后将引起工程周围及其附近局部海域的潮流运动和泥沙运动发生一定的变化，周期性潮流会携带大量的泥沙输移，从而引起床面的冲淤变化，上述现象是一个复杂的物理过程，泥沙输移的复杂性和目前泥沙输移基本理论的不成熟，决定了研究床面冲淤计算方法的多样性。鉴于泥沙输移的复杂性和床面冲淤理论的经验性，在海洋工程领域，对于工程建设引起的海床冲淤变化，常采用基于潮流数模计算结果的冲淤计算半经验半理论公式分析工程实施后的冲淤变化。

6.2.1 计算公式

窦国仁的潮汐水流悬沙运动微分方程为：

$$\frac{\partial(HS)}{\partial t}+\frac{\partial(qS)}{\partial l}+\alpha\omega(S-S^{*})=0$$

式中：S—含沙量（kg/m³）；

S*—为水流挟沙能力（kg/m³）。

q—单宽流量（m^2/s）；

H—水深（m）；

α—为泥沙沉降概率，取值范围 0.5-0.6 之间。

$$\alpha=\begin{cases}1-\frac{\tau_b}{\tau_{cd}}, & \tau_b \le \tau_{cd}\\ 0, & \tau_b > \tau_{cd}\end{cases}.$$

τ_b—海底剪切应力；

τ_{cd}—沉积临界剪切应力。

ω—为悬沙沉降速度，可由张瑞瑾沉速公式进行估算：

$$\omega=\sqrt{\left(13.95\frac{v}{d_{50}}\right)^2+1.09\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}gd_{50}}-13.95\frac{v}{d_{50}}.$$

式中：v为水体流速，γ_s为淤积物干容重，根据经验公式$\gamma_s=1750d^{0.183}$，d 即 d_{50}中值粒径平均值（mm）。γ为泥沙和水体湿容重，d_{50}为泥沙中值粒径。

然后根据泥沙运动理论中的输沙平衡原理，若只考虑潮流的挟沙能力，则可表示为：

$$S^*=k\rho\frac{V^2}{gH}.$$

式中：H—为实际水深（m）；

g—为重力加速度（m/s^2）；

k—为挟沙系数取 0.2~0.6 之间；

V—为流速（m/s）；

ρ—为水体密度（kg/m^3）。

在实际悬浮浓度大于 S*时，则发生泥沙沉降过程。若工程前泥沙处于冲淤平衡状态，那么由于工程后使部分水域流速衰减，导致挟沙能力的减弱而发生沉降。根据这一原理我们可以估算工程后泥沙冲淤厚度。

对窦国仁的潮汐水流悬沙运动微分方程在一个潮周期 T 时段积分，并经差分变换后，可得到一个潮周期 T 时段内的海床淤积强度：

$$\Delta H=\frac{(\Delta q_2 S_2-\Delta q_1 S_1)T}{\gamma_c}=\frac{\alpha\omega}{\gamma_c}[(S_2-S_1)+(S_1^*-S_2^*)]T.$$

如果工程前后来沙量不发生变化，即 $S_2=S_1$，则有

$$\Delta H=\frac{\alpha\omega T S_1^*}{\gamma_c}\left(1-\frac{S_2^*}{S_1^*}\right).$$

则 1 年冲淤强度为

$$p = n \triangle H = \frac{n\alpha\omega TS_1^*}{\gamma_c}(1 - \frac{S_2^*}{S_1^*}).$$

T—潮周期，n 为一年中的潮周期数，S^*_1、S^*_2 为工程前后的挟沙能力（单位为 kg/m3）。将挟沙公式代入上式可得：

$$p = n \triangle H = \frac{n\alpha\omega TS_1^*}{\gamma_c}[1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)\frac{H_1}{H_2}].$$

v_2、v_1—分别为工程前、后平均流速；

H_1 和 H_2—分别为工程前后的水深。

对上式进行求解得到 H_2，经推导可得△H 的两个解：

$$\triangle H = H_1 - H_2 = 0.5[(H_1 + \beta \triangle t) - \sqrt{(\beta \triangle t - H_1)^2 + 4\beta \triangle tK^2H_1}].$$

$$\triangle H = H_1 - H_2 = 0.5[(H_1 + \beta \triangle t) + \sqrt{(\beta \triangle t - H_1)^2 + 4\beta \triangle tK^2H_1}].$$

其中$\beta = \frac{\alpha\omega S_1^*}{\gamma_c}$，$K = \frac{v_2}{v_1}$，△t 为计算时间。当△t 趋于∞，上式所得△H 趋于∞。此解不符合实际情况，应舍去。当△t 趋于∞，可以得到海床平衡时水深变化量：

$$P_{\Delta t \to \infty} = (1 - K^2)H_1.$$

这一床面回淤计算公式已在海洋工程中得到较多应用，计算结果与实测回淤资料验证较好。本次水动力数学模型计算表明，工程引起的局部流场变化主要表现为工程区附近局部流速的减小，由工程海域水体含沙量、悬沙粒度、底质粒度等分析结果结合水动力模型得到的流场，可以计算本工程建设引起的工程区附近滩面泥沙冲淤强度变化。

6.2.2 冲淤计算结果

根据周边地形地貌冲淤现状分析，项目周边基本处于冲淤动态平衡过程，根据上述经验公式和数值模拟结果，计算了工程完成后首年冲淤强度分布情况和最终平衡冲淤强度分布情况，如图 6.2-1 和图 6.2-2 所示。

首年冲淤变化：工程建成后，桩柱周围平行主流向方向 100m 范围内淤积量在 0.02m～0.06m/a 之间，垂直主流向方向 100m 范围内淤积量在 0.02m～0.16m/a 之间，冲淤幅度大于 0.10m/a 范围不超过桩基周围 100 米。各桩基之间叠加影响来看，风电场区域北侧有一定冲刷、最大冲刷量约为 0.08m/a，风电场区内部多为淤积状态、最大淤积量约为 0.16m/a。

最终冲淤变化：达到平衡之后，桩柱周围平行主流向方向 100m 范围内淤积量在 0.02m～0.10m/a 之间，垂直主流向方向 100m 范围内淤积量在 0.02m～0.20m/a 之间，冲

淤幅度大于 0.12m/a 范围不超过桩基周围 100 米。各桩基之间叠加影响来看，风电场区域北侧有一定冲刷、最大冲刷量约为 0.10m/a，风电场区内部多为淤积状态、最大淤积量约为 0.20m/a。

综上，工程的建设对工程周边海域的海底冲淤环境的影响主要集中在风电桩基占用及邻近海域，且变化非常小，对工程周边其他海域影响较小。

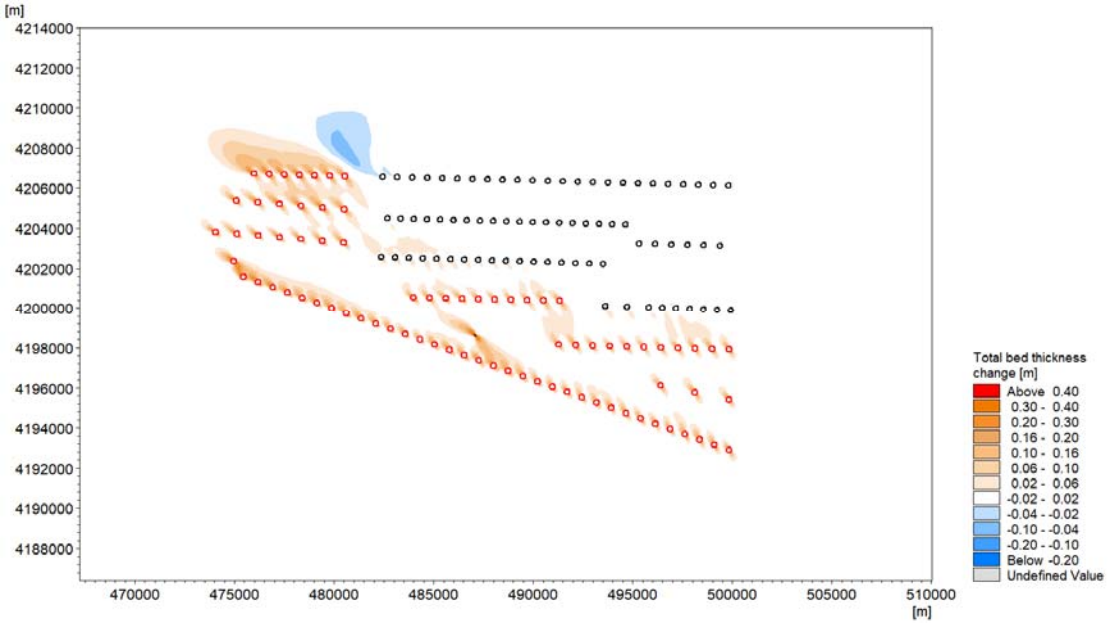


图 6.2-1　首年冲淤强度分布情况

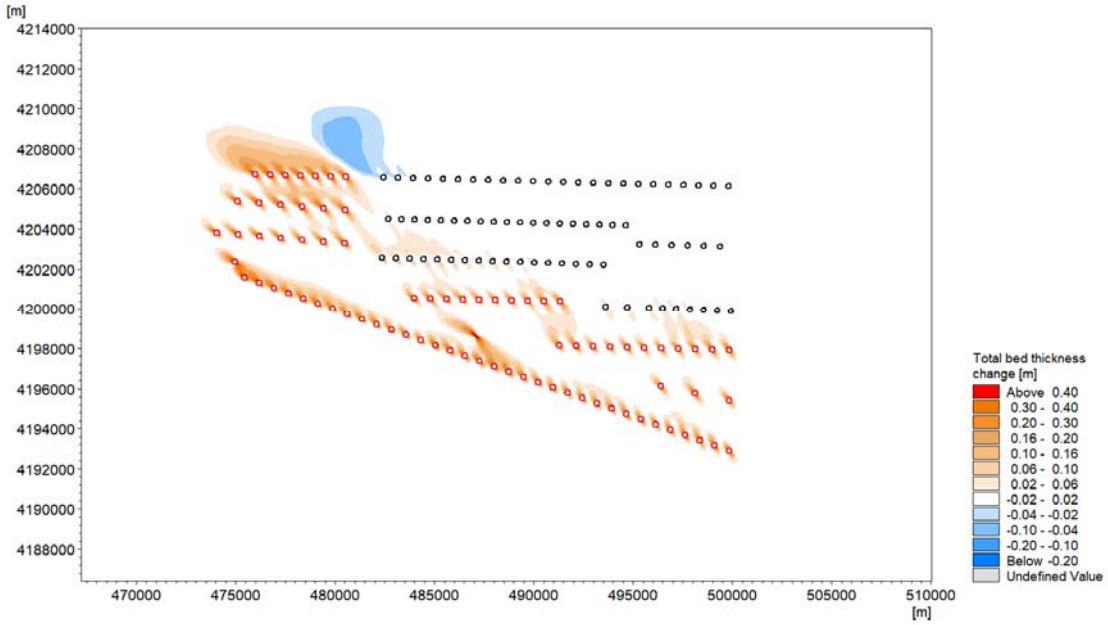


图 6.2-2　最终平衡冲淤强度分布情况

6.2.3 桩柱最大冲刷深度

目前桩墩周围最大冲刷深度的计算经验公式很多，但分别适于不同的情况，主要有 1）单向水流作用 2）波浪作用 3）波流共同作用下等几种。现根据研究区特点选取合适

的计算公式分别计算研究海区桩墩周围的最大冲刷深度，并进行对比。

（1）计算公式

如前所述，自本世纪 60 年代以来，各国学者均在海洋工程方面给予了很大的注意，先后提出了一些冲刷深度的计算模式，如 Shen.H.W 模式、贝斯金模式、全苏水科院模式、天津大学模式等。上述各类代表性模式有的只考虑桩墩的尺度，有的只考虑波流条件和泥沙特征，进行各因素全面考虑的计算模式较少。

1982 年，我国学者王汝凯在美国得克萨斯农工大学海洋工程实验室做了在波、流共同作用下桩墩周围海底冲刷实验研究。由于该计算模式考虑较多的因素，故能给出令人较满意的结果，所以该计算公式被推荐给《海岸和海洋工程手册》（Handbook of Coastal and Ocean Engineering）。本报告结合工程海域实际状况，对比各计算模式选用“王汝凯和 Herbich”计算模式进行桩墩冲刷计算。

王汝凯和 Herbich （1983）等波、流共同作用下桩墩周围冲刷深度可由下面的函数表示：

$$\frac{S_u}{h}=F_1\left(N_f,\frac{H}{L},U_r,N_s,N_{RP}\right)$$

其冲刷深度的计算与两个综合参数α、β有关，

其中

$$\alpha=N_f\frac{H}{L}U_rN_s=\frac{H^2LV^2[V+(1/T-V/L)HL/2h]^2}{[(\rho_s-\rho/\rho)]g^2h^4d_{50}}$$

$$\beta=N_f\frac{H}{L}U_rN_sN_{RP}=\frac{H^2LV^3D[V+(1/T-V/L)HL/2h]^2}{[(\rho_S-\rho)/\rho]\nu g^2h^4d_{50}}$$

当α<0.02 时，桩墩周围只有局部冲刷（Su1），冲刷深度由下式计算：

$$\log_{10}\frac{S_{u1}}{h}=-1.2925+0.1917\log_{10}{}^{\beta}$$

当α>0.02 时，桩墩周围有局部冲刷（Su1）和整体冲刷（S_{u0}）两种类型，其总冲刷计算公式为：

$$\log_{10}\frac{S_u}{h}=-1.4071+0.2667\log_{10}{}^{\beta}$$

整体冲刷深度为：

$$\log_{10}(\frac{S_{u0}}{h}+0.05)=-0.6631+0.3649\log_{10}{}^{\alpha}$$

局部冲刷深度为：

$S_{u1} = S_u - S_{u0}$

式中

$N_f = \frac{V^2}{gh}$，波流 Froude 数：

H/L：波陡

$U_r = \frac{HL^2}{h^3}$，Ursell 数

$N_s = \frac{[V + (1/T - V/L)HL/2h]^2}{[(\rho_S - \rho)/\rho]gd_{50}}$，泥沙沉积数

$N_{RP} = \frac{DV}{\nu}$，为桩墩雷诺数，

上述计算公式中各参数值物理意义及取值如下：

g：重力加速度，9.8 m/s^2

H：有效波高，m

T：波浪周期，s

L：波长，m

v：运动粘滞系数，1.01×10^{-6} N-s/m

h：水深， m

D：桩墩直径，

ρ_s-ρ: 底质密度一流体密度，

d_{50}: 中值粒径，mm

V:垂线平均流速（此处取最大实测垂线平均流速）

S_u: 冲刷深度，m

（2）计算结果

根据王汝凯公式和周边波浪数据，该测点有效波高（Hs）最大值为 4.0m，平均周期（T）最大值为 8.37s、波长 120m；最大实测垂线平均流速为 0.35m/s，钢管桩直径取 3.7m，沉积物中值粒径取 0.03mm，计算点处的桩墩最大冲刷深度为 4.22m。

墩桩周围的冲刷形态的总轮廓和大致的深度，是在墩桩形成之后很短的时间内实现的。当然，最终的平衡状态需要较长的时间才能完成。海底冲刷是一个动态平衡演化的过程，因此，实际冲刷深度应小于经验公式计算值。

（3）桩基局部冲刷半径

桩基局部冲刷范围：

冲刷坑的范围可以用冲刷坑半径表示，其计算公式为：

$$r=\frac{D}{2}+\frac{S}{\tan\varphi}$$

式中：r 为冲刷坑半径（m）；D 为桩墩直径；S 为冲刷坑的最大深度（m）；ϕ 为土体内摩擦角（°），场区土层为淤泥质粉质黏土、内摩擦角取 18°。

由计算公式可知，冲刷坑半径与冲刷深度密切相关，根据不同冲刷深度计算结果可以计算出相应的冲刷半径。根据最大冲刷深度计算结果（4.22m）可以计算出冲刷半径为 14.85m。

需要注意的是，局部冲刷计算结果为单根桩体周围的冲刷估算结果，而且由于局部冲刷计算尚无成熟、完善的数学模型，上述经验公式计算结果仅供设计参考。后续需结合粘性土冲刷基本原理，针对粘性土局部冲刷计算方法展开进一步研究。同时，建议在工程建设期间及工程建成后，对风机基础局部冲刷情况加强监测，及时采取防护措施，以维护本风电场项目的运营安全。

6.3 水质环境的影响分析

根据工程的实际情况，在工程施工期间，主要环境影响因子是施工过程中产生的悬浮泥沙。悬浮泥沙在海洋水文动力条件的作用下扩散、输运和沉降，形成浓度场，对海域环境产生影响。通过预测求得悬浮泥沙扩散的浓度场后，即可依据海水水质标准，评价其对周围环境的影响程度。

6.3.1 悬浮泥沙浓度场数学模型

在施工过程中，较粗泥沙很快沉降海底，较细泥沙颗粒较长时间悬浮于水体中并随海流输移扩散，形成悬浮泥沙场。计算中，只考虑工程增加的悬沙的输运，而不考虑背景浓度。

悬浮泥沙的输移扩散模式，采用考虑悬浮物沉降的三维输移扩散方程，

$$\frac{\partial P}{\partial t}+U\frac{\partial P}{\partial x}+V\frac{\partial P}{\partial y}+W\frac{\partial P}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(D_x\frac{\partial P}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(D_y\frac{\partial P}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_z\frac{\partial P}{\partial z}\right)+S_d+S_s$$

式中，Dx、Dy 分别是 x 和 y 方向上的水平涡动扩散系数，采用经验公式 $D_i = K\Delta X_i U_i$，其中，K 为经验系数，取 0.05；ΔX_i 分别为 x，y 方向的网格尺度；U_i 分别为 x，y 方向的速度。S_d 是沉降项，Ss 是源强项。

求解扩散方程所需的边界条件为：

流出时段满足：$\frac{\partial P}{\partial t}+V_n\frac{\partial P}{\partial n}=0$.

流入时段满足 $P=P^*$.

其中，P^* 为开边界处海水 SS 的背景浓度值，这里设为 0。

数值差分采用 QUICKEST 格式，时间步长同潮流场。

6.3.2 入海悬浮泥沙源强

（1）源强计算

工程施工期间产生的悬浮泥沙主要由风电桩基施工和风电海缆敷设施工扰动海底产生。

泥沙干容重按照公式 g_d=1750$D_{50}^{0.183}$ 计算，D_{50} 为泥沙中值粒径。

根据《华能山东半岛北 N 场址海上风电项目海床稳定性与局部冲刷专题报告》（青岛泛海海洋工程研究院有限公司，2025 年 6 月），工程海域及附近海底表层沉积物中值粒径为 0.01~0.05mm。本次中值粒径取 0.05mm；计算得到泥沙干容重为 1011.5kg/m^3。

①桩基施工

风机桩基、高抗站桩基和升压站桩基通过液压振动锤振动下沉，施工时振动导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。

风机采用四桩导管架基础，用 4 根钢管桩定位于海底，4 根桩呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础。四桩导管架基础桩径 3.4m，钢结构最大厚度约为 75mm，入土深度约为 86m，悬浮泥沙占挤压泥土的 1%计，泥沙密度取 1011.5kg/m^3，施工时间单次按 8h 算，则风机基础钢管桩的施工源强为 0.025kg/s。

升压站采用四桩导管架基础，用 4 根钢管桩定位于海底，4 根桩呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础。四桩导管架基础桩径 3700mm，最大壁厚为 90mm，入土深度约为 87m，悬浮泥沙占挤压泥土的 1%计，泥沙密度取 1011.5kg/m^3，施工时间单次按 8h 算，则风机基础钢管桩的施工源强为 0.033kg/s。

高抗站采用四桩导管架基础，海上升压站基础采用 3200mm 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，最大壁厚为 90mm，桩入泥约 82m，悬浮泥沙占挤压泥土的 1%计，泥沙密度取 1011.5kg/m^3，施工时间单次按 8h 算，升压站桩基施工源强为 0.027kg/s。

根据类似工程，风机打桩产生悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加（>10mg/L）范围一般半径在 100m 内，而且悬浮泥沙扩散范围远小于海底电缆敷设产生的悬浮泥沙。

②海缆敷设产生的悬浮泥沙

A.深水区源强

水深大于 2.5m 区域，海底电缆通过“埋设犁”敷设在泥面下，海缆开挖深度 2~3m、开沟截面积按照 1.75m^2（电缆沟沟槽底宽 0.4m，沟上顶宽 1m）计、开沟速度 3m/min，工程区沉积物平均干密度按 1011.5kg/m^3，参考《海底电缆敷设施工悬浮泥沙起悬比研究》（上海勘测设计研究院有限公司、中国三峡新能源（集团）股份有限公司，张琴、郑磊夫、吴兴华、张蒙生，2023 年 9 月 27 日），起沙率以施工土方量的 10%计。

66kV 海缆和 2m 埋深送出海缆源强：产生速率=搅动沉积物的横截面积×管线埋铺设的速度×沉积物密度×起沙率×超挖系数（1.4×3×1011.5×0.1×1.2/60=8.5kg/s，根据计算可得，水深大于 2.5m 区域，电缆埋设施工悬浮物释放强度为 8.5kg/s。

3m 埋深送出海缆源强：产生速率=搅动沉积物的横截面积×管线埋铺设的速度×沉积物密度×起沙率×超挖系数（2.1×3×1011.5×0.1×1.2/60=12.7kg/s，根据计算可得，水深大于 2.5m 区域，电缆埋设施工悬浮物释放强度为 12.7kg/s。

B.浅水区源强

高潮位浅水条件下施工时，两栖挖掘机开槽会导致潮间带泥沙再悬浮，从而引起施工点周围水体浑浊，污染局部海水水质。本项目海缆开挖深度 2m、开沟宽按 1m 计、开沟速度 20m/h，工程区沉积物平均干密度按 1011.5kg/m^3，起沙率以施工土方量的 20%计，同时考虑施工时的超挖量，超挖系数按 1.2 计。

产生速率=搅动沉积物的横截面积×管线埋铺设的速度×沉积物密度×起沙率×超挖系数（2×1×20×1011.5×0.2×1.2/3600=0.78kg/s），根据计算可得，在潮间带区域施工条件下，电缆埋设施工悬浮物释放强度为 2.7kg/s。

（2）入海悬浮泥沙发生点位置

施工期间产生悬浮泥沙的施工环节主要为海缆敷设。桩基施工与海缆埋设犁施工位置重叠，源强小于海缆敷设，只对海缆敷设开挖进行悬浮泥沙扩散范围预测；根据施工环节的施工位置和特点，数值模拟时在悬浮泥沙发生区域选择有代表性的典型预测点，分别预测各点最大的浓度增量分布，连接各点不同浓度增量预测值最外沿，做出悬浮泥沙增量的最大包络线图。

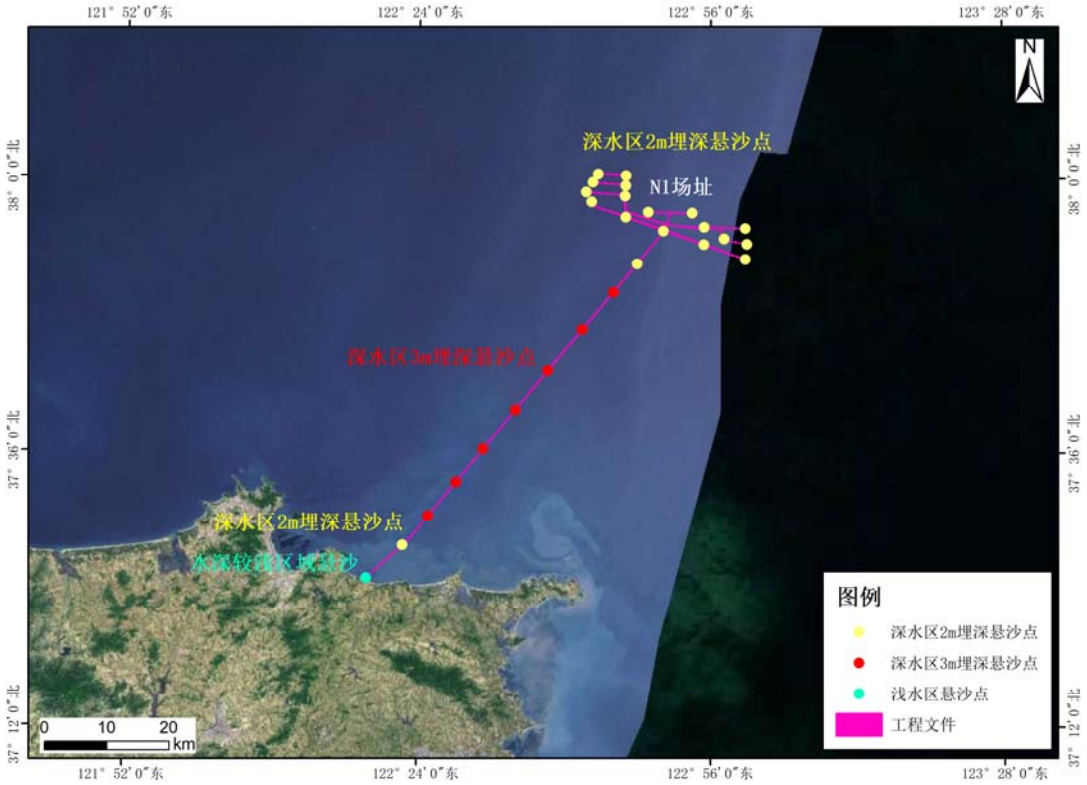


图 6.3-1　预测悬浮泥沙发生点位置图

6.3.3 悬沙扩散预测结果和分析

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

6.3.3.1 底层悬沙扩散结果和分析

图 6.3-2 为底层悬浮泥沙所形成的最大运动半径，受涨落潮的影响，中心点距 10mg/L 等值线的距离西北—东南方向最远，最大运动半径为 1.7km。

表 6.3-1 为施工过程中底层产生的悬浮泥沙增量在>10mg/L（超 Ⅰ、Ⅱ类海水水质）、>20mg/L、>50mg/L、>100mg/L（超Ⅲ类海水水质）、>150mg/L（超Ⅳ类海水水质）以上的海域面积最大值分别为 333.9098km^2、239.1167km^2、138.9479km^2、88.2282km^2、62.3148km^2；可以发现，施工过程中引起的悬浮泥沙主要集中在项目周围海域，越靠近外海，影响逐渐减小，悬浮泥沙的扩散范围仅局限于周边的范围内。施工过程悬浮泥沙

对海水水质的影响，时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内（4h 以内）也就结束。总体而言，施工形成的悬浮泥沙仅对周边海域产生一定影响。

表 6.3-1 底层悬浮物增量各浓度的影响范围（km^2）

浓度	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	>150mg/L	扩散半径
底层	333.9098	239.1167	138.9479	88.2282	62.3148	1.7km

图 6.3-2 底层预测悬浮泥沙最大影响范围包络线图

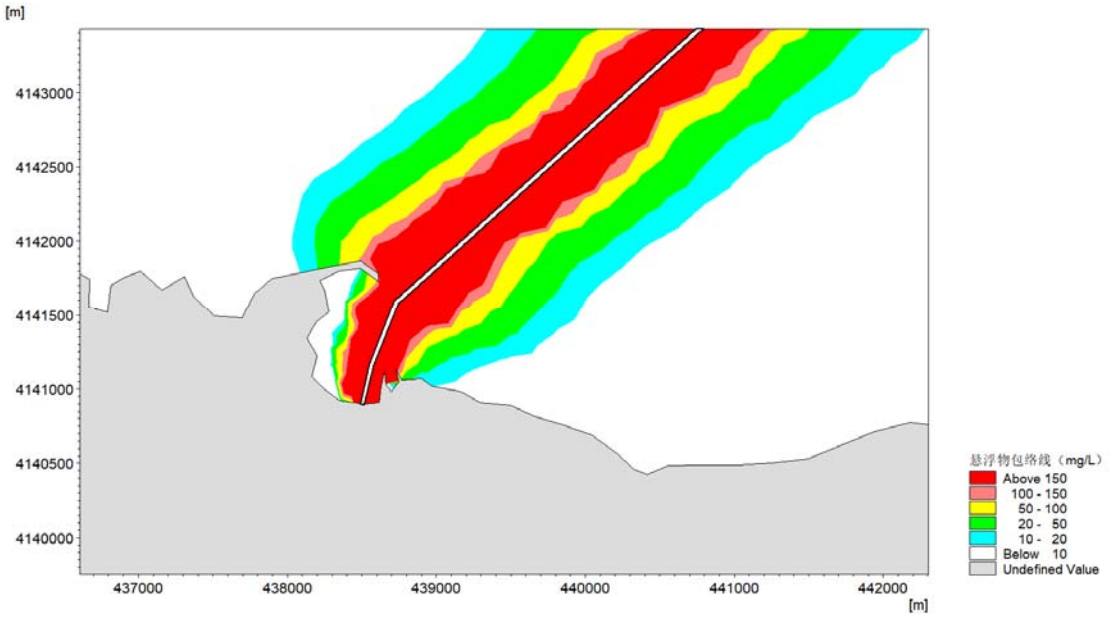


图 6.3-3 底层预测悬浮泥沙最大影响范围包络线图（登陆区域局部放大）

图 6.3-4 底层预测悬浮泥沙最大影响范围包络线图（风电场区域局部放大）

6.3.3.2 中层悬沙扩散结果和分析

图 6.3-5 为中层悬浮泥沙所形成的最大运动半径，受涨落潮的影响，中心点距 10mg/L 等值线的距离西北—东南方向最远，最大运动半径为 1.5km。

表 6.3-2 为施工过程中中层产生的悬浮泥沙增量在>10mg/L（超 I、II 类海水水质）、>20mg/L、>50mg/L、>100mg/L（超 III 类海水水质）、>150mg/L（超 IV 类海水水质）以上的海域面积最大值分别为 222.7993km^2、98.5417km^2、11.0629km^2、0.5411km^2、0.1495km^2；可以发现，施工过程中引起的悬浮泥沙主要集中在项目周围海域，越靠近外海，影响逐渐减小，悬浮泥沙的扩散范围仅局限于周边的范围内。施工过程悬浮泥沙对海水水质的影响，时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内（4h 以内）也就结束。总体而言，施工形成的悬浮泥沙仅对周边海域产生一定影响。

表 6.3-2 中层悬浮物增量各浓度的影响范围（km^2）

浓度	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	>150mg/L	扩散半径

中层	222.7993	98.5417	11.0629	0.5411	0.1495	1.5km

图 6.3-5　中层预测悬浮泥沙最大影响范围包络线图

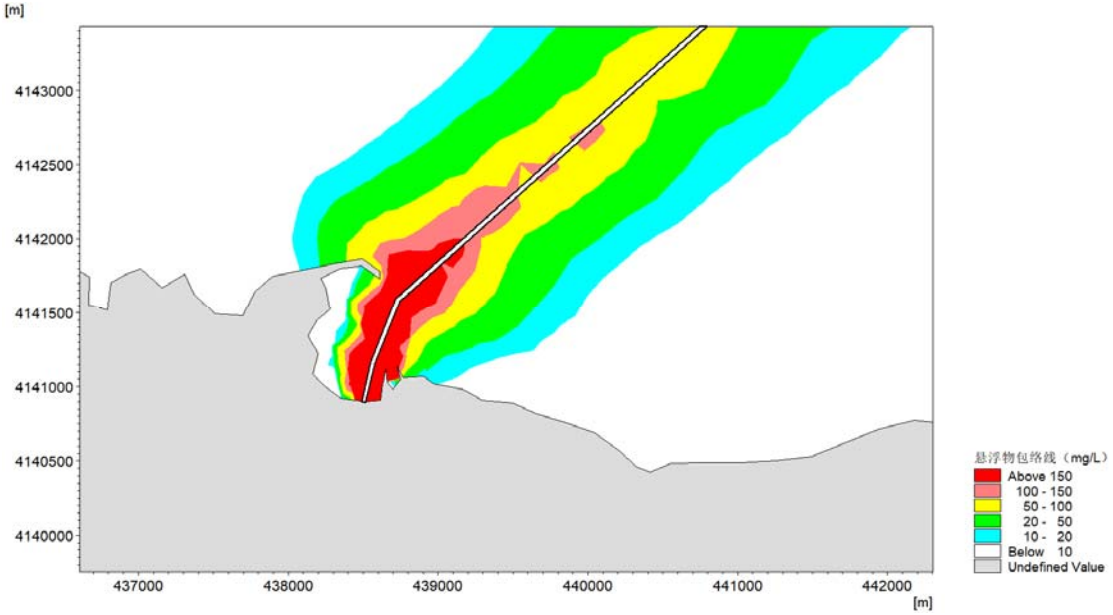


图 6.3-6　中层预测悬浮泥沙最大影响范围包络线图（登陆区域局部放大）

图 6.3-7　中层预测悬浮泥沙最大影响范围包络线图（风电场区域局部放大）

6.3.3.3 表层悬沙扩散结果和分析

图 6.3-8 为表层悬浮泥沙所形成的最大运动半径，受涨落潮的影响，中心点距 10mg/L 等值线的距离西北—东南方向最远，最大运动半径为 1.2km。

表 6.3-3 为施工过程中表层产生的悬浮泥沙增量在>10mg/L（超 I、II 类海水水质）、>20mg/L、>50mg/L、>100mg/L（超 III 类海水水质）、>150mg/L（超 IV 类海水水质）以上的海域面积最大值分别为 53.6902km^2、4.5734km^2、0.4607km^2、0.2045km^2、0.0971km^2；可以发现，施工过程中引起的悬浮泥沙主要集中在项目周围海域，越靠近外海，影响逐渐减小，悬浮泥沙的扩散范围仅局限于周边的范围内。施工过程悬浮泥沙对海水水质的影响，时间是短暂的，这种影响一旦施工完毕，在较短的时间内（4h 以内）也就结束。总体而言，施工形成的悬浮泥沙仅对周边海域产生一定影响。

表 6.3-3　表层悬浮物增量各浓度的影响范围（km^2）

浓度	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	>150mg/L	扩散半径
表层	53.6902	4.5734	0.4607	0.2045	0.0971	1.2km

图 6.3-8　表层预测悬浮泥沙最大影响范围包络线图

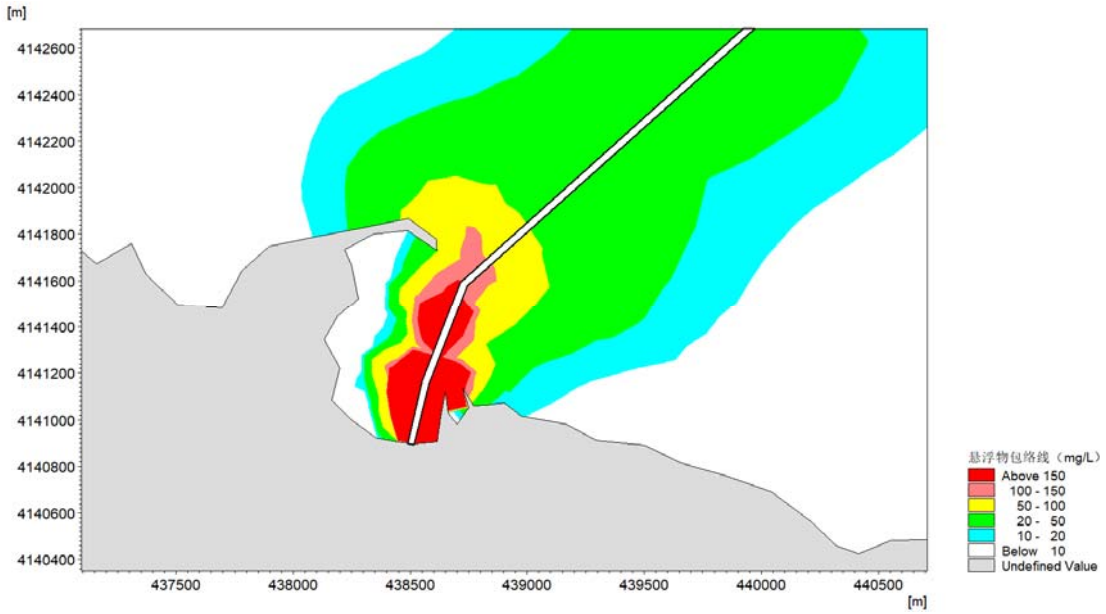


图 6.3-9　表层预测悬浮泥沙最大影响范围包络线图（登陆区域局部放大）

图 6.3-10　表层预测悬浮泥沙最大影响范围包络线图（风电场区域局部放大）

6.3.4 施工期对水质环境影响

工程海上施工期间会产生一定量的生活污水，生活污水中含有较高浓度的 N、P 等物质，未经处理直接排放，则会在一定程度上加重海域的富营养化程度，恶化工程附近海域的水环境。工程施工设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理。

因此，项目建设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。

6.3.5 运营期水质环境影响分析

项目运营期间对海水水质的影响主要为海上升压站和海上高抗站生活污水、风机维修的废油。

海上升压站、高抗站生活污水处理后达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定二级标准（COD≤300mg/L）排放入海，生活污水产生量为 50.61t/年（1.05t/d），排放量少，且仅运维人员登上平台生活时产生，属于间断排放，对水质环境影响很小。

项目运营期间对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油、废油等，检修工作人员需按照相应要求将废油储存在专设的废油箱中，维护结束后送交有处理能力的单位进行妥善处置。因此，项目运营期间基本不会对所在海域水质环境造成影响。

6.4 海洋沉积物环境影响分析

6.4.1 施工期沉积物环境影响

（1）施工悬沙对海底沉积物影响

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

（2）施工污染物对海底沉积物影响

施工期风电场及海缆路由周边海域由于施工船舶在此集结，将产生生产废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶含油的机舱水、生活污水等废水未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油等直接弃入海中，将直接污染区域海水水质，进而可能影响区域海域沉积物质量，造成沉积物中废弃物、石油类等指标超标。项目施工期加强管理，施工船舶设置废水及垃圾收集设施，在船上密封储存后送至陆域进行处理，不得在海域范围内排放，在严格做好施工期管理、监理和监测工作的前提下，不会对海洋沉积物环境造成污染影响。

6.4.2 运营期沉积物环境影响

（1）防腐对沉积物环境的影响

海上升压站、高抗站和风机采用防腐涂层方案和外加电流的阴极保护法。外加电流的桩基础防腐蚀措施与牺牲阳极的防腐蚀措施相比，外加电流没有重金属污染物释放，不会对沉积物环境产生污染。

导管架基础外表面、钢管桩外表面、电缆 J 形管等部位的浸没区、浪溅区主要采用环氧玻璃鳞片漆、聚氨酯面漆、环氧树脂漆等工艺，防腐涂层具有很强的耐盐水性、耐油性。因此，项目运营期防腐涂层基本不会对项目区域海洋沉积物环境产生不利影响。

热浸镀锌工艺用于电缆 J 形管等的表面，热浸镀锌是延缓钢铁材料环境腐蚀的最有效手段之一，在钢铁表面镀覆附着性良好的锌合金镀层，镀层与基体的结合强度、镀层的致密性、耐久性具有优势。锌也是海水中最常见的物质之一，其不易形成稳定物质而在项目运营期持续累积，因此，工程实际运行中对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。

（2）废弃物对沉积物环境的影响

运营期内海上升压站、高抗站一旦发生事故，可能泄漏的变压器油、润滑油等属于危险废物。本项目海上升压站、高抗站设置事故油池/罐等应急设施，一旦发生事故，漏油可排入事故油池/罐收集。

海上升压站、高抗站、风机检修等产生的少量含油废水收集后交有危废处置资质的单位处理，不在海域排放，不会对海洋环境产生不利影响；维保人员在海上升压站、高抗站产生的生活污水处理后达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定二级标准（COD≤300mg/L）排放入海，产生的船舶含油污水和生活污水运上岸交由有资质的单位处置；生活垃圾统一收集后运至陆上处理，不随意弃入海中。

项目运营期海上升压站、高抗站、风机的油污、废水、垃圾等均有合理处置措施，不随意弃入海中，不会对海水水质产生影响，也不会对所在海域沉积物环境产生影响。

6.5 海洋生态环境及资源影响分析

6.5.1 项目用海对岸线及海洋空间资源的影响

项目拟布置 79 台单机容量为 14MW 的 WTG270-14000 型风力发电机组。N1 风电场新建 1 座海上升压站、1 座高抗站和 1 座陆上集控中心，风电机组发出电能通过 66kV 海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 500kV 海底电缆接入陆上集控中心。

项目申请用海面积 1044.1355ha，其中透水构筑物用海面积为 453.2041ha，海底电缆管道用海面积 590.9314ha。项目建设风机、升压站、高抗站和海底电缆用海占用了部分海底、海面以及部分海面上方的海域空间资源，使部分海洋空间开发活动也受到了限制，占海区域对海域空间资源的其他开发活动具有一定的排他性。

项目送出海缆登陆段穿越人工岸线，施工结束后恢复岸线的原始形态，对人工岸线的类型和生态功能不造成长久性影响，不会影响其岸线形态及原有生态功能。

6.5.2 对海洋生态环境的影响分析

6.5.2.1 施工期对海洋生态环境的影响分析

6.5.2.1.1 悬浮泥沙对海洋生物的影响

（1）对浮游生物影响

工程风机桩基基础施工，海底电缆铺设施工都会引起海底泥沙再悬浮，在施工作业点周围水体中产生大量的悬浮物，形成一定范围的悬浮物高密度分布区域，从而引起水体悬浮物浓度增加，降低水体透光率，造成水体浮游植物生产力下降。一般而言，悬浮

物的浓度增加在 10mg/L 以下时，水体中的浮游植物不会受到影响，而当悬浮物浓度增加 50mg/L 以上时，浮游植物会受到较大的影响。当悬浮物的浓度增加量在 10~50mg/L 时，浮游植物将会受到轻微的影响。

（2）对游泳生物的影响

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

施工过程中产生的悬浮沙增量在>10mg/L（超 I、II 类海水水质）包络面积为 333.9098km^2；悬浮沙增量在>100mg/L（超 III 类海水水质）包络面积为 88.2282km^2；悬浮沙增量在>150mg/L（超 IV 类海水水质）包络面积为 62.3148km^2。施工搅动产生 10mg/L 浓度悬浮泥沙最大可能扩散距离约为 1.7km。该范围内的浮游生物及游泳生物将受到影响。

6.5.2.1.2 施工船舶含油污水对海域生态环境的影响

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

在一定的海域范围内过量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、低沸点的组分对一切生物均有毒性。实验证明石油烃会破坏浮游植物细胞，油膜会阻碍海一气交换，影响光合作用。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为 0.1~10mg/L，一般约为 1.0mg/L。对于更加敏感的种类，石油浓度低于

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

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

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

长期处于低浓度含油废水中可影响鱼类的摄食和繁殖，使渔获物产生油臭味而影响其食用价值。据相关报道，20 号燃料油对黑鲷 Sparus macrocephaius 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。

6.5.2.1.3 施工对底栖生物的影响

风机塔架基础结构采用导管架桩基、升压站导管架结构，以上桩基的填埋将直接导致底栖生物的死亡；海缆埋设过程中挖沟及填埋搅动海底，均会造成底栖生物位移，施工结束后底栖生物得到恢复，不会对底栖生物产生明显影响。

6.5.2.1.4 施工噪声对海洋生态的影响

海域中某些海洋生态对噪声较敏感，可能因高强度噪声产生的振动能量而受到较大影响甚至死亡。施工噪声主要来自风机桩基施打、施工船舶航行、设备和机械等产生的噪声，详见 6.5 噪声影响预测与评价。

6.5.2.2 运营期对海洋生态环境的影响分析

6.5.2.2.1 运营期对底栖生物的影响

运营期对海洋生态的影响主要是风机桩基、海底电缆等永久设施占地周围区域的底栖生物的生境遭到永久的破坏，在该范围内的底栖生物不可恢复。另外，在风机周围抛沙袋，可为底栖生物提供一个较好的附着场所，具有一定的鱼礁效应，在一定程度上可增加风电场及周边区域藻类、贝类鱼类的生物多样性。

6.5.2.2.2 风机噪声对海洋生态的影响

风机运行过程中产生的噪声主要由机械及结构噪声和空气动力噪声组成，本风电场风电机组运行时轮毂处噪声功率级约为 110dB（A），轮毂高度 154m，风机运行产生的噪声到达海面时衰减为 59dB，声波传入水体中将进一步衰减。因此，风机运行产生的噪声不会引起桩基周围的水生生物和鱼类晕厥、死亡等现象，且当风机噪声影响鱼类正常栖息和生存时，鱼类将游离该处，寻找适合生存的栖息地。

因此，风机运营期产生的噪声对周围环境影响很小。

6.5.2.2.3 电磁对海洋生态的影响

本项目海上升压站占地面积小，电磁影响范围有限，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。根据类比陆上电缆线路磁场分布可知，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 0.1mT，基本可以判定本项目产生的电磁对场址附近的海洋生物影响较小。

6.5.3 对海洋生态系统服务功能的影响

我国近海生态系统服务功能划分为供给功能、调节功能、文化功能和支持功能四大类（见图 6.7.3-1）。

根据工程分析，本工程建设对海洋生态系统服务功能的影响表现为对供给功能的食品生产和支持功能中初级生产力、物种多样性造成影响。

（1）工程建设对食品生产功能的影响

食品生产功能是指海洋生态系统提供给人类的贝类、鱼类、虾蟹、海藻等海产品的功能。海洋是一个巨大的食物库，从藻类到鱼虾贝类数十万种生物在其中繁衍生息。海洋是全球蛋白质的重要来源。海底电缆开挖、风机管桩施工产生的悬浮泥沙会对贝类、鱼类、虾蟹、海藻造成影响，从而对海洋的食品生产功能产生影响，但随着施工结束，悬浮泥沙对海域影响将随之消失。

（2）工程建设对初级生产力的影响

初级生产：通过浮游植物、其他海洋植物和细菌生产固定有机碳，为海洋生态系统提供物质和能量来源。本项目施工期间施工产生的悬浮泥沙会造成浮游植物和其他海洋之物造成影响，从而影响海洋服务系统的支持功能。

（3）工程建设对物种多样性的影响

物种多样性维持：海洋不仅生活着丰富的生物种群，还为其提供重要的产卵场、越冬场和避难所等庇护场所。本工程所在海域不是重要的产卵场、越冬场，在工程区内也没有发现需保护的珍稀海洋生物；由工程建设引起丧失的各种底栖生物种类，在当地的广阔海域均有大量分布。因此工程建设不会造成物种多样性降低的生态问题。

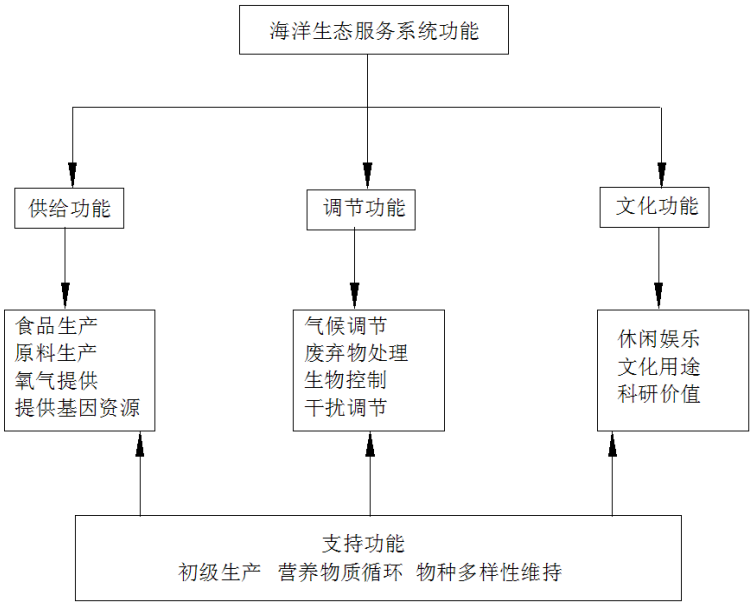


图 6.5-1 海洋生态系统功能

6.5.4 对渔业资源的影响

6.5.4.1 施工期对渔业资源的影响

（1）施工期间产生悬浮泥沙对渔业资源的影响

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

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

覆盖在水底的沉淀物会损害无脊椎生物种群，堵塞产卵的砾石层，而且如果有有机物的话，还会消耗其上面水体的溶解氧。当沉淀固体堵塞了鱼类产卵的砾石层时，鱼卵就会大量死亡。无机悬浮物的增加还会妨碍光线向水体的投射，结果减少了透光层深度，从而减少了初级生产量并减少了鱼类的饵料。美国科学院和美国工程科学院联合委员会建议，光透射深度不得减少 10%（美国科学院，NAS，1974）。同时，由于颗粒物吸收了较多的热量，从而使水体趋于稳定，阻止了上下水混合，致使近表层水被加热，上下

水混合程度的减少，也减少了溶解氧和营养物向水体下部的扩散。长期生活在高浑浊水中的海洋生物，其鳃部会被悬浮物质充满而影响呼吸和发育，甚至引起窒息死亡。此外，水中悬浮物质长期过量会妨碍海洋生物的卵及幼体的正常发育，破坏其栖息环境，并抑制水生生物的光合作用，减少海洋动物的饵料。

水域悬浮物含量超标，对渔业资源的影响是多方面的，它不仅影响鱼类的存活和生长，而且会对鱼卵和仔稚鱼造成损害。由于悬浮性泥沙颗粒粘附在鱼卵的表面，会妨碍鱼卵的呼吸，阻碍与水体之间氧与二氧化碳的充分交换，可能导致鱼卵大量死亡；影响幼体的发育，发育不健康的仔稚鱼生存能力大大降低；悬浮物含量超标能使浮游生物繁殖受阻，导致水域基础生产力下降，减少鱼类的饵料生物，从而影响到鱼类的正常索饵；另外，悬浮物超标还会改变鱼类的洄游和摄食行为。

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

总而言之，悬浮泥沙对鱼类和水生生物的影响主要包括：

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

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

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

D 影响基础饵料生物生长，使鱼类得不到充足的食物。

E 影响鱼类的正常活动和洄游。

（2）施工噪声对渔业资源的影响分析

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

（3）海域占用减少了渔业空间资源

本项目风电桩基占用了天然渔业空间，减少了天然的鱼卵、仔鱼生长发育以及索饵觅食的理想场所，风电场桩基础的存在有可能妨碍鱼类的正常洄游路线，从而对渔业空间资源产生影响。

6.5.4.2 运营期对渔业资源的影响

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

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，类比陆上电缆线路可知，电缆管廊外 5m 的磁感应强度已接近环境本底值。因此，本工程海底电缆埋设于海底，建成运行后，电磁场对海洋生物影响很小。

6.5.5 生物资源损失量

6.5.5.1 生物资源损失量

本工程为海上风电场建设项目，生物损失主要由风机、海上升压站和海上高抗站管桩建设占用海域和施工产生的悬浮泥沙扩散造成。本报告生物资源损失量按照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）中规定的有关方法计算。

（1）评估方法

①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，按以下公式计算：

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

式中：

W_i——第 i 种类生物资源一次性平均损失量，单位为（尾）、个（个）、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（尾/km^2）、个平方千米（个/km^2）、千克平方千米（kg/km^2）；

S_j——某一污染物第 j 类浓度增量区面积，单位为平方千米（km^2）；

K_{ij}——某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源损失率，单位为百分之（%）；生物资源损失率取值参表 6.5-1；

n——某一污染物浓度增量分区总数。

表 6.5-1 污染物对各类生物损失率

污染物 i 的超标倍数（B_i）	各类生物损失率（%）			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
B_i≤1 倍	5	＜1	5	5
1＜B_i≤4 倍	5~30	1~10	10~30	10~30
4＜B_i ≤9 倍	30~50	10~20	30~50	30~50
B_i≥9 倍	≥50	≥20	≥50	≥50

注：1．本表列出污染物 i 的超标倍数（B_i），指超《渔业水质标准》或超II类《海水水质标准》的倍数，对标准中未列的污染物，可参考相关标准或按实际污染物种类的毒性试验数据确定；当多种污染物同时存在，以超标准倍数最大的污染物为评价依据。

2．损失率是指考虑污染物对生物繁殖、生长或造成死亡，以及生物质量下降等影响因素的综合系数。

3．本表列出的对各类生物损失率作为工程对海洋生物损害评估的参考值。工程产生各类污染物对海洋生物的损失率可按实际污染物种类，毒性试验数据作相应调整。

4．本表对 pH、溶解氧参数不适用。

②占用水域造成的生物资源损失

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

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中：

Wi——第 i 种类生物资源受损量，单位为尾、个、千克（kg）；

Di——评估区域内第 i 种类生物资源密度，单位为尾（个）每平方千米[尾（个）/km^2]、尾（个）每立方千米[尾（个）/km^3]、千克每平方千米（kg/km^2）；

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

（2）项目用海区域生物资源密度

本工程生物损失主要由风电、升压站和高抗站管桩建设和悬浮泥沙扩散造成。由于

游泳动物的逃避能力较强，风电、升压站和高抗站管桩建设主要造成浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼卵和仔稚鱼的生物量损失；水体中悬浮泥沙扩散主要造成浮游植物、浮游动物、鱼卵和仔稚鱼的生物量损失。

浮游植物、浮游动物和底栖生物的生物资源密度根据现状调查结果数据取平均值，生物资源密度统计结果见表 6.5-2。

表 6.5-2 工程附近海域生物资源密度

类别	生物量/生物密度	平均生物量/生物密度	监测时间（年）	均值
浮游植物	cells/m^3	102300	2024	201150
		300000	2025	
浮游动物	mg/m^3	296.88	2024	627.44
		958	2025	
底栖生物	g/m^2	39.21	2024	35.46
		31.7	2025	
鱼卵	粒/m^3	0.36	2024	0.29
		0.22	2025	
仔稚鱼	粒/m^3	0.12	2024	0.08
		0.03	2025	
游泳生物	kg/km^2	383.87	2024	308.30
		232.72	2025	

（3）损失评价结果

①风机、升压站和高抗站管桩占用造成的海洋生物资源损失

项目风机基础采用四桩导管架基础方案，共 79 台，采用四根直径为 3.5m 钢管桩。按桩基直径保守计算，79 台风机的桩基面积为 0.304hm^2；海上升压站 1 座，采用⌀3700 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，则升压站的桩基面积为 0.004hm^2；海上高抗站 1 座，采用⌀3200 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，则高抗站的桩基面积为 0.003hm^2；透水构筑物非透水部分占用海域面积为 0.311hm^2。桩基基础占用区域水深取平均水深 55m 计算。

根据计算结果，本工程占用海域共造成浮游植物总损失量为 3.44×10^{10} 个，浮游动物总损失量为 107.32kg，底栖生物损失量为 110.28t，鱼卵损失量为 4.69×10^4 粒，仔稚鱼损失量为 1.37×10^4 粒，游泳生物 0.96kg。生物损失量见表 6.5-3。

表 6.5-3 风机基础、升压站和高抗站管桩占用海域造成的生物资源损害评估

生物类型	平均生物量	单位	补偿面积（hm^2）	水深（m）	损失量	单位
	D		S	H	D*S*H	
浮游植物	201150	个/ m^3	0.311	55	3.44E+10	个
浮游动物	627.44	mg/m^3	0.311	55	107.32	kg
底栖动物	35.46	g/m^2	0.311	-	110.28	kg
鱼卵	0.290	粒/ m^3	0.311	55	4.96E+04	粒
仔稚鱼	0.08	尾/ m^3	0.311	55	1.37E+04	尾
游泳生物	308.3	kg/km^2	0.311	-	0.96	kg

②海缆施工造成的海洋生物资源损失

海缆施工造成的海洋生物损失主要来自电缆沟开挖及其两侧覆土。

工程铺设 500kV 海底电缆 2 回，单根长 78.5km，铺设 66kV 海底电缆总长 195.5km，海缆总长约 352.5km，电缆敷设深度不小于 2.0m，沟槽底宽 0.4m，沟上顶宽平均约 1m。电缆施工实际占用海域面积为 35.25hm^2，电缆沟开挖及其两侧 3m 范围内造成的底栖生物损失按 100%计，两侧 3~8m 范围内造成的底栖生物损失按 50%计。根据计算结果，本工程海缆施工共造成底栖生物损失量为 137.50t。生物损失量见表 6.5-4。

表 6.5-4 风机基础、升压站、高抗站管桩占用海域造成的生物资源损害评估

补偿类型	生物类型	平均生物量		补偿面积（hm^2）		损失比例	损失量	
		D	单位	S			D*S*H	单位
海缆施工	底栖生物	35.46	g/m^2	电缆沟开挖	35.25	100%	12.50	t
				两侧 3m 范围	176.25	100%	62.50	t
				两侧 3~8m 范围	352.5	50%	62.50	t
合计							137.50	t

③悬浮泥沙扩散造成的海洋生物资源损失

根据水质底层影响模拟预测结果，海缆埋设施工产生的悬浮泥沙浓度在 10mg/L＜S≤20mg/L 面积为 94.7931km^2，20mg/L＜S≤50mg/L 面积为 100.1688km^2，50mg/L＜S≤100mg/L 面积为 50.7197km^2，S＞100mg/L 面积为 88.2282km^2。项目区水深 0~59m，悬浮泥沙扩散影响海域内取平均水深 29m。

根据计算结果，本工程悬浮泥沙扩散造成共造成浮游植物总损失量为 5.20×10^{14} 个，浮游动物总损失量为 1622.61t，鱼卵损失量为 7.29×10^8 粒，仔稚鱼损失量为 2.01×10^8 尾，游泳生物 9.62t。生物损失量见表 6.5-5。

表 6.5-5 悬浮泥沙造成的生物资源损害评估表

生物类型	平均生物量	单位	悬沙浓度 mg/L	损失率（%）	受损面积（km^2）	水深（m）	损失量		
	D			K	S	H	D*K*S*H	合计	单位
浮游植物	2.01E+05	个/ m^3	10~20	5	94.7931	29	2.76E+13	5.20E+14	个
	2.01E+05		20~50	20	100.1688	29	1.17E+14		
	2.01E+05		50~100	40	50.7197	29	1.18E+14		
	2.01E+05		＞100	50	88.2282	29	2.57E+14		
浮游动物	627.44	mg/m^3	10~20	5	94.7931	29	86.24	1622.61	t
	627.44		20~50	20	100.1688	29	364.53		
	627.44		50~100	40	50.7197	29	369.15		
	627.44		＞100	50	88.2282	29	802.69		
鱼卵	0.29	粒/ m^3	10~20	5	94.7931	29	3.99E+07	7.29E+08	粒
	0.29		20~50	17.5	100.1688	29	1.47E+08		
	0.29		50~100	40	50.7197	29	1.71E+08		
	0.29		＞100	50	88.2282	29	3.71E+08		
仔稚鱼	0.08	尾/ m^3	10~20	5	94.7931	29	1.10E+07	2.01E+08	尾
	0.08		20~50	17.5	100.1688	29	4.07E+07		
	0.08		50~100	40	50.7197	29	4.71E+07		
	0.08		＞100	50	88.2282	29	1.02E+08		
游泳生物	308.3	kg/km2	10~20	1	94.7931	_	0.29	9.62	t
	308.3		20~50	5	100.1688	_	1.54		
	308.3		50~100	15	50.7197	_	2.35		
	308.3		＞100	20	88.2282	_	5.44		

