

明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目  
海域使用论证报告书  
(公示稿)



## 论证报告编制信用信息表

| 论证报告编号  | 4415022023000708   |  |   |
|---|--------------------|--|---|
| 论证报告所属项目名称  | 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目   |  |   |
| <b>一、编制单位基本情况</b>   |                    |  |   |
| 单位名称  | 广东海兰图环境技术研究有限公司    |  |   |
| 统一社会信用代码  | 91440101MA59KQLF0D |  |   |
| 法定代表人   | 吕建海                |  |   |
| 联系人   | 麦晓敏                |  |   |
| 联系人手机   | 13682240015        |  |   |
| <b>二、编制人员有关情况</b>   |                    |  |   |
| 姓名  | 信用编号               | 本项论证职责   | 签字  |
| 詹凤娉   | BH000297           | 论证项目负责人  |    |
| 詹凤娉   | BH000297           | 1. 概述<br>2. 项目用海基本情况<br>7. 项目用海合理性分析<br>9. 结论与建议         |    |
| 李舒敏   | BH000294           | 3. 项目所在海域概况<br>5. 海域开发利用协调分析<br>6. 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析 |   |
| 姜惠吟   | BH002271           | 4. 项目用海资源环境影响分析<br>8. 海域使用对策措施<br>10. 报告其他内容             |  |
| <p>本单位符合海域使用论证有关管理规定对编制主体的要求，相关信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密，如隐瞒有关情况或者提供虚假材料的，愿意承担相应的法律责任。愿意接受相应的信用监管，如发生相关失信行为，愿意接受相应的失信行为约束措施。</p> <div style="text-align: right; margin-right: 100px;"> <span style="font-size: small;">承诺主体(公章):</span>  <br/> <span style="font-size: small;">2023年3月24日</span> </div> |                    |  |   |



ISO 9001

## 质量管理体系认证证书

证书编号: CTC04921Q00235R1S

广东海兰图环境技术研究有限公司

注册地址: 广东省广州市天河区高新技术产业开发区首期工业园建中路 62 号六楼  
办公地址: 广州市广州大道南 448 号财富大厦 1506-1508 房  
统一社会信用代码: 91440101MA59KQLF0D

根据贵组织的申请,本公司依据《质量管理体系要求》  
(GB/T19001-2016/ISO9001:2015)规定实施认证审核,经评定符合要求,  
特此发证。质量管理体系覆盖范围为:

仅限明阳汕尾红海湾二期海上风电  
场项目使用

首次发证日期: 2018 年 02 月 05 日

证书换证日期: 2022 年 03 月 10 日

证书有效日期: 2021 年 02 月 04 日至 2024 年 02 月 03 日

上述范围若涉及行政许可前置审批,强制性认证,本证书仅覆盖被许可范围。证书范围内的产品及服务,证书有效期内,获证组织须按 CTC 规定接受年度监督,如因合格标识,证书方为有效。本证书信息可在国家认监委认可监督管理委员会官方网站 ([www.cnca.gov.cn](http://www.cnca.gov.cn)) 上查询。



第二次监审合格  
标识加贴处



谭伟峰  
董事长

广东质检中诚认证有限公司

地址: 中国广东省广州市黄埔区科学城科学大道 10 号 226 房 邮编: 510670  
电话: 020-89232333 传真: 020-89232078  
网址: <http://www.qtcctc.org>





# 乙级测绘资质证书

乙级：工程测量、海洋测绘、界线与不动产测绘。\*\*\*

## 专业类别：

单 仅限明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目使用

注册地址：广州市南沙区珠江管理区发展路一巷3号二层293房

法定代表人：吕建海

证书编号：乙测资字44505356

有效期至：2026年12月1日



发证机关（印章）  
广东省自然资源厅  
审批专用章  
2021年12月2日

No. 027183

中华人民共和国自然资源部监制

## 关于《明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目海域使用论证报 告书》公示删减内容及理由的说明

根据《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)相关要求,我司对《明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目海域使用论证报告书》予以公示。

在报告中,部分相关水文环境现状调查资料、海洋环境现状调查资料、项目部分设计资料、所在海域水深资料、地质勘察资料等涉及第三方技术秘密及商业秘密,信息不能全文公开,制作去除上述信息的论证报告公开版,进行公示。现将删除处理内容说明如下:

1.删除处理部分项目设计资料。

原因:影响第三方商业秘密。

2.删除处理相关基础材料的编制单位信息。

原因:影响第三方商业秘密。

3.删除处理部分水文环境现状调查资料、海洋环境现状调查资料及生物种类名录、现场踏勘记录。

原因:此部分内容涉及监测单位和委托单位的商业秘密。

4.删除项目工程地质勘察、地形地貌的部分图件及数据。

原因:此部分内容属于项目建设的涉密部分。

5.删除周边用海项目权属信息。

原因:此部分内容涉及第三方商业秘密。

6.删除资料来源说明及附件内容。

原因:此部分内容涉及用海单位、利益相关者及有关管理部门的管理要求,未经同意不允许公开。



# 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 .....       | 2  |
| 1.2.2 相关规划和区划 .....    | 4  |
| 1.2.3 技术标准和规范 .....    | 5  |
| 1.2.4 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  |
| 2 项目用海基本情况 .....       | 9  |
| 2.1 用海项目建设内容 .....     | 9  |
| 2.1.1 项目基本情况 .....     | 9  |
| 2.1.2 工程建设内容及规模 .....  | 9  |
| 2.2 平面布置和主要结构、尺度 ..... | 10 |
| 2.2.1 平面布置 .....       | 10 |
| 2.2.2 结构及设计尺度 .....    | 14 |
| 2.3 项目主要施工工艺与方法 .....  | 17 |
| 2.3.1 施工工艺及方法 .....    | 17 |
| 2.3.2 施工设备 .....       | 30 |
| 2.3.3 施工进度计划 .....     | 32 |
| 2.4 土石方平衡 .....        | 33 |
| 2.5 项目申请用海情况 .....     | 33 |
| 2.6 项目用海必要性 .....      | 35 |
| 2.6.1 项目建设必要性分析 .....  | 35 |
| 2.6.2 项目用海必要性分析 .....  | 36 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 3 项目所在海域概况 .....            | 37  |
| 3.1 自然环境概况 .....            | 37  |
| 3.1.1 气候特征 .....            | 37  |
| 3.1.2 海洋水文动力特征 .....        | 38  |
| 3.1.3 地形地貌与工程地质 .....       | 83  |
| 3.1.4 自然灾害 .....            | 106 |
| 3.1.5 海洋水质环境质量现状调查与分析 ..... | 107 |
| 3.1.6 海洋沉积物质量现状调查与分析 .....  | 120 |
| 3.1.7 海洋生物质量现状调查与分析 .....   | 124 |
| 3.2 海洋生态概况 .....            | 127 |
| 3.2.1 调查项目 .....            | 127 |
| 3.2.2 采样及分析方法 .....         | 127 |
| 3.2.3 评价方法 .....            | 130 |
| 3.2.4 海洋生态调查结果与评价 .....     | 132 |
| 3.2.5 渔业资源 .....            | 154 |
| 3.3 自然资源概况 .....            | 177 |
| 3.3.1 港口资源 .....            | 177 |
| 3.3.2 航道资源 .....            | 178 |
| 3.3.3 锚地资源 .....            | 180 |
| 3.3.4 滨海旅游资源 .....          | 181 |
| 3.3.5 风能资源 .....            | 181 |
| 3.3.6 “三场一通道”分布情况 .....     | 182 |
| 3.4 开发利用现状 .....            | 184 |
| 3.4.1 社会经济概况 .....          | 184 |
| 3.4.2 海域开发利用现状 .....        | 186 |
| 3.4.3 海域使用权属现状 .....        | 188 |
| 4 项目用海资源环境影响分析 .....        | 190 |
| 4.1 项目用海环境影响分析 .....        | 190 |
| 4.1.1 对水文动力环境的影响分析 .....    | 190 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 4.1.2 地形地貌及冲淤环境影响预测与评价 .....     | 217 |
| 4.1.3 对水质环境影响分析 .....            | 221 |
| 4.1.4 对沉积物环境影响分析 .....           | 227 |
| 4.2 项目用海生态影响分析 .....             | 228 |
| 4.2.1 施工期生态影响分析 .....            | 228 |
| 4.2.2 运营期生态环境影响 .....            | 235 |
| 4.3 项目用海资源影响分析 .....             | 247 |
| 4.3.1 项目用海对岸线资源和海洋空间资源的影响 .....  | 247 |
| 4.3.2 海洋资源损耗分析 .....             | 247 |
| 4.4 项目用海风险分析 .....               | 250 |
| 4.4.1 用海风险识别 .....               | 250 |
| 4.4.2 溢油事故预测分析 .....             | 260 |
| 4.4.3 项目用海风险对资源环境影响分析 .....      | 264 |
| 4.4.4 项目用海风险对周边海域开发活动的影响分析 ..... | 267 |
| 4.5 对通航环境的影响分析 .....             | 267 |
| 4.5.1 通航风险分析 .....               | 267 |
| 4.5.2 本项目对交通组织的影响分析 .....        | 269 |
| 4.5.3 通航影响缓解措施 .....             | 270 |
| 5 项目用海对海域开发活动的影响 .....           | 271 |
| 5.1 项目用海对海域开发活动的影响 .....         | 271 |
| 5.1.1 对航路的影响分析 .....             | 271 |
| 5.1.2 对邻近海上风电项目的影响分析 .....       | 272 |
| 5.1.3 对海底光缆的影响分析 .....           | 272 |
| 5.1.4 对渔业生产活动的影响分析 .....         | 273 |
| 5.2 利益相关者界定 .....                | 273 |
| 5.3 相关利益协调分析 .....               | 274 |
| 5.3.1 与当地渔业主管部门的协调 .....         | 274 |
| 5.3.2 与海事主管部门的协调 .....           | 274 |
| 5.4 项目用海对国防安全和国家海洋权益的影响分析 .....  | 275 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.4.1 对国防安全和军事活动的影响分析 .....                             | 275 |
| 5.4.2 对国家海洋权益的影响分析 .....                                | 275 |
| 6 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析 .....                           | 276 |
| 6.1 项目用海与海洋主体功能区划符合性分析 .....                            | 276 |
| 6.1.1 《全国海洋主体功能区规划》 .....                               | 276 |
| 6.1.2 《广东省海洋主体功能区规划》 .....                              | 277 |
| 6.2 项目用海与海洋功能区划的符合性分析 .....                             | 278 |
| 6.2.1 项目所在海域及周边海域海洋功能区划 .....                           | 278 |
| 6.2.2 项目用海对所在海洋功能区划的影响分析 .....                          | 283 |
| 6.2.3 项目用海对周边海洋功能区划的影响分析 .....                          | 284 |
| 6.2.4 项目用海与所在海洋功能区划的符合性分析 .....                         | 285 |
| 6.3 项目用海与三区三线的符合性分析 .....                               | 286 |
| 6.4 项目用海与“三线一单”的符合性分析 .....                             | 289 |
| 6.4.1 广东省“三线一单”生态环境分区管控方案 .....                         | 289 |
| 6.4.2 汕尾市“三线一单”生态环境分区管控方案 .....                         | 293 |
| 6.5 项目用海与产业结构的符合性分析 .....                               | 296 |
| 6.5.1 与《产业结构调整指导目录》的符合性分析 .....                         | 296 |
| 6.5.2 与《“十四五”现代能源体系规划》的符合性分析 .....                      | 296 |
| 6.5.3 与《海上风电开发建设管理办法》的符合性分析 .....                       | 297 |
| 6.5.4 与《广东省能源发展“十四五”规划》的符合性分析 .....                     | 298 |
| 6.6 项目用海与其他相关规划的符合性分析 .....                             | 299 |
| 6.6.1 与《2030 年前碳达峰行动方案》的符合性分析 .....                     | 299 |
| 6.6.2 与《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的符合性分析 ..... | 300 |
| 6.6.3 与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的符合性分析 .....                | 302 |
| 6.6.4 与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》的符合性分析 .....                  | 303 |
| 6.6.5 与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的符合性分析 .....                   | 304 |
| 6.6.6 与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性分析 .....                 | 305 |
| 6.6.7 与《汕尾市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》的符合性分析 .....               | 306 |
| 6.7 结论 .....                    | 307 |
| 7 项目用海合理性分析 .....               | 308 |
| 7.1 用海选址合理性分析 .....             | 308 |
| 7.1.1 项目选址区位和社会条件的合理性分析 .....   | 308 |
| 7.1.2 项目选址与自然资源、生态环境适宜性分析 ..... | 308 |
| 7.1.3 项目选址与周边其他用海活动的适宜性分析 ..... | 309 |
| 7.1.4 项目选址方案的环境风险分析 .....       | 310 |
| 7.1.5 项目选址合理性分析 .....           | 310 |
| 7.1.6 项目选址唯一性分析 .....           | 310 |
| 7.2 用海方式和平面布置合理性分析 .....        | 311 |
| 7.2.1 用海方式合理性分析 .....           | 311 |
| 7.2.2 平面布置合理性分析 .....           | 312 |
| 7.3 用海面积合理性分析 .....             | 319 |
| 7.3.1 项目用海面积合理性内容 .....         | 319 |
| 7.3.2 宗海图绘制及用海面积量算 .....        | 323 |
| 7.3.3 项目用海面积量算合理性分析 .....       | 325 |
| 7.4 用海期限合理性分析 .....             | 332 |
| 8 海域使用对策措施 .....                | 333 |
| 8.1 区划实施对策措施 .....              | 333 |
| 8.2 开发协调对策措施 .....              | 333 |
| 8.2.1 协调对策措施 .....              | 333 |
| 8.2.2 发生重大利益冲突的应急对策措施 .....     | 335 |
| 8.3 风险防范对策措施 .....              | 335 |
| 8.3.1 海洋自然灾害风险事故防范对策措施 .....    | 335 |
| 8.3.2 通航环境风险的防范对策措施 .....       | 337 |
| 8.3.3 溢油风险防范对策措施 .....          | 340 |
| 8.3.4 其他风险的防范对策措施 .....         | 344 |
| 8.4 监督管理对策措施 .....              | 347 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 8.4.1 海域使用面积监督管理 .....          | 347 |
| 8.4.2 海域使用用途监督管理 .....          | 348 |
| 8.4.3 海域使用时间监督管理 .....          | 348 |
| 8.4.4 海域使用资源环境监督管理 .....        | 349 |
| 8.4.5 海域使用跟踪监测 .....            | 349 |
| 8.5 生态用海建设方案 .....              | 355 |
| 8.5.1 产业准入与区域管控要求符合性 .....      | 355 |
| 8.5.2 岸线保护措施 .....              | 355 |
| 8.5.3 染物排放与控制 .....             | 356 |
| 8.5.4 生态保护与修复措施 .....           | 357 |
| 9 结论与建议 .....                   | 363 |
| 9.1 结论 .....                    | 363 |
| 9.1.1 项目用海基本情况 .....            | 363 |
| 9.1.2 项目用海必要性结论 .....           | 363 |
| 9.1.3 项目用海资源环境影响分析结论 .....      | 363 |
| 9.1.4 海域开发利用协调分析结论 .....        | 364 |
| 9.1.5 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性 ..... | 364 |
| 9.1.6 项目用海合理性分析 .....           | 364 |
| 9.1.7 项目用海可行性结论 .....           | 365 |
| 9.2 建议 .....                    | 365 |

# 1 概述

## 1.1 论证工作由来

随着国家提出碳达峰、碳中和的中远期目标，大力发展战略性新兴产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省大陆海岸线总长达4000km以上，海域面积广阔，沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。

开发利用广东省近海风能资源，不仅有利于广东能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，实现经济社会的可持续发展，为广东打造风电产业基地创造良好条件。

2009年4月，根据国家能源局下发的《关于印发海上风电场工程规划工作大纲的通知》（国新能〔2009〕130号）的要求，广东省启动海上风电场址规划及海上风电输电规划工作。2011年6月，《广东省海上风电场工程规划》报告正式报送国家能源局；2011年7月，《广东省海上风电场工程规划》通过水利水电规划总院审查；2012年8月国家能源局对《广东省海上风电场工程规划》进行了批复，2016年9月广东省能源局委托广东院进行《广东省海上风电发展规划》修编，对《广东省海上风电场工程规划》中原有场址进一步进行梳理，并作适当调整。

明阳汕尾红海湾海上风电场项目位于汕尾市附近海域，红海湾场址西侧区域内，场址面积约144km<sup>2</sup>，风场场址水深在35m~50m之间，总装机容量为1000MW，拟布置63台16.0MW固定式风电机组及1台16.6MW漂浮式风电机组，拟分两期建设，2个场址合用1个海上升压站，风电机组发出电能通过16回66kV集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过2回500kV海底电缆接入陆上集控中心。

本项目为明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目，装机容量为500MW，场址面积72.7km<sup>2</sup>，风场场址水深在35m~50m之间，场址距离陆地最近距离约36.8km。二期拟布置31台16.0MW的固定式风电机组及1台16.6MW的漂浮式风电机组。根据《中华人民共和国海域使用管理法》等法律法规的规定，本项目应进行海域使用论证，办理用海手续。受汕尾明阳蕴华风力发电有限公司所托（附件1），

广东海兰图环境技术研究有限公司承担该项目的海域使用论证工作。我公司在接受该海域使用论证工作的委托后，为使论证工作顺利开展，收集了大量相关信息资料，详细了解工程内容。根据该项目海域使用的性质、规模和特点，按照《海域使用论证技术导则》（国海发〔2010〕22号）等的要求编制了《明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目海域使用论证报告书》。

## 1.2 论证依据

### 1.2.1 法律法规

- (1) 《中华人民共和国海域使用管理法》（2002年1月1日起实施）；
- (2) 《中华人民共和国海洋环境保护法》（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第三次修正，自公布之日起施行）；
- (3) 《中华人民共和国环境保护法》（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修订，2015年1月1日起施行）；
- (4) 《中华人民共和国电力法》（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第三次修正，自公布之日起施行）；
- (5) 《中华人民共和国可再生能源法》（2009年12月26日第十一届全国人民代表大会常务委员会修订，2010年4月1日起实施）；
- (6) 《中华人民共和国港口法》（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第三次修正，自公布之日起施行）；
- (7) 《中华人民共和国海上交通安全法》（2021年4月29日第十三届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议修订，自2021年9月1日起施行）；
- (8) 《中华人民共和国安全生产法（修正草案）》（2020年11月25日，国务院常务会议通过）；
- (9) 《中华人民共和国湿地保护法》，2021年12月24日第十三届全国人民代表大会常务委员会第三十二次会议通过，2022年6月1日施行；
- (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修订，2014年3月1日起施行）；
- (11) 《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》（2013年12月7日第二次修订）；

- (12) 《中华人民共和国野生动物保护法》（2018年10月26日第十三届全国人民代表大会常务委员会第六次会议第三次修正，自公布之日起实施）；
- (13) 《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》（国办发〔2002〕36号）；
- (14) 《海域使用权管理规定》（国家海洋局，2007年1月1日起实施）；
- (15) 《国家海洋局关于印发<海洋生态损害评估技术指南（试行）>的通知》，国海环字〔2013〕583号；
- (16) 《中华人民共和国自然保护区条例》（2017年10月7日修改）；
- (17) 《国家海洋局关于进一步加强自然保护区海域使用管理工作的意见》，国海函〔2006〕3号；
- (18) 《中华人民共和国航道法》（根据2016年7月2日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十一次会议《关于修改<中华人民共和国节约能源法>等六部法律的决定》修正）；
- (19) 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，根据2018年3月19日《国务院关于修改和废止部分行政法规的决定》第二次修订；
- (20) 《国家海洋局关于进一步规范海域使用论证管理工作的意见》，国海规范〔2016〕10号；
- (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日发布实施；
- (22) 《铺设海底电缆管道管理规定》（自1989年3月1日起施行）；
- (23) 《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）；
- (24) 《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》（国海规范〔2016〕6号）；
- (25) 《关于铺设海底电缆管道管理有关事项的通知》（国海规范〔2017〕8号）；
- (26) 《关于规范海域使用论证材料编制的通知》（自然资规〔2020〕1号），2021年1月8日；

(27) 《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，2021年11月10日）；

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

(29) 《自然资源部 生态环境部 国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，（自然资发〔2022〕142号），2022年8月16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) 《关于印发<广东省海域使用金征收标准（2022年修订）>的通知》（粤财规〔2022〕4号），2022年6月17日；

(32) 《广东省海域使用管理条例》（根据2021年9月29日广东省第十三届人民代表大会常务委员会第三十五次会议《关于修改〈广东省城镇房屋租赁条例〉等九项地方性法规的决定》修正）；

(33) 《广东省人民政府办公厅关于推动我省海域和无居民海岛使用“放管服”改革工作的意见》，粤府办〔2017〕62号，广东省人民政府办公厅，2017年10月15日；

(34) 《广东省自然资源厅关于印发<广东省项目用海政策实施工作指引>的通知》（粤自然资函〔2020〕88号），2020年2月28日；

(35) 《广东省自然资源厅关于印发海岸线占补实施办法（试行）的通知》（粤自然资规字〔2021〕4号）；

(36) 《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71号），2020年12月；

(37) 《广东省自然资源厅办公室关于启用我省新修测海岸线成果的通知》，2022年2月22日；

(38) 《汕尾市人民政府关于印发汕尾市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（汕府〔2021〕29号），2021年7月。

## 1.2.2 相关规划和区划

(1) 《全国海洋功能区划（2011-2020年）》，2012年4月；

- (2) 《全国海洋主体功能区规划》，2015年8月1日；
- (3) 《“十四五”现代能源体系规划》（发改能源〔2022〕210号）；
- (4) 《“十四五”可再生能源发展规划》（发改能源〔2021〕1445号）；
- (5) 《中国航路指南》A103，海军司令部航海保证部；
- (6) 《全国沿海船舶航路总体规划》，2011年11月18日印发；
- (7) 《广东省人民政府 国家海洋局关于印发广东省海岸带综合保护与利用总体规划的通知》（粤府〔2017〕120号），2017年12月12日；
- (8) 《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，2012年11月；
- (9) 《广东省海洋主体功能区规划》，2017年12月；
- (10) 《广东省海洋经济发展“十四五”规划》，2022年3月；
- (11) 《广东省能源发展“十四五”规划》，2018年7月；
- (12) 《广东省海上风电发展规划（2017-2030年）（修编）》（粤发改能新〔2018〕193号）；
- (13) 《广东沿海港口航行指南》，广东海事局，2012年；
- (14) 《广东省人民政府关于印发广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要的通知》（粤府〔2021〕28号）；
- (15) 《汕尾市人民政府关于印发汕尾市国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要的通知》（汕府〔2021〕23号）。

### 1.2.3 技术标准和规范

- (1) 《海籍调查规范》(HY/T124-2009);
- (2) 《海域使用分类》(HY/T123-2009);
- (3) 《海洋功能区划技术导则》(GB/T17108-2006);
- (4) 《海域使用管理技术规范》(国家海洋局, 2001.02);
- (5) 《海域使用论证技术导则》(国海发〔2010〕22号);
- (6) 《海洋调查规范》(GB/T12763-2007);
- (7) 《海洋监测规范》(GB17378-2007);
- (8) 《海水水质标准》(GB3097-97);
- (9) 《海洋沉积物质量》(GB18668-2002);
- (10) 《海洋生物质量》(GB18421-2001);

- (11) 《渔业水质标准》(GB11607-89);
- (12) 《海域使用面积测量规范》(HY070-2022);
- (13) 《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T18314-2009);
- (14) 《中国海图图式》(GB12319-1998);
- (15) 《海洋工程地形测量规范》(GB/T17501-2017);
- (16) 《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》(2002.04);
- (17) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007,中华人民共和国农业部);
- (18) 《海上风电工程环境影响评价技术规范》(国家海洋局, 2014.04);
- (19) 《宗海图编绘技术规范》(HY/T 251-2018)。

#### 1.2.4 项目基础资料

- (1) 《明阳汕尾一、二海上风电储备场址项目前期核准阶段岩土工程勘测报告》, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 2021 年 6 月;
- (2) 《明阳汕尾一海上风电储备场址项目冬季大潮水文观测报告》, 中国能源建设集团广东省电力设计院有限公司, 2021 年 4 月;
- (3) 《明阳汕尾一海上风电储备场址项目夏季大潮水文观测报告》, 中国能源建设集团广东省电力设计院有限公司, 2021 年 11 月;
- (4) 《广东省汕尾海上风场海域监测海洋环境现状调查与评价报告》, 汕尾市润邦检测技术有限公司, 2021 年 7 月;
- (5) 《汕尾红海湾海上风电场项目海洋环境现状调查监测报告(秋季)》, 广州海兰图检测技术有限公司, 2021 年 12 月;
- (6) 建设单位提供的项目施工方案、工程地质情况、风机机型参数及其他相关资料。

### 1.3 论证工作等级和范围

#### 1.3.1 论证工作等级

本项目为明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目, 建设内容包括风电机组和集电海缆, 项目拟建设 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式

风电机组，通过 8 回 66kV 集电海底电缆汇集到一期项目的海上升压站，升压后通过 2 回 500kV 海底电缆输送到陆上集控中心，海上升压站和送出电缆纳入一期项目申请范围，不在本项目论证范围内。

本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），用海方式为构筑物用海（一级方式）的透水构筑物用海（二级方式）和其他用海方式（一级方式）的海底电缆管道用海（二级方式）。项目申请总用海面积为 236.9673 公顷，其中透水构筑物用海面积 67.2141 公顷，66kV 海底电缆管道用海面积 169.7532 公顷。

根据《海域使用论证技术导则》（国海发〔2010〕22 号）海域使用论证等级判据，海底电（光）缆所有规模的论证等级为三级；其他透水构筑物用海总面积  $\geq 30$  公顷时，所有海域的论证等级为一级。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确定论证等级，因此，本项目论证等级为一级。

表 1.3.1-2 海域使用论证等级判定

| 用海单元             | 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 |
|------------------|------------|-------------|-------------------|---|----------|------|
| 风机及<br>海上升<br>压站 | 构筑物<br>用海  | 透水构筑<br>物用海 | 其他透水<br>构筑物用<br>海 | 构筑物总长度 $\geq 2000m$ ；用<br>海总面积面积 $\geq 30$ 公顷 | 所有海<br>域 | 一    |
|                  |            |             |                   | 本项目透水构筑物用海面<br>积 67.2141 公顷                   |          |      |
| 海底电<br>缆         | 其他用<br>海方式 | 海底电缆<br>管道  | 海底电<br>(光) 缆      | 所有规模  | 所有海<br>域 | 三    |
|                  |            |             |                   | 本项目底电缆管道用海面<br>积 169.7532 公顷                  |          |      |
| 本项目              |            |             |                   |   |          | 一    |

### 1.3.2 论证范围

根据《海域使用论证技术导则》，论证范围应依据项目用海情况、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 15km，本项目风机、集电海底电缆论证范围从风机用海外缘线向外扩展 15km，

论证面积约 1707.98km<sup>2</sup>, 论证范围见图 1.3.2-1, 论证范围坐标点详见表 1.3.2-1。

表 1.3.2-1 论证范围四至坐标点

| 序号 | 北纬 N          | 东经 E           |
|----|---------------|----------------|
| 1  | 22°07'39.012" | 115°13'07.563" |
| 2  | 22°07'27.160" | 115°36'00.766" |
| 3  | 22°30'55.550" | 115°36'20.316" |
| 4  | 22°31'07.667" | 115°13'20.642" |

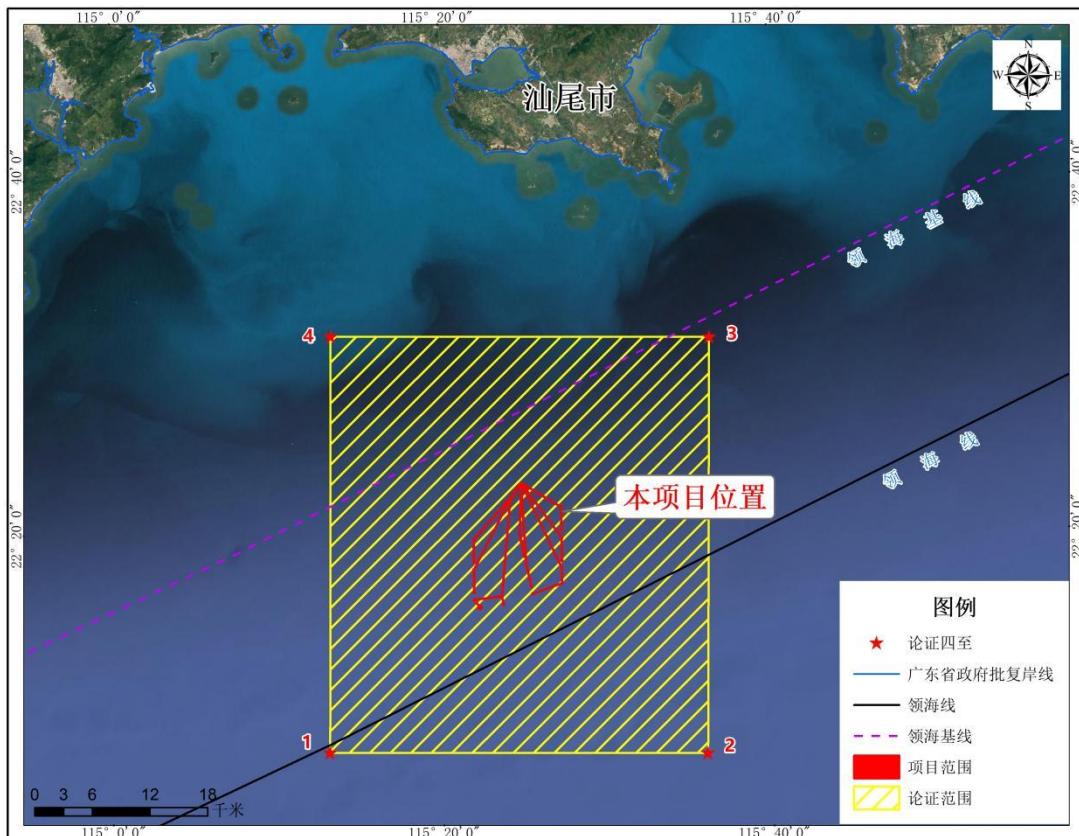


图 1.3.2-1 论证范围图

## 1.4 论证重点

根据项目海域的自然环境条件、海洋资源分布及开发利用现状等特点，结合项目的用海性质、可能造成的环境影响及一级论证的要求，确定本论证工作的论证重点为：

- (1) 项目用海必要性；
- (2) 项目用海资源环境影响分析；
- (3) 项目用海方式和平面布置合理性分析；
- (4) 项目用海面积合理性分析。

## 2 项目用海基本情况

### 2.1 用海项目建设内容

#### 2.1.1 项目基本情况

- (1) 项目名称：明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目
- (2) 项目性质：新建项目
- (3) 建设单位：汕尾明阳蕴华风力发电有限公司
- (4) 地理位置：本项目位于汕尾市南侧海域，红海湾场址西侧区域内，详见图 2.1.1-1，场址面积 72.7km<sup>2</sup>，风场场址水深在 35m~50m 之间，场址距离陆地最近距离约 36.8km。

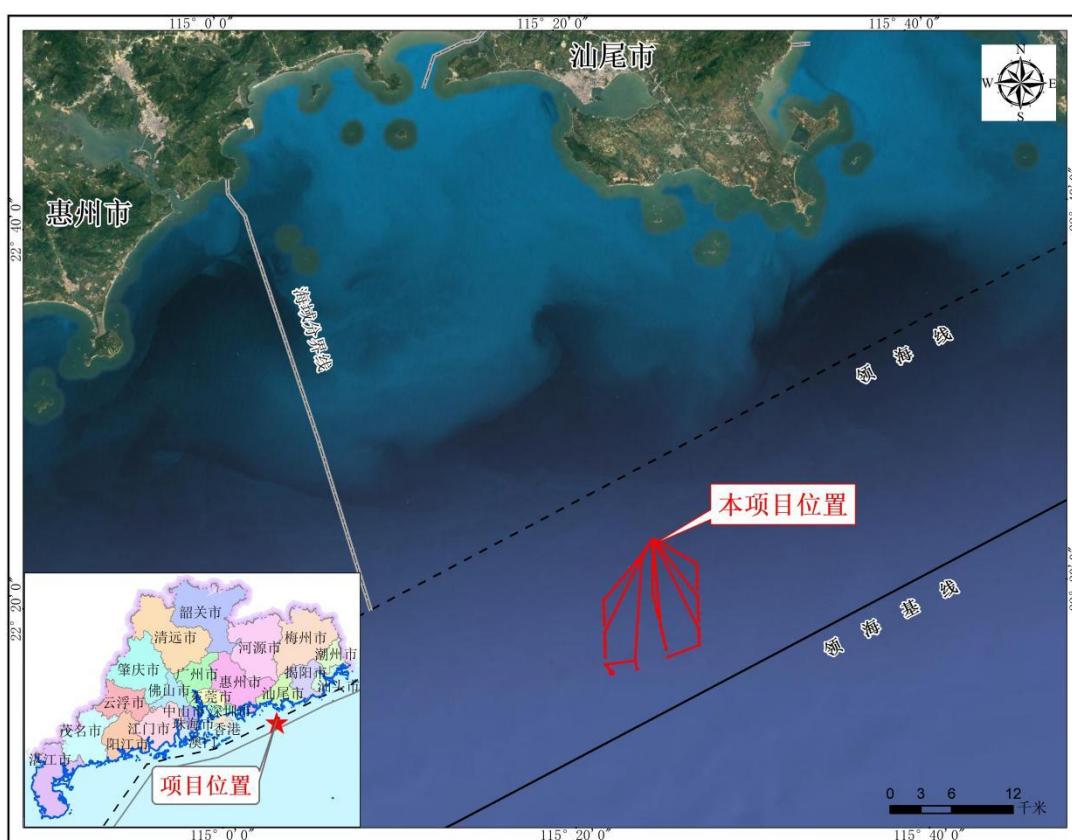


图 2.1.1-1 项目地理位置图

#### 2.1.2 工程建设内容及规模

明阳汕尾红海湾海上风电场项目总装机容量为 1000MW，拟分两期建设，分

别为明阳汕尾红海湾一期海上风电场项目（以下简称“一期项目”）、明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目（以下简称“二期项目”），装机容量分别为 500MW、500MW。

本项目为二期项目，装机容量为 500MW，拟建设 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式风电机组。风电机组发出电能通过 8 回 66kV 集电海底电缆接入海上升压站，海上升压站位于一期项目场址范围内，升压站容量为 1000MW，可满足一期和二期项目建设，为集约节约用海，二期项目不再设置海上升压站，一期和二期项目升压后一并输送到陆上集控中心。因此，海上升压站及送出海底电缆纳入一期项目申请范围内，不在本次二期项目范围内。

根据风机厂家提供的现场空气密度下的风机功率曲线和推力系数。一期和二期项目拟同步设计和建设，采用风能资源分析软件 WAsP 综合计算得 64 台机组（考虑尾流损失后）年发电量为 4396.193GWh，年上网电量为 3341.106GWh，容量系数 37.22%，年等效满负荷小时数为 3261h。

项目总工期计划为 21 个月，其中工程主体施工总工期为 18 个月。

## 2.2 平面布置和主要结构、尺度

### 2.2.1 平面布置

明阳汕尾红海湾海上风电场项目位于汕尾市附近海域，红海湾场址西侧区域内，总装机容量为 1000MW，拟布置 63 台 16.0MW 固定式风电机组及 1 台 16.6MW 漂浮式风电机组，风电机组发出电能通过 66kV 集电海底电缆接入海上升压站，升压后接入陆上集控中心，拟分两期建设，分别为 500MW。两期工程共用 1 个海上升压站，位于一期项目场址范围内，容量为 1000MW。二期项目 66kV 集电海底电缆接入升压站后，与一期项目一同接入陆上集控中心。

本项目为明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目，拟布置 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式风电机组，采用阵列式布置。如图 2.2.1-2 中 B1~B31 为 31 台固定式风机，B32 为漂浮式风机。66kV 集电海缆采用链型拓扑结构，共 8 个回路，各个回路考虑功率分布平衡，不交叉不重叠，项目总平面布置详见图 2.2.1-1。

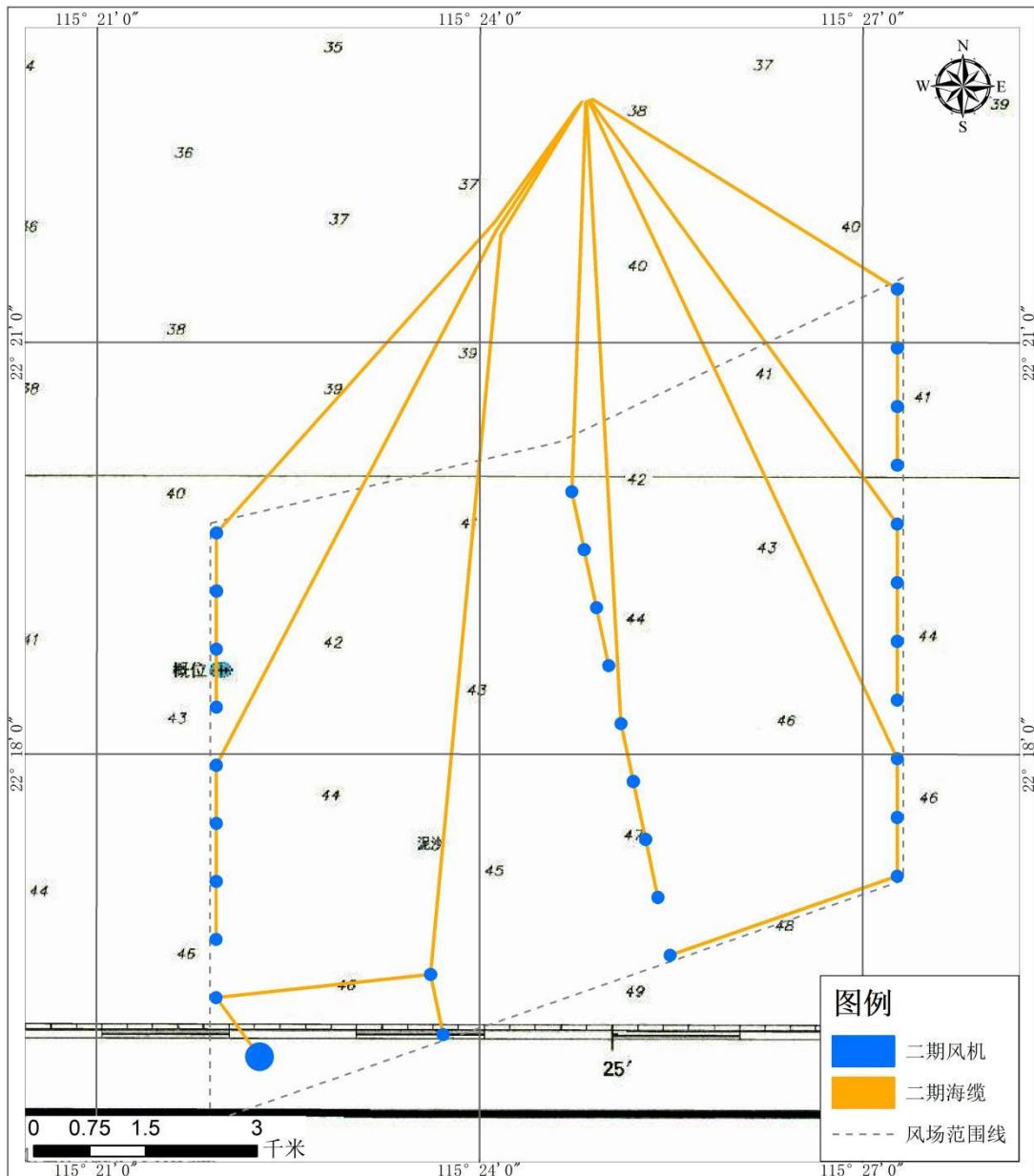


图 2.2.1-1 项目总平面布置图

### 2.2.1.1 风电机组

现阶段风机布置主要从发电效益角度出发，充分利用风能资源，且不和用海及环保冲突。本风电场轮毂高度处主导风向为 ENE，主导风风向频率为 29.0%，相应 ENE 向风能频率为 44.2%；风向、风能分布相对集中。风机布置时按平行主导风向 9~14 倍叶轮直径，垂直主导风向 3~6 倍叶轮直径的范围进行试算（后排风机间距可按海域情况加大），并适当进行角度的偏转，调整个别风机点位，寻找风电场总体发电效益最优的方案。

为了在集约用海和充分利用场址风能资源中寻求最佳平衡点,本阶段风机布置与优化采用的技术路线如下:

- 1) 在场址区域内剔除特殊地质区或其他预留区域,形成风电场风机布置的候选区域;
- 2) 风电场风机按照阵列布置,即风机机位呈现规则化的几何分布;
- 3) 风机布置方案的基本单元设定为平行四边形,每个基本单元定义 4 台风机的相对位置与距离,整个风机布置阵列由若干个相同的平行四边形构成,从而呈现出“梅花型”的宏观分布;
- 4) 对 3) 中提及的平行四边形基本单元进行旋转和伸缩变形,从而构建任意朝向和任意内部间距的潜在布置方案集合;
- 5) 结合所在海域风况参数分析的相关成果(风速频率分布和风向频率分布),利用 PARK 尾流模型,对 4) 中所有潜在布置方案进行理论发电量和尾流损失试算,并从中筛选出平均尾流损失较小且全场发电量较优的 10 个候选布置方案;
- 6) 进一步考虑测风数据不确定性,尤其风频、风向的不确定性对风机布置的影响,将 5) 中风能资源分析成果进行主导风向和风频调整,主导风向左/右偏  $22.5^\circ$ ,主导风速频率上/下浮 30%,对 5) 候选排布方案进行重新试算,从中筛选出各比选机型理论发电量和尾流损失变幅最小的方案作为推荐比选方案。

最终按照场址规划容量,对各比选机型自动筛选出能够满足 1) 候选区域面积限制且全场平均尾流损失最低的基准布置方案。在此基础上,适当调整个别机位,更改后排风机间距,形成最终的推荐布置方案。

风机排布空间示意图详见图 2.2.1-2。以 ENE 为主导风向,32 台 16.0MW 风电机组(31 台 16.0MW 固定式+1 台 16.6MW 漂浮式)各排风机基本垂直于主导风向,采用近似 3 列进行布置,列间距为 11.3~12.3D,行间距为 3.0~3.8D。

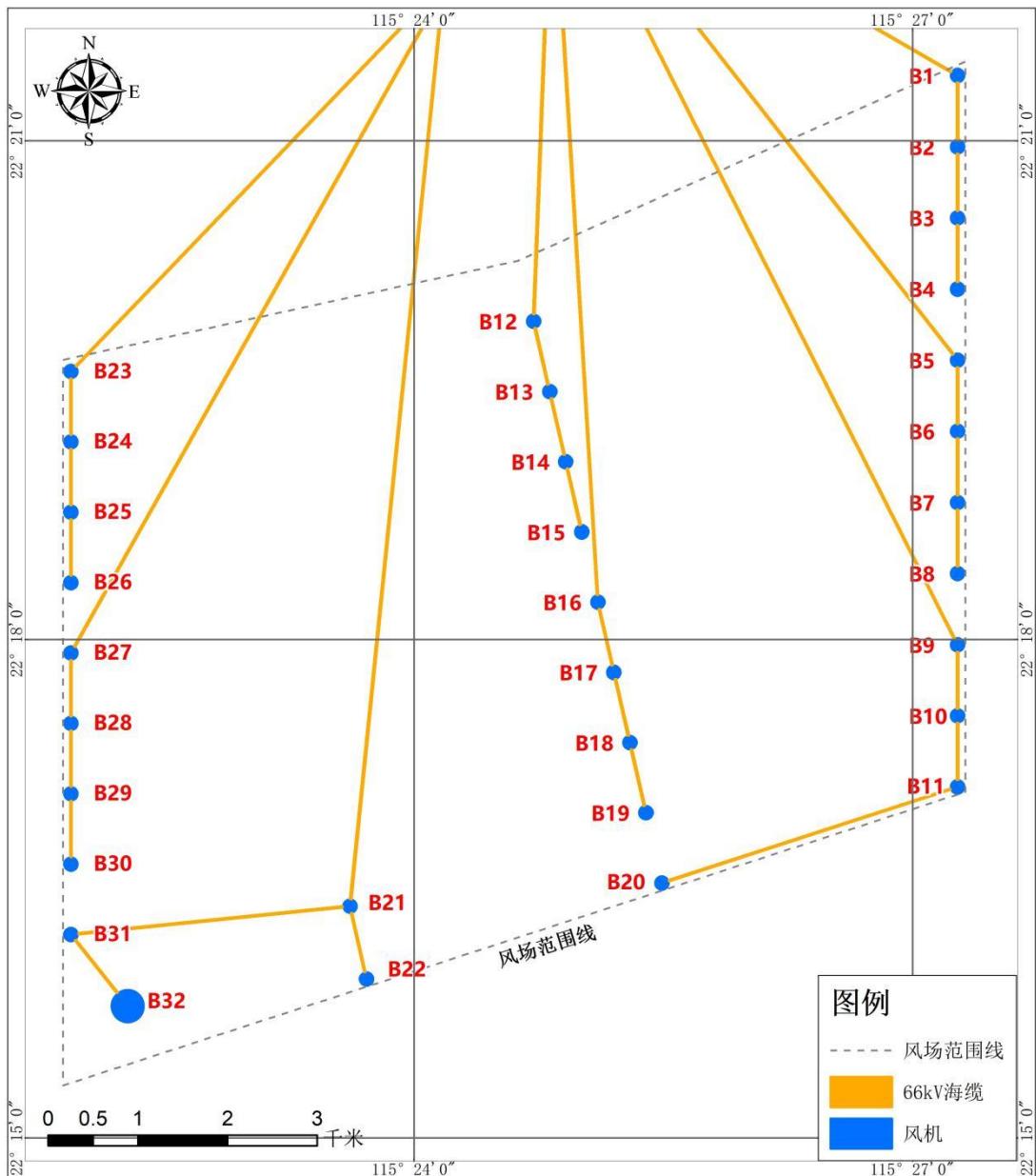


图 2.2.1-2 项目风机排布图

### 2.2.1.2 海底电缆

项目集电海缆采用 66kV 三芯电缆，集电系统接线拓扑布局采用链形拓扑结构。风机按 8 个回路布置，各个回路考虑功率分布平衡，连接 4 台风机，风机连接电缆不交叉重叠。66kV 集电海缆平面布置示意图见图 2.2.1-3。

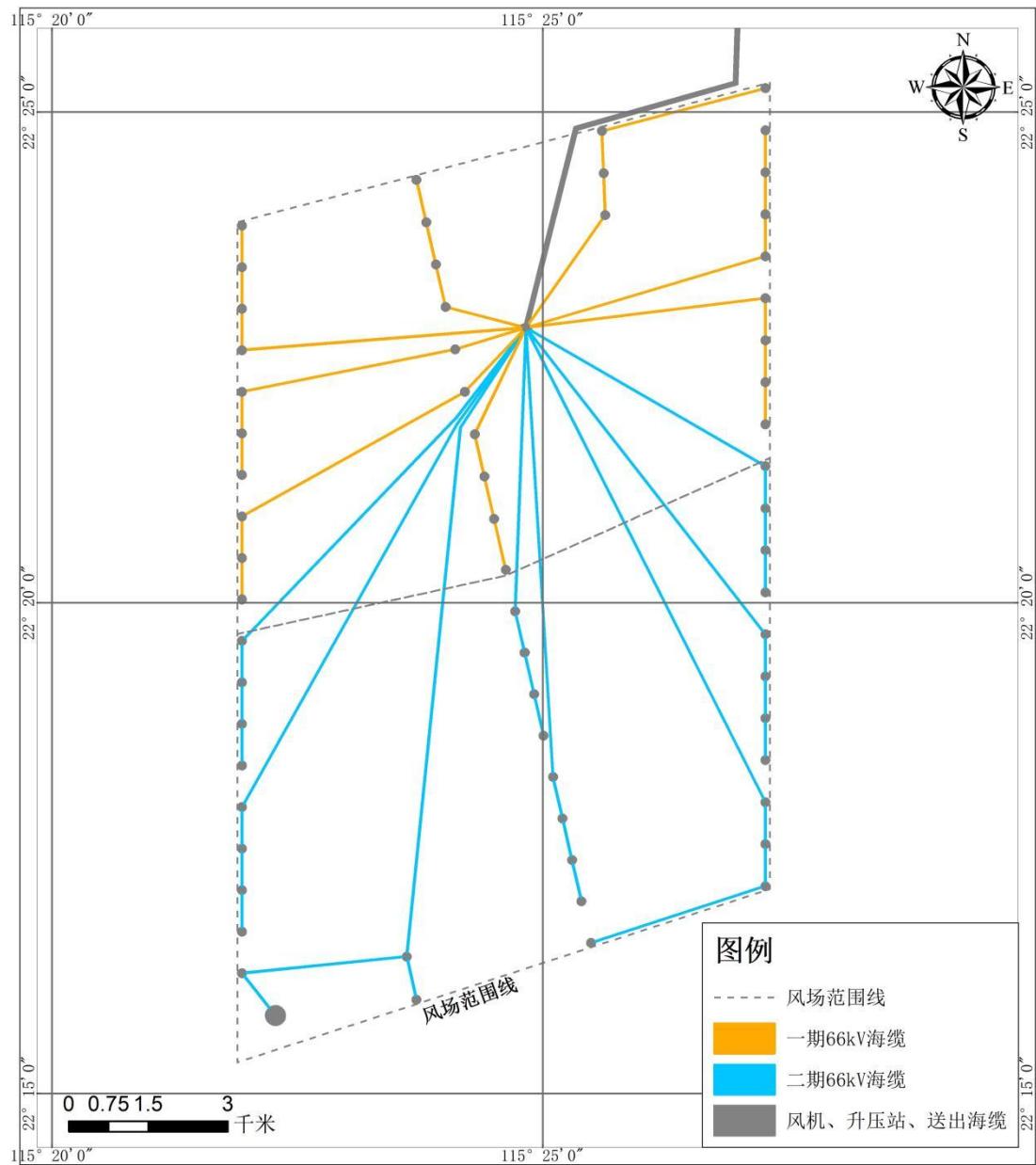


图 2.2.1-3 66kV 集电海缆平面布置示意图

## 2.2.2 结构及设计尺度

### 2.2.2.1 风电机组

#### (1) 风机机型

风电场机型选择应考虑适合风电场场址的风资源条件，有利于提高风电场的发电效益。本项目根据场址风资源条件和风况特征及海上的特殊水文气象条件，结合国内外海上风机的认证状况、制造水平、技术成熟程度、运行业绩、设备制造的可行性和设备采购的积极性等，进行风电场机组型式选择，现阶段固定式风

机推荐单机容量为 16.0MW 的 MySE16-260 机型，风机参数特征详见表 2.2.2-1；漂浮式风机现阶段推荐单机容量为 16.6MW 的 MySE16-25X，风机参数特征详见表 2.2.2-2。

**表 2.2.2-1 推荐机型风机参数特征表**

| 项目             | 单位          | 数值                               |
|----------------|-------------|----------------------------------|
| 类型             | /           | 半直驱风力发电机组                        |
| 额定功率           | kW          | 16000                            |
| 叶轮直径/轮毂中心高     | m           | 260/155                          |
| 扫风面积           | $m^2$       | 52253                            |
| 切入风速           | $m/s$       | 3                                |
| 额定风速（静态）       | $m/s$       | 11.5                             |
| 切出风速（10 分钟平均值） | $m/s$       | 25                               |
| 风轮转速范围         | rpm         | 2.04rpm~7.75rpm                  |
| 额定风轮转速         | rpm         | 6.8                              |
| 生存环境温度         | $^{\circ}C$ | -30 $^{\circ}C$ ~+50 $^{\circ}C$ |
| 运行环境温度         | $^{\circ}C$ | -20 $^{\circ}C$ ~+40 $^{\circ}C$ |
| 极端（生存）风速（设计值）  | $m/s$       | 79.8                             |
| 设计寿命           | 年           | 25                               |
| 叶片长度           | m           | 126                              |
| 额定功率           | kW          | 16650                            |
| 额定电压           | V           | 1380                             |

**表 2.2.1-2 漂浮式风机机型参数对比表（涉密，不公开）**

## (2) 风机基础

### 1) 固定式风机

根据水深、海洋环境和工程地质的不同，需要采用不同的海上风机基础型式。目前，可用于海上风电场的风机基础型式主要有单桩基础、多桩基础、重力式基础、吸力筒基础和漂浮式基础。

综合国内外海上风电场建设经验、不同风机基础型式的适用性及优缺点，同时结合本工程的特点以及目前国内海上施工单位的施工能力，本工程推荐采用桩基础，桩型均宜采用钢管桩，现阶段首推四桩导管架基础方案。

根据工程海域的水深情况，现阶段设计导管架桩顶标高为-30m~-48m，导管架顶法兰标高约为 25m，灌浆连接段长度统一为 6~10 米。用 4 根钢管桩定位于海底，呈正多边形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过灌浆，构成组合式基础。导管架承受波浪、海流荷载、风机荷载及风机塔架传递的风荷载，并将荷载传递给垂直打入海底的钢管桩。根据现阶段地质资料以及结构计算成果，

导管架桩径 3.5m，桩中心距为 35m，整个风电场的平均钢管桩桩长约为 99.5m，平均入土深度约为 94.5m。四桩导管架基础结构图详见图 2.2.2-1 所示。

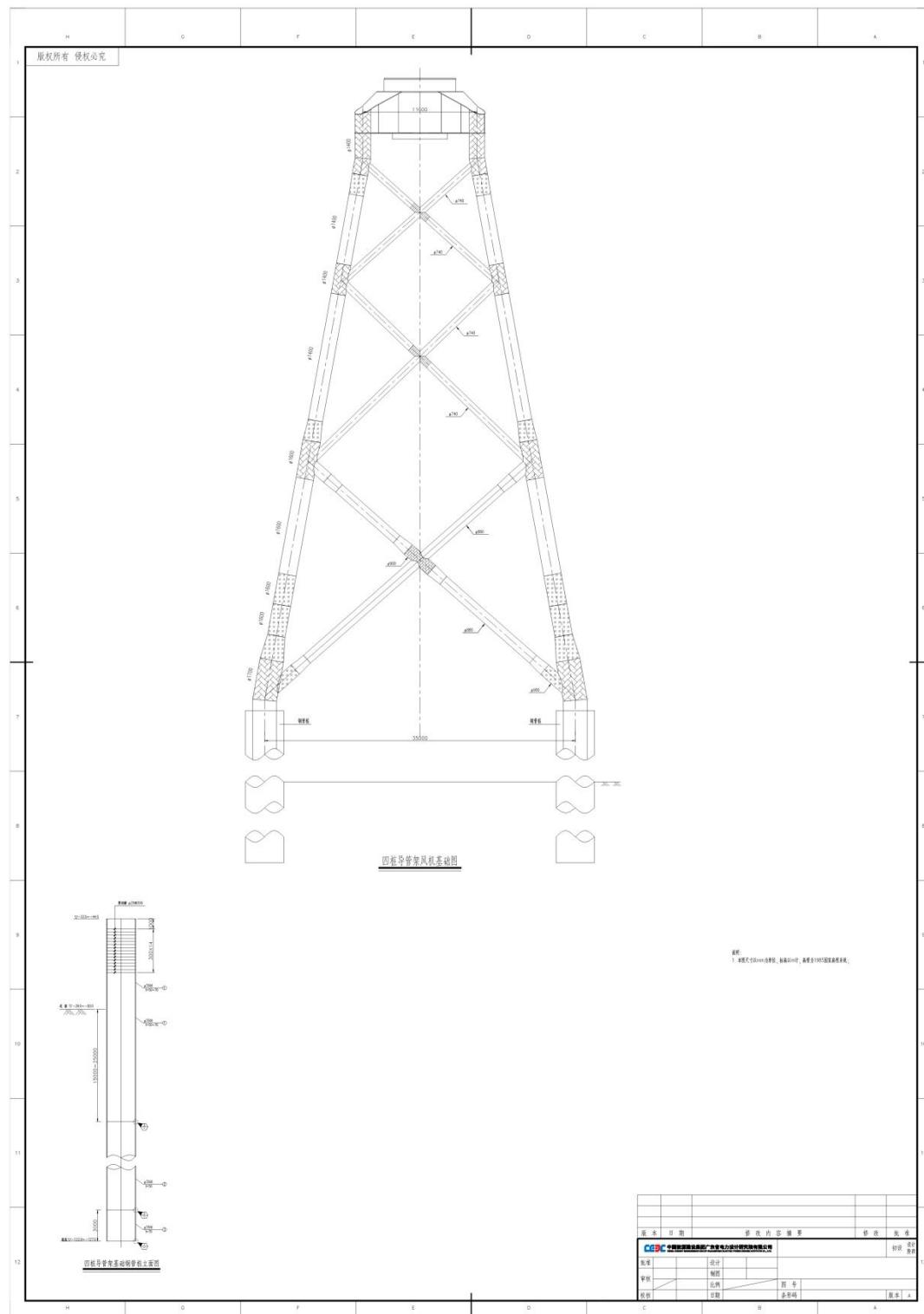


图 2.2.2-1 四桩导管架基础结构图

## 2) 漂浮式风机（涉密，不公开）

### 2.2.2.2 海底电缆

本项目风机之间、风机与海上升压站（属于一期项目）之间的 66kV 海底电缆拟选用交联聚乙烯绝缘，分相铅护套，钢丝铠装，光电复合，三芯海底电缆，电缆截面从  $3 \times (95 \sim 500) \text{ mm}^2$  不等。

海缆结构参数详见表 2.2.2-3，海缆结构型式见图 2.2.2-6。

表 2.2.2-3 项目海缆结构参数表

| 序号 | 电压等级 (kV) | 导体截面 ( $\text{mm}^2$ )                        |
|----|-----------|---|
| 1  | 66        | 48/66kV $3 \times 95 + 2 \times 36$ 芯光缆 光电复合  |
| 2  | 66        | 48/66kV $3 \times 150 + 2 \times 36$ 芯光缆 光电复合 |
| 3  | 66        | 48/66kV $3 \times 240 + 2 \times 36$ 芯光缆 光电复合 |
| 4  | 66        | 48/66kV $3 \times 500 + 2 \times 36$ 芯光缆 光电复合 |

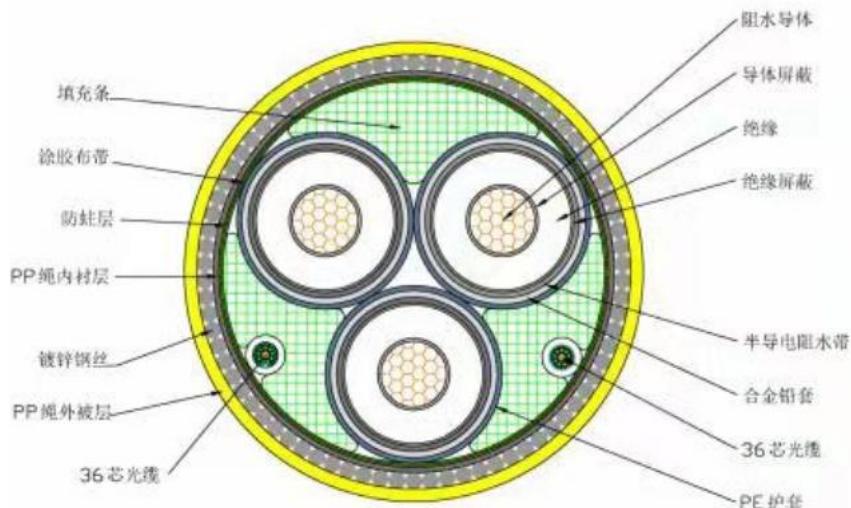


图 2.2.2-6 海缆结构型式图

## 2.3 项目主要施工工艺与方法

本项目工程施工主要项目有大型钢结构制作、风机基础施工、风机机组安装、66kV 场内海缆敷设施工等。现结合工程条件及特点，针对海上风电场的主要施工项目的施工方案进行介绍说明。

### 2.3.1 施工工艺及方法

#### 2.3.1.1 固定式风电机组基础施工

##### (1) 基础钢结构制造

四柱导管架连接段结构整个加工过程，必须严格依据设计单位提供的图纸、

详细设计技术规格书、国家行业的规范标准等，主要流程为：基础钢结构加工→钢结构防腐。

## （2）钢管桩制造

钢管桩制作采用常规的直缝加工制作工艺基，其加工制作工艺主要为：

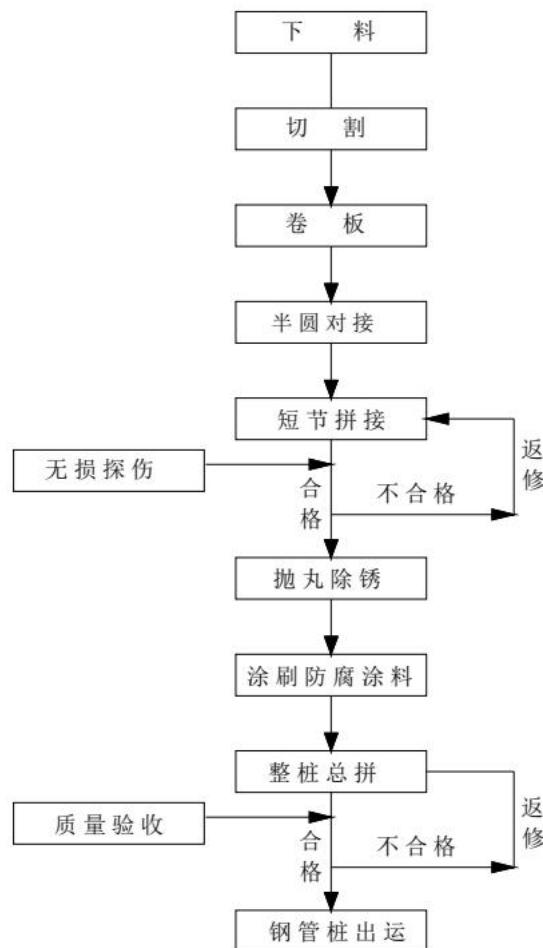


图 2.3.1-1 钢管桩加工制作工艺流程图

## （3）基础钢结构的运输

### 1) 导管架运输

完成建造的导管架连接段在场内采用轨道、台车进行运输；导管架连接段在码头前沿通过台车与滑道配合平板驳进行装船并采取可靠措施固定。

导管架连接段场外运输均需利用 10000t 级以上自航驳船进行，每次装载 2 台，将装有导管架或连接段的驳船运送至风电场安装。

### 2) 钢管桩运输

钢管桩在加工厂生产完并经验收合格后，利用龙门吊或台车运至码头前沿进行出运，利用设置在出运码头的回转吊、履带吊或起重船进行装船。根据导管架

基础钢管桩参数，采用 8000t 以上驳船运输，每次运输 6 或 8 根钢管桩至风电场，至少满足 2 台风机基础施工使用。

#### **(4) 测量工程**

风机基础施工项目为外海施工作业项目，施工区域远离海岸线，常规测量无法直接进行作业，采用 GPS 定位技术进行测量控制，拟在风电场内设置测量 GPS 基站，覆盖到整个施工区域。测量仪器主要采用高精度的 GPS 测量仪器，全站仪、经纬仪、水准仪及激光扫平仪器为辅助测量仪器。本工程实施初期，可利用本工程场址前期建造的测风塔平台设置 GPS 测量基站平台，并在平台上设置供电系统。

#### **(5) 常规桩沉桩施工**

为了确保沉桩施工精度，需要首先施打工艺辅助桩搭建导向架平台，然后插桩并利用打桩锤进行施工。国内典型的常规沉桩施工工艺如下：

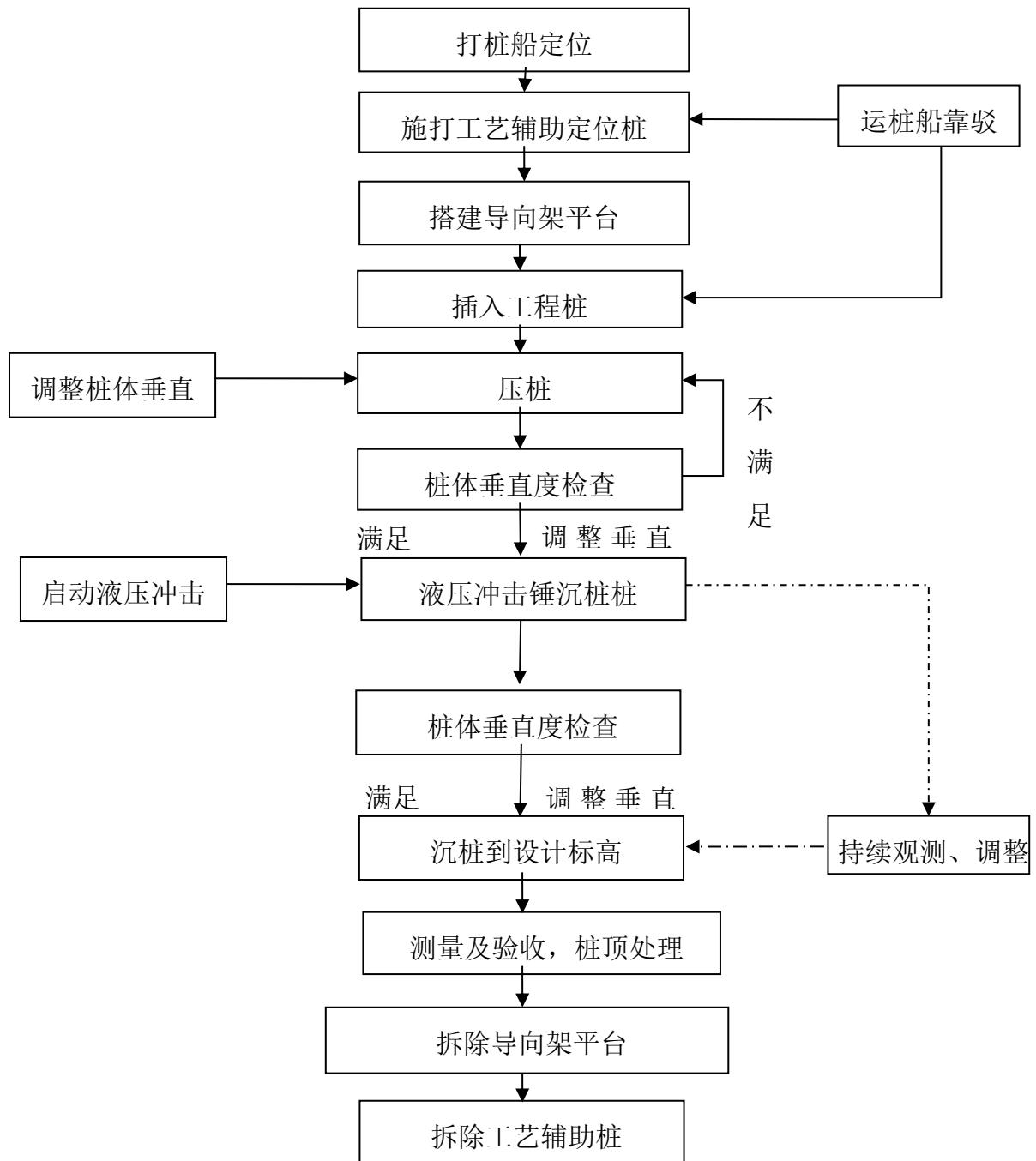


图 2.3.1-2 常规钢管桩沉桩施工工艺图

#### 主要施工步骤:

#### 1) 作业船抛锚、定位和安装导向架

本工序需要在外海施工，打桩船抛锚采用八字形式，在抛锚位置处挂浮筒。沉桩施工采用设置工艺辅助桩及导向架的方式来保证钢管桩沉桩的质量控制，通过打设工艺辅助桩保证导向架的稳定，在工艺导向架上设置三个 GPS 控制点及两台测倾仪，并通过设置在定位导向架上的液压调平装置进行工艺定位架的调平。

来保证同机位的钢管桩的桩位平面位置及垂直度。

工艺辅助桩顶部设置整体式工艺定位架，采用型钢与四个定位桩套筒制作，桩套筒内径比设计钢管桩直径大 10cm，同时在定位架的上、下层设置液压定位系统，定位架的每边中心底部位置设置双向和高程（X、Y、Z 向）均可调节的三维调平装置，该装置与定位架连成整体一并吊装，通过液压系统的调节可纠正钢管桩在沉桩过程中的平面位置和垂直度偏差，工艺定位导向架布置如下图所示。



图 2.3.1-3 工艺定位架示意图

## 2) 沉桩

钢管桩沉桩分为四个阶段：

第一阶段插入工程桩，起重船使用专用的吊桩设备起吊钢管桩，吊入至工艺定位架的桩位固定位置，测量桩的垂直度，下桩并准确定位，完成植桩；

第二阶段采用起重船吊液压冲击锤，将钢管桩锤击至设计标高，过程中持续观测和调整桩的垂直度；

第三阶段采用起重船吊离液压锤，吊除定位导向，拆除工艺辅助桩。

沉桩过程中，通过定位导向架的作用控制桩的相对位置和垂直度，并随时监控桩的垂直度，直至沉桩完成。

### 3) 钢管桩顶部预处理

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

### 4) 测量、验收

分别精确测量钢管桩的桩顶高程、2 个方向的倾斜度、桩中心位置的相对距离及偏差等，填写验收表格并绘制成果图。

## (6) 上部基础结构安装

四桩导管架基础结构主要分为上部结构和基础工程桩两部分，上部结构通过底部的筒体与基础工程桩相连，然后通过接缝灌浆的形式连成整体。

施工工艺流程：

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

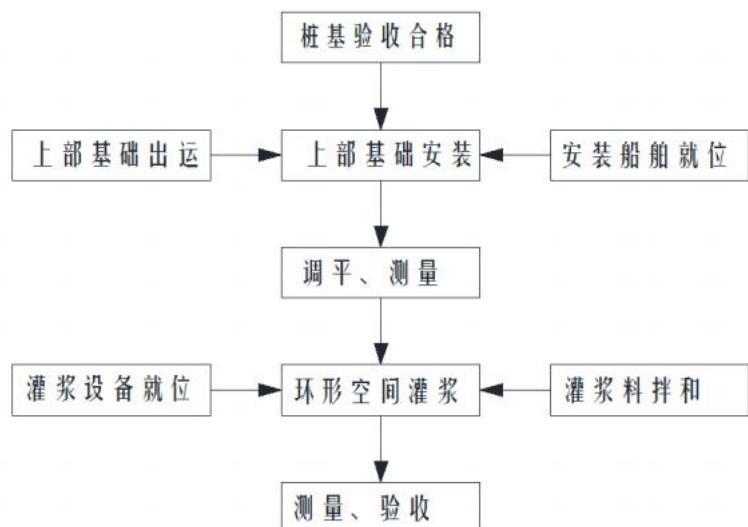


图 2.3.1-4 上部基础结构施工工艺流程图

主要施工步骤：

### 1) 上部基础海上吊装及调平施工

3000t 起重船、运输船分别抛锚就位→竖直起吊上部基础结构，运输船起锚驶出，工作船驶入、锚泊就位→工作船安装监控仪，3000t 起重船下放上部基础结构→通过监控及工作船上揽风控制连接段位置，将连接段钢管筒体插入钢管桩→验收合格后，对连接段进行初步固定，完成连接段吊装。

## 2) 灌浆施工

上部基础吊装完成后，灌浆工作立即开始→利用预留注浆管道，向灌浆段腔体底部压注清水，冲洗灌浆腔体→连接注浆管，向底部灌注高强灌浆材→通过监控，当灌浆溢流孔有浓浆溢出，即可完成灌浆→灌浆材料强度达标后，方可进入下一工序。

### 2.3.1.2 固体式风机风电机组安装

按照海上风机安装工艺不同，海上风机机组设备安装主要可为整体吊装方式和分体吊装方式两种。结合本工程的工程建设条件及国内施工设备的信息情况等，风机分体安装方式更适应本工程所在海域涌浪大、海况恶劣的施工条件，因此现阶段拟推荐风机安装采用分体安装方式进行。

海上分体吊装方案是将风电机组各组件各自完成自身的预组装后，运至风场机位，在现场依次进行塔筒、机舱、轮毂与叶片组合件的安装。施工工艺流程如下：

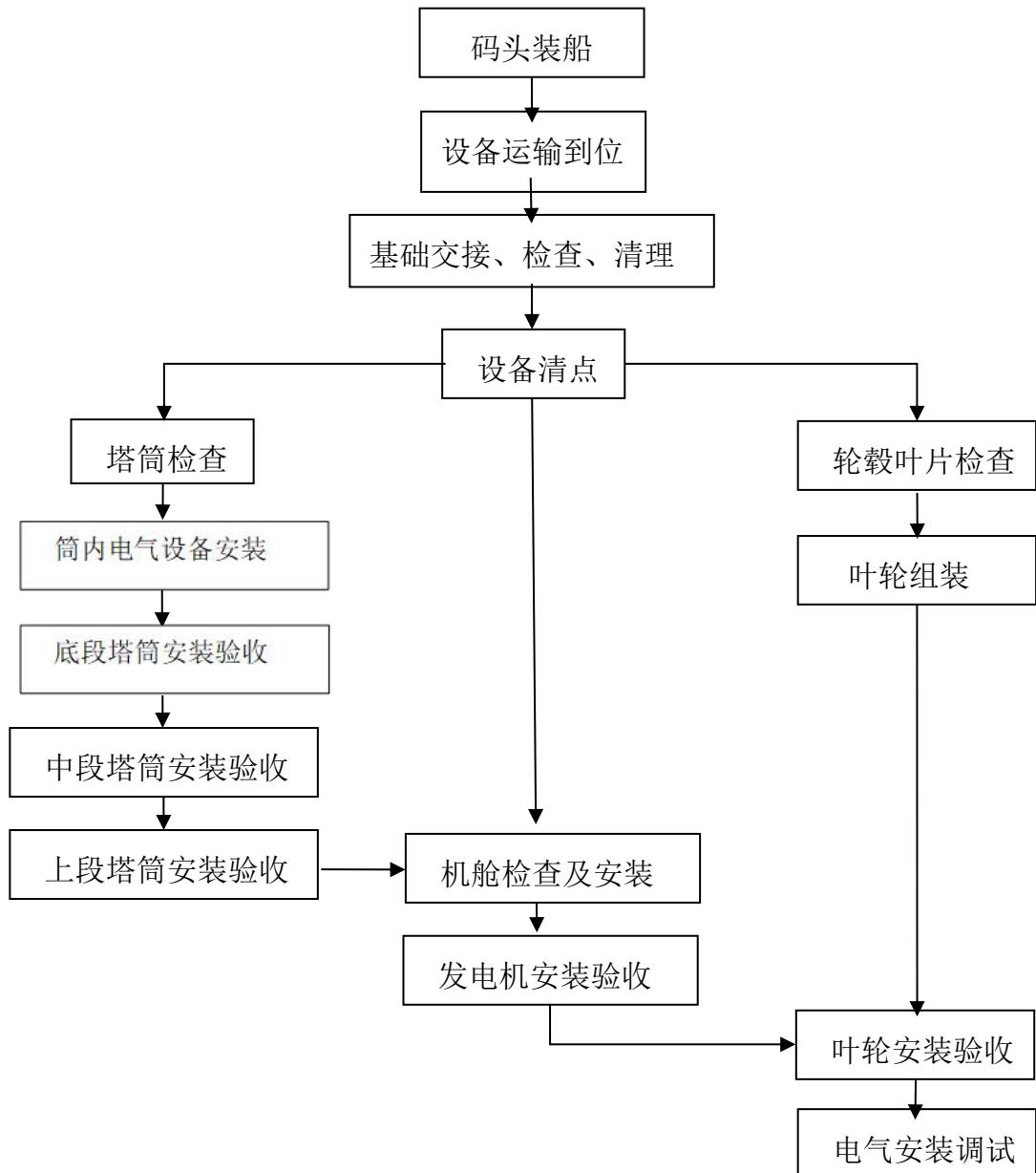


图 2.3.1-5 风机分体吊装安装施工工艺流程图

主要施工步骤：风机部件组装→风机海上运输→基础交接→塔筒内风机电器设备甲板面组装→自升平台船就位→吊装塔筒→吊装机舱→组装叶轮→吊装叶轮→电气系统安装。

**风机部件组装及海上运输：**由生产厂家在陆上完成塔筒、机舱、轮毂、风叶等主要部件的预组装，然后通过轨道移动台车运输至码头，采用履带吊等设备吊放到运输驳船上。风机部件安放完成后使用拖轮将运输驳拖航至风场指定位置。

**塔筒内风机电器设备甲板面组装：**在下段塔筒吊装之前，预先将塔筒内风机电器设备在船甲板面组装。将基础平台吊装于甲板面，测量距离调整进行固定。基础平台吊装后，随即将相关电气设备吊放至支架平台上固定定位。

**吊装下段塔筒：**使用 250t 辅吊与 800t 主吊共同抬吊立起塔筒组件。在上下两端法兰盘分别安装好塔筒吊装工装件（顶端均布安装四点，底端安装两点）。下段采用辅吊抬吊塔筒下法兰，主吊抬吊塔筒上法兰。将塔筒起吊至垂直位置时，拆除辅吊及吊具，使用引导绳引导，由主吊单独完成塔筒吊装就位工作。将塔筒垂直放置，然后将电器设备在上进行组装。塔筒位置确定后用螺栓进行安装，符合要求后按照上述方法重复进行中塔筒、上塔筒的安装。

**吊装机舱：**启动主吊，将机舱提升超过上塔架的上法兰后，缓慢移动吊机，对准法兰标记位置，确保朝向正确，缓慢下落正确就位；在机舱的偏航齿圈端面离塔架上法兰的距离有 1cm 时，吊机停止。用导向棒对准安装螺孔；用螺栓、垫片进行装配，安装完毕后进行下一步的线路的对接。

**组装叶轮：**在叶片指定起吊处装好叶片专用吊具，将叶片缓缓的送进轮毂，用相同的方式把其余叶片对接好；最后通过手动变桨装置使叶片转动，紧固叶片螺栓；连接接地线。

**吊装叶轮：**主吊将叶轮起吊至轮毂高后，将叶轮与主轴对齐后安装螺母和垫圈；将主轴电缆穿入轮毂内；紧固螺栓，拆卸吊具。

**电气系统安装：**依次安装箱变、高低压柜及电缆等电气设备。

### **2.3.1.3 漂浮式风电机组基础施工（涉密，不公开）**

### **2.3.1.4 海缆敷设施工**

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间的 66kV 海底电缆。根据水深要求，本场地采用深埋方式。常规海缆敷设主要施工工艺如下：

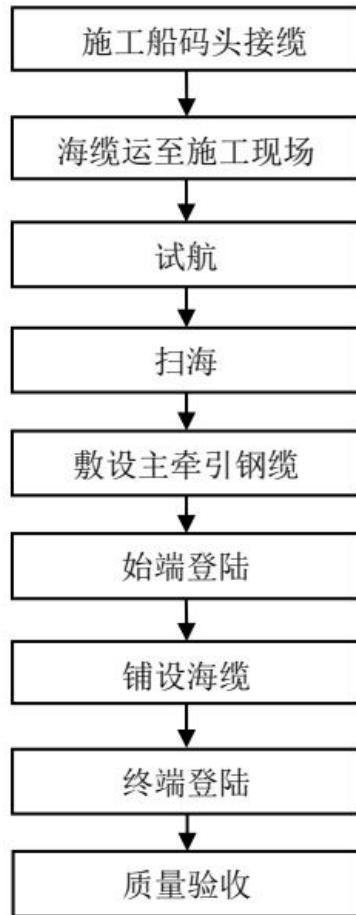


图 2.3.1-7 海缆敷设施工工艺

### (1) 接缆

接缆采用海缆敷设船接缆，接缆地点一般为生产厂家码头。电缆在过驳前首先对电缆进行出厂检验，对装载上船的海底电缆进行性能检测，包括逐根进行交流耐压、绝缘电阻、泄漏电流、铅包耐压等测试；待测试符合设计标准后方能进行过驳施工。装船完毕后重新对海底电缆性能检查测试，确认各项性能指标满足工程设计要求。

### (2) 试航

施工船舶到达施工现场之后，可首先进行试航作业，以确保施工顺利及施工质量。

### (3) 扫海

该工作主要解决施工路由轴线上影响施工顺利进行的旧有废弃缆线、插网、渔网等小型障碍物。采用锚艇尾系扫海工具，沿设计路由往返电缆路由扫海一次，发现障碍物由潜水员水下清理；若遇到不能及时清理的大型障碍物，由潜水员水

下探明情况，拟订解决方案并上报。

#### (4) 敷设主牵引钢缆

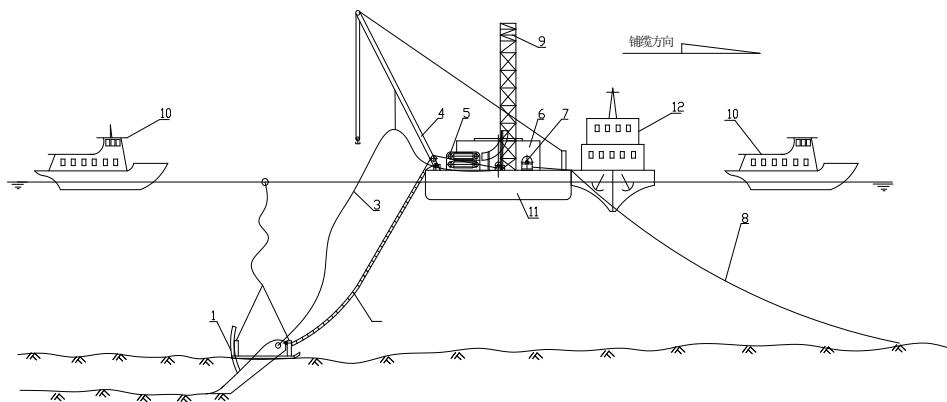
海缆敷设船一般为无动力船型，需要拖轮拖带。本项目初步考虑采用设置主牵引钢缆引导敷设船的施工方法：首先施工船根据 DGPS 定位就位于始端登陆点附近路由轴线上，由锚艇在电缆设计路由上抛设牵引锚，牵引锚和主牵引钢缆连接后开始敷设主牵引钢缆，直至将主牵引钢缆和施工船上卷扬机连接。施工时，由锚艇敷设主牵引锚。当施工至终端登陆点附近时，将主牵引钢缆与预先设置在终端登陆点侧的地锚相连接，牵引钢缆敷设时采用 DGPS 定位系统。

#### (5) 始端登陆

完成海缆始端登陆施工后，在 GPS 定位下，由潜水员探摸清预先在水下处理好的登陆段沟槽，然后沿登陆段海缆逐个拆除浮运海缆的轮胎，将海缆按设计路由沉放至海床上。

#### (6) 电缆敷埋段施工

主要施工步骤：埋深施工船锚泊就位→缆盘内电缆提升→电缆放入甲板入水槽→电缆放入埋设机腹部→投放埋设机至海床面→牵引施工船敷埋电缆。



1. 水力喷射埋设机，2. 导缆笼、电缆及拖曳钢丝绳，3. 高压输水胶管，4. 起重把杆，5. 履带布缆机、计米器、入水槽等，6. 储缆圈，7. 牵引绞车，8. 牵引钢丝绳，9. 退扭架，10. 警戒船，11. 电缆敷埋施工船，12. 拖轮。

图 2.3.1-8 海底电缆敷设施工

##### 1) 埋设机投放

电缆放入入水槽后，船头电缆装入埋设机腹部，关上门板，采用吊机将埋设机缓缓吊入水中，搁置在海床面上。严格按照埋设机的投放操作规程，按照以下程序进行作业：

埋设机起吊，脱离停放架→电缆装入埋设机腹部，关上门板并在埋设犁电缆出口处设置吊点，保证投放埋设犁时电缆的弯曲半径→埋设机缓缓搁置海床面→潜水员水下检查电缆与埋设机相对位置，并解除吊点→启动高压海水泵→启动埋深监测系统→启动牵引卷扬机→施工船起锚，开始牵引敷设作业。

## 2) 埋深调节与控制

埋设机的埋设速度由卷扬机的绞缆线速度来决定，并由联接于卷扬机的变频器来控制与调节；在施工过程中，电缆埋设深度可通过调节牵引速度、水泵压力、牵引力以及埋设机姿态等手段来控制。采用高压水泵，确保电缆的埋设深度也能达到设计要求。

敷设时施工船易偏离路由轴线，拟采用拖轮及锚艇，在施工船背水侧或背风侧进行顶推，以纠正埋深施工船的航向偏差。

## (7) 终端登陆施工

在海缆终端登陆前，已完成终端登陆的施工准备工作，具备登陆条件。准确测量登陆长度后，在施工船上截下余缆，并对截断海缆两端进行铅包封堵工作，防止海缆截断后外界环境对电缆造成电气性能及绝缘影响，确保海缆埋设及后续工作质量海缆截断封堵结束后，进行海缆的终端登陆。

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

## (8) 海缆保护

海底电缆防护主要有两种方式：电缆自身外防护和电缆掩埋。海底电缆自身外防护，通常是在电缆外层增加金属丝编织的防护层（铠装）。目前，在世界各国区域电网跨海域互联工程中海底电缆保护常见的措施为：在海缆近海岸登陆段浅水区采用水泥沙浆袋埋设保护；在渔业活动频繁水域且水深30米以内采用少量铁套管保护，在水深30m以上采用水力喷射冲埋保护；在无法进行埋设点和海缆悬空段采用抛石堆积保护。对于局部因覆盖层较薄达不到1.5m埋深的区域，可增加其他保护措施，如套管保护，或加盖碎石、混凝土件、沙包等保护件。

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间的66kV海底电缆。工程海域海床表层土为新近沉积淤泥土，登陆部分为海涂和浅滩，推荐的海缆敷设方式为直埋

方式，建议采取以下防护措施进行海缆保护。

- 1) 建设单位应按照国家法律法规，维护自己的合法权益，保护海底电缆的安全。
- 2) 对于穿越航道区的海缆可加大电缆的埋深，在航道内施工时，需向海事主管机关申请交通管制，同时尽量避免航道封航。
- 3) 海缆敷设完成后，建议在海缆 J 型管出口处采取抛填碎石或水泥压块等措施进行海缆保护。
- 4) 在工程运行过程中，若因海床整体演变等原因造成海底电缆外露，需根据外露区域的工程地质条件选择合适的后续保护工程，如抛填级配块石，设置预制水泥盖板，布设钢丝铅笼网兜等设施。



图 2.3.1-9 水泥压块保护示意

#### (11) 海缆敷设施工进度

电缆敷埋速度由施工船上牵引卷扬机的绞缆线速度决定，可由与卷扬机连接的变频器来控制与调节，可在 0~16m/min 的速度范围内变化。施工过程中，根据不同土质情况，敷埋速度一般控制在 3~9m/min。

### 2.3.1.5 风电场运行退役后初步拆除和清理方案

风电场运行退役后拟进行拆除，拆除范围包括但不限于组成海上风电场的风力发电机组、塔架、基础及其他相关设施、器材、配件、厂房及设备、原材料、全部改建设施等。

参考《海洋石油平台弃置管理暂行办法》（国家海洋局，2002 年 6 月 24 日）

第十二条的规定“废弃的平台妨碍海洋主导功能使用的必须全部拆除。在领海以内海域进行全部拆除的平台，其残留海底的桩腿等应当切割至海底表面 4 米以下。在领海以外残留的桩腿等设施，不得妨碍其它海洋主导功能的使用。”，本期工程风机均位于领海以内海域，在风电场运行退役后，需拆除海面以上风机设备塔架等，风机基础拆除至海底表面 4 米以下。基本恢复本风电场建设前的海底地貌。风机拆除方案考虑采用整体拆除，由于风机拆除对船体稳定性要求不高，可采用起重船实施整体拆除。风机基础的拆除主要将钢管桩在水下切割。

漂浮式风机抓力锚及锚链采用浮船将大吸力锚拽出后，将锚链回收至甲板船，再由甲板船运回至回收点进行统一消解；基础与上部风机采用拖轮进行拖带至码头后，再进行吊装拆除作业。

根据《海洋工程环境影响评价技术导则（GB/T 19485-2014）》的要求，海洋工程（水工构筑物）和设施的废弃、拆除等需编制海洋工程环境影响报告书并报主管部门审批。因此，本工程风电场运行退役后初步拆除和清理方案需编制海洋工程环境影响报告并报主管部门审批后实施。

## 2.3.2 施工设备

### 2.3.2.1 风电机组基础

若基础施工各工序均按一个工作面来考虑，则基础所需的船机设备见下表：

表 2.3.2-1 基础施工主要船机配置表

| 序号 | 名称及规格 | 单位 | 数量 | 用途             | 备注                                 |
|----|-------|----|----|----------------|------------------------------------|
| 1  | 主起重船  | 艘  | 1  | 钢管桩打桩          | 起升高度 100 米以上，起重能力 2000t 以上，配备开口导向架 |
| 2  | 液压打桩锤 | 个  | 1  | 钢管桩插打          | 1900KJ 级以上                         |
| 3  | 主起重船  | 艘  | 1  | 上部基础吊装         | 起重能力 3000t 级以上                     |
| 4  | 甲板驳船  | 艘  | 2  | 钢管桩运输          | 8000t 级以上，每次运输 8 根                 |
| 5  | 甲板驳船  | 艘  | 2  | 上部基础运输         | 10000t 级以上，每次运输 2 个                |
| 6  | 拖轮    | 艘  | 4  | 拖运、移位船只        | 5000HP 及以上                         |
| 7  | 抛锚艇   | 艘  | 3  | 驳船、起重船等<br>起抛锚 |                                    |
| 8  | 交通艇   | 艘  | 1  | 接送人员           |                                    |

|    |     |   |   |               |  |
|----|-----|---|---|---------------|--|
| 9  | 补给船 | 艘 | 1 | 淡水与生活物资<br>补给 |  |
| 10 | 灌浆船 | 艘 | 1 | 导管架灌浆         |  |

### 2.3.2.2 风电机组安装

按照风机分体式吊装方案，若考虑一个工作面进行风机分体安装，则施工需投入的主要设备如下：

表 2.3.2-2 风机吊装主要船机配置表

| 序号 | 名称及规格     | 单位 | 数量 | 用途      | 备注                                  |
|----|-----------|----|----|---------|-------------------------------------|
| 1  | 自升平台船     | 艘  | 1  | 风机吊装    | 800t 主吊、250t 辅助吊，吊高 120m、插腿长 90m 以上 |
| 2  | 8000t 平板驳 | 艘  | 4  | 风机运输    | 自航                                  |
| 3  | 拖轮        | 艘  | 1  | 起锚艇（拖轮） | 自航                                  |
| 4  | 供给船       | 艘  | 1  | 淡水、油料   | 自航                                  |
| 5  | 交通艇       | 艘  | 2  | 场内交通    | 自航                                  |
| 6  | 多功能驳      | 艘  | 1  | 材料运输    | 自航                                  |

### 2.3.2.3 海缆敷设

项目海缆敷设施工主要铺缆设备和机具、电缆埋深设备、锚泊设备如下：

表 2.3.2-3 海缆敷设主要施工设备配置表

| 序号        | 名称     | 说明                  |
|-----------|--------|---------------------|
| 主要铺缆设备和机具 |        |                     |
| 1         | 海缆转盘   | 储存电缆，轨道转动，机械手盘放     |
| 2         | 电缆退扭系统 | 释放电缆扭应力             |
| 3         | 布缆机    | 将电缆从储缆圈经电缆桥拉至甲板     |
| 4         | 机械计米器  | 计量敷设海缆长度            |
| 5         | 入水槽    | 保证电缆入水角度和弯曲半径       |
| 主要电缆埋深设备  |        |                     |
| 6         | 电缆埋设机  | 海底电缆埋深，深度 3-5m      |
| 7         | 高压水泵   | 供水，扬程 300 米以上       |
| 8         | 高压水管   | 将高压水输送至埋设机          |
| 9         | 导缆笼    | 保证埋设机至船舷间电缆的张力和弯曲半径 |

|      |                |                         |
|------|----------------|-------------------------|
| 10   | 海缆埋深监测系统       | 监测电缆的张力、埋深、偏差、缆长及水深、流速等 |
| 11   | 拖曳式潜水器综合监控导航系统 | 埋设机综合监控与水下导航定位系统        |
| 锚泊设备 |                |                         |
| 12   | 牵引绞车           | 牵引施工船前进                 |
| 13   | 锚机             | 固定船位                    |
| 14   | 海军锚            | 大抓力锚                    |
| 15   | 钢丝绳            | 牵引、锚泊等                  |

### 2.3.3 施工进度计划

本项目与一期项目穿插施工，总工期计划为 21 个月，其中工程海上主体施工总工期为 18 个月。本工程于 T+0 月开工后，T+3 月后施工准备完成，主体工程开始施工，第 T+13 个月后首批 8 台 16MW 机组发电，第 T+21 个月之后全部 64 台风机投产发电。

表 2.3.3-1 施工进度计划表

| 序号 | 项目               | 工期(月) | 计划开工(月) | 计划结束(月) | 备注           |
|----|------------------|-------|---------|---------|--------------|
| 1  | 施工准备             | 3     | T+0     | T+3     | 主基地改造、配置临建设施 |
| 2  | 导管架及钢管桩制造加工      | 10    | T+3     | T+12    |              |
| 3  | 非嵌岩四桩导管架沉桩施工（一期） | 5     | T+6     | T+10    | 3 个工作面       |
|    | 非嵌岩四桩导管架沉桩施工（二期） | 5     | T+11    | T+15    | 3 个工作面       |
| 4  | 导管架基础安装施工（一期）    | 5     | T+7     | T+11    | 3 个工作面       |
|    | 导管架基础安装施工（二期）    | 5     | T+12    | T+16    | 3 个工作面       |
| 5  | 浮式风机现场施工         | 1     | T+18    | T+18    |              |
| 6  | 首批风机机组安装（一期）     | 4     | T+9     | T+12    | 首批           |
|    | 剩余风机机组安装（一期、二期）  | 10    | T+13    | T+21    |              |
| 7  | 66kV 海缆敷设        | 8     | T+10    | T+23    | 工期跨度（一期、二期）  |
| 8  | 500KV 送出海缆敷设     | 3     | T+11    | T+13    |              |
| 9  | 海上升压站上部结构加工制作    | 8     | T+3     | T+11    |              |
| 10 | 海上升压站下部基础加工制造    | 4     | T+5     | T+9     |              |

|    |                  |   |      |      |        |
|----|------------------|---|------|------|--------|
| 11 | 海上升压站基础施工与上部安装调试 | 1 | T+9  | T+10 | 下部基础施工 |
|    |                  | 1 | T+11 | T+12 | 上部组块安装 |
|    |                  | 1 | T+13 | T+13 | 调试     |
| 12 | 陆上集控中心           | 8 | T+3  | T+11 | 土建施工   |
|    |                  | 2 | T+12 | T+13 | 电气设备调试 |
| 13 | 首批风机并网调试         | 2 | T+10 | T+13 |        |
|    | 剩余风机并网调试         | 8 | T+14 | T+21 |        |
| 14 | 首批风机投产发电         |   |      | T+13 | 里程碑    |
| 15 | 全部风机投产发电         |   |      | T+21 | 里程碑    |

## 2.4 土石方平衡

本项目共建设 32 台海上风机和 8 回海底电缆。32 台风电机组中有 31 台采用先桩法四桩导管架基础，一台采用漂浮式基础。桩基施工不涉及嵌岩桩，采用常规沉桩施工不产生钻渣。风机先桩法四桩导管架基础在导管架安装之前需对已完成沉桩的钢管桩内进行清孔，每台基础清孔产生泥沙约 4~8m<sup>3</sup>，按最大量计算，31 台风机基础产生泥沙约 248m<sup>3</sup>，可运至集控中心，参与集控中心的土方平衡。敷设海底电缆采用埋设犁冲沟敷设、自动回淤保护的方式，没有多余土石方产生。

## 2.5 项目申请用海情况

本项目用海类型为工业用海中的电力工业用海，用海方式包括透水构筑物用海（风力发电机组）、海底电缆管道用海（66kV 集电海缆），项目申请总用海面积为 236.9673 公顷，其中透水构筑物用海面积 67.2141 公顷，66kV 海底电缆管道用海面积 169.7532 公顷。项目宗海界址图见图 2.5-1。

本项目风机和 66kV 集电海缆均位于近海深水区域，距离最近的陆地 36.8km，不占用大陆岸线和海岛岸线。

本项目风机的设计服务年限为 25 年，工程建设期为 21 个月，因此，项目申请用海期限定为 27 年。

## 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址图（风机、66kV集电海缆）

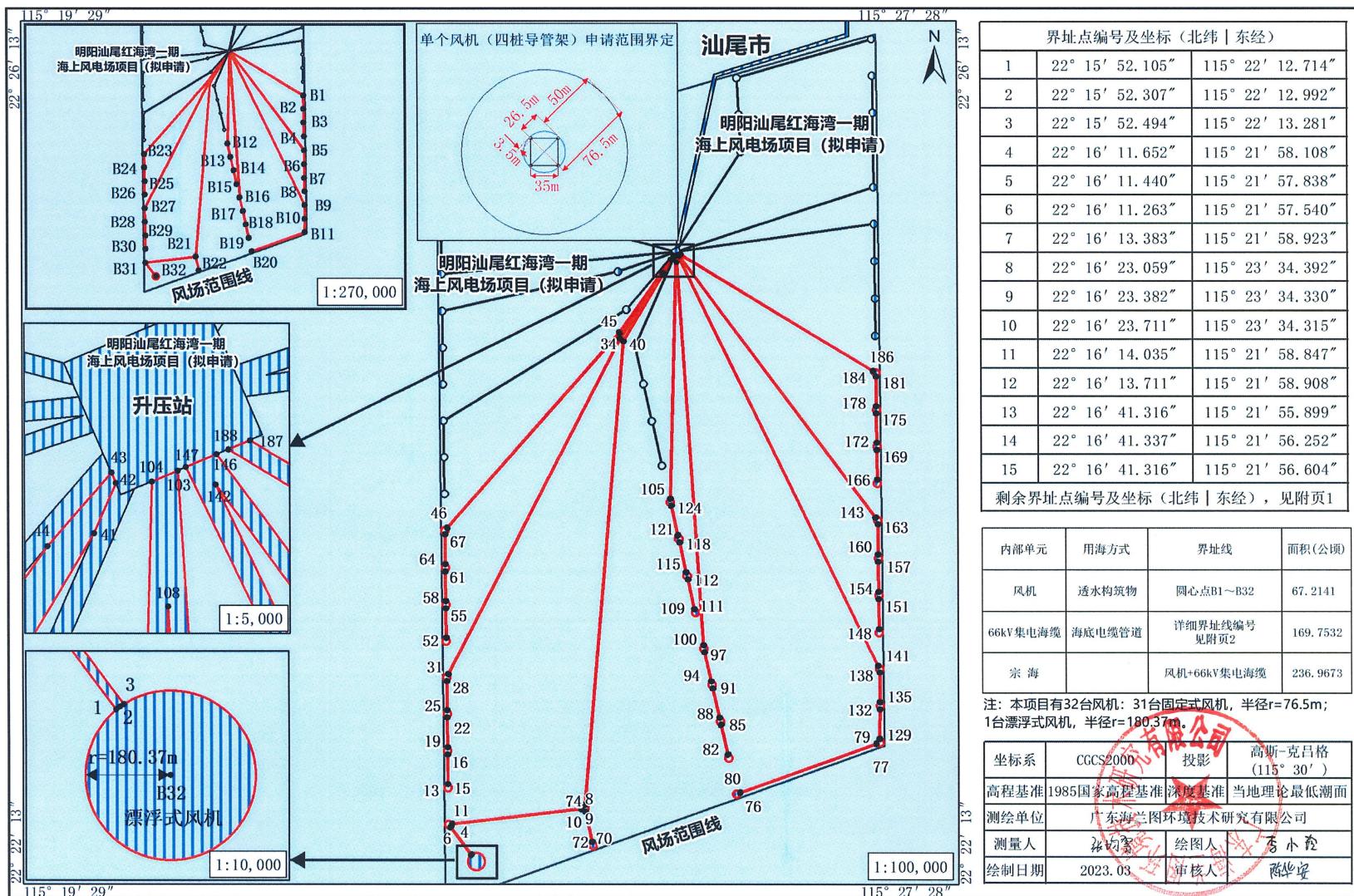


图 2.5-1 项目宗海界址图

## 2.6 项目用海必要性

### 2.6.1 项目建设必要性分析

#### （1）适应国家新能源政策和发展趋势

2020年12月16日至18日召开的中央经济工作会议明确要求：我国二氧化碳排放力争2030年前达到峰值，力争2060年前实现碳中和。要抓紧制定2030年前碳排放达峰行动方案，支持有条件的地方率先达峰。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，大力发展战略性新兴产业，加快建设全国用能权、碳排放权交易市场，完善能源消费双控制度。风电作为发电成本最接近常规能源的新能源之一，将是实现碳达峰、碳中和目标的重要支撑。

本风电场位于汕尾市附近海域，离岸最近距离约36.8km，是汕尾以及广东重要的海上风电项目，其建设能够适应国家新能源发展的政策需求，有效促进节能减排。

#### （2）推动可再生资源开发利用，有利于经济与环境的协调发展

广东省大陆海岸线总长达4000km以上，海域面积广阔，沿海处于亚热带和南亚热带海洋性季风气候区，风力资源丰富，风能资源不仅是广东省能源供应的有效补充，地区经济发展的持续助力，而且作为绿色电能，风电的发展将有效减少二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和氮氧化物(NO<sub>x</sub>)等多种大气污染物的排放。

本项目的建设有助于开发广东海上风能资源，提高地区能源供应能力，缓解电力工业的环保压力，助力地区经济的低碳持续发展，社会效益显著。

#### （3）有利于提高相关产业水平，推进广东海上风电发展

目前，广东省海上风电尚处于起步阶段，本风电场位于汕尾市附近海域，具备良好的开发条件。项目的开发建设，有利于加快海上风电技术水平的发展，有利于促进海上风电设备国产化，有利于促进海上风机基础选型与施工技术的创新。本项目的开发将以点带面带动全省海上风电开发，为后续近海深水区海上风电建设和广东省海上风电规模化开发提供宝贵经验和示范。

#### （4）开发海洋经济增长点，促进地区经济社会发展

本工程的建设充分利用了汕尾沿海资源，对于地区相关产业如建材、交通、

设备制造业的发展起到带动作用，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，有利于地区经济社会的全面发展。随着海上风电场的相继开发，海上风电将为沿海地区开辟新的海洋经济增长点，对拉动地方经济的发展起到积极作用。

综上所述，本项目的建设符合国家可持续、绿色、低碳的能源发展政策，适应广东海上风电发展规划，有利于推动可再生能源的开发利用和节能减排，有利于带动风电产业链和第三产业的发展，增加就业机会，促进地方经济的持续发展。

## 2.6.2 项目用海必要性分析

本项目作为海上风电场项目，项目的海域使用是由其工程建设的特殊性质及项目建设的必要性决定的。

本项目的主体工程全部位于海上，拟建设 32 台风机（31 台 16.0MW 固定式 +1 台 16.6MW 漂浮式）、8 回 66kV 海底电缆。

固定式风机基座为四桩导管架基础结构，属于“透水构筑物用海-其他透水构筑物用海”，桩基插入海床，风机架设在海面上方，必将占用一定的海域。漂浮式为半潜式结构，在机组越做越大、近岸资源越用越少的大趋势下，逐渐成熟的漂浮式风机无疑将是海上风电未来发展的重点方向。项目拟建设 1 台 16.6MW 漂浮式风机旨在打造海上风电大兆瓦风机和漂浮式基础应用科研示范性重点工程，积极探索深水离岸海域、台风频繁等条件下的海上风电设计与施工技术，大力推进我国大容量海上风电设备国产化和技术革新，项目漂浮式风机的建设是必要性的。漂浮式风机属于“透水构筑物用海-其他透水构筑物用海”，风机施工虽无需打桩或钻孔，但风机基础平台存在漂浮和移动区域，必将占用一定的海域。

项目海上风电机组发出的电能通过 66kV 集电海缆接入海上升压站，用于收集风机生产的电力。海底电缆埋入海床以下，属于“海底电缆管道-海底电（光）缆用海”，必将占用一定的海床及底土。

因此，从项目的建设特点来看，本期工程海上风机及电缆铺设将占用一定的海域，项目用海是必要的。

### 3 项目所在海域概况

#### 3.1 自然环境概况

##### 3.1.1 气候特征

采用陆丰气象站（59502，2000~2019年）资料，代表该海域的气候与气象特征。本海域地处北回归线以南的低纬度地带，南海北部的广东沿海，属于典型的亚热带海洋季风气候区，常年气温较高，雨量充沛，相对湿度高，降雨、高温天气都出现在5~10月。受季风的影响，冬季盛行东北风，夏季盛行东南风。本地区易受台风影响，雷暴天气多。

###### 3.1.1.1 气温

综合历史观测资料可知本海域多年平均气温为21.17°C，且其具有明显的季节变化特征，从12月至次年1~3月为气温相对较低的季节，平均气温均在17°C以下；至4月份，气温逐渐上升到20°C以上；最热的月份出现在6-9月，多年月平均气温为27.2°C以上；随后，至10月份，气温开始下降。该海域平均最高气温出现在7月份为28.2°C，平均最低气温出现在1月份为13°C。由陆丰气象站资料可知，7月份气温最高（28.9°C），1月份气温最低（14.9°C）；近20年极端最高气温出现在2005-07-18（38.3°C），极端最低气温出现在2016-01-25（2.0°C）。

###### 3.1.1.2 风况

陆丰气象站月平均风速如表3.1.1.2-1所示，12月平均风速最大（2.5m/s），4月平均风速最小（2.2m/s）。

表3.1.1.2-1 陆丰气象站月平均风速统计（单位：m/s）

| 月份   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 平均风速 | 2.5 | 2.4 | 2.3 | 2.2 | 2.3 | 2.3 | 2.4 | 2.3 | 2.4 | 2.4 | 2.5 | 2.5 |

本海域地处季风区。海面风速的季节变化特点是秋冬风速较大，夏季风速较小，与秋冬季节冷空气活动频繁、而夏季天气系统活动相对较少有关，且冬半年冷空气影响下的海面往往有偏北向大风出现。年平均风向以东北向为主，5月份随着西南气流的增强，偏南风分量增加，6月份平均风向为东到西南风，7、8

