

山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目

海域使用论证报告书

(公示稿)

海域海岛环境科技研究院（天津）有限公司

中国 天津

二〇二二年十一月



乙级测绘资质证书 (副本)

专业类别：乙级：工程测量、摄影测量与遥感、界线与不动产测绘。***

单位名称：海域海岛环境科技研究院有限公司

注册地址：天津市南开区鞍山西道中段北侧天津大学科技园内

法定代表人：高俊国

2301

乙测资字12501270

有效期至：2026年12月14日

2021年12月15日

发证机关 (印章)

2021年12月15日



No. 007271

中华人民共和国自然资源部监制

目 录

1 概述	1
1.1 论证工作由来	1
1.2 论证依据	2
1.2.1 法律法规及相关规划	2
1.2.2 技术标准和规范	5
1.2.3 项目基础资料	6
1.3 论证工作等级和范围	6
1.3.1 论证工作等级	6
1.3.2 论证范围	7
1.4 论证重点	8
1.4.1 论证重点筛选	8
1.4.2 论证重点确定	8
2 项目用海基本情况	10
2.1 项目用海建设内容	10
2.2 平面布置和主要结构、尺度	11
2.2.1 平面布置方案	11
2.2.2 风电场发电量估算	14
2.2.3 电气系统建设	14
2.2.4 工程主体结构、尺度及防护措施	16
2.2.5 工程消防	19
2.3 项目施工总布置及施工条件	20
2.3.1 总布置原则	20
2.3.2 施工条件	21
2.4 施工交通运输	22
2.4.1 场外交通运输方案	22
2.4.2 场内交通运输方案	23
2.5 工程主体施工工艺	23
2.5.1 风机基础施工	23
2.5.2 风机机组安装	25
2.5.3 220kV 海上升压站施工	26
2.5.4 海缆敷设	27
2.5.5 土石方平衡	32
2.5.6 施工总体布置	32
2.5.7 施工进度安排	32
2.5.8 主要施工机械设备	32
2.6 项目申请用海情况	32
2.6.1 项目用海类型及方式	32
2.6.2 项目申请用海面积	33
2.6.3 项目用海期限	33
2.6 项目用海必要性	33
2.6.1 项目建设必要性分析	33
2.6.2 项目用海必要性分析	34
3 项目所在海域情况	34
3.1 自然环境概况	34
3.1.1 气候与气象状况	34
3.1.2 水文条件	37

3.1.3 泥沙条件.....	39
3.1.4 工程地质地貌.....	40
3.1.5 风资源条件.....	41
3.1.6 地震.....	51
3.1.6 自然灾害.....	51
3.2 海洋环境质量现状.....	54
3.2.1 水文泥沙境现状调查与评价.....	54
3.2.2 海水水质环境现状调查与评价.....	56
3.2.3 海洋沉积物环境现状调查与评价.....	58
3.2.4 海洋生物质量现状调查与评价.....	59
3.3 海洋生态概况.....	61
3.3.2 秋季 () 海水水质环境现状调查与评价.....	61
3.4 渔业资源概况.....	65
3.4.2 秋季 () 海水水质环境现状调查与评价.....	65
3.5 鸟类生态环境现状调查与评价.....	70
3.6 电磁辐射环境现状调查与评价.....	70
3.7 自然资源概况.....	71
3.7.1 港口资源.....	71
3.7.2 渔业资源.....	72
3.7.3 旅游资源.....	72
3.7.4 海洋岸线.....	73
3.7.5 海岛资源.....	74
3.8 开发利用现状.....	74
3.8.1 社会经济概况.....	74
3.8.2 海域使用现状.....	75
3.8.3 海域使用权属现状.....	79
4 项目用海资源环境影响分析.....	82
4.1 水文动力环境影响预测与评价.....	82
4.1.1 水动力模型简介.....	82
4.1.2 计算域和网格设置.....	84
4.1.3 潮流潮位验证.....	88
4.1.4 潮流场数值模拟结果分析.....	90
4.2 海水水质环境影响预测与评价.....	92
4.2.1 预测模型.....	92
4.2.2 模拟参数设置.....	93
4.2.3 悬浮泥沙扩散对海水水质环境的影响分析.....	95
4.3 地形地貌和冲淤环境影响预测与评价.....	96
4.3.1 海岸带泥沙运动规律及影响冲淤变化的动力因素.....	96
4.3.2 冲淤变化预测分析.....	97
4.4 沉积物环境影响分析.....	103
4.5 水下噪声和电磁辐射对海洋生物的影响.....	104
4.5.1 水下噪声对海洋生物的影响.....	104
4.5.2 电磁辐射对海洋生物的影响.....	106
4.6 对鸟类及生境的影响分析.....	107
4.6.1 项目施工期对鸟类的影响分析.....	107
4.6.2 项目运营期对鸟类的影响分析.....	107
4.7 项目用海生态影响分析.....	110
4.7.1 对浮游生物的影响.....	110
4.7.2 对游泳生物的影响.....	111
4.7.3 对底栖生物的影响.....	112

4.8 项目用海资源影响分析	112
4.8.1 岸线资源、海域空间资源影响分析	112
4.8.2 海洋生物资源损失评估	113
4.9 项目用海风险分析	116
4.9.1 风险因子分析	116
4.9.2 溢油风险分析	117
4.9.3 自然灾害风险分析	127
5 海域开发利用协调分析	130
5.1 项目用海对海域开发活动的影响	130
5.1.1 项目建设对港口的影响	130
5.1.2 项目建设对锚地的影响	130
5.1.3 项目建设对航道的影响	130
5.1.4 项目建设对靶场的影响	131
5.1.5 项目建设对保护区的影响	131
5.1.6 项目建设对周边开发利用活动的影响	131
5.2 利益相关者界定	132
5.2.1 利益相关者界定原则	132
5.2.2 利益相关者界定及结果	132
5.2.3 利益相关协调分析	132
5.3 与相关部门协调分析	132
5.3.1 与秦皇岛市水利局的协调	132
5.3.2 与海事部门的协调	133
5.4 项目用海对国防安全和国家海洋权益的影响分析	133
6 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析	134
6.1 项目用海与海洋功能区划符合性分析	134
6.1.1 项目所在海洋功能区划	134
6.2 项目用海与相关规划符合性分析	134
6.2.1 与海洋主体功能区规划符合性分析	134
6.2.2 与海洋生态红线符合性分析	135
6.2.3 与《河北省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性分析	135
6.2.4 与《海上风电开发建设管理办法》符合性分析	137
6.2.5 与能源发展规划符合性分析	138
6.2.6 与产业政策符合性分析	141
6.2.7 与《秦皇岛港总体规划（2021-2035年）》（送审稿）（2022年9月）的符合性分析	144
7 项目用海合理性分析	146
7.1 用海选址合理性分析	146
7.1.1 区位与社会条件适宜性	146
7.1.2 自然条件适宜性	148
7.1.3 生态系统适宜性	149
7.1.4 项目用海与周边其他用海活动适宜性	149
7.1.5 用海选址比选分析	150
7.2 用海方式和平面布置合理性分析	151
7.2.1 用海方式合理性分析	151
7.2.2 项目用海平面布置合理性分析	152
7.3 用海面积合理性分析	155
7.3.1 项目用海需求分析	155
7.3.2 项目用海符合相关行业设计规范	156

7.3.3 项目用海面积量算合理性	156
7.3.4 用海面积减小的可能性	164
7.4 用海期限合理性分析	164
8 生态用海综合论证	165
8.1 产业准入和区域管控要求符合性	165
8.1.1 产业准入符合性分析	165
8.1.2 区域管控要求符合性分析	165
8.2 用海方式和平面布置优化合理性	166
8.3 污染物排放与控制	167
8.3.1 污染物排放标准	167
8.3.2 污染物控制	167
8.4 生态保护措施	169
8.4.1 施工期生态保护措施	169
8.4.2 营运期生态保护措施	170
8.5 生态环境监测计划	173
8.5.1 环境管理计划	173
8.5.2 环境监测计划	174
9 海域使用对策措施	178
9.1 区划实施对策措施	178
9.2 开发协调对策措施	179
9.3 风险防范对策措施	180
9.3.1 自然灾害风险防范对策措施	180
9.3.2 防冲刷措施	181
9.3.3 防腐措施	182
9.3.4 火灾防范措施	183
9.3.5 防冰措施	183
9.3.6 通航安全对策措施	183
9.3.7 溢油事故防范措施	184
9.3.8 溢油事故应急措施	186
9.3.9 运行期变压器油泄露防范措施	190
9.3.10 海冰事故防范措施	190
9.4 监督管理对策措施	191
10 结论与建议	193
10.1 结论	193
10.1.1 项目用海基本情况	193
10.1.2 项目用海必要性结论	193
10.1.3 项目用海资源环境影响分析结论	193
10.1.4 海域开发利用协调分析结论	195
10.1.5 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析结论	196
10.1.6 项目用海可行性结论	196
10.2 建议	196
资料来源说明	198
引用资料	198
现场勘查记录	199
附件	200
附件 1 海域使用论证工作委托书	200

附件 2 海域使用论证内部技术审查意见	200
附件 3 秦皇岛市海洋和渔业局关于支持山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目用海选址意见的函.....	201
附件 4 秦皇岛市发改委关于支持山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目开展前期工作的函	201
附件 5 山海关区人民政府向靶场（中国人民解放军 93581 部队）征求意见的函.....	201
附件 6 靶场（中国人民解放军 93581 部队）函复意见.....	201
附件 7 秦皇岛海事局关于山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目选址意见的函	201
附件 8 秦皇岛市海洋和渔业局关于征求秦皇岛港总体规划中锚地布局方案意见的函	201
附件 9 秦皇岛海事局关于秦皇岛港总体规划中锚地布局方案意见的复函.....	201
附件 10 秦皇岛市水务局关于同意本项目海缆穿堤的函	201
附件 11 秦皇岛市生态环境局关于同意本项目建设的函	201
附件 12 秦皇岛市应急管理局关于同意本项目建设的函	201
附件 13 秦皇岛市自然资源和规划局关于同意本项目建设的函	201
附件 14 秦皇岛市林业局关于同意本项目建设的函.....	201
附件 15 秦皇岛市旅游和文化广电局关于同意本项目建设的函	201
附件 16 秦皇岛市自然资源和规划局经济技术开发区分局关于同意本项目海缆路由的意见.....	202
附件 17 秦皇岛市自然资源和规划局经济技术开发区分局关于陆地集控站的选址意见	202

1 概述

1.1 论证工作由来

当前，能源发展正处于深刻变革和重大调整的关键时期。面对全球气候变化和生态环境恶化的双重挑战，大力发展清洁能源已成为能源发展的必然趋势。我国已将可再生能源的开发利用作为能源战略的重要组成部分。

2020年9月22日，国家主席习近平在第75届联合国大会一般性辩论上提出了双碳目标，“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。2020年12月12日，国家主席习近平在气候雄心峰会上通过视频发表题为《继往开来，开启全球应对气候变化新征程》的重要讲话时强调：到2030年，我国风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上。2020年12月16日至18日，中央经济工作会议明确，要加快调整优化产业结构、能源结构，推动煤炭消费尽早达峰，大力发展新能源。党的二十大报告提出，积极稳妥推进碳达峰碳中和，立足我国能源资源禀赋，坚持先立后破，有计划分步骤实施碳达峰行动。2021年12月30日，河北省委、省政府公布了新年全国第一份《关于完整准确全面贯彻新发展理念认真做好碳达峰碳中和工作的实施意见》，正式开启了河北“双碳”发展的新征程。

实现“双碳”目标，要求生态环境治理模式进一步从末端治理向源头防治转变，倒逼我国能源结构深刻转变，持续提高我国绿色清洁能源占比，实现能源转型变革。风电作为应用最广泛和发展最快的新能源发电技术，已在全球范围内实现大规模开发应用。海上风电将是风电发展的重要领域，前景十分广阔，大力发展海上风电，不仅可以满足东部地区用电需求，陆、海风电相结合，更会加快我国绿色发电的步伐。海上风电对电网更加友好，一方面，海上风电不占陆上资源；另一方面，由于海面比较平整，风阻小，平均风速高，海上风电的发电时间长，设备利用率比陆上风电高了一倍，且有一定规律性，有利于峰谷调配。我国海岸线长、可利用海域广阔、海上风能资源丰富，大力发展海上风电，对我国具有重要的战略意义。根据国家发改委能源研究所发布的《中国风电发展路线图2050》报告，我国水深5~50m海域，100m高度的海上风能资源开放量为5亿千瓦，

总面积为 39.4 万 km²。据国家能源局公布的数据显示，2021 年，我国海上风电全年新增装机 1690 万千瓦，同比增长 339.53%，增速创造历史新高，同时当期我国海上风电累计装机 26.39GW，位居全球第一。

山海关海上风电一期 500 兆瓦评价示范项目位于河北省山海关海域，风电场场址中心离海岸线约 15.6km，场址面积约 60km²（风场实际用海面积为 282.7219 hm²），场址水深在 18~24m 之间，场址南北长约 18km，东西宽约 1.8km~6.5km。本项目共计建设 59 台 8.5MW 海上风电机，总装机容量为 501.5MW；本项目建设一座海上升压站，位于风电场址内。另外本项目配套建设一座陆上集控中心，位于山海关船厂附近，距离海缆登陆点距离约 3km。

2022 年 9 月，海域海岛环境科技研究院（天津）有限公司受新天海上风电（秦皇岛）有限公司委托，承担本项目海域使用论证报告书的编制工作，根据国家法律法规和技术规范要求，我公司组织相关人员对项目海域及周边地区开展了现场踏勘，走访相关单位，收集有关资料、文献等，在此基础上，编制完成了《山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目海域使用论证报告书》。

1.2 论证依据

1.2.1 法律法规及相关规划

（1）《中华人民共和国海域使用管理法》，2001 年 10 月 27 日，第九届全国人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过，2002 年 1 月 1 日起施行；

（2）《中华人民共和国环境保护法》（2014 年修订），2014 年 4 月 24 日，第十二届全国人民代表大会常务委员会第八次会议通过，2015 年 1 月 1 日起施行；

（3）《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017 年修订），2017 年 11 月 4 日，第十二届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议通过，2017 年 11 月 5 日起施行；

（4）《中华人民共和国民法典》，十三届全国人大三次会议，2020 年 5 月 28 日颁布，2021 年 1 月 1 日施行；

（5）《中华人民共和国湿地保护法》，全国人民代表大会常务委员会，2021 年 12 月 24 日通过，自 2022 年 6 月 1 日起施行；

（6）《中华人民共和国测绘法》，1992 年 12 月 28 日第七届全国人民代表大会常务委员第二十九次会议通过，2002 年 8 月 29 日第九届全国人民代表大会

常务委员会第二十九次会议第一次修订；2017年4月27日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十七次会议第二次修订；

(7)《中华人民共和国城乡规划法》(2019年修订)，2019年4月23日，第十三届全国人民代表大会常务委员会第十次会议通过，2019年4月23日起施行；

(8)《中华人民共和国清洁生产促进法》(2012年修订)，2012年2月29日，第十一届人大常委会第二十五次会议通过，2012年7月1日起施行；

(9)《中华人民共和国水污染防治法》(2017年修订)，中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三十二次会议修订通过，2008年6月1日起施行；据2017年6月27日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议《关于修改〈中华人民共和国水污染防治法〉的决定》第二次修正，2018年1月1日正式实行；

(10)《中华人民共和国渔业法》，2013年12月28日，第十二届全国人民代表大会常务委员会第六次会议通过，2014年3月1日起施行；

(11)《中华人民共和国港口法》(2018年修订)，2003年6月28日，中华人民共和国第十届全国人民代表大会常务委员会第三次会议修订通过，2004年1月1日起施行，根据2015年4月24日第十二届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议《关于修改〈中华人民共和国港口法〉等七部法律的决定》第一次修正，根据2017年11月4日第十二届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议《关于修改〈中华人民共和国会计法〉等十一部法律的决定》第二次修正，根据2018年12月29日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议《关于修改〈中华人民共和国电力法〉等四部法律的决定》第三次修正；

(12)《中华人民共和国海上交通安全法》(2021年修订)，1983年9月2日，中华人民共和国第六届全国人民代表大会常务委员会第二次会议通过，1984年1月1日起施行；

(13)《中华人民共和国可再生能源法》，2005年2月28日第十届全国人民代表大会常务委员会第十四次会议通过，2009年12月26日第十一届全国人民代表大会常务委员会发布《关于修改〈中华人民共和国可再生能源法〉的决定》修正；

(14)《防治船舶污染海洋环境管理条例》(2017年修订)，2009年9月9日中华人民共和国国务院令 第561号公布，根据2013年7月18日《国务院关于废

止和修改部分行政法规的决定》第一次修订，根据 2013 年 12 月 7 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第二次修订，根据 2014 年 7 月 29 日《国务院关于修改部分行政法规的决定》第三次修订，根据 2016 年 2 月 6 日国务院令 666 号《国务院关于修改部分行政法规的决定》第四次修订，根据 2017 年 3 月 1 日国务院令 676 号《国务院关于修改和废止部分行政法规的决定》第五次修订；

(15)《海域使用权管理规定》，2006 年 10 月 13 日，国家海洋局，国海发[2006]27 号，2007 年 1 月 1 日起施行；

(16)《海域使用测量管理办法》，2002 年 6 月 28 日，国家海洋局，国海发[2002]22 号，2002 年 10 月 1 日起施行；

(17)《国务院办公厅关于沿海省、自治区、直辖市审批项目用海有关问题的通知》，2002 年 7 月 6 日，国务院办公厅，国办发[2002]36 号；

(18)《河北省海域使用管理条例》，2015 年 7 月 24 日河北省第十二届人民代表大会常务委员会第十六次会议修正；；

(19)《辽宁省海洋与渔业厅关于印发〈报请省政府审批海域使用权审核管理规定〉的通知》，2017 年 3 月 23 日，辽宁省海洋与渔业厅办公室，辽海渔发[2017]14 号；

(20)《大连市海域使用管理条例》，2007 年 3 月大连市第十三届人民代表大会常务委员会第三十次会议通过，2007 年 8 月 1 日起施行；

(21)《海上风电开发建设管理办法》，国能新能[2016]394 号，2016 年 12 月 29 日国家能源局、国家海洋局联合发布施行；

(22)《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》，国家海洋局，国海规范〔2016〕6 号，2016 年 10 月 31 日；

(23)《风电场工程建设用地和环境保护管理暂行办法》，国家发展和改革委员会同国土资源部和国家环保总局，发改能源〔2005〕1511 号，2005 年 8 月 9 日；

(24)《海底电缆管道保护规定》，2003 年 12 月 30 日国土资源部第 12 次部务会议通过，国土资源部令第 24 号发布，2004 年 3 月 1 日起施行；

(25)《铺设海底电缆管道管理规定》，1989 年 1 月 20 日国务院第三十二次常务会议通过，1989 年 2 月 11 日国务院令第 27 号发布，1989 年 3 月 1 日起施行；

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

洋局令第3号发布施行。

(27)《产业结构调整指导目录(2019年本)》，2020年1月1日起施行；
中华人民共和国国家发展和改革委员会令(第29号)；

(28)《自然资源部关于全面开展国土空间规划工作的通知》(自然资发〔2019〕87号)自然资源部，2019年5月28日；

(29)《自然资源部关于规范海域使用论证材料编制的通知》(自然资规〔2021〕1号)，2021年1月8日；

(30)《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》(自然资办函〔2022〕640号)，2022年4月15日；

(31)《自然资源部关于积极做好用地用海要素保障的通知》(自然资发〔2022〕129号)，自然资源部，2022年8月2日；

(32)《河北省海洋主体功能区划》，河北省人民政府，冀政字〔2018〕11号，2018年3月；

(33)《河北省海洋功能区划(2011-2020年)》，河北省人民政府，2012年10月；

(34)《河北省海洋生态红线》，河北省国土资源厅(海洋局)，冀海发〔2014〕4号，2014年2月；

(35)《河北省海洋生态环境保护“十四五”规划》，河北省人民政府，2022年2月。

1.2.2 技术标准和规范

(1)《海域使用论证技术导则》(国海发〔2010〕22号)；

(2)《海域使用面积测量规范》(HY070-2003)；

(3)《海域使用分类》(HY/T123-2009)；

(4)《海籍调查规范》(HY/T124-2009)；

(5)《海水水质标准》(GB3097-1997)；

(6)《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)；

(7)《海洋调查规范》(GB12763-2007)；

(8)《海洋监测规范》(GB17378-2007)；

(9)《港口与航道水文规范》，JTS 145-2015；

- (10) 《水运工程建设项目环境影响评价指南》(JTT1144-2017);
- (11) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007);
- (12) 《海上风电场工程风电机组基础设计规范》(NB/T 10105-2018);
- (13) 《风电场工程等级划分及设计安全标准》(NB/T 10101-2018)。

1.2.3 项目基础资料

(1) 《山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目预可行性研究报告》，中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司，2022 年 11 月；

(2) 《山海关海上风电场区海域渔业资源现状调查报告（秋季）》，青岛卓建海洋工程勘测技术有限公司，2022 年 11 月；

(3) 《山海关海上风电场区海域海洋环境现状调查报告（秋季）》，青岛卓建海洋工程勘测技术有限公司，2022 年 11 月；

(4) 《山海关海上风电场区海域水文泥沙观测分析报告（秋季）》，青岛卓建海洋工程勘测技术有限公司，2022 年 11 月；

(5) 《山海关海上风电(一期)项目通航安全研究报告（讨论稿）》，大连海事大学，2022 年 10 月；

(6) 委托书（见附件 1）；

(7) 建设单位提供的其他材料。

1.3 论证工作等级和范围

1.3.1 论证工作等级

根据《海域使用论证技术导则》(国海发[2010]22 号)的要求，海域使用论证工作实行论证等级划分制度，需要依据项目的用海方式、规模和所在海域特征，划分为 1 级、2 级、3 级，见表 1.3-1。

本项目拟安装 59 台单机容量为 8.5MW 的风电机组，场内配套建设 1 座 220kV 海上升压变电站，同时铺设海缆线路若干条。项目涉及用海方式包括透水构筑物 and 海底电缆管道。其中，风电机组用海面积 53.8257 公顷，升压站用海面积 3.1306 公顷，合计透水构筑物用海总面积 56.9563 公顷；海底电缆管道用海面积 225.7656 公顷。

本项目透水构筑物用海面积 ≥ 30 公顷，论证等级为一级；海底电缆管道用

海论证等级为三级，同一项目用海按不同用海方式、用海规模所判定的等级不一致时，采用就高不就低的原则，本项目论证等级综合判定为一级，具体判据见下表。

表 1.3-1 海域使用论证工作等级判据

一级用海方式	二级用海方式		用海规模	所在海域特征	论证等级
构筑物用海	透水构筑物用海	其他透水构筑物用海	构筑物总长度≥2000m； 用海总面积≥30公顷	所有海域	一
			构筑物总长度（400~2000）m； 用海总面积（10~30）公顷	敏感海域	一
				其他海域	二
			构筑物总长度≤400m； 用海总面积≤10公顷	所有海域	三
其他用海方式	海底电缆管道	海底电（光）缆	所有规模	所有海域	三
注1：并行铺设的海底电缆、海底管道等的长度，按最长的管线长度计。 注2：敏感海域主要包括海洋自然保护区、海洋特别保护区、重要的河口和海湾等。					

1.3.2 论证范围

按照《海域使用论证技术导则》（国海发〔2010〕22号）要求：“论证范围依据项目用海情况、所在海域特征及周边海域开发利用现状等确定，应覆盖项目用海可能影响到的全部区域。一般情况下，论证范围以项目用海外缘线为起点进行划定，一级论证向外扩展 15 km，二级论证 8 km；跨海桥梁、海底管道等线型工程项目用海的论证范围划定，一级论证每侧向外扩展 5 km，二级论证 3 km。”

根据本项目用海情况、所在海域特征及周边海域开发利用现状等，本项目风电场址区域论证范围为以场址外边缘为界向外扩展 15km，220kV 海缆输出路由论证范围为以场址外边缘为界向外扩展 5km。

综上，确定本项目的论证范围如图 1.3-1 中 A-B-C-D 和海岸线连线所示，论证范围坐标见表 1.3-2，论证范围内海域面积共约 1699km²。

表 1.3-2 论证范围边界点坐标

编号	经度	纬度
A	***	***
B	***	***
C	***	***
D	***	***

1.4 论证重点

1.4.1 论证重点筛选

本项目用海类型属于工业用海中的电力工业用海。论证重点参照《海域使用论证技术导则》（国海发〔2010〕22号）附录D“海域使用论证重点参照表”（表1.4-1）进行确定。

表 1.4-1 海域使用论证重点参照表

用海类型		论证重点						
		用海必要性	选址（线）合理性	用海方式和布置合理性	用海面积合理性	海域开发利用协调分析	资源环境影响	用海风险
工业用海	电力工业用海（三），如海洋风力发电、太阳能发电的厂区、码头、引桥、平台、港池、机座墩和塔架等	▲	▲	▲			▲	

根据上表，确定本项目海域使用论证工作的重点为：

- （1）项目用海必要性；
- （2）项目用海选址合理性分析；
- （3）项目用海方式、平面布置合理性分析；
- （4）项目建设对周边海域资源环境的影响。

在此基础上，考虑本项目周边开发利用现状、区域和行业用海规划要求等因素，对本项目论证重点进行如下调整：

A、项目所处的海域开发利用活动较多，周边存在油气开采用海、航道、锚地及海洋倾倒地，因此报告书将“海域开发利用协调分析”作为本次论证的重点。

B、根据《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》（自然资办函〔2022〕640号）有关要求，加强对风电类项目生态保护修复和生态跟踪监测工作的监督检查，在海域使用论证报告中编制生态建设用海综合论证。报告书将“生态建设用海综合论证”作为本次论证的重点。

1.4.2 论证重点确定

依据本项目用海类型、用海方式及用海规模，综合考虑项目周边海域资源环

境现状，以及区域、行业用海规划要求，确定本次论证重点如下：

- (1) 项目用海必要性；
- (2) 项目用海选址合理性分析；
- (3) 项目用海方式、平面布置合理性分析；
- (4) 项目建设对周边海域资源环境的影响；
- (5) 海域开发利用协调分析；
- (6) 生态建设用海综合论证。

2 项目用海基本情况

2.1 项目用海建设内容

(1) 项目名称

山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目。

(2) 申请单位

新天海上风电（秦皇岛）有限公司。

(3) 项目性质

新建项目。

(4) 用海类型、用海方式及面积：

项目申请用海总面积 282.7219hm²。

表 2.1-1 用海类型及用海方式一览表

		用海类型	用海方式	
			风电桩基及海上升压站	海底电缆
类别	一级类	工业用海	构筑物	其它方式
	二级类	电力工业用海	透水构筑物	海底电缆管道
用海面积 (公顷)		-	56.9563	225.7656

(5) 项目地理位置

山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目位于秦皇岛市山海关海域，风电场场址中心（***）离海岸线约 15.6km，场址包络面积约 60km²（风场实际用海面积为 282.7219hm²），场址水深在 18~24m 之间，场址南北长约 18km，东西宽约 1.8km~6.5km。本项目共计建设 59 台 8.5MW 海上风机，总装机容量为 501.5MW；本项目建设一座海上升压站，位于风电场址内；项目 220kV 海缆路由从海上升压站出发，在秦皇岛市山海关挡浪墙南侧登陆，登陆后通过 220kV 陆缆接至 220kV 陆上集控中心，从陆上集控中心新建 1 回 220kV 送出线路，接至 220kV 孟姜站。陆上集控中心至孟姜 220kV 架空线路采用 2×400mm² 导线，长度约 5km，并接入陆上集控中心。项目地理位置示意图见图 2.1-2~图 2.1-3。

本项目论证内容包括：包括海上风电场、海上升压站、35kV 场址内集电线路、220kV 海底电缆管道。

(6) 建设内容与规模

本工程装机容量为 501.5MW，布置 59 台单机容量为 8.5MW 风机。风机轮毂高度 129m，叶轮直径 230m。风机主要沿场址边界布置，风机间距在 740m~760m。

本工程新建 1 座 220kV 海上升压站，装设 2 台 260MVA 主变。海上升压站位于风电场 8#、12#、16#、17#、21#、32#、36#、40#、41#风机之间。

本工程风机基础设计使用年限为 25 年，工程建设期 24 个月，防腐蚀设计按 27 年考虑。

(7) 投资规模

本工程静态投资 607655 万元。

2.2 平面布置和主要结构、尺度

2.2.1 平面布置方案

本项目为山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目，建设内容主要包括海上风电场、海上升压站、35kV 场址内集电线路、220kV 海底电缆管道。风电场址内共计建设 59 台 8.5MW 海上风电机，总装机容量为 501.5MW；项目建设一座海上升压站建设位于风场内部，升压至 220kV 后通过 2 回 220kV 海缆敷设上岸。

2.2.1.1 风电机组及布置

本工程拟布置安装单机容量为 8.5MW 的风机 59 台，风机型号为 WTG230-8500 型，总装机规模为 501.5MW。风机发电机组布置方案为垂直于主风向，风机主要分散在风机场址的边缘，风轮直径 230m，轮毂安装高度 129m（平均海面以上），风机间距多在 760m~740m 不等。

2.2.1.2 风机桩基结构

采用无灌浆连接段单桩基础结构型式；平台底高程约为 12m，基础法兰顶高程 12.0m；与风机塔筒连接处外径 8.0m，泥面以下为单根直径 8.0m 钢管桩；钢管桩平均桩长约为 84m，平均入土深度约为 50m，钢管桩壁厚 70mm~85mm，基础总重量约 1260t。

图 2.1-4 风机单桩基础结构布置图

2.2.1.3 海上升压站

风电场将配套建设一座 220kV 海上升压站，装设 2 台 260MVA 主变。本项目海上升压站初步位置定在 8#、12#、16#、17#、21#、32#、36#、40#、41# 风机中间区域，升压站将 35kV 电压升至 220kV，并以 2 回三芯 220kV 海缆线路将风机所发的电能输送至陆上集控中心。

本工程海上升压站共三层布置，每层高度分别为 7m、5m 及 5m，各层布置如下（最底层为基准 0m）：

1)0.00m 层：主要布置事故油罐、临时休息室，兼做电缆层，220kV 及 35kV 海缆通过 J 型管穿过本层夹板引上至配电装置，主变至 220kV 配电装置及 35kV 配电装置的电缆采用电缆桥架、支架敷设在此层。

2)7.00m 层：中间布置主变，主变一侧布置 220kV 配电装置，另一侧布置 35kV 开关柜室、低压配电室和水泵房。主变与 220kV 配电装置之间采用 220kV 电缆连接，电缆通过电缆夹层布置；35kV 开关柜室与低压配电室相邻布置，尽量减少设备之间连接电缆。

3)12.00m 层：为主变及 220kV 配电装置上空，其余区域布置有柴油发电机室、柴油罐间、暖通机房、继保室、蓄电池室等。

4)17.00m 层：设有吊车平台。主变压器布置仅考虑正常的运行维护及检修，不单独设检修区域，

油池大小按变压器外轮廓线 1m 以上设置。散热器为室外布置，油管与散热器间应有阀门及断接口，方便拆装。为降低平台整体高度，主变高压侧拟采用 220kV 电缆与 220kV 配电装置连接。

图 2.1-5 海上升压站三维模型图

图 2.1-6 海上升压站结构示意图

2.2.1.3 风电场集电线路（35kV 海缆）

场内集电线路电压等级为 35kV，风机采用一机一变的方式升至 35kV。根据风电场场内风机布置，59 台风机共分为 13 组，每组 4~7 台风机组合成一个联合单元，

场内集电线路每回输送容量为 34~59.5MW，集电线路采用普通链式（放射式）连接方案。

风电场集电线路布置图见上图，具体如下：

第一组风机：F1、F2、F3、F4 风机，共计 4 台；

第二组风机：F5、F6、F7、F8 风机，共计 4 台；

第三组风机：F9、F10、F11、F12 风机，共计 4 台；

第四组风机：F13、F14、F15、F16 风机，共计 4 台；

第五组风机：F17、F18、F19、F20 风机，共计 4 台；

第六组风机：F21、F22、F23、F24 风机，共计 4 台；

第七组风机：F25、F26、F27、F28 风机，共计 4 台；

第八组风机：F29、F30、F31、F32 风机，共计 4 台；

第九组风机：F33、F34、F35、F36 风机，共计 4 台；

第十组风机：F37、F38、F39、F40 风机，共计 4 台；

第十一组风机：F41、F42、F43、F44 风机，共计 4 台；

第十二组风机：F45、F46、F47、F48 风机，共计 4 台；

第十三组风机：F49、F50、F51、F52 风机，共计 4 台；

第十四组风机：F53、F54、F55、F56、F57、F58、F59 风机，共计 7 台。

2.2.1.4220kV 海缆

220kV 海缆自海上升压站接出后，向北偏西方向延伸，无交越无转折，在山海关海域挡浪坝南侧登陆，路由单回路全长 11.7km

2.2..1.5 登陆点概况

电缆登陆点位于秦皇岛市山海关挡浪墙南侧。登陆点距离 220kV 海上升压站直线距离约 11.7km，距离陆上集控中心约 3km 处，距离秦皇岛市区约 40km，地理坐标为***。

登陆点内侧为填海造地，防波堤外侧部分区域以 50~60kg 抛石护岸为主，部分区域以扭工字块体为护面层，周边底质以粉砂质砂为主，底质较硬，没有礁石等影响海缆登陆的不利条件。登陆点前沿是开阔海域；登陆点后方陆域无建筑设施，地势低平。

2.2.2 风电场发电量估算

本风电场工程拟安装 59 台单机容量为 8.5MW 的 WTG230-8500 型风力发电机组, 风机平均尾流影响 6.74%, 风机最大尾流影响为 9.57%, 最小尾流影响为 1.85%; 除尾流和空气密度折减影响后, 风电场综合折减系数为 80.75%。经计算本项目年理论发电量为 241815 万 kW·h, 预计项目年上网发电量为 182105 万 kW·h, 年等效满负荷小时数为 3631h, 容量系数为 0.415。

2.2.3 电气系统建设

2.2.3.1 电气一次——主要电气接线

一、接入电力系统方式

本项目拟新建 1 座 220kV 海上升压站, 升压至 220kV 后通过 2 回 220kV 海缆敷设上岸。登陆后通过 220kV 陆缆接至 220kV 陆上集控中心, 从陆上集控中心新建 1 回 220kV 送出线路, 接至 220kV 孟姜站。陆上集控中心至孟姜 220kV 架空线路采用 $2\times 400\text{mm}^2$ 导线, 长度约 5km。最终接入方案根据接入电网公司批复意见确定。

二、电气设备布置

风电场共安装 59 台 8.5MW 风力发电机组, 每台风电机组配套设置一套 35/1.14kV(暂定)升压设备, 考虑到海上风电场设备运行环境较差、腐蚀及盐雾重, 宜在风机塔筒内部单独设置一层设备平台, 升压设备布置在该专用平台上。将低压柜布置在控制柜平台上, 变压器及高压柜布置在塔筒最底部的承台上。

220kV 配电装置采用 GIS, 可减小占地面积, 布置于主变房间旁, 减少与主变之间的电缆连接长度。

35kV 配电装置采用开关柜单列布置方式布置于主变房间另一侧, 分两个配电室布置, 每个 35kV 配电室两侧布置有 1 套接地兼站用变、1 台接地变及小电阻设备。

三、电气接线

1、海上升压站 35kV 侧接线

本工程场内集电线路电压等级采用 35kV, 风机采用一机一变的方式升压至 35kV。根据风电场场内风机布置, 59 台风机共分为 8 组, 每组 4-7 台风电机组组合成一个联合单元, 场内集电线路每回输送容量为 34~59.5MW。

由于风电场位于海上, 集电线路电缆全部采用 35kV 海缆, 型式为铜导体 3 芯交

联聚乙烯绝缘分相铅护套粗钢丝铠装光纤复合海底电缆

本工程海上升压站 35kV 侧暂推荐分裂变压器+单母线分段接线。35kV 侧风机集电线路共 14 回进线，每段母线分别接 1 回主变进线、4 回风机集电线路。

2、海上升压站 220kV 侧接线

本阶段 220kV 侧电气接线推荐变压器-线路组接线，升压站 220kV 侧安装 2 个线变组间隔。

2.2.3.2 电气二次——监控系统

一、海缆监测系统

海底电缆用于电能电力和信息传输，对海上风电场的电力和信息传输起到至关重要的作用，一旦发生故障，将造成十分严重的经济损失和社会影响。为保证海底电缆安全可靠经济运行，本工程配置 1 套海缆监测系统，监测后台布置在陆上集控中心。

系统的主要监测对象为连接每座海上升压站与陆上集控中心的 220kV 海缆、风机至每座海上升压站的 35kV 海缆，系统应基于先进的分布式光纤传感技术，包含以下功能：

(1) 实时在线的温度和应力分布式监测；

(2) 实时在线的扰动监测；

(3) 清楚指示过热点或锚害的位置信息；

(4) 提供海缆异常的早期探测；

(5) 对岩石定点摩擦海缆等不可见事件进行数据积累，为海缆日常维护提供磨损事件数据库；

(6) 通过集成海事的 AIS 系统及其他已有监控装置，搭建海缆立体监测平台，为突发事件的事后赔偿追索提供事件证据链事实依据。

二、设备监测系统

海上风电场具有离岸距离远、运行环境恶劣、巡视检修不便、设备造价昂贵、事故停电时间长等特点，一旦发生故障，将造成严重的经济损失，因此本工程配置 1 套设备状态监测系统，跟踪监测风电场设备和基础状态，故障及时报警以预防重大事故发生。系统由现地监测单元、网络设备及监测主站组成。采用分层分布式结构，实现

多路信号的同步高速采集和信号就地处理，就地信号通过以太网转光纤传输，数据最终传送到集控中心主机。

2.2.3.3 通信

通信主要包括系统通信、站间通信、通信电源等。

系统通信设备主要包括 SDH 光传输设备、PCM、综合配线架（含光、数、音）。设备的选型需与系统接入端设备一致。最终应以接入系统报告及其审查意见为主。

站间通信采用 2 根陆海联络线的光电复合缆中的光纤作为通信通道。需在海上升压站-陆上集控中心配置 2.5Gbit/s SDH 光传输设备等。除此之外，海上升压站还配有无线应急通信。

海上升压站通信电源设置两组 300Ah 专用蓄电池。陆上集控中心通信电源设置两组 500Ah 专用蓄电池。

2.2.4 工程主体结构、尺度及防护措施

2.2.4.1 工程登别和构筑物级别、抗震类别

本工程总装机容量为 501.5MW，共安装 59 台 8.5MW 的海上风机。风机轮毂高程 129m，叶轮直径 230m。配套建设 220KV 海上升压变电站，按照《风电场工程等级划分及设计安全标准》（NB/T10101-2018）确定工程规模为大型，海上风电机组基础设计级别为甲级，设计基准期为 50 年，设计使用年限 27 年。根据《海上风电场工程风电机组基础设计规范》（NB/T 10105-2018），风电机组基础结构安全等级为一级。

风电场海上升压变电站电压等级为 220kV，按照《风电场工程 110kV-220kV 海上升压变电站设计规范》（NB/T 31115-2017），结构安全等级一级。潮水设计标准为重现期 100 年。参照《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）的规定并考虑到本工程的特征，确定海上升压变电站地基基础设计等级为甲级。

根据《风电场工程等级划分及设计安全标准》（NB/T10101-2018）：确定风电场风机基础结构的抗震设防类别为丙类，海上升压变电站抗震设防类别按丙类考虑。

根据国家标准《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）对建筑场地的划分标准，总体上本建筑场地属于IV类，构筑物场地抗震设防烈度为 7 度，设计地震分组为第

三组，设计基本地震加速度值 0.45g。拟建场地属抗震不利地段。

2.2.4.2 防腐蚀设计

根据本阶段已有的地质勘察成果，场区地下水受海水影响矿化度高，属高矿化水，水化学类型为 Cl-Na 型水，海水对混凝土结构具弱腐蚀性；海水对钢筋混凝土结构中钢筋在干湿交替状态下具强腐蚀性，在长期浸水条件下具弱腐蚀性；对钢结构具有弱腐蚀性。

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《海上风电场钢结构防腐蚀技术标准》(NB/T 31006-2011)及《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》(JTS 153-3-2007)，对风机基础主体结构 钢构件的防腐设计，采用防腐涂层方案和牺牲阳极的阴极保护法，并预留腐蚀裕量；对附属结构钢构件，只考虑防腐涂层保护。

表 9.3.4.3-1 单桩基础防腐涂层配套体系表

注：1.表中涂层表示方法为“涂料名称，干膜厚度，涂层道数”，例如“环氧玻璃鳞片涂料，400μm，1~2 道”。

2.钢管桩处于海泥密闭环境中，可不作防腐涂层。

表 9.5.6-1 海上升压站平台涂装配套方案

表 9.5.6-2 海上升压站基础结构涂装配套方案

2.2.4.3 防冲刷设计

混凝土联排方案是通过在桩基础周围铺设混凝土联排，同时在混凝土联排下方铺设复合土工布以通过物理隔绝的方式将洋流和海床上的泥 沙进行隔离，从而达到桩周围的海床不被洋流冲刷的目的。该方案是通过 4 大片的混凝土联排（4 片混凝土联排通过众多的标准排在铺排船上拼装形成），并且通过铺排船将拼装好后大片整体排安装下水。4 片软体排 在水下相互搭接，确保相互之间无缝隙，在桩基周围直角区域形成的空 隙通过网兜抛石的方式进行填充和压实。在搭接后再潜水员水将每相邻的两片连锁排通过丙纶绳进行连接，使所有连排形成一个整体。

2.2.4.4 防撞靠泊设计

本风电场场区附近有航道通行，多有小型船舶进出，风机基础结构可能承受船舶

撞击。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，要减速慢行停靠在风机基础的靠船结构上。

2.2.4.5 监测设计

1、风机基础

风电场共选择 6 台代表性风电机组基础进行基础钢结构的应力、应变、振动、腐蚀和冲刷监测。

(1) 基础倾斜监测

在所有风机基础顶部各布置 1 套双轴倾角仪(水平 X、Y 向)，通过监测结构的倾角，推算出结构的变位值及相对不均匀沉降。共计布置 5 套双轴倾角仪。

(2) 塔架变形监测

在所有风机塔筒顶部各布置 1 套双轴倾角仪(水平 X、Y 向)，通过监测结构的倾角，推算出结构的变位值及相对不均匀沉降。共计布置 5 套双轴倾角仪。

(3) 风机基础应力应变监测

在典型的 6 台单桩基础桩顶附近内表面对称布置 4 支钢板应力计，监测桩顶关键节点处应力情况，共计布置 24 支钢板应力计。

(4) 风机基础及塔架振动监测

在典型 6 个塔筒内壁沿高度方向布置 3 层加速度监测断面，各断面布置 1 套双向加速度计，以测量塔筒整体的振动加速度情况和振幅情况，共计布置 18 套双向加速度计。

(5) 腐蚀监测

在重点监测风机基础上特定位置设 4 个腐蚀测点，测点安装高程位于海床面和极端低水位之间(1 个测点)，极端低潮位与设计低潮位之间(1 个测点)，设计低潮位与多年平均海平面之间(1 个测点)，多年平均海平面与设计高潮位之间(1 个测点)，共计 24 个腐蚀电位测点。

(6) 冲刷监测

监测每台典型监测风机基础周边半径 50m 范围内海底底质及冲刷沟发育情况，确定海底冲刷沟的位置、规模、深度及冲刷沟内底质类型，并分析海底冲刷变化情况

及冲刷沟的演变情况。

冲刷监测方法：可采用多波束测探仪进行监测；

冲刷监测频次：在基础建成后的第 1 个月内监测 1 次，第 1 年内每季度监测 1 次，此后每年不少于 1 次，且在强海潮期后须立即增加应急监测。以上钢板计、倾角计、加速仪均应连接到数据采集装置，该装置安放于风电机组操作平台上，并配置无线传输设备，将观测信息通过模拟信号转化为数字信号，然后发射到陆上控制室系统内，满足动态监测的需求。

2、海上升压站基础

海上升压站主要由钢管桩、导管架和上部平台组成，全部为钢结构构件。本阶段设计拟对各节点和杆件进行应力、应变监测。

钢管桩应力、应变监测：每根单桩基础设置 12 个钢板计。其中钢板计分为 3 层布置，每层沿桩身圆周均匀布置 4 个，3 层位置分别为桩顶、泥面和泥面以下 25m 处。

导管架应力、应变监测：每根斜撑与桩套管连接节点处、水平撑与装套管连接节点处各布置 4 个钢板计，以监测关键管节点处的应力情况。

振动监测：在升压站导管架与上部组块工作点成 90 度方向布置 2 个振动加速度仪，共计 8 个。以上钢板计、倾角计、加速仪均应连接到数据采集装置，该装置安放于海上升压站上部平台上，并配置无线传输设备，将观测信息通过模拟信号转化为数字信号，然后发射到陆上控制室系统内，满足动态监测的需求

2.2.4.6 导航标志

项目建成后，应及时安装航标警示标识、AIS 航标，建设单位应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。

2.2.5 工程消防

根据本工程建筑布置特点和有关防火规程规定，在整个工程范围内设立一套完整消防体系，能有效及时扑灭风电场内以电气和油品为主各种初期火灾，保障生产、管理人员的安全生产和安全疏散。其公用消防设施有消防供水、消防供电、事故应急照明、自动报警、防火排烟、海上逃生等系统。

本工程为 220kV 海上升压站，根据消防设计规范油浸式主变和柴油发电机为中危险级混合式（B 类、E 类）火灾，其它主要电气设备均为中危险级 E 类火灾。

根据 GB50016 规范的定，本工程 150MVA 的油浸式变压器应设置自动灭火系统；参考现有国内海上风电场升压站平台的计经验，根据 NB/T31115 规范的定，考虑到海上升压站淡水补给困难，灭火系统耗水量不宜过大，本工程推荐采用高压细雾灭火进行消防设计。

结合灭火系统设置以及规范要求，对平台上的其余房间包括主变室、柴油发电机变室、柴油发电机变室、220kV GIS 室、继保室、接地变室、35kV 开关柜室、通风机房、应急配电屏以及避难等，也采用高压细水雾灭火系统。同时，在底层、一和二平台甲板上分别配置 2 支高压细水雾喷枪。

另外，为了快速、准确有效地探测及扑灭柜体狭小空间内的初期火灾，35kV 开关柜、继电保护屏、各类低压配电屏、接地变成套装置、GIS 汇控柜等柜式设备中采用火探管气体灭系统。

根据规范，在每层甲板、电气设备房出口附近人员易接的地方，还应设置一定数量的移动式灭火施。

2.3 项目施工总布置及施工条件

2.3.1 总布置原则

（1）遵循“水下施工尽量转化为水上施工、水上施工尽量转化为陆上施工”的原则，进行施工总布置；

（2）根据工程特点，施工基地集中布置，现场施工逐点进行，各风机位置点打桩、安装等均依靠船只水上作业；

（3）施工基地应具有数千吨级以上码头及配备大型吊装和运输设备；

（4）基地内部场地应满足工程的运输、拼装要求；

（5）工程局部浅水区设计低潮位时水深约 10m 以上，施工设备的吃水深度满足水深要求；

（6）工程区域周边为航道，施工期间在施工区域周围设置浮筒，防止船只抛锚拉断周边电缆和管道。

2.3.2 施工条件

2.3.2.1 船舶避风条件

施工现场面临开阔海域，常年受季风、台风影响，对船舶施工安全构成较大的威胁。所以施工中必须慎重考虑船舶安全作业条件，做好防风、防浪预防措施，本工程施工船机设备可选择附近锚地等进行避风，如遇恶劣天气，应暂时停止施工。

2.3.2.2 施工供应条件

1、材料供应条件

秦皇岛市为沿海经济发达地区，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当地或周边地区直接采购。陆上建筑所需零星混凝土直接从附近购买商品混凝土，海上施工区需配置混凝土搅拌船进行海上浇筑作业；风机基础钢管桩直接从大型钢厂进行采购。

2、钢结构加工基地

根据调研结果，大连地区、蓬莱地区、龙口地区、青岛地区具有多家大型钢结构加工制造类企业，此类企业均满足本工程基础构建中的钢管桩等部件的生产供应强度、质量控制等方面的要求。

3、工程施工场地

本工程共设置两个施工临时生产生活区，其中 1#临时生产生活区设置在集控中心附近，主要为陆上集控中心工程的临时设施，包括临时生活办公设施、综合加工厂等，2#施工布置区设置在山海关海域挡浪墙基地后方陆域，主要为风电机组设备临时堆场、拼装区与钢结构临时堆场、综合仓库及砂石料堆场等。

4、施工机械设备来源

本工程施工机械设备主要为桩基施工的打桩船、大型的起重船、驳船与拖轮等。秦皇岛港为知名的港口，港口设有大型起重设备，周边地区大型的船舶加工企业和海港施工企业较多，这些企业普遍具有大型的工程用船，可通过租借或者合作共建的方式进行本工程的施工。

5、施工用水供应条件

施工用水包括生产用水和生活用水两部分，工程附近码头的供水系统完备，施工期间，陆上基地内的供应可由工程施工区附近的管网系统提供；船上作业人员生活用水由船直接载入提供

6、施工用电供应条件

工程用电为生产用电和生活用电，集控中心建设用电从附近电网接入电源；码头基地用电采用码头场区电网接入。船上的施工用电通过工程船舶自带的发电机提供。

2.4 施工交通运输

2.4.1 场外交通运输方案

本工程施工期内的外来物资虽然种类相对较少，运输量与运输强度较小，但运输的物资中绝大部分属于风机设备等超大、重件，需考虑特殊运输方式，因此，对场外运输方案与路线的选择提出了较高的要求，施工难度较大，其中有代表性的大件运输物资为风机机组设备与钢管桩、海上升压平台基础导管架、升压平台等。

1、常规物资运输方案

水泥、钢材（筋）、油料等常规物资从秦皇岛市的建材市场进行购买，依托发达的公铁路网络，选择公路运输或者铁路+公路的对外交通运输方式至风电场工程施工现场。

本工程中仅陆上集控中心存在部分混凝土工程，从周边地区建材市场购买商品混凝土，选择公路运输的方式至集控中心施工现场。

常规物资对外运输方案规划如下：

表 2.4-1 常规物资对外输运方案列表

种类	物资来向	运输方案
水泥、砂石、钢材（钢筋）、油料	建筑市场	公路运输或者公铁联运
商品混凝土	周边地区	公路运输

2、海缆运输方案

海缆运输方案拟由海缆生产企业通过专用的运输船海运（或水运）至施工现场进行铺设。

3、风机基础及海上升压站大型构件运输方案

大连、青岛具有多家大型钢结构加工制造类企业，生产供应强度、质量控制符合

要求，本工程海上升压平台初步选择在龙口或青岛地区的海工基地制作加工；钢管桩及导管架等大型钢结构在蓬莱地区或大连钢结构加工企业制作加工。基础钢管桩、导管架、升压平台等大型钢结构加工件出厂后通过海路运输在做好施工组织的前提下直接运至现场施工。