④小结

综上计算，本工程共计造成浮游植物损失量 5.20×10^{14} 个，浮游动物损失量为1622.72t，底栖生物损失量为 137.61t，鱼卵损失量为 7.29×10^{8} 粒，仔稚鱼损失量为 2.01×10^{8} 尾，游泳生物损失量 9.62t。

6.5.5.2 补偿金计算

（1）计算方法

1）鱼卵、仔稚鱼和幼体经济价值的计算

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

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

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;头足类和甲壳类幼体按折算为最小成体规格重后计算。其中头足类平均成体的最小规格按 0.015kg/尾，虾类按 0.01kg/尾，蟹类按 0.1kg/尾折算。

E——鱼苗的商品价格，根据山东地区近多年来主要鱼类苗种平均价格，商品鱼苗的平均价格按 0.5 元/尾计。

2）成体和底栖生物的经济价值计算：

$$M=W\times E$$

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——生物资源的商品价格。根据山东地区海水产品小黄鱼、蓝点马鲛、口虾蛄、日本蟳等最小成体市场平均价格行情和山东地区渔业统计年报汇编中海洋捕捞产值与产量均值的比值计算，以及经咨询物价部门、市场调研，确定游泳动物和底栖生物按 1.0 万元/t 计。

（2）海洋生物资源补偿年限

根据中华人民共和国水产行业标准《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》的规定：①“占用渔业水域的生物资源损害补偿，占用年限 20 年以上的，按不低于 20 年补偿”；②“一次性生物资源的损害补偿为一次性损害额的 3 倍”；③“持续性生物资源损害，实际影响年限低于 3 年的，按 3 年补偿；实际年限 3～20 年的，按实际影响年限补偿”；影响持续时间 20 年以上的，补偿时间不应低于 20 年。

本项目风机和升压站占用区域影响持续时间 20 年以上，补偿时间按 20 年计算；施

工过程中产生的悬浮泥沙不是持续性排放，会很快消散且不会在同一区域持续施工 15 天，为一次性生物资源损害，采用一次性损害额的 3 倍计算；海缆埋设于海底下不小于 2m，施工时开挖和周边覆土区域在施工完成后会自然恢复，为一次性生物资源损害，采用一次性损害额的 3 倍计算。

（3）渔业资源损害经济价值

工程建设造成的生物资源损害补偿金额约为 3046.19 万元，补偿计算见表 6.5-6。建设单位作为生态补偿的责任主体，应采取增殖放流等生态修复和补偿措施，缓解和减轻工程对所在海域生态环境的不利影响，对建设造成生物生态的损失，其补偿措施应与当地渔业部门协商确定。

施工结束后，及时按规定采取生态修复和补偿措施，委托专业部门对生态补偿效果进行监测，并根据监测结果及时调整补偿措施。

表 6.5-6　工程海洋生物资源损害价值量估算

风机、升压站、高抗站管桩占用海域造成的生物损失补偿计算						
生物类型	损失量值		成活率或转化率	价格（元/尾,元/kg）	补偿倍数	补偿金
	W	单位	C	J	a	（万元）
底栖动物	110.28	kg	-	10	20	2.21
鱼卵	49605	粒	1%	0.5	20	0.50
仔稚鱼	13684	尾	5%	0.5	20	0.68
游泳生物	0.96	kg	100%	10	20	0.02
小计						3.41
电缆施工造成的底栖生物损失补偿计算						
生物类型	损失量值		成活率或转化率	价格（元/尾,元/kg）	补偿倍数	补偿金
	W	单位	C	J	a	（万元）
底栖动物	137.50	t	-	10	3	412.49
悬浮泥沙扩散造成的生物损失补偿计算						
生物类型	损失量值		成活率或转化率	价格（元/尾,元/kg）	补偿倍数	补偿金
	W	单位	C	J	a	（万元）
鱼卵	7.29E+08	粒	1%	0.5	3	1093.36
仔稚鱼	2.01E+08	尾	5%	0.5	3	1508.08
游泳生物	9.62	t	100%	10	3	28.87
小计						2630.30
合计						3046.19

6.5.6 对其他海洋资源的影响

项目所在海域风能资源较丰富，适宜开发海上风电项目。项目用海是对该海域风能资源的有效利用，且风能资源属于清洁的可再生能源，一般情况下本项目建设不会对其产生不利影响，项目建设符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，可减少化石资源的消耗，减少因燃煤等排放有害气体对环境的污染，对于满足当地电力负荷需求、促进地方经济快速发展将起到积极作用。因此，本项目建设对风能资源没有不良影响，

相反有效利用了海域的风能资源，有助于形成示范效应，推动海上风能资源的高效利用。

项目位于山东半岛东北部海域，项目与周边的滩涂、岛礁、港口等其他海洋资源有一定距离。总体上，项目对滩涂、岛礁、港口、矿产以及旅游等其他海洋资源基本无影响。

6.6 噪声影响预测与评价

本节内容主要依据《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》（中国科学院声学研究所北海研究站，2026 年 8 月），本次噪声影响分析主要参考其结论。

6.6.1 施工期噪声影响分析

（1）施工机械

施工现场的各类机械设备包括装载机、挖掘机、打桩机，还有电气接线埋设，疏浚噪声等，这类机械工程噪声是主要的海上施工噪声源。

（2）运输船只

施工中土石方调配、设备、材料等运输将动用大量运输船只，这些运输船的频繁行驶经过和施工将对施工海域产生较大干扰噪声。船舶噪声包括机械噪声、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。船舶机械噪声是船上各种机械振动通过基座传递引起船壳振动并辐射至水下产生的噪声，其来源包括机械运动不平衡产生的噪声、机械碰撞噪声以及轴承噪声等。机械噪声与船速的关联度较低，在低速情况下，螺旋桨噪声和水动力噪声的强度相对较小，船舶噪声主要为机械噪声。在高速情况下，螺旋桨噪声成为船舶噪声的主要成分。螺旋桨噪声的来源包括螺旋桨叶片振动以及螺旋桨空化。

（3）桩基打桩噪声

水下打桩可分为冲击打桩和振动打桩两类，冲击打桩使用水锤泵对桩施加冲击力将桩沉入地下，振动打桩使用旋转偏心块对桩施加交变力，通过振动将桩沉入地下（Blackwell，S.B.，2004）。水下冲击打桩是海洋工程的典型主要强噪声来源，其特点为高声源级，单次冲击表现为脉冲式宽频波形，而对于一根桩柱需要多次冲击才能完成作业，因此表现为连续多个脉冲的脉冲串。

（4）水下钻孔

水下钻孔也是本工程中重要的水下噪声源之一。

海上风电场施工中的主要噪声中，风机打桩施工噪声为主要的水下噪声源，将产生较大较强的水下冲击波噪声，对海洋生物产生一定的影响。

6.6.1.1 国内打桩施工噪声的类比监测

项目四桩导管架风机基础桩径3.4m，类比分析了国华渤中B2场址（单桩，桩径7.5m）和三峡山东牟平BDB6＃一期场址（四桩导管架，桩径2.5m）两个场址的打桩施工噪声。项目桩径介于2.5m和7.5m之间，打桩施工噪声理论上应介于渤中B2场址和BDB6＃一期场址之间。

（1）三峡山东牟平BDB6＃一期（300MW）海上风电项目打桩监测结果

三峡山东牟平BDB6＃一期（300MW）工程海上风电场场址中心离岸距离约50km，水深范围在33m~40m。项目安装36台单机容量8.35MW的风电发电机组，装机容量为300.6MW。风机采用四桩导管架基础，用4根钢管桩定位于海底，4根桩呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础。四桩导管架基础桩径2.50m，桩重158.88t。中科检测技术服务（广州）股份有限公司对其打桩施工噪声进行了类比监测。

监测结果表明，施工期水下噪声监测结果基本符合桩基础施工产生的噪声，具体为：打桩作业使海洋环境噪声急剧升高，声压振幅剧烈变化，同时在短时间内出现多个峰值和持续时间不等的脉冲波形。在不同距离脉冲波形的长度有较大的区别。

分析时长为9s一组，每组所得到的时域波形图均能观察到脉冲式信号，振幅剧烈并在短时间内规律性地产生多个声压峰值，且随监测站位距离桩基位置（即施工打桩位置）由近到远，声压峰值逐渐降低，但波形及频率大体相同，可以初步判断监测所测得的声压变化及频率信号为打桩施工所产生的噪声。

在离桩基100m深度2m处打桩噪声的峰值声压级为198.5dB；1km处的峰值声压级为186.9dB。100m处的峰值声压级分别比300m、500m和1000m处高出2.3dB、4.2dB和11.6dB。声暴露级反映冲击波噪声在1s内能量的累积程度，可见距离桩越近的测点单位时间内能量累积的越多，100m处比1000m处高出7.8dB。水下打桩噪声的峰值声压级、声暴露级都呈现随离桩心距离的增大而递减的结果。

（2）国华渤中B2场址打桩施工噪声

国华渤中B2场址工程项目位于山东省东营市北部海域，项目安装59台单机容量8.35MW的EW222-8500型风电发电机组，装机容量为501.5MW，B2场址面积70.6km^2。风电场场区水深17m~19m，场址中心离岸距离19km左右，配套建设一座220kV海上

升压站和陆上变电站。B2 场址采用单桩基础，单桩基础桩顶高程均为 11.60m（国家 85 高程系），钢管桩直径 7.50m，钢管桩为直桩，钢管桩厚壁为 65mm~90mm，重量 1220.6t，桩长 77.5m，平均入土深度约为 46.6m，采用整根管桩沉桩施工的方式，选择液压打桩锤作为施工打桩锤。

中科检测技术服务（广州）股份有限公司于 2022 年 11 月 6 日对国家能源集团国华渤中 B2 场址海上风电项目桩基打桩作业的工程海域打桩施工噪声进行了监测。以正在进行打桩作业的桩基为起点，距离其 300m、500m、700m 和 1000m 处各设 1 个站位，每个站位设置 3 个监测深度（2m、9m 和 16m），对不同距离的水下噪声进行比较。

在离桩基 300m 深度 2m 处打桩噪声的峰值声压级为 200.2dB；1km 处的峰值声压级为 186.6dB。300m 处的峰值声压级分别比 500m、700m 和 1000m 处高出 5.8dB、11.1dB 和 13.6dB。声暴露级反映冲击波噪声在 1s 内能量的累积程度，可见距离桩越近的测点单位时间内能量累积的越多，300m 处比 1000m 处高出 16.3dB。水下打桩噪声的峰值声压级、声暴露级都呈现随离桩心距离的增大而递减的结果。

6.6.1.2 工程施工打桩噪声源强评估

根据前文的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：

$$SL = 228.5 * D^{0.0672} \quad (6-1)$$

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

本工程风机四桩导管架桩径 3.4m，代入公式（4-1）中，可计算得到施工打桩的峰值噪声源强为 242dBre1μPa@1m。

6.6.1.3 水下噪声对海洋生物影响

6.6.1.3.1 施工期海洋生物安全距离要求

冲击式水下打桩为海上风电场施工期间可能最大的水下噪声源。工程风机四桩导管架基础峰值噪声源强取 242Bre1μPa@1m。采用《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T 0341-2022）推荐的声能传播损失计算公式计算冲击打桩施工对海洋生物的影响范围。当单根打桩施工时，计算得到项目海域的海洋动物保护距离为如表 6.6-1 所

示。

表 6.6-1 施工水下噪声影响预测表 单位：m

项目海域鱼类声源级保护阈值	四桩导管架施工（峰值源强 242dB）
196dB（超高频鲸目，TTS）	399m
202dB（超高频鲸目，PTS）	200m
212dB（海豹类食肉目，TTS）	63m
218dB（海豹类食肉目，PTS）	32m
213dB（无鱼鳔，致死或潜在致死）	57m
186dB（无鱼鳔，TTS）	1258m
207dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力无关，致死或潜在致死）	113m
186dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力无关，TTS）	1258m
207dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力相关，致死或潜在致死）	113m
186dB（有鱼鳔，鱼鳔与听力相关，TTS）	1258m
207dB（卵和幼体）	113m

6.6.1.3.2 施工噪声对海洋生物影响距离评估

（1）打桩施工的影响

对本工程所采用四桩导管架基础施工，在四桩导管架水下打桩施工时（单桩施工），对无鱼鳔的鱼类致死距离为 57m，对超高频鲸目的听力物理损伤保护距离为 399m，在 399m 范围之内，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，在 200m 范围内可能导致超高频鲸目永久性听力阈值漂移，因此确立 200m 范围内为危险区域；对海豹类食肉目在 63m 范围之内，打桩噪声可能会导致海豹类食肉目出现暂时性听力阈值改变，在 32m 范围内可能导致海豹类食肉目永久性听力阈值漂移，因此确立 32m 范围内为危险区域；对有鱼鳔的鱼类以及卵和幼体的潜在致死距离为 113m，物理损伤保护距离为 1258m，在 1258m 之内会导致有鱼鳔的鱼类出现暂时性听力阈值改变。

最新研究成果表明（周在明等，2016；牛富强等，2021），除了峰值声压级，还需考虑声暴露级作为评价指标，对于大黄鱼，行为干扰的声暴露级阈值为 150dB；伤害影响阈值采用峰值声压级表示为 207dB。**对于海洋哺乳动物，采用美国国家海洋渔业局现行采用的（过渡性）保护门限值，对鳍足目（如斑海豹）的听力保护范围为 190dB（均方根声压级），对鲸豚目（如江豚）听力保护范围为 180dB（均方根声压级），行为干扰影响阈值为 160dB（均方根声压级）。**

由工程经验参考数据得到：海上打桩单次锤击的有效脉冲持续时间 τ通常在 0.05 秒~0.2 秒（50ms~200ms）左右。由峰值声压级与均方根声压级的关系：

$$L_{p,rms(ls)} \approx L_{p,peak} - 10\lg\left(\frac{1}{\tau}\right)$$

当$\tau = 0.1s$时，预测本项目打桩施工产生的均方根声压源强为232dB。

1）斑海豹

在工程施工时，风机施工时在离桩基 126m 处，打桩所产生的水下噪声将达到190dB，可能会导致斑海豹听觉系统出现伤害。在离桩基3892m处，打桩所产生的水下噪声将达到160dB，对斑海豹造成行为干扰。

2）江豚

在工程施工时，风机施工时在离桩基 399m 处，打桩所产生的水下噪声将达到180dB，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。在离桩基3892m处，打桩所产生的水下噪声将达到160dB，对江豚造成行为干扰。

3）石首科鱼类

在工程施工时，风机施工时在离桩基 12.6km 处，打桩所产生的水下噪声将达到150dB，对石首科鱼类造成行为干扰。

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”，可以减小对海洋生物的影响。以上对海洋动物影响范围的预测是基于相似工程打桩水下噪声的源强类比得到的，但由于施工海域海洋环境、施工工艺等因素的不同，与实际影响范围可能存在差异。在施工时，尽量远离斑海豹和江豚栖息的海域，同时也要规避它们大量聚集活动的时间，选择在斑海豹和江豚非繁殖季进行作业。同时可以采取以下衰减措施，如封闭或非封闭的气泡帷幕、隔离套筒甚至是围堰后抽水再进行施工。（参考文献：苏冠龙，水下打桩噪声对我国珍稀海洋哺乳动物中华白海豚与斑海豹的影响研究，厦门大学，2023年）。

（2）其他施工活动的影响

工程的其他水下施工噪声，如施工船舶噪声、水下钻孔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，不会对鱼类和海豚等的行为产生影响。

（3）施工期水下噪声对海洋生物的累加影响

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。

水下打桩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。

丹麦国家环境研究所研究了海上风电场是否对活动于该海域中的斑海豹和灰海豹的影响研究（SvendTougaard，etal，2006），研究跟踪了从 1999~2005 年间风电场在施工期和营运期的水下噪声对海豹的影响。结论是：在风电场施工建设期，斑海豹的数量减少，但建设期结束，斑海豹又恢复原来数量，甚至增加；在该风电场施工打桩期，斑海豹的数量明显减少，在另一斑海豹繁殖地施工打桩期甚至没有见到斑海豹；但营运期风机的运转并没有对斑海豹产生影响。

风机基础打桩作业对该海域中的渔业资源将产生一定的影响，在打桩作业中应采取“软启动”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，即前几桩采取小强度的打桩措施，能驱使鱼类离开施工水域，可达到减小水下噪声导致渔业资源的损失，避免造成大范围鱼类死亡。

6.6.2 运营期噪声影响分析

营运期的水下噪声主要由风机运转而产生，尤其是低频噪声通过结构振动经塔筒、风机桩基等不同路径传入水中而产生了水下噪声。

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

6.6.2.1 营运期水上噪声评估

风力发电机组在运转过程中产生的噪声来自叶片扫风产生的噪声和机组内部机械运转产生的噪声，其中以机组内部的机械噪声为主。本项目采用的风机切入风速在 3m/s，额定风速为 12m/s，当风速达到或超过额定风速时，风机噪声源强（主要为空气动力噪

声）亦达到最高。当环境风速进一步升高时风机噪声不会进一步增强，而周围自然风和树木等的背景噪声会进一步提高，因此风电机组在额定转速条件下的噪声影响最为明显。

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》附录 C 推荐的预测模式，工程风力单台风力发电机组噪声采用最大声功率 114dB（A）计算。经预测单台风力发电机组衰减趋势如图 6.6-1 所示。可知在距风力发电机组直线距离 335m 处，噪声已衰减至低于 55dB（A）。

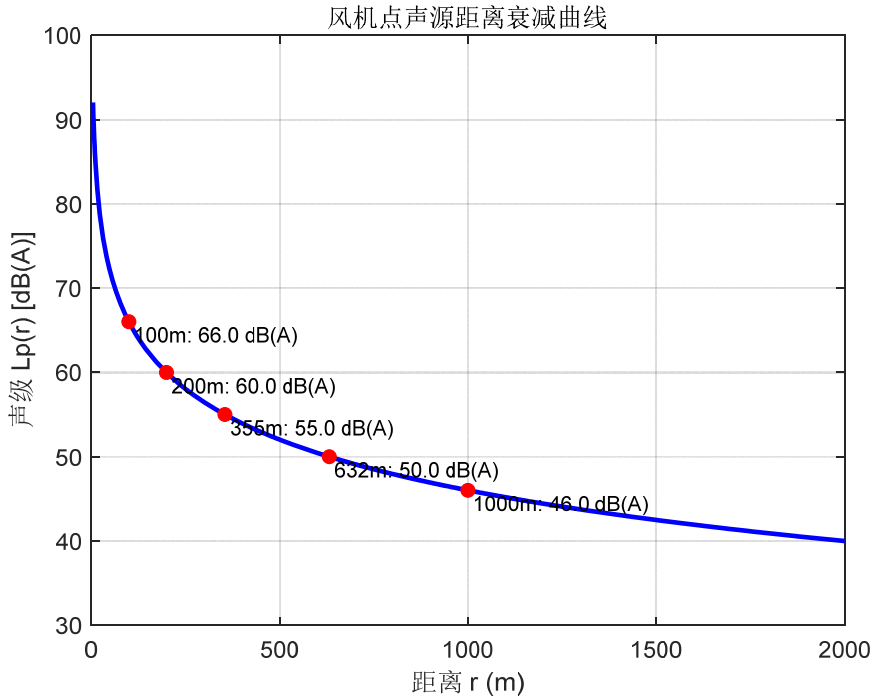


图 6.6-1　风力发电机组噪声衰减曲线图

表 6.6-2　风机噪声随距离衰减表单位：dB（A）

与轮毂直线距离 m	50	100	150	200	300	355	400	450	500	632	700	800
风机噪声 dB(A)	72	66	62.5	60	56.5	55	54	53	52	50	49.1	48

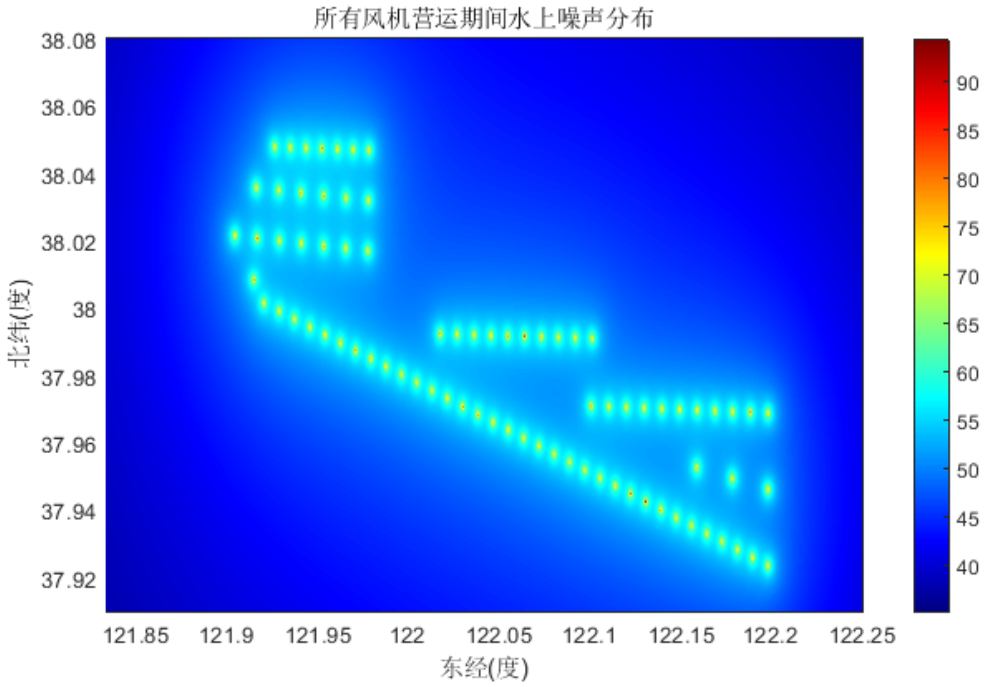


图 6.6-2 所有风机营运期水声噪声分布图

根据风力发电机组的特性，风力发电机组噪声具有指向性，即在顺风向的风机两侧噪声较大，垂直风向的风机叶片两侧噪声较小；而风机布置时为尽可能减小风机之间的尾流影响，控制湍流发生，一般在垂直于主风向上布置风机较多且间距较窄，而在主风向上布置的排数少且排距大，因此风力发电机组噪声叠加影响非常小，多台风机间仅是影响范围的扩大，基本不增加影响程度。

6.6.2.2 国内海上风电场营运期水下噪声类比分析

工程风机单机容量为 14MW，选取单机容量 16MW 的莆田平海湾海上风电场 DE 区项目和单机容量 12MW 的国家电投广东湛江徐闻海上风电场 300MW 增容项目开展水下噪声类比分析，结合两个类比项目的监测结果，具体分析如下：

从莆田平海湾海上风电场 DE 区项目监测结果来看，该 16MW 风机运营期水下噪声声源级为 158.9dBre1 μ Pa-m，声传播扩散系数为 12.7，噪声衰减介于球面波与柱面波扩展之间，衰减速度相对平缓，在距离设备中心 570m 处即可衰减至海域背景噪声水平，影响范围较施工期桩基施工噪声更小，整体声环境影响可控。相较于施工期高强度、高增幅、远距离扰动的桩基施工噪声，运营期风机运行水下噪声强度显著降低、背景增量极小、影响范围有限，对海域水生生物及周边声环境基本无不利影响，环境影响可接受。

从国家电投广东湛江徐闻海上风电场 300MW 增容项目（12MW）监测结果来看，该项目试运营期（2025 年 4 月）监测海域水下噪声压谱（密度）级在 46dB~136dB 范围内变化，水下噪声频带声压级在 82dB~146dB 范围内变化，各站位监测结果显示，风机

运行引起的噪声强度变化不大，基本与海域背景噪声水平相近，未对周边声环境及水生生物产生明显扰动。

综上，本工程 14MW 风机与 12MW、16MW 等级海上风机同属大兆瓦海上风电机组，机组运行原理、设备结构及噪声产生环节具有高度相似性。结合类比项目监测数据可知，大兆瓦海上风机运营期水下噪声均呈现强度低、衰减快、影响范围有限的特点，噪声水平基本接近海域背景噪声，对海域水生生物及周边声环境无明显不利影响。

本工程 14MW 风机营运期水下噪声声源级理论上小于 16.6MW 的声源级，按照 157dBre1μPa-m 计算，声传播扩散系数 12.7，海域背景噪声的最小全频带声累积压级为 124dB，因此可以计算得到在距离风机 397m 处基本与海域背景噪声相近。风机营运期水下噪声影响与类比项目基本一致，整体声环境影响可控，环境影响可接受。

6.6.2.3 空气和水中不同风速下风机的运行噪声

（1）风机在不同风速下空气中的噪声

风机涡轮的噪声声功率级与风速的关系可参考文献[G.P.vandenberg，2004]，其主要结论是在风机的切入风速到额定风速范围上，随着风速的增加噪声将增强，风速每增加 1m/s，噪声级约增加 1dB（A）/re20μPa。噪声功率级随风速的变化见表 6.6-3。

表 6.6-3 噪声功率级随风速的变化表

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

（2）不同风速风机在水下所产生噪声

图 6.6-3 为德国[KlausBetke 等，2004]研究的不同风机、对应不同风速下的噪声谱级，同时画出了海豹和鼠海豚的听阈曲线，图 6.6-4 为丹麦[JakobTougaard 等，2009]研究的海上风电场在两种不同风速下的噪声谱级分布图。风电场为丹麦 Middelgrunden 海上风电场，风机类型为 2MW。（图中，灰色为海洋背景噪声，蓝色为风机产生噪声；红色（正方形）为港海豹在该频段上的听阈曲线；红色（圆点）为鼠海豚在该频段上的听阈曲线）。

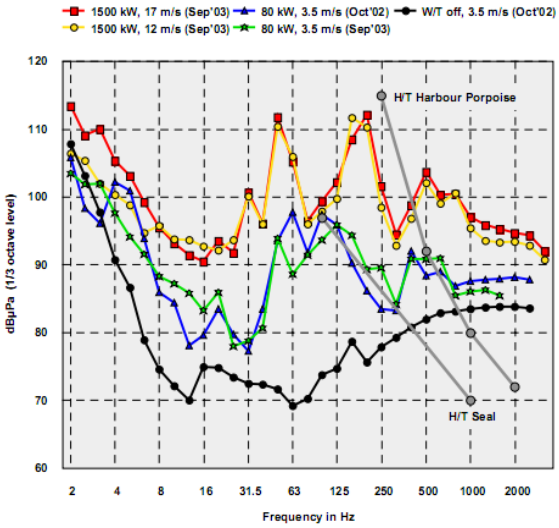


图 6.6-3　不同风机在不同风速下的水下噪声

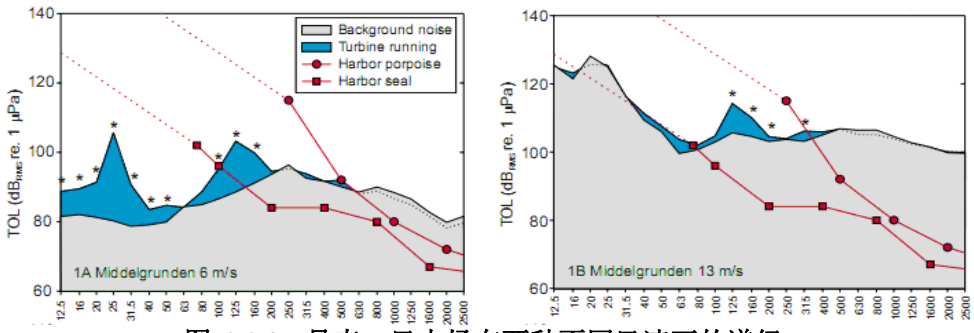


图 6.6-4　丹麦一风电场在两种不同风速下的谱级

为了分析风速对风机产生水下噪声的影响，项目组研究分析了单台 3MW 海上风电机组三个输出级确定级为：低输出、中输出和额度输出，对应于 3 个不同的风速情况：低风速（3—5m/s）、中风速（8m/s）、高风速（11—12m/s）。图 6.6-5 为厦门大学通过上海东海大桥现场测量所获得的水下噪声谱采用 1/3 倍频程频带声压级所反映的噪声源的频谱特性。

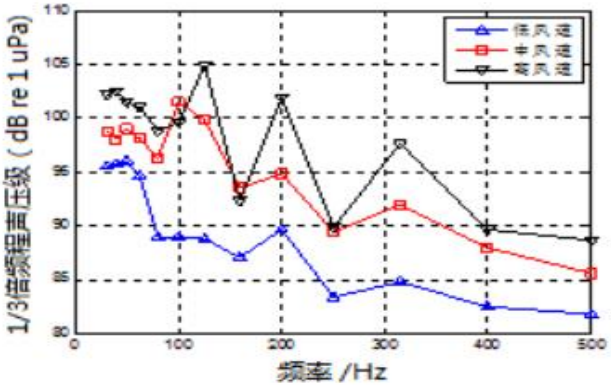


图 6.6-5　3.0MW 风机在不同风速（输出级）下的水下噪声谱级分布

从图 6.6-5 可以看出风速对水下噪声具有重要的影响。总体看风速越大，产生的水下噪声强度越大。3.0MW 风机，在中高风速时，具有 3 个主频，主频分布几乎一致，

而低风速时，第一个主频消失。不同风速下总声级变化不大，大致在 10dB/re1uPa 之内。

使用声传播模型来预测风机周边区域的水下噪声分布。利用简正波模型仿真 3.0MW 风机周边海域水下噪声分布，声源级采用最大输出级 125Hz 下具有的最大声源级 140dB 来计算。仿真其他参数设置如下：水深为 10m，声源深度 Sd=5m，接收深度 Rd=5m；

海水和海底为均匀介质，海水密度 pw=1000kg/m^3.海底密度 pb=1668m/s，海底声速 cb=1806m/s，海底的衰减系数 α=0.5dB/λ（λ 为波长）。

图 6.6-6 给出了风机运行中在两个峰值频率 100Hz 和 125Hz 下噪声强度随空间区域的变化仿真结果，可以看出风机产生的水下噪声强度较低，影响区域小。

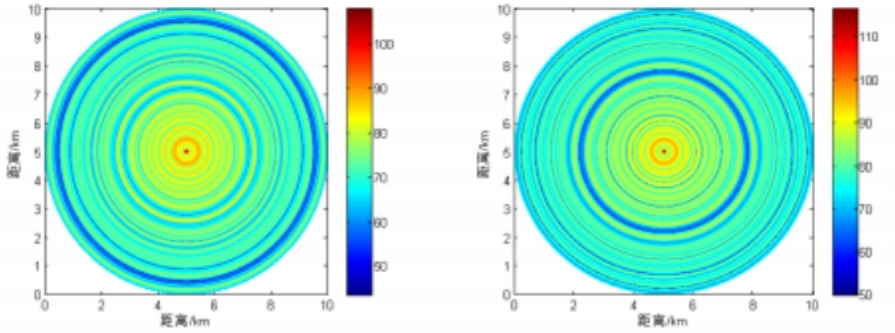


图 6.6-6 风机周边区域水下噪声强度分布（a）频率 100Hz（b）频率 125Hz

根据厦门大学对上海东海大桥、福建平海湾一期海上风电项目、如东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。不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段（63Hz 以下）风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在 125Hz 频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高 10dB/re1μPa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

6.6.2.4 营运期水下噪声影响结论

国内海上风电场营运期水下噪声类比监测结果显示：大兆瓦海上风机运营期水下噪声均呈现强度低、衰减快、影响范围有限的特点，在 397m 处即可衰减至海域背景噪声水平，在该范围外对海域水生生物及周边声环境无明显不利影响。整体声环境影响可控，环境影响可接受。

风机运行噪声无冲击打桩类高强度脉冲特性，不会对海洋生物造成听觉损伤、内脏损伤等急性不可逆伤害，但在风机机位近场局部水域，持续低频噪声可能对鱼类、海洋哺乳动物产生短暂行为干扰（如回避、迁徙等）。综合来看，风机运行水下噪声影响范围局限于机位近场小区域，评价范围内大部分海域噪声环境未发生明显改变，不会对海

洋生物造成显著不良影响，但需关注近场局部潜在干扰风险，同步落实机组减振降噪优化、运营期生态跟踪监测等保护措施，及时掌握生物活动及噪声环境变化情况。另外风电场的水下信号中存在大量的低频振动信号，而鱼类可以利用侧线感觉器官来感知振动信号，因此，风电场的低频振动信号对鱼类的长期影响还有待研究。

6.6.2.5 营运期水下噪声对海洋生物的影响

（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

基于厦门大学对已测量的大黄鱼、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。HoltD.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。

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*lgR，由此可以得到风电场噪声的最大影响距离公式：

$$20 * lgR = N_{1/3OBSL}(f_p) - Sig_{1/3OBSL}(f_p) + 10$$

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

其中，为黄姑鱼自由状态发声信号最大 1/3 倍频程声压级对应的中心频率，$N_{1/3OBSL}$ 和 $N_{1/3OBSL}$ 分别为风电场噪声和黄姑鱼发声信号的 1/3 倍频程声源级。

根据对黄姑鱼发声信号的监测分析，黄姑鱼自由状态发声信号与离风机 100m 处测得的风电场水下噪声的 1/3 倍频程声压级分布如图 6.6-7 所示。其中黄姑鱼自由状态发

声信号的 1/3 倍频程声压级为 120 个发声信号分析样本的平均值。由图可知黄姑鱼自由状态发声信号最大 1/3 倍频程声压级对应的中心频率为 630Hz。在 630Hz 中心频率处黄姑鱼发声信号的 1/3 倍频程声压级为 133dB。

由《莆田平海湾海上风电场 DE 区项目竣工环境保护验收调查报告》调查结果可知，风电场噪声 1/3 倍频程频带声压级在中心频率 630Hz 处，距离风机 200m、400m 的值分别为 110.2dB、111.1dB。

根据声传播损失按球面扩散规律估算公式，不同接收距离计算得到的中心频率 630Hz 距离 1m 处风电场噪声的 1/3 倍频程声压级为 110.2+20*lg200=156.2dBμPa/1m、111.1+20*lg400=163.1dBμPa/1m。

将 200m、400m 处计算得到的 1/3 倍频程声压级进行能量平均，可得海上风电场噪声在中心频率 630Hz 距离 1m 处风电场噪声的 1/3 倍频程声压级为 164dB。

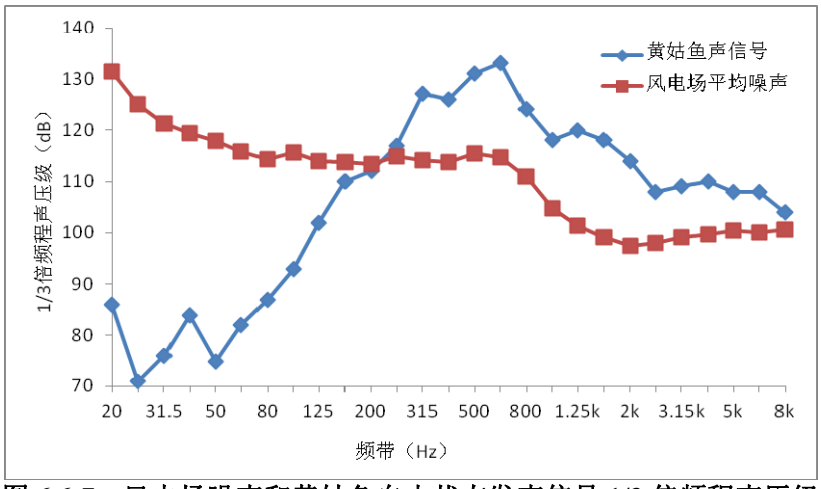


图 6.6-7　风电场噪声和黄姑鱼自由状态发声信号 1/3 倍频程声压级

由图 6.6-7 中可得，在离风机 200m 处海上风电场水下噪声中心频率 630Hz1/3 倍频程的声压级为 110.2dB，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：

$$R=10^{((155-133+10)/20)}=112\text{m}$$

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 112m。

②风电场营运期水下噪声对大黄鱼的影响距离预测

根据文献中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/re1μPa、125dB/re1μPa、

140dB/re1μPa。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 10lgΔfi，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/re1μPa、146.6dB/re1μPa 和 161.6dB/re1μPa。

由公式可分别算得：海上风电场在营运期中水下噪声对幼鱼大黄鱼叫声的影响距离为 132m，对 6 个月的大黄鱼叫声的影响距离为 24m，而对成鱼大黄鱼叫声的影响距离为 5m。

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 132m。

（2）营运期水下噪声对一般成鱼的影响

结合类比的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，结合本项目位于区域。水深 55~59m，该处海域宽阔，场区内未见岛屿、礁石分布，水下地形较为平坦，属海积地貌单元，为典型的浅海水声传播信道，噪声在水下传播衰减较快等特点，可以得出：本风电场营运期所带来的轻微的水下噪声增加对一般鱼类等海洋生物影响在可以接受范围内，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。

（3）营运期水下噪声对鱼卵、仔鱼以及底栖生物的影响

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

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

欧洲鳎分布在北海、地中海，向南到塞内加尔直至佛得角，栖息水深范围是 0～150m，在海底的底泥或沙子中埋栖生活。荷兰学者研究了海上风电场噪声对鳎鱼幼体（solelarvae）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）刺激鳎鱼幼体，根据鳎鱼幼体的身体发育程度，把鳎鱼幼体分为 4 个阶段的鳎鱼幼体，观测每个阶段鳎鱼的死亡率。结论是：在两个实验阶段中，

不管何种噪声刺激何种发育阶段的鳎鱼幼体，与对照组相比（即未进行噪声刺激），鳎鱼幼体的存活率没有明显的差别，这表明这些鳎鱼幼体能够忍受峰值声压级高达 211dB 打桩噪声的刺激（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。鳎鱼幼体发育期间只有部分阶段有一个鱼鳔。这可能是在第 1 阶段和第 2 阶段中，噪声对幼体无明显影响的原因。然而，对大菱鲆仔鱼的卵黄囊观察研究中发现，噪声对其显著影响，且这时幼体并没有鱼鳔（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。

（4）营运期不同风速水下噪声海洋生物影响

不同风速（风速分别为 6m/s 和 13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在 125Hz 频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高 10dB/re1μPa 左右，但总体都不高，与海洋背景噪声相当。除了在离桩基 132m 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。

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

6.6.3 评价结论

6.6.3.1 施工期水下噪声影响

（1）依据《人为水下噪声对海洋生物影响评价指南》（HY/T 0341-2022），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基础施工，在四桩导管架水下打桩

施工时（单桩施工），对无鱼鳔的鱼类致死距离为 57m，对超高频鲸目的听力物理损伤保护距离为 399m，在 399m 范围之内，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，在 200m 范围内可能导致超高频鲸目永久性听力阈值漂移，因此确立 200m 范围内为危险区域；对海豹类食肉目在 63m 范围之内，打桩噪声可能会导致海豹类食肉目出现暂时性听力阈值改变，在 32m 范围内可能导致海豹类食肉目永久性听力阈值漂移，因此确立 32m 范围内为危险区域；对有鱼鳔的鱼类以及卵和幼体的潜在致死距离为 113m，物理损伤保护距离为 1258m。在 1258m 之内，会导致有鱼鳔的鱼类出现暂时性听力阈值改变。

同时考虑打桩噪声对海洋生物的行为干扰。采用美国国家海洋渔业局现行采用的（过渡性）保护门限值，对鳍足目（如斑海豹）的听力保护范围为 190dB（均方根声压级），对鲸豚目（如江豚）听力保护范围为 180dB（均方根声压级），行为干扰影响阈值为 160dB（均方根声压级）。

①斑海豹

在工程施工时，风机施工时在离桩基 126m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 190dB，可能会导致斑海豹听觉系统出现永久性伤害。在离桩基 3892m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 160dB，对斑海豹造成行为干扰。

②江豚

在工程施工时，风机施工时在离桩基 399m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 180dB，对江豚造成永久性伤害。在离桩基 3892m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 160dB，对江豚造成行为干扰。

③石首科鱼类

在工程施工时，风机施工时在离桩基 12.6km 处，打桩所产生的水下噪声将达到 150dB，对石首科鱼类造成行为干扰。

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”，可以减小对海洋生物的影响。以上对海洋动物影响范围的预测是基于相似工程打桩水下噪声的源强类比得到的，但由于施工海域海洋环境、施工工艺等因素的不同，与实际影响范围可能存在差异。在施工时，尽量远离斑海豹和江豚栖息的海域，同时也要规避它们大量聚集活动的时间，选择在斑海豹和江豚非繁殖季进行作业。同时可以采取以下衰减措施，如封闭或非封闭的气泡帷幕、隔离套筒甚至是围堰后抽水再进行施工。（参考文献：苏冠龙，水下打桩噪声对我国珍稀海洋哺乳动物中华白海豚

与斑海豹的影响研究，厦门大学，2023 年）。

（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，但船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。

（4）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”，以驱赶海洋鱼类游离作业区，到达一定距离外的安全海域。

6.6.3.2 营运期水下噪声影响

（1）国内海上风电场营运期水下噪声类比监测结果显示：大兆瓦海上风机运营期水下噪声均呈现强度低、衰减快、影响范围有限的特点，在 570m 处即可衰减至海域背景噪声水平，在该范围外对海域水生生物及周边声环境无明显不利影响。整体声环境影响可控，环境影响可接受。

（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 132m。

（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。

6.7 电磁环境影响预测与评价

本节内容主要依据《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目水下噪声及电磁环境对海洋生物影响专题研究报告》（中国科学院声学研究所北海研究站，2026 年 8 月），本次噪声影响分析主要参考其结论。

项目电磁环境来源主要有两部分：海上 500kV 升压站和高抗站、风电场内 66kV 和风电场外 500kV 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。

6.7.1 风电场内海底电缆电磁环境分析

文献（Kadomskaya,K.P.，Kandakov,S.A.，2005）采用有限元分析法和工程估计法，给出了海底电缆周围不同距离处海水的电流密度衰减情况，如表 6.7-1 所示。

表 6.7-1 某型 35kV 海底电缆周围不同距离处海水的电流密度衰减情况

距离 m	海底电缆设计的电流密度，10^{-3} A/m^2				
	单芯海底电缆				三芯海底电缆
	并行裸露放置		三角形紧密放置		
	有限元分析	工程估计	有限元分析	工程估计	有限元分析
0.00	71.0	72.3	13.5	9.78	0.048
0.25	50.0	50.5	2.01	2.05	0.033
0.50	45.5	44.2	1.14	1.07	0.009
1.00	39.5	37.9	0.60	0.55	0.001
2.00	34.0	32.6	0.26	0.28	≈0

由表 6.7-1 可见，对于并行裸露放置的单芯海底电缆，有限元分析方法和工程估计方法误差不超过 2%~4%；对于三角形紧密放置的单芯海底电缆，对于电缆表面的电流密度计算，两者差异达 27%，但是超过 0.25m 后，两者的误差即控制在 4%~8%之内，仍在可接受的范围之内。事实上，海底生物对电磁环境的电流密度的敏感阈值在一个比

较宽的范围内。文献（Kadomskaya,K.P.，Kandakov, S.A.，2005）指出，由海底电缆引起鱼类的刺激反应（emergence of excitation）和抑制反应（immobilization reactions）的电流密度阈值为 $\left.\begin{aligned}\delta_{0exc}&=0.01\sim0.15A/m^2\\ \delta_{0imm}&=0.05\sim0.25A/m^2\end{aligned}\right\}$。

根据表 6.7-1 可对 35kV 电缆的电流密度衰减仿真结果，分析可知本项目电缆为66kV，高于前者，但采用三芯海底电缆，可大幅降低电磁辐射，使其快速衰减至引起鱼类刺激反应的电流密度阈值以下。图 6.7-1 是文献（R.A. Voitovich, K.P. Kadomskaya，1999）采用工程估计法，求得的 110kV 单芯海底电缆采用沟槽三角紧密型放置和并行裸露放置的电流密度的对比结果。由图 6.7-1 可见，当距离大于 0.3m 以后，沟槽三角紧密型放置方式的电流密度约降到并行裸露放置方式的 1/4。

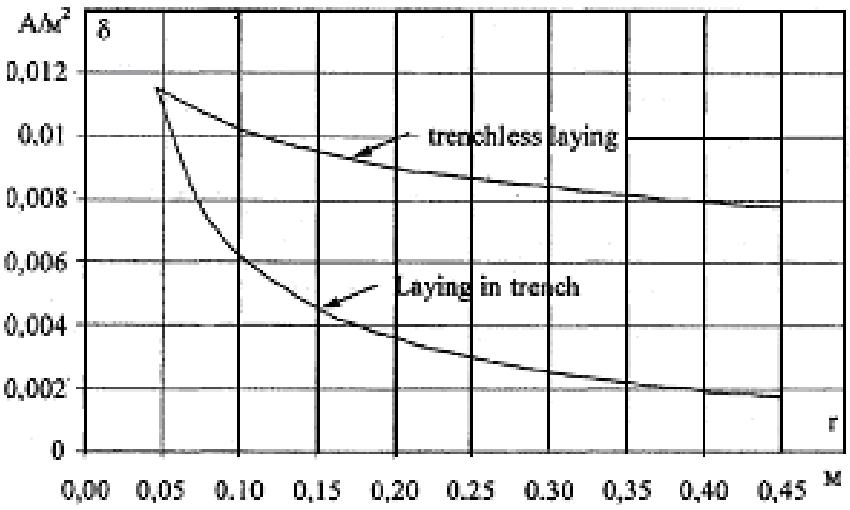


图 6.7-1 海底电缆不同放置方式对不同距离的电磁辐射影响对比

6.7.2 送出电缆电磁环境分析

风电机组发出电能通过 66kV 海底电缆接入海上升压站，经升压及换流后通过 2 根±500kV 交流海缆登陆

（1）±500kV 交流海缆

目前陆上埋地电缆运用较多，陆上电缆电磁场传播介质为空气，海底电缆电磁场传播介质为海水，但海底电缆与陆上电缆均埋设于地下，土壤和海底沉积物对电磁场均有一定的屏蔽作用，因此类比陆上电缆线路有较好的可比性。

根据浙江省辐射环境监测站对我国首个全地下 500kV 输变电工程电磁环境监测。该工程的线路工程由 500kV 进线 2 回，220kV 进线 14 回。测量为在变电站地下电缆进出线段的工频电场和工频磁场进行剖面测量。

地下电缆剖面监测结果显示：在距离电缆剖面 50m 范围内，各监测点的工频电场强度为 4.01~6.04V/m，远小于 4kV/m 标准要求；各监测点的工频磁场强度为 1.05~62.43μT，远小于 0.1mT 标准要求。监测结果表明工频电场强度和工频磁感应强度与工程建设前电磁环境水平相当，工程对电磁环境基本无影响。

（2）66kV 集电海缆场内叠加效应分析

对于风电场 66kV 场内海底电缆，由本工程风机机群集电线排布可知。本评估采用 6 根平行排列的海底电缆来进行分析，采用 AnsoftMaxwell2D 软件中的交流传导场进行仿真评估。图 6.7-2 和图 6.7-3 分别为 66kV 海底电缆在不同相位下的电场强度。由图可知，电场严格限制在每个核内部，这是由于假设理想条件下的电缆金属护套完全接地。仿真结果与理论分析相吻合。

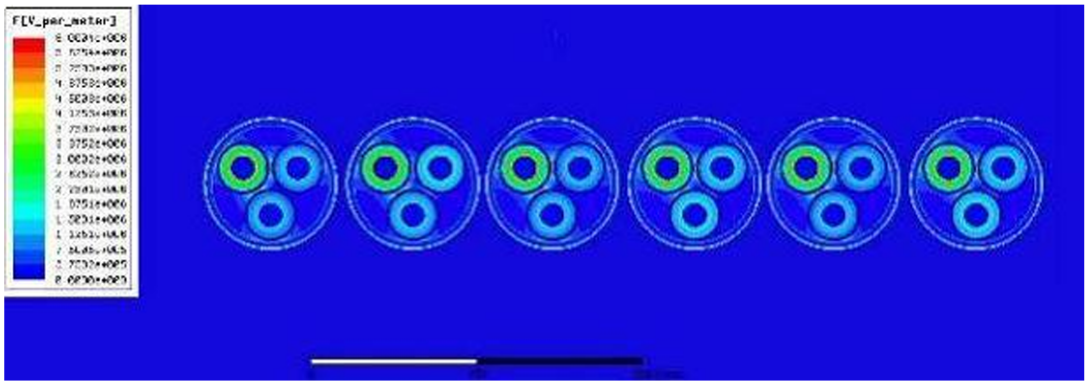


图 6.7-2　相位为 0°的电场强度 E（不同颜色表示的范围为 0~106V/m）

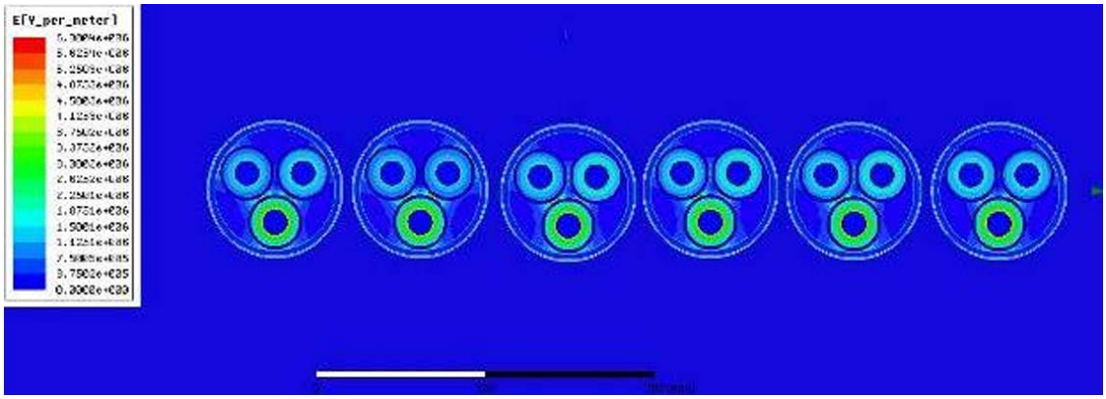


图 6.7-3　相位为 0°的电场强度 E（不同颜色表示的范围为 0~106V/m）

由麦克斯韦方程组可知，变化的电场将产生磁场，并且通过交流电存在于每一相导线，这些时变的磁场使得周围媒质感应出电场，并且导体中存在涡流，下面采用涡流场求解器仿真磁场强度和磁感应强度。

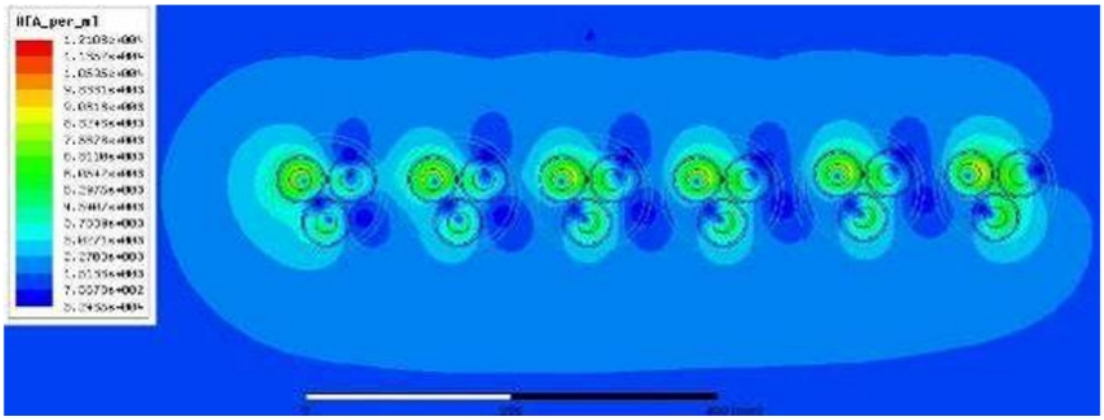


图 6.7-4　海底电缆相位为 0°的磁场强度 H（不同颜色表示的范围为 10-4~104A/m）

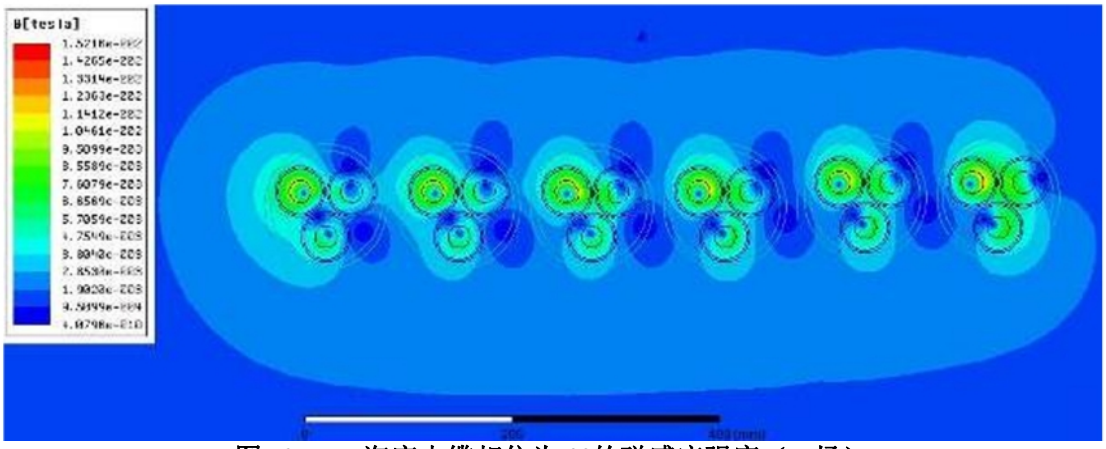


图 6.7-5　海底电缆相位为 0°的磁感应强度（B 场）
（不同颜色表示的范围为 10-10~10-2T）

图 6.7-4、图 6.7-5 分别给出了 6 根电缆并行排列时的磁场强度和磁感应强度。由图可见，并行排列的 6 根电缆磁感应强度的叠加效应将使衰落呈椭圆分布，但总体强度随着距离的增加而减少，而且衰减越来越严重，在离电缆中心点 1m 外的区域中磁感应强度已经降到 1μT 以下。评价结论表明，风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于 66kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 1μT 以下；对于 500kV 海底电缆，在距离电缆线 20m 外，磁感应强度已降在 10μT 以下。据本项目实验室模拟实验，对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物（梅童鱼、白姑鱼、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎；虾类和贝类有对虾，口虾蛄；菲律宾蛤仔等）等海洋生物的影响在可以接受范围。

6.7.3 海上升压站和高抗站电磁环境影响分析

参考广东省东莞市环境监测中心站对东莞市某 500kV 变电站及输电线路电磁场水平调查，对本工程海上升压站电磁环境类比分析。

表 6.7-2　可类比性分析一览表

变电站		东莞市某 500kV 变电站	本项目海上升压站
电压等级		500kV	500kV
主变压器	容量	总容量 3000MVA	/
	形式	三相有载调压变压器	三相有载调压变压器
电气布置形式	500kV、200kV、35kV 三个电压等级布置	户内 GIS 布置	户内 GIS 布置
站区地形		四周围墙高 3m，东侧是果园，南侧是道路，西侧是农田菜地，北侧是山地果园，地形开阔	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 6.7-2 可见，东莞市某 500kV 变电站在布置、地形等方面均与本项目海上升压站较为相似。根据变电站工频电场强度产生的原理，其强度仅与电压等级有关，主变容量对工频电场强度基本无影响；工频磁感应强度与主变容量有关，其强度与主变电流大小成正比，可通过外推法进行类比预测。因此，可选用东莞市某 500kV 变电站作为类比对象。东莞市某 500kV 变电站的主变压器有 5 台，总容量为 3000MVA 站内有 500kV\200kV\35kV 三个电压等级。变电站四周空旷，环境干扰因素少。调查在变电站四周设置了 14 个环境监测点位，并根据电磁场水平较高点，选取衰减监测点线，布设 10 个电磁场睡觉监测点，开展瞬时巡测。每个监测点连续测量 6 次，每次测量时间 15s，记录和计算 6 个测量数据的平均值作为该点的监测结果。东莞市某 500kV 变电站工频电磁场类比监测结果见图 6.7-6、图 6.7-7。由图中可见，随着离变电站距离的增大，工频电场水平先增高后降低，在 20m 处出现峰值后，工频电场水平呈下降趋势：工频电场强度分布在 721.1V/m~197.8V/m 之间；磁感应强度分布在 0.4617uT~0.1018uT 之间，均低于导则推荐的居民区评价标准（工频电场强度≤4kV/m，工频磁感应强度≤0.1mT）。因受 500kV 出线影响，围墙工频电场强度随着距离的增加呈先减少后增大再减少的趋势，工频磁感应强度随着围墙距离的增加总体呈衰减趋势。

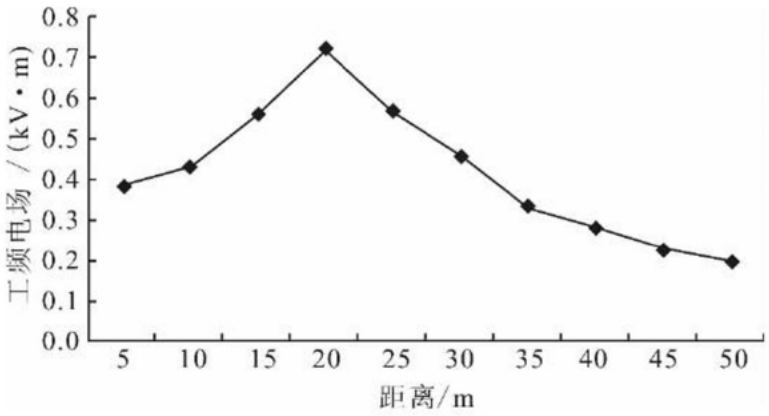


图 6.7-6　变电站外电场强度随距离的变化

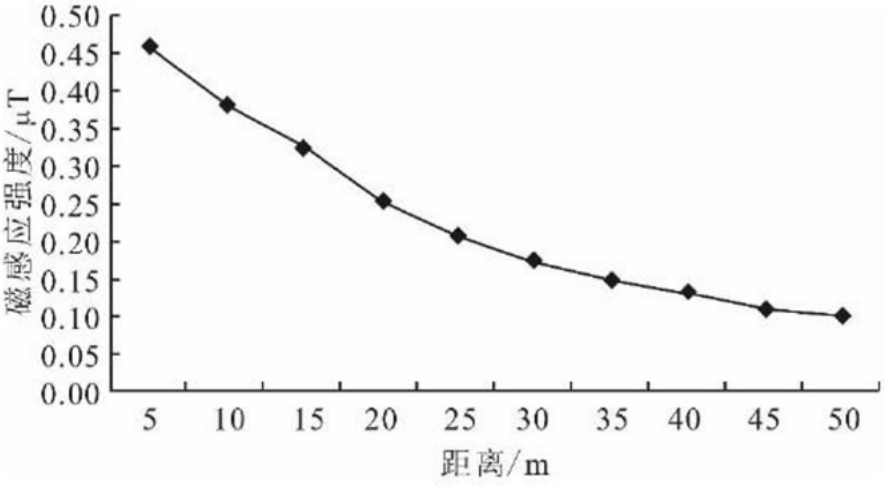


图 6.7-7　变电站外磁感应强度随距离的变化

项目 500kV 海上升压站所产生的电场强度及工频磁感应强度与东莞某 500kV 变电站电磁环境类比监测结果相类似，同时考虑到海上环境开阔，电磁扩散损失条件更好，因此可以预测，500kV 海上升压站的最大电场强度及最大磁感应强度均能满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