月份转偏南风，其中8月份偏南风最多，9月份以后东北季风再次控制沿海，风向变为东北偏北。该海域常有大风(最大风速 $\geq 17.2\text{m/s}$ )天气出现，根据2009-2013年的浮标站观测资料统计发现，在这四年的观测期间，有32天出现大风；此外，大风天气多出现在3、5、7和9月份，冷空气和热带气旋是导致该海域大风出现的主要天气系统，最大大风记录由强台风（1319号台风“天兔”）登录前后引起的，达到14级（44m/s）。3月份冷空气影响造成的大风出现次数较多，西南季风爆发伴随的强对流天气常常在4月和5月出现，7月和9月受热带气旋影响易出现全年极大风速，大风的出现和持续时间受天气系统的强度和移动影响。

### 3.1.1.3 雾况

本海域雾季为1~4月，多年月平均雾日数在3天以上，其中4月的多年月平均雾日数可达5.7天，为全年雾日数最多月份，此外，历年月雾日数最大值出现在3月，可达13天；随后多年月平均雾日数迅速减少，5月份的雾日数仅为1.9天，6~12月的雾日数甚至小于1天。

### 3.1.1.4 相对湿度

陆丰气象站6月份平均相对湿度最大（84.3%），12月平均相对湿度最小（68.2%）。陆丰气象站近20年年平均相对湿度呈现上升趋势，每年上升0.30%，2019年年平均相对湿度最大(83.3%)，2008年年平均相对湿度最小(71.0%)，周期为10年。

## 3.1.2 海洋水文动力特征

项目所在海区位于广东沿岸，属于南海北部陆架海域，该海域的环流特征主要包括南海北部陆坡流、南海暖流、广东沿岸流、夏季南海北部上升流、冬季下降流等要素（图3.1.2-1），而本项目位于汕尾近岸海区，其海流的主要驱动力为周期性的潮流和广东沿岸流。根据以往的水文观测及研究成果，粤东沿岸流受南海季风的影响显著，流向随季风风向变化，冬季为西南向流，夏季为东北向流；另一方面，夏季珠江径流量增大，珠江冲淡水在强西南季风的驱动下得以向东扩展，对粤东近岸的海流和盐度分布产生影响。

项目所在海区的表层水温年度变化范围约为19-29°C，海水盐度通常在

32~33，夏季在强西南季风的影响下盐度可能会受到珠江冲淡水的影响，使表层盐度等值线向外海扩展移动，项目海区的盐度值可降至31左右。此外，夏季西南季风和粤东沿岸地形均有利于在汕尾至福建沿海区域产生上升流，上升流可驱动深层冷水向岸爬升，进而影响海水温度和盐度的垂向分布。

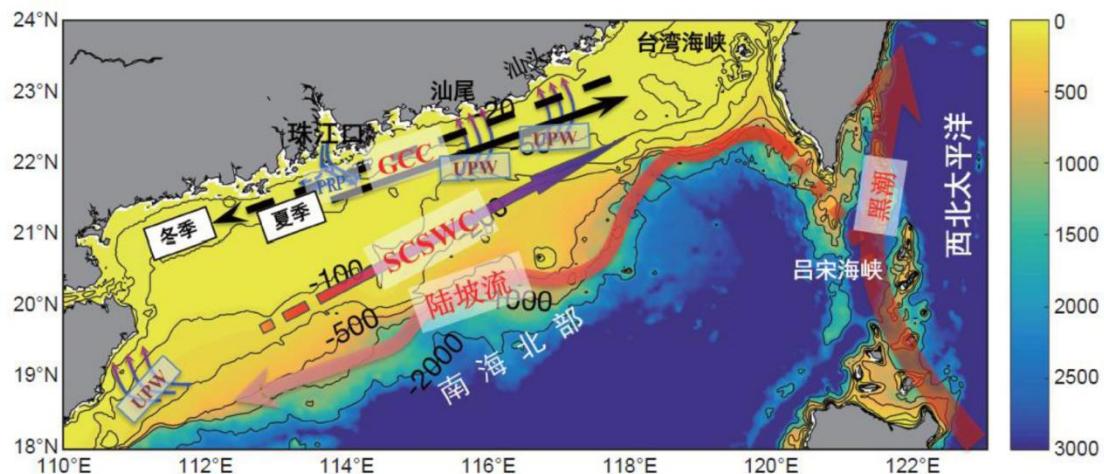


表3.1.2-1 南海北部流系示意图

本节引用《明阳汕尾一海上风电储备场址项目夏季大潮水文观测报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2021年11月）、《明阳汕尾一海上风电储备场址项目冬季大潮水文观测报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2021年4月）。

### 3.1.2.1 调查概况

#### 1、夏季调查概况

夏季大潮水文观测于2021年8月进行，共设3个临时验潮站，9个水文测站的大潮周日水文观测。测验项目包括：潮位、流速、流向、含沙量、海水水温、海水盐度、风况海况、悬沙颗粒取样等。潮位统一采用1985国家高程基准。

大潮同步测验时间：2021年8月21日0:00~2021年8月22日1:00；潮位测验时间：2021年8月16日0:00~2021年9月19日12:00。

表3.1.2.1-1 夏季水文调查站位坐标

| 站号 | 实际观测站位     |             | 观测因素     |
|----|------------|-------------|----------|
|    | 纬度(N)      | 经度(E)       |          |
| C1 | 22°38.839' | 115°47.971' | 海流、悬沙、温盐 |
| C2 | 22°22.224' | 115°07.214' | 海流、悬沙、温盐 |

| 站号       | 实际观测站位     |             | 观测因素     |
|----------|------------|-------------|----------|
|          | 纬度 (N)     | 经度 (E)      |          |
| C3       | 22°24.638' | 115°25.852' | 海流、悬沙、温盐 |
| C4       | 22°21.195' | 115°16.237' | 海流、悬沙、温盐 |
| C5       | 22°17.839' | 115°18.331' | 海流、悬沙、温盐 |
| C6       | 22°17.422' | 115°14.095' | 海流、悬沙、温盐 |
| C7       | 22°13.838' | 115°15.619' | 海流、悬沙、温盐 |
| C8       | 22°13.943' | 115°26.789' | 海流、悬沙、温盐 |
| C9       | 22°09.642' | 115°10.428' | 海流、悬沙、温盐 |
| T1 (碣石湾) | 20°17.128' | 110°21.144' | 潮位       |
| T2 (海关站) | 20°23.167' | 110°28.466' | 潮位       |
| T3 (港口站) | 20°33.710' | 110°29.296' | 潮位       |

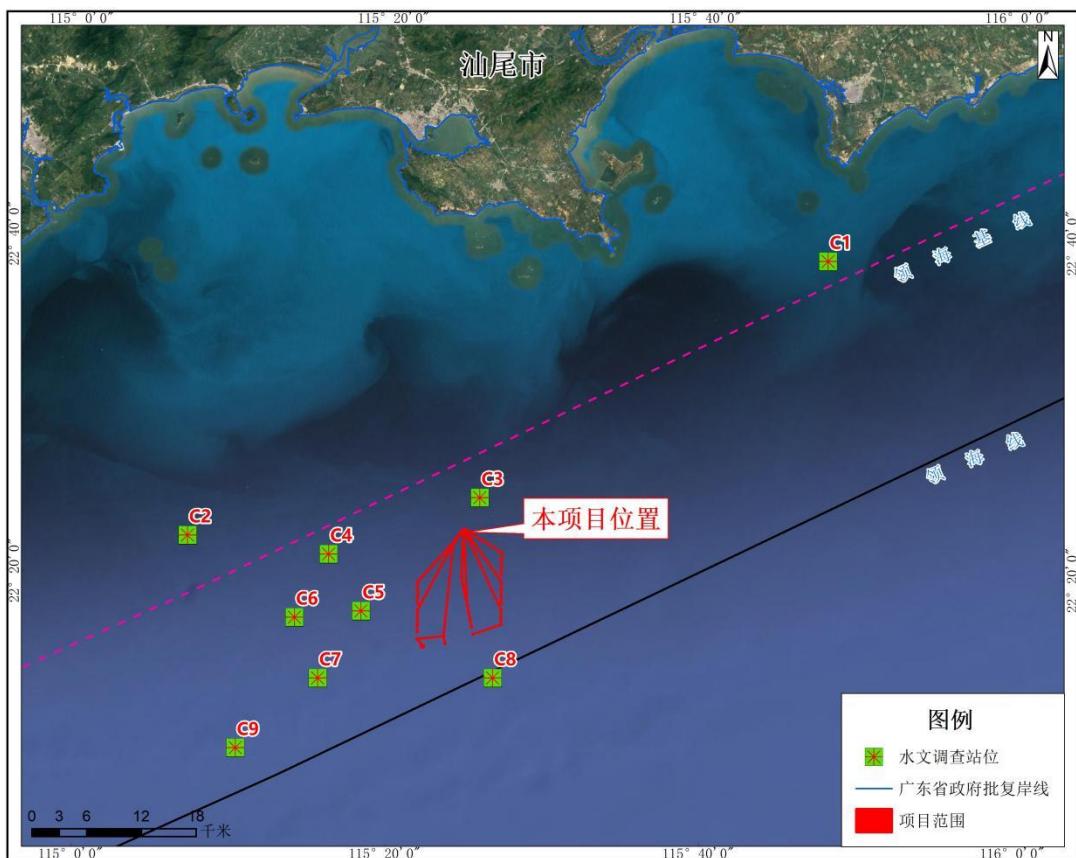


图 3.1.2.1-1 夏季水文调查站位图

## 2、冬季调查概况

冬季大潮水文观测于 2021 年 2 月进行，共设 3 个临时验潮站，9 个水文测站的大潮周日水文观测。测验项目包括：潮位、流速、流向、含沙量、海水水温、

海水盐度、风况海况、悬沙颗粒取样等。潮位统一采用 1985 国家高程基准。

大潮同步测验时间：2021 年 2 月 28 日 17:00～2021 年 3 月 1 日 18:00；潮位测验时间：2021 年 1 月 23 日 12:00～2021 年 3 月 5 日 11:00。

表 3.1.2.1-2 冬季水文调查站位坐标

| 站号      | 实际观测站位     |             | 观测因素     |
|---------|------------|-------------|----------|
|         | 纬度（N）      | 经度（E）       |          |
| C1      | 22°38.846' | 115°48.041' | 海流、悬沙、温盐 |
| C2      | 22°22.265' | 115°07.259' | 海流、悬沙、温盐 |
| C3      | 22°24.637' | 115°25.861' | 海流、悬沙、温盐 |
| C4      | 22°21.214' | 115°16.232' | 海流、悬沙、温盐 |
| C5      | 22°17.855' | 115°18.313' | 海流、悬沙、温盐 |
| C6      | 22°17.426' | 115°14.093' | 海流、悬沙、温盐 |
| C7      | 22°13.833' | 115°15.618' | 海流、悬沙、温盐 |
| C8      | 22°13.938' | 115°26.671' | 海流、悬沙、温盐 |
| C9      | 22°09.661' | 115°10.414' | 海流、悬沙、温盐 |
| T1（碣石湾） | 20°17.128' | 110°21.144' | 潮位       |
| T2（海关站） | 20°23.167' | 110°28.466' | 潮位       |
| T3（港口站） | 20°33.710' | 110°29.296' | 潮位       |

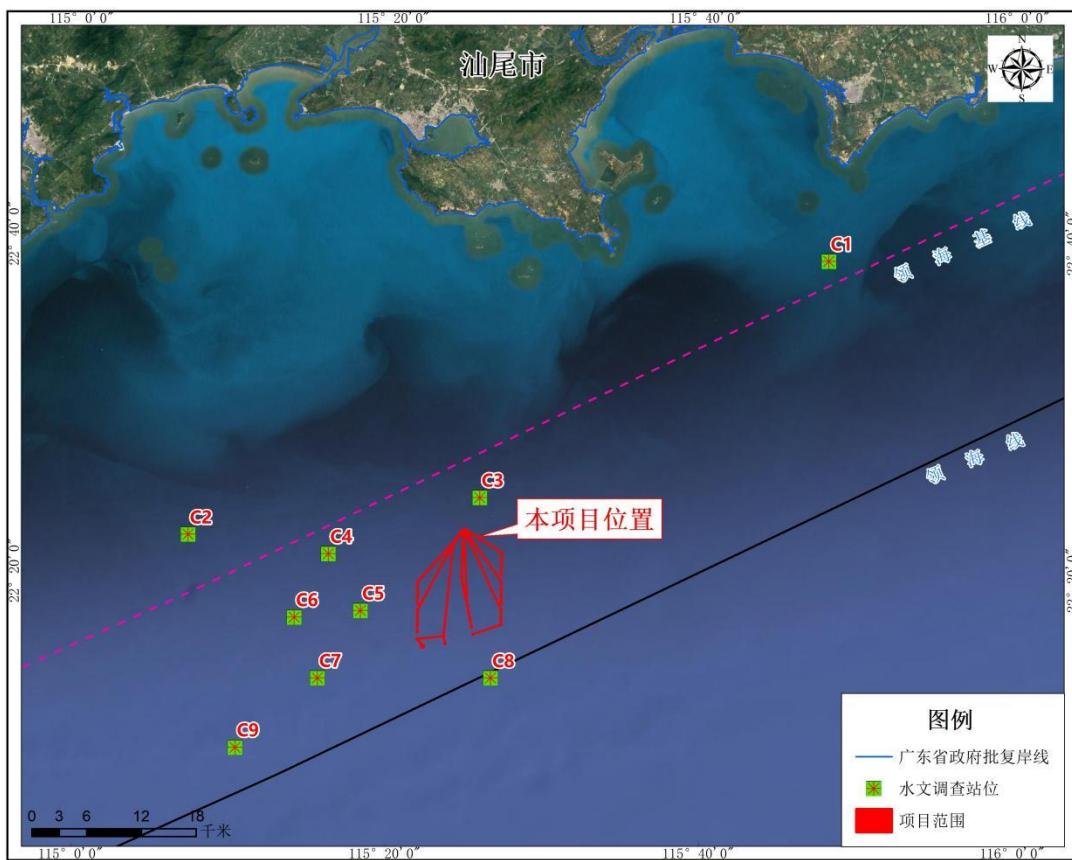


图 3.1.2.1-2 冬季水文调查站位图

### 3.1.2.2 基面关系

水位基准面关系示意图见图 3.1.2.2-1。潮位统一采用 1985 国家高程基准。

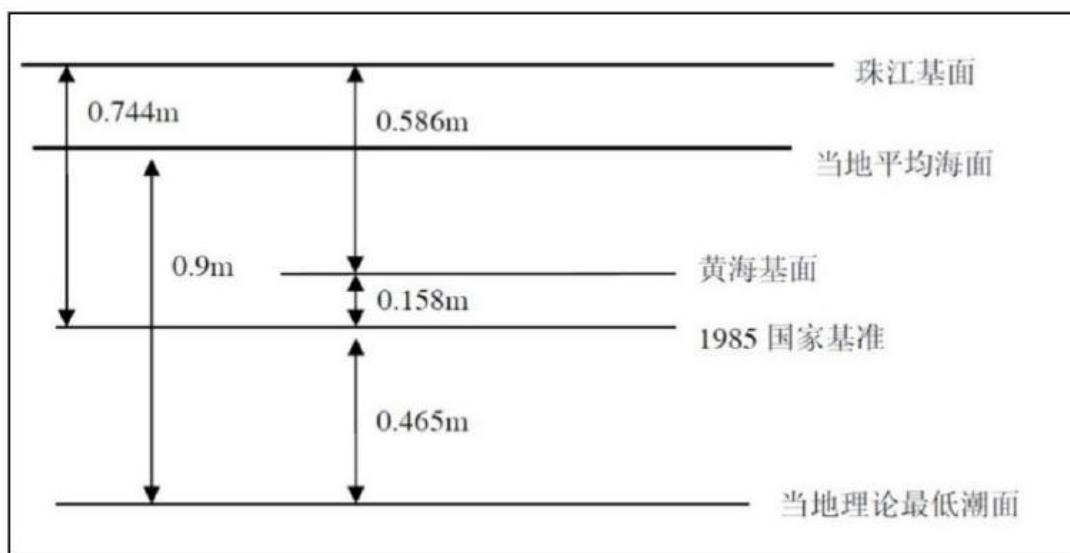


图 3.1.2.2-1 汕尾站基面关系图 (单位: m)

### **3.1.2.3 潮汐**

#### **1、夏季潮汐**

##### **(1) 潮位**

测验海域短期潮位测量平均潮差为 0.78m，属弱潮海区。各潮位站实测平均涨、落潮历时，T1～T3 站平均涨潮历时均大于平均落潮历时。各潮位站平均海平面，T1～T3 站分别为 0.55m、0.74m 和 0.56m。潮位站实测最大潮差均以 T3 站最大，T1 站最小。

##### **(2) 潮汐**

本项目测验期间，施测海域的潮汐：T1、T2、T3 潮位站附近海域属为不正规全日混合潮。一昼夜大多为 2 个潮，相邻高潮或低潮的潮位不等、涨潮历时与落潮历时亦不相等。测验海域短期潮位测量平均潮差为 1.04m，属弱潮海区。

#### **2、冬季潮汐**

##### **(1) 潮位**

测验海域短期潮位测量平均潮差为 1.04m，属弱潮海区。各潮位站实测平均涨、落潮历时，T1～T3 站平均涨潮历时均大于平均落潮历时。各潮位站平均海平面，T1～T3 站分别为 0.81m、1.15m 和 1.16m。潮位站实测平均潮差和最大潮差均以 T3 站最大，T1 站最小，潮差由低纬度向高纬度依次增大。

##### **(2) 潮汐**

本项目测验期间，施测海域的潮汐：T1、T2 潮位站附近海域属为不正规全日混合潮，T3 站附近海域的潮汐性质为不正规半日混合潮。一昼夜大多为 2 个潮，相邻高潮或低潮的潮位不等、涨潮历时与落潮历时亦不相等。测验海域短期潮位测量平均潮差为 1.04m，属弱潮海区。

### **3.1.2.4 海流**

#### **1、夏季海流**

##### **(1) 流速流向统计分析**

##### **1) 涨落潮流划分**

由以下流速矢量分布图 3.1.2.4-1 可以看出，由于本次测验在大潮期间，流态变化较为复杂，往复流特征不明显，故不作涨落潮分析。

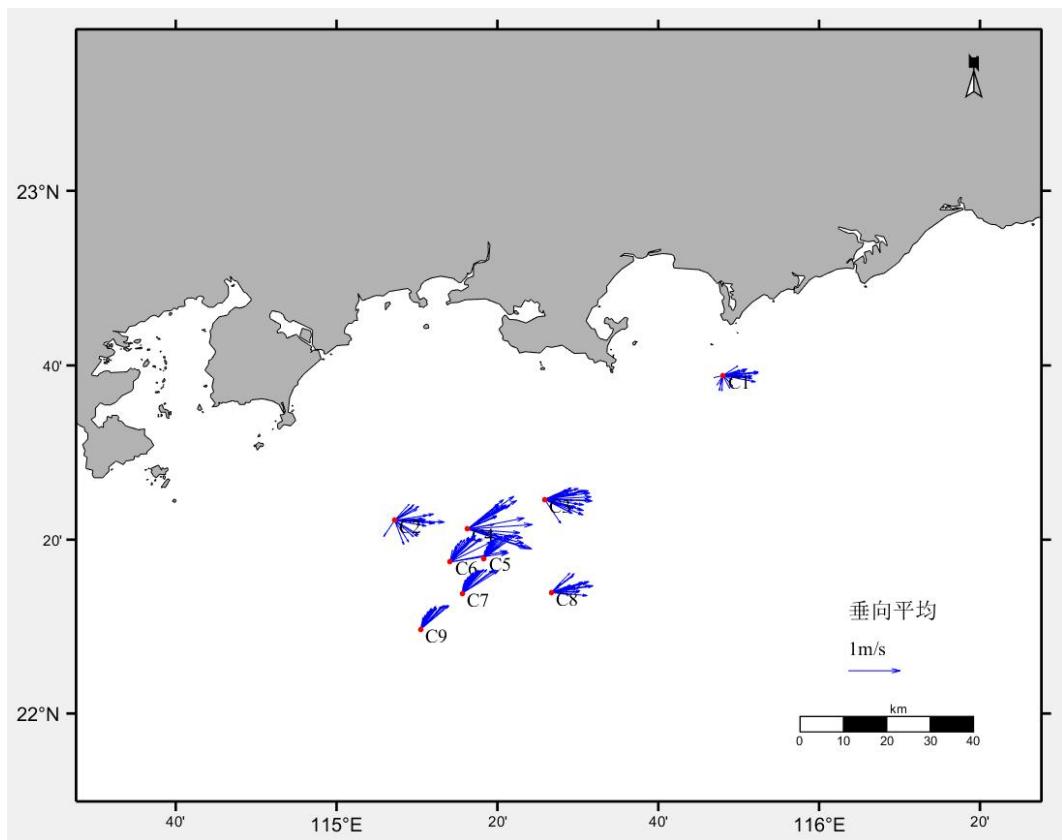


图 3.1.2.4-1 (a) 夏季大潮各测站垂线平均流速矢量图

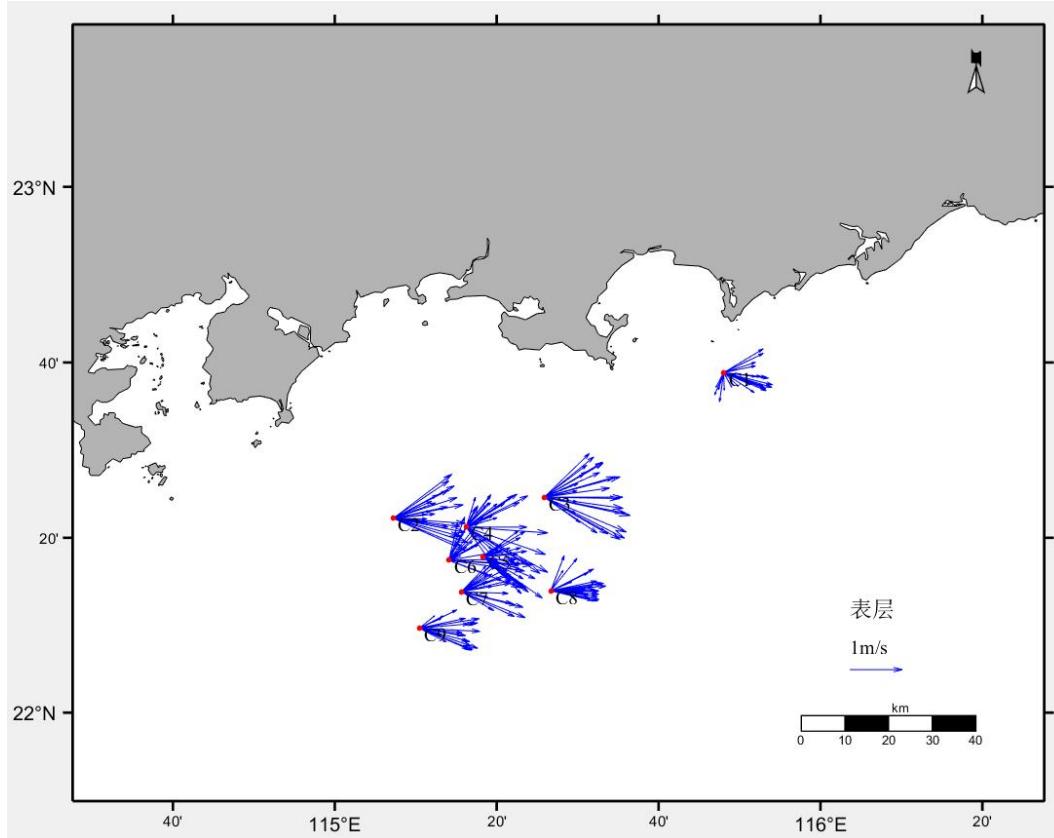


图 3.1.2.4-1 (b) 夏季大潮各测站表层流速矢量图

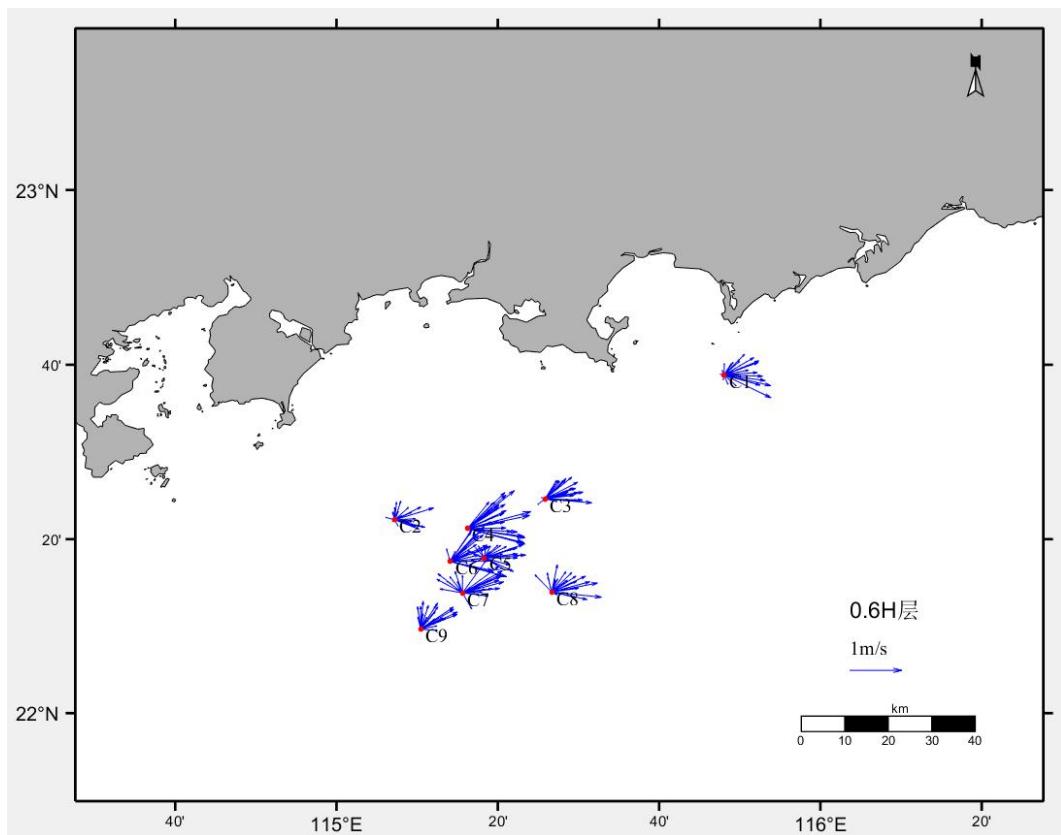


图 3.1.2.4-1 (c) 夏季大潮各测站 0.6H 层流速矢量图

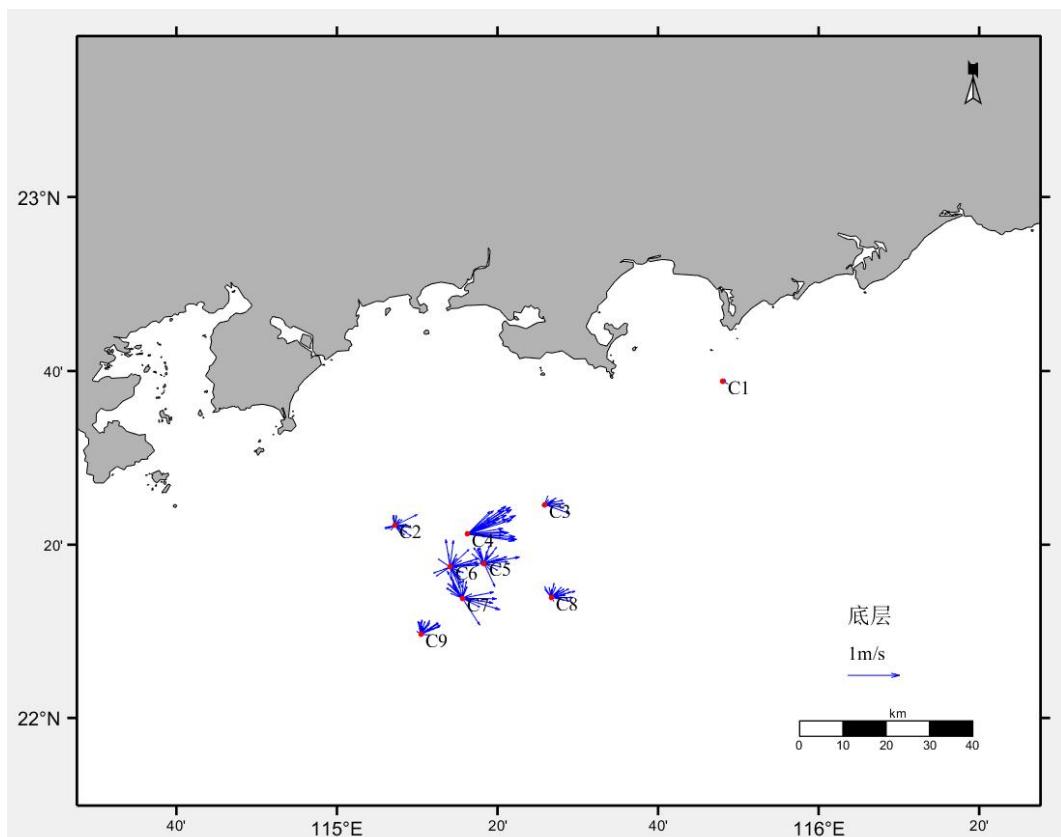


图 3.1.2.4-1 (d) 夏季大潮各测站底层流速矢量图

## **2) 测站平均流向**

根据夏季各站合成流向计算结果（表 3.1.2.4-1），归纳为如下特征。

结合 C1~C9 测站垂线平均流向在 16 个方向上出现频次、频率进行统计（表 3.1.2.4-1）。观测期间，各测站流向变化较分散，各测站潮流呈现较强的旋转流特征，由于所处地理位置不同，各测站受地形影响，流向有所差异。

## **3) 最大流速特征值**

在本次夏季水文大潮测验期间，各测站最大流速特征值如表 3.1.2.4-2 所示。

- (1) 垂线平均最大流速：最大流速出现在 C4 测站，为 65cm/s，流向 107°。
- (2) 实测最大流速：最大流速出现在 C4 测站表层，为 89cm/s，流向 119°。
- (3) 实测最大流速的垂直分布：夏季实测最大流速的垂直分布，观测期间基本为表层流速较大，向下逐层减小，底层为最小的特征。

## **4) 平均流速垂向分布**

通过对夏季大潮水文测验期间各个测站的各层实测的流速资料进行统计，得到各测站的平均流速垂向分布（见表 3.1.2.4-4）。统计结果表明：测验期间，施测海域平均流速均呈表层至底层逐渐递减的分布状态。

表 3.1.2.4-1 大潮各测站垂线平均流向在 16 个方向上出现频次、频率统计

| 测站<br>方向 |    | N      | NNE    | NE     | ENE    | E      | ESE    | SE    | SSE   | S     | SSW    | SW    | WSW   | W | WNW | NW | NNW |
|----------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|---|-----|----|-----|
| C1       | 频次 | -      | -      | -      | 4      | 13     | 1      | 2     | 1     | 1     | 3      | -     | 1     | - | -   | -  | -   |
|          | 频率 | -      | -      | -      | 15.38% | 50.00% | 3.85%  | 7.69% | 3.85% | 3.85% | 11.54% | -     | 3.85% | - | -   | -  | -   |
| C2       | 频次 | -      | -      | 3      | 2      | 14     | 1      | 2     | 2     | -     | -      | 2     | -     | - | -   | -  | -   |
|          | 频率 | -      | -      | 11.54% | 7.69%  | 53.85% | 3.85%  | 7.69% | 7.69% | -     | -      | 7.69% | -     | - | -   | -  | -   |
| C3       | 频次 | -      | -      | -      | 8      | 10     | 7      | 1     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
|          | 频率 | -      | -      | -      | 30.77% | 38.46% | 26.92% | 3.85% | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
| C4       | 频次 | -      | -      | 5      | 8      | 6      | 7      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
|          | 频率 | -      | -      | 19.23% | 30.77% | 23.08% | 26.92% | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
| C5       | 频次 | 3      | 12     | 11     | -      | -      | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
|          | 频率 | 11.54% | 46.15% | 42.31% | -      | -      | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
| C6       | 频次 | -      | 10     | 13     | 1      | 2      | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
|          | 频率 | -      | 38.46% | 50.00% | 3.85%  | 7.69%  | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
| C7       | 频次 | 4      | 12     | 9      | 1      | -      | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
|          | 频率 | 15.38% | 46.15% | 34.62% | 3.85%  | -      | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
| C8       | 频次 | -      | -      | 6      | 10     | 10     | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
|          | 频率 | -      | -      | 23.08% | 38.46% | 38.46% | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
| C9       | 频次 | -      | 18     | 8      | -      | -      | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |
|          | 频率 | -      | 69.23% | 30.77% | -      | -      | -      | -     | -     | -     | -      | -     | -     | - | -   | -  | -   |

表 3.1.2.4-2 夏季大潮最大流速特征值统计表      单位：流速（cm/s），流向（°）（涉密，不公开）

表 3.1.2.4-3 夏季各测站潮段测层最大流速分布表      单位：流速（cm/s），流向（°）（涉密，不公开）

表 3.1.2.4-4 夏季各测站平均流速垂向分布统计表（大潮）      单位：流速（cm/s）（涉密，不公开）

## （2）潮流准调和分析

近岸带实测的海流包括由天体引力所产生的潮流以及主要由水文、气象条件所造成的非潮流（也称余流）两部分。潮流是海水受日、月等天体引潮力作用后产生的周期性水平流动。

对于一周日左右的短期潮流测验资料，许多分潮分离不开，因此，这些分离不开的分潮只能当成一个“分潮”来处理，即采用准调和分析的方法对潮流测验资料进行分析。潮流准调和分析的目的是：根据海流周日测验资料，分离潮流和非潮流，同时算得潮流调和常数，进而计算其潮流特征值，并判断海区的潮流性质。

因本次仅有 26 个小时的大潮观测数据，故采用引入差比数方法对潮流资料用准调和分析方法进行计算分析，差比关系由本次测得的潮位计算得到。

### 1) 潮流椭圆要素

本次夏季水文测验，对 C1~C9 共 9 个水文测验站进行大潮同步水文测验，采用准调和分析方法分别计算出  $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ 、 $M_4$ 、 $M_{S4}$ ，6 个主要分潮流调和常数，各测站主要分潮流的潮流椭圆要素（见表 3.1.2.4-5）。

除了 C4 测站，其余各测站主要分潮流以  $M_2$  半日分潮流为主，其次是  $K_1$  全日分潮流、 $S_2$  半日分潮流、 $O_1$  全日分潮流， $M_{S4}$  复合分潮流和  $M_4$  四分之一日分潮流较小。各主要分潮流最大流速（长半轴）的最大值为 19.2cm/s，出现在 C4 测站  $K_1$  全日分潮流的表层。

表 3.1.2.4-5 各测站主要分潮流椭圆要素表      单位：长半轴（cm/s），长轴向（°）（涉密，不公开）

## 2) 潮流类型

潮流按其性质可分为规则的半日潮流和不规则的半日潮流、规则的全日潮流和不规则的全日潮流，潮流性质以主要的全日分潮流与主要半日分潮流的椭圆长半轴比值 F 来判断：

$$F = \frac{W_{O_1} + W_{K_1}}{W_{M_2}}$$

式中的  $W_{O_1}$ 、 $W_{K_1}$ 、 $W_{M_2}$  分别为主太阴日分潮流、太阴太阳赤纬日分潮流和主太阴半日分潮流的椭圆长半轴长度 (cm/s)。

当  $F \leq 0.5$  时为规则半日潮流

当  $0.5 < F \leq 2.0$  时为不规则半日潮流

当  $2.0 < F \leq 4.0$  时为不规则全日潮流

当  $4.0 < F$  时为规则全日潮流

计算结果如以下表 3.1.2.4-6 所示，从垂线平均 F 值来看，C4 测站垂线平均 F 值大于 2 且小于等于 4，属于不规则全日潮流；其余测站垂线平均的 F 值都大于 0.5 且小于等于 2.0，属于不规则半日潮流。

表 3.1.2.4-6 各测站潮流示性系数表

| 站号 | 潮流示性系数 (F) |      |      |      |      |     |      |
|----|------------|------|------|------|------|-----|------|
|    | 表层         | 0.2H | 0.4H | 0.6H | 0.8H | 底层  | 垂线平均 |
| C1 | 0.5        | 2.6  | 1.4  | 1.1  | 1.0  | 0.8 | 1.5  |
| C2 | 3.1        | 1.8  | 0.8  | 0.3  | 0.8  | 0.7 | 0.7  |
| C3 | 4.0        | 3.0  | 0.5  | 1.0  | 1.7  | 1.2 | 1.2  |
| C4 | 3.0        | 4.9  | 5.2  | 3.0  | 1.8  | 1.4 | 3.5  |
| C5 | 3.9        | 2.0  | 1.1  | 1.7  | 1.8  | 1.2 | 0.7  |
| C6 | 0.4        | 2.0  | 1.5  | 0.9  | 1.6  | 1.5 | 0.7  |
| C7 | 4.1        | 3.2  | 3.5  | 1.8  | 1.8  | 1.1 | 1.2  |
| C8 | 1.5        | 0.9  | 1.1  | 1.4  | 1.4  | 1.4 | 0.9  |
| C9 | 1.8        | 1.2  | 1.0  | 1.8  | 1.9  | 1.9 | 1.0  |

## 3) 潮流可能最大流速

潮流的可能最大流速由地形、气象等多种自然因素形成，潮流的可能最大流速只是海流可能最大流速的一部分，所以用潮流准调和分析方法计算的潮流的可能最大流速存在偏小的可能。

根据《海港水文规范》，理论最大可能潮流流速、流向的推导是以四个主要分潮流 椭圆长半轴的叠加来估算的：

a、对于正规半日潮流海区：

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

b、对于正规全日潮流海区：

$$\vec{V}_{\max} = \vec{W}_{M_2} + \vec{W}_{S_2} + 1.600\vec{W}_{K_1} + 1.450\vec{W}_{O_1}$$

对于不正规半日潮流海区和不正规全日潮流海区，采用上面两式中的最大值。式中的  $V_{\max}$  为潮流的可能最大流速，单位为：cm/s。 $W_{M2}$ 、 $W_{S2}$ 、 $W_{K1}$ 、 $W_{O1}$ 、 $W_{M4}$ 、 $W_{MS4}$  分别为主太阴半日分潮流、主太阳半日分潮流、太阴太阳赤纬日分潮流、主太阴日分潮流、太阴四分之一日分潮流和太阴太阳四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量。

依据公式计算的潮流的可能最大流速结果见表 3.1.2.4-7。垂线平均的潮流的可能最大流速 C2 测站最大，为 53cm/s，流向为 82°N；C1 测站最小，为 37cm/s，流向 68°N。

各层的潮流的可能最大流速以 C6 测站 0.4H 最大，为 78cm/s，流向 106°N；C3 测站 0.6H 最小，为 2cm/s，流向 175°N。受海床底质摩擦的影响，各测站潮流可能最大流速基本随着水深的增加减小。

表 3.1.2.4-7 各测站潮流的可能最大流速表 单位：流速（cm/s），流向（°）

| 站号 | 表层 |     | 0.2H |     | 0.4H |     | 0.6H |     | 0.8H |     | 底层 |     | 垂线平均 |     |
|----|----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|----|-----|------|-----|
|    | 流速 | 流向  | 流速   | 流向  | 流速   | 流向  | 流速   | 流向  | 流速   | 流向  | 流速 | 流向  | 流速   | 流向  |
| C1 | 65 | 85  | 49   | 77  | 51   | 88  | 54   | 99  | 45   | 100 | 3  | 100 | 37   | 68  |
| C2 | 63 | 39  | 71   | 81  | 49   | 70  | 34   | 107 | 31   | 83  | 20 | 82  | 53   | 82  |
| C3 | 61 | 32  | 42   | 18  | 58   | 77  | 2    | 175 | 50   | 55  | 22 | 88  | 48   | 88  |
| C4 | 53 | 4   | 51   | 30  | 43   | 20  | 46   | 22  | 32   | 31  | 52 | 92  | 45   | 92  |
| C5 | 28 | 27  | 38   | 23  | 10   | 283 | 31   | 289 | 34   | 312 | 36 | 96  | 46   | 96  |
| C6 | 53 | 345 | 45   | 343 | 78   | 106 | 28   | 357 | 45   | 74  | 37 | 71  | 49   | 71  |
| C7 | 37 | 29  | 45   | 38  | 67   | 75  | 62   | 80  | 45   | 314 | 38 | 325 | 43   | 325 |
| C8 | 61 | 102 | 48   | 71  | 58   | 65  | 53   | 88  | 45   | 83  | 26 | 83  | 46   | 83  |
| C9 | 77 | 106 | 47   | 107 | 51   | 92  | 42   | 61  | 37   | 61  | 22 | 62  | 40   | 62  |

#### 4) 潮流运动形式

潮流的运动形式一般分为往复流和旋转流两种。潮流的运动形式通常以 K 值的大小来判断。通过计算分潮流的椭圆要素，算出各站各测层的分潮潮流椭圆旋转率（K）表。

$K=0$ , 为典型的往复流,  $|K|=1$ , 为典型的旋转流。 $|K|$  值介于 0~1 之间,  $|K|$  值越大, 旋转流的形式越显著,  $|K|$  值越小, 往复流的形式越显著。C1 和 C4 测站各主要分潮流以  $M_2$  半日分潮流为主, 主要以  $M_2$  分潮流的椭圆旋转率(K) 的变化情况来阐述这两个测站潮流运动形式。其余测站以  $O_1$  和  $K_1$  全日分潮流为主, 故主要以  $O_1$  和  $K_1$  分潮流的椭圆旋转率 (K) 的变化情况来阐述各测站潮流运动形式。

由计算结果可知, 各测站  $M_2$  分潮流垂线平均  $|K|$  值介于 0~0.66 之间, C4、C5、C6、C7、C9 测站潮流呈现以往复流为主结合旋转流, 其余测站潮流呈现较强的逆时针旋转流特征。

潮流的旋转方向, 与地球的自转、地区所在的位置和地形密切相关。C1~C9 测站  $M_2$  分潮流垂线平均为逆时针旋转。

表 3.1.2.4-8  $M_2$  分潮椭圆旋转率表 单位: 流速 (cm/s), 流向 ( $^{\circ}$ )

| 站号 | 表层    | 0.2H  | 0.4H  | 0.6H  | 0.8H  | 底层    | 垂线平均  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C1 | 0.52  | 0.24  | 0.02  | -0.27 | -0.48 | 0.66  | -0.16 |
| C2 | 0.45  | 0.27  | -0.42 | -0.44 | -0.32 | -0.42 | -0.29 |
| C3 | -0.25 | -0.07 | -0.27 | 0.19  | -0.2  | -0.32 | -0.3  |
| C4 | -0.44 | -0.41 | -0.08 | -0.32 | -0.2  | -0.1  | -0.23 |
| C5 | 0.2   | 0.4   | 0.16  | -0.31 | -0.49 | -0.2  | -0.08 |
| C6 | -0.16 | -0.16 | 0.22  | 0.03  | -0.44 | -0.26 | 0.04  |
| C7 | 0.47  | -0.38 | -0.08 | 0.24  | 0.24  | -0.12 | 0.02  |
| C8 | -0.49 | -0.57 | -0.49 | -0.32 | -0.27 | -0.26 | -0.4  |
| C9 | -0.13 | 0.17  | -0.16 | 0.18  | 0.18  | 0.25  | -0.04 |

## 2、冬季海流

### (1) 流速流向统计分析

#### 1) 涨落潮流划分

由以下流速矢量分布图3.1.2.4-2 可以看出, 由于本次测验在大潮期间, 流态变化较为复杂, 往复流特征不明显, 故不作涨落潮分析。

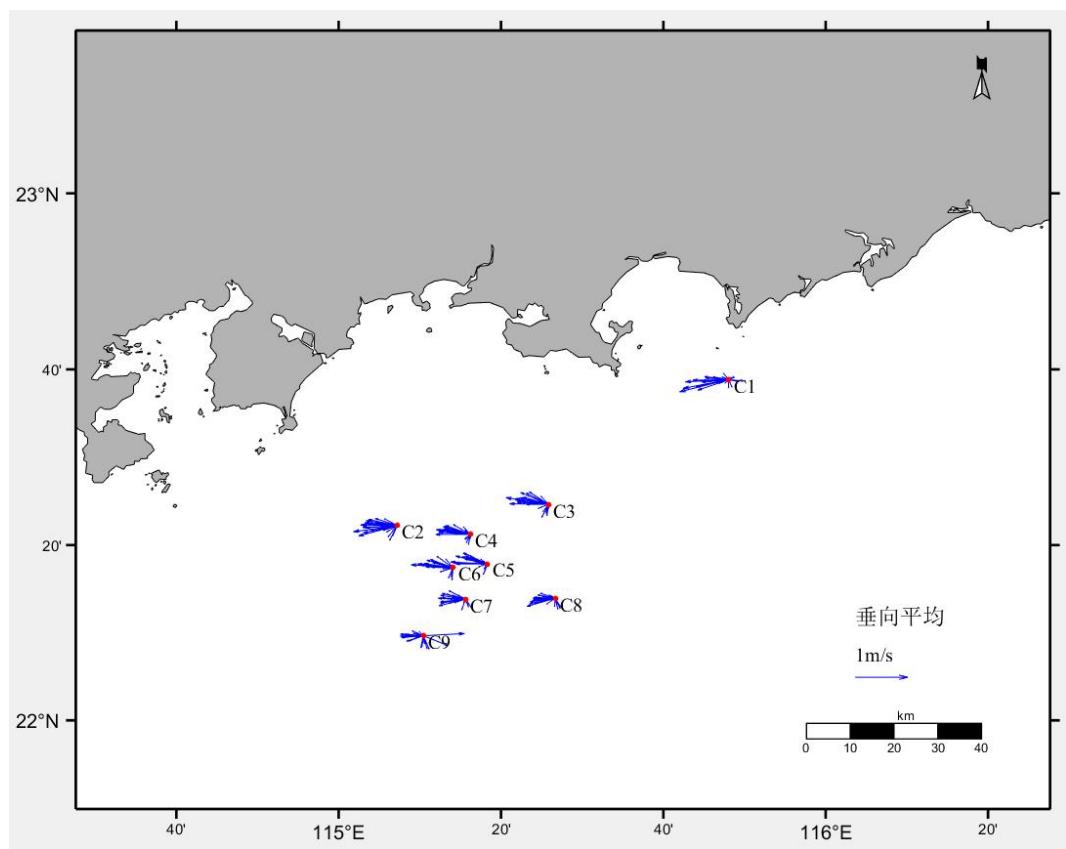


图 3.1.2.4-2 (a) 冬季大潮各测站垂线平均流速矢量图

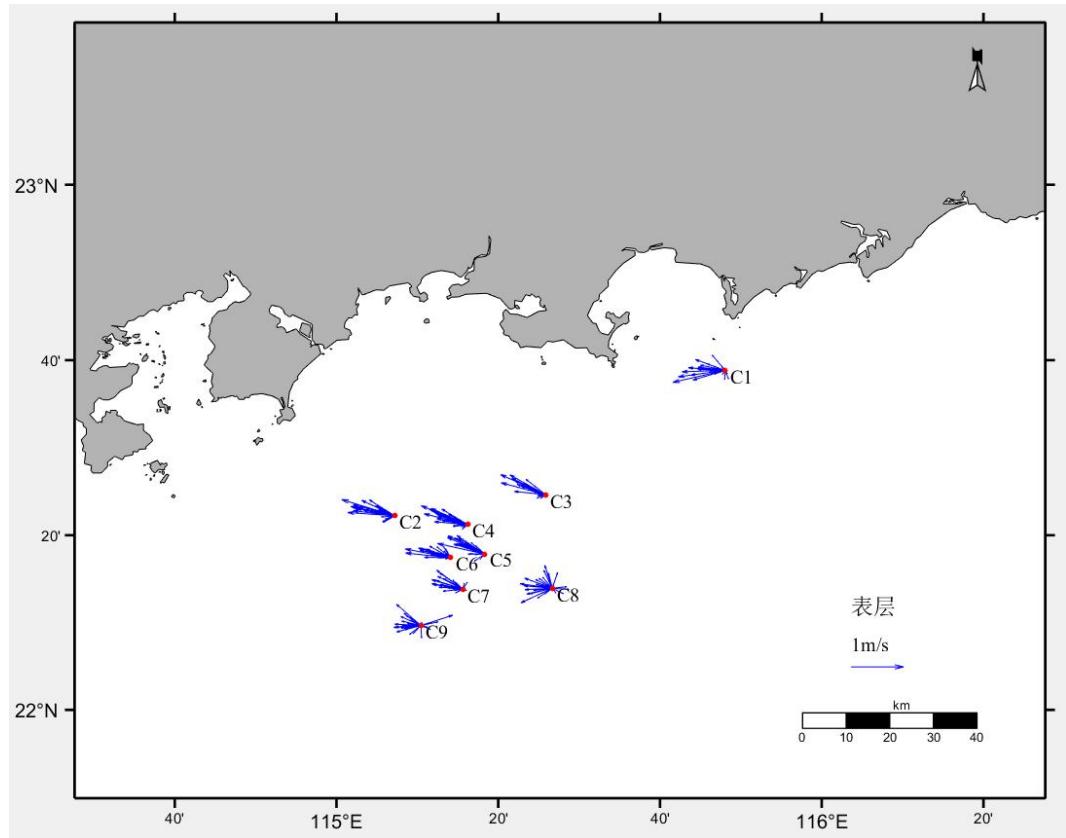


图 3.1.2.4-2 (b) 冬季大潮各测站表层流速矢量图

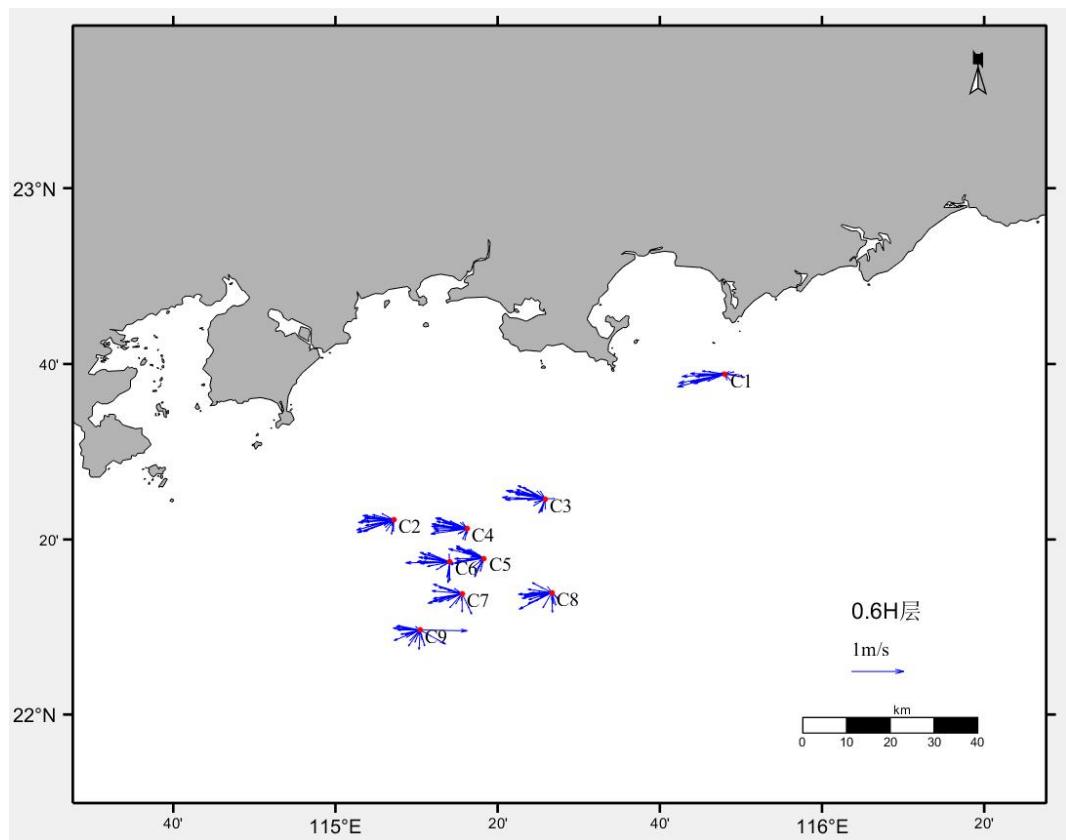


图 3.1.2.4-2 (c) 冬季大潮各测站 0.6H 层流速矢量图

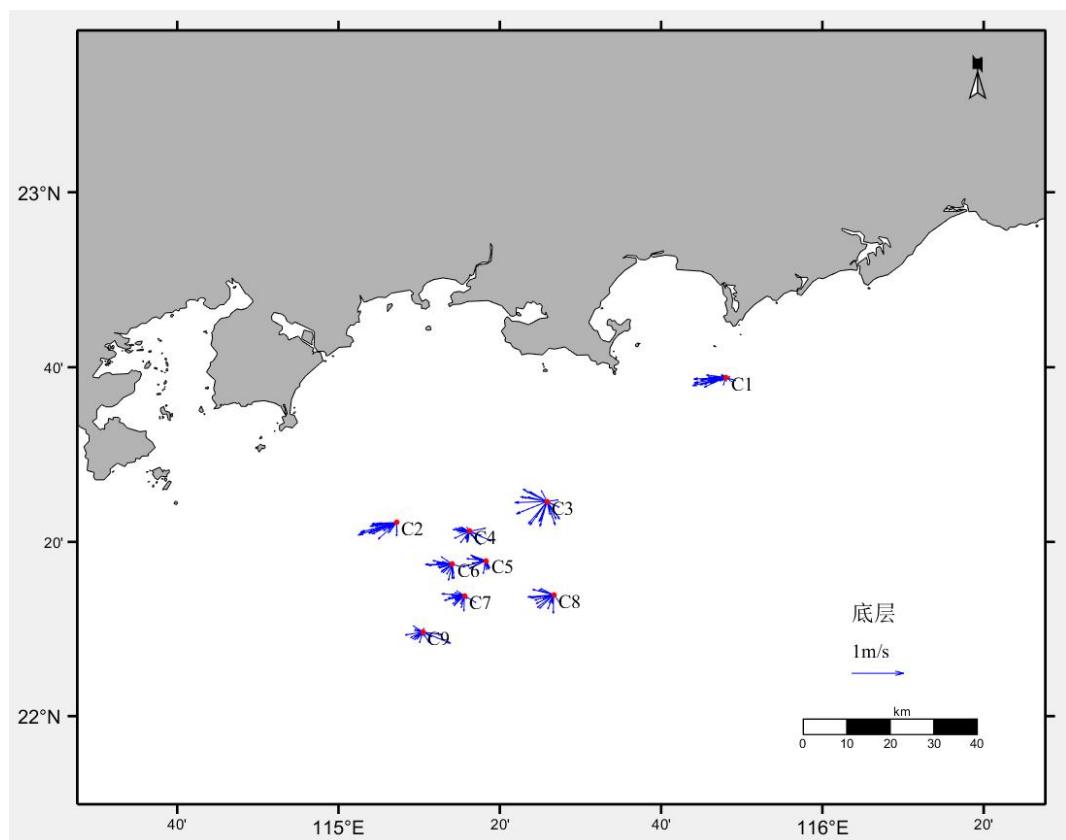


图 3.1.2.4-2 (d) 冬季大潮各测站底层流速矢量图

## 2) 测站平均流向

根据冬季各站合成流向计算结果（表 3.1.2.4-9），归纳为如下特征。

结合 C1~C9 测站垂线平均流向在 16 个方向上出现频次、频率进行统计（表 3.1.2.4-9）。观测期间，各测站流向变化较分散，各测站潮流呈旋转流，由于所处地理位置不同，各测站受地形影响，流向有所差异。

表 3.1.2.4-9 大潮各测站垂线平均流向在 16 个方向上出现频次、频率统计

| 测站 | 方向 | N | NNE | NE    | ENE   | E     | ESE   | SE    | SSE    | S      | SSW    | SW    | WSW    | W      | WN W   | NW    | NN W  |
|----|----|---|-----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| C1 | 频次 | - | -   | 1     | 2     | 1     | 1     | -     | 1      | 1      | -      | 1     | 6      | 10     | 1      | 1     | -     |
|    | 频率 | - | -   | 3.85% | 7.69% | 3.85% | 3.85% | -     | 3.85%  | 3.85%  | -      | 3.85% | 23.08% | 38.46% | 3.85%  | 3.85% | -     |
| C2 | 频次 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | -      | 3      | 2     | 4      | 14     | 3      | -     | -     |
|    | 频率 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | -      | 11.54% | 7.69% | 15.38% | 53.85% | 11.54% | -     | -     |
| C3 | 频次 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | 3      | 3      | 1     | 1      | 11     | 6      | 1     | -     |
|    | 频率 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | 11.54% | 11.54% | 3.85% | 3.85%  | 42.31% | 23.08% | 3.85% | -     |
| C4 | 频次 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | 2      | 2      | 2     | -      | 12     | 6      | 2     | -     |
|    | 频率 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | 7.69%  | 7.69%  | 7.69% | -      | 46.15% | 23.08% | 7.69% | -     |
| C5 | 频次 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | -      | 3      | 2     | 1      | 5      | 14     | 1     | -     |
|    | 频率 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | -      | 11.54% | 7.69% | 3.85%  | 19.23% | 53.85% | 3.85% | -     |
| C6 | 频次 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | 2      | 3      | 1     | 1      | 10     | 6      | 2     | 1     |
|    | 频率 | - | -   | -     | -     | -     | -     | -     | -      | 7.69%  | 11.54% | 3.85% | 3.85%  | 38.46% | 23.08% | 7.69% | 3.85% |
| C7 | 频次 | - | -   | -     | -     | -     | -     | 1     | 3      | -      | 3      | -     | 3      | 11     | 5      | -     | -     |
|    | 频率 | - | -   | -     | -     | -     | -     | 3.85% | 11.54% | -      | 11.54% | -     | 11.54% | 42.31% | 19.23% | -     | -     |

### 3) 最大流速特征值

在本次冬季水文大潮测验期间，各测站最大流速特征值如表 3.1.2.4-10 所示。

a、垂线平均最大流速：最大流速出现在 C1 测站，为 48cm/s，流向 256°。

b、实测最大流速：最大流速出现在 C2 测站表层，为 53cm/s，流向 287°。

c、实测最大流速的垂直分布：冬季实测最大流速的垂直分布，观测期间基本为表层流速较大，向下逐层减小，底层为最小的特征。

表 3.1.2.4-10 冬季大潮最大流速特征值统计表 单位：流速（cm/s）,流向（°）

| 项目<br>测点 | 实测最大 |     |      | 垂线平均最大 |     |
|----------|------|-----|------|--------|-----|
|          | 流速   | 流向  | 测点   | 流速     | 流向  |
| C1       | 52   | 258 | 0.2H | 48     | 256 |
| C2       | 53   | 287 | 表层   | 42     | 262 |
| C3       | 50   | 254 | 0.8H | 41     | 279 |
| C4       | 48   | 292 | 表层   | 33     | 278 |
| C5       | 46   | 283 | 表层   | 35     | 273 |
| C6       | 44   | 281 | 表层   | 40     | 274 |
| C7       | 36   | 275 | 0.8H | 26     | 256 |
| C8       | 35   | 243 | 0.6H | 28     | 254 |
| C9       | 48   | 99  | 0.8H | 39     | 87  |
| 最大       | 53   | 287 | 表层   | 48     | 256 |

表 3.1.2.4-11 冬季各测站潮段测层最大流速分布表 单位：流速（cm/s）,流向（°）

| 测站 |      | 表层  | 0.2H | 0.4H | 0.6H | 0.8H | 底层  |
|----|------|-----|------|------|------|------|-----|
| C1 | 最大流速 | 51  | 52   | 49   | 47   | 49   | 33  |
|    | 流向   | 257 | 258  | 256  | 255  | 256  | 256 |
| C2 | 最大流速 | 53  | 48   | 43   | 37   | 40   | 39  |
|    | 流向   | 287 | 268  | 265  | 255  | 247  | 252 |
| C3 | 最大流速 | 47  | 46   | 42   | 41   | 50   | 32  |
|    | 流向   | 294 | 301  | 296  | 272  | 254  | 248 |
| C4 | 最大流速 | 48  | 47   | 41   | 35   | 29   | 23  |
|    | 流向   | 292 | 292  | 289  | 262  | 236  | 114 |
| C5 | 最大流速 | 46  | 44   | 35   | 35   | 38   | 24  |
|    | 流向   | 283 | 286  | 284  | 285  | 255  | 255 |
| C6 | 最大流速 | 44  | 44   | 44   | 42   | 41   | 26  |
|    | 流向   | 281 | 281  | 274  | 269  | 270  | 270 |

|    |      |     |     |     |     |     |     |
|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| C7 | 最大流速 | 31  | 31  | 29  | 34  | 36  | 22  |
|    | 流向   | 287 | 281 | 278 | 254 | 275 | 275 |
| C8 | 最大流速 | 33  | 29  | 26  | 35  | 29  | 25  |
|    | 流向   | 245 | 276 | 273 | 243 | 251 | 265 |
| C9 | 最大流速 | 32  | 35  | 39  | 45  | 48  | 29  |
|    | 流向   | 72  | 71  | 78  | 91  | 99  | 112 |

#### 4) 平均流速垂向分布

通过对冬季大潮水文测验期间各个测站的各层实测的流速资料进行统计，得到各测站的平均流速垂向分布，见表 3.1.2.4-12。

统计结果表明：测验期间，施测海域平均流速均呈表层至底层逐渐递减的分布状态。

表 3.1.2.4-12 冬季各测站平均流速垂向分布统计表（大潮） 单位：流速（cm/s）

| 站名    | 表层 | 0.2H | 0.4H | 0.6H | 0.8H | 底层   |
|-------|----|------|------|------|------|------|
| C1    | 18 | 16   | 14   | 14   | 17   | 12   |
| C2    | 26 | 24   | 22   | 19   | 20   | 19   |
| C3    | 20 | 17   | 17   | 19   | 23   | 10   |
| C4    | 24 | 22   | 20   | 18   | 13   | 4    |
| C5    | 20 | 17   | 15   | 17   | 14   | 8    |
| C6    | 19 | 20   | 17   | 16   | 15   | 9    |
| C7    | 16 | 13   | 11   | 16   | 14   | 9    |
| C8    | 10 | 8    | 9    | 14   | 16   | 11   |
| C9    | 10 | 7    | 9    | 9    | 9    | 4    |
| 平均值   | 17 | 15   | 13   | 14   | 13   | 8    |
| 与表层比值 | 1  | 0.88 | 0.76 | 0.82 | 0.76 | 0.47 |

#### (2) 潮流准调和分析

近岸带实测的海流包括由天体引力所产生的潮流以及主要由水文、气象条件所造成的非潮流（也称余流）两部分。潮流是海水受日、月等天体引潮力作用后产生的周期性水平流动。

对于一周日左右的短期潮流测验资料，许多分潮分离不开，因此，这些分离不开的分潮只能当成一个“分潮”来处理，即采用准调和分析的方法对潮流测验资料进行分析。潮流准调和分析的目的是：根据海流周日测验资料，分离潮流和非潮流，同时算得潮流调和常数，进而计算其潮流特征值，并判断海区的潮流性质。

因本次仅有 26 个小时的大潮观测数据，故采用引入差比数方法对潮流资料用准调 和分析方法进行计算分析，差比关系由本次测得的潮位计算得到。

### 1) 潮流椭圆要素

本次冬季水文测验，对 C1~C9 共 9 个水文测验站进行大潮同步水文测验，采用准调和分析方法分别计算出  $O_1$ 、 $K_1$ 、 $M_2$ 、 $S_2$ 、 $M_4$ 、 $M_{S4}$ ，6 个主要分潮流调和常数，各测站主要分潮流的潮流椭圆要素（见表 3.1.2.4-13）。

各测站主要分潮流以  $O_1$  全日分潮流、 $K_1$  全日分潮流和  $M_2$  半日分潮流为主，其次为  $S_2$  半日分潮流， $M_{S4}$  复合分潮流和  $M_4$  四分之一日分潮流较小。各主要分潮流最大流速（长半轴）的最大值为 22.3cm/s，出现在 C3 测站  $K_1$  全日分潮流的 0.8H 层。

表 3.1.2.4-13 各测站主要分潮流椭圆要素表 单位: 长半轴 (cm/s), 长轴向 (°)

| 测站 |      | O <sub>1</sub> |       |     | K <sub>1</sub> |       |     | M <sub>2</sub> |       |     | S <sub>2</sub> |       |     | M <sub>4</sub> |      |     | M <sub>S4</sub> |      |     |
|----|------|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|------|-----|-----------------|------|-----|
|    |      | 长半轴            | 椭圆率   | 长轴向 | 长半轴            | 椭圆率  | 长轴向 | 长半轴             | 椭圆率  | 长轴向 |
| C1 | 表层   | 7.5            | 0.60  | 245 | 9.2            | 0.60  | 245 | 11.1           | -0.05 | 272 | 4.3            | -0.05 | 272 | 2.1            | 0.65 | 188 | 1.2             | 0.65 | 188 |
|    | 0.2H | 10.6           | 0.49  | 240 | 13.0           | 0.49  | 240 | 11.8           | -0.05 | 264 | 4.5            | -0.05 | 264 | 2.0            | 0.76 | 198 | 1.2             | 0.76 | 198 |
|    | 0.4H | 12.3           | 0.06  | 253 | 15.2           | 0.06  | 253 | 13.7           | -0.13 | 266 | 5.3            | -0.13 | 266 | 1.7            | 0.63 | 223 | 1.0             | 0.63 | 223 |
|    | 0.6H | 11.4           | -0.01 | 258 | 14.0           | -0.01 | 258 | 13.5           | -0.12 | 267 | 5.2            | -0.12 | 267 | 1.9            | 0.50 | 237 | 1.1             | 0.50 | 237 |
|    | 0.8H | 11.7           | 0.14  | 252 | 14.4           | 0.14  | 252 | 13.2           | -0.09 | 267 | 5.1            | -0.09 | 267 | 1.9            | 0.53 | 237 | 1.1             | 0.53 | 237 |
|    | 底层   | 7.8            | 0.19  | 250 | 9.6            | 0.19  | 250 | 9.0            | -0.10 | 267 | 3.5            | -0.10 | 267 | 1.3            | 0.51 | 239 | 0.8             | 0.51 | 239 |
|    | 垂线平均 | 10.5           | 0.18  | 249 | 12.8           | 0.18  | 249 | 12.5           | -0.10 | 267 | 4.8            | -0.10 | 267 | 1.8            | 0.62 | 228 | 1.1             | 0.62 | 228 |
| C2 | 表层   | 4.4            | 0.35  | 324 | 5.4            | 0.35  | 324 | 10.3           | 0.11  | 287 | 4.0            | 0.11  | 287 | 1.9            | 0.43 | 4   | 1.1             | 0.43 | 4   |
|    | 0.2H | 7.6            | 0.18  | 357 | 9.4            | 0.18  | 357 | 10.8           | 0.02  | 279 | 4.1            | 0.02  | 279 | 2.0            | 0.54 | 355 | 1.2             | 0.54 | 355 |
|    | 0.4H | 7.7            | -0.04 | 353 | 9.5            | -0.04 | 353 | 10.5           | 0.02  | 278 | 4.0            | 0.02  | 278 | 2.2            | 0.32 | 4   | 1.3             | 0.32 | 4   |
|    | 0.6H | 6.4            | 0.09  | 349 | 7.8            | 0.09  | 349 | 9.4            | -0.01 | 278 | 3.6            | -0.01 | 278 | 2.4            | 0.39 | 337 | 1.4             | 0.39 | 337 |
|    | 0.8H | 6.3            | -0.15 | 206 | 7.7            | -0.15 | 206 | 8.6            | 0.04  | 283 | 3.3            | 0.04  | 283 | 2.4            | 0.36 | 313 | 1.4             | 0.36 | 313 |
|    | 底层   | 6.2            | -0.20 | 222 | 7.6            | -0.20 | 222 | 6.0            | 0.01  | 286 | 2.3            | 0.01  | 286 | 2.4            | 0.09 | 301 | 1.5             | 0.09 | 301 |
|    | 垂线平均 | 5.9            | 0.12  | 5   | 7.3            | 0.12  | 5   | 9.5            | 0.03  | 281 | 3.6            | 0.03  | 281 | 2.1            | 0.41 | 339 | 1.2             | 0.41 | 339 |
| C3 | 表层   | 8.1            | 0.22  | 307 | 10.0           | 0.22  | 307 | 8.9            | 0.00  | 296 | 3.4            | 0.00  | 296 | 1.1            | 0.52 | 241 | 0.7             | 0.52 | 241 |
|    | 0.2H | 8.7            | 0.30  | 314 | 10.7           | 0.30  | 314 | 9.6            | 0.01  | 296 | 3.7            | 0.01  | 296 | 1.0            | 0.29 | 254 | 0.6             | 0.29 | 254 |
|    | 0.4H | 5.8            | 0.28  | 318 | 7.2            | 0.28  | 318 | 9.2            | -0.05 | 293 | 3.5            | -0.05 | 293 | 1.4            | 0.33 | 260 | 0.9             | 0.33 | 260 |
|    | 0.6H | 6.8            | -0.33 | 239 | 8.4            | -0.33 | 239 | 10.4           | -0.11 | 296 | 4.0            | -0.11 | 296 | 2.8            | 0.82 | 300 | 1.7             | 0.82 | 300 |

| 测站 |      | O <sub>1</sub> |       |     | K <sub>1</sub> |       |     | M <sub>2</sub> |       |     | S <sub>2</sub> |       |     | M <sub>4</sub> |       |     | M <sub>S4</sub> |       |     |
|----|------|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|-----------------|-------|-----|
|    |      | 长半轴            | 椭圆率   | 长轴向 | 长半轴             | 椭圆率   | 长轴向 |
| C4 | 0.8H | 18.1           | -0.05 | 181 | 22.3           | -0.05 | 181 | 14.1           | 0.05  | 117 | 5.4            | 0.05  | 117 | 3.7            | 0.37  | 144 | 2.2             | 0.37  | 144 |
|    | 底层   | 14.2           | -0.16 | 179 | 17.4           | -0.16 | 179 | 11.1           | 0.09  | 105 | 4.3            | 0.09  | 105 | 1.8            | -0.03 | 156 | 1.1             | -0.03 | 156 |
|    | 垂线平均 | 5.7            | 0.23  | 215 | 7.0            | 0.23  | 215 | 10.5           | -0.01 | 294 | 4.0            | -0.01 | 294 | 1.5            | 0.78  | 345 | 0.9             | 0.78  | 345 |
| C5 | 表层   | 9.0            | -0.12 | 308 | 11.1           | -0.12 | 308 | 8.5            | 0.03  | 294 | 3.3            | 0.03  | 294 | 1.4            | 0.57  | 342 | 0.8             | 0.57  | 342 |
|    | 0.2H | 6.7            | 0.26  | 322 | 8.2            | 0.26  | 322 | 10.2           | 0.02  | 290 | 3.9            | 0.02  | 290 | 1.1            | 0.86  | 255 | 0.7             | 0.86  | 255 |
|    | 0.4H | 4.9            | 0.62  | 336 | 6.0            | 0.62  | 336 | 10.3           | -0.04 | 286 | 4.0            | -0.04 | 286 | 1.2            | 0.80  | 255 | 0.7             | 0.80  | 255 |
|    | 0.6H | 5.3            | -0.30 | 213 | 6.5            | -0.30 | 213 | 10.7           | -0.09 | 287 | 4.1            | -0.09 | 287 | 1.8            | 0.59  | 358 | 1.1             | 0.59  | 358 |
|    | 0.8H | 9.4            | -0.22 | 173 | 11.6           | -0.22 | 173 | 8.7            | -0.06 | 110 | 3.3            | -0.06 | 110 | 2.2            | 0.58  | 163 | 1.3             | 0.58  | 163 |
|    | 底层   | 6.2            | -0.38 | 11  | 7.6            | -0.38 | 11  | 7.5            | -0.01 | 284 | 2.9            | -0.01 | 284 | 1.5            | -0.20 | 327 | 0.9             | -0.20 | 327 |
|    | 垂线平均 | 3.6            | 0.36  | 204 | 4.4            | 0.36  | 204 | 9.4            | -0.03 | 289 | 3.6            | -0.03 | 289 | 1.5            | 0.67  | 350 | 0.9             | 0.67  | 350 |
| C6 | 表层   | 6.5            | 0.21  | 301 | 8.0            | 0.21  | 301 | 8.5            | 0.05  | 304 | 3.3            | 0.05  | 304 | 1.7            | 0.02  | 241 | 1.0             | 0.02  | 241 |
|    | 0.2H | 5.1            | 0.02  | 291 | 6.2            | 0.02  | 291 | 9.5            | -0.03 | 289 | 3.7            | -0.03 | 289 | 1.5            | 0.26  | 237 | 0.9             | 0.26  | 237 |
|    | 0.4H | 2.6            | 0.34  | 258 | 3.2            | 0.34  | 258 | 9.6            | -0.06 | 295 | 3.7            | -0.06 | 295 | 1.5            | 0.37  | 214 | 0.9             | 0.37  | 214 |
|    | 0.6H | 8.8            | -0.19 | 191 | 10.8           | -0.19 | 191 | 8.9            | 0.05  | 116 | 3.4            | 0.05  | 116 | 2.0            | 0.02  | 199 | 1.2             | 0.02  | 199 |
|    | 0.8H | 7.6            | -0.02 | 198 | 9.3            | -0.02 | 198 | 9.0            | -0.08 | 115 | 3.5            | -0.08 | 115 | 2.2            | 0.22  | 176 | 1.3             | 0.22  | 176 |
|    | 底层   | 4.2            | 0.54  | 20  | 5.1            | 0.54  | 20  | 5.5            | -0.12 | 294 | 2.1            | -0.12 | 294 | 1.5            | 0.28  | 18  | 0.9             | 0.28  | 18  |
|    | 垂线平均 | 4.1            | 0.42  | 206 | 5.1            | 0.42  | 206 | 8.6            | -0.03 | 295 | 3.3            | -0.03 | 295 | 1.5            | 0.36  | 21  | 0.9             | 0.36  | 21  |
| C7 | 表层   | 6.4            | 0.35  | 316 | 7.9            | 0.35  | 316 | 8.2            | 0.03  | 275 | 3.1            | 0.03  | 275 | 1.6            | -0.19 | 227 | 0.9             | -0.19 | 227 |
|    | 0.2H | 6.6            | 0.24  | 320 | 8.1            | 0.24  | 320 | 9.8            | -0.01 | 281 | 3.8            | -0.01 | 281 | 1.9            | 0.06  | 208 | 1.2             | 0.06  | 208 |

| 测站 |      | O <sub>1</sub> |       |     | K <sub>1</sub> |       |     | M <sub>2</sub> |       |     | S <sub>2</sub> |       |     | M <sub>4</sub> |       |     | M <sub>S4</sub> |       |     |
|----|------|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|-----------------|-------|-----|
|    |      | 长半轴            | 椭圆率   | 长轴向 | 长半轴             | 椭圆率   | 长轴向 |
| C7 | 0.4H | 5.4            | 0.57  | 309 | 6.6            | 0.57  | 309 | 10.4           | -0.06 | 286 | 4.0            | -0.06 | 286 | 1.6            | 0.36  | 204 | 1.0             | 0.36  | 204 |
|    | 0.6H | 9.3            | 0.37  | 188 | 11.5           | 0.37  | 188 | 11.1           | -0.04 | 114 | 4.3            | -0.04 | 114 | 1.6            | 0.49  | 172 | 0.9             | 0.49  | 172 |
|    | 0.8H | 10.9           | 0.28  | 186 | 13.4           | 0.28  | 186 | 9.8            | -0.02 | 118 | 3.8            | -0.02 | 118 | 2.1            | 0.19  | 134 | 1.3             | 0.19  | 134 |
|    | 底层   | 6.5            | 0.34  | 187 | 8.0            | 0.34  | 187 | 5.9            | 0.00  | 115 | 2.3            | 0.00  | 115 | 1.4            | 0.05  | 139 | 0.9             | 0.05  | 139 |
|    | 表层   | 7.5            | 0.60  | 245 | 9.2            | 0.60  | 245 | 11.1           | -0.05 | 272 | 4.3            | -0.05 | 272 | 2.1            | 0.65  | 188 | 1.2             | 0.65  | 188 |
|    | 0.2H | 10.6           | 0.49  | 240 | 13.0           | 0.49  | 240 | 11.8           | -0.05 | 264 | 4.5            | -0.05 | 264 | 2.0            | 0.76  | 198 | 1.2             | 0.76  | 198 |
|    | 0.4H | 12.3           | 0.06  | 253 | 15.2           | 0.06  | 253 | 13.7           | -0.13 | 266 | 5.3            | -0.13 | 266 | 1.7            | 0.63  | 223 | 1.0             | 0.63  | 223 |
| C8 | 0.6H | 11.4           | -0.01 | 258 | 14.0           | -0.01 | 258 | 13.5           | -0.12 | 267 | 5.2            | -0.12 | 267 | 1.9            | 0.50  | 237 | 1.1             | 0.50  | 237 |
|    | 0.8H | 11.7           | 0.14  | 252 | 14.4           | 0.14  | 252 | 13.2           | -0.09 | 267 | 5.1            | -0.09 | 267 | 1.9            | 0.53  | 237 | 1.1             | 0.53  | 237 |
|    | 底层   | 7.8            | 0.19  | 250 | 9.6            | 0.19  | 250 | 9.0            | -0.10 | 267 | 3.5            | -0.10 | 267 | 1.3            | 0.51  | 239 | 0.8             | 0.51  | 239 |
|    | 垂线平均 | 10.5           | 0.18  | 249 | 12.8           | 0.18  | 249 | 12.5           | -0.10 | 267 | 4.8            | -0.10 | 267 | 1.8            | 0.62  | 228 | 1.1             | 0.62  | 228 |
|    | 表层   | 10.0           | -0.89 | 1   | 12.3           | -0.89 | 1   | 8.5            | -0.16 | 87  | 3.3            | -0.16 | 87  | 2.4            | 0.09  | 38  | 1.4             | 0.09  | 38  |
|    | 0.2H | 8.6            | -0.61 | 293 | 10.5           | -0.61 | 293 | 8.4            | -0.24 | 264 | 3.2            | -0.24 | 264 | 1.1            | 0.12  | 349 | 0.7             | 0.12  | 349 |
|    | 0.4H | 4.3            | 0.24  | 242 | 5.3            | 0.24  | 242 | 9.3            | -0.19 | 277 | 3.6            | -0.19 | 277 | 1.1            | 0.24  | 333 | 0.7             | 0.24  | 333 |
| C9 | 0.6H | 5.9            | -0.06 | 11  | 7.3            | -0.06 | 11  | 9.6            | -0.35 | 283 | 3.7            | -0.35 | 283 | 2.0            | 0.20  | 322 | 1.2             | 0.20  | 322 |
|    | 0.8H | 10.1           | -0.13 | 198 | 12.4           | -0.13 | 198 | 7.8            | 0.00  | 122 | 3.0            | 0.00  | 122 | 1.9            | 0.74  | 165 | 1.1             | 0.74  | 165 |
|    | 底层   | 5.0            | -0.19 | 15  | 6.1            | -0.19 | 15  | 6.3            | 0.22  | 296 | 2.4            | 0.22  | 296 | 1.7            | 0.47  | 289 | 1.0             | 0.47  | 289 |
|    | 垂线平均 | 3.7            | 0.31  | 342 | 4.5            | 0.31  | 342 | 8.2            | -0.16 | 281 | 3.2            | -0.16 | 281 | 1.4            | 0.54  | 340 | 0.8             | 0.54  | 340 |
|    | 表层   | 8.9            | -0.81 | 77  | 10.9           | -0.81 | 77  | 5.5            | -0.02 | 97  | 2.1            | -0.02 | 97  | 2.6            | -0.32 | 65  | 1.6             | -0.32 | 65  |

| 测站   |      | O <sub>1</sub> |       |     | K <sub>1</sub> |       |     | M <sub>2</sub> |      |     | S <sub>2</sub> |      |     | M <sub>4</sub> |       |     | M <sub>S4</sub> |       |     |
|------|------|----------------|-------|-----|----------------|-------|-----|----------------|------|-----|----------------|------|-----|----------------|-------|-----|-----------------|-------|-----|
|      |      | 长半轴            | 椭圆率   | 长轴向 | 长半轴            | 椭圆率   | 长轴向 | 长半轴            | 椭圆率  | 长轴向 | 长半轴            | 椭圆率  | 长轴向 | 长半轴            | 椭圆率   | 长轴向 | 长半轴             | 椭圆率   | 长轴向 |
| 0.2H | 0.2H | 7.8            | -0.69 | 69  | 9.5            | -0.69 | 69  | 7.0            | 0.09 | 107 | 2.7            | 0.09 | 107 | 1.7            | -0.48 | 94  | 1.0             | -0.48 | 94  |
|      | 0.4H | 11.4           | -0.30 | 50  | 14.1           | -0.30 | 50  | 7.5            | 0.14 | 119 | 2.9            | 0.14 | 119 | 2.6            | -0.52 | 82  | 1.5             | -0.52 | 82  |
|      | 0.6H | 11.7           | -0.60 | 82  | 14.4           | -0.60 | 82  | 7.5            | 0.20 | 112 | 2.9            | 0.20 | 112 | 1.4            | -0.43 | 105 | 0.8             | -0.43 | 105 |
|      | 0.8H | 12.0           | -0.86 | 129 | 14.7           | -0.86 | 129 | 6.6            | 0.00 | 89  | 2.5            | 0.00 | 89  | 1.6            | -0.31 | 113 | 1.0             | -0.31 | 113 |
|      | 底层   | 5.2            | -0.53 | 130 | 6.4            | -0.53 | 130 | 2.4            | 0.20 | 80  | 0.9            | 0.20 | 80  | 1.3            | 0.14  | 148 | 0.8             | 0.14  | 148 |
|      | 垂线平均 | 7.8            | -0.69 | 69  | 9.5            | -0.69 | 69  | 7.0            | 0.09 | 107 | 2.7            | 0.09 | 107 | 1.7            | -0.48 | 94  | 1.0             | -0.48 | 94  |

## 2) 潮流类型

潮流按其性质可分为规则的半日潮流和不规则的半日潮流、规则的全日潮流和不规则的全日潮流，潮流性质以主要的全日分潮流与主要半日分潮流的椭圆长半轴比值 F 来判断：

$$F = \frac{W_{O_1} + W_{K_1}}{W_{M_2}}$$

式中的  $W_{O_1}$ 、 $W_{K_1}$ 、 $W_{M_2}$  分别为主太阴日分潮流、太阴太阳赤纬日分潮流和主太阴半日分潮流的椭圆长半轴长度 (cm/s)。

当  $F \leq 0.5$  时为规则半日潮流

当  $0.5 < F \leq 2.0$  时为不规则半日潮流

当  $2.0 < F \leq 4.0$  时为不规则全日潮流

当  $4.0 < F$  时为规则全日潮流

计算结果如以下表 3.1.2.4-14 所示，从垂线平均 F 值来看，C9 测站垂线平均 F 值大于 2 且小于等于 4，属于不规则全日潮流；其余测站垂线平均的 F 值都大于 0.5 且小于等于 2.0，属于不规则半日潮流。从各测层来看，C9 测站各测层 F 值均大于 2 且小于等于 4，属于不规则全日潮流；C1 测站各测层 F 值均大于 0.5 且小于等于 2，属于不规则半日潮流；C2~C8 测站各测层的 F 值在 0.5~2.0 区间和 2.0~4.0 区间混合分布，潮汐类型较为复杂。

表 3.1.2.4-14 各测站潮流示性系数表

| 站号 | 潮流示性系数 (F) |      |      |      |      |     |      |
|----|------------|------|------|------|------|-----|------|
|    | 表层         | 0.2H | 0.4H | 0.6H | 0.8H | 底层  | 垂线平均 |
| C1 | 1.5        | 2.0  | 2.0  | 1.9  | 2.0  | 1.9 | 1.9  |
| C2 | 0.9        | 1.6  | 1.6  | 1.5  | 1.6  | 2.3 | 1.4  |
| C3 | 2.0        | 2.0  | 1.4  | 1.5  | 2.9  | 2.8 | 1.2  |
| C4 | 2.4        | 1.5  | 1.1  | 1.1  | 2.4  | 1.8 | 0.9  |
| C5 | 1.7        | 1.2  | 0.6  | 2.2  | 1.9  | 1.7 | 1.1  |
| C6 | 1.7        | 1.5  | 1.2  | 1.9  | 2.5  | 2.5 | 1.6  |
| C7 | 1.5        | 2.0  | 2.0  | 1.9  | 2.0  | 1.9 | 1.9  |
| C8 | 2.6        | 2.3  | 1.0  | 1.4  | 2.9  | 1.8 | 1.0  |
| C9 | 3.6        | 2.5  | 3.4  | 3.5  | 4.0  | 4.9 | 2.5  |

### 3) 潮流可能最大流速

潮流的可能最大流速由地形、气象等多种自然因素形成，潮流的可能最大流速只是海流可能最大流速的一部分，所以用潮流准调和分析方法计算的潮流的可能最大流速存在偏小的可能。

根据《海港水文规范》，理论最大可能潮流流速、流向的推导是以四个主要分潮流椭圆长半轴的叠加来估算的：

a、对于正规半日潮流海区：

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

b、对于正规全日潮流海区：

$$\vec{V}_{\max} = \vec{W}_{M_2} + \vec{W}_{S_2} + 1.600\vec{W}_{K_1} + 1.450\vec{W}_{O_1}$$

对于不正规半日潮流海区和不正规全日潮流海区，采用上面两式中的最大值。式中的  $V_{\max}$  为潮流的可能最大流速，单位为：cm/s。 $W_{M2}$ 、 $W_{S2}$ 、 $W_{K1}$ 、 $W_{O1}$ 、 $W_{M4}$ 、 $W_{MS4}$  分别为主太阴半日分潮流、主太阳半日分潮流、太阴太阳赤纬日分潮流、主太阴日分潮流、太阴四分之一日分潮流和太阴太阳四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量。

依据公式计算的潮流的可能最大流速结果见表 3.1.2.4-15。垂线平均的潮流的可能最大流速以 C1 测站最大，为 53cm/s，流向为 261°N；C6 测站最小，为 29cm/s，流向 270°N。

各层的潮流的可能最大流速以 C2 测站表层最大，为 58cm/s，流向 282°N；C7 测站底层最小，为 24cm/s，流向 254°N。受海床底质摩擦的影响，各测站潮流可能最大流速基本随着水深的增加减小。

表 3.1.2.4-15 各测站潮流的可能最大流速表 单位：流速 (cm/s), 流向 (°)

| 站号 | 表层 |     | 0.2H |     | 0.4H |     | 0.6H |     | 0.8H |     | 底层 |     | 垂线平均 |     |
|----|----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|----|-----|------|-----|
|    | 流速 | 流向  | 流速   | 流向  | 流速   | 流向  | 流速   | 流向  | 流速   | 流向  | 流速 | 流向  | 流速   | 流向  |
| C1 | 56 | 282 | 57   | 262 | 54   | 262 | 52   | 261 | 54   | 259 | 36 | 258 | 53   | 261 |
| C2 | 58 | 282 | 53   | 272 | 47   | 271 | 41   | 263 | 44   | 263 | 43 | 266 | 46   | 267 |
| C3 | 52 | 287 | 51   | 288 | 46   | 286 | 45   | 281 | 55   | 258 | 35 | 245 | 45   | 279 |
| C4 | 53 | 286 | 52   | 286 | 45   | 286 | 38   | 277 | 32   | 254 | 25 | 284 | 36   | 279 |
| C5 | 51 | 293 | 51   | 293 | 38   | 300 | 38   | 276 | 42   | 284 | 26 | 283 | 38   | 300 |

| 站号 | 表层 |     | 0.2H |     | 0.4H |     | 0.6H |     | 0.8H |     | 底层 |     | 垂线平均 |     |
|----|----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|----|-----|------|-----|
|    | 流速 | 流向  | 流速   | 流向  | 流速   | 流向  | 流速   | 流向  | 流速   | 流向  | 流速 | 流向  | 流速   | 流向  |
| C6 | 48 | 288 | 48   | 292 | 48   | 286 | 46   | 274 | 45   | 267 | 29 | 264 | 44   | 277 |
| C7 | 34 | 283 | 34   | 285 | 32   | 272 | 37   | 261 | 40   | 254 | 24 | 254 | 29   | 270 |
| C8 | 36 | 274 | 32   | 275 | 29   | 276 | 38   | 261 | 32   | 251 | 28 | 259 | 31   | 265 |
| C9 | 35 | 146 | 38   | 125 | 43   | 278 | 50   | 240 | 53   | 305 | 32 | 222 | 43   | 145 |

#### 4) 潮流运动形式

潮流的运动形式一般分为往复流和旋转流两种。潮流的运动形式通常以 K 值的大小来判断。通过计算分潮流的椭圆要素，给出各站各测层的分潮潮流椭圆旋转率 (K) 表，见表 3.1.2.4-16。

K=0，为典型的往复流，|K|=1，为典型的旋转流。|K|值介于 0~1 之间，|K|值越大，旋转流的形式越显著，|K|值越小，往复流的形式越显著。C1 和 C4 测站各主要分潮流以 M<sub>2</sub> 半日分潮流为主，主要以 M<sub>2</sub> 分潮流的椭圆旋转率 (K) 的变化情况来阐述这两个测站潮流运动形式。其余测站以 O<sub>1</sub> 和 K<sub>1</sub> 全日分潮流为主，故主要以 O<sub>1</sub> 和 K<sub>1</sub> 分潮流的椭圆旋转率 (K) 的变化情况来阐述各测站潮流运动形式。

由结果分析，C6 和 C9 测站 O<sub>1</sub> 分潮流垂线平均 |K| 值分别为 0.57 和 0.69，呈现较强的旋转性；其余测站 O<sub>1</sub> 分潮流 |K| 值在 0.18~0.42 之间，潮流呈现以往复流为主结合旋转流的运动形式。

由结果分析，各测站 M<sub>2</sub> 分潮流垂线平均 |K| 值介于 0~0.16 之间，潮流呈现以往复流为主结合弱旋转流的运动形式。

潮流的旋转方向，与地球的自转、地区所在的位置和地形密切相关。结果可知，C1~C8 测站 O<sub>1</sub> 分潮流垂线平均为逆时针旋转，C9 测站 O<sub>1</sub> 分潮流垂线平均为顺时针旋转；C2 和 C9 测站 M<sub>2</sub> 分潮流垂线平均为顺时针旋转，其余测站垂线平均为逆时针旋转。

表 3.1.2.4-16 O<sub>1</sub> 分潮椭圆旋转率表 单位：流速 (cm/s), 流向 (°)

| 站号 | 表层    | 0.2H | 0.4H  | 0.6H  | 0.8H  | 底层    | 垂线平均 |
|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| C1 | 0.60  | 0.49 | 0.06  | -0.01 | 0.14  | 0.19  | 0.18 |
| C2 | 0.35  | 0.18 | -0.04 | 0.09  | -0.15 | -0.20 | 0.12 |
| C3 | 0.22  | 0.30 | 0.28  | -0.33 | -0.05 | -0.16 | 0.23 |
| C4 | -0.12 | 0.26 | 0.62  | -0.30 | -0.22 | -0.38 | 0.36 |

| 站号 | 表层    | 0.2H  | 0.4H  | 0.6H  | 0.8H  | 底层    | 垂线平均  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C5 | 0.21  | 0.02  | 0.34  | -0.19 | -0.02 | 0.54  | 0.42  |
| C6 | 0.35  | 0.24  | 0.57  | 0.37  | 0.28  | 0.34  | 0.57  |
| C7 | 0.60  | 0.49  | 0.06  | -0.01 | 0.14  | 0.19  | 0.18  |
| C8 | -0.89 | -0.61 | 0.24  | -0.06 | -0.13 | -0.19 | 0.31  |
| C9 | -0.81 | -0.69 | -0.30 | -0.60 | -0.86 | -0.53 | -0.69 |

表 3.1.2.4-17  $M_2$  分潮椭圆旋转率表 单位: 流速 (cm/s), 流向 ( $^{\circ}$ )

| 站号 | 表层    | 0.2H  | 0.4H  | 0.6H  | 0.8H  | 底层    | 垂线平均  |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C1 | -0.05 | -0.05 | -0.13 | -0.12 | -0.09 | -0.10 | -0.10 |
| C2 | 0.11  | 0.02  | 0.02  | -0.01 | 0.04  | 0.01  | 0.03  |
| C3 | 0.00  | 0.01  | -0.05 | -0.11 | 0.05  | 0.09  | -0.01 |
| C4 | 0.03  | 0.02  | -0.04 | -0.09 | -0.06 | -0.01 | -0.03 |
| C5 | 0.05  | -0.03 | -0.06 | 0.05  | -0.08 | -0.12 | -0.03 |
| C6 | 0.03  | -0.01 | -0.06 | -0.04 | -0.02 | 0     | 0     |
| C7 | -0.05 | -0.05 | -0.13 | -0.12 | -0.09 | -0.1  | -0.1  |
| C8 | -0.16 | -0.24 | -0.19 | -0.35 | 0     | 0.22  | -0.16 |
| C9 | -0.02 | 0.09  | 0.14  | 0.20  | 0     | 0.20  | 0.09  |

### 3.1.2.5 余流

#### 1、夏季余流

余流是指海流中除天文引潮力作用所引起的潮流以外的海流, 包括潮汐余流、风海流和密度流等非周期性流动。在近海海区, 一般情况下余流相对于潮流的量级较小, 但在某些特定海域, 余流影响不能被忽略。它主要受制于水文气象、地形等因素, 因而不 同天气条件、不同时间段的余流分布特征有所差异, 流速大小、方向的规律性较差。各 测站的垂线平均及各层流速的余流计算结果见以下表 3.1.2.5-1。

从表中可以看出, 测验海域的余流有以下特点: 余流方向基本为东北~东南方向, 介于  $20^{\circ} \sim 110^{\circ}$  之间;

余流垂线平均流速以 C4 测站为最大, 为  $41\text{cm/s}$ , 流向为  $80^{\circ}\text{N}$ ; C1 测站为最小, 流速为  $13\text{cm/s}$ , 流向为  $77^{\circ}\text{N}$ ;

最大余流出现在 C3 测站的表层, 流速为  $56\text{cm/s}$ , 流向为  $89^{\circ}\text{N}$ ; 最小余流出现在 C1 的底层, 流速为  $2\text{cm/s}$ , 流向为  $93^{\circ}\text{N}$ 。

各测点垂线平均余流矢量图见图 3.1.2.5-1。

表 3.1.2.5-1 各测站余流计算结果一览表 单位：流速（cm/s），流向（°）

| 站号 | 表层 |     | 0.2H |    | 0.4H |    | 0.6H |    | 0.8H |    | 底层 |    | 垂线平均 |    |
|----|----|-----|------|----|------|----|------|----|------|----|----|----|------|----|
|    | 流速 | 流向  | 流速   | 流向 | 流速   | 流向 | 流速   | 流向 | 流速   | 流向 | 流速 | 流向 | 流速   | 流向 |
| C1 | 24 | 110 | 18   | 87 | 14   | 82 | 17   | 81 | 14   | 70 | 2  | 93 | 13   | 77 |
| C2 | 54 | 87  | 42   | 72 | 23   | 64 | 11   | 70 | 6    | 68 | 5  | 68 | 23   | 96 |
| C3 | 56 | 89  | 48   | 82 | 34   | 73 | 22   | 69 | 17   | 78 | 6  | 85 | 32   | 91 |
| C4 | 40 | 90  | 49   | 91 | 45   | 84 | 40   | 73 | 37   | 69 | 36 | 70 | 41   | 80 |
| C5 | 34 | 106 | 34   | 78 | 28   | 64 | 14   | 74 | 10   | 63 | 9  | 51 | 21   | 35 |
| C6 | 35 | 67  | 36   | 71 | 36   | 72 | 29   | 63 | 15   | 70 | 9  | 74 | 28   | 45 |
| C7 | 36 | 83  | 26   | 76 | 26   | 49 | 17   | 50 | 9    | 49 | 8  | 20 | 21   | 35 |
| C8 | 36 | 83  | 37   | 87 | 28   | 71 | 18   | 63 | 15   | 57 | 9  | 58 | 24   | 74 |
| C9 | 38 | 96  | 31   | 78 | 21   | 59 | 19   | 41 | 17   | 37 | 10 | 37 | 21   | 32 |

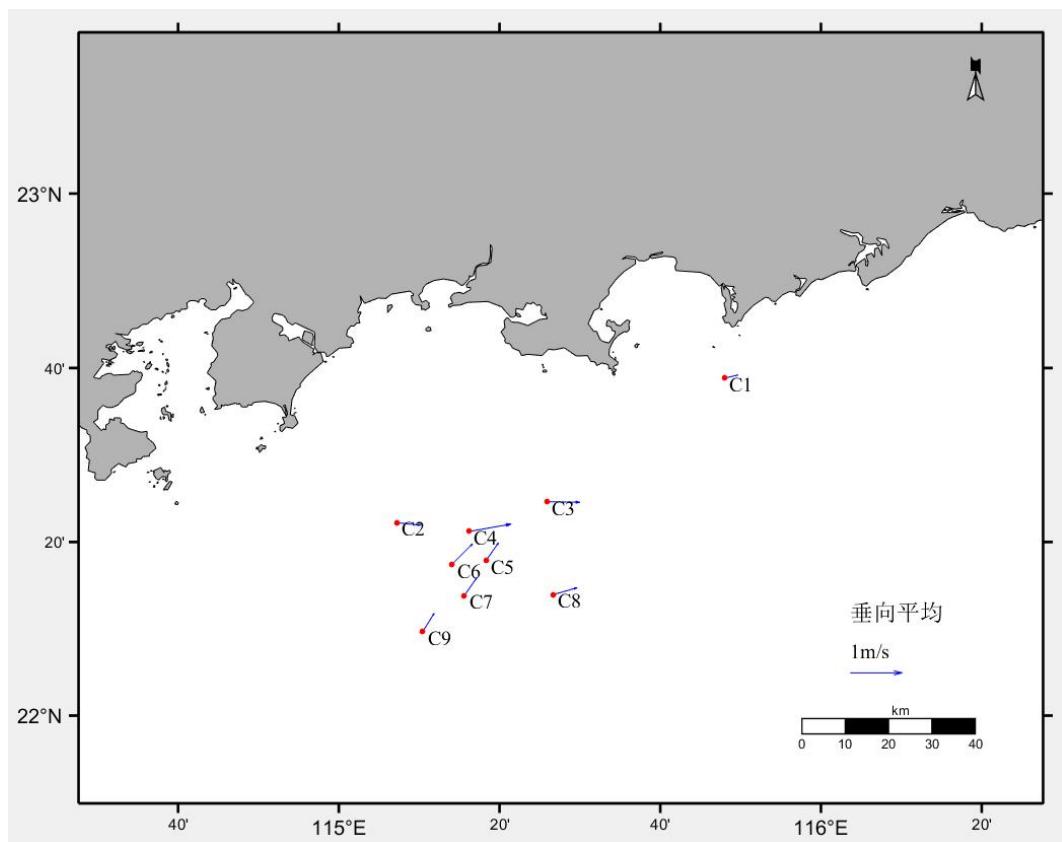


图 3.1.2.5-1 (a) 夏季余流各测站垂线平均余流矢量图

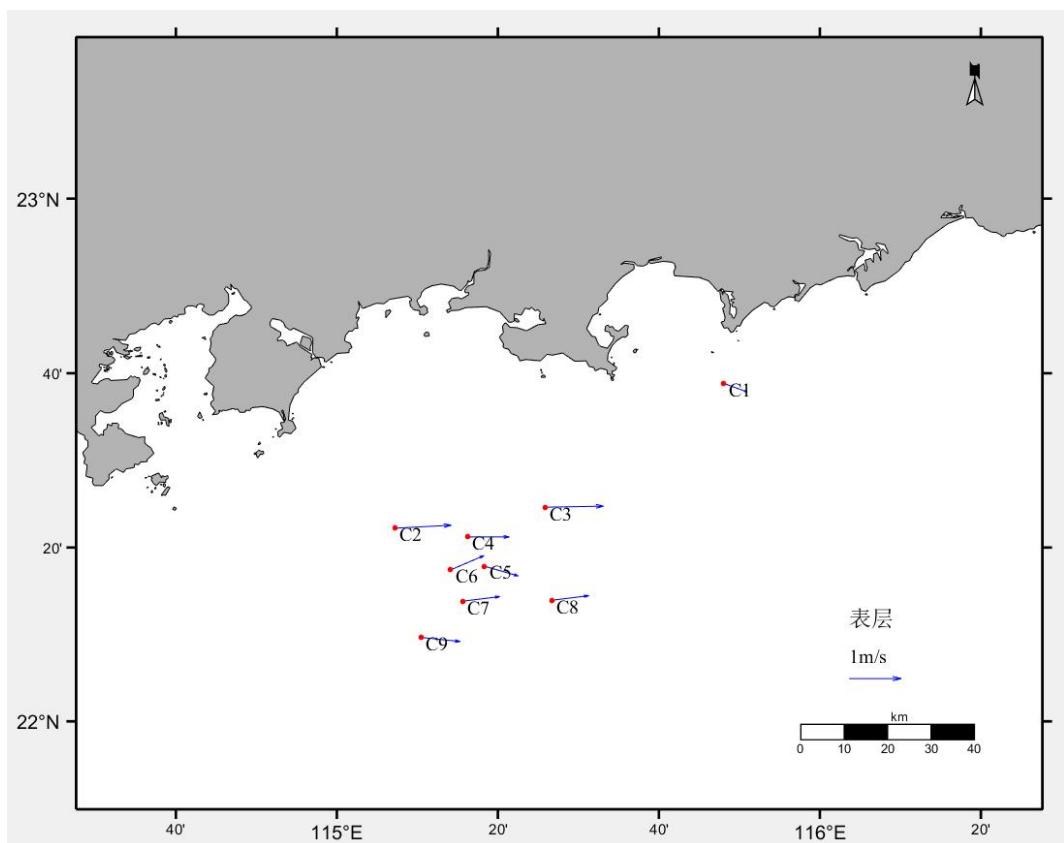


图 3.1.2.5-1 (b) 夏季余流各测站表层余流矢量图

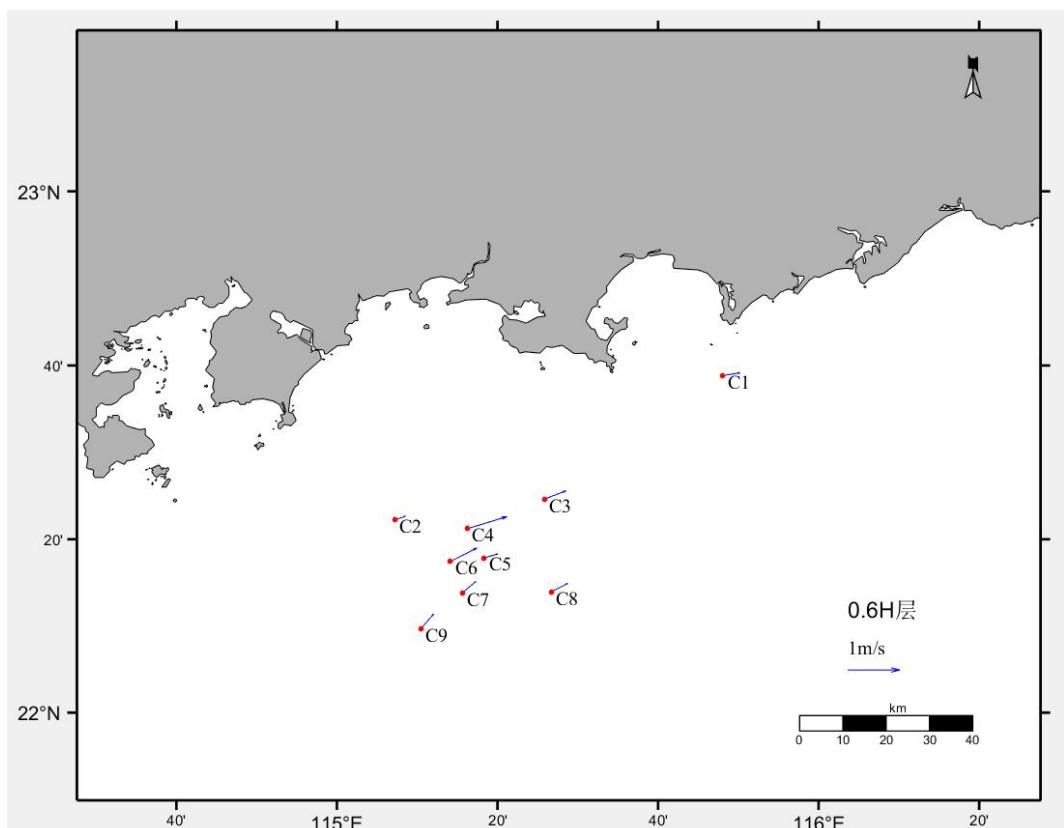


图 3.1.2.5-1 (c) 夏季余流各测站 0.6H 层余流矢量图

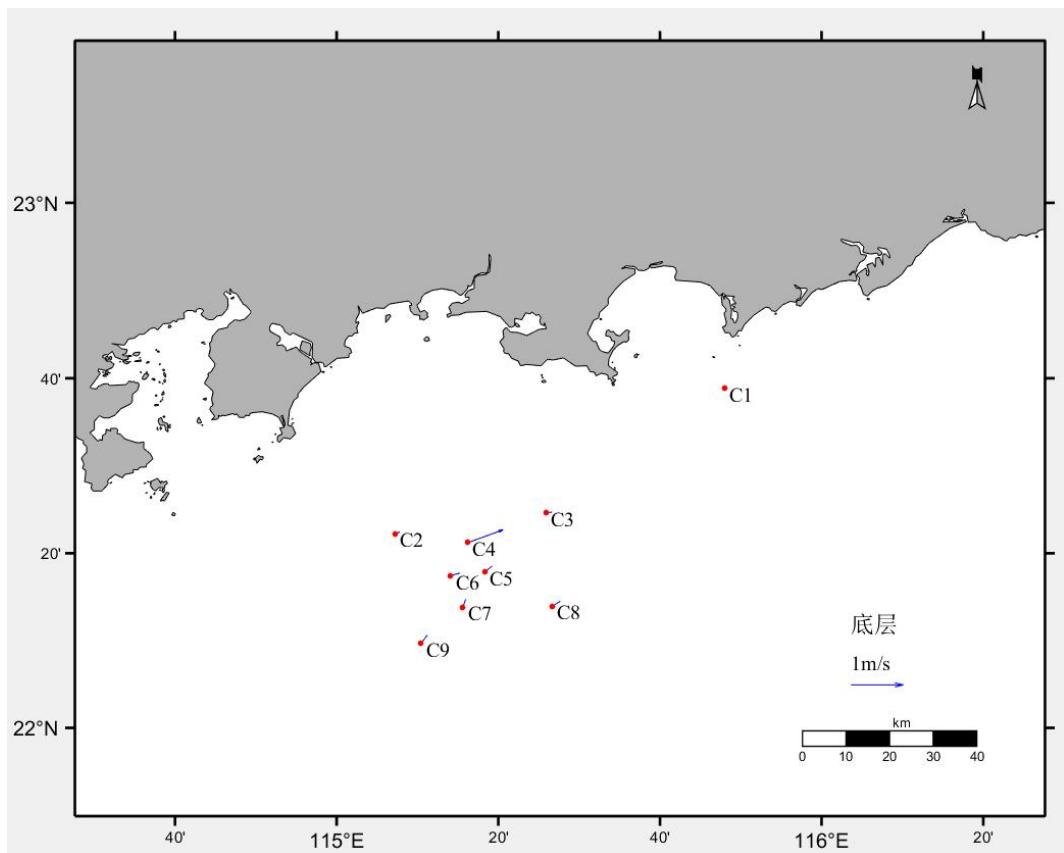


图 3.1.2.5-1 (d) 夏季余流各测站底层余流矢量图

## 2、冬季余流

余流是指海流中除天文引潮力作用所引起的潮流以外的海流，包括潮汐余流、风海流和密度流等非周期性流动。在近海海区，一般情况下余流相对于潮流的量级较小，但在某些特定海域，余流影响不能被忽略。它主要受制于水文气象、地形等因素，因而不同天气条件、不同时间段的余流分布特征有所差异，流速大小、方向的规律性较差。各测站的垂线平均及各层流速的余流计算结果见以下表 3.1.2.5-2。