4、风电机组设备运输方案

风电机组设备运输从厂家运到邻近港口，通过海路运输至风电工程附近的港口，然后转入施工基地进行预组装。

2.4.2 场内交通运输方案

1、海域范围内交通运输

本工程风电机组布置区属于近海，场内交通主要为风电机组之间的船只及设备海上运输。本工程风电机组布置区域水深约 16m~24m（理论最低潮面以下）。水深条件可满足船只正常运行，与附近港口之间可通过进出航道相互联系，因此场内交通运输通过船只自航或拖轮牵引进行移位与航行。

海上风电机组单桩基础附属构件等和海上混凝土材料主要根据施工布置从码头采用运输船舶水上到现场。

其他辅助料的运输采用自航驳，从材料出运码头运输，到达现场后停靠在大型施工船舶侧；施工用水和油由专运水船和专用加油船到现场直接补给；施工人员的交通运输采用交通船接送。

2、风电机组部件厂内运输方案

风机机组起运地点在庄河港码头基地，运输路线为：码头——施工现场。

航道状况：风机机组运输航线均为海事部门规定的现有航道，航道水深符合要求，无海上设施的影响，能够满足风机运输的要求。

风机运输在施工期的选择上尽可能避开冬季冰冻期，应安排在每年的 3 月份~11 月份进行。

2.5 工程主体施工工艺

2.5.1 风机基础施工

本工程共 59 台风电机组，风电机组基础拟采用非嵌岩单桩基础。本工程钢管桩选在大连地区钢结构加工企业生产制造。

为保证管桩结构受力需求，采用分节卷制、直缝焊接的制作工艺进行生产，钢管桩制作的工艺流程如图。

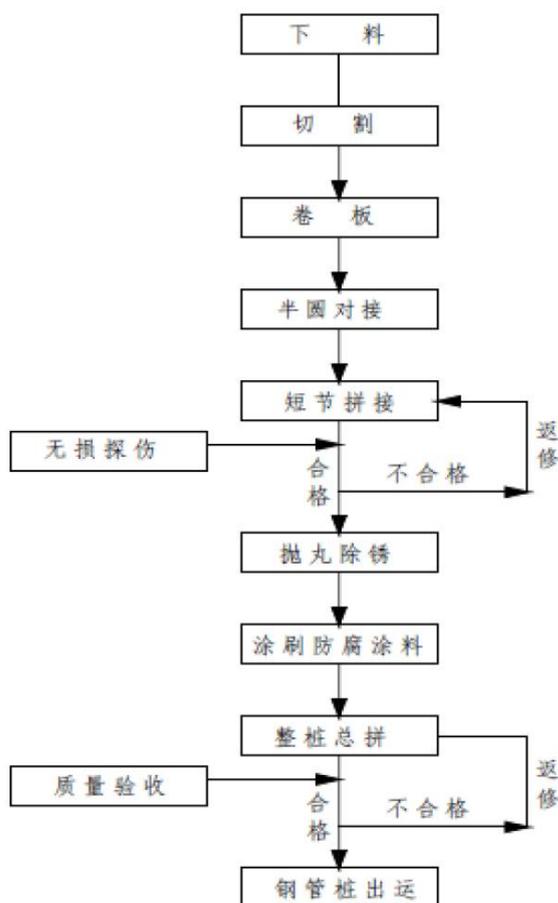


图 2.5-1 钢管桩制作工艺流程图

单桩基础沉桩施工

本工程拟选择浮式起重船+辅助工艺定位导向架设施作为施工设备。

1) 管桩起吊、立桩等前期工作施工设计与船机设备配套规划

本工程选用 2000t 起重船为单桩沉桩的起吊设备，选用全回转浮式起重船，另配置 1000t 级浮式起重船配合单桩起吊、竖立等工作。

2) 沉桩施工精度控制措施与相应配套构件

浮式起重船在完成管桩的吊立与空中翻身后，需要送入沉桩用龙口设施进行后续的沉桩施工作业，按照本工程单桩基础沉桩 3‰的精度控制，对龙口设施的细微调整与打桩过程中的稳定性提出了很高的要求。

因辅助工艺定位导向架已有成功实践检验，且所需成本也是最小，因此推荐导管架基础形式的辅助工艺定位导向架作为本工程的沉桩精度控制配套构件。本工程单桩基础沉桩共设置 2 个打桩定位导向架循环使用。

3) 桩锤的形式

经过对柴油锤与液压锤的定性分析，液压锤在施工效率、环境保护等方面均优于柴油锤，因为先换算打桩锤锤形的选择考虑液压冲击式打桩锤。

根据本工程地质条件及钢管桩施打尺寸等印度，推荐彩云 3000kJ 型液压打桩锤作为首选锤形，3500kJ 型液压打桩锤作为备选。

4) 沉桩

本工程采用辅助桩+导向架辅助定位架定位，导向架安装采用 1000t 浮式起重船完成。采用 1 艘 5000t 自航驳进行工艺桩与定位钢结构架的运输，拟采用 1 艘 1000t 全回旋起重船配置 1 套振动锤进行工艺桩的沉桩、拔桩、定位导向架的安装。

先施打辅助桩，再吊放定位导向架，定位导向架调整固定后，可进行钢管桩打桩施工。

单桩基础防护施工

单桩沉桩结束后及时进行基础冲刷防护施工。

2.5.2 风机机组安装

本工程拟采用自升式支腿平台船作为风机安装主作业船，安装方案采用分体安装方案。自升式支腿平台船到达拟机位处后，完成桩腿预压、入泥下沉、顶升平稳等工序后，船舶上升至海面以上形成稳定的操作平台，再进行风电机组各零散设备的组装工作。

1、风机组件预拼装

为减少海上操作的时间，提高海上作业效率，风电机组设备可先期在陆上进行部分部件的组装工作。风电机组底节塔筒及内部电气设备在码头预组装或在塔筒厂家预组装，基地预拼装和部件过驳采用 750t 履带吊，350t 轮胎吊配合。

2、风机部件场内运输

预拼装部件及其他散件采用 5000t 级甲板驳运输，2000HP 拖轮拖带，海上运输距离约 38km。

3、风机安装

本工程风机设备采用分体安装，安装设备采用自升降式支腿平台船，配置有 1000t 左右起重能力的全回转起重机。

自升式支腿平台船到达拟装机位处后，完成桩腿预压、入泥下沉、顶升、平稳

等工序后，船舶上升至海面以上形成稳定的操作平台，进行风电机组各零散设备的组装工作。

本工程风电机组吊装顺序是：第一段塔筒→第二段塔筒→第三段塔筒→第四段塔筒→机舱及轮毂→叶片。

本工程最重件为风电机组的机舱，重约 280t，轮毂高度 129m，吊索具及富余高度取 10m，机舱顶至轮毂中心距离 3.75m，则吊装高度约为 143.75m，根据此吊装要求，选择额定起吊重量为 1000t 以上，水面上吊高 144m 以上的自升式平台船进行分体安装。

4、电气、警示系统安装

本工程每套风电机气、警示系统主要有机舱电气设备、盘柜、电力电缆、警示系统等组成。

每节塔筒内的电力缆在连接安装前敷设完毕，或接安装完成后与机舱共同起吊；风电机组吊装前在码头将箱变放到底节塔筒相应位置的垫铁上，用经纬仪、水平测定 0.5m 间隔内的水平度，并校正标高；接地装置的接地电阻值必须符合设计要求，接至电气设备和可拆卸的其他非带电金属部件接地的分支线，必须直接与接零干线相连，严禁串联连接。接地线焊接要牢固，防腐良好。两个接地塔体必须符合有关规范规定。

表 2.5-1 海上分体吊装主要施工设备配置表

2.5.3220kV 海上升压站施工

1、施工工艺流程

本工程海上升压平台基础采取先放导管架后沉桩的施工方法，升压平台采用整体运输安装的方法。

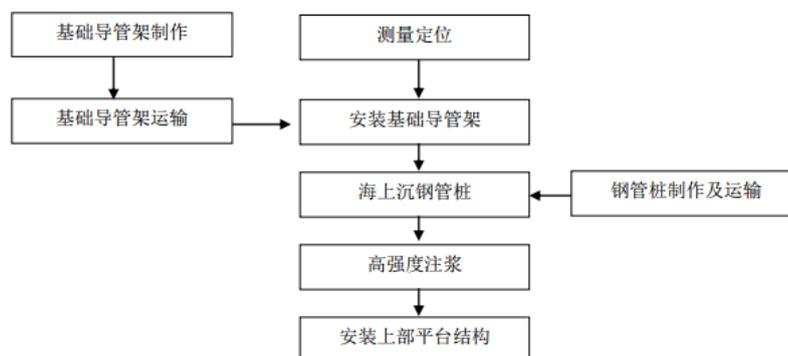


图 2.5-1 海上升压站施工工艺流程图

2、基础导管架制作、运输和沉桩施工

海上升压站基础钢结构在钢结构厂家加工后由模块车滚装到 10000t 级自航甲板驳上，直接运输至沉桩现场。

(1) 导管架沉放

装运导管架的 10000t 驳船由 3000t 起重船吊导管架安放在升压站址海底。导管架桩设有防沉板，架体适应地形自沉稳定后，检查导管架上部水平度，未达到精时可通过对较高侧施压进行调平。

(2) 钢管桩施工

升压平台主体基础钢管桩采用 3000t 起重船配合 1 台有效能量 1200kJ 的液压锤进行沉桩，钢管沉桩定位利用导管架外侧的套管定位导向。沉桩时，可根据现场实际情况，轮流锤击各桩或依次将 4 根桩施打至设计标高。

(3) 灌浆施工

本工程导管架主与钢桩连接灌浆施工采用高强化学材料。灌浆用水采用淡水（一般为饮自来水），出海前将水存储在灌浆施工用船的舱内备。

3、防腐措施

对于钢结构防腐设计，在大气区采用涂层方案；在飞溅区采用防腐涂层和预留蚀裕量的措施；水下区采用防腐涂层和牺牲阳极保护的措施。

4、安装上部平台

导管架、钢桩施工完成后进行上部结构平台及内电器设备的安装工作。为尽量减小现场次数、避免焊接所可能造成的质量缺陷，同时减少海上吊装难度，考虑将部钢结构平台与内部的变压器等电气设备组合形成整体，运输至工程区域后进行整体安装。

钢平台在结构生产厂家前沿码头进行模块组装，完成后采用滑道移到 10000t 驳船上，并做好临时固定措施。装运钢平台的 10000t 驳船由拖轮至现场，停泊在起重的一侧，由起重船起吊至导管架上安装作业。

表 2.5-2 海上升压站主要施工船机配置表

2.5.4 海缆敷设

本工程电缆主要是连接风机与风机之间、风机与海上升压平台之间的 35kV 海缆，共 14 回，总长度 60.65km；海上升压平台与登陆点的 220kV 海缆 2 回，长度约 11.7km，220kV 海缆登陆点采取穿球墨铸铁管埋设，上覆盖钢丝石笼保护。登陆点

(转换井)与陆上集控中心之间的 220kV 陆缆 1 回, 长度约 3km, 陆上部分不属于本次申请用海范围, 不进行详细介绍。

2.5.4.1 敷设准备工作

(1) 敷设施工船在码头布置安装开沟犁系统, 敷设施工船将开沟犁吊在船头扒杆上, 连接管系及线路, 放置泵系及抽水系统。

(2) 由起重船将电缆吊到施工船甲板上, 固定电缆盘, 并将电缆拉出, 放妥于铺缆设备上。

(3) 施工船到达施工海域后, 布置准备工场。

(4) 3.5m 埋设犁进行试验准备, 其最大埋设深度可达到 3.5m, 可埋设不同直径的通信电缆或电力电缆。

(5) 扫海

为确保施工作业过程中施工船舶、锚艇、拖轮以及水下埋设机和电缆的安全, 需要在正式施工前对施工海域进行扫海作业。

扫海作业均为锚艇或拖轮, 尾端系留专用扫海锚, 宽度为 1.5m, 在海缆施工路由上反复拖带, 以清除海底障碍物。清除路由上特别是要求埋设段上, 海床表层的废物及障碍, 如与路由交越的钢缆或绳索, 路由调查中提出的不明反应物, 以及其他有可能阻碍埋设施工的进行。扫海作业不包括已知的海底管线区域, 防止造成意外损坏。

2.5.4.2 海底电缆敷设施工方法

根据海缆敷设区域海洋环境的不同, 可将海缆敷设区分为以下两个部分进行:

(1) 35kV 海缆敷设: 敷设区域为各风电机组之间、各回路终端风电机组至海上升压站之间, 主要属于近海深水区域。

35kV 海缆敷设区域主要为近深水, 考虑采用专业海底电缆敷船配备牵引式高压射水埋机进行施工, 施工船依靠水力埋设机的开沟犁挖后敷。铺缆船铺缆时, 开沟犁和高压水联合作用形成初步断面, 在淤泥坍塌前及时铺缆, 一边开沟一边铺缆, 根据电缆直径选择犁的大小, 开沟宽 20~40cm。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 $\pm 5\text{m}$ 范围内。

电缆敷设之后, 在埋深少于 3m 处采用覆盖水泥压块或土工网装碎石的方式保护电缆。个别区域无法敷设或开沟深度浅时采用哈夫球较减震型球墨铸铁海缆保护套

管进行，两端采用铠装锚固装置对海缆钢丝铠进行固定。

(2) 220kV 海缆敷设：敷设区域为上升压站至登陆点之间，登陆段附近主要为浅水与滩涂区域，其余属于近海深水区域。

220kV 海缆在近深水区域敷设同样采用专业海底电船配备牵引式高压射水埋设机的方法。220kV 海缆登陆段附近主要为浅水与滩涂区域，该因深条件有限海缆敷设采用铺船赶潮施工，局部露滩位采用水陆两栖式挖掘机进行电缆沟开与回填。本工程 220kV 海缆采用整根一次敷设。

2.5.4.3 登陆点概况及施工

1、登陆点概况

电缆登陆点位于秦皇岛市山海关挡浪墙南侧。登陆点距离 220kV 海上升压站直线距离约 11.7km，距离陆上集控中心约 3km 处，距离秦皇岛市区约 40km，地理坐标为***。

登陆点内侧为填海造地，防波提外侧部分区域以 50~60kg 抛石护岸为主，部分区域以扭工字块体为护面层，周边底质以粉砂质砂为主，底质较硬，没有礁石等影响海缆登陆的不利条件。登陆点前沿是开阔海域；登陆点后方陆域无建筑设施，地势低平。





图0-1 登陆点附近现场踏勘图

图 0-2 登陆点附近用海活动分布图

2、海缆登陆施工

220kV 海缆登陆后会穿越山海关挡浪墙，需采用水平定向钻穿堤。电缆穿堤段拟采用钢管保护管进行保护。水平定向钻机进行管线穿越施工，一般分为两个阶段：第一阶段是按照设计曲线尽可能准确的钻一个导向孔；第二阶段是将导向孔进行扩孔，并将管线沿着扩大的导向孔回拖，完成管线穿越工作。

主要工序为：测量放线→开挖工作坑→导向孔施工→扩孔→管线回拖，施工方案如下：

1) 测量放线

测量放线，确定穿越距离和设计穿越线路，根据施工图纸和有关资料，结合施工现场和钻机的实际情况，确定拉管的距离，描绘出导向管的路线图，图中反映敷设管线的进、出土点位置、长度、深度和管线的形状。具体的进出土点位置将在充分测量施工现场情况的前提下确定。

2) 开挖工作坑

根据管线进出土点位置开挖工作坑，堤内外工作坑附近各开挖一座泥浆处理池，使废弃的泥浆流入泥浆处理池中，以便于在管线回拖完毕后，进行处理，保证处理的结果达到环保要求。工作坑及泥浆池开挖土方就近堆在空地上，后期进行回填。

3) 设备就位

在工作井的前二米处架机，安装在管道轴线位置上，就位后将钻机锚固好，调整机头以达到一定的入土角度，以便导向开钻。

4) 导向孔施工

开钻前将探测仪的探头置于导向钻头上，并测试探头反射信号是否正常。将导向杆以设计入土角度入土开钻，钻孔过程中采用泥浆护壁工艺进行保护。入土深度达到设计管位中心高程时，导向杆沿管道轴线直走，直到接收井。在导向钻孔过程中技术人员根据所测获得钻头的角度、深度等数据，判断钻孔位置与钻进路线图的偏差，再向钻机操作人员进行调整，及时记录好导向数据。

5) 扩孔

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

6) 回拖

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

电缆穿堤破坏现有大堤防渗结构，形成渗漏通道，需采取防渗措施。本工程采取防渗体为高压旋喷防渗帷幕，分两排施工，按照规范要求，先施工背海侧的一排再施工近海侧的一排。同一排内的旋喷桩分两序施工，即跳孔施工旋喷桩。

施工工序为机具就位、钻孔、下入喷射管、喷射灌浆及提升、冲洗管路、孔口回灌等。当条件具备时，也可以将喷射管在钻孔时一同沉入孔底，而后直接进行喷射灌浆和提升。根据本区的土质情况，钻孔过程中要进行泥浆护壁。

图 0-3 路由穿堤工程施工示意图

2.5.4.4 海缆保护

电缆敷设之后，在埋深少于 3m 处采用覆盖水泥压块或混凝土连锁排的方式保护电缆。个别区域无法敷设或开沟深度浅时采用哈夫球较减震型球墨铸铁海缆保护套管进行保护，海缆两端采用海缆铠装锚固装置对海缆钢丝铠装进行固定。

图 0-4 低潮露滩区海缆保护断面示意图

2.5.4.5 电缆敷设施工设备

表 0-1 海缆施工主要船机配置表

2.5.5 土石方平衡

根据主体设计，工程大部分施工活动在海上进行，陆上区域动土量相对较小。根据施工组织设计，本工程陆缆敷设、海上电缆施工以及开挖方全部就地回填，陆上工程基本可实现挖填平衡，工程施工不产生外借方和废弃方。

2.5.6 施工总体布置

- 1、根据工程特点，施工基地集中布置，现场施工逐点进行，各风机位置点打桩、安装等均依靠船只水上作业；
- 2、施工基地应具有数千吨级以上码头及配备大型吊装和运输设备；
- 4、基地内部场地应满足工程的运输、拼装要求；
- 5、工程局部浅水区设计低潮位时水深约 15m，施工设备的吃水深度满足水深要求；
- 6、工程区域周边为航道，施工期间在施工区域周围设置浮筒，防止船只抛锚拉断周边电缆和管道。

2.5.7 施工进度安排

本工程施工总期 24 个月。

2.5.8 主要施工机械设备

主要施工机械设备一览表如下：

表 0-2 施工主要机械设备表

2.6 项目申请用海情况

2.6.1 项目用海类型及方式

山海关风电一期 500 兆瓦评价示范项目用海类型为“工业用海”（一级类）中的“电力工业用海”（二级类），用海方式为透水构筑物（风电机和海上升压站）和海底电缆管道（220kV 海底电缆和 35kV 海底电缆）。

2.6.2 项目申请用海面积

本次申请用海总面积 282.7219hm²，其中透水构筑物用海面积为 56.9563hm²（风机基础 53.8257hm² 和海上升压站 3.1306hm²），海底电缆管道用海 225.7656hm²（35kV 海底电缆使用总面积为 192.3529hm²，220kV 海底电缆使用总面积为 33.4127hm²）。宗海位置图及宗海界址图见下图。

2.6.3 项目用海期限

本工程风机的使用年限为 25 年，工期为 12 个月。综合考虑本项目的施工和设计年限，本次申请用海期限为 26 年。

2.6 项目用海必要性

2.6.1 项目建设必要性分析

本项目装机总容量为 500MW。本项目的建设必要性主要考虑以下几点：

1、项目建设是实现“2030 年碳达峰”、“2060 碳中和”目标的重要举措；

2021 年全国两会期间，政府工作报告首次中提到了“2030 年碳达峰”、“2060 碳中和”，并将其列入到 2021 年 3 月发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，业内也将其称之为“30/60”的气候目标。

“30/60”碳排放目标的实现，将通过调整产业结构、能源结构，提高能效管理，推进碳市场建设。风力发电、光伏发电等是近年来新兴的清洁发电形式，海上风电项目的建设符合国家新能源产业发展战略和区域用海规划，也是实现“30/60”目标的重要举措。

2、项目建设为践行习近平生态文明思想、促进大气污染防治注入新的强大活力；风能属于可再生清洁能源，风力发电，不污染环境，具有广阔的发展前景，和其他发电方式相比，风力发电的建设周期短，实际占地少，对土地要求低，在山丘、海边、河堤、荒漠等地形条件下均可建设。本项目海上风机拟建设于秦皇岛市山海关海域，项目利用海域资源，发展绿色能源，助力生态文明建设，为促进大气污染防治注入新的强大活力。

3、项目建设是加快能源结构转型升级，加快新能源消纳的有力助推剂；

根据《国家能源局关于 2021 年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知》，“2021 年，全国风电、光伏发电发电量占全社会用电量的比重达到 11%左右，后续逐年提

高，确保 2025 年非化石能源消费占一次能源消费的比重达到 20%左右。”本项目建设能够积极有序推进海上风电规模化、集约化开发，有利于实现能源多样化，符合习近平总书记关于能源安全新战略的重要论述。

4、项目建设对优化区域能源结构、补充区域电能供给以及地区经济绿色低碳发展具有重要意义。

本项目风力发电直接接入孟姜站站，并入总电网供山海关区域用电，本项目建设有助于提升区域绿色电力能源占比，有助于优化区域能源结构，对地区的经济绿色低碳发展具有重要意义。

综上，本项目的建设是必要的。

2.6.2 项目用海必要性分析

1、本项目风电场区具有较好的风资源条件。

根据收集到的场址区域测风塔资料，本场址 130m 高度的年平均风速在 7.75m/s 左右。本项目风电场区具有较好的风资源条件。风电作为清洁能源，不排放任何有害物质，对环境保护有利。

2、项目建设有助于海洋风能资源的有效开发利用。

风电场建成后，将实现对海洋风能资源的有效开发利用，并向电网输送清洁可再生能源，改善电力能源结构。

3、项目建设满足能源发展方向。

党的十九大报告、2021 年政府工作报告、“十四五”规划指出了对我国（地区）能源结构转型升级的要求，明确了“2030 年碳达峰”、“2060 碳中和”的总体目标，本项目的建设是积极响应国家和地方号召的重大举措。本项目海上风电工程主体由风电机组、220kV 升压站及海底电缆等部分组成，风电机组、升压站和海底输电电缆布置于海上，需占用一定面积的海域。因此，本项目的用海是必要的。

3 项目所在海域情况

3.1 自然环境概况

3.1.1 气候与气象状况

本次评估采用国家海洋局秦皇岛海洋环境监测中心站长期实测资料作统计，该

站位于秦皇岛市南山的灯塔处海滨，观测代表值良好，资料采集时间为 2003 年至 2015 年。

(1) 气温

年平均气温 10.3℃

年平均最高气温 14.4℃

年平均最低气温 6.7℃

年极端最高气温 38.3℃

年极端最低气温-20.1℃

(2) 降水

年平均降水量 656.2mm

年最大降水量 1221.3mm

日最大降水量 203.7mm

年平均降水天数 65.5 天

中雨的年平均降雨日数：8.3 天

大雨的年平均降雨日数：6.0 天

暴雨的年平均降雨日数：2.0 天

该区降水有显著的季节变化，降水多集中在 6、7、8 月三个月，这三个月的降水量占年降水量的 70%以上，而 12 月至翌年的 2 月份的降水量最小，仅占全年的 2%。

(3) 风

①各向风频

冬季（1 月）盛行 WSW 风和 NE 风，其频率分别为 15%和 13%。E~SW（顺时针）各向风较少，其频率只有 2~3%。春季（4 月）盛行 SSW 和 SW 风，其频率之和高达 24%。ENE 和 WSW 风较多，其频率均为 10%。ESE~SSE 风较少，其频率为 2~3%。夏季（7 月）盛行 S 和 SSW 风，两向的频率之和为 22%。ENE 风较多，其频率为 10%。WNW~NNW 风较少出现，其频率为 2~3%。秋季（10 月）盛行 WSW 其频率为 15%。NNW 风次之，其频率为 12%。N~SN 风较少出现，其频率无均为 2%。

统计三年每日 24 小时观测资料，该区常风向为 W 向，出现频率为 10.37%，其次为 WSW 向，出现频率为 9.39%。强风向为 E 向，全年各方向 7 级风的出现频率为 0.35%，其中 E 向为 0.14%，ENE 向为 0.11%。详见下表。

表 3.1-1 秦皇岛地区风频率统计表

单位: %

	1~3 级风	4~5 级风	6 级风	7 级风	合计
N	6.35	0.47	0.01		6.83
NNE	3.88	0.48	0.05	0.01	4.42
NE	5.20	1.59	0.11	0.02	6.92
ENE	3.78	3.02	0.39	0.11	7.30
E	3.16	2.06	0.27	0.14	5.63
ESE	1.64	0.86	0.06	0.01	2.57
SE	2.38	0.39	0.01	0.01	2.79
SSE	2.20	0.32	0.02	0.02	2.56
S	3.81	1.33	0.05	0.02	5.21
SSW	4.78	3.18	0.24	0.02	8.22
SW	5.42	1.13	0.03	0.01	6.59
WSW	8.33	1.05	0.01		9.39
W	9.39	0.98	0.01		10.38
WNW	6.75	0.47			7.22
NW	6.72	0.16			6.88
NNW	4.82	0.25	0.01		5.08
C	2.08				2.08
合计	80.69	17.74	1.27	0.37	100

②平均风速和最大风速

逐月的平均风速和最大风如下表所示。

各月的平均风速变化不大。春季(3~5月)稍大,为3.8~3.9m/s。夏季(6~8)稍小,为3.1~3.3m/s。秋冬季比较接近。全年平均风速为3.4m/s。

最大风速为12月为12.7m/s,其余各月均为14~16m/s,变化较小。

表 3.1-2 平均风速和最大风速 (m/s) (1990~1999)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
平均	3.4	3.4	3.9	3.9	3.8	3.3	3.2	3.1	3.3	3.3	3.5	3.2	3.4
最高	14.3	14.3	16.0	15.3	15.2	16.0	15.0	15.0	16.0	15.2	15.0	16.7	16.7

特别说明的是近十几年来,由于测风点附近高大建筑物的增多,使测风资料的代表性大受影响。例如,与1980年以前相比,WSW风出现频率明显增大,最大风速明显减小。

(4) 雾

年平均雾日为 9.8 天，能见度小于 1km 的大雾平均每年出现天数为 6.6 天。

(5) 湿度

年平均相对湿度为 64%。

(6) 冰况

该海区每年冬季有不同程度的海冰出现，由于海冰出现的严重程度取决于当时的水文、气象诸要素，故年与年之间的差异较大。多年海冰观测资料统计分析表明，该海区初冰日一般为 11 月下旬，终冰日为翌年 3 月上旬，总冰期为 100 天左右。浮冰（冰厚约 5cm）一般在 12 月下旬出现。沿岸固定冰初冰日为 1 月下旬，终冰日为 2 月中旬，固定冰冰期平均每年约为 20 天左右。正常年份，冰期对船舶航行及港口营运无多大影响。在特殊年份 1969 年 2 月至 3 月曾出现一次严重冰情，整个渤海湾几乎被冰覆盖，沿岸最大堆积冰厚达 4.6m，海面最大冰厚 1.0m 以上，对船舶航行造成一定影响。

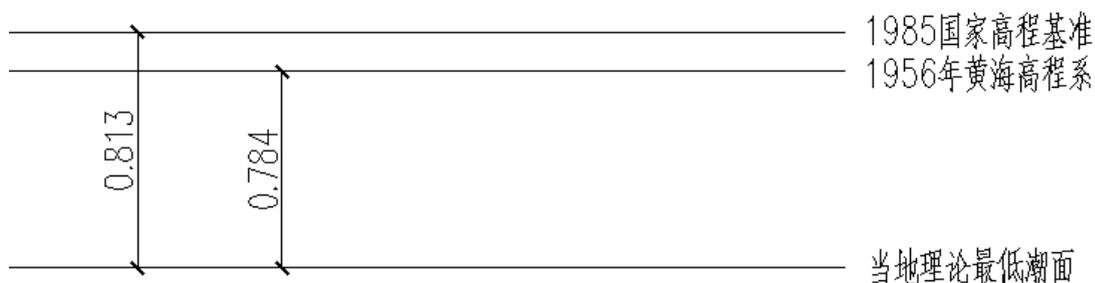
3.1.2 水文条件

3.1.2.1 潮汐、潮位

1、潮汐和水位

(1) 基面关系

本工程利用芷锚湾海洋站基面关系，当地理论最低潮面位于 56 黄海平均海平面下 0.784m，本文设计水位以及相关高程除特殊说明外均以当地理论最低潮面起算。



(2) 潮位特征值

本港潮汐为规则日潮型，潮差较小。

年最高潮位：2.32m

年最低潮位：-0.55m

年平均潮位：1.05m

平均高潮位：1.47m

平均低潮位：0.69m

最大潮差： 2.56m

(3) 乘潮水位

本工程区冬三月乘潮水位：乘潮历时 2 小时，累积率 90%的乘潮水位为 0.74m。

(4) 气象增减水

本海区受大风与台风影响增减水现象比较明显，且减水次数多于增水次数。据近十年内的统计，幅度大于 50cm 的增水次数为 45 次，减水次数为 151 次。台风引起的增水幅度最大可达 1.7m 以上，冬季减水幅度最大为 1.66m 左右，冬季航行期间应加强港区潮汐的观测和预报工作，密切注意港池及航道的实际水深。

3.1.2.2 波浪

本工程附近水域开阔，波浪对港区影响较大。港区东 12km 处的芷锚湾海洋站有长期的波浪观测资料，资料采集时间为 1999 年~2014 年，代表性较好。本港区波浪主要是风浪和以风浪为主的混合浪，频率约占 70%。

常浪向为 SSW，频率 27%；

次常浪向为 SW，频率为 12.4%；

强浪向为 SE，实测最大波高 3.6m。

山海关与芷锚湾波浪对应关系如下：

$$H_{1/10}^{\text{山}} = 1.034H_{1/10}^{\text{芷}} + 0.123$$

$$H_{\text{max}}^{\text{山}} = 1.170H_{\text{max}}^{\text{芷}} + 0.124$$

$$\bar{T}_w = 0.443\bar{T}_{\text{芷}} + 1.539$$

防波堤口门处，主波向(SE 向)五十年一遇最大波高为 4.58m，对应周期 7.6s。

图 3.1-1 波浪测站位置示意图

3.1.2.3 潮流

秦皇岛海域的潮流主要表现为半日潮流。该岸段潮流总体特征表现为顺岸的往复流，各垂线涨潮流向为 WSW 向，落潮为 ENE 向，流向主轴与岸线或等深线基本

平行。

3.1.2.4 冰况

本海区每年都有不同程度的海冰出现。初冰期一般在 11 月中旬，终冰期在翌年 3 月中旬，固定冰厚一般为 10~40cm，最大可达 63cm。浮冰密度较大，平均流速 0.2m/s，最大流速 0.7m/s，流向为 WSW-ENE 向。1969 年 2 月至 3 月曾出现过一次严重冰情，整个渤海湾几乎全部被冰覆盖，沿岸最大堆积冰厚达 4.6m，海面最大冰厚 1.0m 以上，对船舶航行造成一定的影响。

3.1.3 泥沙条件

3.1.3.1 地形地貌

港区地貌单元为花岗岩剥蚀台地边缘，由岸边向深水域微倾，标高-5.42~-14.09 m，海底地形坡度为 0.12%。岩土物质组成为第四系全新统滨海相沉积的淤泥质粉质粘土、粉质粘土夹粉细砂层（Q4m）；第四系全新统冲洪积河流相沉积的中砂、粗砾砂夹圆砾层（Q4al），下伏太古界混合花岗岩(Ar)并在近岸浅水区见有中风化~微风化伟晶岩形成礁石出露。

3.1.3.2 泥沙运动

1、泥沙来源与动力条件

本区泥沙来源大致可分为三部分，一是河流来沙，影响最大的是西侧的石河。石河是山区性河流，发源于河北省青龙县秋树岭，总长 67.5km，流域面积 600km²。流域内，土质多为砂砾和亚砂土，河床大部分为卵石，总高差达 400m，平均坡降 5.9%，坡陡水急，河水暴涨暴落，多年平均径流量为 1.68 亿 m³，多年平均输沙量为 11.4 万 t。由于山海关船厂东、西防波堤的阻断，使得石河的泥沙无法运移到本工程区域，主要堆积在西防波堤以西的范围内。本港区附近还有一些小河沟，其水沙量均很小，影响有限。

第二部分泥沙来自红岭盖以东，由于接岸引堤对 SE 向风浪的掩护，它将东部黑山、芷锚湾岬角与孟屯湾沿岸冲刷下的粗、中砂阻断至本工程区域。

第三部分泥沙来自本港区自身的岸滩与海底。在波浪和潮流作用下，沿横向和纵向往复迁移。在港区水域开挖前，泥沙运动有着自身的平衡规律，当水域开挖、水工建筑物完成后，原来的平衡规律被破坏，必然发生冲淤变化，对港池及航道产生一定影响。

2、泥沙运动

根据交通部天津水运工程科学研究所所作《山海关港 3.5 万吨级通用泊位续建工程潮流数值模拟与泥沙淤积分析研究报告》，本工程建成后港池和航道的淤强和淤积量均不大，分别为 0.19m/a、8.21 万 m³/a 和 0.17m/a、7.31 万 m³/a，大风浪天总淤强和总淤积量分别为 0.09m/d、3.59 万 m³/d。

3.1.4 工程地质地貌

3.1.4.1 地质

本节内容全部引自《哈动力南侧围海造地工程岩土工程勘察报告（补充勘察阶段）》（中冶沈勘秦皇岛工程技术有限公司，2015.09）。

本次勘探范围内揭露，场区内地层自上而下为①淤泥、②粗砾砂、③砂质黏性土、④强风化混合花岗岩。上述各岩土层的岩性特征及分布情况详见（表 3.1-3）。

图 3.1-2 工程地质钻孔平面布置图

表 3.1-3 场地地层岩性特征一览表

表 3.1-4 标准贯入试验击数修正值统计表

表 3.1-5 地基土主要物理力学性质指标统计表

图 3.1-3 工程地质剖面图 3-3'

图 3.1-4 钻孔柱状图 Z3

图 3.1-5 钻孔柱状图 Z9

3.1.4.2 地貌

工程区附近海岸位于中生代燕山褶皱带的山海关隆起区。南与冀北凹陷、东与渤海凹陷相邻。新生代以来，新构造运动活跃，北东向、东西向和北西向断裂发育，形成了西北部隆升、东南部下沉的北东—南西向延伸的三级阶梯状地貌格局：断块构造低山、丘陵台地、海岸带三大地貌单元。现代海岸带岬湾相间，岸线总体平顺，尽管自东向西发育多个规模不等的岬角，但除环海寺地咀和金山咀岬角规模较大外，其他岬角向海突出有限，从而形成了发育程度不同的弧形海湾。

3.1.5 风资源条件

本节资料引用自中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司于2022年编制完成的《山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目可行性研究报告》。

3.1.5.1 测风塔分布及设备情况

山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目场址范围外西南边132km处设立了0999#测风塔，采用美国NRG测风设备，测风塔具体情况见表3.1-6，测风塔地理位置见图3.1-6。

表 3.1-6 测风塔基本情况表

图 3.1-6 风电场附近测风塔地理位置关系示意图

3.1.5.2 测风数据完整性、合理性和相关性验证

按照《风电场风能资源评估方法》(GB/T18710-2002)，对本风电场收集到的0999#测风塔原始测风数据进行完整性、合理性及相关性等验证。

a) 测风塔缺测数据统计

通过对0999#测风塔的原始测风数据进行统计分析，在其测风时段内数据完整率为98.3%，原始测风数据完整率好。缺测时段见表3.1-7。

表 3.1-7 测风塔缺测时段统计表

对于0999#测风塔缺测时段的风速和风向数据，采用中尺度数据进行相关弥补，弥补后0999#测风塔在其测风时段内的数据完整率可达到100%，测风数据完整率好。

b) 数据合理性分析及处理

1)数据合理性分析：测风塔不同高度同一时段的风速、风向数据进行对比分析，根据有效值范围，分析判断出不合理的测风数据。

2)不合理风速数据的处理：根据不同高度风速相关性分析成果，采用拟合的相关关系曲线进行修正。

3)不合理风向数据处理：在对测风塔不同高度风向数据进行对比分析基础上，对不合理风向数据采取以其它高度的风向数据替代。

根据上述测风数据合理性分析原则，对0999#测风塔进行合理性分析，对不合

理测风数据进行修正，成果见表 3.1-8。

表 3.1-8 0999#测风塔不合理数据统计成果表

c) 相关性分析

对 0999#测风塔缺测数据和不合理数据进行修正后，测风塔内不同高度层之间的风速相关性分析成果见表 3.1-9。

表 3.1-9 0999#测风设备各高度风速相关性分析成果表

由表 3.1-9 成果可见，0999#测风塔自身不同高度的风速相关系数均在 0.99 以上，说明各测风塔内不同高度层风速相关性均好。

1、塔影效应分析

塔影效应是测风塔在测风过程中出现的一种负面效果，主要是对于下风向测风仪，由于一部分空气通过塔架后再吹向测风仪，塔架干扰了流过叶片的气流而形成塔影效应。本阶段分析测风塔各高度层的塔影效应。

依据以下方法对测风塔风速数据进行塔影分析：

$$V_i = \max(V_i^1, V_i^2)$$

V_i^1 为通道 1 第 i 时段的风速 (m/s) V_i^2 为通道 2 第 i 时段的风速 (m/s) 测风塔受塔影效应影响明显。消除塔影效应后测风塔 90m 高度层 2012 年年平均风速为 7.45m/s，2013 年年平均风速为 8.01m/s。

2、测风塔风况参数分析

(1) 湍流强度

湍流是指风速、风向及其垂直分量的迅速扰动或不规律性，是重要的风况特征，其很大程度上取决于环境的粗糙度、地层稳定性和障碍物。

根据 0999#测风塔 2012 年 1 月~2013 年 12 月测风塔的实测风速风向资料分析计算不同高度风速、风向湍流强度，不同高度湍流强度计算成果见表 3.1-10~表 3.1-12，湍流强度图见图 3.1-7~图 3.1-8。

表 3.1-10 0999#测风塔不同高度有效湍流强度计算成果统计表

表 3.1-11 0999#测风塔各高度不同风速段湍流强度计算成果统计表

表 3.1-12 0999#测风塔 20m 和 80m 高度各扇区湍流强度计算成果统计表

图 3.1-7 0999#测风塔 20m 高度和 80m 高度各扇区湍流强度图

图 3.1-8 0999#测风塔各高度层不同风速段湍流强度图

由表 3.1-10~表 3.1-12 可以看出，0999#测风塔 30m 以上高度综合湍流强度为 0.066， $V=15\text{m/s}$ 时湍流强度为 0.053，主风向(S)湍流强度为 0.056，说明河北 QH03 海上风电示范项目湍流强度偏弱。

(2) 风切变

根据测风塔塔影后不同测风高度的平均风速，计算相应的风切变指数，具体成果见表 3.1-13，风速随高度变化曲线见图 3.1-9。

表 3.1-13 0999#测风设备风切变指数计算成果表

图 3.1-9 0999#测风设备风速随高度变化曲线图

从以上图表分析可知，测风塔风速随着测风高度的增加而逐渐加大，但增量逐渐减小。0999#测风塔 90m 高度对 80m 高度风切变指数为 0.009，测风塔综合风切变指数为 0.066，风切变指数较小。

(3) 空气密度

1) 根据收集到的 0999#测风设备气温、气压资料以及昌黎县气象站 多年平均气温、气压及水气压等资料来分别计算空气密度。

根据 0999#测风设备资料计算空气密度：

$$\text{按 } \rho = \frac{P}{RT} \text{ 公式进行计算}$$

式中：

P 为年平均气压，hPa；

R 为气体常数，287J/kg.K；

T 为年平均空气开氏温标绝对温度，(t+273)°C。

根据测风塔收集到的实测气温、气压计算空气密度，具体成果见表 3.1-14。

表 3.1-14 0999#测风塔实测资料计算成果表

空气密度向不同高度推算采用如下公式：

$$\rho_z = \rho_h e^{-0.0001(z-h)}$$

式中：

ρ_z 为测风仪器安装处（海拔高度为 z ）的空气密度，

ρ_h 为温度、气压传感器安装高度处（海拔高度为 h ）的空气密度。

根据此公式计算得到 125m 轮毂高度处空气密度为 1.162 kg/m^3 。

2) 根据气象站资料计算空气密度

昌黎县气象站多年平均气温为 25.2°C 、多年平均气压为 1010hPa ，水气压为 25.8hPa ，根据如下公式：

$$\rho = \frac{1.276}{1 + 0.00366t} \left[\frac{p - 0.378e}{1000} \right]$$

式中：

t 为多年平均气温；

p 为多年平均气压；

e 为多年平均水汽压。

经计算，昌黎县气象站的空气密度为 1.169kg/m^3 。

3) 空气密度采用值

从上述计算成果可知，采用测风塔和气象站资料计算的空气密度值分别为 1.162kg/m^3 和 1.169kg/m^3 ，两种方法的计算结果较为接近。本阶段海上风电场的空气密度采用测风塔计算值 1.162kg/m^3 。

(4) 实测风速和风向

1) 平均风速和风功率密度统计 本阶段统计各测风设备在原始测风时段内完整月的观测数据，分析测风塔各月的平均风速及风功率密度，成果见表 3.1-15。

表 3.1-15 0999#测风设备各高度层平均风速、风功率密度成果表

2) 实测风向统计分析

根据 0999#测风塔 80m 高度处实测的风向数据进行统计分析，风向和风能玫瑰图见图 3.1-10~图 3.1-11。

a.风向

b.风能

图 3.1-10 测风塔 80m 高度 2012 年风向及风能玫瑰图

a.风向

b.风能

图 3.1-11 测风塔 80m 高度 2013 年风向及风能玫瑰图

a.风向

b.风能

图 3.1-12 测风塔 80m 高度 2014 年风向及风能玫瑰图

从图 3.1-10~图 3.1-11 可以看出, 0999#测风塔风向主要分布在 S 和 NE, 风向风能分布较为集中。

3、测风塔与 3T 数据相关性分析

根据 0999#测风塔 90m 高度 2012 年 1 月 1 日~2013 年 12 月 31 日期间的测风资料, 与 3T 数据同期逐时风速资料进行相关性分析, 总体相关关系见图 3.1-13。

图 3.1-13 0999#测风塔与 3T 数据总体相关关系图

由图 3.1-13 可以看出, 0999#塔 90m 高度观测风速与 3T 数据同期的观测风速相关系数为 0.705, 相关性尚可。

4、测风数据的代表性分析及订正

(1) 测风塔代表性分析

从测风时段来看, 0999#测风塔测风时长满足 1 年, 数据完整率 较好, 数据质量满足要求, 可满足本阶段风能资源评估的要求; 从测风塔的地理位置分布来看, 测风塔位于风电场场区外北侧 25km 处, 测风塔测风环境及海拔高度与风电场场区海洋环境有一定的一致性。测风塔基本满足本阶段的要求。

综上所述, 0999#测风塔对风电场具有一定代表性, 本阶段以该测风塔作为代表测风塔对风电场风能资源进行分析。

(2) 代表年选择

0999#测风塔测风时段为 2011 年 11 月 11 日~2015 年 4 月 30 日, 数据完整性较好。为了便于测风数据的统计与分析, 考虑测风设备的稳定性和测风数据的精确性, 并根据《海上风电场工程可行性研究报告编制规程》NB/T31032-2019 的要求, 本阶段选择 2012 年 12 月 1 日~2013 年 12 月 31 日两个完整年作为代表年对风电场项目的风能资源进行分析和评价。

(3) 订正分析

根据秦皇岛气象站历年数据资料统计得到不同时间段平均风速统计成果见表 3.1-16。

表 3.1-16 秦皇岛气象站数据风速统计成果表

单位: m/s

图 3.1-14 3Tier 数据平均风速年际变化直方图

从分析表 3.1-16 及图 3.1-14 可以看出, 气象站数据数据代表年风速为 3.87m/s。为了准确的反映出测风年风速在长系列中的水平, 考虑到风电场运营周期为 25 年,

本阶段选定近 25 年作为数据订正长系列，代表年风速较近 25 年风速(4.14m/s)偏小 0.27m/s，偏小比例为 7.0%。

由于秦皇岛气象站于 2004 年进行搬迁，期间还经历多次仪器更换，参证价值不高，本阶段暂采用 3Tier 数据进行本风电场大小风年进行判断。根据本阶段收集 3Tier 数据资料，0000999#测风塔 90m 高度不同时间段平均风速统计成果见表 3.1-17。

表 3.1-17 0999#测风塔处中尺度数据风速统计成果表

单位：m/s

图 3.1-15 3Tier 数据平均风速年际变化直方图

从分析表 3.1-17 及图 3.1-15 可以看出，3T 数据代表年风速为 4.55m/s。为了准确的反映出测风年风速在长系列中的水平，考虑到风电场运营周期为 25 年，本阶段选定近 25 年作为数据订正长系列，代表年风速较近 25 年风速(4.57m/s)偏小 0.02m/s，偏小比例为 0.5%，代表年为平风年，故本阶段暂不对代表测风塔测风年数据进行订正。

3.1.5.3 风能资源评估

本阶段根据该区域风能资源情况以及场址建设条件综合考虑，山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目推荐采用 WTG230-8.5MW 风力发电机组作为代表机型，轮毂高度为 130m，本阶段风电机组预装轮毂高度采用 130m。

考虑到代表测风塔未在 130m 高度设置测风仪，0999#测风塔 90m 高度对 80m 高度风切变指数为 0.009，测风塔综合风切变指数为 0.066，本阶段 130m 高度测风数据采用 90m 风速数据和 90m 高度层对 80m 高度层风切变指数(0.009)进行推算，风向则直接采用 80m 高度层实测风向数据。

1、主风向和主风能方向

经分析，0999#测风塔在代表年期间的风向风能频率统计成果见表 3.1-18、图 3.1-16 和图 3.1-17，年内各月风向风能频率统计成果分别见图 3.1-18 和图 3.1-19。

表 3.1-18 0999#测风塔轮毂高度处风向风能频率统计成果表

图 3.1-16 0999#测风塔轮毂高度处
年风向玫瑰图

图 3.1-17 0999#测风塔轮毂高度处
年风能玫瑰图

图 3.1-18 0999#测风塔轮毂高度处代表年风向玫瑰图

图 3.1-19 0999#测风塔轮毂高度处代表年风能玫瑰图

由表 3.1-18 和图 3.1-16~图 3.1-19 分析可知：0999#测风塔风向和风能都主要集中在 S 和 NE 向，其中主风向和主风能方向均为 S 向，可见本风电场区域的风向和风能分布集中。

2、风速和风功率密度年内变化

根据 0999#测风塔轮毂高度的实测数据进行统计分析，风速和风功率密度年内变化见表 3.1-19 和图 3.1-20。

表 3.1-19 0999#测风塔轮毂高度处风速和风功率密度年变化成果表

图 3.1-20 0999#测风塔轮毂高度处风速和风功率密度年内变化曲线

由表 3.1-19 和图 3.1-20 分析可知：

1) 0999#测风塔轮毂高度处的年平均风速为 7.75m/s，平均风功率密度为 579.6W/m²；

2) 春季风速相对较大，秋季风速相对较小；

3) 年内最大月平均风速为 8.99m/s，最小月平均风速为 6.28m/s，风速年内变化幅度较大。

4) 测风塔风功率密度与风速变化趋势基本一致。

3、风速和风功率密度日内变化

经统计，测风塔轮毂高度处的风速、风功率密度日变化见表 3.1-20 和图 3.1-21。

测风塔轮毂高度处各月风速和风功率密度日变化见图 3.1-22。

表 3.1-20 测风塔轮毂高度处风速和风功率密度日变化成果表

图 3.1-21 测风塔轮毂高度处风速和风功率日变化曲线

图 3.1-22 测风塔轮毂高度处各月风速、风功率密度日内变化图

分析表 3.1-20 和图 3.1-21 可知，海上风电场区域风速日内变化范围为 6.9m/s~8.6m/s，最大最小风速差为平均风速的 26.0%，风速日内变化幅度相对较小。日内风速均以 12 点至 19 点期间相对较大，20 点至次日 11 点期间相对较小，风功率密度日内变化与风速变化规律基本一致。

4、风速和风能频率分布

测风塔轮毂高度处风速风能频率分布见表 3.1-21 和图 3.1-23。

表 3.1-21 测风塔轮毂高度处风速和风能频率分布成果表

图 3.1-23 测风塔轮毂高度处年风速和风能频率分布直方图

从表 3.1-21 和图 3.1-23 分析可知，风电场代表测风塔轮毂高度 3.0m/s~23.0m/s 风速段有效风速利用小时数为 7674h，占全年的 87.6%，说明风电场全年可发电小时

数高。风速 12m/s~24m/s 区段，统计小时数为 1945h，占全年 22.2%，机组满发时间也较多。

风电场区域轮毂高度处风速分布主要集中在 2.0m/s~12.0m/s 风速段，所占比例约为 77.8%，相应风能所占比例为 37.6%；风能主要集中在 9.0m/s~17.0m/s 风速段，所占比例为 78.5%，相应风速所占比例为 38.3%。可见，风电场的风速风能分布相对比较集中。

5、风频曲线及威布尔参数

风频曲线采用威布尔分布，概率分布函数用下式表示：

$$f(U) = \frac{K}{A} \left(\frac{U}{A}\right)^{K-1} \exp\left[-\left(\frac{U}{A}\right)^K\right]$$

式中：U 为风速，A、K 为威布尔参数。

用 WAsP 程序进行曲线拟合计算，得到风电场区域轮毂高度威布尔参 A=9.0，k=1.93，威布尔分布曲线见图 3.1-24。

图 3.1-24 本风电场区域轮毂高度处风速威布尔分布曲线图

4.5 风电场风能资源综合分析

1、50 年一遇最大和极大风速

(1) 极值 I 型方法

五日最大风速法是通过选取测风年每五日最大风速(10min 平均)的样本序列，是 Gumbel 极值 I 型分析法的修正形式，计算公式为：

$$V_{50_Max} = u - \frac{1}{a} \ln\left[\ln\left(\frac{50 \times 73}{50 \times 73 - 1}\right)\right] \quad (1)$$

其中，u 为 Gumbel 极值 I 型概率分布位置参数，即分布的众值；α 为分布的尺度参数。位置参数 u、尺度参数 α 与测风年每五日最大 风速(10min 平均)的均值 μ、标准差 σ 的关系按下式确定：