6.7.4 电磁环境对海洋生物影响分析

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。

厦门大学研究了不同强度（0.3mT，0.6mT，1.2mT）交流电磁场持续作用（48 小时）对大黄鱼、半滑舌鳎、矛尾鰕虎鱼、口虾姑、日本对虾、菲律宾蛤仔、缢蛏等 7 种海洋生物的影响，评价指标包括生物肌肉、肝脏、血液的碱性磷酸酶（AKP），酸性磷酸酶（ACP），超氧化物歧化酶（SOD）的活性，通过单因素方差分析有以下结论：

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

（2）无论是工频电磁场还是噪声对于 7 种海洋生物的碱性磷酸酶（AKP）的活性

的影响都不及酸性磷酸酶的影响显著。甲壳类的碱性磷酸酶水平均无显著性变化，鱼类肌肉中该酶的活性亦有部分显著升高；

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

因此可以发现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，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。但是磷酸水解酶活力的激活或抑制仅能表明有机体能够感知环境的变化，并不能断定环境条件的变化对生物体是有利还有害。

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没有科学的定论。

行为学研究显示鱼类是能够感觉到电场的，但是目前所知这种影响是较小的。Formicki 等（2004 年）对很多种鱼进行研究发现，如鲈鱼（*Percafluviatilis*）、白斑狗鱼（*Esoxlucius*）、拟鲤（*Rutilusrutilus*）、红眼鱼（Scardinius erythrophthalmus）、鲷科鱼东方欧鳊（*Abramisbrama*）和鲈科鱼梅花鲈（*Gymnocephaluscernuus*）等都趋于选择镶有磁铁的长袋网。但这些研究都是以淡水鱼类为研究对象，因此与海水鱼类相比磁场反应有可能不同。在 Nishi、Kawamura 和 Matsumoto（2004）的研究中发现，无论是在海水中、淡水中还是在养殖区域的日本鳗鲡（*Anguillajaponica*）均会对 12663nT~192473nT 的磁场变化产生反应。以上科研成果为实验研究的结论，仅能说明特定鱼类可能对磁场产生反应。

Westerberg 和 Begout-Anras（2000）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遥测研究。研究表明，鳗鲡随着持续的磁性罗盘航向迁移，并没有受到电缆产生的电磁异常影响。此外，Westerberg（1994）从研究的角度测试了南波罗的海近岸风力发电机附近的欧洲鳗鲡的洄游形式，在风力发电机 500m 范围内，鳗鲡的洄游形式没有发生任何改变。

在 Westerberg 和 Lagenfelt 的一项未发表的研究中，将 60 尾正在洄游的银鳗放流于奥兰岛和瑞典大陆之间的 132kV 交流电缆（AC）北部。其洄游速度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。

本项目海上升压站和高抗站占地面积小，电磁影响范围有限，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。根据类比陆上电缆线路磁场分布可知，本项目海底电缆上方 1m（中心处）工频磁感应强度远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）公众暴露控制限值 0.1mT，基本可以判定本项目产生的电磁对场址附近的海洋生物影响较小。

6.8 对鸟类的影响

本节分析内容和结论引自《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目鸟类生态环境现状调查与影响评价报告》（山东大学，2026 年 8 月）。

6.8.1 施工期对鸟类的影响分析与评估

（1）风电场施工对鸟类影响分析

项目施工期对鸟类主要影响因素有：风力发电机组基础施工、风力发电机组安装、海上升压站建设、船舶运输等施工活动。各种施工机械如施工和运输船舶、风机基础承台施工、海上整体吊装、海上电缆开挖、高压水枪冲散以及抛石等施工活动所产生噪声、干扰，会对风电场施工区及周边的水鸟产生一定的影响。

根据研究成果，当环境噪声持续超过 75dB（A）时，有可能造成鸟类行为变化（易春凤，2023），结合陆域噪声影响分析，施工期可能会对周边鸟类活动产生潜在影响。为减轻施工期噪声对鸟类的干扰，本项目采取以下保护措施：应选用低噪声施工设备，严格依照《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ2034-2013）附录 A 中规定的限值控制各类施工机械的噪声源强；加强设备的日常维护与保养，确保其处于良好运行状态，避免因设备老化或故障产生额外噪声；优化施工组织，减少高噪声作业时段，并严禁鸣笛等突发性高强噪声行为；同时鸟类跟踪监测期间重点关注施工期对施工场地周边鸟类活动的实际影响。

本海上风力发电场所在区域水深较深，且距离海岸和滩涂很远，仅有少量鸥类在此活动，项目建设期间的噪声较大可能会影响施工区内鸟类的正常觅食。另一方面，建设期间将会暂时性对海洋底栖生物和鱼类造成影响，进而影响鸟类的食物链，影响鸟类的正常觅食。但由于本项目的施工属于短期行为，建成后的影响仅限于风机周边，对水域的扰动影响有限。另外，由于鸟类具有规避性，可以通过主动规避来选择其他地点觅食。因此，海上建设期间对鸟类的影响总体非常小。

对于生活在其他区域内的绝大多数鸟类，比如鸻鹬类、鹭类、猛禽和雀形目鸟类等，由于其栖息和觅食的地点远离海上风电场的建设区域，因此不受海上风电场建设的影

响。

（2）海上升压站建设对鸟类的影响分析

本项目的海上升压站位于风电场内，其建设的影响和风电场建设对鸟类的影响比较一致，即仅对极少数鸥类的觅食会有影响，但总体非常小，对其他鸟类没有影响。

（3）海缆铺设对鸟类的影响分析

本风电场的海缆主要分为两部分：其中一部分为各发电机组至海上升压站，另一部分为海上升压站至陆地集控中心。第一部分的施工位于风电场的运行区域内，因此对鸟类的影响和风电场施工的影响一致，影响不大。海缆登陆点和陆地集控中心所在位置非鸟类繁殖地及重要栖息地，对鸟类的繁殖没有影响。海缆铺设会对海洋鱼类等部分鸟类的食物分布产生一定影响，进而影响鸥类等鸟类的觅食行为，建设期间应予注意。

此外，海缆铺设期间的噪声也需要控制，进一步降低对随船只活动的鸟类的影响。

海缆铺设期间，应注意控制夜间施工灯光的使用，夜间迁徙鸟类可能会受到灯光影响。因此，在候鸟迁移期间，应严格加强灯光使用管理，尽可能减少光对其产生的干扰。在鸟类迁徙高峰期要严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少对外界的漏光量，尤其是在大雾、小雨、强逆风或无月的夜晚，应停止施工。

6.8.2 运营期对鸟类的影响分析与评估

欧洲风能协会（EuropeanWindEnergyAssociation，EWEA）（2009）的报告表明，风电场的存在均会造成水禽、鸥类和雀形目等鸟类不同程度的死亡。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升压站所在海域，对于远离该海域的鸟类并没有影响。而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。对鸟类的影响主要体现在两个方面：觅食和迁徙。

（1）对鸟类觅食的影响

建成后，本项目对鸟类的影响将主要局限于海洋生境中，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，甚至不排除发生风机与鸟类碰撞的可能性。由于鸟类本身有趋避行为，风机对其影响相对比较有限。但根据对山东滨州和东营沿海地区陆地风电场的鸟类调查结果，同样生境下，有风机和无风机区域的鸟类种类组成及数量并无显著差异（石婷婷等 2019）。

由于鸟类与风机发生撞击取决于多种因素：鸟类种类、数量、行为特点、天气状况等（Furnessetal.2013）。通常来说，翼展较大的鸟类撞击风险更高（Brownetal.1992），恶劣天气下撞击风险更高（LarsenandClausen2002）。结合本地区鸟类的生活习性、时

空分布特点以及风电场的实际位置，有着较大撞击风险的主要为一些大型且飞行相对较缓的鸥类，对其他鸟类没有影响。其中西伯利亚银鸥、黑尾鸥、红嘴鸥等受影响的可能性较大，且存在一定的撞击风险。这几种鸟类的翼展都超过一米，会在海洋生境中觅食。根据观察以及半岛北 6 号 1 期的监控录像资料，上述鸥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 23~269m 之间，因此鸟类有一定的概率会撞到风力发电机的叶片。

鸟类视觉极为敏锐，反应机警，能够发现并躲避障碍物，在飞行途中遇到障碍物都会在大约 100～200m 的距离下避开。因此，在天气晴好的情况下，鸟类误撞风电机的概率极小。根据在山东潍坊、滨州和东营沿海地区已建成的陆上风电场观察，鸟类在通过风电场区域时，会主动规避，从风机叶片影响不到的范围内飞过，并未发现有鸟类撞风机死亡的现象（石婷婷等 2019，张欠欠 2019）。但是，为了更好地解决调查评价范围风能资源开发和候鸟资源保护之间的矛盾，建议长时期对鸟类进行连续观测，并在风电场周围建立鸟类观测站，加强对风电场区域鸟类生活习性（栖息、觅食、迁飞）的观察。

（2）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，而当它们绕开或飞越山峰时往往会距离山顶很近，从而更容易接近风力发电场（Duchamp2003），增加了发生碰撞的机率。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（Osbornetal.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（Langstonetal.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（Drewittetal.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（Higginsetal.1996，Osbornetal.1998），因此，风电场的建设应尽量避开鸟类迁移路线。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（Langstonetal.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，关于噪声是否会增加迁徙鸟类与涡轮机碰撞概率的研究较少。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。

在本项目场址及其周边邻近地区中，有 191 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。其中有卫星追踪研究的鸟类中，有 37 种的卫星追踪路线显示有个体经过风机所在海域或者周边海域。另外，根据目前的研究，项目区域东北侧 200km 的鸭绿江入海口是重要的候鸟迁徙停歇地，部分在该地停歇的候鸟在迁徙季节可能会在胶州湾以及江苏东部海岸的鸟类停歇地停歇，其中部分鸟类可能会途经项目区域，但该路线的迁徙鸟类以鸻鹬类为主。已有研究表明，在辽宁东部岛屿繁殖的黄嘴白鹭种群迁徙时会直接跨海飞到山东半岛区域，有一定的概率会经过风力发电场所在区域。一些在西伯利亚东部繁殖的雁鸭类在迁徙季节也可能会有个体经过本项目区域。

风机排列垂直于鸟类主要飞行方向时，风力发电场的屏障效应最强。另外，从风机间距过小形成“风墙”时，鸟类倾向从边缘绕行，增加边缘碰撞风险。具体到本项目而言，其风机在东西向完全平行时，最小间距约 500m，对于一些雁鸭类来说，间距略小，但绝大多数风机的最小间距一般在 700m 以上，有相对安全的距离供白天迁徙的鸟类安全通过。

此外，项目东北侧规划有 N2 风电场，需要考虑风电场的规模与累积效应：单个风电场影响可能有限，但多个风电场沿迁徙路线累积建设，其屏障和栖息地丧失效应会显著放大。N1 和 N2 场址的整体东西跨度达 27km，南北跨度约 14km，对于迁徙鸟类来说，如果需要绕行，可能需要比原先直接跨域要多飞行半个小时至一个小时，会增加不必要的能量消耗。因此，需要充分考虑 N1 和 N2 项目的综合影响。

受研究条件的限制，国内目前对于鸟类跨海迁徙飞行高度的研究数据比较缺乏，且 GPS 的高度数据仍不够精确。根据项目组成员秋季在大连老铁山对沿长岛—老铁山迁徙鸟类的飞行高度观察以及在渤海湾对跨渤海湾迁徙鸟类飞行高度的观察，绝大多数鸟类跨海飞行高度均在海平面以上 300m 以内。项目组成员与威海某机场驱鸟人员的沟通，其监测雷达显示夜间迁徙鸟类的飞行高度也大多在 500m 以下，和本项目风机叶片最高

高度有所重叠。此外，Bradarić 等（2024）在丹麦西部海域对鸟类飞行高度的视频和雷达监测结果显示，大多数海鸟的飞行高度也在 300m 以内。但从飞行高度来说，确实存在一定的撞击风险。

此外，还需要考虑风电场建成后的灯光对夜间迁徙鸟类的影响。风电场区的灯光，尤其是海上升压站的灯光，会吸引夜间迁徙鸟类来此停歇。根据国外的研究，部分鸟类可能随时间推移逐渐适应风电场的存在。例如，粉脚雁在几年后开始进入风电场内觅食，一些海鸟（如鸬鹚）甚至会将风机基础平台作为歇脚点。在本项目西侧约 80km 的半岛北 6 号 1 期风电场中，来自海上升压站的监控相机就曾在夜间拍摄到鹭类和雀形目鸟类在平台停歇。这类无意的招引作用，也会间接增加鸟类撞击风机的概率。

风机建成后，海上升压站、风机基座以及运营期的检修船只，都有可能成为鸟类跨海迁徙时的停歇地点，甚至可能存在岛礁效应，吸引部分鸟类在此觅食，也会间接增加鸟类撞击风机的概率。

（3）对鸟类繁殖的影响

鸟类繁殖是指鸟类繁衍后代的一系列过程，包括筑巢、产卵、孵卵和育雏等环节。本风电场建成后，运营区域位于海上，远离陆地，并不占用和影响鸟类的繁殖地，没有鸟类在此繁殖。仅有可能会对繁殖期来此觅食的黑尾鸥有所影响，但觅食多发生在白天，鸟类对于风机有很好的规避行为，因此对鸟类繁殖没有影响。

（4）对鸟类栖息地的影响

由于本风电场建成后，运营区域位于海上，水深超过 8m，不属于湿地的范畴，因此对湿地没有影响。另外，由于风电场所在的边界距离海岸的距离在 58km 以上，不属于传统的海洋栖息地中鸟类的觅食区域，但需要考虑岛礁效应的影响。半岛北 6 号一期项目建成后，升压站在夏季成为部分黑尾鸥的觅食地，数量稳定在几十只左右。

因此，虽然风力发电场建成后对于大多数鸟类的栖息地没有影响，但还需要考虑到一些海洋觅食性鸟类以及部分迁徙鸟类会在风力发电场区内觅食的情况。

6.8.3 鸟类影响综合评估结论

项目所在海域整体上位于“东亚—澳大利西亚”候鸟迁飞路线上，项目场址距离海岸很远，不是鸟类的繁殖地，也非迁徙停歇地和越冬地。根据已发表的相关文献，目前可以确定有部分鸟类在迁徙时会有个体有一定概率经过本风电场所在海域或周边海域，对鸟类迁徙有一定潜在的影响。此外，风力发电场可能也会提高区域内觅食的鸟类的撞击风险。

项目所在海域非鸟类的繁殖地，但有部分鸟类的部分个体在迁徙时会经过，也会有部分鸟类在此觅食。项目对迁徙经过的鸟类和觅食的鸟类具有潜在的影响，建设单位在严格执行相关环保法规制度的前提下严格落实本报告提出的保护措施，可有效降低这些影响。

6.9 对环境敏感目标的影响分析

本项目周边的环境敏感目标主要有生态保护红线、保护区、海岛；另外，项目评价范围涉及保护物种为斑海豹和东亚江豚，其他保护目标包括蓝点马鲛和小黄鱼等鱼类的“三场一通道”。悬浮泥沙扩散范围与环境敏感目标叠置见图 6.9-1 和图 6.9-2。

图 6.9-1　10mg/L 悬浮物扩散范围与生态保护红线叠置图

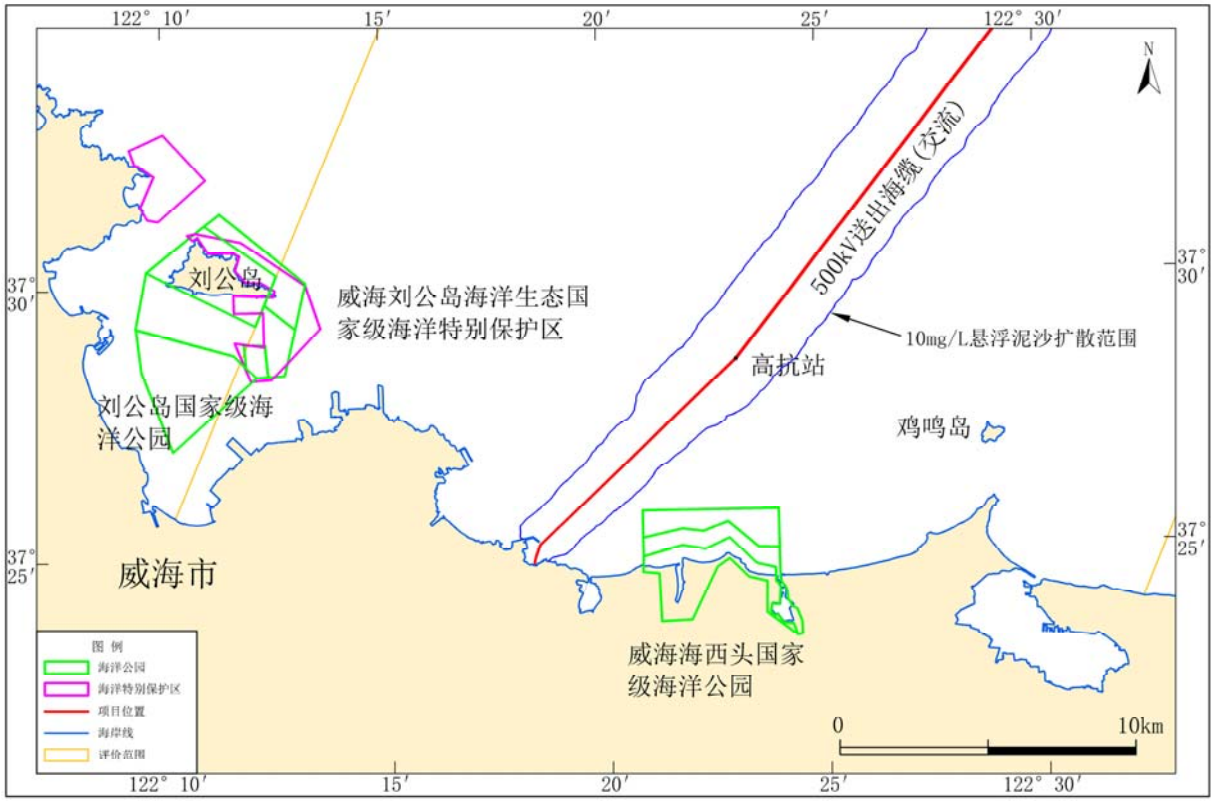


图 6.9-2　10mg/L 悬浮物扩散范围与保护区叠置图

6.9.1 对生态保护红线的影响分析

项目周边生态保护红线主要有：项目送出海缆东侧最近约 40m 的威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，西侧最近约 0.89km 的威海沙龙王家村北砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，东侧最近约 1.98km 的逍遥港海草床生态保护红线，东侧最近约 4.61km 威海荣成砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，东侧最近约 11.69km 朝阳港滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线，西侧最近约 10.44km 刘公岛重要滩涂及浅海水域生态保护红线。

根据悬浮泥沙预测结果，悬浮泥沙影响集中在海缆两侧 1.7km 范围内，项目施工各层 10mg/L 悬浮泥沙进入威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线的面积分别为底层 33.98hm^2、中层 33.47hm^2、表层 32.41hm^2，悬浮物约在 4 个小时以内沉降恢复到施工前浓度水平，生态保护红线主要保护对象为砂质海岸、滨海湿地、近海海域海洋生态环境，附近其他海域不存在典型海洋生态系统以及珍稀濒危动植物物种，海底电缆的敷设对附近海域的水动力和冲淤环境基本无影响、不会对砂质海岸造成不利影响，施工期悬浮泥沙随施工结束而影响消失、对水质环境影响为暂时性的，悬浮泥沙会造成一定还是生物资源损失、项目针对悬浮泥沙进行了生态损失计算、制定了增殖放流的生态修复方案、以补偿悬浮泥沙造成的损失；总体来看，项目建设对生态保护红线影响较小，可以接受。

根据悬浮泥沙预测结果，10mg/L 悬浮泥沙不会扩散至其他生态保护红线，基本不会对其他生态保护红线造成影响。

6.9.2 对保护区的影响分析

项目周边保护区主要为：项目周边保护区主要为：项目东侧最近约 1.54km 的威海海西头国家级海洋公园，西侧最近约 10.36km 的刘公岛国家级海洋公园，西侧最近约 10.44km 的刘公岛国家级海洋生态特别保护区。

根据悬浮泥沙预测结果，本项目施工期 10mg/L 悬浮泥沙不会进入周边保护区，不会对其水质及生态环境造成不利影响；海底电缆的敷设对附近海域的水动力和冲淤环境基本无影响。项目施工单位加强管理，仅在项目区域施工，禁止进入保护区，避免对其产生不利影响。因此，项目建设不会对周边产生不利影响。

根据项目电磁环境和噪声影响专题，海底电缆建成运行后，不会对海域生态环境产生明显不利影响。项目海缆施工产生的噪声持续时间较短，且鱼类会有明显的回避效应，项目施工不会对海洋生态及渔业生物等产生明显影响。

项目施工期、运营期生活污水、含油污水、固废妥善处置均送有陆域相关单位妥善处置，不排海，不会影响周边保护区海域的水质环境。

综上，项目建设不会对保护区造成明显影响。

6.9.3 对周边海域海洋哺乳动物的影响分析

6.9.3.1 项目建设对斑海豹的影响分析

项目风电场区不占用斑海豹的繁殖栖息地，根据《庙岛群岛海豹省级自然保护区总

体规划》斑海豹迁徙路线，本项目风电场区可能位于斑海豹迁徙路线的边缘区域，项目500kV 海缆中部穿越斑海豹迁徙路线；根据《斑海豹小种群报告》，本项目 500kV 海缆近岸段穿越斑海豹的适宜栖息地（低适生区），中部穿越“3”号迁徙路线（山东半岛至长江口方向）。

（1）对斑海豹繁殖、栖息的影响分析

根据前文分析，中国的斑海豹主要在渤海进行繁殖，本项目风电场区位于烟台市北部海域，项目距离斑海豹的繁殖地较远。

斑海豹在中国的关键栖息地主要分布于辽东湾和渤海海峡，辽河口、大连近岸的虎平岛和蚂蚁岛、盘锦双台子河口、长山列岛等区域是斑海豹的高频目击区域和停留区域，本项目距离最近的关键栖息地——长山列岛区域大于 152km，距离较远。

根据相关调查研究，本项目 500kV 近岸段海缆穿越斑海豹的适宜栖息地（低适生区），因 500kV 近岸段海缆沿线主要为港口区、养殖区、航道等，人为活动较多，斑海豹栖息的概率较低；另外，根据近年来现状调查、走访记录了解，本工程送出海缆近岸段没有斑海豹栖息、活动迹象，无相关斑海豹目击记录。项目 500kV 近岸段海缆合理安排施工时间，施工过程中加强瞭望，以便发现可能存在的斑海豹并进行科学驱赶；海缆敷设后埋设于泥面以下，不影响斑海豹的栖息活动。

因此，项目建设不会对斑海豹的繁殖产生不利影响；500kV 近岸段海缆合理安排施工时间且在施工过程中加强瞭望，正常来说，不会影响斑海豹的栖息活动。

（2）对斑海豹迁徙的影响分析

1）500kV 海缆建设对迁徙的影响分析

本项目 500kV 海缆中间段（从岸向海 19.2km—58.3km 范围）穿越“3”号迁徙路线（山东半岛至长江口方向），在每年的 5 月和 6 月渤海的部分斑海豹会沿着“3”号路线迁徙到长江口，7 月和 8 月黄海的其他斑海豹则主要沿着“3”号路线迁徙到山东半岛。因此本项目 500kV 海缆若在此时间段施工，施工作业噪声及施工活动可能会影响在此经过的斑海豹，干扰其迁徙路线或者阻断其迁徙通道，影响其正常迁徙方向；建议施工单位此段海缆避开 5-8 月份施工，且施工船舶在 5-8 月份行经此段海域时放慢航速、加强瞭望，以减少对可能出现的斑海豹产生不利影响。

海缆施工结束后埋设于泥面以下，电缆线经过电缆外层以及泥面遮蔽后产生的工频电磁场强度水平较小，对迁徙至此的斑海豹基本无影响。

2）风电场建设对迁徙的影响分析

根据《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》斑海豹迁徙路线，本项目风电场区北侧和南侧可能位于斑海豹迁徙路线的边缘区域。

①施工期

若风电场区北侧和南侧位于迁徙通道附近的风机、海缆 7-8 月施工，将直接对在此经过的斑海豹产生干扰及影响，建议此段工程应避开 7-8 月份施工。

斑海豹主要通过声音感知环境变化，具有灵敏的听觉能力。因此，项目风电场建设过程中噪声对哺乳动物的影响尤为显著，噪声可能干扰海洋哺乳动物的声呐定位，进而影响其迁徙行为。本项目桩基基础施工过程中打桩作业产生的脉冲式高强度噪声可能造成斑海豹短时听力损伤（TTS 或 PTS）、行为回避（逃离栖息地或迁徙路径中断）等。根据噪声预测结果，本项目在单根打桩时，对海豹类肉食目听力物理损伤保护距离为 63m；在 63m 范围之内，打桩噪声可能会导致海豹类肉食目出现暂时性听力阈值改变（TTS）；在 32m 范围内可能导致海豹类肉食目永久性听力阈值漂移（PTS），因此 32m 范围内为危险区域。根据 NMFS 目前推行的斑海豹水下听觉保护阈值 190dB，可计算出对于斑海豹的保护距离为 126m，在此范围之内，打桩噪声可能会导致斑海豹出现听觉系统出现伤害；在离桩基 3892m 处，打桩所产生的水下噪声将达到 160dB，对斑海豹造成行为干扰。

因此，整个风电场区施工过程中应加强管理，在施工时，尽量规避斑海豹迁徙经过的时间，选择在斑海豹非迁徙季进行作业。本项目所在海域不是斑海豹、东亚江豚的集中分布区，但是在非迁徙季节也可能有斑海豹出现，增设巡视船舶及哺乳动物观察员，对施工桩基 500m 范围内的海域进行巡视，严密监视海面状况，确定无斑海豹等海洋哺乳动物在施工海域活动时，方可进行打桩作业，并在打桩作业初始采取“软启动”或者“弱启动”方式，驱使 3000m 内的海洋哺乳动物离开施工水域；同时采取气泡帷幕等噪声衰减措施，以减小施工噪声对海洋哺乳生物的不利影响。

有关研究表明，船舶噪声能够掩蔽斑海豹的发声，名为“澳大利亚海豹在人类来访高峰期和非高峰期对船只噪声的行为反应”的研究发现，暴露在超过 75 分贝的船只发动机噪声中会导致海豹出现短期行为紊乱，如哺乳减少和警惕性提高，表现为更关注来访者而不是休息。项目施工期施工船舶较多，可能会对周边出现的哺乳动物产生干扰，施工船舶应加强管理、定期维修保养，以降低噪声源强。

②运营期

运营期间，风电场区产生连续低频噪声（通常 120–150dB 之间）——来自涡轮机运

动与船只交通。海洋哺乳动物主要依赖声音进行种间的沟通交流，海上风电在运营期间可能会对这种交流方式产生遮蔽效应。风机运行时产生的低频噪声（通常在 50—200Hz 范围）会干扰斑海豹的声呐定位系统，斑海豹依赖高频声波（10-100kHz）进行导航和捕食，而风机噪声的频谱重叠部分可能掩盖其回声定位信号，导致其主动远离声源区域。在辽河口湿地保护项目中，研究人员记录到斑海豹在风机阵列附近活动频率下降约 40%，通过声学监测设备分析，斑海豹在风机启动后 15 分钟内平均移动距离增加 2.3 倍，且多选择逆风向区域活动。本项目运营期运维船舶均为小型船舶，航行频次有限，船舶噪声对哺乳动物的影响有限。

除风电场运营期噪声可能对哺乳动物产生不利影响外，也有学者认为海洋哺乳动物能很好地适应风电场噪声，同时，全球范围内海上风电场附近频繁观测到海洋哺乳动物的分布和活动，可能原因在于，风机基础所产生的增殖效应和保护地效应对大型哺乳动物具有显著的吸引力，同时也为它们提供了必要的食物供给和保护。

综上，本项目不是斑海豹的集中分布区，斑海豹在迁徙途中可能从风电场区北侧和南侧通行，斑海豹可从风机桩柱之间通行，或直接绕过场区从场区通行，总体来说，风电场不会明显改变海洋哺乳动物的迁徙路线。

（3）小结

项目区不是斑海豹的繁殖、栖息地，项目建设不会对斑海豹的繁殖、栖息产生不利影响。施工单位施工时避让迁徙时段、打桩采用“软启动”、加强瞭望、加强施工船舶及人员管理的方式，项目在采取相关措施的前提下，不会明显干扰斑海豹的迁徙活动；运营期斑海豹可从桩柱之间通行或直接从场区北侧绕行，总体来说，风电场不会明显改变海洋哺乳动物的迁徙路线。项目运营过程中，需关注风电场区低频噪声对哺乳动物的影响，持续跟踪斑海豹的迁徙动向，为后续更有效的保护斑海豹提供资料支撑。

6.9.3.2 项目建设对东亚江豚的影响分析

（1）对东亚江豚繁殖、栖息的影响分析

东亚江豚繁殖期间倾向于选择近岸浅水区，如黄渤海沿岸。本项目区近岸区分布有港口区、养殖区、航道等，人为活动较多，不是东亚江豚的理想繁殖地，且海域未出现过东亚江豚的繁殖记录。

本项目距离东亚江豚种群热点分布区之一的长岛海域超过 154km，风电场区不是东亚江豚的集中分布区，风电场区分布的东亚江豚概率相对较低（远低于长岛海域 5 月（0.56±0.11）ind/km^2 和 10 月（3.63±0.25）ind/km^2 的平均种群密度），项目建设不会压

缩东亚江豚的主要生境。

（2）对东亚江豚迁徙的影响分析

根据研究，黄渤海海域东亚江豚的分布具有季节性，而鱼类的季节性洄游可能是造成黄渤海海域东亚江豚季节分布的主要原因。项目区可能经过的洄游鱼类主要为：在渤海产卵后 9-11 月经渤海海峡游向外海进行越冬洄游的鱼类，5-7 月返回黄渤海产卵、索饵的鱼类。因此，项目区可能在每年的 5—7 月、9-11 月出现跟随鱼类迁徙的东亚江豚。项目区域不是东亚江豚热点活动区域。

项目风电场区仅位于少数鱼类的索饵场和洄游通道，如蓝点马鲛、带鱼、银鲳等，东亚江豚从风电场区内迁徙的群体密度相对不大；迁徙的部分江豚若从场区经过，施工活动和施工噪声会直接干扰迁徙经过的东亚江豚。风电场区打桩作业产生的脉冲式高强度噪声峰值可达 180dB 以上，可能造成东亚江豚的短时听力损伤、行为回避等。根据 NMFS 目前推行的鲸豚水下听觉保护阈值 180dB，鲸豚的保护距离为 399m，在 399m 范围之内，打桩噪声可能会导致江豚出现听觉系统造成伤害，进而影响其正常迁徙。

风电场区施工过程中应加强管理，增设巡视船舶，对施工桩基 500m 范围内的海域进行巡视，确定无东亚江豚等海洋哺乳动物在施工海域活动时，方可进行打桩作业，并在打桩作业初始采取“软启动”或者“弱启动”方式，使周边海洋哺乳动物提前预判，进行规避；同时采取气泡帷幕等噪声衰减措施，以减小施工噪声对海洋哺乳生物的不利影响。

另外，项目施工期施工船舶较多，可能会对周边出现的哺乳动物产生干扰，施工船舶加强管理、定期维护保养，降低噪声源强，且需科学安排工期，减少施工噪声产生时间，以减少对东亚江豚听觉系统及迁徙路线的不利影响。

运营期间，东亚江豚可从风电场区桩柱中间穿行，风电场区不会阻断鱼类及东亚江豚的迁徙通道，需持续关注风电场区产生的连续低频噪声是否会对东亚江豚的声呐定位系统产生影响、导致其主动远离声源区域的现象。

（3）小结

项目区远离东亚江豚的集中分布区，风电场区分布的东亚江豚概率相对较低，项目建设不会压缩东亚江豚的主要生境。项目区可能存在跟随洄游鱼类从场区穿行的迁徙中的东亚江豚，施工期采取“软启动”打桩方式、气泡帷幕降低打桩噪声、加强瞭望、加强施工船舶及人员管理的方式，项目在采取相关措施的前提下，不会明显干扰东亚江豚的迁徙活动；运营期东亚江豚可从桩柱之间通行，总体来说，风电场不会明显改变东亚江

豚的迁徙路线。项目运营过程中，需持续关注风电场区产生的连续低频噪声是否会对东亚江豚产生影响。

6.9.3.3 影响小结

（1）对斑海豹和东亚江豚繁殖、栖息的影响

项目不占用斑海豹和东亚江豚繁殖、栖息，距离较远，不会对斑海豹和东亚江豚繁殖、栖息造成不利影响。

（2）桩基打桩噪声影响

风电场区桩基打桩作业产生的脉冲式高强度噪声可能造成斑海豹、东亚江豚的听力损伤，根据 NMFS 目前推行的海洋哺乳动物水下听觉保护阈值，噪声峰值 190 分贝以上可能造成斑海豹短时听力损伤（TTS），峰值 180 分贝以上可能造成东亚江豚短时听力损伤（TTS）。根据预测，本项目打桩施工对于斑海豹的保护距离约为 126 米，东亚江豚的保护距离约为 399 米，在此范围之内，打桩噪声可能会导致斑海豹、东亚江豚出现听觉系统伤害。

（3）船舶噪声影响

有关研究表明，船舶噪声能够掩蔽斑海豹的发声，名为“澳大利亚海豹在人类来访高峰期和非高峰期对船只噪声的行为反应”的研究发现，暴露在超过 75 分贝的船只发动机噪声中会导致海豹出现短期行为紊乱，如哺乳减少和警惕性提高，表现为更关注来访者而不是休息。项目施工期施工船舶较多，可能会对周边出现的东亚江豚等哺乳动物产生干扰，施工船舶应加强管理、定期维修保养，以降低噪声源强。

（4）运营期风机运转产生的水下噪声影响

本工程 14MW 风机营运期水下噪声声源级理论上小于 16.6MW 的声源级，按照 157dBre1μPa-m 计算，声传播扩散系数 12.7，海域背景噪声的最小全频带声累积压级为 124dB，在距离风机 397m 处基本与海域背景噪声相近。风机营运期水下噪声影响与类比项目基本一致，整体声环境影响可控，环境影响可接受。

为有效减缓项目建设及运营对东亚江豚、斑海豹的不利影响，严格落实国家重点保护野生动物保护要求，结合目标海域生态敏感属性，制定“源头避让、过程管控、长期监测”的组合式保护措施。

6.9.4 对“三场一通道”的影响

根据前文分析，项目风场区位于蓝点马鲛索饵场和产卵场的边缘，500kV 海缆穿越

蓝点马鲛洄游路线、产卵场和索饵场；项目风场区位于小黄鱼洄游路线的边缘，500kV海缆穿越小黄鱼洄游路线；项目风电场位于带鱼的洄游路线，500kV海缆穿越带鱼洄游路线和产卵场的边缘；项目风场区位于银鲳洄游路线，500kV海缆穿越银鲳洄游路线；项目风场区不占用中国明对虾的“三场一通”，500kV海缆穿越中国明对虾的洄游路线。

表 6.9-1 项目周边主要经济物种“三场一通道”汇总表

物种	项目与周边主要经济物种“三场一通道”的位置关系	涉及时期
蓝点马鲛	项目风场区位于蓝点马鲛索饵场和产卵场的边缘，500kV海缆穿越蓝点马鲛洄游路线、产卵场和索饵场	产卵期：5月中旬-7月上旬，产卵盛期：5月中旬-6月中旬；洄游期：4月下旬 索饵场：6-10月
小黄鱼	项目风场区位于小黄鱼洄游路线的边缘，500kV海缆穿越小黄鱼洄游路线	在北黄海产卵期：产卵期为5~7月，产卵盛期为5月下旬至6月上旬 洄游期：3月、11月
带鱼	项目风电场位于带鱼的洄游路线，500kV海缆穿越带鱼洄游路线和产卵场的边缘	产卵期：集中于5、6月 洄游期：3-4月、11月
银鲳	项目风场区位于银鲳洄游路线，500kV海缆穿越银鲳洄游路线	产卵期：北黄海主要集中于5、6月 主要洄游期：3-4月、11月
中国明对虾	项目风场区不占用中国明对虾的“三场一通”，500kV海缆穿越中国明对虾的洄游路线	产卵期：5月中旬-6月中旬 北黄海洄游期和索饵期：9-10月

（1）施工期影响

1）对产卵场的影响

本项目风场区位于蓝点马鲛产卵场的边缘，500kV海缆穿越蓝点马鲛、带鱼的产卵场。根据本项目三维悬浮泥沙预测结果，悬浮物影响集中在海缆两侧1.7km范围内、风电场区周边1.2km范围内。蓝点马鲛、带鱼的鱼卵均为浮性卵，鱼卵和幼鱼主要分布在表层，根据数值模拟预测结果，施工活动产生的悬浮泥沙主要在海域底层扩散，施工悬浮对蓝点马鲛、带鱼浮性卵和幼鱼的影响较小。同时，本项目按照最不利原则针对10mg/L悬沙扩散范围内的区域进行了鱼卵、仔稚鱼的损失计算，并拟采取增殖放流的措施进行生态补偿，以减缓项目建设可能对区域渔业资源的不利影响。

2）对索饵场的影响

本项目风场区位于蓝点马鲛索饵场，500kV海缆穿越蓝点马鲛索饵场。项目建设施工时，因船舶、人员作业活动较多，可能影响项目区蓝点马鲛正常的索饵活动，因蓝点马鲛活动能力较强，可游至其他区域索饵。项目施工过程产生悬沙泥沙，悬浮泥沙对区域海洋生物造成一定损失，破坏蓝点马鲛的食物链基础，因悬沙随施工结束而影响消失，施工后一段时间后，区域内的海洋生态环境及海洋生物资源会逐渐恢复至原来水平。综上，项目施工活动对蓝点马鲛的捕食环境和捕食资源产生短期不利影响，施工结束后会影响消失、索饵环境恢复原状，项目建设不会明显改变蓝点马鲛的范围及生境。

3）对洄游通道的影响

项目风电场位于小黄鱼洄游路线的边缘，带鱼、银鲳鱼的洄游通道，风电场区域打桩施工采用“软启动”的方式驱赶洄游中的海洋鱼类游离，到达一定距离外的安全海域后再进行打桩作业，打桩施工造成了带鱼洄游路径的局部改变，因打桩施工影响距离有限，不会对带鱼造成明显不利影响。

海缆施工时产生的悬沙主要在海底层扩散，对洄游水层的影响较小，且施工悬沙影响时间较短，影响范围较小，随着施工结束施工悬沙对洄游鱼类的影响将消失。因此，项目施工建设对鱼类洄游的影响是暂时的，影响程度和范围均有限。

根据影响预测，打桩噪声对鱼卵影响的距离约 113m，对鱼类的物理损伤保护距离为 1258m，为避免施工活动和施工噪声对蓝点马鲛和带鱼产卵的不利影响，项目海缆施工及风电场区桩基施工均避让蓝点马鲛、带鱼的集中产卵盛期（5 月中旬-6 月中旬）；其他月份施工时，采用“软启动”的方式—首桩采用小幅度的冲击，而后强度逐渐增强，用声驱赶海中一些游动的鱼群，使其暂时避离施工区域，可有效降低施工对蓝点马鲛等的影响。

（2）运营期的影响

项目建成后，海缆埋设于泥面以下，不占用鱼类的产卵场、索饵场的空间。项目升压站、高抗站、风机的桩基永久占用部分海洋空间，因桩基实际占用面积较小，不会压缩鱼类产卵场、索饵场等空间。

本项目风机及海上升压站、高抗站采用四桩导管架结构，为透水构筑物，且风机间距 760m~3499m，不会截断鱼类的洄游通道；且风机桩柱具有岛礁效应，可吸引海洋生物聚集，能为海洋生物资源提供栖息和觅食环境，便于提升蓝点马鲛产卵场、索饵场的生境系统。项目海底电缆均敷设于海底土层以下，不会影响上层水体中鱼类的产卵、洄游、索饵等活动；另外海底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，加之海缆为线性工程，鱼类活动空间较大，项目海底电缆建成运行后，不会对泥面以上的海洋生物产生明显不利影响。

（3）小结

综上，施工期通过合理安排工期和施工顺序，海缆施工及风电场区桩基施工均避让蓝点马鲛、带鱼集中产卵盛期（5 月中旬-6 月中旬），桩基施工采取“软启动”和设置气泡帷幕等方式减少噪声影响，项目施工对蓝点马鲛等主要经济鱼类“三场一通道”的

影响较小；项目运营期对鱼类的三场一通道几乎无不利影响。综上，在项目采取有效措施的前提下，项目建设对主要经济鱼类“三场一通道”的影响较小。

6.9.5 对海岛的影响分析

工程附近海域有多个岛屿，包括刘公岛、荣成鸡鸣岛等。项目不占用海岛，距离最近的为送出海缆东侧 8.13km 的鸡鸣岛。项目海缆建成后埋于泥面以下，对周边海域水文动力、冲淤环境基本无影响，项目建设对海岛无不利影响。

6.10 对其他海域开发活动的影响

6.10.1 对养殖区的影响分析

6.10.1.1 项目用海占用养殖区的影响分析

项目风机、高抗站和风电场区电缆不占用养殖区，风电场距离最近的养殖区约35km。

项目海底电缆用海穿越 26 宗已确权养殖用海和 1 宗无证养殖，26 宗已确权养殖用海分别为荣成市经济开发投资公司筏式养殖 82、荣成市经济开发投资公司筏式养殖 85、荣成市经济开发投资公司筏式养殖 81、荣成市鑫海投资有限公司筏式养殖 31、荣成市鑫海投资有限公司筏式养殖 29、荣成市鑫海投资有限公司筏式养殖 27、荣成市鑫海投资有限公司筏式养殖 24、荣成市鑫海投资有限公司筏式养殖 22、荣成市鑫海投资有限公司筏式养殖 20、荣成市滨海城建开发有限公司筏式养殖、荣成市滨海城建开发有限公司筏式养殖、荣成市滨海城建开发有限公司筏式养殖、荣成市城市资产经营有限公司底播养殖 48、荣成汇通城市建设有限公司底播养殖（1）、荣成市同辉渔业有限公司底播养殖（42）、荣成市经济开发投资有限公司底播养殖（3）、荣成市城建投资开发有限公司筏式养殖、荣成市同辉渔业有限公司底播养殖（35）、荣成市经济开发投资有限公司底播养殖（29）、荣成好运角实业有限公司筏式养殖 16、荣成好运角实业有限公司筏式养殖 19、荣成好运角实业有限公司筏式养殖 7、荣成好运角实业有限公司筏式养殖 10、荣成海洋发展集团有限公司底播养殖 2、荣成公交集团有限公司底播养殖 1、荣成市园林建设集团有限责任公司底播养殖 2。

9 宗已确权底播养殖的养殖品种主要为菲律宾蛤仔、文蛤、紫石房蛤等海洋贝类，根据贝类的生长情况和市场需求分区域轮捕，采捕时采用渔船拖带耙子进行采捕。其他 17 宗已确权筏式养殖项目主要养殖品种为虾夷扇贝、牡蛎等，采捕期采用渔船人工进行

采捕。1 宗无证养殖区主要进行筏式养殖海带、虾夷扇贝、牡蛎。

海缆埋设犁施工改变养殖区底质环境，对底播养殖品种产生影响。海缆建成后埋于泥面以下对周围养殖区基本无影响，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。施工期海缆铺设使用施工船对养殖区有占用影响，需拆除筏架，影响筏式养殖。铺缆船作业宽度约 52m，受影响的筏式养殖项目共 17 宗。施工期间作业船舶导致占用区筏式养殖活动无法正常开展，施工船舶作业时应尽量少占用筏式养殖区。

因此，项目的建设会对海缆穿越区域的 26 宗已确权开放式养殖活动和 1 宗无证养殖区产生一定影响。

图 6.10-1　送出海缆穿越已确权养殖用海叠置图

图 6.10-2　送出海缆穿越无证养殖用海叠置图

表 6.10-1　工程用海占用养殖区情况表

6.10.1.2 施工悬浮泥沙的影响

根据本项目施工工艺及数值模拟的悬浮泥沙扩散情况可知，中心点距 10mg/L 等值线的距离西北—东南方向最远，最大运动半径为 1.7km，施工过程中产生的悬浮泥沙增量在>10mg/L（超 I、Ⅱ类海水水质）包络面积为 333.9098km^2。

项目施工时悬浮泥沙会扩散进入 62 宗已确权养殖用海和 1 宗无证筏式养殖，该 62 宗养殖区的养殖方式包括底播养殖和筏式养殖。施工期产生的悬浮泥沙会对养殖品种产生不利影响，对正常养殖活动的开展产生一定的影响，随着施工的结束，悬浮泥沙的影响将不复存在，养殖活动可继续开展。

表 6.10-2　项目施工悬浮泥沙影响的用海活动一览表

图 6.10-3　悬沙影响范围与周围权属叠加图

6.10.1.3 运营期影响

项目营运期主要为风机发电，风电为清洁能源，营运期需通过船舶进行风机检测检修，运营产生的污染因素主要包括风机运行产生的噪声及检修人员产生的废水等。风机运行产生的噪声对养殖区的养殖物种影响较小。运营期间产生的生活污水、含油污水均有合理处置措施，不直接排海，项目运营期一般对周边养殖区不会带来明显影响。

6.10.2 对捕捞作业的影响分析

（1）施工期对捕捞作业的影响

本项目风电场施工作业期间，施工范围内划定安全作业区，渔船无法进入施工作业范围开展捕捞活动，作业范围受限。海缆敷设为线性施工，且施工作业时间较短，对捕捞活动的影响较小。施工产生的噪声、悬浮泥沙会造成一定的渔业资源损失，影响作业范围附近捕捞业的渔获量。项目施工船舶加强管理，在一定范围内活动，且施工期尽量避开捕捞作业集中的季节，减少施工作业对捕捞作业的影响。

（2）运营期对捕捞作业的影响

项目风机孤立式基础分散布置在海中，对海上捕捞作业带来影响，并且海底电缆建设划定保护海域，该海域内禁止捕捞作业，也减少了捕捞作业水域。但风电场建设后，风机基础、海上升压站基础具有岛礁效应，在一定程度上可以起到聚鱼作用，为鱼类提供良好的栖息环境和索饵场，风机基础建设有利于渔业资源量的增加。

6.10.3 对港口区及航运区的影响分析

项目周边有多个港口、锚地、航道、航路，其中港口、锚地、航道主要分布于近岸区域。场内集电线路海底电缆路由及升压站、高抗站周边 2 海里内无港口、锚地、航道分布。

（1）港区码头

路由方案周边共 2 个港口码头，分别为威海湾港区和威海奔腾港航配套建设基地码头，最近距离分别 2.7km 和 0.1km（图 6.10-4）。项目距离威海奔腾港航配套建设基地码头较近，海缆的铺设施工会对港口码头和来往船只产生一定的影响。

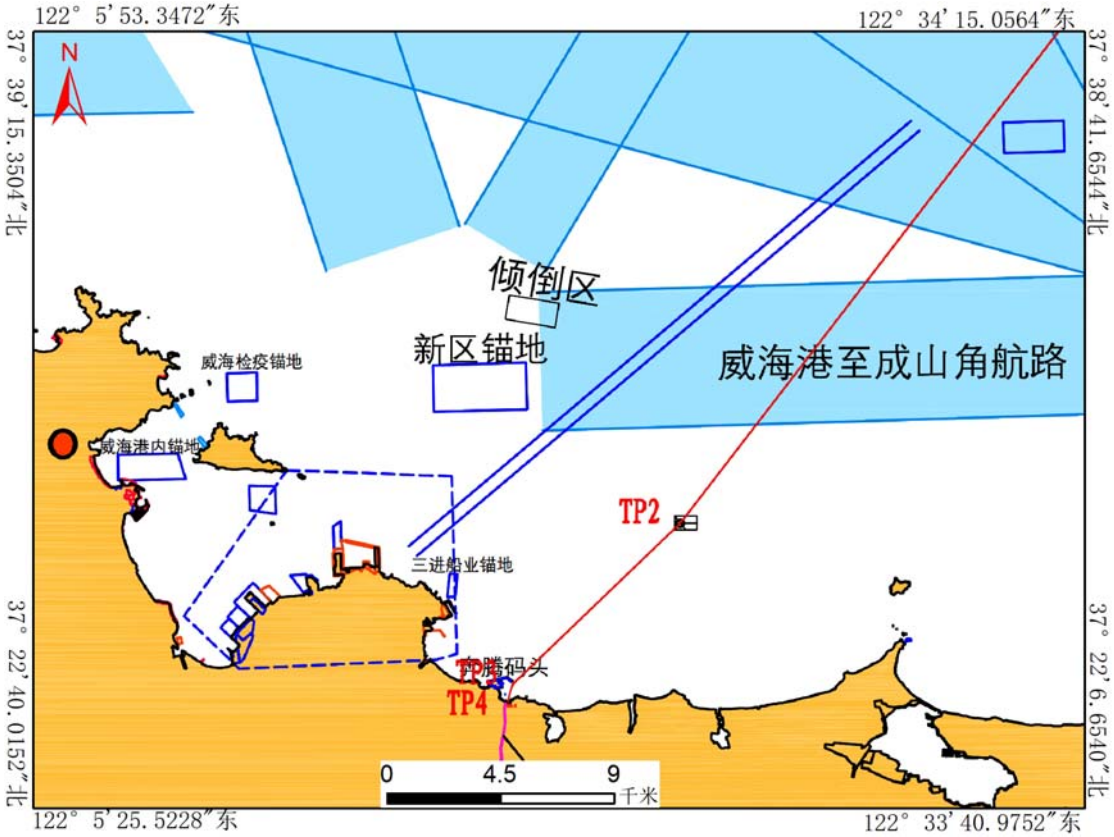


图 6.10-4 项目近岸港口码头分布图

（2）对航道、航路的影响

①航道

项目 500kV 海缆距离威海新港主航道 2.0km，海底电缆施工时施工船舶的增加可能会对航道通行的船舶产生影响。

②航路

项目 500kV 海缆出场区后穿越成山角至长山水道、成山角至老铁山水道、成山角至大连航路，近岸段海缆需穿越威海港至成山角航路。风电场址距最近的威海至丹东航路约 3.1km，高抗站距离威海港至成山角航路约 3.7km（表 6.10-3）。

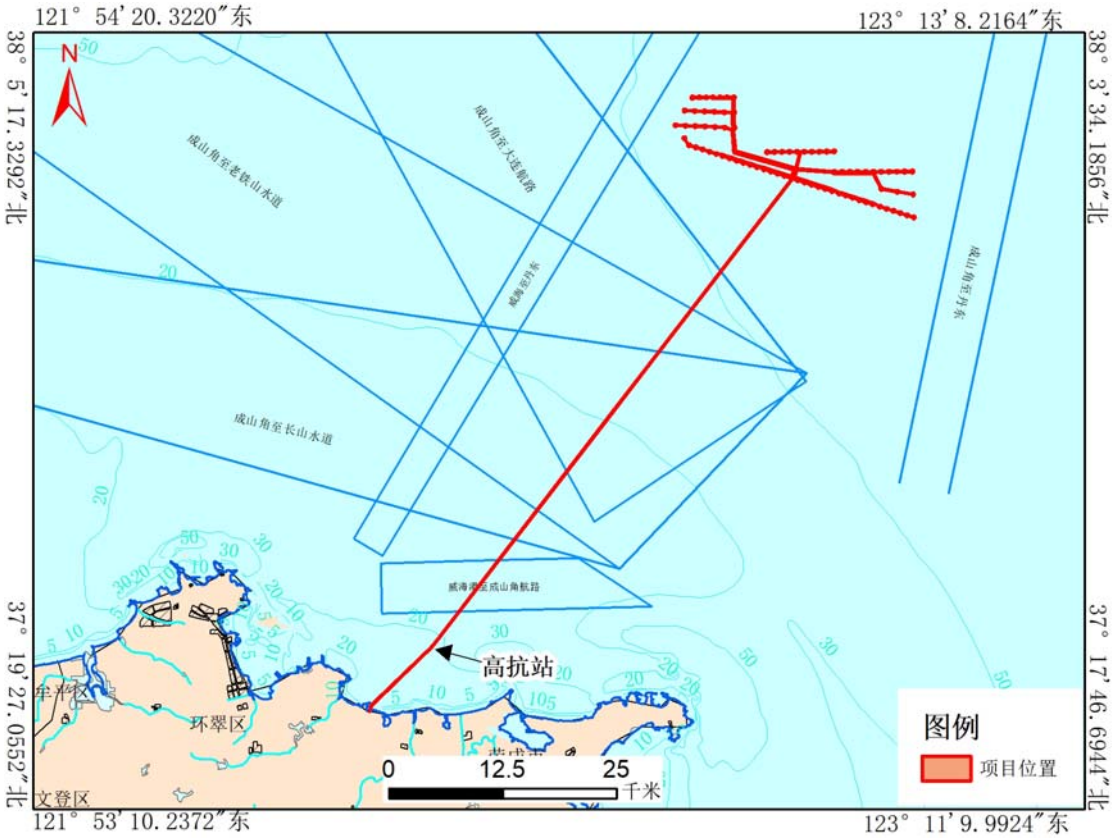


图 6.10-5　项目海缆穿越航道位置图

表 6.10-3　工路由周边航道、航路表

序号	航道、航路		位置关系
1	航道	威海新港主航道	2.0km
2	航路	成山角至长山水道航路	穿越
3		成山角至老铁山水道航路	穿越
4		威海至大连航路	14.0km
5		成山角至大连航路	穿越
6		威海至丹东航路	3.1km
7		成山角至丹东航路	4.2km
8		威海港至成山角航路	穿越

根据《海上风电场交流海底电缆选型敷设技术导则》（NB／T31117-2017），穿越航道航路区域应加大埋深，满足“跨越航道、锚地等与航运关联的海域，埋置深度不宜小于 3.0m”的要求。且施工时需加强与附近船舶的沟通联系，提前安排船舶前往警戒。海底电缆铺设完成后，应加强对海底电缆的管理和保护，禁止附近航行船舶在路由水域锚泊，以防锚链触底损坏海底电缆，导致事故的发生。项目应及时发布施工期及营运期航行通告，更新海图等图书资料，设置相应的禁锚区。项目应根据运营情况，加强对电缆路由的检修维护，设置电缆路由损坏报警装置，并做好应急预案。

项目施工期和运营期船舶均在风电场区内活动，对规划航道内船舶通航不会产生明显影响。船舶往返陆域经过南侧航道时要注意避让其他船舶。项目海缆在航路交越段埋深 3m，海缆埋设于泥面以下，不影响航道通航。施工时建设单位应与航道管理部门做

好沟通，及时告知项目施工时间、位置，做好施工船舶和港区船舶的管理和调度，充分保证港区和航道的通航安全，减少对港区船舶通航的影响。

（3）对锚地的影响

路由方案 1 周边距离较近的锚地共有 2 个，分别为新区锚地、威海市三进船业有限公司锚地，距离路由最近距离分别约 7.4km、4.1km，见表 6.10-4。

满足《海港锚地设计规范 JTS/T177-2021》中“锚地边线至海上油气平台、风电设施的间距不宜小于 2nmile”的要求。项目海缆与周边锚地均存在一定的安全距离，对锚地产生的影响较小，正常天气海况条件下，船舶在锚地锚泊时，船位处于锚地边界以内，可保障锚泊船与海底电缆的安全。

表 6.10-4 工程周边锚地表

序号	锚地	位置关系	距离（km）
1	新区锚地	W	7.4
2	威海市三进船业有限公司锚地	W	4.1

6.10.4 对倾倒区的影响分析

在离岸约 15km 处有一个临时倾倒区，该倾倒区已封闭，位于拟建路由西侧约 8.6km，见图 5.3-6，距离较远，不会对海底电缆施工、建设及后期运营产生影响。

6.10.5 对电力工业用海影响分析

（1）对海上风电项目电缆的影响分析

项目场内集电海缆穿越上海电气山东半岛北 N2 场址海上风电项目的送出海缆，两个风电场之间存在尾流影响，影响风能利用，位置关系见图 6.10-6。项目距离风电 L 场址基地约 42.7km，距离风电 P 场址基地约 23.3km，距离风电 M 场址基地约 9.6km，距离风电 O 场址基地约 4.7km，项目风机运作发电与风电 M、P、O 场址互不影响，位置关系见图 5.3-10。

目前，L 场址已取得用海批复，风电 M、O、P 场址基地尚未启动，海缆路由尚未设计。半岛北基地 N 场址分为 N1 和 N2 场址两个部分，N2 海上风电项目海域使用论证已报送自然资源部并通过专家评审，尚未批复。

图 6.10-6 N1 和 N2 风电场项目风机布置图

（2）对海底通信电缆的影响分析

在威海北部离岸约 8km 处，有 1 处禁止抛锚和捕捞区，宽约 1.5km，长约 40km，西起威海市东至荣成，呈北西－南东向分布，项目送出海缆穿越该禁止抛锚和捕捞区。

禁止抛锚和捕捞区内已经建有海底通信电缆，项目高抗站距离禁止抛锚和捕捞区约217m，高抗站严格定位施工，高抗站施工对海底通信电缆的影响较小；送出海底电缆与该电缆交越，交越处水深 20m～21.5m。根据项目施工方案，交越段采用上穿施工，无需申请临时用海。项目与禁止抛锚和捕捞区位置见图 6.10-7。

图 6.10-7　项目高抗站与禁止抛锚和捕捞区位置关系图

6.10.6 对通航安全影响分析

本节内容主要引自《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目选址通航安全研究报告》（集美大学，2024 年 12 月）和《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目 500kV 高抗站建设通航安全影响研究报告》（集美大学，2026 年 8 月）。选址通航安全报告于 2023 年 6 月 2 日召开了专家咨询会，依据专题专家咨询意见对风电场区范围进行调整，以满足项目东侧航路的安全距离要求，于 2024 年 12 月对修改后的报告进行复核。

根据《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目选址通航安全研究报告》（集美大学，2024 年 12 月）的结论，拟建华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目选址与附近港口的航道、锚地以及成山角定线制航路等功能区距离较远，均在 5 海里以上；从通过截面 1 宽度 6.7 海里截面范围内的 AIS 船舶统计数据来看，2022 年第三季度通过截面 1 的船舶交通流数量为 1391 艘次，平均每天约 15.1 艘次，6.7 海里宽度范围内平均每 1 小时 35 分钟通行 1 艘船舶，总体数量一般。另外，拟选划场址南边界向北收缩后，场址区域变小，上述交通流数量也会相应减少。

项目在施工期间和建成投产后，对通航环境和过往船舶通航安全产生的影响可控，在采取本报告提出的一系列建议和安全保障措施以后，其不利影响将会得到相当程度的缓解或消除。

鉴于项目的建设及运营对附近水域的通航环境与通航安全存在的影响，建设单位应充分认识到“通航在前，选址在后”，充分考虑到通航环境和安全生产有着密切的联系，制定相应的安全管理办法，建设完善的海上风电通航安全自主监控平台；投入必要的人力、物力和配套设施，与当地海事主管部门建立更加有效的联系和协调，处理好与附近通航环境的关系，加强对风电场及附近水域的安全管理，保障海上风电及附近水域的通航安全。