从表中可以看出，测验海域的余流有以下特点：余流方向基本为西南方向，介于  $235^{\circ} \sim 294^{\circ}$  之间；

余流垂线平均流速以 C2 测站为最大，为  $20.6 \text{ cm/s}$ ，流向为  $265^{\circ}\text{N}$ ；C9 测站为最小，流速为  $8.3 \text{ cm/s}$ ，流向为  $252^{\circ}\text{N}$ ；

最大余流出现在 C2 测站的表层，流速为  $26.0 \text{ cm/s}$ ，流向为  $282^{\circ}\text{N}$ ；最小余流出现在 C4 的底层，流速为  $3.7 \text{ cm/s}$ ，流向为  $240^{\circ}\text{N}$ 。

各测点余流矢量图见以下图 3.1.2.5-2 (a) ~图 3.1.2.5-2 (d)。

表 3.1.2.5-2 各测站余流计算结果一览表 单位：流速（cm/s），流向（°）

| 站号 | 表层   |     | 0.2H |     | 0.4H |     | 0.6H |     | 0.8H |     | 底层   |     | 垂线平均 |     |
|----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
|    | 流速   | 流向  |
| C1 | 16.6 | 270 | 14.1 | 268 | 12.0 | 263 | 12.1 | 261 | 15.5 | 258 | 10.9 | 257 | 13.4 | 263 |
| C2 | 26.0 | 282 | 23.6 | 275 | 21.2 | 273 | 18.8 | 262 | 19.6 | 245 | 18.3 | 250 | 20.6 | 265 |
| C3 | 18.9 | 290 | 17.0 | 294 | 16.9 | 292 | 17.5 | 277 | 21.9 | 247 | 9.0  | 225 | 16.2 | 275 |
| C4 | 23.3 | 285 | 21.6 | 287 | 19.6 | 289 | 17.7 | 275 | 11.4 | 241 | 3.7  | 240 | 15.9 | 277 |
| C5 | 19.9 | 292 | 17.3 | 294 | 15.1 | 292 | 16.3 | 273 | 13.0 | 252 | 6.9  | 247 | 14.4 | 279 |
| C6 | 18.7 | 287 | 19.4 | 289 | 17.2 | 283 | 15.3 | 266 | 13.7 | 251 | 7.8  | 247 | 15.3 | 274 |
| C7 | 16.6 | 270 | 14.1 | 268 | 12.0 | 263 | 12.1 | 261 | 15.5 | 258 | 10.9 | 257 | 13.4 | 263 |
| C8 | 10.7 | 285 | 7.8  | 290 | 8.5  | 263 | 13.4 | 252 | 15.0 | 240 | 10.8 | 247 | 10.6 | 258 |
| C9 | 10.8 | 273 | 8.3  | 252 | 9.8  | 257 | 9.0  | 241 | 9.3  | 234 | 4.0  | 235 | 8.3  | 252 |

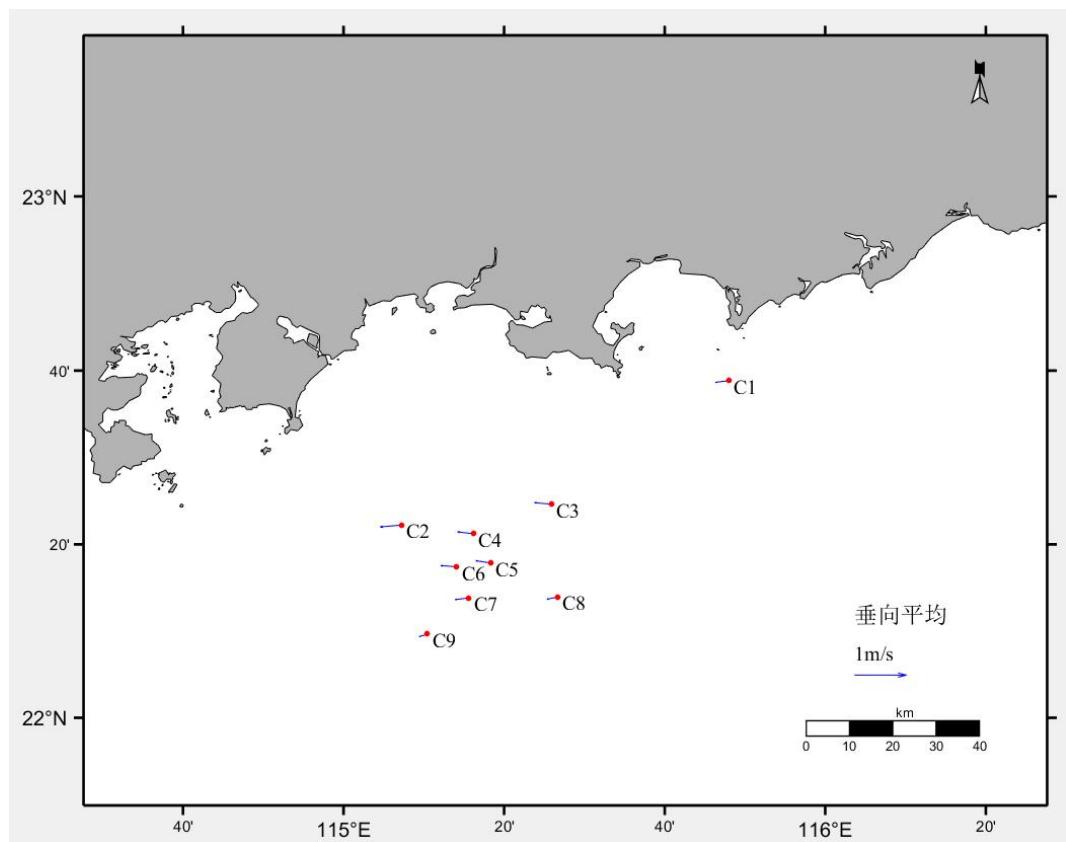


图 3.1.2.5-2 (a) 冬季余流垂线平均余流矢量图

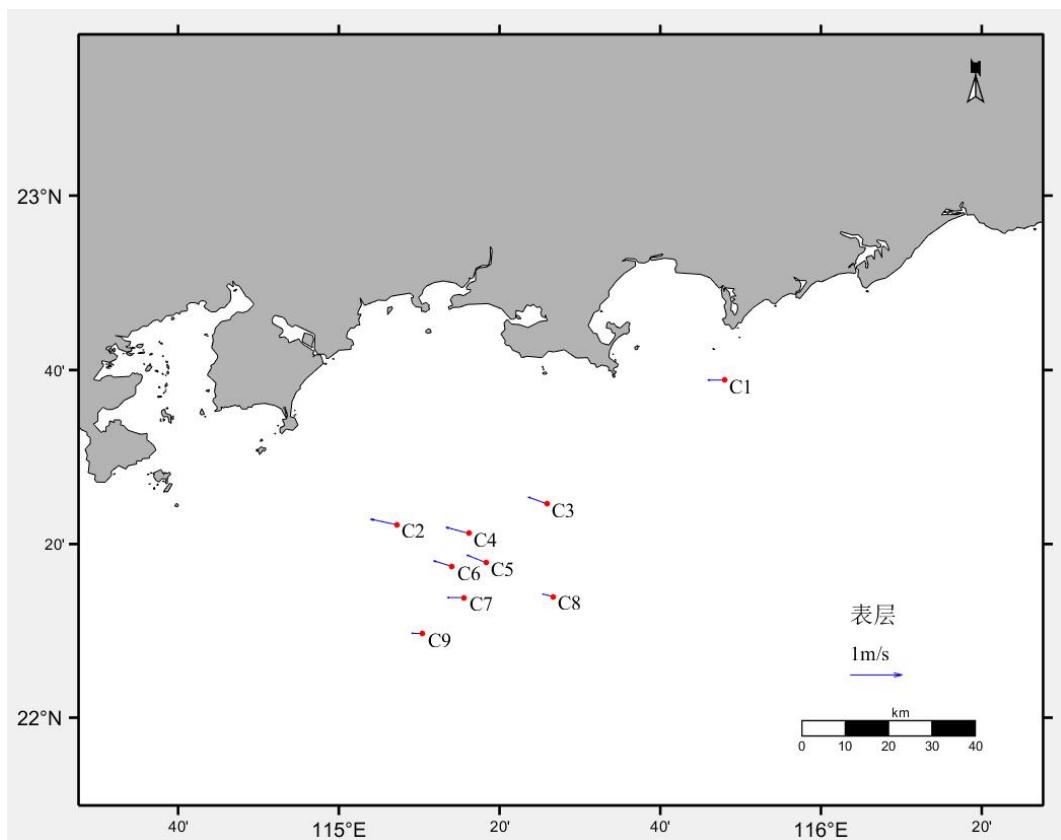


图 3.1.2.5-2 (b) 冬季余流各测站表层余流矢量图

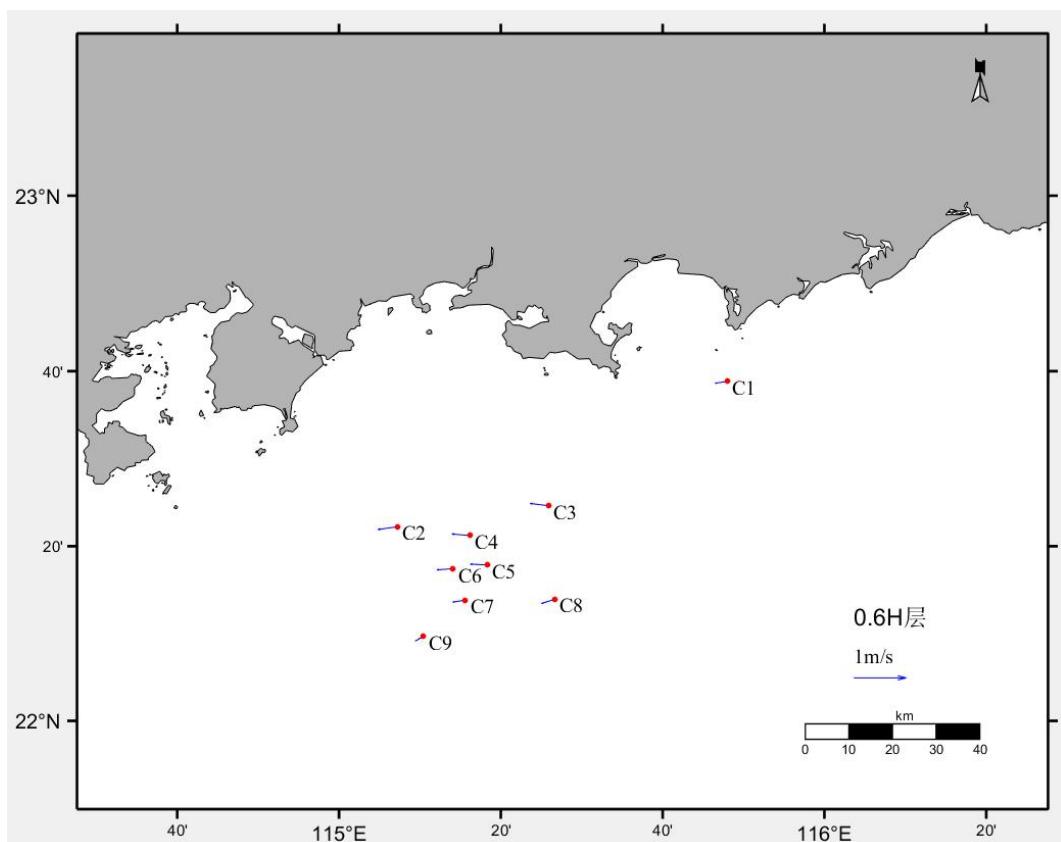


图 3.1.2.5-2 (c) 冬季余流各测站 0.6H 层余流矢量图

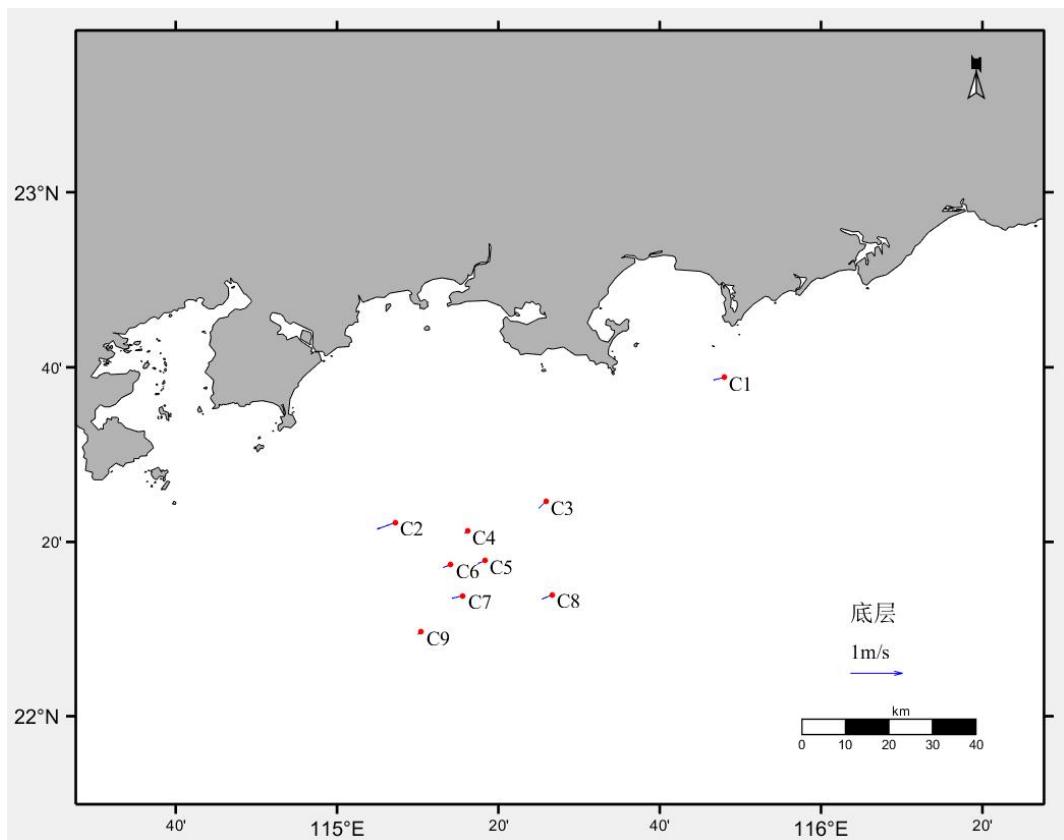


图 3.1.2.5-2 (d) 冬季余流各测站底层余流矢量图

### 3.1.2.6 温度

#### 1、夏季温度

水温的时空变化主要取决于太阳辐射作用，但同时也受潮流、径流和岸滩地形等因素的影响。

4个水温测站夏季各层次水温特征值统计见表 3.1.2.6-1。

各测站测得最高水温为 30.49°C，最低为 20.82°C，分别出现在 C5 测站的表层和 C7 测站的底层。垂线平均温度最高为 25.99°C，最低为 24.97°C，分别出现在 C6 测站和 C5 测站。

表 3.1.2.6-1 夏季各测站温度特征值表（大潮） 单位：(°C)

| 测站 | 特征值 | 表层    | 0.2H  | 0.4H  | 0.6H  | 0.8H  | 底层    | 垂线平均  |
|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C4 | 最大  | 30.15 | 29.38 | 28.71 | 24.92 | 21.84 | 22.33 | 25.98 |
|    | 最小  | 29.06 | 28.84 | 27.21 | 23.08 | 21.08 | 20.98 | 25.41 |
|    | 平均  | 29.51 | 29.18 | 28.09 | 24.23 | 21.41 | 21.38 | 25.63 |

| 测站 | 特征值 | 表层    | 0.2H  | 0.4H  | 0.6H  | 0.8H  | 底层    | 垂线平均  |
|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C5 | 最大  | 30.49 | 29.67 | 28.04 | 25.11 | 23.29 | 21.75 | 25.66 |
|    | 最小  | 28.75 | 27.19 | 23.99 | 21.36 | 21.52 | 21.10 | 24.19 |
|    | 平均  | 29.55 | 28.43 | 25.75 | 23.02 | 21.77 | 21.30 | 24.97 |
| C6 | 最大  | 30.41 | 30.29 | 29.06 | 25.50 | 22.93 | 22.47 | 26.43 |
|    | 最小  | 29.23 | 29.11 | 27.41 | 24.09 | 21.19 | 21.28 | 25.63 |
|    | 平均  | 29.70 | 29.53 | 28.20 | 24.70 | 22.15 | 21.65 | 25.99 |
| C7 | 最大  | 30.13 | 29.20 | 27.48 | 26.11 | 25.42 | 21.59 | 26.61 |
|    | 最小  | 29.38 | 27.16 | 24.44 | 21.48 | 20.83 | 20.82 | 24.09 |
|    | 平均  | 29.70 | 28.26 | 26.30 | 23.93 | 21.99 | 21.02 | 25.20 |

由以上表 3.1.2.6-1 可知，测验期间各测站总体水温相差较小，其中 C6 测站总体水温较其他测站略微偏高，为 25.99°C；C5 测站总体水温最低，为 24.97°C，两者仅相差 1.02°C。

## 2、冬季温度

水温的时空变化主要取决于太阳辐射作用，但同时也受潮流、径流和岸滩地形等因素的影响。

4 个水温测站冬季各层次水温特征值统计见表 3.1.2.6-2。

各测站测得最高水温为 22.57°C，最低为 20.53°C，均出现在 C6 测站的表层和 0.8H。垂线平均温度最高为 22.15°C，最低为 21.03°C，分别出现在 C5 测站和 C6 测站。

海域各测站水温极值，以 C4 测站最大，C7、C5 测站次之，C6 测站最小。

表 3.1.2.6-2 冬季各测站温度特征值表（大潮） 单位：(°C)

| 测站 | 特征值 | 表层    | 0.2H  | 0.4H  | 0.6H  | 0.8H  | 底层    | 垂线平均  |
|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C4 | 最大  | 22.21 | 22.22 | 22.21 | 22.18 | 22.11 | 21.97 | 22.14 |
|    | 最小  | 21.88 | 21.86 | 21.85 | 21.51 | 20.86 | 20.78 | 21.64 |
|    | 平均  | 22.04 | 21.99 | 21.97 | 21.84 | 21.46 | 21.33 | 21.77 |
| C5 | 最大  | 22.37 | 22.23 | 22.21 | 22.21 | 22.14 | 22.03 | 22.15 |
|    | 最小  | 21.22 | 21.13 | 21.24 | 21.12 | 20.80 | 20.84 | 21.33 |
|    | 平均  | 22.01 | 21.95 | 21.88 | 21.66 | 21.51 | 21.38 | 21.73 |

|    |    |       |       |       |       |       |       |       |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C6 | 最大 | 22.57 | 22.33 | 22.11 | 22.06 | 21.61 | 21.57 | 21.80 |
|    | 最小 | 21.11 | 21.09 | 21.03 | 20.95 | 20.53 | 20.54 | 21.03 |
|    | 平均 | 21.89 | 21.87 | 21.66 | 21.47 | 21.22 | 21.20 | 21.55 |
| C7 | 最大 | 22.20 | 22.14 | 22.11 | 22.06 | 21.69 | 21.53 | 21.84 |
|    | 最小 | 21.88 | 21.86 | 21.66 | 21.51 | 20.86 | 20.78 | 21.64 |
|    | 平均 | 22.02 | 21.98 | 21.94 | 21.79 | 21.45 | 21.33 | 21.75 |

由以上表 3.1.2.6-3 可知, 测验期间各测站总体水温相差较小, 其中 C4 测站总体水温较其他 3 个测站略微偏高, 为 21.77°C; C6 测站总体水温最低, 为 21.55°C, 两者仅相差 0.22°C。

### 3.1.2.7 盐度

#### 1、夏季盐度

盐度是海洋水文中较为保守的要素之一, 但它在近海的分布与变化, 往往与海流、径流、风等诸多因素的影响有关, 因而在不同水域会存在一定的差异。了解工程海域的盐度状况, 对于掌握工程海域的海水环境和设计与施工均有重要的意义。

测验期间 4 个测站各层次及垂线平均盐度特征值统计见表 3.1.2.7-1。测验期间测得最大盐度为 34.52, 出现在 C4 和 C7 测站; 最小盐度为 33.93, 出现在 C5 测站。各站测验期间垂线平均值介于 34.22~34.2 之间。测验期间各测站平均盐度变化范围为 34.25~34.27, 最大值与最小值相差 0.02。

总体来看, 工程海区 4 个测站测验期间各站平均盐度值相差较小。

表 3.1.2.7-1 各测站盐度特征值表 (大潮)

|    | 特征值 | 表层    | 0.2H  | 0.4H  | 0.6H  | 0.8H  | 底层    | 垂线平均  |
|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C4 | 最大  | 34.07 | 34.16 | 34.27 | 34.38 | 34.42 | 34.52 | 34.28 |
|    | 最小  | 33.93 | 34.08 | 34.16 | 34.28 | 34.38 | 34.45 | 34.24 |
|    | 平均  | 34.00 | 34.11 | 34.21 | 34.31 | 34.40 | 34.50 | 34.26 |
| C5 | 最大  | 34.10 | 34.19 | 34.26 | 34.36 | 34.43 | 34.51 | 34.29 |
|    | 最小  | 33.98 | 34.08 | 34.18 | 34.27 | 34.35 | 34.43 | 34.25 |
|    | 平均  | 34.02 | 34.14 | 34.23 | 34.31 | 34.40 | 34.47 | 34.27 |
|    | 最大  | 34.09 | 34.19 | 34.25 | 34.34 | 34.41 | 34.48 | 34.27 |

|    |    |       |       |       |       |       |       |       |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C6 | 最小 | 33.98 | 34.09 | 34.12 | 34.26 | 34.32 | 34.41 | 34.22 |
|    | 平均 | 34.02 | 34.14 | 34.19 | 34.30 | 34.38 | 34.45 | 34.25 |
| C7 | 最大 | 34.08 | 34.18 | 34.24 | 34.34 | 34.42 | 34.52 | 34.29 |
|    | 最小 | 33.96 | 34.09 | 34.16 | 34.24 | 34.34 | 34.42 | 34.23 |
|    | 平均 | 34.04 | 34.14 | 34.20 | 34.28 | 34.37 | 34.47 | 34.25 |

## 2、冬季盐度

盐度是海洋水文中较为保守的要素之一，但它在近海的分布与变化，往往与海流、径流、风等诸多因素的影响有关，因而在不同水域会存在一定的差异。了解工程海域的盐度状况，对于掌握工程海域的海水环境和设计与施工均有重要的意义。

测验期间 4 个测站各层次及垂线平均盐度特征值统计见表 3.1.2.7-2。测验期间测得最大盐度为 35.33，出现在 C5 测站；最小盐度为 30.24，出现在 C6 测站。各站测验期间垂线平均值介于 33.12~34.46 之间。测验期间各测站平均盐度变化范围为 32.84~34.66，最大值和最小值分别出现在 C5 测站和 C6 测站，最大值与最小值相差 1.82。

总体来看，工程海区 3 个测站测验 期间各站平均盐度值相差较小。

表 3.1.2.7-2 各测站盐度特征值表（大潮）

| 测站 | 特征值 | 表层    | 0.2H  | 0.4H  | 0.6H  | 0.8H  | 底层    | 垂线平均  |
|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C4 | 最大  | 34.08 | 34.08 | 34.07 | 34.08 | 34.06 | 34.04 | 34.06 |
|    | 最小  | 34.06 | 34.06 | 34.06 | 34.01 | 33.87 | 33.86 | 34.00 |
|    | 平均  | 34.07 | 34.07 | 34.07 | 34.05 | 33.99 | 33.97 | 34.04 |
| C5 | 最大  | 34.92 | 35.04 | 34.79 | 34.97 | 34.60 | 35.33 | 34.64 |
|    | 最小  | 34.30 | 34.24 | 34.28 | 34.27 | 34.29 | 34.28 | 34.34 |
|    | 平均  | 34.52 | 34.49 | 34.48 | 34.46 | 34.43 | 34.66 | 34.49 |
| C6 | 最大  | 33.25 | 33.27 | 33.28 | 33.26 | 33.26 | 33.26 | 33.24 |
|    | 最小  | 33.01 | 32.79 | 33.05 | 30.24 | 32.07 | 31.03 | 32.24 |
|    | 平均  | 33.21 | 33.20 | 33.20 | 33.04 | 33.06 | 32.95 | 33.12 |
| C7 | 最大  | 34.77 | 34.59 | 34.59 | 34.59 | 34.60 | 34.87 | 34.59 |
|    | 最小  | 32.96 | 33.20 | 33.20 | 33.26 | 33.02 | 32.96 | 33.26 |
|    | 平均  | 33.74 | 33.82 | 33.82 | 33.88 | 33.83 | 33.82 | 33.83 |

## 3.1.2.8 悬沙

### 1、夏季悬沙

### (1) 平均含沙量

通过对夏季大潮水文测验各个测站的垂线平均含沙量进行统计，按求其算术平均值得到各测站平均含沙量（见表 3.1.2.8-1）。

测验期间水体含沙浓度平面分布，以 C9 测站最大，为  $0.038\text{kg/m}^3$ ；C2 次之为， $0.017\text{kg/m}^3$ 。

各测站水体含沙浓度从分布上呈现近岸海域含沙量大，往远岸海域逐渐变小的规律。

表 3.1.2.8-1 夏季各测站平均含沙量统计表 单位：含沙量( $\text{kg/m}^3$ )

| 站名  | 平均值   |
|-----|-------|
| C1  | 0.023 |
| C2  | 0.017 |
| C3  | 0.027 |
| C4  | 0.027 |
| C5  | 0.020 |
| C6  | 0.021 |
| C7  | 0.026 |
| C8  | 0.018 |
| C9  | 0.038 |
| 平均值 | 0.024 |

### (2) 垂线平均最大含沙量

通过对测验期间各个测站的垂线平均含沙量进行统计，求其各测站平均最大含沙量（见表3.1.2.8-2）。测验期间，施测海域垂线平均最大含沙量出现在C9 测站，为 $0.054\text{kg/m}^3$ ； C8 测站测站最小。

表 3.1.2.8-2 各测站垂线平均最大含沙量统计表 单位：含沙量( $\text{kg/m}^3$ )

| 站名 | 平均值   |
|----|-------|
| C1 | 0.038 |
| C2 | 0.027 |
| C3 | 0.040 |
| C4 | 0.038 |
| C5 | 0.030 |
| C6 | 0.034 |

| 站名  | 平均值   |
|-----|-------|
| C7  | 0.038 |
| C8  | 0.023 |
| C9  | 0.054 |
| 平均值 | 0.054 |

### (3) 测点最大含沙量

通过对测验期间各个测站的各层实测的含沙量进行统计,求得各测站最大含沙量(如表 3.1.2.8-3 所示)。

测验期间,各测站测点最大含沙量为 $0.086\text{kg/m}^3$ ,出现在C1 测站底层,对应流速值为 $3\text{cm/s}$ ,流向 $86^\circ$ 。测点最大含沙量受潮流及地形共同影响,基本都出现在垂线底层。

表 3.1.2.8-3 夏季各测站大潮最大含沙量统计表 单位:含沙量( $\text{kg/m}^3$ )

| 项目<br>站点 | 实测最大  | 测层 |
|----------|-------|----|
| C1       | 0.086 | 底层 |
| C2       | 0.051 | 底层 |
| C3       | 0.057 | 底层 |
| C4       | 0.062 | 底层 |
| C5       | 0.058 | 底层 |
| C6       | 0.062 | 底层 |
| C7       | 0.071 | 底层 |
| C8       | 0.054 | 底层 |
| C9       | 0.081 | 底层 |
| 最大值      | 0.086 | 底层 |

### (4) 平均含沙量垂向分布

通过对测验期间各个测站各层实测的含沙量资料进行统计,统计平均值得到各测站 平均含沙量垂向分布(如表 3.1.2.8-4 所示)。

统计结果表明:测验期间,含沙量垂向分布趋势一致,垂线上含沙量呈现出从表层 到底层逐渐增大的分布趋势。

表 3.1.2.8-4 夏季各测站平均含沙量垂向分布（大潮）单位：含沙量(kg/m<sup>3</sup>)

| 站名  | 底层    | 0.8H  | 0.6H  | 0.4H  | 0.2H  | 表层    |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C1  | 0.047 | 0.034 | 0.024 | 0.021 | 0.017 | 0.020 |
| C2  | 0.029 | 0.016 | 0.017 | 0.016 | 0.015 | 0.016 |
| C3  | 0.043 | 0.023 | 0.026 | 0.028 | 0.025 | 0.030 |
| C4  | 0.044 | 0.026 | 0.023 | 0.031 | 0.024 | 0.027 |
| C5  | 0.038 | 0.020 | 0.017 | 0.022 | 0.017 | 0.023 |
| C6  | 0.040 | 0.024 | 0.020 | 0.019 | 0.017 | 0.020 |
| C7  | 0.043 | 0.027 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 |
| C8  | 0.033 | 0.018 | 0.016 | 0.016 | 0.020 | 0.018 |
| C9  | 0.050 | 0.036 | 0.036 | 0.037 | 0.042 | 0.034 |
| C10 | 0.041 | 0.024 | 0.026 | 0.024 | 0.023 | 0.027 |
| C11 | 0.039 | 0.019 | 0.018 | 0.016 | 0.017 | 0.019 |
| C12 | 0.041 | 0.026 | 0.024 | 0.024 | 0.019 | 0.022 |
| C13 | 0.032 | 0.017 | 0.017 | 0.018 | 0.017 | 0.017 |
| 平均值 | 0.040 | 0.024 | 0.022 | 0.023 | 0.021 | 0.023 |
| 比值  | 1     | 0.61  | 0.56  | 0.59  | 0.54  | 0.59  |

### （5）悬沙粒径

悬沙颗粒径分析主要采Mastersizer 2000 激光粒度分析仪，分析结果表明（如表 3.1.2.8-5 所示），各测站测验期间悬沙中值粒径介于0.011~1.471mm 之间。各站平均中值粒径 最大值出现为1.429mm，在C7 测站；最小值为0.014mm，在C1 测站。

悬沙组分主要为砂、粉砂和黏土，悬沙类型为粉砂质砂、泥、泥质砂、黏土质砂、砂质泥、砂质黏土等六种，以粉砂质砂占比最多，为 50.00%；其次是砂质泥，为 34.61%。

表 3.1.2.8-5 各测站悬沙粒径中值粒径表 单位：(mm)

| 测站 | 涨急    | 涨憩    | 落急    | 落憩    | 平均    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| C1 | 3.211 | 2.023 | 7.644 | 3.224 | 3.863 |
| C2 | 0.628 | 0.020 | 0.963 | 2.816 | 1.011 |
| C3 | 0.452 | 4.059 | 5.573 | 3.120 | 2.731 |
| C4 | 1.029 | 3.921 | 0.434 | 2.523 | 1.787 |
| C5 | 0.781 | 4.680 | 3.396 | 4.506 | 2.829 |
| C6 | 1.344 | 2.351 | 4.211 | 5.059 | 2.862 |
| C7 | 2.635 | 5.381 | 3.000 | 2.955 | 3.321 |
| C8 | 5.211 | 5.322 | 0.837 | 2.265 | 3.769 |

| 测站 | 涨急    | 涨憩    | 落急    | 落憩    | 平均    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| C9 | 1.852 | 5.265 | 4.108 | 5.644 | 3.744 |

## 2、冬季悬沙

### (1) 平均含沙量

通过对冬季大潮水文测验各个测站的垂线平均含沙量进行统计,按求其算术平均值得到各测站平均含沙量(见表 3.1.2.8-6)。

测验期间水体含沙浓度平面分布,以 C3 测站最大,为  $0.042\text{kg}/\text{m}^3$ ; C1 次之为,  $0.034\text{kg}/\text{m}^3$ ; C5 测站最小,为  $0.018\text{kg}/\text{m}^3$ ; 各测站水体含沙浓度从分布上呈现近岸海域含沙量大,往远岸海域逐渐变小的规律。

表 3.1.2.8-6 冬季各测站平均含沙量统计表 单位: 含沙量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

| 站名  | 平均值   |
|-----|-------|
| C1  | 0.034 |
| C2  | 0.026 |
| C3  | 0.042 |
| C4  | 0.033 |
| C5  | 0.018 |
| C6  | 0.022 |
| C7  | 0.032 |
| C8  | 0.024 |
| C9  | 0.020 |
| 平均值 | 0.029 |

### (2) 垂线平均最大含沙量

通过对测验期间各个测站的垂线平均含沙量进行统计,求其各测站平均最大含沙量(见表 3.1.2.8-7)。测验期间,施测海域垂线平均最大含沙量出现在 C2 测站,为  $0.079\text{kg}/\text{m}^3$ ; C3 次之, C5 测站测站最小。

表 3.1.2.8-7 各测站垂线平均最大含沙量统计表 单位: 含沙量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

| 站名 | 平均值   |
|----|-------|
| C1 | 0.052 |
| C2 | 0.079 |
| C3 | 0.067 |
| C4 | 0.056 |
| C5 | 0.026 |
| C6 | 0.047 |
| C7 | 0.053 |
| C8 | 0.052 |

| 站名  | 平均值   |
|-----|-------|
| C9  | 0.032 |
| 平均值 | 0.079 |

### (3) 测点最大含沙量

通过对测验期间各个测站的各层实测的含沙量进行统计,求得各测站最大含沙量(如表 3.1.2.8-8 所示)。

测验期间,各测站测点最大含沙量为  $0.119\text{kg/m}^3$ ,出现在 C2 测站底层,对应流速值为  $26\text{cm/s}$ ,流向  $245^\circ$ 。测点最大含沙量受潮流及地形共同影响,基本都出现在垂线底层,总体表现为近岸测点较远岸测点大。

表 3.1.2.8-8 冬季各测站大潮最大含沙量统计表 单位:含沙量( $\text{kg/m}^3$ )

| 项目<br>站点 | 实测最大  | 测层 |
|----------|-------|----|
| C1       | 0.079 | 底层 |
| C2       | 0.119 | 底层 |
| C3       | 0.100 | 底层 |
| C4       | 0.082 | 底层 |
| C5       | 0.043 | 底层 |
| C6       | 0.061 | 底层 |
| C7       | 0.091 | 底层 |
| C8       | 0.093 | 底层 |
| C9       | 0.041 | 底层 |
| 最大值      | 0.119 | 底层 |

### (4) 平均含沙量垂向分布

通过对测验期间各个测站各层实测的含沙量资料进行统计,统计平均值得到各测站 平均含沙量垂向分布(如表 3.1.2.8-9 所示)。

统计结果表明:测验期间,含沙量垂向分布趋势一致,垂线上含沙量呈现出从表层 到底层逐渐增大的分布趋势。

表 3.1.2.8-9 冬季各测站平均含沙量垂向分布(大潮) 单位:含沙量( $\text{kg/m}^3$ )

| 站名 | 表层    | 0.6H  | 底层    |
|----|-------|-------|-------|
| C1 | 0.021 | 0.033 | 0.048 |
| C2 | 0.015 | 0.024 | 0.039 |
| C3 | 0.028 | 0.041 | 0.059 |

|     |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|
| C4  | 0.021 | 0.031 | 0.049 |
| C5  | 0.012 | 0.015 | 0.026 |
| C6  | 0.013 | 0.02  | 0.032 |
| C7  | 0.019 | 0.031 | 0.044 |
| C8  | 0.016 | 0.021 | 0.033 |
| C9  | 0.015 | 0.019 | 0.026 |
| 平均值 | 0.018 | 0.026 | 0.040 |
| 比值  | 1     | 1.44  | 2.22  |

### (5) 悬沙粒径

悬沙颗粒径分析主要采 Mastersizer 2000 激光粒度分析仪, 分析结果表明(如表 3.1.2.8-10 所示), 各测站测验期间悬沙中值粒径介于 0.011~1.471mm 之间。各站平均中值粒径最大值出现为 1.429mm, 在 C7 测站; 最小值为 0.014mm, 在 C1 测站。

表 3.1.2.8-10 各测站悬沙粒径中值粒径表 单位: (mm)

| 测站 | 涨急    | 涨憩    | 落急    | 落憩    | 涨急    | 涨憩    | 落急    | 落憩    | 平均    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C1 | 0.014 | 0.014 | 0.011 | 0.016 | 0.011 | 0.015 | 0.016 | 0.013 | 0.014 |
| C2 | 0.021 | 0.019 | 0.021 | 0.052 | 0.034 | 0.029 | 0.453 | 0.022 | 0.081 |
| C3 | 0.043 | 0.026 | 0.031 | 0.028 | 0.484 | 0.753 | 0.177 | 0.083 | 0.203 |
| C4 | 0.037 | 0.148 | 0.244 | 0.068 | 0.325 | 0.470 | 1.364 | 1.062 | 0.465 |
| C5 | 0.229 | 0.790 | 0.051 | 1.113 | 1.378 | 1.292 | 1.364 | 1.042 | 0.907 |
| C6 | 1.435 | 1.469 | 0.100 | 1.470 | 1.439 | 1.459 | 0.100 | 1.450 | 1.115 |
| C7 | 1.237 | 1.404 | 1.463 | 1.462 | 1.465 | 1.466 | 1.463 | 1.471 | 1.429 |
| C8 | 0.029 | 0.031 | 0.031 | 0.059 | 1.461 | 0.012 | 1.454 | 1.074 | 0.519 |
| C9 | 0.016 | 0.011 | 1.275 | 1.380 | 1.245 | 1.425 | 1.408 | 1.337 | 1.012 |

### 3.1.2.9 表层沉积物

#### 1、夏季表层沉积物

海床表层沉积物粒度分析是海洋地质实验工作的一个基本项目。粒度分析成果不仅 是划分海床沉积物类型, 编制海床表层沉积物类型图的基础, 同时也是阐明海床沉积物 物质来源、机械分异过程及沉积作用不可缺少的资料。

#### (1) 表层沉积物类型

本次共采集工程场址周边海床表层沉积物样品 143 个, 本次样品分类结果统计见表 3.1.2.9-1。

由表 3.1.2.9-1 可知，本次采集区域海床表层沉积物沉积类型种类有三种，为含砾泥、含砾泥质砂、泥质砂。

**表 3.1.2.9-1 沉积物类型统计表**

| 沉积物类型 | 样品数 | 百分含量 (%) |
|-------|-----|----------|
| 含砾泥   | 7   | 5        |
| 含砾泥质砂 | 64  | 45       |
| 泥质砂   | 72  | 50       |

### (2) 表层沉积物中值粒径

中值粒径系指在粒径分布累积百分含量曲线上 50% 处的粒径值，能大致代表沉积物粒径粗细。本次沉积物中值粒径统计见表 3.1.2.9-2。

**表 3.1.2.9-2 沉积物沉积类型中值粒径表 单位：粒径 ( $\varphi$ )**

| 沉积类型  | 样品数 | 中值粒径        |
|-------|-----|-------------|
| 含砾泥   | 7   | 2.889~3.556 |
| 含砾泥质砂 | 64  | 4.012~7.381 |
| 泥质砂   | 72  | 2.847~7.158 |

### (3) 表层沉积物粒径参数

采用 Folk-Ward 公式计算出四种粒度参数，即平均粒径、分选系数、偏态和峰态。各类沉积物及其对应四种粒度参数计算结果见表 3.1.2.9-3，由表可见：

(1) 平均粒径：计算结果表明，其数值区间为  $2.926\varphi \sim 7.287\varphi$ 。与其中值粒径相差较小。

(2) 分选系数：计算结果表明，表层沉积物分选系数在  $1.15 \sim 3.00$  之间，说明工程场址周边海域表层沉积物分选等级为差。

(3) 偏态：计算结果表明，表层沉积物偏态处在  $-0.29 \sim 0.52$  之间，说明工程场址周边海域表层沉积物频率曲线主要为负偏态。

(4) 峰态：计算结果表明，表层沉积物峰态处在  $0.69 \sim 1.53$  之间，表明工程场址周边海域表层沉积物频率曲线处于中等尖锐（近于常态）~尖锐之间。

**表 3.1.2.9-3 沉积物粒度参数表**

| 粒度参数 | 数值区间                             |
|------|----------------------------------|
| 平均粒径 | $2.926\varphi \sim 7.287\varphi$ |

|      |            |
|------|------------|
| 分选系数 | 1.15~3.00  |
| 偏态   | -0.29~0.52 |
| 峰态   | 0.69~1.53  |

### 3.1.3 地形地貌与工程地质

本节引用《明阳汕尾一、二海上风电储备场址项目前期核准阶段岩土工程勘测报告》（中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 2021 年 6 月）。

#### 3.1.3.1 地形地貌

风电场位于汕尾市东南面海域，离岸距离约 36.8km，水深约 35~50m，海域宽阔，附近未见岛屿、礁石分布。水下地形较平缓，整体呈北高南低趋势，属冲海积地貌单元。

风电场测区水深介于 35~50m 之间，测区地形变化整体上呈现北浅南深，由北向南水深逐渐变深的地形特征，详见图 3.1.3.1-1。

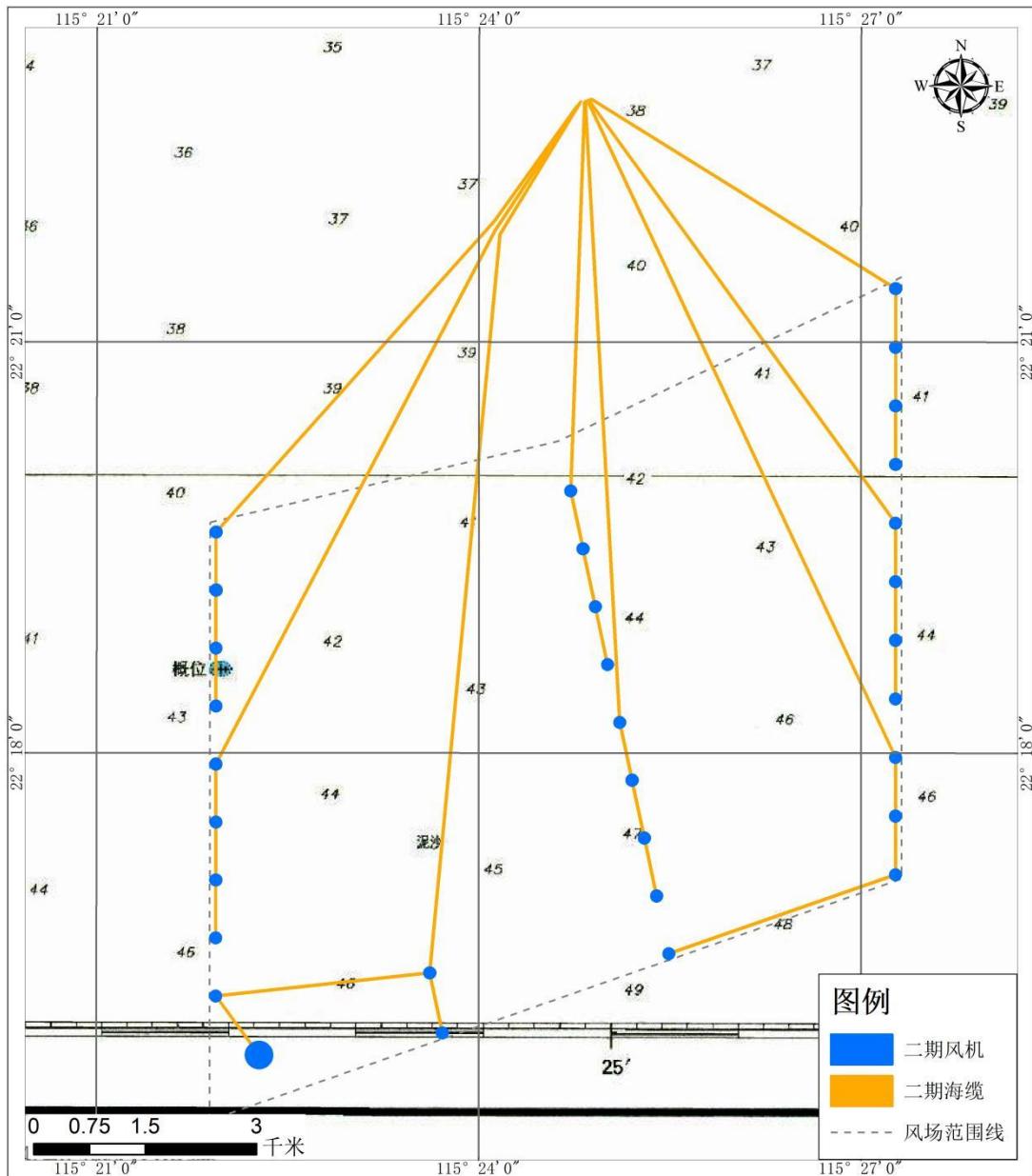


图 3.1.3.1-1 场区所在水深地形图

### 3.1.3.2 区域地质概况

#### 1、区域地质概况

汕尾市地处广东省南部东江之滨，珠江三角洲东北端。在大地构造上为中国东部新华夏系第二隆起带与南岭纬向构造带的复合部位，也是华夏地向斜的东南延伸部分。拟建风电场厂址附近的区域性深大断裂主要有：汕头-惠来深断裂(2)、潮州-普宁深断裂(3)、莲花山深断裂(4)、滨海大断裂⑤。区域地质构造见图 3.1.3.1-1。

对各深大断裂特征描述如下：

### ①汕头-惠来深断裂（2）

该断裂带自福建延伸入饶平钱东镇，经澄海，汕头、潮阳至惠来，于陆丰甲子镇潜入南海，广东陆地部分长 150km，走向北东  $40^{\circ}\sim60^{\circ}$ ，倾向东，倾角  $60^{\circ}\sim70^{\circ}$ ，系左旋走滑断层。沿断裂常见动力变质带，花岗岩挤压破碎带和糜棱岩化，以及构造透镜体，挤压带宽数十米至数百米，砂页岩、火山岩强烈片理及揉皱，并伴有硅化现象。根据粤东核电工程对惠来—汕头深断裂带的南西段的调查结果，在基岩出露区北东向构造形迹微弱，调查中发现的北东向小断裂没有切割 K2 花岗斑岩和北西向燕山晚期闪长玢岩脉，没有第四纪活动迹象。第四系和全风化层底界基岩面连续，上覆第四系没有变动，不存在第四纪活动迹象。

### ②潮州-汕尾深断裂（3）

该断裂带经潮州、揭阳、普宁至汕尾延伸入海，往东北延伸到福建境内，总体走向北东  $40^{\circ}\sim50^{\circ}$ ，主要倾向南东，倾角  $50^{\circ}\sim80^{\circ}$ ，长 300km 左右，沿断面发育糜棱岩、断层角砾岩、碎裂岩、蚀变花岗岩、硅化岩。

据已有资料，断层物质 TL 测年结果是 12 万年（中国地震局地球物理研究所等，2005），即最新活动时代为中更新世晚期，与中国地震局地质研究所（2002）确定的断裂最新活动时代一致。沿断裂地震活跃，从 1067 年以来，发生 4 级以上地震 7 次，其中 6 级地震 3 次，最大为 1067 年潮州 6 级地震，其次为 1895 年揭阳 6 级地震和 1911 年红海湾 6 级地震。近年来小震也不断。



图 3.1.3.2-1 区域地质构造图 (据《广东省地质构造图 1:1800000》)

### ③莲花山深断裂 (4)

莲花山断裂是一条强烈的挤压破碎带, 由 120 多条断裂组成, 广东境内长约 500km, 宽 20~40km, 局部可达 60km, 它呈 N40°E 左右展布。地貌上表现为地垒山系。地垒两侧分别为五华—深圳断裂(北侧主干断裂)和大埔—海丰断裂(南侧主干断裂)。

莲花山断裂带具有多期次活动特征, 成生于震旦纪, 经过加里东、印支、燕

山等构造运动，形成了一条复杂的构造岩浆带，动热变质带，复式的褶皱带和对冲的构造断裂带。新构造期，断裂的性质发生了明显的变化。由原来的对冲挤压变成了中部隆起两侧成正断层错落。其北界为五华—深圳断裂，总体走同 N45°E，倾向 NW，断裂两侧地形反差明显，下盘为莲花山山脉，上盘发育一系列晚白垩世～早第三纪初的红盆，地形上表现为下盘抬升，上盘陷落的正断层。根据古夷平面分析。显示断裂下盘新生代才开始抬升，抬升高度自东向西逐渐变缓。如山脉主峰高度在铜鼓嶂为 1526m，往西鸿图嶂为 1265m，莲花山为 1028m，再向西逐渐变成低丘，最后沉没于海平面之下。据  $^{14}\text{C}$  测定自海丰至深圳一带断块抬升速率均不大，海丰 1.38mm/a，惠东大洲岛 1.33mm/a 和 1.39mm/a，宝安南头为 0.14mm/a，显然，抬升高差与速率都有自东往西而变小的趋势。南侧的大埔—海丰断裂，倾向 SE，上盘下降，亦分布有大小不等的中新代盆地。

莲花山深断裂带的西南段又称为深圳断裂带，深圳断裂带自淡水、横岗经深圳进入香港地区，长约 100 多公里。深圳断裂带在印支运动显露雏形，燕山晚期活动最为强烈，挽近时期活动性变弱。深圳断裂带较强烈的最后构造活动期为早—中更新世，具有以水平扭动为主的活动特征，并伴有微震发生，活动期的早期以北东向压扭性断裂为主，晚期以北西向扭压性断裂活动为主。区内尚未发现第四纪全新世的沉积层有被断裂割切的现象，说明晚更新世以来，整个深圳断裂带的构造活动已显著减弱。

莲花山深断裂带地震活动水平不高，震级一般较小，多呈 NE 向排列。断裂北支集中在西南端珠海、高栏一带，最大震级为 1905 年磨刀门 5.0 级地震；南支集中在东北段的海丰地区最大震级 4 级，于 1693 年和 1874 年发生。

#### ④滨海大断裂⑤

该断裂展布于东南沿海地区的滨海地带，大致位于海水等深线 30-50m 处，其卫星遥感线性信息清晰可辩。在航磁图上，表现为一条十分醒目的剧变负异常带。在海磁图上，东部香港至南澳一带，显示为变化的负磁场带，并以升高和降低的异常带频繁交替变化为特点，西部担杆列岛至围洲岛一带，则表现为剧烈变化的负异常和锯齿状异常为主。在重力图上，该断裂带正好处于布格重力带中正负异常转换的过渡范围内。

岛屿考察证实，在珠江口外的担杆列岛，有走向北东 70° 左右，倾向南东，

倾角约 $85^{\circ}$ 的挤压带分布，带宽5-30m。在粤东南彭列岛的顶澎岛，见走向北东 $55^{\circ}$ ，倾向南西，倾角 $75^{\circ}$ 的强烈挤压并遭受错切的断裂构造带。样品经分析鉴定为石英角砾重熔硅化构造岩，带宽约20m。在福建的兄弟屿，也见岛上出露走向北东 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的强烈动力变质混合岩构造带。断裂在地貌上形成陡峭的断层崖。可以认为，出露在上述岛屿的断层，应为展布于这些岛屿南部海域的滨海断裂带的次级断裂的反映(国家地震局地壳应力研究所，1993)。南澎列岛海域人工地震测探反射剖面印证了该断裂带的存在。该断裂带是东南沿海地区一条重要的地震构造线，也是新第三纪以来陆地隆起与海域沉降的交替地带。

第四纪以来，断裂仍强烈活动。根据1980年南彭列岛海底地质调查发现，沿断裂线两侧海底地貌和沉降物迥然不同，北侧属大陆继承性地形，起伏较大，其上岛屿、礁石星罗棋布、水下谷地、洼地交错其间，并分布泥质细粒沉积物；南侧岛屿消失，地势平坦，分布含砾粗砂沉积物。根据水深线30m处沉积砂层颗粒的磨圆度和含有仅适合于淡水河口或潮间带生活的大量生物遗体来看，南海岛至兄弟屿一线，应是古海岸线的分界，由于断裂两侧地壳发生差异性垂直活动，以及水动力条件等原因，使原来分布于古海岸潮间带一侧的砂层被淹没于30m深处，这些粗砂沉积物形成于更新世某一时期。据中国科学院南海研究所与石油工业南海地质研究所在南澎列岛海域的人工地震综合剖面，以及大鹏湾南部地震勘探剖面，均证实该断裂已切割了新第三纪至第四纪地层。

## 2、区域构造稳定性评价

拟建工程场区近区域现代构造活动一般，区域地壳基本稳定，风电场场地与各断裂的距离符合《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)(2016年版)的要求，近区域地震活动水平较弱，新构造运动较弱，建筑场地区域稳定性较好。

### 3.1.3.3 工程地质条件

#### 1、地形地貌

风电场位于汕尾市东南面海域，离岸距离约36.8km，水深约35~50m，海域宽阔，附近未见岛屿、礁石分布。水下地形较平缓，整体呈北高南低趋势，属冲海积地貌单元。

#### 2、岩土体工程地质分层

根据区域地质及钻探成果，风电场钻孔深度范围内主要为全新世海相和晚更

新世海陆交互相沉积层( $Q4^m$ 、 $Q3^{m+al}$ )。风电场岩土体分层情况见表 3.1.3.3-1。

表 3.1.3.3-1 工程岩土体分层表

| 序号 | 岩土名称 |        | 状态         | 岩土层<br>编号        | 地层时代                | 成因              |
|----|------|--------|------------|------------------|---------------------|-----------------|
| 1  | 软土   | 淤泥质土   | 流塑         | ① <sub>2</sub>   | 全新世<br>$Q4^m$       | 海相沉<br>积        |
| 2  |      | 粉砂混淤泥  | 松散~稍密，局部中密 | ① <sub>3</sub>   |                     |                 |
| 3  | 黏性土  | 粉质黏土   | 可塑         | ② <sub>2</sub>   |                     |                 |
| 4  | 砂土   | 粉砂     | 中密~密实      | ② <sub>3</sub>   |                     |                 |
| 5  |      | 粉砂混黏性土 | 中密~密实      | ② <sub>3-1</sub> |                     |                 |
| 6  |      | 中砂     | 中密~密实      | ② <sub>5</sub>   |                     |                 |
| 7  |      | 中砂混黏性土 | 中密~密实      | ② <sub>5-1</sub> |                     |                 |
| 8  |      | 粗砂混黏性土 | 中密~密实      | ② <sub>6-1</sub> |                     |                 |
| 9  | 黏性土  | 粉质黏土   | 可塑，局部硬塑    | ③ <sub>1</sub>   | 晚更新世<br>$Q3^{m+al}$ | 海陆交<br>互相沉<br>积 |
| 10 | 砂土   | 粉砂     | 密实         | ③ <sub>3</sub>   |                     |                 |
| 11 |      | 粉砂混黏性土 | 密实         | ③ <sub>3-1</sub> |                     |                 |
| 12 |      | 中砂     | 密实         | ③ <sub>5</sub>   |                     |                 |
| 13 |      | 中砂混黏性土 | 密实         | ③ <sub>5-1</sub> |                     |                 |
| 14 |      | 粗砂     | 密实         | ③ <sub>6</sub>   |                     |                 |
| 15 |      | 粗砂混黏性土 | 密实         | ③ <sub>6-1</sub> |                     |                 |
| 16 |      | 砾砂     | 密实         | ③ <sub>7</sub>   |                     |                 |

### 3、岩土层特征

风电场岩土层特征按由上至下的揭露顺序描述如下：1、全新世海相沉积层淤泥质土(①<sub>2</sub>)：灰色，饱和，流塑，局部软塑，含多量粉砂颗粒，手捏腻滑，含有机质，味臭，局部可见贝壳碎片，粒径 0.2~0.5cm，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 1~5 击，局部含砂地段标贯击数偏高。该层在所有钻孔中均有揭露，揭露层厚度为 2.00m~26.30m，层底面高程为 -68.53m~-39.15m，层顶面高程为 -63.63m~-39.15m。

粉砂混淤泥(①<sub>3</sub>)：灰色，饱和，松散~稍密，局部中密，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量淤泥质土，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 2~25

击。该层在场地大部分钻孔中有揭露，揭露层厚度为 0.70m~10.80m，层底面高程为-69.08m~-44.55m，层顶面高程为-68.38m~-39.15m。

粉质黏土(②<sub>2</sub>)：灰色，湿，可塑，局部硬塑，土质黏性一般，韧性中等，含少量有机质，夹粉砂薄层，局部混多量粉砂，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 5~25 击，混多量粉砂地段标贯击数偏高。该层在场地所有钻孔中均有揭露，揭露层厚度为 2.50m~8.30m，层底面高程为-104.40m~-55.05m，层顶面高程为-101.40m~-49.25m。

粉砂(②<sub>3</sub>)：灰色，饱和，中密~密实，颗粒成分主要为石英、长石，级配不良，含多量黏粒，海相沉积。该层在场地内部分地段有分布，仅在钻孔 KK06 中有揭露，揭露层厚度为 2.10m，层底面高程为-78.98m，层顶面高程为-76.88m。

粉砂混黏性土(②<sub>3-1</sub>)：灰色，饱和，稍密~中密，局部密实，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部与黏性土互层，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 16~64 击。该层在所有钻孔中均有揭露，揭露层厚度为 0.70m~7.80m，层底面高程为-98.98m~-56.55m，层顶面高程为-94.48m~-55.05m。

中砂(②<sub>5</sub>)：灰色，饱和，中密~密实，主要矿物为石英、长石，级配中等，局部夹黏性土薄层，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 26~63 击。该层在场地内部分地段有分布，在钻孔 KK02、KK06 中有揭露，揭露层厚度为 2.20m，层底面高程为-71.35m~-70.58m，层顶面高程为-69.15m~-68.38m。

中砂混黏性土(②<sub>5-1</sub>)：灰色，饱和，中密~密实，颗粒成分主要为石英、长石，级配一般，含多量黏粒，多夹薄层黏性土，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 25 击。该层在场地内部分地段有分布，仅在钻孔 KK04 中有揭露，揭露层厚度为 0.60m，层底面高程为-88.80m，层顶面高程为-88.20m。

粗砂混黏性土(②<sub>6-1</sub>)：灰色，饱和，中密~密实，颗粒成分主要为石英、长石，级配一般，含多量黏粒，多夹薄层黏性土，海相沉积。该层标准贯入试验实测击数为 42 击。该层在场地内部分地段有分布，仅在钻孔 KK01 中有揭露，揭露层厚度为 2.30m，层底面高程为-79.65m，层顶面高程为-77.35m。

## 2、晚更新世海陆交互相沉积层

粉质黏土(③<sub>1</sub>)：灰色，局部青灰色，湿，可塑，夹粉砂薄层，局部混多量粉砂，土质黏性一般，韧性中等，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为

14~47击，局部混多量粉砂地段标贯击数偏高。该层在所有钻孔中均有揭露，揭露层厚度为0.50m~8.50m，层底面高程为-139.98m~-78.15m，层顶面高程为-136.28m~-75.95m。

粉砂(③<sub>3</sub>)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为107~136击。该层在场地内部分地段有分布，在钻孔KK01、KK02中有揭露，揭露层厚度为1.40m~4.30m，层底面高程为-108.05m~-103.65m，层顶面高程为-106.65m~-99.35m。

粉砂混黏性土(③<sub>3-1</sub>)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部与黏性土互层，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为34~125击。该层在所有钻孔中均有揭露，揭露层厚度为0.30m~12.10m，层底面高程为-140.31m~-93.68m，层顶面高程为-139.98m~-91.78m。

中砂(③<sub>5</sub>)：灰、灰黄色，饱和，密实，含多量黏性土，级配一般，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为51~167击。该层大部分钻孔中有揭露，揭露层厚度为1.80m~9.80m，层底面高程为-110.28m~-85.05m，层顶面高程为-106.68m~-79.35m。

中砂混黏性土(③<sub>5-1</sub>)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配一般，含多量黏粒，局部与黏性土互层，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为42~100击。该层在场地内部分地段有分布，在钻孔KK04、KK05中有揭露，揭露层厚度为1.90m~7.80m，层底面高程为-123.20m~-116.33m，层顶面高程为-121.30m~-108.58m。

粗砂(③<sub>6</sub>)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较好，混多量砾石，含多量黏粒，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为48~83击。该层在大部分钻孔中有揭露，揭露层厚度为1.30m~7.60m，层底面高程为-139.70m~-92.65m，层顶面高程为-135.70m~-85.05m。

粗砂混黏性土(③<sub>6-1</sub>)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配较好，含多量黏粒，局部与黏性土互层，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为35击。该层在场地内部分地段有分布，仅在钻孔KK05中有揭露，揭露层厚度为0.90m，层底面高程为-104.03m，层顶面高程为-103.13m。

砾砂(③<sub>7</sub>)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配好，磨

圆度高，局部含多量黏粒，海陆交互相沉积。该层标准贯入试验实测击数为75~100击。该层在场地内部分地段有分布，在钻孔KK01、KK02、KK06中有揭露，揭露层厚度为1.20m~3.20m，层底面高程为-106.65m~-79.35m，层顶面高程为-103.45m~-78.15m。

### 3.1.3.4 水文地质条件

本次勘测过程中，风电场地段钻孔仅揭露松散岩类孔隙水，主要赋存于全新统海相、晚更新统海陆交互相沉积( $Q_4^m$ 、 $Q_3^{m+al}$ )的砂土等含水岩组中。其中，全新统海相沉积( $Q^m$ )的淤泥质土属弱~微透水层，局部渗透性较强（混夹薄层粉土或粉砂薄层）；全新统海相、晚更新统海陆交互相沉积( $Q_4^m$ 、 $Q_3^{m+al}$ )的粉质黏土层属弱~微透水层，渗透性差，为相对隔水层，故在各黏性土层中呈层状分布的中等~强透水砂土层具有微承压现象的可能。松散岩类孔隙水与海水水力联系密切，主要接受海水补给，地下水位高于潮水位时，将以越流的形式排泄于海水中。

### 3.1.3.5 不良地质作用

勘测期间场区未见海底滑坡、海底崩塌、海底流动（碎屑流、液化流、颗粒流及浊流）等不良地质作用发育迹象及海底地质灾害问题。场区可能存在的不良地质作用主要为软土震陷、砂土液化和浅层气。

#### 1、软土震陷

本次勘测钻探资料表明，场地软土主要为全新统海积的淤泥质土(①2)，具有分布广、厚度较大、高压缩性、高灵敏度的特点；多为欠固结、稳定性极差的土体，承载力特征值<80kPa，因此，在7度地震作用下存在发生震陷的可能。桩基基础设计时应考虑软土震陷、软土固结和下沉对桩身会产生负摩擦力作用的不利影响。

#### 2、砂土液化

本场地地基土地震效应需要考虑的有饱和砂土液化问题。根据勘察成果，风电场场区在20m深度范围内局部存在饱和的砂层。综合判定场地20m深度范围内分布的松散状粉砂混淤泥会发生严重液化。设计时应根据各建筑物的设防类别

及地基液化等级，采取相应措施，以减轻或消除地基液化对基础产生的危害。

### 3、浅气层

场地浅部软土层厚度较大，不排除局部地段含腐烂植物等多量有机物，长期经沉积覆盖，场区内可能存在对工程有不利影响的浅层气。这种气体多由动植物腐烂形成，主要为沼气(甲烷气)，一般具有高压特征，能引发火灾。浅层气主要分散在沉积物中，可导致载气沉积物的抗剪强度降低，加剧海底地基不稳定性，触发海底土体扰动变形。

#### 3.1.3.6 岩土工程条件分析与评价

##### 1、场地土的类型划分

按照《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)(2016年版)对场地土的类型划分标准，结合钻孔波速测试成果，对各类土的具体划分如下：

中硬土：由可塑粉质黏土（③1）、密实的粉砂、粉砂混黏性土、中砂、中砂混黏性土、粗砂、粗砂混黏性土、砾砂（③3、③3-1、③5、③5-1、③6、③6-1、③7）、中密~密实的中砂（②5）组成；

中软土：由可塑的粉质黏土（②1）、中密~密实的粉砂、粉砂混黏性土、中砂混黏性土、粗砂黏性土（②3、②3-1、②5-1、②6-1）组成；

软弱土：由流塑的淤泥质土（①2）及松散~稍密粉砂混淤泥（①3）组成。

##### 2、场地稳定性及适宜性评价

按照场地区域地质及地震地质资料，拟建场地位于相对较稳定的地质构造单元上。风电场区海底地形较为平缓，未见滑坡、崩塌、土洞、海底流动（碎屑流、液化流、颗粒流及浊流）等不良地质作用发育迹象及海底地质灾害问题，且无矿产等对工程不利的地下埋藏障碍物。

场地环境工程地质条件较简单，遭受地质灾害危害的可能性较小，工程引发地质灾害发生可能性也较小。场地地形地貌及地层条件较好，可满足风机基础建设需要，综合判定，拟建场地稳定性较好，适宜作为风电场工程建筑场地。

##### 3、地基土适应性评价

不同类型的场地土对建（构）筑物具有不同的适宜性，现根据不同场地土的

类型分别叙述如下：

### 1.软弱土

淤泥质土层(①2)及松散～稍密粉砂混淤泥(①3)：该组地层属高压缩性土，物理力学性质差，强度低，不能满足地基变形和承载力的要求，不能作为风机基础持力层。

### 2.中软土

1) 可塑状粉质黏土层 (②2)：该组地层其物理力学性质较差～一般，强度较低～中等，压缩性中等～高，埋藏较浅，不能作为风机重力式基础和桩基础的持力层；若经设计验算，在满足变形和沉降要求的情况下，可作为风机吸力桶基础的持力层。

2) 中密～密实的粉砂、粉砂混黏性土、中砂混黏性土、粗砂混黏性土、(②3、②3-1、②5-1、②6-1)：该组地层其物理力学性质较差～一般，强度较低～中等，压缩性中等，部分地层存在液化可能，不宜作为风机重力式基础及桩基持力层，若经设计验算，在满足变形和沉降要求的情况下，可作为风机吸力桶基础的持力层。

### 3.中硬土

1) 中密～密实中砂 (②5)：该组地层物理力学性质中等～较好，承载力中等～较高，压缩性中等，但厚度薄，且部分土层埋藏较浅，水平分布不连续，不宜作为风机基础的桩端持力层，可作为风机吸力桶基础的持力层；

2) 海陆交互相沉积的可塑粉质黏土 (③1)：该组地层物理力学性质中等～较好，承载力中等～较高，压缩性中等，埋深较深，该层经验算合格可作为钢管桩基础的桩端持力层；

3) 密实的粉砂、粉砂混黏性土、中砂、中砂混黏性土、粗砂、粗砂混黏性土、砾砂(③3、③3-1、③5、③5-1、③6、③6-1、③7)：该组地层承载力较高，压缩性较低，除部分地段层厚较薄外，大部分地段地层厚度大、水平向连续性好，是良好的桩端持力层。

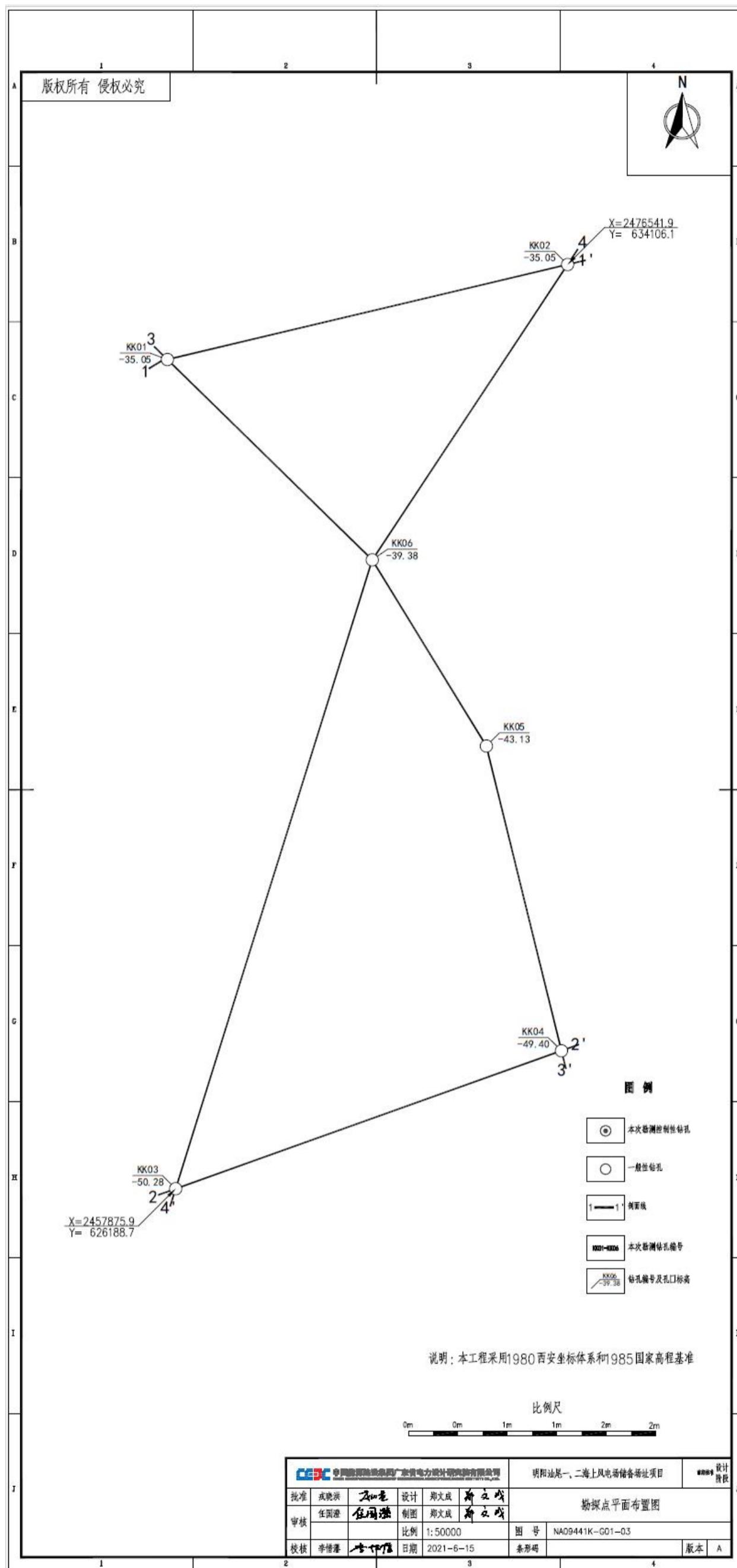


图 3.1.3.6-1-1 钻孔平面布置图

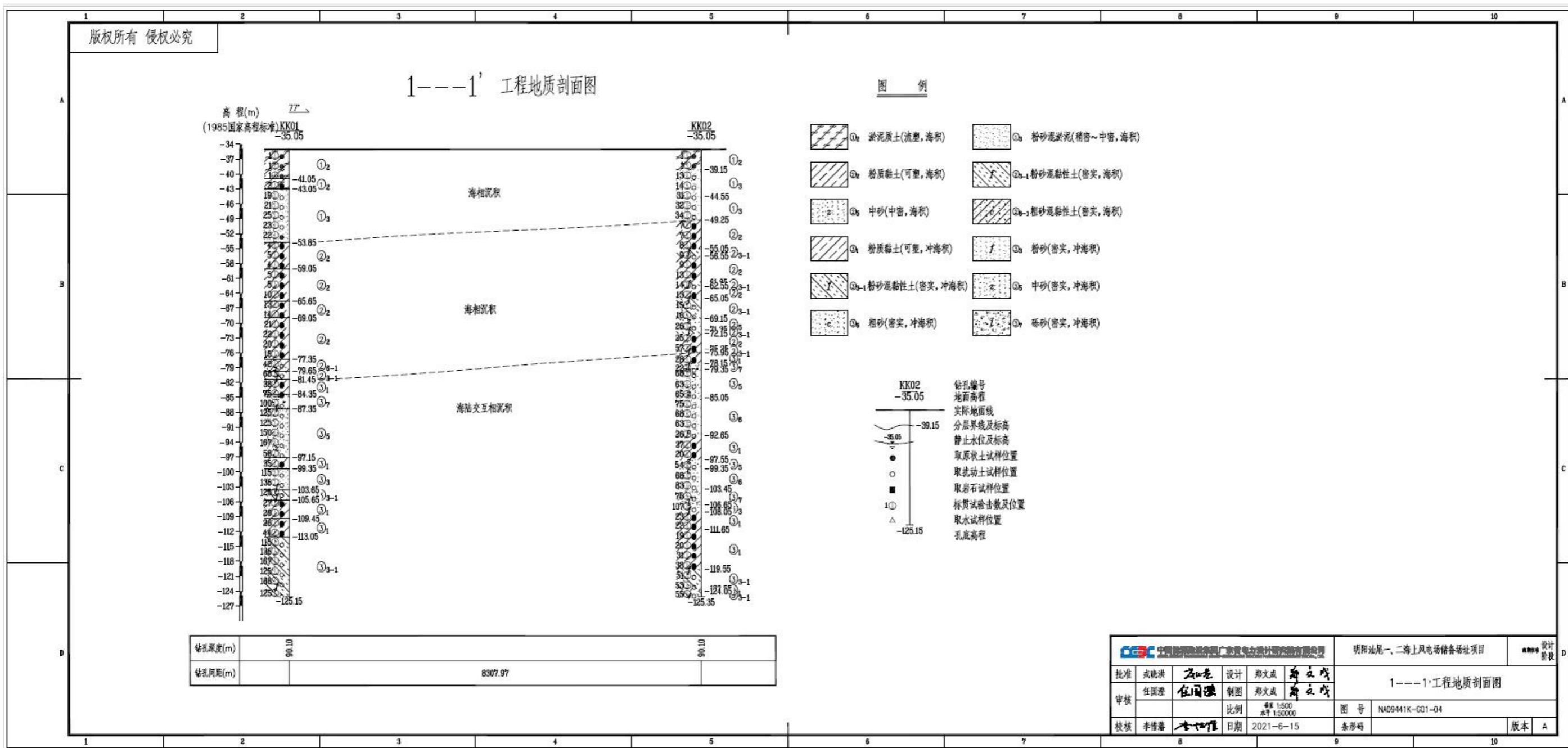


图 3.1.3.6-1-2 工程地质剖面图 (1—1')

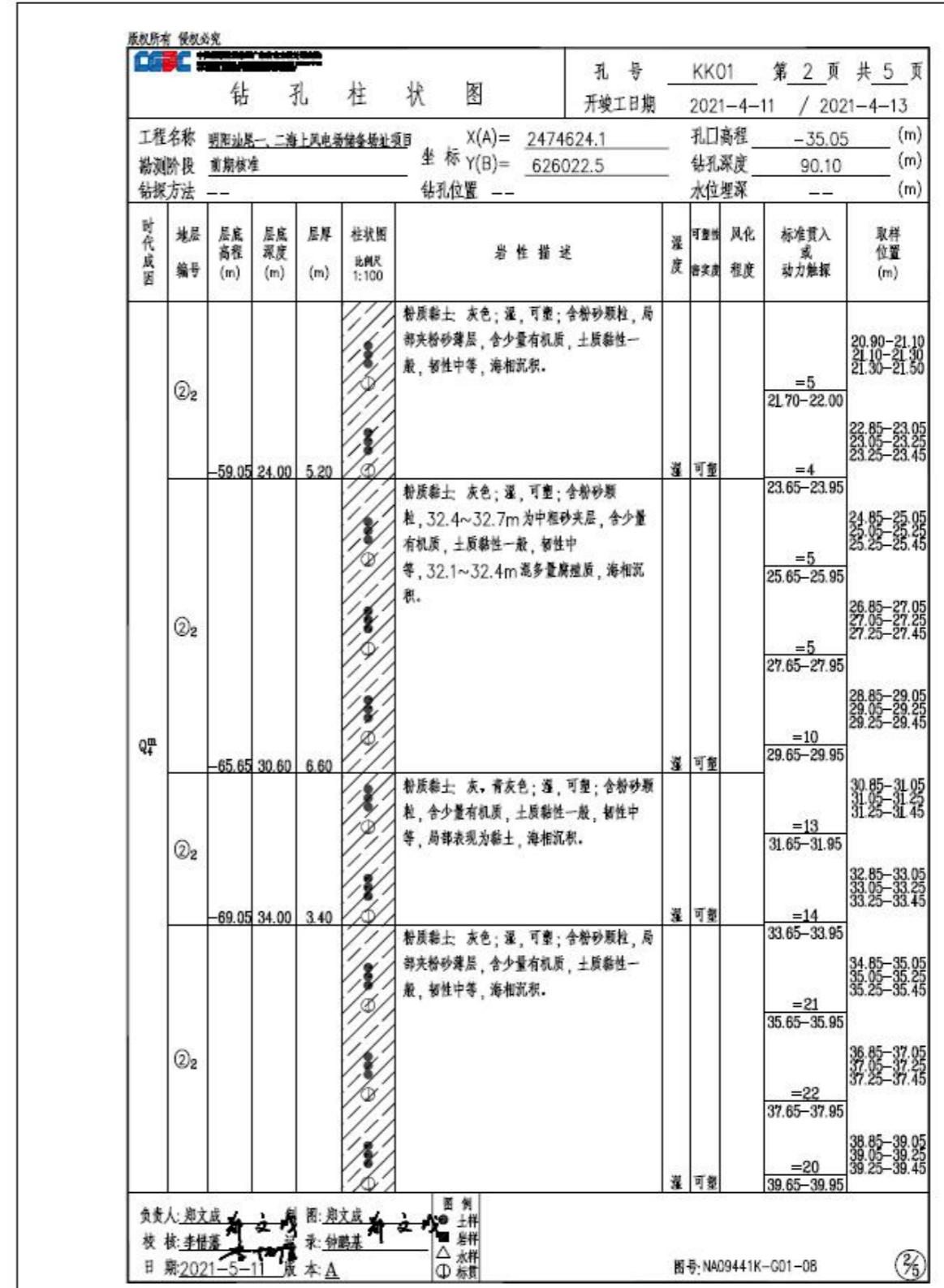
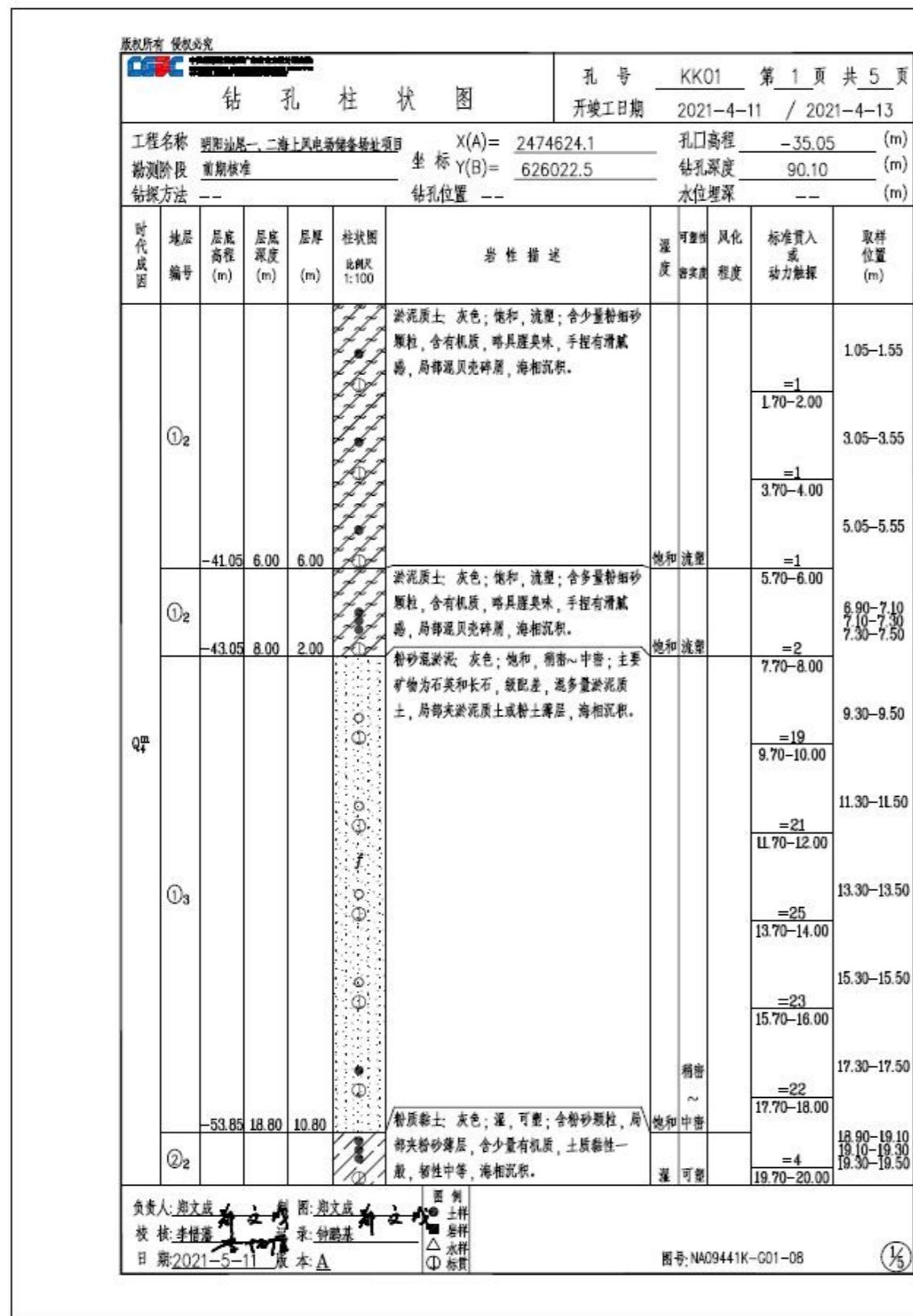


图 3.1.3.6-1-3a 钻孔柱状图 (KK01)

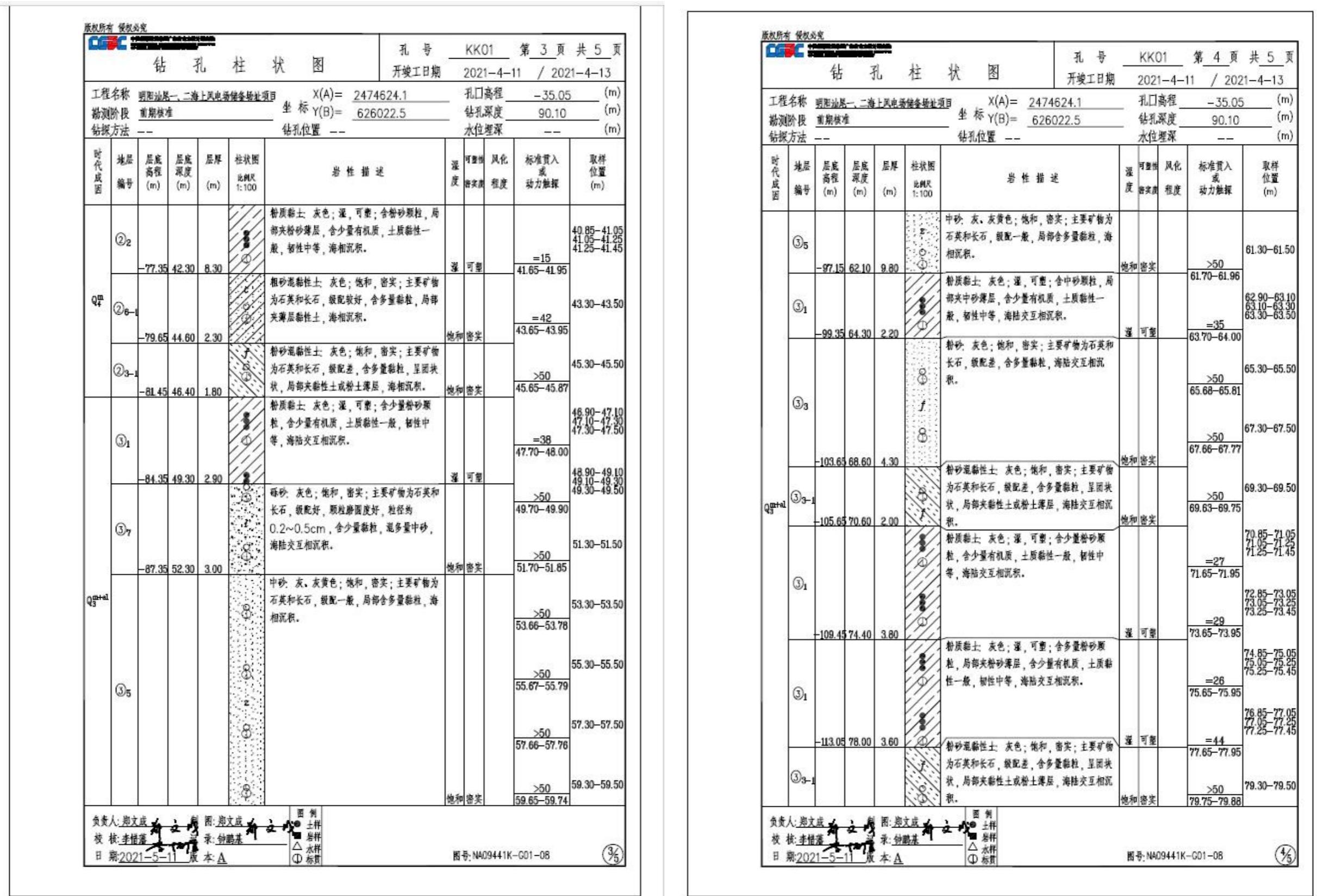


图 3.1.3.6-1-3b 钻孔柱状图 (KK01)

版权所有 侵权必究

**钻孔柱状图**

| 钻孔柱状图            |          |                   |                 |           |                     |   | 孔号 KK01 第 5 页 共 5 页<br>开竣工日期 2021-4-11 / 2021-4-13 |            |   |                   |                 |
|------------------|----------|-------------------|-----------------|-----------|---------------------|---|--|------------|---|-------------------|-----------------|
| 工程名称             |          | 明阳汕尾一、二海上风力发电设备项目 |                 | X(A)=     | 2474624.1           | 孔口高程  | -35.05 (m)   |            |   |                   |                 |
| 勘测阶段             |          | 前期核准              |                 | 坐标 Y(B)=  | 626022.5            | 钻孔深度  | 90.10 (m)  |            |   |                   |                 |
| 钻探方法             |          | --                |                 | 钻孔位置      | --                  | 水位埋深  | -- (m)   |            |   |                   |                 |
| 时代成因             | 地层<br>编号 | 层底<br>高程<br>(m)   | 层底<br>厚度<br>(m) | 层厚<br>(m) | 柱状图<br>比例尺<br>1:100 | 岩性描述  | 湿度   | 可塑性<br>含水量 | 风化<br>程度  | 标准贯入<br>或<br>动力触探 | 取样<br>位置<br>(m) |
| $Q_{3-1}^{mlal}$ | ③-1      | -125.15           | 90.10           | 12.10     | ①<br>②<br>③<br>④    | 粉砂混黏土：灰色；饱和，密实；主要矿物为石英和长石，级配差，含多量黏粒。呈团块状，局部夹黏性土或粉土薄层，海陆交互相沉积。 |  | 饱和 密实      | >50<br>81.57-81.68<br>>50<br>83.54-83.63<br>>50<br>85.56-85.68<br>>50<br>87.55-87.63<br>>50 | 81.30-81.50       |                 |
|                  |          |                   |                 |           |                     |   |  |            |   | 83.30-83.50       |                 |
|                  |          |                   |                 |           |                     |   |  |            |   | 85.30-85.50       |                 |
|                  |          |                   |                 |           |                     |   |  |            |   | 87.30-87.50       |                 |
|                  |          |                   |                 |           |                     |   |  |            |   | 89.70-89.90       |                 |
|                  |          |                   |                 |           |                     |   |  |            |   | 89.90-90.10       |                 |

负责人: 郑文成  
校核: 李培基  
日期: 2021-5-11 版本: A

图: 郑文成  
绘图: 钟鹏基

图例:  
 ● 土样  
 ■ 岩样  
 △ 水样  
 ○ 标贯

图号: NA09441K-G01-08

(55)

图 3.1.3.6-1-3c 钻孔柱状图 (KK01)

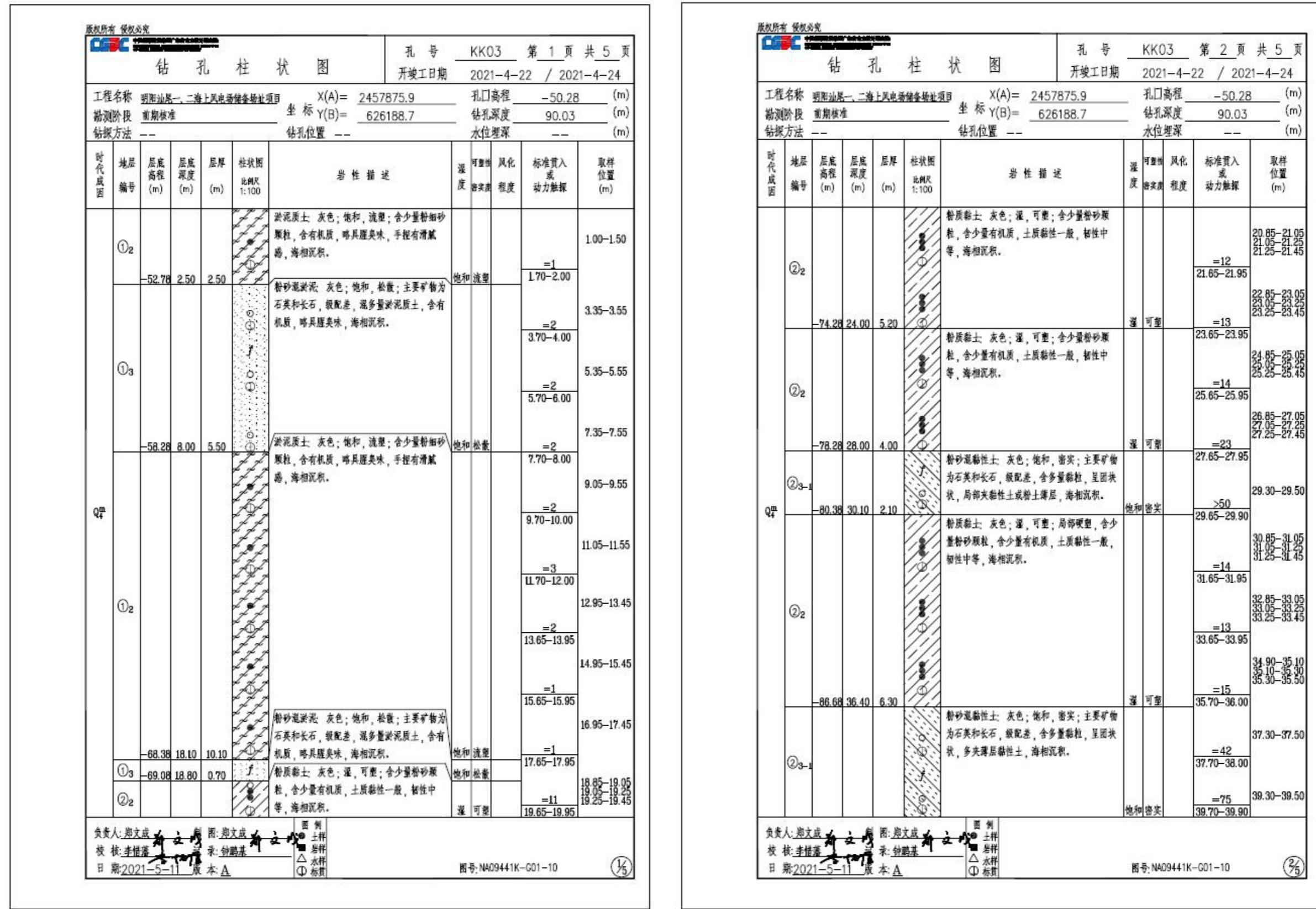


图 3.1.3.6-1-4a 钻孔柱状图 (KK03)

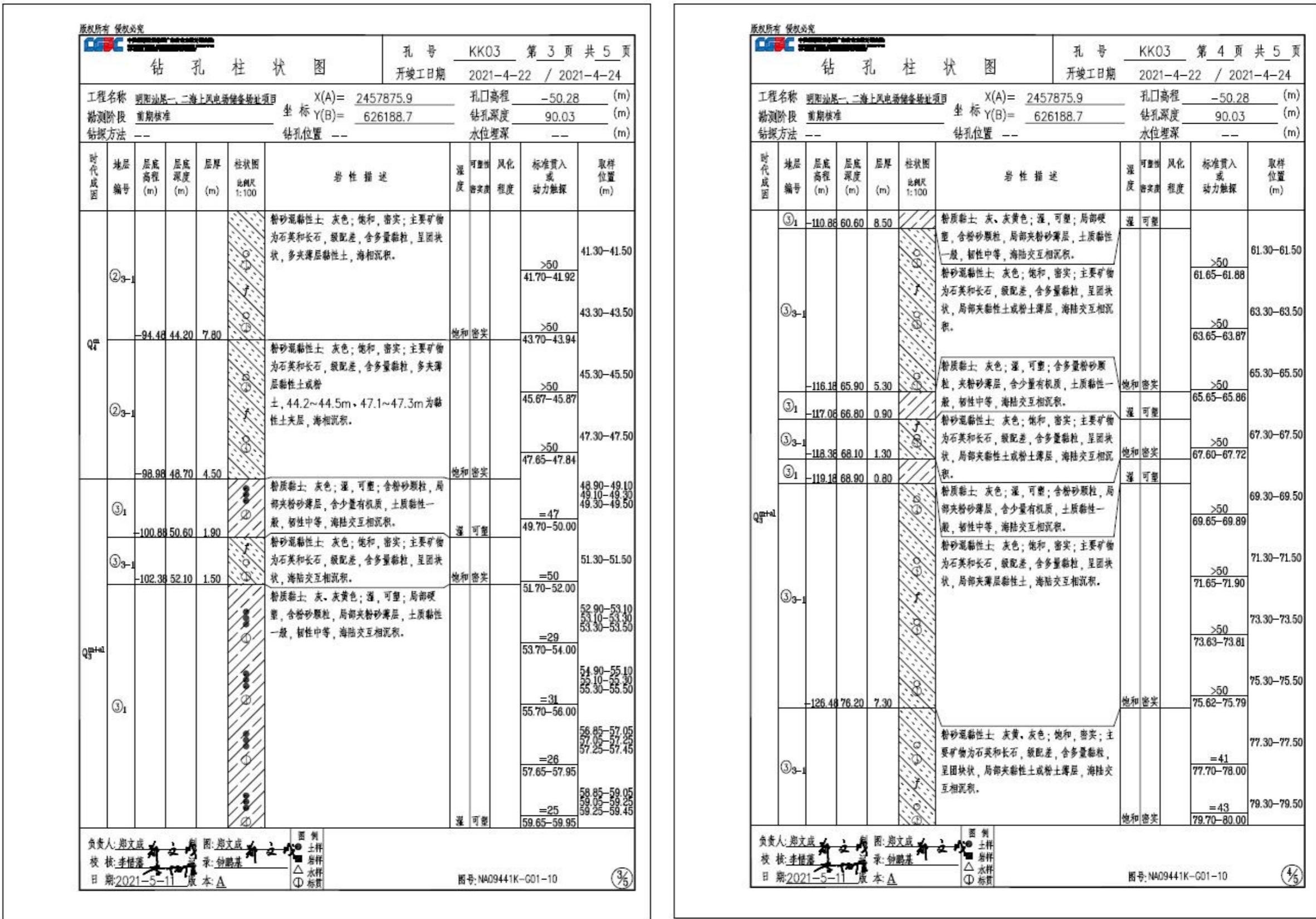


图 3.1.3.6-1-4b 钻孔柱状图 (KK03)

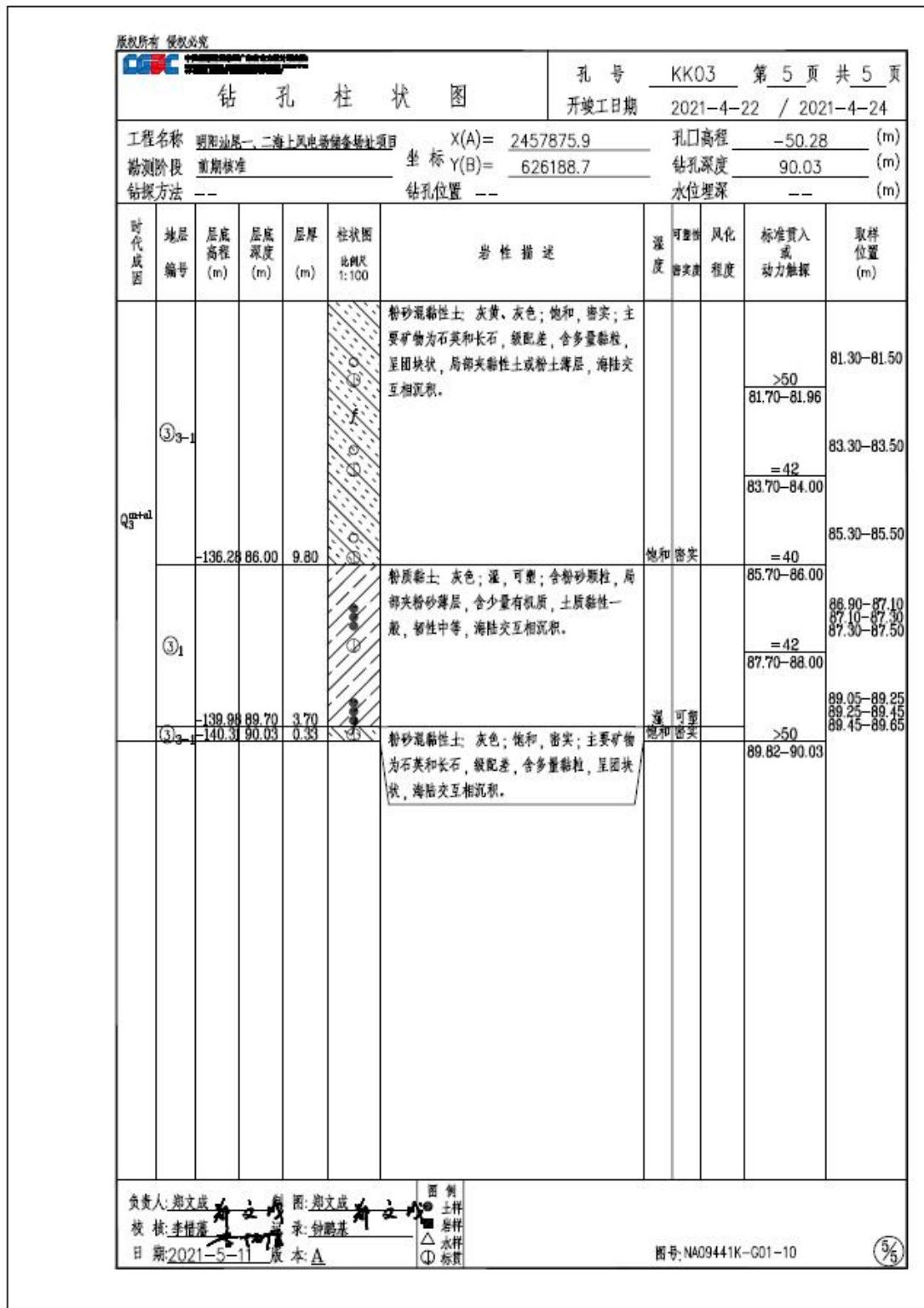


图 3.1.3.6-1-4c 钻孔柱状图 (KK03)

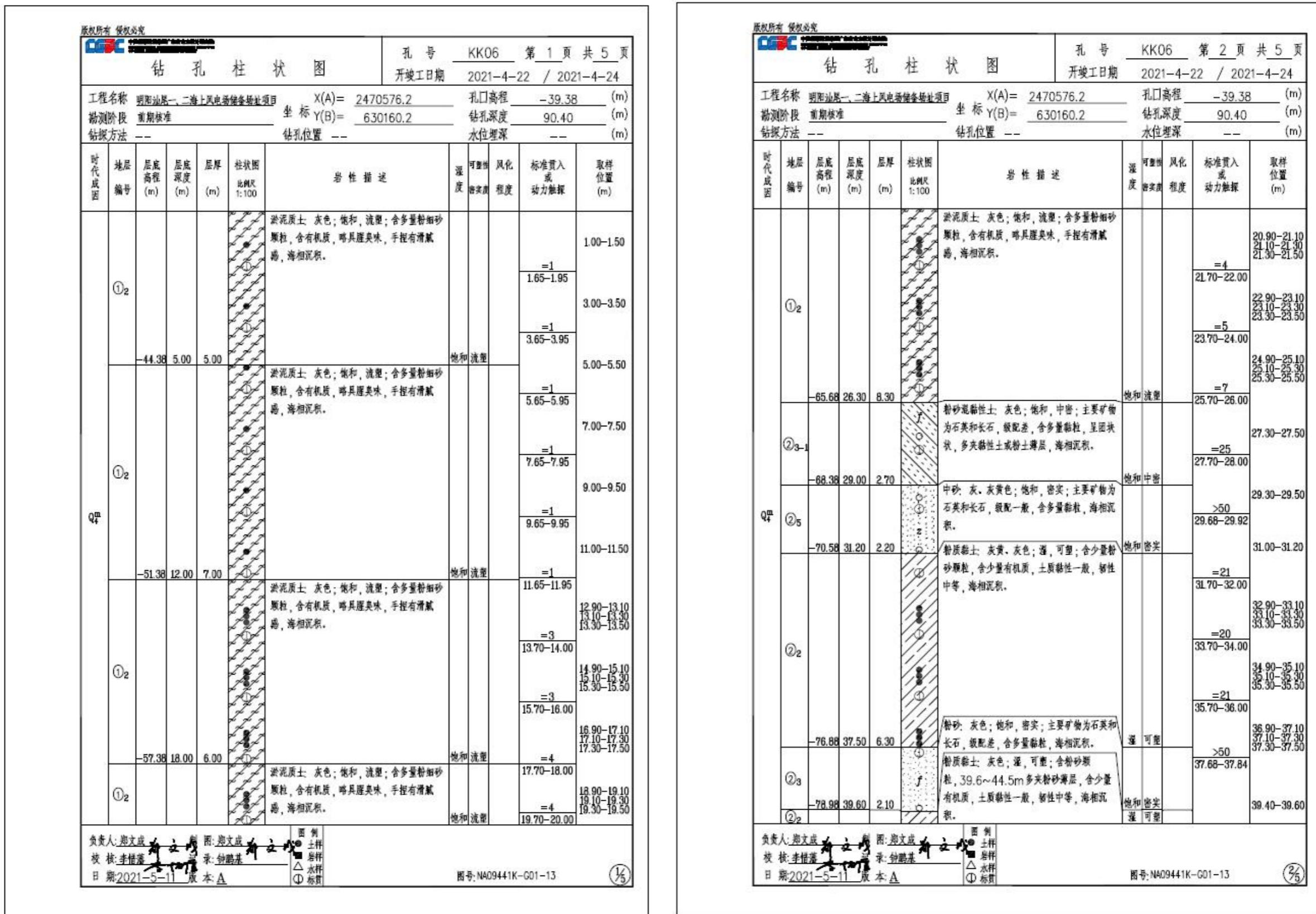


图 3.1.3.6-1-5a 钻孔柱状图 (KK06)

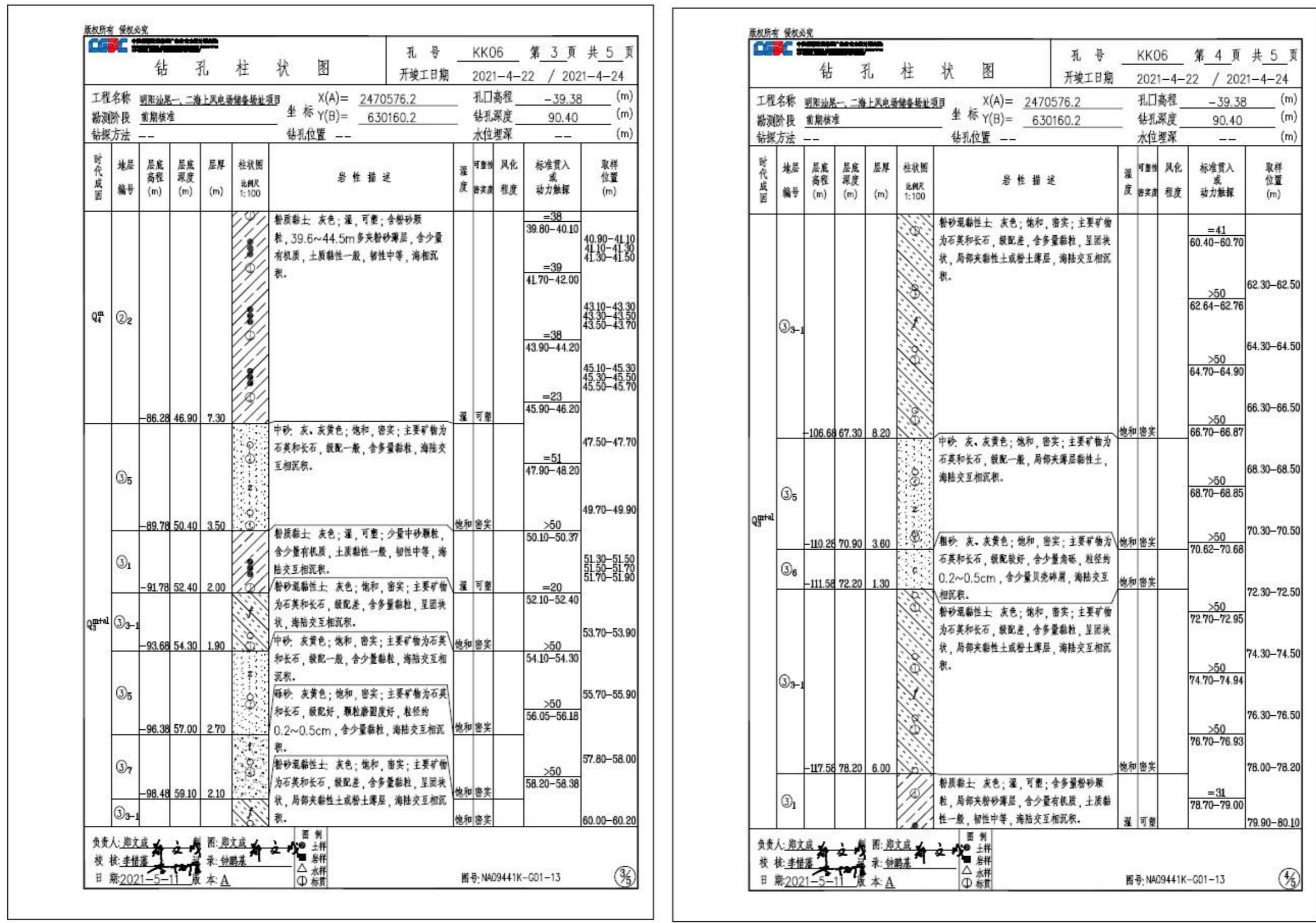


图 3.1.3.6-1-5b 钻孔柱状图 (KK06)