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_i - \mu)^2} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{C_1}{\sigma} \quad (4)$$

$$u = \mu - \frac{C_2}{\alpha} \quad (5)$$

式（2）和式（3）中 V_i 为一年内 73 个五日最大风速（10min 平均）样本序列 $n=73$ ；

式（4）和式（5）中 C_1 和 C_2 为修正系数，对应于 Gumbel 极值 I 型概率分布计算公式中的 c_1 、 c_2 系数，由于 $n=73$ ，无法通过查表获得 c_1 、 c_2 值，因此利用插值法计算得到 $C_1=1.187907$ ， $C_2=0.555403$ 。通过此方法计算得到轮毂高度处 50 年一遇的最大风速为 38.70m/s，推算到标准空气密度下的轮毂高度处 50 年一遇的最大风速为 37.9m/s

（2）以测风塔实测最大风速进行推算

根据 0999#测风塔实测的最大风速值，根据《风电机组设计要求》IEC61400-1-2019 规范中的极端风速模型（EWM）和大风速风切变指数关系，推算本风电场轮毂高度 50 年一遇最大风速。

计算公式：

$$V_{e1 \text{ 最大}}(Z) = 0.8 V_{e50 \text{ 最大}}(Z)$$

$$V_{\text{hub}}(Z) = V(Z_0) * (Z_{\text{hub}}/Z_0)^{-n}$$

式中：

$V_{e1 \text{ 最大}}$ 为 1 年一遇的最大风速；

$V_{e50 \text{ 最大}}$ 为 50 年一遇的最大风速；

Z 为参考风速高度；

Z_{hub} 为风机轮毂高度；

n 为风切变指数。

根据上述公式计算，标准空气密度下，0999#代表测风塔 50 年一遇最大风速计算成果见表 3.1-22。

表 3.1-22 测风塔轮毂高度 50 年一遇最大风速计算成果表

综合考虑，本阶段本风电场轮毂高度 50 年一遇最大风速建议采用值为 46.89m/s，

下阶段将在最大风速专题阶段进行进一步论证。

2、风电场风况综合分析

根据收集的测风资料统计分析，风能资源可以得出以下结论：

1) 风功率密度等级为 4 级，风能资源丰富。山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目 0999#测风塔轮毂高度处的年平均风速为 7.75m/s，平均风功率密度为 579.6W/m²，根据《风电场风能资源评估方法》(GB/T 18710-2002)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。

2) 风电场有效风速利用小时数及机组满发时间较高。风电场代表测风塔轮毂高度 3.0m/s~23.0m/s 风速段有效风速利用小时数为 7674h，占全年的 87.6%，说明风电场全年可发电小时数高。风速 12m/s~24m/s 区段，统计小时数为 1945h，占全年 22.2%，机组满发时间也较多。

风电场区域轮毂高度处风速分布主要集中在 2.0m/s~12.0m/s 风速段，所占比例约为 77.8%，相应风能所占比例为 37.6%；风能主要集中在 9.0m/s~17.0m/s 风速段，所占比例为 78.5%，相应风速所占比例为 38.3%。可见，风电场的风速风能分布相对比较集中。

3) 风向稳定，风速风能分布相对较为集中

0999#测风塔风向和风能都主要集中在 S 和 NE 向，其中主风向和主风能方向均为 S 向，风向较为集中稳定；风速分布主要集中在 2m/s~12m/s 风速段，风能主要集中在 9m/s~17m/s 风速段，风速风能分布相对较为集中。

4) 风速年内变化幅度较大，日内变化幅度较小

0999#测风塔风速年内以夏秋季风速较小，冬春季风速相对较大，且年内变化幅度相对较大；风速日内以 12 点至 19 点期间相对较大，20 点至次日 11 点期间相对较小，且日内变化幅度相对较小。

5) 湍流强度偏弱，风切变指数较小

0999#测风塔 30m 以上测风高度综合湍流强度平均值为 0.066；在 V=15m/s 风速时的平均湍流强度值为 0.053；主风向的湍流强度平均值为 0.056。本风电场湍流强度偏弱，且湍流强度随测风高度的增大而减小。测风塔综合风切变指数为 0.009，风切变指数较小。

综合分析，本风电场区域内以 S 向的风速、风能最大和频次最高，盛行风向稳定。风速年内以春夏季风速较大，秋冬季风速相对较小，年内变化幅度相对较大；日内以 12 点至 19 点期间相对较小，20 点至次日 11 点期间相对较大，日内变化幅度相

对较小。风速频率主要集中在 2m/s~12m/s，风能频率主要集中在 9m/s~17m/s 风速段，风速风能分布较为集中。130m 高度处年平均风速为 7.75m/s，风功率密度为 579.6W/m²。

根据《风电场风能资源评估方法》(GB/T 18710-2002)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。

3、风电场特殊气候分析

风电场的运行需要特别注意雷暴天气带来的影响。总体而言，场址气候条件需注意降水、雷暴以及冰冻、凝霜等气象灾害对本风电场运行产生的不利影响，风电场施工期应避免冬季施工和注意保温措施，以及做好灾害性天气的预报和灾害气象条件下的突发事件的应急预案和措施。

3.1.6 地震

本区地质构造上属燕山褶皱带山海关隆起。据国家地震局发[1992]160 号文，1/4000000 中国地震烈度区划图标定，港区 6 度与 7 度分界线处，本阶段按地震基本烈度 7 度设防。

3.1.6 自然灾害

1、风暴潮

渤海湾沿岸是风暴潮较强地区之一。据不完全统计，发生较大的风暴潮接近每 10 年 1 次。自 1953 年到 1998 年，河北省沿海共发生风暴潮灾害 20 余次。2003 年 10 月 11 日~12 日，受北方强冷空气影响，渤海湾、莱州湾沿岸发生了近 10 年来最强的一次温带风暴潮。河北省直接经济损失 5.84 亿元。受灾最严重的是渔业和养殖业。其次为盐业和航道淤积带来的损失，港口航道淤积，影响航运，部分在建的海洋工程受损。秦皇岛市损失 2.00 亿元。2005 年台风“麦莎”（0509）造成河北省直接经济损失 0.94 亿元。2007 年 3 月 3 日至 5 日凌晨，受北方强冷空气和黄海气旋的共同影响，渤海湾、莱州湾发生了一次强温带风暴潮过程，辽宁、河北、山东省海洋灾害直接经济损失 40.65 亿元。2010 年 4 月 15 日，渤海沿岸发生一次强温带风暴潮过程，河北省全省直接经济损失 0.7 亿元。2011 年 8 月 31 日至 9 月 1 日，受冷空气影响，渤海沿岸出现一次较强温带风暴潮过程，受其影响，河北省直接经济损失 1.58 亿元。2012 年 7 月底到 8 月初台风“苏拉”和台风“拉维”在 10 小时先后登陆我国沿海，河北省受灾人口 23 万人，直接经济损失 20.44 亿元。本海区受大风与台风影响增减水现象比较明显，且减水次数多于增水次数。据近十年内的统计，幅度大于 50cm 的增水次数

为 45 次，减水次数为 151 次。台风引起的增水幅度最大可达 1.7m 以上，冬季减水幅度最大为 1.66m 左右，冬季航行期间应加强山海关港区潮汐的观测和预报工作，密切注意港池及航道的实际水深。根据《2017 年度河北省海洋质量公报》：受强冷天气或温带气旋影响，2017 年河北省沿海共出现了 2 次高潮位超过当地蓝色警戒潮位值的风暴潮过程，其中 1 次超黄色警戒潮位值，未统计到由风暴潮灾害造成的直接经济损失。2017 年河北省近岸海域达蓝色及以上警戒潮位的风暴潮过程和 2013-2017 年风暴潮增水超警戒潮位次数、直接经济损失分别见下图所示：

图 3.1-6 2013-2017 年风暴潮增水超警戒潮位次数、直接经济损失

根据《2019 年北海区海洋灾害公报》，2019 年，北海区沿岸共出现 4 次风暴潮过程，较 201 年（5）减少，较近五年的平均次数（5 次）偏少。其中，达到当地蓝色及以上警报级别的风暴潮过程 4 次。在 4 次风暴潮过程中，温带风暴潮 2 次；台风风暴潮 2 次，其中 1 次（1909“利奇马”台风风暴潮）造成直接经济损失。

2、海冰

我国海冰灾害主要发生于渤海、黄海北部和辽东半岛沿岸海域，以及山东西部海域。各海域的盛冰期一般为 1 月下旬至 2 月上旬。海冰可破坏海洋工程设施和船舶，阻碍航行，影响渔业和航运，如我国 1969 年渤海发生了特大冰封，对船舶、海洋工程建筑物带来了严重的灾害。根据《2017 年北海区海洋灾害公报》，2016/2017 年冬季北海区冰情为轻冰年（冰级 1.5）。总冰期 102 天，与常年 3 相仿；严重冰期 23 天，较常年偏短。初冰日较常年冬季提前，严重冰日推后，融冰日和终冰日提前。各海域冰情均较常年明显偏轻，其中渤海湾未进入严重冰期，莱州湾基本无冰。2017 年 1 月下旬至 2 月中旬，辽东湾和黄河北部进入了严重冰期，严重冰期内冰情较常年同期偏轻。2016/2017 年冬季，渤海及黄海北部海冰最大分布范围出现在 1 月 24 日，海冰最大分布面积为 15201km²。

图 3.1-7 2017 年 1 月 24 日渤海及黄海北部海冰分布

根据《2018 年海洋灾害公报》，2017/2018 年冬季，渤海及黄海北部的冰情为较常年略偏轻（2.5 级*），海冰最大分布面积 29071 km²，出现在 2018 年 1 月 28 日。辽东湾海冰最大分布面积 18041km²，出现在 2 月 6 日，浮冰外缘线离岸最大距离 74 海里，出现在 1 月 28 日；渤海湾海冰最大分布面积 5426 km²，出现在 2 月 12 日，浮冰外缘线离岸最大距离 12 海里，出现在 1 月 31 日；莱州湾海冰最大分布面积 2386 km²，出现在 1 月 29 日，浮冰外缘线离岸最大距离 19 海里，出现在 2 月 13 日；黄海北部海冰最大分布面积 7896 km²，出现在 1 月 27 日，浮冰外缘线离岸最大距离 21

海里，出现在 1 月 28 日。

《2019 年北海区海洋灾害公报》，2018/2019 年冬季，北海区冰情较常年明显偏轻（冰级 1.5），灾害损失为近十年最低。冰期 93 天，其中严重冰期 12 天，均较常年偏短。严重冰日较常年冬季推后，初冰日、融冰日和终冰日较常年冬季提前。

图 3.1-8 2018 年 1 月 28 日渤海及黄海北部海冰分布

（3）赤潮

2011 年 6 月 17 日在秦皇岛北戴河鸽子窝附近发生了最大面积为 180km² 的赤潮；2010 年 5 月至 8 月间，在秦皇岛绥中海域发生了最大面积 1450km² 的赤潮，并未殃及本宗海海域；2014 年 5 月至 9 月间，分别在秦皇岛及渤海中部海域发生了面积较大的赤潮，最大面积可达 2000km²。

《2015 年北海区海洋灾害公报》，2015 年，北海区共发现赤潮 8 次，总面积 1570 平方千米，赤潮发现次数比上年减少 5 次，面积比上年减少 2527 平方千米。其中，渤海发现赤潮 7 次。其中，秦皇岛海域发生 4 次，最大一次为 6 月 3 日至 6 日，秦皇岛海港区海域发现赤潮，最大面积 70 平方千米，赤潮优势种为中肋骨条藻、赤潮异湾藻。

《2016 年北海区海洋灾害公报》，2016 年，渤海共发现 10 次赤潮，赤潮发生海域总面积约 740 平方公里。赤潮高发期为 7 月至 9 月，高发区为秦皇岛附近和天津附近海域。7 月 28 日至 8 月 20 日，秦皇岛附近海域发现赤潮，面积达 75 平方千米，赤潮优势种鉴定为夜光藻和丹麦细柱藻等。

根据《2017 年北海区海洋灾害公报》，2017 年，渤海共发现 1 次赤潮，赤潮发生海域总面积约 342 平方公里。赤潮发现次数较 2016 年有所增长，发生面积降低较大。赤潮高发期为 7 月-9 月，高发区为秦皇岛附近和天津附近海域。8 月 9 日至 8 月 26 日，河北秦皇岛戴河口—金梦海湾附近海域发现赤潮，最大面积 50 平方千米，赤潮优势种为叉角藻、血红哈卡藻、红色中缢虫和锥状斯克里普藻。

根据《2018 年北海区海洋灾害公报》，2018 年，北海区共发现赤潮 6 次，与 2017 年相比次数大幅下降。其中，渤海发现赤潮 5 次，黄海发现赤潮 1 次。发现赤潮累计面积 96.9 平方千米，较 2017 年减少 205.52 平方千米，为 2009 年以来最小。2018 年，北海区赤潮多发期为 5 月至 9 月，其中 5 月份发现赤潮 3 次，为最多的月份。赤潮主要出现在天津市和秦皇岛市所辖的部分海域。7 月 20 日至 23 日，秦皇岛西浴场至金梦海湾浴场沿岸发现赤潮，最大面积 2.7 平方千米，赤潮优势种为海洋卡盾藻，为有毒藻种。8 月 28 日至 9 月 4 日，该海域再次发现赤潮，最大面积 8.2 平方千米，赤

潮优势种为锥状斯克里普藻。

《2016年北海区海洋灾害公报》，北海区共发现赤潮4次，与2018年相比发现赤潮次数大幅下降。其中，渤海发现赤潮2次，黄海发现赤潮2次。发现赤潮累计面积5.28平方千米，较2018年减少91.62平方千米，发现赤潮的累计面积为2010年以来最小。2019年，北海区赤潮多发期为7月至10月，其中7月份发现赤潮2次。赤潮主要出现在大连、秦皇岛和烟台近岸海域。

3.2 海洋环境质量现状

3.2.1 水文泥沙境现状调查与评价

青岛卓建海洋工程勘测技术有限公司依据《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》等相关规定，于2022年10月，开展了山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目水文动力监测工作，主要监测内容为流速、流向、水深等。共布设水文动力环境监测站位6个（其中潮流站6个、潮位站3个）。本节资料引自《山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目水动力监测数据报告》，青岛卓建海洋工程勘测技术有限公司，2022年10月。

3.2.1.1 监测站位

调查时间：秋季、大潮期（农历九月十六至九月十七）。

调查内容：潮流、潮位。

调查频次：潮流连续25h观测，潮位与潮流同步观测。

站位布设：站位布设及站位坐标如下图3.2-1、表3.2-1所示。

表 3.2-1 水文调查站位坐标一览表

调查站位	经度	纬度	调查项目
1	***	***	泥沙、潮流、温盐
2	***	***	泥沙、潮流、潮位、温盐
3	***	***	泥沙、潮流、温盐
4	***	***	泥沙、潮流、潮位、温盐
5	***	***	泥沙、潮流、温盐
6	***	***	泥沙、潮流、潮位、温盐

图 3.2-1 水文调查站位示意图

3.2.2.2 潮位观测统计

根据大潮期各站潮位观测实测资料，对潮位数据进行统计，统计结果见表表 3.2-2~表 3.2-4 及图 3.2-2~图 3.2-4。

表 3.2-2 2 号站位潮位数据表
图 3.2-2 2 号站位潮位变化图
表 3.2-3 4 号站位潮位数据表
图 3.2-3 4 号站位潮位变化图
表 3.2-4 6 号站位潮位数据表
图 3.2-4 6 号站位潮位变化图

3.2.2.3 海流观测分析

四、小结

1、本海区海流以潮流为主，潮流性质兼有半日潮与全日潮，运动形式以往复运动为主。

2、观测期间各站实测海流流向相对集中，流向相对集中的方向主要包括 SW~W 以及 N~ENE 向，涨潮流多在 WSW 向区间，而落潮流多在 NE 向区间。观测期间最大流速不超过 70 cm/s，实测最大涨落潮流分别出现于 6 号站表层及 5 号站表层。

3、观测期间 4 号站与 5 号站余流流速相对较大，最大余流流速在 10 cm/s 左右，其余各站位余流流速较小，大多不超过 5 cm/s，各站、层余流流向大多在 W~NW 方向区间。

3.2.2.4 含沙量观测分析

根据大潮期各站悬浮泥沙观测实测资料，对悬浮泥沙含量进行统计，统计结果见图 3.2-8~错误!未找到引用源。13。

经分析：

- (1) 悬浮泥沙含量随着水深的增加呈现出含量随之上升的趋势。
- (2) 悬浮泥沙含量同时受潮汐影响，涨潮、落潮时悬浮泥沙含量会随之上升。
- (3) 在悬浮泥沙观测结果中，1 号、2 号站位悬浮泥沙平均含量较高。可能是由于站位距离陆地较近，受近岸底层泥砂输运影响较大。
- (4) 悬浮泥沙平均含量较低的点位为 6 号站位，可能由于 6 号站位距离陆地较远，受近岸底层泥砂输运影响较小。

3.2.2.4 海水盐度统计分析

根据大潮期各站盐度观测实测资料，对盐度含量进行统计，统计结果见图 3.2-14~图 3.2-19。

经分析：

盐度范围在 29.60~32.77，最大值出现在 5 号站位表层，最小值出现在 6 号站位表层。各站表层平均盐度变化范围 29.84 ~31.99 ，平均盐度 30.57；5m 层平均盐度变化范围 29.87~31.76，平均盐度 30.55；10m 层平均盐度变化范围 29.87~31.50，平均盐度 30.51；15m 层平均盐度变化范围 30.10~31.47，平均盐度 30.75；底层平均盐度变化范围 29.88~31.67，平均盐度 30.56；垂线平均盐度变化范围 29.69~32.73，平均盐度 30.55。

3.2.2.4 海水温度统计分析

根据大潮期各站温度观测实测资料，对温度数据进行统计，统计结果见图 3.2-20~图 3.2-25。

经分析

所有站位的温度范围在 18.10°C~19.77°C，最大值出现在 5 号站位表层，最小值出现在 6 号站位底层。各站表层平均温度变化范围 18.26°C ~19.22°C，平均温度 18.67°C；5m 层平均温度变化范围 18.25°C~19.19°C，平均温度 18.63°C；10m 层平均温度变化范围 18.24°C~19.12°C，平均温度 18.61°C；15m 层平均温度变化范围 18.22°C~19.11°C，平均温度 18.78°C；底层平均温度变化范围 18.22°C~19.11°C，平均温度 18.60°C；垂线平均温度变化范围 18.13°C ~19.40°C，平均温度 18.63°C。温度变化趋势为表层>5m 层>10m 层>15m 层>底层。

3.2.2 海水水质环境现状调查与评价

3.2.2.1 春季海水水质环境现状调查与评价

一、水质现状调查

(1) 监测站位布设

为了解工程路由及登陆点和风电场厂区附近海域海水水质环境，垂直于潮流主流方向设 5 个断面，总计设 22 个水质调查站位。站位布设、调查站位坐标及调查因

子见以下图表。

(2) 监测项目

包括：水色、pH、溶解氧、盐度、温度、悬浮物、化学耗氧量、硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、磷酸盐、石油类、硫化物、铜、铅、锌、镉、汞、砷、总铬 19 个项目

(3) 监测频率与方法

秋季大潮进行一次监测，潮间带监测时间应在调查月的大潮汛期间进行。调查站位见**错误!未找到引用源。**

(4) 采样层次

根据《海洋监测规范》，海水水质调查需分层采样。具体如下：

①当水深<10m，只采集表层（海面以下 0.1~1m）样；

②10m≤水深<25m，采集表层、底层样（对河口及港湾海域一般取离海底 2m 的水层，深海或大风浪时可酌情增大离底层的距离）。

(5) 调查方法

现场样品采集、贮存与运输等要求按照《海洋监测规范》（GB17378-2007）、《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）等相关要求进行。

(6) 数据分析

样品的分析方法应遵照 GB17378.4-2007《海洋监测规范》中的有关条文执行。

(7) 调查结果

对各站实测数据进行统计分析，统计结果见表 3.2-12。

二、水质现状评价

(1) 评价方法

采用单因子标准指数（Pi）法，评价模式如下：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{io}}$$

式中：Pi——第 i 项因子的标准指数，即单因子标准指数；

Ci——第 i 项因子的实测浓度；

Cio——第 i 项因子的评价标准值。

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

另外，根据 pH、溶解氧（DO）的特点，其评价模式分别为：

DO 评价指数按下式如下：

$$P_{DO} = \frac{|DO_f - DO|}{DO_f - DO_s} \quad DO \geq DO_s$$

$$P_{DO} = 10 - 9 \frac{DO}{DO_s} \quad DO < DO_s$$

$$\text{其中 } DO_f = \frac{468}{(31.6 + T)}$$

DO——溶解氧的实测浓度，DO_f——饱和溶解氧的浓度，

DO_s——溶解氧的评价标准值，T——水温（℃）。

海水 pH 值的评价，标准指数用下式计算：

$$S_{i,pH} = |pH_i - pH_{sm}| / D_s$$

$$\text{式中, } pH_{sm} = \frac{1}{2}(pH_{s\mu} + pH_{sd}), \quad D_s = \frac{1}{2}(pH_{s\mu} - pH_{sd});$$

$S_{i,pH}$ ——第 i 站 pH 的标准指数； pH_i ——第 i 站 pH 测量值； $pH_{s\mu}$ ——pH 评价标准的最高值； pH_{sd} ——pH 评价标准的最低值。

根据污染指数，评价水域环境质量现状及污染水平。

(2) 评价标准

本次调查海域的水质情况以《海水水质标准》(GB3097-1997)中二类标准作为优良评价限值。各调查点位水质情况详见**错误!未找到引用源。**。

(3) 评价结果

监测海域各站各评价因子的标准指数值及统计结果见表 3.2-14。

评价结果表明：本项目所有监测站位中一类海水站位数占 100%，各站位海水水质优。总体来看，该海域海水以一类水质为主，水质状况优。

3.2.3 海洋沉积物环境现状调查与评价

一、沉积物现状调查

(1) 监测站位布设

为了解工程路由及登陆点和风电场厂区附近海域沉积物环境，布设了 14 个沉积物调查站位。站位布设、调查站位坐标及调查因子见以下图表。

(2) 监测项目

包括：有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、锌、镉、铬、汞和砷。

(3) 监测结果

具体见表

二、沉积物现状评价

(1) 评价方法

采用单因子标准指数（ P_i ）法对沉积物环境进行评价。选取有机碳、硫化物、石油类、汞、镉、铅、铬、砷、锌、铜共 10 项作为评价因子素进行评价。

标准指数的计算公式为：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{si}}$$

式中：

P_i —某污染因子的污染指数；

C_i —某污染因子的实测浓度；

C_{si} —某污染因子的标准浓度值。

凡是单因子污染指数 ≤ 1 者，认为该站水体没有遭受该因子的污染， >1 者为水体遭受污染，数值越大污染越重。

(2) 评价标准

评价标准采用《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）一类标准。根据《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）中第一至三类沉积物标准见下表。

(3) 评价结果

监测海域各站各评价因子的标准指数值统计结果见表 4.3-1。

结果表明：所有调查站位的评价因子均满足沉积物一类标准，沉积物质量优。

3.2.4 海洋生物质量现状调查与评价

一、海洋生物质量现状调查

(1) 调查站位布设

海洋生物质量现状调查于 2022 年 10 月开展，共 15 个站位，具体站位布置见表 2.3-1 及图 2.3-1。

(2) 调查内容

调查分析海洋生物质量（铜、铅、锌、镉、铬、砷、汞和石油烃）。

(3) 调查方法

生物质量采样及样品运输和保存按照《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》（GB17378.6-2007）中的要求执行。

(4) 调查结果

调查海域生物质量检测结果见下表：

二、海洋生物质量评价结果

(1) 评价标准

目前国家仅颁布了海洋贝类（双壳类）评价国家标准，海洋贝类（双壳类）生物体内污染物质含量评价标准采用《海洋生物质量》（GB18421-2001）规定的第一类标准值，其它生物种类的国家级评价标准尚未发布。

头足类和甲壳类、鱼类生物体内污染物质（铜、铅、锌、镉、汞）含量评价标准参考《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准；石油烃含量的评价标准参考《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准；生物体内铬和砷含量缺乏评价标准，不对其进行评价。

生物质量评价执行标准见表 6.2-1。

(2) 评价方法

采用单因子污染指数法：

$$P = C_i / S_i$$

式中： C_i —第 i 种污染物的实测浓度值；

S_i —第 i 种评价因子的评价标准值。

单因子污染指数 ≤ 1 者，认为该站水体没有遭受该因子的污染， > 1 者为水体遭受该因子污染，数值越大污染越重。

(3) 评价结果

区域性监测检出率占样品频数的 1/2 以上（包括 1/2）或不足 1/2 时，未检出部分可分别取检出限的 1/2 和 1/4 量参加统计计算，计算结果不足 0.01 的按照 0.01 统计。生物体质量评价结果见表 6.3- 1~表 6.3- 3，结果表明：

(1) 鱼类生物体内铜、铅、锌、镉、汞含量的评价因子满足《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准；石油烃含量的评价标准满足《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准；铬和砷含量缺乏评价标准，不对其进行评价。

(2) 头足类生物体内铜、铅、锌、镉、汞含量的评价因子满足《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准；石油烃含量的评价标准满足《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准；铬和砷含量缺乏评价标准，不对其进行评价。

(3) 甲壳类生物体内铜、铅、锌、镉、汞含量的评价因子满足《全国海岸带和

海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准；石油烃含量的评价标准满足《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准；铬和砷含量缺乏评价标准，不对其进行评价。

3.3 海洋生态概况

3.3.2 秋季（）海水水质环境现状调查与评价

2022 年 10 月进行了 1 次海洋生物生态现状调查，具体站位布置见表 2.3-1 及图 2.3-1。

3.3.2.1 叶绿素 a

2022 年 10 月监测结果表明，表层叶绿素 a 变化范围：1.54~3.81 $\mu\text{g/L}$ ，平均值为 2.08 $\mu\text{g/L}$ ，最小值出现在 S29 号站位，最大值出现在 S19 号站位。底层叶绿素 a 变化范围：1.47~4.05 $\mu\text{g/L}$ ，平均值为 2.15 $\mu\text{g/L}$ ，最小值出现在 S5 号站位，最大值出现在 S19 号站位。

3.3.2.2 浮游植物

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

一、种类组成及优势种

2022 年 10 月调查期间调查海域共鉴定出浮游植物 3 门 58 种（见浮游植物种名录），其中硅藻门 49 种，占浮游植物种类数的 84.48%；甲藻门 8 种，占浮游植物种类数的 13.79%；金藻门 1 种，占浮游植物种类数的 1.72%。

在细胞数量组成中，硅藻占浮游植物细胞总数的 99.79%，甲藻占浮游植物细胞总数的 0.21%，金藻占浮游植物细胞总数比例可忽略不计。通过分析可知，调查海域中硅藻在种类和细胞数量上均占绝对优势。本次调查的优势种为扁面角毛藻（*Chaetoceros compressus*）、短角弯角藻（*Eucampia zodiacus*）、丹麦细柱藻（*Leptocylindrus danicus*）和尖刺拟菱形藻（*Pseudo-nitzschia pungens*）。

二、浮游植物数量的平面分布及种类数

2022年10月调查期间各站间出现的种类数变化范围在12~35之间,平均值为24种,种类最多的是S15号站位,种类最少的是S19号站位。

浮游植物细胞数量差别较大,变化范围在 $(22.1\sim 9602.8)\times 10^4\text{cells/m}^3$ 之间,平均值为 $1977.0\times 10^4\text{cells/m}^3$ 。最高值出现在S5号站,最低值出现在S14号站。

三、群落结构特征

调查海域浮游植物群落丰富度指数在0.67~2.55之间,平均值为1.44;均匀度指数在0.11~0.70之间,平均为0.37;多样性指数在0.40~3.60之间,平均为1.69。

3.3.2.3 浮游动物

一、种类组成及优势种

2022年10月份调查期间调查海域共鉴定浮游动物6大类26种(见浮游动物种类名录)。水母类7种,占浮游动物种类组成的26.92%;栉水母1种,占浮游动物种类组成的3.85%;桡足类7种,占浮游动物种类组成的26.92%;毛颚类2种,占浮游动物种类组成的7.69%;被囊类1种,占浮游动物种类组成的3.85%;浮游幼体8种,占浮游动物种类组成的30.77%。

本次调查的浮游动物的优势种类为球型侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、强壮箭虫(*Sagitta crassa*)和瓣鳃类幼体(*Lamellibranchiata larva*)。

二、浮游动物丰度与生物量

2022年10月调查海域浮游动物丰度范围为3~617ind/m³,均值为150ind/m³;最大值出现在S9号站,最小值出现在S15号站。浮游动物生物量范围为7.35~70.52mg/m³,平均值为33.33mg/m³,最大值出现在S19号站,最小值出现在S15号站。

三、浮游动物群落特征

调查海域浮游动物群落丰富度指数在 0.66~2.53 之间, 平均值为 1.65; 均匀度指数在 0.36~0.93 之间, 平均为 0.68; 多样性指数在 0.92~2.53 之间, 平均为 1.88。

3.3.2.3 底栖生物

一、种类组成及优势种

调查共鉴定出底栖生物 6 门 17 种 (见底栖生物种名录), 刺胞动物 1 种, 占底栖生物总种数的 5.88%; 节肢动物 5 种, 占底栖生物总种数的 29.41%; 环节动物 4 种, 占底栖生物总种数的 23.53%; 软体动物 5 种, 占底栖生物总种数的 29.41%; 棘皮动物 1 种, 占底栖生物总种数的 5.88%; 脊索动物 1 种, 占底栖生物总种数的 5.88%。

本次调查优势种为理蛤 (*Theora lata*)。

二、底栖生物栖息密度和生物量分布

2022 年 10 月调查所得底栖生物个栖息密度变化范围在 (0~160) ind/m² 之间, 平均为 45 ind/m², 最大值 S4 号站, 最小值在 S11 号站 (该站位未检出底栖生物); 生物量变化范围在 (0.00~242.04) g/m² 之间, 平均为 45.72 g/m², 最大值在 S14 号站, 最小值在 S11 号站。

三、底栖生物群落特征

调查海域底栖生物群落丰富度指数在 0.00~0.68 之间, 平均值为 0.33; 均匀度指数在 0.46~1.00 之间, 平均为 0.86; 多样性指数在 0.00~1.91 之间, 平均为 0.82。

5.6 潮间带生物

一、种类组成及优势种

本次潮间带调查 3 个断面共发现生物 9 种 (见潮间带生物种名录), 其中节肢动物发现 3 种, 占有发现种类的 33.33%; 软体动物发现 6 种, 占有发现种类的 66.67%。

本次调查优势种为东方小藤壶 (*Chthamalus challengerii*)、紫贻贝 (*Mytilus*

galloprovincialis)、长牡蛎 (*Crassostrea gigas*)、短滨螺 (*Littorina brevicula*)。

二、栖息密度和生物量分布

本次定量调查中三个断面潮间带生物的栖息密度在(17~687)ind/m²之间,平均为 139ind/m²,最大值在 31 断面潮中带,最小值在 33 潮下带。生物量在(13.75~151.88)g/m²之间,平均为 56.57g/m²。最大值出现在 3 断面潮中带,最小值在 33 潮下带。

表 5.6-1 潮间带生物生物量和栖息密度

调查海域 31 断面潮间带底栖生物各潮带密度和生物量范围分别介于 65~687ind/m²和 49.73~151.88g/m²之间,均值分别为 282ind/m²和 92.72g/m²。

31 断面潮间带底栖生物各潮带各类群密度和生物量的分布如图 5.6-2 所示,由图可见:从密度的分布来看,潮中带>潮下带>潮上带,贡献主要来源于软体动物。生物量的分布表现为潮中带>潮上带>潮下带,贡献主要来源于软体动物。

图 5.6-2 2022 年 10 月 31 断面潮间带底栖生物分布(左:密度;右:生物量)

调查海域 32 断面潮间带底栖生物各潮带密度和生物量范围分别介于 22~67ind/m²和 15.19~28.53g/m²之间,均值分别为 42ind/m²和 19.97g/m²。

32 断面潮间带底栖生物各类群密度和生物量的分布如图 5.6-3 所示,由图可见:从密度的分布来看,潮下带>潮上带>潮中带,密度的贡献主要来源于软体动物;生物量的分布表现为潮中带>潮上带~潮下带,贡献主要来源于软体动物。

图 5.6-3 32 断面潮间带底栖生物分布(左:密度;右:生物量)

调查海域 33 断面潮间带底栖生物各潮带密度和生物量范围分别介于 17~137ind/m²和 13.75~109.21g/m²之间,均值分别为 93ind/m²和 57.04g/m²。

33 断面潮间带底栖生物各类群密度和生物量的分布如图 5.6-4 所示,由图可见:从密度的分布来看,潮上带>潮中带>潮下带,密度的贡献主要来源于软体动物;生物量的分布表现为潮中带>潮上带>潮下带,贡献主要来源于软体动物。

图 5.6-4 33 断面潮间带底栖生物分布(左:密度;右:生物量)

三、潮间带生物群落特征

调查海域潮间带生物丰富度指数在 0.24~1.22 之间,平均值为 0.88;均匀度指数在 0.11~0.92 之间,平均为 0.54;群落多样性指数在 0.11~2.15 之间,平均为 1.23。

表 5.6-2 调查海域潮间带生物群落特征指数表

3.4 渔业资源概况

3.4.2 秋季（）海水水质环境现状调查与评价

3.4.2.1 渔业资源生物底拖网调查结果

一、种类组成

本海域拖网调查共捕获渔业生物 39 种（附 1），其中鱼 23 种，占总生物种类数的 58.97%；虾类 5 种，占总生物种类数的 12.82%；蟹类 4 种，占总生物种类数的 10.26%；虾蛄类 1 种，占总生物种类数的 2.56%；头足类 3 种，占总生物种类数的 7.69%；其他软体类 3 种，占总生物种类数的 7.69%（见下图、表）。

表 3.1-1 渔获物种类数组成及百分比

图 3.1-1 山海关海上风电场区海域渔业资源种类组成

二、渔获物分布

调查海域渔获物重量渔获率均值为 8.59kg/h，范围为 5.45~11.72kg/h，其中 S30 号站位最低，S1 号站位最高；尾数渔获率均值为 1825.73ind/h，范围为 1191.00~2510.00ind/h，其中 S30 号站位最低，S16 号站位最高（见下表）。

表 3.1-2 调查海域各站位渔获率

三、资源密度（重量、尾数）

山海关海上风电场区海域平均每小时拖网渔获量重量和尾数分别为 8.59kg/h 和 1825.73ind/h，底拖网网口宽度为 4m，拖速为 3nmile/h，因此每小时扫海面积约为 0.022 平方公里。山海关海上风电场区海域渔业资源平均密度为 773.27kg/km² 和 164302.86 尾/km²。

1、游泳动物总密度分布

调查海域渔业资源重量资源密度的变化范围为 490.63~1054.99kg/km²，尾数资源密度的变化范围为 107181.43~225881.93ind/km²。渔获物重量和尾数资源密度空间分布见下图，其中重量密度最大值为 1054.99kg/km²，出现在 S15 号站位，尾数密度最大值为 225881.93ind/km²，出现在 S16 号站位（见下表）。

表 3.1-3 调查海域各站位渔业资源资源密度

图 3.1-2 渔获物重量资源密度空间分布（kg/km²）

图 3.1-3 渔获物尾数资源密度空间分布（ind/km²）

2、鱼类密度分布

调查海域鱼类重量资源密度的变化范围为 345.71~812.72kg/km²，均值为

522.58kg/km²；尾数资源密度的变化范围为 71904.25~176115.91ind/km²，均值为 116552.68ind/km²。重量密度最大值为 812.72kg/km²，出现在 S15 号站位，尾数密度最大值为 176115.91ind/km²，出现在 S16 号站位（见下表）。

表 3.1-4 调查海域各站位鱼类资源密度

3、虾类密度分布

调查海域虾类重量资源密度的变化范围为 8.48~39.26kg/km²，均值为 24.96kg/km²；尾数资源密度的变化范围为 2969.76~14308.86ind/km²，均值 8777.30ind/km²。重量密度最大值为 39.26kg/km²，出现在 S16 号站位，尾数密度最大值为 14308.86ind/km²，同样出现在 S16 号站位（见下表）。

表 3.1-5 调查海域各站位虾类资源密度

4、蟹类密度分布

调查海域蟹类重量资源密度的变化范围为 2.65~19.37kg/km²，均值为 6.56kg/km²；尾数资源密度的变化范围为 179.99~629.95ind/km²，均值 389.97ind/km²。重量密度最大值为 19.37kg/km²，出现在 S15 号站位，尾数密度最大值为 629.95ind/km²，同样出现在 S15 号站位（见下表）。

表 3.1-6 调查海域各站位蟹类资源密度

5、虾蛄类密度分布

调查海域虾蛄类重量资源密度的变化范围为 86.14~239.85kg/km²，均值为 171.55kg/km²；尾数资源密度的变化范围为 14668.83~37976.96ind/km²，均值 26001.92ind/km²。重量密度最大值为 239.85kg/km²，出现在 S19 号站位，尾数密度最大值为 37976.96ind/km²，同样出现在 S19 号站位（见下表）。

表 3.1-7 调查海域各站位虾蛄类资源密度

6、头足类密度分布

调查海域软体类重量资源密度的变化范围为 28.45~82.91kg/km²，均值为 47.37kg/km²；尾数资源密度的变化范围为 3869.69~18538.52ind/km²，均值 12557.00ind/km²。重量密度最大值为 82.91kg/km²，出现在 S20 号站位，尾数密度最大值为 18538.52ind/km²，同样出现在 S20 号站位（见下表）。

表 3.1-8 调查海域各站位头足类资源密度

四、优势种类

根据相对重要性指数 IRI，山海关海上风电场区海域游泳动物优势种类及其特征值见下表。矛尾虾虎鱼、口虾蛄、鳀、火枪乌贼等 IRI 值>1000，在山海关海上风电场区海域渔业生物群落中占优势地位，为优势种。其中鱼类有 2 种，虾蛄

类有 1 种，头足类有 1 种。矛尾虾虎鱼的相对重要性指数 $IRI > 10000$ 为显著优势种。

表 3.1-9 山海关海上风电场区海域游泳动物优势种类及其特征值

1、鱼类

鱼类优势度排序种类及其特征值见下表，相对重要性指数 IRI 排在前 10 位的是矛尾虾虎鱼、鲉、扁鲰、斑鰈、鲷、长丝犁突虾虎鱼、刀鲚、长蛇鲻、短吻红舌鲷、许氏平鲷。其中矛尾虾虎鱼、鲉相对重要性指数 $IRI > 1000$ ，为优势种，扁鲰、斑鰈相对重要性指数 $IRI > 100$ ，为主要种类。

表 3.1-10 山海关海上风电场区海域鱼类优势度及其特征值

2、虾类

5 种虾类优势度排序种类及其特征值见下表，相对重要性指数 IRI 排序为鹰爪虾、日本鼓虾、鲜明鼓虾、葛氏长臂虾、戴氏赤虾。其中鹰爪虾、日本鼓虾相对重要性指数 $IRI > 100$ 为主要种类。

表 3.1-11 山海关海上风电场区海域虾类优势度及其特征值

3、蟹类

4 种蟹类优势度排序种类及其特征值见下表，相对重要性指数 IRI 排序为日本蟳、三疣梭子蟹、泥脚隆背蟹、隆线强蟹。4 种蟹类相对重要性指数 IRI 均小于 100。

表 3.1-12 山海关海上风电场区海域蟹类优势度及其特征值

4、虾蛄类

调查海域仅发现一种虾蛄类，口虾蛄的相对重要性指数 $IRI > 1000$ ，为优势种（见下表）。

表 3.1-13 山海关海上风电场区海域蟹类优势度及其特征值

5、头足类

3 种头足类优势度排序种类及其特征值见下表，相对重要性指数 IRI 排序为火枪乌贼、短蛸、长蛸。其中火枪乌贼相对重要性指数 $IRI > 1000$ ，为优势种，短蛸相对重要性指数 $IRI > 100$ ，为主要种类。

表 3.1-14 山海关海上风电场区海域蟹类优势度及其特征值

五、多样性指数

历史文献中，物种多样性的计算通常采用个体数（尾数）数据，但近来越来越多的报道也采用生物量数据来计算物种多样性指数，因为生物量能更直接的反映生物能量的情况。因此，通过尾数与生物量两组数据，对山海关海上风电场区

海域渔业生物的物种多样性进行计算。对渔业生物所有站位整体来看,根据生物量,山海关海上风电场区海域物种丰富度指数(D)平均值为 2.34,物种均匀性指数(J)平均值为 0.47,物种多样性指数(H')平均值为 1.45。根据尾数,山海关海上风电场区海域物种丰富度指数(D)平均值为 2.83,物种均匀性指数(J)平均值为 0.43,物种多样性指数(H')平均值为 1.32。

1、基于生物量的物种多样性指数

根据生物量,调查海域物种丰富度指数(D)范围为 1.98~2.64,均值为 2.34,物种均匀性指数(J)范围为 0.34~0.55,均值为 0.47,物种多样性指数(H')范围为 1.11~1.74,均值为 1.45(见下表)。

表 3.1- 15 基于生物量的山海关海上风电场区海域渔业资源物种多样性指数

2、基于尾数的物种多样性指数

根据尾数,调查海域物种丰富度指数(D)范围为 2.40~3.15,均值为 2.83,物种均匀性指数(J)范围为 0.31~0.51,均值为 0.43,物种多样性指数(H')范围为 0.99~1.54,均值为 1.32(见下表)。

表 3.1- 16 基于尾数的山海关海上风电场区海域渔业资源物种多样性指数

六、群落结构

本次调查海域中出现的物种较多,优势种显著,物种丰富度、物种均匀度和物种多样性较高,群落结构较为稳定。调查水域共捕获渔业生物 27386 尾,生物量共 128.89kg。其中鱼类共捕获 19427 尾,生物量 87.10kg;虾类共捕获 1463 尾,生物量 4.16kg;蟹类共捕获 65 尾,生物量 1.09kg;虾蛄类共捕获 4334 尾,生物量 28.59kg;头足类共捕获 2093 尾,生物量 7.90kg。鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类、头足类在渔业生物中数量占比分别为 70.94%、5.34%、0.24%、15.83%、7.64%,鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类、头足类在渔业生物中生物量占比分别为 67.58%、3.23%、0.85%、22.19%、6.13%(见下表和图)。

3.4.2.2 鱼类浮游生物调查结果

一、种类组成

调查期间渤海硬骨鱼类进入产卵低谷,数量急剧减少,垂直网共采集为鳀 *Engraulis japonicus* 鱼卵 1 粒,无仔稚鱼;水平网共采集矛尾虾虎鱼 *Chaeturichthys stigmatias* 仔稚鱼 2 尾,无鱼卵(见下表)。矛尾虾虎鱼为广温性底层鱼类,鳀鱼

为暖温性中上层洄游鱼类，是海洋鱼类重要的饵料生物。

备注：“—”表示该种未出现。

二、数量分布

垂直网调查共采集 1 粒鳀卵，在 S5 号站位采集到（见下图）。

水平网调查共采集矛尾虾虎鱼仔稚鱼 2 尾。在 S9 号站位和 S19 号站位各采集到 1 尾（见下图）。

3.4.2.3 结论

一、渔业资源生物底拖网调查结论

本海域拖网调查共捕获渔业生物 39 种，其中鱼类 23 种，占总生物种类数的 58.97%；虾类 5 种，占总生物种类数的 12.82%；蟹类 4 种，占总生物种类数的 10.26%；虾蛄类 1 种，占总生物种类数的 2.56%；头足类 3 种，占总生物种类数的 7.69%；其他软体类 3 种，占总生物种类数的 7.69%。

调查海域渔获物重量渔获率均值为 8.59kg/h，范围为 5.45~11.72kg/h，其中 S30 号站位最低，S15 号站位最高；尾数渔获率均值为 1825.73ind/h，范围为 1191.00~2510.00ind/h，其中 S30 号站位最低，S16 号站位最高。

山海关海上风电场区海域平均每小时拖网渔获量重量和尾数分别为 8.59kg/h 和 1825.73ind./h，底拖网网口宽度为 4m，拖速为 3nmile/h，因此每小时扫海面积约为 0.022 平方公里。山海关海上风电场区海域渔业资源平均密度为 773.27kg/km² 和 164302.86 尾/km²。

根据相对重要性指数 IRI，矛尾虾虎鱼、口虾蛄、鳀、火枪乌贼等 IRI 值 >1000，在山海关海上风电场区海域渔业生物群落中占优势地位，为优势种。其中鱼类有 2 种，虾蛄类有 1 种，头足类有 1 种。矛尾虾虎鱼的相对重要性指数 IRI >10000 为显著优势种。

历史文献中，物种多样性的计算通常采用个体数（尾数）数据，但近来越来越多的报道也采用生物量数据来计算物种多样性指数，因为生物量能更直接的反映生物能量的情况。因此，通过尾数与生物量两组数据，对山海关海上风电场区海域渔业生物的物种多样性进行计算。对渔业生物所有站位整体来看，根据生物量，山海关海上风电场区海域物种丰富度指数(D)平均值为 2.34，物种均匀性指数(J')平均值为 0.47，物种多样性指数(H')平均值为 1.45。根据尾数，山海关海

上风电场区海域物种丰富度指数(D)平均值为 2.83, 物种均匀性指数(J)平均值为 0.43, 物种多样性指数(H')平均值为 1.32。

本次调查海域中出现的物种较多, 优势种显著, 物种丰富度、物种均匀度和物种多样性较高, 群落结构较为稳定。调查水域共捕获渔业生物 27386 尾, 生物量共 128.89kg。其中鱼类共捕获 19427 尾, 生物量 87.10kg; 虾类共捕获 1463 尾, 生物量 4.16kg; 蟹类共捕获 65 尾, 生物量 1.09kg; 虾蛄类共捕获 4334 尾, 生物量 28.59kg; 头足类共捕获 2093 尾, 生物量 7.90kg。鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类、头足类在渔业生物中数量占比分别为 70.94%、5.34%、0.24%、15.83%、7.64%, 鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类、头足类在渔业生物中生物量占比分别为 67.58%、3.23%、0.85%、22.19%、6.13%。

二、鱼类浮游生物调查结论

调查期间渤海硬骨鱼类进入产卵低谷, 数量急剧减少, 垂直网共采集为鲢 (*Engraulis japonicus*) 鱼卵 1 粒, 无仔稚鱼; 水平网共采集矛尾虾虎鱼 (*Chaeturichthys stigmatias*) 仔稚鱼 2 尾, 无鱼卵。矛尾虾虎鱼为广温性底层鱼类, 鲢鱼为暖温性中上层洄游鱼类, 是海洋鱼类重要的饵料生物。垂直网调查共采集 1 粒鲢卵, 在 S5 号站位采集到。水平网调查共采集矛尾虾虎鱼仔稚鱼 2 尾。在 S9 号站位和 S19 号站位各采集到 1 尾。

3.5 鸟类生态环境现状调查与评价

3.6 电磁辐射环境现状调查与评价

本节引用厦门大学编制的《三峡新能源大连市庄河III海上风电场(300MW)工程水下噪声及电磁辐射对海洋生物影响的专题报告》。

结论

海洋生物在强度分别为 0.3mT, 0.6mT, 1.2mT 交流电磁场的持续作用下 48 小时, 测量获得生物肌肉、肝脏、血液的碱性磷酸酶(AKP), 酸性磷酸酶(ACP), 超氧化物歧化酶(SOD)的活性, 通过总结 SPSS 软件的单因素方差分析的结果可以得出以下结论:

- 1) 在以上提到的条件下, 工频电磁场能够不同程度的提高大黄鱼、半滑舌

鳎、矛尾鰕虎鱼、口虾姑、日本对虾、菲律宾蛤仔、缢蛭等的酸性磷酸酶（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) 噪声仅对缢蛭的酸性磷酸酶活性有显著影响，对其它物种的作用不显著；

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

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

综合以上结果可知：

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

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

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

3.7 自然资源概况

本项目评价范围内的海洋资源主要有港口资源、海洋渔业资源、旅游资源、海洋岸线、海岛资源等。

3.7.1 港口资源

秦皇岛是中国重要的港口城市，地处东北、华北两大经济区的结合部和环渤海经济区的中间地带，是华北、东北、西北地区重要的出海口。举世闻名的秦皇岛港是中国北方天然不冻不淤良港，以能源输出为主，兼营杂货和集装箱，年吞吐量过亿吨，同世界上 100 多个国家和地区保持经常性贸易往来，跻身世界大港行列。秦皇岛港是以能源运输为主的综合性国际贸易口岸，世界上最大的煤炭输出港和散货港。港口地处渤海北岸，河北省东北部，自然条件优良，港阔水深，不冻不淤，共有 12.2km 码头岸线，陆域面积 11.3km²，水域面积 229.7 km²，分

为东、西两大港区。东港区以能源运输为主，拥有世界一流的现代化煤码头；西港区以集装箱、散杂货进出口为主，拥有装备先进的杂货和集装箱码头。港口现有生产泊位 45 个，其中万吨级以上泊位 42 个，最大可接卸 15 万吨级船舶，设计年通过能力 2.23 亿吨；具有完善的集疏运条件，疏港路与京沈高速路、102 国道、205 国道及秦承公路相接，自营铁路与国铁联网，拥有国内港口最先进的机车和编组站，“地下大动脉”输油管道连接大庆油田，疏港路直通山海关机场，形成了公路、铁路、管道、空运等循环合理的港口集疏运网络，货物可直达仓库、码头、船边，为客户提供了极为便利的货运条件。

山海关区岸线为沙砾质海岸和基岩海岸共有，岸线总体顺直，老龙头至石河附近形成向南自然弯曲岸段。岸线前方水域开阔，海底坡度稍缓，10m 等深线距岸 2.5km 左右，利于填海造陆。岸线后方陆域大部分为丘陵地带，陆域开阔，建有山海关开发区。此外，该段岸线的崔台子与辽宁芷锚湾接壤，后方基本处于自然状态，适宜工业开发。

3.7.2 渔业资源

秦皇岛所辖海区 15 米等深线海域面积 1000 平方公里。全市现有捕捞作业渔场 1 万平方公里，有适宜发展养殖的浅海 80 万亩，滩涂 2 万亩。海洋生物资源较丰，是我国北方重要海产品基地之一，特产对虾、海参、海蟹、海蜇等海珍品及各种贝类。海洋生物 500 余种，其中浮游植物中肋骨条藻、棱曲舟藻等 79 种，浮游动物有夜光虫、水母等 53 种，底栖生物 11 门主要有文昌鱼等 166 种。潮间带生物 163 种，以双壳类、甲壳类为多，在岩礁区以褶牡蛎、黑偏顶蛤、短滨螺、中华近方蟹为主，在净砂区以斧蛤、青蛤、彩虹明樱蛤等为主，年平均生物量岩礁区 4752.8 克/m²、净砂区 3.78 克/m²。游泳生物中鱼类有 78 种，以日本鲳鱼、鲈鱼、白姑鱼、斑祭鱼、银鲳、绿鳍马面豚、蓝点鲛、牙鲆、黄鲫、孔鳐、油鱼子、黄盖鲈等为多，月均值资源量 2300 吨/km²，无脊椎动物 13 种，以三疣梭子蟹、虾蛄、中国对虾等为多。