根据《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目 500kV 高抗站建设通航安全影响研究报告》（集美大学，2026 年 8 月）的结论，距离拟建高抗站最近的船舶航路为威海至成

山角航路，两者之间最近距离约 2.00 海里（3.7km），见图 6.10-8；拟建高抗站距离其北侧交通流密集区最近距离约 2.39 海里（4.4km），见图 6.10-9；拟建高抗站靠近威海 VTS 区域边界。

施工作业会对附近水域的过往船舶、对威海港区的正常运营秩序会产生一定的影响，施工单位、建设单位应在思想上予以高度重视，编制科学完善的通航安全保障措施，落实水上安全生产主体责任，完善施工期管控措施，提前筹划施工期通信安全保障。

在营运期间海上高抗站将成为海上碍航物。拟建高抗站营运期间对附近水域的交通环境会带来一定影响，但拟建高抗站选址时已经和附近航路保持了一定的安全距离，因此拟建高抗站营运期对附近交通环境的影响可控。

拟建高抗站相关设计要素满足相关要求，与所在海域通航环境基本适应。拟建高抗站在施工期间和建成投产后，对通航环境和过往船舶通航安全产生的影响可控，在采取安全保障措施以后，其不利影响将会得到相当程度的缓解或消除。

图 6.10-8 拟建高抗站与威海至成山角航路位置示图

图 6.10-9　高抗站与北侧交通流密集区位置关系图

6.10.7 对登陆点附近开发活动的影响分析

项目海缆登陆段采用开挖的施工方式穿越人工岸线，项目东侧 83m 为屯侯家社区股份经济合作社村集体码头，见图 5.3-7，主要功能为渔业码头，海缆施工会对村集体码头的使用产生影响，影响渔船的停靠等。村集体码头东侧养殖池已废弃，项目建设不会对废弃养殖池产生影响。

6.10.8 对探矿权的影响分析

根据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》：“涉及与已设探矿权和采矿权重叠的，要按照《中华人民共和国矿产资源法》等有关法律法规做好利益相关者协调，形成一致性书面意见”。

项目压覆中海石油（中国）有限公司天津分公司探矿权部分海域，对探矿权产生一定影响。

6.10.9 影响协调分析

综上分析，项目利益相关者共 23 个，其中包括养殖单位 17 家（荣成公交集团有限公司、荣成海洋发展集团有限公司、荣成好运角实业有限公司、荣成汇通城市建设有限公司、荣成市爱莲湾建设有限公司、荣成市滨海城建开发有限公司、荣成市城建投资开

发有限公司、荣成市城市资产经营有限公司、荣成市创科投资有限公司、荣成市经济开发投资公司、荣成市经济开发投资有限公司、荣成市同辉渔业有限公司、荣成市鑫海投资有限公司、荣成市园林建设集团有限责任公司、荣成市振荣建设开发有限公司、山东润泽冷链物流有限公司和1家无证养殖业主），风电项目建设单位1家（上海电气风电集团（烟台牟平）新能源有限公司），海底电缆管理单位1个（北部战区相关部门），港口码头单位2个（山东港口威海港有限公司和威海奔腾港航配套建设工程有限公司（更名为威海华滋海洋工程有限公司）），渔码头管理单位1个（屯侯家社区股份经济合作社）和探矿权使用单位1个（中海石油（中国）有限公司天津分公司）。利益协调部门1个（威海海事局）。

6.10.9.1 与养殖业主的协调分析

项目用海占用、悬沙影响及保护区范围改变采捕方式涉及的利益相关者包括养殖用海项目共计63宗，涉及17个利益相关单位。

①针对海缆用海范围占用的27宗开放式养殖（26宗已确权开放式养殖和1宗无证养殖区），其中9宗为底播养殖，18宗为筏式养殖，建设单位需征得养殖权属人同意项目建设并进行立体确权，并签订协议进行经济补偿。建设单位已经与威海经济技术开发区管理委员会达成用海补偿意向性协议（附件 13），由威海经济技术开发区管理委员会负责与项目占用的威海市养殖项目业主的协调和补偿工作。其中建设单位已与山东润泽冷链物流有限公司签订协议，取得统一建设意见（附件 13）。

②本项目施工时悬浮泥沙会扩散进入63宗养殖用海（62宗已确权业主+1宗无证养殖业主），针对施工悬浮泥沙影响的养殖业主，建设单位对受海缆施工产生的悬沙影响的养殖权属人进行经济补偿，并签订补偿协议。建设单位已经与威海经济技术开发区管理委员会达成用海补偿意向性协议（附件 13），由威海经济技术开发区管理委员会负责与项目占用的威海市用海项目业主的协调和补偿工作。其中建设单位已与山东润泽冷链物流有限公司签订协议，取得统一建设意见（附件 13）。

6.10.9.2 与港口、航道用海的协调分析

项目500kV海缆距离威海新港主航道较近，海底电缆施工时会影响航道使用，建设单位已与山东港口威海港有限公司进行协调，山东港口威海港有限公司原则上同意该项目建设，协议见附件 13。

项目海缆距离威海奔腾港航配套建设基地码头较近，海缆的铺设施工会对港口码头

和来往船只产生一定的影响，建设单位已与威海奔腾港航配套建设工程有限公司（更名为威海华滋海洋工程有限公司）进行协调，威海奔腾港航配套建设工程有限公司（更名为威海华滋海洋工程有限公司）原则上同意该项目建设，协议见附件 13。

6.10.9.3 与上海电气风电集团（烟台牟平）新能源有限公司的协调分析

项目场内集电海缆穿越上海电气山东半岛北 N2 场址海上风电项目的送出海缆，建设单位应提前与 N2 项目提前沟通，积极征求权属单位上海电气风电集团（烟台牟平）新能源有限公司意见，建设单位已与 N2 场址建设单位签订联合开发合作协议，经友好协商，双方就合作开发已达成协议，见附件 13。

6.10.9.4 与海底通信电缆管理单位的协调分析

2024 年 12 月，秉承国防优先原则，建设单位委托相关单位对场址涉及 JS 影响进行论证报告编制工作。2026 年 7 月，通过威海市发改委报山东省能源局征求北部战区意见。项目 500kV 海缆交越段采用上穿法敷设，建设单位需与 HJ 协商，确保项目 500kV 海缆不会对已有海底通信电缆形成影响。

6.10.9.5 与中海石油（中国）有限公司的协调分析

项目与中海石油（中国）有限公司已取得的油气探矿权（证书编号:T1000002025051018001660）范围存在重叠。根据海油集团内部管理规定，指导海油天津公司与建设单位签订互不影响及权益保障协议，明确甲方（中海油天津公司）与乙方（建设单位）签订区域内探矿互不影响，协议真实有效。协议经海油集团内部流程由天津公司签署，符合其内部管理规定，见附件 13。

6.10.9.6 与屯侯家社区股份经济合作社的协调分析

项目海缆登陆段东侧为村集体码头，主要功能为渔业码头，海缆施工会对村集体码头的使用产生影响，影响渔船的停靠等。建设单位已与屯侯家社区股份经济合作社进行积极协商，取得同意建设意见，见附件 13。

6.10.9.7 与航道管理部门的协调分析

项目建设单位委托集美大学编制了《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目选址通航安全研究报告》并通过专家评审（附件 12），项目根据专家意见对风电场区范围进行调整，以满足通航要求，项目在建设及运营过程中建设完善的海上风电通航安全管理支持系统，与当地海事主管部门建立更加有效的联系和协调，处理好与附近通航环境的

关系，保障海上通航安全。

综上所述，在加强项目自身管理、海上通行安全和环保管理后，项目对周边利益相关者的影响可控制在最低限度，利益相关者存在妥善解决的途径。

利益相关者界定见表 6.10-5，协调分析及协调方案见表 6.10-6。

表 6.10-5　利益相关者界定一览表

表 6.10-6　利益相关者协调方案

6.11 其他环境要素环境影响预测与评价

6.11.1 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。海上施工区周围无环境敏感点，各类施工机械、船舶产生的废气对大气环境影响较小。

海上升压站、高抗站柴油发电机组工作时产生的大气污染物主要为烟尘和氮氧化物等，会对空气环境产生一定的不利影响，为减小对空气环境的污染影响，柴油发电机组应采用轻柴油作燃料，严禁使用重油、渣油为燃料。柴油发电机组仅在正常供电中断时启动，使用频率很低，产生废气量很少，不会对周围空气环境质量产生明显的影响。

6.11.2 固体废物影响预测与评价

工程施工活动无弃渣。施工高峰期生活垃圾产生量约 300kg/d。生活垃圾产生量较少，且收集后由当地环卫部门统一清运，对周围环境影响很小。

运营期固体废物主要来自海上升压站、高抗站电气设备运行产生的废旧蓄电池、检修过程中产生的油渣、油垢、废油等固废以及管理人员产生的生活垃圾。运营期产生的废旧蓄电池、废油或含油棉纱等均属危险废物，定期运往陆上集控中心危废暂存间，统一委托有资质单位接收处置。海上巡检产生的生活垃圾约为 1.728t/a；统一收集后送市政垃圾场处理。综上固体废物不会对周围环境产生影响。

6.12 累积影响分析

根据《山东海上风电发展规划（2021~2030 年）》，半岛北基地共规划了 6 个海上风电场（场址 K、L、M、P、O、N），规划风电场场址总面积为 1280 平方公里，规划容量 850 万千瓦。N 分为 N1（场址南侧 110 万千瓦）和 N2（场址北侧 90 万千瓦）两部分，N 场址东侧为规划 O 场址，距离较近，与其他场址距离均较远。

1、对海洋生态环境的不利影响

（1）生物群落结构的改变

连片的风电场构成了大规模的人工屏障，改变了原有的海底连续性，直接占用底栖生物栖息地，可能妨碍某些底栖生物、鱼类的局地迁移和交流，降低种群遗传多样性，导致生物群落结构发生改变。

（2）鸟类迁徙碰撞风险增加

多个项目形成的风电场群，迫使鸟群在长途迁徙中消耗更多能量进行绕行，或在疲

劳、恶劣天气下被迫穿越，极大增加碰撞风险。

（3）噪声的干扰

多个风电场施工期打桩噪声在时间和空间上的重叠，会显著延长高噪声污染的区域和持续时间，对海洋哺乳动物的听觉掩蔽、生理应激、栖息地驱逐效应产生一定负面影响，但由于不同风电场区距离较远，且基本不是同时施工，因此，其影响相对较小。运营期的低频噪声也可能在更大范围内干扰鱼类通信和定向。

（4）通航安全影响

风电场群改变了局部海域的通航格局，增加了船舶通航密度和复杂性，提升了碰撞、绕行风险。

（5）对水动力、地形地貌冲淤环境的影响

根据风电项目平面布置特点，其基础多采用桩基，且距离较远，就项目整体布局来说，在规划场址边界范围内风机距离较远，根据数值模拟计算结果，项目对水动力、地形地貌冲淤环境的影响主要集中在桩基小范围内，且桩基实际占用海洋空间较小，本项目周边风电场建设对海洋生态系统影响很小。

2、对海洋生态环境的有利影响

（1）有利于形成人工鱼礁效应

海上风电风机基础（桩基、导管架）、海缆保护结构等水下设施，可在原本以软质海床为主的海域形成人工硬基质栖息地，发挥类似人工鱼礁的生态功能，为海洋生物提供附着、栖息、觅食和繁殖的场所。同时，这些人工硬基质可促进藻类、贝类等附着生物生长，进而带动滤食性生物、捕食性鱼类的聚集，构建新的食物网结构，提升局部海域生物多样性。

（2）减少温室气体排放，缓解海洋酸化

风电集群的建成运营，可大幅减少燃煤发电产生的 CO_2、CH_4等温室气体排放。长期来看，可有效缓解温室气体导致的海洋酸化问题，保护贝类等钙化生物的生存环境，维持海洋生态系统的酸碱平衡。此外，风机基础附着的滤食性生物可增加海洋碳沉积量，进一步提升海域固碳能力，助力海洋生态系统的碳汇功能提升。

项目施工和运营过程中应采取积极的生态修复措施，应建立长期、全面的海洋环境监测网络，对已建和规划海上风电工程周边海域的生态环境、水质、地质等进行实时监测，及时掌握工程建设和运营对海洋环境的影响，为采取针对性的防治措施提供科学依据，将风电场建设对海洋生态环境影响降到最低。

7 环境风险评价

环境风险评价就是以突发性事故导致的危险物质环境急性损害防控为目标，对项目的环境风险进行分析、预测和评估，提出环境风险预防、控制、减缓措施，明确环境风险监控及应急建议要求，为项目环境风险防控提供科学依据。

7.1 风险识别

7.1.1 项目风险源调查

本项目为海上风电场建设项目，施工期主要危险物质为施工船舶的燃料油；运营期主要危险物质为检修船舶的燃料油和海上升压站、高抗站的变压器油，燃料油位于日常检修船舶的油舱内，变压器油位于海上升压站、高抗站的变压器。因此，本项目涉及的风险物质主要为船舶机舱的燃料油和柴油，其危险性识别见表 7.1-1。

表 7.1-1 代表物质的危险特性

物料名称	物态	硫含量%不大于	爆炸极限（Vol%）	毒性刺激	闪点（℃）不低于	自燃点（℃）	火灾危险性类别
燃料油	液态	1.5	/	/	66	400~530	丙
柴油	液态	0.2	0.5~4.1	LD50:7.5g/kg	55	528	丙

7.1.2 风险等级判断与评价范围

根据 2.5.1.7 节项目施工期环境风险评价等级为二级，评价范围为危险物质 48h 扩散范围；运营期环境风险评价等级为三级，根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025），三级评价项目应定向分析说明海域环境影响后果，不需设置环境风险影响评价范围。

7.1.3 环境敏感目标情况

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）相关要求，通过对评价范围内可能受影响的环境敏感目标进行调查，拟建工程主要环境敏感目标见 2.7 节。

7.2 海上溢油事故分析

7.2.1 发生溢油事故的主要原因

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、起火、船体破损、断裂等突发性事故造成的污染，一旦发生翻船和沉船事故，均会伴随着发生船舶燃料油泄漏污染的事故。本项目为客运码头项目，操作性污染主要是船舶事故性排放机舱油污水、洗舱水、垃圾等造成的污染。

大量溢油污染事故统计分析表明，造成溢油事故除了一些不可抗拒的自然灾害外，绝大部分是由于操作不当或违章作业等人为原因，主要表现在以下几个方面：

（1）船员责任意识淡薄、缺乏系统培训、违章作业、实际操作应变能力差等人为因素，是船舶溢油事故不断的重要因素。

（2）船舶触礁、碰撞、起火、爆炸、风浪、进水及机舱事故等导致溢油，其中以触礁和碰撞而引起的溢油事故最多。船舶本身的设备情况，如船舶设备质量不过关或年久老化未及时更换等也是造成溢油事故重要的因素。

（3）船舶在港口加油期间可能因操作失误造成溢油，但该类事故溢油量一般较小，属于跑冒滴漏情况。

7.2.2 风险事故源项分析

（1）船舶碰撞溢油事故

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。

根据统计，我国运输船舶等级事故数量逐年下降，2024 年共发生 66 起，较上年减少 25.8%，死亡失踪人数及沉船数分别下降 19.2%和 37.5%。例如 2025 年 12 月 13 日，在京杭大运河皂河船闸附近水域，两艘货船因航速较快、沟通不畅及避让操作不当发生碰撞。事故处理机制不断强化，截至 2025 年 12 月，全国范围内共设立 60 余家水上“一

站式”解纷中心，覆盖全国沿海、长江流域和其他内河水域，以建立高效便捷的水上纠纷多元解纷机制。

对我国发生的较大溢油事故调查分析表明，虽然发生溢油事故的原因有多种多样，但是最主要的原因是船舶突遇恶劣天气，风大、流急、浪高，加之轮机失控，造成船舶触礁和搁浅，引发重大溢油事故发生。特别是在河口、港湾、沿海等近岸水域，由于海底地形复杂多变，船舶溢油事故发生的频率较外海大得多。我国较大溢油事故的统计分析，因碰撞和搁浅而导致的船舶溢油事故比例高达 55.3%，绝大部分都发生在近岸海域，相应的溢油量占总溢油量的 43.6%，船舶溢油事故对近海的环境污染危害很大。

（2）主要风险事故源强确定

本工程溢油事故风险主要来源于施工期间作业船舶与过往船舶发生碰撞引起的溢油事故。根据交通运输部海事局统计，1997～2002 年沿海船舶溢油事故总平均溢油量为 47 吨/起；操作性事故平均溢油量为4.47 吨/起。

根据《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017），最大水上溢油事故溢油量按照 1 个货油边舱或燃料油边舱的容积确定，因此确定海缆铺设船舶边舱的油量和驳船边舱的油量为溢油量，按照附录 C 中规定选取溢油量。海缆铺设船舶载重量较小，最大船舶为 4000t 驳船，燃油总舱容为 245m^3，单舱燃油量为 24m^3、密度取 0.9t/m^3、约为 22t；20000t 驳船按照 10000t 驳船的 2 倍计，燃油总舱容为 1488m^3，单舱燃油量约为 200m^3、密度取 0.9t/m^3、约为 180t。

综上，铺缆船溢油量按照 22t 计，驳船溢油量按照 180t 计。考虑在 1 个小时内泄漏入海。

（3）最大可信事故类型

根据统计资料分析，拟建工程最大可信事故为船舶因碰撞等事故而发生溢油。

7.3 环境风险评价

7.3.1 海上油膜动态预测模式简介

溢油进入水体后发生扩展、漂移、扩散等油膜组分保持恒定的输移过程和蒸发、溶解、乳化等油膜组分发生变化的风化过程，在溢油的输移过程和风化过程中还伴随着水体、油膜和大气三相间的热量迁移过程，而黏度、表面张力等油膜属性也随着油膜组分和温度的变化发生不断变化。油粒子模型是基于拉格朗日体系，把溢油离散为大量的油粒子，每个油粒子代表一定的油量，油膜就是由这些大量的油粒子所组成的云团。首先

计算各个油粒子的位置变化、组分变化、含水率变化，然后统计各网格上的油粒子数和各组分含量可以模拟出油膜的浓度时空分布和组分变化，再通过热量平衡计算模拟出油膜温度的变化，最后根据油膜的组分变化和温度变化计算出油膜物理化学性质的变化。

①扩展运动：采用修正的 Fay 重力－粘力公式计算油膜扩展

$$\frac{dA_{oil}}{dt}=K_a A_{oil}^{1/3}(\frac{V_{oil}}{A_{oil}})^{4/3}$$

式中，A_{oil}为油膜面积，$A_{\mathrm{oil}}=\pi R_{\mathrm{oil}}^2$，$R_{\mathrm{oil}}$为油膜直径；$K_a$为系数；$t$为时间；

油膜体积为：$V_{\mathrm{oil}}=\pi R_{\mathrm{oil}}^2 h_{\mathrm{s}}$

初始油膜厚度 h_s=10cm。

②漂移运动：油粒子漂移的作用力是水流和风拽力，油粒子总漂移速度由以下权重公式计算

$$U_{\mathrm{tot}}=c_w(z)U_w+U_s$$

其中 U_w为水面以上 10m 处的风速；U_s为表面流速；c_w为风漂移系数，一般在 0.03 和 0.04 之间。

风场数据从气象部门获得，而流场从二维水动力模型计算结果获得。但是一般二维水动力模型计算出的是垂向平均值，必须据此估算流速的垂向分布。假定其符合对数关系

$$V(z)=\frac{U_f}{\kappa}\ln(\frac{h-z}{k_n/30})$$

其中 z 为水面以下深度；V（z）为对数流速关系；κ 为冯卡门常数（0.42）；k_n为 Nikuradse 阻力系数；U_f为摩阻速度，定义为

$$U_f=\frac{V_{mean}\kappa}{\ln(\frac{h}{k_n/30}-1)}$$

其中 V_{mean}为平均流速。$z=h-\frac{k_n}{30}$

当水深大于此位置时模型假定对流速度为 0。当 z＝0 时，即可求出表面流速 U_S：

$$U_S=V(0)$$

③紊动扩散：假定水平扩散各向同性，一个时间步长内α方向上的可能扩散距离 S_α 可表示为

$$S_\alpha=[R]_{-1}^{1}\sqrt{6D_\alpha\Delta t}$$

其中$[R]_{-1}^{1}$为-1 到 1 的随机数，D_α为α方向上的扩散系数。

④风化过程：油粒子的风化包括蒸发、溶解和形成乳化物等过程，在这些过程中油粒子的组成发生改变，但油粒子水平位置没有变化。对轻质油主要考虑蒸发的影响。

油膜蒸发受油分、气温和水温、溢油面积、风速、太阳辐射和油膜厚度等因素的影响。假定：

在油膜内部扩散不受限制（气温高于 0℃以及油膜厚度低于 5－10cm 时基本如此）；

油膜完全混合；

油组分在大气中的分压与蒸气压相比可忽略不计。

蒸发率可由下式表示

$$N_i^e = k_{ei}\frac{P_i^{sat}}{RT}\frac{M_i}{\rho_i}X \ [\mathrm{m^3/m^2 s}]$$

其中 N 为蒸发率；k_e 为物质输移系数；P^{SAT} 为蒸气压；R 为气体常数；T 为温度；M 为分子量；ρ 为油组分的密度；i 为各种油组分。k_{ei} 由下式估算

$$k_{ei} = kA_{oil}^{0.45}S_{ci}^{-2/3}U_w^{0.78}$$

其中 k 为蒸发系数；S_{ci} 为组分 i 的蒸气 Schmidts 数。

⑤热量迁移：蒸气压与粘度受温度影响，而且观察发现通常油膜的温度要高于周围的大气和水体。

a 油膜与大气之间的热量迁移：油膜与大气之间的热量迁移可表达为

$$H_T^{oil-air} = A_{oil}k_H^{oil-air}(T_{air} - T_{oil})$$

$$k_H^{oil-air} = k_m\rho_a C_{pa}(\frac{S_c}{P_r})_{air}^{0.67}$$

其中 T_{oil} 为油膜温度；T_{air} 为大气温度；ρ_a 为大气密度；C_{pa} 为大气的热容量；$P_r = \dfrac{C_{pa}\rho_a}{0.0241(0.18055+0.003T_{air})}$，为大气 Prandtl 数。当蒸发可忽略不计时，$k_H^{oil-air}$ 可简单用下式计算

$$k_H^{oil-air} = 5.7 + 3.8U$$

b 太阳辐射：油膜接受的太阳辐射取决于许多因素，其中最重要的为溢油位置、日期、时刻、云层厚度以及大气中的水、尘埃、臭氧含量。一天中的太阳辐射变化可假定为正弦曲线：

$$H(t)=\begin{cases}K_t H_0^{\max}\sin(\pi\dfrac{t-t^{sunrise}}{t^{sunset}-t^{sunrise}}) & t^{sunrise}<t<t^{sunset}\\ 0 & \text{其它}\end{cases}$$

其中 $t_{sunrise}$ 为日出时刻（午夜后秒数）；t_{sunset} 为日落时刻（午夜后秒数）； T_d 为日长，即 $t^{sunset}=t^{sunset}+T_d\,T_d$，由下式计算：

$$T_d=a\cos(\tan\phi\tan\varsigma)$$

其中 ϕ 为纬度；ς 为太阳倾斜角度（太阳在正午时与赤道平面的角度），

$\varsigma\cong 23.45\sin(360\dfrac{284+n}{365})$ $H_0^{\max}$ 为正午的星际辐射，

$H_0^{\max}=\dfrac{12K}{t^{sunset}-t^{sunrise}}I_{sc}(1+0.033\cos\dfrac{360n}{365})(\cos\phi\cos\varsigma\sin\omega_h+\omega_h\sin\phi\sin\varsigma)$ 其中 I_{sc} 为太阳常数（1.353W/m）；n 为一年中日数。ω_h 为日出的小时角度，正午时为 0，每小时等于 15（上午为正）；K_t 为系数，晴天时取 0.75，随着云层厚度增加而减少，很大一部分的太阳辐射到达地面时已被反射，因此净热量输入为

$$(1-a)H(t)$$

其中 a 为漫射系数（albedo）。

③蒸发热损失：蒸发将引起油膜热量损失

$H^{vapor}=\sum_i N_i\Delta H_{vi}$ [W/m^2]其中 ΔH_{vi} 为组分 i 的汽化热。油膜总的动态热平衡综合考虑了上述各种因素：

$$\frac{dT_{oil}}{dt}=\frac{1}{\varsigma C_p h}[(1-a)H+l_{air}T_{air}^4+l_{water}T_{water}^4-2l_{oil}T_{oil}^4]$$

$$+h_{ow}(T_{water}-T_{oil})+h_{oa}(T_{air}-T_{oil})-\sum N_i\Delta H_{vi}$$

$$+(\frac{dV_{owater}}{dt}\varsigma C_{pw}+\frac{dV_{oil}}{dt}\varsigma_{oil}C_{poil})(T_{water}-T_{oil})A_{oil}$$

④油膜与大气之间的热量迁移：油膜与大气之间的热量迁移可表达为

$H_H^{oil-air}=A_{oil}k_H^{oil-air}(T_{water}-T_{oil})$ $k_H^{oil-air}=0.332+r_w\cdot C_{pw}\cdot Re^{-0.5}\cdot Pr_w^{-2/3}$

其中 C_{pw} 为水的热容量。P_{rw} 为水的 Prandtl 数

$P_{rw}=C_{pw}\nu_w\rho_w\dfrac{1}{0.330+0.000848(T_w-273.15)}$ R_e 为特征雷诺数： $R_e=\dfrac{\nu_{rel}\sqrt{4A_{oil}/\pi}}{\eta_w}$

其中 ν_{rel} 为油膜的运动粘滞系数。

⑤反射和接受辐射：油膜将损失和接受长波辐射。净接受量由 Stefan－Boltzman 公式计算：$H_{total}^{rad} = \sigma(l_{air}T_{air}^4 + l_{water}T_{water}^4 - 2l_{oil}T_{oil}^4)$

其中，σ为 Stefan－Boltzman 常数[5.7210^{8}W/（m^{2}K）]；l_{air}、l_{water}、l_{oil}分别为大气、水和油的辐射率。

7.3.2 溢油预测模型参数选取

1）油种和油量

根据《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017），最大水上溢油事故溢油量按照 1 个货油边舱或燃料油边舱的容积确定，因此确定海缆铺设船舶边舱的油量和驳船边舱的油量为溢油量，按照附录 C 中规定选取溢油量。海缆铺设船舶载重量较小，最大船舶为 4000t 驳船，燃油总舱容为 245m^3，单舱燃油量为 24m^3、密度取 0.9t/m^3、约为 22t；20000t 驳船按照 10000t 驳船的 2 倍计，燃油总舱容为 1488m^3，单舱燃油量约为 200m^3、密度取 0.9t/m^3、约为 180t。

综上，铺缆船溢油量按照 22t 计，驳船溢油量按照 180t 计。考虑在 1 个小时内泄漏入海。

2）溢油发生点

根据本工程建设内容和特点，将驳船溢油发生点设在风场区升压站附近海域，将铺缆船溢油发生点设在本工程路由近岸段附近海域（登陆海缆与习惯性航路交界位置），见图 7.3-1。

图 7.3-1　溢油位置示意图

①模型参数设定

根据相关文献推荐值，模型中相关参数取值见表 7.3-1。

表 7.3-1　部分模型参数设置

参数	系数过程取值
风漂移系数 cw	0.035
油的最大含水率 y_w^{max}	0.85
油的最大含水率（K1）	5×10^{-7}
释出系数（K2）	1.2×10^{-5}
传质系数 KSi	2.36×10^{-6}
蒸发系数 k	0.029
油辐射率 loil	0.82
水辐射率 lwater	0.95
大气辐射率 lair	0.82
漫射系数（Albedo）α	0.1

模型中水平（横向和纵向）扩散系数 DL 和 DT 的取值非常重要，反映了油粒子在水体中的扩散强度和随机紊动强度，对模拟结果影响较大，而且不同的应用场合下取值范围很大。模型采用的是油粒子模型，其中的扩散系数概念与常规的对流扩散模型有所不同，体现在：1）油粒子只在水体表面运动；2）粒子不按水动力模型中设定的网格运移，而是按实际运移路径准确计算，扩散系数取值与模型网格布置方式和时间步长关系不大。

②风况

计算风向考虑夏季主导风向、冬季主导风向和不利风向。鉴于风速达到 6 级风时，不能进行施工，不利风向溢油计算风速选取 6 级风最低风速。选取静风、夏季主导风向 SSE（平均风速 4.3m/s）、冬季主导风向为 NW（平均风速 5.3m/s）和不利风向 N（6 级风，风速 13.8m/s）4 种典型气象条件与涨落潮的组合，预测 72h，预测和分析船舶发生溢油事故对周边海域的影响。气温采用 20℃。

7.3.3 驳船溢油预测结果

①静风情况下

低潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要在工程附近飘移扩散，向 SE 方向最大飘移距离约 7.1km，向 NW 方向最大飘移距离约 5.9km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-2，溢油扩散范围见图 7.3-2。

高潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要在工程附近飘移扩散，向 SE 方向最大飘移距离约 7.8km，向 NW 方向最大飘移距离约 3.9km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-2，溢油扩散范围见图 7.3-3。

图 7.3-2　溢油最大影响范围（静风，低潮时溢油 72 小时后）

图 7.3-3　溢油最大影响范围（静风，高潮时溢油 72 小时后）

②夏季主导风向

低潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要向 NW 方向飘移，向 NW 方向飘移距离约为 40.2km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-2，溢油扩散范围见图 7.3-4。

高潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要向 NW 方向飘移，向 NW 方向飘移距离约为 33.5km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-2，溢油扩散范围见图 7.3-5。

图 7.3-4　溢油最大影响范围（SSE 风，低潮时溢油 72 小时后）

图 7.3-5　溢油最大影响范围（SSE 风，高潮时溢油 72 小时后）

③冬季主导风向

低潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要向 SE 方向飘移，最大飘移距离约 30.9km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-2，溢油扩散范围见图 7.3-6。

高潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要向 SE 方向飘移，最大飘移距离约为 34.3km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-2，溢油扩散范围见图 7.3-7。

图 7.3-6　溢油最大影响范围（NW 风，低潮时溢油 72 小时后）

图 7.3-7　溢油最大影响范围（NW 风，高潮时溢油 72 小时后）

④不利风向

低潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要向 S 方向飘移，向 S 方向飘移距离约为 88.4km。扫海面积和残油量见表 7.3-2，溢油扩散范围见图 7.3-8。

高潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要向 S 方向飘移，向 S 方向飘移距离约为 87.9km。扫海面积和残油量见表 7.3-2，溢油扩散范围见图 7.3-9。

图 7.3-8　溢油最大影响范围（N 风，低潮时溢油 72 小时后）

图 7.3-9　溢油最大影响范围（N 风，高潮时溢油 72 小时后）

表 7.3-2　溢油面积和残油量统计表

风况		溢油持续时间（h）	低潮时发生溢油		高潮时发生溢油	
			扫海面积（km^2）	残油量（t）	扫海面积（km^2）	残油量（t）
静风		6	6.14	176.58	7.73	175.53
		12	8.99	171.16	12.34	168.00
		24	14.45	158.91	19.62	153.45
		48	24.03	138.87	29.46	133.67
		72	40.49	120.11	42.99	117.45
夏季主导风 SSE	平均风速 4.3m/s	6	13.77	177.09	8.08	176.80
		12	25.05	170.80	13.76	170.58
		24	48.42	155.53	30.37	153.05
		48	96.52	130.69	60.93	127.31
		72	198.76	106.80	126.35	103.02
冬季主导风 NW	平均风速 5.3m/s	6	12.39	177.78	10.39	177.45
		12	23.74	172.40	18.69	171.96
		24	48.60	158.07	38.72	156.91
		48	101.81	133.20	79.41	132.00

风况		溢油持续时间（h）	低潮时发生溢油		高潮时发生溢油	
			扫海面积（km^2）	残油量（t）	扫海面积（km^2）	残油量（t）
		72	166.86	114.47	155.17	109.38
不利风 N	6 级风速 13.8m/s	6	27.91	177.09	26.82	176.80
		12	52.23	170.58	48.94	170.04
		24	106.31	154.29	97.56	153.56
		48	219.87	128.29	202.56	127.27
		72	373.25	108.44	397.78	104.15

7.3.4 铺缆船溢油预测结果

①静风情况下

低潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要在工程附近近岸飘移扩散，向 E 方向最大飘移距离约 9.2km，向 W 方向最大飘移距离约 5.2km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-3，溢油扩散范围见图 7.3-10。

高潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要在工程附近近岸飘移扩散，向 E 方向最大飘移距离约 10.7km，向 W 方向最大飘移距离约 5.1km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-3，溢油扩散范围见图 7.3-11。

图 7.3-10 溢油最大影响范围（静风，低潮时溢油 72 小时后）

图 7.3-11 溢油最大影响范围（静风，高潮时溢油 72 小时后）

②夏季主导风向

低潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要向 NW 方向飘移，向 NW 方向飘移距离约为 37.8km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-3，溢油扩散范围见图 7.3-12。

高潮发生溢油时，溢油 72 小时后，油膜主要向 NW 方向飘移，向 NW 方向飘移距离约为 32.9km，油膜未抵达周边生态保护红线范围内。扫海面积和残油量见表 7.3-3，溢油扩散范围见图 7.3-13。

图 7.3-12 溢油最大影响范围（SSE 风，低潮时溢油 72 小时后）

图 7.3-13 溢油最大影响范围（SSE 风，高潮时溢油 72 小时后）

③冬季主导风向

低潮发生溢油时，溢油 11 小时后抵岸，油膜主要向 SE 方向飘移，最大飘移距离约 10.5km，9h 抵达威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，9h 抵达威海荣成砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线。扫海面积和残油量见表 7.3-3，溢油扩散范围见图 7.3-14。

高潮发生溢油时，溢油 10 小时后抵岸，油膜主要向 SE 方向飘移，最大飘移距离约为 18.2km，5h 抵达威海荣成砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，9h 抵达朝阳港滨海湿地重要滩涂及浅海水域生态保护红线。扫海面积和残油量见表 7.3-3，溢油扩散范围见图 7.3-15。

图 7.3-14　溢油最大影响范围（NW 风，低潮时溢油 72 小时后）

图 7.3-15　溢油最大影响范围（NW 风，高潮时溢油 72 小时后）

④不利风向

低潮发生溢油时，溢油 8 小时后抵岸，油膜主要向 S 方向飘移，向 S 方向飘移距离约为 9.1km，6h 抵达威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线。扫海面积和残油量见表 7.3-3，溢油扩散范围见图 7.3-16。

高潮发生溢油时，溢油 8 小时后抵岸，油膜主要向 S 方向飘移，向 S 方向飘移距离约为 9.3km，6h 抵达威海荣成砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线。扫海面积和残油量见表 7.3-3，溢油扩散范围见图 7.3-17。

图 7.3-16　溢油最大影响范围（N 风，低潮时溢油 72 小时后）

图 7.3-17　溢油最大影响范围（N 风，高潮时溢油 72 小时后）

表 7.3-3　溢油面积和残油量统计表

风况		溢油持续时间（h）	低潮时发生溢油		高潮时发生溢油	
			扫海面积（km^2）	残油量（t）	扫海面积（km^2）	残油量（t）
静风		6	6.43	19.46	7.77	20.43
		12	9.41	15.70	12.41	16.48
		24	15.12	12.31	19.73	12.93
		48	25.15	8.74	29.63	9.18
		72	42.37	5.64	43.23	5.92
夏季主导风 SSE	平均风速 4.3m/s	6	9.68	19.36	6.58	20.33
		12	17.61	15.70	11.21	16.48
		24	34.04	11.75	24.75	12.34
		48	67.85	6.86	49.64	7.21
		72	139.71	3.10	102.94	3.26
冬季主导风 NW	平均风速 5.3m/s	6	21.91	20.70	20.25	20.30
		12	35.90	12.90	39.56	11.30
		24	-	-	-	-
		48	-	-	-	-
		72	-	-	-	-
不利风 N	6 级风速 13.8m/s	6	13.08	19.50	9.79	18.70
		12	22.21	10.50	19.22	11.20
		24	-	-	-	-

风况		溢油持续时间（h）	低潮时发生溢油		高潮时发生溢油	
			扫海面积（km^2）	残油量（t）	扫海面积（km^2）	残油量（t）
		48	-	-	-	-
		72	-	-	-	-

7.3.5 溢油风险对海洋环境影响分析

①溢油对海洋生态系统的影响

溢油进入海洋以后，一般以三种形式存在于海洋环境之中。一是漂浮在海水表面，形成油膜；二是溶解或分散在海水之中，形成溶解和乳化状态；三是形成凝聚态残余物，漂浮在海面或沉积在海底。

油膜在海面停留时间较长，它将影响海水与大气之间的物质交换和热交换，使海水中氧含量、化学需氧量、温度等因素发生变化，并影响生物的光合作用及生理生化功能。溶解分散于水体中的石油组分使海水中的油含量急剧增加，改变了海洋的环境质量，因而会对海洋生物产生直接的影响或危害。溶解在海水中的石油毒性与其组分性质及其分散程度有关，芳香类化合物的毒性较大，且芳环的数目越多，毒性越大。漂浮的颗粒态石油残余物焦油球是进入海洋的石油风化产物。焦油球挥发和溶解作用缓慢，焦油球为半固态，不会对海洋生物产生明显的影响，但它的存在改变了海水的环境质量，破坏了海洋景观。

在溢油影响区，进入水体的油类对水生生物产生严重影响。首先，在油膜扩散的低浓度区域，由于油膜的隔离，阻碍了海水—大气界面上的物质与能量交换，水层光照减弱，作为食物链中基础营养层次的浮游植物生长受到抑制，初级生产力下降：稍高浓度的水中油，可造成贝类大量死亡：在繁殖季节里，海水的油污染会使鱼虾蟹类回避迁移，使产卵场育幼场消失，或产下的卵子不能孵化，或幼体发育不良而死亡，进而影响到附近海区生态系统鱼虾蟹类的生产力和生物量。

②溢油对渔业资源的影响

油污染破坏海洋环境给渔业带来的损害是多方面的。油类可以引起鱼类的摄食方式、洄游路线、种群繁殖改变或个体失衡。在鱼类的不同发育阶段其影响程度也不相同，其中对早期发育阶段的鱼类危害最大。油污染对早期发育鱼类的毒性效应，主要表现在滞缓胚胎发育，影响孵化，降低生理功能，导致畸变死亡。以对鲱鱼的实验为例，当石油浓度为 3mg/L 时，其胚胎发育便受到影响，在 3.1～11.9mg/L 浓度下，大部分孵出仔鱼多为畸形，并在一天内死亡。对真鲷和牙鲆鱼也有类似结果。当海水油含量为 3.2mg/L

时，真鲷胚胎畸变率较对照组高 2.3 倍；牙鲆孵化仔鱼死亡率达 22.7%，当含油浓度增加到 lgmg/L 时，孵化仔鱼死亡率达 84.4%，畸变率达 96.6%。Linden 的研究认为原油中可溶性芳香烃的麻醉作用导致鱼类胚胎活力减弱，代谢低下，当胚胎发育到破膜时，由于能量不足引起初孵仔鱼体形畸变。此外，溢油会对捕捞渔业造成直接损失。溢油漂移期间，这些渔区和捕捞作业会受到很大的影响。成龄鱼类为回避油污而逃离渔场，渔场遭到破坏导致渔获减少；捕获鱼类也可因沾染油污而降低市场价值。

据黄海水产研究所对虾活体实验，油浓度低于 3.2mg/L 时，无节幼体变态率与人工育苗的变态率基本一致，但当油浓度大于 10mg/L 时，无节幼体因受油污染影响而致变态率明显下降。对虾的蚤状幼体对石油毒性最为敏感。浓度低于 0.1mg/L 时，蚤状幼体的成活率和变态率基本一致，即无明显影响。当浓度达到 1.0mg/L 时，蚤状幼体便不能变态，96hL50 值为 0.62～0.86mg/L，安全浓度为 0.062～0.086mg/L。浓度大于 3.2mg/L 时，可致幼体在 48h 内死亡。入海溢油随风、流漂移，如遇合适风向，溢油会在短时间内搁浅，侵入养殖区，或随潮流在海岸带往复振荡，长期滞留。含乳化油、浮油的海水随虾池换水进入虾池。如在早期育苗阶段，当育苗池海水含油超过 1.0mg/L 时，蚤状幼体已不能变态；如养虾处于后期发育阶段，养池海水中的乳化油破乳后会粘附于虾鳃上而形成“黑鳃病”，引起对虾的呼吸困难和其他病变，轻者体质下降，重者窒息死亡。

③溢油对海岸带贝类资源的影响

一旦发生溢油，在适当的风速风向条件下，溢油团可能会影响搁浅漫滩，养殖区会受到致命冲击。溢油一旦搁滩，在大量原油覆盖的滩面，固着性生物如贝类、甲壳类生物和藻类会窒息死亡。在油膜蔓延的滩面上，幼贝发育不良，产量下降，成贝会因沾染油臭而降低市场价值。这些滤食性双壳类、在摄食时也同时摄入海水中的悬浊油分（乳化油滴）。进入蛤类胃中的乳化油滴破乳后结合成更大的油滴，并在体内积累，引起某些生理功能障碍，终因胃中油积累过多不能排泄而死亡。据 Cilfillan 实验，当油浓度达到 1.0mg/L 时，可使胎贝产生呼吸加快，捕食减少的致死效应。兰蛤和四角蛤的耐污能力尚不及贻贝，沉积在底质孔隙中的油浓度过高，会引起贝类大量死亡。此外，由于作为对虾饵料的贝类大量减少，对虾即便不直接中毒致死也会因缺乏饵料而影响生长发育，降低产量。值得注意的是，溢油对贝类的危害不是暂时性的。漫滩的污油会随潮汐涨落在附近周期性摆动，面积逐渐扩大，在波浪扰动下部分被掩埋进入沉积环境：潮下带溢油也会由于风化和吸附沉降进入沉积环境。这些进入底泥中的油类靠化学降解作用去除需数月之久。在此期间，会使贝类幼体或中毒发育不良或窒息死亡，使急性污染变

成沉积环境的长期污染。

7.4 环境风险管理

项目的风险环境敏感目标主要为周围养殖区、保护区等，发生溢油突发事故后，油膜扩散对浮游生物、鱼虾贝类、底栖生物及生态环境带来危害。

因此，本项目环境风险管理目标包括：1）通过加强管理，从源头上控制风险，最大化避免溢油事故的发生；2）日常做好溢油事故的防范工作，强化应急措施，并做好应急预案的编制和演练，做到突发情况下有章可循、及时应对；3）一旦发生溢油事故，要求立即响应进入应急预案，开展溢油清除，杜绝溢油扩散对海洋环境的影响。

本工程各项施工活动基本都需要依赖船舶，如一旦发生运输船舶碰撞、倾翻等突发性事件容易诱发海上溢油事故，将对海域生态环境带来严重的影响。因此，对海上溢油事故应进行防范及应急处理，实行“预防为主、平灾结合、常备不懈”的方针，最大程度减轻事故的危害与损失。

7.4.1 风险防范措施

7.4.1.1 施工期和运营期通航安全防范措施

（一）施工期间

（1）施工水域不允许无关船舶进入施工水域，因此业主和施工单位应进行现场监督和采取警戒巡逻措施，防止船舶误入施工水域。

（2）设立由甚高频无线电话（VHF）水上频道的水上施工通信网，确保船、岸联系畅通。

（3）施工船舶及运输船舶的交通组织

①施工作业船舶不得占据规定范围以外的水域，以免影响过往船舶的安全航行；若因特殊情况需要在安全作业区以外的水域作业或锚泊，须报海事主管机关批准。

②运输船舶在运送风机等大件时，不宜临时变更运输航线。必要时需要主管部门进行交通管制。

③施工船舶和运输船舶应严格按规定显示相应的号灯号型。

（4）过往船舶的交通组织

①申请发布航行通（警）告等信息，警告过往船舶注意避开施工区域。

②可设置专职守护船，对工程水域附近的过往船舶加强警戒，有船舶靠近工程水域时，提请过往船舶与工程水域保持安全距离。

③有小型船舶及渔船接近施工区域时，要提早用高频、声响灯光信号、高音喇叭等予以提醒，必要时予以驱赶，防止小型船舶和渔船误入施工水域。

（5）设立施工安全作业区

建设单位应按规定申请办理水上水下施工作业手续，将施工时间、地点、占据的区域、作业特点、施工进度、碍航特性等实际情况报至海事主管机关，申请划定施工安全作业区，并根据海事主管机关的审批有序组织施工。

②办好相关作业手续后，在开工前，应申请提前发布施工水域的航行通（警）告。

③严禁无关船舶进入或穿越施工安全作业区。航经附近水域的船舶，应加强瞭望，谨慎操作，服从指挥并减速航行通过，与施工安全作业区保持适当的安全距离，以保障航行安全和施工安全。

④施工船舶应保持在安全作业区内作业，若因特殊情况需要在安全作业区以外的水域作业，须报海事主管机关批准。

⑤设置必要的临时助导航标志或警戒标志，对海上即将建成或正在建设的海上构筑物做出标识，确保海上构筑物施工期间安全。必要时，安排守护船巡逻警戒。

（6）施工船舶安全维护

施工方应按照工程设计、施工方案、施工特点、船舶性能等要素精心设计施工计划，按计划进行施工。

在按计划施工时，施工负责人应合理组织各方，按既定的施工程序有序施工，避免施工各方产生相互影响，保障施工安全。

施工单位应制定施工作业安全措施，张贴、宣传并落实。施工人员应树立自我保护意识，在施工作业中注意自我保护。主和施工单位应与海事主管机关建立有效联系，主动接受其监管和协调。当发生船舶意外事故时及时向海事主管机关报告，以便海事主管机关有可能及时赶到现场协调解决。建立畅通的联系渠道亦有利于海事主管机关随时了解施工作业现场情况。

施工单位应制订异常天气影响对策，必要时应立即停止施工作业， 以保证施工人员、施工船舶和施工设施的安全。

业主和施工单位应制定突发事件的应急预案，当发生施工船舶事故时将损失减小到最小的程度。

施工船舶及运输船舶应按《沿海港口信号规定》显示信号，加强了望，随时采取安全措施，保持 VHF 相关频道守听，并确保通信联系畅通。船舶间应加强沟通，处理好

附近航行船舶与工程施工的安全问题。

（二）运营期间

运营期间，工程水域仅有现场维护的小型船只或快艇，且维修场地仅限于场区内部，对周边的通航环境和通航安全的影响较小。

（1）运维船舶应符合海上风电行业相关标准和规范的要求，按照配员要求配备适任的船员，并根据安全需要配备登乘软梯等辅助设施，并具备安全靠离海上风机平台、升压站、高抗站平台等海上风电相关设施的条件。

（2）运维船不得夜间载运人员出海，严禁超额载人。

（3）运维单位建立出海人员培训制度，组织开展海上风电施工、运维海上交通安全培训。出海作业前应当熟悉作业区域的工况条件、安全技术要求等。

（4）运维船出海前，要向海事主管部门报告。

（5）参与海上风电场维护作业的船员应当熟悉附近水域通航环境，及时关注风电场及其附近水域气象、水文、航行通（警）告等情况。

（6）运维单位应加强出海人员管理。建立出海人员登记制度，明确专人负责，登记出海人员数量、身份信息、出海时间、返回时间等信息，妥善保管相关记录备查。

（7）制定运维船出海作业海况标准。运维船出海前，要根据天气预报情况， 确定能否出海作业。

（8）及时将海底电缆路由、各风机位置以及设置的助导航及警示标志向相关部门申报，由海图出版部门标于新版海图，对船只、人员加以警示；

（9）工程建成后建议对风电场内船舶通航进行限制，以保障风机设备和船舶自身的安全；应对周边渔民和航运公司进行广泛宣传，让广大船员知悉该处水域的通航限制，避免无关船舶误闯入风电场区，确保风电场和过往船舶安全。

（10）充分发挥、利用海上风电、交通安全管理支持系统的功能，加强海上风电通航安全自主监控，实时掌握风电场及附近水域船舶动态，对风电场及附近水域船舶动态实行监控、预警和处置。

7.4.1.2 运营期变压器油泄漏风险防范措施

为防止变压器油泄漏对环境产生不利影响，采取以下措施：

（1）本期海上升压站、高抗站布置事故油罐间（容积约 200m^3），海上升压站、高抗站的变压器油量为 150t，根据《火力发电厂与变电站设计防火标准》（GB50229-2019）“户内单台油量为 100kg 以上的电气设备，应设置挡油设施及将事故油排至安全处的设

施。挡油设施容积宜按油量的20%设计。当不能满足上述要求时，对应设置能容纳全部油量的贮油设施”，本项目海上升压站、高抗站的事故油罐容量应不小于 160m^3，本项目拟设置事故油罐（容积 200m^3）满足《火力发电厂与变电站设计防火标准》（GB50229-2019）的要求。

（2）海上升压站、高抗站配备吸油索，发生溢油事故时及时采取措施，减小对海洋生态环境的影响。

（3）加强对设备的维修维护，防止发生漏油事故。

（4）收集场所采取防雨、防渗、防漏措施。

7.4.2 应急预案主要内容

目前，国家层面上发布实施了《中国海上溢油应急计划》及各大海区溢油应急计划、《国家突发环境事件应急预案》《国家船舶污染水域应急预案》和《国家重大海上溢油应急处置预案》，均可指导本海域重大溢油事故。

项目风电场距离成山头最近 57.8km、距离威海港最近 70km，海缆路由距离成山头最近 23km、距离威海港最近 10km，根据《港口码头水上污染事故应急防备能力要求》（JT/T451-2017）等相关要求，一级防备要求自接到应急响应通知后应急响应时间最低要求为 4 小时，二级防备要求自接到应急响应通知后应急响应时间最低要求为 24 小时、三级防备要求自接到应急响应通知后应急响应时间最低要求为 48 小时。根据项目与周边港口码头距离，在风场区发生溢油风险事故时成山头和威海港溢油应急力量可在一级防备要求的 4 小时内基本可以抵达、二级防备要求的 24 小时内完全可以抵达，在送出海缆路由区发生溢油风险事故时成山头、威海港溢油应急力量均可在一级防备要求的 4 小时内抵达。

同时，威海市也形成由总体应急预案和专项预案等构成的应急体系，包括《威海市海上溢油应急处置预案》（威政办字〔2023〕33 号）等。后期，建设单位内部也应形成自身的应急体系，编制突发环境事件应急预案。本工程应急预案应与上述预案实施联动机制，建设单位负责其应急预案的实施、组织预案的溢油应急演习和溢油应急反应系统的建设。为了提高溢油应急反应能力，检验应急反应中的各个环节是否能快速、协调、有效运作，每年举行一次演习。若发生区域性溢油事故或超出本公司溢油应急能力，需要启动省市级船舶污染事故应急预案或海域应急处置预案。

7.4.2.1 应急反应等级

按照溢油量或溢油导致的直接经济损失、造成人员伤亡情况等，海上溢油事件分为特别重大、重大、较大和一般 4 级。

（1）特别重大海上溢油事件

符合下列情形之一的，为特别重大海上溢油事件：

1）溢油量 1000 吨以上；

2）溢油量 500 吨以上，且可能受污染的海域位于敏感区域，或者可能造成重大国际影响，或者造成重大社会影响；

3）造成直接经济损失 2 亿元以上。

（2）重大海上溢油事件

符合下列情形之一的，为重大海上溢油事件：

1）溢油量 500 吨以上、1000 吨以下；

2）溢油量 100 吨以上，且可能受污染的海域跨省级行政区域，使当地经济社会活动受到重大影响；

3）造成直接经济损失 1 亿元以上、2 亿元以下。

（3）较大海上溢油事件

符合下列情形之一的，为较大海上溢油事件：

1）溢油量 100 吨以上、500 吨以下；

2）溢油量 100 吨以下，但可能受污染的海域跨市级行政区域，使当地经济社会活动受到较大影响；

3）造成直接经济损失 5000 万元以上、1 亿元以下。

（4）一般海上溢油事件

符合下列情形之一的，为一般海上溢油事件：

1）溢油量 100 吨以下；

2）造成直接经济损失 5000 万元以下。

7.4.2.2 应急响应程序

本工程应急计划区主要为风电场区和电缆路由铺设附近海域，应急事件包括船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故。应急响应流程由建设单位应急指挥中心组织实施，程序和内容见图 7.4-1。

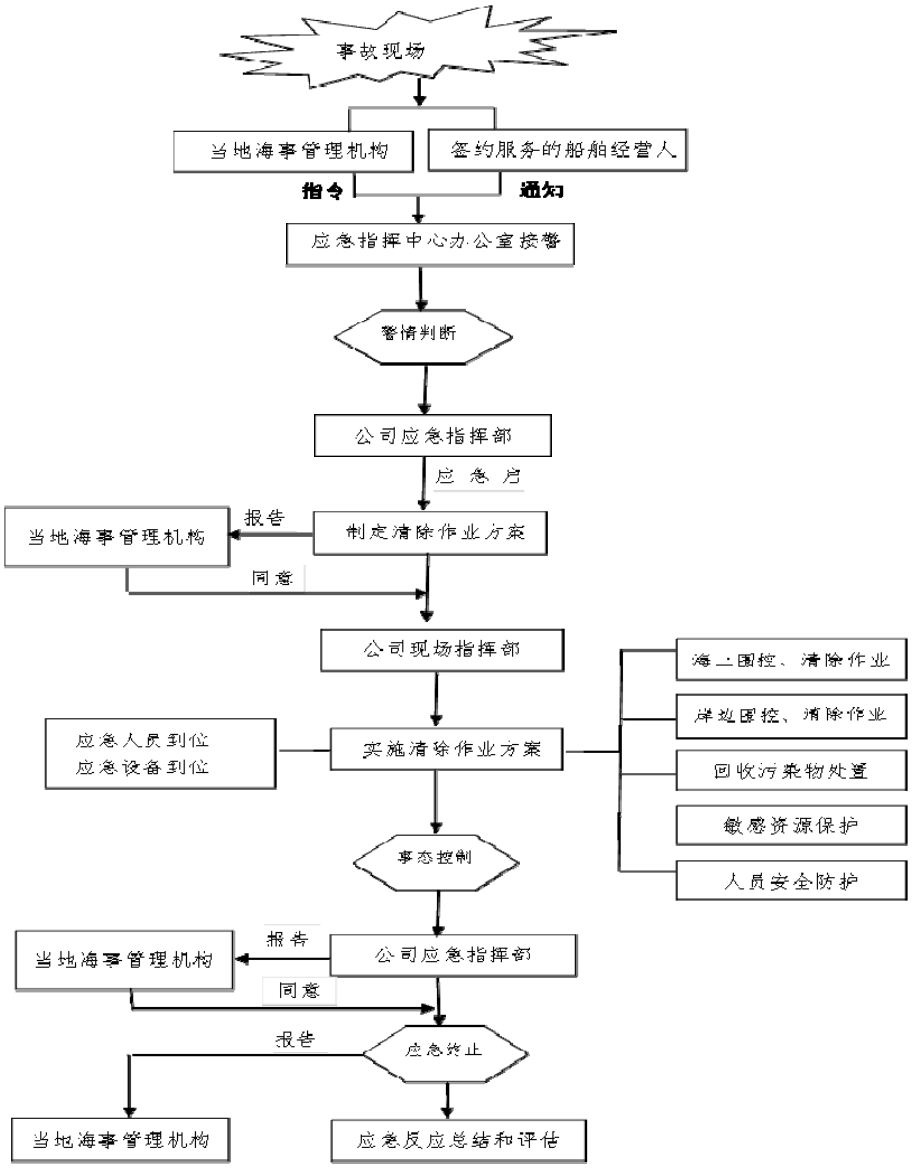


图 7.4-1 应急响应程序

7.4.2.3 应急机构建立

（1）应急领导机构

建设单位设立区域突发公共事件应急指挥部，作为建设单位处理突发公共事件应对工作的领导机构。该指挥部由建设单位主要负责人或者负责常务工作的负责人、相关部门负责人组成，承担和履行政府的突发公共事件预防、应急准备、应急处置和事后恢复与重建职责，以及法律法规或规章规定的其他职责；统一领导和协调应急处置工作，决定突发公共事件应对工作中的重大事项；组织制定建设单位突发公共事件总体应急预案。

现场应急领导机构由建设单位分管环保的领导、环境保护管理办公室负责人、承包商单位分管环保的领导组成。

（2）现场指挥

由应急领导机构指定现场指挥，各类事故应急行动由安全科科长负责指挥。

（3）溢油应急救援小组

应急指挥部按各自职责设立溢油应急救援小组：清污组、通信组、工艺组、警戒组、物资供应组、现场救护组、设备保障组、防火组、油污处理组。

7.4.2.4 风险应急措施

（1）应急对策措施

本项目溢油应急反应行动如下。

①启动分级应急响应程序

本项目施工（或维护）船舶溢油发现溢油事故后，应立即通知相关操作人员，并采取一切办法切断事故源，并作出判断，启动分级应急响应程序，发出警报，迅速通知建设单位、突发公共事件应急指挥部及海事部门。现场抢险组等各组在组长指挥下立即按各自的职责实施事故救援，各专业救援队伍迅速赶往事故现场。

②消除泄漏的措施方法

迅速查明事故发生的源点、泄漏部位和原因。初步判断船舶破损情况或海上升压站、高抗站柴油泄漏原因，组织堵漏和将残油转移。当肇事船舶作业有困难时，可按以下几点协助进行。作业要求如下：

◆必要时，由救捞人员进行水下探摸。采取各种可能的方法，尽力封堵破损口。

◆将残油驳至其他燃油舱或可接收油的油轮、油驳及油囊中。过驳时须严格遵守安全和防污染操作规程，注意不断调整各舱油量，保持船体平稳上升。

◆为保证两船安全并靠，应在两船船舷之间设置足够的碰垫，并准备移动式球形碰垫。过驳时派专人随时调整和加固缆绳，密切监视输油管及油舱状况。

③溢油的围控

船舶溢油时，事故现场的海况（波高、流速、风速等）符合围油栏的作业条件许可时，采用围油栏在海上进行定位围控；在现场围油不可能的情况下，可用围油栏将溢油诱导至利于进行清除作业且对环境敏感区影响较小的水域，再进行清除作业；当溢油受风和流的影响有可能向环境敏感区漂移时，需在敏感区周围布设围油栏，减少污染损害。

④海域海岸溢油清除

溢油被限制在一定的水域之后，应及时对其进行回收、处理，根据溢油量的大小，油的扩散方向、气象及海况条件，迅速确定围油方向和面积，缩小围圈，用吸油毡最大

限度地回收流失的油，然后加分散剂进行分散乳化处理，破坏油膜， 减轻其对海域的污染。水面溢油回收后的应急储存也很关键，除了利用当地储油设施和调动油船外，还应使用水上应急储油装置如浮动油囊，陆岸应急储油装置如轻便储油软罐等，以顺利完成水面溢油回收后的处理。