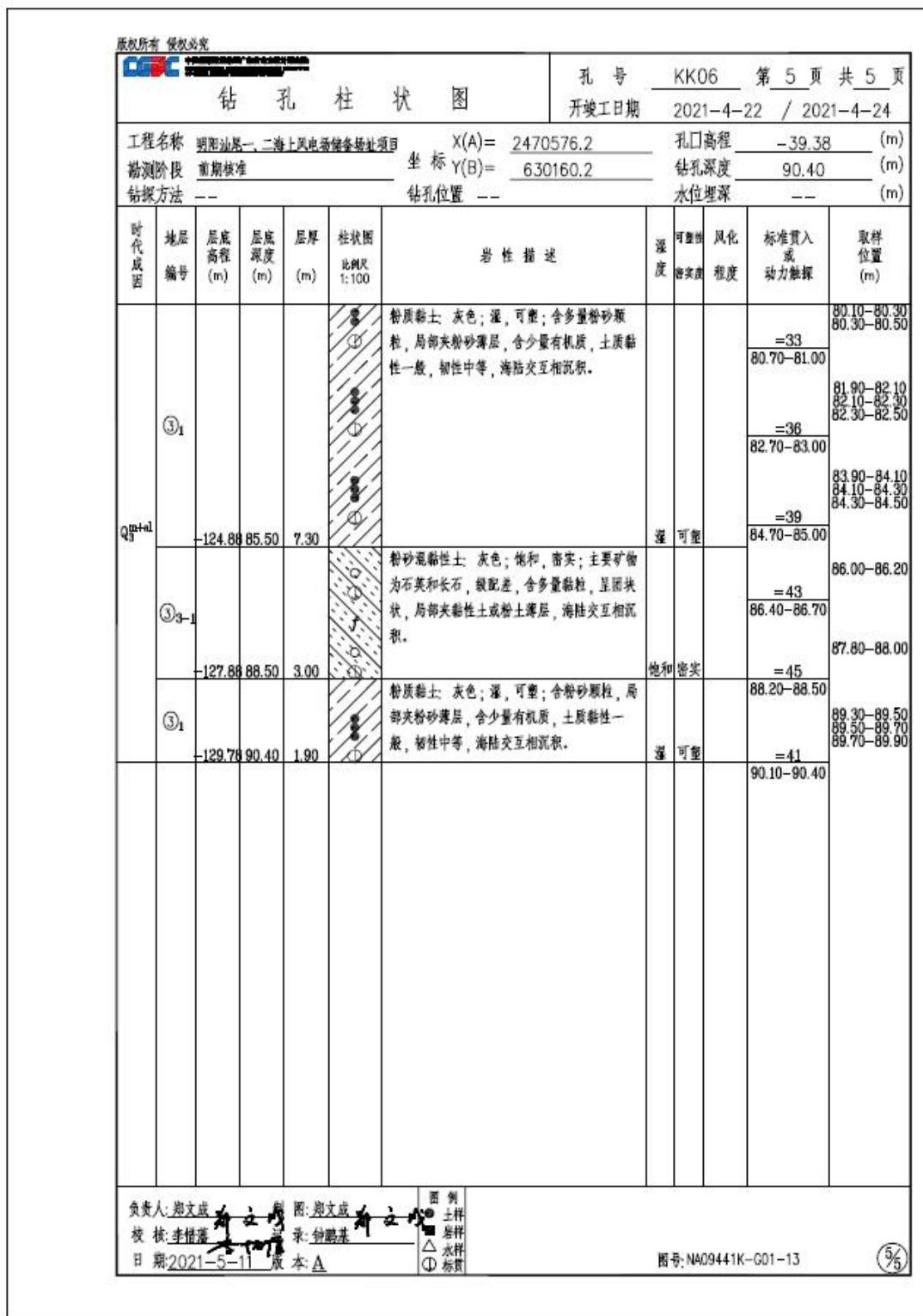


图 3.1.3.6-1-5c 钻孔柱状图 (KK06)

### 3.1.4 自然灾害

#### 3.1.4.1 热带气旋

项目所在海域是西北太平洋和南海台风、热带风暴活动和登陆的主要地区之一，因此主要的气象灾害是热带气旋引起的极端大风。热带气旋是破坏性颇为严重的灾害性天气系统，位居当今危害全球的十大自然灾害之首。

根据中国台风网“CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集”最新数据，统计了 1949 年至 2019 年影响项目所在海区的热带气旋。71 年间，共有 81 个热带气旋影响路由海域，其中热带低压 7 个，热带风暴 17 个，强热带风暴 24 个，台风 21 个，强台风 9 个，超强台风 2 个。热带气旋多发生在 6 月~10 月，该时间内的发生次数占总数的 96% 以上，7 月份发生次数最多，为 22 次，8 月次之，为 19 次，1 月、2 月、3 月、4 月和 12 月发生次数均为 0。对当地造成较大损失的热带气旋分别为 2001 年 0104 号台风“尤特”和 2006 年 0601 号台风“珍珠”。2001 年 7 月 6 日，台风“尤特”造成汕头、潮州、揭阳等地约 712 万人口受灾，直接经济损失 28.58 亿元。2006 年 5 月 18 日，台风“珍珠”造成汕头、潮州等地约 778 万人口受灾，紧急疏散 32.7 万人，直接经济损失 12.3 亿元，死亡 1 人。2013 年 9 月 23 日，强台风“天兔”造成广东省直接经济损失 71.72 亿元，死亡人数 25 人，农作物受灾面积 50.77 千公顷，倒塌房屋 8490 间，严重损坏房屋 2 万间，紧急转移人数 31.19 万人。

表 3.1.4-1 热带气旋统计表（1949~2019 年）

| 月份    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 合计 |
|-------|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 热带低压  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1  | 2  | 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 8  |
| 热带风暴  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6  | 4  | 4  | 3  | 0  | 0  | 0  | 17 |
| 强热带风暴 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2  | 9  | 6  | 4  | 1  | 1  | 0  | 24 |
| 台风    | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4  | 4  | 2  | 5  | 5  | 0  | 0  | 21 |
| 强台风   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 2  | 1  | 6  | 0  | 0  | 0  | 9  |
| 超强台风  | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2  |
| 合计    | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 13 | 22 | 19 | 18 | 6  | 1  | 0  | 81 |

### **3.1.4.2 地震**

本节引用《明阳汕尾一、二海上风电储备场址项目前期核准阶段岩土工程勘测报告》(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 2021 年 6 月)。

根据《中国地震动峰值加速度区划图》(GB18306-2015)，在II类场地条件下，田墘街道附近 50 年内超越概率 10% 的地震动峰值加速度为 0.10g，反应谱特征周期为 0.35s，对应的地震基本烈度为VII度。国家标准《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015) 是对陆域地震动峰值加速度进行的分区，海域地震动参数目前还没有相应的划分，考虑拟建风电场位于汕尾市田墘街道东南面海域。推测海上风电场在II类场地条件下 50 年内超越概率 10% 的地震动峰值加速度为 0.10g，反应谱特征周期为 0.35s，对应的地震基本烈度为VII度。

根据本次勘察成果，本风电场场地类别为III~IV类，按《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)附录 E 中地震动峰值加速度调整系数表和表 1 场地基本地震动加速度反应谱特征周期调整表，建议风电场III~IV类场地 50 年内超越概率 10% 的地震动峰值加速度调整为 0.125g~0.120g，反应谱特征周期调整为 0.45s~0.65s，对应的地震基本烈度为VII度。最终的地震动参数及场区地震烈度应以风电场区的地震安全性评价报告为准。

## **3.1.5 海洋水质环境质量现状调查与分析**

### **1、春季**

春季调查资料引用《广东省汕尾海上风场海域监测海洋环境现状调查与评价报告》(汕尾市润邦检测技术有限公司，2021 年 7 月)，由汕尾市润邦检测技术有限公司于 2021 年 5 月在项目附近海域进行的春季海洋环境现状调查数据。

### **2、秋季**

秋季调查资料引用《汕尾红海湾海上风电场项目海洋环境现状调查监测报告(秋季)》(广州海兰图检测技术有限公司，2021 年 12 月)，由广州海兰图检测技术有限公司于 2021 年 11 月在项目附近海域进行秋季海洋环境现状调查数据。

### **3.1.5.1 调查概况**

#### **1、春季 (2021 年 5 月)**

本次调查共设水质调查站位 34 个，沉积物调查站位 17 个，海洋生物质量、

生态与渔业资源调查站位 21 个，潮间带生物调查断面 6 个，具体调查站位详见表 3.1.5.1-1 和图 3.1.5.1-1。

表 3.1.5.1-1 2021 年 5 月海洋环境现状调查站位

| 监测点位编号 | 经纬度 (N,E)                   | 监测项目      |
|--------|-----------------------------|-----------|
| S1     | 22°46'00.53", 115°51'18.95" | 水质、沉积物、生态 |
| S2※    | 22°45'15.79", 115°52'45.79" | 水质        |
| S3     | 22°44'28.90", 115°49'55.07" | 水质、沉积物、生态 |
| S4     | 22°41'34.74", 115°49'20.67" | 水质、沉积物、生态 |
| S5     | 22°39'44.21", 115°52'21.16" | 水质        |
| S6     | 22°36'18.94", 115°47'30.00" | 水质        |
| S7     | 22°37'53.68", 115°44'44.21" | 水质、沉积物、生态 |
| S8     | 22°33'48.95", 115°39'36.76" | 水质、沉积物、生态 |
| S9     | 22°33'45.71", 115°42'45.79" | 水质        |
| S10※   | 22°30'39.47", 115°45'22.48" | 水质        |
| S11    | 22°27'37.14", 115°45'23.32" | 水质、沉积物、生态 |
| S12    | 22°24'39.24", 115°45'21.32" | 水质、沉积物、生态 |
| S13    | 22°21'30.54", 115°45'21.57" | 水质        |
| S14    | 22°18'25.91", 115°45'22.48" | 水质、沉积物、生态 |
| S15    | 22°16'30.33", 115°38'41.83" | 水质、沉积物、生态 |
| S16    | 22°19'41.60", 115°38'47.62" | 水质        |
| S17    | 22°22'57.72", 115°38'46.69" | 水质、沉积物、生态 |
| S18    | 22°26'16.82", 115°38'48.62" | 水质、沉积物、生态 |
| S19    | 22°29'31.78", 115°38'48.94" | 水质        |
| S20    | 22°28'10.23", 115°32'05.37" | 水质、沉积物、生态 |
| S21    | 22°24'47.26", 115°32'28.31" | 水质、生态     |
| S22※   | 22°21'22.39", 115°32'34.18" | 水质        |
| S23    | 22°17'57.89", 115°32'49.60" | 水质、沉积物、生态 |
| S24    | 22°14'38.38", 115°32'53.68" | 水质        |
| S25    | 22°12'50.89", 115°26'42.63" | 水质、沉积物、生态 |
| S26    | 22°16'16.98", 115°26'30.88" | 水质        |
| S27    | 22°19'42.74", 115°26'16.34" | 水质、沉积物、生态 |
| S28    | 22°23'10.42", 115°26'10.15" | 水质、沉积物、生态 |

| 监测点  | 经纬度 (N,E)  | 监测项目      |
|------|--|-----------|
| S29  | 22°26'40.23", 115°25'55.37"  | 水质        |
| S30  | 22°25'30.23", 115°20'02.37"  | 水质、沉积物、生态 |
| S31※ | 22°21'46.70", 115°20'16.24"  | 水质        |
| S32  | 22°18'07.56", 115°20'26.83"  | 水质        |
| S33  | 22°14'26.68", 115°20'38.54"  | 水质、沉积物、生态 |
| S34  | 22°10'48.86", 115°20'46.80"  | 水质        |
| S35  | 22°08'56.84", 115°14'16.78"  | 水质、生态     |
| S36  | 22°12'28.55", 115°14'09.84"  | 水质、沉积物、生态 |
| S37  | 22°16'34.23", 115°14'18.31"  | 水质、生态     |
| S38  | 22°20'23.70", 115°14'15.09"  | 水质、生态     |
| S39  | 22°24'12.63", 115°14'16.78"  | 水质、沉积物、生态 |
| S40※ | 22°23'23.23", 115°07'45.79"  | 水质        |
| S41  | 22°19'34.15", 115°07'34.80"  | 水质、沉积物、生态 |
| S42  | 22°15'37.09", 115°07'38.22"  | 水质、沉积物、生态 |
| S43  | 22°11'29.06", 115°07'41.63"  | 水质        |
| S44  | 22°07'22.11", 115°07'45.79"  | 水质、沉积物、生态 |
| CJ1  | 22°44'31.06", 115°49'14.87"  | 潮间带生物     |
| CJ2  | 22°46'41.13", 115°50'59.32"  | 潮间带生物     |
| CJ3  | 22°47'25.23", 115°54'13.21"  | 潮间带生物     |
| SF1  | 起点: 22°43'16.57" , 115°51'39.97"<br>终点: 22°38'41.55" , 115°49'39.47" | 游泳动物      |
| SF2  | 起点: 22°35'39.52" , 115°45'49.07"<br>终点: 22°31'34.49" , 115°43'03.61" | 游泳动物      |
| SF3  | 起点: 22°30'04.97" , 115°44'05.06"<br>终点: 22°24'38.88" , 115°44'04.50" | 游泳动物      |
| SF4  | 起点: 22°22'06.53" , 115°40'59.86"<br>终点: 22°16'46.45" , 115°41'02.94" | 游泳动物      |
| SF5  | 起点: 22°22'51.53" , 115°36'25.00"<br>终点: 22°28'17.45" , 115°36'28.39" | 游泳动物      |
| SF6  | 起点: 22°14'32.06" , 115°34'34.99"<br>终点: 22°20'13.11" , 115°34'31.81" | 游泳动物      |
| SF7  | 起点: 22°27'23.61" , 115°29'01.90"                                     | 游泳动物      |

| 监测点  | 经纬度 (N,E)  | 监测项目 |
|------|--|------|
|      | 终点: 22°22'06.68" , 115°28'58.83"                                     |      |
| SF8  | 起点: 22°18'40.34" , 115°28'00.73"<br>终点: 22°13'20.17" , 115°27'54.53" | 游泳动物 |
| SF9  | 起点: 22°19'46.05" , 115°23'01.30"<br>终点: 22°25'35.99" , 115°23'07.30" | 游泳动物 |
| SF10 | 起点: 22°11'41.02" , 115°21'55.89"<br>终点: 22°17'54.95" , 115°21'52.11" | 游泳动物 |
| SF11 | 起点: 22°24'11.64" E115°16'26.18"<br>终点: 22°18'27.83" , 115°16'33.36"  | 游泳动物 |
| SF12 | 起点: 22°14'52.34" , 115°15'29.21"<br>终点: 22°09'04.90" , 115°15'33.28" | 游泳动物 |
| SF13 | 起点: 22°16'54.81" , 115°11'03.08"<br>终点: 22°23'26.48" , 115°11'05.27" | 游泳动物 |
| SF14 | 起点: 22°08'28.44" , 115°08'39.06"<br>终点: 22°15'00.80" , 115°08'44.45" | 游泳动物 |
| 备注   | 带※监测点位采集平行样  |      |

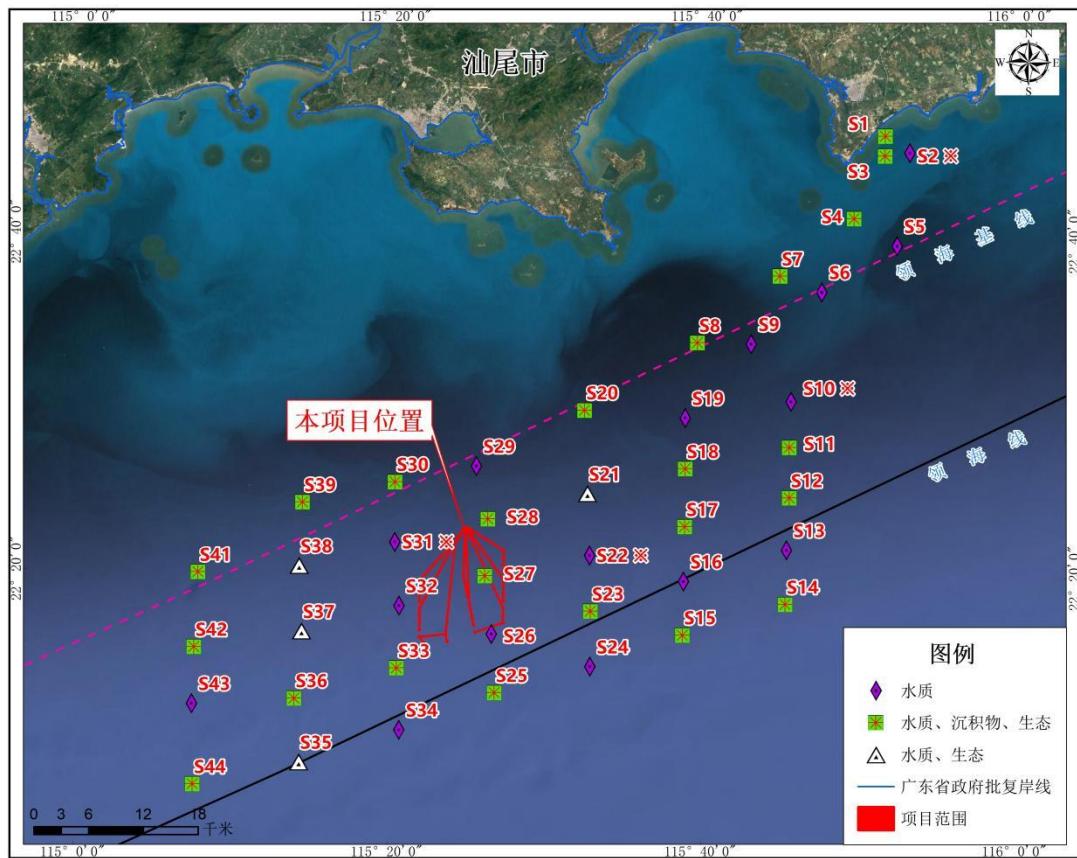


图 3.1.5.1-1 2021 年 5 月春季调查站位图

## 2、秋季（2021年11月）

本次调查共设水质调查站位 44 个，海洋生态与渔业资源调查站位 27 个，潮间带调查断面 3 条，具体调查站位详见表 3.1.5.1-2 和图 3.1.5.1-2。

表 3.1.5.1-2 2021 年 11 月海洋环境现状调查站位

| 序号 | 站位  | 经度 E ( °)  | 纬度 N ( °) | 调查项目  | 备注         |
|----|-----|------------|-----------|-------|------------|
| 1  | S1  | 115.855264 | 22.766814 | 水质、生态 | 田尾山-石碑山农渔业 |
| 2  | S2  | 115.879386 | 22.754386 | 水质    | 田尾山-石碑山农渔业 |
| 3  | S3  | 115.831964 | 22.741361 | 水质、生态 | 田尾山工业与城镇用海 |
| 4  | S4  | 115.822408 | 22.692983 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 5  | S5  | 115.872544 | 22.662281 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 6  | S6  | 115.791667 | 22.605261 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 7  | S7  | 115.745614 | 22.631578 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 8  | S8  | 115.660211 | 22.563597 | 水质、生态 | 遮浪南海洋保护区   |
| 9  | S9  | 115.712719 | 22.562697 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 10 | S10 | 115.756244 | 22.510964 | 水质    | 碣石湾近海海洋保护区 |

| 序号 | 站位  | 经度 E ( °)  | 纬度 N ( °) | 调查项目  | 备注         |
|----|-----|------------|-----------|-------|------------|
| 11 | S11 | 115.756478 | 22.460317 | 水质、生态 | 碣石湾近海海洋保护区 |
| 12 | S12 | 115.755922 | 22.410900 | 水质、生态 | 碣石湾近海海洋保护区 |
| 13 | S13 | 115.755992 | 22.358483 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 14 | S14 | 115.756244 | 22.307197 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 15 | S15 | 115.644953 | 22.275092 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 16 | S16 | 115.646561 | 22.328222 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 17 | S17 | 115.646303 | 22.382700 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 18 | S18 | 115.646839 | 22.438006 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 19 | S19 | 115.646928 | 22.492161 | 水质    | 遮浪南海洋保护区   |
| 20 | S20 | 115.534825 | 22.469508 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 21 | S21 | 115.541197 | 22.413128 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 22 | S22 | 115.542828 | 22.356219 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 23 | S23 | 115.547111 | 22.299414 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 24 | S24 | 115.548244 | 22.243994 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 25 | S25 | 115.445175 | 22.214136 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 26 | S26 | 115.441911 | 22.271383 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 27 | S27 | 115.437872 | 22.328539 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 28 | S28 | 115.436153 | 22.386228 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 29 | S29 | 115.432047 | 22.444508 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 30 | S30 | 115.333992 | 22.425064 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 31 | S31 | 115.337844 | 22.362972 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 32 | S32 | 115.340786 | 22.302100 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 33 | S33 | 115.344039 | 22.240744 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 34 | S34 | 115.346333 | 22.180239 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 35 | S35 | 115.237994 | 22.149122 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 36 | S36 | 115.236067 | 22.207931 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 37 | S37 | 115.238419 | 22.276175 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 38 | S38 | 115.237525 | 22.339917 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 39 | S39 | 115.237994 | 22.403508 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 40 | S40 | 115.129386 | 22.389786 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 41 | S41 | 115.126333 | 22.326153 | 水质、生态 | 针头岩海洋保护区   |
| 42 | S42 | 115.127283 | 22.260303 | 水质、生态 | 针头岩海洋保护区   |

| 序号 | 站位  | 经度 E ( °)  | 纬度 N ( °) | 调查项目  | 备注         |
|----|-----|------------|-----------|-------|------------|
| 43 | S43 | 115.128231 | 22.191406 | 水质    | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 44 | S44 | 115.129386 | 22.122808 | 水质、生态 | 珠海-潮州近海农渔业 |
| 45 | CJ1 | 115.820797 | 22.741961 | 潮间带   |            |
| 46 | CJ2 | 115.849811 | 22.778092 | 潮间带   |            |
| 47 | CJ3 | 115.903669 | 22.790342 | 潮间带   |            |

注：潮间带垂直于岸线，布设高、中、低潮区采样断面

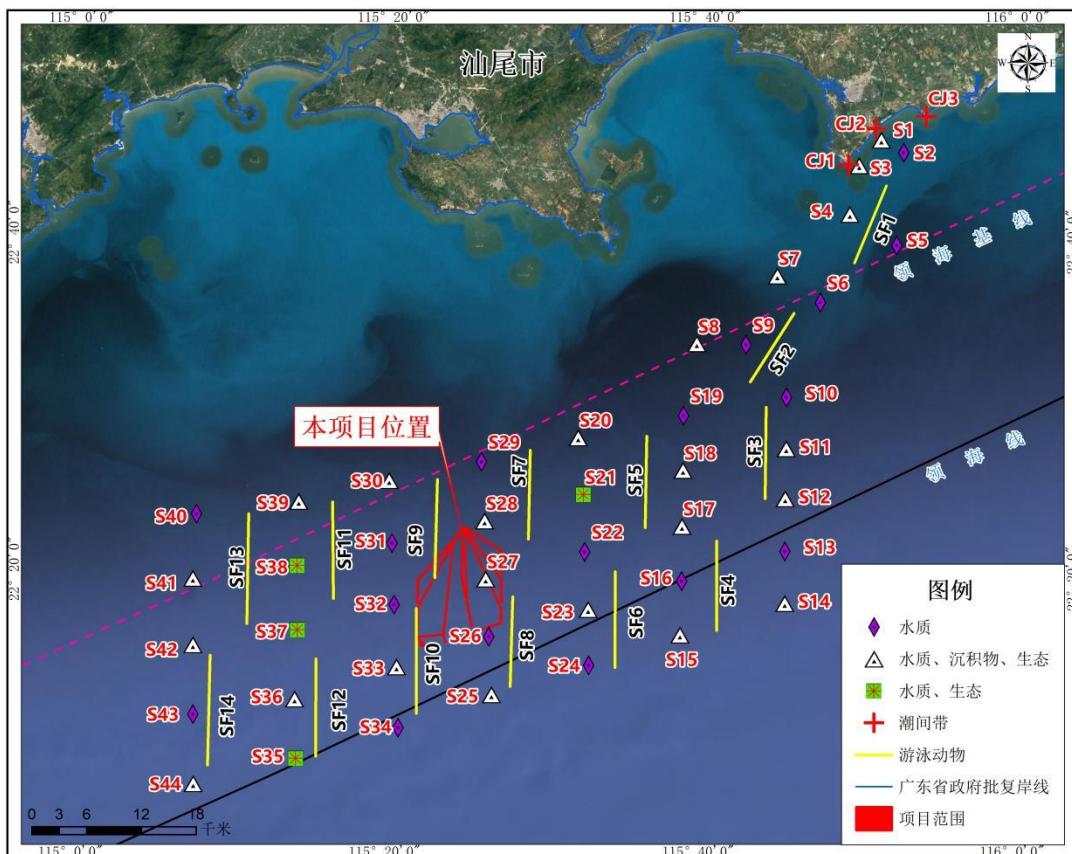


图 3.1.5.1-2 2021 年 11 月秋季调查站位图

### 3.1.5.2 水质调查内容

#### 1、春季

海况、风速、风向、透明度、水深、水色、pH、水温、盐度、悬浮物、化学需氧量、溶解氧、亚硝酸盐、硝酸盐、氨、活性磷酸盐、硫化物、石油类、铜、铅、镉、汞、砷、锌。

#### 2、秋季

海水水质调查内容：水温、盐度、pH、溶解氧、悬浮物、化学需氧量、硝

酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐、挥发酚、硫化物、石油类、铬、铅、镉、锌、铜、汞和砷。

### 3.1.5.3 水质检测与分析方法

样品的采样、贮存与运输、调查方法按照《海洋监测规范 第3部分：样品采集、贮存与运输》GB 17378.3-2007、《海洋调查规范 第6部分：海洋生物调查》GB 12763.6-2007进行。

样品的分析按照《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007) 和《海洋监测规范》(GB 17378-2007) 进行，各项目的分析方法如表 3.1.5.3-1。

表 3.1.5.3-1 海水检测方法及检出限

| 检测项目  | 检测方法   | 检出限         | 主要分析仪器/型号         |
|-------|--|-------------|-------------------|
| 水深    | 《海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测》 GB/T 12763.2-2007 (4.8) | /           | 测深绳               |
| 水色    | 《海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测》 GB/T 12763.2-2007 (10)  | /           | 海水比色计 /XH-B21     |
| pH 值  | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007 (26.1)    | /           | 精密 pH 计 /PHS-3C   |
| 水温    | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007 (25.1)    | /           | 表层水温计 /0°C~41°C   |
| 盐度    | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007 (29.1)    | /           | 盐度计 /YK-31SA      |
| 悬浮物   | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007 (27)      | /           | 十万分之一天平 /BT25S    |
| 硫化物   | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007 (18.1)    | 0.2 μg/L    | 紫外可见分光光度计/UV-1800 |
| 化学需氧量 | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007 (32)      | 0.096 mg/L  | 电子滴定器 /brand      |
| 溶解氧   | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007 (31)      | /           | 酸碱滴定管 /25mL       |
| 亚硝酸盐  | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007 (37)      | /           | 紫外可见分光光度计/UV-1800 |
| 硝酸盐   | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》 GB 17378.4-2007 (38.1)    | 0.00127mg/L | 紫外分光光度计/普析 T6 新世纪 |

| 检测项目  | 检测方法                                     | 检出限          | 主要分析仪器/型号              |
|-------|--|--------------|------------------------|
| 氨     | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 (36.1) | /            | 紫外可见分光光度计/UV-1800      |
| 活性磷酸盐 | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 (39.1) | 0.002mg/L    | 紫外可见分光光度计/UV-1800      |
| 石油类   | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 (13.2) | 3.5μg/L      | 紫外可见分光光度计/UV-1800      |
| 铜     | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 (6.1)  | 0.0002mg/L   | 原子吸收分光光度计(石墨炉)/AA-7000 |
| 铅     | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 (7.1)  | 0.00003mg/L  | 原子吸收分光光度计(石墨炉)/AA-7000 |
| 镉     | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 (8.1)  | 0.00001mg/L  | 原子吸收分光光度计(石墨炉)/AA-7000 |
| 汞     | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 (5.1)  | 0.000007mg/L | 原子荧光光度计/AFS-8520       |
| 砷     | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 (11.1) | 0.0005mg/L   | 原子荧光光度计/AFS-8520       |
| 锌     | 《海洋监测规范 第4部分：海水分析》GB 17378.4-2007 (9.1)  | 0.0031mg/L   | 原子吸收分光光度计(火焰)/AA-7000  |

### 3.1.5.4 水质评价方法与标准

#### (1) 评价方法

采用单项参数标准指数法计算质量指数( $S_j$ )，水质评价因子*i*在第*j*站位的标准指数为：

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

式中： $C_{i,j}$  为单项水质在 *j* 站位的实测浓度；

$C_{s,i}$  为该项水质的标准值。

其中，溶解氧的标准指数为：

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

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

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

$DO_j$ —溶解氧在 j 点的实测统计代表值, mg/L;

$DO_s$ —溶解氧的水质评价标准限制, mg/L;

$DO_f$ —饱和溶解氧浓度, mg/L,  $DO_f = (491 - 2.65S) / (33.5 + T)$

S—实用盐度符号, 量纲一;

T—水温, °C。

pH 的标准指数为:

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

$$S_{pH, j} = (pH_j - 7.0) / (pH_{su} - 7.0) \quad pH_j > 7.0$$

式中:  $pH_j$ —j 点 pH 值;

$pH_{sd}$ —水质标准规定的 pH 下限值;

$pH_{su}$ —水质标准规定的 pH 上限值。

水质评价因子的标准指数 $>1$ , 则表明该项水质已超过了规定的水质标准。

## (2) 评价标准

### 1) 春季(2021 年 5 月)

根据《广东省海洋功能区划(2011-2020 年)》, 春季各监测站位执行的水质标准见表 3.1.5.4-1。

表 3.1.5.4-1 2021 年 5 月春季各站位执行的水质标准要求一览表

| 调查站位                                       | 功能区名称       | 标准要求                              |
|--|-------------|-----------------------------------|
| S1-3                                       | 田尾山-石碑山农渔业区 | 执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准 |
| S4-7、S9、S17-18、S20-23、S26-33、S35-40、S43-44 | 珠海-潮州近海农渔业区 | 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准 |
| S8、S19                                     | 遮浪南海洋保护区    |                                   |
| S10-12                                     | 碣石湾近海海洋保护区  |                                   |
| S41-42                                     | 针头岩海洋保护区    |                                   |
| S13-16、S24-25、S34                          | 领海以外        |                                   |

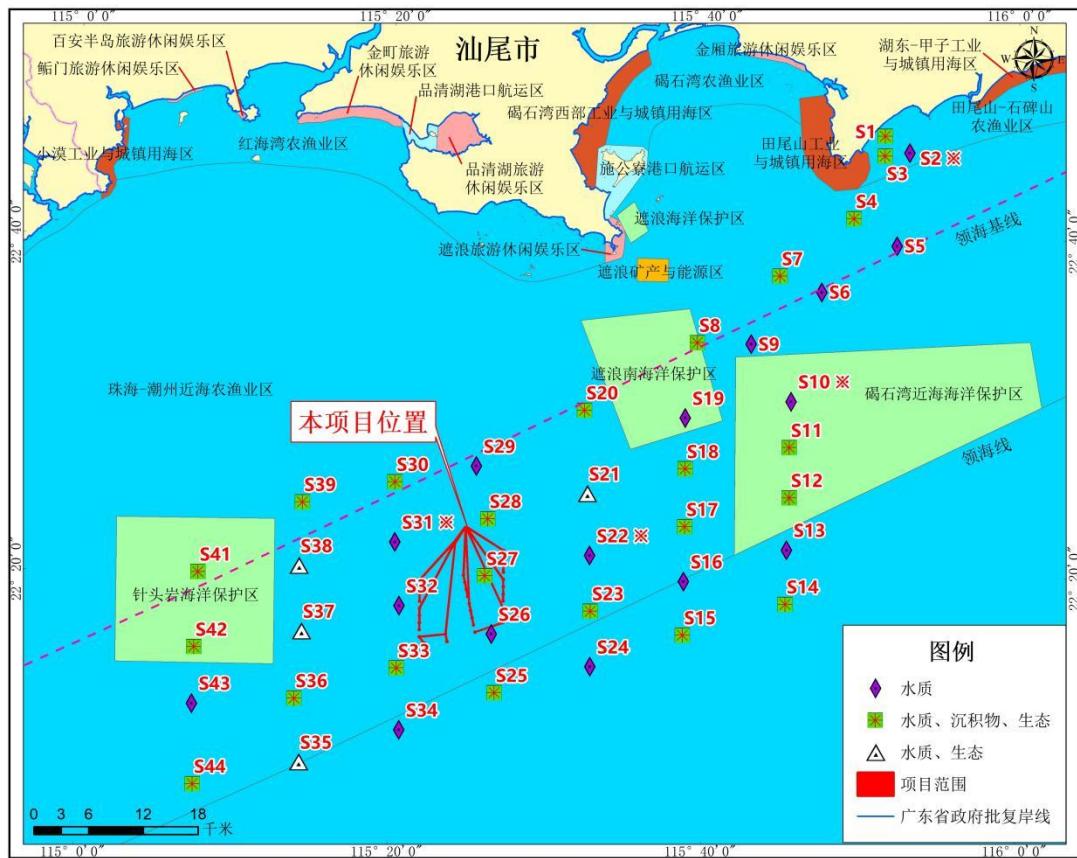


图 3.1.5.4-1 2021 年 5 月秋季调查站位所处广东省海洋功能区示意图

## 2) 秋季 (2021 年 11 月)

根据《广东省海洋功能区划 (2011-2020 年)》，秋季各监测站位执行的水质标准见表 3.1.5.4-2。

表 3.1.5.4-2 2021 年 11 月秋季各站位执行的水质标准要求一览表

| 调查站位   | 功能区名称       | 标准要求                              |
|--|-------------|-----------------------------------|
| S10、S11、S12                                      | 碣石湾近海海洋保护区  | 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准 |
| S8、S19   | 遮浪南海洋保护区    |                                   |
| S41、S42  | 针头岩海洋保护区    |                                   |
| S4~S7、S9、S17~S18、S20~S23、S26~S33、S35~S40、S43、S44 | 珠海-潮州近海农渔业区 |                                   |
| S13~S16、S24~S25、S34                              | 领海以外        |                                   |
| S1、S2  | 田尾山-石碑山农渔业区 | 执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准 |
| S3   | 田尾山工业与城镇用海区 | 执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准            |

| 调查站位 | 功能区名称 | 标准要求         |
|------|-------|--------------|
|      |       | 准和海洋生物质量二类标准 |



图 3.1.5.4-2 2021 年 11 月秋季调查站位所处广东省海洋功能区示意图

### 3.1.5.5 海水水质调查结果与评价

#### 1、春季

2021 年 5 月春季各站位水质监测结果见表 3.1.5.5-1 (a)。采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，2021 年 5 月各监测点水质评价因子的标准指数见表 3.1.5.5-1 (b)。

2021 年 5 月春季水质监测结果表明，项目所在海区 pH 值、活性磷酸盐、COD、硫化物、镉、砷均符合所在海域海洋功能区划环境质量标准要求，石油类、溶解氧、无机氮、铜、铅、汞、锌出现不同程度的超标，其中石油类超标率为 15.9%，溶解氧超标率为 24.5%，无机氮超标率为 2.0%，铜超标率为 2%，铅超标率为 87.8%，汞超标率为 36.7%，锌超标率为 12.9%。

#### 2、秋季

2021 年 11 月秋季各站位水质监测结果见表 3.1.5.5-2 (a)。采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，2021 年 11 月各监测点水质评价因子的标准指数见表 3.1.5.5-2 (b) (1~3)。

2021 年 11 月秋季水质监测结果表明，项目所在海区 pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐、挥发酚、石油类、锌、铜、铅、镉、铬、汞、砷、硫化物均符合所在海域海洋功能区划环境质量标准要求，无超标因子。

(以下结果涉密，不公开)

### 3.1.6 海洋沉积物质量现状调查与分析

本节沉积物质量现状调查引用《广东省汕尾海上风场海域监测海洋环境现状调查与评价报告》(汕尾市润邦检测技术有限公司, 2021年7月), 由汕尾市润邦检测技术有限公司于2021年5月在项目附近海域进行的春季海洋环境现状调查数据。

#### 3.1.6.1 调查项目

含水率、有机碳、石油类、硫化物、铜、铅、镉、总汞、砷、锌。

#### 3.1.6.2 检测与分析方法

海洋沉积物检测方法及检出限可见表3.1.6.2-1。

表3.1.6.2-1 检测方法及检出限

| 检测项目 | 检测方法                                       | 检出限         | 主要分析仪器/型号              |
|------|--|-------------|------------------------|
| 有机碳  | 《海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析》GB 17378.5-2007 (18.1) | /           | 酸式滴定管 /25mL            |
| 硫化物  | 《海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析》GB 17378.5-2007 (17.1) | 0.3 mg/kg   | 紫外可见分光光度计/UV-1800      |
| 石油类  | 《海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析》GB 17378.5-2007 (13.2) | 3.0 mg/kg   | 紫外可见分光光度计/UV-1800      |
| 铜    | 《海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析》GB 17378.5-2007 (6.1)  | 0.5 mg/kg   | 原子吸收分光光度计(石墨炉)/AA-7000 |
| 铅    | 《海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析》GB 17378.5-2007 (7.1)  | 1.0 mg/kg   | 原子吸收分光光度计(石墨炉)/AA-7000 |
| 镉    | 《海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析》GB 17378.5-2007 (8.1)  | 0.04 mg/kg  | 原子吸收分光光度计(石墨炉)/AA-7000 |
| 总汞   | 《海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析》GB 17378.5-2007 (5.1)  | 0.002 mg/kg | 原子荧光光度计/AFS-8520       |
| 砷    | 《海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析》GB 17378.5-2007 (11.1) | 0.06 mg/kg  | 原子荧光光度计/AFS-8520       |
| 锌    | 《海洋监测规范 第5部分: 沉积物分析》GB 17378.5-2007 (9.1)  | 6.0 mg/kg   | 原子吸收分光光度计(火焰)/AA-7000  |

### 3.1.6.3 评价方法和标准

#### (1) 评价方法

采用单项参数标准指数法计算沉积物的质量指数，即应用公式

$$P_i = C_i / C_{si}.$$

式中： $P_i$  为第  $i$  种评价因子的质量指数；

$C_i$  为第  $i$  种评价因子的实测值；

$C_{si}$  为第  $i$  种评价因子的标准值。

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

#### (2) 评价标准

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，2021 年 5 月各监测站位执行的沉积物标准见表 3.1.6.3-1。

表 3.1.6.3-1 2021 年 11 月各站位执行的标准要求一览表

| 调查站位   | 功能区名称           | 标准要求              |
|--|-----------------|-------------------|
| S1-3   | 田尾山-石碑山农渔业区     | 执行海洋沉积物质量<br>一类标准 |
| S4-7、S9、S17-18、S20-23、S26-33、<br>S35-40、S43-44 | 珠海-潮州近海<br>农渔业区 |                   |
| S8、S19   | 遮浪南海洋保护区        |                   |
| S10-12   | 碣石湾近海海洋保护区      |                   |
| S41-42   | 针头岩海洋保护区        |                   |
| S13-16、S24-25、S34                              | 领海以外            |                   |

### 3.1.6.4 沉积物调查结果与评价

#### (1) 调查结果

2021 年 5 月各站位的沉积物监测结果见表 3.1.6.4-1 (a)。

#### (2) 评价结果

采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，各监测点沉积物评价因子的标准指数见表 3.1.6.4-2 (a)。

2021 年 5 月沉积物调查结果表明：该海域表层海洋沉积物检测项目结果符合所在海洋功能区沉积物质量一类标准要求，海洋沉积物质量状况良好。

表 3.1.6.4-1 (a) 2021 年 5 月各站位沉积物监测结果

| 站号 | 类型 | 有机碳 | 硫化物   | 石油类   | 铜     | 铅     | 镉     | 总汞    | 砷     | 锌     |
|----|----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|    |    | %   | mg/kg |

| 站号  | 类型     | 有机碳  | 硫化物   | 石油类   | 铜     | 铅     | 镉     | 总汞    | 砷     | 锌     |
|-----|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     |        | %    | mg/kg |
| S1  | 褐色泥质粘土 | 0.64 | 27.1  | 16.2  | 13.7  | 17.3  | 未检出   | 0.030 | 未检出   | 46.0  |
| S3  | 褐色泥质粘土 | 0.47 | 26.2  | 14.2  | 11.7  | 14.0  | 未检出   | 0.031 | 2.31  | 68.6  |
| S4  | 褐色泥质粘土 | 0.62 | 9.9   | 12.9  | 9.7   | 14.7  | 未检出   | 0.030 | 2.13  | 66.7  |
| S7  | 褐色泥质粘土 | 0.08 | 41.8  | 15.0  | 11.9  | 20.1  | 未检出   | 0.033 | 1.22  | 73.9  |
| S8  | 褐色泥质粘土 | 0.36 | 9.8   | 18.4  | 11.5  | 25.5  | 未检出   | 0.028 | 未检出   | 56.7  |
| S11 | 褐色泥质粘土 | 0.09 | 12.9  | 9.3   | 6.4   | 15.2  | 未检出   | 0.011 | 0.80  | 57.8  |
| S12 | 褐色泥质粘土 | 0.14 | 10.7  | 14.6  | 6.3   | 26.8  | 未检出   | 0.010 | 未检出   | 69.1  |
| S14 | 褐色泥质粘土 | 0.13 | 22.1  | 12.6  | 6.0   | 19.0  | 未检出   | 0.049 | 未检出   | 47.8  |
| S15 | 褐色泥质粘土 | 0.06 | 20.1  | 12.5  | 6.4   | 17.6  | 未检出   | 0.012 | 未检出   | 53.9  |
| S17 | 褐色泥质粘土 | 0.14 | 13.0  | 11.9  | 7.6   | 16.2  | 未检出   | 0.015 | 未检出   | 51.4  |
| S18 | 褐色泥质粘土 | 0.18 | 15.2  | 12.6  | 6.6   | 16.8  | 未检出   | 0.015 | 未检出   | 53.1  |
| S20 | 褐色泥质粘土 | 0.06 | 8.1   | 9.8   | 6.7   | 17.1  | 未检出   | 0.023 | 未检出   | 61.7  |
| S23 | 褐色泥质粘土 | 0.19 | 24.2  | 12.4  | 6.7   | 16.5  | 未检出   | 0.015 | 未检出   | 61.0  |
| S25 | 褐色泥质粘土 | 0.82 | 73.4  | 11.7  | 6.7   | 21.3  | 未检出   | 0.055 | 未检出   | 44.9  |
| S27 | 褐色泥质粘土 | 0.05 | 9.8   | 10.0  | 7.4   | 20.4  | 未检出   | 0.030 | 0.22  | 64.6  |
| S28 | 褐色泥质粘土 | 0.03 | 3.9   | 17.4  | 7.1   | 15.4  | 未检出   | 0.022 | 未检出   | 51.5  |
| S30 | 褐色泥质粘土 | 0.30 | 14.6  | 14.7  | 4.3   | 24.8  | 未检出   | 0.011 | 1.79  | 40.5  |
| S33 | 褐色泥质粘土 | 0.29 | 4.5   | 10.5  | 4.9   | 23.3  | 未检出   | 0.018 | 3.28  | 46.7  |
| S36 | 褐色泥质粘土 | 0.20 | 10.8  | 12.7  | 5.1   | 13.2  | 未检出   | 0.014 | 4.15  | 51.1  |
| S39 | 褐色泥质粘土 | 0.25 | 7.4   | 13.2  | 4.8   | 13.6  | 未检出   | 0.015 | 4.36  | 42.9  |
| S41 | 褐色泥质粘土 | 0.30 | 3.0   | 7.3   | 5.9   | 29.2  | 未检出   | 0.012 | 3.40  | 54.9  |
| S42 | 褐色泥质粘土 | 0.25 | 1.0   | 9.6   | 5.2   | 13.9  | 0.06  | 0.009 | 3.88  | 57.7  |
| S44 | 褐色泥质粘土 | 0.23 | 22.5  | 8.7   | 5.5   | 22.8  | 未检出   | 0.011 | 未检出   | 50.1  |
| S1  | 褐色泥质粘土 | 0.64 | 27.1  | 16.2  | 13.7  | 17.3  | 未检出   | 0.030 | 未检出   | 46.0  |
| S3  | 褐色泥质粘土 | 0.47 | 26.2  | 14.2  | 11.7  | 14.0  | 未检出   | 0.031 | 2.31  | 68.6  |

表 3.1.6.4-1 (b) 2021 年 5 月各站位沉积物监测结果

| 站位   | 有机碳  | 硫化物   | 石油类  | 铜    | 铅    | 镉    | 总汞   | 砷     | 锌    |
|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| S1   | 0.32 | 0.090 | 0.03 | 0.39 | 0.29 | 0.04 | 0.15 | 0.002 | 0.31 |
| S3   | 0.24 | 0.087 | 0.03 | 0.33 | 0.23 | 0.04 | 0.16 | 0.116 | 0.46 |
| S4   | 0.31 | 0.033 | 0.03 | 0.28 | 0.25 | 0.04 | 0.15 | 0.107 | 0.44 |
| S7   | 0.04 | 0.139 | 0.03 | 0.34 | 0.34 | 0.04 | 0.17 | 0.061 | 0.49 |
| S8   | 0.18 | 0.033 | 0.04 | 0.33 | 0.43 | 0.04 | 0.14 | 0.002 | 0.38 |
| S11  | 0.05 | 0.043 | 0.02 | 0.18 | 0.25 | 0.04 | 0.06 | 0.040 | 0.39 |
| S12  | 0.07 | 0.036 | 0.03 | 0.18 | 0.45 | 0.04 | 0.05 | 0.002 | 0.46 |
| S14  | 0.07 | 0.074 | 0.03 | 0.17 | 0.32 | 0.04 | 0.25 | 0.002 | 0.32 |
| S15  | 0.03 | 0.067 | 0.03 | 0.18 | 0.29 | 0.04 | 0.06 | 0.002 | 0.36 |
| S17  | 0.07 | 0.043 | 0.02 | 0.22 | 0.27 | 0.04 | 0.08 | 0.002 | 0.34 |
| S18  | 0.09 | 0.051 | 0.03 | 0.19 | 0.28 | 0.04 | 0.08 | 0.002 | 0.35 |
| S20  | 0.03 | 0.027 | 0.02 | 0.19 | 0.29 | 0.04 | 0.12 | 0.002 | 0.41 |
| S23  | 0.10 | 0.081 | 0.02 | 0.19 | 0.28 | 0.04 | 0.08 | 0.002 | 0.41 |
| S25  | 0.41 | 0.245 | 0.02 | 0.19 | 0.36 | 0.04 | 0.28 | 0.002 | 0.30 |
| S27  | 0.03 | 0.033 | 0.02 | 0.21 | 0.34 | 0.04 | 0.15 | 0.011 | 0.43 |
| S28  | 0.02 | 0.013 | 0.03 | 0.20 | 0.26 | 0.04 | 0.11 | 0.002 | 0.34 |
| S30  | 0.15 | 0.049 | 0.03 | 0.12 | 0.41 | 0.04 | 0.06 | 0.090 | 0.27 |
| S33  | 0.15 | 0.015 | 0.02 | 0.14 | 0.39 | 0.04 | 0.09 | 0.164 | 0.31 |
| S36  | 0.10 | 0.036 | 0.03 | 0.15 | 0.22 | 0.04 | 0.07 | 0.208 | 0.34 |
| S39  | 0.13 | 0.025 | 0.03 | 0.14 | 0.23 | 0.04 | 0.08 | 0.218 | 0.29 |
| S41  | 0.15 | 0.010 | 0.01 | 0.17 | 0.49 | 0.04 | 0.06 | 0.170 | 0.37 |
| S42  | 0.13 | 0.003 | 0.02 | 0.15 | 0.23 | 0.12 | 0.05 | 0.194 | 0.38 |
| S44  | 0.12 | 0.075 | 0.02 | 0.16 | 0.38 | 0.04 | 0.06 | 0.002 | 0.33 |
| 最大值  | 0.41 | 0.245 | 0.04 | 0.39 | 0.49 | 0.12 | 0.28 | 0.22  | 0.49 |
| 最小值  | 0.02 | 0.003 | 0.01 | 0.12 | 0.22 | 0.04 | 0.05 | 0.00  | 0.27 |
| 超标率% | 0    | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0    |

### 3.1.7 海洋生物质量现状调查与分析

#### 3.1.7.1 调查项目

##### 1、春季

调查结果包括总汞、镉、铅、铜、砷、锌、石油烃。

##### 2、秋季

调查结果包括总汞、铜、铅、镉、锌、铬、砷和石油烃。

#### 3.1.7.2 检测与分析方法

海洋生物质量检测与分析方法可见表 3.1.7.2-1。

表 3.1.7.2-1 检测方法及检出限

| 检测项目 | 检测方法  | 检出限         | 主要分析仪器/型号                   |
|------|---|-------------|-----------------------------|
| 石油烃  | 《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》<br>GB 17378.6-2007 (13)   | 0.2 mg/kg   | 荧光分光光度计/R<br>F-6000         |
| 铜    | 《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》<br>GB 17378.6-2007 (6.1)  | 0.4 mg/kg   | 原子吸收分光光度计 (石墨炉) /AA-7000    |
| 铅    | 《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》<br>GB 17378.6-2007 (7.1)  | 0.04 mg/kg  | 原子吸收分光光度计 (石墨炉) /AA-7000    |
| 镉    | 《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》<br>GB 17378.6-2007 (8.1)  | 0.005 mg/kg | 原子吸收分光光度计 (石墨炉) /AA-7000    |
| 总汞   | 《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》<br>GB 17378.6-2007 (5.1)  | 0.002 mg/kg | 原子荧光光度计/A<br>FS-8520        |
| 砷    | 《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》<br>GB 17378.6-2007 (11.1) | 0.2 mg/kg   | 原子荧光光度计/A<br>FS-8520        |
| 锌    | 《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》<br>GB 17378.6-2007 (9.1)  | 0.4 mg/kg   | 原子吸收分光光度计 (火焰) /AA-70<br>00 |
| 铬    | 《海洋监测规范 第 6 部分:生物体分析》<br>GB 17378.6-2007/10.1   | 0.04mg/kg   | 无火焰原子吸收分光光度法                |

### 3.1.7.3 评价方法与评价标准

#### 1、评价方法

采用单项参数标准指数法计算生物的质量指数，即应用公式

$$P_i = C_i / C_{si}$$

式中： $P_i$  为第  $i$  种评价因子的质量指数；

$C_i$  为第  $i$  种评价因子的实测值；

$C_{si}$  为第  $i$  种评价因子的标准值。

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

#### 2、评价标准

采用《海洋生物质量》(GB 18421-2001)、《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》(第二分册)和《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》进行评价，详见表 3.1.7.3-1。

表 3.1.7.3-1 海洋生物质量标准 单位: mg/kg

| 生物类别 |    | Cu      | Pb   | Zn       | Cd  | Hg   | As   | Cr  | 石油烃 |
|------|----|---------|------|----------|-----|------|------|-----|-----|
| 贝类   | 一类 | 10      | 0.1  | 20       | 0.2 | 0.05 | 1.0  | 0.5 | 15  |
|      | 二类 | 25      | 2.0  | 50       | 2.0 | 0.10 | 5.0  | 2.0 | 50  |
|      | 三类 | 50(100) | 6.0  | 100(500) | 5.0 | 0.30 | 8.0  | 6.0 | 80  |
| 甲壳类  |    | 100     | 2.0  | 150      | 2.0 | 0.2  | 8.0  | /   | 20  |
| 鱼类   |    | 20      | 2.0  | 40       | 0.6 | 0.3  | 5.0  | /   | 20  |
| 软体类  |    | 100     | 10.0 | 250      | 5.5 | 0.3  | 10.0 | /   | 20  |

注：“（）”为牡蛎执行标准。

#### 1) 春季

根据《广东省海洋功能区划(2011-2020年)》，春季各监测站位执行标准见表 3.1.7.3-2。

表 3.1.7.3-2 2021 年 5 月春季各站位执行的水质标准要求一览表

| 调查站位  | 标准要求         |
|---|--------------|
| SF1、SF2、SF3、SF4、SF5、SF6、SF7、SF8、SF9、<br>SF10、SF11、SF12、SF13、SF14、 | 执行海洋生物质量一类标准 |

#### 2) 秋季

根据《广东省海洋功能区划(2011-2020年)》，秋季各监测站位执行的海洋

生物质量标准见表 3.1.7.3-3。

表 3.1.7.3-3 2021 年 11 月秋季各站位执行的海洋生物质量标准要求一览表

| 调查站位   | 功能区名称       | 标准要求       |
|--|-------------|------------|
| S10、S11、S12                                      | 碣石湾近海海洋保护区  | 执行海洋生态一类标准 |
| S8、S19   | 遮浪南海洋保护区    |            |
| S41、S42  | 针头岩海洋保护区    |            |
| S4~S7、S9、S17~S18、S20~S23、S26~S33、S35~S40、S43、S44 | 珠海-潮州近海农渔业区 |            |
| S13~S16、S24~S25、S34                              | 领海以外        |            |
| S1、S2  | 田尾山-石碑山农渔业区 |            |
| S3   | 田尾山工业与城镇用海区 | 执行海洋生态二类标准 |

### 3.1.7.4 生物体质量调查结果与评价

#### (1) 调查结果

春季：2021 年 5 月春季生物体监测结果见表 3.1.7.4-1 (a)。

秋季：2021 年 11 月秋季生物体监测结果见表 3.1.7.4-1 (b)。

#### (2) 评价结果

春季：采用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，2021 年 5 月春季各监测点生物体评价因子的标准指数见表 3.1.7.4-2 (a)，

秋季：用上述单项指数法，对现状监测结果进行标准指数计算，2021 年 11 月秋季各监测点生物体评价因子的标准指数见表 3.1.7.4-2 (b)。

2021 年 5 月春季评价结果：根据 3.1.7.4-1(a) 和表 3.1.7.4-2(a)，2021 年 5 月目标海域中生物体中石油烃、铜、铅、镉、总汞、砷、锌含量水平低于相应标准限值，无超标现象，符合所在海洋功能区相应海洋生物质量标准要求。

2021 年 11 月秋季评价结果：根据 3.1.7.4-1(b) 和表 3.1.7.4-2(b)，2021 年 11 月目标海域中生物体中石油烃、铜、铅、镉、总汞、砷、锌、铬含量水平低于相应标准限值，无超标现象，符合所在海洋功能区相应海洋生物质量标准要求。

(以下结果涉密，不公开)

## 3.2 海洋生态概况

### 1、春季

春季调查资料引用《广东省汕尾海上风场海域监测海洋环境现状调查与评价报告》(汕尾市润邦检测技术有限公司, 2021年7月), 由汕尾市润邦检测技术有限公司于2021年5月在项目附近海域进行的春季海洋生态环境现状调查数据。具体站位详见3.1.5.1节。

### 2、秋季

秋季调查资料引用《汕尾红海湾海上风电场项目海洋环境现状调查监测报告(秋季)》(广州海兰图检测技术有限公司, 2021年12月), 由广州海兰图检测技术有限公司于2021年11月在项目附近海域进行海洋生态环境现状调查数据。具体站位详见3.1.5.1节。

### 3.2.1 调查项目

调查项目主要包括叶绿素a和初级生产力、浮游植物、浮游动物、大型底栖动物、潮间带生物、渔业资源。

### 3.2.2 采样及分析方法

#### 3.2.2.1 春季采样及分析方法

海洋生态和渔业资源各项目的现场调查、采样、样品保存和实验室分析测试等均按《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)执行, 具体方法如下:

(1) 叶绿素a(Chl-a)和初级生产力: 用容积为5L的有机玻璃采水器采表层水样, 水样现场过滤, 滤膜装入10mL离心管放入保温箱中冷藏, 带回实验室用紫外可见分光光度法进行分析测定; 初级生产力以叶绿素a含量按照Cadee和Hegeman(1974)提出的简化的计算真光层初级生产力公式估算。

(2) 浮游植物: 用37cm口径、筛绢孔径为0.077mm的浅水III型浮游生物网由底层至表层垂直拖网采集样品。采集到的样品先用5%福尔马林固定, 沉淀法浓缩, 然后带回实验室进行鉴定和计数, 分析藻类种类组成特点、丰度及优势种, 计算多样性指数及均匀度。

(3) 浮游动物: 大中型浮游动物采用浅水I型浮游生物网(网口直径为50cm, 网口面积为0.2m<sup>2</sup>, 网长145cm, 筛绢孔径约为0.505mm), 从底层至表层进行垂直拖网采集样品, 用5%福尔马林溶液固定后, 带回实验室进行种类鉴定和计数, 并计算多样性指数及均匀度。

(4) 底栖生物: 定量样品采用0.0375m<sup>2</sup>采泥器, 在每站位连续采集样品2次, 经孔径为1.00mm的筛网筛洗干净后, 剩余物用5%福尔马林固定带回实验室完成样本清检、种类鉴定、计数、称重等工作, 并计算多样性指数及均匀度。

(5) 潮间带生物: 在每个调查断面按高、中、低潮三个潮区设立取样站位, 在每一个站位上采集标本。取样本时, 泥沙质滩涂站位用25×25厘米的正方形取样框取样, 每站各取样1次, 取样方法是在站位上随机抛投取样框, 先拾取框内滩面上的生物, 再挖取泥、沙至40厘米深处, 用孔径1毫米的筛子筛洗, 分离出其中的全部埋栖生物; 岩礁站位则依生物分布情况, 用25×25厘米正方形取样框, 置框于代表性位置, 每站取样1次, 先拾取样框内岩石面上自由生活的种类后, 再剥取全部附着生物。各站采集的样品, 全部编号装瓶登记, 用无水乙醇固定, 带回实验室后, 用吸水纸吸干表面水分, 然后用天平称重, 并进行分类鉴定与计数。

### 3.2.2.2 秋季采样及分析方法

海洋生态和渔业资源各项目的现场调查、采样、样品保存和实验室分析测试等均按《海洋监测规范》(GB17378-2007)和《海洋调查规范》(GB/T 12763-2007)执行, 具体方法如下:

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

(2) 浮游植物: 浮游植物定量分析样品用浅水III型浮游生物网自底至表层作垂直拖网进行采集。拖网时, 落网速度为0.5m/s, 起网为0.5m/s~0.8m/s。样品用缓冲甲醛溶液固定, 加入量为样品种体积的5%。样品带回实验室经浓缩后镜检、观察、鉴定和计数。分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分

析。

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

(4) 底栖生物：定量样品采用0.05m<sup>2</sup>采泥器，在每站位连续采集平行样品4次，经孔径为0.450mm的筛网筛洗干净后，放入500ml样品瓶中，加入适量淡水于4°C环境中存放6~8h，可使海洋底栖环节动物产生应激反应，表现出形态特征，再用体积分数为5%~7%的中性甲醛溶液暂时性保存，便于室内鉴定。样品在实验室内进行计数、称重及种类鉴定，分析其种类组成、数量分布、主要优势种及其多样性分析，并提供其种类名录。

(5) 潮间带生物：调查海区内选择不同生境（如泥滩、沙滩和岩滩）的潮间带断面，断面位置有陆上标志，走向与等深线垂直，选择在滩面底质类型相对均匀、潮带较完整、无人为破坏或人为扰动较小且相对较稳定的地点或调查断面，在每个剖面的高滩、中滩和低滩采集样品；泥、沙等软相底质的生物取样，用滩涂定量采样框。其结构包括框架和挡板两部分，均用1.5~2.0mm厚的不锈钢板弯制而成。规格：25cm×25cm×30cm。配套工具是平头铁锨。滩涂定量取样用定量框，通常高潮区布设2站、中潮带3站，低潮带2站（生物量较大时1个站），每站取4~8个样方（依据现场生物量大小而定）；为防止人为因素干扰，样方位置用标志绳索（每隔5m或10m有一标志）于站位两侧水平拉直，各样方位置严格取在标志绳索所标位置，无论该位置上生物多寡，均不能移位；取样时，先将取样器挡板插入框架凹槽，用臂力或脚力将其插入滩涂内；继而观察记录框内表面可见的生物及数量；后用铁锨清除挡板外侧的泥沙再拔去挡板，以便铲取框内样品；铲取样品时，若发现底层仍有生物存在，将取样器再往下压，直至采不到生物为止；若需分层取样，视底质分层情况确定；用筛网孔目为1.0mm和0.5mm的过筛器进行生物样品筛选；为全面反映各断面的种类组成和分布，在每站定量取样的同时，尽可能将该站附近出现的动植物种类收集齐全，以作分析时参考，定性样品务必与定量样品分装，切勿混淆；滩涂定量调查，未能及时处理的余渣，

拣出肉眼可见的标本后把余渣另行装瓶（袋），并用四氯四碘荧光素染色剂固定液，便于回实验室在双筒解剖镜下仔细挑拣；对一些受刺激易引起收缩或自切的种类（如腔肠动物、纽形动物），先用水合氯醛或乌来糖少许进行麻醉后再行固定；某些多毛类（如沙蚕科、吻沙蚕科），可先用淡水麻醉，最好能带回一些完整的新鲜藻体，制作蜡叶标本，以保持原色和长久保存。取样时，测量各潮区优势种的垂直分布高度和滩面宽度，描述生物分布带的特征；样品存放于500mL-1000mL样品瓶中，加入适量淡水于4°C环境中存放6-8h，可使海洋底栖环节动物产生应激反应，表现出形态特征，再用体积分数为5%~7%的中性甲醛溶液暂时性保存，便于室内鉴定。

### 3.2.3 评价方法

#### 3.2.3.1 春季评价方法

##### （1）初级生产力

初级生产力采用叶绿素法，按照 Cadee 和 Hegeman (1974) 提出的简化的计算真光层初级生产力公式估算：

$$P = \frac{CnQED}{2}$$

P——每日现场的初级生产力(mgC / m<sup>2</sup>·d);

Cn——表层叶绿素 a 含量；

Q——同化系数，采用闽南-台湾浅滩近海水域平均同化系数这里取 3.5；

E——真光层深度(m)，取透明度的 3 倍；

D——白昼时间(h)，取 12 h。

##### （2）优势度(Y):

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

##### （3）Shannon-Weaver 多样性指数：

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

##### （4）Pielou 均匀度指数：

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

式中:  $P_i = n_i/N$

$n_i$ ——第 i 种的个体数量(ind/m<sup>3</sup>)

$N$ ——某站总生物数量(ind/m<sup>3</sup>)

$f_i$ ——某种生物的出现频率(%)

$H_{\max}$ —— $\log_2 S$ , 最大多样性指数

$S$ ——出现生物总种数。

#### (5) 优势种

采用 Pinkas 相对重要性指数 (Index of Relative Importance, IRI)

$$IRI_i = (N_i/N + W_i/W) \times F_i \times 100$$

式中:

$N_i/N$ ——种类 i 的个体数占总个体数的百分比;

$W_i/W$ ——物种 i 的重量占总个体重量百分比;

$F_i$ ——种类 i 出现次数占调查次数的百分比。

### 3.2.3.2 秋季评价方法

#### (1) 初级生产力

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

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

式中:  $P$ —初级生产力 (mg•C/m<sup>2</sup>•d) ;

$C_a$ —叶绿素 a 含量 (mg/m<sup>3</sup>) ;

$Q$ —同化系数 (mg•C/(mgChl-a•h)) , 根据以往调查结果, 取 3.7;

$L$ —真光层的深度 (m) ;

$t$ —白昼时间 (h) , 根据以往调查结果, 春季取 12, 秋季取 11。

#### (2) 优势度( $Y$ ):

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

#### (3) Shannon-Weaver 多样性指数( $H'$ ):

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

(4) Pielou 均匀度指数( $J$ ):

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

上述(2)~(4)式中:

$n_i$ —第  $i$  种的个体数量 (ind/m<sup>3</sup>) ;

$N$ —某站总生物数量 (ind/m<sup>3</sup>) ;

$f_i$ —某种生物的出现频率 (%) ;

$P_i$ —第  $i$  种的个体数与总个体数的比值;

$S$ —出现生物总种数。

### 3.2.4 海洋生态调查结果与评价

#### 3.2.4.1 叶绿素 a 与初级生产力

##### 1、2021 年 5 月

本次调查区域叶绿素 a 平均浓度为 0.779mg/m<sup>3</sup>, 变化范围为 (0.115 ~ 1.819) mg/m<sup>3</sup>, 变幅中等 ( $SD=0.386$ )。本次调查时区域叶绿素 a 含量偏低, 总体呈现由无规则变化的特征, 空间差异并不明显。其中 S11 站位叶绿素含量最低, S4 站位叶绿素含量最高 (见表 3.2.4.1-1)。

调查监测区内平均初级生产力为 195.20 mg·C/m<sup>2</sup>·d, 区域变化范围在 (26.68 ~ 365.90) mg·C/m<sup>2</sup>·d 之间, 变幅中等 ( $SD=87.90$ )。其中 S7 站位初级生产力最低, S12 站位初级生产力最高。总体上, 监测区域初级生产力处于较低水平。

(以下结果涉密, 不公开)

## 2、2021年11月

### (1) 叶绿素 *a*

本次调查共采集 27 个站位的叶绿素 *a* 样品。各站位叶绿素 *a* 含量见表 3.2.4.1-2。总体上，调查海域表层叶绿素含量大于中底层。各站表层叶绿素 *a* 含量变化范围为 (0.22~3.16) mg/m<sup>3</sup>，平均为 1.22 mg/m<sup>3</sup>；10m 水层叶绿素 *a* 均值为 0.99 mg/m<sup>3</sup>；50m 水层叶绿素 *a* 均值为 0.36 mg/m<sup>3</sup>；底层叶绿素 *a* 含量变化范围为 (0.20~2.11) mg/m<sup>3</sup>，平均为 0.79 mg/m<sup>3</sup>。以各站各层水样的平均值作为该站叶绿素 *a* 的浓度，各站叶绿素 *a* 浓度的变化范围为 (0.20~2.25) mg/m<sup>3</sup>，平均为 1.01 mg/m<sup>3</sup>。

### (2) 初级生产力

调查海域各站位水柱初级生产力的变化范围为 (67.16~474.36) mg·C/(m<sup>2</sup>·d)，平均值为 217.72 mg·C/(m<sup>2</sup>·d)，其中 S21 号站初级生产力水平最高，S1 号站最低（表 3.2.4.1-2）。

（以下结果涉密，不公开）

### 3.2.4.2 浮游植物

#### 1、2021年5月

##### 1) 种类组成

本次调查共鉴定浮游植物4门35属88种(含7个变种及变型)。硅藻门种类最多,共21属57种,占总种类数的64.77%(见表3.2.4.2-1);甲藻门种类次之,出现11属28种,占总种类数的31.82%;蓝藻门出现2属2种,各占总种类数的2.27%;金藻门出现1属1种,各占总种类数的1.14%。出现种类较多的属为角毛藻属(17种)。

表3.2.4.2-1 浮游植物种类

| 类群 | 属数 | 种类数 | 种类组成比例(%) |
|----|----|-----|-----------|
| 硅藻 | 21 | 57  | 64.77     |
| 甲藻 | 11 | 28  | 31.82     |
| 蓝藻 | 2  | 2   | 2.27      |
| 金藻 | 1  | 1   | 1.14      |
| 总计 | 35 | 88  | 100       |

##### 2) 丰度

调查区域内浮游植物总丰度变化范围为 $(22.60\sim 132.76)\times 10^4 \text{ind}/\text{m}^3$ ,均值为 $63.18\times 10^4 \text{ind}/\text{m}^3$ (见表3.2.4.2-2)。不同站位之间的丰度差异一般,其中最高丰度出现在S1;S2次之,其丰度为 $124.53\times 10^4 \text{ind}/\text{m}^3$ ,最低丰度出现在S11站点。

浮游植物群落的组成以硅藻门丰度占优势,其中的硅藻门丰度占各个调查站位丰度的65.85%~89.47%,占调查区域平均丰度的79.81%,在27个站位均有分布。另外,甲藻门丰度百分比在8.72%~29.46%之间,占区域浮游植物平均丰度的18.43%,其他藻类丰度的占比在1.68%~4.69%之间,占区域浮游植物平均丰度的1.76%。

表3.2.4.2-2 浮游植物各类群丰度(涉密,不公开)

##### 3) 优势种

以优势度Y大于0.02为判断标准,本次调查浮游植物优势种共出现8种,分别为中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、窄隙角毛藻(*Chaetoceros affinis*)、洛氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*)、大西洋角毛藻(*Chaetoceros atlanticus*)、柔弱菱形藻(*Nitzschia delicatissima*)、夜光藻(*Noctiluca scintillans*)、翼根管藻纤细变型

(*Rhizosolenia alata f.gracillima*)和柔弱角毛藻(*Chaetoceros debilis*) (见表 3.2.4.2-3)。这 8 种优势种丰度占调查海域总丰度的 43.81%。其中中肋骨条藻为第一优势种，其优势度为 0.083，其丰度变化范围在  $(2.28 \sim 9.27) \times 10^4 \text{ind}/\text{m}^3$ ，占各站位丰度的 5.8%~13.0%，平均丰度  $5.25 \times 10^4 \text{ ind}/\text{m}^3$ ，占区域浮游植物平均丰度的 8.31%。S1 站中肋骨条藻丰度最高，为  $9.27 \times 10^4 \text{ ind}/\text{m}^3$ 。S11 站中肋骨条藻丰度最低，为  $2.28 \times 10^4 \text{ ind}/\text{m}^3$ 。另外，窄隙角毛藻的优势度居第二位，为 0.068，占总丰度的 6.79%。其他 6 个优势种的优势度在 0.022~0.051，平均丰度在 1.83~ $3.23 \times 10^4 \text{ ind}/\text{m}^3$  之间，这 8 种优势种在整个调查海域分布广泛。

表 3.2.4.2-3 浮游植物优势种及其丰度 (涉密, 不公开)

#### 4) 多样性指数与均匀度

各调查区站位浮游植物种数范围为 22 种~40 种，平均 28 种(见表 3.2.4.2-4)。多样性指数范围为 4.017~5.037，平均为 4.542。均匀度指数范围为 0.622~0.780，平均为 0.703。多样性指数和均匀度指数均以 S41 最高，S1 最低。总体上，各调查站位各种类浮游植物的多样性指数和均匀度指数均较好。

表 3.2.4.2-4 浮游植物多样性及均匀度指数

| 站位  | 种类数 | 多样性指数 | 均匀度指数 |
|-----|-----|-------|-------|
| S1  | 28  | 4.017 | 0.622 |
| S3  | 29  | 4.552 | 0.705 |
| S4  | 27  | 4.561 | 0.706 |
| S7  | 25  | 4.353 | 0.674 |
| S8  | 25  | 4.376 | 0.677 |
| S11 | 23  | 4.246 | 0.657 |
| S12 | 30  | 4.708 | 0.729 |
| S14 | 24  | 4.386 | 0.679 |
| S15 | 25  | 4.423 | 0.685 |
| S17 | 25  | 4.327 | 0.670 |
| S18 | 27  | 4.538 | 0.703 |
| S20 | 28  | 4.487 | 0.695 |
| S21 | 25  | 4.419 | 0.684 |
| S23 | 25  | 4.438 | 0.687 |
| S25 | 24  | 4.335 | 0.671 |
| S27 | 26  | 4.575 | 0.708 |

| 站位  | 种类数 | 多样性指数 | 均匀度指数 |
|-----|-----|-------|-------|
| S28 | 22  | 4.279 | 0.662 |
| S30 | 31  | 4.643 | 0.719 |
| S33 | 34  | 4.854 | 0.752 |
| S35 | 28  | 4.481 | 0.694 |
| S36 | 30  | 4.720 | 0.731 |
| S37 | 27  | 4.557 | 0.706 |
| S38 | 33  | 4.801 | 0.743 |
| S39 | 37  | 4.951 | 0.766 |
| S41 | 40  | 5.037 | 0.780 |
| S42 | 33  | 4.745 | 0.735 |
| S44 | 32  | 4.809 | 0.744 |
| 平均值 | 28  | 4.542 | 0.703 |

**小结：**海上风场项目海洋生态调查结果表明，浮游植物鉴定浮游植物 4 门 35 属 88 种（含 7 个变种及变型）。以硅藻门种类为主，硅藻门种类占 64.77%，甲藻门种类占 31.82%，其他种类占 3.41%。浮游植物丰度范围（22.60 ~ 132.76） $\times 10^4$  ind/m<sup>3</sup>，平均为  $63.18 \times 10^4$  ind/m<sup>3</sup>。调查海域以硅藻门丰度占优势，占调查区域平均丰度的 79.81%。本次调查浮游植物优势种共出现 8 种，其中中肋骨条藻为第一优势种，其优势度为 0.083，平均丰度  $5.25 \times 10^4$  ind/m<sup>3</sup>，占区域浮游植物平均丰度的 8.31%。浮游植物多样性指数平均为 4.542，均匀度指数平均为 0.703。整体而言，调查海域浮游植物种类一般，各个站位的丰度占比较为平均，浮游植物的多样性指数和均匀度指数均较好。

## 2、2021 年 11 月

### （1）种类组成和优势种

本次调查共记录浮游植物 5 门 192 种（含变型 5 种、变种 11 种）。其中以硅藻门出现的种类为最多，为 120 种，占总种类数的 62.50%；甲藻门出现 68 种，占总种类数的 35.42%；另外蓝藻门 2 种；金藻门、褐藻门各 1 种（表 3.2.4.2-5）。

本次调查浮游植物种类空间分布如图所示，总体来看浮游植物在各站位空间分布差异较大。各站位浮游植物种类数介于 15~63 之间。

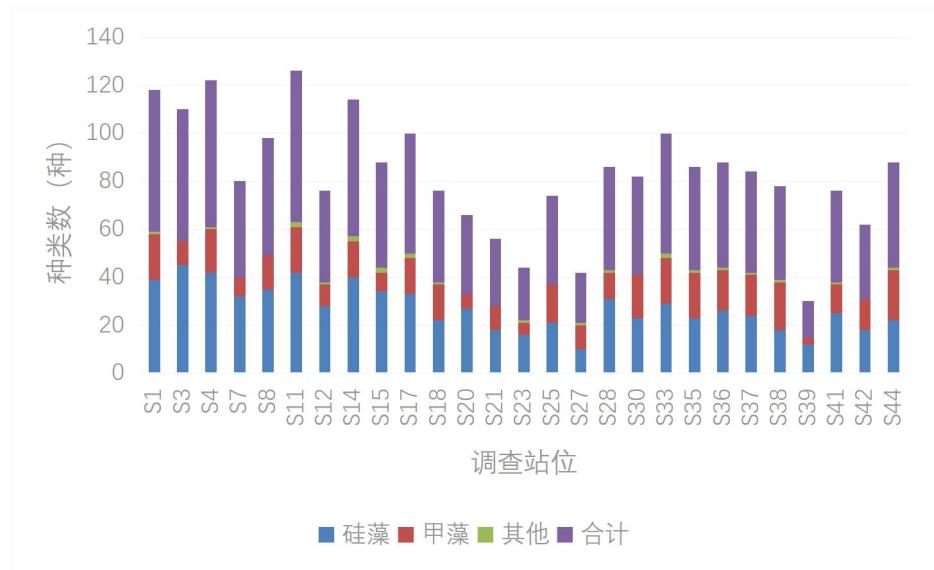


图 3.2.4.2-1 调查海域浮游植物种类空间分布

表 3.2.4.2-5 浮游植物种类组成

| 类群 | 种类数 | 种类组成比例 (%) |
|----|-----|------------|
| 硅藻 | 120 | 62.50      |
| 甲藻 | 68  | 35.42      |
| 蓝藻 | 2   | 1.04       |
| 金藻 | 1   | 0.52       |
| 褐藻 | 1   | 0.52       |
| 合计 | 192 | 100        |

以优势度  $Y \geq 0.02$  为判断标准，本次调查的浮游植物优势种出现 7 种，优势度最大的为掌状冠盖藻 (*Stephanopyxis palmeriana*)，优势度为 0.200，其他优势种见表 3.2.4.2-6。

表 3.2.4.2-6 浮游植物优势种及优势度

| 类群 | 中文名        | 拉丁名  | 优势度   |
|----|------------|--|-------|
| 硅藻 | 薄壁几内亚藻     | <i>Guinardia flaccida</i>                    | 0.026 |
| 硅藻 | 笔尖形根管藻     | <i>Rhizosolenia styliformis</i>              | 0.021 |
| 硅藻 | 掌状冠盖藻      | <i>Stephanopyxis palmeriana</i>              | 0.200 |
| 硅藻 | 笔尖形根管藻粗径变种 | <i>Rhizosolenia styliformis v. latissima</i> | 0.041 |
| 硅藻 | 钟形中鼓藻      | <i>Bellerochea horologicalis</i>             | 0.037 |
| 硅藻 | 覆瓦根管藻      | <i>Rhizosolenia imbricata</i>                | 0.046 |
| 蓝藻 | 汉氏束毛藻      | <i>Trichodesmium hildebrandtii</i>           | 0.049 |

## (2) 密度组成

本次调查结果表明，调查海区浮游植物密度变化范围为(52.82~839.99) $\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ ，平均密度为 $344.69 \times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ （表3.2.4.2-7）。不同站位的密度差异较大，最高密度出现在S18号站；S7号站次之，其密度为 $790.00 \times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ ；最低密度则出现在S23号站位。

浮游植物密度组成以硅藻门占优势，硅藻门在所有调查站中均出现，其密度占各站总密度的79.28%，平均密度为 $298.67 \times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ ；甲藻门次之，其密度占各站总密度的5.56%，平均密度为 $12.53 \times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ ；其他藻类的平均密度为 $33.48 \times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ （表3.2.4.2-7）。

表3.2.4.2-7 浮游植物密度( $\times 10^3\text{ind}/\text{m}^3$ )及其百分比值(%) (涉密, 不公开)

## (3) 多样性水平

本次调查，各站位浮游植物种数变化范围15~63种，平均42种（表3.2.4.2-8）。Shannon-wiener多样性指数范围为1.365~4.570，平均为3.159，多样性指数以S17号站位最高，S36号站最低，各站多样性水平差异较大，平均多样性指数属于较好的水平；Pielou均匀度指数范围为0.250~0.810，平均为0.751，其中S17号站均匀度指数最高，S36号站最低。

表3.2.4.2-8 浮游植物的多样性及均匀度指数

| 站位  | 种类数 | 多样性指数(H') | 均匀度(J) |
|-----|-----|-----------|--------|
| S1  | 59  | 3.700     | 0.629  |
| S3  | 55  | 4.229     | 0.731  |
| S4  | 61  | 2.781     | 0.469  |
| S7  | 40  | 2.341     | 0.440  |
| S8  | 49  | 2.784     | 0.496  |
| S11 | 63  | 4.121     | 0.689  |
| S12 | 38  | 3.383     | 0.645  |
| S14 | 57  | 4.114     | 0.705  |
| S15 | 44  | 3.958     | 0.725  |
| S17 | 50  | 4.570     | 0.810  |
| S18 | 38  | 2.797     | 0.533  |
| S20 | 33  | 2.244     | 0.445  |
| S21 | 28  | 2.381     | 0.495  |
| S23 | 22  | 3.519     | 0.789  |
| S25 | 37  | 3.946     | 0.757  |

| 站位  | 种类数   | 多样性指数(H')   | 均匀度 (J)     |
|-----|-------|-------------|-------------|
| S27 | 21    | 3.339       | 0.760       |
| S28 | 43    | 3.923       | 0.723       |
| S30 | 41    | 3.238       | 0.604       |
| S33 | 50    | 3.589       | 0.636       |
| S35 | 43    | 1.618       | 0.298       |
| S36 | 44    | 1.365       | 0.250       |
| S37 | 42    | 3.778       | 0.701       |
| S38 | 39    | 2.184       | 0.413       |
| S39 | 15    | 2.051       | 0.525       |
| S41 | 38    | 3.689       | 0.703       |
| S42 | 31    | 1.546       | 0.312       |
| S44 | 44    | 4.101       | 0.751       |
| 均值  | 42    | 3.159       | 0.594       |
| 范围  | 15~63 | 1.365~4.570 | 0.250~0.810 |

**小结：**海上风场项目海洋生态调查结果表明，浮游植物 5 门 192 种（含变型 5 种、变种 11 种）。其中以硅藻门出现的种类为最多，为 120 种，占总种类数的 62.50%；甲藻门出现 68 种，占总种类数的 35.42%；另外蓝藻门 2 种；金藻门、褐藻门各 1 种。浮游植物丰度范围  $(52.82 \sim 839.99) \times 10^3 \text{ind}/\text{m}^3$ ，平均密度为  $344.69 \times 10^3 \text{ind}/\text{m}^3$ 。浮游植物密度组成以硅藻门占优势，硅藻门在所有调查站中均出现，其密度占各站总密度的 79.28%。本次调查的浮游植物优势种出现 7 种，优势度最大的为的掌状冠盖藻 (*Stephanopyxis palmeriana*)，优势度为 0.200。浮游植物多样性指数平均为 3.159，均匀度指数平均为 0.751。整体而言，调查海域浮游植物种类一般，各个站位的丰度占比较为平均，浮游植物的多样性指数和均匀度指数均较好。

### 3.2.4.3 浮游动物

#### 1、2021 年 5 月

##### 1) 种类组成和优势种

经鉴定，本次调查浮游动物共出现 65 种（类），种类一般，分属 13 个不同类群，即被囊类、毛颚类、桡足类、浮游幼体、海樽类、枝角类、端足类、磷虾类、莹虾类、糠虾类、水螅水母类、栉水母类和原生动物。其中，以桡足类出现种类数最多，为 30 种，占总种类数的 46.15%；浮游幼体次之，出现 14 种(21.54%)；

其他类群出现种类较少（见表 3.2.4.3-1）。

表 3.2.4.3-1 浮游动物种类

| 种类    | 种类数 | 种类组成比例 (%) |
|-------|-----|------------|
| 桡足类   | 30  | 46.15      |
| 浮游幼体  | 14  | 21.54      |
| 毛颚类   | 5   | 7.69       |
| 水螅水母类 | 3   | 4.62       |
| 被囊类   | 3   | 4.62       |
| 原生动物  | 2   | 3.08       |
| 枝角类   | 2   | 3.08       |
| 其他    | 6   | 9.22       |
| 总计    | 65  | 100        |

以优势度  $Y \geq 0.02$  为判断标准，本次调查出现优势种 5 种（表 3.2.4.3-2），分别为桡足类幼体(*Copepoda larvae*)、亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)、夜光虫(*Noctiluca scintillans*)、鸟喙尖头溞(*Penilia avirostris*)和瘦尾胸刺水蚤(*Centropages tenuiemis*)。这 5 个优势种以桡足类幼体的优势度最高，为 0.148，海域平均栖息密度为  $25.13 \text{ ind}/\text{m}^3$ ，占浮游动物总栖息密度的 14.78%，在 12 个站位均有出现。

表 3.2.4.3-2 浮游动物优势种组成

| 优势种     | 优势度<br>(Y) | 平均密度<br>(ind/m <sup>3</sup> ) | 密度百分<br>(%) | 出现频率<br>(%) |
|---------|------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| 桡足类幼体   | 0.148      | 25.13                         | 14.78       | 100         |
| 亚强次真哲水蚤 | 0.112      | 19.73                         | 11.60       | 96.30       |
| 夜光虫     | 0.039      | 10.43                         | 6.14        | 62.96       |
| 瘦尾胸刺水蚤  | 0.025      | 8.34                          | 4.90        | 51.85       |
| 鸟喙尖头溞   | 0.023      | 6.56                          | 3.86        | 59.26       |

## 2) 密度与生物量

从表 3.2.4.3-3 可以看出，27 个调查站位浮游动物密度变化范围为  $(50.09 \sim 830.40) \text{ ind}/\text{m}^3$ ，均值  $170.05 \text{ ind}/\text{m}^3$ ，变幅较大 ( $SD=159.27$ )。27 个站位中以 S1 最高、S3 ( $421.84 \text{ ind}/\text{m}^3$ ) 次之，S35 最低。总体调查海域浮游动物分布不均匀，密度较少。27 个调查站位浮游动物总生物量变化范围为  $(24.45 \sim 376.40) \text{ mg}/\text{m}^3$ ，均值  $95.51 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，变幅较大 ( $SD=71.63$ )。以 S1 最高，S3 ( $176.72 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) 次

之，S25 最低。总体上，调查海域总生物量处于较低水平。

表 3.2.4.3-3 浮游动物生物量统计（涉密，不公开）

### 3) 多样性水平

本次调查，各站平均出现浮游动物 65 种（类）；浮游动物多样性指数中等，均值为 3.68，变幅较小（ $SD=0.29$ ），变化范围为 2.86~4.43，以 S1 最高，S36（4.02）次之，S35 最低；均匀度指数变化范围为 0.48~0.74，均值为 0.61，海区均匀度中等，变幅较小，以 S1 最高，S35 最低（见表 3.2.4.3-4）。

根据陈清潮等提出的热带海区生物多样性评价标准对调查海域浮游动物的多样性进行了评价，多样性程度根据多样性阈值的大小可分为 5 类：I 类为  $> 3.5$ ，II 类为  $2.5 \sim 3.5$ ，III 类为  $1.5 \sim 2.5$ ，IV 类为  $0.6 \sim 1.5$ ，V 类为  $< 0.6$ 。本次调查，海域多样性阈值变化范围为 1.36~3.26，均值为 2.26，变幅较小（ $SD=0.37$ ）。S1 最高，S35 最低；其中 S1、S3、S4 和 S36 站位属 II 类水平，多样性较丰富；S35 站位属 IV 类水平，多样性较少；其他站位均属 III 类水平，多样性中等。总体调查海域整体属 III 类，浮游动物多样性中等。

表 3.2.4.3-4 调查区内浮游动物多样性指数和均匀度

| 站位  | 种类数 | 多样性指数<br>( $H'$ ) | 均匀度指数( $J$ ) | 多样性阈值<br>( $Dv$ ) |
|-----|-----|-------------------|--------------|-------------------|
| S1  | 27  | 4.43              | 0.74         | 3.26              |
| S3  | 18  | 3.94              | 0.65         | 2.57              |
| S4  | 20  | 3.89              | 0.65         | 2.51              |
| S7  | 16  | 3.52              | 0.58         | 2.05              |
| S8  | 17  | 3.76              | 0.62         | 2.35              |
| S11 | 15  | 3.60              | 0.60         | 2.16              |
| S12 | 18  | 3.77              | 0.63         | 2.36              |
| S14 | 11  | 3.17              | 0.53         | 1.67              |
| S15 | 17  | 3.84              | 0.64         | 2.45              |
| S17 | 16  | 3.62              | 0.60         | 2.18              |
| S18 | 14  | 3.46              | 0.57         | 1.99              |
| S20 | 17  | 3.71              | 0.62         | 2.28              |
| S21 | 14  | 3.29              | 0.55         | 1.80              |
| S23 | 15  | 3.56              | 0.59         | 2.10              |
| S25 | 14  | 3.49              | 0.58         | 2.02              |

| 站位  | 种类数 | 多样性指数<br>( $H'$ ) | 均匀度指数( $J$ ) | 多样性阈值<br>( $Dv$ ) |
|-----|-----|-------------------|--------------|-------------------|
| S27 | 16  | 3.86              | 0.64         | 2.48              |
| S28 | 17  | 3.81              | 0.63         | 2.41              |
| S30 | 13  | 3.70              | 0.61         | 2.27              |
| S33 | 11  | 3.19              | 0.53         | 1.69              |
| S35 | 10  | 2.86              | 0.48         | 1.36              |
| S36 | 18  | 4.02              | 0.67         | 2.68              |
| S37 | 15  | 3.69              | 0.61         | 2.27              |
| S38 | 13  | 3.31              | 0.55         | 1.82              |
| S39 | 19  | 3.82              | 0.63         | 2.42              |
| S41 | 15  | 3.64              | 0.60         | 2.20              |
| S42 | 16  | 3.49              | 0.58         | 2.02              |
| S44 | 16  | 3.73              | 0.62         | 2.31              |
| 平均值 | 16  | 3.68 ± 0.29       | 0.61 ± 0.05  | 2.26 ± 0.37       |

**小结：**海上风场项目海洋生态调查结果表明，浮游动物鉴定出 65 种（类），分属 13 个类群，以桡足类出现种类最多。调查区域出现优势种 5 种，以桡足类幼体的优势度最高。浮游动物海域平均密度为 170.05ind/m<sup>3</sup>，总生物量平均值 95.51 mg/m<sup>3</sup>；多样性指数、均匀度和多样性阈值均值分别为 3.68、0.61 和 2.26，浮游动物多样性和均匀度中等。

## 2、2021 年 11 月

### （1）种类组成

本次调查共记录浮游动物 12 个生物类群 109 种，其中桡足类 58 种；浮游幼体 17 种；水母类 13 种；毛颚动物和端足类各 4 种；腹足类 3 种；十足类、介形类、尾索动物和多毛类各 2 种；糠虾类和磷虾类各 1 种。

### （2）生物量、密度及其分布

本次调查结果显示，各采样站浮游动物生物量变化幅度为 (8.88~287.84) mg/m<sup>3</sup>，平均生物量为 94.99 mg/m<sup>3</sup>。在整个调查区中，生物量最高出现在 S21 号站位，最低出现在 S17 号站位。在个体数量分布方面，浮游动物密度变化幅度为 (39.72~4734.08) ind/m<sup>3</sup>，平均密度 797.64 ind/m<sup>3</sup>。浮游动物最高密度出现在 S18 号站位，最低密度则出现在 S33 号站位（表 3.2.4.3-5）。

表 3.2.4.3-5 浮游动物的生物量及密度（涉密，不公开）

### (3) 主要类群分布

#### ① 拐足类

拐足类在所有站位中均出现，其密度变化范围为 (13.90~2081.25) ind/m<sup>3</sup>，平均密度为 452.54 ind/m<sup>3</sup>，占浮游动物总密度的 56.73%。其中最高密度出现在 S3 号站位，S27 号站位密度最低。

#### ② 浮游幼体

浮游幼体在全部调查站位中均有出现，其密度变化范围为 (4.54~2688.64) ind/m<sup>3</sup>，平均密度为 289.89 ind/m<sup>3</sup>，占浮游动物总密度的 36.34%，其中最高密度出现于 S18 号站，S33 号站位密度最低。

#### ③ 水母类

水母类在 25 个调查站位中出现，其密度变化范围为 (0~129.54) ind/m<sup>3</sup>，平均密度为 31.36 ind/m<sup>3</sup>，占浮游动物总密度的 3.93 %，其中最高密度出现于 S18 号站。

#### ④ 其他动物

其他动物包括毛颚动物、腹足类、端足类、十足类、尾索动物、多毛类、糠虾类、磷虾类、介形类等，大部分属于我国沿岸和近岸区系的广分布种，占浮游动物总密度的 3%。

### (4) 优势种及其分布

以优势度 $\geq 0.02$  为判断标准，本调查海域在调查期间浮游动物的优势种有 8 种，优势度最高的物种是亚强次真哲水蚤 (*Subeucalanus subcrassus*)，为 0.083，其余优势种及其优势度如表 3.2.4.3-6 所示。

表 3.2.4.3-6 浮游动物的优势种及优势度

| 中文名     | 拉丁名                            | 优势度   |
|---------|--------------------------------|-------|
| 桡足类幼体   | <i>Copepodid larva</i>         | 0.052 |
| 毛颚类幼体   | <i>Chaetognatha larva</i>      | 0.042 |
| 无节幼体    | <i>Nauplius</i>                | 0.026 |
| 鱼卵      | <i>Fish egg</i>                | 0.024 |
| 微刺哲水蚤   | <i>Canthocalanus pauper</i>    | 0.025 |
| 亚强次真哲水蚤 | <i>Subeucalanus subcrassus</i> | 0.083 |

|        |                                  |       |
|--------|----------------------------------|-------|
| 强额拟哲水蚤 | <i>Paracalanus crassirostris</i> | 0.060 |
| 小拟哲水蚤  | <i>Paracalanus parvus</i>        | 0.054 |

### (5) 生物多样性指数及均匀度

本次调查海域各调查站位的浮游动物平均出现种类为 27 (14~50 种); 种类多样性指数范围为 1.223~4.283 之间, 平均为 3.433, 多样性指数最高出现在 S33 号站位, 最低则出现在 S30 号站位, 多样性水平属于较高水平; 种类均匀度指数变化范围在 0.299~0.900 之间, 平均为 0.727, 最高出现在 S11 号站位, 最低出现在 S30 号站位, 各调查站位物种均匀度指数较高 (表 3.2.4.3-7)。

表 3.2.4.3-7 浮游动物的多样性指数及均匀度

| 站位  | 种类数 | 多样性指数(H') | 均匀度 (J) |
|-----|-----|-----------|---------|
| S1  | 26  | 3.368     | 0.717   |
| S3  | 21  | 3.833     | 0.873   |
| S4  | 29  | 3.721     | 0.766   |
| S7  | 23  | 3.407     | 0.753   |
| S8  | 24  | 3.420     | 0.746   |
| S11 | 20  | 3.888     | 0.900   |
| S12 | 27  | 3.943     | 0.829   |
| S14 | 18  | 3.550     | 0.851   |
| S15 | 24  | 3.119     | 0.680   |
| S17 | 24  | 3.341     | 0.729   |
| S18 | 37  | 3.233     | 0.621   |
| S20 | 32  | 3.121     | 0.624   |
| S21 | 26  | 3.303     | 0.703   |
| S23 | 39  | 3.925     | 0.743   |
| S25 | 19  | 3.456     | 0.814   |
| S27 | 22  | 2.075     | 0.465   |
| S28 | 27  | 3.783     | 0.796   |
| S30 | 17  | 1.223     | 0.299   |
| S33 | 32  | 4.283     | 0.857   |
| S35 | 39  | 3.813     | 0.721   |
| S36 | 29  | 3.684     | 0.758   |
| S37 | 23  | 3.411     | 0.754   |
| S38 | 30  | 3.625     | 0.739   |
| S39 | 40  | 3.197     | 0.601   |
| S41 | 31  | 3.635     | 0.734   |

| 站位  | 种类数   | 多样性指数(H')   | 均匀度 (J)     |
|-----|-------|-------------|-------------|
| S42 | 21    | 3.658       | 0.833       |
| S44 | 35    | 3.664       | 0.714       |
| 均值  | 27    | 3.433       | 0.727       |
| 范围  | 14~50 | 1.223~4.283 | 0.299~0.900 |

**小结：**海上风场项目海洋生态调查结果表明，浮游动物鉴定出 109 种（类），分属 12 个类群，以桡足类出现种类最多。调查区域出现优势种 8 种，优势度最高的物种是亚强次真哲水蚤。浮游动物海域平均密度为 797.64 ind/m<sup>3</sup>，总生物量平均值 94.99 mg/m<sup>3</sup>；多样性指数、均匀度均值分别为 3.433、0.727，浮游动物多样性和均匀度较高。

### 3.2.4.4 底栖动物

#### 1、2021 年 5 月

##### 1) 种类组成和生态特征

本次定量调查，共鉴定出底栖生物 5 门 28 科 36 种。其中软体动物为主要生物群为 12 科 17 种，占种类总数的 47.23%，其次为节肢动物 7 科 8 种，占种类总数的 22.22%（见表 3.2.4.4-1）。

表 3.2.4.4-1 底栖生物种类组成

| 门类   | 科数 | 种类数 | 占总种类数的比例(%) |
|------|----|-----|-------------|
| 软体动物 | 12 | 17  | 47.23       |
| 节肢动物 | 7  | 8   | 22.22       |
| 环节动物 | 6  | 7   | 19.44       |
| 棘皮动物 | 2  | 3   | 8.33        |
| 螠虫动物 | 1  | 1   | 2.78        |
| 总计   | 28 | 36  | 100         |

##### 2) 优势种和优势度

本次调查，出现的 36 种生物中，优势度在 0.02 以上的优势种共有 3 种，分别为粗帝汶蛤 (*Timoclea scabra*)、角海蠋 (*Ophelina acuminata*) 和不倒翁虫 (*Sternaspis scutata*)；这 3 种生物的优势度范围为 0.020 ~ 0.071。

表 3.2.4.4-2 底栖生物优势种组成

| 优势种                                | 优势度 (Y) |
|------------------------------------|---------|
| 不倒翁虫 ( <i>Sternaspis scutata</i> ) | 0.071   |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 粗帝汶蛤( <i>Timoclea scabra</i> )   | 0.043 |
| 角海蛹( <i>Ophelina acuminata</i> ) | 0.020 |

### 3) 生物量及栖息密度

#### a、总水平生物量和栖息密度

本次调查海域底栖生物的平均栖息密度为 133.33 ind/m<sup>2</sup>，总平均生物量为 129.71 g/m<sup>2</sup>。栖息密度主要以软体动物为优势，栖息密度为 72.10 ind/m<sup>2</sup>，占 54.07%；其次为环节动物，栖息密度为 41.98 ind/m<sup>2</sup>，占 31.48%。生物量的组成也以软体动物为主，生物量为 86.27 g/m<sup>2</sup>，占总生物量的 66.51%；其次为节肢动物，生物量为 36.48 g/m<sup>2</sup>，占总生物量的 28.13%。

表 3.2.4.4-3 底栖生物的平均生物量及栖息密度（涉密，不公开）

#### b、生物量及栖息密度的水平分布

调查区海域内各站位底栖生物的生物量差异较大，27 个调查站位生物量范围为 (48.27 ~ 271.20) g/m<sup>2</sup>；栖息密度方面，12 个调查站位栖息密度范围为 (53.33 ~ 226.67) ind/m<sup>2</sup>，其中 S20 站位的生物量最高，为 271.20 g/m<sup>2</sup>；S7 站位的栖息密度最高，为 226.67 ind/m<sup>2</sup>（见表 3.2.4.4-4）。最高生物量是最低生物的 5.6 倍，最高栖息密度是最低栖息密度的 4.3 倍。

软体动物在调查海域内所有站位点均有出现，其平均密度为 72.10 ind/m<sup>2</sup>，平均生物量为 86.27 g/m<sup>2</sup>；其次为环节动物，平均密度为 41.98 ind/m<sup>2</sup>，平均生物量为 1.26 g/m<sup>2</sup>。其他三种底栖动物也在各个站位以分散的形式出现，平面分布并不均匀。所有站位的生物量及栖息密度都较一般。

表 3.2.4.4-4 底栖生物生物量及栖息密度的分布（涉密，不公开）

注：生物量单位为 g/m<sup>2</sup>，栖息密度单位为 ind/m<sup>2</sup>，“/”表示没有出现。

### 4) 生物多样性指数及均匀度

调查结果显示，本区域采泥底栖生物多样性指数变化范围在 0.97~2.65 之间（见表 3.2.4.4-5），平均为 1.95。多样性指数 S1 站位最高，S25 站位最低；均匀度分布范围在 0.19~0.51 之间，均值为 0.38。本次调查海区底栖生物多样性和均匀度均属于中等水平。

表 3.2.4.4-5 底栖生物多样性指数及均匀度

| 站位 | 样方内种类数 | 样方内个体数 | 多样性指数(H') | 均匀度(J) |
|----|--------|--------|-----------|--------|
| S1 | 7      | 14     | 2.65      | 0.51   |

| 站位  | 样方内种类数 | 样方内个体数 | 多样性指数(H') | 均匀度(J) |
|-----|--------|--------|-----------|--------|
| S3  | 5      | 12     | 2.19      | 0.42   |
| S4  | 5      | 14     | 2.12      | 0.41   |
| S7  | 7      | 17     | 2.54      | 0.49   |
| S8  | 6      | 9      | 2.42      | 0.47   |
| S11 | 6      | 10     | 2.45      | 0.47   |
| S12 | 3      | 7      | 1.38      | 0.27   |
| S14 | 5      | 9      | 2.06      | 0.40   |
| S15 | 3      | 4      | 1.50      | 0.29   |
| S17 | 5      | 11     | 2.23      | 0.43   |
| S18 | 4      | 5      | 2.45      | 0.47   |
| S20 | 7      | 14     | 2.56      | 0.49   |
| S21 | 4      | 8      | 1.75      | 0.34   |
| S23 | 4      | 9      | 1.75      | 0.34   |
| S25 | 2      | 5      | 0.97      | 0.19   |
| S27 | 3      | 6      | 1.25      | 0.24   |
| S28 | 4      | 11     | 1.62      | 0.31   |
| S30 | 3      | 6      | 1.46      | 0.28   |
| S33 | 4      | 8      | 1.75      | 0.34   |
| S35 | 4      | 8      | 1.75      | 0.34   |
| S36 | 4      | 10     | 1.85      | 0.36   |
| S37 | 6      | 15     | 2.39      | 0.46   |
| S38 | 4      | 11     | 1.79      | 0.35   |
| S39 | 5      | 12     | 2.05      | 0.40   |
| S41 | 4      | 9      | 1.75      | 0.34   |
| S42 | 6      | 16     | 2.43      | 0.47   |
| S44 | 3      | 10     | 1.52      | 0.29   |
| 平均值 | 5      | 10     | 1.95      | 0.38   |

**小结：**海上风场项目海洋生态调查结果表明，底栖生物共鉴定出 5 门 28 科 36 种。以软体动物出现种类最多为 17 种，其次为节肢动物 8 种。优势种共有 3 种，分别为粗帝汶蛤、角海蠋和不倒翁虫。底栖生物的总平均生物量为 129.71g/m<sup>2</sup>，平均栖息密度为 133.33 ind/m<sup>2</sup>。底栖生物多样性指数平均为 1.95；均匀度平均为

0.38，区域多样性和均匀度均属于中等水平。

## 2、2021年11月

### （1）种类组成

本次调查共记录大型底栖动物 53 种，其中环节动物 20 种；节肢动物 13 种；软体动物 13 种；脊索动物 4 种；棘皮动物 1 种；刺胞动物 1 种；星虫动物 1 种。环节动物占总种数的 37.73%，节肢动物和软体动物共占总种数的 49.06%，脊索动物、棘皮动物、刺胞动物和星虫动物（下文统称为其它动物）共占总种数的 13.21%，环节动物是本次调查的主要类群。

### （2）底栖生物栖息密度和生物量

大型底栖生物定量采泥样品分析结果表明，调查海区大型底栖生物平均栖息密度为 53.33 ind/m<sup>2</sup>，以节肢动物的平均栖息密度最高，为 21.67ind/m<sup>2</sup>，占总密度的 40.63%；环节动物次之，平均栖息密度为 21.48 ind/m<sup>2</sup>，占总平均密度的 40.28%；软体动物的平均栖息密度为 5.93ind/m<sup>2</sup>，占总平均密度的 11.12%；其它动物的平均栖息密度为 4.26ind/m<sup>2</sup>，占总平均栖息密度的 7.99%（表 3.2.4.4-6）。

表 3.2.4.4-6 底栖生物各类群的栖息密度分布      单位：栖息密度(ind/m<sup>2</sup>)（涉密，不公开）

表 3.2.4.4-7 底栖生物各类群的生物量分布      单位：生物量(g/m<sup>2</sup>)（涉密，不公开）

底栖生物的平均生物量为 3.573 g/m<sup>2</sup>，以软体动物居首位，该种类的平均生物量为 1.175 g/m<sup>2</sup>，占总平均生物量的 32.89%；其次为其它动物，平均生物量为 1.000g/m<sup>2</sup>，占总平均生物量的 27.99%；节肢动物的平均生物量为 0.791g/m<sup>2</sup>，占平均生物量的 22.14%；环节动物的平均生物量为 0.606g/m<sup>2</sup>，占平均生物量的 16.96%（表 3.2.4.4-8）。

本次调查结果表明，各采样站位的底栖生物栖息密度水平分布程度不均匀，变化范围为 10.00~150.00 ind/m<sup>2</sup>，其中最高值在 S14 站位，最低的站位为 S39 站位。

本次调查海域的底栖生物的生物量水平分布极不均匀，变化范围为 (0.270~12.390) g/m<sup>2</sup>，其中最高值在 S21 站位，最低值在 S7 站位。

环节动物在调查海区的平均密度 21.48ind/m<sup>2</sup>，在调查海区 27 个站位中 19 个站出现，出现频率为 70.37%。密度分布范围为 (0~65.00) ind/m<sup>2</sup>；平均生物量为 0.606g/m<sup>2</sup>，生物量分布范围为 (0~2.550) g/m<sup>2</sup>。

节肢动物在调查海区的平均密度为 21.67ind/m<sup>2</sup>, 在 27 个站位中个 19 站有出现, 出现频率为 70.37%。密度分布范围为 110.00 ind/m<sup>2</sup>; 平均生物量为 0.791g/m<sup>2</sup>, 生物量分布范围为 (0~4.420) g/m<sup>2</sup>。