3.7.3 旅游资源

秦皇岛市旅游资源集山、林、河、湖、泉、瀑、洞、沙、海、关、城、港、寺、庙、园、别墅、候鸟与珍稀动植物等为一体，旅游资源类型丰富，是开展多项目、多层次的旅游活动，满足不同旅游者旅游休闲的最佳场所。经过多年发建

设，全市旅游基础设施和景点建设步入发展快车道。逐步形成了以长城、滨海、生态为主要特色的旅游产品体系。目前，全市旅游景区共有 40 多个，开辟了长城文化、海滨休闲度假、历史寻踪、观鸟旅游、名人别墅、山地观光、海洋科普、国家地质公园、体育旅游、工业旅游等多种精品旅游线路，并每年举办具有浓郁地方文化特色的山海关长城节、孟姜女庙会、望海大会、昌黎干红葡萄酒节等旅游节庆活动，这些旅游线路和节庆活动都备受国内外游客青睐。秦皇岛一年四季皆景，可供旅游者探险猎奇、寻幽揽胜。其中自然资源以山、海闻名，人文资源以关、城最为突出，社会资源以中央暑期办公地—北戴河最具魅力。这里山地地貌奇特多样，飞瀑流泉到处可见；森林覆盖率高，野生动、植物资源丰富；更有长城等大量文物与古迹点缀其中。海沙细而平旷，滩缓而水清，潮平而差小，绵延近百里；海水污染程度低，水质清洁，阳光充足，是进行海水浴、日光浴、沙浴、沙滩活动与海上观光、海上运动的最佳场所。辖区内的长城蜿蜒起伏，枕山襟海，依势而修，关隘地处要塞。社会资源以北戴河—中央暑期办公地和许多重要的历史事件而闻名遐迩，成为秦皇岛市最具吸引力的旅游资源。旅游资源在分布上呈两条相对平行的带状分布，其中在滨海带上，有老龙头、第一关、姜女庙、秦皇求仙入海处、海上运动中心、新澳海底世界、野生动物园、鸽子窝、金山嘴、老虎石、北戴河名人别墅、联峰山、滑沙场以及众多的滨海浴场和各类主题公园等；在中北部山地—丘陵带上，有三道关—九门口—义院口—界岭口—桃林口—冷口—城子岭口长城和沿长城一线的各处文物古迹，以及长寿山、角山、燕塞湖、祖山、背牛顶、天马山、碣石山、十里葡萄长廊、孤竹国文化遗址等。其中大部分精品资源均衡分布在以北戴河和海港区为中心的 50km 范围内，各个景区之间距离适中，这种资源空间分布特点有利于组织旅游线路，统筹安排交通和食宿。

3.7.4 海洋岸线

秦皇岛地区地处渤海北部，辽东湾西翼，海岸线东起山海关区张庄，西止昌黎县滦河口，总长 126.4km。秦皇岛海岸砂岩相间，以砂质岸为主，砂质岸长 106km，北戴河到山海关主要为岩石岸，岩石岸长 20.5km。饮马河口至滦河口有风成砂丘长 20 余 km，宽约 1~3km，高 30 多 m。山海关老龙头、海港区东山、北戴河金山嘴一带为岬湾式海岸。石河口至新开河之间岸段有多条国内海岸罕见的砾石堤。北戴河中海滩有连岛沙坝。由洋河口到滦河口分布有 3~4 列由沙垄组成的

沙丘海岸，沙丘一般高 20~30m，最高 40m 蔚为壮观，被誉为“黄金海岸”。

3.7.5 海岛资源

秦皇岛境内的海岛资源主要是石河南岛，石河南岛属河口三角洲，岛体呈扇形，整体地形起伏不大，最高点海拔 6.3m，中部地形较平缓；表层沉积物主要为沙—砾互层，其中，砾石层较厚，粒径 1~10cm，分选性差，粒径 5~6cm 之间的砾石约占 80%；沿岸筑有直立式护堤，岛体东南部、西北部以及周围滩涂建有 人工养殖池塘，岛上存在多处挖砂后遗留的沙坑。

3.8 开发利用现状

3.8.1 社会经济概况

本节资料引自《秦皇岛市 2021 年国民经济和社会发展统计公报》。

一、综合

初步核算，全市生产总值 1843.76 亿元，比上年增长 6.8%。其中，第一产业增加值 239.51 亿元，增长 6.8%；第二产业增加值 657.09 亿元，增长 5.6%；第三产业增加值 947.16 亿元，增长 7.4%。三次产业增加值比例为 13.0:35.6:51.4。全市人均生产总值 58774 元，比上年增长 6.6%。

年末全市常住人口 313.43 万人，比上年末减少 0.55 万人。其中，城镇常住人口 203.57 万人，比上年末增加 2.72 万人；常住人口城镇化率为 64.95%，比上年末提高 0.98 个百分点。

全年城镇新增就业 6.47 万人，比上年增加 1.01 万人。城镇下岗失业人员再就业 2.53 万人，比上年增加 0.23 万人。就业困难对象再就业 0.92 万人。全市年末城镇登记失业率为 2.98%，控制在 4.5%的预期目标以内。

全年居民消费价格比上年上涨 0.7%。分类别看，食品烟酒价格上涨 0.5%，衣着下降 4.7%，居住上涨 0.9%，生活用品及服务下降 0.4%，交通通信上涨 5.4%，教育文化娱乐上涨 1.0%，医疗保健上涨 0.4%，其他用品和服务下降 2.6%。

转型升级步伐加快，新动能快速成长。规模以上工业中，战略性新兴产业增加值比上年增长 4.5%；高新技术产业增加值增长 12.0%，增速高于规模以上工业 5.8 个百分点，占规模以上工业增加值的比重为 34.9%。其中，高端技术装备制造业增长 20.4%，新能源产业增长 25.2%，环保产业增长 13.2%。规模以上服务

业中，软件和信息技术服务业、科学研究和技术服务业、商务服务业三个行业实现营业收入分别比上年增长 14.6%、14.5%和 16.9%。

民营经济实现增加值 1142.11 亿元，比上年增长 6.8%，占全市生产总值的比重为 61.9%，比上年提高 0.2 个百分点。

3.8.2 海域使用现状

本项目为海上风电场建设，建设内容包括 59 台风机、220kV 路由、场内 35kV 集电路由和海上升压站。风场选址位于秦皇岛市山海关东侧海域，其场址中心离海岸线约 41.8km，220kV 路由从挡浪墙登陆，然后转换陆缆向北继续敷设，最终接入孟姜站。

本项目周边主要开发利用情况包括：现状锚地和规划锚地、航道工程、位于山海关老龙头附近的开发利用项目和风景名胜区、保护区、海洋公园等。

项目周边开发利用现状见图 3.8-1。

图 3.8-1 本项目开发利用现状一览表

3.8.2.3 港口

本项目附近主要有秦皇岛港和葫芦岛港绥中港区。本项目场区距离山海关船厂 L1#浮标约 4.6nm，距离秦皇岛港十万吨级航道（150 航道）约 5.1nm，距离葫芦岛港绥中港区 36-1 码头 1#浮标约 9.8nm。除此之外，距离其他港口均在 50nm 以上。本项目水域主要在秦皇岛海事局辖区。

一、秦皇岛港

秦皇岛港包含东港区、西港区、新开河港区、山海关港区和若干港点的总体格局，其地理分布情况见下图。

截至 2020 年底，秦皇岛港已建成生产性泊位 73 个，形成码头岸线长度 15.8km，综合通过能力 2.48 亿吨。其中，万吨级及以上泊位 44 个，通过能力 2.28 亿吨，最大泊位等级 15 万吨级。

现有煤炭、原油、集装箱、矿石、散粮等各类专业化泊位 32 个，通过能力 2.22 亿吨，分别占全港总量的 44%和 89%。专业化泊位中：煤炭泊位 23 个，通过能力 1.9455 亿吨，主要位于东港区（西港区 3 个煤炭泊位已停产）；原油泊位 3 个，通过能力 1500 万吨，全部集中于东港区；集装箱泊位 3 个，通过能力 75

万 TEU，全部集中于西港区。全港码头泊位基本情况参见下表。

表 3.8-1 秦皇岛港码头泊位现状表（2020 年）

	泊位数		泊位长度 (m)	综合通过能力	
	生产性泊位 (个)	其中：万吨级及 以上泊位 (个)		小计 (万吨)	其中：集装箱 (万TEU)
全港合计	73	44	15766	24799	75
东港区	35	24	8168	20524	-
西港区	22	20	4747	3045	75
新开河港区	5	-	651	280	-
山海关港区	11	-	2199	950	-

秦皇岛港主要运营泊位位于秦皇岛港东港区、西港区和新开河港区。其中，东港区的到港船舶以煤炭等散货船为主；西港区的到港船舶以杂货、集装箱船为主；新开河港区以小型船舶、工程船舶为主。除此之外，秦皇岛海事局辖区内部还存在秦山化工、渤海船务等货物运输码头。

另外，秦皇岛海事局辖区内还有数个渔港、海监码头、海警支队大码头、海警支队小码头（戴河口）和秦西港点等为工作船、渔船、生活用品补给而使用的小型码头。这些码头存在分布较广，通航船舶数量不大，且主要在辖区内部活动等特点。

二、葫芦岛港绥中港区

葫芦岛港绥中港区位于辽宁海事局辖区的最西端，沿岸港口码头分布于绥中县岸线中西部，由西向东依次为绥中电厂二期工程配套码头、绥中电厂顺达码头、36-1 作业区和石河作业区，港区年进出港船舶约 1500 艘次，吞吐量约 1200 万吨。

绥中港区由 2 个作业区和 2 个码头组成，即：36-1 作业区、石河作业区和绥中电厂顺达码头（绥中电厂一期工程煤炭接卸码头）、绥中电厂二期工程配套码头。其中，绥中发电厂一期、二期配套为绥中发电有限责任公司业主自用码头，主要用于电厂自用电煤接卸；二期工程配套码头 5 万吨级煤炭接卸泊位于 2019 年建设完成，2020 年 9 月正式投入运行。36-1 作业区石油外输码头为中海石油（中国）有限公司分公司业主自用码头，主要功能是为中海油 36-1 原油处理终端提供石油外输和海上石油平台服务船舶靠泊和补给服务，码头共有泊位 8 个，（其中油品外输泊位 4 个，工作船舶位 1 个、物资供应泊位 2 个、输灰码头 1 个）。绥中港区石河作业区通用码头初步规划为蒙东地区煤炭外运装船港址之一，

前期建设 5 个 5000 吨级通用泊位，2019 年改扩建为 3 个 5 万吨级通用泊位，设计年吞吐量 430 万吨，未来规划逐步发展成为具有可运输粮食、矿石、煤炭、原油及散杂货等货物的现代化水平综合性大港。

3.8.2.1 锚地

一、秦皇岛港锚地

(1) 现状

秦皇岛港现有锚地 5 个，包括西锚地、油轮锚地、东锚地、十万吨级船舶重载锚地和山海关船厂锚地，锚地面积总计 221.3km²。基本状况见下表：

(2) 规划

《秦皇岛港总体规划》（2022.09）对交通运输部办公厅、天津市人民政府办公厅、河北省人民政府办公厅《关于印发津冀沿海锚地布局方案的通知》（交办海〔2019〕76 号）进行了部分调整，布局方案维持现西锚地方案不变，调整东锚地和油轮锚地规模，取消十万吨级船舶重载锚地，调减山海关锚地面积并将其名称调整为山海关北锚地，新增 20 万吨级油轮重载锚地、20 万吨级散货船重载锚地和山海关南锚地。

二、葫芦岛港绥中港区锚地

(1) 现有锚地

绥中港目前使用中的锚地有 2 块，分别是绥中 36-1 锚地和 SZ1#-1 锚地。

(2) 规划锚地

已获批但未公布锚地为 SZ1#-2 锚地，SZ2#锚地为规划中供大型船舶锚泊。

图 3.8-3 本项目与周边锚地位置关系图

3.8.2.4 航道

一、秦皇岛港航道

(1) 现状

秦皇岛港目前主要的航道有 6 条，分别为十万吨级航道（150 航道）、主航道（160 航道）、西航道（130 航道）、东航道（191 航道）、215 航道和新开河港区航道，这些航道是船舶进入东港区、西港区和新开河港区的主要通航水域。除此之外，秦皇岛港航道还包括秦山化工航道、渤海船务航道和山海关港区老港

池航道等次要航道。

(2) 规划

老航道规划将维持现状，主要服务于大码头改造后，游船的进出港。

西航道是进入西港区的主要航道，规划近期维持现状，服务西港区杂货和集装箱船舶进出港，后期进行必要的改造提升，服务于甲码头邮轮和环渤海航线，以及己码头大型邮轮进出港。

东航道为 5 万吨级单向航道，规划结合煤一、二期码头改造，进行拓宽浚深，达到 10 万吨级。主航道是西航道和东航道与外海连接的主要航道，规划通航等级与东航道最大通航等级保持一致，拓宽浚深到 10 万吨级。煤三期航道主要服务于煤三期码头，规划近期维持现状，远期结合对应码头的改造，进行扩建。

规划将原 10 万吨级航道提高至 20 万吨级，满足 20 万吨级船舶进出港需要，同时作为东港区中作业区连接外海的主要航道。

秦山化工航道主要服务东港区东作业区现有秦山化工码头。规划近期维持现状，远期结合码头改造，提升等级。

山海关港区航道主要服务山海关港区。规划近期为 5 万吨级单向航道，兼顾 7 万吨级船舶乘潮通航要求，后期结合港区发展，进一步提升等级。

主要服务于客运船舶和游艇进出，维持现状。

二、葫芦岛绥中港区航道

葫芦岛港绥中港区主要航道有四条，由西向东依次为：绥中电厂二期航道，绥中电厂航道，绥中 36-1 码头航道，绥中港航道（绥中石河港航道）。

图 3.8-4 本项目与周边航道位置关系图

3.8.2.2 靶场

本项目场址附近有一昌黎空军靶场。项目距其最近距离约 9.7km。

图 3.8-5 本项目与靶场位置关系图

3.8.2.5 保护区

本项目周边保护区有 6 个，其中 1 个位于岸线之上，分别为北戴河国家级风景名胜区和山海关国家森林公园，距本项目 14km 以上。项目距离山海关老龙头景点约 6.2km，距离河北秦皇岛老龙头石河南岛候鸟栖息地约 6.9km，距离

北戴河国家级海洋公园约 19.85km, 距离辽宁绥中碣石国家级海洋公园约 2.2km, 距离昌黎黄金海岸国家级自然保护区约 34km。

3.8.2.6 开发利用项目

本项目周边有 7 宗用海项目, 分别是: 秦皇岛港山海关港区二期工程、山海关港 3.5 万吨级通用泊位、大型船舶改装修理及海洋工程装备扩建项目(填海造地)、山海关船厂港池、山海关船舶重工有限责任公司修船扩建项目、秦皇岛开发区国有资产经营有限公司综合物流中心、秦皇岛开发区国有资产经营有限公司船体分段制造基地项目、船厂 15 万吨级船坞配套码头和山海关造船重工有限责任公司造船设施改造工程。

3.8.3 海域使用权属现状

项目论证范围内海域权属现状见以下图表。

表 3.8-3 本项目周边权属现状一览表

序号	项目名称	使用权人	用海面积	用海一级类	用海二级类	用海方式 A	用海方式
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

图 3.8-8 项目论证范围内海域权属现状

4 项目用海资源环境影响分析

4.1 水文动力环境影响预测与评价

4.1.1 水动力模型简介

本研究中采用丹麦水力学研究所研制的平面二维数值模型 MIKE21FM 来研究工程海域的潮流场运动及海域污染物扩散影响，该模型采用非结构三角网格剖分计算域，三角网格能较好的拟合陆边界，网格设计灵活且可随意控制网格疏密，该软件具有算法可靠、计算稳定、界面友好、前后处理功能强大等优点，已在全球 70 多个国家得到应用，有上百例成功算例，计算结果可靠，为国际所公认。MIKE21FM 采用标准 Galerkin 有限元法进行水平空间离散，在时间上，采用显式迎风差分格式离散动量方程与输运方程。

模型基于二维平面不可压缩雷诺（Reynolds）平均纳维埃-斯托克斯（Navier-Stokes）浅水方程建立，在该方程中采用了 Boussinesq 假设和静水压力假设，从而能够更加准确地对潮面曲线及潮流进行模拟计算。对水平动量方程和连续方程在 $h = \eta + d$ 范围内进行积分后可得到下列二维深度平均浅水方程：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}}{\partial y} = hS \quad (4-1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = & f\bar{v}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \\ & \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{xy}) + hu_s s \end{aligned} \quad (4-2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = & -f\bar{u}h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \\ & \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (hT_{yy}) + hv_s s \end{aligned} \quad (4-3)$$

其中：

t ：时间；

x, y ：卡迪森（Cartesian）平面坐标；

η : 潮面高程;

d : 静水深度;

$h = \eta + d$: 总水深;

\bar{u}, \bar{v} : 深度平均流速 x, y 方向的分量, \bar{u} , \bar{v} 可按下式计算:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz \quad (4-4)$$

$$h\bar{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \quad (4-5)$$

f : 科氏力系数, $f = 2\Omega \sin \phi$, Ω 为地球自转角速度, ϕ 为地理纬度;

g : 重力加速度;

ρ : 水密度;

ρ_0 : 基准水密度;

$S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$: 辐射应力张量分量;

T_{ij} : 水质点侧向应力, 包括粘滞摩擦力、紊流摩擦力、对流力等, 在该模型中采用一个涡旋粘滞系数:

$$T_{xx} = 2A \frac{\partial \bar{u}}{\partial x}, \quad T_{xy} = 2A \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right), \quad T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \quad (4-6)$$

其中 A 为水平涡动粘滞力系数, 可按下列各式计算:

$$A = c_s^2 l^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (i, j=1, 2), \text{ 在该模型中通过输入 } c_s \text{ 来确定 A 值,}$$

S_{ij} 由系统自动计算捕获。

τ_{sx}, τ_{sy} : 海面风摩阻 x, y 方向分量;

τ_{bx}, τ_{by} : 海底摩阻 x, y 方向分量, 可按下列各式确定:

$$\mathcal{L}_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

$$\frac{\mathcal{L}_b}{\rho_0} = c_f \mathcal{L}_b^{\rho} |\mathcal{L}_b^{\rho}|$$

$$c_f = \frac{g}{(Mh^{1/6})^2}$$

$$M = \frac{25.4}{k_s^{1/6}},$$

在该模型中通过输入曼宁数 M 值来实现对海底摩阻的模拟。

u_s, v_s : 奇点 (源) 排水量的 x, y 向分量。

初始条件:

$$\begin{cases} h(x, y, 0) = H \\ U_x(x, y, 0) = 0 \\ U_y(x, y, 0) = 0 \end{cases} \quad (4-7)$$

其中, H 为计算开始时刻各个边界潮位的平均值。

4.1.2 计算域和网格设置

1) 计算域设置及模拟方案

本项目所建立的海域数学模型计算域范围见图 4.1-1, 即为图中大连老虎滩和威海石岛滩两点以及岸线围成的北黄海及渤海海域, 计算域坐标范围为北纬 $37^{\circ} 07' 22.94'' \sim 40^{\circ} 54' 27.32''$, 东经 $117^{\circ} 33' 33.26'' \sim 122^{\circ} 4' 30.54''$ 。模拟采用三角网格, 用动边界的方法对干、湿网格进行处理。整个模拟区域内由 8511 个节点和 16253 个三角单元组成, 采用六层嵌套模型, 网格逐级加密, 网格空间最大面积分别为 50km^2 、 10km^2 、 1km^2 、 0.4km^2 、 10000m^2 、 3600m^2 , 最小空间步长约为 60m。数值模拟计算海域网格分布见图 4.1-2。

2) 水深和岸界

水深: 选取中国人民解放军海军海道测量局制作的 1: 25 万海图(C1311300、C1311500、C1311700、C1311800、C1311900), 15 万海图(C1411910)、12 万海图(C1411940)、3.5 万海图(C1511961)、2.5 万海图(C1511932、C1511953、C1511962) 和 5 千海图(C1611933)。水深地形见图 4.1-1。

岸界: 采用遥感影像提取的岸界以及 2022 年无人机正射影像绘制岸线。

3) 大海域模型水边界输入

对于封闭海盆, 侧边界条件很简单。在固体侧边界, 必须满足物质、动量、热量和湍流等通量为零。但是, 在开边界模式计算域外部分的影响必须以某一种形式给定。因为外部情况通常并不知道, 所以开边界条件是最难给定的。如果在

开边界有足够的观测数据或那里的情况可以从包括外部区域的另一个模式中得
到，那么描述这个开边界将不成问题。然而这些情况很少被满足，需要给出最接
近真实的各种近似。通常，模式结果受给定的侧边界条件影响，所以为了能获取
有意义的结果，必须特别注意侧边界条件的给定。

在开边界，质量和动量条件的描述更为困难，因为它实际上是与模拟域以外
未知区域相互作用的函数。尽管如此，入流和出流仍须给定为时间的函数。最重
要的是要满足质量守恒条件。因此开边界条件必须被给定成在给定的时间周期区
域内没有净质量通量。

对于潮（或斜压）计算，在边界上的自由面升高 $\eta(t)$ 可以被给定。通常还可
以使用 Sommerfeld 辐射边界条件

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \gamma \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad (4-8)$$

其中 ϕ 是 η 、 u_1 、...等量中的任何一个， γ 是源自计算域内部的近边界处扰动的
位相速度。

在本次研究中的海域的开边界上，通过给定开边界水位驱动模式运行。在进
行本次数值模拟时，结合《黄渤海海洋水文图集》及渤海湾外的长期水位观测资
料调和所获得的调和常数（M2、S2、K1、O1）通过线性插值方法给定了本次数
模的边界的调和常数，利用潮汐预报的方法（具体见黄祖珂《潮汐原理与计算》
一书）算出进行水文观测的时间段的潮位和潮流，并通过实测资料对数值计算结
果进行验证。

$$\eta = \sum_{i=1}^m f_i R_i \cos(\sigma_i t + \theta_{i0} - \theta_i) \quad (4-9)$$

其中 η ——海面相对未扰动海平面的起伏，即水位；

m ——分潮总数；

R_i —— i 分潮的振幅；

f_i ——交点因子；

σ_i —— i 分潮的角速度；

θ_{i0} —— i 分潮的初相；

θ_i —— i 分潮的相位滞后。

4) 干湿边界处理

模型中对于干湿边界的处理采用的是动边界技术，在计算过程中，系统会监视每一个单元的水深变化值，根据对干边界（dry），漫水区（flood）和湿水区（wet）预先所设定的不同水深值，实时判断出计算单元的水深类型，从而采取相应的处理方法。简单地说，如果监测到单元的水深值小于干边界值，则系统将把该单元从计算中移除，输入该单元的动量通量为 0。

5) 其他参数

b. 时间步长

在模型计算中，时间步长分为总时间步长和内部计算时间步长，其中总时间步长决定了结果输出的形式，同时在每个总时间步长点都对应着一个内部时间步长点，为满足计算稳定的要求，在总时间步长之间还会动态插入内部时间步长。

在该模型中最小时间步长取0.01s，最大时间步长取120s。

c. 干湿边界值

陆地值：0.01m;

漫水区：0.05m;

湿水区：0.1m。

d. 涡粘系数

采用Smagorinsky常系数，取 $C_s=0.28$ 。

e. 海底摩阻

海底摩阻根据曼宁数确定，曼宁数取常系数M取28-43。

图 4.1-1 整个模拟计算海域范围水深示意图

图 4.1-2a 整个模拟计算海域范围和网格示意图

图 4.1-2b 项目海域网格加密设置示意图

图 4.1-2c 项目建设前网格加密设置示意图

图 4.1-2d 项目建设后网格加密设置示意图

图 4.1-2e 项目建设后网格加密设置示意图

4.1.3 潮流潮位验证

(1) 大区域潮位验证

利用国家海洋信息中心预报的大连、旅顺新港、鲅鱼圈、锦州港、山海关、京唐港、塘沽、黄骅港、东营港、莱州港、蓬莱和烟台等 12 个潮位站预报数据与模型模拟结果进行比较。结果表明，模拟所得潮位曲线与对应站位预报潮位吻合较好，能够反映工程周边海域的潮汐变化特征。潮位验证点见图 4.1-3 和表 4.1-1，潮位验证曲线见图 4.1-4。

表 4.1-1 潮位验证点坐标

验证点类	验证点	北纬	东经	观测时间	观测单位
潮位	大连			—	—
	旅顺新港				
	鲅鱼圈				
	锦州港				
	山海关				
	京唐港				
	塘沽				
	黄骅港				
	东营港				
	莱州港				
	蓬莱				
	烟台				

图 4.1-3 潮位验证点位置图

潮位验证曲线（大连）

潮位验证曲线（旅顺新港）

潮位验证曲线（鲅鱼圈）

潮位验证曲线（锦州港）

潮位验证曲线（山海关）

潮位验证曲线（京唐港）

潮位验证曲线（塘沽）

潮位验证曲线（黄骅港）

潮位验证曲线（东营）

潮位验证曲线（莱州）

潮位验证曲线（蓬莱）

潮位验证曲线（烟台）

图 4.1-4 潮位验证曲线

（2）小区域潮流、潮位验证

为了验证模型的准确性，利用水动力模型模拟了工程海域的潮位和潮流状况。将模拟结果与2022年10月11日0:00至2022年10月12日1:00在工程海域的2个临潮位站和2022年10月11日0:00至2022年10月12日大潮期在风电场附近设置的2个水文观测站所测数据进行了对比验证，站位布设如图4.1-5所示，经纬度坐标如表6.1-2所示。水位模拟实测对比曲线如图4.1-6所示，大潮期间海流模拟实测对比曲线如图4.1-7所示。

模型验证时采用潮流观测时间的实际岸线，确保模拟结果与实测资料的可比性。验证结果表明，对应观测点上模拟得到的潮流流速流向与实测潮流基本吻合，能够较好地反映工程周边海域潮流状况。在模型验证良好的基础上，以下水动力环境影响分析采用工程建设前的实际岸线。

表4.1-2观测站坐标表

观测要素	站位	位置经纬度	
		经度	纬度
潮位	秦皇岛		
	芷锚湾		
海流	1#		
	2#		
	3#		
	4#		
	5#		
	6#		
	7#		

	8#		
--	----	--	--

图 4.1-5 实测站位分布图

图 4.1-6a 秦皇岛验潮站潮位模拟实测对比曲线(2022 年 10 月 11 日-10 月 12 日)

图 4.1-6b 芷锚湾潮位模拟实测对比曲线(2022 年 10 月 11 日-10 月 12 日)

图 4.1-7a 1#站位流速流向验证图(2022 年 11 月 28 日~11 月 29 日)

图 4.1-7b 2#站位流速流向验证图(2022 年 11 月 28 日~11 月 29 日)

图 4.1-7c 3#站位流速流向验证图(2022 年 11 月 28 日~11 月 29 日)

4.1-7d 4#站位流速流向验证图(2022 年 11 月 28 日~11 月 29 日)

图 4.1-7e 5#站位流速流向验证图(2022 年 11 月 28 日~11 月 29 日)

图 4.1-7f 6#站位流速流向验证图(2022 年 11 月 28 日~11 月 29 日)

图 4.1-7g 7#站位流速流向验证图(2022 年 11 月 28 日~11 月 29 日)

图 4.1-7h 8#站位流速流向验证图(2022 年 11 月 28 日~11 月 29 日)

4.1.4 潮流场数值模拟结果分析

4.1.4.1 大海域潮流场数值模拟

大潮期间大海域潮流场现状见图 1.4-1，分析中潮位时刻采用长岛港港池前沿潮位时刻。

大潮期间涨急时(图 1.4-1a)，计算域内辽东湾涨潮流整体由 NE 向 SW 流，其中部海域流速介于 30cm~40cm/s 之间；渤海湾涨潮流整体由 W 向 E 流，其中部海域流速介于 10cm~20cm/s 之间；莱州湾涨潮流整体由 NW 向 SE 流，其中部海域流速介于 30cm~45cm/s 之间；渤海中部海域涨潮流整体由 NW 向 SE 流，流速介于 10cm~20cm/s 之间；南长岛西侧海域涨潮流场由登州水道处沿近岸由 SE 向 NW 流，南侧登州水道处流速最大，最大可达 160cm/s。

图 1.4.1a 大海域潮流场（涨急时，以长岛港的潮汐变化为参照时间）

大潮期间落急时（图 1.4-1b），计算域内辽东湾落潮流整体由 SW 向 NE 流，其中部海域流速介于 30cm~45cm/s 之间，最大流速位于东侧近岸，最大可达 45cm/s；渤海湾落潮流整体由 E 向 W 流，其中部海域流速普遍介于 10cm~20cm/s；莱州湾落潮流整体由 SW 向 NE 流，其中部海域流速介于 20cm~50cm/s 之间；渤海中部海域落潮流整体由 SW 向 NE 流，流速普遍小于 25cm/s 之间；南长岛西侧海域落潮流场先是由 W 向 E 流，在近岸转向 SE，绕过长岛南侧登州水道再转向 NE 方向，南侧登州水道处流速最大，最大可达 130cm/s。

图 1.4-1b 大海域潮流场（落急时，以长岛港的潮汐变化为参照时间）

4.1.4.2 周边海域潮流场数值模拟

图 1.4-2、图 1.4-3 分别为工程周边现状和防波堤码头建设后的涨急时和落急时潮流场，在给出的流场图中的时刻。

涨急时，大钦岛西侧海域流向呈 NW-SE，最大流速可达 38cm/s，潮流绕过大钦岛南侧后延大钦岛东侧形成沿岸流，大钦岛和南隍城之间水道流向呈 E-W 向流，最大流速可达 45cm/s，受防波堤码头建设的影响，港池内流速较小，一般小于 10cm/s。

落急时，大钦岛西侧海域流向呈 SE-NW，最大流速可达 34cm/s；受大钦岛海岛地形的影响，潮流在大钦岛东侧海域分为两支流，一支沿着大钦岛东南侧形成沿岸流后延大钦岛东侧形成沿岸流，另一支沿着大钦岛和南隍城之间的水道向西流，最大流速可达 41cm/s，受防波堤码头建设的影响，港池内流速较小，一般小于 10cm/s。

图 1.4-2a 工程周边海域现状潮流场（涨急时）

图 1.4-2b 工程周边海域现状潮流场（落急时）

图 1.4-3a 工程建成后周边海域潮流场（涨急时）

图 1.4-3b 工程建成后周边海域潮流场（落急时）

4.1.4.3 项目建设前后潮流场数值模拟结果对比分析

为了清楚反映工程建设前后对周边海域潮流场的影响,将工程建设前后大潮期最大时刻流场进行对比,得到工程建设前后最大流速及对应的流向变化情况,见图 1.4-4。

工程建设前后最大流速对比结果表明,受工程建设的影响,新建南、北两侧防波堤所围成的半封闭港池内靠近防波堤流速受防波堤掩体的影响,流速呈减小趋势,流速最大减小为 2.8cm/s,北侧防波堤西侧受地形阻隔影响,流速呈增大趋势,最大增加流速为 1.2cm/s,距离工程越远,流速增加值越小,流速变化主要集中在工程附近 600m 范围内;受南北两侧防波堤及码头的影响,防波堤周围流向变化较大,流向变化主要集中在工程区附近,工程建设对外侧海域潮流流向基本没有影响。

综上所述,受南北两侧防波堤建设的影响,港池内潮流流向呈减小趋势,防波堤外侧流速呈增大趋势。流向的变化主要集中在防波堤附近海域。由此可见,工程建设对工程附近海域潮流流速及流向有一定的影响。

图 1.4-4a 工程建设前后最大流速变化示意图

图 1.4-4b 工程建设前后最大流速对应流向变化示意图

4.2 海水水质环境影响预测与评价

4.2.1 预测模型

潮流是海域污染物进行稀释扩散的主要动力因素,在获得可靠的潮流场基础上,通过添加水质预测模块(平面二维非恒定的对流—扩散模型),可进行水质预测计算。

(1) 二维水质对流扩散控制方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(hc) + \frac{\partial}{\partial x}(uhc) + \frac{\partial}{\partial y}(vhc) = \frac{\partial}{\partial x}\left(h \cdot D_x \cdot \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h \cdot D_y \cdot \frac{\partial c}{\partial y}\right) - F \cdot h \cdot c + s$$

式中: D_x 、 D_y 为 x、y 方向的扩散系数,扩散系数 $D_l = K_l \frac{\Delta x^2}{\Delta t}$, Δx 为空间

步长 (20m~562m), Δt 为时间步长 (0.8s~120s), k_1 为系数, 其取值范围为 0.003~0.075, 模拟中网格采用三角形非结构网格, 每个网格时间步长和空间步长差异较大, 故其扩散系数差异较大, 模型中通过设置的时间步长和空间步长进行自主计算分配; c 为悬浮泥沙浓度; F 为衰减系数, $F=p \cdot ws$, p 为沉降概率, 项目所处海域取值介于 0.1~0.5, ws 为沉速, 根据沉积物粒径级配求得项目区沉速为 0.0005m/s 左右; s 为悬浮泥沙排放源强, $s=QS/CS$, 式中 QS 为排放量, CS 为悬浮泥沙排放浓度。

(2) 边界条件

岸边界条件: 浓度通量为零;

开边界条件:

入流: $C|_{\Gamma} = P_0$, 式中 Γ 为水边界, P_0 为边界浓度, 模型仅计算增量影响, 取 $P_0=0$ 。

出流: $\frac{\partial C}{\partial t} + U_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0$, 式中 U_n 边界法向流速, n 为法向。

(3) 初始条件

$$C(x, y)|_{t=0} = 0。$$

4.2.2 模拟参数设置

4.2.2.1 悬浮泥沙发生点

本项目施工主要包括: 根据施工组织计划安排和施工工艺, 模拟中选取部分代表点进行模拟、预测和分析。结合工程施工作业顺序和工程平面布置, 选取电缆施工的典型特征点及海上风电风机桩基施工典型特征点作为悬沙发生点, 在此选取 50 个悬浮泥沙计算点进行预测, 悬浮泥沙预测点位置见图 4.2-1。

图 4.2-1 工程施工悬沙发生点

4.2.2.2 悬浮泥沙源强

1) 电缆敷设悬浮物源强

根据工程分析, 本工程海底电缆通过“埋设犁”敷设在泥面下 3m 深处, 海缆沟槽底宽约 0.3m, 顶宽约 0.5m, 其中 -2m 等深线以上滩涂区域不开挖电缆沟, 该部

分海缆长度约1.5km；-2m等深线以下中1.6km长海缆采用落潮施工方式，每个落潮期施工3小时，施工速度控制在1m/min；往外海至-5m等深线处，海缆正常施工，铺设速度控制在1m/min；-5m等深线以下，海底电缆铺设速度控制在2m/min。海缆沟深度为3m，海缆沟槽底宽约0.3m，顶宽约0.5m，则-5m等深线以上电缆施工的悬浮物源强为 $1085 \times 1.2 \times 15\% / 60 = 3.26 \text{kg/s}$ ，-5m等深线以下电缆施工的悬浮物源强为 $1085 \times 2.4 \times 15\% / 60 = 6.51 \text{kg/s}$ 。

2) 风机基础防护抛石源强

根据《水运工程技术四十年》（人民交通出版社，1996年），抛石挤淤形成的颗粒物悬浮源强按下式计算：

$$S_1 = (1 - \theta_1) \cdot \rho_1 \cdot \alpha_1 \cdot P$$

式中： S_1 ——抛石挤淤的悬浮物源强(kg/s)；

θ_1 ——沉积物天然含水率(%)，取40%；

ρ_1 ——泥沙中颗粒物湿密度(g/cm^3)，取 1.4g/cm^3 ；

α_1 ——泥沙中悬浮物颗粒所占百分率(%)，取40%；

P ——平均挤淤强度，根据施工方案，取 $0.0075 \text{m}^3/\text{s}$ 。

根据计算，工程风机基础防护抛石点源的悬浮泥沙平均源强约为 2.52kg/s 。

3) 风机基础悬浮物源强

本工程风机钢管桩基用液压打桩锤施打沉桩，沉桩施工振动会导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，并可能影响局部沉积物环境。根据东海大桥海上风电实际施工经验，开挖和打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加($>10 \text{mg/L}$)范围一般在半径在100m内。根据工程分析，本工程钢管桩打桩施工产生的悬浮物源强为 0.40kg/s 。

本项目类比距离较近的已经建设完成的北黄海海域庄河海上风电III风电场和庄河海上风电IV1风电场风电基座桩基施工跟踪监测的结果可知，海上风机桩基施工过程造成的人为悬浮泥沙增量影响范围很小，基本在风机桩基施工100m范围以内。因此本项目参照已经建设完成的项目桩基施工过程悬浮物跟踪监测结果，打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加($>10 \text{mg/L}$)范围一般半径在100m内。风机桩基和升压站桩基施工悬浮物影响范围据此给出，海缆施工影响范围远远大于桩基打桩施工的影响范围，为主要施工影响因素。

综上所述,在悬浮泥沙源预测计算分析中,海上风电场及220kV和35kV路由施工悬沙泥沙源强综合取值为6.51kg/s。

4.2.2.3 泥沙沉降速度

根据《海岸工程环境》(常瑞芳),细泥沙, $D < 0.1\text{mm}$, 采用斯托克斯公式计算单颗粒泥沙的沉速:

$$\omega = \frac{1}{18} \frac{\rho_s - \rho}{\rho} g \frac{D^2}{\nu}$$

其中, ρ_s ——沙的密度, 取 2650kg/m^3 ;

ρ ——水的密度, 取 1000kg/m^3 ;

g ——重力加速度, 取 9.81m/s^2 ;

D ——泥沙的粒径;

ν ——粘滞系数, $\nu = 1.792 \times 10^{-6} \exp(-0.042T^{0.87})$, 水温 T 取 21.9°C 。

泥沙群体平均沉速公式如下:

$$\omega = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^N \Delta P_i \cdot \omega_i$$

其中, ω ——泥沙群体的平均沉速;

ω_i ——粒径为 D_i 的泥沙的沉速;

ΔP_i ——粒径 D_i 的泥沙所占的重量百分数。

样品分析结果表明,本区沉积物质以粘土质粉砂分布为主,样品中粘土百分含量达 38.6%,泥沙中值粒径偏细,在 $0.0041 \sim 0.0206\text{mm}$ 之间变化,变化幅度很小。根据以上公式计算,模拟时泥沙沉降速度取值为 0.0005m/s 。

4.2.3 悬浮泥沙扩散对海水水质环境的影响分析

施工环节引起的悬浮泥沙扩散最大包络范围见图 4.2-2,施工环节引起的悬浮泥沙扩散最大范围统计结果见表 4.2-1。由计算结果可知,大于 10mg/L (超一类水质)增量浓度悬浮泥沙最大扩散距离约 2.18km ,最大扩散范围 150.042km^2 ,大于 50mg/L (超二类水质)增量浓度悬浮泥沙最大扩散距离约 1.13km ,最大扩散范围 114.585km^2 ,大于 100mg/L (超三类水质)增量浓度悬浮泥沙最大扩散距离约 593m ,最大扩散范围 83.859km^2 ,大于 150mg/L (超四类水质)增量浓度悬

浮泥沙最大扩散距离约 322m，最大扩散范围 62.76km²。

施工悬沙所产生的影响是暂时和局部的，加之悬浮泥沙具有一定的沉降性能，随着施工作业结束，悬浮泥沙将慢慢沉降，工程海区的水质会逐渐恢复原有的水平。

表 4.2-1 施工产生悬浮物（SS）最大包络线影响范围

浓度（SS）	影响面积（km ² ）	最大影响距离（km）
SS>150 mg/L	62.76	0.322
100 mg/L<SS≤150 mg/L	21.10	0.593
50 mg/L<SS≤100 mg/L	30.72	1.13
20 mg/L<SS≤50 mg/L	23.13	1.69
10 mg/L<SS≤20 mg/L	12.33	2.18

图 4.2-2 项目建设引起悬沙最大包络范围示意图

4.3 地形地貌和冲淤环境影响预测与评价

潮流等水动力改变会导致海底产生蚀淤变化。海岸地貌是在河流、海洋动力作用下，在既定地质基础上所产生的侵蚀或堆积作用的产物。工程的建设会改变原有的岸线形态，引起波浪和潮流等水动力改变，导致海底产生蚀淤变化。

4.3.1 海岸带泥沙运动规律及影响冲淤变化的动力因素

（1）泥沙来源

海岸带附近泥沙来源有四个方面：①河流来沙；②由邻近岸滩搬运而来；③由当地崖岸侵蚀而成；④海底来沙。

（2）泥沙运移形态

沙质海岸的泥沙运移形态有推移和悬移两种。淤泥质海岸的泥沙运移形态以悬移为主，底部可能有浮泥运动或推移运动。海岸带泥沙运动方式可分为与海岸线垂直的横向运动和与海岸线平行的纵向运动。

海底泥沙冲淤变化是在波浪和海流等动力因素综合作用的结果。

（1）波浪的作用

在沙质海岸，波浪是造成泥沙运动的主要动力。大部分泥沙运动发生在波浪破碎区以内。当波浪的传播方向与海岸线斜交时，波浪破碎后所产生的沿岸流将

带动泥沙顺岸移动。沿岸泥沙流若遇到突堤等水工建筑物则将从其上游根部开始淤积。

在粉砂淤泥质海岸，波浪掀起的泥沙除随潮流进出港口和航道外，在风后波浪减弱的过程中会形成浮泥。此种浮泥除自身可能流动外，又易为潮流掀扬，转化为悬移质，增加潮流进港和航道的泥沙数量。

(2) 海流的作用

在淤泥质海岸，潮流是输沙的主要动力，在波浪较弱的海岸区，潮流可能是掀沙的主要因素。由于动力因素减弱，降低了携沙能力，导致落淤。在沙质海岸的狭长海湾等特定地形条件下，海流流速较大，可对泥沙运动起主导作用。这里的海流不仅起输沙作用，还起着掀沙作用。

4.3.2 冲淤变化预测分析

4.3.2.1 模型简介

MIKE21FM 采用标准 Galerkin 有限元法进行水平空间离散，在时间上，采用显式迎风差分格式离散动量方程与输运方程。

泥沙控制方程为：

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

式中：

\bar{c} ——水深平均悬浮泥沙浓度 (g/m^3)；

u, v ——水深平均流速 (m/s)；

D_x, D_y ——分散系数 (m^2/s)；

h ——水深 (m)；

S ——沉积/侵蚀源汇项 ($\text{g}/\text{m}^3/\text{s}$)；

Q_L ——单位水平区域内点源排放量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$)；

C_L ——点源排放浓度 (g/m^3)。

沉积物沉积和侵蚀计算公式

(1) 粘性土沉积和侵蚀

1) 沉积速率

根据 Krone (1962)等提出的方法计算粘性土沉积，公式如下：

$$S_D = w_s c_b p_d$$

式中：

S_D ——沉积速率；

w_s ——沉降速度（m/s）；

c_b ——底层悬浮泥沙浓度（kg/m³）；

p_d ——沉降概率；

沉降速度计算公式：

$$w_s = \begin{cases} kc^\gamma, & c \leq 10 \text{ kg/m}^3 \\ w_{s,r} \left(1 - \frac{c}{c_{gel}}\right)^{w_{s,n}}, & c > 10 \text{ kg/m}^3 \end{cases}$$

式中：

c ——体积浓度；

k, γ ——系数， γ 取值介于 1~2 之间；

$w_{s,r}$ ——沉降速度系数；

$w_{s,n}$ ——组分能量常数；

c_{gel} ——泥沙絮凝点。

沉降概率公式：

$$P_1 = \begin{cases} 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cd}}, & \tau_b \leq \tau_{cd} \\ 0, & \tau_b > \tau_{cd} \end{cases}$$

τ_b ——海底剪应力（N/m²）；

τ_{cd} ——沉积临界剪应力（N/m²）。

2) 泥沙浓度分布

泥沙浓度分布计算包括 2 种方法：

① Teeter 公式

$$c_b = \bar{c} \beta$$

式中：

$$\beta = 1 + \frac{P_e}{1.25 + 4.75 p_b^{2.5}}$$

$$p_e = \frac{w_s h}{D_z} = \frac{6 w_s}{k U_f}$$

k——Von Karman 常数 (0.4) ;

U_f ——摩擦速度, $\sqrt{\tau_b / \rho}$ 。

②Rouse 公式

$$-\varepsilon \frac{dC}{dz} = w_s C \quad \varepsilon = k U_f z \left(1 - \frac{z}{h}\right) \quad C = C_a \left[\frac{a}{h-a} \frac{h-z}{z} \right]^R, a \leq z \leq h$$

$$R = \frac{w_s}{k U_f}$$

底层悬浮泥沙浓度公式:

$$c_b = \frac{\bar{c}}{RC}$$

式中:

ε ——扩散系数;

C——悬浮泥沙浓度;

z——垂向笛卡尔坐标。

h——水深;

C_a ——深度基准面处的悬浮泥沙浓度;

a——深度基准面;

\bar{c} ——水深平均浓度;

R——Rouse 参数。

3) 底床侵蚀

根据底床密实程度, 侵蚀计算可以分为 2 种方式:

①密实、固结底床侵蚀计算公式

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

式中:

E——底床侵蚀度 ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$) ;

τ_b ——底床剪切力 (N/m²) ;

τ_{ce} ——侵蚀临界剪切力 (N/m²) ;

n——侵蚀能力。

②软、部分固结底床侵蚀计算公式

$$S_E = E \exp[\alpha(\tau_b - \tau_{ce})^{1/2}] \tau_b > \tau_{ce}$$

α ——参考系数。

(2) 非粘性土沉积和侵蚀

1) 无量纲颗粒参数的确定

根据 Van Rijn (1984)等提出的方法计算非粘性土再悬浮, 公式如下:

$$d^* = d_{50} \left[\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3}$$

式中:

S——颗粒比重;

G——重力加速度;

ν ——粘滞系数;

d_{50} ——中值粒径。

2) 底床临界起动流速

泥沙悬浮的判定通过实际摩擦流速 U_f 和临界摩擦流速 $U_{f,cr}$ 的比较得以实现。

其主要通过两种方式, 一种是利用泥沙运移阶段参数 T ; 另一种是利用临界摩擦流速 $U_{f,cr}$ 和沉降速度的比值。

①泥沙运移阶段参数 T

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

$$U_f = \sqrt{ghI} = \frac{\sqrt{g}}{C_z} |\bar{V}|$$

式中:

I——能量梯度;

C_z ——谢才系数 (m^{1/2}/s) (=18ln (4h/d₉₀)) ;

$|\vec{V}|$ ——流速 (m/s)。

②临界摩擦流速 $U_{f,cr}$ 和沉降速度的比值

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

3) 沉降速度

非粘性土沉降速度公式:

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

式中:

d ——非粘性土颗粒粒径;

s ——非粘性土密度;

ν ——粘滞度;

g ——重力加速度。

4) 悬移质运移

悬移质泥沙平衡浓度计算公式:

$$\bar{c}_e = \frac{q_s}{\bar{u}h} \quad q_s = \int_a^h c \cdot dy \quad a = k_s = 2d_{50}$$

式中:

\bar{u} ——水深平均流速 (m/s);

q_s ——悬移质运移量 (kg/m/s);

c ——距离底床 y (m) 处的悬浮泥沙浓度 (kg/m³);

u ——距离底床 y (m) 处的流速 (m/s);

h ——水深 (m);

a ——底床分层厚度 (m);

k_s ——等效粗糙高度 (m);

d_{50} ——中值粒径。

5) 非粘性土浓度分布

非粘性土浓度分布主要取决于湍流扩散系数 ε_s 和沉降速度 w_s 。

①湍流扩散系数计算公式为:

$$\varepsilon_s = \beta \Phi \varepsilon_f$$

$$\beta = \begin{cases} 1 + \left(\frac{w_s}{U_f} \right)^2, & \frac{w_s}{U_f} < 0.5 \\ 1, & 0.5 \leq \frac{w_s}{U_f} < 0.25 \\ \text{不悬浮}, & \frac{w_s}{U_f} \geq 2.5 \end{cases}$$

式中:

β ——扩散因子;

Φ ——阻尼系数。

②非粘性土浓度分布

非粘性土浓度分布由 Peclet 系数 P_e 确定:

$$P_e = \frac{C_{rc}}{C_{rd}}$$

式中:

C_{rc} ——Courant 对流系数 ($= w_s \Delta t / h$) ;

C_{rd} ——Courant 扩散系数 ($= \varepsilon_f \Delta t / h^2$) ;

ε_f ——水深平均流体扩散系数。

6) 非粘性土沉积

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

$$t_s = \frac{h_s}{w_s}$$

$$\bar{c}_e = 10^6 \cdot F \cdot C_a \cdot s$$

$$F = c / c_a$$

式中:

\bar{c}_e ——平衡浓度；

s——相对密度，取 2.65。

7) 非粘性土侵蚀

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

4.3.2.2 输入参数确定

(1) 沉积物类型、粒度特征参数

根据该区近期和历史表层沉积物调查资料。

(2) 风的资料输入

根据工程区附近海域风资料的统计结果，将全年的大风引起的波浪与潮流、径流共同作用于地形地貌冲淤模拟中，从而模拟和预测工程建设对海域地形地貌冲淤环境的影响。

4.3.2.3 工程建设前后地形地貌与冲淤环境影响预测分析

对比工程前后年冲淤效果图可知，冲淤变化趋势基本一致，通过对工程建设前后冲淤变化分析可知（见图 4.3-1），受南北两侧防波堤的影响，港池内呈淤积状态，冲淤年变化范围在 1.2-4.4cm/a 之间，最大淤积发生在南侧防波堤堤头掩体位置。工程建设会对工程海域冲淤趋势产生一定影响。

图 4.3-1 项目建设前后冲淤变化示意图

4.4 沉积物环境影响分析

(1) 施工期

电缆铺设施工，由于开沟犁会引起工程区附近海域沉积物环境的扰动，而本工程所在海域沉积物环境质量良好，且电缆铺设后，仍使用原有的表层沉积物对电缆进行覆盖，电缆铺设对表层沉积物影响不大。

施工悬浮物泥沙进入水体中，其中颗粒较大的悬浮物泥沙会直接沉降在工程区附近海域，形成新的表层沉积物环境，颗粒较小的悬浮物泥沙会随海流漂移扩散，并最终沉积在工程区周围的海底，将原有表层沉积物覆盖，引起局部海域表

层沉积物环境的变化。由于施工期间产生悬浮泥沙来源于附近海域表层沉积物，对工程区既有的沉积物环境产生的影响甚微，不会引起海域总体沉积物环境质量的变化。

施工期由于大型施工船舶在工程海域集结，施工船舶将产生生产废水、生活污水和垃圾等，本项目施工活动产生的生产废水、生活污水和垃圾等均得到妥善处理，不直接排海，对海洋沉积物环境基本没有影响。