（2）针对保护区、红线区、养殖区的应急措施

一旦发生溢油风险事故，应立即采取有效措施封堵泄漏口，密切注意是否有发生火灾爆炸的危险；事故现场及周边区域全部禁止明火，注意消除其他能诱发火灾爆炸的因素；隔离和疏散可能受伤的人员，核实遇险人数、遇险水域的气象海况、水温及救助要求等情况；组织救助遇险人员，对受伤人员进行救护。

根据可能受到威胁的环境敏感区的优先保护次序，根据不同环境敏感资源的保护内容及特性制定有针对性的溢油应急措施。

溢油事故发生后，根据溢油漂移轨迹，在可能受影响的保护区附近，沿保护区边界线布放一般用途围油栏，尽量避免或延缓油膜向保护区扩散，同时用浮油回收船、围油栏布放艇拖带导流型围油栏组成“V”字型高效应急组合，在溢油流向的下风向，进行溢油回收处置。

鉴于保护区特殊的水质及海洋生态环境保护要求，严禁在保护区周围使用溢油分散剂，避免对保护区造成二次污染。

（3）针对岛屿、岸线的溢油应急措施

采取围控措施，控制油膜漂移轨迹，尽量控制油污不在附近岛屿岸线登陆；根据油膜漂移轨迹预测结果，在可能受到污染的岸线，布设岸线围油栏。调动区域应急力量，开展溢油回收措施，最大限度减少溢油扫海面积。

（4）在停靠码头、港池内溢油污染的围控和清除

根据溢油量判断，小规模溢油事故可采取主动围控措施，调用应急设备库围油栏，利用布防艇或拖船对溢油点进行主动围控，实现溢油控制在围油栏内，再利用吊机将收油机放入围油栏，配以适用动力和储油设备，将溢油回收起来。

如发生中等规模以上溢油事故，应采取主动围控措施。调用港区所有围油栏设备，采取主动围控同时，在易受到污染威胁的敏感资源外围布置 2~3 道封堵围油栏，确保溢油可控在港池水域，在利用收油设备，开展溢油回收工作。

（5）航道、锚地溢油污染的围控和清除

航道、锚地处溢油由于水流速度较大，溢油除平潮期间可以短时间围住溢油外，公

认多数时间是围不住的。多数溢油会从围油栏下部流走，如果风力稍大，也可能从倾斜的围油栏上部翻过流散。为此，采取下列处理方法：

一旦在航道、锚地海域发生溢油事故，围控设备、清污设备要尽快到达溢油现场。视风和流速情况，能围则围，否则溢油扩散，给后续工作造成更大困难。

用浮油回收船、围油栏布放艇拖带导流型围油栏组成“V”字型高效应急组合，在溢油流向的下风向，迎着回收。并随时调整“V”的张口或进行流动回收，哪里有油污带就在哪里回收。

迅速调动其他或社会清污能力予以支援，组织另一组“高效应急组合”第二防线的回收作业，而后才组织其他清污处置。

吸油材料进行吸附回收，慎用分散剂，确保周围保护区不受二次污染。

溢油事故风险应急对策和措施清单见表 7.4-1。

表 7.4-1 事故环境风险应急对策和措施清单

事故类型	序号	对策措施	备注
停靠码头作业事故	1	事故报告	任何人发现意外事故，如泄漏、火灾时，应立即打电话或手机，通知水上消防队，并保持与消防队、公司调度室的联络，直到得到通知已做出适当的安排。可能对海洋环境造成污染时应当立即向有关海事管理机构报告
	2	泄漏处理	启消防水系统和码头水幕系统
			注意泄漏处理污水的收集，防止对环境的污染
	3	火灾爆炸事故处理	无关人员迅速疏散
			现场处理人员应根据油品的特性，采用相应的灭火器材及适当方式灭火
	4	医疗急救	迅速将伤者移离现场，然后在安全的地点进行急救
			应尽快查清的形式，严重程度，并由专业医护机构或人员实施急救
			任何受影响的人员均应尽快送至医院
	5	事后处理	事故处理完毕后，未得到现场指挥人员或公安消防等机构的同意前，严禁拆除现场，以便专家取证，分析事故的原因，现场处理人员也不得撤离，以防死灰复燃
			清洗应急器材及防护用品，人员也应彻底清洗
			协助有关部门调查事故的事因
			事故处理结束后，应进行总结，写出事故报告
船舶溢油事故	1	事故报告	当发生或发现海上污染事故或事故隐患时，应立即向海事和搜救主管部门及其他有关部门报告。报告内容包括：船舶的名称、国籍、呼号或者编号；船舶所有人、经营人或者管理人的名称、地址；发生事故的时间、地点以及相关气象和水文情况；事故原因或者事故原因的初步判断；船舶上污染物的种类、数量、装载位置等概况；污染程度；已经采取或者准备采取的污染控制、清除措施和污染控制情况以及救助要求等
	2	监视监测	确定事故发生的位置、性质和规模，现场取证调查、水面巡逻监视、空中遥感监视、环境污染监测
	3	围控清除	采取防止发生火灾爆炸的风险控制措施，在确保安全的前提下，利用码头自备的应急设备对溢油进行围控，同时进行必要的清除作

事故类型	序号	对策措施	备注
			业，防止溢油扩散，听从海事部门指挥；协助船方对溢油船舶进行堵漏、倒舱、围控和拖带转移等应急行动
	4	溢油回收	对于回收上来的溢油，进行必要的岸上接收，并妥善处置
	5	事后处理	清洗应急器材及防护用品，人员也应彻底清洗
			协助有关部门调查事故的事因
			事故处理结束后，应进行总结，写出事故报告

7.4.2.5 区域溢油应急

2023 年 10 月，威海市人民政府印发了《威海市海上溢油应急处置预案》（威政办字〔2023〕33 号），建立健全威海市海上溢油应急处置程序，完善应急处置机制，明确有关部门和沿海各级政府海上溢油应急管理职责，科学应对海上溢油污染，有力有序有效实施海上溢油应急处置行动，最大程度减少海上溢油造成的环境和财产损失，保障公众健康、环境安全和社会稳定。适用于威海市管理海域内发生的较大及以上海上溢油事件，以及威海市管理海域外发生较大及以上海上溢油事件造成或可能造成威海市管理海域污染的。

根据威海市应急资源公示信息，威海市海上应急资源以成山头国家级溢油应急设备库为核心，配备 3 家专业船舶污染清除单位及多家港航企业应急设备库，形成覆盖全港域的清污网络。威海市主要船舶污染应急资源清单见表 7.4-2。

表 7.4-2 威海市船舶污染应急资源清单

序号	单位全称	机构类型	资质/能力等级	服务/覆盖区域	核心应急装备	2025 年度海事检查结论
1	威海市江海缘船舶服务有限公司	专业清污单位	二级船舶污染清除单位	威海港、石岛港、龙眼港、威海湾及邻近海域	围油栏≥3000m、收油机 12 台、储油设备 1500m³、应急船 5 艘	合格
2	荣成市新员通海洋环保服务有限公司	专业清污单位	二级船舶污染清除单位	石岛港区、俚岛港区、荣成南部海域	围油栏 2800m、收油机 6 台、应急船 3 艘、吸油/消油设备成套	合格
3	威海金海威船舶服务有限公司	专业清污单位	常规清污作业资质	威海湾、威海新港、双岛湾	围油栏 1800m、收油机 4 台、吸油拖缆成套	达标
4	成山头国家级溢油应急设备库	国家级设备库	国家区域性应急库	山东半岛东部、环渤海辐射海域	围油栏≥5000m、大型收油机 10 台、移动储油/泵组/防护装备	设备完好率 100%，演练合格
5	威海港集团应急设备库	港航企业库	港区自给型	威海湾新港区、老港区	围油栏 2000m、收油机 4 台、应急拖带装置	合格
6	石岛港务集团应急设备库	港航企业库	港区自给型	石岛港区、客滚码头	围油栏 1500m、收油机 3 台、应急船 2 艘	合格
7	龙眼港务公司应急设备库	港航企业库	港区自给型	龙眼港开放水域	围油栏 1200m、小型收油机组	合格
8	荣成田裕船舶燃料油有限公司设备库	企业自建库	油品码头应急型	田裕油库、专用码头	围油栏、收油机、储油囊、消防溢油设备	合格
9	三星（荣成）重工码头应急设备库	企业自建库	修造船码头应急型	三星重工码头水域	围油栏、收油装置、作业小艇	合格
10	威海市升安海运有限公司	应急支援力量	FIFI-I 级消防拖轮	威海全域海域	威消拖 1（消防+溢油围控）	设备完好

7.4.2.6 企业自身应急预案

项目建设单位应依据《中华人民共和国生态环境法典》《中华人民共和国安全生产法》《国家突发环境事件应急预案》等法律法规，结合工程特点编制自身突发环境事件应急预案。应急预案主要包括如下几个方面：

①明确组织指挥机构，包括应急领导和指挥机构、日常管理机构的人员组成和人员的职责分工，并应建立通畅有效的通讯网络；

②预警和预防机制，建立突发事故预警制度，明确预警级别、预警方式；

③应急响应程序，制定突发事故的应急响应程序，包括事故的报警、应急反应等级的确定、应急反应启动、紧急救援行动的开展、保护目标的防护、事故调查以及事故索赔等应急环节；

④应急保障，包括应急反应设备、应急队伍、物资及后勤、经费保障等应急支援与装备保障，技术储备与保障，还应建立培训和演习的相关制度；

⑤附图附件（应急通讯联络表、应急处理、人员急救方式等）。

本工程应按照周边已有应急预案中提出的相关原则与要求编制溢油应急预案，并与威海港口水域溢油应急计划和威海市突发环境事件应急预案等上层预案有效衔接。

7.4.2.7 应急联动

一旦发生突发环境事件，事故现场企业应首先启动应急预案，针对火灾、爆炸、危险化学品泄漏、溢油等事故及时采取相应的必要应急措施，控制事故污染扩散范围，同时向建设单位应急指挥部报告，启动建设单位应急预案。当发生环境风险事故超出应急指挥部处置能力或可能扩大范围造成跨区域影响时，应立即向威海市、山东省等环境风险应急中心报告，进一步启动各级突发环境事件应急预案。

7.4.2.8 应急设备和材料配备

7.4.2.8.1 依托港口码头应急设备和材料配备情况

项目在施工期或运营期发生溢油事故时，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。

本项目施工期最大施工船舶为20000t级甲板驳，根据《港口码头水上污染事故应急防备能力要求》（JT/T 451-2017）相关要求，本工程施工期应配备的溢油应急物资的种类及数量见表 7.4-3。

项目运营期间工作船吨位约为500t，根据《港口码头水上污染事故应急防备能力要求》（JT/T 451-2017）相关要求，本工程运营期应配备的溢油应急物资的种类及数量见表 7.4-4，溢油应急设备存放在龙眼湾港区。

表 7.4-3　本工程施工期水上溢油应急设施、设备、物资配备要求

序号	设备名称	型号	数量
1	围油栏	应急型（m）	468
2	收油机	总能力（m^3/h）	3
3	吸油材料	数量（t）	0.5
4	溢油分散剂	浓缩型溢油分散剂，数量（t）	0.4
5	溢油分散剂喷洒装置	套	1
6	储存装置	有效容积（m^3）	3

表 7.4-4　本工程运营期水上溢油应急设施、设备、物资配备

序号	设备名称	型号	数量
1	围油栏	应急型（m）	180
2	收油机	总能力（m^3/h）	1
3	吸油材料	数量（t）	0.2
4	溢油分散剂	浓缩型溢油分散剂，数量（t）	0.2
5	溢油分散剂喷洒装置	套	1
6	储存装置	有效容积（m^3）	1

7.4.2.8.2 施工船舶拟配备的溢油应急物资情况

施工船舶将按照《溢油应急处置船应急装备物资配备要求》（JT/T 1144-2017）及相关海上风电作业安全规范，结合施工船型（如打桩船、起重船、敷缆船及配套拖轮）的实际工况，配备必要的溢油应急设备、物资和材料。主要包括：充气式橡胶围油栏（用于围控溢油扩散）；收油机 1 套及其配套动力站；浮动油囊 1～2 个（用于临时储存回收油水混合物）；吸油毡或吸油拖栏（用于残油吸附和船边防护）等。此外，还将配备足量的防护装备（防油服、防化手套、护目镜、正压式空气呼吸器等）。

所有施工船舶均按规范配备应急消防泵、应急电源、救生设备；主施工船舶按标准配备溢油应急作业平台和指挥系统；每艘施工船舶均配备应急拖带装置，以备失控状态下的紧急处置。

表 7.4-5　施工船舶应急物资拟配备情况一览表

设备/物资名称	拟配备数量	主要用途
溢油围控与回收类		
充气式围油栏	每艘施工船不少于 300 米（总不少于 1000 米）	海上溢油围控，防止扩散
收油机（转盘式/盘式）	不少于 2 台	水面溢油回收
油拖网	不少于 4 套	辅助油污回收
溢油吸附材料（吸油毡、吸油棉）	不少于 2 吨（吸油量≥10 倍自重）	快速吸附、清理油污
消油剂	不少于 2 吨（乳化型）	油污分散、化学处理
浮动油囊	1—2 个	临时储存回收油水混合物
应急作业辅助类		
溢油应急喷洒装置	不少于 2 套	消油剂喷洒作业
防爆手电/防爆照明灯	每船不少于 5 套	夜间应急作业
对讲机/应急通讯设备	每船不少于 3 套	现场通讯保障
油污收集桶/储油囊	不少于 10 只（200L/只）	回收油污暂存转运

急救箱	每船不少于 1 套	应急救护
防油污防护服	每船不少于 3 套	作业人员防护

7.4.2.9 施工期的溢油应急服务保障

本项目施工期间，将委托具备相应资质的第三方专业公司提供溢油应急保障服务，以弥补施工船自备物资在应对较大规模溢油时的能力不足。拟委托的公司应至少具备一级或二级船舶污染清除作业资质，总应急能力应覆盖本项目最大单船燃油舱泄漏量的清除需求。在应急保障工作模式上，第三方公司采取“值守待命+快速响应”模式，在船舶桩腿升降等高危作业期间，应急拖轮或清污船在周边值守待命，合同应明确约定，接到溢油报警后，第三方应急力量抵达作业点并开展围控作业的时间不超过 4 小时，通过上述安排，可确保在溢油事故发生后第一时间实现有效控制。

7.4.2.10 应急响应时间

施工船舶本身配备有溢油应急作业平台和指挥系统，并配备了充气式橡胶围油栏、收油机、浮动油囊等应急物资，施工期，船舶发生溢油时，可在发生船舶溢油时立即启动应急响应，施工船舶第一时间到达，利用船舶配备溢油应急物资进行收集、处置。

如果溢油量较大，施工船舶本身配备有溢油设备无法完全处理，需要外部力量参与时，具备相应资质的第三方溢油应急专业公司、周边港口码头和海事溢油应急力量共同进行处置，可在 4 小时之内赶到现场，尽量避免或减轻溢油事故对海洋环境的影响。

运营期，海上升压站底层甲板层主变下布置事故油罐，海上升压站变配电设备发生溢油时，可自动收集至事故油罐内。项目海上升压站配备了吸油毡、吸油索等溢油应急物资，风电场区发生溢油时，如果恰逢检修人员在场，检修人员可以立即做出响应，利用溢油应急物资对溢油进行处置，防止污染海洋环境。当发生溢油且检修人员不在场时，应急响应流程为：升压站在线监测系统报警至陆上集控中心，由集控中心确认后通知应急团队集合，再搭乘应急交通船出海处置。本项目离岸距离约 57.8 公里，考虑人员集合、设备装船、出航准备、应急前往现场的时间预计约 3~4 小时。当需要周边地区专业救援单位协助时，考虑到本项目离岸约 57.8 公里，邻近港口的社会应急力量在接到支援请求后，赶往风电场区现场的响应时间预计为 3~4 小时。

7.5 结论

本项目涉及的主要危险物质为油类物质，存在的风险为施工期和运营期船舶碰撞溢油事故、海上升压站、高抗站变压器油泄漏。选取 500kV 登陆海缆近岸段附近海域（登

陆海缆与习惯性航路交界位置），升压站位置 2 个代表性溢油点预测事故溢油情形，500kV 线缆铺缆船处溢油量取 22 吨、升压站处驳船溢油量取 180 吨。预测结果表明，SE 风况下（冬季主导风向）高潮和低潮期发生溢油时，油膜最快 5 小时后扩散至威海荣成砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，最快 10 小时抵岸。

施工过程中应对船舶进行严格管理和调度，运营期项目海上升压站、高抗站均新建海上事故油罐 1 座，检修船舶自备收油机、围油栏等应急设施，同时制定详细的应急预案。

在严格落实各项事故风险防范措施和应急预案情况下，本项目运行过程中的环境风险可以防控。

8 环境保护措施及可行性论证

在发挥项目所处海域海洋功能的同时，为了保证海水水质环境和生态环境达到相应海洋功能区的管理要求，在施工期间和运营期间制定了相应的生态环境保护措施，具体措施如下：

8.1 施工期污染防治措施及环保对策

8.1.1 水污染防治对策措施

8.1.1.1 海上污水处理与防治措施

（1）水上施工应获得有关部门的航行许可。对于本项目水上作业时，禁止直接向海域水体排放油污水和其他废水。

（2）海域施工期间，现场施工人员每天产生一定量的生活污水，经船舶统一收集，委托有资质单位接收处理。

（3）施工船舶严格落实《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》要求，严禁所有施工船只的含油废水等在施工海域排放。大型施工船舶设置相应的防污设备和器材，并备油类记录簿，含油污水如实记录；设置专用容器，回收施工残油、废油；含油废水经收集后运至岸上，委托有资质单位接收处理。

（4）注意施工船舶等的清洁，及时维护和修理施工机械，施工机械维修产生的含油污水委托有资质单位接收处理。施工机械若产生机油滴漏，应及时采取措施，用专用装置收集并妥善处理。建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等有害物质时，应立即采取措施，控制和消除污染，并向就近的管理部门报告。

（5）加强施工设备的管理与养护，杜绝油类泄漏，避免海水受污染的可能性。

8.1.1.2 降低施工悬沙相关措施

本项目所在海域主要存在海水养殖、红线区等，项目施工期应结合具体情况，采取如下保护措施，降低项目施工对海水环境影响。

（1）优化施工方案，按照潮流条件科学制定作业流程，并合理安排施工进度，尽量选择流速低时施工，尤其对于工期较短的电缆铺设施工，避免大量泥沙随潮流入海；

（2）严格控制施工设备及人员作业范围，施工机械按照电缆铺设路线行驶，禁止任意穿行，禁止超出作业带作业，可减小施工扰动造成的滩涂表层泥沙流失。

（3）近岸段选择落潮段施工，减少施工期悬沙扩散范围和影响区域，降低对周边

敏感区的影响。

（4）应选择 6 级风以下施工，主要施工内容应在潮水平缓阶段，即在流速较低的高平潮或者低平潮附近时刻施工，降低施工期悬沙扩散范围。

8.1.2 声环境保护措施

施工噪声主要来自施工机械设备，由于周边附近无居民集中区等声环境敏感目标，但为保护潮间带鸟类及其生境、海洋哺乳动物，同时也为保障施工人员健康安全，尽量减小施工噪声的不利影响，拟采取如下防护措施。

（1）施工单位应选择低噪声设备，对噪声较高的施工设备采取降噪措施，禁止使用不符合国家噪声排放标准的施工机械设备。

（2）定期维护和及时修理施工机械，杜绝施工机械在运行过程中因维护不当而产生的异常噪声。

（3）加强对施工人员的个人防护，对在高噪声设备附近工作的施工人员配备必要的防噪声耳塞、头盔等防护用品。

（4）加强施工管理、文明施工，减少施工期不必要的噪声影响，尽可能减少产生噪声的夜间施工作业。

（5）使用噪声减缓设备。在桩周围加装降噪护套或水下隔音材料，可以有效吸收声波，减少噪声传播。设置水下声屏障，通过隔绝声波传播路径，以减少噪声传播到周围水域。可采用气泡帷幕、围堰隔离桩、隔离套筒等方式衰减水下打桩的噪声。

（6）合理安排施工期，从减缓对渔业资源影响的角度出发，打桩、电缆铺设应避开蓝点马鲛等海洋鱼类产卵高峰期（5 月中旬-6 月中旬），减少对海洋生物的影响。

（7）采用“软启动”的方式进行施工，首桩采用小幅度的冲击，而后强度逐渐增强，用声驱赶海中一些游动的鱼群。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。

（8）限定施工船舶航行路线和航行速度，避免噪声过大的运输船只在海上运输作业。合理控制打桩的速率和力度，使桩打入的速度适中，以降低瞬时高频噪声产生。较长的桩进行分段打桩，避免高强度的单次打桩造成的噪声峰值过高。安装水下噪声监测设备，实时监测施工产生的噪声，及时调整施工计划和方法。

8.1.3 环境空气保护措施

本项目大气污染物主要为施工机械、施工船舶排放的废气。

（1）禁止使用不符合国家废气排放标准的机械和船舶。严格执行燃油硫限值，海域船用燃油硫含量≤0.5%m/m。

（2）加强对施工机械、船舶维修保养，禁止施工机械和船舶超负荷工作，减少烟度和颗粒物排放。

（3）采用合理的、经济的航速航行，降低主机负荷、减少燃油消耗；优化航线，减少低速待机时间。

（4）加强对施工人员的环保教育，增强全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工，减少施工期的空气污染。

8.1.4 固体废物污染防治措施

（1）施工中禁止任意向海洋抛弃各类固体废弃物，同时应尽量避免各类物料散落海中。施工中产生的固体废弃物应由施工单位负责及时清理处置。施工结束时，需做好施工现场的清理和固体废弃物的处理处置工作，不得在地面有明显的固体废弃物残留。对有利用价值的施工废弃材料也应由施工单位负责及时清理处置。

（2）施工期间产生的船舶生活垃圾利用船载收集装置收集，由有资质单位接收处理；施工期间产生的陆域生活垃圾，统一收集后由当地环卫部门统一清运。

（3）各施工单位加强对施工人员的教育和管理，不随处随手乱扔垃圾，保证生活垃圾集中处置。施工单位在施工结束撤离时，要做好现场的清理工作，施工工区地面不得遗留废弃施工材料，少量施工材料经收集后纳入当地建筑垃圾收集系统。

8.1.5 海洋生态环境保护措施

项目建设要坚持“预防为主、保护优先”的原则，指导设计、施工、环境管理，把生态环境保护纳入工程方案设计过程中，把项目施工对滩涂植被和海洋生态环境带来的不利影响降至最低程度。

（1）潮间带生物、滩涂底栖生物保护措施

①在满足施工技术要求的前提下尽可能减少两栖施工设备对潮间带压占范围，划定两栖设备的作业施工行驶带，禁止两栖设备在行驶带外穿行。

②严格划定施工作业范围，禁止非施工设备和机械进入，避免任意扩大施工范围。

③优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短作业时间。

④施工应避免恶劣天气，保障施工安全并避免施工中土方开挖和回填、电缆铺设等产生的悬浮物在不利天气下大量扩散入海。

⑤当风机桩基和电缆铺设完成后，应及时平整并压实潮间带地面，以有利于加快潮间带植被的自然修复。

⑥对施工方案进行合理优化，选择科学合理的施工方法和顺序，减少施工对海洋环境的影响。

⑦施工机械、设备和人员产生的所有污染物禁止在潮间带上随意排放和丢弃，应收集至陆域处理，减少对周边水体环境影响。

（2）渔业资源和渔业生产保护措施

①优化施工进度安排，滩涂区域尽量避免涉水施工，以减少悬浮泥沙扩散对渔业资源的影响。

②从减缓对渔业资源影响的角度出发，打桩、电缆铺设应避开海洋鱼类产卵高峰期（5 月中旬-6 月中旬）。同时打桩前可采取预先轻轻打几下桩，以“软启动”方法驱赶桩基周围的鱼类，为减缓后续正式打桩时产生的水下噪声对鱼类的影响；还应采用设置气泡帷幕等方式减少噪声影响。

③对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞、养殖作业活动的范围、时间。尤其禁止施工人员在鱼类产卵高峰期抓捕鱼类。

④施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测调查，及时了解项目施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

（3）对周边养殖区保护措施

①项目施工前应及时通知周边的养殖户，做好相关协调，禁止施工船舶随意穿行，影响非施工区以外开放式养殖的运营。

②选择非投苗期进行施工，施工时选择合理的施工速度，尽量减少施工产生的悬浮泥沙的扩散范围。

③建设单位应与当地人民政府及影响养殖户协商，及时落实补偿措施。

8.1.6 鸟类及其生境保护措施

（1）严格施工管理

做好施工组织和现场管理，文明施工，最大限度地减少施工期各污染源对周边环境的影响。应加强对施工人员的环保教育，提高其对鸟类尤其是珍稀保护级鸟类的保护意识，严禁捕杀。建设单位应在施工招标文件中提出相应的处置和处罚条款。

（2）合理规划施工作业时间

根据该地区鸟类的生活习性，合理安排施工期，尽量避免在鸟类迁徙的高峰期进行工区全面铺开作业，建议分区域施工，宜以电缆回路为单元进行分区，避免施工区域多点零散施工，在鸟类非迁徙季节竖立、组装风机和海缆施工，并尽可能缩短日施工时间，避免夜间施工，以减少对鸟类栖息、觅食等的影响。鸟类迁徙高峰期降低施工强度，观测到鸟类迁徙，立即停止施工。

（3）污染物排放控制

1）减少施工机械设备油类的跑、冒、滴、漏；施工中废油、生活污水、渣土等合理处置，避免污染生态环境。

2）施工期间生活垃圾等固废要求各施工单位负责处理，不得随意抛弃或填埋，以免污染环境，传播疾病，使鸟类误食而致病。

（4）噪声控制

根据研究成果，当环境噪声持续超过 75dB（A）时，有可能造成鸟类行为变化。为减轻施工期噪声对鸟类的干扰，本项目采取以下保护措施：应选用低噪声施工设备，严格依照《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ 2034-2013）附录 A 中规定的限值控制各类施工机械的噪声源强；加强设备的日常维护与保养，确保其处于良好运行状态，避免因设备老化或故障产生额外噪声；优化施工组织，减少高噪声作业时段，并严禁鸣笛等突发性高强噪声行为；同时鸟类跟踪监测期间重点关注施工期对施工场地周边鸟类活动的实际影响。

（5）光源管控

1）加强夜间灯光使用管理

在工程区域可能受光影响的主要是夜间迁徙鸟类，因此，在候鸟迁移期间，应严格加强灯光使用管理，尽可能减少光对其产生的干扰。在鸟类迁徙高峰期要严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少对外界的漏光量，尤其是在大雾、小雨、强逆风或无月的夜晚，应停止施工。

2）改进光照强度

研究表明，鸟类受影响的程度随着人工光照度的增加而升高。因此，针对夜间飞行的鸟类容易被人工光照干扰，造成误撞的情况，通过改进光照强度，能够在一定程度上减少迁徙季节鸟类误撞概率。

3）减少红光的使用

在可见光范围内，红色光对于候鸟的影响相对较强，因此为了减少对鸟类的影响，尽量降低红光灯的使用率或使用其他照明光源作为替代品，并组织研发更为有效的灯光替代产品。

4）选用合适的光源

研究发现，在照度、亮度值相近，对不同光源照射影响比较中，LED 光源的照射综合影响程度相对最低。金卤灯、高压钠灯、卤钨灯光源含有较多的紫色光及紫外光谱光线，该种光线照射影响对鸟类视觉感知影响较大；而 LED 光源的短波光线对鸟类的视觉感知影响较小。此外，高压钠灯的显色性较差，相对于其余三种高显色性光源，高压钠灯对鸟类影响更大。因此，在本工程建设过程中，照明光源应该尽量使用对鸟类影响较小的 LED 灯。

（6）合理规避鸟类觅食地

沿海的滩涂及海岸地带是许多鸟类的觅食地，吸引了大量鹭类和鸥类在此觅食停歇，尤其是鸟类迁徙季节。因此，3 月初至 4 月，以及 9 月至 10 月上旬鸟类迁徙的高峰时期，需要根据海岸周围的鸟类数量进行合理规避。

另外，由于海洋具有独特的潮汐现象，潮汐是受太阳和月球的潮汐力作用引起的海水涨落现象，其低潮期和涨潮期的时间每天都会有所变化，因此需要根据当地的潮汐表适当调整施工时间，避免在低潮期途经鸟类喜好的滩涂湿地。

本项目风电机组远离海岸，非鸟类觅食地，建设过程中海上作业无需规避。而项目海缆登陆点附近为沙滩，非鸟类偏好的泥质滩涂，在此觅食的鸟类相对较少，夜间施工应尽量避免灯光照向天空，降低对该区域鸟类的可能影响。

（7）应急救助措施

聘请鸟类专家对风电场全体施工人员进行相关野生动物保护法及鸟类学知识培训，增强施工人员的生态保护意识，使其掌握必要的鸟类识别及救护常识；要求施工人员签订保护野生动物保证书。在整个建设队伍中树立生态环保意识并以制度作为保障。施工现场设立鸟类观察员，观察员负责整个施工现场及周边的鸟类活动情况。同时根据迁徙鸟类的历史迁徙时段，加强对鸟类迁徙季节的现状监测力度，并及时观测或预判是否有迁徙鸟类经过或接近施工区域。如有鸟情应及时报告现场负责人以及监理、鸟类专业单位等相关单位负责人，合理安排施工期，结合现场情况采取驱赶措施（利用声波驱离等措施）或暂停施工以避开鸟类迁徙时间段。对收集的救护或死亡鸟类，能够识别其受伤

或死亡原因并建立档案数据库以便后期分析及调整保护方案。与当地林业部门结成联防机制，对发现的受救护鸟类进行紧急处理，并及时送林业部门妥善处理。

8.1.7 对周边海域哺乳动物的保护措施

为有效减缓项目建设对东亚江豚、斑海豹的不利影响，严格落实国家重点保护野生动物保护要求，结合目标海域生态敏感属性，制定“源头避让、过程管控、长期监测”的组合式保护措施。

（1）施工避让

严格避开敏感时段作业，项目 500kV 海缆中间段（从岸向海 19.2km—58.3km 范围）施工避让 5 中旬-6 月中旬（渤海的部分斑海豹沿着“3”号路线迁徙到长江口）和 7 中旬-8 月中旬（黄海的斑海豹主要沿着“3”号路线迁徙到山东半岛）。

（2）施工作业范围控制

严格控制作业范围，划定施工边界，减少对水体扰动。

（3）实时监测

设置巡视船舶及哺乳动物观察员，安排专人 24 小时监测，对施工桩基 1000m 范围内的海域进行巡视，严密监视海面状况，确定无斑海豹、东亚江豚等海洋哺乳动物在施工海域活动时，方可进行打桩作业。若发现东亚江豚、斑海豹活动，立即暂停作业，待确认动物远离后，方可恢复作业。做好记录和现场监测工作。

（4）噪声管控措施

软启动作业：打桩作业前 15～30 分钟逐步提升功率，实施“Ramp-up”软启动，给斑海豹、东亚江豚留出充足的撤离时间，避免突发强噪声造成的急性伤害。

气泡幕降噪：在桩基周围布设气泡幕装置，通过气泡层阻挡噪声传播，降低水下噪声 10～20dB，缩小噪声影响范围，确保施工区 1km 内噪声值控制在东亚江豚≤150dB、斑海豹≤160dB，超标立即停工整改。

设备选择：在进行水下施工时，采用低噪声施工工艺和设备。

（5）防止水体污染

制定严格的施工船舶管理计划，防止油污、生活污水和施工垃圾泄漏。对施工产生的污染物等进行妥善收集和处理，尽量避免影响水质，进而影响斑海豹、东亚江豚等哺乳动物的食物链。

（6）船舶管控

限速静音航行：施工船在工程区及周边海域限速≤5 节，采用静音航行模式，减少

船舶噪声及螺旋桨扰动，避开江豚、斑海豹高频活动区域。

航行管控：合理规划船舶航行路线，避免在斑海豹休憩区、江豚觅食区频繁通行；船舶航行时加强瞭望，发现动物活动立即减速避让，防止碰撞伤害。

（7）应急救护

制定斑海豹、东亚江豚等哺乳动物的应急救护预案；如在施工中发现受伤、搁浅或误入被困的海洋哺乳动物，应立即停止施工，并立即报告当地渔政管理机构处理，并暂停施工检查原因。

（8）保护知识培训

对施工人员进行斑海豹和东亚江豚等海洋哺乳动物的保护知识培训，明确其法律保护地位和报告程序。设立宣传告示，禁止施工人员干扰、投喂或追赶海洋动物。

（9）跟踪监测

对施工活动进行全过程环境监理，加强跟踪监测。

8.2 运营期环境保护措施

8.2.1 水污染防治对策措施

（1）海上升压站、高抗站生活污水处理后达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定二级标准（COD≤300mg/L）排放入海；检修船舶生活污水、含油污水统一收集后委托有资质单位接收处理。

（2）海上升压站日常无人值守，正常运行时不产生废水。当主变压器发生突发事故或机组检修时，可能会有少量的漏油和油污水，主要污染物为石油类。油污水经事故油管排至事故油罐，一旦产生油污水将外运，建设单位与有资质的单位签订油污水接收处置协议，将油污水收集后运至岸上处理。

（3）工程运营期，对风机及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油。因此，在维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴，废油应储存在专设的废油箱中。含油的连通软管和其他含油废物（揩布、废滤网）应统一存放在维修船上妥善保管。维护结束后，应将废油、含油废物等集中收集含油废物箱中，一并送交有资质的单位处理，避免污染项目海域生态环境。

8.2.2 声环境保护措施

（1）风机噪声控制

机械噪声和结构噪声是风力发电机组的主要噪声源，这部分噪声是能够控制的，其主要途径是：①避免或减少撞击和摩擦，使齿轮和轴承保持良好的润滑状态；②为减小机械部件的振动噪声，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能；③尽可能选择低噪声的设备。

风电机组的主要部件安装于机舱内部，这些部件产生的振动直接传递给机舱，引起机舱振动并产生噪声。为降低风机噪声源强，建议在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构噪声传递，同时隔离机舱内部的噪声向外传播。

（2）海上升压站、高抗站噪声

噪声主要来自升压站、高抗站的主变压器，应采取以下声环境保护措施：

1）设备招标时，对主变压器等高噪声设备应有噪声限值要求。

2）主变压器的基础直接独立着地，并在以上设备的底部与承重基础间加垫隔振材料，以防止振动和噪声传导。

在升压站、高抗站所选用的电气设备满足噪声限值要求，且采取降噪措施后，变电设备产生的噪声对周围环境影响可明显降低，升压站、高抗站厂界噪声可以达标。

（3）加快水下噪声研究

建设单位先期委托技术单位进行了噪声电磁辐射环境影响专题工作，但鉴于时间、经费等因素的考虑，关于水下噪声对海洋生物的影响的相关工作还需在后续的工作中继续开展，应重点关注：

1）海洋鱼类及哺乳动物的听阈值和声信号的敏感性研究；

2）对海洋鱼类生物生活、生长和发育的影响；

3）对海洋鱼类及哺乳动物的通讯影响。

8.2.3 固体废物污染防治措施

（1）生活垃圾包括海上巡检人员生活垃圾，巡检人员生活垃圾年产生量为 1.728t/a。生活垃圾利用船载收集装置收集，委托资质单位接收处理。

（2）工程运营期间产生的固体废物主要为风机、海上升压站、高抗站变电设备运行维护产生的废旧蓄电池、检修过程中产生的油渣、油垢、废油等，风机日常维护产生的少量含油抹布废物等危险废物，收集后暂存于陆上集控中心危废间，后统一委托有资质的单位回收后，按相关要求处理。

8.2.4 环境空气保护污染防治措施

（1）海域大气污染来自检修船舶的废气，运营期加强船舶机械的维修保养，选用符合国标的燃油，有效的控制装卸机械设备尾气的产生量。

（2）为系统评估风电场建设对局地气候的综合效应，为科学规划风电场布局、推动风能资源可持续开发提供可靠依据，建议建设单位在风场区域内建设一座长期气象观测站。该观测站可依托海上升压站进行布设，配置高精度传感器，实现对温度、湿度、气压、风速风向等关键气象要素的实时监测。采集的数据经现场预处理后，回传至岸上数据平台。整合威海、烟台气象站观测数据以及风力发电机组运行实时风数据，构建多源异构数据体系。选用中尺度天气预报模式（WRF），通过构建高分辨率数值模型，系统分析风电场建设前后、场内场外的气象要素变化特征，探索风电场建设运行对局地气候的影响机制。

8.2.5 电磁环境保护措施

由于升压站、高抗站的电磁影响与变电设备选型、建筑结构、平面布置、施工质量等均有很大关系，同时随着变电设备运行时间的加长，高压设备、配件等也会逐渐老化、损坏和受到环境污染，都会使升压站的电磁场增大。为尽量减小变电设备产生的电磁场对环境的影响，提出以下防护措施：

（1）选用带有金属罩壳的电气设备：各电压等级的配电装置 GIS 设备采用封闭式母线，对裸露电气设备采取设置安全遮拦或金属栅网等屏蔽措施。

（2）主变设备、主变压器外壳以及主变室内墙体敷设的铝合金吸音板采取良好的接地措施。

（3）对升压站、高抗站设备的金属附件，如吊夹、保护环、保护角、垫片和接头等要合理设计外形和尺寸，避免出现高电位梯度点。金属附件上的保护电镀层要求光滑，所有的边角应锉圆，螺栓头也应打圆或屏蔽起来，避免尖角和凹凸；应使用合理的几何形状和材料的绝缘子及其保护装置，控制绝缘子的表面放电。

（4）在安装高压设备时，应减少设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电；对电力线路的绝缘子和金属，要求绝缘子表面保持清洁和不积污，金属间保持良好的连接，防止间隙性放电。

（5）主变压器室应采用钢筋混凝土框架结构，钢筋应良好独立接地，并保证电气设备房间的墙壁厚度，以达到利用建筑物墙体对电磁场屏蔽的效果。

8.2.6 鸟类影响对策措施

（1）设置风机叶片警示色

据研究，鸟类通常以视觉判断飞行路线中的障碍物，为减少鸟类与风机叶片碰撞的风险，风机的叶片应当选用橙红与白色相间的警示色，使鸟类在飞行中能及时分辨出安全路线，及时规避风机，以减少鸟只撞机的几率。

（2）建议用紫外光固化涂料涂漆在风电机叶轮表面，以增加鸟类对风电机的可见度。

（3）科学选择光源设备

风电场区域的照明设备应选用白色闪光灯，并且尽可能少安装灯，灯的亮度和闪烁次数也要尽可能小和低。不要使用钠蒸气灯，禁止长时间开启明亮的照明设备，给需要照明的设备加装必要的遮光设施，以减少光源对夜间迁徙鸟类的干扰。

（4）设备设计安装控制

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，如提高加工工艺和安装精度，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件等。为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声。以弹性连接代替刚性连接，在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行自由表面阻尼处理，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。

（5）应急措施

聘请鸟类相关专家对风电场负责人进行鸟类知识专业培训，同时对工作人员进行科普培训，使其掌握必要的鸟类识别及救护常识；对收集的救护或死亡鸟类，能够识别其受伤或死亡原因并建立档案数据库以便后期分析及调整保护方案。与林业部门结成联防机制，对发现的受救护鸟类进行紧急处理，并及时送林业部门妥善处理。

（6）跟踪监测

在风电场建成后应开展长期的鸟类监测和监测项目，有针对性地开展风电场对鸟类的影响研究，并及时采取相应的改进措施。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。根据现场监测结果，以及对相关监测设备长期监测数据的分析，对项目所在海域及周边区域鸟类的活动规律、时空分布格局进一步明确，相关监测结果理论上应该按季度向相关主管部门进行报备。

（7）进行长期观测、根据观测结果调整风机运维调度

加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测，并开展风电场对鸟类的影响研究。

1）远距离预警雷达监测

目前的鸟类监测雷达监控范围可以达到水平半径 10km 以内，监测高度可达 2km 左右。鸟类迁徙时飞行速度通常在 50—60km/h，通过雷达监测技术理论上可以提前 10 分钟预测鸟类接近风机，并根据飞行高度和方向预估鸟类的飞行轨迹，从而采取降速或关机等相应措施，提前预防。最先进和应用最广泛的技术是使用雷达和 GPS 检测进入风电场的鸟群并及时关闭涡轮机以便鸟类飞过。这种结合监控的智能风电控制技术可以有效地减少风电场对鸟类的伤害。

目前一些远程预警系统通常包括监测、防撞、停机和碰撞管理四个模块组成，可以通过 AI 技术等将本区域的重点鸟类进行特征提取，设定相关的监控参数，从而保证在监控时根据鸟类的数量、翼展、潜在飞行方向、天气情况等因素设定监测距离和相应的危险区，当鸟类接近风机中风险区时发出警告噪声；当鸟类接近高风险区时发出驱离噪声，迫使鸟类飞离风机；当鸟类进入高风险区，并沿有可能发生碰撞的方向飞行时，系统可以根据目标鸟类的飞行行为，实时计算发生碰撞的风险，实现风机自动停机；当鸟类飞离后，风机自动重启。

2）配备基于 AI 识别技术的鸟类在线监测系统

AI 识别技术在动物监测体系中的应用越来越成熟，通过红外摄像头、麦克风、传感器等设备获取鸟类图像、声音、行为等原始数据，通过构建相关的数据库，基于 AI 识别算法，结合视频流组网等，可以构建鸟类在线识别和监测预警系统，可以根据风机布局在项目所在区域的重点区位布置。

（8）开展风电场对鸟类的影响研究

联合专业单位联动机制防止或减缓鸟撞现象的发生。在鸟类迁徙季节鸟群接近风险区时该系统发出预警信号，风电场负责人和专业单位实时联动，根据专家意见采取相应防撞措施，如提高起转风速、降低风机运转速度或临时停机等措施，并实时记录其数量、迁徙路线等。研究表明，将起转风速从 3.5m/s 提升至 5.0m/s，可降低 62%的致死率。必要时应立即执行临时停机措施方案，并根据鸟情实际情况决定恢复日期及时间。

结合现场跟踪监测调查、雷达观测、AI 识别技术对鸟类的综合监测，分析研究风电场建设对鸟类的影响，形成研究报告。

8.2.7 海洋哺乳动物保护措施

（1）选择低噪声设备

选用低噪声风机及配套设备，优化风机叶片设计及基础结构，降低风机运行产生的水下辐射噪声，减少对江豚、斑海豹的长期干扰。

（2）运维管控

限速静音航行：对运营期船舶设定低速航行区，运维船在工程区及周边海域限速≤5 节，采用静音航行模式，减少船舶噪声及螺旋桨扰动，避开江豚、斑海豹高频活动区域。

航行管控：合理规划运维船航行路线，避免在斑海豹休憩区、江豚觅食区频繁通行；船舶航行时加强瞭望，发现动物活动立即减速避让，防止碰撞伤害。

（3）灯光管控

运维活动集中在白天开展，夜间尽量减少作业；夜间减少照明强度，加装遮光设施，避免灯光外泄干扰斑海豹、东亚江豚等夜间活动。

（4）污染物管控

严格控制运维过程中产生的污水、垃圾等污染物，严禁向海域排放；对设备维护产生的废油、废弃物统一收集、妥善处置，防止污染水体环境，保护饵料生物栖息地。

（5）应急响应与救助

制定针对斑海豹、东亚江豚等受伤、搁浅或被困的应急预案，并与当地海洋保护部门、科研机构和救助组织建立联动机制，为运营期维护工作人员提供应急救助培训，制定斑海豹、东亚江豚保护应急预案，定期演练，确保突发环境事件时能快速响应。

（6）持续监测与影响评估

①建立长期的海洋生态监测计划，采用无人机航拍、船舶巡航等方式，监测斑海豹、东亚江豚的分布范围、种群密度、活动节律、行为（特别是对风电场的回避反应）及迁徙路线，跟踪种群变化趋势，发现异常及时上报。

②定期评估风机运行噪声、电磁场等对海洋生物（包括斑海豹、东亚江豚及其猎物）的影响。

（7）数据共享与研究支持

将项目监测数据与科研机构共享，支持关于斑海豹行为学、声学影响、种群保护等研究，为行业保护措施的完善提供科学依据。

8.3 生态保护修复措施

根据分析，本工程共计造成浮游植物损失量 5.20×10^{14} 个，浮游动物损失量为1622.72t，底栖生物损失量为 137.61t，鱼卵损失量为 7.29×10^{8} 粒，仔稚鱼损失量为 2.01×10^{8} 尾，游泳生物损失量 9.62t。工程建设造成的生物资源损害补偿金额约为 3046.19万元。

根据本项目用海主要生态问题，结合项目实际，确定本项目生态修复措施为：增殖放流。

8.3.1 增殖放流效益及措施

渔业作为我国海洋产业发展的重要组成部分，在开发和利用海洋资源、促进我国海洋经济发展、增加人民经济收入、改善人民饮食条件和提供健康安全食品等方面具有极其重要的作用。海洋生态系统中近海生态系统是渔业生产的主要产区，也是发展渔业产业的母体。诸多研究表明，近海生态系统已经出现了严重的收支失衡，而且近海生态系统的功能在不断地退化。国具有十分丰富的渔业生物资源和广阔的渔业水域，我国在海洋渔业资源开发上，与世界其他各国一样，已经把开发海洋渔业资源上升为国家粮食安全战略，明确渔业开发在国家粮食储备和食品安全中的作用，将合理开发和有效发展海洋渔业资源、增加海洋产品对市场需求的供应、缓解人口增长与粮食需求之间的矛盾，作为缓解我国粮食危机的重要战略举措之一。

目前最常见的渔业资源增殖措施主要为以下三种：一是改善渔业生态系统环境，增加渔业增殖设施。例如通过向海底投放天然礁石、混凝土礁石、钢构架等建造人工鱼礁，并向海中移植石莼、大叶藻等，通过人工建设的方式营造海底牧场，为海洋渔业资源生物提供良好的栖息和繁殖场所，从而促进海洋生态环境优化和改善，海洋渔业资源逐渐修复。二是投放人工苗种，开展增殖放流。针对不同的放流品种，通过人工繁育的方式获取苗种资源，待海洋环境条件允许后，有针对性地向特定水域进行人工投放，使放流品种繁衍生息，增加资源数量，同时合理增加放流的品种的种类，可以起到优化资源结构的作用。在增殖放流开始之前，需要进行严格的海洋环境质量调查，苗种质量的检验，并有严格放流计划和放流技术规范，确保科学合理地开展增殖放流。三是保育增殖。例如通过针对不同作业类型的渔船实施限额捕捞制度，禁止超额捕捞；实行禁渔期制度，严厉打击禁渔期内的一切偷捕行为；防止污染，加大海洋污染治理力度，改善海洋生态环境，使水生生物在自然水域中健康生长和繁殖。

开展大规模增殖放流之前需要掌握拟放流水域的理化环境、基础饵料、敌害生物、竞争生物以及渔业资源数量分布、群落结构情况，经过充分论证和实验研究以及示范，

明确放流种类、数量和规格，放流的时间、地点，并对放流苗种进行疾病控制，放流之后需要跟踪监测和效果评估，以调整放流数量、时间和地点，保证最佳增殖效果。

8.3.2 增殖放流基本要求

（1）县级以上地方人民政府渔业行政主管部门负责本行政区域内水生生物增殖放流的组织、协调与监督管理。

（2）各级渔业行政主管部门应当加大对水生生物增殖放流的投入，积极引导、鼓励社会资金支持水生生物资源养护和增殖放流事业。

（3）水生生物增殖放流专项资金应专款专用，并遵守有关管理规定。

（4）县级以上人民政府渔业行政主管部门应当积极开展水生生物资源养护与增殖放流的宣传教育，提高公民养护水生生物资源、保护生态环境的意识。

（5）用于增殖放流的人工繁殖的水生生物物种，应当来自有资质的生产单位。其中，属于经济物种的，应当来自持有《水产苗种生产许可证》的苗种生产单位；属于珍稀、濒危物种的，应当来自持有《水生野生动物驯养繁殖许可证》的苗种生产单位。

（6）渔业行政主管部门应当按照“公开、公平、公正”的原则，依法通过招标或者议标的方式采购用于放流的水生生物或者确定。

（7）用于增殖放流的亲体、苗种等水生生物应当是本地种。苗种应当是本地种的原种或者子一代，确需放流其他苗种的，应当通过省级以上渔业行政主管部门组织的专家论证。禁止使用外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合生态要求的水生生物物种进行增殖放流。

（8）用于增殖放流的水生生物应当依法经检验检疫合格，确保健康无病害、无禁用药物残留。

（9）增殖放流应当遵守省级以上人民政府渔业行政主管部门制定的水生生物增殖放流技术规范，采取适当的放流方式，防止或者减轻对放流水生生物的损害。

（10）渔业行政主管部门应当在增殖放流水域采取划定禁渔区、确定禁渔期等保护措施，加强增殖资源保护，确保增殖放流效果。

（11）县级以上地方人民政府渔业行政主管部门应当将辖区内本年度水生生物增殖放流的种类、数量、规格、时间、地点、标志放流的数量及方法、资金来源及数量、放流活动等情况统计汇总，报上一级渔业行政主管部门备案。

8.3.3 增殖放流具体实施方案

根据有关法律法规，按照“谁建设、谁治理、谁补偿”的原则，在开发建设过程中，建议建设单位根据情况对本项目造成的海洋生态资源的影响给予一定的经济补偿，并采取有效措施，尽可能地减少对海洋生态环境的危害程度，以达到项目建设与保护海洋生态资源两者兼顾的目的。

（1）放流物种

结合该海域生物特点和当地鱼苗市场情况本次选择褐牙鲆、圆斑星鲽、许氏平鲉、绿鳍马面鲀、黑鲷和三疣梭子蟹作为海域生态资源损失补偿增殖放流物种。



图 8.3-1　增殖放流鱼种图（共计六种）

（2）放流时间

结合放流物种生活习性和当地海域禁渔期，确定放流时间为：2028 年~2029 年，每年 5～7 月份进行，具体根据放流品种成熟期确定。

（3）放流地点

放流地点的确定主要是从以下几方面考虑：①海洋公共水域；②服务当地渔业经济，因此，拟选择在威海市威海湾（增殖放流点 1）、阴山湾（增殖放流点 2）或鸡鸣岛东

侧海域（增殖放流点 3）作为放流地点具体见图 8.3-2。

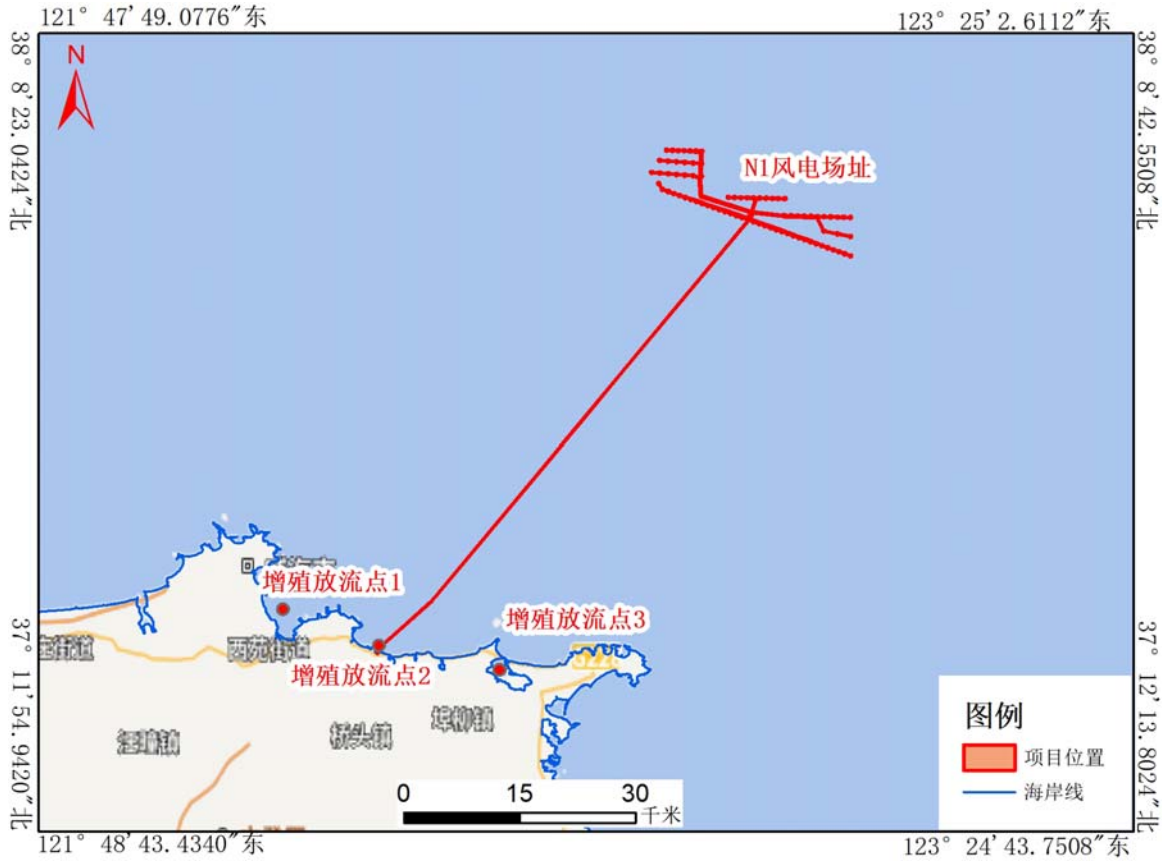


图 8.3-2　增殖放流点位图

表 8.3-1 放流点位置坐标

点位	经度	纬度
增殖放流点位 1	122°09′49.753″	37°28′12.403″
增殖放流点位 2	122°18′19.842″	37°24′57.897″
增殖放流点位 3	122°29′01.932″	37°23′38.608″

表 8.3-2　放流数量和规模一览表

物种	规格	数量（万）	单位	单价（元）	总价（万元）	组织放流运输费（万元）	检验检疫费（万元）
褐牙鲆	≥50mm	500	尾	1	500	15	10
圆斑星鲽	≥50mm	200	尾	3	600	15	10
许氏平鲉	≥40mm	400	尾	0.8	320	15	10
绿鳍马面鲀	≥50mm	200	尾	3	600	15	10
黑鲷	≥40mm	600	尾	0.8	480	15	10
三疣梭子蟹	稚蟹二期（II期仔蟹）	4000	只	0.1	400	15	10
小计					2900	90	60
合计					3050		

（4）苗种来源

根据《水生生物增殖放流技术规程》（SC/T9401-2010），苗种应当是本地种的原种或 F1 代，人工繁育的苗种应由具备资质的生产单位提供。应选择信誉良好、管理规范、科研力量雄厚、技术水平高、具有《水产苗种生产许可证》苗种生产单位。禁止使

用外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合生态要求的水生生物物种。

（5）苗种检测

增殖放流物种须经具备资质的水产品质量检验机构检验合格，由检验机构出具检验合格文件。

（6）放流方式

按照水生生物增殖放流技术规程（SCT9401-2010）操作。

褐牙鲆、圆斑星鲽、许氏平鲉、绿鳍马面鲀、黑鲷：鱼苗及虾苗经规格测量和计数后分别放入已装水的鱼苗专用塑料包装袋内、充氧密封包装运输至指定海域放流。另外，放流推荐采用虹吸放流方式，不仅能够减轻袋装工作量，还能够减少袋装操作过程对苗种的损伤。

三疣梭子蟹：二期幼蟹经计数后，蟹苗混入泡湿的稻壳中混匀，装入塑料袋充氧包装运输至指定海域放流。

（7）增殖放流跟踪监测与效果评估

增殖放流后，需要对放流地点周围海域进行跟踪监测和效果评估。增殖放流跟踪监测共分为两次，放流工作完毕 10 日后第一次（可收集同时期放流地点周边海域调查资料）、放流后 60 日之内进行第二次（具体放流时间根据休渔期要求调整）；主要对生物资源恢复情况及放流品种的成活率进行跟踪监测，包括海洋渔业资源中鱼卵、仔稚鱼调查（鱼卵、仔稚鱼的种类组成、数量分布和优势种等）、游泳动物调查（渔获物种类组成、渔获物生物学特征、优势种分布、渔获量分布和现存绝对资源密度等）。且对增殖放流效果通过类比等情况进行评估。

（8）组织实施

增殖放流工作由建设单位组织实施。

表 8.3-3　生态保护修复一览表

保护修复类型	保护修复内容	工程量	实施计划	责任人
海洋生物资源	增殖放流	褐牙鲆 500 万尾、圆斑星鲽 200 万尾、许氏平鲉 400 万尾、绿鳍马面鲀 200 万尾、黑鲷 600 万尾、三疣梭子蟹 4000 万只	放流时间为：2028 年—2029 年，每年 5～7 月份进行，具体根据放流品种成熟期确定。	建设单位

8.3.4 提高增殖放流效果对策建议

（1）加强增殖放流基础性调查研究

加强增殖放流基础性调查研究，要求对放流地点、适宜的放流时间、合适的放流规

格做出科学合理的调查，具体可查阅国内外相关文献，借鉴国内外成功放流经验，充分掌握放流苗种的各项生物特征。

放流海域苗种栖息地的环境，对放流苗种的存活率和生长率有着重要影响。在选择放流地点前，要充分掌握放流海域海底地形及分布，全面调查目标海域渔业生物资源及水质条件是否能与放流苗种的适应能力相匹配，确保放流苗种对物种的自然种质遗传特征不造成干扰。应选择高质量的栖息地作为放流地点，包括有充足的水域面积、丰富的饵料资源和适宜的庇护场所（如选取放流苗种喜好的人工鱼礁类型）。

在放流时间的选取上，要根据放流苗种的生活习性选择放流时间，一般选择气温相对温和的春秋季。放流时间应该选择敌害少，饵料资源丰富，气象条件、水文条件稳定和适宜的阶段。此外，针对不同地区禁渔期的时间来确定放流时间，也能够提高增殖放流的效果。

在放流规格的选取上，要综合考虑高存活率和成本之间的关系，在均衡放流成本和养殖成本的基础上，通过开展不同规格的放流实验确定最优放流规格，并根据不同放流时间来进行调整，并做好苗种的检疫工作，提高苗种存活率，促使增殖放流效益最大化。

（2）积极深入开展放流方式的研究，建立合理科学的增殖放流方式

目前国内外学者在增殖放流策略的研究中，已在放流地点、时间、规格等领域取得了一定成果，但在放流方式上仍需要进一步深入研究。不同放流方式对放流苗种的损伤不同，为获得更好的增殖放流效果，必须应用科学合理的方法和措施。当前放流方式的研究主要集中在减少水面对苗种物理冲击的层面，未能解决放流后苗种的高流散率和高死亡率问题。由于缺少相关领域的研究，在增殖放流活动中往往为了控制放流成本和操作便捷而采取海面直接放流的方式，追求以“量”盖“质”。这种做法不仅无法达到增殖放流预期的效果，还造成了苗种大量死亡，形成资源浪费，并会对放流海域生态环境造成影响。