软体动物在调查海区的平均密度为 5.93ind/m<sup>2</sup>, 在 27 个站位中 10 个站有出现, 出现频率为 37.04%。密度分布范围为 (0~45.00) ind/m<sup>2</sup>; 平均生物量为 1.175 g/m<sup>2</sup>, 生物量分布范围为 (0 ~7.310) g/m<sup>2</sup>。

其它动物在调查海区的平均密度为 4.26 ind/m<sup>2</sup>, 在 27 个站位中 9 个站有出现, 出现频率为 33.33%。密度分布范围为 (0~35.00) ind/m<sup>2</sup>; 平均生物量为 1.000g/m<sup>2</sup>, 生物量分布范围为 (0 ~11.710) g/m<sup>2</sup>。

### (3) 种类优势种和经济种类

大型底栖动物种类按其优势度  $Y \geq 0.020$  时即被认定为优势种, 本次调查海区的底栖生物有 2 个优势种, 为节肢动物的中华拟亮钩虾 (*Paraphotis sinensis*) 和普通毛虾 (*Acetes vulgaris*), 优势度分别为为 0.048 和 0.029。中华拟亮钩虾在 27 个站位中的 11 个站位出现, 为该调查海区的第一优势种; 普通毛虾在 27 个站位中的 9 个站位出现, 为该调查海区的第二优势种 (表 3.2.4.4-8)。

表 3.2.4.4-8 底栖动物优势种及优势度

| 类群   | 优势种    | 优势度 (Y) |
|------|--------|---------|
| 节肢动物 | 中华拟亮钩虾 | 0.048   |
| 节肢动物 | 普通毛虾   | 0.029   |

### (4) 底栖生物物种多样性指数

调查海域的各定量采样站位大型底栖生物出现种数变化的范围在 1~9 种/站, 平均 4 种/站。多样性指数 ( $H'$ ) 变化范围在 0~3.011 之间, 平均值为 1.810。多样性指数最高出现在 S25 站位, 最低则为 S39 号站位。调查海域底栖生物各站的多样性指数差别较大。平均多样性指数属于中下等水平, 均匀度指数范围在 0~1.000 之间, 平均值为 0.918, 最高出现在 S15 号站位, 最低出现 S39 号站位 (表 3.2.4.4-9)。

表 3.2.4.4-9 底栖生物的物种多样性指数

| 站位 | 种类数 | 多样性指数( $H'$ ) | 均匀度 (J) |
|----|-----|---------------|---------|
| S1 | 4   | 1.906         | 0.953   |
| S3 | 2   | 0.985         | 0.985   |
| S4 | 3   | 1.522         | 0.960   |

| 站位  | 种类数 | 多样性指数(H') | 均匀度 (J) |
|-----|-----|-----------|---------|
| S7  | 3   | 1.539     | 0.971   |
| S8  | 3   | 1.485     | 0.937   |
| S11 | 5   | 2.271     | 0.978   |
| S12 | 2   | 0.918     | 0.918   |
| S14 | 7   | 2.639     | 0.940   |
| S15 | 2   | 1.000     | 1.000   |
| S17 | 4   | 1.906     | 0.953   |
| S18 | 7   | 2.686     | 0.957   |
| S20 | 8   | 2.866     | 0.955   |
| S21 | 4   | 1.823     | 0.912   |
| S23 | 3   | 1.522     | 0.960   |
| S25 | 9   | 3.011     | 0.950   |
| S27 | 5   | 2.189     | 0.943   |
| S28 | 4   | 1.975     | 0.988   |
| S30 | 5   | 2.134     | 0.919   |
| S33 | 6   | 2.353     | 0.910   |
| S35 | 4   | 1.971     | 0.986   |
| S36 | 3   | 1.522     | 0.960   |
| S37 | 6   | 2.419     | 0.936   |
| S38 | 3   | 1.557     | 0.982   |
| S39 | 1   | 0.000     | 0.000   |
| S41 | 4   | 1.936     | 0.968   |
| S42 | 2   | 0.971     | 0.971   |
| S44 | 4   | 1.761     | 0.881   |
| 均值  | 4   | 1.810     | 0.918   |
| 范围  | 1~9 | 0~3.011   | 0~1.000 |

**小结：**海上风场项目海洋生态调查结果表明，底栖生物共鉴定出 53 种。以软体动物出现种类最多为 20 种，其次为节肢动物 13 种。优势种共有 2 种，分别为节肢动物的中华拟亮钩虾 (*Paraphotis sinensis*) 和普通毛虾 (*Acetes vulgaris*)。底栖生物的总平均生物量为 3.573g/m<sup>2</sup>，平均栖息密度为 53.33 ind/m<sup>2</sup>。底栖生物多样性指数平均为 1.810；均匀度平均为 0.918，区域多样性和均匀度均属于中下等水平。

### 3.2.4.5 潮间带生物

#### 1) 潮间带生物种类组成

本次潮间带生物调查，共鉴定出潮间带生物 2 门 6 科 10 种。三个现场断面均为沙质断面，受风浪潮流作用强度大，沉积环境并不稳定，仅采集到软体动物和节肢动物，生物数量和种类均较少。其中，软体动物有 4 科 7 种，占种类总数的 70.00%；节肢动物各 3 科 3 种，各占种类总数的 30.00%，常见豆斧蛤、锲形斧蛤等。

#### 2) 潮间带平均生物量及栖息密度

本次调查，潮间带生物平均生物量为  $22.95 \text{ g/m}^2$ ，平均栖息密度为  $23.11 \text{ ind/m}^2$ ，软体动物生物量和栖息密度都较占优势，详见表 3.2.4.5-1。

表 3.2.4.5-1 潮间带生物平均生物量及栖息密度（涉密，不公开）

#### 3) 生物量及栖息密度比较

3 个断面定量采样中，生物量以 CJ2 号断面的中潮区采样点为最高，其生物量为  $37.36 \text{ g/m}^2$ ；其次是 CJ3 号断面的低潮区采样点，其生物量为  $37.24 \text{ g/m}^2$ ，最高生物量是最低生物量的 6.8 倍；栖息密度以 CJ3 号断面的中潮区最高；栖息密度为  $44.00 \text{ ind/m}^2$ ，其次是 CJ3 号断面的低潮区采样点，栖息密度为  $40.00 \text{ ind/m}^2$ ，最高栖息密度是最低栖息密度的 5.5 倍。各采样站位的总生物量及栖息密度的组成情况见表 3.2.4.5-2。

表 3.2.4.5-2 潮间带生物分布（涉密，不公开）

#### 4) 调查断面水平分布和垂直分布比较

在调查断面的在水平分布上，生物量和栖息密度二者高低排序均为 CJ3> CJ2> CJ1，见表 3.2.4.5-3。

表 3.2.4.5-3 潮间带生物各断面水平分布（涉密，不公开）

在调查断面的在垂直分布上，生物量和栖息密度二者高低排序均为中潮区> 低潮区> 高潮区，见表 3.2.4.5-4。

表 3.2.4.5-4 潮间带生物各断面垂直分布（涉密，不公开）

#### 5) 生物多样性指数和均匀度

本调查海区潮间带生物多样性指数和均匀度见表 3.2.4.5-5，多样性指数的变化范围较小，在  $2.08\sim2.77$  之间，平均值为 2.39；均匀度的变化范围为  $0.63\sim0.83$ ，

平均值为 0.72；总的来说，多样性指数和均匀度均处于中等水平。

表 3.2.4.5-5 潮间带生物多样性指数及均匀度

| 采样站号 | 样方内种类数 | 样方内个体数 | 多样性指数 | 均匀度  |
|------|--------|--------|-------|------|
| CJ1  | 5      | 12     | 2.08  | 0.63 |
| CJ2  | 6      | 17     | 2.31  | 0.69 |
| CJ3  | 8      | 23     | 2.77  | 0.83 |
| 平均值  | 6      | 17     | 2.39  | 0.72 |

**小结：**海上风场项目海洋生态调查结果表明，潮间带生物共鉴定出潮间带生物 2 门 6 科 10 种，生物数量和种类均较少。其中，软体动物有 4 科 7 种；节肢动物 3 科 3 种，常见豆斧蛤、锲形斧蛤等。3 个断面的潮间带生物平均生物量为 22.95 g/m<sup>2</sup>，平均栖息密度为 23.11 ind/m<sup>2</sup>。水平分布上，生物量及栖息密度均以 CJ3 为最高；生物量和栖息密度高低排序均为 CJ3>CJ2>CJ1。垂直分布上，生物量及栖息密度均以中潮区为最高；生物量和栖息密度高低排序均为中潮区>低潮区>高潮区。多样性指数的变化范围较小，在 2.08~2.77 之间，平均值为 2.39；均匀度的变化范围为 0.63~0.83，平均值为 0.72；总的来说，多样性指数和均匀度处于中等水平。

## 2、2021 年 11 月

### （1）种类组成

本次调查记录潮间带生物共 15 种，其中软体动物 9 种、节肢动物 6 种。软体动物和节肢动物分别占总种数的 60.00% 和 40.00%，软体动物是本次调查的主要类群。

3 个断面按岸相的类型，CJ1、CJ2、CJ3 调查断面岸相都为沙滩-岩石相。

### （2）生物量及栖息密度

#### ①生物量及栖息密度的组成

调查断面潮间带平均生物量 146.439 g/m<sup>2</sup>，各潮间带平均栖息密度为 52.44 ind/m<sup>2</sup>。

在潮间带平均生物量的组成中，以节肢动物居首位，平均生物量为 84.295 g/m<sup>2</sup>，占总平均生物量的 57.56%；其次为软体动物，其平均生物量为 62.144 g/m<sup>2</sup>，占总生物量的 42.44%（表 3.2.4.5-6）。

在平均栖息密度方面，总平均栖息密度为 52.44 ind/m<sup>2</sup>。其中软体动物占首

位，为 $29.33 \text{ ind}/\text{m}^2$ ，其次为节肢动物，其平均密度为 $23.11 \text{ ind}/\text{m}^2$ （表3.2.4.5-7）。

表 3.2.4.5-6 潮间带平均生物量及栖息密度的组成（涉密，不公开）

### ②生物量及栖息密度的水平分布

调查断面的潮间带生物断面生物量水平分布特征为 CJ1 断面>CJ3 断面>CJ2 断面，栖息密度水平分布特征为表现为 CJ3 断面>CJ1 断面>CJ2 断面（表 3.2.4.5-7）。

表 3.2.4.5-7 潮间带生物量及栖息密度的水平分布（涉密，不公开）

### ③生物量及栖息密度的垂直分布

本次潮间带生物调查，生物量垂直分布特征为低潮区>高潮区>中潮区；栖息密度的垂直分布特征为低潮区>高潮区>中潮区（表 3.2.4.5-8）。

表 3.2.4.5-8 潮间带生物量及栖息密度的垂直分布（涉密，不公开）

### （3）潮间带生物多样性指数

结果显示，3 条调查断面出现的种类数平均 6 种/站，多样性指数 ( $H'$ ) 变化范围在 1.968~2.637 之间，平均值为 2.409，多样性指数最高出现在 CJ1 调查断面。种类均匀度变化范围在 0.848~0.939 之间，平均为 0.907，最高出现在 CJ3 调查断面（表 3.2.4.5-9）。

表 3.2.4.5-9 潮间带生物多样性指数及均匀度

| 断面名称 | 种类数 | 多样性指数( $H'$ ) | 均匀度(J) |
|------|-----|---------------|--------|
| CJ1  | 7   | 2.637         | 0.939  |
| CJ2  | 5   | 1.968         | 0.848  |
| CJ3  | 7   | 2.622         | 0.934  |
| 均值   | 6   | 2.409         | 0.907  |

**小结：**海上风场项目海洋生态调查结果表明，潮间带生物共鉴定出潮间带生物 15 种。其中，软体动物有 9 种；节肢动物 6 种。潮间带生物平均生物量为  $146.439 \text{ g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为  $52.44 \text{ ind}/\text{m}^2$ 。水平分布上，潮间带生物断面生物量特征为 CJ1 断面>CJ3 断面>CJ2 断面，栖息密度为 CJ3 断面>CJ1 断面>CJ2 断面。垂直分布上，生物量垂直分布特征为低潮区>高潮区>中潮区；栖息密度的垂直分布特征为低潮区>高潮区>中潮区。多样性指数的变化范围在 1.968~2.637 之间，平均值为 2.409；均匀度的变化范围为 0.848~0.939 之间，平均为 0.907；总的来说，多样性指数和均匀度处于中等水平。

## 3.2.5 渔业资源

### 3.2.5.1 渔业资源采样及分析方法

#### 1、2021年5月

鱼卵和仔稚鱼：用大型浮游生物网采集，每个断面水平拖1网，拖60min，平均拖速约2.5kn，所采样品用5%福尔马林溶液固定，带回实验室进行分类鉴定与计数。

游泳动物：用单拖作业渔船进行现场试捕调查，所获生物样品进行现场分类和生物学鉴定。租用当地拖网渔船（粤汕城渔20001）进行渔业资源调查。该船主机功率85kW，船长20m，宽6m，吃水水深1.8m；调查所用网具每张网的上纲长7.0m，网衣长15.0m，网口大3m，网目大10mm，扫海宽度按浮纲长度的2/3计约10m。调查放网1张，拖速约2.5kn，拖时60min左右。拖网时间计算从拖网曳纲停止投放和拖网着底，曳纲拉紧受力时起至起网绞车开始收曳纲时止。对全部渔获物进行种类鉴定和计量，并对主要优势种类做生物学鉴定。具体站位详见3.1.5.1节。

#### 2、2021年11月

鱼类浮游生物：调查选择适于在调查海区作业且设备条件良好的渔船承担，按照GB/T 12763.6-2007的相关规定进行样品的采集、保存和运输。定量采样：网具使用浅水I型浮游生物网（水深<30m）或大型浮游生物网（30m<水深<200m）垂直采样，由海底至海面垂直拖网。定性采样：采用拖网法，网具采用大型浮游生物网，于表层水平拖曳10分钟取得，拖速保持在1.5节左右。海上采得的浮游生物样品按体积5%的量加入福尔马林溶液固定，带回实验室后将鱼卵仔鱼样品单独挑出，在解剖镜下计数和鉴定。

游泳动物：游泳动物调查按照GB/T 12763.6-2007的相关规定进行样品的采集、保存和运输。调查船舶要求：游泳动物调查船应由专业调查船承担，或选择适于在调查海区作业且设备条件良好的渔船承担，调查船舶应具备能在调查海区中定位的卫星定位仪、能在调查海区与陆地基地联络的通讯设备，性能良好的探鱼仪和雷达，能随时观察曳网情况的网位仪，与调查水深和调查网具相匹配的起网机和起吊设备，具备渔获物样品冷藏库或冷冻库。

调查工作流程：采用单船有翼单囊拖网进行作业。调查时间选择在白天进行，

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

样品处理：将囊网里全部渔获物收集，记录估计的网次总质量（kg）。渔获物总质量在 40kg 以下时，全部取样分析；渔获物大于 40kg 时，从中挑出大型的和稀有的标本后，从渔获物中随机取出渔获物分析样品 20kg 左右，然后把余下的渔获物按品种和不同规格装箱，记录该站位准确渔获物总质量（kg）。具体站位详见 3.1.5.1 节。

### 3.2.5.2 渔业资源评价方法

#### 1、春季

渔业资源密度(kg/km<sup>2</sup>)根据扫海面积法估算，公式如下：

$$B = \frac{Y}{A(1-E)}$$

式中：Y——平均渔获率 (kg/h)

A——每小时扫海面积 (km<sup>2</sup>/h)

E——逃逸率 (这里取 0.5)

#### 2、秋季

##### 1) 鱼卵仔鱼：

密度以水平拖网采获的总个体数除以滤水量计算：

$$V=N/(S\times L)$$

式中：V—鱼卵仔鱼的分布密度，单位为 ind/m<sup>3</sup>；

N—每网鱼卵仔鱼数量，单位为 ind；

S—网口面积，单位为 m<sup>2</sup>；

L—拖网距离，单位为 m。

##### 2) 渔业资源：

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

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

式中：  $S$ —重量密度 ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ) 或个体密度 ( $\text{ind}/\text{km}^2$ )；

$a$ —底拖网每小时的扫海面积（扫海宽度取浮纲长度的  $2/3$ ）；

$y$ —平均重量渔获率 ( $\text{kg}/\text{h}$ ) 或平均个体渔获率 ( $\text{ind}/\text{h}$ )；

$E$ —逃逸率（取  $0.5$ ）。

### 3) 游泳动物优势种

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

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

式中： $N$ —某一种类的  $\text{ind}$  数占渔获总  $\text{ind}$  数的百分比；

$W$ —某一种类的重量占渔获总重量的百分比；

$F$ —某一种类的出现的断面数占调查总断面数的百分比。

### 3.2.5.3 渔业资源调查结果与评价

#### 1、2021 年 5 月

##### (1) 种类组成

本次调查，共捕获游泳生物 64 种，其中：鱼类 44 种，甲壳类共 17 种（其中虾类 5 种，蟹类 10 种、虾蛄类 2 种），头足类 3 种。这些种类分别是鲻鱼、龙头鱼、棘头梅童鱼、短吻鲾、中国枪乌贼和口虾蛄等。

14 个断面的种类数相对差别一般，其中 SF1 断面的种类数量相对较多为 25 种；SF14 断面种类数量最少，为 14 种。

表 3.3.7.3-1 各断面的出现种类统计结果

| 类群  | 鱼类 | 甲壳类 | 头足类 | 合计 |
|-----|----|-----|-----|----|
| SF1 | 16 | 9   | 0   | 25 |
| SF2 | 13 | 8   | 2   | 23 |
| SF3 | 11 | 6   | 3   | 20 |
| SF4 | 14 | 8   | 0   | 22 |
| SF5 | 13 | 3   | 3   | 19 |
| SF6 | 11 | 7   | 1   | 19 |

|      |    |   |   |    |
|------|----|---|---|----|
| SF7  | 12 | 7 | 2 | 21 |
| SF8  | 10 | 5 | 1 | 16 |
| SF9  | 11 | 8 | 2 | 21 |
| SF10 | 12 | 6 | 2 | 20 |
| SF11 | 12 | 7 | 2 | 21 |
| SF12 | 14 | 6 | 0 | 20 |
| SF13 | 10 | 6 | 1 | 17 |
| SF14 | 9  | 3 | 2 | 14 |

### (2) 渔获率

14 个调查断面的重量渔获率变化范围为 (2.75~6.52) kg/h, 平均重量渔获率为 4.34 kg/h; 个体渔获率变化范围为 (240~576) ind/h, 平均个体渔获率为 390 ind/h(表 3.3.7.3-2)。其中, 鱼类个体渔获率和重量渔获率分别为 208 ind/h 和 2.67 kg/h, 占总个体渔获率和总重量渔获率的大部分。

表 3.3.7.3-2 各断面的重量渔获率和个体渔获率 (涉密, 不公开)

### (3) 资源密度

调查区域游泳生物重量密度和个体密度平均值分别为 187.60 kg/km<sup>2</sup> 和 16884 ind/km<sup>2</sup>。其中, 重量密度和个体密度最高的是 SF12 断面, 分别为 281.43 kg/km<sup>2</sup> 和 24881 ind/km<sup>2</sup>。

表 3.3.7.3-3 调查断面的渔业资源密度 (涉密, 不公开)

### (4) 渔业资源概况

#### 1) 鱼类种类组成

本次调查捕获的鱼类共 44 种。这些种类均为我国沿岸、浅海渔业的兼捕对象。大多属于印度洋、太平洋区系, 大多数种类分布于大陆架区, 以海水性的种类为主, 并以栖息于底层、近底层的暖水性种类占优势, 其食性大多以底栖生物及小型的游泳生物为主要饵料, 这大体上可以反映出该水域鱼类的种类组成区系和主要生态特点。

#### 2) 鱼类资源密度估算

本次调查, 鱼类的资源密度见表 3.3.7.3-4, 其平均重量密度为 115.20 kg/km<sup>2</sup>, 平均个体密度为 8991 ind/km<sup>2</sup>。

表 3.3.7.3-4 鱼类资源密度 (涉密, 不公开)

#### 3) 鱼类优势种

将鱼类 IRI 指数列于表 3.3.7.3-5, 鱼类 IRI 值在 1000 以上的有 3 种, 分别为: 二长棘鲷、中线天竺鲷和康氏小公鱼, 这 3 种鱼类其平均重量渔获率之和为 1.25 kg/h, 占鱼类总平均重量渔获率 (2.67 kg/h) 的 46.82%; 这 3 种鱼类其平均个体渔获率为 124.57 ind/h, 占鱼类总平均个体渔获率 (208.14 ind/h) 的 59.85%。由此确定这 3 种为鱼类的优势种。

表 3.3.7.3-5 鱼类的 IRI 指数

| 种类    | 出现频率<br>(%) | 渔获重量   |       | 渔获尾数  |       | IRI     |
|-------|-------------|--------|-------|-------|-------|---------|
|       |             | (kg)   | (%)   | (ind) | (%)   |         |
| 二长棘鲷  | 100.00      | 5.6665 | 30.35 | 578   | 39.67 | 7002.53 |
| 短尾大眼鲷 | 21.43       | 0.3285 | 1.76  | 71    | 4.87  | 142.13  |
| 条尾鲱鲤  | 21.43       | 0.2540 | 1.36  | 11    | 0.75  | 45.33   |
| 银方头鱼  | 21.43       | 0.1470 | 0.79  | 8     | 0.55  | 28.64   |
| 乌塘鳢   | 21.43       | 0.5115 | 2.74  | 37    | 2.54  | 113.13  |
| 棘头梅童鱼 | 35.71       | 0.3645 | 1.95  | 43    | 2.95  | 175.14  |
| 杂食豆齿鳗 | 28.57       | 0.3481 | 1.86  | 19    | 1.30  | 90.54   |
| 鲬     | 14.29       | 0.1930 | 1.03  | 7     | 0.48  | 21.63   |
| 独角鲀   | 35.71       | 0.3825 | 2.05  | 11    | 0.75  | 100.14  |
| 宽体舌鳎  | 28.57       | 0.0510 | 0.27  | 5     | 0.34  | 17.61   |
| 皮氏叫姑鱼 | 21.43       | 0.6445 | 3.45  | 12    | 0.82  | 91.63   |
| 卵鳎    | 28.57       | 0.0435 | 0.23  | 4     | 0.27  | 14.50   |
| 中线天竺鲷 | 85.71       | 1.3320 | 7.14  | 115   | 7.89  | 1288.14 |
| 弓线天竺鲷 | 35.71       | 0.6775 | 3.63  | 77    | 5.28  | 318.36  |
| 白氏银汉鱼 | 21.43       | 0.0600 | 0.32  | 10    | 0.69  | 21.59   |
| 长颌棱鳀  | 28.57       | 0.3110 | 1.67  | 29    | 1.99  | 104.47  |
| 黄卿    | 21.43       | 0.1330 | 0.71  | 18    | 1.24  | 41.74   |
| 绿鳍鱼   | 28.57       | 0.2130 | 1.14  | 16    | 1.10  | 63.98   |
| 木叶鲽   | 28.57       | 0.0520 | 0.28  | 4     | 0.27  | 15.80   |
| 南海斑鲆  | 28.57       | 0.0570 | 0.31  | 5     | 0.34  | 18.53   |
| 尖尾鳗   | 21.43       | 0.0845 | 0.45  | 5     | 0.34  | 17.05   |
| 孔虾虎鱼  | 21.43       | 0.1195 | 0.64  | 7     | 0.48  | 24.01   |
| 多齿蛇鲻  | 35.71       | 0.9445 | 5.06  | 18    | 1.24  | 224.82  |
| 四线天竺鲷 | 21.43       | 0.1015 | 0.54  | 7     | 0.48  | 21.95   |
| 斑鱚    | 14.29       | 0.0235 | 0.13  | 3     | 0.21  | 4.74    |
| 龙头鱼   | 28.57       | 0.2285 | 1.22  | 16    | 1.10  | 66.35   |

| 种类     | 出现频率<br>(%) | 渔获重量   |      | 渔获尾数  |       | IRI     |
|--------|-------------|--------|------|-------|-------|---------|
|        |             | (kg)   | (%)  | (ind) | (%)   |         |
| 四指马鲅   | 28.57       | 0.0825 | 0.44 | 7     | 0.48  | 26.35   |
| 康氏小公鱼  | 71.43       | 1.7400 | 9.32 | 179   | 12.29 | 1543.32 |
| 汉氏棱鳀   | 14.29       | 0.0920 | 0.49 | 10    | 0.69  | 16.85   |
| 短吻鲾    | 35.71       | 0.2865 | 1.53 | 16    | 1.10  | 94.03   |
| 斑头舌鳎   | 14.29       | 0.0315 | 0.17 | 2     | 0.14  | 4.37    |
| 红狼牙虾虎鱼 | 7.14        | 0.0415 | 0.22 | 2     | 0.14  | 2.57    |
| 刺鲳     | 28.57       | 0.0995 | 0.53 | 8     | 0.55  | 30.92   |
| 金线鱼    | 35.71       | 0.4205 | 2.25 | 21    | 1.44  | 131.92  |
| 竹荚鱼    | 28.57       | 0.6295 | 3.37 | 18    | 1.24  | 131.64  |
| 白姑鱼    | 28.57       | 0.4815 | 2.58 | 12    | 0.82  | 97.23   |
| 鳗鮀     | 7.14        | 0.0155 | 0.08 | 1     | 0.07  | 1.08    |
| 鲻鱼     | 14.29       | 0.1220 | 0.65 | 11    | 0.75  | 20.12   |
| 眶棘双边鱼  | 14.29       | 0.1045 | 0.56 | 12    | 0.82  | 19.76   |
| 多鳞鰆    | 7.14        | 0.0265 | 0.14 | 3     | 0.21  | 2.48    |
| 褐篮子鱼   | 7.14        | 0.0155 | 0.08 | 1     | 0.07  | 1.08    |
| 褐菖鲉    | 7.14        | 0.0215 | 0.12 | 1     | 0.07  | 1.31    |
| 大眼兔头鲀  | 28.57       | 0.7715 | 4.13 | 11    | 0.75  | 139.65  |
| 小裸胸鳝   | 14.29       | 0.4135 | 2.22 | 6     | 0.41  | 37.53   |

#### 4) 主要经济鱼类生物学特征

##### a、二长棘鲷

地理分布：分布于北太平洋西部，印度尼西亚，朝鲜，日本，中国南海、台湾海峡、东海。

生活习性：暖温性底层鱼类，栖息于近海水深20~70米的沙泥底水域。其主要食物有鱼虾类、沙蚕类、幼小软体管蛸类。

本次调查的二长棘鲷体长范围为45~68mm，体重范围为6.5~11.0g，平均体重为9.80g。

##### b、中线天竺鱼

地理分布：印度洋-西太平洋，东非，塞舌尔，马达加斯加，毛里求斯，汤加和萨摩亚，东至加罗林群岛的密克罗尼西亚，北至日本，南至澳大利亚和新喀里多尼亚。

生活习性：本科鱼类为夜行性，夜间外出觅食，昼间则单独或成群穴居在礁

岩遮蔽处或其周围的水层中。其聚集的数量可达数千尾之多。

本次调查的中线天竺鱼体长范围为 32~58mm，体重范围为 8.5~13.5g，平均体重为 11.58g。

#### c、康氏小公鱼

地理分布：西起东印度洋，东至菲律宾，北起朝鲜，南至印度尼西亚的印度-西太平洋海域。我国沿海均有分布。

生活习性：中上层鱼类，喜栖息于港湾、河口及浅海水域，以浮游动物和小型鱼虾为食。

本次调查的康氏小公鱼体长范围为 61~114mm，体重范围为 7.5~11.0g，平均体重为 9.72g。

### (5) 头足类的资源状况

#### 1) 种类组成

本次调查海域内捕获到中国枪乌贼、曼氏无针乌贼和金乌贼 3 种头足类。

#### 2) 头足类的资源密度估算

本次调查捕获头足类动物种类较少，14 个断面均有捕获头足类，头足类的资源密度见表 3.3.7.3-6，其平均重量密度和平均个体密度分别为 15.14 kg/km<sup>2</sup> 和 1142ind/km<sup>2</sup>。

表 3.3.7.3-6 头足类资源密度（涉密，不公开）

注：“/”表示没有出现。

### (6) 甲壳类的资源状况

#### 1) 种类组成

本次调查，共捕获的甲壳类，经鉴定共 17 种，其中：虾类 5 种，蟹类 10 种、虾蛄类 2 种。

#### 2) 优势种

将甲壳类 IRI 指数列于表 3.3.7.3-7，甲壳类 IRI 值在 1000 以上的有 2 种，分别为：鹰爪虾和口虾蛄。这 2 种甲壳类平均重量渔获率之和为 0.68 kg/h，占甲壳类总平均重量渔获率 (1.33kg/h) 的 51.13%；这 2 种甲壳类平均个体渔获率之和为 71.71 ind/h，占甲壳类总平均个体渔获率 (156.29ind/h) 的 45.88%。由此确定这 2 种为甲壳类的优势种。

表 3.3.7.3-7 甲壳类的 IRI 指数

| 种类     | 出现频率<br>(%) | 渔获重量   |       | 渔获尾数  |       | IRI     |
|--------|-------------|--------|-------|-------|-------|---------|
|        |             | (kg)   | (%)   | (ind) | (%)   |         |
| 鹰爪虾    | 35.71       | 1.1750 | 12.66 | 189   | 17.28 | 1069.25 |
| 逍遥馒头蟹  | 28.57       | 1.4025 | 15.11 | 57    | 5.21  | 580.71  |
| 日本蟳    | 14.29       | 0.0250 | 0.27  | 5     | 0.46  | 10.38   |
| 变态蟳    | 50.00       | 0.6325 | 6.82  | 144   | 13.16 | 998.96  |
| 七刺栗壳蟹  | 21.43       | 0.0620 | 0.67  | 22    | 2.01  | 57.41   |
| 口虾蛄    | 100.00      | 3.6090 | 38.89 | 313   | 28.61 | 6750.49 |
| 刀额仿对虾  | 35.71       | 0.2065 | 2.23  | 38    | 3.47  | 203.53  |
| 三疣梭子蟹  | 42.86       | 0.1610 | 1.74  | 11    | 1.01  | 117.45  |
| 颗粒拟关公蟹 | 35.71       | 0.2135 | 2.30  | 13    | 1.19  | 124.61  |
| 锈斑蟳    | 57.14       | 0.4465 | 4.81  | 24    | 2.19  | 400.33  |
| 红星梭子蟹  | 42.86       | 0.2505 | 2.70  | 25    | 2.29  | 213.64  |
| 隆线强蟹   | 42.86       | 0.1340 | 1.44  | 8     | 0.73  | 93.23   |
| 脊尾白虾   | 14.29       | 0.1005 | 1.08  | 27    | 2.47  | 50.73   |
| 猛虾蛄    | 21.43       | 0.2865 | 3.09  | 24    | 2.19  | 113.17  |
| 中华管鞭虾  | 21.43       | 0.0815 | 0.88  | 24    | 2.19  | 65.83   |
| 须赤虾    | 42.86       | 0.3630 | 3.91  | 106   | 9.69  | 582.91  |
| 豆形拳蟹   | 35.71       | 0.1295 | 1.40  | 64    | 5.85  | 258.78  |

### 3) 甲壳类资源密度评估

本次调查，甲壳类的资源密度见表 3.3.7.3-8，其平均重量密度和平均个体密度分别为  $57.26 \text{ kg/km}^2$  和  $6751 \text{ ind/km}^2$ 。其中，重量密度和个体密度最高的是 SF9 断面，分别为  $100.17 \text{ kg/km}^2$  和  $12873 \text{ ind/km}^2$ 。

表 3.3.7.3-8 甲壳类资源密度

| 断面  | 重量密度 ( $\text{kg/km}^2$ ) | 个体密度 ( $\text{ind/km}^2$ ) |
|-----|---------------------------|----------------------------|
| SF1 | 64.32                     | 10713                      |
| SF2 | 40.60                     | 6739                       |
| SF3 | 49.29                     | 4665                       |
| SF4 | 44.23                     | 6048                       |
| SF5 | 33.82                     | 3974                       |
| SF6 | 39.14                     | 3542                       |
| SF7 | 83.02                     | 6393                       |
| SF8 | 61.21                     | 5788                       |
| SF9 | 100.17                    | 12873                      |

| 断面   | 重量密度 (kg/km <sup>2</sup> ) | 个体密度 (ind/km <sup>2</sup> ) |
|------|----------------------------|-----------------------------|
| SF10 | 59.48                      | 4492                        |
| SF11 | 54.95                      | 9071                        |
| SF12 | 61.81                      | 9330                        |
| SF13 | 55.64                      | 6134                        |
| SF14 | 53.95                      | 4752                        |
| 平均   | 57.26                      | 6751                        |

**小结：**海上风场项目海洋渔业资源调查结果表明，游泳生物共捕获 64 种，其中：鱼类 44 种，甲壳类虾类 5 种，蟹类 10 种、虾蛄类 2 种，头足类 3 种。调查海域平均重量渔获率和个体渔获率分别为 4.34 kg/h 和 390 ind/h；渔业资源平均重量密度和个体密度分别为 187.60 kg/km<sup>2</sup> 和 16884 ind/km<sup>2</sup>；其中，鱼类重量渔获率和个体渔获率分别为 2.67 kg/h 和 208 ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率的大部分；甲壳类重量渔获率和个体渔获率分别为 1.33 kg/h 和 156 ind/h；头足类重量渔获率和个体渔获率分别为 0.35 kg/h 和 26 ind/h。优势种为：二长棘鲷、中线天竺鲷、康氏小公鱼、鹰爪虾和口虾蛄。

## 2、2021 年 11 月

### (1) 种类组成

此次项目调查船号为粤汕城渔 16118，在距离站位位置 2n mile~3n mile 处放网，使用的网具为网纲 10m、网衣 25m、网囊目 30mm 的底拖网，拖速控制在 3kn 左右。

本次调查，共捕获游泳动物 94 种，其中：鱼类 55 种，虾类 18 种（其中虾蛄类 7 种），蟹类 16 种，头足类 5 种。

本次调查，各站位出现种类情况见表 3.3.7.3-9。由表可知，各站位出现的物种数量变化较大，S35 站位出现的种类数最多，有 29 种，S1 站的出现的物种数最少，为 13 种。

表 3.3.7.3-9 各站位游泳动物出现种类统计结果

| 站位 | 鱼类 | 虾类 | 蟹类 | 头足类 | 总计 |
|----|----|----|----|-----|----|
| S1 | 8  | 2  | 3  | 0   | 13 |
| S3 | 9  | 3  | 5  | 0   | 17 |
| S4 | 9  | 7  | 3  | 1   | 20 |
| S7 | 11 | 6  | 5  | 0   | 22 |

| 站位  | 鱼类 | 虾类 | 蟹类 | 头足类 | 总计 |
|-----|----|----|----|-----|----|
| S8  | 11 | 4  | 1  | 2   | 18 |
| S11 | 12 | 2  | 4  | 1   | 19 |
| S12 | 5  | 6  | 3  | 0   | 14 |
| S14 | 8  | 4  | 2  | 0   | 14 |
| S15 | 9  | 1  | 5  | 0   | 15 |
| S17 | 10 | 5  | 2  | 1   | 18 |
| S18 | 10 | 5  | 3  | 0   | 18 |
| S20 | 7  | 7  | 2  | 1   | 17 |
| S21 | 9  | 7  | 2  | 0   | 18 |
| S23 | 9  | 6  | 7  | 0   | 22 |
| S25 | 11 | 6  | 1  | 0   | 18 |
| S27 | 10 | 5  | 5  | 0   | 20 |
| S28 | 7  | 3  | 5  | 0   | 15 |
| S30 | 12 | 5  | 6  | 0   | 23 |
| S33 | 10 | 5  | 6  | 1   | 22 |
| S35 | 15 | 8  | 5  | 1   | 29 |
| S36 | 12 | 9  | 3  | 1   | 25 |
| S37 | 7  | 5  | 2  | 1   | 15 |
| S38 | 13 | 4  | 3  | 0   | 20 |
| S39 | 10 | 4  | 4  | 2   | 20 |
| S41 | 8  | 8  | 4  | 0   | 20 |
| S42 | 11 | 7  | 5  | 1   | 24 |
| S44 | 8  | 6  | 6  | 0   | 20 |
| 均值  | 10 | 5  | 4  | 0   | 19 |

## (2) 渔获率

### 1) 总个体渔获率

本次调查该海区的渔业资源平均总个体渔获率为 333 ind/h。其中，鱼类平均个体渔获率为 84 ind/h，占平均总个体渔获率的 25.22 %；虾类平均个体渔获率为 194 ind/h，占平均总个体渔获率的 58.26 %；蟹类平均个体渔获率为 54 ind/h，占平均总个体渔获率的 16.22 %；头足类的平均个体渔获率为 1 ind/h，占平均总个体渔获率的 0.30 %（表 3.3.7.3-10）。

表 3.3.7.3-10 各站位类群个体渔获率及所占比例

| 站位 | 总个体渔获率 (ind/h) | 个体渔获率 (ind/h) |    |    |     | 渔获率占比 (%) |    |    |     |
|----|----------------|---------------|----|----|-----|-----------|----|----|-----|
|    |                | 鱼类            | 虾类 | 蟹类 | 头足类 | 鱼类        | 虾类 | 蟹类 | 头足类 |
|    |                |               |    |    |     |           |    |    |     |

| 站位  | 总个体渔获率 (ind/h) | 个体渔获率 (ind/h) |     |     |     | 渔获率占比 (%) |       |       |       |
|-----|----------------|---------------|-----|-----|-----|-----------|-------|-------|-------|
|     |                | 鱼类            | 虾类  | 蟹类  | 头足类 | 鱼类        | 虾类    | 蟹类    | 头足类   |
| S1  | 166            | 56            | 61  | 49  | 0   | 33.73     | 36.75 | 29.52 | 0     |
| S3  | 300            | 98            | 146 | 56  | 0   | 32.67     | 48.67 | 18.67 | 0     |
| S4  | 402            | 108           | 274 | 17  | 3   | 26.87     | 68.16 | 4.23  | 0.75  |
| S7  | 302            | 70            | 146 | 86  | 0   | 23.18     | 48.34 | 28.48 | 0     |
| S8  | 170            | 88            | 54  | 11  | 17  | 51.76     | 31.76 | 6.47  | 10.00 |
| S11 | 194            | 93            | 56  | 41  | 4   | 47.94     | 28.87 | 21.13 | 2.06  |
| S12 | 248            | 69            | 166 | 13  | 0   | 27.82     | 66.94 | 5.24  | 0     |
| S14 | 252            | 39            | 165 | 48  | 0   | 15.48     | 65.48 | 19.05 | 0     |
| S15 | 245            | 85            | 29  | 131 | 0   | 34.69     | 11.84 | 53.47 | 0     |
| S17 | 356            | 133           | 208 | 14  | 1   | 37.36     | 58.43 | 3.93  | 0.28  |
| S18 | 318            | 94            | 147 | 77  | 0   | 29.56     | 46.23 | 24.21 | 0     |
| S20 | 331            | 84            | 234 | 12  | 1   | 25.38     | 70.69 | 3.63  | 0.30  |
| S21 | 424            | 132           | 261 | 31  | 0   | 31.13     | 61.56 | 7.31  | 0     |
| S23 | 462            | 45            | 387 | 30  | 0   | 9.74      | 83.77 | 6.49  | 0     |
| S25 | 358            | 117           | 234 | 7   | 0   | 32.68     | 65.36 | 1.96  | 0     |
| S27 | 271            | 59            | 194 | 18  | 0   | 21.77     | 71.59 | 6.64  | 0     |
| S28 | 326            | 26            | 232 | 68  | 0   | 7.98      | 71.17 | 20.86 | 0     |
| S30 | 365            | 120           | 187 | 58  | 0   | 32.88     | 51.23 | 15.89 | 0     |
| S33 | 235            | 67            | 148 | 19  | 1   | 28.51     | 62.98 | 8.09  | 0.43  |
| S35 | 465            | 105           | 283 | 74  | 3   | 22.58     | 60.86 | 15.91 | 0.65  |
| S36 | 438            | 96            | 227 | 110 | 5   | 21.92     | 51.83 | 25.11 | 1.14  |
| S37 | 261            | 82            | 108 | 70  | 1   | 31.42     | 41.38 | 26.82 | 0.38  |
| S38 | 288            | 104           | 108 | 76  | 0   | 36.11     | 37.50 | 26.39 | 0     |
| S39 | 397            | 125           | 209 | 61  | 2   | 31.49     | 52.64 | 15.37 | 0.50  |
| S41 | 634            | 44            | 482 | 108 | 0   | 6.94      | 76.03 | 17.03 | 0     |
| S42 | 440            | 118           | 255 | 65  | 2   | 26.82     | 57.95 | 14.77 | 0.45  |
| S44 | 366            | 18            | 242 | 106 | 0   | 4.92      | 66.12 | 28.96 | 0     |
| 均值  | 333            | 84            | 194 | 54  | 1   | 25.22     | 58.26 | 16.22 | 0.30  |

## 2) 总重量渔获率

本次调查该海区的渔业资源平均总重量渔获率为 5.054 kg/h。其中，鱼类平均重量渔获率为 1.933 kg/h，占平均总重量渔获率的 38.24 %；虾类平均重量渔获率为 2.157 kg/h，占平均总重量渔获率的 42.68 %；蟹类平均重量渔获率为

0.907kg/h，占平均总重量渔获率的 17.95 %；头足类的平均重量渔获率为 0.057kg/h，占平均总重量渔获率的 1.13 %（表 3.3.7.3-11）。

表 3.3.7.3-11 各站位类群重量渔获率及所占比例

| 站位  | 总重量渔获率<br>(kg/h) | 重量渔获率 (kg/h) |       |       |       | 渔获率占比 (%) |       |       |       |
|-----|------------------|--------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
|     |                  | 鱼类           | 虾类    | 蟹类    | 头足类   | 鱼类        | 虾类    | 蟹类    | 头足类   |
| S1  | 2.291            | 1.369        | 0.535 | 0.387 | 0     | 6.01      | 58.26 | 31.86 | 3.87  |
| S3  | 4.408            | 2.140        | 1.735 | 0.533 | 0     | 24.17     | 38.25 | 35.32 | 2.26  |
| S4  | 5.882            | 2.335        | 3.326 | 0.189 | 0.032 | 59.96     | 9.85  | 29.20 | 0.98  |
| S7  | 5.025            | 1.907        | 2.333 | 0.786 | 0     | 29.47     | 16.84 | 52.32 | 1.37  |
| S8  | 2.868            | 1.894        | 0.377 | 0.102 | 0.496 | 43.05     | 38.54 | 14.19 | 4.22  |
| S11 | 3.572            | 1.829        | 0.489 | 1.202 | 0.052 | 31.98     | 32.80 | 34.20 | 1.02  |
| S12 | 2.901            | 1.145        | 1.500 | 0.255 | 0     | 36.62     | 23.60 | 33.76 | 6.02  |
| S14 | 3.151            | 0.831        | 1.890 | 0.430 | 0     | 72.54     | 11.67 | 13.89 | 1.90  |
| S15 | 3.765            | 1.933        | 0.172 | 1.660 | 0     | 56.91     | 14.55 | 28.54 | 0     |
| S17 | 5.952            | 3.611        | 1.859 | 0.387 | 0.095 | 59.77     | 23.34 | 16.88 | 0     |
| S18 | 6.574            | 2.415        | 3.280 | 0.879 | 0     | 48.55     | 39.35 | 12.09 | 0     |
| S20 | 7.014            | 2.389        | 3.627 | 0.983 | 0.014 | 39.70     | 56.54 | 3.21  | 0.55  |
| S21 | 7.084            | 2.667        | 3.608 | 0.810 | 0     | 37.94     | 46.42 | 15.64 | 0     |
| S23 | 4.824            | 1.012        | 2.952 | 0.860 | 0     | 66.04     | 13.13 | 3.55  | 17.28 |
| S25 | 4.173            | 2.152        | 1.922 | 0.099 | 0     | 51.21     | 13.69 | 33.65 | 1.44  |
| S27 | 3.983            | 1.195        | 2.353 | 0.435 | 0     | 39.48     | 51.72 | 8.80  | 0     |
| S28 | 3.124            | 0.360        | 1.947 | 0.817 | 0     | 26.37     | 59.97 | 13.66 | 0     |
| S30 | 6.120            | 1.981        | 2.254 | 1.885 | 0     | 51.34     | 4.56  | 44.10 | 0     |
| S33 | 4.594            | 2.306        | 1.034 | 0.774 | 0.480 | 60.67     | 31.24 | 6.50  | 1.59  |
| S35 | 6.064            | 2.921        | 2.291 | 0.820 | 0.032 | 36.73     | 49.90 | 13.37 | 0     |
| S36 | 6.447            | 2.186        | 3.088 | 1.004 | 0.170 | 34.07     | 51.71 | 14.02 | 0.20  |
| S37 | 4.240            | 2.046        | 1.454 | 0.710 | 0.029 | 37.64     | 50.93 | 11.43 | 0     |
| S38 | 5.330            | 1.854        | 2.387 | 1.089 | 0     | 20.97     | 61.20 | 17.83 | 0     |
| S39 | 6.797            | 2.838        | 2.827 | 1.015 | 0.118 | 51.56     | 46.06 | 2.37  | 0     |
| S41 | 6.308            | 0.800        | 3.265 | 2.243 | 0     | 30.00     | 59.07 | 10.93 | 0     |
| S42 | 7.879            | 3.450        | 3.241 | 1.162 | 0.025 | 11.53     | 62.31 | 26.16 | 0     |
| S44 | 6.102            | 0.624        | 2.502 | 2.975 | 0     | 32.37     | 36.84 | 30.79 | 0     |
| 均值  | 5.054            | 1.933        | 2.157 | 0.907 | 0.057 | 38.24     | 42.68 | 17.95 | 1.13  |

### 3) 幼体渔获率

本次调查各站位幼体个体渔获率及所占比例见表 3.3.7.3-12。计算时，将虾

蛄类归入虾类。调查站位的平均总幼体渔获率为 205 ind/h，总幼体渔获量占总渔获量比例的平均值为 65.30 %。各站位不同类群幼体个体渔获量平均值显示，调查海区幼体渔获量中虾类幼体个体渔获量最高，各站位不同类群幼体渔获占比平均值显示，本次调查渔获中虾类幼体所占比例最高，鱼类次之，蟹类最少。

表 3.3.7.3-12 各站位幼体个体渔获率及所占比例

| 站位  | 总幼体渔获率 i<br>nd/h | 总幼体渔获<br>占比% | 幼体渔获率 (ind/h) |     |     | 幼体渔获占比 (%) |       |       |
|-----|------------------|--------------|---------------|-----|-----|------------|-------|-------|
|     |                  |              | 鱼类            | 虾类  | 蟹类  | 鱼类         | 虾类    | 蟹类    |
| S1  | 90               | 63.43        | 21            | 489 | 144 | 58.33      | 62.77 | 66.67 |
| S3  | 192              | 61.20        | 62            | 291 | 166 | 63.27      | 56.73 | 70.04 |
| S4  | 271              | 54.22        | 34            | 35  | 21  | 60.71      | 57.38 | 42.86 |
| S7  | 181              | 64.00        | 66            | 98  | 28  | 67.35      | 67.12 | 50.00 |
| S8  | 95               | 67.92        | 70            | 196 | 5   | 64.81      | 71.53 | 29.41 |
| S11 | 122              | 59.93        | 39            | 96  | 46  | 55.71      | 65.75 | 53.49 |
| S12 | 145              | 62.09        | 58            | 34  | 3   | 65.91      | 62.96 | 27.27 |
| S14 | 156              | 64.21        | 64            | 37  | 21  | 68.82      | 66.07 | 51.22 |
| S15 | 156              | 58.47        | 42            | 99  | 4   | 60.87      | 59.64 | 30.77 |
| S17 | 204              | 61.90        | 25            | 108 | 23  | 64.10      | 65.45 | 47.92 |
| S18 | 201              | 63.67        | 58            | 10  | 88  | 68.24      | 34.48 | 67.18 |
| S20 | 194              | 57.46        | 86            | 116 | 2   | 64.66      | 55.77 | 14.29 |
| S21 | 257              | 63.21        | 65            | 87  | 49  | 69.15      | 59.18 | 63.64 |
| S23 | 321              | 58.79        | 53            | 136 | 5   | 63.10      | 58.12 | 41.67 |
| S25 | 220              | 60.61        | 86            | 155 | 16  | 65.15      | 59.39 | 51.61 |
| S27 | 158              | 69.48        | 31            | 269 | 21  | 68.89      | 69.51 | 70.00 |
| S28 | 207              | 61.45        | 78            | 141 | 1   | 66.67      | 60.26 | 14.29 |
| S30 | 211              | 58.30        | 41            | 112 | 5   | 69.49      | 57.73 | 27.78 |
| S33 | 127              | 63.50        | 18            | 147 | 42  | 69.23      | 63.36 | 61.76 |
| S35 | 250              | 57.81        | 79            | 98  | 34  | 65.83      | 52.41 | 58.62 |
| S36 | 264              | 54.27        | 37            | 87  | 3   | 55.22      | 58.78 | 15.79 |
| S37 | 163              | 54.11        | 72            | 135 | 43  | 68.57      | 47.70 | 58.11 |

| 站位  | 总幼体渔获率 i<br>nd/h | 总幼体渔获<br>占比% | 幼体渔获率 (ind/h) |     |    | 幼体渔获占比 (%) |       |       |
|-----|------------------|--------------|---------------|-----|----|------------|-------|-------|
|     |                  |              | 鱼类            | 虾类  | 蟹类 | 鱼类         | 虾类    | 蟹类    |
| S38 | 183              | 60.97        | 65            | 123 | 76 | 67.71      | 54.19 | 69.09 |
| S39 | 245              | 62.69        | 53            | 64  | 46 | 64.63      | 59.26 | 65.71 |
| S41 | 406              | 63.54        | 71            | 68  | 44 | 68.27      | 62.96 | 57.89 |
| S42 | 286              | 62.03        | 76            | 139 | 30 | 60.80      | 66.51 | 49.18 |
| S44 | 224              | 64.04        | 28            | 307 | 71 | 63.64      | 63.69 | 65.74 |
| 均值  | 205              | 65.30        | 77            | 167 | 42 | 65.25      | 65.49 | 64.62 |

### (3) 资源密度

本次调查渔业资源平均重量密度为  $326.009 \text{ kg/km}^2$ , S42 号站最高, S1 号站最低, 变化范围为( $147.792\sim508.329$ ) $\text{kg/km}^2$ ; 平均个体密度为  $21.484\times10^3 \text{ ind/km}^2$ , 范围为  $(10.709\sim40.904)\times10^3 \text{ ind/km}^2$ , 个体密度最高的站位为 S41 号站, 最低为 S1 号站位 (表 3.3.7.3-13)。

表 3.3.7.3-13 各站位渔业资源资源密度 (涉密, 不公开)

### (4) 鱼类资源状况

#### ①种类组成

本次调查捕获的鱼类共 55 种。这些种类均为我国沿岸、浅海渔业的兼捕对象。大多属于印度洋、太平洋区系, 以海水性的种类为主, 并以栖息于底层、近底层的暖水性种类占优势, 其食性大多以底栖生物及小型的游泳生物为主要饵料, 这大体上可以反映出该水域鱼类的种类组成区系和主要生态特点。调查期间出现的主要经济种类有叫姑鱼 (*Johnius grypotus*)、银姑鱼 (*Pennahia argentata*)、龙头鱼 (*Harpodon nehereus*) 和多鳞鱚 (*Sillago slhama*) 等。

#### ②资源密度估算

本次调查, 鱼类的资源密度见表 3.3.7.3-14。由表可知, 捕获的鱼类平均重量密度和平均个体密度分别为  $124.709 \text{ kg/km}^2$  和  $5.419\times10^3 \text{ ind/km}^2$ 。在本次调查的 27 个站位中, 鱼类生物重量密度和个体密度最大值均出现在 S17 号站位, 生物重量资源密度为  $232.969 \text{ kg/km}^2$ , 个体数量密度为  $8.581\times10^3 \text{ ind/km}^2$ 。

表 3.3.7.3-14 鱼类资源密度 (涉密, 不公开)

#### ③优势种

相对重要性指数 IRI 显示, 本次调查的鱼类优势种 (IRI>1000) 为叫姑鱼 (*Johnius grypotus*) (IRI=1596.17), 其总生物渔获重量为 9.248 kg, 占鱼类总渔获重量的 17.72 %。总个体渔获量为 351 ind, 占鱼类总渔获个体数的 15.43 % (表 3.3.7.3-15)。

表 3.3.7.3-15 鱼类 IRI 指数

| 种类      | 出现频率<br>(%) | 总个体渔获量 |       | 总渔获重量 |       | IRI     |
|---------|-------------|--------|-------|-------|-------|---------|
|         |             | (ind)  | (%)   | (kg)  | (%)   |         |
| 弓斑东方鲀   | 3.70        | 1      | 0.04  | 0.043 | 0.08  | 0.44    |
| 缘边银鲈    | 14.81       | 48     | 2.11  | 0.883 | 1.69  | 56.28   |
| 银姑鱼     | 51.85       | 227    | 9.98  | 4.278 | 8.20  | 942.63  |
| 线纹鳗鲶    | 14.81       | 64     | 2.81  | 1.981 | 3.80  | 97.89   |
| 斑鱚      | 22.22       | 40     | 1.76  | 1.145 | 2.19  | 87.77   |
| 前鳞骨鲻    | 7.41        | 28     | 1.23  | 0.856 | 1.64  | 21.27   |
| 卵鳎      | 3.70        | 1      | 0.04  | 0.016 | 0.03  | 0.26    |
| 犬牙细棘鰕虎鱼 | 7.41        | 4      | 0.18  | 0.049 | 0.09  | 2.00    |
| 红牙鰐     | 48.15       | 233    | 10.24 | 4.352 | 8.34  | 894.63  |
| 拟矛尾鰕虎鱼  | 33.33       | 142    | 6.24  | 1.009 | 1.93  | 272.31  |
| 斑鳍银姑鱼   | 14.81       | 9      | 0.40  | 0.141 | 0.27  | 9.92    |
| 食蟹豆齿鳗   | 33.33       | 15     | 0.66  | 1.496 | 2.87  | 117.65  |
| 中华小公鱼   | 3.70        | 1      | 0.04  | 0.005 | 0.01  | 0.19    |
| 棘头梅童鱼   | 3.70        | 15     | 0.66  | 0.259 | 0.50  | 4.29    |
| 叫姑鱼     | 48.15       | 351    | 15.43 | 9.248 | 17.72 | 1596.17 |
| 矛尾鰕虎鱼   | 25.93       | 113    | 4.97  | 1.320 | 2.53  | 194.48  |
| 焦氏舌鳎    | 18.52       | 19     | 0.84  | 0.197 | 0.38  | 22.59   |
| 孔鰕虎鱼    | 11.11       | 22     | 0.97  | 0.278 | 0.53  | 16.67   |
| 小带鱼     | 29.63       | 26     | 1.14  | 1.160 | 2.22  | 99.56   |
| 海鳗      | 11.11       | 3      | 0.13  | 0.657 | 1.26  | 15.44   |
| 斑头舌鳎    | 44.44       | 94     | 4.13  | 0.784 | 1.50  | 250.20  |
| 多鳞鱈     | 44.44       | 121    | 5.32  | 2.677 | 5.13  | 464.40  |
| 银鲳      | 22.22       | 12     | 0.53  | 0.056 | 0.11  | 14.22   |
| 多齿蛇鲻    | 40.74       | 106    | 4.66  | 2.498 | 4.79  | 384.99  |
| 日本瞳鲬    | 22.22       | 9      | 0.40  | 0.121 | 0.23  | 14.00   |

| 种类      | 出现频率<br>(%) | 总个体渔获量 |      | 总渔获重量 |      | IRI    |
|---------|-------------|--------|------|-------|------|--------|
|         |             | (ind)  | (%)  | (kg)  | (%)  |        |
| 龙头鱼     | 33.33       | 152    | 6.68 | 3.420 | 6.55 | 440.96 |
| 驼背鸚天竺鲷  | 7.41        | 4      | 0.18 | 0.034 | 0.06 | 1.78   |
| 鲬       | 18.52       | 23     | 1.01 | 0.419 | 0.80 | 33.52  |
| 杂食豆齿鳗   | 3.70        | 1      | 0.04 | 0.050 | 0.10 | 0.52   |
| 褐海鳗     | 14.81       | 5      | 0.22 | 0.326 | 0.62 | 12.44  |
| 黄鳍马面鲀   | 7.41        | 5      | 0.22 | 0.057 | 0.11 | 2.45   |
| 皮氏叫姑鱼   | 25.93       | 152    | 6.68 | 5.093 | 9.76 | 426.29 |
| 褐篮子鱼    | 7.41        | 4      | 0.18 | 0.138 | 0.26 | 3.26   |
| 丽鳍棘眼天竺鲷 | 11.11       | 6      | 0.26 | 0.078 | 0.15 | 4.56   |
| 黄鳍棘鲷    | 14.81       | 6      | 0.26 | 0.365 | 0.70 | 14.22  |
| 毛背鱼     | 14.81       | 6      | 0.26 | 0.114 | 0.22 | 7.11   |
| 大头狗母鱼   | 37.04       | 86     | 3.78 | 1.238 | 2.37 | 227.80 |
| 大鳞舌鳎    | 33.33       | 37     | 1.63 | 0.727 | 1.39 | 100.66 |
| 高鳍带鱼    | 29.63       | 22     | 0.97 | 1.763 | 3.38 | 128.89 |
| 舌鳎属     | 18.52       | 14     | 0.62 | 0.256 | 0.49 | 20.56  |
| 刺鲳      | 7.41        | 2      | 0.09 | 0.074 | 0.14 | 1.70   |
| 褐菖鲉     | 7.41        | 4      | 0.18 | 0.091 | 0.17 | 2.59   |
| 网纹裸胸鳝   | 7.41        | 2      | 0.09 | 0.276 | 0.53 | 4.59   |
| 中华单角鲀   | 7.41        | 2      | 0.09 | 0.102 | 0.19 | 2.07   |
| 青奇头䲢    | 7.41        | 2      | 0.09 | 0.007 | 0.01 | 0.74   |
| 棕斑兔头鲀   | 11.11       | 10     | 0.44 | 0.394 | 0.76 | 13.33  |
| 日本金线鱼   | 3.70        | 3      | 0.13 | 0.196 | 0.37 | 1.85   |
| 小黄鱼     | 3.70        | 1      | 0.04 | 0.099 | 0.19 | 0.85   |
| 峨嵋条鳎    | 7.41        | 2      | 0.09 | 0.015 | 0.03 | 0.89   |
| 李氏鰆     | 7.41        | 5      | 0.22 | 0.337 | 0.65 | 6.45   |
| 沙带鱼     | 7.41        | 5      | 0.22 | 0.147 | 0.28 | 3.71   |
| 横带棘线鲬   | 11.11       | 4      | 0.18 | 0.208 | 0.40 | 6.44   |
| 长尾弯牙海鳝  | 7.41        | 2      | 0.09 | 0.527 | 1.01 | 8.15   |
| 长丝犁突鰕虎鱼 | 7.41        | 3      | 0.13 | 0.028 | 0.05 | 1.33   |
| 黑棘鲷     | 3.70        | 1      | 0.04 | 0.103 | 0.20 | 0.89   |

### (5) 虾类资源状况

### 1) 种类组成

本次调查，捕获的虾类，经鉴定共 18 种，其中：虾类 11 种，虾蛄类 7 种。

### 2) 资源密度估算

本次调查，虾类的资源密度见表 3.3.7.3-16。由表可知，虾类平均重量密度和平均个体数量密度分别为  $139.177 \text{ kg/km}^2$  和  $12.516 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 。其中，重量密度变化范围为  $(11.077 \sim 233.979) \text{ kg/km}^2$ ，虾类个体数量密度分布范围为  $(1.871 \sim 31.097) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，本次调查中虾类重量密度资源估算最大值出现在 S20 号站位；个体数量资源密度估算最大值出现在 S41 号站位。

表 3.3.7.3-16 虾类资源密度（涉密，不公开）

### 3) 优势种

相对重要性指数 IRI 显示，本次调查海域的虾类优势种 ( $IRI > 1000$ ) 共 3 种，分别为鹰爪虾 (*Trachypenaeus curvirostris*)，伍氏平虾蛄 (*Erugosquilla woodmasoni*) 和长叉三宅虾蛄 (*Miyakea nepa*)，其中长叉三宅虾蛄 ( $IRI = 2129.48$ ) 为本次调查虾类第一优势种，其总生物渔获重量为 14.259 kg，占虾类总渔获重量的 24.48 %。总个体渔获数为 870 ind，占虾类总渔获个体数的 16.59 %（表 3.3.7.3-17）。

表 3.3.7.3-17 虾类 IRI 指数

| 种类     | 出现频率<br>(%) | 个体渔获数 |       | 渔获重量   |       | IRI     |
|--------|-------------|-------|-------|--------|-------|---------|
|        |             | (ind) | (%)   | (kg)   | (%)   |         |
| 须赤虾    | 25.93       | 247   | 4.71  | 1.672  | 2.87  | 196.55  |
| 周氏新对虾  | 40.74       | 439   | 8.37  | 3.826  | 6.57  | 608.66  |
| 角突仿对虾  | 22.22       | 496   | 9.46  | 1.742  | 2.99  | 276.64  |
| 哈氏仿对虾  | 29.63       | 270   | 5.15  | 0.631  | 1.08  | 184.59  |
| 印度明对虾  | 14.81       | 24    | 0.46  | 0.255  | 0.44  | 13.33   |
| 中国明对虾  | 14.81       | 63    | 1.20  | 1.065  | 1.83  | 44.87   |
| 墨吉明对虾  | 37.04       | 332   | 6.33  | 9.464  | 16.25 | 836.36  |
| 短沟对虾   | 3.70        | 1     | 0.02  | 0.009  | 0.01  | 0.11    |
| 鹰爪虾    | 55.56       | 854   | 16.29 | 2.291  | 3.93  | 1123.42 |
| 中华管鞭虾  | 44.44       | 580   | 11.06 | 3.634  | 6.24  | 768.81  |
| 对虾属    | 18.52       | 84    | 1.60  | 0.664  | 1.14  | 50.74   |
| 口虾蛄    | 7.41        | 30    | 0.57  | 0.441  | 0.76  | 9.86    |
| 猛虾蛄    | 37.04       | 150   | 2.86  | 0.701  | 1.20  | 150.38  |
| 日本猛虾蛄  | 29.63       | 228   | 4.35  | 6.144  | 10.55 | 441.49  |
| 条尾近虾蛄  | 29.63       | 36    | 0.69  | 0.393  | 0.67  | 40.30   |
| 伍氏平虾蛄  | 44.44       | 523   | 9.98  | 10.871 | 18.66 | 1272.76 |
| 长叉三宅虾蛄 | 51.85       | 870   | 16.59 | 14.259 | 24.48 | 2129.48 |
| 断脊小口虾蛄 | 11.11       | 16    | 0.31  | 0.185  | 0.32  | 7.00    |

## (6) 蟹类资源状况

## 1) 种类组成

本次调查，捕获的蟹类，经鉴定共 16 种。

## 2) 资源密度估算

本次调查，蟹类的资源密度见表 3.3.7.3-18。由表可知，蟹类平均重量密度和平均个体数量密度分别为  $58.528 \text{ kg/km}^2$  和  $3.484 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 。其中，重量密度变化范围为  $(6.394 \sim 191.965) \text{ kg/km}^2$ ，蟹类个体数量密度分布范围为  $(0.452 \sim 8.452) \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ ，本次调查中蟹类重量资源密度最大估算值出现在 S44 号站位；个体数量资源密度最大估算值出现在 S15 号站位。

表 3.3.7.3-18 蟹类资源密度（涉密，不公开）

## 3) 优势种

相对重要性指数 IRI 显示, 本次调查海域的蟹类优势种 (IRI>1000) 共 2 种, 分别为红星梭子蟹 (*Portunus sanguinolentus*) 和隆线强蟹 (*Portunus hastatoides*), 隆线强蟹为本次调查的蟹类第一优势种 (IRI=4013.19), 其总生物渔获重量为 6.795 kg, 占蟹类总渔获重量的 27.74 %。总个体渔获数为 723 ind, 占蟹类总渔获个体数的 49.66 % (表 3.3.7.3-19)。

表 3.3.7.3-19 蟹类 IRI 指数

| 种类     | 出现频率<br>(%) | 个体渔获数 |       | 渔获重量  |       | IRI     |
|--------|-------------|-------|-------|-------|-------|---------|
|        |             | (ind) | (%)   | (kg)  | (%)   |         |
| 直额蟳    | 7.41        | 32    | 2.20  | 0.148 | 0.60  | 20.75   |
| 钝齿蠁    | 14.81       | 12    | 0.82  | 0.352 | 1.44  | 33.47   |
| 疾进蠁    | 25.93       | 95    | 6.52  | 0.360 | 1.47  | 207.18  |
| 武士蠁    | 14.81       | 21    | 1.44  | 0.457 | 1.87  | 49.02   |
| 锈斑蠁    | 25.93       | 11    | 0.76  | 0.959 | 3.92  | 121.35  |
| 拥剑梭子蟹  | 40.74       | 101   | 6.94  | 1.152 | 4.70  | 474.21  |
| 矛形梭子蟹  | 33.33       | 67    | 4.60  | 0.257 | 1.05  | 188.31  |
| 远海梭子蟹  | 7.41        | 2     | 0.14  | 0.227 | 0.93  | 7.93    |
| 红星梭子蟹  | 48.15       | 178   | 12.23 | 9.357 | 38.20 | 2428.20 |
| 隆线强蟹   | 51.85       | 723   | 49.66 | 6.795 | 27.74 | 4013.19 |
| 阿氏强蟹   | 33.33       | 167   | 11.47 | 1.803 | 7.36  | 627.60  |
| 逍遥馒头蟹  | 22.22       | 9     | 0.62  | 1.211 | 4.95  | 123.77  |
| 看守长眼蟹  | 14.81       | 18    | 1.24  | 1.264 | 5.16  | 94.78   |
| 颗粒拟关公蟹 | 14.81       | 8     | 0.55  | 0.070 | 0.28  | 12.29   |
| 日本拟平家蟹 | 18.52       | 11    | 0.76  | 0.078 | 0.32  | 20.00   |
| 豆形拳蟹   | 3.70        | 1     | 0.07  | 0.003 | 0.01  | 0.30    |

### (7) 头足类资源状况

#### 1) 种类组成

本次调查捕获的头足类, 经鉴定共 5 种。

#### 2) 资源密度估算

本次调查, 头足类的资源密度见表 3.3.7.3-20。由表可知, 其平均重量密度和平均个体密度分别为  $3.685 \text{ kg/km}^2$  和  $0.065 \times 10^3 \text{ ind/km}^2$ 。其中, 重量密度范围为 (0~31.986)  $\text{kg/km}^2$ , 头足类重量密度最大估算捕获资源量位于 S8 站位; 个

体密度分布范围为  $(0 \sim 1.097) \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup>，个体数量密度资源的最大估算捕获站位位于 S8 号站位。

表 3.3.7.3-20 头足类资源密度（涉密，不公开）

### 3) 优势种

相对重要性指数 IRI 显示，本次调查海域并未出现头足类优势种，有出现重要种 2 种 ( $500 < IRI < 1000$ )，分别为火枪乌贼 (*Loliolus beka*) (IRI=600.58) 和日本无针乌贼 (*Sepiella japonica*) (IRI=670.42) (表 3.3.7.3-21)。

表 3.3.7.3-21 头足类 IRI 指数

| 种类     | 出现频率<br>(%) | 个体渔获数 |       | 渔获重量  |       | IRI    |
|--------|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|        |             | (ind) | (%)   | (kg)  | (%)   |        |
| 真蛸     | 7.41        | 2     | 5.00  | 0.183 | 11.83 | 124.71 |
| 火枪乌贼   | 7.41        | 19    | 47.50 | 0.517 | 33.55 | 600.58 |
| 日本无针乌贼 | 18.52       | 11    | 27.50 | 0.134 | 8.70  | 670.42 |
| 中国枪乌贼  | 3.70        | 1     | 2.50  | 0.480 | 31.11 | 124.36 |
| 太平洋褶柔鱼 | 11.11       | 7     | 17.50 | 0.228 | 14.80 | 358.85 |

**小结：**海上风场项目海洋渔业资源调查结果表明，游泳生物共捕获 94 种，其中：鱼类 55 种，虾类 18 种（其中虾蛄类 7 种），蟹类 16 种，头足类 5 种。调查海域平均重量渔获率和个体渔获率分别为 5.054 kg/h 和 333 ind/h；渔业资源平均重量密度和个体密度分别为 326.009 kg/km<sup>2</sup> 和  $21.484 \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup>；其中，鱼类平均重量密度和平均个体密度分别为 124.709 kg/km<sup>2</sup> 和  $5.419 \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup>；虾类平均重量密度和平均个体数量密度分别为 139.177 kg/km<sup>2</sup> 和  $12.516 \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup>；蟹类平均重量密度和平均个体数量密度分别为 58.528 kg/km<sup>2</sup> 和  $3.484 \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup>；头足类平均重量密度和平均个体密度分别为 3.685 kg/km<sup>2</sup> 和  $0.065 \times 10^3$  ind/km<sup>2</sup> 优势种为：姑鱼、鹰爪虾、伍氏平虾蛄、长叉三宅虾蛄、红星梭子蟹和隆线强蟹。

## 3.2.5.4 鱼卵仔鱼调查结果

### 1、2021 年 5 月

#### (1) 种类组成

在采集的样品中，共鉴定出 10 个种类，隶属于 10 科 11 属，种类名录如下：鱼卵记录到小公鱼属(*Stolephorus* sp.)、鲻科(*Mugilidae*)、鲾属(*Leiognathus*)、舌

鲳科(*Cynoglossidae*)、鲹科(*Carangidae*)、鲷科(*Sparidae*)、小沙丁鱼属(*Sardinella*)共7种，而仔稚鱼则记录到鲻科(*Mugilidae*)、眶棘双边鱼(*Ambassis gymnocephalus*)、鲬(*Platycephalus indicus*)、鲷科(*Sparidae*)、斑鱈(*Konosirus punctatus*)、鲾属(*Leiognathus*)、小公鱼属(*Stolephorus*.sp)和多鳞鰆(*Sillago sihama*)，共8种。

本次调查共采获鱼卵564粒，仔稚鱼39尾。鱼卵数量以鲷科最多，占鱼卵总数的25.00%，其次是小公鱼属占总数的14.89%，鲾属占10.46%，鲹科占7.09%，舌鳎科占6.21%，小沙丁鱼属占5.67%，鲻科占2.30%。仔稚鱼数量以鲷科数量最多，占51.28%，其次是小公鱼属占30.77%，多鳞鰆占5.13%，鲻科、眶棘双边鱼、鲬、鲾属和斑鱈分别均占2.56%。出现的经济种类有多鳞鰆、小公鱼和鲷科等鱼类。

## (2) 数量分布

调查14个断面共采到鱼卵564粒，仔稚鱼39尾，依此计算出调查区域鱼卵平均密度为158粒/1000 m<sup>3</sup>，处于较低水平。在调查期间14个断面均有采到鱼卵，数量分布差别一般。以SF2断面数量最多，密度为428粒/1000 m<sup>3</sup>，其次是SF1断面密度为412粒/1000 m<sup>3</sup>，以SF10断面数量最少鱼卵为35粒/m<sup>3</sup>，详见表3.3.7.4-1。

仔稚鱼采获数量一般，所有断面均有出现，平均密度为11尾/1000 m<sup>3</sup>，处于较低水平，以SF1断面数量最多，密度为27尾/1000 m<sup>3</sup>，其次是SF2断面，密度为16尾/1000 m<sup>3</sup>，最低密度是SF4和SF12断面，密度均为4尾/1000 m<sup>3</sup>。

表3.3.7.4-1 各站位鱼卵仔鱼密度(涉密，不公开)

## (3) 主要种类的数据分布

### 1) 鲷科

鲷科鱼类不同的种，其栖息地变化也不同；有主要栖息于低层砂泥底或岩礁底，从河口、海湾、近岸乃至大陆架较深均可见其踪迹，珊瑚环礁海域亦可发现某些鲷科鱼类。喜集成小群觅食。杂食性，主要以底栖甲壳动物、软体动物、棘皮动物或海藻为食，偶尔捕食小鱼。雌雄同体，且会性转变，先雌后雄型与先雄后雌型两种形态型均有。通常在河口域产卵。本次调查出现的鲷科鱼卵共有141粒，在14个断面均有出现，平均密度为40粒/1000 m<sup>3</sup>，占本次调查鱼卵总密度的25.00%；仔鱼20尾，在14个断面除SF4外均有出现。鲷科鱼卵在调查海域分布以SF1站数量最多，密度为94粒/1000 m<sup>3</sup>。

## 2) 小公鱼

小公鱼是沿岸至近海的小型中上层鱼类，集群生活，数量较大，产卵期长，为3~11月，本属有多个种类，优势种为中华小公鱼。本次调查出现的小公鱼鱼卵共有104粒，在其中14个断面除SF4、SF10和SF14外均有出现，平均密度为24粒/1000m<sup>3</sup>，占本次调查鱼卵总密度的14.89%；仔鱼12尾，在14个断面除SF2、SF12、SF13和SF14外均有出现。小公鱼鱼卵在调查海域分布以SF1站数量最多，密度为79粒/1000m<sup>3</sup>。

## 3) 鲱属

鲳属，分布于红海、印度洋、南洋群岛、澳大利亚北部、台湾岛以及中国南海等海域，主要栖息于沿岸砂泥底质水域，大多栖息于浅水域，水深约在1~40公尺之间，有时会进入深水域，有时会进入河口区。一般在底层活动觅食，肉食性，以底栖生物为食。本次调查出现的鲳属鱼卵共有59粒，在14个断面除SF5、SF8、SF11和SF13外均有出现，平均密度为17粒/1000m<sup>3</sup>，占本次调查鱼卵总密度的10.46%；仔鱼1尾，在SF14断面出现。鲳属鱼卵在调查海域分布以SF1站数量最多，密度为59粒/1000m<sup>3</sup>。

**小结：**海上风场项目海洋鱼卵仔鱼资源调查结果表明，鱼卵和仔稚鱼共鉴定出11个种类，隶属于10科11属，鱼卵和仔稚鱼数量均以鲷科最多。调查海域鱼卵平均密度为158粒/1000m<sup>3</sup>，处于较低水平，仔稚鱼平均密度为11尾/1000m<sup>3</sup>，处于较低水平。

## 2、2021年11月

### (1) 种类组成

在采集的54个样品中，共出现鱼卵仔稚鱼14种类群，其中鲱形目6种；鲈形目7种；灯笼鱼目1种（表3.3.7.4-2）。

表3.3.7.4-2 调查海区鱼卵仔稚鱼种类组成

| 序号 | 纲目类群 | 品种  | 拉丁名                | 鱼卵 | 仔稚鱼 |
|----|------|-----|--------------------|----|-----|
| 1  | 鲈形目  | 鲹科  | Carangidae         | +  |     |
| 2  | 鲈形目  | 鲷科  | Sparidae           | +  |     |
| 3  | 鲱形目  | 棱鳀属 | <i>Thryssa</i> sp. | +  |     |
| 4  | 鲱形目  | 鳀科  | Engraulidae        | +  |     |
| 5  | 鲱形目  | 鲱科  | Clupeidae          | +  |     |

|    |      |        |                            |   |   |
|----|------|--------|----------------------------|---|---|
| 6  | 鲈形目  | 鲾属     | <i>Lepidotrigla</i> sp.    | + |   |
| 7  | 鲈形目  | 叫姑鱼属   | <i>Johnius</i> sp.         |   | + |
| 8  | 鲈形目  | 竹筴鱼    | <i>Trachurus japonicus</i> |   | + |
| 9  | 鲈形目  | 棘头梅童鱼  | <i>Collichthys lucidus</i> |   | + |
| 10 | 鲱形目  | 青鳞小沙丁鱼 | <i>Sardinella zunasi</i>   |   | + |
| 11 | 鲈形目  | 二长棘鲷   | <i>Paerargyrops edita</i>  |   | + |
| 12 | 鲱形目  | 钝魣     | <i>Sphyraena obtusata</i>  |   | + |
| 13 | 灯笼鱼目 | 长蛇鲻    | <i>Saurida elongata</i>    |   | + |
| 14 | 鲱形目  | 汉氏棱鳀   | <i>Thryssa hamiltonii</i>  |   | + |

## (2) 数量分布

### ①水平拖网（定性）

本次水平拖网调查共采到鱼卵 788 粒，仔稚鱼 130 尾。调查海区的鱼卵平均密度为 0.233 ind/m<sup>3</sup>，采获鱼卵数量密度最高为 S36 号站位，为 0.528 ind/m<sup>3</sup>，调查期间 20 个调查站中采到鱼卵，鱼卵出现率为 74.07%，鱼卵密度变化范围在 0~0.528 ind/m<sup>3</sup>（表 3.3.7.4-3）。

仔稚鱼在 10 个调查站中有采集到，出现率为 37.04%，仔稚鱼的平均密度为 0.039 ind/m<sup>3</sup>（表 3.3.7.4-3）。

表 3.3.7.4-3 鱼类浮游生物密度及其分布（水平拖网）（涉密，不公开）

### ②垂直拖网（定量）

本次垂直拖网调查共采到鱼卵 20 粒，仔稚鱼 6 尾。调查海区的鱼卵平均密度为 0.113 ind/m<sup>3</sup>，采获鱼卵数量密度最高为 S4 号站位，为 1.05 ind/m<sup>3</sup>，调查期间鱼卵在 4 个调查站中有出现，出现率为 33.33%（表 3.3.7.4-4）。

仔稚鱼在 6 个调查站中有出现，出现率为 22.22%，仔稚鱼的平均密度为 0.028 ind/m<sup>3</sup>（表 3.3.7.4-4）。

表 3.3.7.4-4 鱼类浮游生物密度及其分布（垂直拖网）（涉密，不公开）

## (3) 主要种类及数量分布

### ①水平拖网（定性）

鲷科鱼卵是本次定性调查的主要种类，调查海域的鲷科鱼卵密度为 1.712 ind/m<sup>3</sup>，占本次调查鱼卵总数的 27.16%，在 27 个调查站中有 8 个站位检出，出现频率为 29.63%，其中鱼卵密度最高值出现在 S42 站位。

本次水平拖网调查中仔稚鱼种类分布的较为分散。主要种类为叫姑鱼属，调

查海域密度为 0.352 ind/m<sup>3</sup>，占总密度的 33.85%。

## ②垂直拖网（定量）

在本次垂直拖网中共捕获鲷科鱼卵 6 粒，鲱鱼鱼卵 4 粒，密度分别为 0.73 ind/m<sup>3</sup> 和 0.90 ind/m<sup>3</sup>，鲷科鱼卵和鲱科鱼卵出现频率分别为 18.52% 和 7.41%。

垂直拖网中棘头梅童鱼仔稚鱼出现较多，密度为 0.26 ind/m<sup>3</sup>。

**小结：**海上风场项目海洋渔业资源调查结果表明，鱼卵和仔稚鱼共鉴定出 14 个种类。调查海域水平拖网鱼卵平均密度为 0.233 ind/m<sup>3</sup>，处于较低水平，仔稚鱼平均密度为 0.039 ind/m<sup>3</sup>，处于较低水平。调查海域垂直拖网鱼卵平均密度为 0.113 ind/m<sup>3</sup>，处于较低水平，仔稚鱼平均密度为 0.028 ind/m<sup>3</sup>，处于较低水平。

## 3.3 自然资源概况

### 3.3.1 港口资源

根据《汕尾港总体规划》(报批稿)(2013 年 5 月)，项目所在海域为汕尾港，南侧为陆丰港区，西侧分布有汕尾新港区、汕尾港区、海丰港区。

汕尾港地处惠州市与揭阳市之间沿海，毗邻港澳，是华南地区便捷的海上门户，区位优势明显自然条件优越，水陆交通方便。1962 年，汕尾港成为我国率先对外开放的 16 个港口之一，经过 40 几年的发展，汕尾港现有汕尾、汕尾新(红海湾)、海丰和陆丰 4 个港区，其中汕尾港区为国家一类口岸，陆丰港区为国家二类口岸。汕尾新港区已于 2009 年 11 月 20 日由国务院批准作为对外开放的口岸，该口岸现正在进行配套设施建设，迎接国家、省主管部门的检查和验收。进入二十一世纪后，招商引资力度逐渐加大，大型企业开始纷纷落户汕尾，港口发展得到进一步的加强，特别是大型深水泊位开始出现，汕尾新港区建成了汕尾电厂 70000DWT 散货泊位，海丰港区建成了华城 3000DWT 石化泊位。

目前，汕尾港全港有码头泊位 28 个，其中，70000DWT 级泊位 1 个、5000DWT 级泊位 4 个、1000~5000DWT 级泊位 18 个，1000DWT 级以下泊位 5 个。2011 年汕尾港吞吐量为 563.9 万 t。

汕尾港各港区的发展现状如下：

#### (1) 陆丰港区

该港区现共有码头泊位 5 个，其中 5000DWT 级泊位 2 个，1000DWT 级以

下泊位 3 个；设计年综合通过能力 55 万 t。

#### (2) 汕尾新港区（红海湾）

该港区现共有泊位 7 个，包括 1 个 70000DWT 泊位、2 个 3000DWT 泊位、2 个 2000DWT 泊位和 2 个 1000DWT 泊位，设计年综合通过能力 638.8 万 t。

#### (3) 汕尾港区

该港区现共有码头泊位 14 个，其中 5000DWT 级泊位 2 个，1000~5000DWT 级泊位 10 个，1000DWT 级以下泊位 2 个；设计年综合通过能力 180 万 t。

#### (4) 海丰港区

该港区现共有泊位 2 个，包括 1 个 3000DWT 泊位和 1 个 1000DWT 级泊位；设计年综合通过能力 113 万 t。



图 3.3.1-1 汕尾港港区分布图

### 3.3.2 航道资源

#### (1) 汕尾港航道

根据《汕尾港总体规划》(报批稿)(2013 年 5 月)，汕尾港航道主要有汕尾作业区航道(自 1#航标~5#航标)、汕尾作业区内航道、马宫作业区航道、后门作业区航道、甲子作业区航道(自西方位标~航道)、碣石作业区航道和乌坎作业区航道。航道具体情况见图 3.3.2-1 所示。



图 3.3.2-1 汕尾港附近航道图

**汕尾港航道：** 汕尾港航道分港外航道和港内航道两部分①**汕尾港外航道：** 自引航锚地至三点金灯桩东南 0.5 海里处，为人工疏浚航道，全长 2.55 海里，设计航道底宽 75m，基准水深-5.2~7.0m，可供 5000 吨级船舶进出港。②**汕尾港内航道：** 由沙舌北端至港内东端码头之间的水道（即涨落潮流冲刷的深槽线），可航水域宽 100m~200m，泥沙底，设有港内引航灯桩。自然航道，基准水深在 -3.5~7.0m。

**马宫港航道：** 自然航道，基准水深-3.0~-4.5m，可航水域宽度 120m，泥沙底；

**鲘门港航道：** 自然航道，基准水深-2.8~-4.5m，可航水域宽 120m，泥沙底；

**甲子港航道：** 长度为 1.46 海里，水深最浅处为-2.8m，可航水域最窄处约为 60m，泥沙底；

**碣石港航道：** 长度为 2.8 海里，水深最浅处为-5.1m，可航水域最窄处为 60m，泥沙底；

**乌坎港航道：** 航道为人工疏浚航道，自 22°52'26"N/115°39'42"E 处入口至乌坎码头总长度为 1.13 海里，基准水深-2.7~6.0m，泥沙底。

**红海湾发电厂码头航道：** 航道总长 2.22 海里，其中外航道（北拦沙堤堤头

以外) 1.72 海里, 内航道(北拦沙堤堤头至港池) 0.5 海里, 航道水深 15.7m, 宽 300m。

### 3.3.3 锚地资源

本项目所在区域不涉及规划锚地和现存锚地。汕尾港总体规划现有锚地与规划锚地一致, 共 15 个锚地, 位置如下表 3.3.3-1 所示。

表 3.3.3-1 汕尾港锚地规划表

| 序号 | 名称         | 中心地点                         | 半径<br>(海里) | 用途             |
|----|------------|------------------------------|------------|----------------|
| 1  | 大型船舶临时避风锚地 | 115°13'00.00", 22°37' 00.00" | 2          | 避风、防台          |
| 2  | 过驳锚地       | 115°17'30.00", 22°40' 00.00" | 2          | 侯泊、过驳、防台       |
| 3  | 引航锚地       | 115°13'00.00", 22°44' 30.00" | 1          | 引航、防台          |
| 4  | 检疫锚地       | 115°16'30.00", 22°45' 30.00" | 0.5        | 检疫、防台          |
| 5  | 装运危险货物船舶锚地 | 115°17'36.00", 22°46' 18.00" | 0.5        | 装运危险货物船<br>舶侯泊 |
| 6  | 检疫锚地       | 115°09'00.00", 22°45' 60.00" | 0.5        | 检疫、防台          |
| 7  | 装运危险货物船舶锚地 | 115°07'48.00", 22°45' 60.00" | 0.5        | 装运危险货物船<br>舶侯泊 |
| 8  | 引航检疫锚地     | 115°31'60.00", 22°38' 00.00" | 1          | 引航、检疫、防台       |
| 9  | 大型船舶临时避风锚地 | 115°41'00.00", 22°40' 00.00" | 2          | 避风、防台          |
| 10 | 过驳锚地       | 115°41'00.00", 22°45' 00.00" | 2          | 过驳、侯泊、防台       |
| 11 | 引航检疫锚地     | 115°45'00.00", 22°47' 00.00" | 0.5        | 引航、检疫、防台       |
| 12 | 引航检疫锚地     | 115°40'00.00", 22°49' 60.00" | 0.5        | 引航、检疫、防台       |
| 13 | 引航检疫锚地     | 116°04'23.00", 22°49'        | 0.5        | 引航、检疫、防台       |

| 序号 | 名称     | 中心地点                            | 半径<br>(海里) | 用途       |
|----|--------|---------------------------------|------------|----------|
|    |        | 54.00"                          |            |          |
| 14 | 引航检疫锚地 | 115°07'40.00", 22°38'<br>60.00" | 0.5        | 引航、检疫、防台 |
| 15 | 引航检疫锚地 | 115°09'00.00", 22°36'<br>00.00" | 1          | 引航、检疫、防台 |

### 3.3.4 滨海旅游资源

汕尾市海岸线上分布着众多沙滩、奇岩、岛礁、古迹等滨海迷人风光，“神、海、沙、石”兼备，具有“阳光、沙滩、海水、空气、绿色”5个旅游资源基本要素，历史、人文内容也十分丰富，适于开发观光旅游、购物旅游、宗教旅游。金厢、遮浪、捷胜等地海滩连绵，安全系数高、沙质细软，海水水质好，开发滨海旅游条件得天独厚，是海水浴场、日光浴场、水上运动场优良场所，其中以遮浪和金厢旅游资源开发潜力最大。遮浪山、海、湖、角风光旖旎，是国家重点海水浴场之一；观音岭金厢滩沙白、水清、浪小，岭前奇石众多，是一个理想的滨海度假胜地。龟龄岛、小岛等海岛风光旅游资源也具有很大的开发潜力。

### 3.3.5 风能资源

由于本工程海上风电场的专用海上测风设备尚未建设，场址内尚无实测资料可以利用，本节风能资源引用惠州港口海上风电场测风塔测风资料和统计分析成果。

该区域测风塔测风年不同高度年平均风速在 6.60~6.89m/s 之间，年平均风功率密度在 327.3~363.2W/m<sup>2</sup> 之间。测风塔测风年的年内变化较大，以 90m 为例，各月风速年内变化范围为 5.78~8.14m/s，风功率密度为 192.2~449.6W/m<sup>2</sup>。3 月平均风速最大，该月平均风速是年平均风速的 1.18 倍，该月平均风功率密度是年平均风功率密度的 1.24 倍；5 月平均风速最小，该月平均风速是年平均风速的 0.84 倍，该月平均风功率密度是年平均风功率密度的 0.53 倍。

该区域风资源较好，风向较稳定。风电场有效风速利用小时高，风电场风速风能分布比较集中。风功率密度年内变化相对较大，而日变化幅度较小，湍流强度和风切变指数均较小。

### 3.3.6 “三场一通道”分布情况

根据农业部公告第 189 号《中国海洋渔业水域图》(第一批) 南海区渔业水域图(第一批), 南海区渔业水域及项目所在海域“三场一通”情况如下。

#### (1) 南海鱼类产卵场

南海鱼类产卵场分布见图 3.3.6-1 和图 3.3.6-2, 本工程海域不在南海中上层鱼类产卵场内, 也不在南海底层、近底层鱼类产卵场内。

#### (2) 南海北部幼鱼繁育场保护区

南海北部幼鱼繁育场保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线水域(图 3.3.6-3), 管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内。

#### (3) 南海区幼鱼、幼虾保护区

广东省沿岸由粤东的南澳岛至粤西的雷州半岛徐闻县外罗港沿海 20 米水深以内的海域均为南海区幼鱼、幼虾保护区, 保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日。本项位于南海区幼鱼、幼虾保护区内。主要功能为渔业水域, 保护内容为水质和生态。保护区性质为幼鱼幼虾保护区非水生生物自然保护区和水产种质资源保护区。在禁渔期间, 禁止底拖网渔船、拖虾渔船进入上述海域内生产。

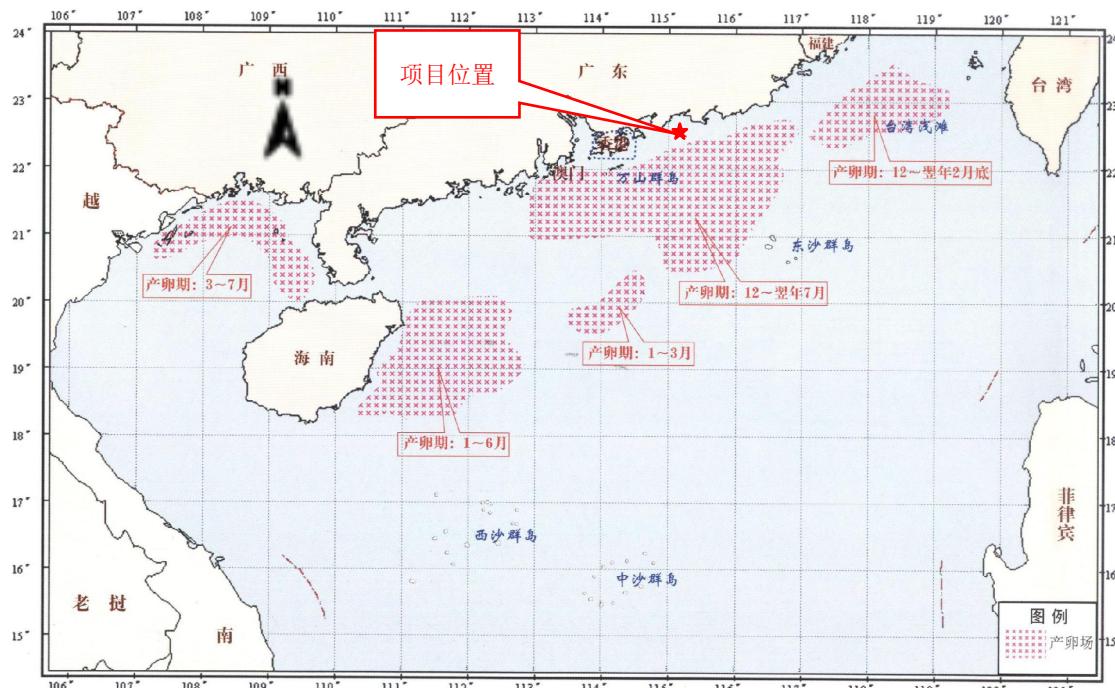


图 3.3.6-1 南海中上层鱼类产卵场示意图

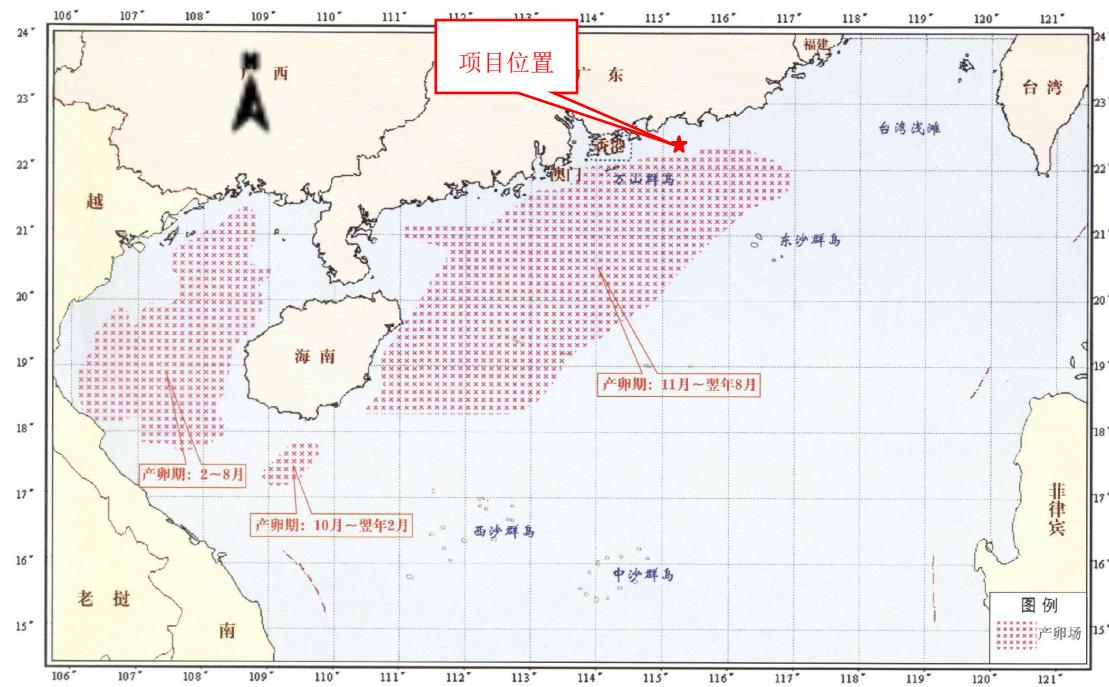


图 3.3.6-2 南海底层、近底层鱼类产卵场示意图

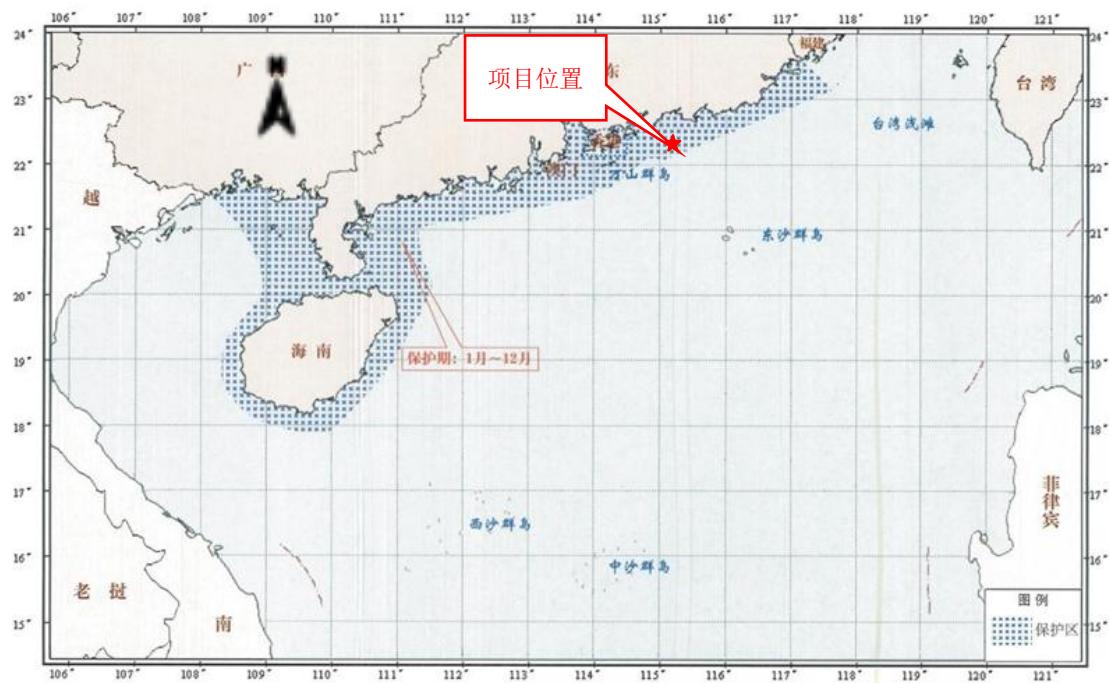


图 3.3.6-3 南海北部幼鱼繁育场保护区范围示意图

## 3.4 开发利用现状

### 3.4.1 社会经济概况

#### 3.4.1.1 汕尾市社会经济概况

汕尾市位于广东省东南部沿海，莲花山南麓，珠江三角洲东岸，与台湾一水之隔，为海峡西岸经济区连接粤港澳大湾区桥头堡。汕尾市东邻揭阳市惠来县，西连惠州市惠东县，南濒南海，临红海湾和碣石湾，北接梅州市五华县和河源市紫金县，总面积 4865.05 平方公里（包括深汕合作区）。大陆沿海岸线（包括深汕合作区）长 455.2 公里，占全省岸线长度的 11.1%。大陆架内（即 200 米水深以内）海域面积（包括深汕合作区）2.39 万平方公里，相当于陆地面积的 4.5 倍。

根据广东省地区生产总值统一核算结果，2022 年，汕尾地区生产总值为 1322.02 亿元，同比增长 1.5%。其中，第一产业增加值为 187.40 亿元，同比增长 7.2%；第二产业增加值为 490.90 亿元，同比下降 0.7%；第三产业增加值为 643.72 亿元，同比增长 1.5%。2022 年，全市规模以上工业实现增加值 196.97 亿元，同比下降 6.3%。其中大中型企业下降 12.2%。从轻重工业看，重工业增长 18.3%，轻工业下降 31.1%。从主要行业看，电气机械和器材制造业增长 27.6%，电力、热力生产和供应业增长 25.8%，非金属矿物制品业增长 14.4%，通用设备制造业增长 11.1%，纺织服装、服饰业增长 4.6%，计算机、通信和其他电子设备制造业增长 12.7%，文教、工美、体育和娱乐用品制造业下降 55.2%。从现代产业看，高技术制造业增加值 53.88 亿元，增长 7.6%；先进制造业增加值 84.17 亿元，增长 7.4%。从用电情况看，全社会用电量 75.51 亿千瓦时，增长 2.2%；其中工业用电量 25.89 亿千瓦时，增长 1.4%。

#### 3.4.1.2 海洋产业发展现状

根据《汕尾市海洋经济发展“十四五”规划》，汕尾市海洋经济保持良好发展势头。传统优势海洋产业实力得到增强，海洋新兴产业有所起步。现代海洋渔业稳定发展，建成省级水产良种场 2 个、养殖示范场 5 个、海洋牧场 3 个、渔港码头 2 个，以垂钓、旅游、餐饮、观光为主的休闲渔业成为新的渔业经济增长点。2020 年全市海水产品产量 53.75 万吨，海水产品产值 98.93 亿元，占全省的比重

分别为 11.9% 和 12.5%。临海工业持续推进，年发电能力 100 亿千瓦时的陆丰甲湖湾电厂新建工程建成投产，明阳智能汕尾海上高端装备制造基地正式投产，后湖海上风电场接入系统工程顺利投运，产能规模按年均 76 万千瓦配套设备能力规划设计汕尾海洋工程基地（陆丰）项目开工建设，甲子、后湖海上风电场项目均完成核准批复。海洋船舶工业不断发展，拥有船舶修造生产基地 12 家，建成包括船舶制造、维修、服务的上下游产业链，渔船升级改造及减船转产项目持续推进。海洋生物产业创新发展，建成年生产加工量 500 吨的鱼胶原蛋白肽粉产业链基地。海洋旅游业蓬勃发展，建设完善市区城市游憩旅游区、红海湾海洋运动旅游区等多个沿海旅游景点。2019 年接待过夜人数和旅游总收入较 2015 年分别增长 32.8% 和 62.5%。海洋交通运输业稳步发展，2020 年汕尾港货物吞吐量达 1273.7 万吨，2016-2020 年均增长率约为 9.2%。

汕尾市海洋经济空间布局持续优化。红海湾主要布局滨海旅游、海洋牧场、海产品加工产业，建有保利金町湾旅游度假区、红海湾旅游度假区、晨洲村生蚝养殖加工基地等。碣石湾主要布局临海工业、海洋文化旅游等产业，拥有汕尾海洋工程基地（陆丰）、宝丽华集团能源基地、中广核核电项目基地、金厢滩红色旅游区等，初步形成了西部以海洋生物、海洋休闲旅游、现代渔业为主，东部以海工装备、电力能源为主的滨海优势产业发展带。

### 3.4.1.3 海上风电行业的发展状况

汕尾市依托丰富岸线和广阔腹地，大力发展战略性新兴产业，积极规划建设汕尾 LNG 接收站项目，重点推进陆丰核电、粤东天然气主干管网惠州—海丰干线、甲湖湾电厂 3、4 号机组扩建工程和陆丰后湖、甲子、碣石海上风电场等项目规划建设，实现后湖海上风电场全场并网发电，新增推进红海湾海上风电场项目规划建设，打造全省乃至全国重要的电力能源生产基地。目前，汕尾后湖、甲子一、甲子二海上风电场共 140 万千瓦已实现全容量并网，标志着全国最大的平价海上风电场建成投运，成为粤东地区首个超百万千瓦级海上风电基地。“十四五”期间，汕尾规划布置了共计 3435 万千瓦的海上风电场址，将打造汕尾千万千瓦海上风电基地，再造一个“海上三峡”。

### 3.4.2 海域开发利用现状

本项目场址位于汕尾市附近海域，项目相关人员对选址及周边进行了现场踏勘，结合搜集到的资料和遥感影像，本项目风电场周边海域开发利用活动较少，现状主要有海上风电项目、航道、航路、锚地、海底光缆等。汕尾红海湾海上风电场项目总装机容量为 1000MW，拟分两期建设，为一期项目、二期项目，本项目为二期项目，一期项目位于本项目北侧。项目所在海域海洋开发利用活动见表 3.4.2-1 和图 3.4.2-1。

表 3.4.2-1 项目周边海域开发利用现状信息表

| 序号 | 名称                         | 位置关系       | 用海方式         | 备注   |
|----|----------------------------|------------|--------------|------|
| 1  | 明阳汕尾红海湾一期海上风电场项目           | 北侧，紧邻      | 透水构筑物、海底电缆管道 | 拟申请  |
| 2  | 亚太直达（APG）国际海底光缆中国南海海域段工程项目 | 南侧， 13.3km | 海底电缆管道       | 已有权属 |
| 3  | C2C 海底光缆 S2A 段             | 南侧， 5.0km  | 海底电缆管道       | 已有权属 |
| 4  | 外海习惯航路                     | 北侧， 11.4km | -            | 航路   |

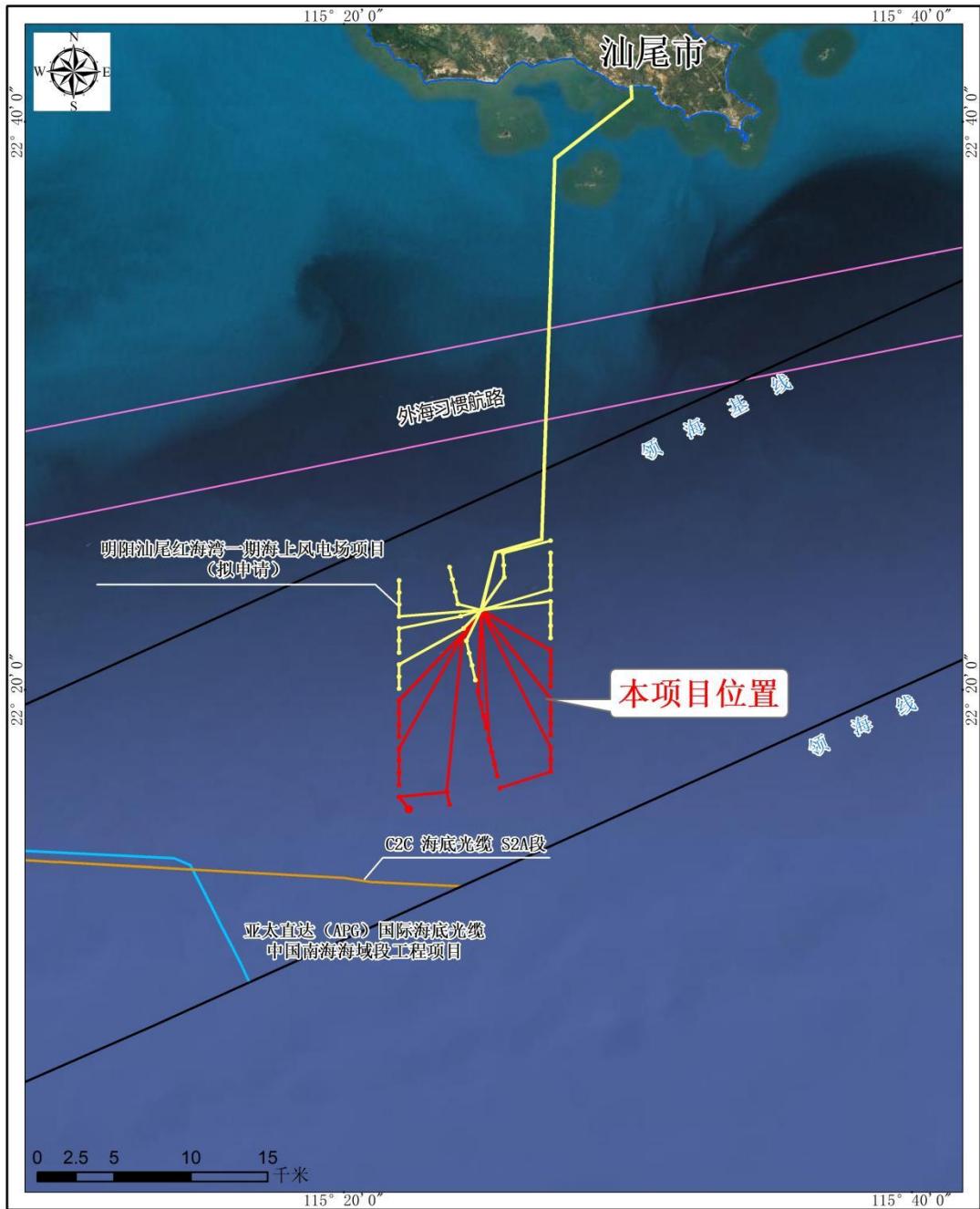


图 3.4.2-1 项目周边海域开发利用现状图

### 1、明阳汕尾红海湾一期海上风电场项目（拟建）

明阳汕尾红海湾海上风电场项目总规划容量为 1000MW，拟分两期建设，分别为一期项目和二期项目。一期项目位于本项目北侧，拟布置 32 台 16.0MW 的固定式风电机组，风电机组发出电能通过 8 回 66kV 集电海底电缆接入海上升压站，两期工程共用一个升压站，升压站位于一期项目场址范围内，升压后通过 2 回 500kV 海底电缆输送到陆上集控中心。