(2) 运营期

本工程运营期，无其他污染物排入海。但为确定项目建设后，长时间对海洋环境的影响，建议建设单位应加强监测。

4.5 水下噪声和电磁辐射对海洋生物的影响

4.5.1 水下噪声对海洋生物的影响

本节内容部分引用厦门大学关于海上风电水下噪声研究的结论。

1、施工期水下噪声影响

(1) 海上风电工程施工期钢管桩撞击施工所产生的水下冲击波噪声将对周围海域的海洋渔业资源带来一定影响。对于风机基础采用的大直径单桩钢管桩（桩径 4.3-6.0m）水下打桩噪声，在离桩基中心 670m 的距离范围内为危险级（水下噪声将损伤海洋生物的听觉，引起听阈改变）；在离桩中心 5.0km 左右距离范围内为警告级（噪声将干扰海洋生物行为等）。

(2) 工程海域洄游性资源多为暖温性和暖水性种类，如小黄鱼、叫姑鱼、黄姑鱼、蓝点马鲛、鳀鱼、银鲳、中国对虾等。其中石首科鱼类对声音最为敏感，通过实验可知不同大小的大黄鱼对水中声音的反应存在差异，三种不同尺寸的鱼对声音敏感频率集中在 600-800Hz 频带上。如果这一水域有小黄鱼、白姑鱼等石首鱼科鱼群活动时，打桩作业对石首鱼科鱼类的行为活动将产生较大的影响，当离桩基施工距离小于 200m 范围内，打桩噪声可能致小黄鱼的直接伤亡。因此，在石首科鱼类的产卵、育幼旺期时应该暂停打桩作业。

(3) 水下噪声的累加效应影响：虽然相关测量数据及研究表明撞击式桩基施工不会对一定距离外的鱼类等海洋生物造成直接的影响，但长时间较高声压水平（165dB 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。

(4) 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。

(5) 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。在进行首次水下打桩时先进行小强度的“软启动”，以达驱赶海洋鱼类游离作业区，到达一定距离外的安全海域。

2、营运期水下噪声影响

(1) 海上风电场在营运期总体的噪声强度比较低，与原海洋环境背景相当，根据噪声对鱼类等海洋生物的模拟实验研究结果表明：营运期水下噪声强度在课题组所进行的海洋生物实验条件下，对海域中典型鱼类（大黄鱼（成鱼）、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎、斜带石斑鱼、真鲷、卵形鲳鲹和花尾胡椒鲷等）影响不明显，风电场营运期水下噪声对鳗鱼基本上没有影响。

(2) 对石首鱼科大黄鱼的声特性实验结果表明：大黄鱼对声信号的敏感频率在 600~800Hz，不同年龄的大黄鱼对声的敏感性略有区别，年龄越小，敏感频率越高。幼苗（1-5 个月，鱼体长约 2~3cm）、小鱼（6-7 个月，体长 10~15cm）及大鱼（12 个月，体长 20~25cm）在声源级为 140dB 的连续声脉冲下开始出现行为反应因此，海上风电场在营运期所产生的 120dB 的水下噪声对大黄鱼等鱼类无明显影响。

(3) 由于不同海洋生物种群间个体差异较大，特别是石首科中的大黄鱼幼

鱼，测试表明：幼鱼大黄鱼的发声谱级在 800Hz 时为 110dB，已低于海上风电场在该频段上的背景噪声，可能会对大黄鱼幼鱼的通讯声产生影响，这些幼鱼可以通过游动而远离噪声背景干扰所在海域

4.5.2 电磁辐射对海洋生物的影响

本节内容部分引用厦门大学关于海上风电电磁辐射对海洋生物影响研究中的结论。

本项目电磁辐射来源主要有两部分：1 座陆上 220kV 海上升压变电站以及风电场场的 35kV 的海底电缆。目前，对陆地架空高压传输线电磁辐射影响的研究已经比较成熟，而针对海底电缆电磁辐射的研究仍比较少。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辐射有一定影响。

海底电缆的电场辐射通过使用绝缘屏蔽外壳，良好的屏蔽接地，可使电场限制在电缆内部，其外部几乎没有电场；但是磁场却无法通过这种方式进行有效地屏蔽。因此，电缆外部产生的磁场辐射到周围的海底和海水中。根据麦克斯韦方程组，变化的磁场（无论是时间上的变化，还是空间位置的变化）将产生感生电场，那么电缆外部变化的磁场将产生感生电场，该感生电场随磁场而生，无法屏蔽，但电场的幅度远比磁场的强度小得多。

（1）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核内部。对于 35kV 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 10^{-6} T 以下。

（2）据实验室模拟实验，风电场电磁辐射对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物（大黄鱼、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）基本上没有影响，不会影响其周围鱼类的洄游路线、总体分布和洄游形式。

（3）根据类比分析，菊城变电站外电场强度最大值 460.28V/m。因此，可以预测，本工程 220kV 海上升压站主变 2×150 MVA 所产生的电场强度与菊城变电站类比监测结果相类似，能满足评价标准的要求。

（4）由于实验的时间、规模、经费等均有限，海洋生物对磁场的这种生理

反应的持久性尚需要进一步评估。建议相关单位进一步开展此方向的研究，并在项目运营期进行海底电缆等电磁辐射的跟踪监测

4.6 对鸟类及生境的影响分析

4.6.1 项目施工期对鸟类的影响分析

4.6.1.1 施工交通对鸟类的影响分析

该海域日常海上交通中，客船、货船、渔船等各类船只活动数量多，频率大，因此，鸟类已经对过往的船只和渔业等常规性人为活动习以为常，所以本项目交通运输等船只活动不会对本区活动的鸟类造成明显影响。

4.6.1.2 施工期悬浮物对鸟类的影响分析

工程施工对海水底质产生扰动，使细小泥沙扩散到水中，悬浮物浓度增加，使水质浑浊，对该区域潜水捕食的鸟类视力产生干扰。只有鸬鹚潜水捕食，但本区海域开阔，鸬鹚数量极少，它们会因项目施工而重新选择取食环境，因而对鸟类捕食影响不明显。

4.6.1.3 施工期噪声对鸟类的影响分析

噪声主要来源于陆域施工噪声和施工船舶噪声。施工活动、机械噪声等将直接影响鸟类的取食和迁飞。研究表明：当噪声值为 60dB(A)时，鸟类感受不到噪声影响。当最大噪声级 $L_{max} > 60\text{dB(A)}$ 时，鸟类感受到噪声影响。由于鸟类有避害天性，会向远离人类活动的地区转移。

本项目施工机械噪声均小于 60dB(A)，满足企业厂界环境噪声标准（GB12348-2008）的 2 类标准限值。但可能会因施工机械较多时噪声叠加，会对迁飞路过的鸟类会造成趋避效应。由于海域开阔，故噪声不会对迁飞路过的鸟类产生明显影响。

4.6.2 项目运营期对鸟类的影响分析

4.6.2.1 运营期风电场屏障作用对鸟类迁徙的影响分析

本项目共安装 59 台风力发电机，风机转轮直径 225m，轮毂高度 130m。项目区鸟类很少，因而，风机运行对鸟类影响非常小。个别飞经此处的鸟类也会因周边的风机障碍物众多而产生适应性应激反应，所以，风机等设备设施的物理障

碍作用很小。

4.6.2.2 对鸟类迁飞的影响分析

本项目可能对鸟类迁飞形成物流屏障作用，也可能发生鸟撞。但目前资料显示，项目周边敏感目标鸟类的活动迁飞与项目区暂无交集，且项目区活动的鸟类数量较少，所以对鸟类迁飞造成影响较小。

风电机将在项目区形成南北近 10km 的风电机方阵，该方阵的高度将达到 160m 左右。如此巨大的风电机方阵，可能对夜间低飞迁徙的鸟类构成威胁。

资料显示，国际上有雷达对海上风电场地区鸟类的迁徙行为的观察和监测表明，白天迁徙的鸟群在距离风电场 400m 左右就改变飞行的方向，夜间迁徙的鸟群在距离风电场 1000m 左右就开始绕开风电场飞行。

风电场对迁飞鸟类影响最大的是大雾天气，可能引起“个别”鸟撞事件。之所以引用“个别”，是因为在大雾天气状况下，大部分鸟类不会迁飞至离海岸 20km 的范围内，不排除个别鸟类误入而在此区活动。

就本项目而言，项目区仅有零星鸟类飞行通过，不处于鸟类集中分布区或其附近，且风机高度在 160m 左右，在鸟类迁徙高度之下，所以对迁徙鸟类影响不大。

研究表明，风电场对繁殖鸟类产生最大影响的距离是 300m。本项目所在区域距离鸟类繁殖地在 15km 以上，因此对鸟类不会产生明显影响。

4.6.2.3 营运期风电场噪声对鸟类的影响分析

运营期噪声主要来源于风机叶片扫风和机组内部机械运转。风机运行和实测的数据显示，单台风机声噪声 70dB，变电站主要是室内主变压器产生的噪声，为 70dB(A)，但主变压器在建筑物内，厂界噪声值将低于 45dB(A)，满足企业厂界环境噪声标准（GB12348-2008）的 2 类标准限值。

1、风电场噪声对周边鸟类的干扰作用。按照《环境影响评价技术导则——声环境》（HJ2.4—2018）中规定的噪声衰减模式和叠加模式进行预测，在距离风机 300m 以外，可达到《声环境质量标准》（GB3096-2008）中的 I 类标准的要求，因此噪声的叠加作用不明显，且邻近周边区域没有鸟类繁殖地和必选取食地，所以干扰作用不明显。

2、风电场噪声使本区附近活动的鸟类重新选择生境。不过，因本区活动的

鸟类数量稀少，加之本区生境与周边海域生境相比对鸟类不具有生境选择优势，周边可供重新选择的生境非常较丰富，所以，风电场噪声对本区活动的鸟类影响不明显。

3、风电场噪声对迁徙鸟类产生警示和驱离作用。鸟类对噪声具有非常高的敏感性，风机的噪声会对迁飞通过的鸟类提前警示，令迁飞通过的鸟类提前避让。

运营噪声大于 70db，对迁飞路过的鸟类会造成趋避效应，使路过的鸟类远离该区。由于项目区活动的鸟类较少，所以影响不大。

4.6.2.4 项目建设对鸟类迁徙通道影响分析

目前的监测结果显示，黑脸琵鹭、黄嘴白鹭等项目敏感物种的活动迁飞路线与项目区暂无交集。分析原因：首先，项目区距离鸟类的重要栖息地较远；其次，由于项目区位于空旷海域，周边可供选择的区域丰富，所以鸟类很少来此逗留。项目区不位于鸟类的重要迁徙通道上，对项目敏感区及敏感目标鸟类的影响较小。

4.6.2.5 小结

1、项目选址位于开阔海域，周边均为港口航运区，故本项目符合国家野生动物保护及风电场建设项目的相关政策；

2、工程项目的实施，将会对个别途径项目区的鸟类个体的取食、迁飞构成影响，建议在施工期采取有效措施，以降低影响程度，并开展后期监测，以备进一步评估。

3、项目运营期可能导致个别鸟类个体发生鸟撞风机的现象，需采取救护和监测措施，制定救护和监测预案。

总之，由于本区鸟类相对较少，项目施工期和运营期对鸟类产生的影响在一定措施保护下将不明显。项目实施后，可通过设置警示标志、控制光污染，及时、严格地对周边环境实施保护、补偿、监测等措施，可以把对鸟类的影响降至最低水平。

因此，在各项保护、监测等系列措施到位的情况下，本工程建设是可行的。

4.7 项目用海生态影响分析

4.7.1 对浮游生物的影响

施工过程中产生的入海泥沙对浮游生物的影响首先主要反映在悬浮泥沙入海将导致海水的混浊度增大，透明度降低，不利于浮游植物的光合作用，对浮游生物的生长起到抑制作用，降低单位水体中浮游植物的数量。此外还表现对浮游动物的生长率、摄食率、丰度、生产量及群落结构等的影响。

一般而言，当悬浮物浓度增加量在 10mg/L 以下时，水体中的浮游植物不会受到明显影响，当悬浮物的浓度增加量在 10~50mg/L 时，浮游植物将会受到轻微的影响，而当悬浮物浓度增加量达 50mg/L 以上时，浮游植物会受到较大的影响，特别是施工中心区域，悬浮物含量较高，海水透光性差，浮游植物生长将受显著抑制。

徐兆礼等对悬沙影响浮游植物的问题进行了多项研究，其中长江口悬沙牟氏角毛藻生长影响的动态试验和静态试验研究结果表明：牟氏角毛藻的生长速度随悬沙浓度增大而逐渐减少，悬沙对浮游植物生物的影响非常显著，而且悬沙一旦产生，即便是浓度不大，也影响水体的透明度，从而影响浮游植物的光合作用，对浮游植物生长起到抑制作用。徐兆礼等人的研究结果还表明：悬沙对浮游植物的影响有两个方面，一是悬沙影响水体的透明度，从而影响浮游植物的光合作用，对浮游植物生长起到抑制作用；二是底泥存在的污染物，这些污染物从底泥中析出，造成水体二次污染，进而对浮游植物生长产生影响。根据徐兆礼开展的实验研究，长江口疏浚弃土悬沙对微绿球藻和牟氏角毛藻的生长有一定的抑制作用，试验结果表明，当水体中含沙量持续 96h 达到 3g/L 时，藻类生长速率降低 20%-30%。当疏浚作业停止，悬沙将迅速沉淀，水体变清，藻类生长可恢复正常。

同样，施工作业对浮游动物最主要影响是水体中增加的悬浮物，水体的浑浊度增大。悬浮物对浮游动物的影响与悬浮物的粒径、浓度等有关。具体影响反应在浮游动物的生长率、存活率、摄食率、丰度、生产量及群落结构等方面。浮游动物受影响程度和范围与浮游植物相似。

李纯厚等所做的疏浚泥悬浮物毒性试验表明，疏浚淤泥悬浮相对浮游甲壳类的致毒效应明显。22.0~24.0℃ 试验水温时，悬浮相对卤虫无节幼体和浮游挠足类

的急性毒性试验结果分别为：96hLC50 为 71.6mg/L（卤虫无节幼体），48hLC50 为 61.3mg/L（浮游挠足类）。

王金秋等研究表明，培养液中加入 7~9mg/ml 的弃土悬沙，褶皱臂尾轮虫种群的存活率呈显著和极显著差异，即高浓度的悬沙，可降低该轮虫的存活率，从而导致其种群的内在增长率显著和极显著地降低，说明该浓度弃土悬沙是该轮虫的敏感浓度，低于这一浓度则对该轮虫无显著影响。

泥沙入海将对一定范围内的浮游植物光合作用、浮游动物和鱼卵仔鱼的存活率产生一定的影响，这种影响是不可避免的。施工期若能避开鱼类的繁殖期进行施工，则对浮游生物和鱼卵、仔鱼影响较小。施工过程引起的入海悬浮泥沙是暂时和有限的。随着上述工程的结束，泥沙的沉降作用，水质将逐渐恢复，浮游生物会逐渐恢复正常。有关资料表明，浮游生物群落重新建立需要几天到几周时间。

4.7.2 对游泳生物的影响

施工过程中产生的悬浮物将在一定范围内形成高浓度扩散场，悬浮物在许多方面对鱼类产生不同的影响。首先是悬浮微粒中含有大小不同、从几十微米到十余微米的矿质颗粒，悬浮微粒过多时将导致水体混浊度增大，透明度降低，不利于天然饵料的繁殖生长。其次水体中大量存在的悬浮物会造成鱼类呼吸困难和窒息现象，因为悬浮物微粒随鱼的呼吸动作进入鳃部，会沉积在鳃瓣鳃丝及鳃小片上，不仅损伤鳃组织，而且会阻断气体交换，严重时导致窒息。

悬浮颗粒还会对海洋生物仔幼体造成伤害，主要表现为影响胚胎发育，悬浮物堵塞生物的鳃部造成窒息死亡，大量悬浮物会造成水体严重缺氧而导致生物死亡。不同种类的海洋生物对悬浮物浓度的忍受限度不同，一般说来，仔幼体对悬浮物浓度的忍受限度比成鱼低得多。

根据王云龙等(1999)长江口疏浚泥悬沙对中华绒螯蟹早期发育的试验结果，当悬沙浓度为 8g/L 时，不会对中华绒螯蟹的交配、产卵和胚胎发育造成影响。在原肠期以前，胚胎成活率几乎为 100%，但当胚胎发育至色素形成期会产生一定程度的影响，试验结果三组数据表明最大死亡率为 60~70%，最小为 5~10%，平均为 30%。此外在自然环境中，由于悬沙量增加，降低水中透光率，从而引起浮游植物生产量的下降，进而影响以浮游植物为食的浮游动物的丰度，间接影

响溞状幼体和大眼幼体的摄食率，最终影响其发育和变态。

本项目由于海底电缆埋设，风机基础沉桩等作业会产生悬浮物扩散和施工噪声，对当地养殖业可能带来短时不利影响；此外运行期，由于本工程风机行列间距较大，且风电场采用开放式管理方法，因此运行期风电场范围内除风机基础、电缆埋设直接用海面积外的其余区域仍可用于水产养殖作业。但考虑到风电场正常运行和电缆安全，在电缆埋设区域将禁止开挖池塘进行养殖生产和进行拖网等渔业生产。

4.7.3 对底栖生物的影响

(1) 风机墩柱占用海域对底栖生物的影响

本工程风机墩柱和海上升压站下部基础需要打桩，钢管桩桩基基础四周范围内采用抛石防护，施工作业过程中不可避免均会对底栖生物进行覆盖掩埋，造成底栖生物的永久损害。根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》，占用渔业水域的生物资源补偿，占用年限 20 年以上的，按不低于 20 年补偿。

(2) 海底电缆扫海作业对底栖生物的影响

海底电缆敷设前需要先行扫海作业，以清除管线路由上的障碍物，扫海作业将造成底栖生物受损，根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》，一次性生物资源的损害补偿为一次性损害额的 3 倍，本项目按一次性损害额的 3 倍计算扫海作业对底栖生物的伤害。

4.8 项目用海资源影响分析

4.8.1 岸线资源、海域空间资源影响分析

(1) 岸线资源影响分析

本项目不占用自然岸线，项目确权占用人工岸线长度为 10m。本项目符合集约节约占用自然岸线的用海原则。

(2) 海域空间资源影响分析

本次申请用海总面积 282.7219hm²，其中透水构筑物用海面积为 56.9563hm²（风机基础 53.8257hm² 和海上升压站 3.1306hm²），海底电缆管道用海 225.7656hm²（35kV 海底电缆使用总面积为 192.3529hm²，220kV 海底电缆使用总面积为 33.4127hm²），风电场位于 10m 等深线以深海域。本项目根据各用海

项目功能的不同，分别利用不同的海域空间资源，符合深水深用的用海原则。

4.8.2 海洋生物资源损失评估

海洋生物资源损害评估依据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》规定的方法进行。

(1) 生物损失量评估依据

按照农业部颁布的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007)，海洋及海岸工程具体类型及其对海洋生物资源可能产生的影响进行损害评估。

表 4.8-1 建设项目对海洋生物资源损害评估内容

建设项目类型	海洋生物资源损害评估内容					
	游泳生物	鱼卵、仔鱼、稚鱼	底栖生物	潮间带生物	珍稀濒危水生生物	浮游生物
码头、港池、航道开挖与疏浚，海洋管道、电缆、光缆等工程	☆	★	★	☆	☆	☆
注：★为主要必选赔偿内容，☆为依据建设项目具体情况可选补偿内容。						

表4.8-2生物量取值一览表

生物指标	取值季节	生物量取值
鱼卵 ind./m ³	2022 年秋季	
仔稚鱼 ind./m ³	2022 年秋季	
底栖生物 g/m ²	2022 年秋季	
浮游动物 mg/m ³	2022 年秋季	
游泳动物 kg/km ²	2022 年秋季	

(2) 生物损失量评估方法

1) 占用渔业水域的海洋生物资源量损害评估

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公式 4.5.2 计算：

$$W_i = D_i \times S_i$$

式中： W_i ——第 i 种类生物资源受损量，单位为尾、个、千克 (kg)；

D_i ——评估区域内第 i 种类生物资源密度，单位为尾 (个) 每平方千米[尾 (个) /km²]、尾 (个) 每立方千米[尾 (个) /km³]、千克每平方千米 (kg/km²)；

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 (km²) 或立方千米 (km³)。

2) 污染物扩散范围内的海洋生物资源损害评估

本方法适用于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。

一次性损害：污染物浓度增量区域存在时间少于 15 天（不含 15 天）；

一次性平均受损量评估

某种污染物浓度增量超过 GB 11607 或 GB 3097 中 II 类标准值（GB 11607 或 GB 3097 中未列入的污染物，其标准值按照毒性试验结果类推）对海洋生物资源损害，按公式（6）计算：

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

式中：W_i——第 i 种类生物资源一次性平均损失量，单位为（尾）、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/km²）、个平方千米（个/km²）、千克平方千米（kg/km²）；

S_j——某一污染物第 j 类浓度增量区面积，单位为平方千米（km²）；

K_{ij}——某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源损失率，单位为百分之（%）；生物资源损失率取值参见下表。

n——某一污染物浓度增量分区总数。

表 4.8-3 污染物对各类生物损失率

污染物 i 的超标倍数 (Bi)	各类生物损失率 (%)			
	鱼卵和仔稚鱼	成体	浮游动物	浮游植物
Bi≤1 倍	5	<1	5	5
1<Bi≤4 倍	5~30	1~10	10~30	10~30
4<Bi≤9 倍	30~50	10~20	30~50	30~50
Bi≥9 倍	≥50	≥20	≥50	≥50

注：

1.本表列出污染物 i 的超标倍数(Bi)，指超《渔业水质标准》或超II类《海水水质标准》的倍数，对标准中未列的污染物，可参考相关标准或按实际污染物种类的毒性试验数据确定；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。

(3) 生物损失量计算

1) 风机及升压站占用水域的生物损失量

占用海域面积主要包括风机桩基及抛石区域和海上升压站桩基（升压站钢桩附近不进行抛石）占用海域和海缆开挖占用海域。

本项目单个风机基础（59 台 8.5MW 的海上风机，入泥处直径均 8.5m）、抛石护底（桩基中心点为圆心半径 20m 的圆形区域），以及海上升压站桩基基础（4 根桩基直径均 2.55m）。对于底栖动物、鱼卵仔稚鱼的影响，为桩基基础及抛石护底，占用海底面积共计 10.6692hm²，工程海域水深取平均值 11.4m。

表 4.8-4 桩基占用对各类生物损失率

补偿类型	生物类型	平均生物量		补偿面积 (hm ²)	水深 (m)	损失量		
		D	单位	S	H	W	单位	量值
桩基及抛石占用海域	底栖动物	45.72	g/m ²	10.6692	--	W=20a×D×S/1000	kg	97559
	鱼卵	3.45	个/m ³	10.6692	11.4	W=D×S×H	个	4.19×10 ⁶
	仔稚鱼	6.89	尾/m ³	10.6692	11.4	W=D×S×H	尾	8.38×10 ⁶

2) 海底电缆扫海作业造成的底栖生物损失量

220kV 海底电缆用海长度约为 11.8km，35kV 海底电缆用海长度约为 109.88km，海缆总长度 121.68km，敷设时开沟犁宽 20~40cm；同时电缆敷设前需要先行扫海作业，扫海宽度设为 1.5m，因而保守计算电缆敷设造成的底栖生物损失量，为： $S=45.72\text{g/m}^2 \times 121.68\text{km} \times 1000 \times 1.5\text{m} / 1000 = 8344.81\text{kg}$ 。

3) 悬浮泥沙扩散的生物损失量

污染物 i 的超标倍数 (B _i)	悬浮物浓度	各类生物损失率 (%)			影响面积 km ²
		鱼卵和仔稚鱼	游泳动物	浮游动物	
B _i ≤ 1 倍	10mg/L < SS ≤ 20mg/L	5	1	5	12.33
1 < B _i ≤ 4 倍	20mg/L < SS ≤ 50mg/L	17	5	20	23.13
4 < B _i ≤ 9 倍	50mg/L < SS ≤ 100mg/L	40	15	40	30.72
B _i ≥ 9 倍	SS ≥ 100mg/L	≥ 50	≥ 20	≥ 50	83.86

海上打桩、抛石、扫海、海底管线敷设均引起海底悬浮泥沙扩散，悬浮泥沙主要对鱼卵、仔稚鱼、游泳动物浮游动物造成损害，水深取平均值 11.4m，计算结果如下：

表 4.8-5 悬沙扩散生物量损失统计

生物种类	超标倍数 (B _i)	面积 km ²	水深 m	密度	单位	损失率	损失年限	损失量	单位	总损失量
浮游动物	B _i ≤ 1	12.33	11.4	33.33	mg/m ³	0.05	3	702.74	Kg	67778.19
	1 < B _i ≤ 4	23.13				0.2	3	5273.11		
	4 < B _i ≤ 9	30.72				0.4	3	14006.92		
	B _i ≥ 9	83.86				0.5	3	47795.42		
	B _i ≤ 1	12.33	-		kg/km ²	0.01	3	286.03	kg	52566.43

游泳动物	1 < Bi ≤ 4	23.13		773.27		0.05	3	2682.86		
	4 < Bi ≤ 9	30.72				0.15	3	10689.68		
	Bi ≥ 9	83.86				0.2	3	38907.85		
鱼卵	Bi ≤ 1	12.33	11.4	3.45	个/m ³	0.05	3	0.73×10 ⁸	个	6.94×10 ⁹
	1 < Bi ≤ 4	23.13				0.17	3	4.63×10 ⁸		
	4 < Bi ≤ 9	30.72				0.4	3	1.45×10 ⁹		
	Bi ≥ 9	83.86				0.5	3	4.95×10 ⁹		
仔稚鱼	Bi ≤ 1	12.33	11.4	6.89	尾/m ³	0.05	3	1.45×10 ⁸	尾	1.39×10 ¹⁰
	1 < Bi ≤ 4	23.13				0.17	3	0.93×10 ⁹		
	4 < Bi ≤ 9	30.72				0.4	3	2.91×10 ⁹		
	Bi ≥ 9	83.86				0.5	3	0.99×10 ¹⁰		

综上所述，项目用海共造成底栖生物损失量为 105.904t，鱼卵损失量为 6.94×10⁹ 粒，仔稚鱼损失量为 1.39×10¹⁰ 尾。

4.9 项目用海风险分析

4.9.1 风险因子分析

项目用海过程中的环境风险一般来自两个方面：一方面是用海项目自身引起的突发或缓发事件，如船舶溢油对海域资源、环境造成的危害；另一方面是由于海洋灾害（如风暴潮、赤潮、海冰等）对项目造成的危害。

1、溢油风险

本项目施工过程需要大量施工船舶参与施工，施工水域附近有多条航道，交通密度较大，施工工期长，施工船舶与航道交越最近靠近航道处船舶碰撞事故概率较高，碰撞可能导致发生溢油事故，对场区施工和周围生态环境造成影响；

同时还存在工程运行期机组检修、海上升压站检修油类的跑、冒、漏、滴等事故。

2、项目用海通航环境风险

本项目位于港口航运区内，附近船舶及航道较多，就本海上风电场工程而言，其通航环境中潜在的通航风险因子主要包括：

- (1) 自然条件、恶劣气象海况对施工船舶安全作业的影响；
- (2) 施工期间对附近水域船舶通航的影响；
- (3) 施工船舶可能对海洋环境造成的污染；

- (4) 海底电缆被锚泊船损坏的风险；
- (5) 风电场的营运对通信导航设备的影响等。

3、其他环境风险

工程海域属北亚热带季风气候地区，受潮汐和风浪影响较大，如遇特大风暴潮、雷击、海冰等灾害，会对工程的运行带来严重损害。此外，风机基础冲刷、海底电缆损坏、风机基础腐蚀风险、风电运行风险、火灾风险、通航安全等环境风险事故也有一定的发生概率。

4.9.2 溢油风险分析

4.9.2.1 事故调查与分析

根据交通部海事部门有关统计资料，我国1990年~2010年各类等级的溢油事故分档统计见表4.9-1。由于船舶溢油事故50t以下的数据不够完整，该表对一般船舶污染事故不做统计。

表 4.9-1 我国 1990 年~2010 年船舶、码头溢油事故分档统计表

	较大船舶污染事故		重大船舶污染事故		特别重大船舶污染事故	
	事故次数	溢油总量/t	事故次数	溢油总量/t	事故次数	溢油总量/t
1990	1	100	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0
1992	2	430	0	0	0	0
1993	0	0	0	0	0	0
1994	3	300	0	0	0	0
1995	5	1367	1	700	0	0
1996	3	785	2	1532	0	0
1997	3	490	0	0	1	1000
1998	2	392	0	0	0	0
1999	0	0	2	1089	0	0
2000	1	230	0	0	0	0
2001	1	200	0	0	1	2000
2002	4	825	1	900	0	0
2003	2	650	1	670	0	0
2004	1	100	0	0	2	3268
2005	2	571	1	950	0	0
2006	2	664	0	0	0	0
2007	2	350	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	0	0
2009	2	532	1	500	0	0
2010	0	0	0	0	0	0
总计	36	7986	9	6341	4	6268

1990~2010 年期间，共发生船舶溢油事故(溢油量 $\geq 50t$)，71起，其中我国海域发生较大船舶溢油污染事故36起，发生频率为1.71次/a，所占比例50.7%；发生重大船舶溢油事故9起，发生频率为0.43次/a，所占比例为12.7%；发生特别重大

船舶溢油污染事故4起，发生频率为0.19次/a，所占比例为5.6%。根据分析结果可知，发生较大船舶溢油污染事故的频率较高，应引起重视。船舶溢油事故按事故原因可分为操作性事故和海损性事故。操作性事故一般指在装 /卸货油、加燃油、其他作业期间发生的事故，包括违章故意排放。海损性事故一般指由于碰撞、触礁/搁浅、船体损坏、火灾爆炸等引起的船舶事故。根据《我国沿海港口船舶溢油事故分析及对策研究》，对于溢油量在1t以下的船舶溢油事故，其原因主要是操作性事故。对于溢油量在7 t 以上的船舶溢油事故，原因则主要是海损性事故。从图 4.9-1对船舶溢油事故原因分析可以看出，7种事故原因所引起的船舶溢油事故次数和溢油总量的变化规律基本一致。即碰撞是船舶溢油事故的最主要原因，共发生溢油事件42起，其发生次数占总溢油次数的59.15%，其导致的溢油总量也最高，占有所有溢油事故溢油总量的44.35%；其次是触礁/搁浅而引起的船舶溢油事故，共发生溢油事件14起，占总船舶溢油事件次数的19.72%，其 溢油总量为6564t，占有所有溢 油事故溢油总量的29.79%。由操作性原因和船体倾覆所导致的船舶事故次数最低，都为2起，占总船舶溢油事故的2.82% 。因此，碰撞、触礁/搁浅是我国溢油量在50t 以上船舶溢油事故发生的主要原因。

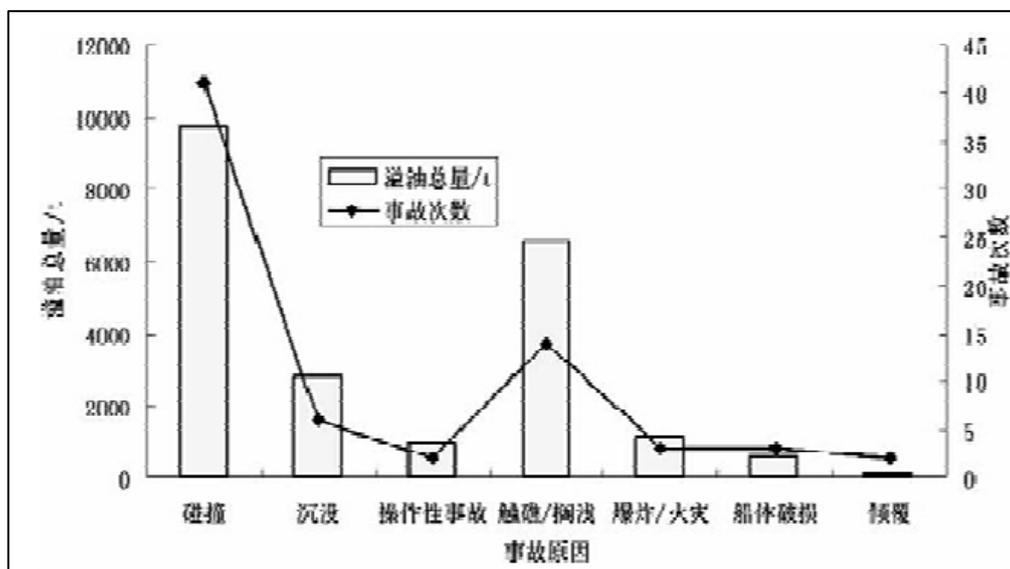


图 4.9-1 我国船舶溢油事故原因分析

4.9.2.2 最大可信事故

最大可信事故指在所有预测的概率不为 0 的事故中，对环境（或健康）危害最严重的重大事故。本项目最主要的环境风险类型主要包括：海上船舶与施工船舶或者风机碰撞引起的燃料油或货油泄露。

非油轮船舶燃油最大携带量可用船舶总吨推算，一般可取船舶总吨的8%~12%(本评价按照10%计)。本风电场施工期采用的最大吨位施工船舶为20000t级的甲板驳轮，为考虑最大风险，船舶载重按最大载重20000t计，则20000t级施工船舶载油量为200t，按拥有2个油舱考虑，单舱载油量为100t。

由于工程周边通航船舶均为大型船只，按固定航线行驶，本工程海域不具备大型船舶通航的条件，同时根据通航安全论证报告分析，周边通航船舶与风机碰撞概率较低，因此溢油源强考虑最大可信事故为施工期施工船舶与航道船舶相撞导致油舱破损而发生溢油事故。采用施工期施工船舶碰撞发生燃料油舱泄露造成的最大漏油量100t。

4.9.2.3 溢油事故影响预测

(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

$$\frac{dA_{oil}}{dt} = K_a A_{oil}^{1/3} \left(\frac{V_{oil}}{A_{oil}} \right)^{4/3}$$

式中， A_{oil} 为油膜面积， $A_{oil} = \pi R_{oil}^2$ ， R_{oil} 为油膜直径； K_a 为系数； t 为时间；

油膜体积为： $V_{oil} = \pi R_{oil}^2 h_s$

初始油膜厚度 $h_s=10\text{cm}$ 。

2) 漂移运动：油粒子漂移的作用力是水流和风拽力，油粒子总漂移速度由以下权重公式计算

$$U_{tot} = c_w(z)U_w + U_s$$

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

$$V(z) = \frac{U_f}{\kappa} \ln\left(\frac{h-z}{k_n/30}\right)$$

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

$$U_f = \frac{V_{mean}\kappa}{\ln\left(\frac{h}{k_n/30} - 1\right)}$$

其中 V_{mean} 为平均流速。 $z = h - \frac{k_n}{30}$

当水深大于此位置时模型假定对流速度为0。当 $z=0$ 时，即可求出表面流速 U_s ：

$$U_s = V(0)$$

3) 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°C以及油膜厚度低于5—10cm时基本如此）；

油膜完全混合；

油组分在大气中的分压与蒸气压相比可忽略不计。

蒸发率可由下式表示

$$N_i^e = k_{ei} \frac{P_i^{sat}}{RT} \frac{M_i}{\rho_i} X \text{ [m}^3/\text{m}^2\text{s]}$$

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。

①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

$$H_T^{oil-air} = A_{oil} k_H^{oil-air} (T_{air} - T_{oil})$$

$$k_H^{oil-air} = k_m \rho_a C_{pa} \left(\frac{S_c}{P_r} \right)_{air}^{0.67}$$

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；

$P_r = \frac{C_{pa} \rho_a}{0.0241(0.18055 + 0.003T_{air})}$ ，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

$$k_H^{oil-air} = 5.7 + 3.8U$$

②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：

$$H(t) = \begin{cases} K_t H_0^{\max} \sin\left(\pi \frac{t - t^{sunrise}}{t^{sunset} - t^{sunrise}}\right) & t^{sunrise} < t < t^{sunset} \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

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 $t^{sunset} = t^{sunrise} + T_d$ ，由下式计算：

$$T_d = a \cos(\tan \phi \tan \zeta)$$

其中 ϕ 为纬度； ζ 为太阳倾斜角度（太阳在正午时与赤道平面的角度），

$$\zeta \cong 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right) H_0^{\max} \text{ 为正午的星际辐射，}$$

$$H_0^{\max} = \frac{12K}{t_{\text{sunset}} - t_{\text{sunrise}}} I_{sc} (1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365}) (\cos \phi \cos \zeta \sin \omega_h + \omega_h \sin \phi \sin \zeta) \text{ 其}$$

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_i 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

$$H^{\text{vapor}} = \sum_i N_i \Delta H_{vi} \text{ [W/m}^2\text{]} \text{ 其中 } \Delta H_{vi} \text{ 为组分 } i \text{ 的汽化热。油膜总的动态热平衡}$$

综合考虑了上述各种因素：

$$\frac{dT_{oil}}{dt} = \frac{1}{\zeta C_p h} [(1-a)H + l_{air} T_{air}^4 + l_{water} T_{water}^4 - 2l_{oil} T_{oil}^4]$$

$$+ h_{ow}(T_{water} - T_{oil}) + h_{oa}(T_{air} - T_{oil}) - \sum N_i \Delta H_{vi}$$

$$+ \left(\frac{dV_{owater}}{dt} \zeta C_{pw} + \frac{dV_{oil}}{dt} \zeta_{oil} C_{poil} \right) (T_{water} - T_{oil}) A_{oil}$$

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

$$H_H^{oil-air} = A_{oil} k_H^{oil-air} (T_{water} - T_{oil}) \quad k_H^{oil-air} = 0.332 + r_w \cdot C_{pw} \cdot Re^{-0.5} \cdot Pr_w^{-2/3}$$

其中 C_{pw} 为水的热容量。 Pr_w 为水的Prandtl数

$$Pr_w = C_{pw} \nu_w \rho_w \frac{1}{0.330 + 0.000848(T_w - 273.15)}$$

$$Re \text{ 为特征雷诺数: } Re = \frac{\nu_{rel} \sqrt{4A_{oil}/\pi}}{\eta_w}$$

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—

$$\text{Boltzman 公式计算: } H_{total}^{rad} = \sigma(l_{air} T_{air}^4 + l_{water} T_{water}^4 - 2l_{oil} T_{oil}^4)$$

其中， σ 为Stefan—Boltzman 常数[5.7210⁸W/(m²K)]；

l_{air} 、 l_{water} 、 l_{oil} 分别为大气、水和油的辐射率。

(2) 溢油模拟条件

本工程所在海域通航船舶众多，本工程风电场区北侧分布有多条航道和港口航运区，220kV海缆敷设时邻近秦皇岛港口航运区，施工期大量施工船舶往来于

码头与作业海域势必穿越周边航道，从而带来施工船舶与固有通航船舶碰撞的风险，一旦发生船舶碰撞事故，可能造成船舶燃料油及油船煤油泄露的可能。运行期，周围通航船舶也存在与风机碰撞而发生溢油事故的可能。

此外，本工程升压站运行后，需对升压站内变压器及相关配套设施进行管理维护，需用到一定数量的变压器油。变压器运行及检修维护时，可能会导致变压器油泄漏、渗漏以及跑冒滴漏等。

事故地点船舶溢油位置包括施工期发生溢油事故，（溢油发生位置如图4.9-2)油品泄漏后随着潮流和风漂移，模拟各工况条件下油膜扩散情况。运营期溢油位置选择在风机施工事故易发地点，外溢物取原油作为代表物质，预测中取90吨作为事故源强进行计算。

图4.9-2溢油发生点

溢油形式主要分为瞬时和连续溢油，一般而言，溢油量的 10%为瞬时溢油，90%为连续溢油。结合本工程实际情况，预测以燃料油作为油品的主要代表，考虑连续 1h 溢油的情况，以大潮作为主要的潮流形式。

施工期溢油泄露点溢油事故溢油泄露点溢油事故模拟情景如表4.9-2所示。

表4.9-2模拟工况一览表

事故类型	事故位置	泄漏种类	泄漏规模	溢油时刻	风向	风速
溢油事故	施工期溢油点	原油	100t	涨潮	无风	0m/s
					冬季主导风向 NE	3.4m/s
					夏季主导风向 S	3.2m/s
					不利风向 ENE 向	13.8m/s
				落潮	无风	0m/s
					冬季主导风向 NE	3.4m/s
					夏季主导风向 S	3.2m/s
					不利风向 ENE 向	13.8m/s

(3) 溢油模拟结果分析

施工期溢油事故发生后油膜随着海潮的涨落而来回地漂移，在油膜的漂移区域泄漏油品不断地乳化进入海水从而影响海洋水质，海面的油膜和海水中的油类物质同时对海洋生态环境造成严重影响。施工期各工况下溢油最大漂移距离和72小时最

大扫海面积如下表所示。

图4.9-3a涨潮时溢油72h后最大扫海范围图（无风）

图4.9-3b落潮时溢油72h后最大扫海范围图（无风）

图4.9-3c涨潮时溢油72h后最大扫海范围图（冬季）

图4.9-3d落潮时溢油72h后最大扫海范围图（冬季）

图4.9-3e涨潮时溢油72h后最大扫海范围图（夏季）

图4.9-3f落潮时溢油72h后最大扫海范围图（夏季）

图4.9-3g涨潮时溢油72h后最大扫海范围图（不利风向）

图4.9-3h落潮时溢油72h后最大扫海范围图（不利风向）

4.9.2.4 溢油事故对海洋生态和渔业影响分析

船舶溢油事故发生后，将对海洋生物和渔业资源造成很大影响。

虽然本工程发生溢油事故的机率很低，但一旦发生溢油事故，将对周边的增殖区及其他水域环境造成严重的损害。溢油进入海洋以后，一般以三种形式存在于海洋环境之中。一是飘浮在海水表面，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。溢油还将对影响范围内的海域生态环境产生严重损害，分析如下：

1) 溢油对浮游植物的影响

浮游植物是海洋有机质的主要生产者，它是浮游动物的基础饵料，也是海洋食物网结构的基础环节，在海洋生态系统的物质循环与能量转换过程中起着重要作用。发生溢油时，大部分溢油浮于水面并扩散成油膜，油膜在海面的停留将影响海水与大气之间的物质交流和热交换，使海水中的含氧量、温度等因素发生较大的变化，促使浮游动物窒息死亡，并降低透光率，影响浮游植物的光合作用。实验证明，石油会破坏浮游植物细胞，损坏叶绿素及干扰气体交换，从而妨碍它们的光合作用。这种破坏作用的程度取决于石油的类型、浓度及浮游植物的种类。国内外许多毒性实验结果表明，浮游植物作为鱼虾类饵料的基础，其对各类油类的耐受能力均很低，浮游植物石油急性中毒致死浓度为0.1~10mg/L，一般为1mg/L。对于更敏感的生物种类，即使油浓度低于0.1mg/L也会妨碍其细胞的分裂和生长的速率。

2) 溢油对浮游动物的影响

海洋浮游动物是海洋食物链中的主要环节，在海洋生态系统中，对物质循环

和能量流动、海域生物生产力及其调节机制都起着不可忽视的作用。浮游动物对石油类的敏感性较高，一旦发生溢油将对浮游动物产生较大的毒害效应。许多试验结果表明，油的浓度超过50mg/L时，对于桡足类动物在24h内将发生有害影响，并且幼体的敏感性高于成体，例如纺锤水蚤培育在500mg/L的石油烃中，经82h，无节幼体个体死亡数目已达半数，但成体死亡半数所需时间要长1倍。另外，若溢油发生时，大部分溢油浮于水面并扩散成油膜，油膜在海面的停留将影响海水与大气之间的物质交换和热交换，使海水中的含氧量、温度等因素发生较大的变化，使其窒息死亡，因此若发生溢油时，油膜所经过的海面对水中浮游动物的影响较大。

3) 溢油对底栖生物的影响

底栖生物不仅受海水中石油的影响，而且受沉降到海底的石油的影响。底栖动物栖息在海底，当有大量的石油从海面下沉时，由于石油堵塞软体动物的出入水管或因石油氧化时消耗底层水中氧气，能使软体动物窒息死亡。另一方面，几乎所有的双壳类动物都是滤食性的，当海水中有大量石油小滴时，就会被吸入软体动物的入水管，聚集在套膜腔内，如果石油呈乳化状或被吸附在泥粒上，也可能粘在鳃上或进入肠胃中，损害其生理机能，直至达到致死的程度。

另一方面，进入海洋的石油能导致海水中二氧化碳和有机质含量的增高，溶解氧则急剧下降，此外，在细菌对石油进行分解的过程中，需要消耗大量氧气，通常，一升石油完全氧化，需要消耗40万升海水中的溶解氧，因此，一起大规模的溢油事故能引起大面积海区严重缺氧，对海洋生物造成严重危害，不同季节下的溢油对其底栖生物的危害是不同的，其中秋季由于生物量较大，若发生溢油将对底栖生物造成更大的影响。溢油对底栖生物的影响，主要是石油重组分下沉到海底对其产生的毒性效应，较对生活在水中的其它海洋生物种类的影响相比要小的多。

总之，石油烃对底栖生物的影响，主要影响其幼体和幼虫阶段，对成体的影响相对较小。底栖生物各类群中，以甲壳类对石油烃污染最敏感。软体动物对石油烃有较强的抗生能力，但由于该类群对石油烃有较强的富集系数，因此在油污环境中极易富集石油烃而使其体内发生“油臭”而影响其产品经济质量。

4) 溢油对渔业资源的影响

溢油事故对渔业资源的中、长期累积影响主要是造成渔业资源种类、数量及

组成的改变，从而使渔业长期逐渐减产。这种影响在水域环境中可持续数年至十几年，因溢油规模及溢油地点而异。一般在近岸、河口或盐沼地发生溢油的恢复时间相对要长些。根据对法国布列塔尼发生的Amoco Cadiz 溢油影响的研究表明，溢油后1年，在2个湾里有几种鱼类的幼体完全消失而其成体的生长则显著减少，并且出现病态及畸变，估计其资源恢复到平衡至少需几年时间。根据对美国马萨诸塞州Buzzards 湾发生的佛罗时达号油驳轮溢油的研究发现，溢油后3~4 年，大型底栖生物仍没有明显的恢复，而盐沼潮间带的某些蟹类在溢油7年后仍未完全恢复，估计溢油的影响最少持续10年。根据对加利福尼亚州附近发生的一次溢油观察也表明，大多数生物种群在溢油几年后才得到恢复，但水产资源鲍鱼在16年后仍未恢复，而且许多种类也没有达到溢油前的丰度。根据对Chedabucto 发生的Arrow号油船溢油的研究表明，溢油后6年，底栖生物的种类多样性仍明显低于对照点，其中软壳蛤的生长率到9 年后还比较低。Barry等(1975) 曾报道了一次溢油的研究结果，溢油初期潮间带蛤类大量死亡，估计其资源最少要在5~6 年后才有明显的恢复。Hiyama(1979)报道了日本Seto Inland Sea一次溢油的观察，表明溢油初期沿岸渔业资源曾受严重损害，但一年后基本恢复正常，其主要归因于采取迅速而有力的恢复工作。

海洋油污染对鱼卵和仔鱼的危害很大。经济鱼类的浮性卵、仔鱼及浮游动物极易遭受浮在海面油膜的危害，油膜对卵子的粘着、渗透等直接影响鱼卵的孵化率及孵化质量；而仔稚鱼对油污染反应极敏感。较低的石油浓度即能引起仔稚鱼的死亡和畸变，抑制鱼卵孵化、滞缓发育、生理功能低落，以及导致畸形和死亡等。溢油事故中沉降的油块也能对一些沉性卵产生影响。根据有关资料表明：当海水中石油浓度 $\geq 0.01\text{mg/L}$ 时，在这种污染海区中生活24 个小时以上的鱼类就会沾上油，因此，把该数值视为鱼体着臭的“临界浓度”。海水含石油浓度为 0.1mg/L 时，所有孵出的仔鱼都有缺陷，并只能活1~2天。对海虾的幼体来说，其“半致死浓度”（即24小时内杀死半数的极限浓度）均为 1mg/L ，这种毒性限度随不同生物种属而异。此外，由于卵子一般为附着性卵，随水流漂移，而仔稚鱼游泳能力较差，因而一旦发生溢油，将对卵子和仔稚鱼产生毁灭性的破坏。

5) 溢油对鸟类的危害

海面上的溢油对鸟类的危害最大，尤其是潜水摄食的鸟类。这些鸟类以海洋浮游生物及鱼类为食，当接触到油膜后，它们的羽毛能浸吸油类，从而失去防水、

保温能力。另一方面它们因不能觅食而用嘴整理自己的羽毛，摄取溢油，造成内脏的损伤，最终它们会因饥饿、寒冷、中毒而死亡。在溢油事故发生时，从保护自然生态的角度急救鸟类的工作是非常重要的。

6) 溢油对海滨环境的影响

一旦海面上的浮油漂到海岸或海滩，便堆积在高潮线附近、岩石坑里或洼地里，涂在岸边的礁石表面，粘裹在卵石、碎片和砂子上。若油的粘性小，还能渗入海滩上层的砂子里，形成厚厚的油-砂混合层，恶化了海岸的自然环境。

综上分析，根据以上从各个角度的分析，若在工程区发生溢油事故，将对当地的海洋生态和渔业资源造成较大的污染损害。溢油对海洋造成的污染是严重而持久的，因此应充分重视，加强管理，严防船舶事故的发生，制定必要的应急计划，及时采取措施，杜绝大面积溢油污染事故。

溢油发生后，各单位在得到通报后应作出应急反应，应及时在敏感区方向上时采取海上围油栏导流、岸滩围油栏拦截等应急措施，对海上溢油进行导流和拦截，减少进入敏感区的溢油量，减轻溢油损害。

4.9.3 自然灾害风险分析

4.9.3.1 海洋灾害对工程的影响

对本工程直接造成影响的海洋灾害是台风、风暴潮、寒潮、巨浪等。强台风会对风力发动机组带来毁灭性破坏，给风电场造成严重损害。

寒潮天气过程是一种大规模的强冷空气活动过程。工程区域观测期间最强一次寒潮过程发生于 1997 年 11 月 25~27 日。日平均气温过程总下降 11.7℃，最低气温过程总下降 12.1℃。该过程除造成剧烈降温外，并伴有长时间大风天气。6 级风持续时间为 28 小时，7 级风持续时间为 24 小时，8 级风持续时间为 15 小时，最大风速为 24.0m/s（9 级），大风风向为 N~NNW 向。观测期间达到寒潮影响标准的强冷空气过程共有四次，分别发生于 11 月 15~17 日，11 月 25~27 日，11 月 29 日~12 月 1 日，12 月 6~9 日。日平均气温过程总降温均在 9℃以上，风力均出现 8 级风。