放流方法不是简单地将苗种投入海域，它所包含的应该是一整套最优化的放流体系，包括放流前的一系列准备工作（如确定放流时间、地点、生物习性）、配套的放流装置等。国内外采取的放流方式主要为直接放流和放流装置放流，虽然现有放流装置在一定程度上能够缓解苗种所受水面冲击力进而减少物理伤害，但仍未能有效降低放流苗种在下沉过程中的流散率高和被捕食率高等问题。采用人工潜水放流方法放流海珍品能够避免上述问题，但高额的成本和高负荷劳动制约了该方法的广泛应用。此外，携带海珍品附着基和庇护装置会增加潜水员的负重，降低放流工作效率。因此，设计一种科学

合理、低成本、高收益的鱼类及海珍品放流方式十分必要，具体应注意以下几点。

①减少放流过程中水面对苗种的物理冲击，尽量避免采取海面直接泼洒等粗犷型放流方式。

②放流鱼类时，可采用放流装置将苗种放流至目标海域，解决在放流过程中苗种流失问题，并达到定点定位效果。

③在放流贝类、海珍品苗种时，可采用放流装置来代替人工潜水放流方式，以减少放流成本，避免长期水下工作对人体造成危害。此外在放流时可在装置内装入底泥饵料混合的环境友好型附着基，为苗种提供庇护场所及前期生长所需的食物来源，提高苗种存活率。

④针对放流技术不完善、放流效果不明确的对象，应展开室内外放流实验，依据实验结果来制定苗种的放流策略，提高放流效果。

（3）完善放流管理制度，完善放流管理体系

改善放流管理制度，要求规范增殖放流工作程序，确保增殖放流的各个环节按照程序进行，针对不同苗种习性差异特征，制定不同放流物种规范，完善增殖放流渔业规章制度，配备必要的管理手段并与渔业管理措施相结合，对放流区域的增殖保护对象和禁渔期、渔具渔法、渔政监督管理、惩罚措施等作出明确规定。此外，要加强放流后期管理工作，包括对放流水域的保护、放流种群的移动及水质的实时监测，确保放流水域的稳定。中国在近年来颁布《水生生物增殖放流管理规定》等相关文件，旨在规范增殖放流工作标准，为增殖放流工作的可持续发展奠定基础。此外还要加大增殖放流工作的宣传力度，加大规章制度的宣传力度，普及增殖放流的相关基础知识。由于增殖放流效益的提高是一个长期动态的过程，人为因素对增殖放流效果的影响较大，因此增强涉渔人员水生生物保护意识尤为重要。加大对社会放流的监管力度，可以建立全国性或区域性的渔业增殖放流协会，吸纳海洋、环境、渔业、法律等多领域的关心水生生物资源保护事业的专家及爱心人士参与其中，严格限定社会组织的放流活动和种类，加强放流选址、种类选取等的科学性；对于规模较大的放流活动，应上报渔业主管部门做出公示，接受社会监督。

8.3.5 生态保护修复措施小结

在修复项目选择过程中，对拟选定项目组织了现场踏勘和调研，充分排查了项目的基本情况，判定增殖放流修复措施实施具有一定的可行性。

本项目生态修复措施为：增殖放流，本项目生态保护修复工程所需预算经初步估算合计约 3050 万元（表 8.3-4）。

表 8.3-4 生态修复工程总预算表

具体修复措施	测算依据	投资预算（万元）
增殖放流	详情见表 8.3-2	3050
合计		3050

建设单位作为生态补偿的责任主体，应采取增殖放流生态修复和补偿措施，缓解和减轻工程对所在海域生态环境的不利影响，对建设造成生物生态的损失，其补偿措施应与当地主管部门协商确定。

施工结束后，及时按规定采取生态修复和补偿措施，委托专业部门对生态补偿效果进行监测，并根据监测结果及时调整补偿措施。

8.4 环境保护的措施经济技术可行性论证

本项目拟采取的各类污染防治措施技术可行。具体如下：

施工期，生活污水、含油废水、生活垃圾等全部收集上岸处理，严禁向海域内排放。工程施工过程中加强船舶的管理和施工工艺的控制，尽量降低悬浮泥沙产生浓度和扩散范围。必要时委托有资质的海洋监测单位，加强周边海洋生态环境监测。环保措施在技术上是可行的，在经济方面没有较大投入。

运营期，通过优选采用清洁、环保的机械设备和生产工艺，并使用清洁燃料，有效控制各类污染物的产生；对生活污水等资源处理后尽量回收利用，提高利用率；油污水、废旧蓄电池、油渣或含油棉纱废物等送相应有资质单位处理，生活垃圾由陆域统一收集处理。以上环保措施在经济和技术方面都是经济技术可行的。

8.5 环境保护设施和对策措施一览表

工程施工期、运营期环境风险应急设施可依托烟台或威海地区港口。本项目环境保护措施和对策情况见表 8.5-1。

表 8.5-1　环境保护设施和对策措施一览表

时间	保护要素	主要环保对策措施	投入主要设备和工具					
			规模/型号	数量	处置效果	实施地点	责任主体	运行机制
施工期	水环境	海上船舶油污水铅封上岸处置	油污水收集装置	各施工船自配	全部收集	船体	施工单位	建设单位委托施工单位进行环境保护相关工作的开展，由建设单位和监理单位负责监督
		船舶生活污水禁止随意排放，委托接收处理	污水收集装置	各施工船自配	全部收集	船体	施工单位	
	生态环境	严格划定施工作业范围	管理措施、方法，配套装置等		减少生态环境影响	施工区域	委托单位、施工单位及建设单位	
		优化施工方案，加强科学管理						
		施工完成后应及时进行滩涂地面修复						
		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						
		施工期加强瞭望，确认风机附近没有斑海豹、东亚江豚的活动之后，再实施打桩工程的施工						
		开展生态环境及渔业资源跟踪监测调查						
	固体废物	建筑垃圾不得随意倾倒，应运至指定垃圾处理点进行处理	垃圾运输车	1 辆（委托处理）	定期清理	陆域施工区	施工单位	
		禁止向海洋抛弃各类固体废弃物，船舶垃圾收集后委托资质单位接收处理	垃圾桶	施工船舶自配	全部收集	船体	施工船	
	声环境	选择低噪声设备	配套设施、管理措施和方法		减噪、降噪	施工区域	施工单位	
		定期维护和及时修理施工机械						
		加强对施工人员的个人防护						
		加强施工管理						
		以“软启动”方法驱赶桩基周围的鱼类						
	大气环境	使用符合国家废气排放标准的机械和船舶，加强对施工机械、船舶维修保养，采用合理的航速航行。	管理措施、方法		减少大气污染物排放	施工机械、船舶	施工单位	
	通航环境	加强对施工作业的安全管理	管理措施和方法		保证通航安全	海上施工区域	施工单位和建设单位	
		施工期间水上交通安全维护方案						

时间	保护要素	主要环保对策措施	投入主要设备和工具					
			规模/型号	数量	处置效果	实施地点	责任主体	运行机制
运营期	生态环境	生态修复补偿措施（增殖放流）	按要求进行生态补偿和修复		减少生态环境影响	用海区域	建设单位和委托相关单位	建设单位内部设立专门的环境保护管理部门，对各生产运行环节环保工作进行管理和监督及具体工作的协调处理。
		维护结束后，应将废油、含油废物等一并送交有资质单位回收处理	接收装置	各一套				
	鸟类	风机上适当的位置安设闪烁灯光	闪烁灯	每个风机一个	降低对鸟类影响、积累数据	风机	建设单位	
		紫外光固化涂料涂漆在风电机叶轮表面	紫外光涂料	每个风机一套		风机		
		加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测	/			风场区	委托相关单位	
		开展风电场对鸟类的影响研究						
	声环境	风机机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动	配套装置和材料	每个风机	隔音、吸音、减噪、减震	风机	风机及升压站、高抗站设计制造单位	
		减少撞击和摩擦，使风机齿轮和轴承保持良好的润滑状态						
		升压站、高抗站设备的底部与承重基础间加垫隔振材料		升压站、高抗站		升压站、高抗站		
		升压站、高抗站主变压器室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板						
	固体废物	危险废物收集后运回陆地，委托资质单位接收处理	收集罐	配套	及时收集	使用地点	建设单位	
		维修、监测及养护期间产生的固废、生活垃圾收集后委托资质单位接收处理	船舶垃圾桶	维护船自配	全部收集	维护船		
	电磁环境	选用带有金属罩壳的电气设备	金属罩	对应设施配备	降低电磁环境影响	升压站、高抗站	设计单位	
		主变室内墙体敷设的铝合金吸音板采取良好的接地措施	吸音板					
	水环境	海上升压站、高抗站生活污水处理后达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定二级标准排放入海	污水处理设备	各一套	达标	升压站、高抗站	建设单位	
		船舶生活污水收集送有资质单位处理	污水收集装置	船体自配	全部收集	维修船	建设单位	
	环境风险	制定应急预案	/	/	满足要求	/	建设单位	
		海上升压站、高抗站配置吸油索	/	各 20 根	满足要求	海上升压站、高抗站	建设单位	
		海上升压站、高抗站配置事故油罐	容积 200m^3	事故油罐间 1 处	满足要求	海上升压站、高抗站	建设单位	
	通航环境	设置足够的导助航设施	导航设施	按要求配备	保证通航安全	风机、海上升压站、高抗站	建设单位和设计单位	
		风机机柱上应涂有醒目的警示色	警示标志					
		安装海上风机监视系统	监视系统					
		相关设施防撞配件的安装和维护	防撞装置					

9 产业政策、规划符合性及选址分析

9.1 产业政策符合性分析

本项目主要建设 1106MW 的海上风电场，根据《产业结构调整指导目录（2024 年本）》的规定，本项目属于第一类“鼓励类”中第五项“新能源”中第 1 条“海上风电场建设与设备及海底电缆制造”，符合国家产业政策要求。

9.2 与《全国国土空间规划纲要（2021—2030）》的符合性分析

根据 2017 年 1 月 3 日国务院关于印发《全国国土规划纲要（2021—2030 年）》（国发〔2017〕3 号）的通知“第四节 构建能源安全保障体系”可知：“在保护生态的前提下，有序稳妥开发水电，安全发展核电，高效发展风电，扩大利用太阳能，有序开发生物质能。实施新能源集成利用示范工程，因地制宜推进新型太阳能光伏和光热发电、生物质气化、生物燃料、海洋能等可再生能源发展，大幅提高非化石能源占能源消费总量的比例”。

项目位于山东省威海市，属于《威海市人民政府办公室关于印发 2024 年重点项目安排方案的通知》（威政办字〔2024〕5 号）中的“2025 年省重大项目（附件 3）”。项目建设可以高效发展风电，符合《山东省能源发展“十四五”规划》，是实现可持续发展的需要，符合我国能源发展战略，符合山东省能源结构调整和可持续发展的需要，有利于地方经济的发展。

因此，项目建设与《全国国土空间规划纲要（2021—2030）》相符。

9.3 与《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》符合性分析

9.3.1 所在海域国土空间规划分区基本情况

2024 年 1 月 8 日，山东省人民政府发布《山东省人民政府关于印发山东省国土空间规划（2021—2035 年）的通知》（鲁政发〔2023〕12 号）。

规划内容：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。沿海市县应坚持陆海统筹，细化海洋开发利用空间。高水平建设“海上粮仓”，科学确定养殖用海规模，稳定海水健康养殖面积，缩减围海养殖，拓展深水远岸海水养殖空间。重点建设莱州湾海域、威海海域、日照海域三大海洋渔业集中发展区，保障渔业基础设施用海，打造现代化综合性渔港经济区。提高沿海港口岸线资源利用效

率，优化港口功能布局，建设青岛国际航运贸易金融创新中心，促进烟台港功能集约布局，提升日照港专业化水平，控制渤海湾港口建设规模。科学布局工矿通信用海，提高生态和产业准入门槛，保护性开发渤海油气资源、莱州湾南部地下卤水资源，依托滨东潍盐碱滩涂地建设风光储输一体化基地，加快推进海水淡化与综合利用示范工程建设。**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**。支持裕龙岛石化、烟威地区核电等重大项目建设用海，科学规划海底管廊，集约划定路由区域，统筹设置集中登陆点。实施“海岸－海域－海岛”旅游综合立体开发，打造一批具有国际影响力的海洋文旅项目，依托滨海生态廊道，拓展公众亲水空间，提升游憩用海比重，改善滨海区域人居环境。合理布局特殊用海区。

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。**在确保绝对安全的前提下在胶东半岛有序发展核电，做好核电建设与丁字湾等生态保护红线区域管控政策的衔接，推动自主先进核电堆型规模化发展，拓展供热、海水淡化等综合利用。培育壮大氢能产业，推进可再生能源制氢和低谷电力制氢试点示范。推动抽水蓄能电站建设，加大生物质能、地热能、海洋能等可再生能源开发利用力度，建设一批新型多元储能基地。支持新能源微电网、能源物联网、“互联网+智-77-慧能源”等综合能源示范项目建设，协调推进本地平衡、就近消纳的分布式新能源发展。

根据《山东省国土空间规划（2021—2035 年）》，项目风电场区超出了山东省海域范围，高抗站位于山东省海域范围内，500kV 海缆穿越山东省海域、位于海洋开发利用空间（图 9.3-1），项目不在生态保护红线内（图 9.3-2）。

图 9.3-1 《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》海洋空间功能布局图

图 9.3-2 《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》生态保护红线图

9.3.2 项目用海与国土空间规划的符合性分析

根据《山东省国土空间规划（2021—2035 年）》文本中“优化海洋开发保护格局”中“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。”本项目位于半岛北海上风电基地，属于优化海洋开发利用空间项目。且项目不在生态保护红线内，符合《山东省国土空间规划（2021—2035 年）》

9.3.3 对周边海域国土空间规划分区的影响分析

工程施工时妥善处理施工与生活废水，做好防治后其影响时间相对短暂，不会损坏海岛与海湾生态系统的生态保护目标。工程施工期间严格控制环境污染因子，施工期间噪声对鱼类等海洋生物存在短时间影响，随着施工结束，不利影响会随之消失。施工场地至海岸线向海一侧采用定向钻施工。海缆位于海域泥面以下，不会改变区域流速、流向等水动力条件，因此不会对周边海域的冲淤环境产生不利影响，不会影响穿越段岸线的稳定性。

项目建成运行后进行电缆输电，不产生污染物，不会对海域水质、大气环境、声环境及生态系统等造成影响，海底电缆敷设于海底，不会改变路由海域海底地形地貌，也不会改变海域水文动力与地形冲淤环境，正常运行的情况下不会对海域造成影响。

施工期产生的生活污水、油污水、生活垃圾等统一处理，不向海域排放，不会对周边海域的生态环境造成影响。运营期项目本身不产生污染物，不会对周边海域生态环境造成影响。

综上，项目建设不会影响海域基本功能的发挥。

9.4 与《威海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》符合性分析

9.4.1 所在海域国土空间规划分区基本情况

根据《威海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，项目风电场区不在规划范围内，高抗站位于威海市海域，500kV 海缆穿越威海市海域。高抗站位于威海港-鸡鸣岛渔业用海区，500kV 海缆穿威海近海渔业用海区和威海港-鸡鸣岛渔业用海区。项目与威海市国土空间规划海洋功能分区位置关系详见图 9.4-1，项目用海与各国土空间规划分区的位置关系详见表 9.4-1，各功能区登记表摘录见表 9.4-2。

表 9.4-1　项目用海与各国土空间规划分区的位置关系表

表 9.4-2　项目周边海域海洋规划分区登记表

图 9.4-1　本项目与威海市国土空间规划海洋功能分区位置关系图

9.4.2 项目用海与国土空间规划的符合性分析

9.4.2.1 与威海港－鸡鸣岛渔业用海区的符合性分析

（1）空间用途准入

项目登陆点位于威海市环翠区黄石圈，500kV 海缆穿越威海港－鸡鸣岛渔业用海区，高抗站位于该用海区，该功能区的空间用途准入为“基本功能为渔业功能，兼容游憩等功能。在船舶习惯航路和依法设置的锚地、航道及两侧缓冲区水域禁止养殖。加强渔业资源养护，控制捕捞强度”。项目海缆埋设于海床以下，可进行分层立体确权，对穿越的渔业用海区主体功能影响较小；项目高抗站用海方式为透水构筑物，高抗站的建设具有聚鱼效应，有利于所在功能区基本功能的发挥，丰富渔业资源。

根据《威海市国土空间总体规划》，项目属于“表 17 市域重点建设项目一览表”中“3 能源”，项目登陆点和陆上运维中心均位于环翠区。项目已经纳入国土空间规划，符合空间用途准入要求。

表 9.4-3　威海市国土空间总体规划中市域重点建设项目一览表（部分摘录）

序号	项目类型	项目名称（所在县（市、区））
3	能源	武林抽水蓄能电站（环翠区）、半岛北海上风电 L、海上光伏 HG42 换流站/升压站（环翠区）、半岛北海上风电 M、海上光伏 HG43 换流站/升压站（环翠区）、**半岛北海上风电 N、**海上光伏 HG44 换流站/升压站（环翠区）、半岛北海上风电 O、海上光伏 HG45 换流站/升压站（环翠区）、半岛北海上风电 P、海上光伏 HG46 换流站/升压站（环翠区）、**华能山东半岛北海上风电基地项目（N-1 场址）（环翠区）、华能山东半岛北海上风电基地项目（N-1 场址）陆上运维中心（环翠区）等**

（2）开发利用方式

该功能区的开发利用方式为“严格限制改变海域自然属性，适当发展底播养殖，严格控制筏式养殖、普通网箱养殖等养殖项目用海，禁止新增围海养殖”。项目不属于严格控制和禁止的养殖范畴，500kV 海缆穿越该功能区，海缆位于泥面以下，用海方式为海底电缆管道，高抗站用海方式为透水构筑物，海缆可与养殖用海活动立体存在，项目用海方式对海域自然属性影响较小。项目开发利用方式满足要求。

（3）海域保护修复

该功能区的海域保护修复为“控制养殖密度，改善海水质量和养殖环境”。项目设置施工期和运营期的跟踪监测方案，采用增殖放流的方式恢复项目建设造成的渔业资源损失，施工期和运营期的生活污水和生活垃圾均妥善处理，不向海域排放，不破坏海洋环境；项目不涉及海水养殖。综上所述，项目用海符合该功能区的海域保护修复要求。

（4）生态保护重点目标的符合性

该功能区的生态保护重点目标为“传统渔业资源、生物资源”。项目施工期产生的悬浮泥沙会影响到周边渔业用海区，但施工悬沙影响是短暂的，随着施工的结束而消失；为减少项目海缆铺设对海洋生态和渔业资源的综合影响，建设单位对项目附近水域的生物资源恢复做出经济补偿，项目建设完成后开展增殖放流，恢复渔业资源，因此对海洋生态和渔业资源的影响较小；合理安排施工进度计划，降低鱼类产卵期内施工强度。海缆位于泥面以下 2~3m，海缆建设不会影响传统渔业资源的产卵场、索饵场、洄游通道。施工期和运营期的污水和固体废物均运回陆域处理，不向海域排放，不会影响水产种质资源。综上所述，项目满足生态保护目标要求。

9.4.2.2 与威海近海渔业用海区符合性

（1）空间用途准入

项目 500kV 海缆穿越威海近海渔业用海区，该功能区的空间用途准入为“基本功能为渔业功能，兼容交通运输、游憩、工矿通信等功能。在船舶习惯航路和依法设置的锚地、航道及两侧缓冲区水域禁止养殖。加强渔业资源养护，控制捕捞强度。保障水产种质资源保护区用海，保护生物多样性。鼓励渔业用海与海上风电、海上光伏、海洋能融合发展”。项目用海类型为工矿通信用海，属于海区兼容的功能。项目无养殖活动，采用增殖放流的生态保护措施养护渔业资源，无捕捞活动，项目海缆埋设于海床以下，可进行分层立体确权，对穿越的渔业用海区主体功能影响较小，不会对水产种质资源产生影响。项目属于鼓励的渔业用海与海上风电融合发展。项目符合空间用途准入要求。

（2）开发利用方式

该功能区的开发利用方式为“严格限制改变海域自然属性，鼓励开放式用海，允许小规模以构筑物形式用海。渔港改扩建允许适度改变海域自然属性，需符合国家围填海管控政策”。项目高抗站用海方式为透水构筑物，海缆用海方式为海底电缆管道，项目用海方式不会对海域自然属性产生改变。项目无渔港建设内容。因此项目开发利用方式满足要求。

（3）海域保护修复

该功能区的海域保护修复为“控制养殖密度，严格执行休渔制度；保护自然岸线，鼓励对人工岸线进行生态化建设”。项目无养殖活动，海缆穿越人工岸线，不会对自然岸线产生影响，项目生态修复内容包括岸线修复内容。综上所述，项目用海符合该功能区的海域保护修复要求。

（4）生态保护重点目标

该功能区的生态保护重点目标为“水产种质资源；传统渔业资源的产卵场、索饵场、越冬场、洄游通道等”。项目施工期产生的悬浮泥沙会影响到周边渔业资源，但施工悬沙影响是短暂的，随着施工的结束而消失；为减少项目海缆铺设对海洋生态和渔业资源的综合影响，建设单位对项目附近水域的生物资源恢复做出经济补偿，项目建设完成后开展增殖放流，恢复渔业资源，因此对海洋生态和渔业资源的影响较小；施工合理安排施工进度计划，降低鱼类产卵期内施工强度。项目高抗站不在“三场一通道”范围内，海缆位于泥面以下 2~3m，海缆建设不会影响传统渔业资源的产卵场、索饵场、洄游通道。施工期和运营期的污水和固体废物均运回陆域处理，不向海域排放，不会影响水产种质资源。综上所述，项目满足生态保护目标要求。

9.4.3 对周边海域国土空间规划分区的影响分析

9.4.3.1 项目用海对海域国土空间规划分区利用的影响

项目风电场区在山东省管控海域以外，高抗站位于威海港－鸡鸣岛渔业用海区，500kV 海缆穿威海近海渔业用海区和威海港－鸡鸣岛渔业用海区，海缆穿越长度约33.5km。项目用海涉及到的用海方式包括透水构筑物（风机及海上升压站）和海底电缆管道（海底电缆），项目总用海面积为 1044.1355hm^2，其中海底电缆管道（500kV）用海面积为 302.5801hm^2，高抗站用海面积为 0.4158ha，海底电缆管道用海占用威海近海渔业用海区和威海港－鸡鸣岛渔业用海区为 145.2984ha，高抗站占用威海港－鸡鸣岛渔业用海区为 0.4158ha。

威海港－鸡鸣岛渔业用海区位于威海港近岸海域，地理范围为 122°09′34.18″-122°34′59.95″；37°24′09.56″-37°31′21.16″，该区面积为 17683.50ha；威海近海渔业用海区地理范围为 121°27′42.50″-122°57′22.75″；36°06′11.85″-37°45′30.34″，该区面积为 833926.29ha。项目海缆利用面积为 145.2984ha，约占渔业用海区总面积的 0.02%；高抗站利用面积为 0.4158ha，约占渔业用海区总面积的 0.002%。可见，本项目用海占用所在功能区面积比例相对较小，项目施工期主要为悬浮泥沙影响，施工期产生的生活污水、油污水、生活垃圾等统一处理，不向海域排放，运营期海缆埋于海床以下，不会改变海域海底地形地貌，也不会改变海域水文动力与地形冲淤环境，不会改变海域自然属性，运营期主要为电磁影响。施工期悬浮泥沙随着施工的结束影响消失，运营期海缆埋于海床以下，产生的电磁影响较小，项目海缆铺设对渔

业用海区的主体功能的发挥影响较小。

9.4.3.2 项目用海对周边海域各国土空间规划分区的影响

项目风电场区和高抗站不在规划范围内，500kV 海缆穿越荣成市威海近海渔业用海区。海缆穿越长度约 25.1km。项目海底电缆管道用海占用荣成市威海近海渔业用海区面积为 101.6000ha。

威海近海渔业用海区地理范围为 121°27′42.50″-122°57′22.75″；36°06′11.85″-37°45′30.34″，该区面积为 433089.43ha；项目海缆利用面积为 101.6000ha，约占渔业用海区总面积的 0.02%，可见，本项目用海占用所在功能区面积比例相对较小，项目施工期主要为悬浮泥沙影响，施工期产生的生活污水、油污水、生活垃圾等统一处理，不向海域排放，运营期海缆埋于海床以下，不会改变海域海底地形地貌，也不会改变海域水文动力与地形冲淤环境，不会改变海域自然属性，运营期主要为电磁影响。施工期悬浮泥沙随着施工的结束影响消失，运营期海缆埋于海床以下，产生的电磁影响较小，项目海缆铺设对渔业用海区的主体功能的发挥影响较小。

9.4.4 项目用海与国土空间规划分区的生态保护红线管控要求符合性分析

根据《威海市国土空间规划（2021—2035 年）》，项目不占用生态保护红线，位置详见图 9.4-2。

根据《威海市国土空间规划（2021—2035 年）》中“第 21 条、生态保护红线”：

1.划定生态保护红线。将生态功能极重要、生态环境极敏感脆弱等重点区域划入生态保护红线，总面积不低于、1152.00、平方千米，占全市国土面积的、7.52%。陆域生态保护红线面积不低于 707.00、平方千米，主要分布在昆嵛山山脉、里口山、正棋山、伟德山等区域以及米山水库、母猪河、乳山河流域等重要河流水库；

海洋生态保护红线包括重要滩涂及浅海水域、珍稀濒危物种分布区、特别保护海岛等，面积不低于 445.00 平方千米，主要分布在靖子湾、五垒岛、成山头等海域。

2.明确生态保护红线管控要求。生态保护红线内，自然保护地核心保护区原则上禁止人为活动，其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，在符合现行法律法规的前提下，除国家重大项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

项目不占用生态保护红线，项目西侧 860m 处为“威海沙龙王家村北砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线”，项目东侧 40m 处为“威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线”，东南侧 2.0km 处为“逍遥港海草床生态保护红

线”。项目与威海市国土空间规划中生态保护红线叠置详见图 9.4-2。根据本项目悬沙包络线与“三区三线”的划定成果中生态保护红线叠置图（图 9.4-3）可知，项目悬浮泥沙会扩散到项目东侧的“威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线”。施工期间产生的悬浮泥沙使周围海水中悬浮物浓度增大，透明度降低，引起浮游植物的光合作用的减少，同样会对海洋生物产生一定的影响。但由于悬浮沙影响时间较短，悬浮泥沙影响随着施工结束而影响消失。项目建成运行后进行电缆输电，不产生污染物，不会对海域水质、大气环境、声环境及生态系统等造成影响，海底电缆敷设于海底，不会改变附近海域海底地形地貌，也不会改变海域水文动力与地形冲淤环境。项目建成后，通过加强监督管理，完善电缆破裂等风险防控措施，在正常运行的情况下不会对生态保护红线区造成影响。

因此，项目符合生态保护红线的管控要求。

图 9.4-2　项目与生态保护红线叠置图

图 9.4-3　项目悬沙包络线与生态保护红线叠置图

9.4.5 小结

根据《威海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，项目风电场区不在规划范围内，高抗站位于威海市海域，500kV 海缆穿越威海市海域。高抗站位于威海港-鸡鸣岛渔业用海区，500kV 海缆穿威海近海渔业用海区和威海港-鸡鸣岛渔业用海区。项目用海对穿越功能区的生态保护重点目标基本不产生影响，符合空间用途准入、开发利用方式要求，悬浮泥沙对生态保护红线产生影响较小，项目实施符合国土空间规划分区的海域保护修复要求。

9.5 与《荣成市国土空间总体规划（2021—2035年）》符合性分析

9.5.1 所在海域国土空间规划分区基本情况

根据《荣成市国土空间总体规划（2021—2035 年）》，项目风电场区和高抗站不在规划范围内，500kV 海缆穿越荣成市威海近海渔业用海区。项目与荣成市国土空间规划海洋功能分区位置关系详见图 9.5-1，项目用海与各国土空间规划分区的位置关系详见表 9.5-1，功能区登记表摘录见表 9.5-2。

表 9.5-1　项目用海与国土空间规划分区的位置关系表

序号	代码	规划分区名称	最近距离（km）	相对位置
1	1-1	威海近海渔业用海区	0	海缆穿越

图 9.5-1　项目与荣成市国土空间规划海洋功能分区位置关系图

表 9.5-2　项目所在海域海洋规划分区登记表

9.5.2 项目用海与国土空间规划的符合性分析

项目 500kV 海缆穿越荣成市威海近海渔业用海区，威海近海渔业用海区在荣成市国土空间总体规划中的空间用途准入、开发利用方式、海域保护修复和生态保护重点目标与威海市国土空间总体规划要求一致，根据 9.4.2.2 节分析可知，项目符合《荣成市国土空间总体规划（2021—2035 年）》。

9.5.3 对荣成市国土空间总体规划分区的影响分析

项目风电场区和高抗站不在规划范围内，500kV 海缆穿越荣成市威海近海渔业用海区。海缆穿越长度约 25.1km。项目海底电缆管道用海占用荣成市威海近海渔业用海区面积为 101.6000ha。

威海近海渔业用海区地理范围为 121°27′42.50″-122°57′22.75″；36°06′11.85″-37°45′30.34″，该区面积为 433089.43ha；项目海缆利用面积为 101.6000ha，约占渔业用海区总面积的 0.02%，可见，本项目用海占用所在功能区面积比例相对较小，项目施工期主要为悬浮泥沙影响，施工期产生的生活污水、油污水、生活垃圾等统一处理，不向海域排放，运营期海缆埋于海床以下，不会改变海域海底地形地貌，也不会改变海域水文动力与地形冲淤环境，不会改变海域自然属性，运营期主要为电磁影响。施工期悬浮泥沙随着施工的结束影响消失，运营期海缆埋于海床以下，产生的电磁影响较小，项目海缆铺设对渔业用海区的主体功能的发挥影响较小。

9.6 与海岸带保护规划的符合性分析

9.6.1 与《山东省海岸带及海洋空间规划（2020—2035 年）》符合性

根据《山东省海岸带及海洋空间规划（2021—2035 年）》（鲁自然资发〔2026〕13 号），风电场及送出电缆北部位于规划区以外，送出电缆南部和高抗站位于渔业用海区。

图 9.6-1　《山东省海岸带及海洋空间规划（2021—2035 年）》中山东省海洋功能分区图

项目海缆和高抗站位于规划范围内，500kV 海缆埋设于海床以下，可进行分层立体确权，对穿越的渔业用海区主体功能影响较小，项目高抗站用海方式为透水构筑物，无养殖活动，不会增加养殖容量，透水构筑物对水动力交换的影响较小，高抗站的建设具有聚鱼效应，利于养殖水域海域渔业资源的提升。该规划 第六章 优化产业空间布局 第四节 优化能源矿产利用布局指出：“深水远岸布局海上风电。合理规划海上风电场，

推进深水远岸布局，不得在生态保护红线、自然保护地、重要航路、锚地、重要渔业水域以及海湾、重要河口、重要滨海湿地、重要鸟类迁徙通道和栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域布局。按照统筹规划、分步实施原则，聚焦海上风电发展重点区域，系统谋划推进山东海上风电基地建设，聚力打造千万千瓦级深远海海上风电基地。新增海上风电在离岸 30 千米以外或水深大于 30 米的海域布局。支持漂浮式海上风电布局，探索推进海上能源岛建设。统筹规划各场址的接入系统方案，共建共用陆上集控中心、运营维护基地、送出工程、海底管廊、登陆电缆路由等基础设施，减少对岸线的占用，避免多条平行输电电缆通道分割海域功能。鼓励空间立体复合利用，探索推进海上风电与海洋能综合利用等新技术、新模式，支持海洋清洁能源与海水淡化、氢醇一体化、深远海养殖、海洋观测等融合发展。”本项目的建设符合风电相关规划，有利于带动风电产业发展，并促进地区能源结构优化，对于实现海洋强省及新旧动能转换，实现“双碳”目标具有重要的作用。

规划根据全省大陆海岸线自然资源条件和开发程度，将大陆海岸线划分为严格保护、限制开发和优化利用三个类别，强化分类管控。项目 500kV 海缆穿越人工岸线，500kV 海缆建成后埋设于泥面以下，不改变岸线的形态和特征，对人工岸线无直接不利影响。

项目用海符合《山东省海岸带及海洋空间规划（2021—2035 年）》。

9.6.2 与《威海市域海岸带保护规划（2020—2035 年）》符合性

根据《威海市域海岸带保护规划（2020—2035 年）》，华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目 500kV 海缆穿越海岸带限制开发区（图 9.6-2）。

海岸带限制开发区划定结果和管控要求如下：

（1）划定结果

主要包括水产种质资源保护区、传统渔场和海水养殖区、未列入严格保护区域的自然岸线所在的海岸带区域以及其他自然形态保持基本完整、生态功能与资源价值较好、开发利用程度较低的区域，总面积 436.22 平方公里，其中陆域面积 141.74 平方公里，海域面积 294.48 平方公里。

（2）管控要求：

区内禁止工业生产、矿产资源开发和商品房建设。禁止设置排污口、炸毁礁石等损害海岸带地形地貌和生态环境的活动。鼓励开展退堤还海、清淤疏浚、生态廊道建设等提升海岸带资源价值和恢复海岸带生态功能的整治修复活动。海域使用在不影响保护的前提下，可以适当开展科学研究、教育、渔业生产和旅游等活动，充分发挥生态、社会

和经济效益。

符合性分析：项目海缆穿越海岸带限制开发区，海缆不属于工业生产、矿产资源开发和商品房建设，也没有设置排污口、炸毁礁石等损害海岸带地形地貌和生态环境的活动。项目海缆的铺设不改变海域自然环境和保护内容，属于可适当开展的范畴。

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，不占用海洋生态保护红线区。根据《威海市国土空间规划（2021—2035 年）》，项目 500kV 海缆穿越威海港－鸡鸣岛渔业用海区，符合该功能区海域保护修复要求，海域使用不影响该功能区保护修复。项目已经纳入国土空间规划，满足空间用途准入。

项目建设海上风电，500kV 海缆在威海市黄石圈附近海域登陆，风电场址在省管海域以外，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，会通过增殖放流等生态补偿方式缓解工程建设对海洋生态环境的影响，可修复和改善本地区海洋生态环境。

项目建设同时会带动威海地区相关产业的发展，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，从而带动和促进地区国民经济的全面发展和社会进步。风电场建成后，预产生就业岗位 40 个以上，拉动区域经济产值约 1200000 万元，对威海地方经济的发展产生起到积极作用。

综上，项目属于可以适当开展的活动，项目建设可充分发挥生态、社会和经济效益，与威海市海岸带限制开发区管控要求相符。

图 9.6-2　与《威海市域海岸带保护规划（2020—2035 年）》位置关系图

9.7 与《山东海上风电发展规划（2021-2030）》符合性分析

根据《山东海上风电发展规划（2021~2030 年）》，半岛北基地共规划了 6 个海上风电场（场址 K、L、M、P、O、N），均位于山东省管理海域以外，规划风电场场址总面积为 1280 平方公里，规划容量 850 万千瓦。

本项目作为半岛北 6 个规划海上风电场场址之一（图 9.7-1），位于规划区域内 N 场址的南侧部分（N1），位于山东省管理海域以外，属于“十四五”期间优先启动开发的风电场场址。

原规划中 N1 场址由于东侧和南侧分别涉及成山角至丹东港航路、成山角定制线制外老铁山水道/大连港方向习惯航路，为保障通航安全，项目开发阶段对场址进行了调整。

经请示，山东省能源局于 7 月 28 日正式下文同意调整 N1 场址范围及坐标（附件 4 和附件 5），调整后，N1 场址面积 117km^2，场址中心离岸距离 59km，水深 55~59m，拟设计安装 79 台单机容量 14MW 的 WTG63-14000 型风力发电机组，工程装机容量为 1106MW。

综上，本项目符合《山东海上风电发展规划（2021-2030）》。

图 9.7-1　山东海上风电场场址总体布局示意图

9.8 区域和行业规划的符合性分析

9.8.1 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》，本项目海域使用论证涉及到的包括以下几条：

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，以及划定的生态保护红线区内不得规划布局海上风电场。

本项目风机建设位置距离海岸线 57.8km，超过 30km，根据水深数据，项目周边水深在 55~59m，水深大于 30m。

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保护红线区。项目风电场址和高抗站不占用蓝点马鲛、小黄鱼、银鲳的洄游、越冬场、索饵场及产卵场。

根据《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目鸟类生态环境现状调查与影响评价报告》，项目所在海域整体上位于“东亚—澳大利西亚”候鸟迁飞路线上，项目场址距离海岸很远，不是鸟类的繁殖地，也非迁徙停歇地和越冬地。部分鸟类在迁徙时会有个体有一定概率经过本风电场所在海域或周边海域，对鸟类迁徙有一定潜在的影响。此外，风力发电场可能也会提高区域内觅食的鸟类的撞击风险。建设单位在严格执行相关环保法规制度的前提下严格落实提出的保护措施，可有效降低这些影响。

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。

第十三条　未纳入海上风电发展规划的海上风电项目，开发企业不得开展海上风电项目建设。鼓励海上风电项目采取连片规模化方式开发建设。

本项目风电建设纳入了《山东海上风电发展规划（2021-2030）》规划的半岛北 N

场址，且采取连片规模化方式开发建设。因此，项目建设符合《海上风电开发建设管理办法》第十三条规定。

第十九条海上风电项目建设用海应遵循节约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集约利用海域原则，合理布局，项目拟在风电场内开展风电+产业融合发展，项目不占用岸线和无居民海岛，且输电电缆通道和登陆点经过了严格的比选论证，路由通过了海洋主管部门的审查。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》。

9.8.2 与《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》的符合性

根据《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》，本项目海域使用论证涉及到的包括以下几条：

（一）严格用海选址要求

海上风电项目用海必须符合国土空间总体规划和海岸带专项规划，海上风电场应在可再生能源用海区或兼容风电用海的功能区选址，不得在其他功能区选址；在兼容海上风电的功能区选址时，应当严格科学论证与相关国土空间规划的符合性，不得影响国防安全和海上交通安全，不得损害所在功能区的主要功能；严格限制在渤海中部等开发强度高、船舶交通流密集的海域规划建设，不得在生态保护红线、自然保护地、重要航路、锚地、重要渔业水域以及海湾、重要河口、重要滨海湿地、重要鸟类迁徙通道和栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域布局；避免对海底通信光缆相关设施造成干扰。鼓励海上风电集中集约布局、集群式开发，避免大面积零散分布，保障海上风电基地建设。

项目风电场区不在《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》《威海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《荣成市国土空间总体规划（2021-2035 年）》范围内，风电场址和高抗站不影响国防安全和海上交通安全。500kV 海缆穿越的国土空间规划分区为威海港-鸡鸣岛渔业用海区和威海近海渔业用海区，高抗站位于威海港-鸡鸣岛渔业用海区，项目用海对规划分区的生态保护重点目标基本不产生影响，符合规划分区空间用途准入、开发利用方式要求。

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重要河口、海湾、滨海湿地等重要、敏感和脆弱生态区域，不占用海洋生态保护红线区。项目风电场

址和高抗站不占用蓝点马鲛、小黄鱼、银鲳的洄游、越冬场、索饵场及产卵场。

根据《上海电气山东半岛北 N1 场址海上风电项目鸟类生态环境现状调查与影响评价报告》，项目所在海域整体上位于“东亚—澳大利西亚”候鸟迁飞路线上，项目场址距离海岸很远，不是鸟类的繁殖地，也非迁徙停歇地和越冬地。部分鸟类在迁徙时会有个体有一定概率经过本风电场所在海域或周边海域，对鸟类迁徙有一定潜在的影响。此外，风力发电场可能也会提高区域内觅食的鸟类的撞击风险。建设单位在严格执行相关环保法规制度的前提下严格落实提出的保护措施，可有效降低这些影响。

项目与拟建的 N2 风电场集群开发，充分考虑了集约节约利用海的理念，项目属于《山东海上风电发展规划（2021—2030 年）》中半岛北基地海上风电场建设项目之一，保障了海上风电基地建设。

因此，项目建设符合《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》第一条“严格用海选址要求”规定。

（二）推进深水远岸布局

属于新增海上风电项目的，应在离岸 30km 以外或水深大于 30 米的海域布局；近岸区域水深超过 30 米的，风电场离岸距离还需不少于 10km；滩涂宽度超过 30km 的，风电场内水深还需不少于 10 米。离岸距离按照海上风电场外包络线与大陆（含海南岛本岛和县级及以上人民政府驻地的海岛）海岸线最近距离计算，水深以最新海图所示风电场内的最浅水深为准。

本项目风机建设位置与海岸线最近距离 57.8km，超过 30km，根据水深数据，风电场周边水深在 55~59m，水深大于 30m。符合《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》第二条“推进深水远岸布局”规定。

（四）严格控制用海规模

严格控制海上风电场实际占用海域面积，单位装机容量风电场面积等指标均要符合节约集约用海管控要求。海上风电项目用海节约集约控制指标详见附件。沿海各地要统一规划、集中布置海上送出工程输电电缆通道和登陆点，充分利用已有电缆通道和登陆点布局新建项目。风电场内集电电缆原则上应同向布置，鼓励与风机阵列平行布置，增加风机间海域空间复合利用可行性。积极引导和探索漂浮式海上风电项目用海。

根据《海籍调查规范》（HY/T 124-2009）和《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》，项目总用海面积约为 1044.1355hm^2。其中，风机用海面积为 452.2110hm^2，升压站用海面积为 0.5773hm^2，高抗站用海面积为 0.4158hm^2，风机、升

压站、高抗站用海方式一级方式为构筑物，二级方式为透水构筑物；66kV 海底电缆的用海面积为 288.3513hm^2，500kV 海底电缆的用海面积为 302.5801hm^2，用海方式一级方式为其他方式，二级方式为海底电缆管道。

本项目场址离岸最近距离约 57.8km，水深约 55~59m，离岸距离和水深符合指标要求；项目布置 79 台单机容量为 14MW 的 WTG270-14000 型风力发电机组单位，单位装机容量 9.3hm^2/MW，单机容量小于 15hm^2/MW，符合单位桩基容量的指标值；海域利用率 7.2%，海域利用率大于 6%，符合海域利用率指标要求；投资强度 1110.9 万元/hm^2，大于 800 万元/hm^2，符合投资强度指标要求。综上，项目建设符合《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》第四条“严格控制用海规模”规定。

本项目与海上风电项目用海节约集约控制指标符合性分析见下表。

表 9.8-1　本项目与海上风电项目用海节约集约控制指标符合性分析

号	指标名称	指标值			符合性分析
		单机容量≤8 兆瓦	单机容量 8-12 兆瓦	单机容量≥12 兆瓦	单机容量 14MW
1	离岸距离和水深	离岸 30 千米，或水深大于 30 米。			符合，场址离岸最近距离约 57.8km，水深约 55~59m。
2	单位装机容量风电场面积（公顷/兆瓦）	≤13	≤14	≤15	符合，单位装机容量 103km^2÷1106MW=9.3 公顷/兆瓦
3	海域利用率	≥10%	≥7%	≥6%	符合，海域利用率 =741.5554/10300×100%=7.2%
4	投资强度（万元/公顷）	≥600	≥700	≥800	符合，投资强度 =1159942 万元/1044.1355 公顷 =1110.9 万元/公顷

（五）优化用海界定标准

海上风电项目风机部分用海方式界定为透水构筑物用海，用海范围包括塔架部分和塔架外扩一定距离的保护范围，具体以塔架中心点（风机系泊点）为圆心，以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径的圆为界。漂浮式海上风电项目锚链部分用海方式界定为开放式，用海范围以锚链锚定点连线形成的水平范围的多边形为界（扣除确权风机范围）。海底电缆管道和海上升压站等配套设施的用海方式和用海范围依据《海籍调查规范》等进行界定。在海上风电项目用海申请书和宗海图中，还应说明海上风电场实际影响海域范围和面积（即风电场外包络线范围，为风电场最外侧风机扇叶投影切线连接形成的区域）。

项目在宗海图绘制阶段，单个风电机组基础用海面积以塔架中心点（风机系泊点）为圆心，以圆心至风机叶片投影最外缘点为半径的圆形区域计算；海底电缆用海面积按电缆外缘向两侧各外扩 10m 宽为界计算。本项目建设符合《自然资源部关于进一步加强

海上风电项目用海管理的通知》第五条“优化用海界定标准”规定。

（十一）加强生态保护修复

海上风电项目用海要切实加强生态保护修复，根据项目建设的生态影响和所在地区实际进行系统性考虑、整体设计，在海域使用论证报告中要针对性提出合理可行的生态保护修复措施，不宜单一采用增殖放流方式。项目用海对周边生态产生影响的，原则上需要开展原地修复；暂未识别出生态影响的或经论证确定原地修复难以实现预期效果的，在原地开展生态跟踪监测的基础上，还可在近岸海域开展自然岸线修复、海域生态环境综合整治等修复措施。沿海各级自然资源（海洋）主管部门应积极引导、鼓励用海单位提前开展生态保护修复工作，切实承担社会责任。项目用海批准后，要严格按照项目用海批复要求使用海域，施工期要采用对海底地形、底质影响较小的施工方式，降低对海洋生态环境的影响；按照评审通过的项目海域使用论证报告书有关内容落实生态保护修复措施，最大程度减少对海洋生态环境的影响。

针对项目可能产生的主要生态问题，提出了生态用海对策，把海洋生物资源恢复等作为生态修复主要措施。计划由建设单位组织开展本项目生态修复计划，确保海洋生物资源能够得到恢复，海域生态环境持续改善。因此，项目建设符合《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》第十一条“加强生态保护修复”规定。

9.8.3 与《新型能源体系建设“十五五”规划》符合性

2026 年 6 月 13 日，国家发展改革委和国家能源局印发了《新型能源体系建设“十五五”规划》，规划指出：“主要目标是：2030 年初步建成清洁低碳安全高效的新型能源体系。能源综合生产能力达到 58 亿吨标准煤，电力系统互补互济和安全韧性水平全面提升，能源进口多元可控；煤炭和石油消费达峰，非化石能源消费比重达到 25%，**风电**和太阳能发电装机比重超过 50%、成为电力装机主体，非化石能源发电量比重达到 50%、成为电量主体；坚强韧性、绿色低碳、集成融合、智能高效的新型能源基础设施体系加快建设，新型电力系统初步建成；能源产业链关键技术装备实现总体自主可控，迈入世界能源科技创新型国家前列；适应新型能源体系的市场和价格机制加快健全，全国统一电力市场体系基本建成”。

本工程为海上风电项目，属于可再生能源，项目建设可增加风电装机规模、提升非化石能源发电量，推动能源结构清洁低碳转型；项目所在海域符合海上风电规划布局，配套建设送出工程、储能等调节设施，有助于提升电力系统安全韧性，带动海上风电装备产业链自主可控，符合《新型能源体系建设“十五五”规划》要求。

9.8.4 与《可再生能源发展“十五五”规划》符合性

2026 年 7 月 6 日，国家发展改革委和国家能源局印发了《可再生能源发展“十五五”规划》，规划指出：“（二）推动海上风电规范有序建设。‘十五五’期间，全国海上风电新增开工规模 1 亿千瓦左右，2030 年累计装机规模达到 1 亿千瓦以上。**持续加快近海海上风电建设。加快建设已复函省级海上风电项目。**开展新一轮省级海上风电规划修订和评估。做好近海海上风电海缆路由路径优化。**大力推进深远海海上风电基地布局建设。**建立深远海海上风电基地项目库，做好用海等要素协同，分批推动基地项目规范有序建设。统筹推进源网工程规划建设，推动海底输电廊道和登陆点集约共享。推动海上风电融合发展。推动海上风电与海上光伏、海洋能等融合开发利用。鼓励海上风电与海洋油气、海水淡化、海洋牧场、海底算力等业态融合发展，推动海上风电与海洋观测、生态监测、地震监测等设施一体化建设。探索海上能源岛建设，打造海上绿色能源综合开发与高效利用新模式。”。

项目位于黄海海域，属于重点推进的深远海海上风电基地，项目建设可增加海上风电装机规模，助力完成“十五五”海上风电开发总量目标，符合《可再生能源发展“十五五”规划》。

9.8.5 与《新型电力系统建设“十五五”规划》符合性

2026 年 7 月 21 日，国家发展改革委和国家能源局印发了《新型电力系统建设“十五五”规划》，规划指出：**“到 2030 年，新型电力系统初步建成，绿色低碳的电力供给格局基本形成，非化石能源发电量占比达到 50%**；电力供应能力持续增强，电力系统互补互济和安全韧性水平大幅提升，电力供应充裕度保持合理水平，有效满足经济社会发展和人民群众美好生活的用电需要；初步建成安全可靠、绿色低碳、坚强韧性、智能灵活的新型电网，资源配置平台作用和服务功能充分发挥，实现 28 亿千瓦以上新能源高水平消纳，建成可支撑超过 1.1 亿辆电动汽车出行的充电基础设施网络；节能高效、绿色低碳的用电方式加快形成，虚拟电厂成为用电侧协同互动的重要载体；系统调节能力大幅增强，各类调节资源实现高效调用；支撑新型电力系统的关键技术装备取得突破性进展，智能化、绿色化、融合化的电力产业体系基本形成；新型电力系统体制机制更加完善，全国统一电力市场体系基本建成”。

项目为海上风电可再生能源项目，符合规划的构建绿色低碳电力供给格局、初步建成新型电力系统的总体要求。项目投产可增加非化石能源清洁电量，助力实现 2030 年非化石能源发电量占比 50%目标；配套建设海缆、送出工程及调节设施，有利于提升电

力系统互补互济与安全韧性，支撑全国 28 亿千瓦以上新能源高水平消纳；项目应用海上风电装备，推动电力关键技术装备进步，可参与全国统一电力市场交易。项目符合《新型电力系统建设“十五五”规划》要求。

9.8.6 与《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》符合性

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》明确提出：“深入实施能源安全新战略，加快构建清洁低碳安全高效的新型能源体系，建设能源强国。推进非化石能源安全可靠有序替代化石能源，坚持风光水核等多能并举，实施非化石能源十年倍增行动。统筹就地消纳和外送，建设‘三北’风电光伏、西南水风光一体化、沿海核电、**海上风电**等清洁能源基地，加强分布式能源就近开发利用，布局发展绿色氢氨醇，积极推进光热发电和地热能利用。加强化石能源清洁高效利用，推进煤电改造升级和散煤替代。着力构建新型电力系统，全面提升电力系统互补互济和安全韧性水平，优化全国电力流向和跨区域通道布局，加快智能电网建设，完善城乡配电网，科学布局抽水蓄能，大力发展新型储能。提高终端用能电气化水平，推动能源消费绿色化低碳化。基本建成全国统一电力市场体系，完善油气‘全国一张网’运行调度机制。海上风电基地。在渤海、黄海、东海、南海海域建设海上风电基地，规范有序推进深远海风电开发，海上风电累计并网装机规模达到 1 亿千瓦以上。”

工程属于海上风电项目，属于纲要重点支持的非化石能源开发类型，项目开发可增加非化石能源电力供给，推动化石能源替代，助力实施非化石能源十年倍增行动，项目位于黄海海域，项目纳入省级海上风电规划，属于纲要鼓励的海上风电基地建设范畴。项目建设符合《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》。

9.8.7 与《山东省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》符合性

山东省人民政府 2026 年 4 月 8 日发布《山东省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》，纲要提出“构筑东部沿海清洁能源发展高地。坚持风光核等多能并举，打造具有独特优势的超亿千瓦级清洁能源基地。积极安全有序发展核电，推进核能综合利用，打造胶东半岛千万千瓦级核电基地。**海陆并进大力发展风电，以渤中、半岛南、半岛北三大片区为重点打造山东半岛海上风电基地，稳步推动向深水远岸布局发展，加快鲁西平原陆上风电项目建设**。稳妥有序发展光伏发电，积极推进鲁北盐碱滩涂地等基地开发，鼓励重点用能企业建设自发自用光伏项目。协同推进清洁能源高比例消纳，稳步推动抽水蓄能、压缩空气、电化学等储能设施规模发展，配套建设烟威输变电、沿海核

电送出等特高压工程，强化配电网综合承载能力，加快建设坚强智能电网。推进地热能、氢能等多元利用。到 2030 年，全省非化石能源发电装机达到 2 亿千瓦左右，力争年度新增清洁能源电量覆盖全社会新增用电量”。

项目位于半岛北风电基地，属于纲要划定的海上风电重点开发区域；项目建成后新增海上风电非化石能源装机，零碳发电，增加全省清洁电力供给，直接支撑全省非化石能源装机规模提升；项目所发电量可用于满足省内用电增长，助力实现新增清洁能源电量覆盖全社会新增用电量目标，推动山东构筑东部沿海清洁能源高地。项目建设符合《山东省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》。

9.8.8 与《碳达峰碳中和的中国行动》符合性

国务院新闻办公室 8 日发布《碳达峰碳中和的中国行动》白皮书，行动提出“中国将碳达峰碳中和作为国家战略，广泛深入开展碳达峰行动，加快经济社会发展全面绿色转型，走出了一条生态优先、绿色低碳的发展道路。中国坚持先立后破，把大力发展非化石能源放在突出位置，实现了全球规模最大、速度最快的新能源发展，推进非化石能源消费比重由 2020 年的 16.0%增至 2024 年的 19.8%，年均提高近 1 个百分点。**推动风电、光伏发电跨越式发展。**中国坚持集中式与分布式并举，加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏发电基地建设，**推动海上风电规范有序建设，**积极推广城镇、农村屋顶光伏，鼓励发展乡村分散式风电。截至 2025 年 8 月底，风电、光伏发电装机规模突破 16.9 亿千瓦，达到 2020 年的 3 倍以上，贡献了 2020 年以来约 80%的新增电力装机，风光发电量占比以年均提高 2.2 个百分点的速度稳步攀上新台阶”。

项目属于非化石能源集中式清洁能源项目，项目投产后新增零碳电力供给，替代化石能源发电，减少二氧化碳、常规大气污染物排放，持续提升区域非化石能源消费比重，践行经济社会发展全面绿色转型，符合“先立后破”，优先壮大清洁电力供给的总体战略思路。项目为集中式海上风电基地项目，是我国风光跨越式发展的重要组成部分，海上风电在运行阶段不消耗化石燃料，项目所发电量可替代燃煤火电，减少化石能源消耗，持续提高区域非化石能源电力供给能力，助力全国非化石能源消费比重稳步提升，支撑碳达峰行动落地实施。项目建设符合《碳达峰碳中和的中国行动》。

9.8.9 与《山东省能源发展“十四五”规划》的符合性分析

2021 年 8 月，山东省人民政府印发了《山东省能源发展“十四五”规划》，规划指出：“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，科学布局陆上风电，适度有序推进陆上风电开发建设，重点打造鲁北盐碱滩涂地千万千瓦级风光储输一体化基地。到 2025 年，风电装机规模达到 2500 万千瓦。”

本项目位于山东半岛北部海域，该区域风资源丰富，项目利用风能因地制宜的建设海上风电场，根据本工程的可行性研究报告，本项目安装 79 台单机容量 14MW 的风电组，装机容量 1106MW，可有助于实施可再生资源倍增行动；本项目位于半岛北区域，项目利用风能建设海上风电场，充分利用海上风电资源，打造千万千瓦级海上风电基地，项目建设可积极推进风电开发。

综上所述，项目建设符合《山东省能源发展“十四五”规划》。

9.8.10 与《山东省新能源产业发展规划（2018-2028 年）》的符合性分析

为全面贯彻党的十九大、二十大精神和习近平总书记绿色低碳发展理念，认真落实省委、省政府关于加快新旧动能转换的重大决策部署，科学推进全省新能源产业快速发展，有效激发能源领域“新动能”，根据《山东新旧动能转换综合试验区建设总体方案》《山东省新旧动能转换重大工程实施规划》《能源生产和消费革命战略（2016-2030）》等，制定《山东省新能源产业发展规划（2018-2028 年）》（以下简称《规划》）。《规划》内容包括发展基础、发展形势、发展思路原则目标、重点任务和保障措施 5 个部分，涵盖新能源汽车、核电、智能电网及储能、热泵、太阳能、风能、生物质能、氢能、可燃冰、海洋能等领域。

风电产业要求“以千万千瓦级海上风电基地开发为契机，立足山东、辐射沿海、面向全球，围绕风资源评估、风电机组及关键零部件生产制造、风电场设计建设施工控制运维等重点环节，吸引国际国内风电装备制造领域龙头企业落户我省，鼓励省内已有配套企业融入产业链条，加强关键核心技术独立创新、联合创新，促进风电装备采购生产本地化、高端化，推动风电产业集聚发展，打造集研发设计、智能制造、工程总承包、运维服务等于一体的风电全产业链，实现风电产业规模化、关键技术自主化、市场销售国际化、运营服务一体化。到 2022 年，全省风电产业产值力争达到 600 亿元；到 2028 年，全省风电产业产值力争达到 800 亿元。”

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、分步实施、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。陆上，在现有工作基础上，适度有序推进风电项目建设。到 2022 年，全省风电装机容量达到 1700 万千瓦左右；到 2028 年，全省风电装机容量达到 2300 万千瓦左右。

海上风电制造与应用产业集群。以青岛、烟台、东营、潍坊、威海、日照、滨州等市为重点，围绕海洋强省战略组织实施和“千万千瓦级海上风电基地”规划建设，加快推进 6 兆瓦、8 兆瓦及以上大功率海上风电设备研制及使用，带动相关配套装备产业发展，建设高端海上风电装备制造基地。 支持蓬莱争取国家级海上风电检测基地，带动风机制造、海洋装备、技术研发等全产业链协同发展。按照试点先行、有序推进的原则，科学推动海上风电开发建设，支持海上风电与海洋牧场、波浪能、潮流能等融合发展，形成产业发展与推广应用相互配套、协同发展的建设格局。

本项目位于海上**《山东海上风电发展规划（2021~2030 年）》**中半岛北 N 场址。项目通过开展海上风电场建设，采用更加环保的科技和工程建设手段，项目建设优化了海上风机的科学布局。项目建设符合“科学有序推进海上风电开发建设，重点支持海上风电项目发展”的要求。项目拟安装 79 台海上风力发电机组，规划装机容量 1106MW，符合“千万千瓦级海上风电基地”的要求。项目建设有利于推进全省新能源产业快速发展，是山东省“新旧动能转换”和“建设山东海洋强省”战略的具体行动。

综上所述，项目建设符合《山东省新能源产业发展规划（2018-2028 年）》。

9.8.11 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

为贯彻落实“四个革命、一个合作”能源工作总要求，加快构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系，促进新能源和可再生能源产业持续健康发展，根据国家和我省经济社会及能源发展规划，省发展改革委研究制定了《山东省新能源和可再生能源中长期发展规划（2016-2030 年）》（鲁改能源〔2017〕418 号），对于发展任务要求：“坚持统筹规划、陆海并举，统筹风能资源分布、电力输送和市场消纳，加强风电布局与主体功能区划、产业发展、旅游资源开发的衔接协调，积极打造陆上、海上“双千万千瓦级风电基地”，建设东部风电大省；完善适应风电发展的电力调度和运行管理机制，确保风力

发电全额保障性收购；鼓励采用新型技术和产品，降低风电开发成本，提高风电利用效率。力争到 2020 年，全省风电并网装机容量达到 1400 万千瓦；到 2030 年，全省风电并网装机容量达到 2300 万千瓦。

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。”