### 2、亚太直达 (APG) 国际海底光缆中国南海海域段工程项目

亚太直达国际海底光缆（简称APG系统）位于本项目风电场南侧约13.3km，是一条连接东北亚-东南亚的海底光缆系统。该光缆系统由中国电信、中国联通、中国移动、中华电信、日本NTTCom、韩国电信、韩国LGUplus、越南VNPT、越南VIETTEL、马来西亚TDC、新加坡STARHUB和美国FACEBOOK等公司共同投资建设。APG海底光缆共分为18段，系统设计总长约10369km，于2014年建成投产。APG光缆中国南海海域段涉及S6、S1.5、S1.6、S1.7及S7共5段，其中S6段在中国香港登陆、S7段在越南登陆，中国管辖海域内海底光缆总长約2979.57km（其中香港海域内34.88km）。海底光缆位于中国南海，南海地理坐标大体位于 $2^{\circ}30'S \sim 23^{\circ}30'N$ ,  $99^{\circ}10'S \sim 121^{\circ}50'N$ 之间，是西太平洋较大的边缘海。最深者，中部海盆达4200m，最深点在马尼拉海沟南侧，深5377m。

### 3、C2C海底光缆S2A段

C2C海底光缆系统S2A段工程位于本项目风电场南侧约5.0km，所有者为PacnetCable(HK)Limited，总长度616.2km，为城市到城市间海底光缆，City-to-City Cable System，使用密集波分复用技术，设计最高能提供每秒7.68Tbit的流量。主要由东亚沿海南北环两部分构成。EAC及C2C的合并网络全长3.68万公里，连接了中国大陆、香港、日本、韩国、台湾、新加坡和菲律宾等地区，容量为每秒10.24Tbps。透过EAC-C2C系统，可以大大增强亚洲网通的据点及其海缆登陆站的抗御能力。中国大陆入境地点为上海和青岛。

### 4、外海习惯航路

根据《全国沿海航路总体规划》中沿海推荐航路及粤东沿海定线制规划方案。本项目风电场北侧北侧 11.4km 为粤东沿海定线制规划航路为中小型船舶推荐航路，宽 3 海里。南下船舶经石碑山角南警戒区后，经西南分隔带 9 海里，航向 250，航程约 31 海里。

#### 3.4.3 海域使用权属现状

在本论证范围内的已确权用海项目目前有亚太直达（APG）国际海底光缆中国南海海域段工程项目、C2C海底光缆S2A段。

各确权项目的权属信息如下：

表 3.4.3-1 确权项目权属信息

| 序号 | 项目名称                       | 使用权人                      | 证书编号                 | 用海类型（一级类） | 用海类型（二级类） | 起始日       | 终止日       | 用海方式（面积）           |
|----|----------------------------|---------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| 1  | 亚太直达(APG)国际海底光缆中国南海海域段工程项目 | 中国移动通信集团公司                | 2015A44030<br>801182 | 海底工程用海    | 电缆管道用海    | 2015/6/23 | 2040/6/22 | 海底电缆管道(173.9637公顷) |
| 2  | C2C 海底光缆 S2A 段             | Pacnet Cable (HK) Limited | 111100018            | /         | /         | 2011/3/22 | 2026/1/26 | 海底电缆管道(373.14公顷)   |

# 4 项目用海资源环境影响分析

## 4.1 项目用海环境影响分析

### 4.1.1 对水文动力环境的影响分析

场址水深介于 35m~50m，为预测风电建设和施工期悬浮泥沙对水质环境的影响，依据《海洋工程环境影响评价技术导则》附录 D 要求，采用 sigma 坐标系 ECOMSED 斜压三维潮流动力方程模拟该区的海流状况。

#### 4.1.1.1 数值网格形式

模拟季风环流影响下潮流的小区域为  $21.85^{\circ}\sim22.9^{\circ}\text{N}$ ,  $114.08^{\circ}\sim116.15^{\circ}\text{E}$ ，采用矩形变网格，粗网格步长为  $0.15'$ ，加密区域为  $22.20^{\circ}\sim22.8^{\circ}\text{N}$ ,  $115.15^{\circ}\sim115.6^{\circ}\text{E}$ ，加密区网格  $0.025'$  ( $42.8\text{m}\times46.3\text{m}$ )，垂向为 sigma 坐标下分 6 层，层次为  $0\sim0.2\text{H}$  (表层)、 $0.2\text{H}\sim0.4\text{H}$  (次表层)、 $0.4\text{H}\sim0.6\text{H}$  (中层)、 $0.6\text{H}\sim0.8\text{H}$  (次底层)、 $0.8\text{H}\sim0.99\text{H}$  (底层)、 $0.99\text{H}\sim1.0\text{H}$  (悬沙与海床交换边界层)。

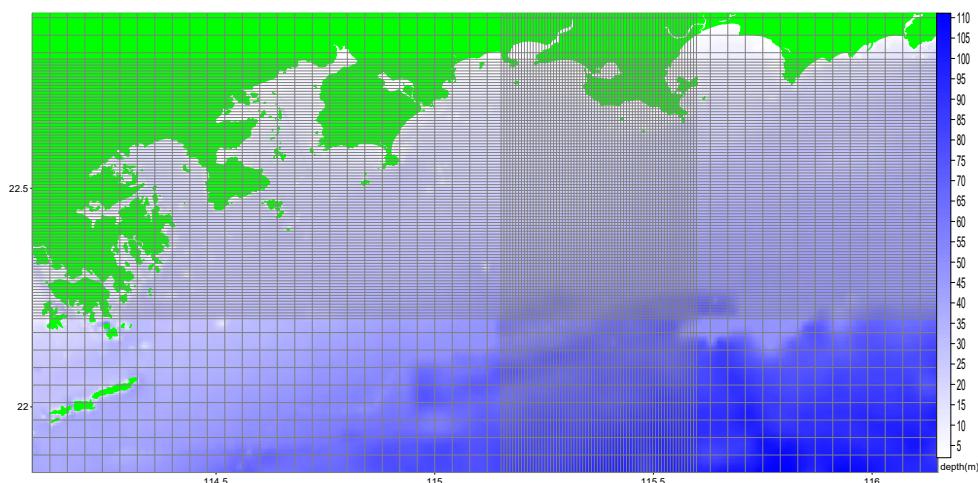


图 4.1.1-1 小区模拟区域（每 15 个网格绘制一个网格）

#### 4.1.1.2 三维水动力模式

小区不考虑海水与大气、海床的热盐交换，sigma 坐标下三维斜压 ECOMSED 潮流模型控制方程组：

- (1) 潮流动力方程组

$$\begin{aligned}
& \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta} \quad D = H + \eta \quad z = \eta, \sigma = 0; \quad z = -H, \sigma = -1 \\
& \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial u D}{\partial x} + \frac{\partial v D}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \sigma} = 0 \\
& \frac{\partial u D}{\partial t} + \frac{\partial u^2 D}{\partial x} + \frac{\partial u v D}{\partial y} + \frac{\partial u w}{\partial \sigma} - f v D + g D \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{A_M}{D} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right] \\
& - \frac{g D^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{g D}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma + F_x \\
& \frac{\partial v D}{\partial t} + \frac{\partial u v D}{\partial x} + \frac{\partial v^2 D}{\partial y} + \frac{\partial v w}{\partial \sigma} + f u D + g D \frac{\partial \eta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{A_M}{D} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right] \\
& - \frac{g D^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma + \frac{g D}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{\sigma}^0 \sigma \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma \\
& F_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[ 2 D A_H \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ D A_H \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\
& F_y = \frac{\partial}{\partial y} \left[ 2 D A_H \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ D A_H \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]
\end{aligned}$$

其中：

H—平均海平面下水深(m)

$\eta$ —平均海平面起算水位 (m)

$u$ —x 方向 (东方向) 流速 (m/s)

$v$ —y 方向 (北方向) 流速 (m/s)

$w - \sigma$  坐标系流速 (m/s), 方向为等  $\sigma$  线的法线方向, 它与三维直角坐标系下垂向流速 W 的关系为:

$$w = W - u \left( \sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - v \left( \sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) - \left( \sigma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \eta}{\partial t} \right)$$

$f$ —科氏参数

$A_H$ —水平湍流粘滞系数采用 Smagorinsky 公式计算。

$A_M$ —垂直湍流粘滞系数, 由求解 Mellor-Yamada 双方程湍动能封闭模型获得。

$\rho_0$  为参考密度, 取  $1025 \text{ kg/m}^3$ ;  $\rho$  为海水密度, 由海水状态方程计算。

(2) 温盐运输扩散方程为:

$$\frac{\partial C D}{\partial t} + u \frac{\partial C D}{\partial x} + v \frac{\partial C D}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_M \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_M D \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( K_v \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right)$$

其中, C 分别代表温度或盐度。 $K_M$  为水平扩散系数同样采用 Smagorinsky

公式计算， $K_v$  为垂向扩散系数，由双方程湍动能封闭模型求得。

(3) 初始条件：初始速度场，水位场(开边界除外)均为 0。初始温盐资料采用当季 (WOA, 2013) 温盐资料

(4) 边界条件：

①在自由表面上 ( $\sigma = 0$ )：

$$w(0)=0$$

$\rho_0 K_M \left( \frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = (\tau_{ax}, \tau_{ay})$ ， $\tau_{ax}, \tau_{ay}$  为海表风应力在 x、y 方向上的分量，表达式为：

$$\bar{\tau}_a = \rho_a C_D |\vec{W}_a| \vec{W}_a$$

其中， $W_a$  为风速 (m/s)， $\rho_a$  为空气密度， $C_D$  为风曳力系数，采用 ECOM 公式：

$$C_D = \begin{cases} 1.2 \times 10^{-3} & |\vec{W}_a| \leq 11 \text{ (m/s)} \\ (0.49 + 0.065 |\vec{W}_a|) \times 10^{-3} & 11 < |\vec{W}_a| \leq 25 \text{ (m/s)} \\ 2.1 \times 10^{-3} & |\vec{W}_a| > 25 \text{ (m/s)} \end{cases}$$

不考虑大气与水热交换：

$$w C + K_v \frac{\partial C}{\partial \sigma} = 0$$

②在海底 ( $\sigma = -1$ )：

$$w(-1)=0$$

$\rho_w A_M \left( \frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = (\tau_{bx}, \tau_{by})$ ， $\tau_{bx}, \tau_{by}$  为海底切应力 x、y 方向上的分量，表达式为：

$$\bar{\tau}_b = \rho_w C_z |\vec{V}_b| \vec{V}_b$$

其中， $C_z = \max \left[ \frac{k^2}{\ln^2(z_b/z_0)}, 0.0025 \right]$ ， $k$  是 Karman 常数 (一般取值 0.4)， $z_b$  是

离海底最近的网格结点与海底的距离， $z_0$  为海底粗度，取 0.01m。

不考虑海底热盐交换： $-K_v \frac{\partial C}{\partial \sigma} - w_b C_b = 0$

③侧边界条件：

在固边界上，流的法向分量恒为零， $\vec{V}(x, y, \sigma, t) = 0$ ，无热、盐交换。

在开边界上，采用模型嵌套方式，以获取评价区域在潮流、季风、温盐影响下的边界条件。大区 ECOMSED 模式为变网格，区域为  $12.25^{\circ}\text{N} \sim 25.5^{\circ}\text{N}$ ,  $105.5^{\circ}\text{E} \sim 122.75^{\circ}\text{E}$ ，见图 4.1.1-2，粤东加密区网格步长为  $0.6'$ ，垂向分层同模拟区域，计算结果为小区域海流模拟提供季风温盐影响下的边界条件，大区模式外海开边界采用 8 个日分潮、半日分潮调和常数计算潮位边界。分潮调和常数引自 OTIS 潮汐调和常数。

$$\eta = \eta_0 + \sum_{i=1}^8 A_i f_i \cos(\omega_i t + (V_0 + u_0) - \phi_i)$$

式中， $\eta_0$  为平均潮位， $A$  为分潮振幅， $\omega$  为分潮角速率， $f$  为交点因子， $t$  是区时， $(V_0 + u_0)$  是平衡潮展开分潮的区时初相角， $\phi$  为区时迟角。温、盐边界条件采用 (WOA, 2013) 温盐资料，分别插值到对应网格与层次。

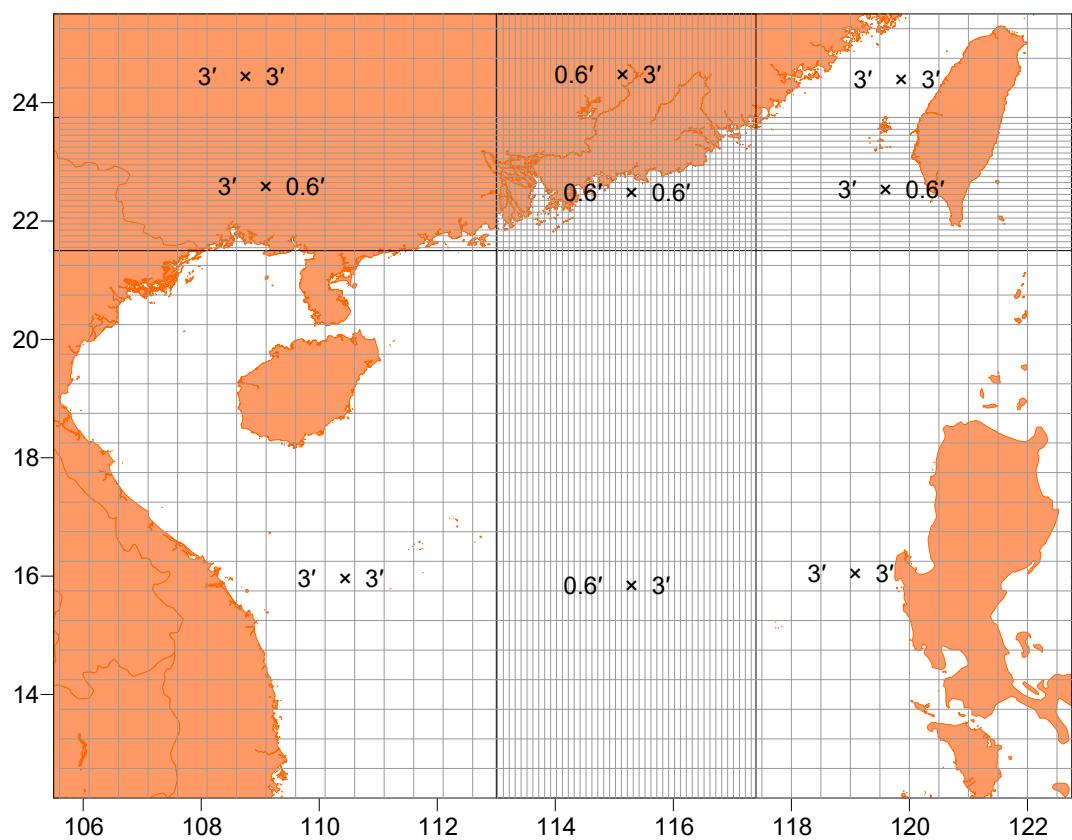


图 4.1.1-2 大区模拟区域（每 10 个网格绘制一个网格）

### (5) 模式输入参数与求解

水深地形资料：水深资料为近岸海图水深与 ETOP1 全球地形数据库水深资料融合，其中小区水深，近岸海区则由中国人民解放军海军司令部航海保证部最新版海图资料读取（15335 红海湾，15369 大亚湾；15310 田尾角至大星山；15370

大星山至桂山岛)。

本报告选取冬季、夏季测流时段作预测时段，即 2021 年 2 月 19~3 月 5 日作冬季代表时期，风向偏 NE，风速  $3.0\sim10.4\text{m/s}$ ；2021 年 8 月 16 日~31 日作夏季代表时期，风向总体以 SE~SW 为主，风速  $3.5\sim8.5\text{m/s}$ 。为反映施工期间海流对悬浮泥沙的影响，以及悬浮泥沙的累积效应，模拟时间长度为 15 天，南海风况资料取自欧洲预报中心的 ERA-Interim 再分析资料。

ECOMSED 水动力模块包含两个模态，即内模态和外模态，在进行计算时，外模态忽略垂向结构，考虑水平对流和扩散，计算二维变量，模式积分采用 5s。内模态三维水动力模型考虑垂向分层使用 Sigma 坐标，计算三维变量，如三维速度、温度、盐度等，模式积分采用 15s。

#### 4.1.1.3 模拟结果验证

潮位验证取本项目 T1、T2、T3 站潮位资料（站位见图 4.1.1-3）校验，冬、夏季实测与模拟潮位过程曲线如图 4.1.1-4 和图 4.1.1-5。

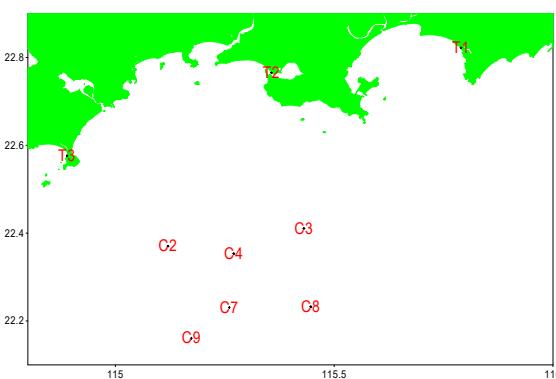


图 4.1.1-3 潮汐与海流验证点位置图

由图可见，潮位模拟误差相对较小，误差主要出现在高高潮与低低潮之间，即粤东潮汐过程高频次峰时刻。潮位模拟绝对平均误差，冬季 T1、T2、T3 站为  $0.10\text{m}\sim0.12\text{m}$ ，夏季 T2、T3 临时站为  $0.09\text{m}\sim0.11\text{m}$ 。

为检验季风环流影响下潮流模拟效果，小区域流速流向模拟校验分别取观测资料中 6 站的表、中、底层实测潮流资料进行对比验证，冬季大潮检验见图 4.1.1-6，夏季大潮检验见图 4.1.1-7 所示。从流速量级与流向变化趋势而言，海流模拟结果均与实测相符，最大流速略偏低，总体可反映本海域实测期海流的特征和规律。

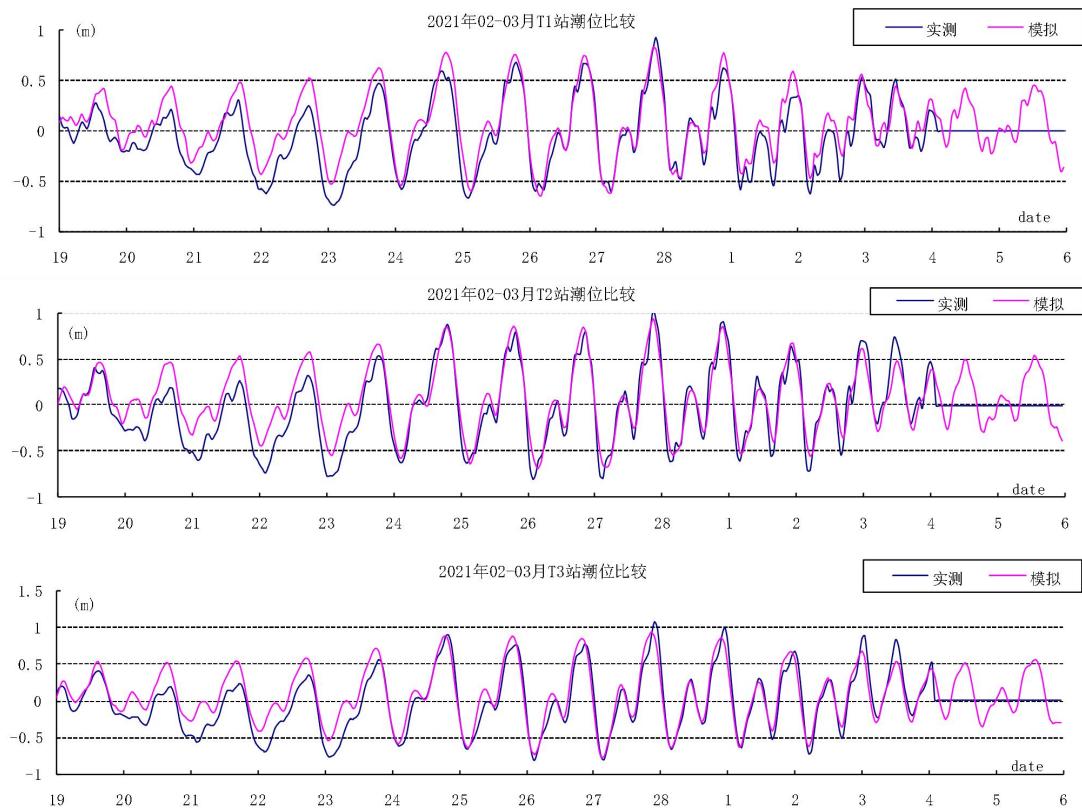


图 4.1.1-4 冬季 T1、T2、T3 实测与模拟潮位过程曲线

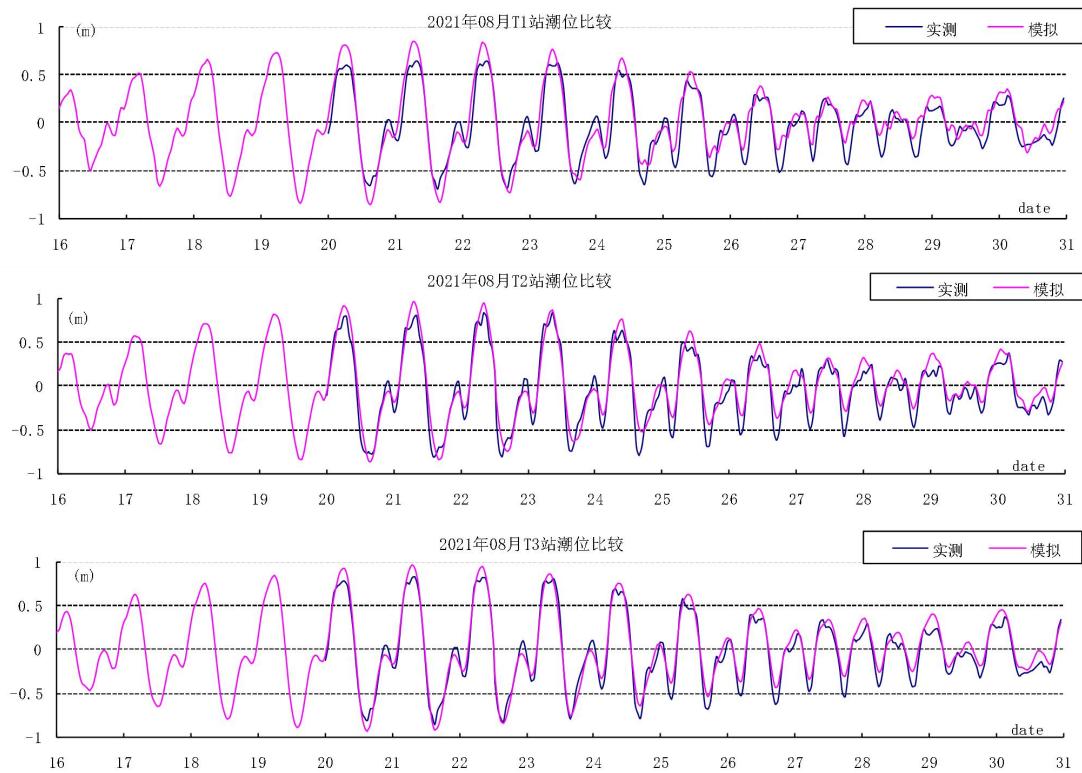


图 4.1.1-5 夏季 T1、T2、T3 站实测与模拟潮位过程曲线

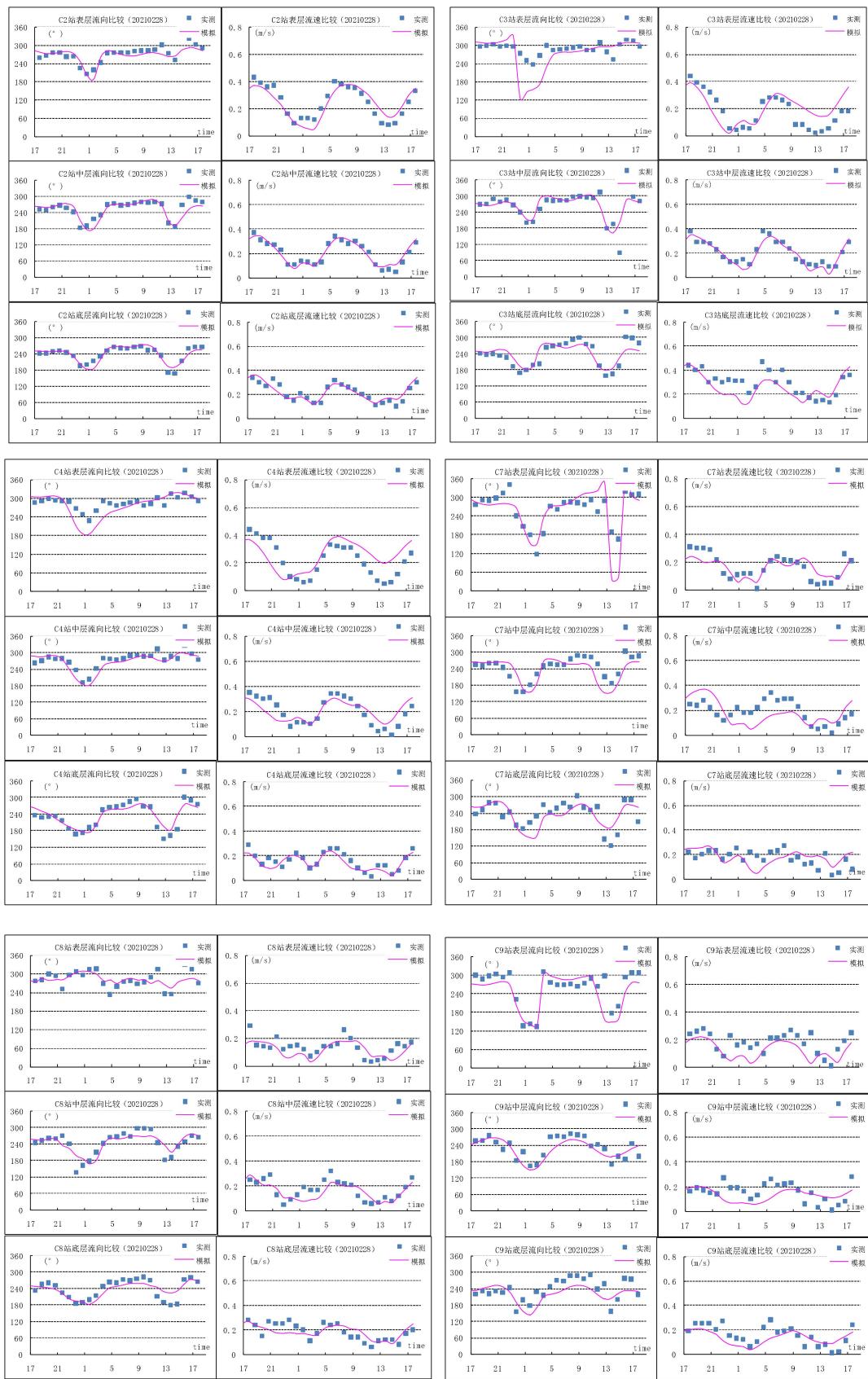


图 4.1.1-6 2021 年 2 月 28 日大潮期 6 站三层流速流向模拟与实测比较

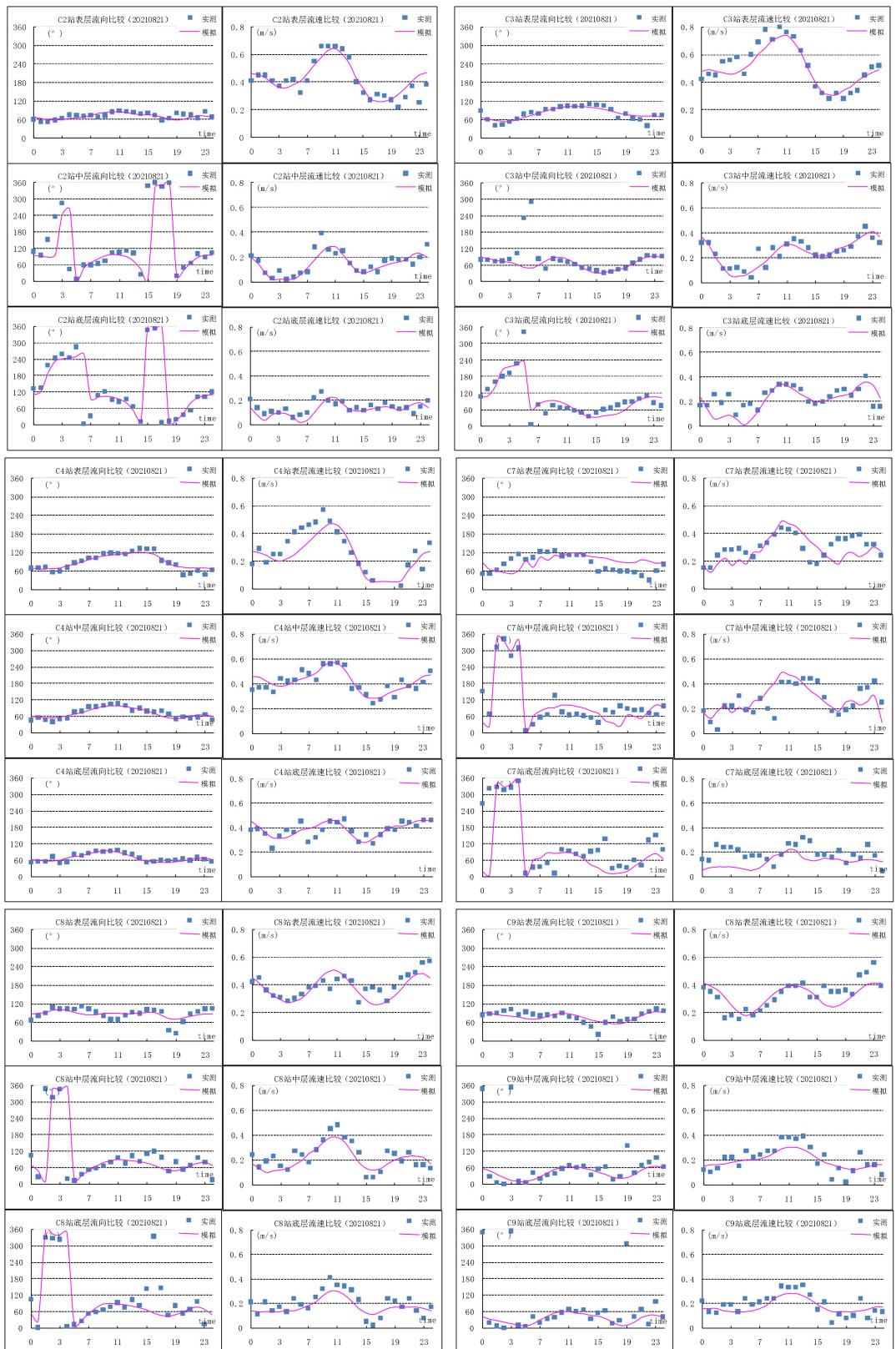


图 4.1.1-7 2021 年 8 月 21 日大潮期 6 站三层流速流向模拟与实测比较

#### 4.1.1.4 模拟流场分析

根据实测潮流资料分析，大亚湾、红海湾外天文潮流较弱，海流受季风环流

影响较大，季风环流流速与天文潮流流速达到同一量级。

图 4.1.1-8~图 4.1.1-9 是 SW 季风环流影响下大亚湾、红海湾外表层涨急、落急流场，由图可见，受偏 E 方向的季风环流影响，大亚湾、红海湾外海域表层涨急天文潮流给季风环流所淹没，涨急时刻为偏 NE 方向；落急时刻表层潮流为偏 E 方向，仅在大亚湾内可见涨潮、落潮流流向的变化。

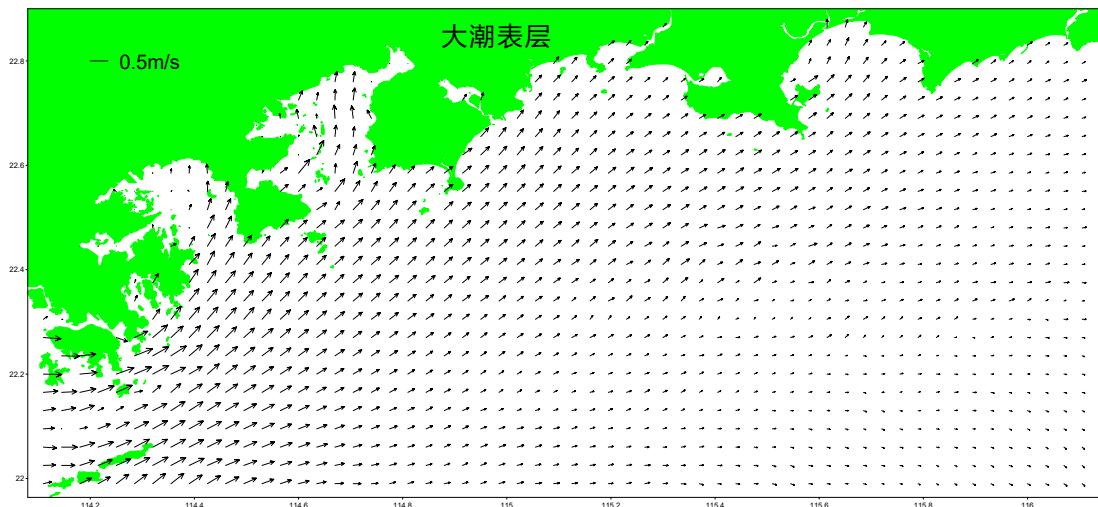


图 4.1.1-8 夏季大潮大亚湾红海湾外表层涨急流场

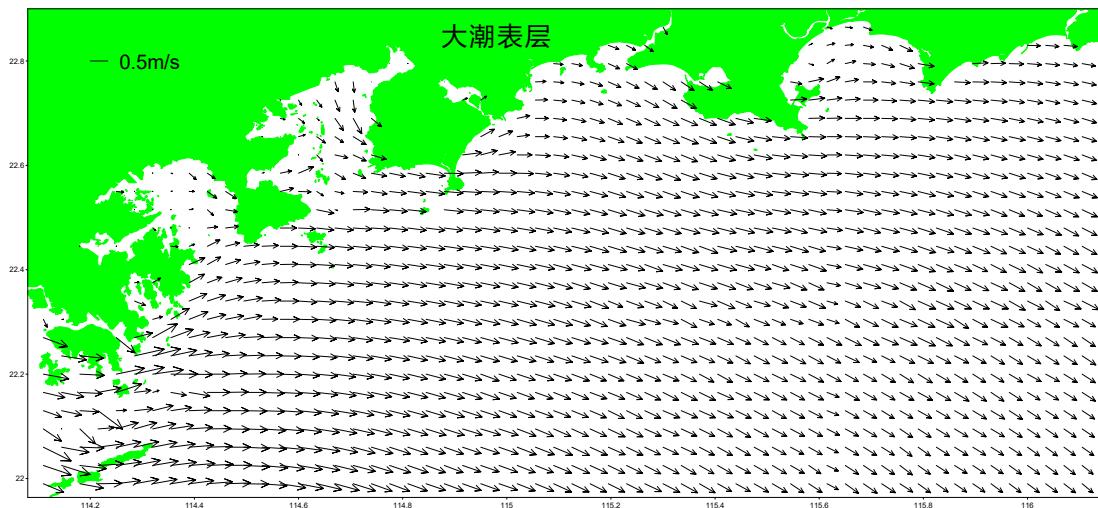


图 4.1.1-9 夏季大潮大亚湾红海湾外表层落急流场

图 4.1.1-10~图 4.1.1-15 是 SW 季风环流影响下风电场海域表、中、底层大潮期涨急、落急流场，风电场及其附近海域的表层潮流运动受季风环流影响明显，表层潮流涨急时刻为偏 ENE 方向，落急时刻为偏 ESE 方向；中层涨急流向转为 NE 方向，落急时刻同为偏 ESE；底层涨急流向转为 NNW 方向，落急时刻同为偏 ESE。垂直方向上流向变化明显，流速随水深大幅减弱。

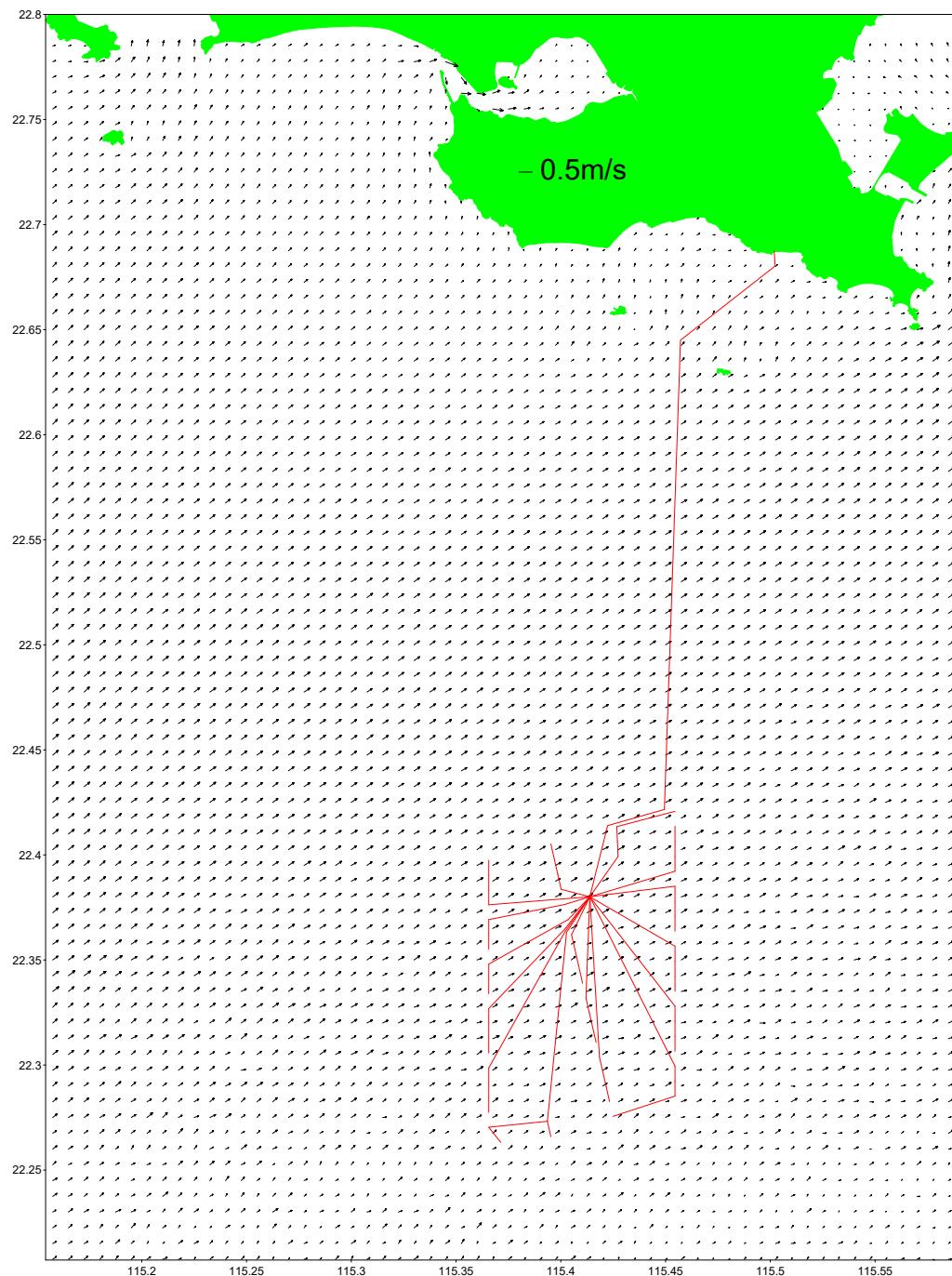


图 4.1.1-10 夏季大潮表层涨急流场

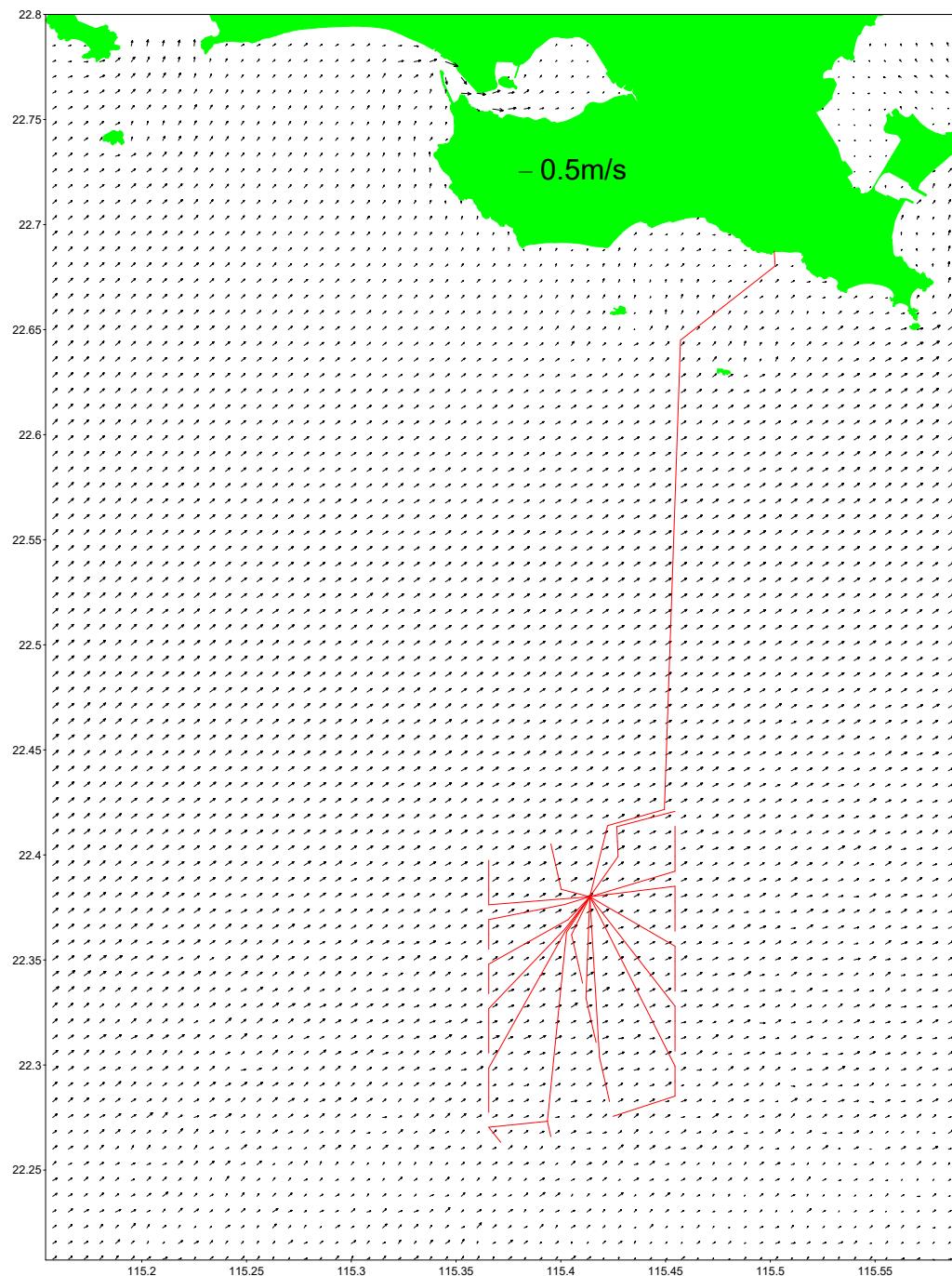


图 4.1.1-11 夏季大潮中层涨急流场

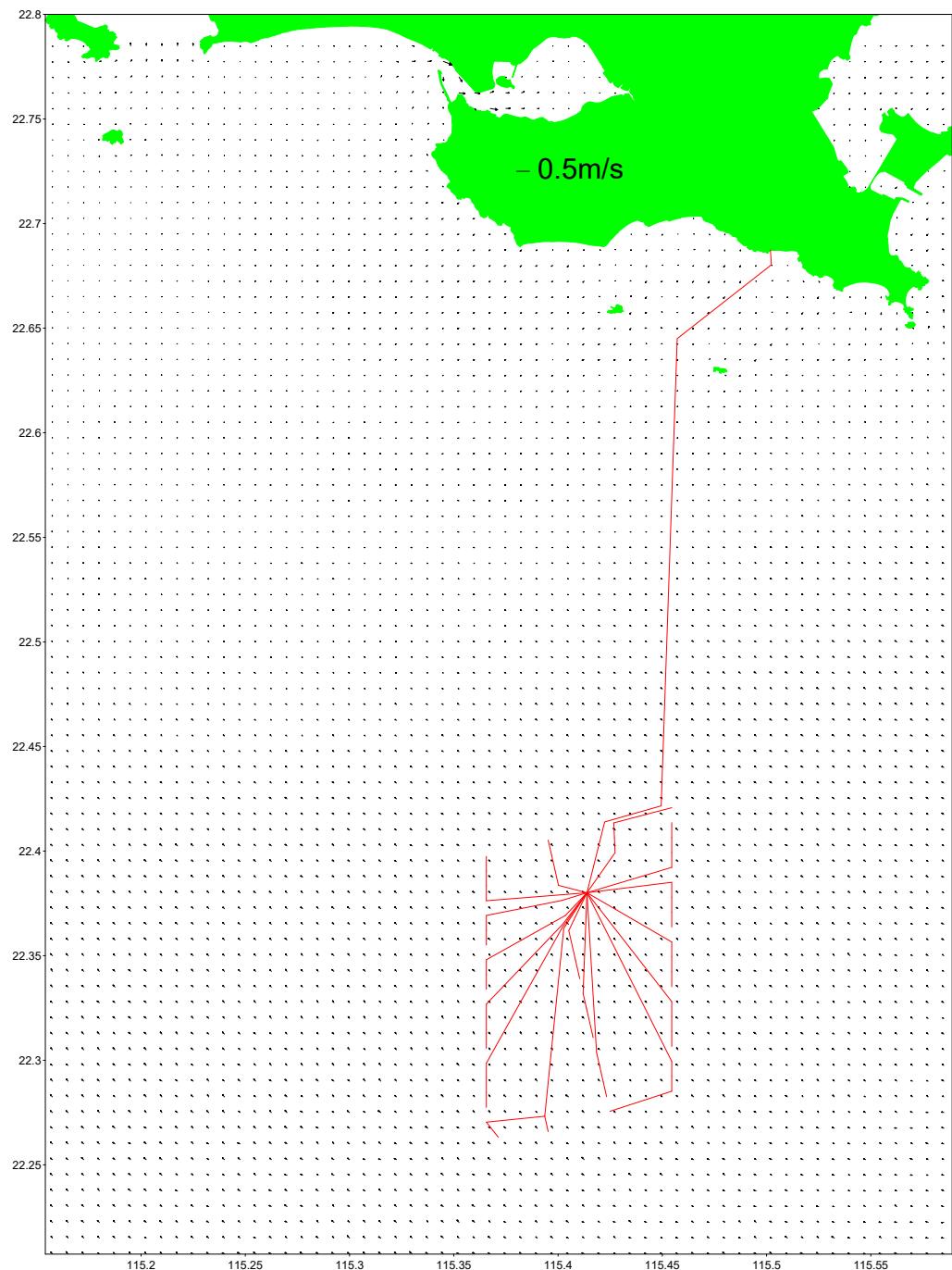


图 4.1.1-12 夏季大潮底层涨急流场

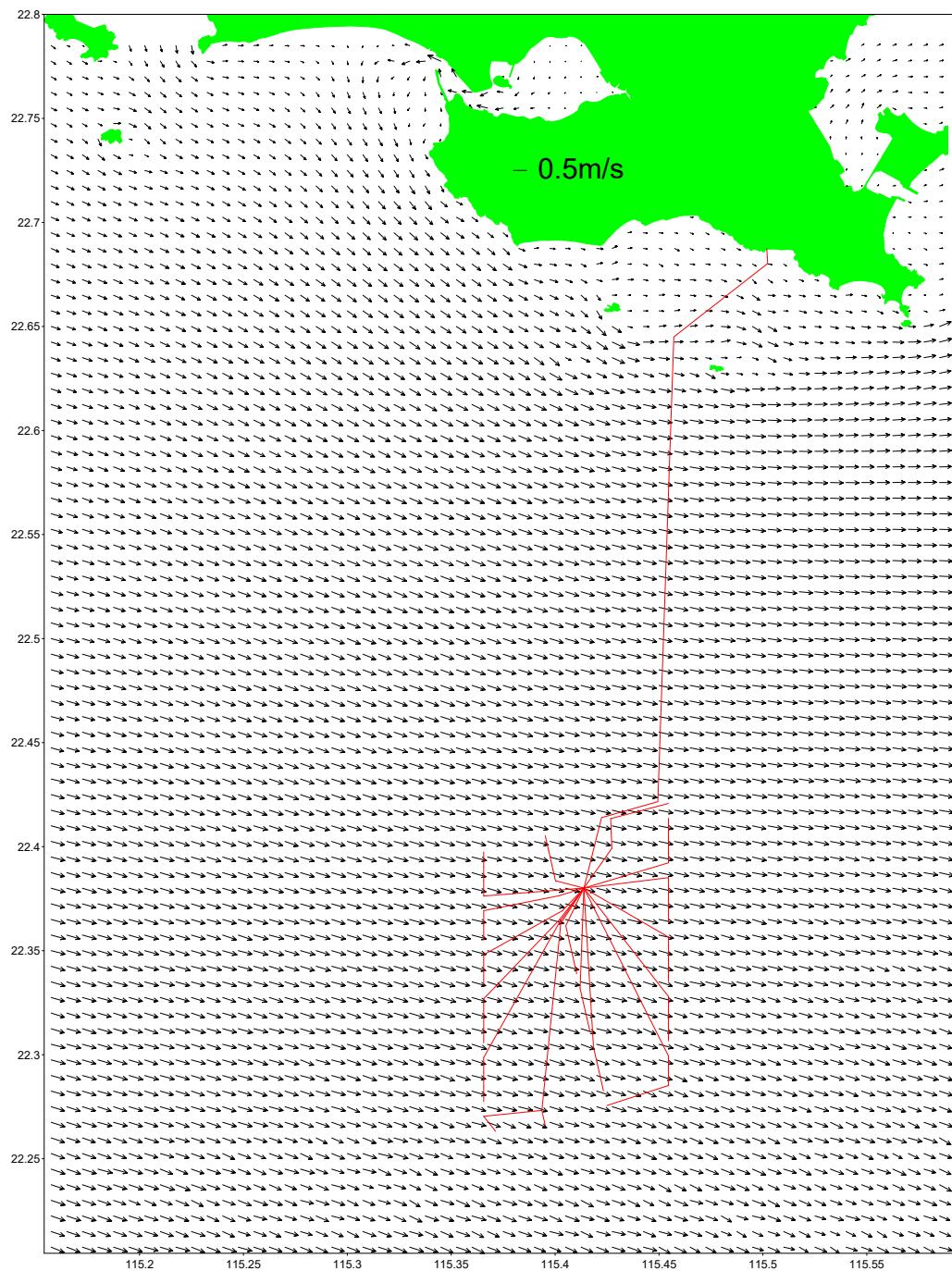


图 4.1.1-13 夏季大潮表层落急流场

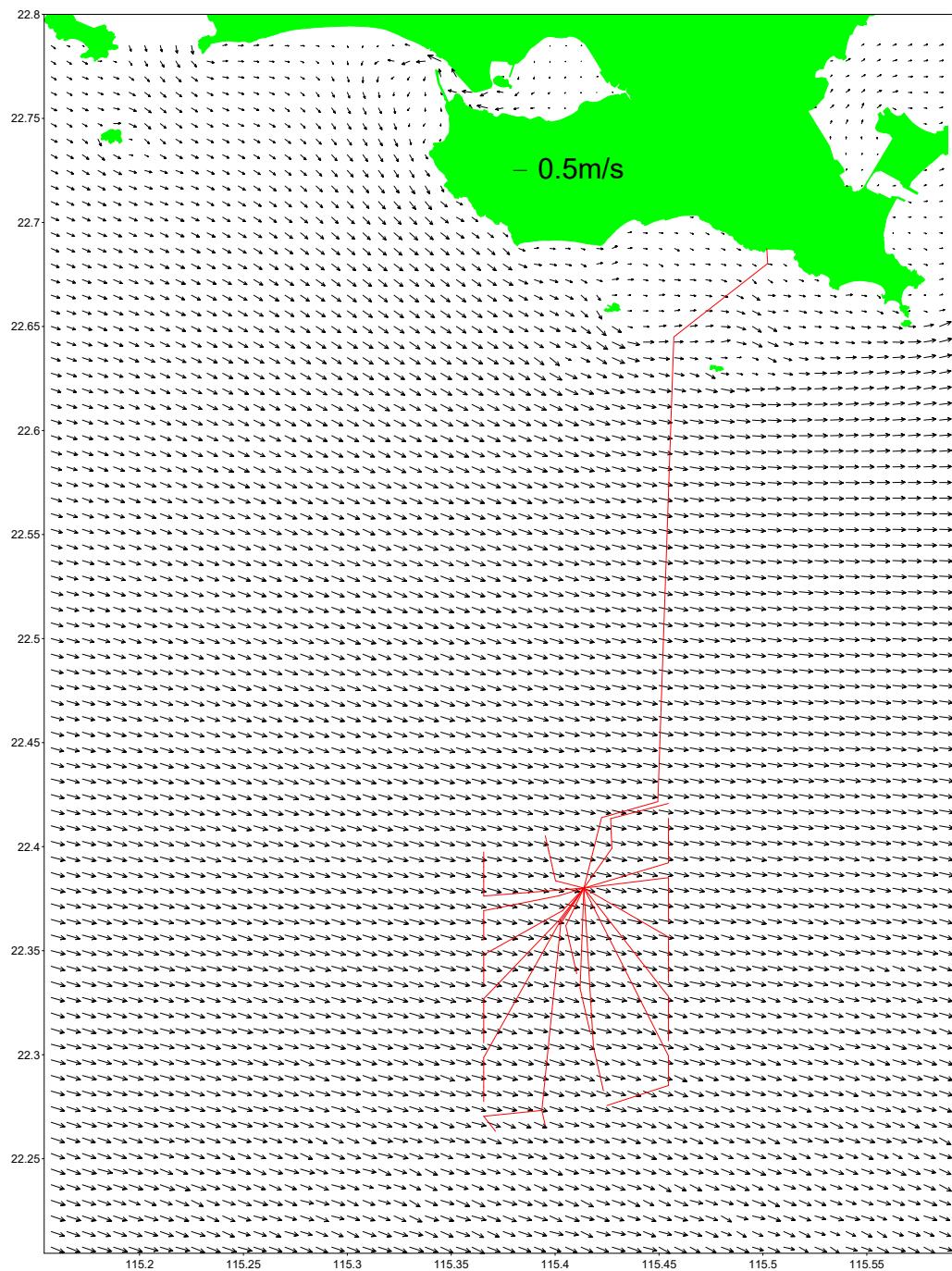


图 4.1.1-14 夏季大潮中层落急流场

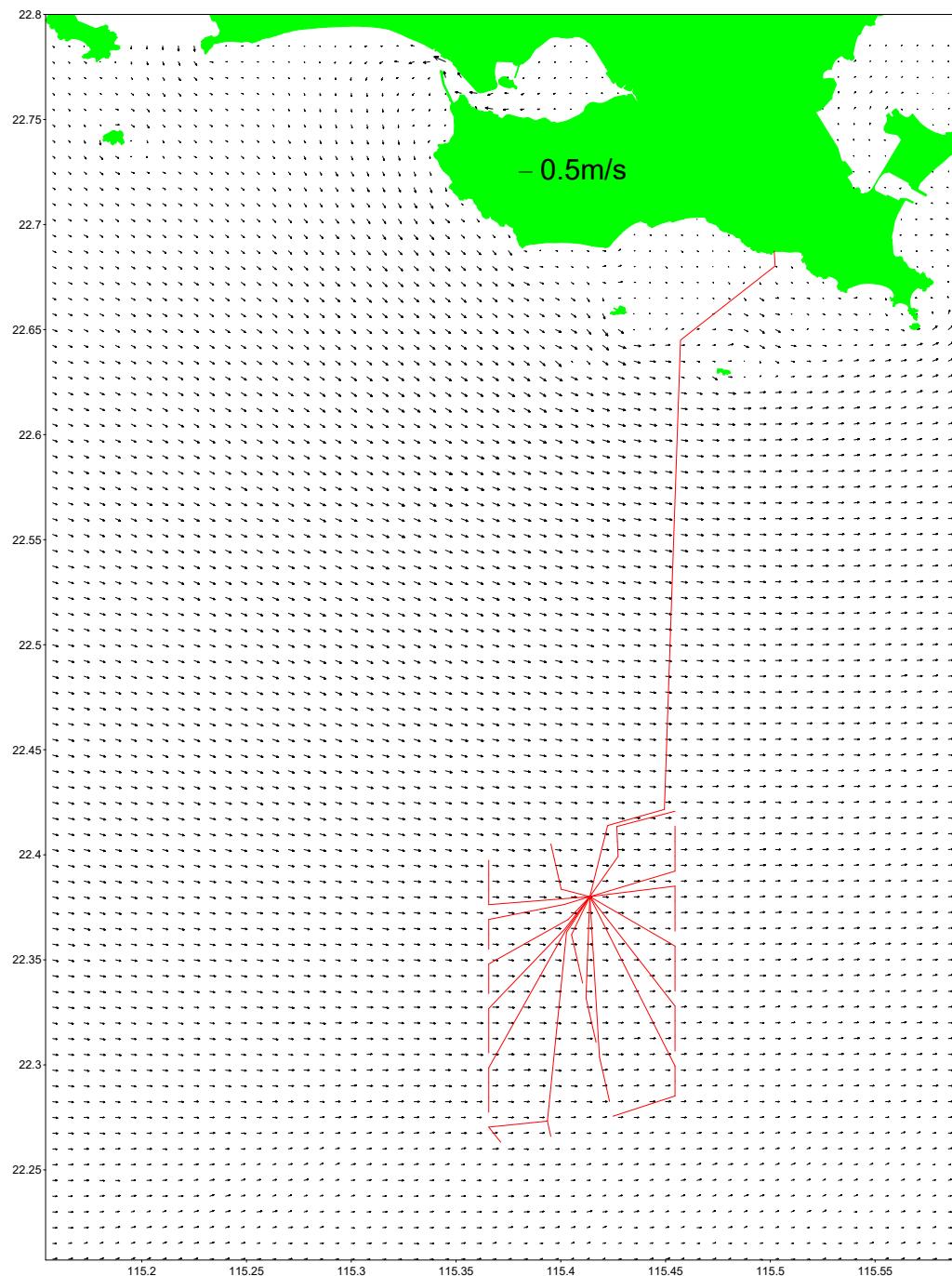


图 4.1.1-15 夏季大潮底层落急流场

图 4.1.1-16~图 4.1.1-17 是冬季大亚湾、红海湾外表层大潮涨急、落急流场，由图可见，大潮期间受南海 NE 风向影响，表层涨急时刻为 W 方向，落急时刻为偏 SW 方向。

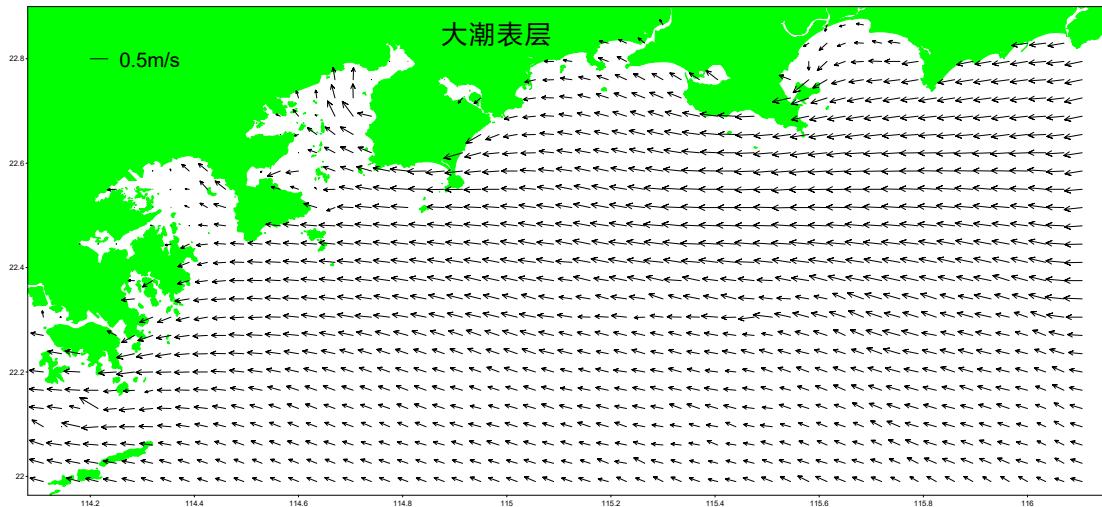


图 4.1.1-16 冬季大潮期红海湾外表层涨急流场

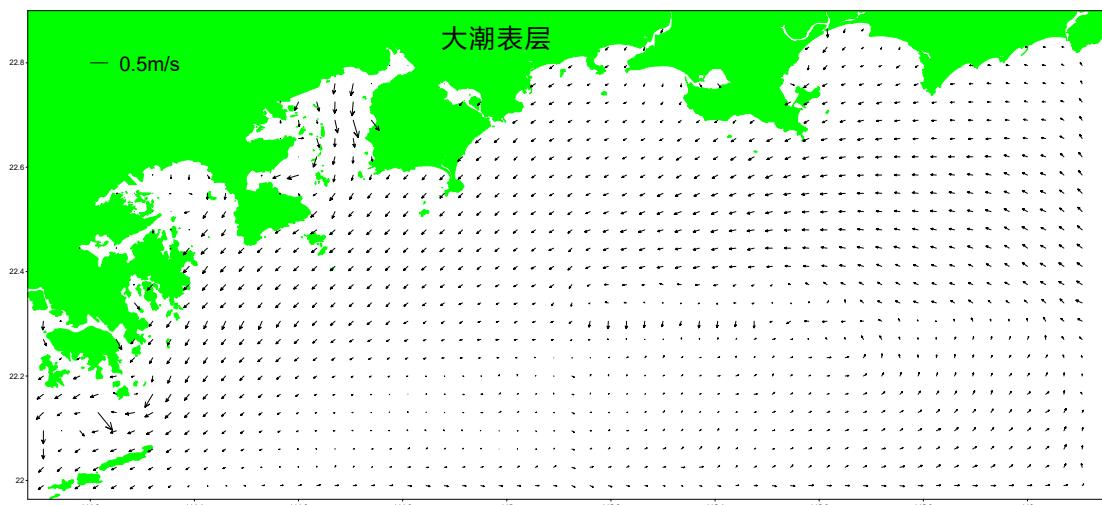


图 4.1.1-17 冬季大潮期红海湾外表层涨急流场

图 4.1.1-18~图 4.1.1-23 是冬季大潮期间风电场海域表、中、底层大潮期涨急、落急流场，南海为 NE 季风控制，表层潮流涨急时刻为偏 W 方向，落急时刻为偏 WSW 方向；中层涨急流向转为偏 W 方向，落急时刻为 S 方向；底层涨急流偏 WSW 方向，落急时刻偏 SSE 方向。垂直方向上流向变化明显，流速随水深减弱。

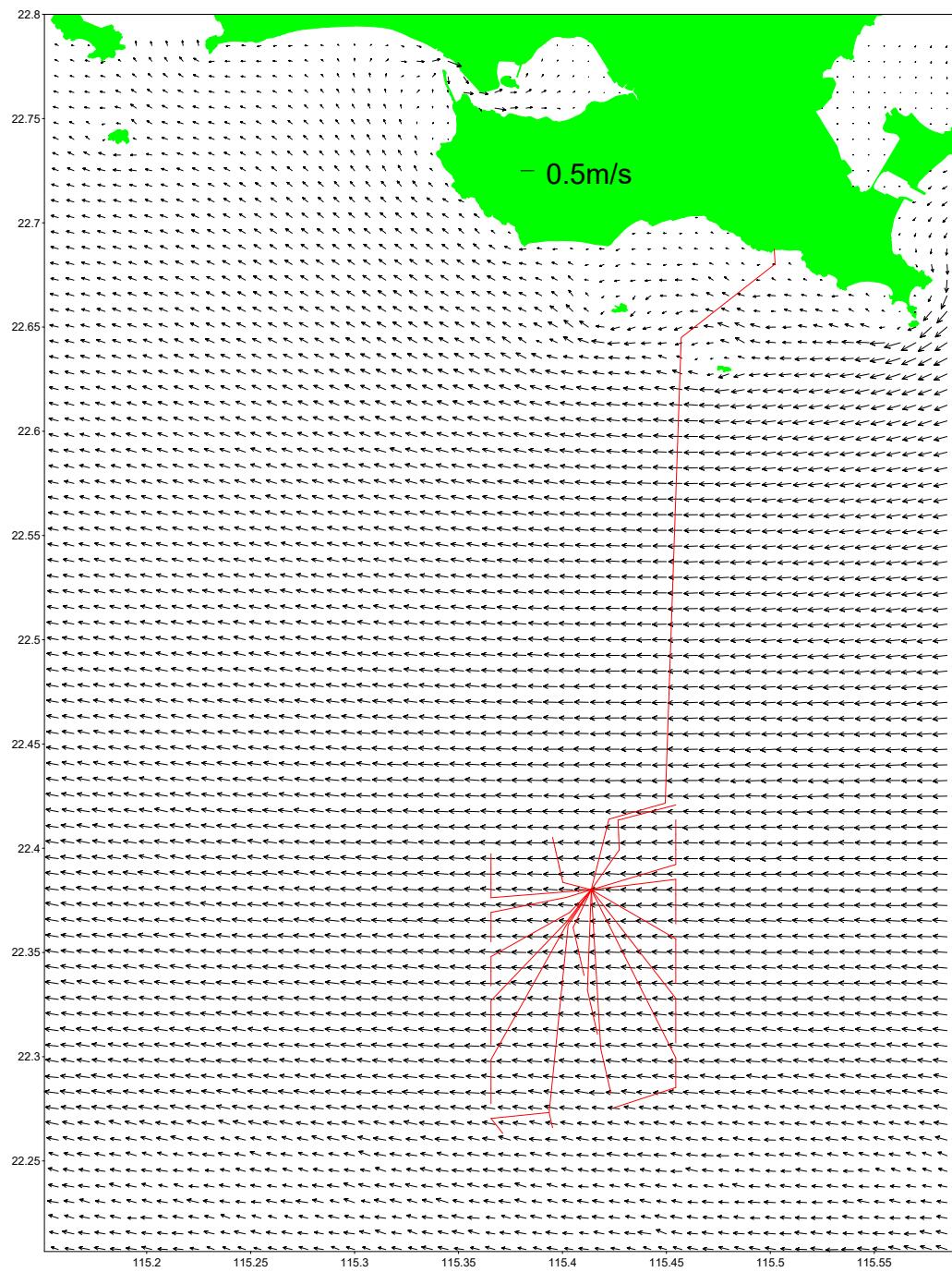


图 4.1.1-18 冬季大潮表层涨急流场

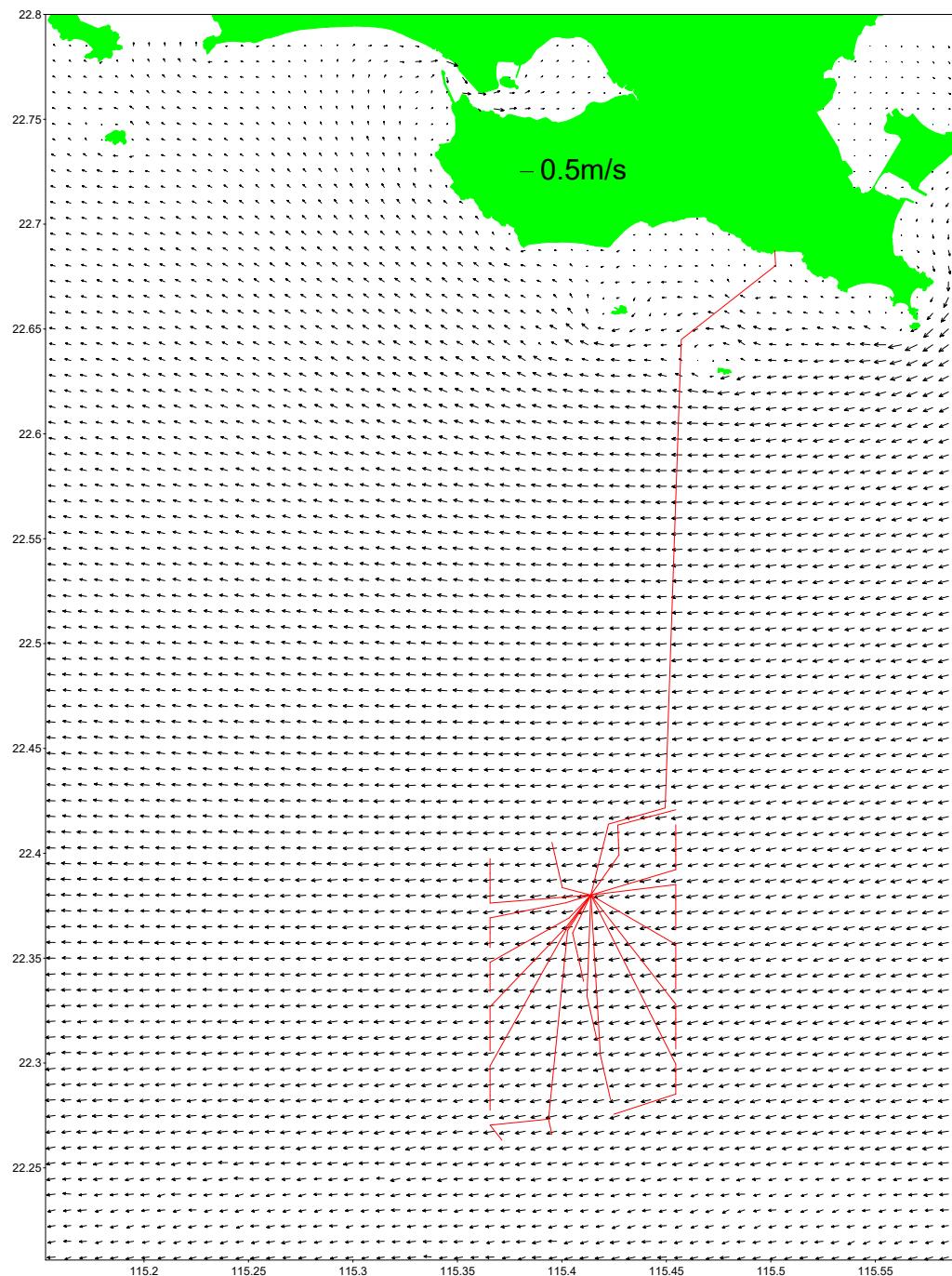


图 4.1.1-19 冬季大潮中层涨急流场

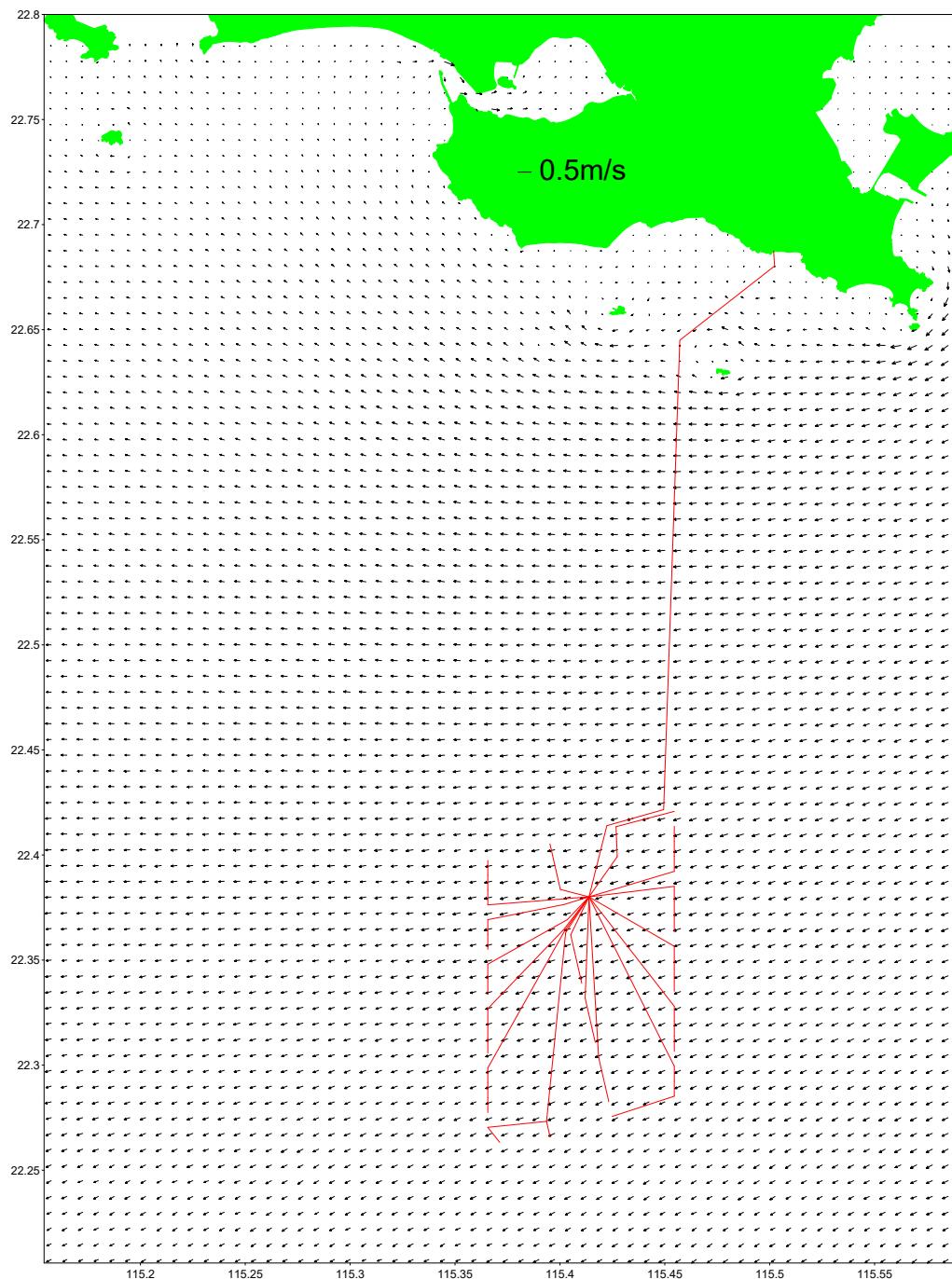


图 4.1.1-20 冬季大潮底层涨急流场

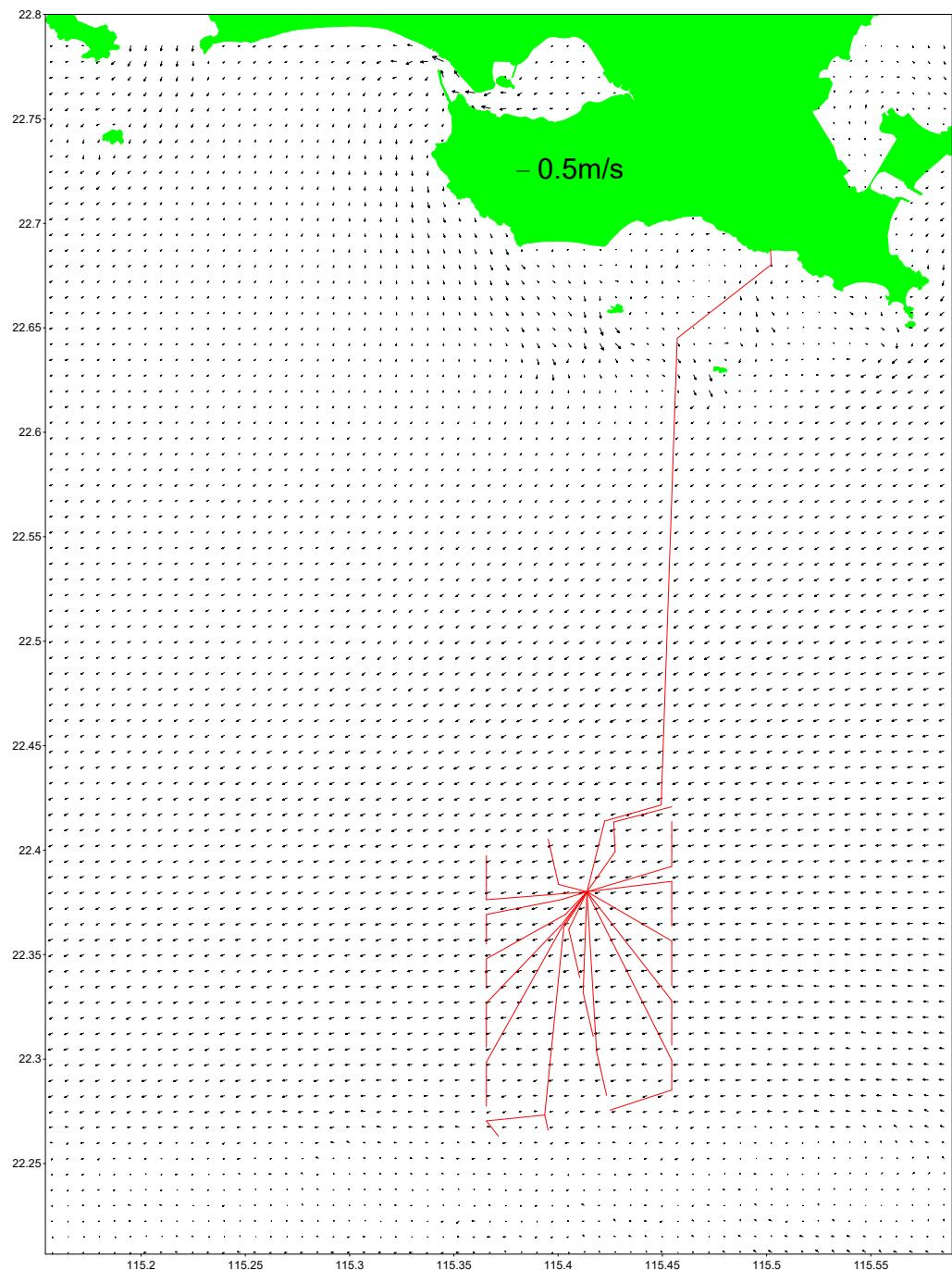


图 4.1.1-21 冬季大潮表层落急流场

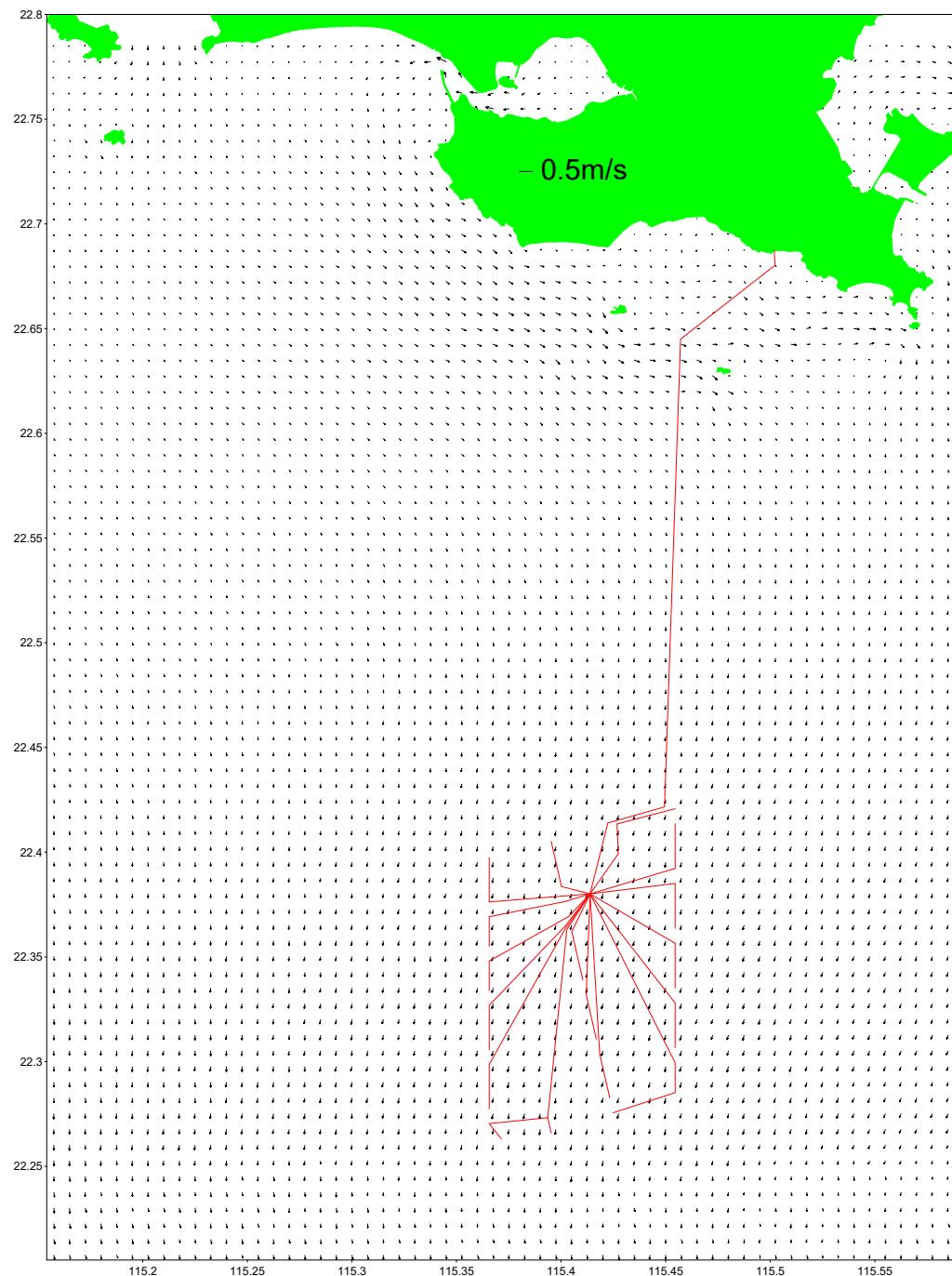


图 4.1.1-22 冬季大潮中层落急流场

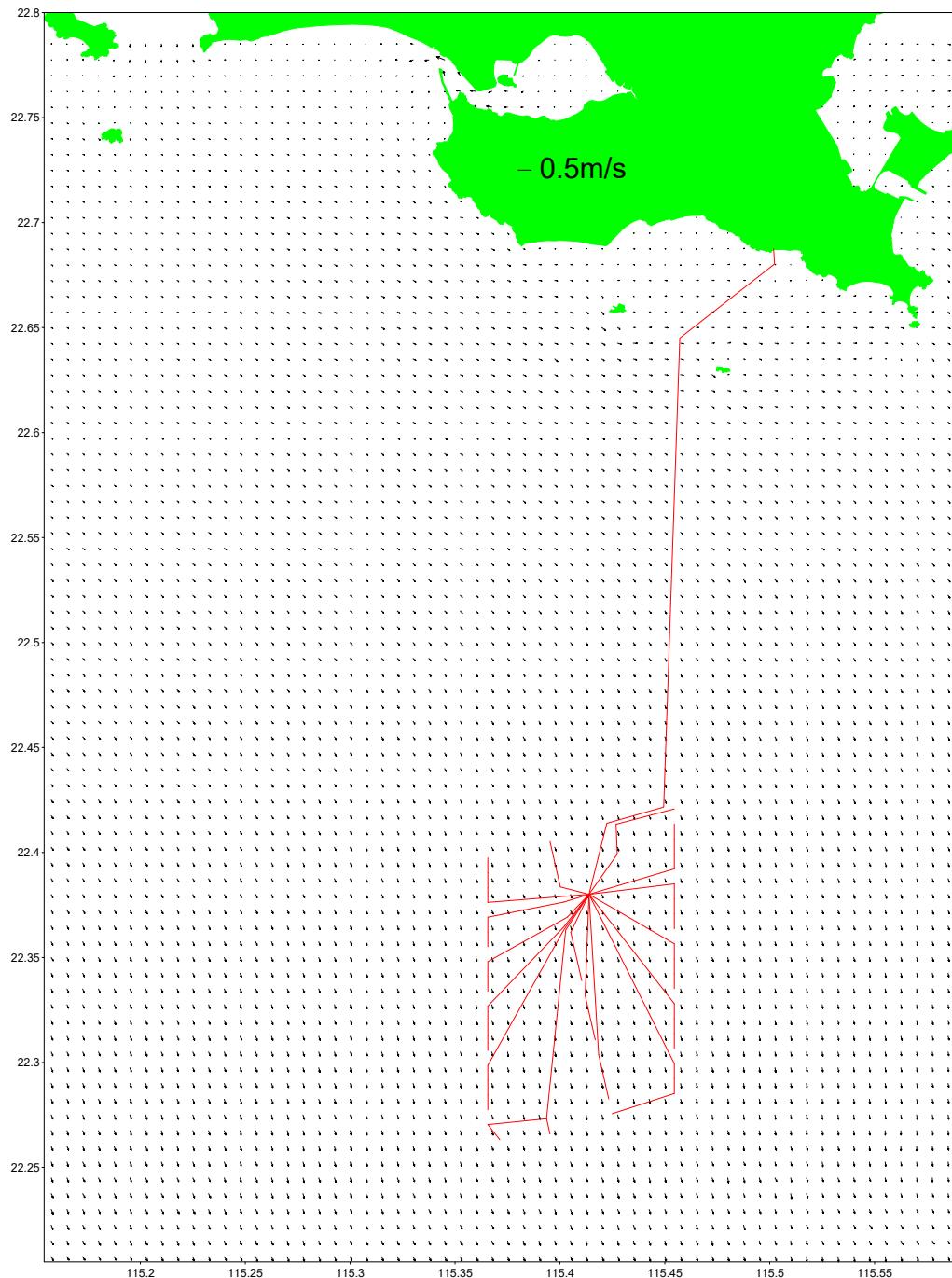


图 4.1.1-23 冬季大潮底层落急流场

#### 4.1.1.5 海流动力环境影响预测与评价

本项目涉海工程主要有风机基座与海底电缆工程，海底电缆埋设于海床，施工完成后，海床可在波浪潮流共同作用下逐渐恢复到原状，因此不对潮流动力产生影响，影响潮流主要是风机基座。

二期风电场拟布置 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式风电机组，固定式风电机组为四桩导管架结构，漂浮式风机无需打桩和钻孔。

31 台 16MW 风机，采用四桩导管架，导管架桩径为 3.5m，升压站由一期建设。固定式风电机组四桩导管架与斜撑构成，124 根桩导管架与斜撑管散落在风电场范围内，其对潮流的影响表现为群桩对水流的影响。漂浮式风机采用锚链固定，对潮流影响较小。

根据经典流体力学圆柱体绕流研究成果，圆柱形导管对水流的作用表现为流体绕圆柱体绕流，圆柱体迎水面产生雍水，背水面产生涡旋，圆柱下游涡旋流态随雷诺数的变化而呈现不同的流态，见图 4.1.1-24。

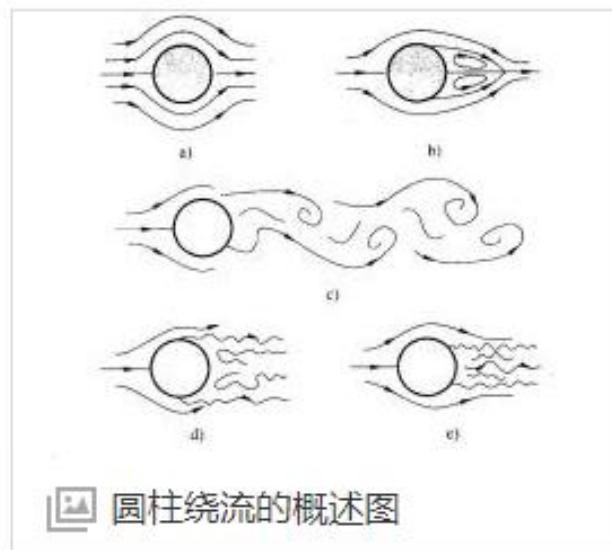


图 4.1.1-24 圆柱下游流态随雷诺数的变化

流体仿真软件 fluent 数值研究显示（网格尺寸不大于圆柱体直径 1/8），串列双圆柱流速变化如图 4.1.1-25，迎水面与背水面流速减小，背水面流速减小影响距离约 3 倍圆柱体直径；圆柱体两侧流速增加，影响距离约 1.5 倍圆柱体直径。

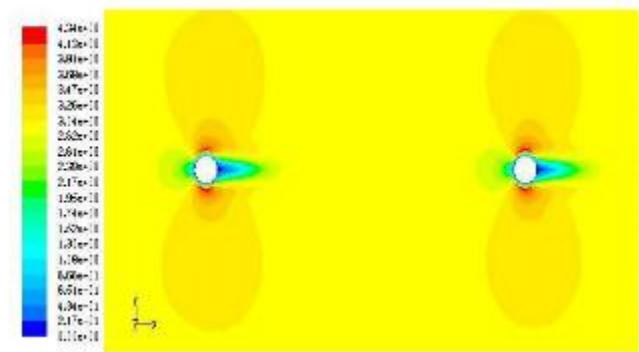


图 4.1.1-25 串列双圆柱流速变化变化（桩径 D/两桩距离 L=12 情形）

由于风电导管最小桩径 3.5m，要合理计算风电场桩径 3.5m 导管对潮流流态的影响，网格尺寸需桩径 1/8 左右。风电场研究区域尺度为 10000m 以上，相对

于风电场区域范围，0.5m 网格难以计算，尤其是解析水流受桩基影响后产生涡流更需要更小的网格。

导管桩减少了过水断面面积，增大水流的摩擦力，但导管桩尺寸小于计算网格的尺度，网格无法反映出导管桩的存在，模拟计算参考文献《潮汐河段桥墩对水流影响的数值计算》（曹民雄，2006 年，人民长江）对桥墩进行概化处理方式，即单导管桩附加摩擦概化方式，近似描述单桩基流态影响和群桩对潮流的影响。

$\tau_{rx}, \tau_{ry}$  为作用于风机位置对应网格切应力 x、y 方向上的分量，表达式为：

$$\bar{\tau}_r = \rho_w C_r |\bar{V}| \bar{V}, \quad C_r = 0.75 \frac{B1}{B0},$$

式中：B1 为导管桩径迎水面宽度，B0 为网格过水断宽度，0.75 为圆形桩柱摩阻系数；把  $\tau_{rx}, \tau_{ry}$  加入到模式方程之中进行计算。

取 22 个代表点的流速和流向来描述工程前、后潮流动力的变化，风电场附近流速和流向代表点分布见图 4.1.1-26。

由于风场海域受季风环流影响较大，单一流向较明显，取冬季大潮中层落急、涨急两特征流向代表工程前后流场的变化，工程前、后代表点涨急、落急流速和流向对比结果见表 4.1.1-1。由表 4.1.1-1 可见，工程后对流流向影响很小，涨急时刻以减小为主，流速变化 5%~10%，个别点流速略增。

风电场整体大潮中层涨急、大潮落急流场对比见图 4.1.1-26 和图 4.1.1-27，工程后流向变化不大，影响范围为风机下游流速，模拟结果显示，风电场外 5.5km 外流场可恢复原来状态。

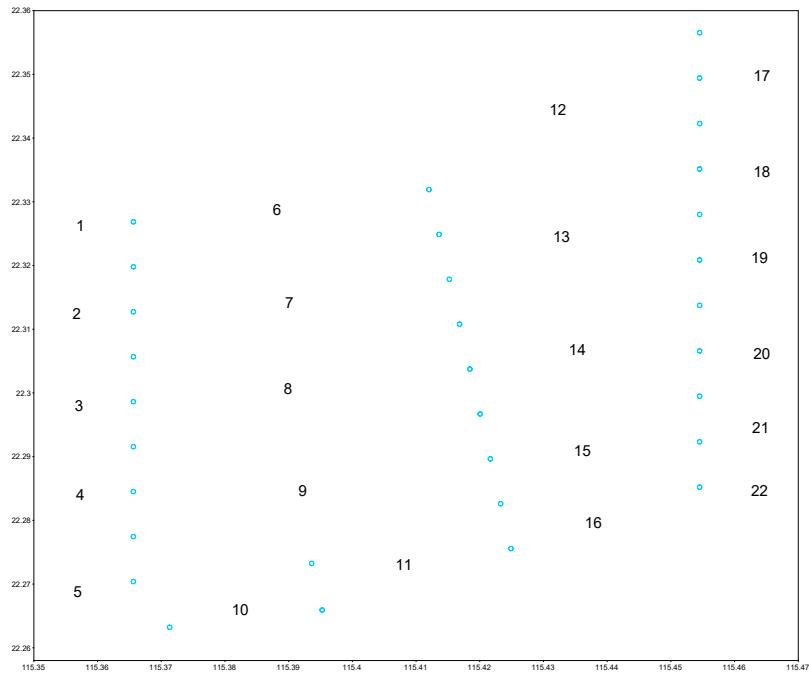


图 4.1.1-26 风机位置示意图和流速和流向代表点分布

表 4.1.1-1 冬季大潮风电场代表点中层流速和流向对比

| 位置 | 大潮涨急流速 (m/s) |      |       | 大潮涨急流向 (°) |     | 大潮落急流速 (m/s) |      |       | 大潮落急流向 (°) |     |
|----|--------------|------|-------|------------|-----|--------------|------|-------|------------|-----|
|    | 工程前          | 工程后  | 变化    | 工程前        | 工程后 | 工程前          | 工程后  | 变化    | 工程前        | 工程后 |
| 1  | 0.32         | 0.32 | 0     | 261        | 261 | 0.16         | 0.14 | -0.02 | 195        | 192 |
| 2  | 0.34         | 0.34 | 0     | 260        | 260 | 0.15         | 0.16 | 0.01  | 196        | 187 |
| 3  | 0.34         | 0.31 | -0.03 | 260        | 261 | 0.16         | 0.15 | -0.01 | 191        | 191 |
| 4  | 0.33         | 0.31 | -0.02 | 258        | 261 | 0.15         | 0.14 | -0.01 | 191        | 188 |
| 5  | 0.34         | 0.31 | -0.03 | 256        | 259 | 0.16         | 0.16 | 0     | 191        | 184 |
| 6  | 0.36         | 0.33 | -0.03 | 261        | 259 | 0.15         | 0.16 | 0.01  | 196        | 191 |
| 7  | 0.36         | 0.36 | 0     | 259        | 260 | 0.16         | 0.17 | 0.01  | 195        | 193 |
| 8  | 0.35         | 0.35 | 0     | 260        | 260 | 0.16         | 0.17 | 0.01  | 191        | 193 |
| 9  | 0.33         | 0.33 | 0     | 258        | 258 | 0.17         | 0.16 | -0.01 | 193        | 195 |
| 10 | 0.35         | 0.35 | 0     | 258        | 258 | 0.17         | 0.15 | -0.02 | 183        | 180 |
| 11 | 0.36         | 0.33 | -0.03 | 254        | 256 | 0.16         | 0.16 | 0     | 191        | 191 |
| 12 | 0.35         | 0.35 | 0     | 258        | 258 | 0.15         | 0.15 | 0     | 200        | 196 |
| 13 | 0.33         | 0.34 | 0.01  | 258        | 258 | 0.16         | 0.16 | 0     | 194        | 195 |
| 14 | 0.36         | 0.33 | -0.03 | 261        | 256 | 0.16         | 0.16 | 0     | 198        | 195 |

|    |      |      |       |     |     |      |      |       |     |     |
|----|------|------|-------|-----|-----|------|------|-------|-----|-----|
| 15 | 0.35 | 0.34 | -0.01 | 257 | 255 | 0.15 | 0.16 | 0.01  | 191 | 191 |
| 16 | 0.36 | 0.34 | -0.02 | 259 | 253 | 0.12 | 0.12 | 0     | 194 | 195 |
| 17 | 0.36 | 0.37 | 0.01  | 261 | 257 | 0.15 | 0.15 | 0     | 200 | 196 |
| 18 | 0.37 | 0.35 | -0.02 | 257 | 260 | 0.15 | 0.15 | 0     | 196 | 196 |
| 19 | 0.37 | 0.35 | -0.02 | 256 | 255 | 0.14 | 0.15 | 0.01  | 201 | 196 |
| 20 | 0.36 | 0.37 | 0.01  | 257 | 257 | 0.15 | 0.15 | 0     | 196 | 197 |
| 21 | 0.36 | 0.35 | -0.01 | 259 | 258 | 0.17 | 0.16 | -0.01 | 197 | 191 |
| 22 | 0.34 | 0.34 | 0     | 256 | 258 | 0.16 | 0.17 | 0.01  | 194 | 193 |

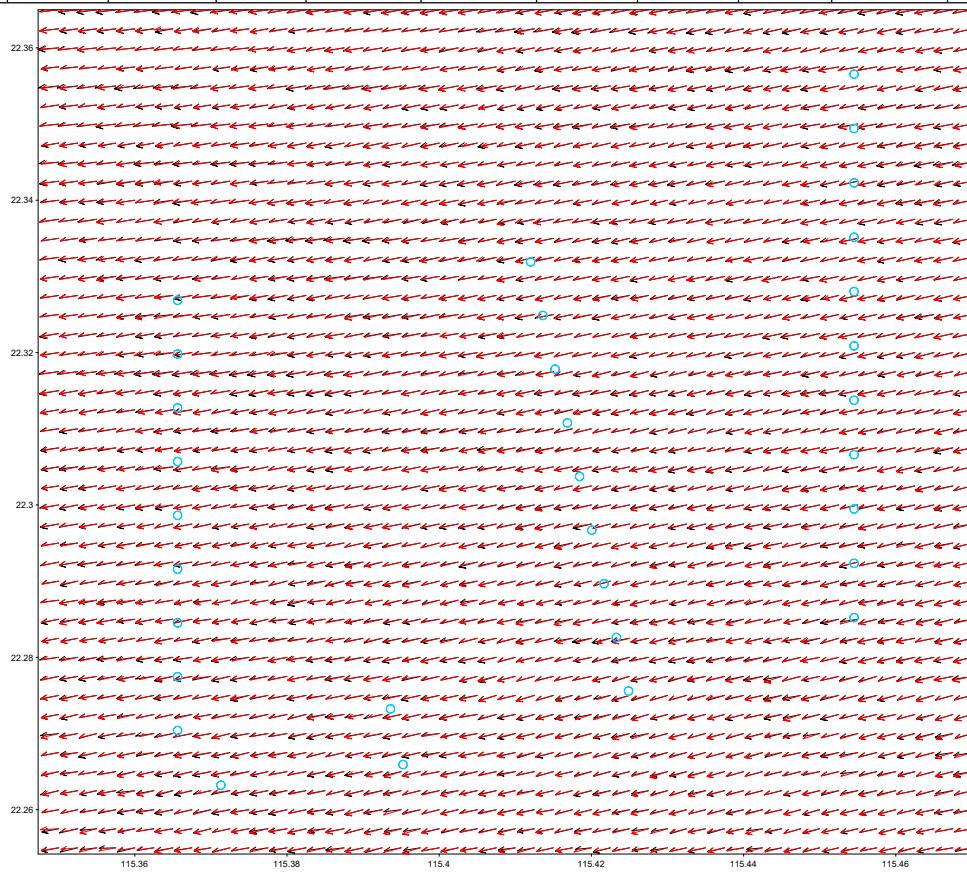


图 4.1.1-27 冬季中潮涨急中层流场对比图

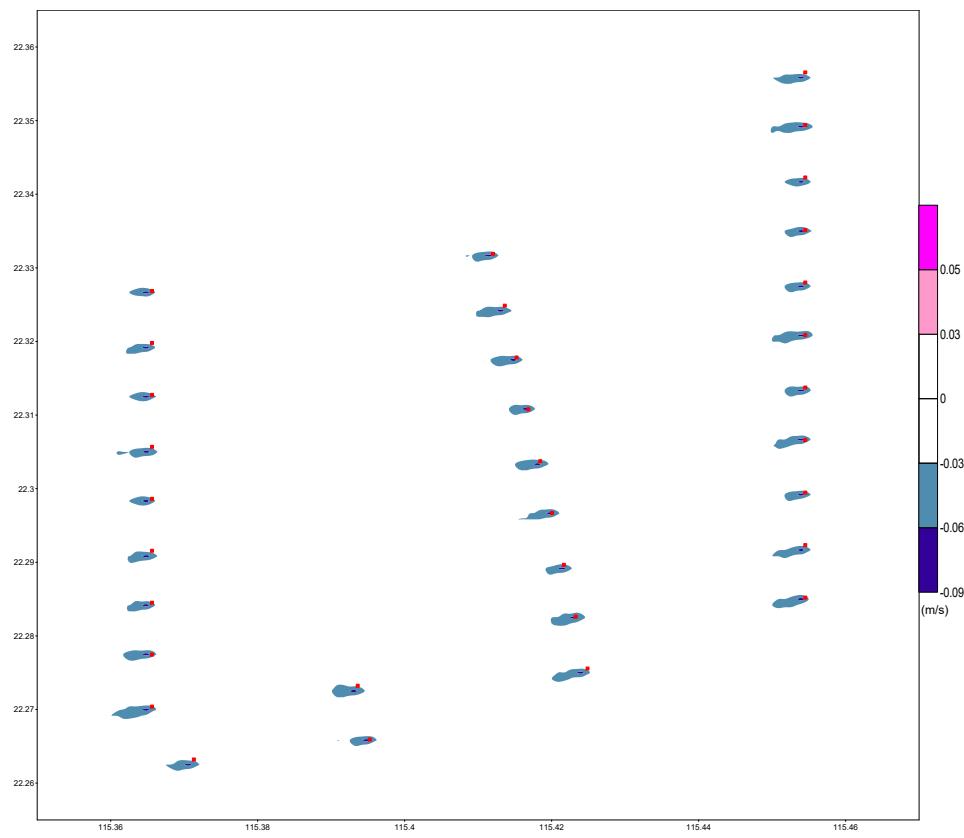


图 4.1.1-28 冬季中潮涨急中层流速变化图

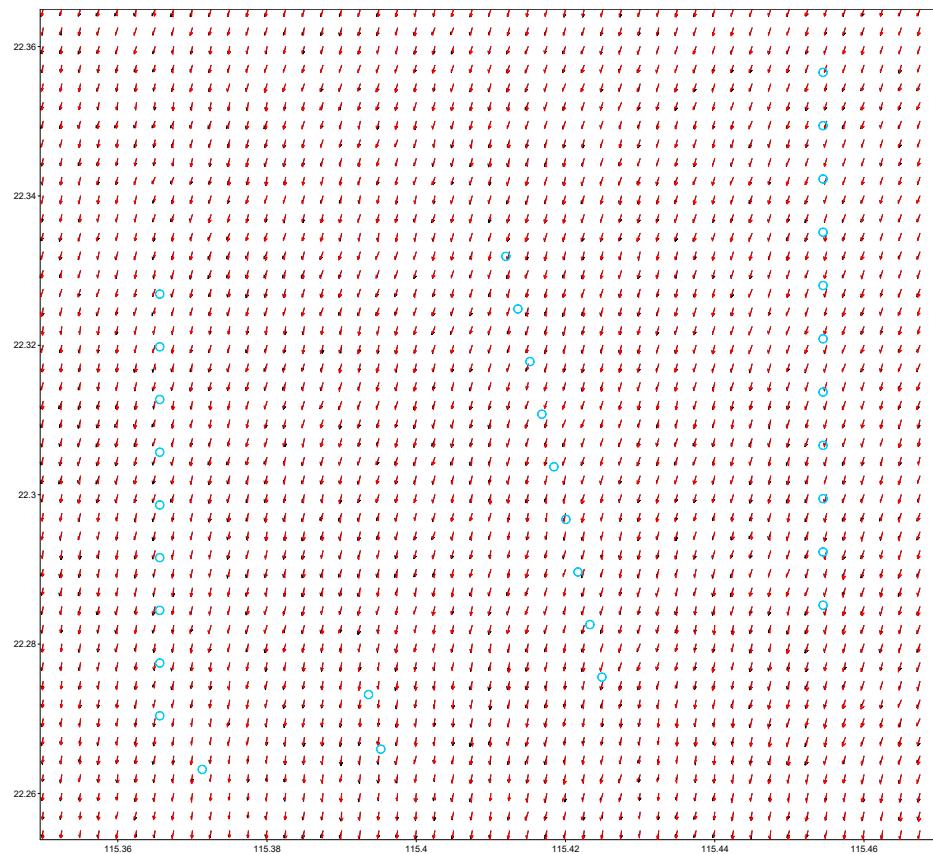


图 4.1.1-29 冬季大潮落急流场对比图

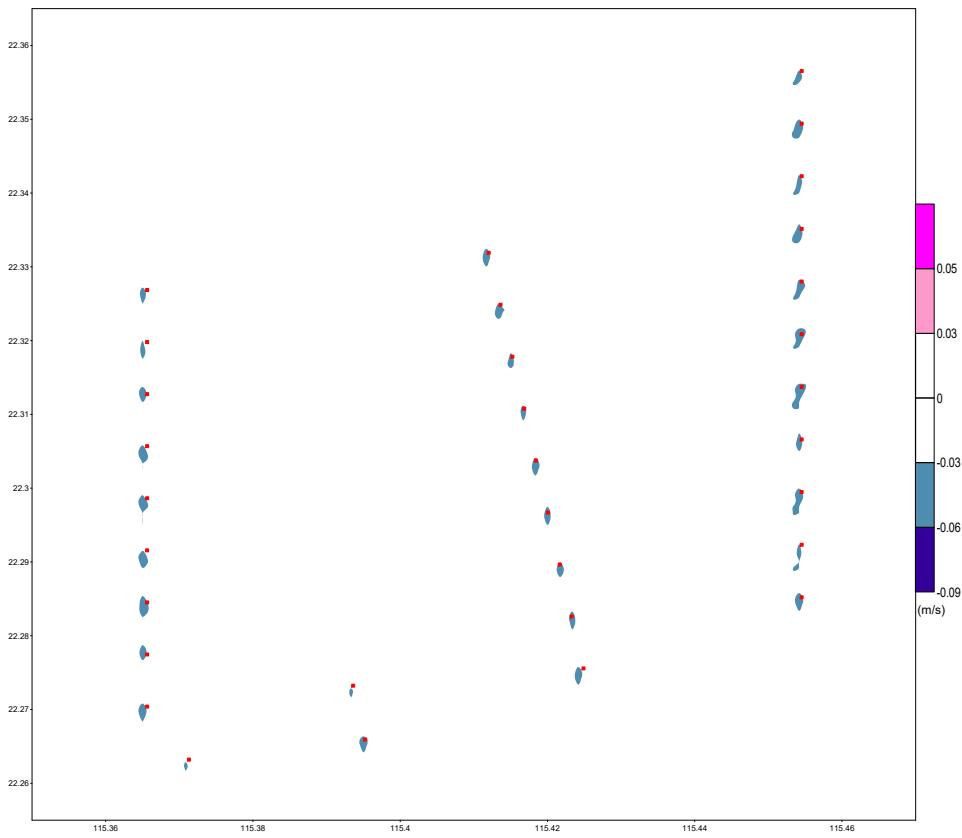


图 4.1.1-30 冬季大潮落急流速变化图

#### 4.1.1.6 工程对波浪动力条件的影响

根据临近项目波浪专题报告,由于本项目的场址水深约为35~50m左右,2018年,周年波浪观测统计结果为,年平均有效波高与平均波高分别为1.21m和0.75m,平均周期4.1s;周年观测期间,观测海域的常浪向为E向,次常浪向为S向,频率分别为22.3%和18.5%。