如果设计、制造时没有充分考虑到当地极端风速、风暴潮、寒潮、台风等极端气象条件对风电机组的影响，或钢结构焊接、塔架外部表面、塔架内部表面的防护处理有缺陷，遇暴雨、风暴潮、台风等不利气象条件，有可能发生倒塔、折

塔、基础松动等事故。若风场风机塔架未充分考虑风荷载，结构设计不满足要求；设备制造使用的材料不满足要求；塔架基础施工质量达不到设计要求、某段连接螺栓松动；风机偏航系统故障、刹车机构失灵、运行人员未按当天的天气预报做出事故预想和对策、巡回检查不及时等，遇有台风、风暴潮等强风天气，容易发生风机塔架晃动、倾覆、折断、垮塌事故，风机叶片折断事故。

台风移向陆地时，由于台风的强风和低气压的作用，使海水向海岸方向强力堆积，潮位猛涨，水浪排山倒海般向海岸压去。风暴潮能使沿海水位上升 5~6m，导致潮水漫溢，海堤溃决，冲毁风电场的建构筑物，造成大量人员伤亡和财产损失。强度较强的热带气旋，如台风，会给风电场带来极大破坏。风力发电机组叶片损坏、破坏等原因，不只来自台风，还有可能来自台风中心剧烈的旋转增强、成倍增大的湍流强度和湍能。湍强值越大，对风力机的破坏性越强。海上风机基础受不规则波浪的冲击会引起基础振动或者不稳定。若设计采取的波浪参数未考虑波浪破碎值，基础的荷载设计有误会影响其稳定及安全。

巨大的海浪冲上海岸，淹没风力发电场，摧倒风力发电机组塔架和其他设施，甚至淹没附近地区，造成大面积洪涝灾害。海上风机基础受不规则波浪的冲击会引起基础振动或者不稳定。若设计采取的波浪参数未考虑波浪破碎值，基础的荷载设计有误会影响其稳定及安全。

4.9.3.2 雷暴风险

由于现代科学技术的迅猛发展，风力发电机组的单机容量越来越大，为了吸收更多能量，轮毂高度和叶轮直径随着增高，相对的也增加了被雷击的风险，雷击成了自然界中对风力发电机组安全运行危害最大的一种灾害。雷电释放的巨大能量会造成风力发电机组叶片损坏、发电机绝缘击穿、控制元器件烧毁等。

由于风力发电机组的叶片高度较高，叶片是最易受直接雷击的部件，其他部件遭感应雷和球形雷破坏的风险也相应增加。叶片是风力发电机组最昂贵的部件之一，大部分雷击事故只损坏叶片的叶尖部分，少量的毁损坏整个叶片。雷击造成叶片损坏主要有两个方面：一方面是雷电击中叶尖后，释放大量能量，强大的雷电流使叶尖结构内部的温度急骤升高，水分受热汽化膨胀，从而产生很大的机械力，造成叶尖结构爆裂破坏，严重时使整个叶片开裂；另一方面雷击造成的巨大声波，对叶片结构造成冲击破坏。

若场区防雷、避雷措施不合理、接地电阻不符合设计要求；风场运营期间未定期进行防雷设施和接地网等检测等，会使风场遭受雷击，从而造成风力发电机组损坏事故、升压站电气设备损坏事故、人员触电事故等。另外，雷云对地放电直接击中地面上的人、物，造成人身伤亡以及户外建筑物、设备等的损坏。

4.9.3.3 海冰灾害风险

冬季近岸海区出现结冰现象，一般自 11 月下旬或 12 月中旬岸边开始结冰，翌年 2 月下旬或 3 月中旬海冰消失，冰期约 2 个月，最长冰期可达 3 个月。海冰以流冰为主，固定冰较少见，流冰外缘线通常在-20m 等深线附近，距岸约 20km。流冰厚度以 5-15cm 居多，15-30cm 厚的冰很少。固定冰主要分布于浅滩地带，距岸宽度 0.5-1km，冰厚度约 20-30cm，近岸有堆积冰现象。

项目海域水深 10m，风机钢桩桩顶高程 12m，单桩基础采用抗冰锥结构进行防冰。为了方便于单桩基础安装施工，抗冰锥设计为一个后灌浆套筒形式，在单桩主体钢管桩完成沉桩结束之后，将工厂中加工预先制造加工好的抗冰锥-套筒结构安装到位，通过高强灌浆料后灌浆，使之与钢管桩结构形成一个整体。该类型的抗冰锥体已在附近海域使用，并取得了较好的抗冰效果，因此，风机运行期间，海冰的对项目的影响基本在可控范围内。

5 海域开发利用协调分析

5.1 项目用海对海域开发活动的影响

5.1.1 项目建设对港口的影响

本项目附近主要有秦皇岛港和葫芦岛港绥中港区。本项目场区距离山海关船厂 L1#浮标约 4.6nm，距离秦皇岛港十万吨级航道（150 航道）约 5.1nm，距离葫芦岛港绥中港区 36-1 码头 1#浮标约 9.8nm。除此之外，距离其他港口均在 50nm 以上。

由于距离较远，本项目建设不会对周边港口产生影响，同时周边港口现状为本项目施工船舶提供了相应的基础条件。

5.1.2 项目建设对锚地的影响

根据《秦皇岛港总体规划》（2022.09），本项目周边锚地有规划的西锚地、山海关锚地、油轮锚地、东锚地、20 万吨级油轮重载锚地和 20 万吨级散货船重载锚地，以及绥中 36-1 锚地、SZ1#-1 锚地和已获批但未公布的 SZ1#-2 锚地。

根据《海港锚地设计规范》（JTS-T 177-2021）中 6.4.2.3 条“锚地边线至海上油气平台、风电设施的净距不宜小于 2nm。”6.4.2.4 条“对于掩护条件良好的锚地，根据水上、水下设施和障碍物的性质、保护措施、重要程度、与锚地的相互位置关系、水深条件和管线埋深等综合论证后净距可适当缩小。”本项目风电场场区与其它现有锚地距离均在 2nm 以上，满足《海港锚地设计规范》、《海上风力发电场设计标准》（GB/T51308-2019）与《海上风电场选址通航安全分析技术指南》等的要求。同时项目取已经取得了《秦皇岛海事局关于山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目选址意见的复函》，其原则同意本项目选址。

5.1.3 项目建设对航道的影响

秦皇岛港目前主要的航道有 6 条，分别为十万吨级航道（150 航道）、主航道（160 航道）、西航道（130 航道）、东航道（191 航道）、215 航道和新开河港区航道。葫芦岛港绥中港区主要航道有四条，由西向东依次为：绥中电厂二期航道，绥中电厂航道，绥中 36-1 码头航道，绥中港航道（绥中石河港航道）。

本项目 220kV 海缆及风电场均不穿越航道；距离本项目最近的航道工程是

十万吨级航道（150 航道），本项目风场区域距离该航道最近约 10.1km，220kV 海缆距离该航道最近距离约 15km，其他航道距离本项目路由和风场区均在 10km 以上，由于距离较远，本项目对现状航道工程基本不造成影响。

5.1.4 项目建设对靶场的影响

本项目场址附近有一昌黎空军靶场。项目距其最近距离约 9.7km。建设单位已取得相关部门同意项目选址复函。

5.1.5 项目建设对保护区的影响

本项目周边保护区有 6 个，其中 1 个位于岸线之上，分别为北戴河国家级风景名胜区和山海关国家森林公园，距本项目 14km 以上。项目距离山海关老龙头景点约 6.2km，距离河北秦皇岛老龙头石河南岛候鸟栖息地约 6.9km，距离北戴河国家级海洋公园约 19.85km，距离辽宁绥中碣石国家级海洋公园约 2.2km，距离昌黎黄金海岸国家级自然保护区约 34km。

项目距离北戴河国家级风景名胜区、山海关国家森林公园、北戴河国家级海洋公园和昌黎黄金海岸国家级自然保护区距离较远，不会对其产生影响。

项目登陆点距离山海关老龙头景点约 6.2km，项目登陆点穿堤施工的影响主要集中在项目附近海域，采取合理的设计施工方案，不会对周边历史遗迹景点产生影响。

项目周边最近的保护区为辽宁绥中碣石国家级海洋特别保护区，其主要保护对象为岩礁生态系统、原生沙质海岸和岛礁景观和海洋生物多样性。本项目距离该保护区约 2.2km，不穿越保护区，海底电缆路由施工过程中产生的悬浮泥沙也不会对保护区的保护对象产生影响，因此项目对该保护区无影响。

项目距离河北秦皇岛老龙头石河南岛候鸟栖息地约 6.9km，本项目本身不属于该区域鸟类的主要觅食和栖息地，但因为处于栖息地周边，可能有鸟类迁徙经过项目区域。项目登陆点施工可能会对候鸟迁徙产生一定的影响，但施工时间短，该影响较小；同时，项目营运后也不会对鸟类迁徙产生影响。

5.1.6 项目建设对周边开发利用活动的影响

项目周边已确权的项目集中在登陆点附近，主要为工业用海和交通运输用海，项目建设不会对周边已确权项目产生影响。

本项目 220kV 海缆在山海关老龙头挡浪墙南侧登陆，登陆后一直向北敷设，最终接入位于孟姜站。

本项目电缆登陆点位于“山海关老龙头挡浪墙”南侧，目前已建设完成。本项目路由登陆需穿堤，穿堤施工会对防波堤本身造成一定程度的破坏，需要稳妥的施工方方案，最大程度减轻对坝体的破坏。建设单位已经与秦皇岛市水务局进行协调，取得其同意本项目施工的意见。

5.2 利益相关者界定

5.2.1 利益相关者界定原则

根据《海域使用论证技术导则》，利益相关者指受到项目用海影响而产生直接利益关系的单位和个人。界定的利益相关者应该是与该项目存在直接利害关系的个人、企事业单位或其他组织或团体。通过对本项目周围用海现状的调查，依据利益相关者的界定原则及本工程建设对周围开发利用活动的影响分析结果，来界定本项目的利益相关者。

5.2.2 利益相关者界定及结果

根据 5.1 节分析结果，结合报告书第 3.8 节海域开发利用现状调查成果，界定本项目利益相关者。按照利益相关者的界定原则，确定本项目无利益相关者。

5.2.3 利益相关协调分析

本项目无利益相关者，不需进行利益相关协调分析。

5.3 与相关部门协调分析

表 5.3-1 需协调部门界定一览表

序号	部门名称	受影响内容	影响方式
1	秦皇岛市水利局	登陆点穿越挡浪墙	施工穿越影响
2	海事部门（河北）	船舶锚泊与风电场安全	锚泊船舶走锚 遮蔽雷达信号

5.3.1 与秦皇岛市水利局的协调

本工程的登陆点位于山海关挡浪墙南侧，路由登陆需穿越该工程，现阶段提出采用定向钻方式施工方式穿越防波堤，具体穿堤方案还需要双方共同协商决定，必要的情况下需根据对方的意见调整现有方案，根据协商结果确定最终的穿堤方

案及保护措施。建设单位已经就穿堤有关情况与秦皇岛市水务局进行了沟通，其同意本项目海缆穿越海堤并进行陆上电缆敷设施工，并出具了赞成意见的回函（附件十二）。

5.3.2 与海事部门的协调

根据《秦皇岛港总体规划》（2022.09），本项目周边锚地有规划的西锚地、山海关锚地、油轮锚地、东锚地、20万吨级油轮重载锚地和20万吨级散货船重载锚地，以及绥中36-1锚地、SZ1#-1锚地和已获批但未公布的SZ1#-2锚地。本项目风电场场区与其它现有锚地距离均在2nm以上。结合本报告5.1.2中针对本项目对锚地的影响分析，确定海事部门为本项目的协调部门。

2022年，大连海事大学编制了《山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目通航安全影响研究报告》，该通航安全研究报告于2022年11月16日通过了专家评审会。同时项目取已经取得了《秦皇岛海事局关于山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目选址意见的复函》，其原则同意本项目选址（附件）。

5.4 项目用海对国防安全 and 国家海洋权益的影响分析

（1）项目用海对国家海洋权益的影响分析

海域是国家的资源，任何使用都必须尊重国家的权力和维护国家的利益，遵守维护国家权益的有关规则，防止在海域使用中有损于国家海洋资源，破坏生态环境的行为。本项目建设对国家权益不会产生影响。

（2）项目用海对国防安全的影响分析

项目拟用海域内没有国防设施，项目所属海域没有军事机密或军事禁区，项目附近有一军事靶场。现已就项目建设内容及选址向相关部门征求了意见，并取得回复。（见附件）

6 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析

《河北省海洋功能区划(2011-2020年)》《秦皇岛市海洋功能区划(2013-2020年)》规划期为2011年至2020年,目前已过期。《自然资源部办公厅关于开展省级海岸带综合保护与利用规划编制工作的通知》(自然资办发〔2021〕50号)指出:“(五)做好过渡期用海用岛审批。“多规合一”的国土空间规划出台前,用海用岛项目应按照当前严控围填海和严格管控无居民海岛的有关政策要求,依据原海洋功能区划和海岛保护规划进行审批。已出台实施海岸带规划且2020年后仍处于规划期内的,应按照新要求开展海岸带规划修编工作。”因此,本次论证分析项目与《河北省海洋功能区划(2011-2020年)》和《秦皇岛市海洋功能区划(2013-2020年)》等相关规划的符合性。

6.1 项目用海与海洋功能区划符合性分析

6.1.1 项目所在海洋功能区划

本项目位于《河北省海洋功能区划(2011-2020年)》中的秦皇岛市港口航运区(2-3)、山海关保留区8-1)和山海关工业与城镇建设区(3-1)内。

6.2 项目用海与相关规划符合性分析

6.2.1 与海洋主体功能区规划符合性分析

本项目位于《河北省海洋主体功能区规划》中的优化开发区中的山海关区,该区域的具体要求为:一山海关区海域。海域面积273.84平方公里(含石河南岛),占优化开发区域面积的17.63%;海岸线长20.77公里,占优化开发区域海岸线总长的20.40%。

围绕山海关临港产业区发展,加快山海关港区建设,发展散杂货和集装箱运输业务,推进海洋船舶工业转型升级和集聚发展,形成特色鲜明、辐射面宽、竞争力强的优势产业集群。高效利用岸线、沙滩和海岛(石河南岛)等重要旅游资源,实施海岛及周边海域综合整治修复,推动滨海旅游业提质增效。加强水产种质资源保护区管护,保护和改善海洋生态环境。

该区域的优化方向为:改造提升钢铁、化工等传统优势产业,促进海洋交通运输业和海洋船舶工业等产业向高端化、链条化、智能化和绿色化方向发展。培

育壮大海洋工程装备、新能源、新材料、节能环保等战略性新兴产业，大力发展港口物流、现代海洋服务业。提高创新能力和核心竞争力，推动产业结构迈向中高端。

实行严格的环境准入标准，严格控制陆源污染物排放，加强近岸海域污染整治和生态修复，规范入海排污口设置，减少污染物排海总量，有效保护自然岸线，提高海洋生态服务功能。

改造提升钢铁、化工等传统优势产业，促进海洋交通运输业和海洋船舶工业等产业向高端化、链条化、智能化和绿色化方向发展。培育壮大海洋工程装备、新能源、新材料、节能环保等战略性新兴产业，大力发展港口物流、现代海洋服务业。提高创新能力和核心竞争力，推动产业结构迈向中高端。

本项目为海上风电开发建设项目，是新能源产业的一种，项目的建设能够优化和推进河北省新能源的产业结构，项目建设和运营不会产生污染物，不会携带陆源污染物入海，项目的建设不占用自然岸线，对周边其他自然岸线不会造成影响，项目建设符合优化开发区中的山海关区的具体要求和优化方向。因此，项目建设与《河北省海洋主体功能区规划》相符合。

6.2.2 与海洋生态红线符合性分析

根据《河北省海洋生态红线》可知，本项目建设不位于生态红线区内，距离最近的生态红线区域为山海关旅游娱乐区限制开发区（5-1），距离本项目的最近距离为 919m。

综上所述，项目建设符合《河北省海洋生态红线》。

图 6.2-2 项目与生态红线位置关系示意图

6.2.3 与《河北省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性分析

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,深入贯彻习近平生态文明思想,全面落实党的十九大和十九届历次全会精神及省第十次党代会关于建设“环渤海港口群、沿海经济崛起带”的决策部署,坚持立足新发展阶段,完整、准确、全面贯彻新发展理念,积极服务和融入构建新发展格局,坚持稳中求进的工作总基调,坚持以人民为中心,坚持精准治污、科学治污、依法治污,以海洋生态环境质量持续改善为核心,聚焦建设美丽海湾的主线,统筹污染治理、生态保护、应对气候变化,健全陆海统筹的生态环境治理制度,提升海洋生态环境治理能力,

持续改善近岸海域生态环境质量,协同推进沿海地区经济高质量发展和生态环境高水平保护,不断增强人民群众对临海亲海的幸福感、获得感和安全感,加快建设现代化经济强省、美丽河北。

主要目标:展望 2035 年,生态环境保护的空间格局总体优化,绿色低碳生产生活方式广泛形成,海洋生态环境根本好转,美丽海洋建设目标基本实现。海洋环境质量短板全面补齐,总体达到生态环境治理领先水平,近岸海域环境质量稳定改善;海洋生态系统得到休养生息、进入良性循环,生态良好、生境完整、生物多样的健康状态基本呈现,海洋生态系统服务功能总体恢复;环境风险得到全面管控,亲海空间充足且生态环境品质优良,基本满足人民对优美生态环境的需要;海洋生态环境保护管理制度健全高效,生态环境治理体系和治理能力基本实现现代化;重点海湾(岸段)基本建成“水清滩净、鱼鸥翔集、人海和谐”的美丽海湾。

锚定 2035 年远景目标,“十四五”时期海洋生态环境保护主要目标是:

环境质量持续稳定改善。各类入海污染源排放稳定达标,入海河流水环境质量稳步提升,入海排污口完成清理整治并开展常态化监管,主要河流入海断面总氮浓度实现负增长,工厂化海水养殖尾水达标排放,海洋生态环境稳中向好,近岸海域水质持续稳定改善,优良(一、二类)水质比例确保达到 98%;确保入海河流入海口断面稳定达标,力争达到Ⅲ类水质标准。

生态保护修复取得实效。自然岸线保有率不降低,重要滨海湿地、海岛、河口、海草床等典型生态系统及海洋生物多样性得到有效保护,渔业资源衰退趋势得到扭转,海洋生态系统质量和稳定性明显提升。岸线生态修复长度 30 千米,退养还滩退围还海面积 4500 公顷,滨海湿地生态修复面积 560 公顷。

公众亲海品质显著提升。沿海地区亲海空间(亲海岸线)充足,亲海区域生态环境品质优良,海岸、海滩长期保持洁净,海洋垃圾得到有效管控,公众临海亲海的获得感、幸福感显著增强。以“一湾一口一岛一港”(即秦皇岛湾、滦河口、唐山国际旅游岛、黄骅港)为重点,“美丽海湾”保护与建设取得积极成效,整治修复亲海岸滩长度 6 千米,建成“美丽海湾”4 个。

生态环境风险有效管控。全面加强设施先进、协调有序、反应快捷、运转高效的海洋突发环境事件应急能力建设,海洋生态灾害、海上溢油、危化品泄漏等突发环境事故风险预警处置能力显著提升。

监管治理能力全面加强。陆海统筹的生态环境治理制度不断健全,海洋生态

环境监管能力突出短板加快补齐,综合治理能力和治理效能明显提升,陆海统筹、区域协同的海洋生态环境协同治理体系更加完善。

符合性分析:本项目为海上风电场的建设,是清洁能源利用项目,其位于距山海关海岸线 12km 以外的风能资源丰富区,施工产生的悬浮泥沙影响将随施工结束逐渐消失,运营期无入海污染物产生。故项目建设符合《河北省海洋生态环境保护“十四五”规划》对该海域的环境保护要求。

6.2.4 与《海上风电开发建设管理办法》符合性分析

国家能源局、国家海洋局于 2016 年印发的《海上风电开发建设管理办法》(以下简称为《办法》)中提出,“海上风电场应当按照生态文明建设要求,统筹考虑开发强度和资源环境承载能力,原则上应在离岸距离不少于 10 公里、滩涂宽度超过 10 公里时海域水深不得少于 10 米的海域布局。在各种海洋自然保护区、海洋特别保护区、自然历史遗迹保护区、重要渔业水域、河口、海湾、滨海湿地、鸟类迁徙通道、栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域,以及划定的生态红线区内不得规划布局海上风电场。”

6.2.4.1 与“双十”规定的符合性

本项目风场选址位于离岸大于 10km 处,风场处水深为 14-22 米,符合深远布局的要求,符合“双十”原则。

6.2.4.2 “海湾内不得规划建设风电”的符合性

(1) 海湾内不得规划建设风电的背景

海湾是一片三面环陆的海洋,另一面为海,有 U 形及圆弧形等,由于其独特的陆海交叉特色,海湾与其外侧开阔海域海洋环境具有显著差异,使得海湾具有相对独立的、不同于邻近海域的海湾生态系统环境。

国家能源局和海洋局制定该规定的初衷主要是考虑风电场是涉海面积较大的用海活动,避免海上风电建设影响海湾特有的、独立的海洋生态系统,所以该规定也是建议海上风电选址外移放到海域环境容纳度更大的外海海域进行布置,避免海湾特有生态系统的破坏。

可见,《海上风电开发建设管理办法》提及的海湾不得规划建设风电,其出台背景主要是担忧海湾内风电场建设对相对独立的海湾生态系统造成损害。

(2) 辽东湾特性及符合性

辽东湾与渤海湾、莱州湾同属渤海三大海湾，位于渤海北部。与其他海湾不同，辽东湾口门尺度较大，超 110km，湾口较宽阔，湾内海洋环境受湾外水域影响较大，无近似封闭性海湾的独立生态系统。

同时，《海洋工程环境影响评价技术导则 2014》(GB/T19485-2014) 3.1 节海湾定义中明确“本标准中的海湾不包括辽东湾、渤海湾、莱州湾、杭州湾和北部湾”，正在修订的《海域使用论证技术导则》中 4.6 节也明确“敏感海域主要包括海洋自然保护区、海洋特别保护区、海湾和重要河口海域等。其中的海湾不含辽东湾、渤海湾、莱州湾、杭州湾和北部湾”。

由上述分析可知，本项目建设于渤海湾与《海上风电开发建设管理办法》的要求基本不冲突。

6.2.4.3 与其他规定符合性

项目风机所在区域水深平均约 14-22m，不属于湿地的范畴。项目风场选址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、生态红线，不属于敏感和脆弱生态区域。

根据对工程区域的鸟类资料分析，风场位置不属于鸟类主要迁徙通道、栖息地。

根据前述“3.7.4 节渔业资源”中工程海域主要渔业资源的三场一通道分布图进行分析，项目风场及海缆建设位置均不涉及主要的产卵场、索饵场和洄游通道等重要渔业水域。

综上所述，本项目符合《海上风电建设开发管理办法》。

6.2.5 与能源发展规划符合性分析

6.2.5.1 与《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》符合性分析

实现碳达峰、碳中和，是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策，是着力解决资源环境约束突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择，是构建人类命运共同体的庄严承诺。为完整、准确、全面贯彻新发展理念，做好碳达峰、碳中和工作，中共中央 国务院现提出完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见，以下简称“意见”。

其指导思想为：以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中全会精神，深入贯彻习近平生态文明思想，立足新发展阶段，贯彻新发展理念，构建新发展格局，坚持系统观念，处理好发展和减排、整体和局部、短期和中长期的关系，把**碳达峰、碳中和**纳入经济社会发展全局，以经济社会发展全面绿色转型为引领，以**能源绿色低碳发展**为**关键**，加快形成节约资源和保护环境的产业结构、生产方式、生活方式、空间格局，坚定不移走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路，确保如期实现碳达峰、碳中和。

其主要目标是：到 2025 年，绿色低碳循环发展的经济体系初步形成，重点行业能源利用效率大幅提升。单位国内生产总值能耗比 2020 年下降 13.5%；单位国内生产总值二氧化碳排放比 2020 年下降 18%；非化石能源消费比重达到 20% 左右；森林覆盖率达到 24.1%，森林蓄积量达到 180 亿立方米，为实现碳达峰、碳中和奠定坚实基础。

到 2030 年，经济社会发展全面绿色转型取得显著成效，重点耗能行业能源利用效率达到国际先进水平。单位国内生产总值能耗大幅下降；单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 65%以上；非化石能源消费比重达到 25%左右，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上；森林覆盖率达到 25%左右，森林蓄积量达到 190 亿立方米，二氧化碳排放量达到峰值并实现稳中有降。

到 2060 年，绿色低碳循环发展的经济体系和清洁低碳安全高效的能源体系全面建立，能源利用效率达到国际先进水平，非化石能源消费比重达到 80%以上，碳中和目标顺利实现，生态文明建设取得丰硕成果，开创人与自然和谐共生新境界。

“意见”第五条提出：加快构建清洁低碳安全高效能源体系。其中明确提出：积极发展非化石能源。实施可再生能源替代行动，大力发展**风能**、太阳能、生物质能、海洋能、地热能等，不断提高非化石能源消费比重。坚持集中式与分布式并举，**优先推动风能、太阳能就地就近开发利用**。因地制宜开发水能。积极安全有序发展核电。合理利用生物质能。加快推进抽水蓄能和新型储能规模化应用。统筹推进氢能“制储输用”全链条发展。构建以新能源为主体的新型电力系统，提高电网对高比例可再生能源的消纳和调控能力。

本项目属于风电建设，位于山海关海域，距岸线 10km，本项目装机容量

500MW。项目场址区域的风资源情况优越，项目建设完成后将接入秦皇岛市内电网，符合“碳达峰”“碳中和”倡导的绿色能源、低碳发展、节约资源和保护环境理念。

6.2.5.2 与《“十四五”可再生能源发展规划》符合性分析

2022年6月1日，国家发展改革委、国家能源局等9部门联合印发《“十四五”可再生能源发展规划》。规划提出，2035年，我国将基本实现社会主义现代化，碳排放达峰后稳中有降，在2030年非化石能源消费占比达到25%左右和风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上的基础上，上述指标均进一步提高。可再生能源加速替代化石能源，新型电力系统取得实质性成效，可再生能源产业竞争力进一步巩固提升，基本建成清洁低碳、安全高效的能源体系。

《“十四五”可再生能源发展规划》指出，有序推进海上风电基地建设。开展省级海上风电规划制修订，同步开展规划环评，优化近海海上风电布局，鼓励地方政府出台支持政策，积极推动近海海上风电规模化发展。开展深远海海上风电规划，完善深远海海上风电开发建设管理，推动深远海海上风电技术创新和示范应用，探索集中送出和集中运维模式，积极推进深远海海上风电降本增效，开展深远海海上风电平价示范。探索推进具有海上能源资源供给转换枢纽特征的海上能源岛建设示范，建设海洋能、储能、制氢、海水淡化等多种能源资源转换利用一体化设施。加快推动海上风电集群化开发，重点建设山东半岛、长三角、闽南、粤东和北部湾五大海上风电基地。

本项目属于海上风电新能源项目，是新兴产业的一个战略方向，发展海上风电场不仅是实现节能减排，推进节能环保的一条行之有效的路径，也是河北省海上风电发展的一部分。因此，本项目实施符合《“十四五”可再生能源发展规划》的要求。

6.2.5.3 与《河北省发改委下发《关于做好2022年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知》》符合性分析

2022年10月，河北省发改委下发《关于做好2022年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知》，拟安排2022年保障性风、光规模5.24GW、市场化10GW、储备15GW。文件指出，要高质量推进保障性并网规模项目，海上风电包括秦皇岛市和唐山市省管海域海上风电项目，两市可结合全省海上风电规划初步成果，

提前谋划一批具备实施条件的海上风电项目，通过竞争性配置或招标方式优选确定开发企业，抓紧开展海上测风及海域使用论证、通航安全影响评价、海洋工程环境影响评价等前期工作，提前办理项目核准所需的支持性文件。待国家能源局审定批复河北省海上风电发展规划后，尽早完成项目核准和开工建设。因此，本项目的实施符合《河北省发改委下发《关于做好 2022 年风电、光伏发电开发建设有关事项的通知》》的相关要求。

6.2.6 与产业政策符合性分析

6.2.6.1 与《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》符合性分析

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》于 2021 年 3 月正式发布，纲要指出：

“第九章 发展壮大战略性新兴产业

着眼于抢占未来产业发展先机，培育先导性和支柱性产业，推动战略性新兴产业融合化、集群化、生态化发展，战略性新兴产业增加值占 GDP 比重超过 17%。

第一节 构筑产业体系新支柱

聚焦新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、新能源汽车、绿色环保以及航空航天、海洋装备等战略性新兴产业，加快关键核心技术创新应用，增强要素保障能力，培育壮大产业发展新动能。推动生物技术和信息技术融合创新，加快发展生物医药、生物育种、生物材料、生物能源等产业，做大做强生物经济。深化北斗系统推广应用，推动北斗产业高质量发展。深入推进战略性新兴产业集群发展工程，健全产业集群组织管理和专业化推进机制，建设创新和公共服务综合体，构建一批各具特色、优势互补、结构合理的战略性新兴产业增长引擎。鼓励技术创新和企业兼并重组，防止低水平重复建设。发挥产业投资基金引导作用，加大融资担保和风险补偿力度。

……

第十一章 建设现代化基础设施体系

……

第三节 构建现代能源体系

推进能源革命，建设清洁低碳、安全高效的能源体系，提高能源供给保障能

力。加快发展非化石能源，坚持集中式和分布式并举，大力提升风电、光伏发电规模，加快发展东中部分布式能源，有序发展海上风电，加快西南水电基地建设，安全稳妥推动沿海核电建设，建设一批多能互补的清洁能源基地，非化石能源占能源消费总量比重提高到 20% 左右。

……

第三十九章 加快发展方式绿色转型

第三节 大力发展绿色经济

坚决遏制高耗能、高排放项目盲目发展，推动绿色转型实现积极发展。壮大节能环保、清洁生产、清洁能源、生态环境、基础设施绿色升级、绿色服务等产业，推广合同能源管理、合同节水管理、环境污染第三方治理等服务模式。推动煤炭等化石能源清洁高效利用，推进钢铁、石化、建材等行业绿色化改造，加快大宗货物和中长途货物运输“公转铁”、“公转水”。推动城市公交和物流配送车辆电动化。构建市场导向的绿色技术创新体系，实施绿色技术创新攻关行动，开展重点行业 and 重点产品资源效率对标提升行动。建立统一的绿色产品标准、认证、标识体系，完善节能家电、高效照明产品、节水器具推广机制。深入开展绿色生活创建行动。”

本项目属于新能源项目，是新兴产业的一个战略方向，发展海上风电场不仅是实现节能减排，推进节能环保的一条行之有效的路径，也是助力构建我国现代能源体系、推动各行业绿色转型的有力推手。因此，本项目实施符合《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的要求。

6.2.6.2 与《产业结构调整指导目录（2019 年本）》符合性分析

国家发展和改革委员会 2019 年发布的《产业结构调整指导目录(2019 年本)》中明确将“海上风电场建设与设备及海底电缆制造”列入鼓励类“五、新能源”项目中。本项目的建设符合国家产业政策的要求。

6.2.6.3 与《河北省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》符合性分析

《河北省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》明确了河北省 2035 年远景目标和“十四五”时期经济社会发展主要目标。纲要指出：

“第四十二章加快推进碳达峰碳中和进程

把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，加强政策设计，加快重点行业、重点领域绿色低碳发展，力争走在全国碳达峰前列，为实现碳中和夯实基础。

一、强化碳达峰碳中和政策设计

积极应对气候变化，按照我国碳排放 2030 年前达峰、2060 年前实现碳中和的目标要求，制定碳排放达峰实施意见、行动方案和配套政策。实施以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度，推进碳排放权交易市场建设，完善用能权有偿使用和交易制度。加快完善有利于绿色低碳发展的投融资、财税、价格、土地等政策体系。全面清理现行地方法规中与碳达峰、碳中和工作不相适应的内容。强化考核评价，把能源消费、碳排放等指标纳入高质量发展综合评价体系和党政领导班子综合考核体系，强化指标约束和结果运用。支持雄安新区、张承地区、秦皇岛等有条件的区域和市县及重点行业、重点企业率先达峰。

二、实施可再生能源替代行动

严格控制煤炭消费，推进燃煤电厂节能降碳改造，控制煤电发电量，推动终端用能领域电能和天然气替代，抓好农村地区清洁取暖，确保全省煤炭消费总量持续减少。大力发展光电、风电、抽水蓄能，安全有序发展核电。支持张家口、承德等地区发展可再生能源电力制氢产业。建设适应非化石能源高比例大规模接入的新型电力系统。推进电力市场化改革和以节约能源为导向的电价改革。

三、实施重点行业减污降碳行动

围绕钢铁、火电、水泥、焦化等传统行业，实施重大节能低碳技术改造示范工程，开展碳捕集利用与封存重大项目示范，持续降低企业碳排放强度，打造一批碳达峰碳中和示范园区。发展绿色低碳产业，构建绿色供应链和绿色低碳制造体系。坚决遏制高耗能高排放项目盲目发展，严禁违规新增产能。完善能源消费总量和强度双控制度，强化固定资产投资项目节能审查，严格控制化石能源消费。

四、推进重点领域低碳发展

优化调整运输结构，继续实施“公转铁”工程，加快推进大型工矿企业、物流园区、港口码头铁路专用线建设，持续降低运输能耗和碳排放强度。健全节能家电和新能源汽车推广机制，推动城市公交、物流配送车辆电动化。大力发展节能低碳建筑，新建建筑全面执行绿色建筑标准，加快推进既有建筑节能改造。支

持被动式超低能耗建筑和装配式、钢结构建筑产业发展。加大甲烷、氢氟碳化物、全氟化碳等其他温室气体控制力度。严格保护各类重要生态系统,有效发挥草原、湿地、海洋、土壤固碳作用,提升生态系统碳汇能力。”

本项目为海上风电项目,属于可再生能源,项目的实施对于强化碳达峰碳中和政策设计具有积极的推动作用,加快推进实施可再生能源替代行动。因此,本项目的实施符合《河北省国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》的相关要求。

6.2.7 与《秦皇岛港总体规划（2021-2035年）》（送审稿）（2022年9月）的符合性分析

2022年5月,河北省委省政府主要领导调研秦皇岛港,要求充分发挥秦皇岛港能源枢纽港的作用,确保能源高效运输;要加快秦皇岛港转型发展,大力发展海上客运、游轮、游艇、滨海休闲度假等新兴业态,培育城市经济发展新亮点。2022年6月,河北省委十届二次全会强调,要深入贯彻习近平总书记对河北工作重要指示精神,以解放思想、奋发进取的务实举措加快建设经济强省、美丽河北。为落实上述要求,谋划新时代下秦皇岛港的发展愿景及功能定位,明确秦皇岛港功能布局和布置方案,统筹协调港口、城市、产业以及生态环境之间的发展关系,引领港口打破发展瓶颈,实现持续、健康、快速发展,根据《中华人民共和国港口法》和交通运输部《港口规划管理规定》,开展秦皇岛港总体规划编制工作是十分必要。

本项目位于山海关南部海域,根据《秦皇岛总体规划（2021-2035年）》（送审稿）中的港口总体布局规划进行分析,在港区分布上,本项目位于山海关港区。

山海关港区主要为后方临港工业发展服务,兼顾内陆腹地货物运输功能。

山海关港区位于冀辽省界至哈动力重件码头之间,占用自然岸线长1.9公里。山海关港区岸线资源少,后方土地紧缺,港区主要通过向海纵深发展。目前已形成二个港池,南侧建有防波堤形成掩护。未来山海关港区将主要为临港产业发展服务,并兼顾内陆腹地货物中转运输功能,运输的货类也将以散杂货和集装箱为主。

山海关港区布置方案整体成“反F”形式,港池与突堤相间。港区划分为通用码头区、临港产业发展区。南侧二港池及北侧一港池部分岸线,规划为通用及

集装箱码头区，形成码头岸线约 4.9 公里，可建设 2-20 万吨级泊位 20-25 个，用于各类散杂货及集装箱运输。北侧一港池剩余岸线及原山船重工、哈动力码头岸线，规划为临港产业服务码头区，形成码头岸线约 5.1 公里，主要服务于后方修造船和装备制造产业。

其中一港池南侧岸线为港区起步工程，占用港口岸线 570 米，建设 3.5 万吨级通用泊位 2 个；二港池北侧岸线建设二期工程，占用港口岸线 1090 米，建设通用泊位。港区在具体实施建设过程中，选取适宜位置 100-300 米左右岸线，布置港口支持系统区，用于建设拖轮、交通船、加油船等港作船停靠的工作船码头和燃料油码头。同时，选取适宜位置建设西防波堤，加强对港池的掩护。

本项目周边锚地有规划的西锚地、山海关锚地、油轮锚地、东锚地、20 万吨级油轮重载锚地和 20 万吨级散货船重载锚地，以及绥中 36-1 锚地、SZ1#-1 锚地和已获批但未公布的 SZ1#-2 锚地。本项目风电场场区与其它现有锚地距离均在 2nm 以上。2022 年，大连海事大学编制了《山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目通航安全影响研究报告》，该通航安全研究报告于 2022 年 11 月 16 日通过了专家评审会。同时项目取已经取得了《秦皇岛海事局关于山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目选址意见的复函》，其原则同意本项目选址（附件 7）。

综上所述，项目建设与《秦皇岛港总体规划（2021-2035 年）》（送审稿）（2022 年 9 月）相协调。

7 项目用海合理性分析

7.1 用海选址合理性分析

7.1.1 区位与社会条件适宜性

(1) 电力接入条件

2020 年河北省全社会用电量约 362 亿 kW 时，全社会最大负荷 591 万 kW，统调发电量约 312 亿 kW 时。

河北电网最高电压等级为 500kV，拥有 500kV 变电站福山站 1 座。220kV 变电站 34 座，变电容量 1104 万 kVA(包括炼化站 30 万 kVA、金海浆 8 万 kVA)，220 千伏线路 132 条，线路长度 4450km。截至 2020 年底，河北已形成覆盖全岛的 220kV “目”字形双环网，通过双回 500kV 交流线路与南方主网连接。

目前本风电场靠岸附近仅有 220kV 电网，暂无 500kV 变电站和线路，经与相关部门沟通，河北电网拟在 2025 年、2027 年配合昌江核电第 1 台、第 2 台核电投产构建环岛 500kV 网架，为满足海上风电场的接入和经济发展的需求，河北电网后续也将积极开展改造升级。

因此，结合本风电场开发时序和电网条件，接入系统方案暂定如下：

本项目拟新建 1 座 220kV 海上升压站，升压至 220kV 后通过 2 回 220kV 海缆敷设上岸。登陆后通过 220kV 陆缆接至 220kV 陆上集控中心，从陆上集控中心新建 1 回 220kV 送出线路，接至 220kV 孟姜站。陆上集控中心至孟姜 220kV 架空线路采用 2×400mm² 导线，长度约 5km。最终接入方案根据接入电网公司批复意见确定。

(2) 施工物资供应条件

本工程所用的钢材、油料、水泥、砂石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当地或周边地区直接采购。陆上建筑所需零星混凝土直接从秦皇岛市附近购买商品混凝土，海上施工区需配置混凝土搅拌船进行海上浇筑作业；风机基础钢管桩需要材质要求较高的钢材，为保证钢材质量，选择直接从大型钢厂进行采购。

施工机械设备主要为桩基施工的打桩船、大型的起重船、驳船与拖轮等。秦

皇岛港港口设有大型起重设备，周边地区大型的船舶加工企业和海港施工企业较多，这些企业普遍具有大型的工程用船，可通过租借或者合作共建的方式进行本工程的施工。

工程区域附近港口码头的供水系统完备，施工期间的生产用水和施工用水、陆上基地内供水可由施工区附近的管网系统提供；作业船上人员生活用水由船直接载入提供。集控中心建设用电从附近电网接入电源；码头基地用电采用码头场区电网接入；船上的施工用电由工程船舶自带的发电机提供。

（3）交通运输条件

本工程所在区域已经形成公路、水运等各种运输方式兼备的综合交通运输体系，其中以境内公路与水路运输尤为发达。本工程交通运输分为对外交通运输和场内交通运输两部分。

施工期内的外来物资虽然种类相对较少，运输量与运输强度较小，但运输的物资中绝大部分属于风机设备等超大、重件，需考虑特殊运输方式，施工难度较大，其中有代表性的大件运输物资为风机机组设备，其运输采用公路运输和海运相结合的方式，运至山海关港区基地码头。钢管桩和海上升压平台基础导管架在大船重工进行加工制造，升压平台在海工青岛基地进行加工制造，钢结构生产基地一般自有港口设施进行大型运输构件的运输工作，故其在做好施工组织的前提下可直接运至现场施工。

本工程主体建筑物全部位于海上，施工物资与设备在到达工程现场后需要进行运输方式的转化与调整，以满足物资场内海上运输的要求，因此，必须在工程现场附近选择合适的码头作为物资运输场内运输的起点，承担水陆运输方式的转化、设备物资临时堆存与调整的功能。

本工程风机布置区属于近海区域，场内交通主要为风机之间的船只及设备的海上运输，可通过船只自航或拖轮牵引进行移位与航行。其他辅助料的运输采用自航运输驳，从材料出运码头运输，到达现场后停靠在大型施工船舶侧；施工用水和用油由专用运水船和专用加油船到现场直接补给；施工人员的交通运输采用交通船接送。

（4）电力消纳能力

河北电网负荷以工业为主。河北省许多工业产品在国内占有较大比重，其中钢、生铁、钢材分别占中国产量的近 20%左右；纯碱、烧碱分别占中国产量的 20%

和 10%；原油、天然气、原煤、机床、冶金设备、矿山设备、变压器、汽车等产量在中国都占有重要地位。

通过电力平衡计算得出，河北省始终处于缺电的状态，2015 年和 2020 年，河北省冬大方式分别缺电 226 万千瓦和 258 万千瓦；由于河北省电源装机构成比例中火电始终占据主导地位，冬大方式缺电最为严重；省内电源装机的快速增长，使得河北电网缺电容量降幅较大。河北省是缺电的，同时也是一次能源相对缺乏的省份，风电属于可再生能源，符合该地区 and 我国的能源可持续发展战略，河北电网具备风电消纳能力。

可见，项目选址与周边电力接入、施工物资供应、交通运输条件以及电力消纳能力等经济社会发展状况相适应。

7.1.2 自然条件适宜性

（1）风力资源适宜性

根据中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司于 2022 年编制完成的《山东海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目可行性研究报告》可知：

风电场代表测风塔轮毂高度 3.0m/s~23.0m/s 风速段有效风速利用小时数为 7674h，占全年的 87.6%，说明风电场全年可发电小时数高。风速 12m/s~24m/s 区段，统计小时数为 1945h，占全年 22.2%，机组满发时间也较多。

风电场区域轮毂高度处风速分布主要集中在 2.0m/s~12.0m/s 风速段，所占比例约为 77.8%，相应风能所占比例为 37.6%；风能主要集中在 9.0m/s~17.0m/s 风速段，所占比例为 78.5%，相应风速所占比例为 38.3%。可见，风电场的风速风能分布相对比较集中，风能资源较丰富。场址区主风向较稳定，风能分布较集中。所以该区域是可再生能源中长期发展规划提出的海上风电发展重点区域，具备开发建设风电场的风能资源条件。

（2）水深条件适宜性

场址水深在 14~22m 水深范围，场址中心距离岸线约 11.4km，符合《海上风电开发建设管理办法》（国能新能[2016]394 号）所规定的“双十”原则。

（3）地形和水文条件适宜性

工程及附近海底地形平缓，10m~20m 等深线处坡度为 0.69%；场址附近总体处于淤积状态，10 米等深线处淤积相对较强；场区潮流最大可能表层流速为

0.5m/s；固定冰边缘线大多在 0m 等深线处，局部有可能达到 2m 等深线，一般冰年浮冰可达 20m 等深线处，浮冰冰厚一般在 6cm 左右。场区地形和水文条件较为适宜。

（4）工程地质适宜性

山海关以及附近海域属少震、弱震构造稳定区，工程区及近厂区未发现活动断裂通过，也无 5 级以上地震活动记载，对本项目建设较为有利；拟建场地地基土属中软土~中硬土类型，工程区大部分建筑场地类别为 III 类，建议按抗震一般地段考虑；场区海水对混凝土结构有中等腐蚀性，对钢筋混凝土中钢筋在长期浸水条件下有弱腐蚀性、在干湿交替条件下有强腐蚀性，但根据工程耐久性要求采取相应的防腐蚀措施后可进行工程建设。场区有较为适宜的工程地质条件。

可见，本项目所在海域可利用风能资源丰富，水深条件适宜，海底地形平缓，海流速度较小，泥砂活动弱，水动力环境稳定，具备建设项目的的基本条件

7.1.3 生态系统适宜性

根据工程海域海洋生态环境的历史资料及现状监测资料，选址区域内无典型的海洋生态系统，非主要经济鱼类集中分布区、非重要经济鱼类的洄游路线、索饵场、产卵场或育幼场所等。

项目所在海域浮游植物、浮游动物的数量不多，多样性指数一般，底栖生物、潮间带生物和游泳生物的密度较低，生物多样性指数较为单一。本项目施工期悬浮泥沙将对海域浮游植物、浮游动物及底栖生物产生一定不利影响，该影响是暂时的，随着施工结束而消失。本项目建设会对选址海域生态环境产生一定不利影响，损失海洋生物均为常见物种，不会造成该海域海洋生态环境的恶化，后期会通过生态补偿方式缓解工程建设对海洋生态环境的影响。

7.1.4 项目用海与周边其他用海活动适宜性

本工程的登陆点位于山海关挡浪墙南侧，路由登陆需穿越该工程，现阶段提出采用定向钻方式施工方式穿越防波堤，具体穿堤方案还需要双方共同协商决定，必要的情况下需根据对方的意见调整现有方案，根据协商结果确定最终的穿堤方案及保护措施。建设单位已经就穿堤有关情况与秦皇岛市水务局进行了沟通，其同意本项目海缆穿越海堤并进行陆上电缆敷设施工。

根据《秦皇岛港总体规划》（2022.09），本项目周边锚地有规划的西锚地、山

海关锚地、油轮锚地、东锚地、20万吨级油轮重载锚地和20万吨级散货船重载锚地，以及绥中36-1锚地、SZ1#-1锚地和已获批但未公布的SZ1#-2锚地。本项目风电场场区与其它现有锚地距离均在2nm以上。结合本报告5.1.2中针对本项目对锚地的影响分析，确定海事部门为本项目的协调部门。

2022年，大连海事大学编制了《山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目通航安全影响研究报告》，该通航安全研究报告于2022年11月16日通过了专家评审会。同时项目取已经取得了《秦皇岛海事局关于山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目选址意见的复函》，其原则同意本项目选址。

综上所述，项目用海与周边其他用海活动相适宜。

7.1.5 用海选址比选分析

7.1.5.1 场址选择原则

一是明确禁止开发区域。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、鸟类迁徙通道和栖息地等重要、敏感和脆弱生态区域以及划定的生态保护红线区内，不规划布局海上风电场。风电场选址不占用港口、码头、锚地及重要的旅游功能区的用海用地；风电场选址不影响已查明的重要海底矿产资源；不影响主要油气管线和海底电缆；不影响重要的文物古迹和军事敏感区。

二是控制场址避让距离。各规划风电场场址边界与主要规定航路及习惯性航道边界距离达到1海里以上；同时风电场之间沿主风向方向设置宽3.0km~5.0km(根据风电场风向和场址的集中程度)的风速恢复带，减小相互之间的影响；规划场址的选择与各地港口中长期建设规划相衔接，为港口发展预留空间。

三是优选满足经济开发的区域。海上风电场造价受离岸距离和水深影响较大，水深在60m以上且离岸距离超过90km时，项目在“十四五”期间开发的可能性较低，因此“十四五”场址优先在水深60m以下且离岸90km以内的范围内布局；优先选择已开展测风，且风速在7.5m/s、风功率密度在400W/km²以上的场址；优先选择交通条件便利，施工场地、接入系统条件较好的场址区域。

7.1.5.2 场址比选

结合上述原则，根据《山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目场址研究报告》可知，本项目场址初选五个方案，具体比选如下表所示。通过单个海上风

电场外缘边线包络海域面积原则上每 10 万千瓦控制在 16 平方公里左右原则，双十原则，发电小时，占用各功能区面积等方面进行比选，最终选择方案四为本项目推荐场址，场址是合理的

表 7.1-1 五个选址方案比选表

综上所述，项目所在区域具有优越的地理位置和资源条件，社会经济条件良好，配套设施完备，能够满足项目建设的需要，且与周边用海活动可协调。因此，本项目选址合理。

7.2 用海方式和平面布置合理性分析

7.2.1 用海方式合理性分析

本项目涉及用海的工程包括风机、海底电缆和升压站，其中，风机、升压站基础用海方式为构筑物中的透水构筑物，海底电缆用海方式为其他方式中的海底电缆管道。

风机塔基采用桩基础，可通过调整桩长使得基桩达到同一持力层，可保证结构受力均匀，使用期结构沉降变形较小，而且桩基础属于透空性结构，波浪反射小，对潮流影响小，透水构筑物的用海方式可使海水正常通过，减小了对海床原

有自然属性的改变，是一种影响较小的用海方式。根据数模计算结果，风电场工程的建设对风电场周边海域潮流特性影响甚小，周边海域平均流速变幅为 0.4%，流向变化不超过 0.1°；工程前后风电场内部的流速有所变化，并以流速减小为主。风电桩基的泥沙淤积分布大部分是不连续的，仅局限于桩基附近，不会引起工程区附近滩面的整体性冲淤变化。因此，总体来看，风电场的建设对周边海域水动力和冲淤环境的影响较小。

项目风机、升压站和电缆施工时会引起周边海域悬浮物浓度的增加。风机桩基和升压站桩基通过液压震动锤振动下沉，施工时振动导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境。根据类似工程，打桩悬浮物浓度不高，引起周围海域悬浮物浓度增加 (>10mg/L) 范围一般半径在 100m 内。海底电缆施工过程中也会产生悬浮泥沙，由于场区所在海域流速大、水深深，悬浮物扩散较快，因此，其涨落急扩散范围很小，在场区内涨落潮扩散形态不明显。施工产生的悬浮物影响范围主要是电缆周围水域，根据施工规划，电缆敷设速度约 1m/min，敷设完毕的电缆段区域，悬浮物浓度可较短时间内减低至 10mg/L。因此，电缆敷设实际影响范围要比预测范围更小。施工作业产生的悬浮物对环境的影响只是暂时的，随着工程结束，悬浮物对环境的影响也将消失。此外，利用海底电缆输电的方式对海洋资源进行立体开发，充分利用了海底空间资源，其用海方式也是合理的。

综上所述，本项目用海方式有利于维护该海域基本功能，能最大程度减少对水动力和冲淤环境的影响；有利于保持自然岸线和海域自然属性，对全区域海洋生态系统影响较小。因此，本项目用海方式合理。