本项目位于海上《山东海上风电发展规划（2021~2030 年）》中半岛北 N 场址。项目通过开展海上风电场建设，采用更加环保的科技和工程建设手段，项目建设优化了海上风机的科学布局。项目建设符合“科学有序推进海上风电开发建设，重点支持海上风电项目发展”的要求。项目拟安装 79 台海上风力发电机组，规划装机容量 1106MW，符合“千万千瓦级海上风电基地”的要求。项目建设有利于推进全省新能源产业快速发展，是山东省“新旧动能转换”和“建设山东海洋强省”战略的具体行动。

综上所述，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）》。

9.8.12 与《山东省人民政府办公厅关于做好海上风电开发建设有关事宜的通知》的符合性分析

海上风电是新兴的可再生能源产业、发展海上风电对调整优化能源结构、培育经济发展新动能、加快海洋强省战略实施具有重要意义。为全面贯彻党的十九大精神，促进我省海上风电健康有序开发、规范建设和可持续发展。山东省人民政府办公厅出台了《山东省人民政府办公厅关于做好海上风电开发建设有关事宜的通知》。

一、强化规划指导

积极适应经济社会的发展、生态环境保护和技术发展进步对海上风电开发建设提出的新挑战新要求，结合海洋强省战略深入实施，启动《山东省海上千万瓦级风电基地规划报告》修编工作，进一步掌握全省海上风能资源状况，发展布局与建设条件，科学指导全省海上风能资源开发建设。全省海上风电发展规划应当与海洋主体功能区规划、海洋功能区划、海岛保护规划、山东省海洋生态保护红线划定方案、山东半岛蓝色经济发展规划等相协调。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，以及划定的生态保护红线区内不得规划布局海上风电场。

二、统一资源配置

为统筹做好资源开发和综合利用，我省海上风电开发建设要在国家有关部委的指导帮助下，由省发展和改革委员会会同交通运输（港航）、海洋与渔业、环境保护、海事等部门，对全省海上风电实行统一规划、统一风能资源配置、统一开发建设，确保风电场开发建设与港口规划、海洋经济发展、海上交通运输、海洋生态保护等协调。各市不得擅自配置海上风能资源，不得擅自开展与海上风电开发相关的风能资源测量与可行性分析和可行性研究、项目建设等工作。本通知下发前各市与有关企业签订的海上风电开发建设协议及项目，由各市依法依规妥善解决。

三、有序开发建设

要按照整体规划、试点先行、分步实施的原则，科学有序地推进我省海上风电开发建设。在做好规划的基础上，先行拿出部分条件较成熟的资源开展试点示范项目建设，探索积累开发建设和管理经验，要按照集约节约的原则，提高海域资源利用效率，鼓励实施海上风电项目与其他开发利用活动使用海域的分层立体开发，最大限度发挥海域资源效益。要切实加强对海上风电项目建设运行的监督管理，确保项目按照建设方案和相关标准及要求规范有序建设、安全可靠运行。要适时开展项目后评估工作，科学评估海上风电项目用海对海洋资源环境和海域开发活动的影响，为后续项目开发建设提供科学依据，提高项目管理水平。

符合性分析：本项目位于海上《山东海上风电发展规划（2021~2030 年）》中半岛北 N 场址，项目用海符合《山东省国土空间规划（2021-2035 年）》《威海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》等相关规划。

本项目风机建设位置距离海岸线 57.8km，超过 10km，根据实测水深数据，项目周边水深在 55~59m，水深大于 10m；本项目风机、升压站均不占用海洋自然保护区、海洋特别保护区、自然历史遗迹保护区等，不占用生态保护红线，不占用河口。

根据《华能山东半岛北 N1 场址海上风电项目鸟类生态环境现状调查与影响评价报告》，项目所在海域整体上位于“东亚—澳大利西亚”候鸟迁飞路线上，项目场址距离海岸很远，不是鸟类的繁殖地，也非迁徙停歇地和越冬地。部分鸟类在迁徙时会有个体有一定概率经过本风电场所在海域或周边海域，对鸟类迁徙有一定潜在的影响。此外，风力发电场可能也会提高区域内觅食的鸟类的撞击风险。建设单位在严格执行相关环保

法规制度的前提下严格落实提出的保护措施，可有效降低这些影响。

项目风场区位于蓝点马鲛索饵场和产卵场的边缘，500kV 海缆穿越蓝点马鲛洄游路线、产卵场和索饵场；项目风场区位于小黄鱼洄游路线的边缘，500kV 海缆穿越小黄鱼洄游路线；项目风电场位于带鱼的洄游路线，500kV 海缆穿越带鱼洄游路线和产卵场的边缘；项目风场区位于银鲳洄游路线，500kV 海缆穿越银鲳洄游路线；项目风场区不占用中国明对虾的“三场一通”，500kV 海缆穿越中国明对虾的洄游路线。施工期通过合理安排工期和施工顺序，海缆施工及风电场区桩基施工均避让蓝点马鲛、带鱼集中产卵盛期（5 月中旬-6 月中旬），桩基施工采取“软启动”和设置气泡帷幕等方式减少噪声影响，项目施工对蓝点马鲛等主要经济鱼类“三场一通道”的影响较小；项目运营期对鱼类的三场一通道几乎无不利影响。综上，在项目采取有效措施的前提下，项目建设对主要经济鱼类“三场一通道”的影响较小。

综上所述，项目用海总体符合《山东省人民政府办公厅关于做好海上风电开发建设有关事宜的通知》。

9.8.13 与《威海港威海湾港区、南海港区总体规划修订（2019-2030）》的符合性

威海湾港区位于威海市环翠区。威海湾港区新港作业区位于威海湾南岸杨家湾底以东至皂埠口附近，行政区划属威海经济技术开发区，现有 18 个生产性泊位，其中威海港股份有限公司经营管理 10 个泊位，7 万吨级泊位 1 个，5 万吨级泊位 3 个，3 万总吨客滚泊位 2 个，3 万总吨客运泊位 1 个，2 万总吨客运滚装泊位 1 个，1 万吨级、3 千吨级泊位各 1 个，设计通过能力合计为散杂货 420 万吨、集装箱 7.5 万 TEU、旅客 160 万人次和滚装车 10.2 万车次。青威集装箱码头有限公司经营生产性泊位 4 个，全部是 2 万吨级泊位，设计通过能力合计为散杂货 120 万吨，集装箱 19 万 TEU。威海威洋石油有限公司经营管理 2 个液化泊位（1 个 2 千吨级泊位、1 个 5 万吨级泊位），主要货物为成品油、化工品、液化气，码头总长 408m，设计通过能力 150 万吨。华能威海发电有限责任公司（鲁能港务有限责任公司）经营管理 2 个 2 万吨级煤炭专用泊位，码头总长 375m，设计通过能力 290 万吨。

项目不在港区规划范围内，见图 9.8-1，海缆距离威海港威海湾港区约 2.5km，距离新区锚地 7.4km，高抗站距离威海新港主航道 5.7km。



图 9.8-1 项目与威海港威海湾港区位置关系图

威海湾港区新港作业区功能以客滚运输、集装箱为主，并安排本地生产、生活所需煤炭、成品油等运输，条件具备时，可发展旅游、物流、商贸、信息等现代服务功能，逐步将散货运输功能迁移。

项目登陆点位于威海港威海湾港区东侧，海缆路由不在威海湾港区范围内，项目建设会对港区通航环境产生一定影响，项目已取得山东港口威海港有限公司同意建设的意见，在合理安排施工和港区船舶调度的前提下，项目建设不会对港区客运功能的发挥产生明显影响。

综上分析，项目建设不影响港区发展，不影响港区船舶正常通航，项目建设与《威海港威海湾港区、南海港区总体规划修订（2019-2030）》相协调。

9.9 “生态环境分区管控”符合性分析

9.9.1 生态保护红线

本项目不占用“三区三线”中的生态保护红线，项目悬浮泥沙会扩散到项目东侧 40m 处的“威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线”，施工期悬浮泥沙随施工结束而影响消失，对砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线影响可接受。

9.9.2 环境质量底线

（1）要求

根据《威海市“三线一单”"生态环境分区管控方案》，**水环境质量底线目标为：**到 2025 年，重点河流水质达到或优于III类断面比例达到 70%，城市建成区基本消除黑臭水体和劣Ⅴ类水体，县级及以上城市饮用水水源地全部达到III类，全市水环境质量稳中趋好。到 2035 年，重点河流水质达到或优于III类断面比例达到 75%，城市建成区全面消除黑臭水体和劣Ⅴ类水体，县级及以上城市饮用水水源地稳定达到或优于III类，全市水环境质量总体改善，水环境生态系统基本恢复。**近岸海域环境质量底线目标为：**到 2025 年，近岸海域水质不断改善，水质优良面积比例达到 99%以上；到 2035 年，近岸海域水质明显改善水质优良面积比例达到 99.7%左右。**大气环境质量底线目标为：**到 2025 年、2035 年，空气质量持续达到国家二级标准，并保持全省领先。

（2）符合性

项目产生的废气、废水、固废、噪声均采取严格的污染防治措施，严格落实污染物排放总量管控制度，对环境影响较小；项目用海方式为透水构筑物和海底电缆管道，不进行围填海，不会对周边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，不会对海水水质和沉积物质量造成不利影响，严格执行环保监测计划，落实环境保护措施，不会对周边海域的环境质量产生明显影响。

因此，在落实本报告提出的相关防治措施的前提下，项目实施不会对区域环境质量底线造成冲击，满足环境质量底线的要求。

9.9.3 资源利用上线

（1）要求

能源利用上线目标：“十四五”期间，不断优化调整能源结构，持续实施煤炭消费总量控制，推进煤炭清洁高效利用，逐步降低煤炭消费比重。鼓励利用可再生能源、天然气、电力等优质能源替代燃煤使用。安全发展核电，协调推进风电开发，推动太阳能集热系统规模发展和多元化利用，增加清洁低碳电力供应。到 2025、2035 年，能源、煤炭消费总量完成国家、省下达目标任务，煤炭占能源消费比重持续下降，天然气、新能源和可再生能源比重不断提高，油品消费保持稳定。

水资源利用上线：到 2025 年，威海市万元国内生产总值用水量、万元工业增加值用水量达到省定标准，农田灌溉水有效利用系数提高到 0.701 以上。到 2035 年，全市用水总量控制在 8 亿立方米以内，水资源节约和循环利用达到世界先进水平，形成水资源

利用与发展规模、产业结构和空间布局等协展的新格局。

土地资源利用上线目标：到 2025 年，全市农用地面积保持稳定，建设用地得到有效控制，未利用地得到合理开发；城乡用地结构不断优化；全市耕地和永久基本农田在2020 年的基础上数量不减少，质量有提升，耕地保有量不低于 188903.11 公顷，永久基本农田面积不低于 162526.67 顷。具体考核指标以上级部门下达目标任务为准。

（2）符合性

项目用海方式为透水构筑物和海底电缆管道，不进行围填海，占用海洋空间小，不占用农田、耕地。本项目为海上风电场建设项目，运营过程中消耗较少的水、电等资源，充分利用此处的海上风能进行发电，不属于高耗能产业，项目建设符合资源利用上限要求。

9.9.4 与《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》符合性分析

威海市人民政府于 2021 年 6 月颁布了《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》，威海市生态环境委员会办公室于 2026 年 5 月 11 日发布了《关于发布 2024 年生态环境分区管控动态更新成果的通知》，根据该方案，项目风场区位于管控单元以外，高抗站位于一般管控单元威海港－鸡鸣岛渔业用海区（HY37100030055），送出海缆部分穿越海域一般管控单元、分别为威海港－鸡鸣岛渔业用海区（HY37100030055）和威海近海渔业用海区（HY37100030056）。

一般管控单元：该区域重点以维护海洋生态环境质量为导向，执行海洋生态环境保护的基本要求，合理控制开发强度。

本项目为海上风电项目，利用风能发电，为清洁能源建设项目，鉴于项目特点，对功能区的影响主要为施工期产生的悬浮泥沙对海水水质的影响等，项目施工期悬浮泥沙为短期临时性影响，基本不会对海洋生态环境质量造成影响。施工期、运营期产生的生活污水、含油污水、生活垃圾、危废等污染物均有合理的处置措施，不直接排海，不会造成海水水质、海底沉积物、海洋生态环境质量的降低。

项目建设符合《威海市“三线一单”″生态环境分区管控方案》中一般管控单元的基本要求。

9.9.5 威海市生态环境准入清单符合性

与《威海市市级生态环境总体准入清单》（2024 年版）的符合性分析见表 9.9-1，与所在的威海港－鸡鸣岛渔业用海区（HY37100030055）和威海近海渔业用海区

（HY37100030056）准入要求符合性分析见表 9.9-2，项目建设符合威海市生态环境准入清单要求。

综上，本项目不属于高耗能、高耗水产业，属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中“鼓励类”产业。项目不占用红线区，对周边水质、生态环境及大气、噪声环境影响较小，项目建设符合《威海市“三线一单”生态环境分区管控方案》。

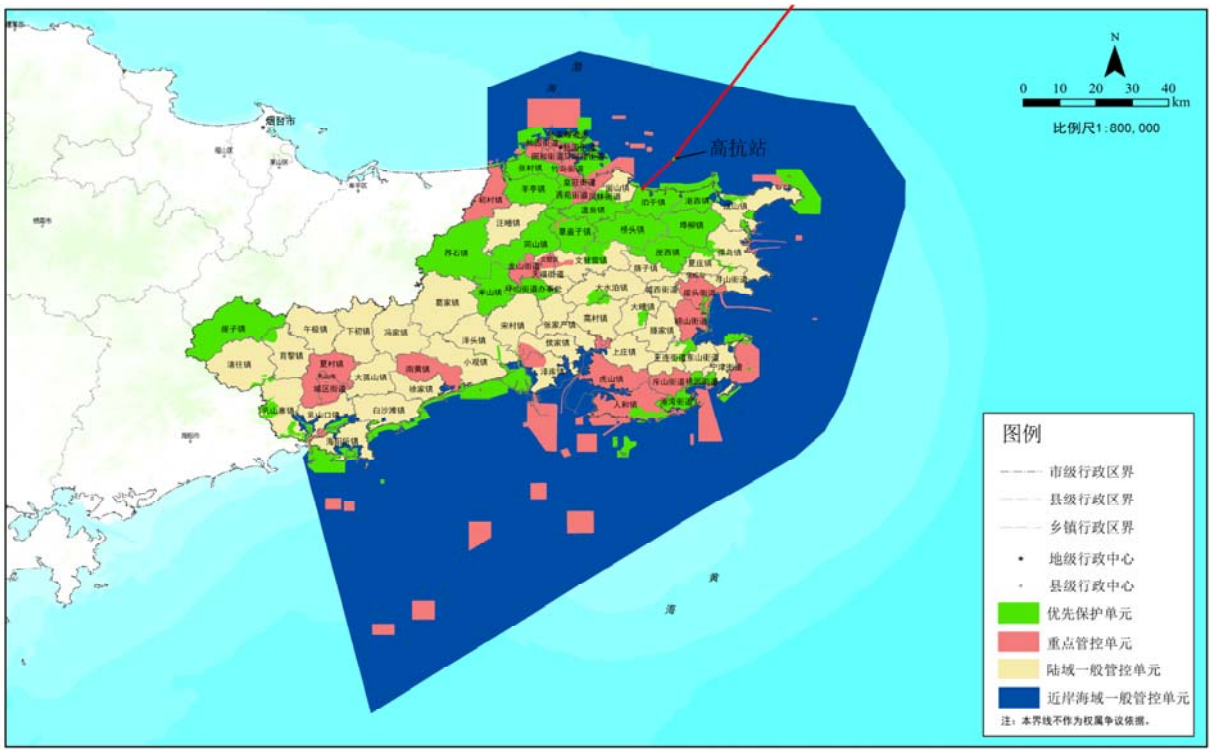


图 9.9-1　威海市环境管控单元图

表 9.9-1　与《威海市市级生态环境总体准入清单》（2024 年版）的符合性分析

管控维度	准入要求	拟建项目情况	符合性
空间布局约束	1.1 坚持新增“两高”行业项目应严格落实污染物排放“减量替代是原则，等量替代是例外”的要求，实施“上新压旧”“上大压小”“上高压低”，新项目一旦投产，被整合替代的老项目必须同时停产。严禁以任何名义、任何方式核准或备案产能严重过剩行业的增加产能项目。严格控制高耗能、高污染项目建设，从严审批高耗能、高污染物排放的建设项目。	项目为海上风电项目，不属于“两高”行业项目。	符合
	1.6 在主要支流及重要河口、重要海湾的敏感区域内，严禁以任何形式围垦湖泊、违法占用湖泊水域。严格控制跨湖泊、穿湖泊、临湖泊建筑物和设施建设，确需建设的重大项目和民生工程，要优化工程建设方案，采取科学合理的恢复和补救措施，最大限度减少对湖泊的不利影响。严格管控湖泊管理保护范围内采砂、取土、采矿等活动。	项目位于海域，用海方式为透水构筑物和海底电缆管道，不进行围填海。	
	1.20 严格执行《威海市海岸带保护条例》。除国防安全和整治修复需要外，在严格保护区域禁止新建、改建、扩建与保护无关的开发建设项目，禁止填海、设置排污口、炸毁礁石等损害海岸带地形地貌和生态环境的活动；在限制开发区域禁止工业生产、矿产资源开发和商品房建设，禁止填海、设置排污口、炸毁礁石等损害海岸带地形地貌和生态环境的活动。海水养殖禁养区内禁止各类水产养殖活动。限养区内不得超越养殖证许可范围从事水产养殖活动。海岸带陆域范围内禁止规模化畜禽养殖及新建、扩建畜禽养殖专业户。除港口管理区、军事管理区、海洋特别保护区等经依法批准封闭的区域外，任何单位和个人不得非法圈占沙滩、海域和礁石。在海岸带内禁止破坏海湾、沙滩、礁石、潟湖、湿地、河口等特殊地形地貌以及自然景观；禁止开挖山体、采石、采砂；禁止露天采矿；严格控制新建建筑的高度、密度、体量和容积率，海岸带及其邻近区域内的建设项目，应当进行视线景观分析，不得对海滨形成封闭式遮挡，在海岸带新建建筑应当按照自大陆岸线向陆地一侧基岩海岸后退不小于八十米、砂质海岸不小于二百米、堤岸等人工岸线不小于二十米的距离的原则确定。	海缆穿越海岸带限制开发区，不进行填海、设置排污口、炸毁礁石等损害海岸带地形地貌和生态环境的活动。	
	1.21 严格控制占用岸线的开发利用活动，禁止违法占用、损害自然岸线。新建、改扩建建筑物实施海岸建筑退缩线制度。 1.22 岬角及背景山体的视觉敏感位置不应新建建筑。岬角内生态敏感性较高的地区在满足低强度和低密度的规划建设要求前提下，禁止建设除特殊设施外的其他无关项目。 1.23 在沙滩陆域一侧，禁止在沙滩上进行开发，除非证明该开发项目不能在沙滩以外的地方选址建设。退缩线向海一侧区域的用海活动需依法取得海域使用权后再开展用海活动建设。 1.24 禁止在滩涂上进行包括围堰养殖、筑堤晒盐等生产行为。对已开发的养殖区应限期停止与恢复。整治环境质量不达标的滩涂，修复受损的滩涂生态系统。 1.25 禁止在海滨岩礁建设永久性构筑物，尤其是钢筋混凝土构筑物。保护海滨礁石的视线通廊，防止人工建设遮挡。禁止近岸养殖对礁石的破坏性利用，保持礁石岸段的自然属性。 1.26 除国家重大战略项目外，全面停止受理新增围填海项目，按照自然资源部有关政策加快围填海历史遗留问题处置工作。	项目用海方式为透水构筑物和海底电缆管道，不进行围填海，不建设构筑物，不破坏沙滩和岩礁。	符合
	1.27 严禁在领海基点标志附近的岛屿及海域实施开发利用活动，避免破坏领海基点。生态修复类海岛修复的同时不得兴建与修复活动无关的建筑，不得造成海岛及其周边海域生态系统破坏。保留类海岛在规划期以保护为主，保持生态系统稳定，维持海岛利用现状，防止海岛资源遭到破坏。不得在保留类海岛建造永久性建筑物或设施。严格控制用岛规模，工业用岛的规划与建设应当与自然景观和谐一致，控制海岛建筑物数量，减少对海岛地形、地貌和原生植被等自然风貌的破坏，加大因工程建设和生产造成的岛体破坏的整治修复力度。 1.28 沿岸（含海岛）高潮线向陆一侧一定范围内，禁止新建生活垃圾和工业固体废物堆放、填埋场所，现有非法的工业固体废物堆放、填埋场所依法停止使用。	不涉及	符合

	2.7 严格执行《船舶大气污染物排放控制区实施方案》，提高船用燃料油硫含量控制要求，控制船舶大气污染物排放。严禁新建不达标船舶进入运输市场。严格实施船舶发动机国家排放标准，全面执行新生产船舶发动机第一阶段排放标准。推进排放不达标港作机械清洁化改造和淘汰，港口新增、更换拖船优先使用清洁能源。	施工期和运营期使用船舶燃油中 S 的含量不超过 0.5%的船舶，船舶发动机需满足国家排放标准，定期保养维护。	符合
污染物排放管控	2.30 严格控制入海排污量。规范入海排污口设置，全面清理非法或设置不合理的排污口。对高区污水处理厂、经区污水处理厂、临港污水处理厂、初村污水处理厂、荣成污水处理厂等重点直排海污染源以及母猪河、乳山河、黄垒河等入海河流开展入海污染物总量监测，并实施总氮排放总量控制，严格控制环境激素类化学品污染。 2.35 严格执行《船舶水污染物排放控制标准》，限期淘汰达不到污染物排放标准的船舶，严禁新建不达标船舶进入运输市场。提高港口及船舶修造厂含油污水、化学品洗舱水、生活污水和垃圾等污染物的接收、转运、处置能力，加强船、港、城之间污染物转运、处置设施衔接。严禁海上运输船舶生活污水直排入海，实施船舶及相关作业油类污染物零排放制度。禁止船舶向水体超标排放含油污水，对符合铅封要求的船舶实施铅封管理。国际航线船舶按照国际公约要求实施压载水交换或安装压载水灭火处理系统。规范拆船行为，禁止冲滩拆解。加强对近岸海域船舶的监管，对储运的风险物质进行标签跟踪式管理，船舶须安装并使用污染物处理设施。逐步压减近海捕捞渔船数量。 2.36 在海岸带范围内禁止丢弃、掩埋、堆积、抛撒、焚烧垃圾等废弃物，禁止倾倒含有毒有害物质的可能破坏环境的液体。海岸带范围内从事生产、经营、服务活动的单位和个人应当设置垃圾回收装置或者设施，及时收集清理垃圾等废弃物。禁止以任何形式抛洒生活垃圾，村（居）民个人养殖家畜家禽应当实行集中圈养。禁止使用未经无害化处理的生活垃圾、医疗垃圾或者其他有毒有害物质等不符合有关环境保护标准的填充材料建设围海、填海工程。海岸带陆域范围内已有的畜禽养殖专业户、散养户应当采取必要的污染防治措施，妥善处理畜禽养殖废弃物，达到防渗、防雨、防溢流的要求。禁止在海岸带范围内新建排污口。对在严格保护区域和限制开发区域以及重要渔业区域、盐场保护区域等需要特别保护的区域已设置的排污口，应当清理拆除。经批准新设置向海洋排放的排污口，应当实施排污口深海设置，实行离岸排放。排污口距离海岸线不得少于一千米，水深不得少于七米。禁止向海岸带及入海河流排放未经无害化处理，或者经无害化处理后未达到标准的污水。	施工期，生活污水、含油废水、生活垃圾等全部收集上岸处理，严禁向海域内排放。 运营期，海上升压站、高抗站生活污水处理后达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定二级标准排放入海；船舶生活污水统一收集后，送至有资质单位处理，禁止随意排放；海上升压站设置事故油罐，陆上集控中心设有危废暂存间，油污水、废旧蓄电池、油渣或含油棉纱废物等送相应有资质单位处理；生活垃圾由陆域统一收集处理。施工期、运营期产生的污染物均不直接排海。	符合
环境风险防控	3.14 开展海上溢油污染近岸海域风险评估，防范溢油等污染事故发生。在重点海湾、入海河流、排污口等布设在线监测设备和溢油雷达。各油类作业点应在作业前按照法律规定布设围油栏。加强海水浴场、电厂取水口水母灾害监测预警。完善风暴潮、赤潮（绿潮）、海啸、海冰等应急预案，定期开展海洋灾害培训与应急演练。港口、码头、装卸站的经营者应制定防治船舶及其有关活动污染海洋环境的应急预案。对装卸码头进行实时监控，建立海上运输环境风险预警体系。	海上升压站设置事故油罐，油污水、废旧蓄电池、油渣或含油棉纱废物等送相应有资质单位处理。 项目针对施工期可能发生的溢油风险制定了对应的应急响应和指挥机制，溢油应急设施依托最近的港区。	符合

表 9.9-2　本项目与所在功能区生态环境准入清单要求符合性

环境管控单元	准入要求		本工程	符性合
威海港－鸡鸣岛渔业用海区（HY371000300055）	空间布局约束	1.1 在船舶习惯航路和依法设置的锚地、航道及两侧缓冲区水域禁止养殖。加强渔业资源养护，控制捕捞强度； 1.2 严格限制改变海域自然属性，适当发展底播养殖，严格控制筏式养殖、普通网箱养殖等养殖项目用海，禁止新增围海养殖。	项目高抗站位于该管控单元，送出海缆穿越该管控单元。 高抗站用海方式为透水构筑物，基础采用管桩，尺度较小，对海域自然属性改变很小。送出用海方式为海底电缆管道，埋设在海底，不会改变海域自然属性。	符合
	污染物排放管控	2.1 科学确定养殖规模和养殖密度，合理投饵、投肥，正确使用药物，及时规范收集处理固体废物，防止造成海洋生态环境的损害； 2.2 向海洋排放养殖尾水污染物等应当符合污染物排放标准； 2.3 改善海水质量和养殖环境。	项目施工期与营运期污水妥善处理，不直接排海。	符合
	环境风险防控	/	/	/
	资源开发效率要求	4.1 保护传统渔业资源、生物资源。	项目高抗站和海缆建设对传统渔业资源影响很小，实施后将开展生态增殖放流等生态修复措施、恢复海洋生物资源，制定海洋环境监测方案。	符合
威海近海渔业用海区（HY371000300056）	空间布局约束	1.1 在船舶习惯航路和依法设置的锚地、航道及两侧缓冲区水域禁止养殖； 1.2 严格限制改变海域自然属性，鼓励开放式用海，允许小规模以构筑物形式用海。渔港改扩建允许适度改变海域自然属性，需符合国家围填海管控政策。	项目送出海缆穿越该管控单元，用海方式为海底电缆管道，埋设在海底，不会改变海域自然属性。	符合
	污染物排放管控	2.1 科学确定养殖规模和养殖密度，合理投饵、投肥，正确使用药物，及时规范收集处理固体废物，防止造成海洋生态环境的损害； 2.2 向海洋排放养殖尾水污染物等应当符合污染物排放标准。	项目施工期与营运期污水妥善处理，不直接排海。	符合
	环境风险防控	3.1 保障水产种质资源保护区用海，保护生物多样性。	项目不占用保护区，实施后将开展生态增殖放流等生态修复措施，制定海洋环境监测方案。	符合
	资源开发效率要求	4.1 加强渔业资源养护，控制捕捞强度； 4.2 鼓励渔业用海与海上风电、海上光伏、海洋能融合发展；控制养殖密度，严格执行休渔制度； 4.3 保护自然岸线，鼓励对人工岸线进行生态化建设。	项目不占用和破坏自然岸线，海缆建设对传统渔业资源影响很小。	/

9.10 工程选址合理性分析

9.10.1 用海选址的区位和社会条件适宜性分析

9.10.1.1 区位条件

山东半岛三面临海，北面与辽东半岛隔渤海湾相望，东部与韩国隔海相望，山东半岛因为地理上的原因，山东半岛地区与东北地区和韩国联系紧密。半岛沿海地区风能资源丰富，开发建设条件优良，是我国沿海地区最具开发利用价值的风电基地之一。《山东海上风电发展规划（2021—2030 年）》指出：山东海上风电基地规划区域中以成山头东北部海域风能资源最为丰富，其次是长岛附近海域和渤海湾区域。整体来说半岛北部海域风能禀赋优良，有利于风电项目建设。

9.10.1.2 社会条件

（1）交通条件

本工程位于山东半岛东北侧近海海域，工程所在区域腹地公路、铁路、水运运输网络发达，对外交通十分方便。

威海市陆上交通非常便捷，陆路距烟台 90km，距青岛 280km。公路密度是全国平均水平的 3 倍，建成了青威高速和通往烟台的高等级公路，“三纵三横一环”的高等级公路网贯通全市，各镇之间全部实现等级公路连接。

距离工程场区较近的港口为威海湾港区，本项目建设可充分利用威海湾港区区位优势进行建设。威海湾港区是威海港的发展起源地和现有的核心港区，分别为老港作业区、新港作业区和崮山作业区。老港作业区拥有 4 个泊位，其中万吨级泊位 1 个，5000 吨级泊位 3 个，码头岸线长 590m，主要承担客运和滚装运输业务。本工程选择威海湾港区作为风电机组到港码头，码头及堆场承载力基本满足本项目要求。

（2）供水、供电、通信条件

本工程拟规划风电场西南侧的威海港作为施工基地，承担风机设备全部物资的临时堆存、码头操作区、水运物资对外运输到岸码头、基础物资海上运输临时待泊码头、水运物资场内运输起岸码头等功能。施工用水采用从施工主基地附近的港口内部管网引接水源至施工基地，施工辅助基地用水考虑从市政管网系统接引，工程现场用水通过淡水补给船进行供应。海上作业的用电主要为船只动力、舱内通风、人员生活办公、部分施工设备用电，所需的生产、生活用电通过自带的发电机提供。

施工通信与工程永久通信运行管理相结合，采取网络视频、无线和有线通信等方式构成综合性的通讯网络。项目部施工管理人员全部配备手机，另外配置无线电甚高频对讲机，保证与施工船舶、施工人员、海上救助、港航部门的无线电联系。海洋气象预报由专人收集并即时传递到每一条施工船上。

（3）施工材料供应条件

半岛北沿海经济发达地区，建筑、材料市场均具有较大规模。本工程所用的钢材、油料、水泥、砂石骨料等施工原材料和风电机组安装所需的各类辅助材料可以从烟台、威海或周边地区直接采购，通过公路、铁路或水路运输运至施工基地。风电机组基础钢结构需要材质要求较高的钢材，为保证钢材质量，可选择直接从大型钢厂进行采购。

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。

经对威海市周边及东部沿海地区的大型钢结构加工制造厂进行调研，工程场址附近可供参考的钢结构制作厂有华电曹妃甸重工装备有限公司、大连华锐重工集团股份有限公司、中石化胜利建设工程有限公司、蓬莱大金海洋重工有限公司、中集来福士海洋工程有限公司、蓬莱巨涛海洋工程重工有限公司等多家满足本工程基础钢结构制作要求的大型海工结构生产基地。且沿海、沿江的大型钢结构生产企业多自备物资出运码头，可利用企业内码头将钢管桩装船，进入外海后转至风场工程施工现场。

综上分析，项目所在区域具有优越的地理位置，项目所在区域的基础设施条件能够满足项目建设的需要，区位条件优越、社会条件良好，项目选址此处合理。

9.10.2 用海选址的自然资源和生态环境适宜性分析

（1）水深、海底地形地貌

本场址处于北黄海浅海平原，等深线非常稀疏，海底平坦。水深在 55~60 米之间，水下地形总体自西北向东南略微倾斜。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

拟建场区勘察深度内岩土层为第四系全新统海相沉积物（Q4m）。根据地层岩性、时代成因及其物理力学性质特征，将其划分为 9 个工程地质大层。根据区域构造背景，断层分布及活动特征，地震活动性等因素，参考《海上风力发电场勘测标准》（GB51395-2019）表 F 中规定，拟建工程场址区域构造稳定性较好。

（3）气象条件

半岛北属温带季风气候，与同纬度内陆地区相比具有雨水适中、空气湿润、气候温和的特点，冬无严寒、夏无酷暑。年平均降水量 524.9mm，年平均气温 13.4℃，年平均日照时数 2488.9h。根据气象站相关资料统计，该地区历史最大风速为 20.0m/s，历史极大风速为 30.3m/s。多年平均气温为 12.4℃，极端最高气温 40.4℃，极端最低气温-19.8℃。多年平均雷暴日数为 21d，多年平均结冰日数为 110d。多年平均大气压为 1015hPa，多年平均水气压为 12.1hPa，多年平均降水量 691.1mm。

本项目所在海域风能资源丰富，开发建设条件优良，是我国沿海地区最具开发利用价值的千万千瓦级风电基地之一。风电场主风向和风能均主要集中在 N 及 SSW，其中以 N 向风向频率最大，占比 12.64%；N 向风能频率最大，占比 19.44%。风电场风能风向分布相对集中在偏南北方向。风速年内变化以春冬季风速相对较大，夏秋季相对偏小，风速变化幅度较大，日内变化幅度较小。风电场风电机组 154m 轮毂高度处测风年年平均风速为 7.85m/s，年平均风功率密度为 533.5W/m^2。根据《风电场工程风能资源测量与评估技术规范》（NB/T31147-2018）风功率密度等级评判标准，本风电场风功率等级为 4 级，风能资源丰富，具备一定的开发价值。

（4）水文条件

观测期间各月份最大波高 H_{max} 平均 1.40m、最大值 6.53m；十分之一大波波高 $H_{1/10}$ 平均值为 1.19m、最大值 6.09m；有效波高 Hs 平均值为 0.94m、最大值 5.11m；平均周期 T 在 4.04~5.09s、最大值在 6.13s~8.37s。海流测站表现为往复流，涨潮流偏 NW 向，落潮流偏 SE 向，大潮期间各站平均涨潮垂向平均流速在 30cm/s 至 45cm/s 之间，大潮期垂线平均的涨潮流最大流速的变化范围在 58cm/s~81cm/s 之间，各站可能最大流速在 38.2cm/s~92.4cm/s 之间，可能最大运移距离在 6110.6~15312.0m 之间，大潮期各站各层余流流速在 1.5~13cm/s 之间。选址区域水文气象条件适宜本工程建设。

（5）海洋自然灾害

风暴增水是沿海地区主要的海洋灾害之一。黄渤海每隔 3～4 年就会发生 1 次比较大的热带风暴潮灾害，但受地形的影响，太平洋上的强热带风暴进入黄海海域后，或南或北。

根据《风电场工程等级划分及设计安全标准》（NB/T10101）有关规定，风电机组地基基础设计等级为甲级，结构安全等级为一级，风机基础潮位设计重现期为 50 年，海上升压站平台潮位设计重现期为 100 年；风机基础抗震设防类别为标准设防类（丙类）。工程设计考虑了抵御自然灾害的能力。

综上分析，除风暴潮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。

9.10.3 小结

项目选址具有区位适宜性；项目临近陆域配套电力、道路、港口等齐全，外部配套条件良好，从项目位置、自然条件、依托条件等各方面分析，本项目的建设是十分适宜的；项目建设与周边用海活动相适宜，平面布置合理。因此，本项目选址合理。

10 环境影响经济损益分析

10.1 环境保护投资费用估算

为了加强建设项目的环境管理，防止环境污染，减轻或防止环境质量下降，根据《建设项目环境保护设计规定》的要求，建设项目的环保设施必须与主体工程的建设同时进行。本工程为新建工程，初步估算，本工程用于环境保护的建设投资为 5249.0 万元。这些措施对本项目建设和营运阶段保护环境，减轻工程建设带来的不利影响将起到积极作用。项目总投资 1159942 万元，环保投资约 5249.0 万元，约占工程总投资的 0.45%。环保投资估算见表 10.1-1。

表 10.1-1　环保投资估算一览表

阶段	项目	环保设备或措施	规格/数量	单价（万元）	金额（万元）
施工期	废气	使用符合国家废气排放标准的机械和船舶，加强对施工机械、船舶维修保养，采用合理的航速航行。	/	管理措施、不计入	/
	废水处理	船舶生活污水和油污水处理费	1 项	30	30
	水下噪声	气泡帷幕装置	1 项	120	120
	固体废物	船舶垃圾委托处理费	1 项	10	10
	环境监理	施工期环境监理	1 项	70	70
	环境风险	溢油风险防范和设施配备	1 套	140	140
	环境监测	海洋生态环境（水质、沉积物、海洋生态、渔业资源、海洋生物质量）	1 次	50	50
		水下噪声	2 次	20	40
		鸟类观测	5 次	20	100
		斑海豹、东亚江豚等哺乳动物实时观测	13 个月	15	15
运营期	废水处理	运营期船舶生活污水和船舶含油污水外委收集和处理	1 项	10	10
	噪声	选用低噪设备，风机舱内表面贴附阻尼材料等隔声降噪措施	/	工程设计不计入	/
	固废处理	船舶生活垃圾收集和处理	1 项	2	2
	危险废物	运营期检修危险废物外委处理	1 项	2	2
	生态	增殖放流生态保护修复	1 项	3050	3050
	环境监测	海洋生态环境（水质、沉积物、海洋生态、渔业资源、海洋生物质量）	5 次	40	200
		地形地貌与冲淤	4 次	20	80
		水下噪声	5 次	20	100
		电磁环境	5 次	20	100
		鸟类观测	5 次/年×5 年	20	500
		鸟情雷达观测系统、AI 识别系统	雷达 1 套、识别系统 5 套	150	150
		斑海豹、东亚江豚等哺乳动物观测	4 次/年×5 年	10	200
		斑海豹、东亚江豚等哺乳动物红外摄像系统	1 套	20	20
		鸟类研究专题	1 项	40	40
		斑海豹、东亚江豚等哺乳动物研究专题	1 项	40	40
	环境风险	溢油风险防范和设施配备	1 套	80	80
不可预见费用					100
合计					5249.0

10.2 项目经济损益分析

10.2.1 环境直接、间接经济损失估算

（1）工程对环境影响

本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。本项目建设后工程区海域淤积强度的变化并不明显，但存在局部冲刷现象。风机基础和电缆铺设等施工时将产生悬浮物扩散，施工期对近岸养殖区会造成一定影响，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污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域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。

本项目风电场区不涉及鸟类栖息和觅食生境，工程施工期间可能对鸟类的觅食、迁徙造成一定的干扰，但施工期的影响是暂时、可逆的，施工结束后，对鸟类的影响也随之消失。本项目施工噪声对渔业资源的影响主要体现于对鱼类的驱赶作用，

经实验研究表明：风电场运营期总体的水下噪声强度比较低，对海洋生物的行为等不会带来明显影响。

海底电缆埋深在 2m 以上，所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，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 0.1mT，对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物基本上没有影响。

（2）生物资源损失

本工程共造成浮游植物损失量 5.20×10^{14} 个，浮游动物损失量为 1622.72t，底栖生物损失量为 137.61t，鱼卵损失量为 7.29×10^{8} 粒，仔稚鱼损失量为 2.01×10^{8} 尾，游泳生物损失量 9.62t。工程建设造成的生物资源损害补偿金额约为 3046.19 万元。

10.2.2 环境直接、间接经济收益估算

风电是一种可再生的清洁能源，其节能效益、环境效益和社会效益均十分显著。本项目建成后每年可为电网提供清洁电能 3261483.4MW·h，按照火电煤耗每度电耗标准煤 301.5g 计算，投运后每年可节约标准煤约 983337.25t，每年可减少 CO_2排放量约 2700508.26t、SO_2排放量约 329.41t、氮氧化物排放量约 495.74t，并可减少大量的灰渣及烟尘排放、节约用水，节能减排效益显著。

本项目施工期和建成初期各项环保工程措施，包括直接投资的环保设施和属于管理范畴的工程措施，其环境经济效益主要体现在：通过各项环保工程措施的落实，使清洁生产的整体预防战略在本项目建设施工期和运营初期全过程得到有效贯彻，从而确实有效的保护生态环境，并创建社区良好的环境，达到社会经济建设和环境资源保护的协调发展。

通过施工期各项环保措施的落实，可减小工程建设过程中诸施工环节的各环境污染因子产生的强度，并进行必要的污染治理，使施工场地附近海域水环境和生态环境得到有效保护，降低对海洋物种生态环境潜在的环境风险影响，同时避免或减少施工过程对生态、声环境和大气环境的破坏和影响。

项目施工期和建成初期污染防治措施的设置及运行、环保人员工资等投入，从财务角度看利润是负值。但环保投入的间接经济效益是显著的，可以减少废气、粉尘、噪声、固体废弃物对环境的污染，防范、减少事故对海域的污染，既保护了环境，又节约了水资源、能源。环保设施的实施对区域经济的可持续发展意义重大。

10.3 环境保护的技术经济合理性

（1）施工期环保措施技术、经济可行性分析

施工期，严格按照施工管理要求规范作业。施工期间产生的污水全部收集后统一处理，不直接向海域内排放；通过选用低噪声、低污染的施工机械设备，减小对周边声环境和大气环境的影响；固体废弃物统一收集处理。通过选择合适的施工时间、选用先进的施工工艺等措施减小施工对周边海洋环境的影响在技术上是可行的，在经济方面没有较大投入。

（2）运营期环保措施技术、经济可行性分析

运营期，通过优选采用清洁、环保的机械设备和生产工艺，并使用清洁燃料，有效控制各类污染物的产生；对生活污水等资源处理后尽量回收利用，提高利用率；油污水、废旧蓄电池、油渣末或含油棉纱废物等送相应有资质单位处理，生活垃圾由陆域统一收集处理。以上环保措施在经济和技术方面都是经济技术可行的。

综上所述，以上清洁生产工艺和环保措施在经济和技术方面都是切实可行的。

11 环境管理与环境监测

建设单位应针对自身生产特点制定严格的环境管理与环境监测计划，并以扎实的工作保证企业各项环保措施以及环境管理与环境监测计划在项目施工期和运营期得以认真落实，才能有效地控制和减轻污染，保护环境；只有通过规范和约束企业自身的环境行为，才能使企业真正实现社会、经济和环境效益的协调统一，走可持续发展的道路。本环评对项目提出环境管理与环境监测的计划和建议。

11.1 环境管理

为了做好环境保护工作，减轻本项目对海洋环境的影响程度，建设单位及施工单位应高度重视环境保护工作，应成立专门机构进行环境保护管理工作。

根据有关法规并结合本项目建设特点制定相应的环境监测计划，确定环境监测工作的组织、监测职责范围等，其中环境监测计划中应包括污染物排放监测和环境质量监测等内容。

11.1.1 环境保护管理部门

海洋相关部门负责本项目的环境管理、环境监测、污染源防治的监督管理等工作。当地海事行政主管部门负责水域监视，防治船舶及其相关作业污染水域的监督管理，负责水域重大污染事故的处理。

本项目施工期的环保管理工作除上述有关部门外，应由项目的建设单位落实各项环保措施并配合上述机构的环保执法与监督管理工作；本项目投入营运后，由现有的环境保护管理和环境监测机构负责项目营运期的环保设施正常运营等环保措施的落实，本项目主管部门配合上述机构的环保管理工作。

11.1.2 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）负责监督、落实有关环境保护管理规章制度，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本项目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放给相关人员，以便于各项措施的有效落实。

11.1.3 建设单位环境管理机构

为了有效保护拟建项目所在区域环境质量，切实保证本报告提出各项施工期环境保护措施的落实，除了施工单位应设置环境保护管理机构外，针对本项目的建设施工，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，将需落实的环保措施列入与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）负责本项目施工期与营运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）将工程环境监理纳入工程监理，接受海洋主管部门的指导和监督，以便更好地履行职责；

（5）按海洋相关管理部门的规定和要求填报各种环境管理报表；

（6）配合海洋相关管理部门进行环保设施竣工验收；

（7）负责对施工期、营运期污染事故的调查、监测分析工作，并写出调查报告；

（8）协调、处理因本项目的建设和营运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；

（9）环境监测工作及监测计划的实施，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站协助进行。

11.1.4 环境保护管理建议

针对本项目的建设和投入营运，提出如下环境保护管理要求和建议：

（1）所有与本项目直接相关的污染防治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，应按照有关要求申请进行建设项目环保竣工验收。

（3）建议本项目在落实各项环境保护设施时，采用海洋主管部门认证合格单位的污染治理技术或设施。

11.2 环境监测

本项目风电场区建设规模大，涉及区域面积广，附近海域环境敏感区较多，因此在施工及运营期内应制定具体的环境监测计划。环境监测的主要要素为水文动力、水下地形、海洋生态、渔业环境、海水水质、鸟情观测等。

11.2.1 海洋环境监测计划

为了及时了解和掌握本工程建设对海洋环境的影响，评价其影响范围和影响程度，及时发现并解决本工程建设引起的海洋环境问题。根据《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》（自然资办公函〔2022〕640 号）、《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》和《海域使用论证技术导则》（GB/T 42361-2023）等有关规定，并结合本项目建设特点制定相应的环境监测计划。环境监测可委托有相应资质的环境监测单位实施，监测单位应提交有效的计量检测认证的成果。

11.2.1.1 施工期和运营期海水水质监测计划

①监测位置：项目共设置 20 个水质监测站，风电场区附近设 12 个监测站位，海底电缆两侧设置 8 个监测站位。

②监测时间及频次：项目海上施工 13 个月，施工期监测 1 次，在施工高峰期的春季或秋季实施；运营期 5 年内，每年代表性监测 1 季，后期根据监测结果进行调整。

③监测项目：水温、盐度、pH 值、COD、BOD_5、DO、悬浮泥沙、石油类、无机氮、活性磷酸盐、铜、铅、镉、锌、砷、铬、汞、挥发性酚、硫化物等。

11.2.1.2 施工期和运营期沉积物质量监测计划

①监测位置：项目共设置 10 个沉积物监测站，风电场区附近设 7 个监测站位，海底电缆两侧设置 3 个监测站位。

②监测时间及频次：项目海上施工 13 个月，施工期监测 1 次，在施工高峰期的春季或秋季实施；运营期 5 年内，每年代表性监测 1 季，后期根据监测结果进行调整。

③监测项目：粒度、pH、铜、铅、镉、锌、砷、铬、汞、石油类、硫化物、有机碳。

11.2.1.3 施工期和运营期海洋生态监测计划

①监测位置：项目共设置 12 个生物生态监测站，风电场区附近设 7 个监测站位，海底电缆两侧设置 5 个监测站位。潮间带调查断面 3 个。

②监测时间及频次：项目海上施工 13 个月，施工期监测 1 次，在施工高峰期的春季或秋季实施；运营期 5 年内，每年代表性监测 1 季，后期根据监测结果进行调整。

③监测项目：叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物。

11.2.1.4 施工期和运营期渔业资源监测计划

①监测位置：项目共设置 12 个渔业资源监测站，风电场区附近设 7 个监测站位，海底电缆两侧设置 5 个监测站位。

②监测时间及频次：项目海上施工 13 个月，施工期监测 1 次，在施工高峰期的春季或秋季实施；运营期 5 年内，每年代表性监测 1 季，后期根据监测结果进行调整。

③监测项目：鱼类、头足类、甲壳类及鱼卵仔鱼。

11.2.1.5 施工期和运营期海洋生物质量监测计划

①监测位置：与渔业资源调查站位同步，设 3 个监测站位，风电场区附近海域设 2 个监测站位，海底电缆两侧设置 1 个监测站位。

②监测时间及频次：项目海上施工 13 个月，施工期监测 1 次，在施工高峰期的春季或秋季实施；运营期 5 年内，每年代表性监测 1 季，后期根据监测结果进行调整。

③监测项目：铜、铅、锌、镉、铬、汞、砷、石油烃。

11.2.1.6 地形地貌与冲淤

①监测位置：工程外扩边界 2km 的海域，测量比例按照 1:5000；施工期桩基施工完成后 6～12 个月内、在外围桩基周边 200m 范围内进行冲刷坑测量。

②监测时间及频次：运营期第 1 年、第 2 年、第 5 年各监测一次。5 年之后根据前期监测分析结果，可多年监测 1 次。

③监测内容：水深地形。

11.2.1.7 施工期和运营期水下噪声监测计划

①监测位置：布设 9 个站位。

在风机基础施工期间，从施工期开始及时跟踪监测施工所产生的水下噪声特别是在施工期的第 1 个月，在风电站内安装的各类基础，至少应进行一次完整的水下噪声测量。在距离风机基础结构 300—1000m 处、不同的水层深度处（水听器离海面 1~3m，垂直阵一般应布设到靠近海底）实时监测风机桩基打桩时产生的水下噪声。在海上风电场营运期，必须在不同风速风机的三个输出级别：低、中和额定风速输出时进行水下噪声测量。在距离风电场单个风机约 100m 处监测水下辐射噪声。同时应在距离风电场外部界限 3~4km 处进行水下背景噪声和风电噪声的综合测量。

②监测时间及频次：施工期监测 2 次（施工期的第 1 个月一次，施工高峰期 1 次）；运营期 5 年内，每年监测 1 次，后期根据监测结果进行调整。

③监测内容：

打桩施工所产生的最大声压级 Lpeak（dBre1 μPa）；噪声频带有效声压级（dBre1 μPa）；噪声声压谱（密度）级；分析水下噪声时－频特性。

11.2.1.8 运营期电磁环境监测计划

①监测位置：布设 9 个站位。

工频电磁场：以海底电缆的边缘线为测试原点，沿垂直于线路方向为测量路径，按测点间距 10m 顺序布点，确认某测点工频电场测值已为环境背景值时，可不再向远处测点继续测量。

②监测时间及频次：运营期 5 年内，每年监测 1 次，后期根据监测结果进行调整。

③监测内容：工频电场、工频磁场（水平分量和垂直分量）。

11.2.1.9 施工期和运营期鸟类监测计划

（1）施工期

1）监测范围及监测方法

监测范围应该满足覆盖项目周边 8km 海域，并适当覆盖项目南侧的陆地区域。以样线法为主，辅以样点法。

此外，对于施工区域可以适当通过录像监控及鸣声监测设备等进行持续监测，通过录像和录音数据的分析更全面的了解项目区域的鸟类分布及活动规律。

2）监测内容

鸟类种群结构（种类、物种居留型）；鸟类多样性（各物种种群数量）；受保护鸟

类和特有鸟类资源状况（种类、数量、生存状况）；鸟类飞行模式（飞行方向、飞行高度）、鸟类撞击风电机组的情况（数量、种类、撞击致死情况、撞击风机结构和地理位置等）。

3）监测频次

每年 3～11 月每 2 个月监测 1 次，12 月至次年 2 月监测 1 次。

4）数据分析

根据建设期的鸟类监测结果，划定鸟类的重要活动区域，为运营期的鸟类监测提供更加精准的指导。

（2）运营期

1）监测范围及监测方法

①样线和样点监测

与建设期相同，监测范围应该满足覆盖项目周边 8km 海域，并适当覆盖项目南侧的陆地区域。常规现场监测建议以样线法为主，辅以样点法。若条件允许，可以考虑开展陆地和海上的同步监测。

此外，还应重点分析雷达监测数据、鸣声监测数据、鸟类在线监测数据，对现场监测结果进行补充完善，

②长期观测

设置 1 处鸟情雷达观测系统，依托海上升压站平台建设，采用雷达监控单元记录物种轨迹；在升压站和最外侧的 4 个风机设置 AI 识别系统（红外摄像头、麦克风、传感器等设备），利用具备 AI 识别追踪被摄物体能力的红外与日光高清变焦云台采集物种照片，并且将物种轨迹与图像相结合，分析物种对风电场的回避行为。

2）监测内容

鸟类种群结构（种类、物种居留型）；鸟类多样性（各物种种群数量）；受保护鸟类和特有鸟类资源状况（种类、数量、生存状况）；鸟类飞行模式（飞行方向、飞行高度）、鸟类撞击风电机组的情况（数量、种类、撞击致死情况、撞击风机结构和地理位置等）。

3）监测频次

监测年限建议为期 5 年，每年 3～11 月每 2 个月监测 1 次，12 月至次年 2 月监测 1 次。

（3）监测站位：施工期和运营期设置 4 条样线、3 个样点，运营期在升压站建设监

控雷达、在升压站和最外侧 4 个风机设置 AI 识别系统进行长期监测，定期提交监测与评估报告。

11.2.1.10 施工期和运营期东亚江豚、斑海豹等哺乳动物监测

（1）施工期

①人工观测

设置巡视船舶及哺乳动物观察员，安排专人对施工过程进行持续监测，对施工桩基 1000m 范围内的海域进行巡视，严密监视海面状况，确定无斑海豹、东亚江豚等海洋哺乳动物在施工海域活动时，方可进行打桩作业。若发现东亚江豚、斑海豹活动，立即暂停作业，待确认动物远离后，方可恢复作业。做好记录和现场监测工作。

②目视船基截线监测

通过目视观察的方法在拟建风电场海域进行动物船基截线监测，以掌握动物分布和数量变化趋势，了解施工对动物行为习性的影响，同时也可监控施工范围内动物的出没状况。

监测区域：本项目风电场施工区周边海域 5km 范围内，海缆区铺缆过程中随铺缆船实时监测。

监测时间：从施工期开始，每月进行一次，考察直至施工结束。

使用小型船只执行。船只配备降噪效果较好的外机，以便在不干扰海豚自身活动的前提下近距离拍摄海豚背鳍图片。使用高速数码相机及长焦镜头拍摄照片；使用手持全球定位系统记录地理信息。监测小组由 5-6 人组成，包括 4-5 名拍摄员，记录员和驾驶员。选择在天气良好的情况下开展野外监测工作，即海面风浪≤3 级，能见度≥1000 米。

③搁浅受伤情况收集

整个施工期应留意斑海豹、东亚江豚的受伤或搁浅信息，倘若有足够的数据显示大型工程施工开展后斑海豹、东亚江豚的受伤或搁浅情况有显著增加，应实时检讨一些可能对斑海豹、东亚江豚造成显著影响的施工活动，并立即采取适当的缓解措施以减少负面影响，确保工程不会对斑海豹、东亚江豚种群带来太大的影响。

（2）运营期

①种群数量与分布监测

船舶定点观测：在监测区域内设置 4 个固定观测点，选用静音船舶，避免干扰物种正常活动。观测人员使用高倍望远镜，在白天光线良好时段进行连续观测，记录每个观

测点内目标物种的出现频次、数量及行为状态，同步记录水温、盐度、海流等环境因子。

无人机巡测：采用多旋翼无人机搭载高清摄像设备，按照预设航线对监测区域进行全覆盖巡航。飞行高度控制在 100-150 米，确保清晰识别目标物种。每次巡测记录物种的数量、位置、集群规模等信息，通过 GIS 技术绘制种群分布热力图，分析其空间分布格局及与风电场的位置关系。

监测时间及频次：每年分四季开展，每季度监测 1 次，确保覆盖不同季节物种的行为节律。

②行为特征监测

在海上升压站顶部布设红外摄像头，实现 24 小时不间断监测。重点观测斑海豹的休息、繁殖行为，以及东亚江豚的觅食、社交行为，分析风电运营产生的噪声、电磁场等对其行为模式的影响。

③数据分析

常规分析：每季度对监测数据进行初步整理，统计种群数量变化、分布范围变动等基础信息，形成季度监测简报，反馈给项目管理方和相关监管部门。

年度评估：每年年底开展全面数据分析，结合历史数据，运用统计模型分析目标种群的长期变化趋势，评估风电运营对斑海豹、东亚江豚的累积生态影响。编制年度监测报告，提出针对性的生态保护优化建议，如调整风电场运维时间等。

监测范围：以海上风电场区为核心，向外延伸 5km 的海域作为主要监测区域，同时涵盖斑海豹、东亚江豚已知的迁徙通道等，确保全面覆盖目标物种的活动范围。

（3）监测内容：

斑海豹、东亚江豚数量、位置、路径、行为特征及受影响情况等信息。

（4）监测年限

在本项目运营期前 3 年内，进行斑海豹、东亚江豚等的目视和实时影像监测，评估中华斑海豹、东亚江豚在本项目运行后的生存状态，并以此来制定相应的后续工作计划。在项目运营期 3 年后，如果动物的生存状态良好，未受到明显不利影响，可酌情考虑逐步减少监测频次。

表 11.2-1　环境监测计划一览表

监测内容	监测位置	监测时间、频率	监测项目
水质	20 个站位：风电场区附近设 12 个监测站位，海底电缆两侧设 8 个监测站位	施工期监测 1 次，在施工高峰年的春季或秋季实施；运营期 5 年内，每年春季或秋季监测 1 次，后期根据监测结果进行调整。	水温、盐度、PH、悬浮物、COD、BOD_5、DO、无机氮、活性磷酸盐、石油类和重金属（总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、硒、镍）、硫化物、挥发性酚等
沉积物	10 个站位：风场区附近设 7 个监测站位，海底电缆两侧设 3 个监测站位	施工期监测 1 次，在施工高峰年的春季或秋季实施，运营期 5 年内，每年春季或秋季监测 1 次，后期根据监测结果进行调整。	粒度、有机碳、PH、石油类、硫化物、重金属（总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷）等。
海洋生态	12 个站位：风场区附近设 7 个监测站位，海底电缆两侧设 5 个监测站位；潮间带生物调查断面 3 个	施工期监测 1 次，在施工高峰年的春季或秋季实施；运营期 5 年内，每年春季或秋季监测 1 次，后期根据监测结果进行调整。	叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物
渔业资源	12 个站位：风场区附近设 7 个监测站位，海底电缆两侧设 5 个监测站位	施工期监测 1 次，在施工高峰年的春季或秋季实施；运营期 5 年内，每年春季或秋季监测 1 次，后期根据监测结果进行调整。	鱼类、头足类、甲壳类及鱼卵仔鱼
海洋生物质量	3 个站位：风场区附近设 2 个监测站位，海底电缆两侧设 1 个监测站位	施工期监测 1 次，在施工高峰年的春季或秋季实施；运营期 5 年内，每年春季或秋季监测 1 次，后期根据监测结果进行调整。	重金属（总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷等）和石油烃等
地形地貌与冲淤	以工程外扩边界 2km 的海域，测量比例按照 1:5000。在外围桩基周边 200m 范围内进行冲刷坑测量。	运营期第 1 年、第 2 年、第 5 年各监测一次。5 年之后根据前期监测分析结果，可多年监测 1 次。	水深地形
水下噪声	风机基础外缘不同距离设 9 个站位	施工期监测 2 次（施工期的第 1 个月一次，施工高峰期 1 次）；运营期 5 年内，每年监测 1 次，后期根据监测结果进行调整。	打桩施工所产生的最大声压级 Lpeak（dBre1μPa）；噪声频带有效声压级（dBre1μPa）；噪声声压谱（密度）级；