风电场波浪平均周期4.1s,平均波长26.2m,四桩导管架桩径为3.5m,基本不会形成波影区;由于常风条件下波浪较弱,因此风电场导管外海域对波浪基本没有影响。

大风(台风)过程波长在60m以上,在风机导管架周边形成强烈水体扰动,形成破碎、绕射、反射现象,但四桩导管架风机桩径相对波长是小量,因此对风电场海域波浪影响不明显。

#### 4.1.2 地形地貌及冲淤环境影响预测与评价

从上节海流与波浪分析结果分析可知,本工程实施后海流影响主要在工程风电场桩基内部海域,而对离工程区较远的海域流态影响较小,波浪影响主要在风

机导管架周边。因此，可初步分析认为风机导管架周边有一定的冲淤变化，风机导管架较远处冲淤影响则较小。

风电场塔基建成后，破坏了原来的水流平衡，水流在墩柱周围形成马蹄形漩涡区，不断地进行横向、竖向和前后摆动，剧烈淘刷墩柱迎水面和周围泥沙，形成局部冲刷坑。本报告采用桩基局部极限冲刷的计算公式进行预测分析。

#### 4.1.2.1 桩基附近局部冲淤

对于桩墩局部冲刷计算公式，据不完全统计，目前尚未有理论推导公式，国内外学者撰写发表的计算公式均为经验性或半经验性公式，大多数采用试验资料建立局部冲刷深度的计算式，然后用野外实际观测资料修正系数和指数得到冲刷深度计算式。桩基局部冲刷的经验公式中，以韩海骞公式和王汝凯公式的计算条件较为符合本工程的实际情况，韩海骞公式在考虑了波浪水质点的流速后，可以考虑波流共同作用下小直径圆柱周围的局部冲刷。公式如下：

$$\frac{h_b}{h} = 17.4 k_1 k_2 \left(\frac{B}{h}\right)^{0.326} \left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{0.167} F_r^{0.628}$$

式中：

$h_b$ —桥墩局部冲刷深度 (m);

$h$ —最大水深 (m);

$B$ —最大水深条件下平均阻水宽度 (m);

$d_{50}$ —中值粒径 (mm);

$K_1$ —基础桩平面布置系数，条形 1.0，梅花形 0.862;

$K_2$ —基础桩垂直布置系数，直桩 1.0，斜桩 1.176;

$F_r$ —Froude 参数。

选取风电场内不同水深的 3 个代表点进行桩基局部冲刷预测，计算参数见表 4.1.3-1，结果见表 4.1.3-2，其中场区潮流最大流速取工程区现状水文调查实测的大潮最大流速。

表 4.1.3-1 桩基局部冲刷预测计算参数

| 环境参数           | 代表位置 |      |      |
|----------------|------|------|------|
|                | I#   | II#  | III# |
| 水深(m)设计高水位下    | 32.5 | 34.0 | 35.5 |
| 场区潮流最大流速 (m/s) | 0.7  | 0.7  | 0.7  |

|                      |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|
| 设计高水位下 5 年一遇有效波高 (m) | 6.88  | 6.88  | 6.88  |
| 波浪周期(s)              | 11.7  | 11.7  | 11.7  |
| 波长(m)                | 182.5 | 186.5 | 189.5 |
| 底质中值粒径 (mm)          | 0.01  | 0.01  | 0.01  |
| 泥沙水下休止角 (°)          | 32    | 32    | 32    |
| 桩径 (m)               | 3.5   | 3.5   | 3.5   |

表 4.1.3-2 风机基础局部冲刷计算结果 (单位: m)

| 组别  |    | 冲刷计算结果 |
|-----|----|--------|
| I#  | 深度 | 5.20   |
|     | 直径 | 32.1   |
| II# | 深度 | 4.83   |
|     | 直径 | 29.7   |

由上表可见，四桩导管风机桩基础极限冲刷深度为 4.8m~5.2m。以上是工程设计中考虑的极限冲刷情况，根据已有的风电桩基冲刷观测结果，实际冲刷量均小于此。

#### 4.1.2.2 风电场海床冲淤

桩基建成以后，除了海床的自然演变以外，还有由于桩基压缩桩基之间的过水断面引起流速改变造成的冲淤变化以及桩基阻挡水流引起的冲淤，各种冲淤交织在一起同时进行，过程较为复杂。通常情况下，海床的自然演变冲刷认为已达到冲淤平衡状态，即自然演变冲淤幅度为零，因此本报告只计算桩基建成后风电场的一般冲淤，为了定量地研究本项目工程完成以后周边近岸区的泥沙回淤情况，在完成潮流数值计算以后，对于泥沙的淤积影响进行计算分析。回淤强度的计算采用以下公式进行计算：

$$P = \frac{\alpha w St}{r_d} \left( 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right)$$

式中， $\omega$  为泥沙沉速，单位 m/s，根据相关粒度分析资料，本项目拟建工程周边海区沉积物粉砂和细沙，在此取沉速为 0.5cm/s。

计算参数：

$\alpha$  为沉降几率，取 0.67；

$t$  为年淤积历时，单位取秒 (S)，一年即为 31557600 秒；

$S$  为水体平均悬沙含量，单位：kg/m<sup>3</sup>，根据 2021 年 2 月同步的实测悬沙含

量资料，桩基附近海区的平均含沙量为  $0.029\text{kg/m}^3$ ；

$\gamma_d$  为泥沙干容重，按照公式  $\gamma_d = 1750 \times D_{50}^{0.183}$  计算，单位为  $\text{kg/m}^3$ ， $D_{50}$  为泥沙中值粒径，根据实测悬沙含量资料，泥沙中值粒径取风电场悬沙中值粒径为  $0.028\text{mm}$ ；

$V_1$  为工程前大潮代表性流速， $V_2$  为考虑风电场桩基存程后大潮流速，单位为  $\text{m/s}$ ；

$M$  根据当地的流速与含沙量的关系近似取作 1。

根据以上的设定和潮流数值模拟计算的结果，计算得到工程后每年回淤强度情况，工程后港口风电场达到冲淤平衡时的冲淤强度等值线见图 4.1.2-1。

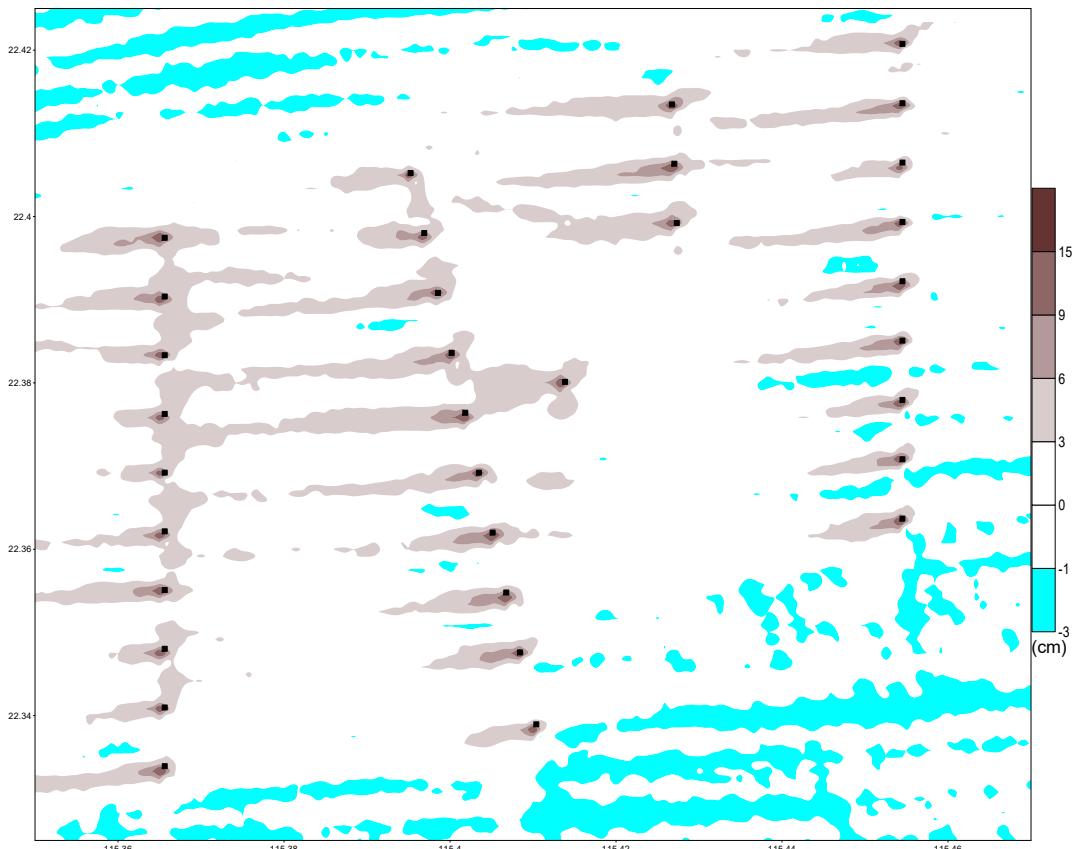


图 4.1.2-1 本工程建设后工程附近年冲淤图

由图 4.1.2-1 可以看出，风电桩基完成以后，桩基群对水流的整体阻挡效应明显，由于涨落潮流的主流向以偏东-西向为主，因此在风电桩基偏东-西向的流速减小，导致在桩基群的附近偏东-西向两侧产生一定的淤积，最大淤积强度在  $0.15\text{m/a}$  左右，而在桩基群之间，冲刷不明显。

整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，周边临近海区的冲淤

基本不受本工程的影响。

### 4.1.3 对水质环境影响分析

#### 4.1.3.1 工程施工期悬浮泥沙环境影响预测

本工程涉海部分施工环境影响主要有海底电缆铺设工程。电缆铺设施工采用冲射式挖沟，边高压水冲射开沟，电缆边下沉，自然回填方式。海底电缆埋深一般在2.0~3.0m以上，电缆铺设海洋环境影响主要是产生的悬浮泥砂。以下采用数值模拟对工程施工造成的悬沙影响进行计算。

##### 1、三维泥沙控制方程及参数

Sigma坐标系下三维泥沙平流扩散、沉降控制方程为：

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

其中： $C$ 为水体悬沙含量， $Sc$ 为输入源强， $w_f$ 为泥沙有效沉速， $w_f = w - w_s$ ， $w_s$ 为泥沙静水中沉速。 $K_M$ 为水平扩散系数，采用欧拉公式

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

$C_z$ 为chezy系数， $K_v$ 为垂直扩散系数。

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

侧开边界的边界条件：

$$\text{入流时 } C|_{\Gamma} = p_0 ;$$

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

$$\text{出流时 } \frac{\partial C}{\partial t} + U_n \frac{\partial C}{\partial \bar{n}} = 0 \quad U_n \text{ 为边界法向流速;}$$

$$\text{自由表面上: } w_f C + K_v \frac{\partial C}{\partial z} = 0$$

$$-K_V \frac{\partial C}{\partial z} - w_{fb} C_b = \begin{cases} M \left( \frac{v^2}{v_e^2} - 1 \right) & v \geq v_e \\ 0 & v_d < v < v_e \\ w_{fb} C_b \left( \frac{v^2}{v_d^2} - 1 \right) & v \leq v_d \end{cases}$$

海底床面：

式中：M 为冲刷系数，取曹祖德实验参数， $M=6.4 \times 10^{-3}$ ； $w_{fb}$  为近底层泥沙

有效沉速， $w_{fb}=w_s-w$ ， $w_s$  为泥水静水沉速， $w_{fb} \times C_b$  为悬沙垂直沉降通量， $K_V \frac{\partial C}{\partial z}$  为近底层泥沙在湍流运动作用下的上扬通量； $V$  为底层流速， $V_d$  为泥沙从悬浮状态落淤的临界流速， $v_e$  为床面泥沙悬扬临界流速。

泥沙沉速  $w_s$  采用张瑞瑾通用泥沙沉速公式计算，

$$w = \sqrt{(13.95 \frac{v}{D})^2 + 1.09 \alpha g D} - 13.95 \frac{v}{D}$$

其中， $v$  为水运动粘滞系数，取值  $0.01146 \text{cm}^2/\text{s}$ ； $D$  为泥沙粒径（mm）； $\alpha$  为重率系数，取 1.7。

泥沙起动用窦国仁的泥沙起动公式：

$$V_e = k \left( \ln 11 \frac{h}{\Delta} \right) \left( \frac{d'}{d_*} \right)^{1/3} \sqrt{3.6 \frac{r_s - r}{r} g D + \left( \frac{r_0}{r_*} \right)^{5/2} \frac{\epsilon + g \delta h (\delta/D)^{1/2}}{D}}$$

悬扬临界流速：

$$V_d = k \left( \ln 11 \frac{h}{\Delta} \right) \left( \frac{d'}{d_*} \right)^{1/3} \sqrt{3.6 \frac{r_s - r}{r} g D}$$

落淤的临界流速：

泥沙起动公式中各参数取值为， $k=0.41$ ， $g=981 \text{cm/s}^2$ ，当泥沙粒径  $D < 0.05 \text{cm}$ ，床面糙率  $\Delta = 0.1 \text{cm}$ ， $d'=0.05 \text{cm}$ ， $d_*=1.0 \text{cm}$ ，泥沙粘结系数  $\epsilon = 1.75 \text{cm}^3/\text{s}^2$ ，薄膜水厚度参数  $\delta = 2.31 \times 10^{-5} \text{cm}$ ， $h$  水深(cm)， $r_0$  床面泥沙干容重( $\text{g/cm}^3$ )， $r_*$  床面泥沙稳定干容重( $\text{g/cm}^3$ )，泥沙容重  $r_s=2.65 \text{ g/cm}^3$ ，海水容重  $r_s=1.025 \text{ g/cm}^3$ 。

初始条件：

模拟施工期本底值均置为 0，仅考虑悬沙增量。

**数值网格形式：**

模拟计算在小区域上，网格同小区流场一致，垂直分层与小区流场一致，在 Arakawa‘ C ’网格上采用迎风格式求解方程。

## 2、源强设置

海底电缆通过“埋设犁”敷设在泥面下约3m深处，根据同类工程施工经验，设海缆沟槽底宽约0.3m，顶宽约0.5m，敷设速度取5m/min，根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物起悬以施工土方量的20%计，产生悬浮物泥沙量为1.20 m<sup>3</sup>/min。电缆埋设机冲切海床引起的悬浮物源强计算过程如下：

$$Q = L \times A \times \gamma_s \times P$$

式中：Q（kg/s）为海底悬浮泥沙强度，kg/s；L为开挖进度，m/s； $\gamma_s$ 为泥沙干容重，kg/m<sup>3</sup>；A为海缆挖沟横截面，m<sup>2</sup>；P为起悬浮泥沙所占挖沙量比例，以施工土方量的20%计。根据本风电场沉积物监测结果，平均中值粒径为0.018mm，泥沙干容重按照 $\gamma_d = 1750 D_{50}^{0.183}$ 公式计算，沉积物干容重为841kg/m<sup>3</sup>，电缆施工的悬浮物源强为16.82kg/s。

二期项目仅考虑66kV海底电缆敷设主要包括风机与风机之间的海底电缆，风电场66kV电缆长度约89.9km。根据工程分析，海缆正常铺设速度为5m/min，24小时敷设7.20km，风电场66kV海底电缆铺缆需12.5天内完成。

考虑水流的高压冲射上扬海床沉积物，按最不利方式考虑，悬沙源强分别发生在底层和次底层，悬浮物源强为16.8kg/s，海床沉积物中值粒径0.018mm，沉取0.0196 cm/s。

由于风电场NE季风期波浪较大，难以满足铺缆的施工条件，铺缆的施工主要在夏季，因此采用前节SW季风期流场做背景场，分别模拟预测风电场海底电缆在SW季风期流场条件下悬沙扩散。

采用近似于实际铺缆开沟的方式模拟施工过程悬沙扩散，即沿电缆线逐时逐段释放悬沙源强。风电场66kV海底电缆铺缆约在12.5天内完成，模拟预测在66kV路由取600个代表点、每代表点源强持续时间0.5小时，源强位置示意图见图4.1.3-1。

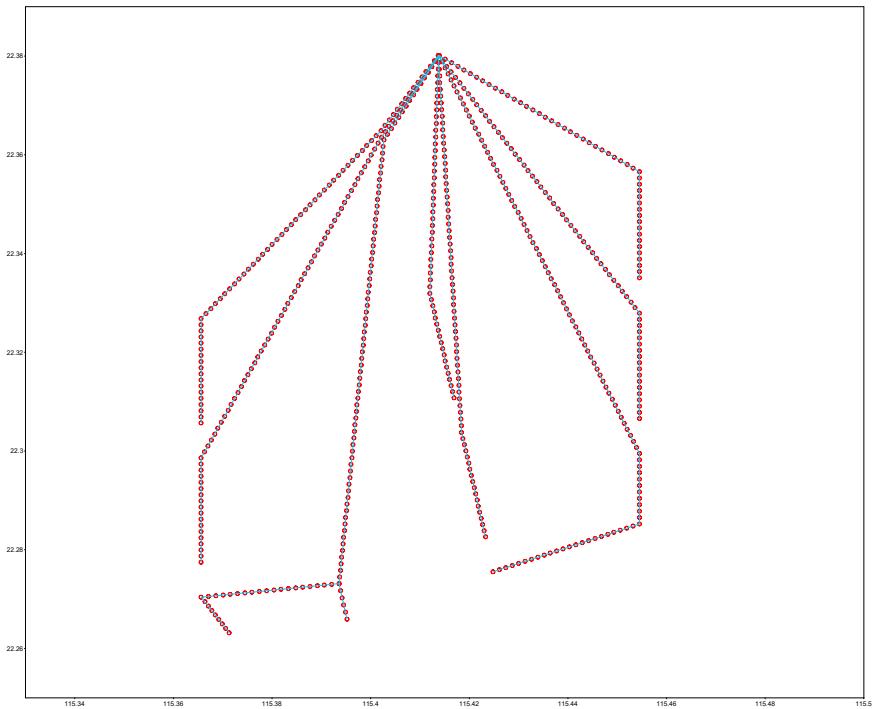


图 4.1.3-1 二期 66KV 路由源强位置示意图

### 3、二期风电场 66kV 海底电缆铺缆过程悬沙影响分析

本海域悬沙实测资料，本底悬沙浓度较低，故不考虑本底值和边界值对模型计算的影响，仅预测施工所产生的悬沙平流扩散。模拟 12.5 天二期风电场 66kV 海底电缆铺缆过程悬沙扩散情况，以各层每半小时的浓度场数据统计其超过 10mg/L、50mg/L、100mg/L、150mg/L 包络线面积，结果见表 4.1.3-1。二期风电场 66kV 海底电缆铺缆过程次底层、底层悬沙增量包络线浓度场分布见图 4.1.3-2~图 4.1.3-3 和 4.1.3-2。施工期底层超一、二类水质包络面积为 61.4km<sup>2</sup>，垂向平均为 21.2km<sup>2</sup>，施工期次底层、底层超三、四类水质。整体而言，悬沙扩散的影响范围基本局限于底层，对中层和表层的影响甚小。

表 4.1.4-1 二期风电场 66kV 海底电缆铺缆过程悬沙增量面积(km<sup>2</sup>)

| 层次   | >10mg/L | >20mg/L | >50mg/L | >100mg/L | >150mg/L |
|------|---------|---------|---------|----------|----------|
| 1    | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000    | 0.000    |
| 2    | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000    | 0.000    |
| 3    | 1.230   | 0.024   | 0.000   | 0.000    | 0.000    |
| 4    | 43.383  | 20.061  | 4.434   | 0.896    | 0.135    |
| 5    | 61.366  | 33.118  | 8.266   | 1.943    | 0.650    |
| 垂向平均 | 21.196  | 10.641  | 2.540   | 0.568    | 0.157    |

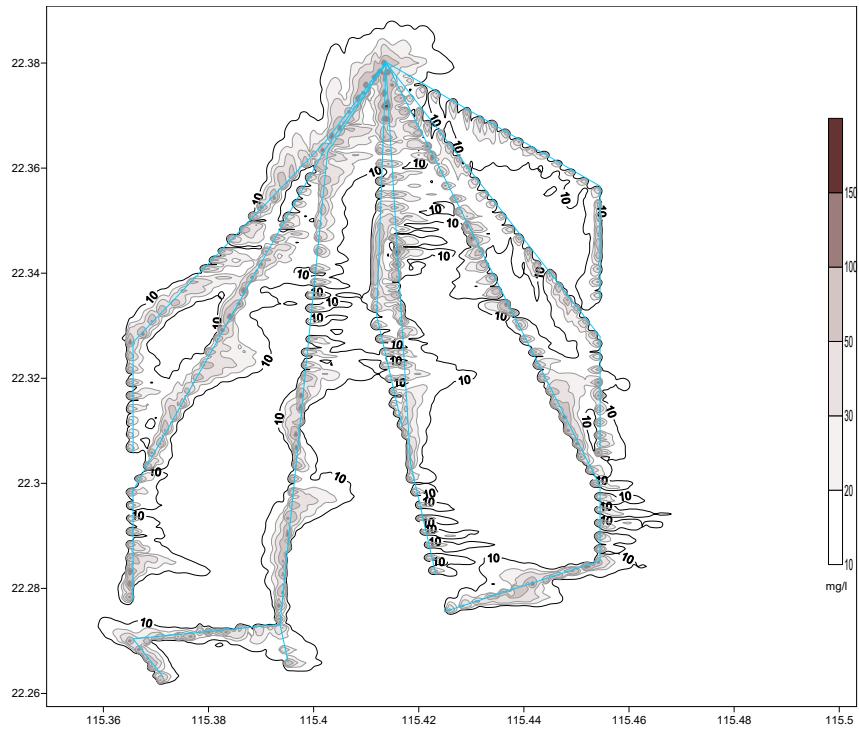


图 4.1.3-2 二期风电场 66kV 电缆铺缆次底层悬沙增量包络线（大于 10mg/L 面积 43.4km<sup>2</sup>）

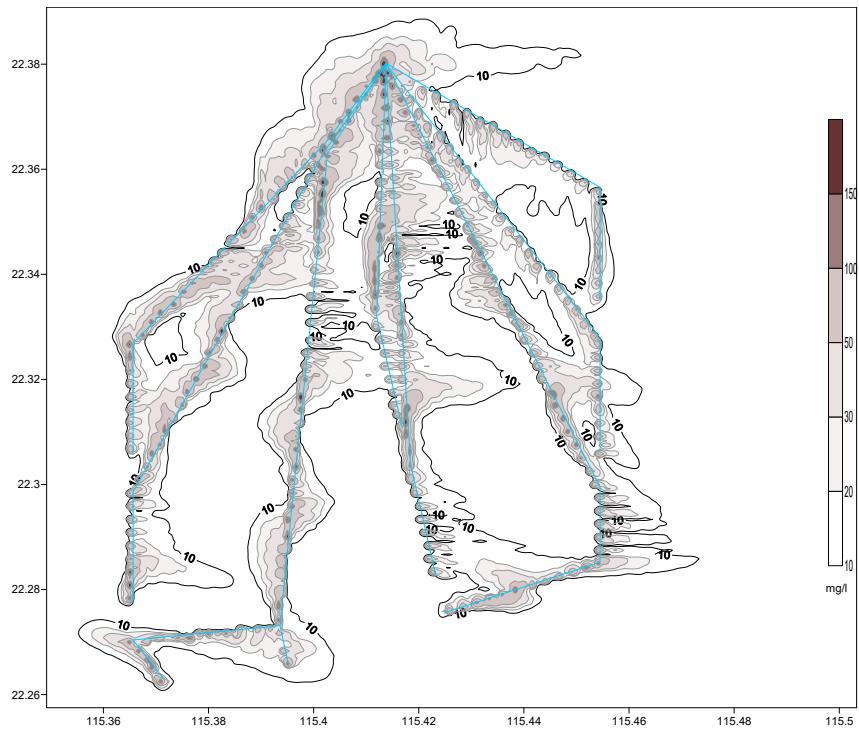


图 4.1.3-3 二期风电场 66kV 铺缆底层悬沙增量包络线（大于 10mg/L 面积 61.3km<sup>2</sup>）

从风电场海底电缆铺缆过程影响范围来看，受 SW 季风期偏东北余流影响，施工产生的悬浮泥沙主要影响风电场内和风电场东侧，施工东侧影响距离最远约 5.2km。

#### **4.1.3.2 钢管桩施工对水质环境影响**

本项目规划装机容量各为 500MW，拟布置 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式风电机组。固定式风电机组为四桩导管架结构，漂浮式风机无需打桩和钻孔。

本项目固定式风机为四桩导管架，桩基基础施工时，钢管桩插打完成后需对其进行水泥砂浆浇筑。本工程灌注的水泥砂浆，主要由胶凝材料（水泥）、拌和水和细骨料（细砂石）组成。水泥砂浆泄漏入海后与经海水稀释扩散会逐渐水化形成凝胶体，并不断把周围散粒的或块状的材料胶结成一个整体最终由原先的液态或半固定状态硬化为砼。一般水泥吸水饱和 45min 后，水泥浆逐渐失去塑性出现凝结现象，而凝结后的砼颗粒较大，且水泥浆密度较高一般在 1800~2000kg/m<sup>3</sup>，因此在发生水泥砂浆泄漏的情况下，砂浆及其固化形成的砼会快速沉入海底，其对海洋水质的影响将集中在泄漏口位置，而其对海洋水质的污染则主要表现为局部水体透明度下降，悬浮物浓度升高，但随着砂浆硬化沉降，对水质的影响会迅速减小。砂浆沉入海底后可能进一步与沉积物扩展凝结形成高强度的砼，由于水泥砂浆中不含重金属、营养盐等物质，因此砂浆沉降也不会对沉积物环境造成不利影响。

因此，只要在发现砂浆泄漏后及时停止灌注，并对泄漏处进行有效封堵，水泥浆泄漏对海水水质和沉积物环境较小。

#### **4.1.3.3 施工期污废水影响**

本工程海上施工期间会产生一定量的生活污水，生活污水中含有较高浓度的 N、P 等物质，未经处理直接排放，则会在一定程度上加重海域的富营养化程度，恶化工程附近海域的水环境。本工程施工应设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，对工程海域水质带来的影响是局部的、短期的和可逆的，影响很小，一旦施工结束，影响即可消除。

此外，工程施工期间的生产废水产生量不大，且集中在登陆点施工区域，施工生产废水拟采用隔油预沉过滤沉淀的处理方式，处理达标后储存回用。施工人员生活污水利用区域现有污水收集处理设施统一收集后纳管排放。

#### 4.1.3.4 营运期污废水影响

项目运行期间进行风机设备维护的工作人员将产生少量的生活污水，主要污染因子为 COD 和 SS 等。少量生活污水储存于小型厕所，经收集设施收集上岸后委托环卫部门统一清运，不排入周围水体。因此项目营运期对周边海域水质基本无影响。

### 4.1.4 对沉积物环境影响分析

#### 4.1.4.1 施工期对沉积物影响分析

##### (1) 风机基础施工对沉积物环境的影响分析

根据本次沉积物环境现状调查的结果，风机桩基基础附近沉积物环境质量状况良好，符合评价海域目标沉积物质量要求。风机桩基基础施工建设有少量施工悬沙扩散属于清洁沉积物。不会对附近海域沉积物环境质量造成不利影响。

施工期众多大型施工船舶在工程海域集结，施工船舶将产生一定数量的含油废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶污水未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油等直接弃置入海，将直接污染区域海水水质，进而可能影响工程区域海域沉积物环境质量，造成沉积物中废弃物、大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。

##### (2) 电缆铺设施工对沉积物环境的影响分析

海底电缆埋设期间搅起来的海底沉积物被堆积在缆沟两侧，在冲埋结束后，在海水运动作用下将回填于缆沟。海底电缆的施工对底质的直接影响就是冲起和覆盖，不会对沉积物性质产生明显影响。

海底电缆铺设时产生的悬浮沙将沉降覆盖在海底电缆两侧，使原海底沉积物受到一定程度的覆盖和破坏。工程施工除对海底局部沉积物产生部分分选、位移、重组和松动外，并没有混入其它污染物，不会影响海底沉积物质量。

#### 4.1.4.2 运行期对沉积物影响分析

运行期，本工程对沉积物环境的不利影响主要来自风机基础防腐措施中用到的牺牲阳极装置中的重金属污染物释放。本工程采用高效铝合金牺牲阳极，其主要成分为 Al、Zn、In，溶解后将随海水扩散进入大范围的海水中，部分沉积于

桩基附近沉积物中据设计单位提供资料,牺牲阳极释放的锌有 10%进入沉积物中计。由于风电场区地处开阔海域,溶解出的锌会随着海水的运动较快扩散,沉积于底层沉积物的量很少。因此工程实际运行中对区域海洋沉积物环境不会有明显不利影响。

一般牺牲阳极的规格为 100kg 左右,其对钢结构的保护核算年限可达到 20 年以上。如大亚湾某高桩码头工程即采用了此种方法进行钢结构保护,经过多年的工程实践,证明此种方法安全可靠,目前仍在发挥作用。

据此分析牺牲阳极在海水中的扩散作用,若按桩基的牺牲阳极规格为 100 kg,按照设计寿命 25 年计算,其溶解速率为  $100\text{kg}/25/365/86400=0.127\text{mg}/\text{s}$ 。这种溶解速率下,参照对比悬浮泥沙的扩散源强,溶解速率数值明显小于悬沙扩散源强,因此牺牲阳极所释放溶解的金属物质对于海洋环境的影响完全可以忽略。

## 4.2 项目用海生态影响分析

### 4.2.1 施工期生态影响分析

根据工程施工组织设计,在风电场建设过程中,海缆沟开挖、风机组基础施工是影响海洋生态的主要施工环节,桩基占海将直接对底栖生物造成损害。由于施工是逐步进行的,因此,当生物的栖息环境遭受外来影响时,一些活动能力较弱的贝类等生物将会在施工过程中而损失掉。

#### 4.2.1.1 生态影响类型和范围的判定

生态影响途径可以包括直接影响和间接影响两个方面。项目风电场桩基施工直接占用并减少海域,完全破坏底栖生物生境,掩埋底栖生物栖息地;海底电缆沿线内底栖生物和活动能力弱的生物遭受损失,但施工结束后可恢复。间接影响是由于施工使得局部水域悬浮物增加,对附近海域水生生物造成毒害等。项目施工活动直接、间接生态影响判定表见表 4.2.1-1。

表 4.2.1-1 施工活动直接、间接影响判定表

| 类型   | 影响区域  | 影响原因 | 恢复可能性 | 生物表现           |
|------|-------|------|-------|----------------|
| 直接影响 | 风电场   | 桩基占海 | 不可恢复  | 减少海域, 海洋生物全部消失 |
|      | 海底电缆区 | 施工影响 | 可以恢复  | 原有底栖生物受破坏, 可恢复 |

|                        |       |      |          |
|------------------------|-------|------|----------|
| 间接影响<br>施工悬浮物<br>浓度影响区 | 透明度降低 | 可以恢复 | 海洋生物部分受损 |
|------------------------|-------|------|----------|

#### 4.2.1.2 底栖生境破坏

风电机组桩基将对其用海范围内的海域产生永久性的占用，在该范围内的底栖生物将全部被掩埋、覆盖而灭亡，同时还将长期占用该海域底栖生物的生存空间，导致一定区域范围内底栖生物资源的永久损失，这种对底栖生境的破坏是不可逆的。

本项目拟建设 31 台 16W 固定式风机和 1 台 16.6MW 漂浮式风机，其中四桩导管架基础，桩径 3.5m。风机占用海域面积为  $3.14 \times (3.5/2)^2 \times 31 \times 4 = 1192.415 \text{m}^2$ 。

海底电缆敷设会对施工范围内的底栖生物栖息环境造成直接破坏，进而引起底栖生物损失，除少量活动能力强的生物能够存活外，绝大部分种类诸如贝类、多毛类、线虫类等都将难以存活。本报告以海底电缆敷设施工产生悬浮物覆盖高度大于 10cm 厚度的范围内大型底栖生物全部死亡计算，覆盖高度大于 7cm 而小于 10cm 厚度的范围内大型底栖生物一次性损失为 50% 计算。

本工程海底电缆通过“埋设犁”敷设，按平均埋深取 3m，海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，敷设速度取 4m/min，根据类似工程施工经验，单条电缆施工的悬浮物源强以施工土方量的 20% 计，假定搅动泥沙均匀沉积在海底电缆两侧，使得周围约 10cm 增厚范围内的底栖生物全部死亡，则单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围为  $(3m \times (0.3+0.5) m \div 2) \times 20\% \div 10cm = 2.4m$ ，即单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围约为两侧各 1.2m，大于 7cm 而小于 10cm 增厚范围内的底栖生物损失 50%，则单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围为  $(3m \times (0.3+0.5) m \div 2) \times 20\% \div 7cm \approx 3.4m$ ，即单根电缆开挖埋设大于 7cm 而小于 10cm 增厚范围约为两侧各 1.7m。

本工程 66kV 集电海底电缆总长约 89.7km，海缆施工造成的底栖生境完全破坏的面积约为 26.013hm<sup>2</sup>（含悬浮物覆盖 10cm 厚的底栖生境），海缆施工造成底栖生物损失 50% 的面积为 8.97hm<sup>2</sup>。

通过分析可以看出，本工程建设对底栖生物的影响主要是桩基占用海域对底栖生物栖息环境的彻底破坏；海底电缆铺设作业将使作业区所在海域底栖生物的栖息环境遭到破坏，施工结束后，随着新的底栖生物的植入而产生新的栖息环境。

#### 4.2.1.3 对浮游植物的影响分析

根据对本工程建设过程的分析，在做好施工期生活污水、机修油污水、工地污水、生活垃圾和生产垃圾的收集处理工作的前提下，施工期对浮游植物最主要的影响是施工增加了水体中悬浮物质，影响了水体的透光性，进而影响了浮游植物的光合作用。已有很多国内外学者对光照强度与浮游植物的光合作用之间的关系进行了研究，大量的实验及调查研究表明，水体透明度对叶绿素 a 和浮游植物数量分布和变化是一个至关重要的制约因素。

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆沿线较大范围海域的含沙量暂时上升，进而降低海洋中浮游植物生产力，对海洋生态系统带来影响；同时悬浮泥沙的扩散影响会对鱼卵、仔稚鱼的生境产生影响，进而对鱼卵仔鱼资源量造成影响。

项目施工过程中造成悬浮物浓度增加，水体透光性减弱，从而使溶解氧降低，对水生生物产生诸多的负面影响。最直接的影响是削弱了水体的真光层厚度，对浮游植物的光合作用产生不利影响，进而妨碍浮游植物的细胞分裂和生长，降低单位水体内浮游植物数量，导致局部水域内初级生产力水平降低，使浮游植物生物量降低。

一般而言，悬浮物的浓度增加在  $10\text{mg/L}$  以下时，水体中的浮游植物不会受到影晌，而当悬浮物浓度增加到  $50\text{mg/L}$  以上时，浮游植物会受到较大的影响，特别是中心区域，悬浮物含量极高，海水透光性极差，浮游植物基本上无法生存。当悬浮物的浓度增加量在  $10\sim 50\text{mg/L}$  时，浮游植物将会受到轻微的影响。

在海洋食物链中，除了初级生产者—浮游藻类以外，其他营养级上的生物既是消费者，也是上一营养级生物的饵料。因此，浮游植物生物量的减少，会使以浮游植物为饵料的浮游动物在单位水体中拥有的生物量也相应地减少，致使这些浮游生物为食的一些鱼类等由于饵料的贫乏而导致资源量下降。而且，以捕食鱼类为生的一些高级消费者，也会由于低营养级生物数量的减少而难以觅食。可见，水体中悬浮物质含量的增加，对整个海洋生态食物链的影响是多环节的。

#### 4.2.1.4 对浮游动物的影响分析

在做好施工期生活污水、机修油污水、工地污水、生活垃圾和生产垃圾的收集处理工作的前提下，本项目施工建设对浮游动物最主要的影响是水体中增加的

悬浮物质。

悬浮物对浮游动物的影响与悬浮物的粒径、浓度等有关。由于悬浮颗粒物的浓度增加，造成以滤食性为主的浮游动物摄入粒径合适的泥沙，从而使浮游动物内部系统紊乱，因饥饿而死亡。某些桡足类动物，具有依据光线强弱变化而进行昼夜垂直迁移的习性，水体的透明度降低，会引起这些动物生活习性的混乱，破坏其生理功能。具体影响反映在浮游动物的生长率、存活率、摄食率、密度、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的相似。

此外，据有关资料，水中悬浮物质含量的增加，对浮游桡足类动物的存活和繁殖有明显的抑制作用。过量的悬浮物质会堵塞浮游桡足类动物的食物过滤系统和消化器官，尤其在悬浮物含量大到 300mg/L 以上时，这种危害特别明显。在悬浮物质中，又以粘性淤泥的危害最大，泥土及细砂泥次之。同时，过量的悬浮物质对鱼、虾类幼体的存活也会产生明显的抑制作用。

#### 4.2.1.5 对渔业资源的影响分析

本工程施工过程对渔业资源的影响主要包括两个方面：一是悬浮物对渔业生存空间的影响，二是因海域占用减少渔业资源空间。

##### （1）悬浮物的影响

鱼类等水生生物都比较容易适应水环境的缓慢变化，但对骤变的环境，它们反应则是敏感的。施工作业引起悬浮物质含量变化，并由此造成水体混浊度的变化，其过程呈跳跃式和脉冲式，这必然引起鱼类等其他游泳生物行动的改变，鱼类将避开这一点源混浊区，产生“驱散效应”。然而，这种效应会对渔业资源产生两方面的影响：一是由于产卵场环境发生骤变，在鱼类产卵季节，从外海洄游到该区域产卵的群体，因受到干扰而改变其正常的洄游路线；二是在该区域栖息、生长的一些种类，也会改变其分布和洄游规律。

悬浮物对鱼类的影响主要表现为直接杀死鱼类个体；降低其生长率及其对疾病的抵抗力；干扰其产卵、降低孵化率和仔鱼成活率；改变其洄游习性；降低其饵料生物的密度；降低其捕食效率等。但悬浮泥沙对渔业的影响不是永久性的，而是可逆的，会随着施工结束而逐渐恢复。

悬浮物含量增高，对游泳生物的分布也有一定影响。室内生态实验表明，悬浮物含量为 300mg/L 水平，而且每天做短时间的搅拌，鱼类仅能存活 3~4 周，

悬浮物含量在 200mg/L 以下水平的短期影响，鱼类不会直接致死。工程不会产生的悬浮物含量高浓度区，不会造成成体鱼类死亡，且鱼、虾、蟹等游泳能力较强的海洋生物将主动逃避，游泳生物的回避效应使得该海域的生物量有所下降，从而影响该区域内的生物群落的种类组成和数量分布。至于经济鱼类等，由于移动性较强，更不至于造成明显影响。随着施工的结束，游泳生物的种类和数量会逐渐得到恢复。

施工结束运营一段时间后，浮游生物和游泳生物种群数量、群落结构会逐步恢复，生物量也会趋于增加，因此在项目运营期内一定时间对部分水域采取增殖和禁捕等保护性措施，尽快恢复对渔业生产的不利影响。

#### （2）海域占用减少了渔业空间资源

本项目风电桩基占用了天然渔业空间，减少了鱼类索饵觅食的理想场所，风电场桩基础的存在有可能妨碍鱼类的正常洄游路线，从而对渔业空间资源产生影响。

#### 4.2.1.6 对鸟类的影响

参考其他风电场建设对鸟类影响的研究成果。海上风电场施工期间，大型船只和机械活动一方面会对鸟类造成干扰，使鸟类远离施工区域，减少鸟类活动范围，另一方面会影响海洋和底栖生物分布，从而影响鸟类的食物分布；施工产生的噪声会对在施工区及邻近区域觅食的鸟产生影响，使该区域鸟类的数量减少、多样性降低；晚上施工的照明系统会干扰夜间迁徙的鸟类，吸引鸟类与工程设施相撞。

#### 4.2.1.7 水下噪声影响分析

##### 1、海洋生物受水下噪声影响的声压阈值

由于水下打桩噪声的强声源特点及对海洋中各类生物所产生的危害，自上世纪 90 年代，美国和欧洲等海洋国家就开始了针对水下打桩噪声的监测和研究。美国对海洋哺乳动物和鱼类的水下噪声（过渡性）门限值见下表。

表 4.2.1-2 美国对海洋哺乳动物和鱼类的水下噪声（过渡性）门限值

| 海洋哺乳动物类 |      |     |
|---------|------|-----|
| 门限等级    | 门限定义 | 门限值 |

|                       |  |   |
|-----------------------|--|---|
| A 级 (>180 dB 危险级)     | 基于暂时性听力阈值提升 (TTS) 和保守估计的永久性听力阈值提升 (PTS) 伤害门限 | 鳍足类: 190 dB RMS<br>鲸豚类: 180 dB RMS                                      |
| B 级 (120~180 dB, 警告级) | 脉冲式噪声 (如冲击打桩) 可对动物产生行为妨害的门限                  | 160 dB RMS  |
| B 级 (<120dB, 安全级)     | 非脉冲式噪声 (如钻孔) 可对动物产生行为妨害的门限                   | 120 dB RMS  |
| 鱼类                    |  |   |
| 伤害门限值                 | 声压峰值 (适用于所有鱼) : 206 dB                       | 累积暴露级 (Cumulative SEL) : 对质量大于等于 2 克的鱼体: 187 dB<br>对质量小于 2 克的鱼体: 183 dB |

目前我国尚未颁布海洋噪声对海洋哺乳动物或鱼类可承受的噪声声压级标准。由于美国没有大黄鱼等对声音较为敏感的石首科鱼类，噪声对鱼类伤害的门限值定的比较松。

不同鱼类对声压的忍受力不同，其中石首科鱼类对声压最为敏感。本报告以对声音最为敏感的石首科鱼类—大黄鱼为研究对象，以实验方法研究了不同大小的大黄鱼的发声信号特点和噪声对其影响。厦门大学在福建闽威水产实业有限公司进行的大黄鱼声学实验表明：大黄鱼幼苗的敏感频率在 800 Hz，声压级约 140 dB/re 1μPa 时幼苗对声波即有明显反应，当声压级达到 172 dB/re 1μPa 时有些幼苗直接死亡；大黄鱼小鱼的声敏感频率转移至 600 Hz，当声强达到 150 dB/re 1μPa 以上小鱼有主动避开声源的行为，当声源强度达到 187 dB/re 1μPa，在声源正上方的小鱼开始变得十分迟钝进而死亡；大黄鱼成鱼的声敏感频率也在 600 Hz 附近，当声源达到 192 dB/re 1μPa 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，虽未产生直接死亡，但在其后行为发生明显变化，出现不进食等现象，并在后续的半个月时间中出现 90% 的死亡。

## 2、施工水下噪声对渔业资源影响

根据厦门大学在威水产实业有限公司进行的大黄鱼声学实验，大黄鱼幼苗的敏感频率在 800Hz，当声压级达到 172dB/μPa 时有些幼苗直接死亡；大黄鱼成鱼的声敏感频率转移至 600Hz，当声源达到 192dB/μPa 时，鱼群受惊吓明显，反应迟钝，虽未产生直接死亡，但在其后行为发生明显变化，出现不进食等现象，并在后续的半个月时间中出现 90% 的死亡。因此风机基础打桩作业对渔业资源将产

生一定的影响，主要体现于对游动鱼类的驱赶作用。如果这一水域有石首鱼科种类产卵，打桩作业对石首鱼科种类产卵的影响不可避免。因此在鱼类产卵期应该暂停打桩作业。施工期程对产卵场、索饵场和洄游通道的影响是负面的，主要是打桩和电缆铺设产生的增量悬沙，风机打桩形成的噪声。但是产卵场、索饵场和洄游通道功能的作用有一定的季节性，每年5-7月是主要季节。只要工程中作业顺序安排得当，电缆铺设和风机打桩尽可能的避开渔业敏感季节，施工对产卵场、索饵场和洄游通道的影响程度可以得到减缓和消除。

### 3、施工水下噪声对海洋哺乳动物影响

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（200m左右）的鲸豚类动物及海洋鱼类造成直接致死或致伤，但长时间较高声压水平的桩基施工对海洋鱼类的累积效应可能造成慢性影响。研究表明：长时间水下噪声对鲸豚类动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。

施工期噪声可能会对海洋哺乳动物和鱼类的交流、行为、觅食和避敌产生短期的有害影响，如可造成成年海豹与幼崽的隔离（David Kastak et al. 1999）。

下图为丹麦国家环境研究所在研究海上风电场是否对活动于该海域中的斑海豹和灰海豹的影响研究(Svend Tougaard, et al, 2006)。研究跟踪了从1999~2005年间风电场在施工期和营运期水下噪声对海豹的影响。结论是：在风电场施工建设期，斑海豹的数量减少，但建设期结束，斑海豹恢复原来数量，甚至增加；在该风电场施工打桩期，斑海豹的数量明显减少，在另一斑海豹繁殖地施工打桩期没有见到斑海豹；风车的运转没有对斑海豹产生影响。风电场中的风车的运转噪声在空气中一般为50-70dB（林丽华，2008），与观测到的现象一致，对斑海豹没有影响。类比分析认为，本工程施工期可能造成海洋哺乳动物在工程海域数量分布减少，但施工结束后相应生物资源量会逐渐恢复。

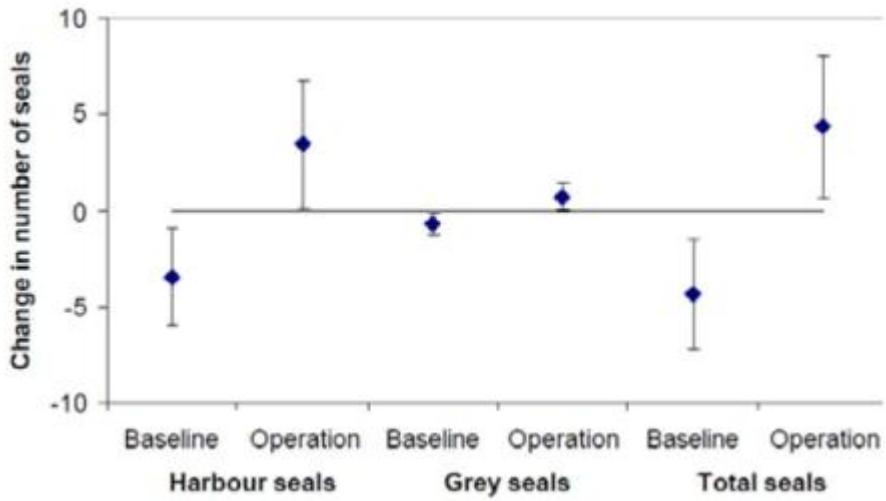


图 4.2.1-1 丹麦风电场施工期和营运期海豹数量的变化

总体上施工中水下噪声对鱼类、海洋哺乳动物的影响主要表现为噪声干扰导致鱼类或海洋哺乳动物暂时游离施工水域，在打桩作业中应采取“软启动”方式，使打桩噪声源的强度缓慢增强，即前几桩使用小强度的打桩措施，能驱使鱼类或海洋哺乳动物离开施工水域，可达到减小水下噪声导致渔业资源的损失，不会造成大范围鱼类死亡。

## 4.2.2 运营期生态环境影响

### 4.2.2.1 项目营运期对海洋生物的影响

本项目运营期产生的污染物主要为风机检修产生的少量油污水和固体废物，本工程运营中的油污水如果直接排海，对该海域的海洋水质造成严重污染，危害海洋生态环境。

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

在一定的海域范围内过量的排放含油污水或直接排放未经处理的高浓度含油污水，将会给海洋生态环境造成极大的危害，尤其是石油组分中的芳香烃类会

对海洋生物构成威胁和危害，其特点是不论高、低沸点的组分对一切生物均有毒性。实验证明石油烃会破坏浮游植物细胞，油膜会阻碍海-气交换，影响光合作用。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为 0.1~10mg/L，一般约为 1.0mg/L。对于更加敏感的种类，石油浓度低于 0.1mg/L 时，同样会影响细胞的分裂与生长速率。即使是达标排海的含油污水，在大量集中排放时仍然会对排放口周边水体中的浮游生物构成影响。

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

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

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

风电场在日常检修中少量的油污水和固废通过收集带回陆上处理，对海洋环境影响很小。

#### 4.2.2.2 对渔业生产活动影响

根据国家能源局和国家海洋局联合发布的《海上风电场开发建设管理暂行办法》规定：“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；海底电缆用海面积按电缆外缘向两侧各外扩 10 米宽为界计算”。在此范围内，不允许捕捞，挖泥等生产作业。由此可见，在风电场营运期时段，这一海域渔业捕捞将受到负面影响，难以进行大规模捕捞作业。

然而，风电场风机桩基的存在，增加了海底的粗糙度，造成紊流的出现，起到人工鱼礁的作用。虽然其建设理论上影响渔业资源修养生息，影响所在水域的捕捞作业，但从形成人工鱼礁的角度来看，一定程度上有利於鱼类的繁殖和生长，

对渔业资源的影响不仅仅是负面影响，有可能产生正面效应。

尽管营运期风机的桩基占有水面有限，而且不可避免对渔业捕捞产生影响。但这类影响若与有关利益相关方协商，并予以适当补偿，是可以接受的。风电场营运期的人工鱼礁效应对渔业资源的保护是有利的。

#### 4.2.2.3 对鸟类的影响分析

本项目在运行期会对鸟类造成多方面的影响，有直接的如碰撞、噪声等，也有间接的如破坏栖息地、减少食物资源等。按性质分，主要有以下几个方面：

##### (1) 对鸟类的直接影响

###### ①风电机噪声影响

由于大多数鸟类对噪声具有较高的敏感性，在噪声环境条件下，大多数鸟类会选择回避，减少活动范围。根据项目可研报告推荐，项目运行期噪声主要为风机运转噪声。

文献研究显示鸟类在开阔范围对噪声的忍受阈值为 47 dB (Hirvonen, 2001)，因此每个风机因噪声而对鸟类的产生影响范围噪声衰减至 47 dB 以下所需半径的圆形范围，该范围与视觉影响范围有重叠。海上升压站主变噪声影响类似，因体积较大影响范围大于单个风机噪声。受影响种类主要为在该区域活动的留鸟和中途停歇觅食的候鸟，如黑鸢、白腹海雕等猛禽，以及红嘴鸥、多种燕鸥等鸥形目鸟类。对飞行迁徙经过的候鸟因从高空经过时，与风电机的垂直距离超过 200m (按飞行高度 400 m 算)，受到噪声影响较小。

此外，从风机噪声频率角度评价，噪声对主要依靠鸣声进行通讯的鸣禽影响较为严重 (Slabbekoorn and Ripmeester, 2008)，如吸引配偶、防卫领域、预警、乞食和求救、躲避天敌等。噪声干扰鸟类寻找觅食适合区和追赶猎物并辨别天敌位置的能力，使鸟类的捕食效率和生存力大大下降。在噪声环境中，鸟类可选用特定音节或鸣唱句型传递信息 (Kennedy et al, 2009)。当环境噪声水平提高时，声信号发出者改变频率和振幅，增大信噪比，降低噪声对声信号的干扰。近年的研究还发现，鸟类还会调节鸣唱时间避开噪声干扰 (Hardouin et al, 2008)。有研究表明风机噪声频率以低频噪声为主，一般风电场所采用的风机噪声峰值频率出现在 1300~1600Hz。而鸟类鸣声频率主要分布在 2~9 kHz，环境噪声常会影响鸟类鸣声的低频部分。鸟类应对噪声频率干扰的主要方法是提高鸣唱最低频率和主

频。一般地，当风速为 8 m/s 时，兆瓦级以下的风电机组声功率级在 98-104 dB(A) 之间，其噪声呈现明显的低频特性。随着风电机组输出功率的增大，其产生的噪声增大，并向更低频移动。以图 4.2.2-1 为例，1250 Hz 以上的频率其声强低于 50 dB，谱峰出现在 200-300 Hz 段附近。

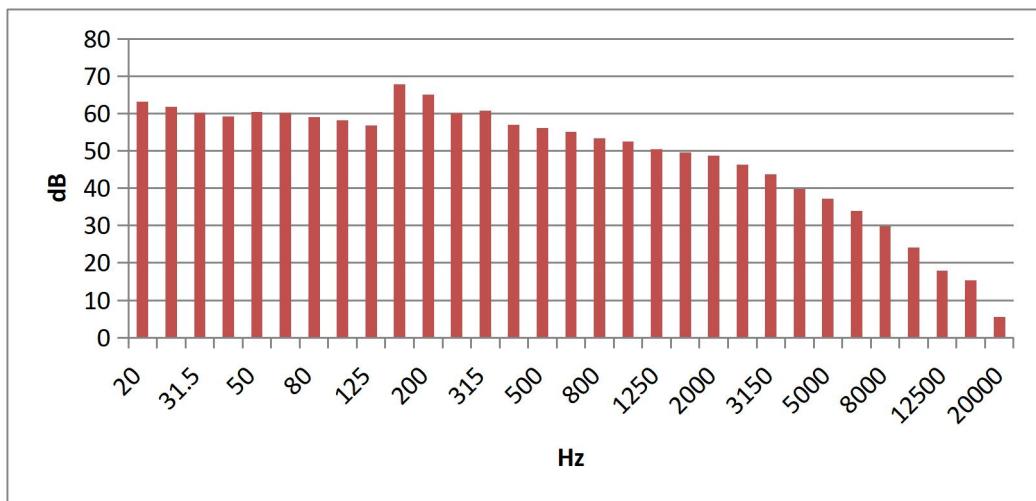


图 4.2.2-1 8m/s 时风力发电机组噪声的 1/3 倍频程频谱

以菲尔德斯半岛黑背海鸥为例，幼海鸥“吱”声是由脉冲列与正弦调制波构成的连续波。波形重复频率变化很大，从 0.12-3.3 kHz，频率范围为 200 Hz -4.8 kHz，分别在 1.7、2.5 和 2.9 kHz 处出现谱峰；成体海鸥“咯”声波形具有明显的连续调制特征。波形重复周期约为 0.5 ms，谱峰在 1.1、2 和 3 kHz 处，频率范围为 1-4 kHz；群体黑背海鸥“哦”和“哦啊”声系由多个波叠加而成的连续波，波形的周期变化较为复杂，谱峰分别出现在 1.2、1.5、1.7 和 3 kHz 处，频率范围为 1-4 kHz。可以看出海鸥鸣声主要频率高于风力发电机组的主要噪声频率。其他如白头鹤等鸣禽，其鸣声各音节的主频范围在 1.6-3.6 kHz，也高于发电机组的主要噪声范围。

以上数据表明，风电场产生的低频噪声基本低于鸟类的最低频率鸣声，鸟类间的互相沟通及交流基本不会受风电场低频噪声的影响。结合本项目建设区域鸟类分布特征，经过风机所在海域的鸟类主要为非鸣禽类的水鸟，受噪音频率影响的可能性较雀形目鸣禽更低。

## ②光影响

日间风机叶片反射阳光可能会刺伤雀鸟的眼睛，使候鸟迷途，改变迁徙方向。而晚上风电场区域的照明是影响夜间迁徙鸟类安全的一个非常重要的因素，特别是在遇上大雾、降雨、强逆风或无月的夜晚，鸟容易被光源吸引，向着光源飞行，这种趋光性极易造成鸟撞上光源附近的障碍物。北美 Virginia 西部山区风电场在

2003 年 5 月底某天大雾的夜晚发生 27 只夜间迁徙鸟死亡，变电站的钠蒸气灯是吸引鸟与风电机相撞的主要原因 (Kerlinger, 2003)，该风电场的鸟死亡情况的研究结果表明，夜间迁徙的鸟经常死于风电场内的灯下。目前有研究波长较长的光线，如红光和黄光对候鸟影响更大。因此，在工程区域可能受光影响的主要是夜间迁徙的鸟，需采取防护措施尽可能减少光对其产生的干扰。

基于实验研究，蓝光等短波光（波长 $\leq 405\text{ nm}$ ）能刺激候鸟视网膜的隐花色素蛋白，通过光磁感受体作用感受地磁场，从而使鸟类获得地磁定向能力；但红光等长波光会影响隐花色素蛋白的激活，使鸟类失去磁场感受能力。本项目主要使用波长较长的红光和复合光白光，对迁徙鸟类影响较大，容易使候鸟偏离正常的迁徙方向，或增加撞向风电的风险，可尽量采用短波光照明，或延长航空灯闪烁时间间隔等方式减轻影响。

### ③碰撞效应

一般情况下风电场对鸟类迁徙没有影响。但候鸟在迁徙中途停歇和觅食时，以及遇到不良气象条件时飞行高度一般都低于 100 m。由于此时飞行高度较低，旋转着的巨大风电机叶轮将会阻止鸟类在风电场范围内飞行和停留；同时，风机叶片旋转的范围在离地面 26~184 m 之间，是鸟类飞行通过风机的高风险区域，有被风机叶片撞击的危险。但国外有关研究成果表明，候鸟迁徙路线中的风电场年撞鸟概率约为 0.0015%~0.009%。该概率同迁徙候鸟迁徙的规模、气象条件、风电场选址关系很大 (Drewitt and Langston, 2006)。大规模的候鸟迁徙也意味着候鸟与风机和输电线路相撞的概率增加；在不良气象条件下，如大雾、降雨或强逆风时，大气能见度降低，鸟类会降低飞行高度，从而增加相撞的概率；风电场选址是最显著影响鸟类死亡的因素，风电场占据的空间范围越大，迁徙鸟类撞击的概率也越大。

同时有研究发现鸟在飞近风电场区域时，能够成功改变迁徙路线以避开塔柱和旋转的叶片，并且白天比夜晚更能精确地改变飞行方向。雷达对丹麦 Nysted 海上风电场鸟类迁徙监测说明，白天鸟类在 3000 m 外，夜间鸟类在 1000 m 外绕开风力发电场飞行，改变飞行方向 (Desholm and Kahlert, 2005)。还有研究统计发现，和风电机碰撞的鸟类多为大中体型的鹳形目、隼形目和鸮形目鸟类。根据本项目的鸟类现状调查，本风电场发生碰撞效应的受影响对象主要是夜行性的隼

形目鸟类。

## (2) 对鸟类的间接影响

风电场因占用一定场地，对鸟类栖息地造成多方面的影响，会间接影响在此区域栖息的鸟类种群数量。

### ①栖息地损失和破碎化

风电机直接占风电场的面积很小，大约 2%~5%，但风机可能会让候鸟不敢在附近海域降落生活，影响生活在当地和附近的海鸟繁殖、筑巢和觅食，导致这些海鸟不得不离开栖息地。丹麦的 Horns Rev 风力发电场建于沿海，对迁徙鸟类的行为观察发现，鸟类对风电场有避让行为 (Noer et al, 2000)，因此，如果场址选择在鸟类适宜栖息地内，将可能使鸟类失去整个风电场大的栖息地，这一点在近海湿地、内地草原修建的风电场十分突出。丹麦 Nysted 风力发电场建在沿海湿地，通过雷达监测鸟类的行为，风电场修建后，白天活动的雁鸭类进入风电场内原来适宜栖息地的次数显著减少 (Drewitt and Langston, 2006)。原来的栖息地不能再利用，这些鸟类完全丧失了这块栖息地，这一过程也是鸟类栖息地破碎化的过程。

### ②生境质量下降

风电场建立在适宜栖息地处导致栖息地破碎化，更导致栖息地质量下降，风机的桩基和叶片的转动噪音将严重影响海洋生物的活动规律和分布，从而降低了以海洋生物为食的鸟类的栖息地质量。虽然鸟类可能对风电场习惯化，但是由于食物匮乏它们也可能永远放弃这些栖息地。风机叶片的旋转干扰，迫使鸟类避开原有之飞行路径，使得风机的排列很有可能产生栖息地切割之效应 (Drewitt and Langston, 2006)。

综上述，风电场对鸟类的影响是多方面的，各方面的作用是相互的，既有协同性的（如建设用地既造成栖息地损失，也引起食物资源的减少），也会互相抵消（如干扰会导致鸟类远离栖息地，但也减轻了碰撞风机的机会）。

### 4.2.2.4 水下噪声对海洋生物影响

风机运行中向水下辐射噪声的主要途径是风机运行的噪声源从空气中直接通过海面折射到水下、通过风机塔架传导到水中、从风机塔架到海底再辐射到水中三条声传播路径组成。

## 1、营运期风电场水下噪声分析

根据厦门大学在上海东海大桥海上风电场类比监测结果表明：风机运行中水下噪声的频谱级基本上都相似，总体强度随频率增加而明显较小，在1~20kHz中功率谱级分布在140dB/1μPa到65dB/1μPa之间，在120到1.5kHz有一较宽的裙带状谱，强度增加为10~20dB/1μPa。在离风机3号风机200m靠近桥梁及航道上，100Hz点上的功率谱级达到最大为128dB/1μPa，比同样深度不同距离的功率谱提高10~20dB/1μPa。由于水下噪声的时间-空间-频率等随时变化的特性，测量船只在远离风电场近4km处也测量到裙带状的低频背景噪声分布，因此总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。

类比调查风机运行水下噪声升压及声功率见下图。

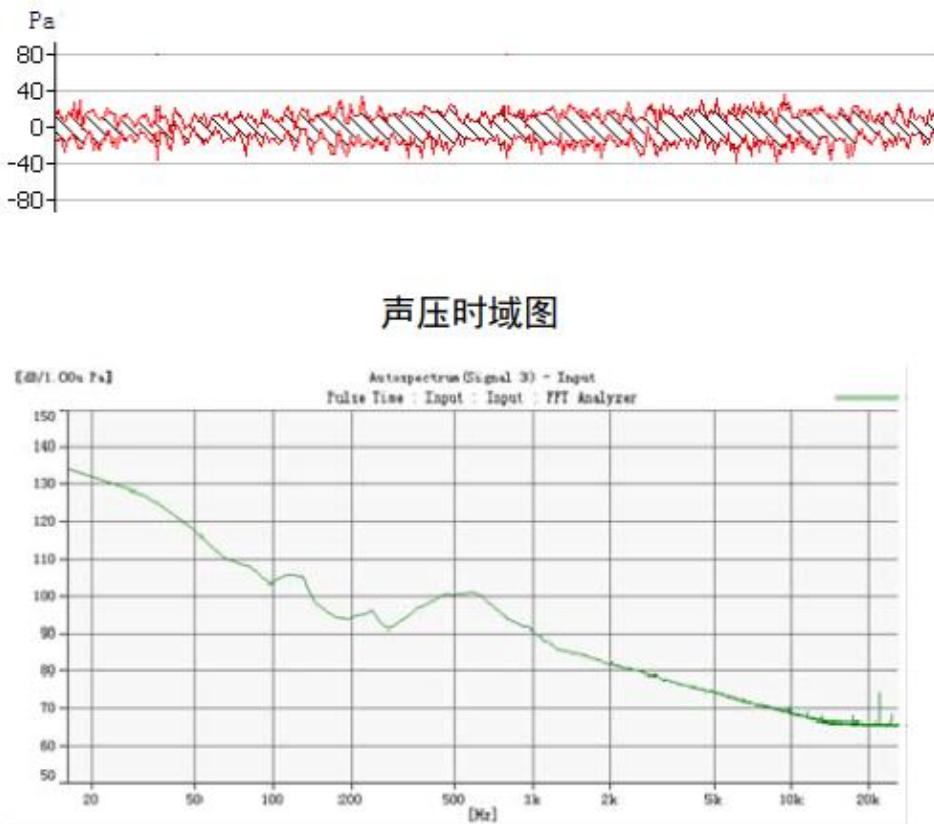


图 4.2.2-2 类比海上风电场水下噪声实测结果

## 2、水下噪声海洋生物影响评价

厦门大学在厦大海洋与地球学院生态场中进行水下噪声对典型海洋生物影响实验，实验海上不同强度声压的水下噪声对水池中鱼类和底栖的影响。实验开

始前先在养殖池中 4 个位置用水听器测量水下背景噪声，再将发射换能器置于水池中，发射水下声信号，采用丹麦 B&K 的 PULSE 多通道分析系统，记录和分析水下噪声在 4 个位置中的强度分布。

接着分别放置实验用的鱼种和底栖生物，实验用的鱼种经过适当时间的适应后，再把水声发射换能器和水听器置于水池中并静待 10min。以恢复鱼种因仪器布放过程中所受的惊扰。

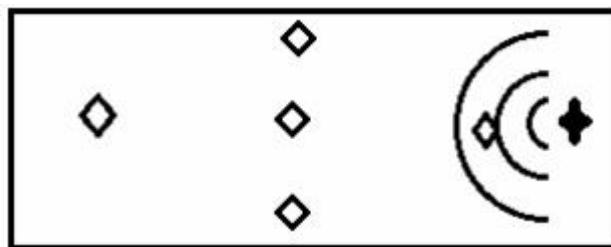


图 4.2.2-3 测量背景噪声和声场分布的实验布置图

发射噪声信号从低频到高频进行测试，以目前所研究的大多数的石首科鱼类的最高灵敏度 500Hz 为主要频率，观测对不同频率信号的响应。同时改变发射强度，观测鱼类对声信号的响应。

实验水下噪声分两类：

- a) 把之前记录的原始的海上风电场噪声数据作为噪声源，取其中典型的较大的噪声功率谱数据，使用不同强度的声压级（110dB re 1μPa、120dB re 1μPa、130 dB re 1μPa）进行实验，同时用水听器在水池中进行实时跟踪观察噪声数据；
- b) 用计算机产生 200Hz~900Hz 的水下低频噪声，使用不用强度的声压级（110dB re 1μPa、120dB re 1μPa、130dB re 1μPa）进行实验，同时用水听器在水池中进行实时跟踪观察噪声数据。

### 3、水下噪声生物实验结果显示

#### (1) 行为学参数

**运动轨迹：**观察了大黄鱼种，锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎、斜带石斑鱼、真鲷、卵形鲳鲹、花尾胡椒鲷、凡纳滨对虾等活动状况，在发射上述所提到的不同强度噪声，特别是风电场记录的较强的水下噪声时，没有出现回避噪声源的现象；

**死亡率：**在上述使用的噪声源下，连续 3 天持续发射噪声的时间累加超过 48 小时，实验组与对照组之间的死亡率数据基本相同，噪声辐射没有对鱼类产生直接致死现象。

## (2) 生化指标测量

噪声对 6 种鱼类血液中去甲肾上腺素的含量影响不明显,除斜带石斑鱼的实验组与对比组之间有显著性差异外,其它各组之间的均无显著性差异。碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性测定。营运期中的水下噪声强度对棒锥螺、牡蛎、文蛤、缢蛏的碱性磷酸酶活性、酸性磷酸酶活性有显著影响,对其它物种的作用不显著。磷酸水解酶活力的激活或抑制仅能表明有机体能够感知环境的变化,并不能断定环境条件的变化对生物体是有利还有害。若要进行利或害的判断,必须进行长期(几个月甚至是几个世代)、多因素(成活率,生长速度,抗逆性,繁殖力等)的综合考虑。

分析海上风电场水下噪声对海洋生物的影响,除了必须对海上风电场风机产生的水下噪声进行实测外,还必须调查区域海洋鱼类的听觉性能,测量不同海洋鱼类的听阈值,了解海洋鱼类的声学特性。根据前期进行过大黄鱼声学特性的初步实验。

## 4、实验结果表明:

(1) 幼苗对声音的敏感频率在 800Hz, 声强约 140dB 时对声波即有明显反应, 声强 150dB 时有少量幼苗死亡, 当声强达到 172dB 时有较多幼苗直接死亡。

(2) 小鱼的测试结果与幼苗明显不同。小鱼的声敏感频率转移至 600Hz, 当声强达到 150dB 以上, 小鱼仍未有致死现象, 仅有主动避开声源的行为, 当声源强度达到 187dB, 在声源正上方的小鱼开始变得十分迟钝, 当声强达到 192dB 时, 仅观察到声源正上方的 2 只小鱼的直接致死, 由此说明小鱼最大可承受声压大于幼苗。

(3) 成鱼的声敏感频率也在 600Hz 附近, 当声源达到 192dB 时, 鱼群受惊吓明显, 反应迟钝, 但未能直接致死。但在声源约为 140dB 时, 成鱼对声波就有条件反射行为发生。

可见, 不同规格和年龄的大黄鱼对水中声音的反应存在明显差异。三种不同尺寸的鱼对声音的敏感频率集中在 600-800Hz 频带上, 与大黄鱼主动发声时的主要谱峰位置相吻合。但不同年龄的大黄鱼的声敏感频率有略微差别, 生长年龄越小的鱼, 其声敏感频率越高。但大黄鱼的发声信号特征与鱼体耳石大小、生长年龄、雄雌等之间更为定量的关系, 还需深入的实验研究。

总体来说，海上风电场在营运期的总体的噪声比较低，即使是在靠近运转风机的测点上也只有少数数值的水下噪声在特定频段（120Hz~1.5kHz）上的水下噪声高于背景噪声 10~20dB/1μPa，总体噪声谱级都在 120dB/1μPa 以下。风电场营运期水下噪声谱级分布强度较小，基本上与海洋环境背景噪声谱级相当，风电场营运中频率在 5kHz 以上的噪声谱级均在 95dB 以下，因此，不会对该海域中的鱼类行为活动产生影响。

噪声对鱼类等海洋生物的实验研究表明，营运期水下噪声强度就本实验中所提及的海洋生物实验条件下没有显著影响，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、花尾胡椒鲷）等影响不明显。

风机运行产生的噪声到达海面时衰减为 45dB，声波传入水体中将进一步衰减。因此，风机运行产生的噪声不会引起桩基周围的水生生物和鱼类晕厥、死亡等现象，且当风机噪声影响鱼类正常栖息和生存时，鱼类将游离该处，寻找适合生存的栖息地。

## 5、水下噪音影响分析

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

同时根据中国船舶重工集团公司第七〇二研究所于 2017 年 3 月对已经运行的滨海北区 H1#海上风电场水下噪声进行了类比监测。在相同深度不同水平距离监测点上监测表明：6 个监测点在 3m 水深处的噪声谱级变化不大，基本上与原有的环境背景噪声级相当，频率 100Hz 以上的噪声谱级均在 115dB 以下。总体由于风机噪声而引起的强度变化不大，基本上与海域其它点测量到的背景噪声相近。

综上表明，虽然测试结果反映出风机运转中在水下产生了一些噪声，但是监测结果中风机噪声的特征并不明显，也没有对较远处的背景噪声产生影响。因此营运期水下噪声对海洋动物的影响较小，是可以接受的。

#### 4.2.2.5 电磁辐射对海洋环境影响分析

##### 1、电磁环境影响分析

营运中的海上风电场电缆在每一相导体中均存在  $120^{\circ}$  的相位差，使得周围导体产生变化的磁场，尽管电缆的护套提供了良好的电场屏蔽，但是无法屏蔽磁场。根据专题预测，在电缆电压为 66kV 时，三芯电缆所辐射的电磁感应强度在海床面上很小，小于  $1\mu\text{T}$ 。

结合本工程风机机群分布，对 66kV 电缆场内叠加效应分析。风机基群所产生的电磁环境影响效应不明显。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个电缆金属护套内部。对于 66kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降在  $1\mu\text{T}$  以下。据本项目实验室模拟实验，对该海域中典型的海洋鱼类和底栖生物（梅童鱼、白姑鱼、锚尾鰕虎鱼、半滑舌鳎；虾类和贝类有对虾，口虾蛄；菲律宾蛤仔等）等海洋生物的影响在可以接受范围。

##### 2、电磁辐射对海洋生物影响分析

根据厦门大学课题组在厦门大学生态场水池研究的工频电磁环境大黄鱼、半滑舌鳎、矛尾鰕虎鱼、口虾蛄、日本对虾、菲律宾蛤仔、缢蛏等 7 种海洋生物在强度分别为 0.3mT, 0.6mT, 1.2mT 交流电磁场的持续作用下 48 小时的影响，评价指标包括生物肌肉、肝脏、血液的碱性磷酸酶（AKP），酸性磷酸酶（ACP），超氧化物歧化酶（SOD）的活性，通过单因素方差分析有一下结论：

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

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

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

因此可以发现海洋生物能够感知强度为 1.0mT 以上交流电磁场的存在，并做出不同生理反应，强度在 0.3mT 以下的交流电磁场对海洋生物作用 48h 后，

其体内的碱性磷酸酶，酸性磷酸酶以及超氧化物歧化酶的比活力变化不显著。但是磷酸水解酶活力的激活或抑制仅能表明有机体能够感知环境的变化，并不能断定环境条件的变化对生物体是有利还有害。

目前学术界对于海底电缆产生的电磁场对海洋生物产生的影响还没有科学的定论。

行为学研究显示鱼类是能够感觉到电场的，但是目前所知这种影响是较小的。Formicki 等(2004 年)人对很多种鱼进行研究发现，如鲈鱼(*Perca fluviatilis*)、白斑狗鱼(*Esox lucius*)、拟鲤(*Rutilus rutilus*)、红眼鱼(*Scardinius erythrophthalmus*)、鲷科鱼东方欧鳊(*Aramis brama*)和鲈科鱼梅花鲈(*Gymnocephalus cernuus*)等都趋于选择镶有磁铁的长袋网。但这些研究都是以淡水鱼类为研究对象，因此与海水鱼类相比磁场反应有可能不同。在 Nishi、Kawamura 和 Matsumoto(2004)的研究中发现，无论是在海水中、淡水中还是在养殖区域的日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)均会对 12663nT~192473nT 的磁场变化产生反应。以上科研成果为实验研究的结论，仅能说明特定鱼类可能对磁场产生反应。

Westerberg 和 Begout-Anras(2000)对欧洲银鳗在穿越南波罗的海海底电缆时的洄游形式进行了遥测研究。研究表明，鳗鲡随着持续的磁性罗盘航向迁移，并没有受到电缆产生的电磁异常影响。此外，Westerberg(1994)从研究的角度测试了南波罗的海近岸风力发电机附近的欧洲鳗鲡的洄游形式，在风力发电机 500m 范围内，鳗鲡的洄游形式没有发生任何改变。

在 Westerberg 和 Lagenfelt 的一项未发表的研究中，将 60 尾正在洄游的银鳗放流于奥兰岛和瑞典大陆之间的 132kV 交流电缆(AC)北部。其洄游速度在有电缆的间隔中明显降低。虽然能够证实磁场对洄游具有影响，但电缆不会影响其周围鱼类的洄游路线、总体分布和洄游形式。

本工程海底电缆均敷设于海底土层以下，电缆外层的金属屏蔽层、铠装层以及海底土层对磁场具有一定的屏蔽作用，且鱼类活动空间较大，在海底区域活动的鱼类种类及数量相对较少。根据类比陆上电缆线路磁场分布可知，本工程海底电缆上方 1m(中心处)工频磁感应强度远低于《电磁环境控制限值》(GB 8702-2014)公众暴露控制限值 0.1mT，基本可以判定本项目产生的电磁对场址附近的海洋生物影响较小。

## 4.3 项目用海资源影响分析

### 4.3.1 项目用海对岸线资源和海洋空间资源的影响

大陆岸线、海岛岸线及近岸海域是海洋经济发展的重要载体，也是稀缺和不可再生的空间资源。

本项目海底电缆铺设于海底，风机和 66kV 集电海缆均位于近海深水区域，不占用大陆岸线和海岛岸线。本项目用海方式包括透水构筑物用海（风力发电机组）、海底电缆管道用海（66kV 集电海缆），项目用海总面积 236.9673hm<sup>2</sup>，其中透水构筑物用海面积 67.21411hm<sup>2</sup>，海底电缆管道用海面积 169.7532hm<sup>2</sup>。

本工程建设中风机、海底电缆用海占用了部分海底、海面以及部分海面上方的海域空间资源，使周围海域空间资源更加紧张。本项目使部分海洋空间开发活动也受到了限制，占海区域对海域空间资源的其他开发活动具有完全排他性。

### 4.3.2 海洋资源损耗分析

#### 4.3.2.1 底栖生物资源损失量

在施工期间，由于风机基础施工、海底电缆铺设等，改变了生物原有的栖息环境，尤其对底栖生物的影响是最大的。项目施工彻底改变施工海域内的底质环境，使得少量活动能力强的底栖种类逃往别处，大部分底栖种类将被铲除、掩埋、覆盖，除少数能够存活外，绝大多数将死亡，导致生物资源损失。其中风电桩基对底栖生物的破坏是永久性的、不可逆转的；而海底电缆铺设对底栖生物的破坏是可以恢复的。

按照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）（以下简称《规程》），底栖生物资源损害量按如下公式计算：

$$W=D \times S \quad (4.3-1)$$

式中：

W—底栖生物资源受损量，单位为 kg；

D—评估区域内底栖生物资源密度，单位 kg/m<sup>2</sup>；

S—底栖生物占用的水域面积或体积，单位为 m<sup>2</sup>。在此为风机桩基、海底电

缆基槽开挖面积。

根据 4.2.1 节, 本项目风机桩基占用底土面积 1192.415m<sup>2</sup>; 海缆施工造成的海缆施工造成底栖生物完成损失面积为 26.013 hm<sup>2</sup>, 50%损失面积为 8.9hm<sup>2</sup>;

由报告第 3 章节 2021 年春季和秋季海洋生物资源调查可知, 调查海域底栖生物的平均生物量为 66.6415 g/m<sup>2</sup>。则本项目建设造成海洋生物损失量如下:

桩基础造成底栖生物损失量:  $1192.415 \times 66.6415 \times 10^{-3} = 79.2\text{kg}$

海缆施工造成底栖生物损失量:

$26.013 \times 10^4 \times 66.6415 \times 10^{-6} + 8.97 \times 10^4 \times 66.6415 \times 10^{-6} \times 50\% = 20.32\text{t}$

因此, 项目桩基础建设造成底栖生物直接损失 79.2kg, 海缆施工造成底栖生物直接损失 20.32t。

#### 4.3.2.2 渔业资源损失量

本工程海缆铺设和风机桩基施工工期超过 15 天, 按照《规程》, 工程在悬浮物扩散范围内对海洋生物产生的持续性损害, 按以下公式计算:

$$M_i = W_i \times T$$

$$W_i = \sum_{i=1}^n D_{ij} \times S_i \times K_{ij}$$

式中:  $M_i$  为第 i 种生物资源累计损害量, 尾、个或千克 (kg);

$W_i$  为第 i 种生物资源一次性平均损失量, 尾、个或千克 (kg);

T 为污染物浓度增量影响的持续周期数 (以年实际影响天数除以 15), 个;

$D_{ij}$  为某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源密度, 尾/km<sup>2</sup> 或个/km<sup>2</sup> 或千克 (kg) /km<sup>2</sup>;

$S_i$  为某一污染物第 j 类浓度增量区面积, km<sup>2</sup>;

$K_{ij}$  为某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源损失率, %;

n 为某一污染物浓度增量分区总数。

本项目场址所在海域水深约 35~50m, 根据 4.1.3 节悬浮泥沙扩散预测分析, 项目施工产生的悬浮泥沙底层最大扩散面积为: 悬浮泥沙增量 > 10mg/L 的面积为 53.703km<sup>2</sup>, 悬浮泥沙增量 > 20mg/L 的面积为 25.662km<sup>2</sup>, 悬浮泥沙增量 > 50mg/L 的面积为 6.584km<sup>2</sup>, 悬浮泥沙增量 > 100mg/L 的面积为 1.650km<sup>2</sup>。

表 4.3.2-1 本工程悬浮物对各类生物损失率参数（参照《规程》相关规定）

| 悬沙增值浓度(m g/L) | 污染物 i 的超标倍数(Bi) | 扩散面积(k m <sup>2</sup> ) | 各类生物损失率(%) |     |
|---------------|-----------------|-------------------------|------------|-----|
|               |                 |                         | 鱼卵和仔稚鱼     | 成体  |
| 10~20         | Bi≤1 倍          | 10.555                  | 5          | 0.5 |
| 20~50         | 1<Bi≤4 倍        | 8.101                   | 15         | 5   |
| 50~100        | 4<Bi≤9 倍        | 1.972                   | 30         | 10  |
| >100          | Bi≥9 倍          | 0.568                   | 50         | 30  |

本工程海缆敷设施工为船舶“埋设犁”敷设施工，悬浮物浓度增量影响的持续时间一般不超过 15 天，且海缆敷设施工为线型移动敷设，持续周期按 1 计算。根据工程海域测量资料，工程区域海缆登陆点至风电场址水深范围为 35~50m，平均水深按 42.5m 计。

以两季调查平均值作为评估依据进行评估，项目所在海域海洋渔业资源密度见表 4.3.2-2。

表 4.3.2-2 海洋生物调查结果统计表

| 序号 | 海洋生物资源种类 | 单位                 | 2021 年春季 | 2021 年秋季 | 两季平均值    |
|----|----------|--------------------|----------|----------|----------|
| 1  | 游泳生物     | kg/km <sup>2</sup> | 187.6    | 326.009  | 256.8045 |
| 2  | 鱼卵       | ind/m <sup>3</sup> | 0.158    | 0.233    | 0.1955   |
| 3  | 仔鱼       | ind/m <sup>3</sup> | 0.011    | 0.039    | 0.025    |

则项目施工悬浮泥沙造成渔业资源损失量为：

$$\text{游泳生物} = 256.8045 \times 10.555 \times 0.5\% \times 1$$

$$+ 256.8045 \times 8.101 \times 5\% \times 1$$

$$+ 256.8045 \times 1.972 \times 10\% \times 1$$

$$+ 256.8045 \times 0.411 \times 30\% \times 1 = 0.212t$$

$$\text{鱼卵} = 0.1955 \times 10.555 \times 10^6 \times 42.5 \times 5\% \times 1$$

$$+ 0.1955 \times 8.101 \times 10^6 \times 42.5 \times 15\% \times 1$$

$$+ 0.1955 \times 1.972 \times 10^6 \times 42.5 \times 30\% \times 1$$

$$+ 0.1955 \times 0.411 \times 10^6 \times 42.5 \times 50\% \times 1 = 2.176 \times 10^7 \text{ 粒}$$

$$\text{仔鱼} = 0.025 \times 10.555 \times 10^6 \times 42.5 \times 5\% \times 1$$

$$+ 0.025 \times 8.101 \times 10^6 \times 42.5 \times 10\% \times 1$$

$$+ 0.025 \times 1.972 \times 10^6 \times 42.5 \times 30\% \times 1$$

$$+0.025 \times 0.411 \times 10^6 \times 42.5 \times 50\% \times 1 = 0.235 \times 10^7 \text{ 尾}$$

因此,项目施工造成渔业资源直接损失量为:游泳生物 0.212t, 鱼卵  $2.176 \times 10^7$  粒, 仔鱼  $0.235 \times 10^7$  尾。同时, 施工对渔业资源的影响是暂时的、可逆的, 渔业资源生物量损失随着施工的结束, 慢慢可以得到恢复。

#### 4.3.2.3 生物资源累计损失量估算

本项目风电场每台风机桩基造成底栖生物的生境遭到永久破坏, 占用底质的底栖生物类群不可恢复。海底电缆敷设短时间内改变了底质环境, 在施工完成后可逐渐恢复, 项目施工引起的悬浮泥沙经扩散沉降后逐渐消失, 对海洋生物基本没有影响。因此, 本项目桩基施工造成海域底栖生物资源累计损失量按 20 年计, 电缆敷设、施工悬浮物扩散导致的海洋生物资源累计损失量按 3 年计, 则本项目造成的生物资源累计损失总量见表 4.3.2-3。

表 4.3.2-3 生物资源累计损失总量

| 影响因素               | 影响对象 | 影响面积<br>(公顷)   | 生物量                        | 损失量                      | 补偿<br>年限 | 累计损失<br>量                |
|--------------------|------|----------------|----------------------------|--------------------------|----------|--------------------------|
| 桩基压占               | 底栖生物 | 0.1192415      | $66.6415 \text{ g/m}^2$    | 0.0795t                  | 20       | 1.59t                    |
| 海缆敷设               | 底栖生物 | 34.983         | $66.6415 \text{ g/m}^2$    | 20.32t                   |          | 60.96t                   |
| 施工期悬<br>浮物扩散<br>影响 | 游泳生物 | 见表 4.3.2<br>-1 | $256.8045 \text{ kg/km}^2$ | 0.212t                   | 3        | 0.636t                   |
|                    | 鱼卵   |                | $0.1955 \text{ 粒/m}^3$     | $2.176 \times 10^7$<br>粒 |          | $6.528 \times 10^7$<br>粒 |
|                    | 仔稚鱼  |                | $0.025 \text{ 尾/m}^3$      | $0.235 \times 10^7$<br>尾 |          | $0.705 \times 10^7$<br>尾 |

### 4.4 项目用海风险分析

#### 4.4.1 用海风险识别

自然环境对项目用海带来的风险主要为热带气旋、风暴潮、暴雨, 雷电、地震等自然灾害所产生。项目所在海域历史上受热带气旋袭击频率高, 给工程施工期及营运期带来风机损坏、事故溢油等风险。

溢油污染分为事故性污染和操作性污染两大类, 事故性污染是指船舶碰撞、

搁浅、触礁、起火、船体破损、断裂等突发性事故造成的污染；操作性污染是指码头装卸作业，以及船舶事故性排放机舱油污水、洗舱水、废油、垃圾等造成的污染。由于客观原因加上人为因素，都有可能造成溢油事故的发生，因而必须加强防范措施，重视对船员的管理和培训，尤其是提高船员安全生产的高度责任感和责任心，增强对潜在事故风险的认识，提高实际操作应变能力，避免人为因素，以减少风险事故的发生与危害。

#### 4.4.1.1 自然灾害风险分析

本工程区域是受热带气旋影响较为频繁的地区之一，台风、风暴潮灾害常有发生，风暴潮是热带气旋强烈的向岸风使海水大量在海岸堆积，造成潮水位变化的一种潮汐现象。

##### (1) 热带气旋风险

台风是强烈的热带气旋，是发生在热带海洋上的中心附近最大风力达到 12 级以上的暖性低压强烈天气系统。台风蕴涵的巨大自然能量将给风电机组造成破坏，其破坏机理主要是对设备结构施加静载荷和动载荷叠加效应。

台风的破坏力主要由强风、暴雨和风暴潮三个因素引起。

a) 强风台风是一个巨大的能量库，其风速都在 17m/s 以上，甚至在 60m/s 以上。据测，当风力达到 12 级时，垂直于风向平面上每平方米风压可达 230 公斤。

b) 暴雨台风是非常强的降雨系统。一次台风登陆，降雨中心一天之中可降下 100mm~300mm 的大暴雨，甚至可达 500mm~800mm。台风暴雨造成的洪涝灾害，是最具危险性的灾害。台风暴雨强度大，洪水出现频率高，波及范围广，来势凶猛，破坏性极大。

c) 风暴潮就是当台风移向陆地时，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。强台风的风暴潮能使沿海水位上升 5m~6m。风暴潮与天文大潮高潮位相遇，产生高频率的潮位，导致潮水漫溢，海堤溃决，冲毁房屋和各类建筑设施，淹没城镇和农田，造成大量人员伤亡和财产损失。风暴潮还会造成海岸侵蚀，海水倒灌造成土地盐渍化等环境问题。

台风对风电场可能造成的损害包括：

- a) 台风夹带的细小沙砾造成破坏叶片表面，轻则影响叶片气动性能，产生噪音，严重的将破坏叶片表面强韧性，由此降低叶片整体强度。
- b) 台风带来的狂风暴雨对输电线路的破坏。
- c) 台风破坏测风装置，使风力发电机组不能正确偏航避风，设备不能降低受风面积，超过设计载荷极限，使设备遭到破坏。
- d) 台风施加在设备上的静力效应和动力效应共同作用下不断施加疲劳载荷，最后达到或者超过叶片和塔架的设计载荷极限，导致引起部件机械磨损，缩短风力发电机组的寿命，严重的使叶片损坏及塔架倾覆。

本工程风机基础按照 50 年一遇工况设计，一般风暴潮不会危及其稳定性，但是当百年一遇大风暴潮发生时，狂风夹着巨浪引起风暴潮增水，有可能造成基础的冲刷与破坏，严重时甚至可能冲垮基础，造成风机的倒塌，进而对海域环境造成不利影响。本工程所采用的风电机组中，各零部件均不含放射性或其它危险性元素，无毒性，无腐蚀性，因此，万一风电机组倒塌到海里，不会造成海域水质的污染。由于风电机组及塔架的主要组成为钢，因此，风机倒塌对海域环境的影响主要为引起海底泥沙的再悬浮和扩散，进而可能当地的海洋生物产生一定的影响。

为减少台风给风电场带来的损失，根据台风的破坏机理，本报告提出下列防范措施：

- 1) 装置性能可靠的测风仪器，建议使用受风面积小、不易受破坏且能精确测量风速、风向的红外超声波感应仪，避免因测风仪器损坏使风力发电机组不能正确偏航避风。
- 2) 推荐使用强度高、质量轻的碳纤维增强型塑料作为风机叶片的填充材料以提高风机叶片的强韧性，从而提高风机设计荷载。
- 3) 加强风机运行的强度监测，优化运行。在叶片上设置具有检测作用的光导纤维，实时了解叶片的载荷、温度、被伤害和疲劳程度，根据实际情况，及时维修并对其优化合理使用。

## (2) 风暴潮风险

受长期泥沙冲刷的影响，在风电场海底电缆和海床之间有形成淘空的可能。考虑工程海域可能遭受风暴潮、热带气旋的影响，风暴潮、热带气旋带来的强劲

潮流和风能共同作用也可能造成海缆及基础处的局部冲刷，威胁基础稳定和海缆安全。为避免海缆淘空风险，在施工过程中应避免在电缆和海床之间形成空间，以防止海区内较为强劲的潮流和风量作用造成局部冲刷现象。对于基础局部冲刷的保护则应在基础承载设计中预留必要的冲刷余量，并在运行期必要时采取基础抛石等防护措施。

为进一步避免海底线缆损坏影响项目运行稳定，应遵守《中华人民共和国海上交通安全法》和《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》的有关规定，敷设海底电缆施工作业，在适当的位置设立昼夜醒目的标志，并保证其完好、有效。电缆敷设完毕后，向主管机关报送管线相关资料，并申请发布航行通（警）告。根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作用。项目建成运行后应开展定期的巡查，观测潮滩冲刷变化情况，在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查，如发生局部冲刷及时进行回填保护。

### （3）雷击风险

空中的尘埃、冰晶等物质在大气运动中剧烈摩擦生电以及云块切割磁力线，在云层上下层分别形成了带正负电荷的带电中心，运动过程中当异性带电中心之间的空气被其强大的电场击穿时，就形成放电。对风电场运行带来危害的主要是云地放电，带负电荷的云层向下靠近地面时，地面的凸出物、金属等会被感应出正电荷，随着电场的逐步增强，雷云向下形成下行先导，地面的物体形成向上闪流，云和大地之间的电位差达到一定程度时，即发生猛烈对地放电。

雷电一般具有：冲击电流大；持续时间短；雷电流变化梯度大和冲击电压高等特点。通常雷击有三种形式，直击雷、感应雷、球形雷。

德国风电部门对该国风电机组的故障情况进行了统计，结果显示德国风电场每百风机每年的雷击率基本在 10% 左右，在所有引发风电机组故障的外部因素（如风暴、结冰、雷击以及电网故障等）中雷击约占 25%。在我国，雷击损坏情况最严重的是海南东方风电场，近年来仅风机叶片的雷击损坏率就达 5.56 片/百片·年。

国内虽然还没有雷击影响风力发电的系统性统计资料，但从搜集的相关风电机组维修资料来看，风力发电系统遭受雷击是常见故障。

风机设备遭受雷击受损通常有下列 4 种情况：

- a) 风机直接遭受雷击而损坏，主要指叶片件遭感应雷和球形雷破坏叶尖甚至整个叶片；
- b) 雷电脉冲沿与设备相连的信号线、电源线或其他金属管线侵入使设备受损；
- c) 设备接地体在雷击时产生瞬间高电位形成地电位“反击”而损坏；
- d) 设备安装的方法或安装位置不当，受雷电在空间分布的电场、磁场影响而损坏。

此外，除直接雷击外，雷击对风电系统的危险因素还有：

- a) 源自于直接击中风叶的雷击或击中与风力涡轮发电机相连接的电力线或数据线的雷击（非直击）的电涌电流的破坏。这些线路包括交流电力线以及电话线或者用于遥控风力涡轮发电机的 SCADA 线。
- b) 源自于与将雷电流泄放到“大地”所必需的下引导体相邻近的电路（电力及控制线路）所感应到的高电压的破坏。

#### 4.4.1.2 船舶碰撞风险分析

项目施工期大量施工船舶往来于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。

类比我国近岸海域溢油污染事故的发生状况，分析本项目船舶碰撞最大可信事故确定依据。

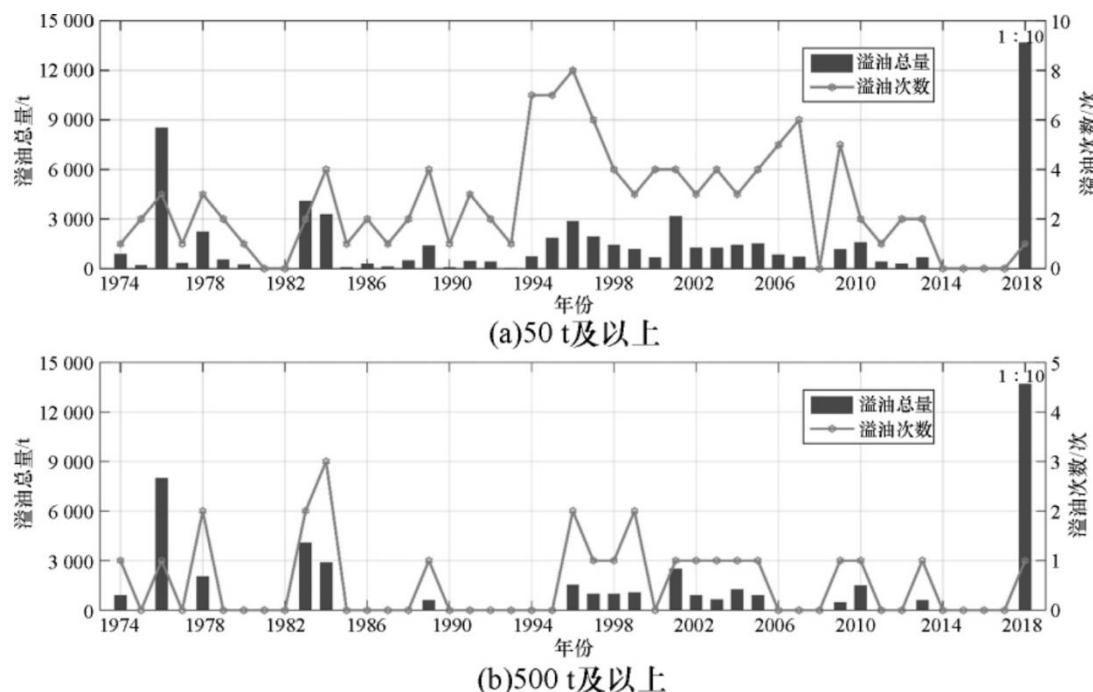
##### （1）国内船舶溢油事故统计

从 1974~2018 年近 30 年以来，我国近海 50t 及以上海洋溢油事故共计 117 次，其中 50t 及以上溢油事故 92 次、500t 及以上溢油事故 24 次、3.4 万 t 及以上溢油事故 1 次；共造成油品损失 186105t。3 类溢油事故的年际变化如图 4.4.1-1 所示。

在溢油事故次数方面：①1974~2018 年我国近海 50t 及以上海洋溢油事故次数总体呈先增后减的态势。1993~1994 年事故次数明显增加，1994~1997 年为事故高发期，其中 1996 年最高达到 8 次；2009 年后事故次数明显减少，2010~2018 年为事故低发期，其中 2014~2017 年事故次数为 0。②1974~2018 年我国近海 500t 及以上海洋溢油事故中，1984 年最高达到 3 次，1985~1995 年和 2006~

2018 年事故次数较少。

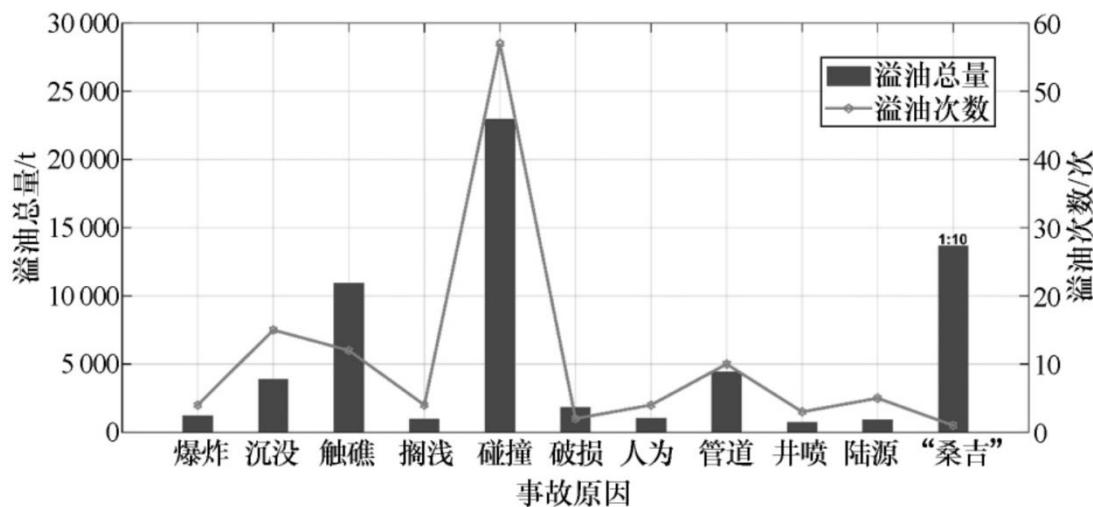
在溢油总量方面：①连续大规模溢油事故出现在 1996~2005 年；②2018 年“桑吉”号溢油事故以高达 137000t 的溢油总量占历年溢油总量的 74%，成为我国历史上首次也是唯一一次灾难性海洋溢油污染事故（3.4 万 t 以上）；③500t 及以上溢油事故的溢油总量占比为 17%，50t 及以上溢油事故的溢油总量占比仅为 9%。



注：2018 年的溢油总量已按 1:10 的比例缩减展示

图 4.4.1-1 1974~2018 年我国海洋溢油事故次数与溢油总量的年际变化

发生海洋溢油事故的原因多种多样，1974~2018 年我国 50t 及以上海洋溢油事故发生原因主要是船舶在航行、靠离码头时，由于碰撞、触礁、搁浅、爆炸、船体破损、管道断裂、井喷等事故造成溢油。



注：“桑吉”号溢油事故属于碰撞事故，其溢油总量已按1:10的比例缩减单独展示。

图 4.4.1-2 1974~2018 年我国 50t 及以上海洋溢油事故的原因

经统计分析，我国海域发生的大溢油事故中，船舶碰撞是我国海洋溢油事故发生的主要原因，触礁和沉没也是船舶溢油事故发生的常见原因，其中碰撞事故导致的溢油总量最大，触礁次之。其中，碰撞是导致海洋溢油事故次数最多（58 次）和溢油总量最大（159987t）的因素；触礁导致海洋溢油事故的溢油总量达到 10967t，仅次于碰撞；沉没和管道导致海洋溢油事故次数分别达到 15 次和 10 次，但溢油总量较小，分别为 3903t 和 4465t。

据国内外溢油事故统计资料表明，船舶碰撞发生溢油事故最主要的原因是船舶突遇恶劣天气，风大、流急、浪高，加之轮机失控，造成船舶触礁和搁浅，引发重大溢油事故发生，事故发生地点主要在河口、港湾、沿海等近岸水域。

## （2）广东省船舶溢油事故统计

广东省溢油污染事故发生概率为 8.8 次/年，其中 10 吨以下的事故发生概率为 7.2 次/年，10~50 吨、100~500 吨、500~1000 吨、1000~10000 吨事故发生概率分别为 0.6 次/年（约 1 年一遇）、0.6 次/年（约 1 年一遇）、0.2 次/年（5 年一遇）、0.2（5 年一遇）次/年。事故主要涉及湛江港、广州港、珠海港、港、汕头港，则平均每个港区事故发生概率为 1.8 次/年（1 年 2 次），10 吨以下、10~50 吨、100~500 吨、500~1000 吨、1000~10000 吨事故发生概率分别为 1.44（1 年 2 次）、0.12 次/年（约 10 年一遇）、0.12 次/年（约 10 年一遇）、0.04 次/年（25 年一遇）、0.04 次/年（25 年一遇）。本工程在施工期间和单个港区相比动用船舶较少，所以项目所在事故发生概率更小。

表 4.4.1-1 溢油事故发生概率估算表（次/年）

| 海域             | 总事故<br>发生概<br>率 | <10t | 10~50<br>吨 | 100~50<br>0 吨 | 500~10<br>00 吨 | 1000~1<br>0000 吨 | >10000t |
|----------------|-----------------|------|------------|---------------|----------------|------------------|---------|
| 广东省海域(总)       | 8.8             | 7.2  | 0.6        | 0.6           | 0.2            | 0.2              | 0       |
| 项目所在海域<br>(平均) | 1.76            | 1.44 | 0.12       | 0.12          | 0.04           | 0.04             | 0       |

## 4.4.1.3 其他风险分析

### （1）风机倒塌风险分析

### a) 风机基础缺陷

单个风机的位置的地质情况存在差别，有的甚至可能和岩土勘察报告的结论相去甚远，若未对单个风机选址进行详勘，未针对选址点采取有针对性的措施，可能造成风机基础腐蚀、塌陷，风机倾覆等事故。

### b) 风机塔架缺陷

风力发电机组选型未按照风场发电机组最大风速及湍强等选型，塔架地基基础地质勘测不清楚，塔架的荷载条件设计不合理，塔架制造和装配存在材料和质量缺陷，均可能导致风机塔架坍塌事故。

### c) 外力影响

受船舶撞击或者强台风袭击导致风机倒塌。由于风机倒塌引起的风机机舱、风机塔筒落入海中，本身形成障碍物，将对船舶通航产生障碍。其本身电机机械表面带有的少量润滑油落入海中对海水水质造成影响。

## (2) 电气设备风险分析

风力发电机组：风机故障、风机叶片损坏、风机火灾、齿轮箱损坏、偏航机构损坏、风机飞车、液压系统缺陷等。风机维护、维修时产生的润滑油的跑冒滴漏落入海中对海水水质造成影响。

海缆如果布线不合理，机械强度不够，埋深不够，施工质量差，海缆铺设线路未设置标志，未向海洋管理部门申报，有可能造成海缆损坏。

## (3) 海底电缆及风机基础泥沙冲刷淘空风险

受长期泥沙冲刷的影响，风电场海底线缆和海床之间有形成淘空的可能。风电机基偏东-西向的流速减小，导致在桩基群的附近偏东-西向两侧产生一定的淤积，最大淤积强度在  $0.15\text{m/a}$  左右，而在桩基群之间，冲刷不明显。整体上看，冲淤范围仅局限于风电机基群的附近海区，周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。风机海缆如埋设在局部冲刷坑范围内则可能出现海缆出露甚至泥沙冲刷掏空的可能。此外，考虑工程海域可能遭受风暴潮的影响，风暴潮带来的强劲潮流和风能共同作用也可能造成海缆及基础处的局部冲刷，威胁基础稳定和海缆安全。

## (4) 项目施工风险

根据本工程施工内容及环境条件，施工过程中主要可能发生的事故包括：火

灾、爆破伤害、起重伤害、车船伤害、高处坠落、物体打击、机械伤害、坍塌、溺水伤害、电伤害，以及雷击、有害毒虫伤害等自然灾害；主要存在的职业卫生危害有：粉尘、噪声等。

a) 坍塌

风机基础养护不良，混凝土强度未达到设计标准就进行设备安装等，遇上大风大浪天气容易造成塔架倒塌事故。

在机组及塔架吊装过程中，可能发生吊物坠落，吊装设备折断、倾覆等情况；有可能发生吊物坠落，如钢丝绳断裂等；有可能发生吊装物件碰坏（如吊装中配合不当、风力过大等因素）；有可能发生吊装物件撞击人体发生坠落，人员受伤；有可能发生机具伤害；有可能发生触电事故等。

由于基坑放坡不足，风力及土质疏松等众多因素可能发生坍塌事故。

b) 车船伤害

在施工期，塔架、机舱、叶片等部件规模大，数量多，配件长，这些部件需要用汽车、船舶运到现场，风电场设备安装范围广，运输距离远，特（重）大件设备多，项目工程区离岸较远，海域水深，浪大，如组织不好，驾驶人员安全意识不高，则容易造成车船伤害等。

在风电机组运输、安装过程中，若运输路线不合理，运输船舶超载，装载不符合安全要求，船舶航行超速，在恶劣环境条件下，容易造成车辆、船舶的倾覆、碰撞等事故。

c) 起重伤害

该项目吊装作业特点是起重部件大，吊程高，高空作业受限，又受到大风、大雨恶劣环境，更容易引发起重伤害事故。

风电场起重设备事故主要是起重伤害，起重对象包括：塔架、机舱、叶片等。起重设备故障、安全装置失效、操作过程中操作人员注意力不集中、安全意识不强、违章操作、管理不善等都有可能造成吊物坠落、吊物与设备碰撞以及坠落伤害等。