7.2.2 项目用海平面布置合理性分析

7.2.2.1 风机布局比选

(1) 单机机型选择

根据上述海上风机发展趋势、机组适应性分析，结合目前国内外成熟的商业化风电机组技术规格、风电场确定的单机容量范围，以及风电场工程的风能资源、交通运输条件、湍流强度，气候特点等因素，本阶段拟定参与机型比选方案如下：

方案一：采用 63 台单机容量 8.0MW 的 WTG215-8000 型风力发电机组，总装机容量为 504MW；

方案二：采用 59 台单机容量 8.5MW 的 WTG230-8500 型风力发电机组，总装机容量为 501.5MW；

方案三：采用 56 台单机容量 9.0MW 的 WTG221-9000 型风力发电机组，总装机容量为 504MW；

方案四：采用 46 台单机容量 11.0MW 的 WTG230-11000 型风力发电机组，总装机容量为 506MW；

方案五：采用 42 台单机容量 12.0MW 的 WTG245-12000 型风力发电机组，总装机容量为 504MW。

通过下表的比对，结合场址形状，尽可能减少机组间尾流相互影响，本项目根据各比选机型单机容量和台数，以尾流影响最小为原则最终确定风机排布方式，最终选择“方案二：采用 59 台单机容量 8.5MW 的 WTG230-8500 型风力发电机组，总装机容量为 501.5MW”。

表 7.2-1 各机型特征参数表

(2) 风机平面布置比选

本风电场装机规模 501.5MW，拟安装 59 台 WTG230-8500 型风力发电机组。风电场通过每台风电机组把风能转化为电能，风经过风电机组转轮后迅速下降并产生紊流，沿着下风向一定距离后才能消除前一台风电机组对风速的影响。因此，在布置风电机组时，应充分考虑风电机组之间相互的尾流影响，确定各风电机组的间距，把尾流影响控制在合理范围内。风电机组间距的变大会使风电机组间的尾流影响降低，但同时也会降低对风能资源的利用率，增加机组间集电线路的长度，增大电量损耗。海上风电场风电机组应根据风电场内风能资源特点和海底地形条件进行布置，布置原则为：

1) 首先应充分考虑风电场所在海域周边限制条件，如：港口、航道、油气管道、养殖区、保护区、海底光缆等，场址规划阶段已充分避开；

2) 充分考虑规划使用海域的水深、地形条件，根据海洋水文结论，考虑各机组基础所在位置冲淤影响，确保基础安全性；

3) 根据充分利用风电场海域的原则，结合场区内风资源分布特点，合理选择风电机组布置方式与间距，尽量减少风力发电机组间尾流影响；

4) 布置时，既要尽量减小风电机组之间的尾流影响，又要尽量缩短风电机

组之间的海缆长度，以降低配套工程投资和场内输变电损耗；

5) 对不同的布置方案，要按整个风电场发电量最大，兼顾各单机发电量的原则进行优化；

6) 海洋资源十分宝贵，风电机组布置时应按照节约、集约用海原则，在技术可行的范围内尽量减小风电场涉海面积。

本阶段结合场址形状，尽可能减少机组间尾流相互影响。本阶段考虑两种优化布置方案进行比选：

方案一：充分利用场址边界进行布机，布置 2 排风机。

方案二：布置 3 排风机。

通过对各方案综合尾流系数和发电量比较，方案二尾流相对较小，年等效满负荷小时数为 3631h；因此，推荐采用方案二的内部排列方式作为风电场最终布置方案。

图 7.2-1a 风机平面布置方案一示意图

图 7.2-1b 风机平面布置方案二示意图

7.2.2.2220KV 路由比选

本工程风电机组-升压变拟采用“一机一变”单元接线方式，每台风机配套安装一台容量为 9500kVA、1.14/35kV 的干式变压器。本工程海上升压站 35kV 侧设 4 段母线，根据风电机组布置，每回集电线路通过 2~4 台风机组成一个联合单元，59 台风机组分为 16 回集电线路分别接入海上升压站 35kV 母线。

220kV 海上升压站布置于场址中心偏北处，选用 2 台容量为 260MVA 低压双分裂电力变压器，220kV 侧采用线变组接线方式，35kV 侧采用单母线分段接线；升压站采用 2 回 220kV 三芯 $3 \times 800\text{mm}^2$ XLPE 绝缘海底电缆送至陆上集控中心，从陆上集控中心新建 1 回 220kV 送出线路，接至 220kV 孟姜站。推荐方案中 35kV 集电线路共 107km，2 回 220kV 海缆直线总长度共 23.6km，裕度总长度为 25.96km。

图 7.2-2 220kv 路由比选示意图

7.2.2.3 平面布置合理性

本平面布置充分考虑了风电场所在海域周边限制条件，如：港口、航道、生态保护区等，在规划允许的范围内布置风电机组。

本布置考虑了场址区风资源分布特点，充分利用风电场盛行风向进行布置，合理选择风力发电机组间距，尽量减少了风力发电机组间尾流影响；风力发电机组布置方案充分考虑了工程施工船舶进场、抛锚、掉头等对风力发电机组间距的要求，合理设置了间距。

选择大容量风机，尽量减少了风机台数，根据《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》，“单个海上风电场外缘边线包络海域面积原则上每10万千瓦控制在16平方公里左右，除因避让航道等情形以外，应当集中布置，不得随意分块”。本项目规模为500MW，场址外缘边线包络海域面积约为60.9km²，符合海上风电用海面积控制要求，符合节约、集约用海原则。

国家能源局、国家海洋局于2016年制定了《海上风电开发建设管理办法》，管理办法在“第二章发展规划”第7条中明确“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。”该要求简称“双十原则”。

本项目风场布置满足上述“双十原则”，风场整体布设于10m等深线以外，距离岸线约11.4km，同时风场不位于划定的生态红线区及海湾、湿地等范围内，从宏观布置来看，项目平面布局满足水深及离岸距离要求。

综上所述，项目平面布置合理。

7.3 用海面积合理性分析

7.3.1 项目用海需求分析

本项目拟安装59台8.5MW的海上风机，装机总容量500MW。

场内配套建设1座220kV海上升压变电站，同时铺设海缆线路若干条。项目涉及的用海方式包括透水构筑物 and 海底电缆管道。其中，透水构筑物用海面积为56.9563hm²，包括风机基础53.8257hm²和海上升压站3.1306hm²；海底电缆管道用海225.7656hm²，包括35kV海底电缆使用面积为192.3529hm²，220kV海底

电缆使用面积为 33.4127hm²，总用海面积 282.7219hm²。

表7.3-1本项目各类用海面积

7.3.2 项目用海符合相关行业设计规范

本项目根据场址区域风能资源条件和风况特征、场址区域海上风电场的自然环境、风电场运输和安装条件，结合国内外商品化风电机组的制造水平、技术成熟程度和价格等要求，进行风电场型式比选，依据《风电场工程等级划分及设计安全标准》（FD002-2007）、《海上风电场工程风电机组基础设计规范》（NB/T 10105-2018）、《海上固定平台规划、设计和建造的推荐作法工作应力设计法》（SY/T 10030-2004，API RP 2A-WSD:2000）、《海上固定平台入级与建造规范》（中国船级社）等相关行业规范进行严格设计，确定最终风电场的布置与海缆敷设方案，因而项目用海面积符合行业的设计标准和规范。

7.3.3 项目用海面积量算合理性

7.3.3.1 界址线界定原则及界定

本项目用海类型属于工业用海中的电力工业用海。申请用海的单元为风机、海上升压平台和海底电缆，其中风机、海上升压平台用海方式为构筑物中的透水构筑物，海底电缆用海方式为其他方式中的海底电缆管道。

（1）风机

根据国家能源局、国家海洋局 2016 年联合下发的《海上风电开发建设管理办法》，“海上风电项目建设用海面积和范围按照风电设施实际占用海域面积和安全区占用海域面积界定。海上风电机组用海面积为所有风电机组塔架占用海域面积之和，单个风电机组塔架用海面积按塔架中心点至基础外缘线点再向外扩 50 米为半径的圆形区域计算”。

本工程布置 59 台 8.5MW 的海上风机，风机底部桩基直径 8.0m，从风机桩基区域外边缘起算，再向外扩 50m 所形成的圆形区域为风机基础用海区域，因

此项目单个风机用海区域是一个半径为 54m 的圆。

综上，59 台风电基础使用海域面积为 53.8257hm²。

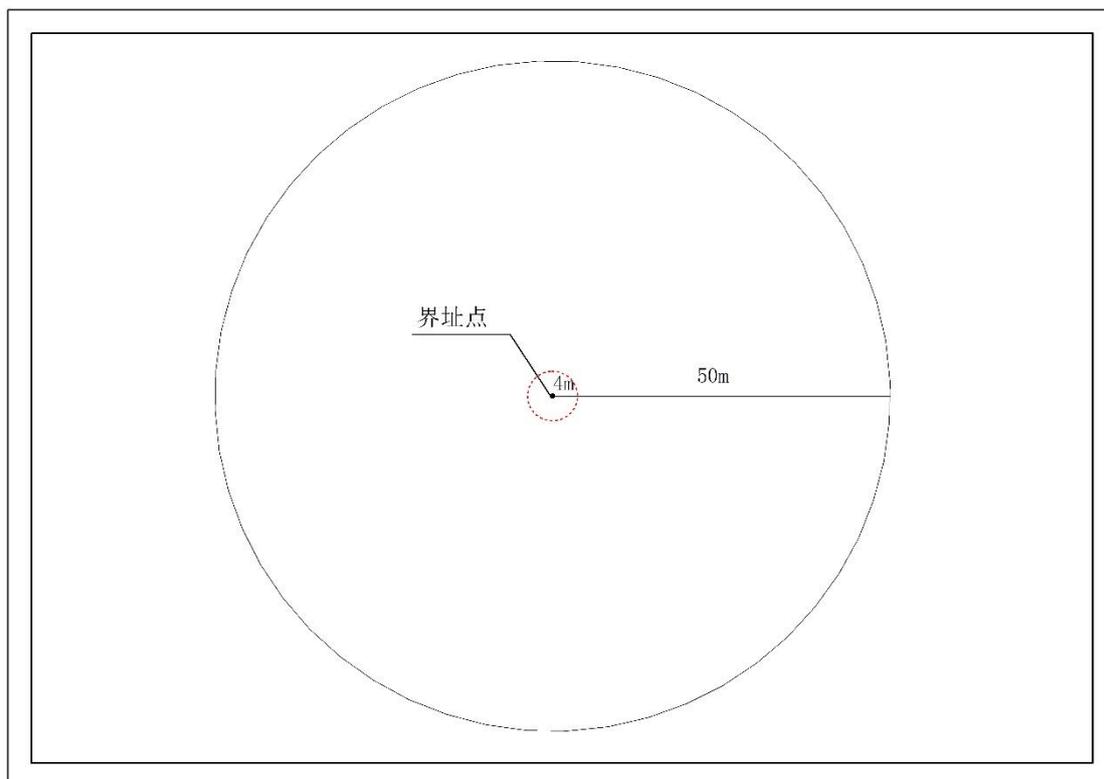


图7.3-1风机界址线界定图

(2) 海上升压平台

海上升压站位于场址北部，其属于电力工业用海，基础的设计形式属于透水构筑物，按照《海籍调查规范》(HY/T124-2009)的要求，安全防护要求较高的透水构筑物用海在透水构筑物及其防护设施垂直投影的外缘线基础上，根据安全防护要求程度，以外扩不小于 10m 保护距离为界，水下发电设施，以发电设施外边缘线外扩 50m 距离为界。作为高电压设备，升压站的安全防护要求程度相对较高，防护距离不宜太小，故海上升压站平台的用海范围为平台垂直投影最外缘线向四周平行外扩 50m 为界，升压站平台最外缘线长 96m，宽 60m，外扩 50m 后海域范围为 3.1306 hm²。

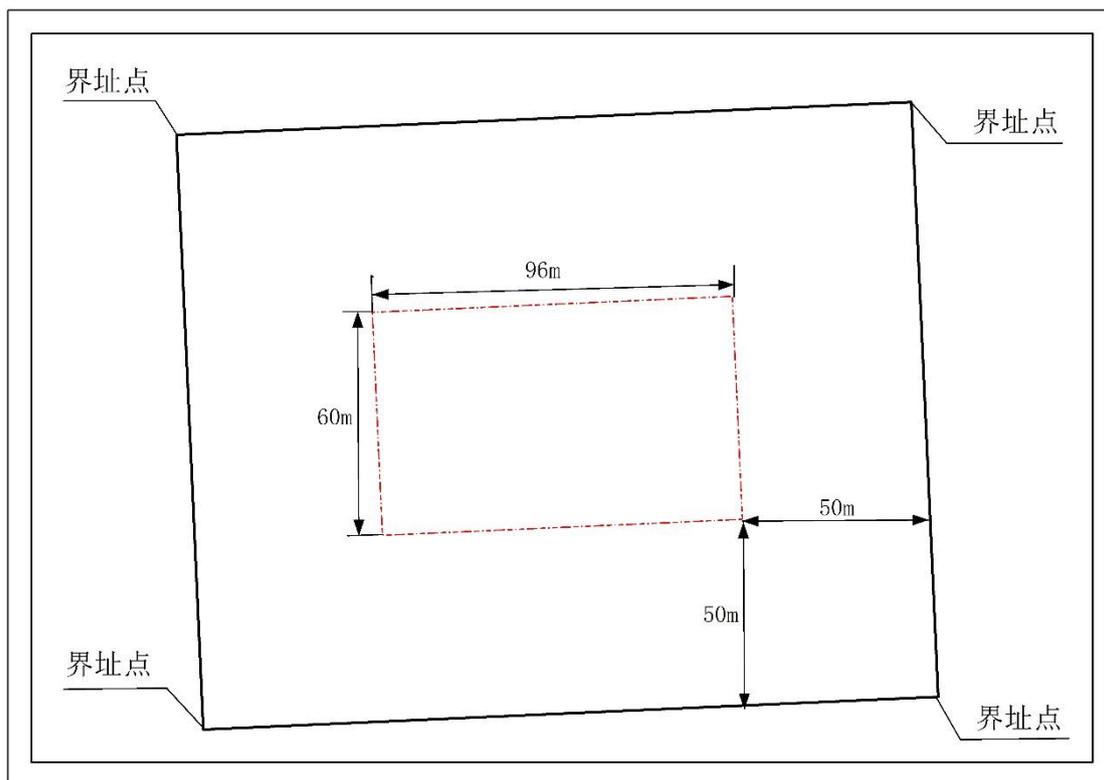


图7.3-2海上升压站界址线界定图

(3) 35kv 海底电缆

根据《海籍调查规范》5.4.5.1 电缆管道用海以电缆管道外缘线向两侧外扩10m 距离为界，因此，本项目海底电缆的用海范围以海底电缆管线向两侧外扩10m 距离进行界定和计算。当几种用海方式的用海范围发生重叠时，重叠部分应归入现行海域使用金征收标准较高的用海方式的用海范围。根据现行的海域使用金征收标准，透水构筑物海域使用金高于海底电缆管道的海域使用金，海底电缆管道与透水构筑物用海有部分重叠，重叠部分应归入透水构筑物用海范围，因此，海底电缆管道与升压站用海重叠部分归入升压站的申请用海面积，海底电缆管道与风机墩柱用海重叠部分归入风机墩柱的申请用海面积。35kv 海底电缆使用总面积为 192.3529hm²。

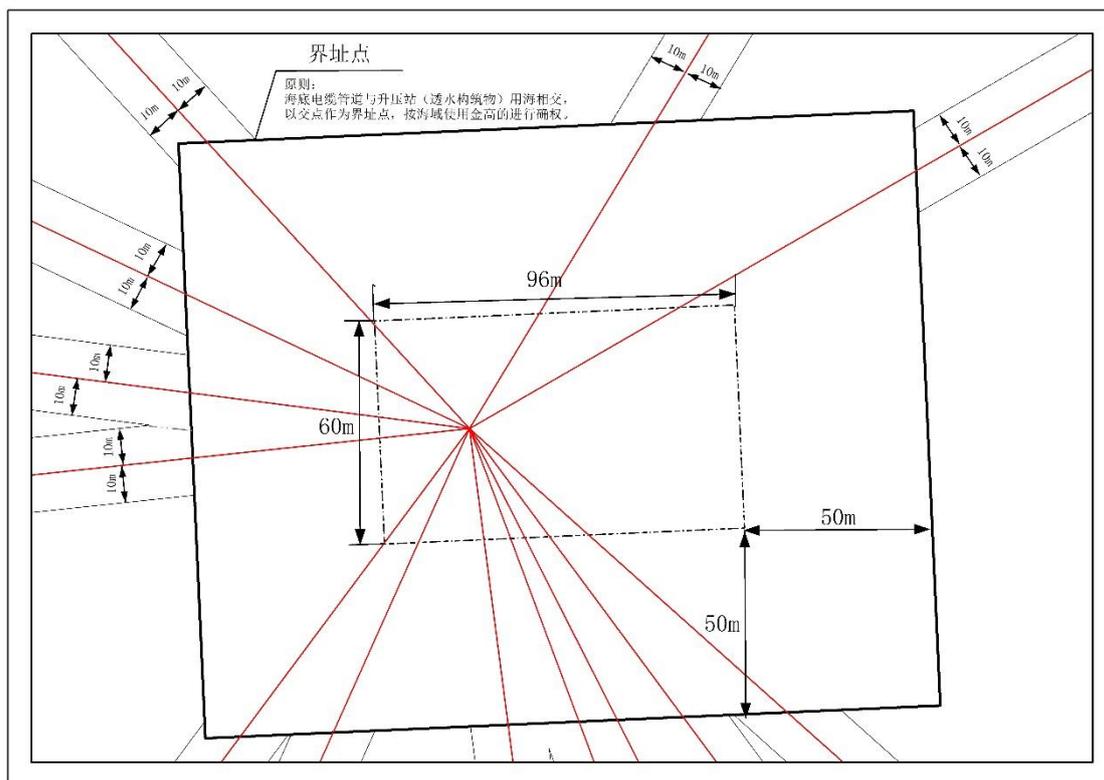


图7.3-3海上升压站与35kv海缆交叉界址线界定图



图7.3-4风机与35kv海缆交叉界址线界定图

(4) 220kv 海缆

根据《海籍调查规范》5.4.5.1 电缆管道用海以电缆管道外缘线向两侧外扩10m 距离为界，因此，本项目海底电缆的用海范围以海底电缆管线向两侧外扩10m 距离进行界定和计算。当几种用海方式的用海范围发生重叠时，重叠部分应归入现行海域使用金征收标准较高的用海方式的用海范围。根据现行的海域使用金征收标准，透水构筑物海域使用金高于海底电缆管道的海域使用金，海底电缆管道与透水构筑物用海有部分重叠，重叠部分应归入透水构筑物用海范围。220kv 海底电缆使用总面积为 33.4127hm²。

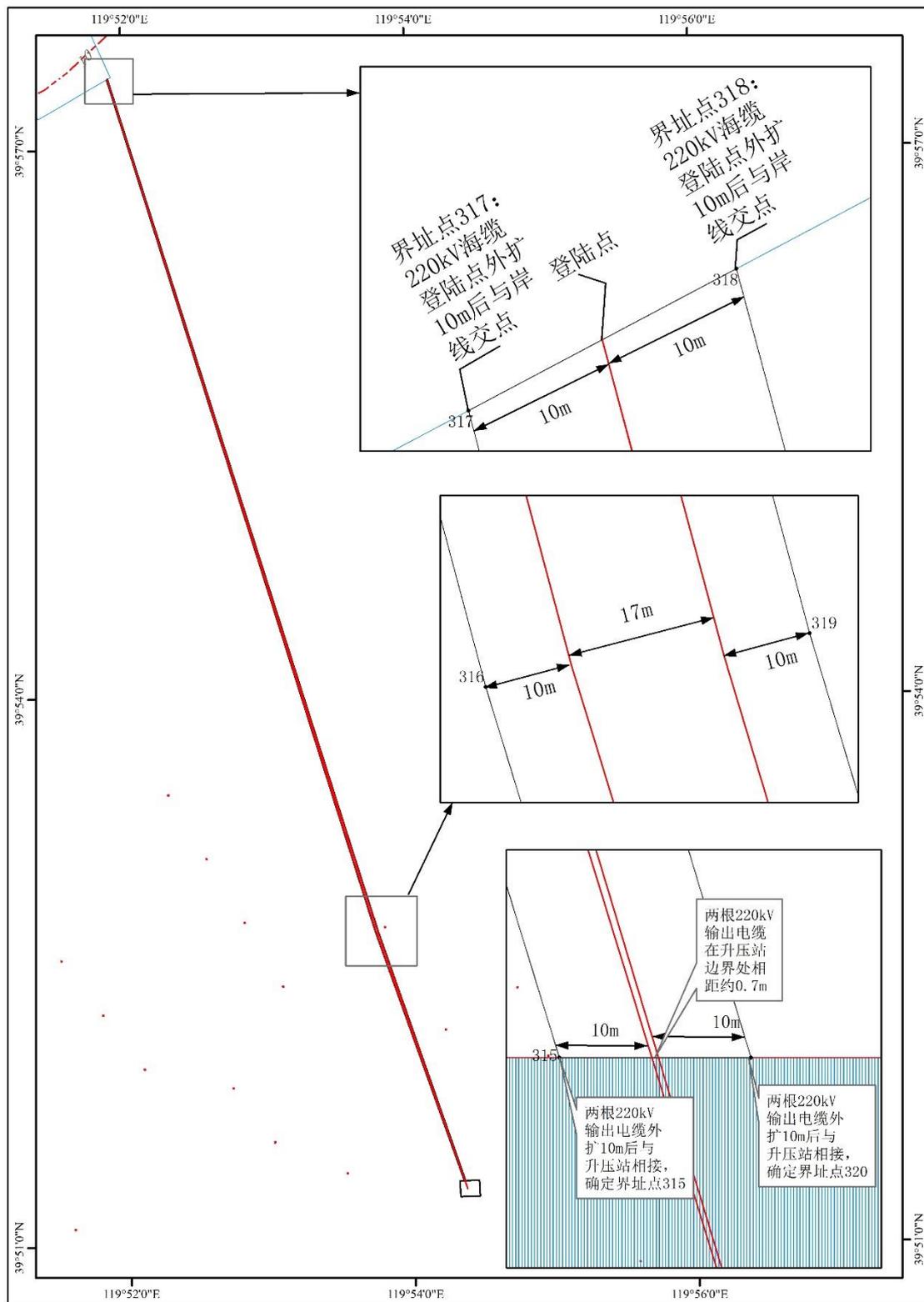


图7.3-5 220kV海缆界址线界定图

本项目风机、海上升压站和海底电缆管道，根据最终确定的工程平面布置方案和工程断面结构，各类方式用海范围的界定方法和不同用海方式用海范围重叠时的处理办法，符合《海籍调查规范》和《海上风电开发建设管理办法》的相关

规定，透水构筑物用海面积为 56.9563hm²，包括风机基础 53.8257hm² 和海上升压站 3.1306hm²；海底电缆管道用海 225.7656hm²，包括 35kV 海底电缆使用面积为 192.3529hm²，220kV 海底电缆使用面积为 33.4127hm²，总用海面积 282.7219hm² 是合理的。

7.3.3.2 用海面积量算

根据以上界址点的界定方法，对用海单元用海面积进行核算，并确定最终的用海面积。本工程宗海图的绘图采用 ArcGIS 软件成图，面积量算直接采用该软件面积量算功能，其算法与坐标解析法原理一致。即对于有 n 个界址点的宗海内部单元，根据界址点的平面直角坐标 x_i ， y_i （i 为界址点序号），计算宗海面积 S（m²）并转换为公顷。面积计算公式如下：

式中：S—宗海面积（m²）；

x_i ， y_i —第 i 个界址点坐标（m）。

本项目用海面积量算是各界址点在 CGCS2000 坐标系，高斯投影（中央经度为 109°30'E）下的面积，测算出申请用海面积为 282.7219hm²。

7.3.3.3 宗海图绘制

按照《宗海图编绘技术规范》（HY/T251-2018），以 CGCS2000 坐标系、高斯-克吕格投影（中央子午线为 120°E）、1985 国家高程基准、当地理论最低潮面为技术标准绘制成果宗海位置图、宗海界址图，详细如下图 7.3-6 所示。

山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目宗海界址图

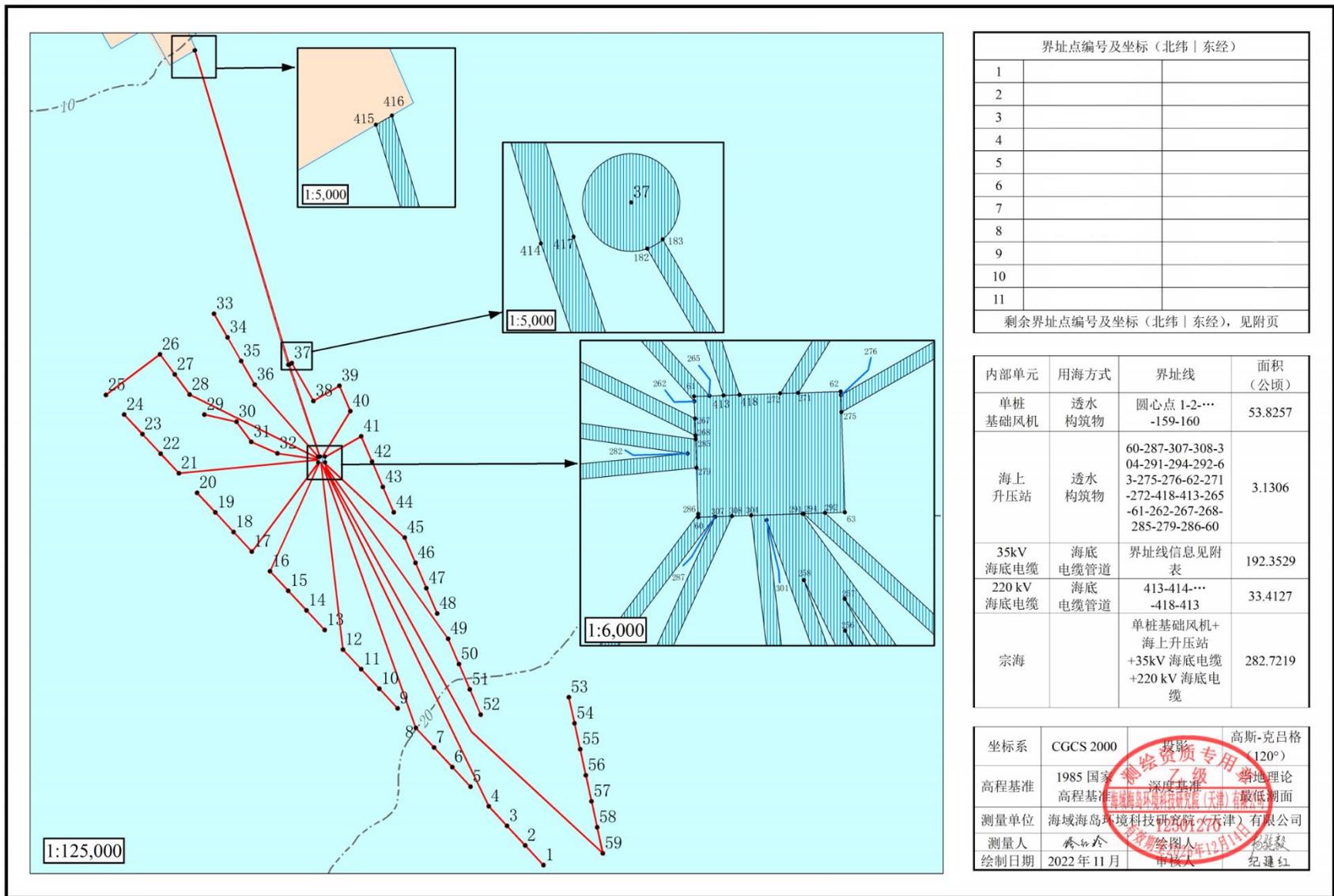


图 7.3-6a 宗海位置图

山海关海上风电一期500兆瓦平价示范项目宗海位置图

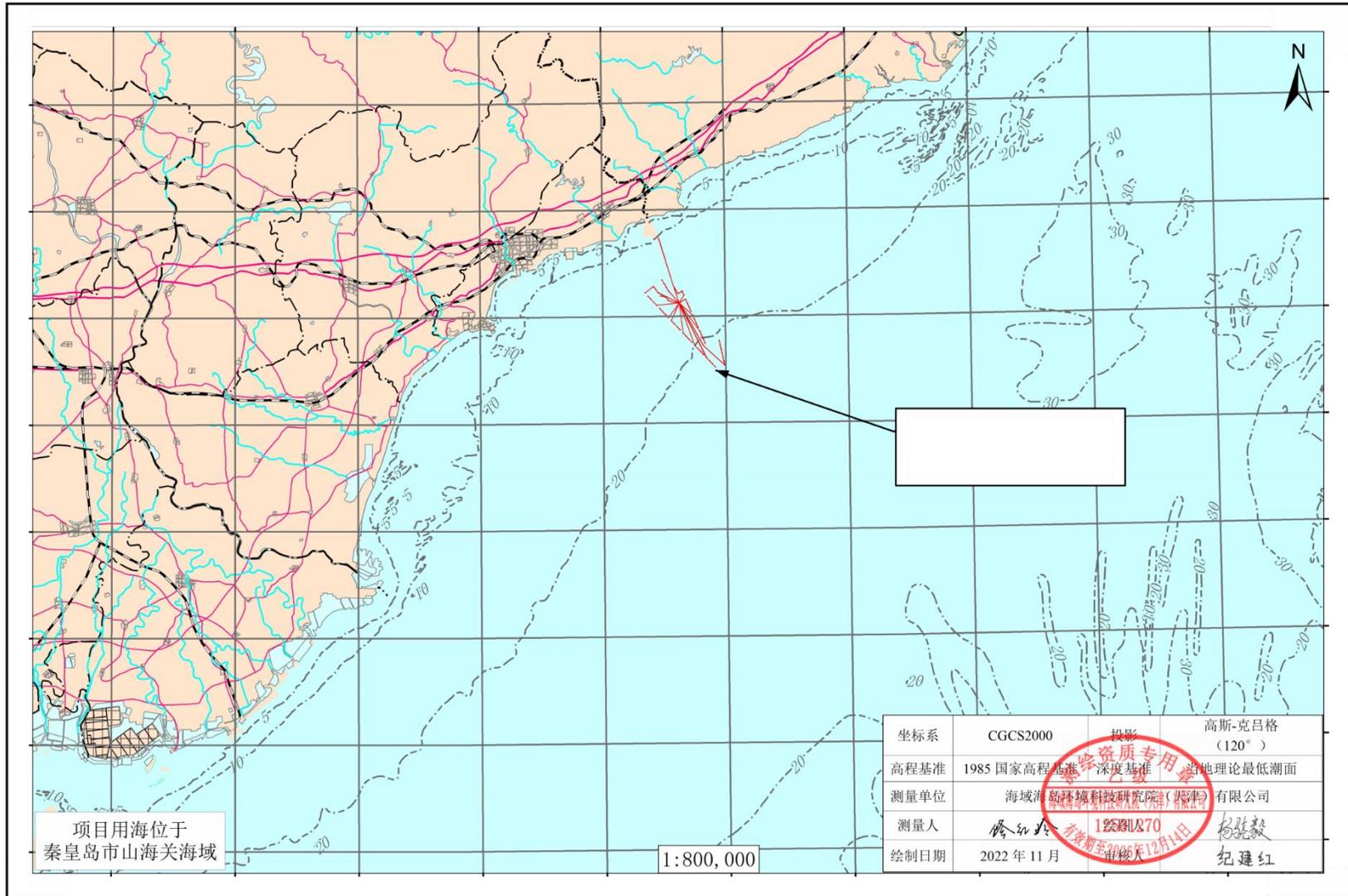


图 7.3-6b 宗海界址图

7.3.4 用海面积减小的可能性

本报告对风电机组机型进行了比选，比选中充分考虑了用海面积的节约化，在风电机组机型确定和保证总装机容量不变的前提下，场址面积越小，风电场平均尾流越大，而且单机尾流超过 10%的台数越多，风电场发电量损失越多，且会对风机安全性产生不利影响，推荐平面布置方案尾流影响率已达 13.71%，无法再进行面积的压缩。综合考虑，推荐方案的场址面积大小合适，风电场发电量能够得到保证，尾流能够得到较好的控制。

7.4 用海期限合理性分析

本项目用海类型属于工业用海中的电力工业用海。依据《中华人民共和国海域使用管理法》第二十五条规定，“海域使用权最高期限，按照下列用途确定：（一）养殖用海十五年；（二）拆船用海二十年；（三）旅游、娱乐用海二十五年；（四）盐业、矿业用海三十年；（五）公益事业用海四十年；（六）港口、修造船厂等建设工程用海五十年”。本项目属于建设工程用海，使用期限最高不超过 50 年。

本工程的设计使用年限为 25 年，施工年限 2 年。

在不得突破法律规定前提下，综合考虑本项目的施工和设计年限，从工程主体内容开始施工建设即算入其使用年限，本项目申请用海 27 年，符合海域使用管理法及实际用海需要，是合理的。

风电场申请海域使用权期限届满后，如果海域使用权人需要继续使用海域，可在期限届满前二个月向原批准用海的人民政府申请续期。若停止续期，业主单位应按有关方案和规范拆除风电场的设施和建筑，并恢复风电场周围的生态环境。

8 生态用海综合论证

8.1 产业准入和区域管控要求符合性

8.1.1 产业准入符合性分析

本项目为《产业结构调整指导目录（2019年本）》中鼓励类项目，符合国家相关产业政策。

8.1.2 区域管控要求符合性分析

根据前文第6章分析，得出如下结论：

（1）本工程拟建风电机组、海底电缆、海上升压平台。风电场工程所处的海域，避开港区、锚地、航道、通航密集区以及主管机关公布的航路，避开军事用海限制区域，避开通信、电力、油气等海底管线及其保护范围；本项目风机、升压站、海底电缆建设对占用功能区的影响主要表现在施工期引起的悬浮物浓度增加对功能区水质和渔业资源的影响，以及运营期海底电缆管道两侧保护范围内禁止底拖捕捞、张网、养殖等。施工期悬浮物扩散对水质和渔业资源的影响在施工结束后就会消失，总体影响是暂时且可逆的，运营期不会产生新的排海污染物，正常情况下，项目完工后海域水质、沉积物质量和海洋生物质量会恢复现状水平，符合各功能区的海洋环境保护要求。

通过第六章分析，辽宁省海洋功能区划（2011-2020）在“海洋开发与保护战略布局”中明确“开发花园口、庄河海域的海上风电资源”，同时，在“海洋功能分区和管理要求”中也再次提出开发海上风电。由于海上风电场的风机布置为点用海，从综合开发利用海洋出发，考虑和谐用海的要求，同时符合有关海洋自然环境保护相关规定。

《大连市海洋功能区划（2013-2020年）》将辽宁省海洋功能区划划定的一级类海洋基本功能区“长山群岛农渔业区”细化为二级类海洋基本功能区、“长山群岛养殖区”，并对海域管理要求和海洋环境保护要求进行了细化，在用途管制中明确提出“本区域兼容矿产与能源功能，允许建设海上风电”。

综上，项目建设符合海洋功能区划。

（2）拟建工程位于《辽宁省海洋主体功能区规划》中优化开发区内。拟建项目选址在庄河海域的海洋渔业保障区内，拟利用此海域丰富的风能资源因地制宜

宜科学开发海上风电，对优化开发区的产业结构进行调整和优化，另外，风电场为点用海，不会阻断鱼类洄游通道。本项目建设符合辽宁省优化开发区域的功能定位和空间布局要求，符合海域政策要求，有利于推动辽宁省风电事业的发展及开发可再生能源，项目实施符合《辽宁省海洋主体功能区划》。

(3) 本项目为海上风电场的建设，距离海王九岛、石城岛、长山群岛一定距离，不会对海岛生态建设产生直接不利影响，同时项目对风能的有效利用，有助于推进海岛可再生能源的利用，因此项目的建设符合《辽宁省海岛保护规划（2012-2020年）》。

(4) 本项目不在划定的生态红线区域内，距离周边的生态红线区均较远。工程施工不会占用和破坏人工鱼礁、不会破坏水产种质资源和海藻床生态系统，大连海王九岛海洋景观市级保护区和长山群岛重要渔业水域悬浮物最大增量均 $<0.001\text{mg/L}$ ，不会对红线区的海洋环境造成严重影响，无论在施工还是运营期均不会有施工人员进入行人坨子黑脸琵鹭集中分布区、元宝岛黑脸琵鹭集中分布区作业。运营期针对海洋环境和鸟类本报告制定了详细的监测计划，以防工程运营给周边环境带来不利影响。因此，本项目的实施不会对生态红线区的自然属性及海洋环境产生影响。

(5) 本项目的建设能够充分利用秦皇岛海域风能资源，对于促进整个秦皇岛地区优化能源结构、转变经济发展方式和维护良好生态环境具有重要作用。本项目建设不会影响规划功能区的功能发挥，项目对所占海域的影响主要是施工期间会造成局部海域悬浮物含量增加，但随着施工结束影响将逐渐消失；项目运营后，风电场所在区域及周边一定范围内将禁止渔业捕捞、养殖等开发活动。本项目选址避开了海洋保护区、港口航运区、特殊利用区等排他性较强的功能区，项目自身定位与海域使用也符合规划要求，综上所述，本项目建设符合《辽宁沿海经济带大连区域用海规划（2008-2020年）》。

综上所述，本项目建设符合所在区域的海洋功能区划、海洋生态红线和其他规划管控要求。

8.2 用海方式和平面布置优化合理性

本项目风机墩柱用海方式为透水构筑物，海底电缆的海方式是海底电缆管道。风机塔基采用桩基础，通过调整桩长使得基桩达到同一持力层，可保证结构受力

均匀，使用期结构沉降变形较小，而且桩基础属于透空性结构，波浪反射小，对潮流影响小，透水构筑物的用海方式可使海水正常通过，减小了对海床原有自然属性的改变，是一种影响较小的用海方式。本项目采取的用海方式对周边海域环境的影响可以接受，与周边其他用海活动能够协调，因此，本项目用海方式合理。

本项目风机墩柱用海和海底电缆管线用海，根据最终确定的工程平面布置方案和工程断面结构，各类方式用海范围的界定方法和不同用海方式用海范围重叠时的处理办法，符合《海籍调查规范》和《海上风电开发建设管理办法》的相关规定，最终确定的本项目用海总面积 282.7219 公顷是合理的。

8.3 污染物排放与控制

8.3.1 污染物排放标准

(1) 海洋养殖区禁止排污；

(2) 施工基地和集控中心施工污水排放执行《污水综合排放标准》(GB8978-1996)标准；废水回用标准执行《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2020)；

(3) 船舶污水执行《船舶水污染物排放控制标准》(GB3552-2018)和《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》；

(4) 气体污染物、噪声污染及电磁污染执行《大气污染物综合排放标准》(GB16297-2017)二级标准，《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)，《工业企业厂界噪声排放标准》(GB12348-2008)2类标准，《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014)。

8.3.2 污染物控制

8.3.2.1 施工期污染防治措施

1、海上施工的清洁生产

(1) 海上污水处理与防治措施

①作业船只产生的船舶油污水和生活污水应在船上统一收集、贮存，船只回施工基地后由港口接受设备统一收集处理，不得直接排放。

②加强施工设备的管理与养护，杜绝石油类物质泄漏，减少海水受污染的可能性。

③严格执行《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》，禁止船舶向沿海海域排放油类污染物。船舶所产生的油类污染物，含油的机舱水和污染严重的压舱水，须定期排放至岸上或水上移动接收设施，交由有资质的单位进行统一处理。

④严格管理施工期废水处理装置中隔油池的浮油，同意收集后外运处置，禁止外排。

(2) 海上固体废物污染防治措施

对于施工期产生的生活垃圾和施工固废，应用专用容器收集运至陆上统一处置。

8.3.2.2 营运期污染防治措施

本项目为风力发电项目，风机在风力带动下将风能转变为机械能，在齿轮箱和发电机作用下机械能转变为电能，生产过程中无废气、废水和灰渣等三废排放源，具有清洁生产特征。针对本工程运行期间可能对渔业生产、鸟类、声环境和电磁环境可能产生的影响，提出以下减缓和修复措施。

1、风电场降噪措施

风机噪声主要包括机械和结构噪声、空气动力噪声以及通风设备噪声。

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

(2) 风电机组的主要部件安装于机舱内部，这些部件产生的振动直接传递给机舱，引起机舱振动并辐射产生噪声。为降低风机噪声源强建议在机舱内表面贴附阻尼材料对机舱进行表面自由阻尼处理，衰减振动，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪声向外传播。

2、升压站环保措施

(1) 电磁辐射防护措施：

①选用带有金属罩壳的电气设备，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对变电站设备的金属附件，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。

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，防止和避免间隙性放电。

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，并保证电器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。

(2) 声环境保护措施：

变电站的工频电磁噪声主要来自室内的主变电器，建议主变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板，并将铝合金接地。主变电器的散热器设置在主变电室上方，采用自然通风方式进行冷，不设风扇。主变压器主体室内的设备调试结束后，将预留门洞进行封堵，留下通风百叶窗做降噪处理。

8.4 生态保护措施

8.4.1 施工期生态保护措施

(1) 为减轻工程施工建设对海域底栖生物的影响，建议：

①优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。

②严格限制工程施工区域在其用海范围内，划定施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

③当风机桩基和电缆铺设完成后，应修复水生动物栖息地，以加快生态修复。

(2) 为减轻工程施工建设对渔业资源和渔业生产的影响，建议：

①打桩、电缆铺设应避开海洋鱼类产卵高峰期。

②对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

③对施工期附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

④施工期对在该海域从事渔业生产的渔民造成的生产净收入减少。因此建议建设单位与当地渔业主管部门协商，落实对渔民的补偿。

(3) 为减轻工程施工建设对鸟类的影响，建议：

①合理安排实施施工计划，工程施工尽量避开鸟类迁徙、集群的高峰期。根据区域鸟类季节型特征分析，区域鸟类数量以春秋季节迁徙期及冬季居多，则适宜的建设时期应为夏季。

②合理选择升压变电所与电缆建设位置，减少对鸟类适宜栖息地的侵占。

(4) 施工期对项目水域开展生态环境跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

8.4.2 营运期生态保护措施

8.4.2.1 海洋生态影响减缓和修复措施

(1) 本工程实施不可避免地对海洋生态和渔业资源造成直接损害。为减少工程建设对海洋生态和渔业资源的综合影响，实施以增殖放流为主的生态修复措施，同时建议建设单位从进一步优化海洋经济结构以及持续推进海洋经济高质量发展的角度，尝试“海上风电+”新业态，从海上风电与海洋牧场融合发展、在风机塔基下部抛石区投放人工鱼礁等方向，进一步开展生态修复。

(2) 提前做好与秦皇岛市海洋和渔业局以及相关农业部门的沟通工作，及时落实施工期、运行期对渔业生产和渔业资源的损害补偿工作。

8.4.2.2 鸟类保护对策措施

为了使本工程建设对鸟类的影响降至最低，施工方和建设方应采取如下措施：

1) 严格控制施工垃圾产生的污染本工程应该按照国家规定，将废物、废水、废油等收集后交由具有相关资质部门处理，生活污水经污水接收槽车收集后处理达标后排放。以免污染鸟类生境或被鸟类误食，影响鸟类健康。

2) 严格界定施工范围，减少人为活动的干扰施工人员频繁活动一定程度影响鸟类栖息、觅食等行为，应采取以下措施，将影响降低到最小程度。

①施工开展前，加强保护区有关法律、法规及管理条例、办法等的学习，强化施工人员野生动物保护教育，增强保护意识。

②严格执法与监督力度，坚决禁止一切破坏野生动物行为发生。

③加强对施工人员进行环保、安全、防火教育，杜绝人为自然灾害的发生。

3) 严格控制光污染，最大限度地减少对鸟类迁飞的影响在鸟类迁徙期间，禁止夜间施工，特别是在秋季晚 17 时至次日 6 时、春夏季晚 19 时至次日 6 时不

得进行施工作业，不得架设高架光源。在运营期，风电场的安装光源应满足如下要求：

①风电场应安装闪烁光源。

②风机上的闪光灯应采用不同颜色搭配，最好的配置是旋转时能形成鹰眼图案，以促使鸟类产生趋避行为。

③无论是闪光灯还是其他光源，均不能使用红色闪光灯和钠蒸汽灯，因为此类光源对夜间迁徙鸟类具有吸引作用，容易扰乱夜间迁徙鸟类的迁徙活动。

4) 严格控制噪声污染，降低对鸟类的干扰

①严格执行《建筑工程施工现场管理规定》。文明施工，建立健全现场噪声管理责任制，加强对施工人员的素质培养，尽量减少人为的大声喧哗，增强全体施工人员防噪声扰民的意识。

②合理安排施工时间。合理安排施工计划和施工机械的设备组合，在鸟类迁徙期间（春季4月1日至5月30日，秋季9月1日至11月30日）严禁在黄昏至次日凌晨之间施工；高噪声作业尽可能安排在不影响鸟类取食的时段中进行，即上午8点至下午14点之间；避免在同一时间内，集中使用大型的机械设备。同时，施工单位要严格遵守《建筑施工场界噪声限值标准》（GB12532）中的规定。

③加强噪声源控制。施工中应当使用低噪声的施工机械和其他辅助施工设备，对高噪声施工机械采取必要的降噪措施，禁止使用国家明令淘汰的产生噪声污染的落后施工工艺和施工机械设备。

5) 建立鸟类监测站，制定鸟类监测计划 为保证本项目施工对鸟类的影响降至最低，以及确保各项保护措施的实施，须成立由野生动物主管部门及建设单位组成的鸟类监测站。

主要职责如下：

①实时监测项目及周边区域鸟类的种群变化；

②实时监测项目及周边区域鸟类的健康状况；

③确保各项鸟类保护措施的实施；

④确保运营期各项警示标志的布设；

⑤依据项目设计和区域鸟类生境条件制定鸟类保护目标；

⑥审核生态补偿方案，分期目标，类型目标和经费预算，确保生态补偿的实

现；

管理方法如下：

①项目建设单位要将鸟类保护工作要纳入整个运营管理过程中；在每一个环节都要注重保护意识，对保护工作定期检查。

②项目建设单位要对施工期、运营期的鸟类保护工作全面负责，定期检查，接受监测站的监督和指导。

③项目建设单位要严格执行评估书中建议的措施及对策，对施工程序和组织管理实施统一安排。

④项目建设单位对施工队伍实行鸟类职责管理，按要求施工，并对全过程的措施的实施做好检查监督。

鸟类监测计划要求如下：

①施工期监测

施工期间定期调查生态环境与鸟类资源等变动情况，分析项目建设对鸟类与生态系统的影响，为决策提供详实依据。

②运营期监测

在项目及周边区域设立永久性鸟类监测站，长期跟踪观察项目建设对鸟类的影响。获得第一手材料，为进行科学的保护与管理提供可靠的依据。内容包括：一是监测群落结构，以评估项目及周边区域鸟类群落结构的变化规律。监测评估区内珍稀濒危鸟类的种群数量的动态变化，摸清鸟类的生存方式、栖息地状况和适应环境能力。二是监测濒危鸟类，以评估珍稀濒危鸟类受项目影响的程度，及时采取对策。

③综合监测

为分析生态环境的主导影响因于对鸟类的影响，对项目区的生态环境进行综合监测，以评估生境变化对鸟类的影响，获得周边环境在本区鸟类群落形成中的作用。

8.4.2.3 风险应急预案

由于工程施工期作业船舶数量较多，可能发生与周围航行的渔船等船舶的碰撞风险，容易发生溢油风险，建议施工单位结合秦皇岛港现有可依托的溢油应急能力做好相应的应急预案，确定应急预案的物资、经费、启动条件等相应内容，

确保应急预案的有效性，将风险影响降低至最低限度。

8.5 生态环境监测计划

8.5.1 环境管理计划

(1) 施工期环境管理：

本项目环境管理工作由建设单位、监理单位和施工单位共同承担。建设单位具体负责和落实从工程施工开始至结束的一系列环境保护管理工作。对施工期工区内的环境保护工作进行检查、落实，协调各有关部门之间的环保工作，并配合地方环保部门共同作好工区的环境保护监督和检查工作。

环境监理单位承担环境保护监理工作，按照国家对建设项目环境保护管理要求，依据环境影响报告书、环境保护设计文件和合同、标书中的有关内容对施工过程中的环境保护工作进行监理，制定具体监理方案，确保落实各项保护措施、实施进度和质量。工程环境保护监理贯穿于项目施工全过程。

海底线缆和风机桩基在施工期产生一定量的悬浮物、生活污水和含油污水废水、废弃泥浆及其它施工垃圾等，对环境产生一定程度的不利影响，施工单位应严格按照环境保护有关条例规定开展施工活动。主要包括：

根据工程设计文件中有关环保内容，落实工程的环保措施和各项经费，合理安排施工时间、方式，确保将工程建设对渔业资源和鸟类的影响减到最小；确保施工期间施工废水和生活污水经处理后达标后排放；合理安排施工方式、时间，确保施工场界噪声达标；保持场地整洁，保证施工机械和车辆废气排放符合国家有关规定；做好施工人员卫生防疫工作。

委托有资质单位按照有关监测技术规范进行环境监测，定期提供监测数据和分析报告。

(2) 运行期环境管理运行期间

环境管理职能由秦皇岛海上风电场运营方承担，安排专职人员对风电场运行期环境保护工作统一管理、并配合地方环保、渔政和海事部门共同做好工程运行期环境管理包括海洋渔业资源、鸟类栖息地补偿、鸟类活动及撞机情况观测和通航安全管理等的监督和检查工作。项目生产期结束后，做好项目拆除施工的环境保护工作，对拆除造成的环境影响进行必要的修复措施，确保风机拆除不会对海域利用造成影响。

8.5.2 环境监测计划

环境监测可委托有相应资质的环境监测部门实施，技术要求按照有关环境监测规范的规定执行，以保障监测数据的可靠性。监测单位应提交有效的计量认证监测成果并提交生态环境主管部门备案。

本节内容根据项目自身特点，结合《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》(自然资办函(2022)640号)进行生态用海监测方案的制定。

8.5.2.1 海水水质、沉积物环境、海洋生态监测

为了解工程施工期桩基施工及电缆沟开挖悬浮物对海洋水质、沉积物环境、海洋生态的影响程度和范围，评价施工期海洋水质、沉积物是否满足标准要求，为施工期环境管理提供依据，对工程海域海水水质、沉积物进行跟踪监测。