监测 内容	监测位置	监测时间、频率	监测项目
			分析水下噪声时一频特性
电磁环境	布设 9 个站位，在海上换流站四周布设 5 个站位，500kV 海缆布设 4 个站位。	运营期 5 年内，每年监测 1 次，后期根据监测结果进行调整。	工频电场、工频磁场（水平分量和垂直分量）
鸟类	施工期和运营期设置 4 条样线、3 个样点，运营期在换流站建设监控雷达、换流站和外围 4 个风机设置 AI 识别系统进行长期监测。	施工期每年 3～11 月每 2 个月监测 1 次，12 月至次年 2 月监测 1 次。运营期监测年限建议为期 5 年，每年 3～11 月每 2 个月监测 1 次，12 月至次年 2 月监测 1 次。	鸟类种群结构（种类、物种居留型）鸟类多样性（各物种种群数量）；受保护鸟类和特有鸟类资源状况（种类、数量、生存状况）；鸟类飞行模式（飞行方向、飞行高度）、鸟类撞击风电机组的情况（数量、种类、撞击致死情况、撞击风机结构和地理位置等）。
斑海豹、东亚江豚等	施工期，桩基 1000m 范围内人工实时监测，5km 范围内目视船基截线监测；运营期，无人机巡测，风场四周 5km 范围内设置 4 个固定观测点进行船舶定点观测	施工期，人工实时监测，施工区周边海域 5km 范围内实时目视船基截线监测；运营期，每年分四季开展，每季度监测 1 次，同时可利用鸟类监控雷达、升压站和外围 4 个风机设置 AI 识别系统进行长期监测。	斑海豹、东亚江豚数量、位置、路径、行为特征及受影响情况等信息

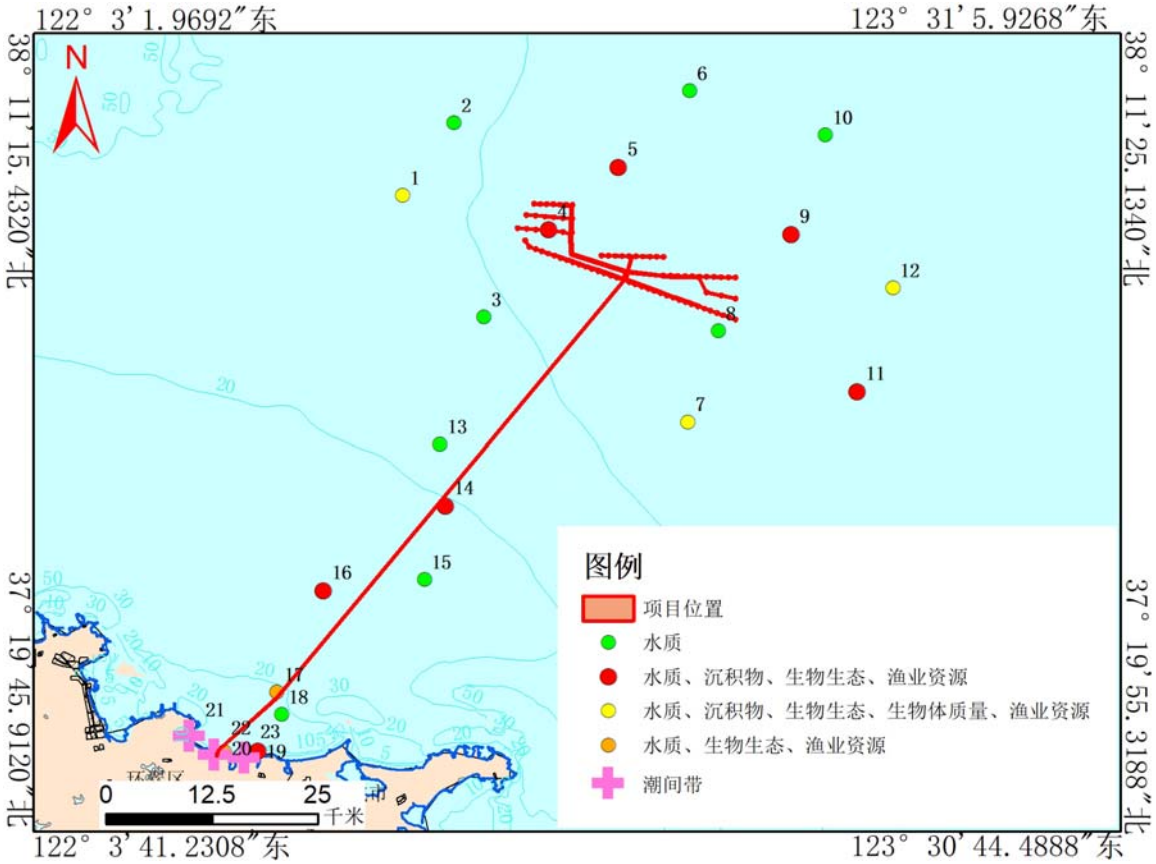


图 11.2-1　施工期和运营期海洋环境监测站位图

表 11.2-2　海洋环境跟踪监测站位坐标表

序号	X	Y	内容
1	122° 32'59.666"E	38° 0'57.242"N	水质、沉积物、生物生态、生物体质量、渔业资源
2	122° 37'7.240"E	38° 5'39.491"N	水质
3	122° 39'35.376"E	37° 53'7.323"N	水质
4	122° 44'47.267"E	37° 58'47.097"N	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
5	122° 50'26.209"E	38° 2'48.763"N	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
7	122° 56'4.676"E	37° 46'22.339"N	水质、沉积物、生物生态、生物体质量、渔业资源
8	122° 58'30.706"E	37° 52'16.981"N	水质
10	123° 7'11.891"E	38° 4'55.352"N	水质
11	123° 9'42.629"E	37° 48'18.911"N	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
12	123° 12'38.533"E	37° 55'1.396"N	水质、沉积物、生物生态、生物体质量、渔业资源
13	122° 36'6.664"E	37° 44'56.106"N	水质
14	122° 36'33.846"E	37° 40'56.422"N	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
16	122° 26'46.950"E	37° 35'26.055"N	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
17	122° 23'6.173"E	37° 28'52.076"N	水质、生物生态、渔业资源
18	122° 23'28.413"E	37° 27'25.513"N	水质
19	122° 21'37.090"E	37° 25'3.563"N	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
20	122° 18'55.675"E	37° 25'0.318"N	水质、生物生态、渔业资源
9	123° 4'22.698"E	37° 58'27.949"N	水质、沉积物、生物生态、渔业资源
6	122° 56'13.044"E	38° 7'46.719"N	水质
15	122° 34'54.696"E	37° 36'13.118"N	水质

序号	X	Y	内容
21	122° 16'5.912"E	37° 26'0.450"N	潮间带
22	122° 18'8.607"E	37° 24'50.132"N	潮间带
23	122° 20'31.375"E	37° 24'38.593"N	潮间带



图 11.2-2　施工期和运营期噪声监测站位图

表 11.2-3　施工期和运营期噪声监测站位表

站位号	北纬	东经
ZS1	37° 58′ 54.735″	122° 41′ 55.933″
ZS2	38° 00′ 43.493″	122° 44′ 38.521″
ZS3	37° 56′ 44.515″	122° 44′ 46.775″
ZS4	37° 57′ 25.441″	122° 49′ 04.452″
ZS5	37° 56′ 05.526″	122° 51′ 09.595″
ZS6	37° 57′ 17.031″	122° 54′ 00.348″
ZS7	37° 54′ 21.650″	122° 54′ 09.108″
ZS8	37° 52′ 47.372″	122° 59′ 42.376″
ZS9	37° 55′ 59.850″	122° 59′ 55.729″



图 11.2-3　施工期和运营期电磁监测站位图

表 11.2-4　施工期和运营期电磁监测站位表

站位号	北纬	东经
DC1	37° 25′ 40.125″	122° 18′ 38.179″
DC2	37° 28′ 19.349″	122° 23′ 15.854″
DC3	37° 37′ 55.452″	122° 31′ 05.329″
DC4	37° 45′ 14.182″	122° 41′ 24.130″
DC5	37° 55′ 16.359″	122° 51′ 09.989″
DC6	37° 56′ 20.707″	122° 50′ 59.702″
DC7	38° 00′ 39.022″	122° 43′ 17.908″
DC8	37° 57′ 17.338″	122° 54′ 22.489″
DC9	37° 52′ 28.914″	123° 01′ 06.129″



图 11.2-4　施工期和运营期鸟类监测站位图

表 11.2-5　施工期和运营期鸟类监测站位表

站位	北纬	东经
样点 1	37° 25′ 14.544″	122° 17′ 49.940″
样点 2	37° 24′ 42.936″	122° 19′ 02.973″
样点 3	37° 28′ 29.055″	122° 23′ 02.205″
样线 1	37° 36′ 32.217″	122° 32′ 22.696″
	37° 45′ 15.849″	122° 39′ 03.950″
样线 2	37° 53′ 58.426″	122° 39′ 34.621″
	38° 04′ 48.587″	122° 42′ 09.461″
样线 3	37° 51′ 31.054″	122° 48′ 31.725″
	38° 01′ 30.601″	122° 52′ 07.668″
样线 4	37° 48′ 01.640″	123° 00′ 47.574″
	37° 59′ 55.929″	123° 01′ 50.490″
升压站监控雷达和 AI 识别系统	37° 56′ 03.840″	122° 51′ 11.294″
外围风机 AI 识别系统	37° 57′ 41.401″	122° 43′ 13.720″
	38° 00′ 36.533″	122° 43′ 34.090″
	37° 53′ 00.907″	122° 59′ 53.114″
	37° 55′ 43.718″	122° 59′ 53.397″

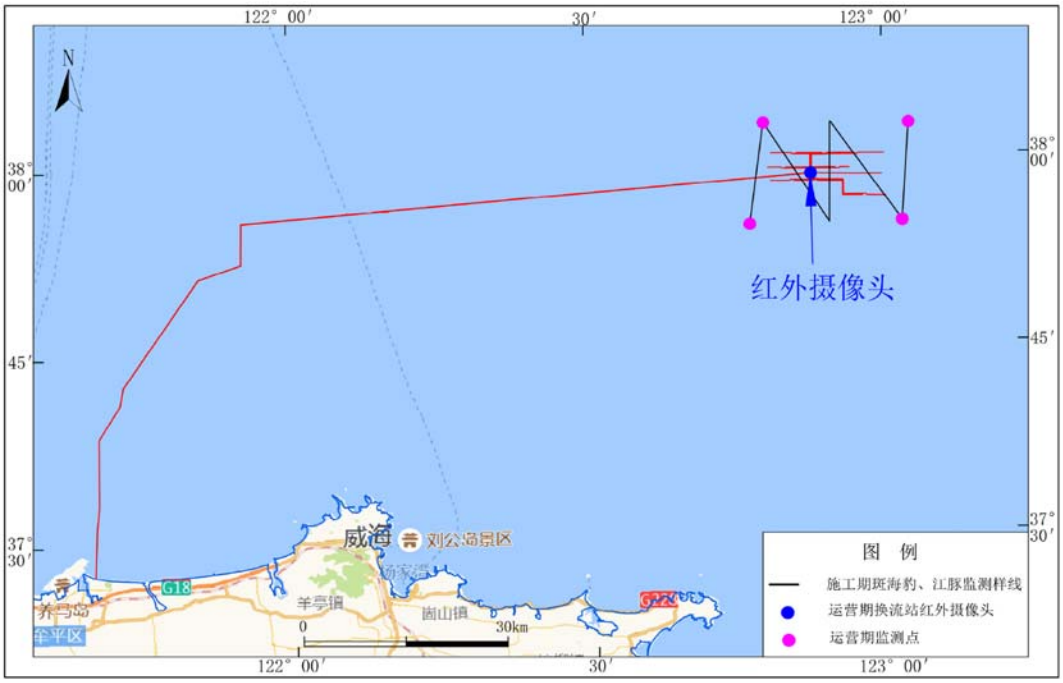


图 11.2-5　施工期和运营期斑海豹、东亚江豚监测站位图

表 11.2-6　施工期和运营期斑海豹、东亚江豚监测站位表

站位	北纬	东经
样点 1	37° 56′ 26.016″	122° 40′ 09.693″
样点 2	38° 03′ 13.871″	122° 42′ 54.980″
样点 3	37° 50′ 18.263″	123° 00′ 59.572″
样点 4	37° 58′ 20.952″	123° 01′ 42.097″
样线 1	37° 53′ 58.426″	122° 39′ 34.621″
	38° 04′ 48.587″	122° 42′ 09.461″
样线 2	37° 51′ 31.054″	122° 48′ 31.725″
	38° 01′ 30.601″	122° 52′ 07.668″
样线 3	37° 48′ 01.640″	123° 00′ 47.574″
	37° 59′ 55.929″	123° 01′ 50.490″
升压站红外摄像头	37° 56′ 03.840″	122° 51′ 11.294″

11.2.2 应急监测

本工程主要事故类型为船舶燃料油泄漏入海。当发生紧急环境污染事故时，立即启动相应级别的应急预案，在向管理部门报告的同时，迅速组织应急监测，为应急指挥提供决策依据。根据发生事故的类型、事故的影响大小及周围的环境情况等，视具体情况进行海洋环境监测，同时对事故发生的原因、泄漏量、污染的程度以及采取的处理措施、处理效果等进行统计、建档，并及时上报有关主管部门。应急环境监测计划见表 11.2-7。

表 11.2-7　　应急环境监测计划表

环境要素	监测项目	监测点位	监测频次	监测单位
海水水质	pH、石油类、悬浮物、COD	风险事故发生点覆盖区及海洋环境敏感点	事故期间根据具体情况及要求取样监测；事故之后定期监测，直至水体环境恢复正常	委托有资质的环境监测部门

注：本计划仅作原则性参考，具体监测项目、站位分布及监测要求视风险事故类型、规模进行调整。

11.3 环境影响评价制度与排污许可制度的衔接

本项目为海上风电项目，属于《固定污染源排污许可分类管理名录（2019 年版）》中的“五十、其他行业”，属于实施登记管理的行业，不需要申请取得排污许可证，应当在全国排污许可证管理信息平台填报排污登记表，登记基本信息、污染物排放去向、执行的污染物排放标准以及采取的污染防治措施等信息。

11.4 “三同时”验收一览表

根据《中华人民共和国生态环境法典》《建设项目环境保护管理条例》《关于发布〈建设项目竣工环境保护验收暂行办法〉的公告》（国环规环评〔2017〕4 号）等有关规定，自 2020 年 9 月 1 日起由企业自主全面开展建设项目竣工环境保护验收。

建设单位是建设项目竣工环境保护验收的责任主体，应当按照本办法规定的程序和标准，组织对配套建设的环境保护设施进行验收，编制验收报告，公开相关信息，接受社会监督。

表 11.4-1 “三同时”验收一览表

类别		项目	主要污染物	拟采取的对策措施	处理效果	验收标准
废水		海上升压站、高抗站生活污水	COD、氨氮、总氮、总磷	设置污水处理设备各 1 套	达标	《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定标准
		检修船舶生活污水	COD、氨氮、总氮、总磷	委托海事局认可的有资质单位接收处理	按要求处理	《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）
		检修船含油污水	石油类			
噪声		风机噪声	Leq（dBA）	加强风机保养，机舱内安装阻尼材料等	/	/
固体废物		船舶生活垃圾	生活垃圾	委托有资质单位接收	妥善处置	《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）
		危险废物	油渣、油垢、废油、废旧蓄电池	委托有资质单位接收	妥善处置	《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597-2023）
生态	环境监测	/	/	监测机构设置、人员配置、监测计划。	/	按要求实施
	生态保护修复	/	/	增殖放流	/	按要求实施
风险		风险防范设施和措施	/	升压站、高抗站建设事故油罐间。风险管理计划：工程设计中的风险防范措施；事故风险的环境保护应急计划，包括应急人力、物资配备、防范措施、应急处置等	/	按要求实施

12 环境影响评价结论

12.1 评价结论

12.1.1 项目概况

本项目位于山东省东北部海域，场址离岸最近距离约 57.8km，场址中心（升压站）离岸约 59km，水深约 55~59m。项目规划装机容量为 1106MW，拟布置 79 台 14MW 的风电机组，建设 1 座 500kV 海上升压站、1 座 500kV 高抗平台，风电机组发出电能通过 66kV 海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 500kV 海底电缆接至海缆登陆点，登陆点位于威海市环翠区黄石圈附近海域。66KV 海底电缆长度约为 195.5km，500kV 海底电缆长度约为 2×78.5km，海缆总长约 352.5km。项目年理论发电量 528122 万 kW·h，预计项目年上网电量为 352607 万 kW·h，年等效满负荷小时数为 3188h，容量系数 0.364。

本项目总用海面积为 1044.1355hm^2，用海类型一级类为工业用海，二级类为电力工业用海。其中，风机用海面积为 452.2110hm^2，海上升压站用海面积为 0.5773hm^2，高抗站用海面积为 0.4158hm^2，风机、升压站、高抗站用海方式一级方式为构筑物，二级方式为透水构筑物；海底电缆用海面积 590.9314hm^2，用海方式一级方式为其他方式，二级方式为海底电缆管道。

项目总投资 1159942 万元，环保投资约 5249.0 万元，约占工程总投资 0.45%。工程工期 18 个月。

12.1.2 环境质量现状

12.1.2.1 海水水质现状

2024 年秋季 1~23 号站位海水水质满足一类标准要求，24~29 号站位海水水质满足所在功能区二类标准要求，30 号站位海水水质中无机氮和活性磷酸盐因子超所在功能区二类标准，其他监测因子均满足二类标准要求，30 号站位海水无机氮最大超标倍数为 3.967，活性磷酸盐最大超标倍数为 0.267；2025 年秋季 1~23 号站位海水水质中硫化物满足一类标准要求，24~33 号站位海水水质中硫化物满足所在功能区二类标准要求。

2025 年春季监测海域全部站位各监测指标全部符合《海水水质标准》（GB3097-1997）中的一类标准。2026 年春季 1~23 号站位海水水质中硫化物满足一类标准要求，24~33 号站位海水水质中硫化物满足所在功能区二类标准要求。

12.1.2.2 沉积物质量现状

2024 年 10 月监测海域海洋沉积物环境质量较好，各监测站位评价项目全部符合《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）中的一类标准。2026 年春季潮间带沉积物各项调查因子均符合《海洋沉积物质量》（GB 18668-2002）一类标准要求。

12.1.2.3 海洋生态调查结果

①叶绿素 a

2024 年 10 月监测海域表层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.347μg/L～2.82μg/L，平均值为 0.737μg/L，10m 层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.347μg/L～2.10μg/L，平均值为 0.668μg/L，50m 层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.340μg/L～0.983μg/L，平均值为 0.543μg/L，底层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.407μg/L～2.16μg/L，平均值为 0.678μg/L，其中仅 1 号站位有 45m 层，叶绿素 a 含量为 0.450μg/L，6 和 15 号站位有 47m 层，叶绿素 a 含量分别为 0.510μg/L 和 0.407μg/L。

2025 春季监测结果表明，表层海水叶绿素 a 含量变化范围为 2.02μg/L～4.17μg/L，平均值为 3.05μg/L；10m 海水叶绿素 a 含量变化范围为 1.20μg/L～2.46μg/L，平均值为 1.98μg/L；50m 海水叶绿素 a 含量变化范围为 1.33μg/L～2.34μg/L，平均值为 1.80μg/L；底层海水叶绿素 a 含量变化范围为 0.66μg/L～2.46μg/L，平均值为 1.65μg/L。

②浮游植物

2024 年秋季调查海域内共鉴定出浮游植物 46 种，其中，硅藻门 40 种，甲藻门 6 种；浮游植物密度变化范围为 1.97×10^4 个/m^3~21.93×10^4 个/m^3，平均值为 10.23×10^4 个/m^3。

2025 年春季调查海域内共鉴定出浮游植物 43 种，其中，硅藻门 38 种，甲藻门 5 种；浮游植物密度变化范围为 9.8×10^2 个/m^3~3.1×10^6 个/m^3，平均值为 3.0×10^5 个/m^3。

③浮游动物

2024 年秋季调查海域共鉴定浮游动物 46 种，桡足类共 14 种，浮游幼虫共 13 种，水母类共 7 种，被囊类共 4 种，枝角类和毛颚类均为 4 种，端足类、莹虾类、磷虾类、腹足类均为 1 种；浮游动物密度变化范围为 29.08 个/m^3~1482.53 个/m^3，平均值为 501.37 个/m^3，生物量变化范围为 8.47mg/m^3~876.69mg/m^3，平均值为 296.88mg/m^3。

2025 年春季调查海域共鉴定浮游动物 36 种，桡足类和浮游幼体种类均为 9 种，水母类共 7 种，毛颚类、磷虾类、糠虾类均为 2 种，端足类、枝角类、被囊类、仔稚鱼、鱼卵均为 1 种；浮游动物密度变化范围为 7.6 个/m^3~2866.4 个/m^3，平均值为 966.8 个/m^3，生物量变化范围为 40.2mg/m^3~1.33×10^4mg/m^3，平均值为 958mg/m^3。

④底栖生物

2024 年秋季调查海域共鉴定出底栖生物 57 种，其中多毛类种类共 27 种，甲壳类共 14 种，软体动物共 13 种，棘皮动物、扁形动物、纽形动物均为 1 种；大型底栖生物密度变化范围为 130.00 个/m^2~680.00 个/m^2，平均值为 387.00 个/m^2，生物量变化范围为 2.12g/m^2~220.09g/m^2，平均值为 39.21g/m^2。

2025 年春季调查海域共鉴定出底栖生物 80 种，其中，刺环节动物种类共 32 种，软体动物共 22 种，节肢动物共 21 种，刺胞动物、棘皮动物均为 2 种，纽形动物共 1 种；大型底栖生物密度变化范围为 20.0 个/m^2~2740.0 个/m^2，平均值为 739.5 个/m^2，生物量变化范围为 1.56 g/m^2~126g/m^2，平均值为 31.7g/m^2。

⑤潮间带生物

2024 年秋季潮间带调查共鉴定出潮间带生物 81 种。其中，软体动物种类共 35 种，多毛类共 25 种，甲壳类共 16 种，腔肠动物共 2 种，扁形动物、纽形动物、鱼类均为 1 种；潮间带生物密度变化范围为 128.00 个/m^2~4492.00 个/m^2，平均值为 1053.78 个/m^2，生物量变化范围为 53.69g/m^2~1377.53g/m^2，平均值为 331.28g/m^2。

2025 年春季潮间带调查共鉴定出底栖生物 63 种，其中，软体动物种类共 24 种，多毛类共 20 种，甲壳类共 14 种，腔肠动物共 2 种，扁形动物、纽形动物、鱼类均为 1 种；潮间带生物密度变化范围为 1740.0 个/m^2~8080.0 个/m^2，平均值为 4401.3 个/m^2，生物量变化范围为 568 g/m^2~1.64×10^3g/m^2，平均值为 1.26×10^3g/m^2。

12.1.2.4 渔业资源调查结果

2024 年秋季调查共采获鱼卵 5 种，仔稚鱼 1 种；所获渔业资源种类 43 种，其中，鱼类 25 种，虾类 7 种，蟹类 7 种，头足类 4 种。

2025 年春季调查共捕鱼卵 1 种，仔稚鱼出现 1 种；所获渔业资源种类 45 种，其中，鱼类 26 种，虾类共 7 种，蟹类共 8 种，头足类共 4 种。

12.1.2.5 生物体质量调查结果

2024 年 10 月评价结果表明，监测海域各站位软体动物（非双壳类）、甲壳类和鱼类生物体质量中的铜、锌、镉、铅、汞含量全部符合《环境影响评价技术导则海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 表 C.1 中的标准，软体动物（非双壳类）、甲壳类和鱼类生物体质量中的砷的含量超标，最大超标倍数为 4.93，超标率为 85.6%。该调查海域生物质量状况良好。2025 年 11 月双壳贝类调查评价结果表明，环境功能区内砷超标率为 28.6%，最大超标倍数为 0.3 倍，超标站位均位于近岸海域，其余各调查站位各调查

因子均能满足《海洋生物质量标准》（GB18421-2001）一类标准。

2025 年春季评价结果显示，监测海域各站位软体动物（非双壳类）、甲壳类和鱼类生物体质量中的铜、锌、镉、铅、汞含量全部符合《环境影响评价技术导则海洋生态环境》（HJ 1409-2025）附录 C 表 C.1 中的标准，软体动物（非双壳类）、甲壳类和鱼类生物体质量中的砷的含量超标，最大超标倍数为 5.20，超标率为 90.0%。该调查海域生物质量状况良好。2026 年春季双壳贝类调查评价结果表明，环境功能区内砷超标率为 57.1%，最大超标倍数为 1.6 倍，超标站位均位于近岸海域；环境功能区外双壳贝类站位 4、6、9、12、14、15、16、19、21、23 等站位满足一类标准要求，站位 1、2、7、18 等站位满足二类标准要求；其余各调查站位各调查因子均能满足《海洋生物质量标准》（GB18421-2001）一类标准。

12.1.2.6 声环境质量现状

1）水上噪声环境调查

工程海域夏季海面上环境噪声等效噪声级（A 计权）主要分布在 63.3~72.7dB 之间，平均值为 69.7dB；最大声级（A 计权）的算术平均值为 88.8dB。

工程海域秋季海面上环境噪声等效噪声级（A 计权）主要分布在 42~59dB 之间，平均值为 50dB；最大声级（A 计权）的算术平均值为 71.3dB。

2）水下噪声环境调查

工程海域夏季水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 135dB，噪声谱级的总动态变化范围是 94.7dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 50.0dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 109.8dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 86.5dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 81.2dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 60.0dB 以下。

工程海域秋季水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20Hz~20kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 133dB，噪声谱级的总动态变化范围是 94dB，而在特定频率（如 100Hz）的噪声功率谱级的动态变化范围为 43dB。总体上，在 100Hz 以上的频率的噪声谱级在 109dB 以下；500Hz 以上频率的噪声谱级均在 87dB 以下；1kHz 以上频率的噪声谱级在 81dB 以下；而在 5kHz 以上频率，噪声谱级在 66dB 以下。

12.1.2.7 鸟类及栖息地现状调查与评价

（1）鸟类整体概况

现场调查过程中，在项目评价海域及项目南侧海岸区域仅记录到鸟类 53 种，但综合文献资料后，区域内的鸟类种类数为 220 种。按居留型划分，其中留鸟 39 种，占比 17.7%；夏候鸟 54 种，占比 24.6%；冬候鸟 61 种，占比 27.7%；旅鸟 140 种，占比 63.6%。按生态类群划分，其中游禽 49 种，占比 22.3%；涉禽 54 种，占比 24.5%；猛禽 21 种，占比 9.5%；攀禽 9 种，占比 4.1%；陆禽 5 种，占比 2.3%；鸣禽 82 种，占比 37.3%。

国家一级重点保护鸟类有 6 种，分别为青头潜鸭、东方白鹳、黑脸琵鹭、黄嘴白鹭、黑嘴鸥和遗鸥，其中现场调查记录到 1 种、为黄嘴白鹭。国家二级重点保护鸟类有 41 种，其中现场记录到 6 种，分别为白腰杓鹬、大杓鹬、翻石鹬、雀鹰、黑鸢和红隼。

（2）风电场区鸟类

现场调查中，在风电场区仅记录到黑尾鸥活动，春季、夏季和秋季均有记录，其中春季记录到 27 只，夏季记录到 125 只，秋季记录到 12 只。另外，在秋季调查时记录到一队迁徙的雁鸭类，但因距离较远，无法精确到种。未记录到国家重点保护鸟类和省级重点保护鸟类。

根据各文献中的鸟类迁徙卫星追踪数据，迁徙过程中会经过风电场所在海域及周边海域的有大天鹅、小天鹅、鸿雁、灰雁、豆雁、白额雁、赤颈鸭、绿翅鸭、罗纹鸭、白眉鸭、花脸鸭、黄嘴白鹭、白琵鹭、黑脸琵鹭、蛎鹬、中杓鹬、大杓鹬、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、凤头蜂鹰、燕隼和游隼等。

上述鸟类中，国家一级重点保护鸟类有黑脸琵鹭和黄嘴白鹭；国家二级重点保护鸟类有大天鹅、小天鹅、鸿雁、白额雁、花脸鸭、大杓鹬、凤头蜂鹰、燕隼和游隼；省级重点保护鸟类有灰雁、赤颈鸭、蛎鹬和中杓鹬。

（3）南侧海岸陆地区域鸟类

风电场区南侧海岸陆地生境中记录到的鸟类与本地区鸟类组成一致，记录到 53 种鸟类。其中：1）春季记录到 39 种，共计 3055 只。香农威纳指数为 1.817，优势种为黑尾鸥、红嘴鸥和麻雀，占比分别为 46.46%、20.79%和 12.59%。2）夏季记录到 40 种，共计 2168 只。香农威纳指数为 1.712，优势种为黑尾鸥、麻雀和家燕，占比分别为 45.24%、17.82%和 12.35%。3）秋季记录到 33 种，共计 1548 只。香农威纳指数为 2.874，优势种为麻雀、红嘴鸥、家燕、普通鸬鹚和黑尾鸥，占比分别为 16.23%、13.36%、11.07%、10.36%和 8.32%。4）冬季记录到 24 种，共计 1525 只。香农威纳指数为 2.231，优势种为黑尾鸥、麻雀、普通鸬鹚和喜鹊，占比分别为 45.92%、16.01%、12.81%和 8.42%。

综合天鹅湖国家级自然保护区以及本区域的文献资料后，南岸陆地区域内记录的鸟

类种类数为220种。国家一级重点保护鸟类有6种，国家二级重点保护鸟类有41种。

（4）路由沿线海域鸟类

在本项目中，海缆路由主要可能在施工期对潜在的觅食鸟类有所影响或者夜间灯光对迁徙鸟类有所吸引，但随着施工结束其直接影响也将会消失，在调查过程中，我们重点关注了可能会在沿线觅食的鸟类。另外，因距离陆地距离存在显著差异，近场区附近的路由所在海域及遇到的鸟类非常少，只有零星的黑尾鸥个体，且少于项目所在海域的个体数，在此不做定量分析。

在登陆点附近海域，鸟类数量和种类数相对较多，且与登陆点处的鸟类在种类组成上基本一致。越靠近海岸线，鸟类数量越多，以黑尾鸥为主，繁殖季节，在登陆点所在区域以及西侧的奔腾码头附近，活跃的黑尾鸥数量均在上百只以上。另有少量白鹭等偶尔在停泊的渔船边休息。因该区域人为干扰较大，未发现黄嘴白鹭等国家重点保护鸟类在此停歇或觅食。

（5）迁徙路线

经查阅相关文献，在220种鸟类中，有37种鸟类已有发表的卫星追踪数据，绝大多数会横跨渤海湾或者山东半岛北部的黄海海域，其中部分种类的部分个体的路线经过项目所在海域或周边海域。综合各文献中的迁徙路线数据，迁徙过程中会经过风电场所在海域及周边海域的有大天鹅、小天鹅、鸿雁、灰雁、豆雁、白额雁、赤颈鸭、绿翅鸭、罗纹鸭、白眉鸭、花脸鸭、黄嘴白鹭、白琵鹭、黑脸琵鹭、蛎鹬、中杓鹬、大杓鹬、黑尾鸥、西伯利亚银鸥、凤头蜂鹰等。

12.1.2.8 电磁环境现状调查与评价

2025年8月调查站位的电场强度在0.04~0.06（V/m）之间，磁感应强度在0.0040~0.0051（μT）之间。2024年10月调查站位的电场强度在0.03~0.07（V/m）之间，磁感应强度在0.0028~0.0041（μT）之间。项目周边电磁站位的电磁强度和磁感应强度均远低于《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中工频电场强度≤4kV/m，工频磁感应强度≤100μT。

12.1.2.9 环境空气质量现状

根据《威海市2024年生态环境质量公报》，威海市2024年空气质量满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准，项目所在区域属于达标区。

12.1.3 污染物排放情况

1、施工期

（1）水污染物

施工期船舶生活污水产生量约为13.18t/d，船舶含油污水产生量约为64.17t/d，均收集后送至有资质单位处理。桩基施工产生悬浮泥沙源强为 0.025kg/s、0.033kg/s、0.027kg/s，海缆铺设施工产生悬浮泥沙源强为12.7kg/s、2.7kg/s。

（2）大气污染物

施工期大气污染物主要为施工船舶、机械废气，主要污染物为二氧化硫、氮氧化物和一氧化碳，由于产生量较少，且施工区域为开阔区域，对环境影响较小。

（3）噪声

风机基础施工中各种船舶的叠加噪声级为172dB，深浅海区电缆敷设船的叠加噪声级为167dB；打桩水下噪声源强预计为242dBre1μPa@1m。

（4）固体废物

生活垃圾产生量约300kg/d，委托有资质单位处理。

2、运营期

（1）水污染物

运营期海上升压站、高抗站采用无人值守，检修船舶生活污水产生量为 50.61t/a（1.05t/d），海上升压站、高抗站生活污水处理后达到《海洋石油勘探开发污染物排放浓度限值》（GB 4914-2008）规定二级标准（COD≤300mg/L）排放入海；检修船舶生活污水产生量为25.30t/a（1.05t/d），含油污水产生量为20.16t/a、石油类污染物产生量为221.76kg/a，均统一收集后送至有资质单位处理。

（2）大气污染物

海上风场运营期主要是风力发电，工艺过程无废气产生。

（3）噪声

本项目海上噪声主要来自风机和升压站、高抗站。风机运行噪声，在风机轮毂处的最大声功率级约为 114dB（A）。海上升压站、高抗站采用低噪声变压器，变压器满负荷运行且散热器全开时，其外壳1.0m处的噪声级不大于70dB（A）。

运营期的水下噪声主要由风机运转而产生，不同风速（风速分别为6m/s和13m/s）运转下的风机在水下辐射噪声时，高风速 13m/s 时在低频段（63Hz 以下）风机所辐射的水下噪声与海洋环境背景噪声相当（即淹没在背景噪声中），在125Hz频点上风机在高风速（13m/s）比低风速（6m/s）下在水中辐射的水下噪声谱级高10dB/re1μPa左右，

但总体都不高，与海洋背景噪声相当。

（4）固体废物

巡检人员生活污垃圾年产生量为 1.728kg/a，海上升压站、高抗站变电设备运行过程产生废旧蓄电池产生量约 30kg/a，主变压器检修过程将产生油渣、油垢、废油等产生量为 60kg/a，风机日常维护产生少量含油抹布废物约为 80kg/a。均送有资质单位处理。

（5）电磁辐射及无线电干扰

风力发电场运行时会产生一定能量的电磁辐射，但其强度较低，且距离居民区较远，不会对居民身体健康产生危害。地下电缆剖面监测结果显示：在距离电缆剖面 50m 范围内，各监测点的工频电场强度为 4.01~6.04V/m，远小于 4kV/m 标准要求；各监测点的工频磁场强度为 1.05~62.43μT，远小于 0.1mT 标准要求。

12.1.4 主要环境影响

12.1.4.1 水动力环境影响预测与评价

本项目涉海工程主要有风机桩基与海底电缆工程，海底电缆埋设于海床，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，因此不对潮流动力产生影响，影响潮流主要是风机桩基。

在风机桩基附近，由于桩基的阻水作用，其迎流侧和背流侧均存在一定范围的流速减小区。桩基周围 50m 范围之内的流速变幅为 10～20cm/s，而该范围之外的流速变幅基本上不超过 10cm/s；而且背流侧的流速减小范围比迎流侧更大。同时，过水断面的减小造成桩基位置垂直流向两侧的流速则略有增大，增幅不足 10cm/s，并且相邻风机间的距离越远，其流速变化更小。从图中还可以看出北侧 N2 场址风机对本项目 N1 场址风机有一定程度的影响，但影响较小，最大流速影响不超过 0.05m/s。由预测结果可知，工程建设对所在海域潮流动力环境的影响有限，主要集中在场区内风机桩基附近水域，工程建设对周边水动力环境影响较小。

12.1.4.2 地形地貌环境影响预测与评价

工程建成后，桩柱周围平行主流向方向 100m 范围内淤积量在 0.02m～0.06m/a 之间，垂直主流向方向 100m 范围内淤积量在 0.02m～0.16m/a 之间，冲淤幅度大于 0.10m/a 范围不超过桩基周围 100 米。各桩基之间叠加影响来看，风电场区域北侧有一定冲刷、最大冲刷量约为 0.08m/a，风电场区内部多为淤积状态、最大淤积量约为 0.16m/a。工程的建设对工程周边海域的海底冲淤环境的影响主要集中在风电桩基占用及邻近海域，且变

化较小，对工程周边其他海域影响较小。

桩基局部冲刷最大深度为 4.22m，影响范围为桩基周围 14.85m，采用预留冲刷深度的防冲刷措施。

12.1.4.3 水环境影响预测与评价

施工期间悬浮泥沙主要在底层扩散，施工搅动产生的悬浮泥沙增量>10mg/L（超 I、II 类海水水质）、>20mg/L、>50mg/L、>100mg/L（超 III 类海水水质）、>150mg/L（超 IV 类海水水质）以上的海域面积最大值分别为 333.9098km^2、239.1167km^2、138.9479km^2、88.2282km^2、62.3148km^2；施工搅动产生 10mg/L 浓度悬浮泥沙最大可能扩散距离约为 1.7km。

根据数值模拟结果，本工程施工期所产生悬浮泥沙对海洋环境的影响主要位于施工区 1.7km 范围内，对距离施工区 1.7km 以外海域的影响较小。同时随着施工的结束，悬浮泥沙污染会很快消失，大约在 4 个小时以内沉降恢复到施工前浓度水平。

12.1.4.4 对沉积物环境的影响

工程对沉积物环境质量产生的影响主要是水工作业对底质环境的改变以及水工作业过程中产生的悬浮物沉降导致。根据悬浮泥沙对海水水质的影响预测结果，悬浮物的最远扩散距离为 1.7km 左右，说明工程海域悬浮物扩散影响较小，不会对沉积物环境造成明显影响。

项目所在海域的沉积物质量状况较好，工程施工过程中产生的悬浮物扩散和沉降后，沉积物的环境质量不会产生严重变化，仍将基本保持现有水平。

12.1.4.5 海域生态环境影响评价

本项目施工期对生态环境的影响主要表现在桩基基础建设造成生物直接死亡和生境破坏；施工过程中导致的悬浮泥沙扩散，造成水质下降，对生物生态造成不利影响。运营期对生态环境的影响主要表现在构筑物导致海域面积减少，永久性占用生物的栖息生境；工程建设使周边海域的水动力环境和地形地貌冲淤环境发生一定变化，进而影响生物生态环境。

工程建设对海洋生物资源的损害根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）进行评估。本工程共计造成浮游植物损失量 5.20×10^{14} 个，浮游动物损失量为 1622.72t，底栖生物损失量为 137.61t，鱼卵损失量为 7.29×10^{8} 粒，仔稚鱼损失量为 2.01×10^{8} 尾，游泳生物损失量 9.62t。工程建设造成的生物资源损害补偿金额

约为 3046.19 万元。

12.1.4.6 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。海上施工区周围无环境敏感点，各类施工机械、船舶产生的废气对大气环境影响较小。

12.1.4.7 声环境影响评价

风机基础打桩作业对渔业资源将产生一定的影响，主要体现于对游动鱼类的驱赶作用，由于施工期相对时间较短，风机打桩形成的噪声对渔业资源的影响在可接受范围之内。

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。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。海上风电场在营运期总体的噪声强度比较低，不会对海洋生物产生较大影响。

12.1.4.8 固体废物环境影响评价

工程施工活动无弃渣。施工生活垃圾产生量较少，且收集后由当地环卫部门统一清运，对周围环境影响很小。

运营期产生的废旧蓄电池、废油或含油棉纱等均属危险废物，定期运往陆上集控中心危废暂存间，统一委托有资质单位接收处置。运营期生活垃圾统一收集后送市政垃圾场处理。综上固体废物不会对周围环境产生影响。

12.1.4.9 电磁环境影响评价

本项目海上升压站、高抗站占地面积小，电磁影响范围有限，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。根据类比陆上电缆线路磁场分布可知，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 0.1mT，基本可以判定本项目产生的电磁对场址附近的海洋生物影响较小。

12.1.4.10 鸟类影响

施工期间，由于人类活动、交通运输工具与施工机械作业产生的噪声、灯光等会对鸟类产生一定的影响，风电场区距鸟类栖息和觅食地点较远，风机、海上升压站和高抗

站建设、集电海底电缆施工仅对该区域极少数鸥类的觅食会有影响，但总体非常小，对其他鸟类没有影响，施工期的影响是暂时、可逆的。

项目所在海域整体上位于“东亚—澳大利西亚”候鸟迁飞路线上，项目场址距离海岸很远，不是鸟类的繁殖地，也非迁徙停歇地和越冬地。根据已发表的相关文献，目前可以确定有部分鸟类在迁徙时会有个体有一定概率经过本风电场所在海域或周边海域，对鸟类迁徙有一定潜在的影响。此外，风力发电场可能也会提高区域内觅食的鸟类的撞击风险。

建议建设单位严格落实本报告中的各类防范措施，在设计阶段充分考虑潜在影响，并为后续监测做好配套规划。在建设期和营运期除尽可能降低对鸟类影响外，还要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。此外，对于国家重点保护鸟类，应建立完善的救助制度以及生态补偿制度。

综上所述，项目所在海域非鸟类的繁殖地，但有部分鸟类的部分个体在迁徙时会经过，也会有部分鸟类在此觅食。项目对迁徙经过的鸟类和觅食的鸟类具有潜在的影响，建设单位在严格执行相关环保法规制度的前提下严格落实本报告提出的保护措施，可有效降低这些影响。

12.1.4.11 环境敏感目标

项目周边环境敏感区主要集中于路由近岸区，主要包括周边的保护区、生态保护红线、养殖区、海岛；另外，项目评价范围涉及保护物种包括斑海豹和东亚江豚，其他保护目标包括蓝点马鲛和小黄鱼等鱼类的“三场一通道”。

（1）保护区和海岛影响

项目用海不会对周边海域的保护区、海岛等产生明显影响。

（2）生态保护红线影响

悬浮泥沙影响集中在海缆两侧 1.7km 范围内，项目施工 10mg/L 悬浮泥沙进入威海海西头砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线的面积为 33.98hm^2，悬浮物约在 4 个小时以内沉降恢复到施工前浓度水平，工程附近海域不存在典型海洋生态系统以及珍稀濒危动植物物种，施工期悬浮泥沙随施工结束而影响消失，海底电缆的敷设对附近海域的水动力和冲淤环境基本无影响。总体来看，项目建设对生态保护红线影响较小，可以接受。

根据悬浮泥沙预测结果，10mg/L 悬浮泥沙不会扩散至其他生态保护红线，基本不会对其他生态保护红线造成影响。

（3）海洋空间和砂质岸线影响

项目占用海洋空间资源很少，对海洋空间资源影响小。

（4）主要经济鱼类的“三场一通”影响

项目风场区位于蓝点马鲛索饵场和产卵场的边缘，500kV 海缆穿越蓝点马鲛洄游路线、产卵场和索饵场；项目风场区位于小黄鱼洄游路线的边缘，500kV 海缆穿越小黄鱼洄游路线；项目风电场位于带鱼的洄游路线，500kV 海缆穿越带鱼洄游路线和产卵场的边缘；项目风场区位于银鲳洄游路线，500kV 海缆穿越银鲳洄游路线；项目风场区不占用中国明对虾的“三场一通”，500kV 海缆穿越中国明对虾的洄游路线。

施工期通过合理安排工期和施工顺序，海缆施工及风电场区桩基施工均避让蓝点马鲛、带鱼集中产卵盛期（5 月中旬-6 月中旬），桩基施工采取“软启动”和设置气泡帷幕等方式减少噪声影响，项目施工对蓝点马鲛等主要经济鱼类“三场一通道”的影响较小；项目运营期对鱼类的三场一通道几乎无不利影响。综上，在项目采取有效措施的前提下，项目建设对主要经济鱼类“三场一通道”的影响较小。

（5）斑海豹和东亚江豚等海洋哺乳动物的影响

项目风电场区不占用斑海豹的繁殖栖息地，距离最近的关键栖息地长山列岛区域大于 152km，距离较远；根据《庙岛群岛海豹省级自然保护区总体规划》斑海豹迁徙路线，本项目风电场区可能位于斑海豹迁徙路线的边缘区域，项目 500kV 海缆中部穿越斑海豹迁徙路线；根据《斑海豹小种群报告》，本项目 500kV 海缆近岸段穿越斑海豹的适宜栖息地（低适生区），中部穿越“3”号迁徙路线（山东半岛至长江口方向）。项目桩基基础施工过程中打桩作业产生的脉冲式高强度噪声（峰值可达 180dB 以上）可能造成斑海豹短时听力损伤（TTS 或 PTS）、行为回避（逃离栖息地或迁徙路径中断）等。

项目风电场区仅位于少数鱼类的索饵场和洄游通道，如蓝点马鲛、带鱼、银鲳等，东亚江豚从风电场区内迁徙的群体密度相对不大；迁徙的部分江豚若从场区经过，施工活动和施工噪声会直接干扰迁徙经过的东亚江豚。

项目区不是斑海豹和东亚江豚等海洋哺乳动物的繁殖、栖息地，项目建设不会对斑海豹和东亚江豚等海洋哺乳动物的繁殖、栖息产生不利影响；在采取相关措施的前提下，不会明显干扰斑海豹和东亚江豚的迁徙和觅食活动。

（6）养殖区影响

项目用海占用、悬沙影响等涉及的利益相关者包括养殖用海项目共计 63 宗，涉及 17 个利益相关单位或个人；对于项目用海占用养殖区退让海缆确权范围与养殖区确权范围的重叠区域，悬沙影响的拟进行经济补偿，项目对养殖区的影响可以接受。

12.1.5 环境风险评价

项目涉及的主要危险物质为油类物质，存在的风险为施工期和运营期船舶碰撞溢油事故、海上升压站、高抗站变压器油泄漏。选取 500kV 登陆海缆近岸段附近海域（登陆海缆与习惯性航路交界位置），升压站位置 2 个代表性溢油点预测事故溢油情形，500kV 线缆铺缆船处溢油量取 22 吨、升压站处驳船溢油量取 180 吨。预测结果表明，SE 风况下（冬季主导风向）高潮和低潮期发生溢油时，油膜最快 5 小时后扩散至威海荣成砂质海岸海岸防护物理防护极重要区生态保护红线，最快 10 小时抵岸。

施工过程中应对船舶进行严格管理和调度，运营期项目海上升压站、高抗站均新建海上事故油罐 1 座，检修船舶自备收油机、围油栏等应急设施，同时制定详细的应急预案。

在严格落实各项事故风险防范措施和应急预案情况下，本项目运行过程中的环境风险可以防控。

12.1.6 公众意见情况

本报告编制过程中按照《环境影响评价公众参与办法》（生态环境部令 第 4 号），进行了公示，公示期间对报告书进行了全本公示，保障了公众关于项目环境保护的知情权、参与权、表达权和监督权，项目公示期间建设单位未收到公众反馈意见。

12.1.7 环境影响可行性结论

项目建设符合国家产业政策，符合《山东省国土空间规划（2021—2035 年）》《威海市国土空间总体规划（2021-2035 年）》《山东海上风电发展规划（2021—2030 年）》，符合生态环境分区管控要求，不占用“三区三线”中的生态保护红线。

项目社会效益显著。在全面加强环保管理、执行环保“三同时”制度和认真落实各项环保对策和措施的前提下，从环境保护的角度，项目建设是可行的。

12.2 建议

（1）在工程施工前，建设单位应认真设计科学的施工工艺，使工程完全在已批准的海域使用范围内进行，确保本项目施工的科学性、合理性。

（2）工程施工期间应加强环保管理工作，加强海洋环境跟踪监测工作，避免危及

周边海域。

（3）如遇到大风大浪天气，应停止作业，以尽可能减轻施工作业所引起的附近水域悬浮物浓度增量，减少对海洋生物资源和毗邻海洋功能区的影响；海上施工尽量避开水生生物主要产卵期，以减少对海洋生物的影响。

（4）工程在建设前，开展专题研究，制作施工期和运营期鸟类、哺乳动物的跟踪监测方案。

（5）工程施工期、运营期开展鸟类、海洋哺乳动物的专题研究，形成研究报告，总结工程建设对鸟类、海洋哺乳动物的影响，根据影响情况优化调整风电的运行调度。

（6）为系统评估风电场建设对局地气候的综合效应，为科学规划风电场布局、推动风能资源可持续开发提供可靠依据，建议建设单位在风场区域内建设一座长期气象观测站。该观测站可依托海上换流站进行布设，配置高精度传感器，实现对温度、湿度、气压、风速风向等关键气象要素的实时监测。采集的数据经现场预处理后，回传至岸上数据平台。整合威海、烟台气象站观测数据以及风力发电机组运行实时风数据，构建多源异构数据体系。选用中尺度天气预报模式（WRF），通过构建高分辨率数值模型，系统分析风电场建设前后、场内场外的气象要素变化特征，探索风电场建设运行对局地气候的影响机制。

（7）项目建设期及运营期应加强与周边用海项目的协调，尽量减少对周边项目的影响，避免由于机械及人员调度不当产生纠纷。

附表

附表1　建设项目海洋生态环境影响评价自查表

<table>
<tr><td colspan="2">工作内容</td><td colspan="4">自查项目</td></tr>
<tr><td rowspan="3">影响
识别</td><td>影响类型</td><td colspan="4">直接向海洋排放废水□；短期内产生大量悬浮物☑；改变入海河口（湾口）宽度束窄比例□；直接占用海域面积☑；线性水工构筑物□；投放固体物□</td></tr>
<tr><td>生态敏感区</td><td colspan="4">生态敏感区（保护区、生态保护红线）、相对位置（保护区最近 1.54km、生态保护红线最近 40km）</td></tr>
<tr><td>影响因子</td><td colspan="4">海水水质☑；沉积物☑；海洋生态☑；环境风险☑</td></tr>
<tr><td colspan="2">评价等级</td><td colspan="4">一级☑；二级□；三级□</td></tr>
<tr><td colspan="2">评价范围</td><td colspan="4">主流向（15）km，垂直主流向（15）km；管缆类（5）km</td></tr>
<tr><td colspan="2">评价时期</td><td colspan="4">春季☑；　夏季□；　秋季☑；　冬季□；</td></tr>
<tr><td colspan="6">现状调查及评价</td></tr>
<tr><td rowspan="7">海水水质</td><td rowspan="2">区域污染源</td><td>调查项目</td><td colspan="3">数据来源</td></tr>
<tr><td>已建□；在建□；
拟建□；其他□；</td><td colspan="3">环评□；环保验收□；既有实测□；现场监测□；入海排污口数据□；其他□</td></tr>
<tr><td colspan="2">调查时期</td><td colspan="2">调查因子</td><td>调查断面或点位</td></tr>
<tr><td colspan="2">春季☑；　夏季□；　秋季☑；　冬季□；</td><td colspan="2">（水温、盐度、pH、悬浮物（SS）、溶解氧（DO）、化学需氧量（COD）、生化需氧量（BOD5）、石油类、无机氮、氨（以 N 计）、硝酸盐（以 N 计）、亚硝酸盐（以 N 计）、活性磷酸盐（以 P 计）、重金属（铬、铜、锌、镉、铅、砷、汞）、挥发性酚、硫化物）</td><td>春季（43）个
秋季（33）个</td></tr>
<tr><td>评价因子</td><td colspan="4">（pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮（氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐）、活性磷酸盐、石油类、铬、铜、锌、镉、铅、汞、砷、硫化物、挥发酚）</td></tr>
<tr><td>评价标准</td><td colspan="4">第一类☑；第二类☑；第三类☑；第四类☑</td></tr>
<tr><td>评价结论</td><td colspan="4">近岸海域环境功能区水质达标状况：达标□；不达标☑ 超标因子（无机氮、活性磷酸盐）
功能区外海域环境质量现状：符合第（一）类</td></tr>
<tr><td rowspan="4">海洋沉积物</td><td>调查站位</td><td colspan="4">（20）个</td></tr>
<tr><td>调查因子</td><td colspan="4">（有机碳、石油类、硫化物、铬、铜、锌、砷、镉、铅、汞）</td></tr>
<tr><td>评价标准</td><td colspan="4">第一类☑；第二类☑；第三类☑</td></tr>
<tr><td>评价结论</td><td colspan="4">符合第（一）类，超标因子（）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">海洋生态</td><td>调查断面或点位</td><td colspan="4">春季（海洋生物生态 26、潮间带 3）个，秋季（海洋生物生态 18、潮间带 3）个</td></tr>
<tr><td>调查因子</td><td colspan="4">（叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带底栖生物）</td></tr>
<tr><td>评价标准</td><td colspan="4">第一类□；第二类□；第三类□；附录 A☑</td></tr>
<tr><td>评价结论</td><td colspan="4">符合第（）类，超标因子（）</td></tr>
<tr><td colspan="6">影响预测及评价</td></tr>
<tr><td rowspan="4">海水水质影响预测与评价</td><td>预测时期</td><td colspan="4">春季□；　夏季□；　秋季□；　冬季□；</td></tr>
<tr><td>预测情景</td><td colspan="4">建设期☑；生产运行期□；服务期满后□</td></tr>
<tr><td>预测方法</td><td colspan="4">数值模拟☑；　类比分析□；　近似估算□；物理模型□；　其他□</td></tr>
<tr><td>影响评价</td><td colspan="4">污染控制措施及入海排污口排放浓度限值应满足国家和地方排放标准□；
达标区的建设项目，选择废水处理措施或方案应满足行业污染防治可行技术指南的要求，环境影响可接受□；
不达标区的建设项目，在选择废水处理措施或方案时，应满足海域环境质量达标规划和污染物削减替代要求、海域环境改善目标要求及行业污染防治可行技术指南中污染防治先进技术要求，确保废水污染物达到最低排放强度和浓度，且环境影响可接受□；
新设或调整入海排污口的建设项目，入海排污口位置、排放方式、排放规模具有环境合理性□；
对海水水质产生重大不利影响□。</td></tr>
<tr><td rowspan="2">海洋沉积物影响评价</td><td>评价方法</td><td colspan="4">定量预测□；半定量分析□；定性分析☑；其他□</td></tr>
<tr><td>影响评价</td><td colspan="4">海洋沉积物质量的影响范围、影响程度可接受□；
海洋沉积物对海洋生态环境敏感区和海洋生态环境保护目标的影响可接受☑。</td></tr>
<tr><td>海洋生态影响</td><td>预测方法</td><td colspan="4">类比分析法□；图形叠置法□；生态机理分析法□；海洋生物资源影响评价法☑；其他□</td></tr>
</table>

预测与评价	影响评价	造成的生物资源损失量可接受☑; 对评价海域生物多样性的影响可接受□; 对重要水生生物“三场一通道”、水产种质资源保护区的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受□; 对珍稀濒危海洋生物种群和数量的影响，以及对其生境的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受□; 对重要湿地、特殊生境（红树林、珊瑚礁、海草床、海藻场）等的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受□; 对自然保护地、生态保护红线的占用、损害、阻隔和干扰等影响可接受□; 造成的冲淤变化对岸滩长度、宽度、生态功能和景观等影响可接受□; 产生重大的海洋生态和生物资源损害，造成或加剧区域的重大生态环境问题，存在不可承受的损害或潜在损害□。			
环境风险					
危险物质	名称	油类物质			
	存在总量	1340t			
物质及工艺系统危险性	Q 值	Q＜1□;1≤Q＜10□;10≤Q＜100☑; Q≥100□			
	M 值	M1□; M2□; M3□; M4☑			
	P 值	P1□; P2□; P3□; P4☑			
环境敏感程度	E1☑; E2□; E3□				
环境风险潜势	IV^{+}□；IV□；III☑；II□；I□				
评价等级	一级□；二级☑；三级□；简单分析□				
风险识别	物质危险性	有毒有害☑； 易燃易爆□			
	环境风险类型	泄漏☑； 火灾爆炸引起的伴生/次生污染物排放□			
事故情形分析	源强设定方法	计算法□； 估算法□； 其他☑			
	预测模型	溢油粒子模型☑；污染物扩散的数值模拟□			
风险预测与评价	最近敏感目标（0.040）km，抵达时间（0）h				
重点风险防范措施	配备必要的导助航等安全保障设施、加强航道内交通秩序管理、船舶交通管理系统（VTS），区域联动和配备溢油应急设备。				
评价结论	制定风险防范措施、应急预案以及应急监测方案，配备一定的溢油应急设施，可将事故风险概率和影响程度降至最低，提出的建设项目的环境风险防范措施有效。通过采取有效的预防措施和制定完善的应急救援预案，本项目的环境风险是可以防控的。				
主要污染物排放总量核算	污染物名称	排放量（t/a）	排放浓度（mg/L）		
	CODcr	0.01518	300		
	氨氮	0.00248	48.9		
	总氮	0.00369	72.8		
	总磷	0.00022	4.3		
污染物削减替代	污染物名称	削减量	来源		
污染防治和生态修复措施	污水处理设施□；生态修复措施☑；区域削减□；依托其他工程措施☑；其他□				
监测计划	内容	环境质量	污染源		
	监测方式	手动☑；自动□；无监测□	手动□；自动□；无监测□		
	监测点位	水质 20 个、沉积物 10 个、海洋生态和渔业资源 12 个、海洋生物质量 3 个			
	监测因子	水质：水温、盐度、PH、悬浮物、COD、BOD5、DO、无机氮、活性磷酸盐、石油类和重金属（总汞、铜、铅、锌、铬、镉）、挥发性酚等；沉积物：粒度、有机碳、PH、石油类、硫化物、重金属（总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷）等；叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源、生物体质量等。			
	监测频次	施工期监测 1 次，在施工高峰年的春季或秋季实施；运营期每年代表性监测 1 季			
评价结论	可接受☑； 不可接受□。				

附录

附录 1　2024年10月浮游植物种类名录

附录 2　2024年10月浮游动物种类名录

附录 3　2024年10月底栖生物种类名录

附录 4　2024年10月潮间带生物种类名录

附录 5　2024年10月海草床调查大型底栖生物种名录

附录 6　2024年10月海草床调查鱼卵和仔、稚鱼种名录

附录 7　2024年10月海草床调查游泳动物种名录

附录 8　2025年春季监测海域浮游植物种名录

附录 9　2025年春季监测海域浮游动物种名录

附录 10　2025年春季监测海域大型底栖生物种名录

附录 11　2025年春季监测海域潮间带生物种名录

附录 12　2025年春季监测海域游泳动物种名录

附录 13　2025年春季监测海域海草床大型底栖生物种名录

附录 14　2025年春季监测海域海草床鱼卵和仔、稚鱼种名录

附录 15　2025年春季监测海域海草床游泳动物种名录

附件

附件 1　委托书

附件 2　核准文件（立项文件）

附件 3　威海市人民政府办公室《关于印发2024年重点项目安排方案的通知》

附件 4　华能山东公司关于调整半岛北海上风电基地K、L、N1场址坐标的请示

附件 5　关于支持华能山东公司半岛北海上风电基地K、L、N1场址有关工作的函

附件 6　CMA检测报告

附件 7　秋季渔业资源调查报告

附件 8　项目集控中心用地预审与选址意见书

附件 9　项目集控中心用地预审意见

附件 10　山东海上风电发展规划（2021-2030）通知

附件 11　项目对鸟类影响评价报告专家评审意见

附件 12　项目通航安全研究报告专家咨询意见

附件 13　利益相关者证明材料

附件 14　项目海底电缆路由技术审查会专家审查意见

附件 15　中海油探矿权证书

附件 16　电磁、噪声专家评审意见

附件 17　华能山东半岛北N1场址海上风电项目配套陆上运维中心及陆缆工程项目环评报告书批复

附件 18　高抗站通航安全专家意见

附件 19　威海市海洋发展局关于支持项目送出海缆廊道统筹利用的说明