1、范围及站位布设

在工程海域设置共计 20 个调查站位，其中包括水质站位 20 个、沉积物站位 10 个、海洋生态站位 12 个、渔业资源站位 12 个。调查点位布置见下图。

图 8.5-1 海水水质沉积物跟踪监测点位布置示意图

2、监测内容

水质：盐度、pH、悬浮物、油类、化学需氧量、溶解氧；

沉积物：铜、镉、铬、锌、油类、硫化物。

海洋生态环境：鸟类、叶绿素-a、浮游植物、浮游动物（含鱼卵仔稚鱼）、底栖生物、游泳动物。

3、监测频率和时间

水质和沉积物分别在施工期的春季、秋季各开展 1 次，在风电场运行开始后的两年内每年春、秋季各开展 1 次。

海洋生态分别在施工期的春、秋两季实施，运行期开始后的一年内的春、秋季实施。以及在风电场运行开始后的两年内每年春、秋季各开展 1 次，生物质量随生态监测一同进行。

8.5.2.2 冲淤环境监测

为了解和掌握本工程建设对工程海域局部流场的影响以及风机墩柱对局部冲淤环境的影响，同时为验证本评价预测的准确程度，在工程运行期对风电场海

域潮流场状况进行定期调查监测，监测内容包括：

1、风机墩柱局部冲淤监测

运行初期每年 1 次对风机墩柱局部冲淤情况进行定期监测调查，监测内容包括冲淤深（厚）度、冲淤坑（包）直径和形状等数据，在风暴潮等恶劣气象条件过后对风机墩柱局部冲淤情况进行必要的加测调查。

2、水深、淤积监测

根据《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》（自然资办函〔2022〕640 号）要求，本项目属海上风电项目用海，其冲淤监测范围为以工程外扩边界 2km 的海域，测量比例尺按照 1：5000 制图。

图8.5-2 冲淤监测范围示意图

8.5.2.3 噪声和电磁辐射监测

（1）噪声监测

为具体了解本工程风机水下噪声影响，在海上风电场施工期和运行期开展水下噪声监测。

①监测点位布设

在距离风电场单个风机约 100m 处监测水下噪声。此外在距离风场外部界线 3-4km 处进行水下背景噪声和风电噪声的综合测量。

②监测内容

噪声频带有效声压级（dB re 1 μ Pa）；噪声声压谱（密度）级；分析水下噪声时-频特性；同时测量风机营运在空气中的噪声。

③监测频率和时间

桩基基础施工期开展一次，监测打桩水下噪声。运行期选择低、中和额定风速输出时开展一次水下噪声监测。

（2）电磁辐射监测

在项目海上升压站、风机附近及海缆沿线布设工频电场、工频磁场监测点位，监测频次为项目营运期每年一次。

图8.5-3 噪声监测站位布设图

8.5.2.4 生态浮标监测方案

为了更好的了解海上风电发电运营期间所在海域水质、水文环境和生态环境的变化,建设单位需要在海上风电场址布设两套浮标式海洋生态环境在线监测系统(具体位置见图 8.5-4),浮标监测可全天候、连续、定点地观测气象、水文、生态等内容,并实时将数据传输到系统内,以便于及时、准确掌握工程海域的水文生态的现状 & 长期变化情况。

1、浮标式海洋生态环境在线监测系统组成

浮标式海洋生态环境在线监测系统服务于目标海域的实时在线监测,作为一个复杂系统,涉及结构设计、数据通信、传感器技术、能源电力技术自动控制等多个领域,是多个学科的综合与交叉。浮标式海洋生态环境在线监测系统主要由以下子系统单元组成:浮标体、在线监测传感器、供电系统、通讯系统、安保系统和信息可视化系统等模块组成。

2、主要监测因子

(1) 水质环境监测因子

水质环境监测因子主要包括:水温、pH、溶解氧、盐度、浊度、叶绿素-a、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、磷酸盐、石油类;

(2) 水文环境监测因子

水文环境监测因子主要包括:表层流速、表层流向、波高、波周期、波向。

图 8.5-4 浮标监测站位

图 8.5-5 浮标式海洋生态环境在线监测系统原理图

8.5.2.5 生态跟踪监测评价

(1) 现状评价

将上述监测数据与监测范围所涉及的国土空间规划、近岸海域环境功能区划、海洋环境保护规划中关于海洋生态和环境的管控要求指标进行比较,并对项目运营是否突破管控要求作出评价。

(2) 趋势评价

根据项目施工前和项目施工后生态本底调查数据,结合生态环境观测数据和浮标式海洋生态环境在线监测系统长期监测数据,对漂浮式光伏发电分布海域的海水水质(水温、pH、溶解氧、盐度、浊度、叶绿素-a、硝酸盐、亚硝酸盐、氨

氮、磷酸盐、石油类)、浮游生物、底栖生物、游泳生物各类指标的变化趋势进行评价。

(3) 综合评价

完成现状评价和趋势评价后,综合生态本底调查数据、各监测要素的现状评价和趋势评价结论,评价监测范围内的海洋生态和环境存在的问题和潜在的风险。

9 海域使用对策措施

9.1 区划实施对策措施

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

海洋功能区划是根据海洋不同区域的自然资源条件、环境状况和地理区位，结合海洋开发利用和社会经济发展要求等，所划定的具有特定主导功能、有利于资源合理开发利用、能够发挥最佳效益的区域，遵循着六大区划原则。同样，其管理也遵循着相应的原则，即统筹兼顾突出主导功能的原则、备择性原则、可行性原则等。

用海工程必须按照《海域使用管理法》、《海洋环境保护法》和海洋功能区划的要求，制定各项严格的管理制度和管理对策，执行海洋使用可行性论证制度、环境评价制度和环境监测制度，做好海洋环境保护和安全维护工作，保证工程对海洋环境的影响最小，对周围海洋功能区的影响最小。

为维护海域资源的可持续利用，加强海洋功能区划管理，应采取如下管理对策、措施：

(1) 应严格按照批准的海域面积进行涉海工程建设，不得擅自改变海域用途。如因自然条件改变或受到某些因素限制，如项目用海对海水动力、水质等影响预测与实际情况存在差距，如确需进行施工方案调整的，应向海洋行政主管部门申请变更登记，切实维护国家的海洋权益。

(2) 建设单位在工程建设和海域使用过程中，应严格执行《河北省海洋功能区划（2011-2020年）》中相应海洋功能区的相关海域使用管理和海洋环境保护要求。

(3) 建设单位应制定相应的管理体系和组织机构，保证从设计、施工到营

运的全过程都采取相应的环保对策措施。施工期采取有效措施控制打桩、开挖作业生产的悬浮物，运营期采取严格的生态保护措施，不得造成海洋生态环境的破坏，避免对农渔业区和渔业资源产生不利影响，并减少对周边海洋功能区的不利影响。并落实有关通航安全的管理要求，避免和减轻工程对周边海域生态及其他海洋开发活动的不利影响。

(4) 海洋功能区划管理，要注意功能区的兼容性和排他性，注意功能区自然属性的维护、功能区质量的维护、毗邻功能区的衔接保护。为保证工程安全，在工程区范围内禁止打桩、挖掘、钻孔等危害工程安全的活动，禁止各类船舶抛锚、底拖网等作业活动，以确保风机基础和海底电缆的安全。

(5) 应制定具体的海域使用监控计划，施工期建设单位应尽快安排有资质的单位进行海洋资源环境、冲淤环境等监测调查工作。运营期亦需对工程海域进行动态跟踪监测，以便有效避免因环境污染造成的纠纷和损害，减少对邻近海域功能区的影响，对确因项目建设造成的损失，要做好相关的协调和补偿工作。

(6) 严格遵守 27 年海域使用期限并接受海洋主管部门的监督管理。申请用海年限到期后，如需继续用海，则按相关法律法规依法申请；若停止续期，业主单位应按有关方案和规范拆除风电场的设施和建筑，开展风机和海底电缆等拆除的专题研究和评价，做好项目拆除施工的环境保护工作，对拆除造成的环境影响进行必要的修复措施，恢复风电场周围的生态环境，确保风机拆除不会对所在海域资源环境造成危害。

9.2 开发协调对策措施

本工程的登陆点位于山海关挡浪墙南侧，路由登陆需穿越该工程，现阶段提出采用定向钻方式施工方式穿越防波堤，具体穿堤方案还需要双方共同协商决定，必要的情况下需根据对方的意见调整现有方案，根据协商结果确定最终的穿堤方案及保护措施。建设单位已经就穿堤有关情况与秦皇岛市水务局进行了沟通，其同意本项目海缆穿越海堤并进行陆上电缆敷设施工，并出具了赞成意见的回函（附件 10）。

根据《秦皇岛港总体规划》（2022.09），本项目周边锚地有规划的西锚地、山海关锚地、油轮锚地、东锚地、20 万吨级油轮重载锚地和 20 万吨级散货船重载锚地，以及绥中 36-1 锚地、SZ1#-1 锚地和已获批但未公布的 SZ1#-2 锚地。本项

目风电场场区与其它现有锚地距离均在 2nm 以上。结合本报告 5.1.2 中针对本项目对锚地的影响分析，确定海事部门为本项目的协调部门。

2022 年，大连海事大学编制了《山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目通航安全影响研究报告》，该通航安全研究报告于 2022 年 11 月 16 日通过了专家评审会。同时项目取已经取得了《秦皇岛海事局关于山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目选址意见的复函》，其原则同意本项目选址（附件 7）。

9.3 风险防范对策措施

由于风险具有不确定性，因此，必须采取有效的防范措施，降低风险事故发生的概率，并最大限度地减少风险事故发生时可能造成的损失。

9.3.1 自然灾害风险防范对策措施

（1）工程设计应充分考虑抗灾、避灾的实际需求，提高工程的防灾、抗灾能力。如风轮、塔架、发电机、齿轮箱等设备应根据风场区域的自然条件，具有防强风、防雷、防盐雾等措施。在设计、制造时没有充分考虑到当地极端风速、风暴潮、台风等极端气象条件对风电机组的影响。

（2）风场应设立气象站，气象数据要定期采集、分析、贮存。风场运行人员每天应按时收听和记录当地天气预报，作好风电场安全运行的事故预防对策。

（3）风电场运行人员应定期巡视、检查风电机组在运行中有无异常响声、叶片运行状态、调向系统动作是否正常、电缆有无绞缠情况。发现问题及时处理。并登记在缺陷记录本上。

（4）当气候异常时应增加巡回检查内容及次数。

（5）台风具有突发性和破坏性，危害较大。因此，应通过做好台风的预报工作，当出现 50 英里/小时或大于该速度的大风天气等恶劣的天气时，由于安全的原因，设定风机自动地减速或停止以减小损失。六级以上大风天气应停止高处作业，制定极端大风天气应急预案。

（6）从设计、防雷设备选型、施工中严格控制质量，运行中加强检查和管理，防雷设施必须经有关主管部门审查和验收。做好防雷接地，确保施工安装质量。测风塔顶部应有避雷装置，定期对防雷装置进行检查。

（7）利用新材料防雷电：在叶片上翼面复合材料中加入具有良好导电性能和比重轻的碳纤维，并在叶尖部位装一个接闪器，通过电缆与叶片法兰连接，再

由轮毂通过塔架内的接地线接入地网形成雷电通道。

(8) 利用避雷网防雷电：将风电场内所有建筑工程基础和桩基间利用导电截面积足够的金属导体连接为一体形成可靠的具有低电阻接地网。

(9) 在风电机组电力电缆和通讯控制线线路上安装避雷器。

(10) 利用新技术监测雷电：叶片上嵌置光导纤维，加上综合配套的软件，对叶片的载荷、温度、潜在断裂及破坏、雷电打击等进行不间断的全天候监测，并提供适时的预警或维修警告，而无需停机检查，对风电机组实行优化运营与使用，以提高运行的可靠性和延长叶片寿命。

(11) 在变电所内装设避雷器以限制入侵雷电波的幅值，使电气设备的过电压不致于超过其冲击耐压值；在变电所的进线段上装设保护段以限制流经避雷器的雷电流幅值及入侵雷电波的陡度。

(12) 通过风电场的合理布置并采取有效的防雷击措施，使风机及电气接线和升压设备能有效抵御雷击造成的损害。

(13) 为了做好海冰灾害防范工作，应成立预防海冰灾害领导小组。制定具体的海冰灾害应急预案，细化紧急情况下的各项应急措施，最大程度减少灾害造成的损失。

(14) 单位在接到农业部和国家海洋局预报中心以及省厅、市气象局发布的有关海冰预警信息通知以后，必须在第一时间，利用广播电视、无线电台、手机短信等多种途径将预警天气信息，迅速通知海上施工人员。

(15) 海冰灾害领导小组应制定和完善海冰灾害应急预案，确保一旦发生险情及时实施有效救助。建立健全海洋灾害应急机制，利用多种渠道及时传达预警信息，对施工船舶进行跟踪监控。

(16) 要关注天气的变化，做好海冰情况的现场监测工作，另外，建议在施工之前，由设计单位加强对海冰的研究，进一步护岸等应对海冰灾害的抗风险能力。

(17) 在工程投入运行前需制订“防灾紧急避险预案”，对工程各类设施在各类灾害来临前的一切紧急避险措施做好软、硬件周密部署。

9.3.2 防冲刷措施

本工程风机设计时预留冲刷深度，并采用抛石及抛砂袋结合的防冲刷方式，

抛砂袋范围为桩中心向外半径 6.5m 范围，抛石范围为桩中心向外半径 20m 范围。风电场投入运行后应加强对风机基础局部冲刷的监测，若发生局部冲刷大于预留冲刷深度的情况，应采取其他防冲刷措施进行处理。

为进一步了解风电机组基础周边的局部冲刷情况，作为今后类似工程的参考，在风电场建成后，加强巡视与测量，了解基础周边冲刷情况，做好记录，同时若发生基础冲刷程度超过预期的情况应及时进行防护处理。建议在工程设计上，将工程海域尤其是-2~-5m 水深段海缆的埋深进一步加深。

9.3.3 防腐措施

本项目风机基础为钢结构，其防腐蚀设计应根据设计水位、设计波高，可分为大气区、飞溅区、水位变动区、水下区、泥下区，各区区别对待。

大气区的防腐蚀多采用涂层或金属喷涂层保护。大气区涂料对涂层的耐候性要求比较高，主要的面漆品种有丙烯酸聚氨酯面漆、氟碳面漆、聚硅氧烷面漆。大气区金属喷涂层可采用喷锌或喷铝。

浪溅区的防腐蚀宜采用重防腐涂层或金属热喷涂加封闭涂层保护，也可采用复合包覆技术防腐。重防腐涂料主要品种有环氧重防腐涂料、厚浆型聚氨酯涂料、玻璃鳞片涂料。浪溅区热喷涂一般采用电弧喷涂铝，电弧喷铝是一种长效防腐方式，并且修复方便、修复费用较低，但是喷铝施工应首先做好工艺试验，并采取良好封闭措施，封闭涂层局部破坏后应及时修复。复合包覆技术防腐主要有矿脂包覆防腐、玻璃钢包覆防腐、包覆耐蚀金属、包覆聚乙烯等。

全浸区的防腐蚀一般采用阴极保护和涂层联合保护。涂层可以大大降低阴极保护所需的电流密度，减小牺牲阳极的消耗或节约外加电流需要量。而采取阴极保护后也可大大提高涂层保护的效率和寿命。只是涂层和阴极联合保护时需注意涂层应具有良好的抗阴极剥离属性。几十年的工程实践表明，牺牲阳极和涂层联合防腐措施技术成熟，防腐效果好。泥下区防腐应采用阴极保护。当采用阴极保护和涂料联合防腐时，泥面以下 3m 可不采取涂料保护。

内部区的防腐蚀多采用涂层。涂层一般选用富锌底漆加环氧漆即可。本工程大气区钢结构涂层采用富锌底漆 80 μm +400 μm 环氧玻璃鳞片漆+80 μm 聚氨酯面漆；

浪溅区钢结构涂层采用 1000 μm 环氧玻璃鳞片漆+80 μm 聚氨酯面漆；

水下区钢结构涂层采用 800 μm 环氧玻璃鳞片漆，以及 AZ1 高效铝合金牺牲阳极块联合防腐。

内部区采用富锌底漆 80 μm +180 μm 环氧漆。

本工程防腐涂层施工完成后，还应进行定期检查，因物理撞击、应力集中等造成的局部破损应定期进行补涂同种规格的防腐涂层。同时，对基础结构及牺牲阳极也应进行定期检查，对阳极固定情况、阳极实际尺寸、连接电阻进行定期测量，以确保基础结构处于良好的被保护状况中。

9.3.4 火灾防范措施

应根据电站设计规范配备好消防设施、疏散通道、配备好消防人员及对电站人员进行消防安全培训，做好火灾预防、应急准备工作。

当风电机组发生火灾时，运行人员应立即停机并切断电源，迅速采取灭火措施，防止火势蔓延；当火灾危及人员和设备安全时，值班人员应立即拉开该机组线路侧的断路器。

9.3.5 防冰措施

与水下三角架防冰措施类似，单桩基础采用抗冰锥结构进行防冰。为了方便于单桩基础安装施工，抗冰锥设计为一个后灌浆套筒形式，在单桩主体钢管桩完成沉桩结束之后，将工厂中加工预先制造加工好的抗冰锥-套筒结构安装到位，通过高强灌浆料后灌浆，使之与钢管桩结构形成一个整体。该类型的抗冰锥体已在附近海域使用，取得了较好的抗冰效果。

9.3.6 通航安全对策措施

以下内容引自《山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目选址通航安全研究报告（送审稿）》，大连海事大学，2022 年 11 月。

(1)加强不良气象、水文情况预警，风电场维护船舶应严格按照风力 ≤ 6 级、浪高 $< 1\text{m}$ ，能见度 $\geq 1000\text{m}$ 的通航条件进行控制，防止工作船及工作人员在恶劣海况下发生事故。

(2)工作船往返于风电场和基地码头之间时，应注意遵守管理规定，研究、选择科学合理的线路，减少对过往船舶的影响，并正确应用船载导航设备，以保证船舶航行安全。

(3) 按照相关要求进行风电场航行警示标志配置，以提醒过往船舶注意避让。警示标志出现损坏时需及时更换，保证起到标示风电场水域的作用。同时，为帮助过往船舶更有效地发现风机，特别是浓雾等恶劣天气条件下，建议在靠外侧的风机上安装 AIS 和雷达信标。

(4) 按照相关规定，申请划定海底电缆保护区，并及时申请发布航海通告，更正海图资料，以便过往船舶及时了解风电场水域附近的变化情况，避免不必要的航行风险的产生。

(5) 风电场应配合建设相应的导助航设施，并提醒船舶及时调整航线，避开风电场水域。风电场营运时，业主单位应通过配备的 CCTV 系统配合海事部门注意对附近通航船舶进行动态监测，及时发现附近通航船舶的航行动态，提醒其注意风电场水域，确保船舶和风电场的安全。

(6) 应加快落实秦皇岛港锚地调整工作，以从整体和根本上解决风电场开发建设和秦皇岛港区锚地之间产生的相互影响。

(7) 风电场所在海域有大量渔船进行捕捞、航行作业，在捕鱼及养殖旺季，风电场周围的渔船会对该风电场的正常运营构成较大威胁，业主单位应联合海洋渔业部门，充分利用风电场自身配备的 CCTV 系统对附近的渔船进行监控，及时发现及时控制。并与相关单位联合，加大对附近水域渔民的教育和培训工作，加强对附近水域渔船的宣传和管理工作，使其对风电场水域引起足够的重视，确保渔船与风电场之间的安全。

(8) 业主单位应加大项目运维期间的安全保障设施设备投入，制定完善本风场及与水域整体相适应的运维期间管理及作业制度。提高应急反应能力，建立、完善工程相应事故的应急反应方案及搜救等机制制度，确保运维期间水域通航环境安全。

9.3.7 溢油事故防范措施

9.3.7.1 施工期溢油风险防范措施

为保证工程施工安全，防止油污事故发生，施工单位必须有水上施工经验，施工过程中需科学合理安排施工工序，周密考虑工程施工期间的安全措施，应主要包括：

(1) 工程施工期间需制订切实有效的安全管理措施和一旦发生突发性事故

的应急预案。

(2) 要加强对施工作业船舶的安全管理。参加施工作业的船舶必须经过相关的安全检查,有关人员必须经过水上作业的相关安全培训和教育,并认真落实施工作业的安全措施和发生突发情况的应急措施。

(3) 要加强工程施工期间施工区附近水域的通航环境的安全管理。需根据工程施工方案,分析工程施工对船舶通航环境的影响,提出加强施工期间水上通航秩序安全管理的对策和措施,确保工程施工和船舶通航的安全。

(4) 施工作业开工前按规定向有关海事部门申请办妥水上水下施工作业手续,申请发布有关施工作业航行通告和航行警告。

(5) 施工船进行打桩作业时,应于明易显见处,显示港口规定信号(白天显示旗号、夜间显示灯号)。

(6) 施工作业期间作业船舶应配置有效的通讯工具,指派专人守听,密切注视周围船舶动态。

(7) 施工作业船应派专人值班了望,当发现来船动向不明或危及施工船舶安全时,应立即通过扩音喇叭向来船发出警告。必要时停止施工,立即松缆避免事故的发生。

(8) 为避免工程施工船抛锚对过往船舶造成危害影响,应白天在艏悬挂经旗,夜间用探照灯向开锚锚位处水面照射。但灯光不能外射,以免影响过往船舶驾驶人员的正常了望。

(9) 当风力达到施工船舶的抗风等级前,施工船应停止施工作业,当气象预报风力超过施工船抗风等级前,应提前撤离施工现场,择地避风。

(10) 施工作业附近,应安排一艘拖轮停泊待命,以便随时出动进行应急抢救等救助工作。

(11) 由于工程施工时会短时占用航道,因此在施工作业期,施工建设单位需向海事主管机关申请划定施工作业区,设置航行警戒标,配置现场警戒船。

(12) 为确保风电场工程顺利进行和航经附近水域船舶的通航安全,施工建设单位应拟定施工期间水上交通安全维护方案,通过印制、发放宣传资料和利用报刊、广播、电视等媒体开展广泛的宣传教育,使有关航运单位、航行船舶及进出渔港的渔民,都了解工程内容、施工范围和工期等,取得社会各方面的理解、支持和配合。

(13) 认真落实施工船舶防污染措施,做好船舶残油、含油污水等污染物的接收和处置工作。施工船舶一旦发生污染水域事故,应尽力采取控制和消除污染的措施,同时向海事主管机关报告,接受调查处理。

采取上述措施后,可有效降低本工程工期碰撞、溢油事故的环境风险。溢油事故应急措施

9.3.7.2 运行期溢油风险防范措施

为防范运行期船舶碰撞及溢油事故风险,必须采取相应的安全措施以保证船舶航行和风机的安全运行。

(1) 海上风机应涂有醒目的警示色、夜间需采用灯光照射的办法。在风电场场界连线外侧考虑设置航行警示标,以警示船舶有效避让。

(2) 应设立专门机构负责警戒,安装海上风机监视系统随时掌握风电场设施水域周围的船舶航行动态。并配置有效的通讯设备,与海事主管机关随时保持通讯联系,以在发生突发事件能及时获得海事主管机的应急救援。

(3) 向海事主管机关申请发布航行通告和航行警告,提出协助进行水上安全维护申请。并在以后出版的有关海图上进行标记。

通过采取上述安全措施后,可保证船舶航行和风机的安全运行。

9.3.8 溢油事故应急措施

(1) 一旦发生环境风险事故,船方与港方应及时沟通,及时报告主管部门(生态环境局、海事局、海救中心、公安消防部门等)并实施溢油应急计划,同时要求业主、船方共同协作,及时用隔油栏、吸油材等进行控制、防护,使事故产生的影响减至最小,保证环境风险保护目标受影响的程度最小。

(2) 在采取一些必要的应急措施的同时,应迅速报溢油应急指挥中心,由中心统一指挥,进入溢油应急计划的运行。

(3) 应根据事故性质、污染程度和救助要求,迅速组织评估应急反应等级,并同时组织力量,调用清污设备实施救援,拟建工程业主应协助有关部门清除污染。

(4) 当有油类进入水体时,应第一时间紧急通知附近的养殖部门、养殖户。

(5) 应同时派出环境专业人员和监测人员到场工作,对水体污染带进行监测和分析,并视情况采取必要的公告、化学处理等措施。待溢油事故处理完毕后,

由监测人员监测采样并经过环境保护主管部门批准后方可使用。

9.3.8.1 应急计划区

本工程应急计划区主要为风电场区、电缆敷设线路附近。应急事件包括船舶碰撞、倾翻、海上升压站油品泄漏等突发性海上溢油事故。

9.3.8.2 应急指挥组织

项目公司成立船舶污染预防及事故应急指挥部（以下简称应急指挥部），指挥长由项目公司总经理担任，副指挥长由项目公司副总经理或安保部负责人担任，指挥部成员由现场指挥和各应急处置小组负责人组成。应急指挥部负责船舶污染事故上报、应急响应、支持保障和善后处理等工作。根据本工程地理位置特点，应急指挥部应服从秦皇岛海事局和秦皇岛搜救中心的统一指挥和调度。

应急指挥部按各自职责设立溢油应急处置小组：通信组、工艺组、溢油清理组、现场救护组、警戒组、后勤保障组、防火组、油污处理组。各小组主要职责包括：

通信组：负责应急指挥与事故现场的通信联络，确保应急救援指令的下达和现场各种信息的反馈及通信的畅通。

工艺组：及时关闭相关阀门，控制溢油源，防止事故进一步扩大。

溢油清理组：做好溢油堵截围控工作，回收泄漏油品，对溢油现场进行清理。

现场救护组：做好伤病员的接受和医疗，提供现场进行救护等。

警戒组：保持交通畅通，注意现场警戒，实行隔离，注意溢油漂移动向，并及时向指挥部报告。

后勤保障组：提供应急所需的器材、材料及生活用品，保障应急电力供给，负责应急设备的维修。

防火组：防止火灾发生，一旦发生火灾立即实施灭火应急计划。

油污处理组：负责处置油污物的工作，防止二次污染。

9.3.8.3 溢油事故的应急预案

（1）溢油应急预案

为保护工程海域生态环境和资源，防治船舶及其相关作业造成的溢油污染损害，保护社会公共利益，保障人命健康，建立船舶碰撞事故应急预案系统。

应急计划是在紧急情况下，有关人员应采取的应变措施。溢油风险事故发生后，能否迅速而有效地做出溢油应急反应，对于控制污染、减少污染损失以及消除污染等都起着关键性的作用。建设单位应制定可操作的溢油应急行动计划，应急计划主要包括如下几个方面：

溢油应急指挥组织。该组织应由建设单位生产管理部门、公安、消防、环保、卫生防疫、安监等职能部门组成，并确定事故应急领导小组，组长应由主管人员担任并全面负责。

溢油联络机构。应建立相应的快速灵敏的报警系统和联络系统，以便发生事故时及时进行抢险作业。

溢油作业队伍的建设。确立各种事故的抢险人员体系，并登记保存于计算机系统，同时应对抢险人员作定期培训和演练的计划，以确保关键时候发挥其主力军作用。

（2）溢油处置预案

1) 抢险指挥部：一旦接到报告，应迅速做出反应，内容包括：

①按抢险方案调配人员、物资到位，迅速投入抢险。

②立即调动海上应急抢险队伍到达指定海域，布设围油栏和收集落海油污。并将收集的油污卸到处理场进行处理。

③立即向有关单位通报事故内容(包括：事故的大致原因、溢油数量、位置等)。如需争取外单位海上或空中支援，由职能部门负责对外联系。

④通报市、区环保检测部门，随时向有关领导汇报污染状况。

⑤调动消防力量及其他应急抢险人员，到达指定位置。

⑥技术负责人员接事故报告后，立即赶赴现场。负责消防器材、环保设施、抢险物资的调配、发放，所需设备设施保障，物资调配，电力保障。与抢险物资供应商联系，确保抢险物资的供给。协助现场抢险指挥组织应急抢险处理及应急抢险突击分队任务的分派，按公司指挥部指令，向市、区环保部门报告。

⑦绝对保证通讯系统的畅通无阻，保证抢险所需资金。

2) 应急抢险队伍

对所有人员进行抢险应急培训，建立海上抢险队伍，保证在发生溢油事故后能够及时反应，采取适当的抢险措施。

一旦突发事故造成污染物排海，应迅速做出反应，一方面尽快向有关部门汇

报，并组织事故现场监测和调查，另一方面应同时尽快实施污染物回收、消除等有效措施，以减少污染损害。

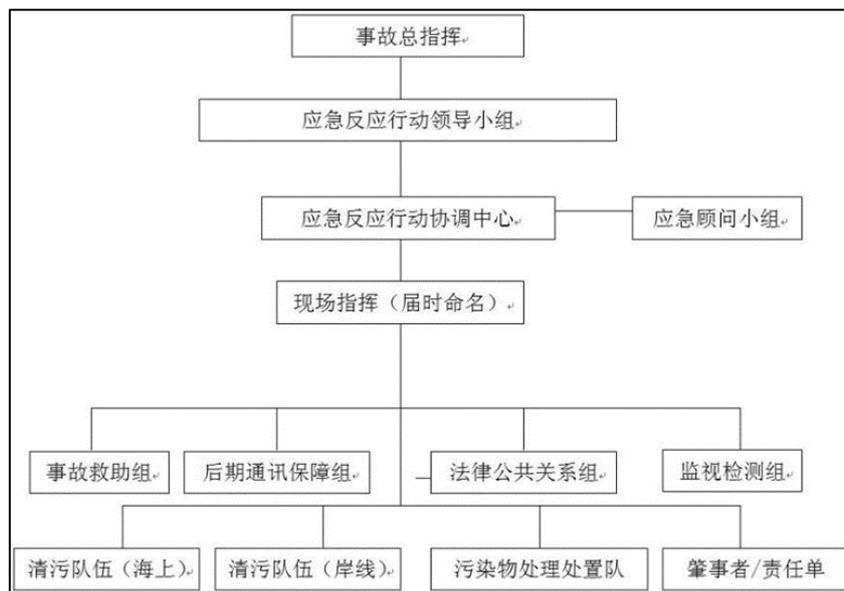


图 9.3-1 事故应急预案框图

3) 火灾爆炸事故应急处置预案

内容应包括：要求船方按“应急部署表”的要求进行自救。首先抢救遇险人员，向上风转移，或向上风疏散；向当事船舶了解失火原因、火势、失火部位、所载货物、人员情况及救助请求；按救助方案通知有关消防救助力量赶往现场施救。向安全地点或上风疏散对周围有危险的船舶；组织现场维护、指挥，实施交通管制，布置船舶对现场水域进行警戒；指挥船舶使起火部位位于下风，要综合考虑下移上漂的影响；做好封舱，利用速闭装置关闭应关闭的阀门和天窗，同时利用船上的消防灭火系统和灭火器灭火，船方要迅速启动消防泵，迅速调集有关灭火材料和器材；施救船舶必须具备良好的防火防爆设备，保障自身安全，尽量从上风靠近。

9.3.8.4 事故应急救援关闭程序与恢复措施

整个应急处置和救援工作完成后，即溢油现场得到控制，事件条件已经消除；油品的泄漏或释放已降至规定限值以内；事件所造成的危害已被彻底消除，无续发可能；事件现场的各种专业应急处置行动已无继续的必要；采取了必要的防护措施已能保证公众免受再次危害，并使事件可能引起的中长期影响趋于合理且尽量低的水平。经现场指挥提议、领导小组批准，由现场指挥宣布解除应急状态，并发布有关信息。

9.3.8.5 应急培训计划

对员工进行应急救援和应急响应培训，同时对社区或周边人员进行应急响应知识的宣传。

定期进行应急演练，一旦遇到突发风险事故，可迅速展开应急抢险，及时控制事态发展和蔓延，降低风险损失。

9.3.9 运行期变压器油泄露防范措施

变压器油是天然石油中经过蒸馏、精炼而获得的一种矿物油，是石油中的润滑油馏份经酸碱精制处理得到纯净稳定、粘度小、绝缘性好、冷却性好的液体天然碳氢化合物的混合物。俗称方棚油，浅黄色透明液体，相对密度 0.895。凝固点 $<-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，比热容约为 0.5（卡/克*度）主要由三种烃类组成，主要成分为环烷烃（约占 80%），其它的为芳香烃和烷烃。变压器油的泄漏会导致周围土壤、海洋环境受到污染，处理不当甚至可能发生火灾等事故。

为避免变压器油泄漏对环境产生影响，要求做到以下防护措施：变压器检修及处理渗漏时，应选择耐高温、耐油性能良好的密封件；选择质量高的蝶阀；对于变压器因铸造留下来的气孔、砂眼，焊缝、焊点出现的虚焊、脱焊、裂纹者，可用电焊进行堵漏；规范密封件更换工艺；提高安装工艺水平，杜绝因安装方法不当造成的渗漏。此外，针对可能泄漏的变压器油，本工程主变下设主变油坑，并设置总事故油池，可满足变压器油发生泄漏时的临时贮存要求。

9.3.10 海冰事故防范措施

（1）为减小海冰带来的危害，本项目选择在桩腿上的冰磨蚀区安装正、倒锥组合体抗冰结构，以减小冰荷载。当冰排作用于锥体斜面时，冰排上产生径向和环向裂纹，冰排主要以弯曲模式破坏。

（2）为做好海冰灾害防范工作，还应成立预防海冰灾害领导小组，可由风暴潮应急抢险防护小组兼任，明确领导小组的工作任务和责任。制定具体的海冰灾害应急预案，细化紧急情况下的各项应急措施，最大程度减少灾害造成的损失。

（3）建设单位在接到农业部和国家海洋预报中心以及省厅、市气象局发布的有关海冰预警信息通知以后，必须在第一时间内，利用广播电视、无线电台、手机短信等多种途径将预警天气信息，迅速通知海上施工人员。

（4）海冰灾害领导小组应制定和完善海冰灾害应急预案，确保一旦发生险

情及时实施有效救助。建立健全海洋灾害应急机制，利用多种渠道及时传达预警信息，对施工船舶进行跟踪监控。

(5) 要关注天气的变化，做好海冰情况的现场监测工作，另外，建议在施工之前，由设计单位加强对海冰的研究，进一步护岸等应对海冰灾害的抗风险能力。

9.4 监督管理对策措施

海域使用的监控、跟踪、管理是实现国有海洋资源有偿、有度、有序使用的重要保障。针对本项目的用海特点，应进行以下监控、管理对策与措施：

(1) 海域使用面积跟踪和监控

建设单位要确实按照批准的用海界限实施工程用海，并接受海洋行政主管部门对所使用的海域面积进行跟踪和监控，严禁超范围用海和随意改变用海活动范围的现象。

(2) 海域使用用途的跟踪和监控

按照《海域使用管理法》第二十八条的规定，“海域使用权人不得擅自改变经批准的海域用途；确需改变的，应当在符合海洋功能区划的前提下，报原批准用海的人民政府批准。”海洋行政主管部门应当依法对海域使用的性质进行监督检查，发现违法行为应当依据《海域使用管理法》第四十六条执行。

(3) 海域使用的监督管理

项目在施工及运营期间应严格遵守海域使用范围，即自然资源主管部门审批海域范围、位置和面积，同时接受自然资源主管部门定期与不定期的监督检查；根据法律法规和自然资源主管部门的要求，定期或不定期向主管机关报告海域使用情况和所使用海域自然资源、自然条件和环境状况，当所使用海域的自然资源 and 自然条件发生重大变化时，应及时报告自然资源主管部门。

项目建设单位在初设阶段应该就项目拟建设海域的冲淤环境特征进行详细的研究，以便优化桩基防护方案，集约节约用海；若经研究表明该海域为冲淤动态平衡或为淤积型海域，建设单位应及时调整桩基抛石基础的防护方案，并向海洋主管部门申请用海面积减小，配合海洋主管部门做好用海面积减小变更的相关工作和手续。

(4) 海域环境的监督管理

海域使用监控与管理的主要目的是实现海域资源的合理开发利用，维护海域国家所有权和海域使用权人的合法权利，建立“有序、有度、有偿”的海域使用新秩序，实现海洋生态环境和海域资源的可持续利用。监控与管理的原则为：海域使用国家所有的原则，统一管理和部门分级管理相结合原则，鼓励开发利用发展经济的原则，海洋生态效益原则，可持续原则，综合效益原则。

1) 该工程建设过程中对海洋生物栖息地造成不可恢复的影响。施工作业会对海洋生物栖息地造成破坏，但应当尽可能防止超出施工范围。

2) 在施工作业时，为防止悬浮泥沙对海域的污染，施工机械尽量减少对水底泥层的较大扰动，同时加强施工管理，防止造成不必要的污染。

3) 施工过程中采取控制有效手段减少对水体的扰动和悬浮物的发生量，从而减轻对水生生物的影响。同时，应主动采取增殖放流等生态补偿措施，以促进生态环境的恢复。

4) 尽量减少在渔业生殖季节进行作业。同时，应对整个施工进行合理规划，尽量缩短工期，以减轻施工可能带来的海洋生态环境影响。

(5) 生态用海监督管理

项目建设和运营中的生态用海相关事宜，建设单位应在开工之前向海洋主管部门报备相关计划，以便于海洋主管部门进行项目生态用海的全过程监督管理。

1) 项目建设完成后，建设单位对项目建设占用及施工影响造成的生物资源损失采取增殖放流措施进行生物资源的修复；

2) 项目建设和运营期间，项目建设单位按照本报告提出的生态用海管控措施以及《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》（自然资办函〔2022〕640号）的相关要求，做好生态用海监测工作。

10 结论与建议

10.1 结论

10.1.1 项目用海基本情况

山海关风电一期 500 兆瓦评价示范项目用海类型为“工业用海”（一级类）中的“电力工业用海”（二级类），用海方式为透水构筑物（风电机和海上升压站）和海底电缆管道（220kV 海底电缆和 35kV 海底电缆）。本次申请用海总面积 282.7219hm²，其中透水构筑物用海面积为 56.9563hm²（风机基础 53.8257hm² 和海上升压站 3.1306hm²），海底电缆管道用海 225.7656hm²（35kV 海底电缆使用总面积为 192.3529hm²，220kV 海底电缆使用总面积为 33.4127hm²）；申请用海期限为 27 年。

10.1.2 项目用海必要性结论

本项目的开发建设恰逢国家发展建设海上风电的良好机遇，有利于调整电网、电源结构，促进风电产业发展，促进“双碳”指标的达成。同时，海上风电市场开发前景良好，经济和环境效益明显，能有效拉动地方经济的增长，因此，本海上风电场的建设和用海是十分必要的

10.1.3 项目用海资源环境影响分析结论

施工期水环境影响主要来自工程风机桩基础施工、海底电缆沟槽开挖时产生的悬浮物、电缆登陆段开挖产生的废渣、施工期的污水（主要包括船舶油污水、登陆点施工的泥沙废水和混凝土拌和水以及施工人员生活污水）等。由于施工污水废水量较小且较为分散，带来的影响是局部的、短期的和可逆的，影响较小，一旦施工结束，影响即可消除。

工程施工期间对工程附近工业与城镇用海区、港口航运区、渔业区海水水质产生了一定程度的影响，但对其造成的悬浮物影响是暂时的，随着海缆施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内（和海流流速、泥沙沉降特性等有关）迅速衰减背景浓度值，在施工结束后不会影响所涉及海洋功能区功能的发挥。

工程施工过程会造成沉积物悬浮，工程海域沉积物质量较好，所有评价因子均达到《海洋沉积物质量》一类标准，施工除对海底沉积物产生部分分选、位移、

重组和松动外，没有其它污染物混入，因此，不会对工程区域沉积物环境造成不良影响。

施工期由于大型施工船舶在工程海域集结，施工船舶将产生生产废水、生活污水和垃圾等，本项目施工活动产生的生产废水、生活污水和垃圾等均得到妥善处理，不直接排海，对海洋沉积物环境基本没有影响。

本工程海底电缆均为金属铠装屏蔽电缆，电缆外层的金属屏蔽层和铠装层可以有效地屏蔽电缆带电芯线在周围所产生的电场。但是电缆芯线中的电流所产生的磁场却不能为其外层金属屏蔽层有效地屏蔽。类比附近其他滩涂潮间带风电场，电缆在滩涂处可能造成的磁感应强度最大约为 $1 \mu\text{T}$ 。不会对路由海域电磁场环境造成明显影响。

工程施工引起的悬浮泥沙降低局部海域的海洋初级生产力，可能造成浮游植物生物量的减少，从而可能引起以浮游植物为饵料的浮游动物生物量、渔业资源量相应减少。由于工程风机基础、电缆沟等建设占用部分滩涂海域，造成所占用海域内潮间带底栖生物丧失以及滩涂水产养殖面积减少和产量下降。工程施工结束后采用人工放流当地生物地措施进行水生生物恢复与补偿，海域生态环境将逐渐恢复。

由于本工程风机行列间距较大，且运行期采用非封闭式的管理方法，因此，除风机基础外的其余海域仍可用于滩涂水产养殖，通过加强与水产养殖单位的沟通，可以提高海域的综合利用率。除工程临时占用的部分潮间带生境在施工结束后需恢复外，工程运行期对海洋生态环境影响不大。

运行期风电场夜间距离轮毂 500m 外噪声小于 45dB (A)，能满足 1 类功能区标准要求，建议以风电场外围风机轮毂为起点，水平距离 492m 为噪声防护距离，该防护距离范围内不宜建设声环境敏感建筑。同时由于本工程风电场区离岸较远，周围无声环境敏感目标分布，因此，风机噪声对周围环境影响不大。

升压站的噪声主要来自室内的主变压器，电抗器和屋外配电装置等电器设备所产生的电磁设备噪声。由于本工程升压站位于海上，周围无居民居住点等声环境敏感目标，因此升压站运行不会对周边声环境产生实质性不利影响。

对本区鸟类的影响包括两方面：一是风电场对本区活动的鸟类会产生驱离作用，二是因为水生生物多样性增加，使本区鸟类食物增多，加之增压站等非运动设施的建设，为鸥类等大宗鸟种提供了停栖的场所，从而改变了本区的鸟类群落

结构，最明显的效应可能是鸥类活动会增多。

1) 施工期影响

该海域日常海上交通中，客船、货船、渔船等各类船只活动数量多，频率大，因此，鸟类已经对过往的船只和人为活动习以为常，所以本项目交通运输等船只活动不会对本区活动的鸟类造成明显影响。

噪声主要来源于陆域施工噪声和施工船舶噪声。本区域施工场地距离鸟类繁殖地较远，由于施工机械噪声昼间影响范围为 100m 以内，夜间影响范围为 800m 以内。所以，施工期噪声对繁殖地鸟类影响极小，对迁飞路过的鸟类会造成趋避效应，使得路过的鸟类远离该区，由于海域开阔，故噪声不会对迁飞路过的鸟类产生明显影响。

2) 运营期对鸟类的影响

巨大的风电机方阵，可能会对夜间低飞迁徙的鸟类构成威胁。但是鸟类对风电场有避让能力，就本项目而言，其场址仅有零星鸟类个体飞行通过，也不处于鸟类集中分布区或其附近，且风机高度在鸟类迁徙高度之下，所以对迁徙鸟类影响不大。

本项目运营期所产生的噪声主要来源于风机叶片扫风所产生的噪声和机组内部机械运转产生的噪声。风机运行和实测的数据显示，单台风机声功率级在 85~100dB。由于多数水禽对运行物体及其噪声具有高度敏感性，因而，风机的运行的噪声具有警示作用，令附近鸟类进行避让。

本项目灯光不是很多，且本区活动的鸟类数量较少，所以光源对鸟类的主要作用是警示作用，对鸟类迁飞就不会产生明显影响。

10.1.4 海域开发利用协调分析结论

本工程的登陆点位于山海关挡浪墙南侧，路由登陆需穿越该工程，现阶段提出采用定向钻方式施工方式穿越防波堤，建设单位已经就穿堤有关情况与秦皇岛市水务局进行了沟通，其同意本项目海缆穿越海堤并进行陆上电缆敷设施工，并出具了赞成意见的回函。

根据《秦皇岛港总体规划》(2022.09)，本项目周边锚地有规划的西锚地、山海关锚地、油轮锚地、东锚地、20 万吨级油轮重载锚地和 20 万吨级散货船重载锚地，以及绥中 36-1 锚地、SZ1#-1 锚地和已获批但未公布的 SZ1#-2 锚地。本项

目风电场场区与其它现有锚地距离均在 2nm 以上。2022 年，大连海事大学编制了《山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目通航安全影响研究报告》，该通航安全研究报告于 2022 年 11 月 16 日通过了专家评审会。同时项目取已经取得了《秦皇岛海事局关于山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目选址意见的复函》，其原则同意本项目选址。

10.1.5 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析结论

项目位于《河北省海洋功能区划（2011-2020 年）》的秦皇岛市港口航运区（2-3）、山海关保留区（8-1）和山海关工业与城镇建设区（3-1）内，项目建设符合《河北省海洋主体功能区规划》《河北省海洋生态红线划定方案》《河北省海洋生态环境保护“十四五”规划》《“十四五”可再生能源发展规划》等规划。

10.1.6 项目用海可行性结论

项目建设对于改善电网的电源结构，推动河北省秦皇岛市海上风电事业发展，开发可再生能源具有积极意义。其建设符合国家能源发展战略及产业政策，亦符合《河北省海洋功能区划（2011-2020 年）》，符合《河北省海洋主体功能区规划》《河北省海洋生态红线划定方案》等相关规划。项目用海对周边海域资源环境的影响可接受。项目选址、平面布置、用海方式和用海面积合理，用海期限符合相关法律和实际需求。项目建设与周边其他用海活动可协调，在妥善处理利益相关者关系，切实落实报告书提出的海域使用管理对策措施和风险应急对策措施的前提下，从海域使用角度考虑，本项目用海可行。

10.2 建议

（1）建议建设单位协调好利益相关者的关系。在保证安全、顺利施工的同时，协调好与渔业捕捞、养殖、港口等用海活动的关系，促进海洋资源的综合利用。

（2）建设单位应制定相应的管理体系和组织机构，严格按照工程设计、施工工艺和施工计划，合理安排工程建设时段，从设计、施工到营运的全过程采取相应的环保对策措施，避免和减轻工程对周边海域生态及其他海洋开发活动的不利影响。

（3）建设单位应制订“防灾紧急避险预案”，合理安排施工作业，避免船舶

碰撞引发溢油事故，制定船舶溢油应急预案，落实应急设施。

（4）建议建设单位，严格落实通航安全报告中提出的各项通航安全保障措施。

（5）建设单位应在协调落实利益相关者提出的各项要求的前提下，方可开工建设。

（6）项目建设完成后，建设单位对项目建设占用及施工影响造成的生物资源损失采取增殖放流措施进行生物资源的修复；项目建设和运营期间，项目建设单位按照本报告提出的生态用海管控措施以及《自然资源部办公厅关于进一步规范项目用海监管工作的函》（自然资办函〔2022〕640号）的相关要求，做好生态用海监测工作。

资料来源说明

引用资料

(1)《山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目预可行性研究报告》，中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司，2022 年 11 月；

(2)《山海关海上风电场区海域渔业资源现状调查报告（秋季）》，青岛卓建海洋工程勘测技术有限公司，2022 年 11 月；

(3)《山海关海上风电场区海域海洋环境现状调查报告（秋季）》，青岛卓建海洋工程勘测技术有限公司，2022 年 11 月；

(4)《山海关海上风电场区海域水文泥沙观测分析报告（秋季）》，青岛卓建海洋工程勘测技术有限公司，2022 年 11 月；

(5)《山海关海上风电(一期)项目通航安全研究报告（讨论稿）》，大连海事大学，2022 年 10 月。

现场勘查记录

现场勘查记录表

项目名称：山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目				
序号	勘查情况			
1	勘查人员	李胜、纪建红、席荣阁	勘查责任单位	海域海岛环境科技研究院（天津）有限公司
	勘查时间	2022 年 10 月 19 日	勘查地点	秦皇岛市山海关海域
	勘查内容	项目现场、利益相关者调查、项目基础资料收集、用海权属概况		
	勘察工具	大疆 Mavic2Zocm 无人机		
				
登陆点				
项目负责人	李胜	技术负责人	高心同	

附件

附件 1 海域使用论证工作委托书

附件 2 海域使用论证内部技术审查意见

海域海岛环境科技研究院（天津）有限公司 论证报告内部技术审查意见

根据《关于进一步加强海域使用论证工作的若干意见》（国海管字[2009]200号）、《自然资源部关于规范海域使用论证材料编制的通知》（自然资规〔2021〕1号）及《自然资源部办公厅关于进一步做好海域使用论证报告评审工作的通知》（自然资办函[2021]2073号）的要求，我公司生产与技术委员会组织专家对“山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目海域使用论证报告书（内审稿）”进行了内部技术审查。经认真审查，认为报告书编制符合《海域使用论证技术导则》的要求，内审专家就项目论证等级、论证范围及论证重点，项目建设内容与方案，项目建设必要性，用海资源环境概况及资源环境影响，利益相关者界定及协调方案的可行性，国土空间规划及相关政策规划符合性，用海合理性，生态建设内容等方面提出了修改意见。论证项目组根据内审专家意见对“报告书”（内审稿）进行了认真修改补充，并提交了修改情况说明，内审组对“报告书”（内审修改稿）修改情况进行了确认，认为项目组对内审意见进行了较全面的修改，符合送审要求，现已通过单位内部审查。同意项目组将山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目海域使用论证报告书（送审稿）提交评审。

序号	内审意见	修改说明
1	进一步分析项目用海与海洋功能区划的符合性分析	已经按照内审意见在6.1.2中补充完善
2	完善项目选址合理性分析	已经按照内审意见，根据选址报告在7.1.5中补充完善
3	进一步完善生态用海监测计划	已经按照内审意见要求在8.5中补充完善生态用海监测计划
4	补充收集鸟类监测数据，进一步完善项目建设对鸟类资源及生境的影响	已经按照内审意见要求在3.5中补充鸟类资料，在4.6中进一步完善了项目建设对鸟类资源及生境的影响分析

技术负责人（签字）：

2022年11月10日

附件 3 秦皇岛市海洋和渔业局关于支持山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目用海选址意见的函

附件 4 秦皇岛市发改委关于支持山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目开展前期工作的函

附件 5 山海关区人民政府向靶场（中国人民解放军 93581 部队）征求意见的函

附件 6 靶场（中国人民解放军 93581 部队）函复意见

附件 7 秦皇岛海事局关于山海关海上风电一期 500 兆瓦平价示范项目选址意见的函

附件 8 秦皇岛市海洋和渔业局关于征求秦皇岛港总体规划中锚地布局方案意见的函

附件 9 秦皇岛海事局关于秦皇岛港总体规划中锚地布局方案意见的复函

附件 10 秦皇岛市水务局关于同意本项目海缆穿堤的函

附件 11 秦皇岛市生态环境局关于同意本项目建设的函

附件 12 秦皇岛市应急管理局关于同意本项目建设的函

附件 13 秦皇岛市自然资源和规划局关于同意本项目建设的函

附件 14 秦皇岛市林业局关于同意本项目建设的函

附件 15 秦皇岛市旅游和文化广电局关于同意本项目建设的函

附件 16 秦皇岛市自然资源和规划局经济技术开发区分局关于同意本项目海缆路由的意见

附件 17 秦皇岛市自然资源和规划局经济技术开发区分局关于陆地集控站的选址意见