在机组及塔架吊装过程中，可能发生吊物坠落，吊装设备折断、倾覆等情况；有可能发生吊装物件碰坏（如吊装中配合不当、风力过大等因素）。

项目施工要对风力发电机组塔筒、机舱、叶片进行吊装，吊件大、起吊高度

高，风场气候条件多变，施工地基情况复杂，作业工作面有限，在各类起重设备作业过程中，如果不慎会造成起重伤害和起重设备损坏。

d) 机械伤害

该项目施工过程中使用许多起重设备和土方施工机械，还有许多加工机械设备和工器具，这些机械如果带病运行、作业人员违章操作或安全防护装置不完善等，均有可能造成机械伤害。

e) 高处坠落

风机安装涉及高处作业和交叉作业，若作业人员防护不到位，严重违反高处作业安全技术规程，易发生高处坠落事故。

风力发电机均安装在高塔架顶部的机舱内，如安装、调试、运行、巡检、检修等过程中如防护措施不当、作业人员安全意识不强、违章作业等均易造成高处坠落事故。

f) 火灾风险

施工期间，若施工船舶众多，频繁穿越施工水域，可能会发生碰撞或碰撞至风机桩架，碰撞后燃油飘至海面，稍有不慎容易引起火灾。

营运期间风力发电机年久失修、超负荷运转以及定、转子相间接地或绝缘损坏造成短路，都容易引发火灾；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，若处理不当也容易引起火灾。

## (5) 项目营运风险

运行期间一般情况下运行人员在控制室对风力发电机组、升压站进行控制操作，在定期巡视或检修时，需登上设备进行检查和维修处理。运行期主要危险事故有坍塌、高处坠落、溺水、电伤害、起重伤害、机械伤害、火灾爆炸、风机塔架倾倒、风机叶片折断，以及雷击、冻灾、有害毒虫伤害等自然灾害；主要职业卫生危害有噪声、潮湿、电磁辐射等。

风机运行阶段还可能存在鸟类飞行撞击风机的事故风险，根据相关研究，大部分鸟类的迁徙是在天气晴好的白天，而且大部分鸟类飞行高度较高，即使飞行高度较低的鸟类，也能够较好的识别障碍物，避免与风机发生撞击。在飞行条件较差的时候，如下雨或者起雾时，则有可能发生鸟类与风机的撞击，目前的研究总体结果表明概率较低，特别是在离岸建设风电场，撞击概率就更小。本工程距

岸较远，加上鸟类的趋避行为，因此实际损失的鸟类数量很有限。

## 4.4.2 溢油事故预测分析

### 4.4.2.1 最大可信事故

按照《建设项目环境风险评价技术导则》(HJ/T 169-2018) 中的定义，“最大可信事故”系指“基于经验统计分析，在一定可能性区间内发生的事故中，造成环境危害最严重的事故”。参照《水上溢油环境风险评估技术导则》(JT/T1143-2017) 中的定义，“最大可信水上溢油事故”系指“在所有预测的概率不为零的事故中，溢油量最大的水上溢油事故”。根据风险识别，施工船舶碰撞溢油为本项目主要的风险，本次评价采用施工船舶碰撞后单舱燃料油全部泄漏为本项目的最大可信事故。

### 4.4.2.2 溢油源强分析

#### 1、溢油点

本工程施工人员及原材料通过港区码头运输至施工区；工程施工区位于风电场区，现场不设加油船，施工船舶定期回港区加油维护保养。根据本项目的设计，可能发生溢油事故的方式在施工期主要为施工船舶发生碰撞事故产生，在运营期主要为运维船与附近航道通航船舶碰撞引发的溢油事故。

#### 2、溢油量

考虑施工作业区内施工船舶之间碰撞的溢油事故。根据可研报告，本工程施工船舶最大吨位为 10000 吨级，参照《水上溢油环境风险评估技术导则》(JT/T1143-2017)附录 C 中表 C5，10000 吨级施工船舶的燃油总舱容为 960m<sup>3</sup>，按载油率 80%计，燃油总量为 768m<sup>3</sup>，单舱燃油量为 128m<sup>3</sup>。因此风电场区域船舶溢油量确定为 102.4t。

本项目营运期运维船相对较小，船舶吨级约为 250 吨，满载油量约 25t。海上升压站主变（单台）载油量 56200kg，柴油发电机共 2 台，1200KW/400KW，柴油罐容量分别为 36m<sup>3</sup> 和 1m<sup>3</sup>。由于设备均布置在升压站平台上，发生灾害时发生泄漏事故可能性较小，因此，本评价选择施工期船舶碰撞溢油进行预测分析。

#### 4.4.2.3 溢油风险预测

当施工船舶事故发生溢油。溢油入海后，先在重力作用下扩散，形成一定面积的油膜，然后在潮流、湍流、扩散以及风作用下，以表面膜的形式在海表面漂浮，在风及海流作用下随之漂移与扩散，与此同时，表面膜还将潮流与波浪作用下不断向四周扩展，使表面膜面积不断扩大。蒸发是表面膜初期发生的主要降解过程，蒸发减少了水面的油类体积，并使油的某些物理化学特性发生变化。

除蒸发外，燃油在水中的降解作用还有溶解、乳化、吸附沉淀等，但这些过程较复杂，难以用数模方式进行模拟预测，因此在本次预测中仅考虑蒸发。

##### 1、预测模型

采用油粒子模式预测燃油的漂流扩散及其影响，粒子模式预测方法是假定海面上漂浮着一定厚度的、较为稠密的表面膜，该膜是由有限个彼此独立、互不干扰的油质点组成。它们分别受风与水流影响，独自漂移，即不会发生碰撞，也不会发生混合，在海表面漂流过程中由于蒸发粒子数量减少。

粒子漂流模式如下：

$$x = x_0 + \int_{t_0}^t u dt \quad y = y_0 + \int_{t_0}^t v dt$$

$$u = u_c + \kappa u_w + u_r \quad v = v_c + \kappa v_w + v_r$$

原坐标为(x0, y0)油膜经时间  $\Delta t = t - t_0$  后，漂移到坐标(x, y)。u 和 v 分别是油膜运动的东、北分量，它由流速 Vc、风速 Vw、油膜随机运动速度 Vr 组成， $\kappa$  为风对油膜拖曳系数，预测模型取值 0.022。通过跟踪各油膜坐标(x, y)的位置，确定运移范围，统计其数量和质量，可得各坐标网格的化学品膜面积和厚度。

燃油蒸发过程受油性质、油厚度、风及油组分控制。使用 Mackay 等提出的蒸发系数：

$$\theta = \frac{kSt}{V_0}$$

$k = f \times 10^{-3} U_w^{0.78}$ ，Uw 为海面 10m 风速，S 为表面膜面积，Vo 为化学品体积，t 为时间，f 为不同化学品蒸发系数，取值 1.3；通过上式蒸发系数，计算该粒子质量与厚度，当表面膜厚度少于 0.05mm，该油粒子消失。

通过以上计算，可以确定任意质点在任一时刻的位置和属性，同时也可以反

映出这些质点的群体状况，由此来描述燃油漂移扩散的过程。

## 2、风险预测组合

风险预测采用常风速工况。常风速工况、最大风速工况、不利风速风向工况。根据遮浪海洋站风向、风速资料统计结果，常风速工况为夏季 SW 风向，5.2m/s；冬季 NE 风向，5.7m/s。

各工况与潮流的组合为涨潮开始的低低潮时刻、落潮开始的高高潮时刻，潮流场为该季风对应的背景表层潮流场，组合情况具体见表 4.4.2-1。

**表 4.4.2-1 施工期泄漏扩散预测组合情况**

| 溢油地点 | 工况   | 风向 | 风速 (m/s) | 背景流场             | 泄漏量 (t) |
|------|------|----|----------|------------------|---------|
| 风电北部 | 常风工况 | NE | 5.7      | 冬季潮流场大潮落潮（低低潮时刻） | 102.4   |
|      |      | NE | 5.7      | 冬季潮流场大潮涨潮（高高潮时刻） |         |
|      |      | SW | 5.2      | 夏季潮流场大潮落潮（低低潮时刻） |         |
|      |      | SW | 5.2      | 夏季潮流场大潮涨潮（高高潮时刻） |         |

### 4.4.2.4 常风速工况预测结果

表 4.4.2-2 是平均风速工况，风向 NE、SW 与涨潮、落潮四组合情况下溢油泄漏 72 小时的影响范围统计，图 4.4.2-1~图 4.4.2-4 是溢油后油膜漂移扩散包络线图，NE 风况对各保护区基本没影响，SW 风况溢油对碣石海马珍稀物种保护区区产生的影响。

**表 4.4.2-2 NE、SW 常风速工况溢油泄漏 72 小时扫海面积(km<sup>2</sup>)和残余油量(t)**

| 风况    | NE 风向、风速 5.7m/s |       |           |       | SW 风向、风速 5.2m/s |       |           |       |
|-------|-----------------|-------|-----------|-------|-----------------|-------|-----------|-------|
| 背景流场  | 冬季潮流场大潮落潮       |       | 冬季潮流场大潮涨潮 |       | 夏季潮流场大潮落潮       |       | 夏季潮流场大潮涨潮 |       |
| 泄漏后时间 | 扫海              | 残余量   | 扫海        | 残余量   | 扫海              | 残余量   | 扫海        | 残余量   |
| 2     | 0.501           | 102.4 | 0.788     | 102.4 | 0.931           | 102.4 | 0.644     | 102.4 |
| 6     | 2.005           | 102   | 2.076     | 101.6 | 2.578           | 101.6 | 2.864     | 102   |
| 10    | 4.01            | 101.2 | 3.938     | 100.8 | 4.511           | 100.8 | 5.8       | 101.2 |

|              |        |      |        |      |        |      |        |      |
|--------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|
| 18           | 7.303  | 99.2 | 7.16   | 98.3 | 9.022  | 99.1 | 10.024 | 99.5 |
| 24           | 9.595  | 98   | 10.239 | 97.1 | 12.817 | 97.3 | 13.533 | 98.3 |
| 48           | 19.118 | 93.1 | 19.189 | 89.7 | 27.066 | 92.4 | 22.841 | 93.4 |
| 72           | 30.646 | 85.7 | 31.004 | 84.8 | 69.096 | 85   | 47.329 | 88.5 |
| 影响敏感区与时间     |        |      |        |      |        |      |        |      |
| 碣石海马<br>珍稀物种 | -      | -    | -      | -    | 33h    | -    | 35h    | -    |
| 遮浪渔业<br>区    | -      | -    | -      | -    | -      | -    | -      | -    |
| 海龟保护<br>区    | -      | -    | -      | -    | -      | -    | -      | -    |
| 大亚湾渔<br>业保护区 | -      | -    | -      | -    | -      | -    | -      | -    |

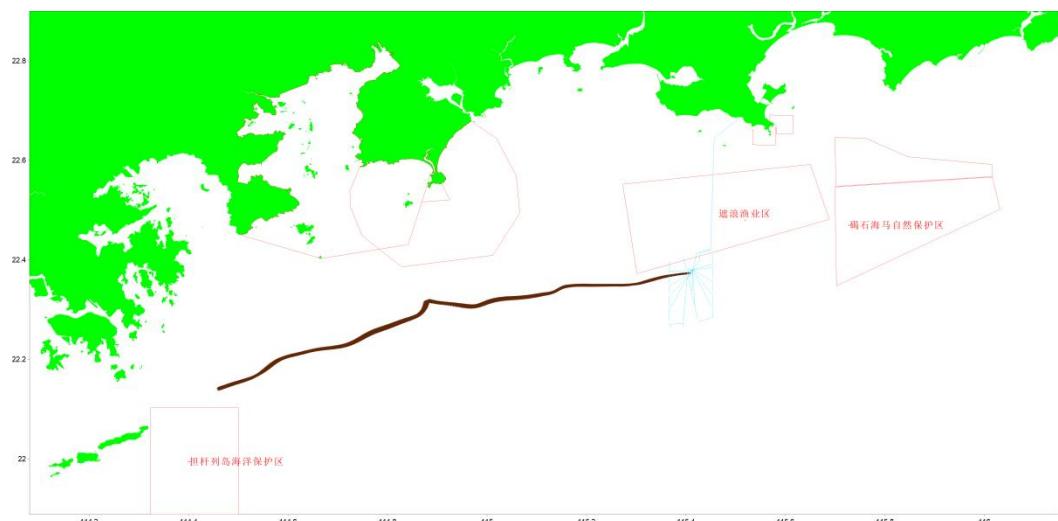


图 4.4.2-1 冬季中潮落潮 NE 风向 5.7m/s 溢油扩散包络线

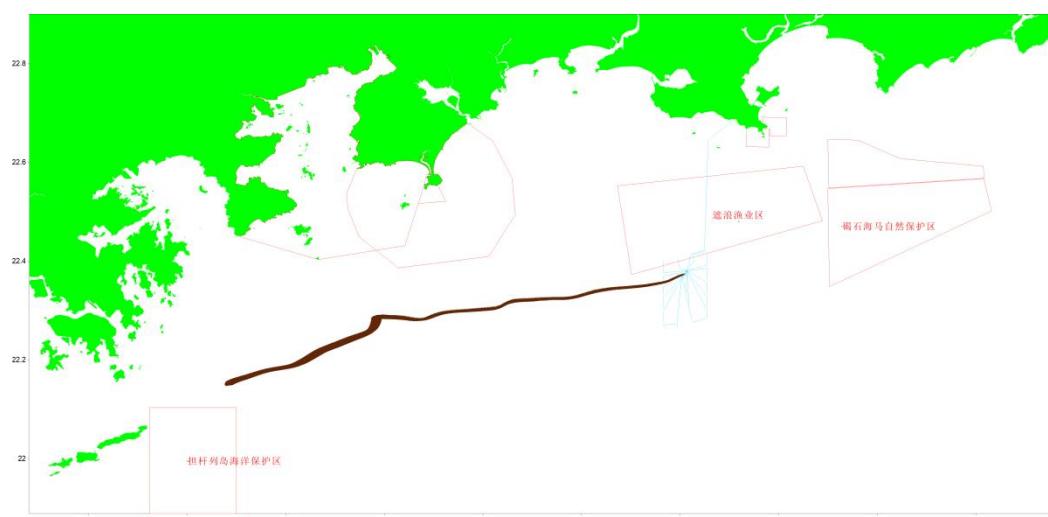


图 4.4.2-2 冬季中潮涨潮 NE 风向 5.7m/s 溢油扩散包络线

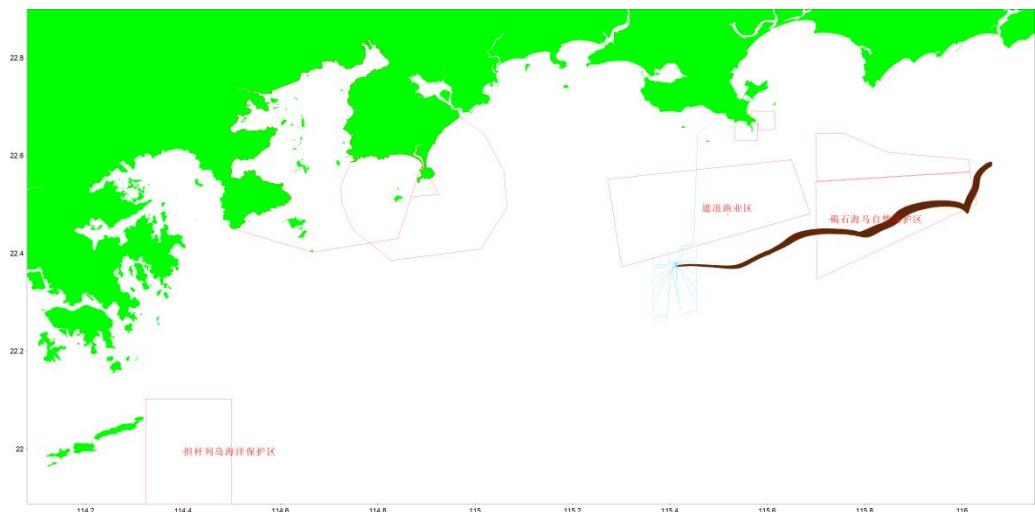


图 4.4.2-3 夏季大潮落潮 SW 风向 5.2m/s 溢油扩散包络线



图 4.4.2-4 夏季大潮涨潮 SW 风向 5.2m/s 溢油扩散包络线

#### 4.4.3 项目用海风险对资源环境影响分析

船舶生溢油事故时，石油类在水体内发生扩展，难以依靠水体段时间内自净降解，致使水体内石油含量超标。在油膜覆盖下，影响水气之间的交换，致使溶解氧减小，光照减弱，从而影响浮游动物、浮游植物及底栖生物的生长。溢油污染能引起水域的鱼虾回避或引起鱼类死亡，造成渔业资源的损失。此外，事故溢出的燃料油如积累在近岸的浅海、滩涂，同时可能通过水闸进入河道，可能对项目附近岸线生态环境造成严重影响。因此，本项目应当采取适当的措施，确保事故发生时油膜的影响降低到最小的程度。

## 1、事故溢油发生对环境的影响

溢油在海面形成油膜以后，受到破碎波的作用，使一部分以油滴形式进入水形成分散油，另外，由于机械动力，如涡旋、破碎浪花、湍流等因素，使油和水激烈混合，形成油包水乳物和水包油乳物化。这两种作用都将增加水质的油类浓度，特别是上层水中的浓度将明显增加。

据有关资料及室内的模拟实验表明，油膜由分散作用和乳化作用而引起的海水上层海水中油类浓度增加值可超过  $0.10\text{mg/L}$  的第二类海水水质标准。在近岸水域，由于粘附在岩石沙滩上油在波浪的往复作用，水质中油类浓度将大大增加，将超过  $0.50\text{mg/L}$  的第三类海水水质标准。

同时，溢油后，油的重组分可自行沉积，或粘附在海区悬浮物颗粒中，沉积在沉积物表面。从而对底质造成影响。

## 2、事故溢油对水生生态的影响

国内外许多的研究表明高浓度的石油会使鱼卵、仔幼鱼短时间内中毒死亡低浓度的长期亚急性毒性可干扰鱼类摄食和繁殖，其毒性随石油组分的不同而有差异。

### （1）对鱼类的急性毒性测试

根据近年来对几种不同的长江鱼类仔鱼的毒性试验结果表明，石油类对鲤鱼仔鱼  $96\text{hLC50}$  值为  $0.5\sim3.0\text{mg/L}$ ，因此污染带瞬时高浓度排放（即事故性排放可导致急性中毒死鱼事故。

### （2）石油类在鱼体内的蓄积残留分析

污染因子石油类在鱼体中的积累和残留可引起鱼类慢性中毒而带来长效应的污染影响，这种影响不仅可引起鱼类资源的变动，甚至会引起鱼类种质的变异。鱼类一旦与油分子接触就会在短时间内发生油臭，从而影响其食用价值。以 20 号燃料油为例，当石油类浓度为  $0.01\text{mg/L}$  时，7 天之内就能对大部分的鱼、虾产生油味，30 天内会使绝大多数鱼类产生异味。

### （3）对浮游植物的影响

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。这种破坏作用程度取决于石油的类型、浓度及浮游植物的种类。根据国内外许多毒性实验结果表明，作为鱼、虾类饵料基础的浮游植物，对各类

油类的耐受能力都很低。一般浮游植物石油急性中毒致死浓度为 0.1~10.0mg/L 一般为 1.0~3.6mg/L，对于更敏感的种类，油浓度低于 0.1mg/L 时，也会妨碍细胞的分裂和生长的速率。

#### （4）对浮游动物的影响

浮游动物石油急性中毒致死浓度范围一般为 0.1~15mg/L，而且通过不同浓度的石油类环境对桡足类幼体的影响实验表明，永久性终生性浮游动物幼体的敏感性大于阶段性临时性的底栖生物幼体，而它们各自的幼体的敏感性又大于成体。

根据所述，石油类对水生生物产生中毒影响的浓度阈值普遍较低，因此项目营运期一旦发生溢油污染，将会造成污染水域内鱼类急性中毒和鱼的致突变性等，对浮游植物和动物也会产生一定的中毒影响，严重的影响将会造成部分鱼类、水生动植物中毒死亡事故。

### 3、溢油对渔业资源的影响分析

油污染海洋水环境给渔业带来的损害是多方面的。首先污染能引起当时水域的鱼虾回避或引起鱼类死亡，使渔场破坏，造成捕捞渔获量的直接减产，其次表现为产值损失，即由于商业水产品的品质下降及市场供求关系的改变，导致了市场价格下降。另外，溢油发生的时间和位置不同，渔业损失相当悬殊。如果油污染发生在产卵盛期和污染区正处于产卵中心，因鱼类早期生命发育阶段的胚胎和仔鱼是整个生命周期中对各种污染物最为敏感的阶段，油污染使产卵成活率低、孵化仔鱼的畸形率和死亡率高，所以能影响种群资源延续，造成资源补充量明显下降。

### 4、事故溢油对岸线的影响分析

溢油发生后，一旦水面上的浮油在风浪和潮汐等因素作用下，浮上岸边，便会堆积在高潮线附近，粘附在岸边岩土表面，渗入上层的砂子里，这将对岸线生态环境造成严重影响。

### 5、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，羽毛能浸吸油类，导致羽毛失去防水、保温飞行和游泳能力，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，摄入体内还可使肝、肺、肾等器官发生损害并减少白细胞数目，导致鸟类死

亡。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、对周边保护区的影响分析

项目周边的保护区主要有碣石海马珍稀物种保护区、遮浪渔业区、海龟保护区、大亚湾渔业保护区等。

根据溢油事故分析不同工况下，在 72 小时内会影响到碣石海马珍稀物种保护区，不会影响到遮浪渔业区、海龟保护区、大亚湾渔业保护区。但预测设定的情景不可能包括所有的可能性，风向是随意的，一旦发生溢油，油膜还是有可能会到达自然保护区的，影响到保护区的水质环境。

所以一旦发生溢油事故，若不及时采取措施，将对保护区生态环境造成严重影响。因此，必须加强对工程风险事故的防范，杜绝溢油进入保护区缓冲区海域。若发生溢油事故，应尽快用围油栏把事故船舶围起来，尽可能地减小油膜的漂移扩散影响范围，并及时启动溢油应急，把油污染影响减少到最低程度，避免造成经济损失和环境污染。

#### 4.4.4 项目用海风险对周边海域开发活动的影响分析

项目附近用海活动主要有海上风电项目、航道、航路、锚地、海底光缆等。

项目建设期间若施工船舶发生事故溢油，为防止油膜迅速扩散，溢油事故应急船舶、围油和拦油设施等将会占据事故海面，甚至跨越航线围栏，增加了航线通航密度，且应急船舶为了执行应急任务，最大限度地防止油膜漂移，其航行路线是随意的，这就使原本井然有序的近海航线暂时出现混乱，影响附近航线的正常通航。因此，项目建设应强化施工组织调度，减小船舶事故风险，制定事故风险应急预案，一旦发生溢油事故及时开展事故应急工作，通知海事部门联合调度，减小事故溢油对附近海域开发活动的影响。

### 4.5 对通航环境的影响分析

#### 4.5.1 通航风险分析

##### 1、风电场自身情况

海上风电场选址若不合理，会对其他船舶的通航造成碍航；风电场若发生崩

塌对水域通航安全影响就更大。因此，风电场自身条件是风电场水域水上交通安全评价非常重要的一个指标。

根据本报告有关选址合理性分析，拟建风电场不涉及航道、锚地等，选址基本合理。风电场建设之前，发布航海通告；风电场建成后，通过合理设置助航及警示标志，可以减小对过往船舶的通航安全影响。

设计单位将按相关规范的要求对风电场各构件的强度进行核算、选择合适的风机类型、结构、风机平面布置、警示标志、安全设施等。风电场在建设时，施工方严格按设计和施工要求进行施工，监理方尽职尽责，严格把关，风电场建设达到设计技术要求，则风电场自身的安全可以得到保障。

## 2、能见度

雾会使能见度变得很低，影响船舶通航安全。拟建工程海域多年月平均雾日数在3天以上，其中4月的多年月平均雾日数可达5.7天，为全年雾日数最多月份。

## 3、风

船舶在风的作用下，会产生变速、偏转、向下风漂移。风对船舶的作用程度和特征与船舶受风面积及风动力中心位置、干舷高度与吃水之比、风级及风舷角大小、船舶航向及航速等诸多因素有关。风力愈大，使船舶产生倾斜、漂移、偏转的程度亦愈大。本海区多年风力 $\geq 6$ 级的天数为33天，大于8级以上的风速多为台风（含热带气旋）影响时出现，多年平均为7天。

## 4、流

流对船舶作用会使船产生变速、偏转、向下流漂移。由于水下侧面积是连续的，在一定时间间隔内，流向与流速相对变动不大，因此船舶克服流对船舶的影响较为容易。本海域潮流性质属不正规半日潮流，且运动形式大都呈往复流，近岸流速较小，远岸较大。

## 5、雷暴

雷雨大风是由于强对流而形成的天气现象，其形成的之前气压较低，气流急速上升，而雷雨之中又形成下沉气流，到达地面时受到前部低压的吸引而向前猛冲形成大风。生成时风势猛烈，突发性强，风向瞬时急转，风力一般6~7级，有时8~10级。雷雨大风来临，大风伴随暴雨，有时夹带冰雹，对施工船舶通航

安全、过往船舶航行安全会造成一定威胁。

## 6、风浪

船舶在风浪的作用下，锚泊船容易发生走锚；在航船若遭遇大风浪，特别是在长周期波的影响下，在各种外力的干扰下使船舶产生横摇、纵摇、横荡、纵荡、垂荡及偏转等不利的振荡运动，对船舶操纵性有较大影响，推进器出现打空车，航速会下降，因此风浪对船舶通航安全影响较大。

## 7、碍航物

二期风电场位于外海习惯航路北侧 11.4 km，无穿航道情况，相对船舶来说，风电场的建设不具有碍航性。

### 4.5.2 本项目对交通组织的影响分析

#### （1）本工程与周围航线之间的相互影响分析

本项目所在海域宽阔，风电场场区北侧有外海习惯性航路，风场距离外海习惯性航路较远，对其影响较小。风电场场区附近不存在有锚地、港口航道等。本项目无穿越航道情况，项目施工时不会对航道通航产生影响。

因此，总体上看，风电场的建设期间对过往船舶的正常航行的影响是客观存在的。但考虑到风电场选址避开了船舶交通流最为密集的区域，风电场周边海域宽阔水深足够，有足够的空间供过往船舶操纵避让，通过采取相应的安全保障措施后，其对海上交通环境的影响总体上是可控的。

#### （2）拟建工程对锚地之间的相互影响

根据汕尾港锚地现状级规划情况，本项目风电场附近海域不存在有锚地，工程的建设不会对该锚地的正常作业造成影响。

#### （3）工程对附近渔船活动影响分析

本工程所在的粤东海域渔场遍布，商船与渔船共同使用同一水域，但其活动空间未得到有效控制，导致商船与渔船间的碰撞事故时有发生，特别是在沿岸 15 海里内渔船密集的海域。

渔船活动随意，频繁进出于渔港，且其进出港时航迹线与该海域主交通流向呈现垂直或交叉状态。渔船出海活动时有可能航至本风电场附近海域，渔船的航行、作业与附近商船航行以及本风电场间均存在一定的相互影响，需特别注意。

因此，建议工程建设期间，应设置施工警戒区；建成后，应设置响应助航警

戒标志，形成通航警戒区，以提醒过往船舶。施工单位应向主管机关申请发布航行通（警）告，禁止渔船进入观测平台警戒区内，不得在警戒区及施工航路上设置渔网、渔具等。尤其在能见度不良天气下，重点关注渔船动向，以防事故发生。加强应急救助系统的建设，保障应急救援。

### 4.5.3 通航影响缓解措施

项目建设对附近海域的通航环境会造成一定影响，可通过采取相应的应对措施后通航安全风险是可控的。

1. 与渔业主管部门和相关部门沟通联系，发布通告，禁止渔船驶入风电场海域。
2. 本工程风电场建成后需在适当位置（包括海底电缆路由）设置相应的航标灯以及警示标志，航标灯安装应满足《中国海区水上助航标志》规范 GB4696-1999 与《中国海区水中建（构）筑物标志规定》GB17380-1998 的要求等关于独立构筑物专用航标灯质的要求，航标配布方案应委托专业单位进行设计，并报航标主管部门审批后再进行设置，以确保该水域的航行安全。
3. 工程建成后应将风电场位置海域范围及海底电缆、具体位置、走向、埋深等报请海事局等部门及时更新航海图书资料，发布相应《航海通告》。
4. 申请设置以海底电缆两侧各 300m 宽的保护区，向社会发布海底电缆公告，禁止在海底电缆保护区内从事挖砂、钻探、打桩、底托捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底管道安全的海上作业。
5. 工程营运方应制定相应的日常检查养护制度和防风、防台等的应急预案。特别是在恶劣天气以后应及时检查风电场风机基础、设备的安全状况及导助航设施等工作状况，减少影响通航安全的因素发生。出海检查时，应选择良好的气象、水文和海浪条件，保证执行检查工作船舶的航行和作业安全。
6. 业主经检查发现存在影响附近海域通航安全的情况和安全隐患时应及时处理，应及时通知海事主管部门，申请发布相应的航行警告。

# 5 项目用海对海域开发活动的影响

## 5.1 项目用海对海域开发活动的影响

根据 3.4 节开发利用现状的分析，本项目所在附近海域及近岸开发活动主要有海上风电项目、航道、航路、锚地、海底光缆等，结合项目建设和运营情况，项目用海对海域开发活动影响分析如下：

### 5.1.1 对航路的影响分析

本项目风电场远离航道、航路，但考虑到项目施工期投入较多的施工船舶增大周边海域通航密度，项目建设风电场场址占用海域面积大，应对项目建设对航路的影响进行进一步分析。

#### （1）施工期间影响分析

项目施工过程中，施工船舶较多，对周边航道、航路可能产生以下影响：

- 1) 工程施工期间，施工作业船舶和施工作业机具将占用一定的通航水域，对于通过该水域航道、航路船舶的正常航行有一定的影响；
- 2) 施工船舶频繁进出该水域客观上增加了船舶交通流量和密度，船舶在该水域中会遇局面增多并变得复杂；
- 3) 施工作业期间，若发生施工船舶火灾、爆炸、沉船、主机、舵机故障、船舶失控漂航等事故，对施工水域附近航道、航路的船舶航行安全会有很大的影响。
- 4) 另外，来往船只如果抛锚不准和航线运行不准，也可能对电缆或者风机基础造成破坏。

项目所在海域原本是航行条件优良的可通航海域，附近海域有一定的商船交通流量，渔船也多，因此，总体上看，项目施工期间对周边航路过往船舶的正常航行的影响是客观存在的，但考虑到项目所在海域有足够的空间供过往船舶操纵避让，通过严密、科学的施工组织和合理的生产调度，把工程安全、施工安全和通航安全放在首位，做好施工和运营作业的安全管理工作，施工船运用良好船艺，谨慎驾驶的驾驶员，可以最大限度地减少施工期和运营期对周边航路通航环境和船舶通航的影响。

## (2) 运营期间影响分析

本项目风电场选址处在深水区，避开了沿岸小型船舶交通流的密集区，风电场足够空间供过往船舶航行。

### 5.1.2 对邻近海上风电项目的影响分析

明阳汕尾红海湾海上风电场项目总规划容量为 1000MW，拟分两期建设，分别为一期项目和二期项目。一期项目位于本项目北侧，两期工程共用一个升压站，升压站位于一期项目场址范围内，升压后通过 2 回 500kV 海底电缆输送到陆上集控中心。

由于各风电场项目场址处于同一片海域，施工周期长，存在同时施工、相互影响的可能，施工船只频繁出入，必将会加大附近的通航密度，造成一定的通航安全风险。若操作不慎或意外事故有可能同期建设的海底电缆设施和构筑物。但由于海缆敷设在过航道段会加大埋深，并采取一定的保护措施降低船只航行、抛锚对海底电缆的损坏；风电场项目建成后会在适当位置设置相应的航标灯及警示标志，并将海底电缆具体位置、走向、埋深以及风电场位置海域范围等报请海事局等部门及时更新航海图书资料，并申请发布航行通（警）告，项目施工船只会采取相应的避让措施，本项目施工破坏深水区其他海上风电场项目的构筑物和海缆的可能性不大。

本项目与一期项目建成后，项目风机产生的尾流会对发电效益产生一定的影响，但由于设计阶段已经针对风机选型、机位排布充分优化，已在设计阶段尽可能降低尾流影响。

本项目建设单位为汕尾明阳蕴华风力发电有限公司，一期项目建设单位为汕尾明阳瑞善风力发电有限公司，两家建设单位均是明阳智慧能源集团股份公司全资控股公司，通过严格遵守相关法律法规和技术标准，在相关主管部门监督下，其设计、施工、生产运营，具有较好的协调关系。

### 5.1.3 对海底光缆的影响分析

项目风电场西南侧有亚太直达（APG）国际海底光缆中国南海海域段工程项目和 C2C 海底光缆系统 S2A 段工程，本项目对海底电（光）缆产生的影响主要为施工船舶航运作业的影响、风机基础打桩施工的影响以及海缆敷设施工影响，

但本项目距离上述电（光）缆项目较远，风机基础打桩施工、海缆敷设施工作业也不在海底电（光）缆的保护范围内，因此项目风机基础打桩施工对其基本不产生影响。

本项目施工期间只要严格控制用海范围，并注意采取安全防护措施，同时要求施工船舶的航行与抛锚应与该电（光）缆保证一定距离，因此其受到施工船舶航运作业的影响较小。

施工单位施工前明确作业范围和方式并严格执行，禁止桩基施工、船只航行或抛锚等行为损坏电（光）缆。

#### 5.1.4 对渔业生产活动的影响分析

根据水质影响预测结果分析，本项目施工过程悬沙扩散范围主要集中在风电场附近海域，对周边渔业生产活动会造成一定影响。项目所在海域渔业生产活动较少，但仍可能存在捕捞渔船，风场建设过程中，施工船只作业会增加附近海域的通航密度，风电场建设完成后，将禁止任何船舶进入风电场场区，出海渔船必须避开风电场场区，因此风电场的建设对渔船通航、作业都会造成一定的影响。但风电场外围水域对渔船而言，可航水域开阔，满足其通航安全要求。

项目施工期产生的悬浮泥沙、桩基和海缆占用生境等，会对渔业资源造成一定的损失；项目运营期风场场址和海缆保护范围内禁止渔业底拖捕捞、张网、养殖作业等，也会造成在该海域从事渔业捕捞生产的渔民的捕捞空间减少，导致捕捞渔民的收入降低。

### 5.2 利益相关者界定

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用海项目存在利害关系的个人、企事业单位或其他组织或团体。

本项目风电场北侧紧邻一期项目，两期项目存在同时施工、相互影响的可能，本项目业主单位为汕尾明阳蕴华风力发电有限公司，一期项目业主单位为汕尾明阳瑞善风力发电有限公司，两家单位均是明阳智慧能源集团股份公司全资控股公司，具有较好的协调关系，因此不将汕尾明阳瑞善风力发电有限公司列为利益相关者。根据本报告 5.1 节项目建设对周边开发活动的影响分析，界定本项目无利

益相关者，协调责任部门为当地渔业主管部门以及海事主管部门。

表 5.2-1 利益相关者界定表

| 序号 | 名称                         | 相对位置和最近距离  | 所属单位/人                    | 可能影响因素        | 是否为利益相关者/协调责任部门 |
|----|----------------------------|------------|---------------------------|---------------|-----------------|
| 1  | 亚太直达（APG）国际海底光缆中国南海海域段工程项目 | 南侧, 13.3km | 中国移动通信集团公司                | 无影响           | 否               |
| 2  | C2C 海底光缆 S2A 段             | 南侧, 5.0km  | Pacnet Cable (HK) Limited | 无影响           | 否               |
| 3  | 外海习惯航路                     | 北侧, 11.4km | 海事主管部门                    | 通航影响          | 是<br>(协调责任部门)   |
| 4  | 明阳汕尾红海湾一期海上风电场项目           | 北侧, 紧邻     | 汕尾明阳瑞善风力发电有限公司            | 施工影响, 营运期尾流影响 | 否               |

## 5.3 相关利益协调分析

### 5.3.1 与当地渔业主管部门的协调

为提醒渔船注意，避免渔船进入项目施工区域，建设单位应在施工区域外围设置航标灯，引导过往船舶航行，避免渔船误入施工区域，在近海面塔桶上采用红色灯警示色，避免渔船碰撞引发事故。此外，风电场的海缆工程应重视埋深和保护工作。

本项目的建设将造成海洋生物资源损失，本项目建设单位应采取措施，实施生态保护修复，开展以增殖放流为主的生态保护修复措施，建设单位应与当地渔业主管部门充分沟通协调，明确增殖放流实施地点、实施计划、投放苗种等，在当地渔业主管部门的协调下有序开展。

### 5.3.2 与海事主管部门的协调

项目建设过程中将会有较多的施工船舶参与，工程海域的船舶流量会有所增加，对周边航行的过往船舶影响较大；项目的建设也改变了原有的海域条件，必

须采取相应的安全措施保障附近海域的船舶通航安全。

建设单位应该建立安全有效的联系机制，施工前应与航道、海事主管部门进行充分沟通协调，做好船舶的进出安排，确保船舶的通航安全。建设单位经检查发现存在影响附近水域通航安全的情况，应及时通知海事主管部门，申请发布相应的航行警告；发现存在安全隐患时及时处理，并向海事主管机关报告；工程建成后应将项目位置海域范围具体位置等报请海事局等部门及时更新航海图书资料，发布相应《航海通告》。

## 5.4 项目用海对国防安全和国家海洋权益的影响分析

### 5.4.1 对国防安全和军事活动的影响分析

项目所在海域及附近海域可能存在军事训练区，工程建设、生产经营可能会对军事设施和军事活动产生影响，建议业主取得军方的书面协调意见后方可施工建设，以保障项目建设过程不会影响军事设施安全和军事活动的进行。

### 5.4.2 对国家海洋权益的影响分析

本工程不存在损害国家权益的问题，本项目实施不会对其产生影响，也不会涉及国家机密，对国家海洋权益没有影响。海域属国家所有，单位和个人经营性使用海域，必须按规定交纳海域使用金。本项目用海属经营性用海，按国家有关规定交纳海域使用金，不损害国家权益。

# 6 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性分析

《中华人民共和国海域使用管理法》第四条规定：“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”；第十五条规定：“养殖、盐业、交通、旅游等行业规划涉及海域使用的，应当符合海洋功能区划。沿海土地利用总体规划、城市规划、港口规划涉及海域使用的，应当与海洋功能区划相衔接”。

## 6.1 项目用海与海洋主体功能区划符合性分析

### 6.1.1 《全国海洋主体功能区规划》

《全国海洋主体功能区规划》提出：“海洋工程和资源开发区，是指国家批准建设的跨海桥梁、海底隧道等重大基础设施以及海洋能源、矿产资源勘探开发利用所需海域。海洋工程建设和资源勘探开发应认真做好海域使用论证和环境影响评价，减少对周围海域生态系统的影响，避免发生重大环境污染事件。支持海洋可再生能源开发与建设，因地制宜科学开发海上风能。”

《全国海洋主体功能区规划》明确：“海域政策。根据海洋主体功能区功能定位，完善海域管理政策措施。严格落实海洋功能区划，加强围填海总量控制和计划管理。加强用海项目环境影响评价制度、海域使用论证制度和海域有偿使用制度实施情况监督。制定用海工程和围填海建设标准，明确海拔高度、污染排放、防灾减灾等要求，对用海项目建设实行全过程监管。科学划定海水增养殖区域，控制近海养殖密度。严格控制河口行洪区、重点增养殖区域建设用海。沿海地区或海岛大规模风能建设要充分考虑对相关海域影响。”

本项目属于海洋可再生能源项目，是《广东省海洋主体功能区规划》确定的重点推进风电项目，项目建设符合广东省海洋功能区划功能定位，并将按要求开展海域使用论证和环境影响评价，制定环境保护监管措施，符合《全国海洋主体功能区规划》的要求。

## 6.1.2 《广东省海洋主体功能区规划》

根据广东省人民政府 2017 年 12 月颁布的《广东省海洋主体功能区规划》，在规划期间（至 2020 年），我省坚持陆海统筹，突出保护优先，绿色发展，改革创新，合理确定不同海域主体功能，调整开发内容，创新开发方式，规范开发秩序，提高开发效率，构建陆海统筹，可持续发展的海洋国土空间格局。广东省海洋主体功能区包括优化开发、重点开发、限制开发和禁止开发四类主体功能区域。

根据《广东省海洋主体功能区规划》，广东省海洋空间划分为四类区域，项目位于重点开发区域及限制开发区域的海洋渔业保障区。

重点开发区域发展方向及布局包括**大力发展海洋风电产业**，在风能资源和地质条件较好地区，坚持“三个 10 原则”，强化与海洋生态红线协调，科学布局海上风电场址，推进海上风电规模化、集约化开发，以海上风电规模化开发带动风电装备及服务业发展，推动风电全产业链发展。

限制开发区域发展方向及布局包括**积极有序推进海上风电产业**，在风能资源和地质条件较好地区，坚持“三个 10 原则”，强化与海洋生态红线协调，统筹考虑海洋开发强度和海洋资源环境承载能力，科学布局海上风电场址，推进海上风电规模化、集约化开发，实现海洋开发和海洋保护双赢……远期逐步开发粤东、粤西 35-50 米水深的近海深水区海上风电场，科学合理安排远期海上风电发展用海需求。以海上风电规模化开发带动风电装备及服务业发展，推动风电全产业链发展，推动粤东海上风电运维、可研及整机组装基地建设。

本项目场址水深在 35~50m 之间，规划装机容量为 500MW，拟布置 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式风电机组。本项目建设经过严格的论证，建设完成后有利于带动粤东地区风电的发展，对当地经济起到推动作用，符合《全国海洋主体功能区规划》和《广东省海洋主体功能区规划》的规划要求。

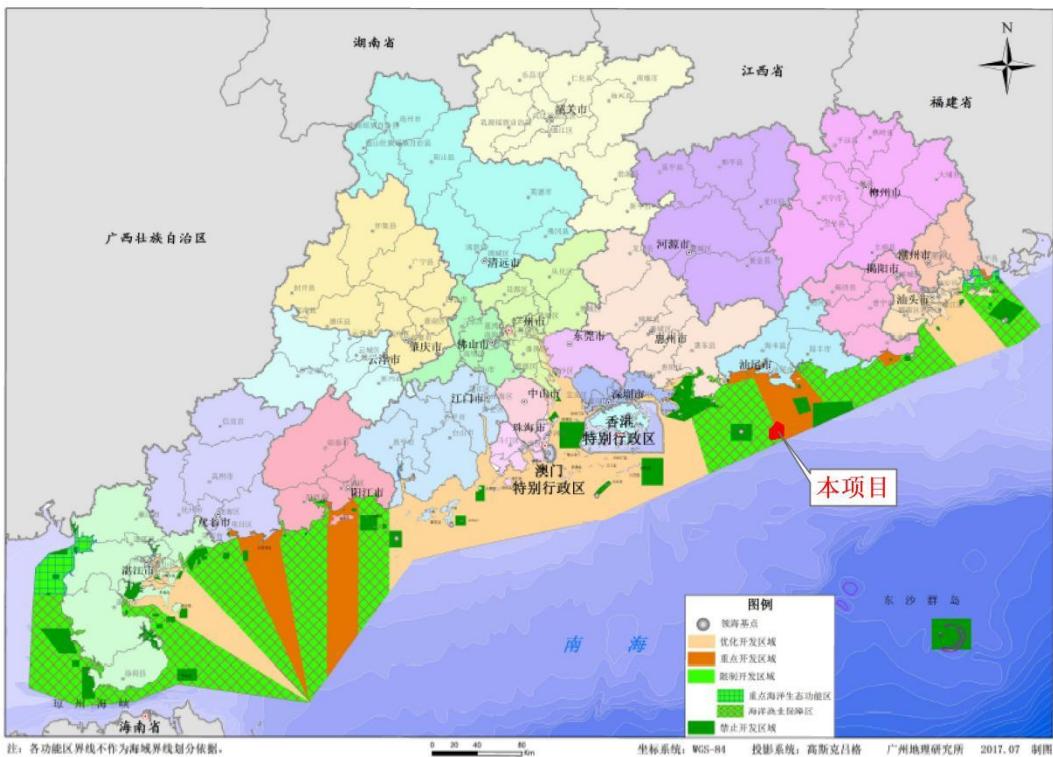


图 6.1.2-1 本项目所在《广东省海洋主体功能区规划》分区示意图

## 6.2 项目用海与海洋功能区划的符合性分析

根据《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)要求：“做好过渡期用海审批。‘多规合一’的国土空间规划出台前，用海项目应按照当前严格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。”

因此，需要对本用海项目与海洋功能区划的符合性进行分析。

### 6.2.1 项目所在海域及周边海域海洋功能区划

#### (1) 《全国海洋功能区划》(2011 年-2020 年)

根据《全国海洋功能区划》(2011 年-2020 年)，项目所在的粤东海域：“包括汕头、潮州、揭阳、汕尾等市毗邻海域，主要功能为海洋保护、渔业、工业与城镇用海、港口航运。大埕湾至柘林湾重点发展渔业、港口航运，保护大埕湾中华白海豚和西施舌种质资源及海洋生态系统；南澳海域重点发展生态旅游和养殖、清洁能源等产业，保护性发展海山岛、南澳岛旅游，维护海岛自然属性，保护南澎列岛、勒门列岛及周边海域的生物多样性，保护南澎列岛领海基点；南澳至广

澳湾重点发展工业与城镇、港口航运、渔业和旅游休闲娱乐，重点保护海岸红树林、中国龙虾和中华白海豚，维持牛田洋、濠江等海域的水动力条件和防洪纳潮能力；海门湾至神泉港重点发展渔业、港口航运、工业与城镇，重点保护石碑山角领海基点和沿海礁盘生态系统；碣石湾至红海湾重点发展渔业、海洋保护、港口航运，保护碣石湾海马资源，严格保护沿海礁盘生态系统和遮浪南汇聚流海洋生态系统，维持海洋生态环境和生物多样性。”

《全国海洋功能区划》要求：“重点保障油气资源勘探开发的用海需求，支持海洋可再生能源开发利用。遵循深水远岸布局原则，科学论证与规划海上风电，促进海上风电与其他产业协调发展。”

本项目属于海洋可再生能源项目，项目遵循深水远岸布局原则，项目建设将经过严格的论证，建设完成后有利于带动粤东地区风电的发展，符合《全国海洋功能区划》（2011 年-2020 年）的要求。

## （2）《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年）

根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年），本项目位于珠海-潮州近海农渔业区，项目周边的海洋功能区有针头岩海洋保护区和遮浪南海洋保护区。

项目与各功能区的位置关系详见表 6.2.1-1 和图 6.2.1-1，各功能区登记表摘录见表 6.2.1-2。

表 6.2.1-1 项目与海洋功能区相对位置关系

| 广东省海洋功能区    | 与工程位置关系    | 功能区类型 |
|-------------|------------|-------|
| 珠海-潮州近海农渔业区 | 项目所在       | 农渔业区  |
| 针头岩海洋保护区    | 西侧， 16.0km | 海洋保护区 |
| 遮浪南海洋保护区    | 东侧， 17.8km | 海洋保护区 |



图 6.2.1-1 项目所在海域及周边海洋功能区划图（广东省）

表 6.2.1-2 项目所在及周边海洋功能区划一览表（广东省）

| 序号  | 代码    | 功能区名称       | 地理范围<br>(东经、北纬)   | 功能区类型 | 面积(公顷)<br>岸段长度<br>(米) | 管理要求   |  |
|-----|-------|-------------|---|-------|-----------------------|--|--|
|     |       |             |   |       |                       | 海域使用管理   | 海洋环境保护   |
| 220 | B1-2  | 珠海-潮州近海农渔业区 | 东至:117°31'36" 西至:114°26'02" 南至: 21°49'34" 北至: 23°35'10" | 农渔业区  | 1272845               | 1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海;<br>2. 禁止炸岛等破坏性活动;<br>3. 40 米等深线向岸一侧实行凭证捕捞制度, 维持渔业生产秩序;<br>4. 经过严格论证, 保障交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求;<br>5. 优先保障军事用海需求。 | 1. 保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道;<br>2. 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。 |
| 227 | B6-29 | 针头岩海洋保护区    | 东至:115°12'38" 西至:115°02'32" 南至:22°14'31" 北至:22°23'09"   | 海洋保护区 | 27585                 | 1. 相适宜的海域使用类型为特殊用海;<br>2. 严格保护针头岩领海基点;<br>3. 按照国家关于海洋特别保护区管理的法律、法规和标准进行管理;<br>4. 禁止炸岛等破坏性活动;<br>5. 保障国防安全用海需求。                                   | 执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。                                     |

| 序号  | 代码    | 功能区名称    | 地理范围<br>(东经、北纬)  | 功能区类型 | 面积(公顷)<br>岸段长度<br>(米) | 管理要求  |        |
|-----|-------|----------|--|-------|-----------------------|---|--------|
|     |       |          |  |       |                       | 海域使用管理  | 海洋环境保护 |
| 228 | B6-30 | 遮浪南海洋保护区 | 东至:115°41'10"<br>西至:115°32'03"<br>南至:22°27'29"<br>北至:22°35'50" | 海洋保护区 | 15552                 | 1 相适宜的海域使用类型为特殊用海;<br>按照国家关于海洋环境保护以及自然保护区管理的法律、法规和标准进行管理。 |        |

## 6.2.2 项目用海对所在海洋功能区划的影响分析

本项目位于《广东省海洋功能区划》中的珠海—潮州近海农渔业区。

本工程涉海部分施工环境影响主要有风机桩基打桩、海底电缆铺设工程。电缆铺设施工采用冲射式挖沟，边高压水冲射开沟，电缆边下沉，自然回填方式。海底电缆埋深一般在 2.0~3.0m 以上，电缆铺设海洋环境影响主要是产生的悬浮泥砂。经分析。施工期底层超一、二类水质包络面积为  $61.4\text{km}^2$ ，垂向平均为  $21.2\text{km}^2$ ，施工期中层以下超三、四类水质。整体而言，悬沙扩散的影响范围基本局限于次底层、底层，对中层和表层的影响甚小。从风电场海底电缆铺缆过程影响范围来看，受 SW 季风期偏东北余流影响，施工产生的悬浮泥沙主要影响风电场内及电缆东侧为主，施工东侧影响距离路由最远约 5.2km。

本项目规划装机容量各为 500MW，拟布置 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式风电机组。本项目固定式风电机为四柱导管架，漂浮式风电无需打桩和钻孔。桩基基础施工时，钢管桩插打完成后需对其进行水泥砂浆浇筑。本工程灌注的水泥砂浆，主要由胶凝材料（水泥）、拌和水和细骨料（细砂石）组成。水泥砂浆泄漏入海后与经海水稀释扩散会逐渐水化形成凝胶体，并不断把周围散粒的或块状的材料胶结成一个整体最终由原先的液态或半固定状态硬化为砼。一般水泥吸水饱和 45min 后，水泥浆逐渐失去塑性出现凝结现象，而凝结后的砼颗粒较大，且水泥浆密度较高一般在  $1800\sim2000\text{kg/m}^3$ ，因此在发生水泥砂浆泄漏的情况下，砂浆及其固化形成的砼会快速沉入海底，其对海洋水质的影响将集中在泄漏口位置，而其对海洋水质的污染则主要表现为局部水体透明度下降，悬浮物浓度升高，但随着砂浆硬化沉降，对水质的影响会迅速减小。砂浆沉入海底后可能进一步与沉积物扩展凝结形成高强度的砼，由于水泥砂浆中不含重金属、营养盐等物质，因此砂浆沉降也不会对沉积物环境造成不利影响。因此，只要在发现砂浆泄漏后及时停止灌注，并对泄漏处进行有效封堵，水泥浆泄漏对海水水质和沉积物环境较小。

本工程海上施工期间会产生一定量的生活污水，生活污水中含有较高浓度的

N、P 等物质，未经处理直接排放，则会在一定程度上加重海域的富营养化程度，恶化工程附近海域的水环境。本工程施工应设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，对工程海域水质带来的影响是局部的、短期的和可逆的，影响很小，一旦施工结束，影响即可消除。

此外，工程施工期间的生产废水产生量不大，施工人员生活污水利用区域现有污水收集处理设施统一收集后纳管排放。项目运行期间进行风机设备维护的工作人员将产生少量的生活污水，主要污染因子为 COD 和 SS 等。少量生活污水储存于小型厕所，经收集设施收集上岸后委托环卫部门统一清运，不排入周围水体。因此项目营运期对周边海域水质基本无影响。

综上分析。项目施工营运对渔业资源的影响是暂时的、可逆的，渔业资源生物量损失随着施工的结束，慢慢可以得到恢复。

项目施工及运营过程中将使用珠海—潮州近海农渔业区的部分海域，风电桩基占用了天然渔业空间，减少了天然的鱼卵、仔鱼生长发育以及索饵觅食的理想场所，风电场桩基础的存在有可能妨碍鱼类的正常洄游路线，从而对渔业空间资源产生影响，施工产生的悬浮物也会对浮游生物、渔业资源产生一定的影响。但通过增殖放流等生态补偿措施可以使海洋生物资源得到有效的恢复和保护。可见，只要严格落实各项环境保护措施，预防环境风险事故，项目实施后不会导致所在海洋功能区海域的环境恶化。

项目施工期间和营运期间，进出施工水域的施工船舶和营运船舶将会增多，客观上增加了过往船舶的航行与避让难度。对此，在工程施工期间，建设单位以及相关部门应加强对施工船舶和施工区域的管理，施工船舶以及施工区域的水上部分应明确标示，及时和周围港区、海事部门进行充分的协调，避免事故的发生。

### 6.2.3 项目用海对周边海洋功能区划的影响分析

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，项目周边有针头岩海洋保护区和遮浪南海洋保护区，本项目最西面的风机位置与针头岩海洋保护区西侧边界

最近距离约 16.0km，与遮浪南海洋保护区的距离约 17.8km，管理要求见表 6.2.1-2。

针头岩为无居居海岛，是我国领海基点之一。海岛总体处于自然状态，无开发，邻近海域为进出粤、港船舶的主要航道。项目实施基本不会改变周边的地形地貌，冲淤不受本工程的影响，满足领海基点保护办法和海洋保护区的要求。项目施工不涉及炸岛等破坏性活动，不影响国防安全用海需求，但在项目施工和营运期间，应严格遵循领海基点保护和海岛保护的要求，对针头岩海洋保护区实行严格保护，充分保障国防安全。

项目施工过程中，必须加强生态环境保护工作，维护海洋生态环境。工程必须按照《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》的海域使用管理要求和海洋环境保护要求，加强管理，维护海洋功能区的正常运行，可避免或减少对毗邻海洋功能区的影响。

#### 6.2.4 项目用海与所在海洋功能区划的符合性分析

本项目位于《广东省海洋功能区划》中的珠海一潮州近海农渔业区，项目风场建设没有炸礁、炸岛、围填海等施工，66kV 海缆海缆敷设采用掩埋敷设，不会改变所在海域的自然属性。符合海洋功能区的海域使用管理和环境保护要求。

具体分析见表 6.2.4-1。

表 6.2.4-1 项目与广东省海洋功能区划要求的符合性分析

| 名称  | 功能区划管理要求                             |                                 | 影响分析   | 是否符合 |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|--|------|
| 珠<br>海<br>一<br>潮<br>州<br>近<br>海<br>农<br>渔 | 海<br>域<br>使<br>用<br>管<br>理<br>要<br>求 | 1.相适宜的海域使用类型为渔业用海；              | 本项目用海类型为电力工业用海，用海方式为透水构筑物用海和海底电缆管道用海，不会影响渔业用海。                   | 不冲突  |
|   |                                      | 2.禁止炸岛等破坏性活动；                   | 本项目不涉及炸岛、炸礁等破坏性活动。   | 符合   |
|   |                                      | 3.40 米等深线向岸一侧实行凭证捕捞制度，维持渔业生产秩序； | 本项目没有渔业生产。项目施工增加了海域船舶密度，因此应加强与过往渔船的避让，增强风险防范意识，另外，施工应尽量避开幼鱼幼虾的产卵 | 符合   |

|                                      |  |   |    |
|--------------------------------------|--|---|----|
| 业<br>区                               |  | 期和索饵场。  |    |
|                                      | 4.经过严格论证，保障交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求；                       | 本项目位于开阔海域，属于海洋能开发，项目施工和营运不会对进出港口的交通造成影响，但仍需制定相关的安全保障措施，合理安排工期，确保降低该海域的船舶碰撞风险；项目不占用锚地、倾废区和矿产资源开采区。                             | 符合 |
|                                      | 5.优先保障军事用海需求。  | 项目不影响军事用海需求和军事设施。   | 符合 |
| 海<br>洋<br>环<br>境<br>保<br>护<br>要<br>求 | 1.保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道；<br>2.执行海水水质一类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。 | 项目施工期会对海洋水产资源及其生境造成一定损害，但其造成的影响较小，不会影响功能区主体功能的发挥；施工期悬浮泥沙扩散对水质有一定影响，但该项目占用海域面积较小，且施工期短，施工完毕后，海域可迅速恢复至原有水质和生物水平，不会影响功能区主体功能的发挥。 | 符合 |

综上分析，作为海洋可再生能源开发项目，本项目主要建设内容为海上风机组及海底电缆，项目用海类型为电力工业用海，本项目无围填海工程和水下爆破。项目对周边功能区的影响主要存在于施工期间，主要是悬沙扩散对水质产生影响。但这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减背景浓度值，在施工结束后不会影响功能区的功能发挥，运营期也不会造成影响，不会对所在海洋功能区的基本功能造成不可逆转的改变，项目用海符合省海洋功能区划的管理要求。

### 6.3 项目用海与三区三线的符合性分析

自然资源部办公厅在 2022 年 10 月 14 日发布的《关于北京等省（区、市）启用“三区三线”划定成果作为报批建设项目用地用海依据的函》中明确，广东省完成了“三区三线”划定工作，划定成果符合质检要求，从即日起正式启用，作为建设项目用地用海组卷报批的依据。

根据《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》（自然资发〔2022〕142号），生态保护红线是国土空间规划中的重要管控边界，生态保护红线内自然保护地核心保护区外，禁止开发性、生产性建设活动，在符合法律法规的前提下，仅允许以下对生态功能不造成破坏的有限人为活动。

通过将项目与“三区三线”成果叠加分析，本项目的风机场址没有位于生态保护红线区，项目北侧有距离约3.6km遮浪南重要渔业资源产卵场，具体位置见图6.3-1。

本项目作为海上风电项目，风电场址没有位于生态保护红线范围，没有占用自然岸线，不会影响自然岸线生态功能，不会减少汕尾市的大陆自然岸线保有率。

本项目没有围填海工程，没有捕捞作业，风机场址已避开遮浪南重要渔业资源产卵场范围，风机组采用透水构筑物形式，可维持自然属性，对渔业资源影响较小。工程产生的悬浮物不会扩散到遮浪南重要渔业资源产卵场，而且悬浮物的影响是暂时的，施工结束后，随着悬浮物的沉降和海水的稀释作用，工程区及其附近海域的水质和渔业资源将逐渐得到恢复。项目通过制定施工船舶航行风险防范措施，能确保不破坏渔业生态环境。项目要严格按照相关的法律法规开展，不排放有害有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物和废弃物交由有资质的单位统一回收处理。制定船舶溢油风险防范措施，确保不会破坏遮浪上升流海洋生态系统。

本项目施工期短，施工完毕后，海域可迅速恢复至原有水质和生物水平，施工期生产废水产生量不大，且集中在施工区域，施工生产废处理达标后储存回用。施工人员生活污水利用区域现有污水收集处理设施统一收集后纳管排放。项目施工产生的悬浮泥沙量较小，对水质、沉积物影响不大，可满足水质、沉积物等海水标准。

营运期本项目对周边海域沉积物环境的不利影响主要来自海底电缆被腐蚀后的重金属污染物释放。因此，应根据所在海区海水与沉积物的腐蚀特征，选取关键的影响因子进行腐蚀性环境分析，采取一定措施防止海底电缆的电化学等腐

蚀，设备材料的选定及防护措施的设计应予充分考虑，尽量避免海底电缆遭腐蚀，减少腐蚀后重金属污染物的释放量，保护周边海域沉积物环境。

因此，项目建设符合生态保护红线管理要求。

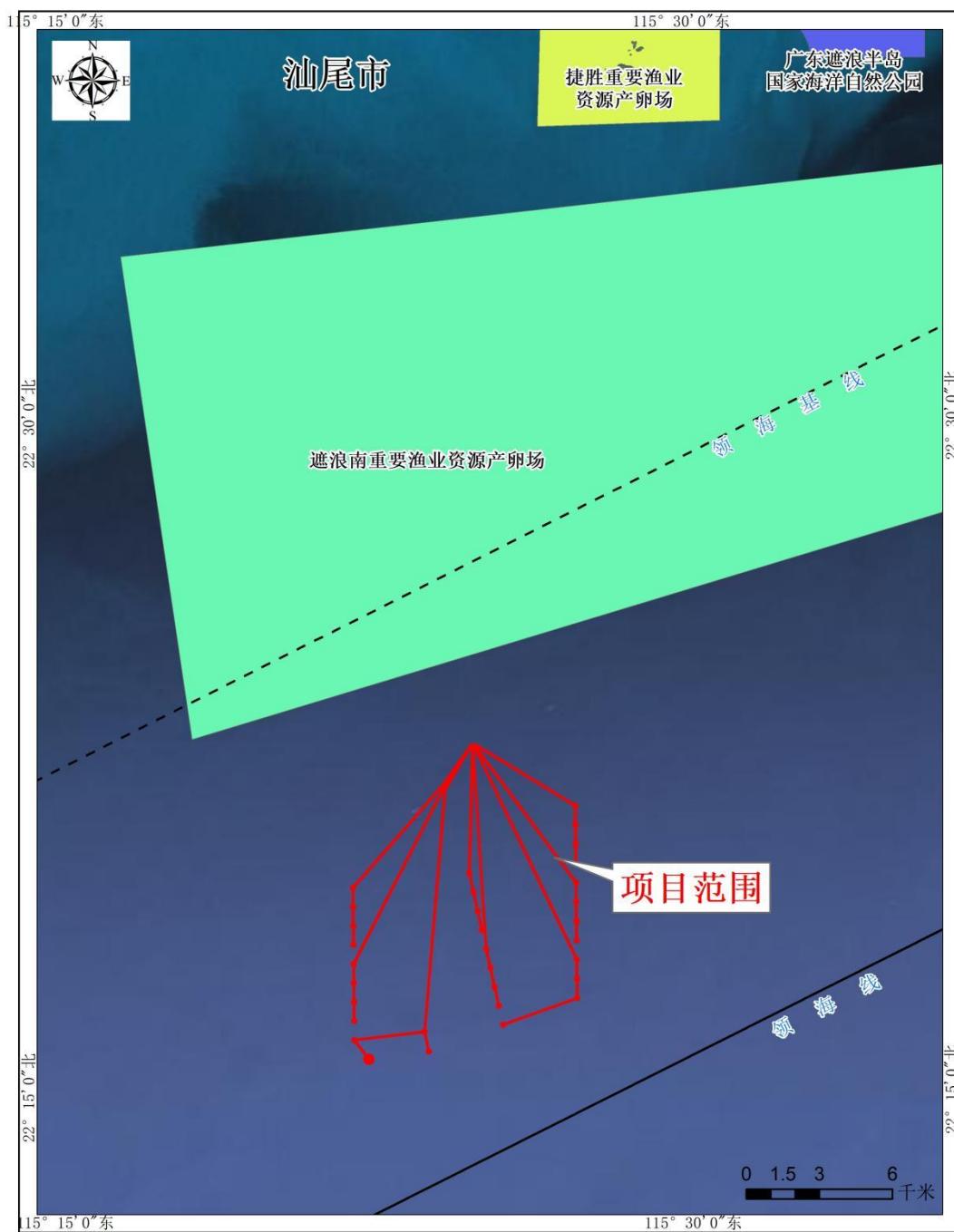


表 6.3-1 项目与新生态红线叠加图

## 6.4 项目用海与“三线一单”的符合性分析

### 6.4.1 广东省“三线一单”生态环境分区管控方案

为全面贯彻《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》，落实生态保护红线，环境质量底线、资源利用上线，广东省人民政府于 2020 年发布了《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府[2020]71 号），确定了生态环境准入清单（以下简称“省三线一单”）。

#### （1）与生态保护红线及一般生产空间符合性分析

根据“省三线一单”的要求，环境管控单元分为优先保护、重点管控和一般管控单元三类。全省共划定海域环境管控单元 471 个，其中优先保护单元 279 个，为海洋生态保护红线；重点管控单元 125 个，主要为用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域和现状劣四类海水海域；一般管控单元 67 个，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

本项目位于“珠海-潮州近海农渔业区一般管控单元”，具体位置见图 6.4.1-1。项目建设与“珠海-潮州近海农渔业区一般管控单元”的符合性见表 6.4.2-1。

通过对项目的“三区三线”符合性分析，明阳汕尾红海湾二期海上风电项目没有涉及生态保护红线，对周边生态保护红线区没有影响，符合生态保护红线管理要求。

本项目为海上风电场建设项目。项目建成后能够充分地开发利用广东省近海风能资源，不仅有利于广东能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展，为广东打造风电产业基地创造良好条件。

本项目施工产生的悬浮物扩散会对周边海域水质产生一定影响，但不会扩散到周边的海洋生态红线区，而且这一影响是暂时的，可逆的，随着施工的结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减，不会长期影响海洋环境质量。

项目施工期用海风险主要有船舶通航风险、船舶溢油风险自然灾害如雷击、台风、风暴潮等风险，以及意外事故风险，但这些风险都可以通过执行必要的防护措施、制定应急预案、加强监测等方法来避免或者减弱影响。

综上所述，本项目建设对区域生态系统有一定影响，但项目没有大规模、高强度的工业和城镇建设，建设成后有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展。经分析，项目用海对周边海域的水动力环境、地形地貌与冲淤环境和生态环境影响较小，不会对所在海域产生严重影响，不存在潜在的、重大的安全和环境风险，能确保生态功能不降低。

因此，本项目符合生态保护红线及一般生态空间的要求。

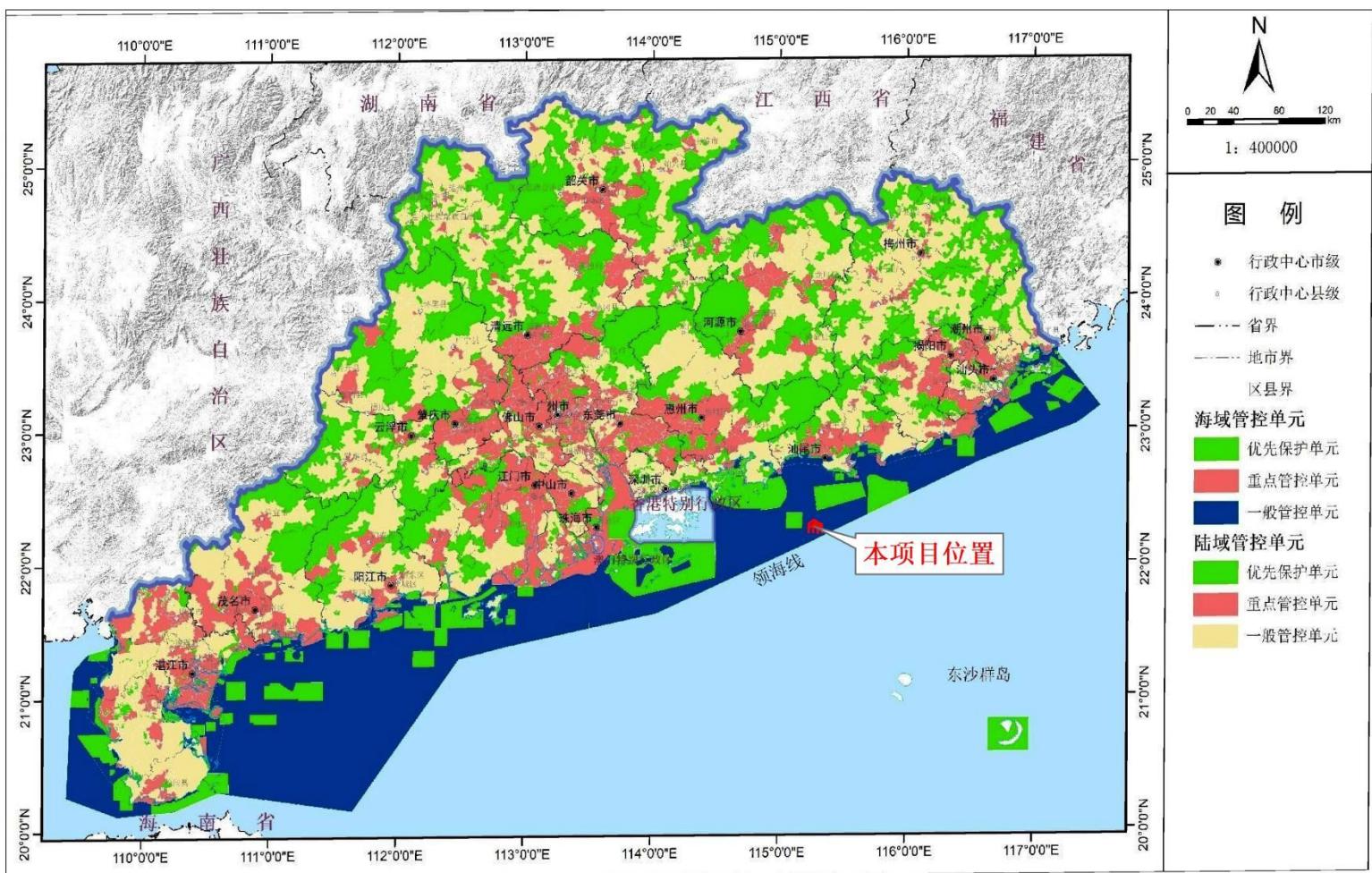


图 6.4.1-1 广东省环境管控单元与本项目叠加示意图

## **(2) 与环境质量底线符合性分析**

本项目废水、废气、噪声通过各项治理设施治理后均能达标排放，固废有合理可行的处置措施。因此，只要建设方切实做好各项环保措施，项目产生的“三废”经处理后均能达标排放，本项目污染物排放不会改变区域环境功能区要求，不会对区域环境质量底线造成冲击。

## **(3) 资源利用上线**

本项目风电场综合考虑了风机的机型、安全等级、场址区特殊环境、气候等条件要求、机组性能、经济效应、风机尾流影响、风机对船只航行、渔业生产等方面影响减缓角度出发，对布置方案多次优化，同时能达到风电场最好的发电效益，充分利用场址风力资源，最终确定布置方案。风电机组的布置满足了项目建设、开发的需求，同时调整风机内部间距，降低风机尾流影响，并体现了集约节约用海，充分考虑到了对周边海洋开发活动的影响，提高了项目的用海合理性。

根据风电场所在位置、预接入变电站所在位置及海洋开发利用现状，秉持尽量减少环境影响，尽量不跨行政区域等原则，项目前期已对该区域的所有风电场布局进行了统一规划，确保能集约利用资源且不会互相造成影响。

汕尾海域风能资源丰富，明阳汕尾红海湾二期海上风电场选址位于领海外部基线北侧。经分析，风电场场区及周边区域现代构造活动一般，区域地壳基本稳定，风电场与各断裂的距离相距较远，适宜风电场工程建设。风电场位于汕尾东南侧海域，避开了近岸主交通流区域，交通量相对较小。

本项目风机设施均位于海域，不涉及占用基本农田和耕地，土地资源消耗符合要求。项目风机位于珠海—潮州近海农渔业区，与项目用海类型不冲突且符合管理要求。

综上所述，项目建设不会突破当地的资源利用上线。

## **(4) 环境准入负面清单**

本项目为电力工业用海。根据《市场准入负面清单》(2022版)，在获得许可的前提下，项目不属于禁止准入类，与《市场准入负面清单》要求相符。

## 6.4.2 汕尾市“三线一单”生态环境分区管控方案

2021年7月5日，汕尾市政府印发《汕尾市“三线一单”生态环境分区管控方案》（以下简称“市三线一单”）。主要目标是到2025年，建立较为完善的“三线一单”生态环境分区管控体系，全市生态安全屏障更加牢固，生态环境质量持续改善，主要污染物排放得到有效控制，资源、能源利用效率稳步提高，生态环境治理能力显著增强，绿色发展水平明显提升。其中：

——生态保护红线和一般生态空间。全市陆域生态保护红线面积665.95平方公里，占全市陆域国土面积的15.15%；一般生态空间面积520.71平方公里，占全市陆域国土面积的11.85%。全市海洋生态保护红线面积2526.10平方公里，占海域面积的35.31%。

——环境质量底线。全市水环境质量持续改善，国考、省考断面优良水质比例、水功能区达标率稳步提升，城镇集中式饮用水水源地水质稳定达标，全面消除劣V类水体。近岸海域优良水质比例基本保持稳定。大气环境质量继续保持全省领先，细颗粒物（PM2.5）年均浓度达到或优于世界卫生组织过渡期二阶段目标值（25微克/立方米），臭氧污染得到有效遏制。土壤环境质量总体保持稳定，土壤环境风险得到管控。

——资源利用上线。强化节约集约利用，持续提升资源能源利用效率，水资源、土地资源、岸线资源、能源消耗等达到或优于国家和省下达的总量和强度控制目标。按国家、省规定年限实现碳达峰。

到2035年，生态环境分区管控体系进一步巩固完善，生态安全格局稳固；环境质量实现根本好转，大气环境质量继续保持全省领先；资源利用效率显著提升，碳中和行动计划稳步推进；节约资源和保护生态环境的空间格局、产业结构、能源结构、生产生活方式总体形成，基本建成美丽汕尾。

根据方案要求，全市共划定海域环境管控单元54个。其中，优先保护单元37个，重点管控单元7个，一般管控单元10个。本项目位于“市三线一单”中的“珠海-潮州近海农渔业区一般管控单元”，具体位置见图6.4.2-1。项目与“珠海-潮州近海农渔业区一般管控单元”的符合性分性见表6.4.2-1。

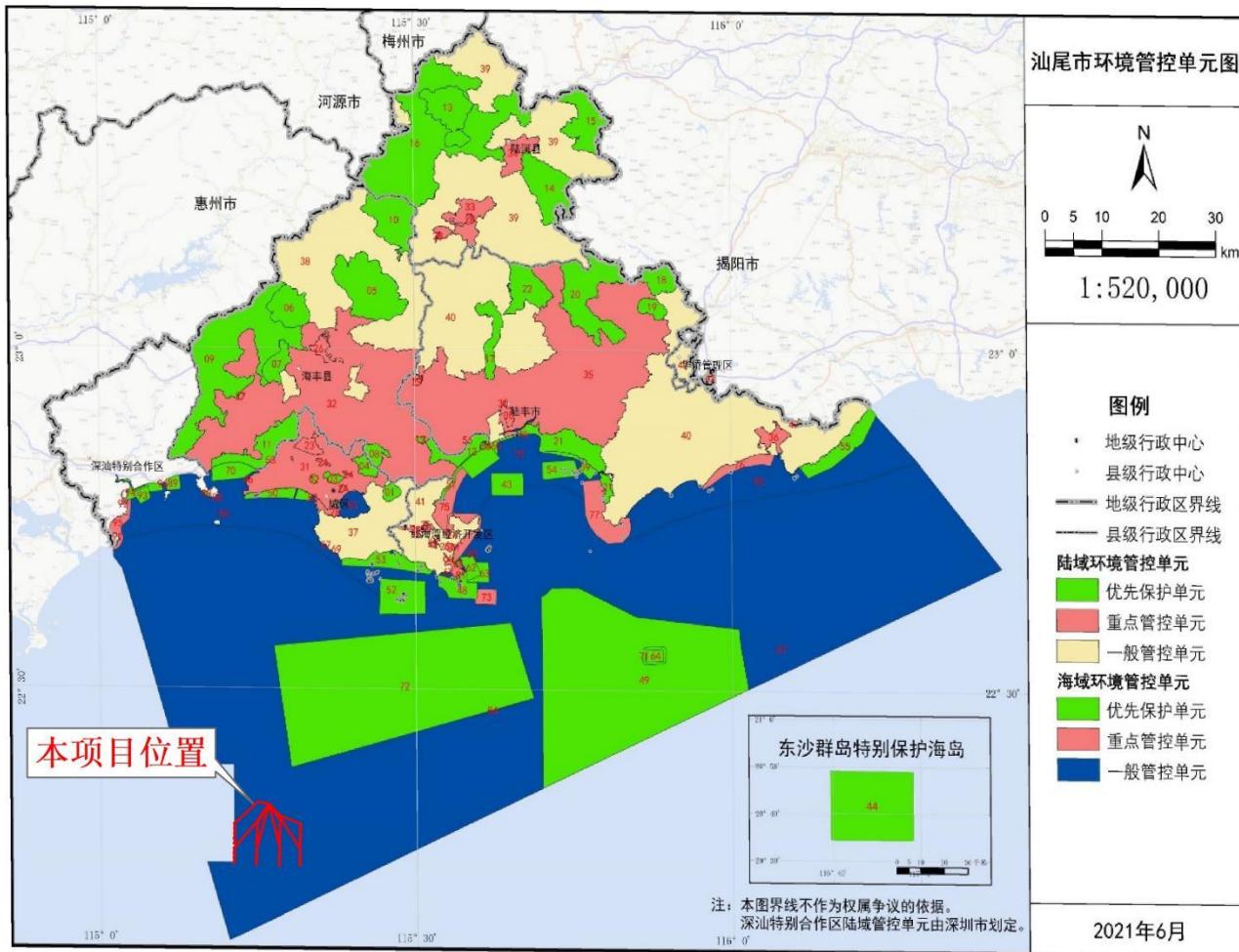


图 6.4.2-1 汕尾市环境管控单元与本项目叠加图

表 6.4.2-1 项目建设与所在管控单元的符合性分析

| 管控单元              | 管理要求   | 项目情况描述   | 是否符合 |
|-------------------|--|--|------|
| 珠海-潮州近海农渔业区一般管控单元 | 区域布局管控:<br>1-1 以保护海洋生态为前提,合理保障渔业用海,交通运输、旅游、核电、海洋能、矿产、倾废、海底管线及保护区等用海需求。<br>1-2 保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道。 | 1.海上风电项目属于海洋能用海。<br>2.本项目风机采用透水构筑物的用海方式,不会改变海域自然属性。项目施工期短,施工完毕后,海域可迅速恢复至原有水质和生物水平,施工期生活污水、含油污水及固体废弃物均统一收集处理,不排海,项目施工产生的悬浮泥沙量较小,对水质、沉积物影响不大。可满足水质等标准。 | 符合   |
|                   | 能源资源利用:<br>4-1.严格控制近海捕捞强度,严格执行伏季休渔制度和捕捞业准入制度。  | 本项目为电力工业用海,没有捕捞作业。   | 符合   |
|                   | 污染物排放管控:<br>2-1.海水养殖应当科学确定养殖密度,并应当合理投饵、施肥,正确使用药物,防止造成海洋环境的污染。不得将海上养殖生产、生活废弃物弃置海域。                        | 本项目为电力工业用海,没有养殖活动。   | 符合   |
|                   | 环境风险防范: 无  |  |      |

根据以上表格分析，项目建设符合“珠海-潮州近海农渔业区一般管控单元”的管理要求，符合广东省海洋生态保护红线，对周边海域的水动力环境、地形地貌与冲淤环境和生态环境影响较小，不会对所在海域产生严重影响，不存在潜在的、重大的安全和环境风险，能确保生态功能不降低。没有大规模、高强度的工业和城镇建设，建设成后有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展，符合“市三线一单”的管理要求。

## 6.5 项目用海与产业结构的符合性分析

### 6.5.1 与《产业结构调整指导目录》的符合性分析

根据《产业结构调整指导目录》(2019 年本, 2021 年修改)，本项目属于“五新能源 12、海上风电场建设与设备及海底电缆制造”，为鼓励类符合国家产业结构政策要求。

根据《市场准入负面清单》(2022 版)，在获得许可的前提下，项目不属于禁止准入类，与《市场准入负面清单》要求相符。

### 6.5.2 与《“十四五”现代能源体系规划》的符合性分析

2022 年 1 月，国家发改委、国家能源局印发《“十四五”现代能源体系规划》(以下简称《规划》)。主要阐明我国能源发展方针、主要目标和任务举措，是“十四五”时期加快构建现代能源体系、推动能源高质量发展的总体蓝图和行动纲领。

《规划》提出，展望 2035 年，能源高质量发展取得决定性进展，基本建成现代能源体系。非化石能源消费比重在 2030 年达到 25% 的基础上进一步大幅提高，可再生能源发电成为主体电源，新型电力系统建设取得实质性成效，碳排放总量达峰后稳中有降。

《规划》要求，大力发展战略性新兴产业，加快发展风电、太阳能发电。全面推进风电和太阳能发电大规模开发和高质量发展，优先就地就近开发利用，加快负荷中心及周边地区分散式风电和分布式光伏建设，推广应用低风速风电技术。在风能和太阳能资源禀赋较好、建设条件优越、具备持续整装开发条件、符合区域生态环境保护等要求的地区，有序推进风电和光伏发电集中式开发，加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地项目建设，积极推进黄河上游、

新疆、冀北等多能互补清洁能源基地建设。积极推动工业园区、经济开发区等屋顶光伏开发利用，推广光伏发电与建筑一体化应用。开展风电、光伏发电制氢示范。**鼓励建设海上风电基地，推进海上风电向深水远岸区域布局。**积极发展太阳能热发电。

根据《规划》“专栏 3”，能源绿色低碳转型工程中的风电和光伏发电：积极推进东部和中部等地区分散式风电和分布式光伏建设，优化推进新疆、青海、甘肃、内蒙古、宁夏、陕北、晋北、冀北、辽宁、吉林、黑龙江等地区陆上风电和光伏发电基地化开发，**重点建设广东、福建、浙江、江苏、山东等海上风电基地。**

广东省是全国能源消费大省，煤炭和石油仍是主要的能源消费方式。因此，积极发展海上风电，逐步推进海上风电规模化发展，是“十四五”期间全省能源发展建设，提升全省能源生产供应能力，能源消费结构进一步优化的重要措施。积极推进明阳汕尾红海湾海上风电场的建设，既是满足汕尾市电力需求增长的需要，也是促进广东经济低碳、可持续发展的需要，更是适应我国新常态下能源革命新形势、符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。

因此，本项目建设符合《“十四五”现代能源体系规划》关于建设海上风电基地的规划目标。

### 6.5.3 与《海上风电开发建设管理办法》的符合性分析

为进一步完善海上风电管理体系，规范海上风电开发建设秩序，促进海上风电产业持续健康发展，国家能源局、原国家海洋局制定了《海上风电开发建设管理办法》。管理办法规定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 10km、滩涂宽度超过 10km 时海域水深不得少于 10m 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。

本工程位于南海北部的广东中东部沿岸陆架，汕尾红海湾东南侧海域，海域宽阔，地形较为平坦。本项目场区内未见岛屿与礁石分布，场址离岸距离约 36.8km，水深约 35~50m，整体处于广东沿岸陆架水下岸坡以外至水深 50m 左右传统上的内陆架平原上，海底地形平坦。

经分析，项目的风机场址已避开遮浪南重要渔业资源产卵地。从场址所在区域位置以及水深范围方面来看，明阳汕尾红海湾二期海上风电项目位置符合《海上风电开发建立管理办法》中“双十标准”。

因此，项目建设符合《海上风电开发建立管理办法》的管理要求。

#### 6.5.4 与《广东省能源发展“十四五”规划》的符合性分析

2022年3月，广东省人民政府发布《广东能源发展“十四五”规划》（以下简称《规划》）。《规划》明确，展望2035年，能源高质量发展取得决定性进展，能源消费总量控制在4亿吨标准煤以内，非化石能源消费比重争取提升至40%左右，能源安全保障能力大幅提升，能源利用效率基本达到世界先进水平，能源科技创新取得较大突破，形成新兴能源产业体系，助力加快碳中和进程，高水平建成国内领先的清洁低碳、安全高效、智能创新的现代能源体系。

《规划》提出，坚持生态优先、绿色发展，持续优化能源结构，大力发展战略性新兴产业，扩大天然气利用规模，积极争取省外清洁能源，推进煤炭清洁高效利用，加快构建以新能源为主体的新型电力系统，坚持能源节约与高效利用并举，促进重点用能领域能效提升，开创清洁低碳、高效节约的用能新局面。

《规划》要求，大力发展战略性新兴产业，规模化开发海上风电，推动项目集中连片开发利用，打造粤东、粤西千万千瓦级海上风电基地，“十四五”时期新增海上风电装机容量约1700万千瓦。

推动海上风电产业集聚发展。充分利用海上风能资源丰富的优势，加快海上风电规模化开发，加快建设阳江海上风电全产业链，以及粤东海工、运维及配套组装基地建设，积极推进产城融合，着力打造风电产业生态系统，打造国际风电城，以省内风机骨干企业为引领，利用超大市场优势，做大做强海上风电装备制造业，加快形成集整机制造和前沿新材料、叶片、齿轮箱、轴承、电机、变流器、控制系统等关键零部件制造，以及基础结构、海底电缆等设计建设为一体的高端制造产业链集群，推进海上风电机组向大容量、智能化、抗台风方向发展，加快培育海上风电运维产业，统筹布局海上风电运维基地，配套相关基础设施，组织开展运维技术设备研发制造和专业队伍建设。

明阳汕尾红海湾二期海上风电项目符合《规划》要求和国家能源发展政策方针，对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，

推动提高我国大容量海上风电机组的国产化水平，促进当地旅游业、带动地方经济快速发展，提高风电场近区供电能力都有着重要的意义。

## 6.6 项目用海与其他相关规划的符合性分析

### 6.6.1 与《2030 年前碳达峰行动方案》的符合性分析

2021 年 10 月 26 日，国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》（以下简称《方案》）。《方案》围绕贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和的重大战略决策，按照《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》工作要求，聚焦 2030 年前碳达峰目标，对推进碳达峰工作作出总体部署。

《方案》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，完整、准确、全面贯彻新发展理念，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，统筹稳增长和调结构，把碳达峰、碳中和纳入经济社会发展全局，有力有序有效做好碳达峰工作，加快实现生产生活方式绿色变革，推动经济社会发展建立在资源高效利用和绿色低碳发展的基础之上，确保如期实现 2030 年前碳达峰目标。

《方案》强调，要坚持“总体部署、分类施策，系统推进、重点突破，双轮驱动、两手发力，稳妥有序、安全降碳”的工作原则，强化顶层设计和各方统筹，加强政策的系统性、协同性，更好发挥政府作用，充分发挥市场机制作用，坚持先立后破，以保障国家能源安全和经济发展为底线，推动能源低碳转型平稳过渡，稳妥有序、循序渐进推进碳达峰行动，确保安全降碳。《方案》提出了非化石能源消费比重、能源利用效率提升、二氧化碳排放强度降低等主要目标。

《方案》要求，将碳达峰贯穿于经济社会发展全过程和各方面，重点实施能源绿色低碳转型行动、节能降碳增效行动、工业领域碳达峰行动、城乡建设碳达峰行动、交通运输绿色低碳行动、循环经济助力降碳行动、绿色低碳科技创新行动、碳汇能力巩固提升行动、绿色低碳全民行动、各地区梯次有序碳达峰行动等“碳达峰十大行动”，并就开展国际合作和加强政策保障作出相应部署。

《方案》提出能源绿色低碳转型行动，要求大力发展战略性新兴产业。全面推进风电、

太阳能发电大规模开发和高质量发展，坚持集中式与分布式并举，加快建设风电和光伏发电基地。加快智能光伏产业创新升级和特色应用，创新“光伏+”模式，推进光伏发电多元布局。坚持陆海并重，推动风电协调快速发展，完善海上风电产业链，鼓励建设海上风电基地。积极发展太阳能光热发电，推动建立光热发电与光伏发电、风电互补调节的风光热综合可再生能源发电基地。因地制宜发展生物质发电、生物质能清洁供暖和生物天然气。探索深化地热能以及波浪能、潮流能、温差能等海洋新能源开发利用。进一步完善可再生能源电力消纳保障机制。到 2030 年，风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上。

面对全球气候和环境挑战，大力发展战略性新兴产业已成为能源发展的必然趋势。我国承诺在 2020 年碳排放强度下降 40%~45%，非化石能源占比达到 15% 的基础上，计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰，并计划到 2030 年非化石能源占一次能源的比重提高到 20% 左右。在调整能源结构和应对气候变化的双重约束下，大力发展战略性新兴产业技术成熟、经济性较好的可再生能源就显得十分重要。

广东省省内电源装机以火电机组为主，节能减排压力巨大，大力发展战略性新兴产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。开发利用广东省近海风能资源，不仅有利于广东能源安全稳定供应和环境保护，且有利于促进风电装备及相关产业链的形成和发展，实现经济社会的可持续发展，为广东打造风电产业基地创造良好条件。

明阳汕尾红海湾二海上风电场项目规划装机容量 500MW，位于广东省汕尾市附近海域，离岸距离约 36.8km，水深约 35~50m。项目的开发建设符合可持续发展的原则和国家能源发展政策方针，对于减少化石资源的消耗、推动可再生资源开发利用，缓解环境保护压力，实现 2030 年前碳达峰目标有着重要的意义。因此，本项目建设符合《2030 年前碳达峰行动方案》的要求。

## 6.6.2 与《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的符合性分析

为深入贯彻习近平总书记对广东系列重要讲话和重要指示批示精神，2021 年 1 月 26 日省十三届人大四次会议审议批准《广东省国民经济和社会发展第十

四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》(以下简称《省十四五规划》)，重点明确“十四五”时期（2021-2025 年）广东经济社会发展的指导思想、基本原则、发展目标、发展要求，谋划重大战略，部署重大任务，并对 2035 年远景目标进行展望，是战略性、宏观性、政策性规划，是政府履行经济调节、市场监管、社会管理、公共服务和生态环境保护职能的重要依据，是未来五年广东省经济社会发展的宏伟蓝图和全省人民共同的行动纲领。

《省十四五规划》提出，围绕建设海洋强省目标，着力优化海洋经济布局，提升海洋产业国际竞争力，推进海洋治理体系与治理能力现代化，努力拓展蓝色发展空间，打造海洋高质量发展战略要地。坚持陆海统筹、综合开发，优化海洋+空间功能布局，提升海洋资源开发利用水平，积极拓展蓝色经济发展空间。

《省十四五规划》要求，推动绿色低碳发展。统筹布局和优化提升生产、生活、生态空间，建立和完善生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单“三线一单”生态环境空间分区管控体系。培育壮大环保产业，推动绿色低碳技术创新和清洁生产，推进绿色化改造，发展绿色建筑。推进能源革命，积极发展风电、核电、氢能等清洁能源，建设清洁低碳、安全高效、智能创新的现代化能源体系。倡导简约适度、绿色低碳的生活方式，开展绿色生活创建活动。制定实施碳排放达峰行动方案，推动碳排放率先达峰。

发展风电已成为许多国家推进能源转型的核心内容和应对气候变化的重要途径，也是我国深入推进能源生产和消费革命、促进大气污染防治的重要手段。在广东省因地制宜地开发建设一定规模的清洁可再生能源，是对广东省能源消耗的有益补充，符合我国能源可持续发展战略的要求。

明阳汕尾红海湾二期海上风电项目对于改善广东省的电源结构，推动我国的海上风电事业的发展，促进我国深远海海上风电技术进步，开发可再生能源有着重要的意义，符合广东省可再生能源发展战略和可持续发展方向，符合国家和地方风电规划的相关要求。

因此，项目建设符合《广东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》关于推动绿色低碳发展的规划目标。

### 6.6.3 与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的符合性分析

2021年11月3日，《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》由广东省人民政府正式印发（以下简称《规划》），该《规划》是指导“十四五”时期全省土地、海洋、森林、矿产、湿地等自然资源保护与开发工作的指导性、纲领性文件。规划提出了9项重大工程，系统推进自然资源高水平保护高效率利用，全力支撑全省高质量发展。

《规划》要求，科学划定生态保护红线。按照依据科学、实事求是、应划尽划、不预设比例的原则划定生态保护红线，形成陆海生态保护红线“一张图”，确保陆域和海域生态保护红线面积不低于5万平方千米。优化海域资源配置方式，严格用海控制指标，推进海域混合分层利用，盘活闲置低效用海，不断提高海域资源节约集约利用水平。

《规划》提出，拓展蓝色海洋发展空间全面建设海洋强省。培育壮大海洋新兴产业。培育战略性、先导性产业，不断突破关键技术，增强产业链供应链自主可控能力，引导产业集中布局、集聚发展，抢占未来产业发展先机。加快海上风电规模化开发，完善产业链，建设珠三角海上风电研发服务基地和粤东、粤西千万千瓦级海上风电基地，打造海上风电产业集群。

《规划》提出的“十四五”重大工程共9项，其中第6项：海洋产业集群建设工程。工程内容是聚焦打造海上风电、海洋油气化工、海洋工程装备制造、海洋船舶工业、海洋旅游以及海洋渔业等6大海洋产业集群，依托特有区位优势和现有海洋产业发展基础，逐步完善上下游产业链，着重在深海关键技术与装备、深水油气资源开发、海水养殖和海洋生物技术、海洋可再生能源、海洋电子信息等领域突破一批产业关键技术，推动核心设备国产化，逐步形成规模化的产业集群，进一步提升广东海洋产业综合竞争力，推动海洋高质量发展。

广东省沿海风能资源丰富，具备海上风电规模开发的场地和效益，潜力巨大。本项目所在的汕尾海域具有开发风力发电的有利条件。海上风电场的建设将有利于改善广东省的电源结构，推动我国海上风电产业的发展，并对开发可再生能源也有着重要的意义。明阳汕尾红海湾二期海上风电项目是广东省风电发展的重点项目。根据前述分析，本项目没有大规模、高强度的工业和城镇建

设，虽然工程施工期间对该敏感目标海水水质产生了不利影响，但工程施工符合周边海洋功能区的管控要求，且对其造成的悬浮物影响是暂时的，可逆的，随着施工结束，悬浮物浓度会在数小时内迅速衰减背景浓度值，在施工结束后不会影响周边保护区、渔业区和红线区的功能。

项目建设后有利于调整省内能源结构，实现经济社会的可持续发展。因此，本项目建设与《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》的要求相符合。

#### 6.6.4 与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》的符合性分析

海岸带是社会经济发展的重点区域，也是生态类型多样、生态功能重要、生态系统脆弱的区域。广东省人民政府、国家海洋局于 2017 年 10 月发布《关于印发〈广东省海岸带综合保护与利用总体规划〉的通知》（粤府[2017]120 号）。坚持陆海统筹，突出保护优先、节约优先、绿色发展、改革创新，实施基于生态系统的海岸带综合管理，优化海岸带综合保护与利用空间格局，强化海岸线分类分段管控，严守生态红线，筑牢生态安全屏障，努力把广东省海岸带打造成为宜居、宜业、宜游的黄金海岸带和美丽宜人的家园，发挥海岸带对区域经济社会的引领和支撑作用。

《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》基于广东省海岸带自然资源禀赋和承载能力、产业基础和发展潜力，以海岸线为轴，构建“一线管控、两域对接，三生协调、生态优先，多规融合、湾区发展”的海岸带保护与利用总体格局，逐步实现陆海统筹。依据资源环境承载能力和空间开发适宜性，规划确定海岸带“三区三线”基础空间格局，推动形成海陆协调的生态、生活、生产空间总体架构。根据规划中提出的“三区三线”基础空间格局，本项目位于红海湾的生产空间。“生产空间主要承载支撑经济发展的功能，是集聚临海工业和创新产业的主要平台，一般指资源环境承载能力较高、发展潜力较大、城镇化和人口集聚度较高的重要区域。以新能源为主的生产空间面积 2232.8 平方千米，除核电建设外主要为分布在粤东、粤西远海区域的海上风电建设空间。”

本项目风电场没有位于遮浪南重要渔业资源产卵场，从而减少了对重要海洋物种的伤害。施工产生悬沙扩散的影响范围基本局限于次底层、底层，对中层和表层的影响甚小。本工程海上施工期间设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收

集装置，收集贮存后定期交具有处理资质的单位接收后统一处理，对工程海域水质带来的影响是局部的、短期的和可逆的，影响很小，一旦施工结束，影响即可消除。

本项目的建设，对促进当地经济快速发展，提高生活供电能力都有着重要的意义。因此，本项目符合“三区三线”基础空间格局的管控要求。

因此，项目建设与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》相符合。

附图10

广东省海岸带三生空间规划图

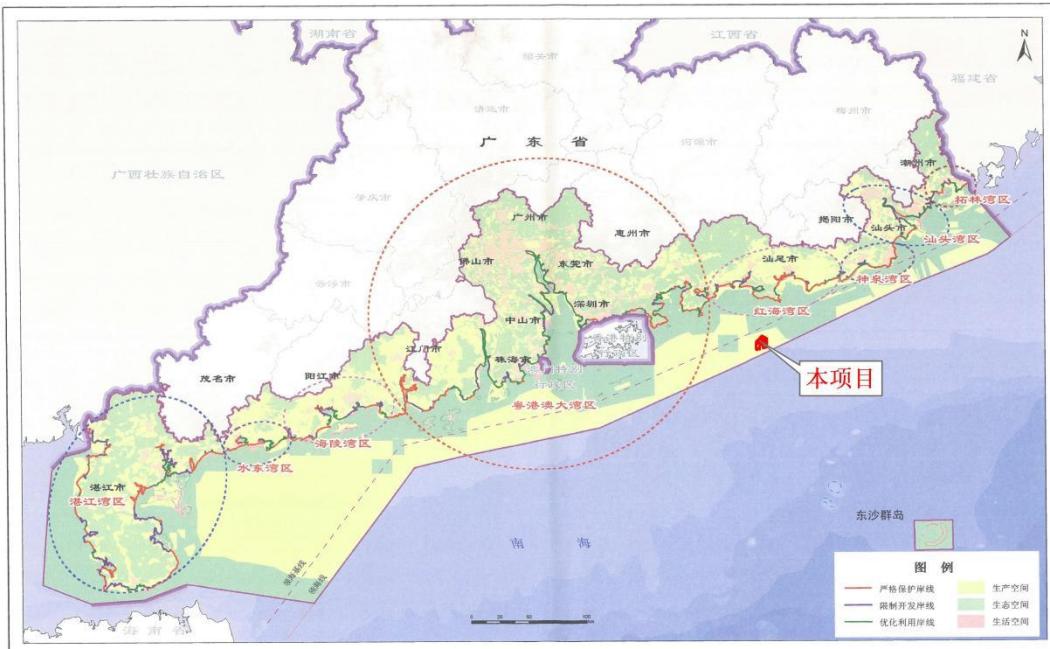


图 6.6.4-1 广东省海岸带红海湾区三生空间规划分图

## 6.6.5 与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》的符合性分析

2021年9月，广东省人民政府印发《广东省海洋经济发展“十四五”规划》。该规划是指导“十四五”时期广东海洋经济发展的专项规划，规划范围包括广东省全部海域和广州、深圳、珠海、汕头、佛山、惠州、汕尾、东莞、中山、江门、阳江、湛江、茂名、潮州、揭阳15个市所属陆域，海域41.9万平方千米，陆域8.8万平方千米，规划期为2021至2025年，展望到2035年。

《广东省海洋经济发展“十四五”规划》要求，打造海上风电产业集群，推动海上风电项目规模化开发，基本建成已规划近海浅水区项目，推动省管海域近海深水区项目开工建设，争取粤东千万千瓦级海上风电基地纳入国家相关规划，并推动基地项目开工建设。强化省统筹工作力度，重点统筹做好项目前期工作、场

址资源划分及配置、发展与安全，以及海上集中送出、登陆点和陆上送出通道、送出模式等。支持海洋资源综合开发利用，推动海上风电项目开发与海洋牧场、海上制氢、观光旅游、海洋综合试验场等相结合，力争到 2025 年底累计建成投产装机容量达到 1800 万千瓦。推动海上风电产业集群发展，加快建设阳江、广东海上风电产业基地力争到 2025 年全省风电整机制造年产能达到 900 台(套)。推动技术进步和成本下降，以龙头企业为引领，重点开展低风速、大容量、抗台风、防盐雾风电机组研发制造。加快漂浮式风机基础、柔性直流送出等关键技术转化运用，进一步完善海上风电产业链。重点引进或鼓励收购新型材料、主轴承、齿轮箱、海上升压站、施工船机运维设备等产业链企业，补齐产业链供应链短板，提前谋划海上风电运维产业发展，重点在阳江、揭阳、汕尾等地布局建设海上运维基地，同时鼓励支持风电研发设计、装备制造、风电施工及运维企业加强合作，通过组建专业运维机构或委托开展社会第三方专业运维，推行运维服务专业化。

明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目能有力地开发粤东地区的海上风电资源，有效提高风能资源的利用，有利于提高海上风电技术水平，有利于促进海上风电设备国产化、海上风机基础选型与施工技术的创新。本项目的开发将以点带面带动全省海上风电开发，为下一步广东省海上风电规模化开发，为后续海上风电建设提供宝贵经验和示范。

同时，本项目对于促进区域经济社会发展有着积极意义。工程建成后，可带动地区相关产业如建材、交通、设备制造业的发展，对扩大就业和发展第三产业将起到促进作用，从而带动和促进地区国民经济的全面发展和社会进步。随着风电场的相继开发，风电将为地方开辟新的经济增长点，对拉动地方经济的发展起到积极作用。

因此，项目建设与《广东省海洋经济发展“十四五”规划》关于打造海上风电产业集群，推动海上风电项目规模化开发的要求相符合。。

## 6.6.6 与《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的符合性分析

广东省生态环境厅于 2022 年 4 月发布《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》，规划指出：健全海洋突发环境事件和生态灾害应急响应体系，加强应急能力建设，提升海洋生态环境突发事件应急响应水平。加强海洋突发环境事件应

急能力建设。深化船舶水污染物治理。严格落实《广东省深化治理港口船舶水污染物工作方案》，完善船舶水污染物收集处理设施，提高港口接收转运能力，补足市政污水管网与码头连接线。完善船舶水污染物联合监管制度，建设广东省船舶水污染物监管平台，全过程监督污染物的产生、接收、转运和处置。严格执行国家《船舶水污染物排放控制标准》，限期淘汰水污染物排放不达标且不能整改的船舶，严厉打击船舶向水体超标排放污染物行为。

本项目海底电缆铺设于海底，风机和 66kV 集电海缆均位于近海深水区域，不占用大陆岸线和海岛岸线。本项目施工期短，施工完毕后，海域可迅速恢复至原有水质和生物水平。施工期生活污水、含油污水及固体废弃物均统一收集处理，不排海，项目施工产生的悬浮泥沙量较小，对水质、沉积物影响不大，可满足水质、沉积物等海水质量标准。本项目通过制定施工船舶航行风险防范措施，确保不破坏渔业生态环境。项目要严格按照相关的法律法规开展，不排放有害有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物和废弃物，统一交由有资质的单位回收处理。制定船舶溢油风险防范措施。

因此，本项目的建设符合《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》的要求。

### **6.6.7 与《汕尾市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》的符合性分析**

2021 年 4 月，汕尾市人民政府发布了《汕尾市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》，提出围绕建设海洋强市目标，依托汕尾海洋岸线资源禀赋，着力优化海洋经济布局，提升海洋产业竞争力，推进海洋治理体系和治理能力现代化，将海洋经济打造成为重要增长极和主引擎。坚持陆海统筹、综合开发，优化海洋空间功能布局，提升海洋资源开发利用水平，积极拓展蓝色经济发展空间。

《汕尾市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》要求，大力发展清洁能源。依托丰富岸线和广阔腹地，大力发展核电、海上风电、光伏发电，合理发展气电，加快推进陆丰核电前期工作，争取尽快开工建设。推进陆丰燃气发电、汕尾天然气保障电源项目和粤东天然气主干管网项目建设，稳步推进陆丰后湖、甲子、碣石海上风电等项目规划建设，积极规划建设粤东（汕尾）千万千瓦海上风电基地。加快推进汕尾陆河抽水蓄能电站工程。加快 500 千

伏甲子海上风电场建设，进一步优化能源供应结构。适度发展高效煤电，加快广东陆丰甲湖湾电厂扩建工程，推动煤电行业加快推进设备更新和技术升级改造。到 2025 年，电源总装机规模达到 1200 万千瓦时。

明阳汕尾红海湾海上风电场的建设是满足汕尾市电力需求增长的需要，也是促进广东经济低碳、可持续发展的需要，是符合国家能源发展战略和规划、优化调整我国能源结构的需要。因此，项目建设符合《汕尾市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》。

## 6.7 结论

综上，本项目建设符合国家产业政策，符合《全国海洋主体功能区划》《广东省海洋主体功能区划》《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》“三区三线”和省、市“三线一单”的管控要求。

项目与《“十四五”现代能源体系规划》《海上风电开发建设管理办法》《广东能源发展“十四五”规划》等能源行业规划的要求相符。

项目符合《2030 年前碳达峰行动方案》《广东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》《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》《广东省海洋经济发展“十四五”规划》《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》以及《汕尾市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》等各级相关规划的相关要求。

# 7 项目用海合理性分析

## 7.1 用海选址合理性分析

### 7.1.1 项目选址区位和社会条件的合理性分析

本项目装机容量为 500MW，拟建设 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式风电机组，8 回 66kV 集电海底电缆，位于汕尾市附近海域，红海湾场址西侧区域内，风机和电缆未超过规划范围。

本项目位于汕尾市，交通十分便利。项目主要的建筑材料为钢材，钢材可从广东省内及省外的市场采购，钢材资源和商品混凝土采购便利；项目施工主要大型机械及常规的机械设备等可在当地租用；本区域的水电供应条件相对较好，供水、供电系统完备，陆上施工基地的水、电供应可直接从当地的管网系统接驳。因此，本项目选址的施工供应条件成熟，满足工程建设需要。

本项目的建设符合国家可持续、绿色、低碳的能源发展政策，适应广东海上风电发展规划，有利于推动可再生能源的开发利用和节能减排，有利于带动风电产业链和第三产业的发展，增加就业机会，促进地方经济的持续发展。

综上所述，本项目建设区域社会条件适宜、交通便捷、外部协作条件良好，项目建设在技术上是可行的、经济上是合理的。项目的建设与选址区域的社会条件是相适应的，选址区域的社会条件满足项目用海需求，有利于项目区域的发展。

### 7.1.2 项目选址与自然资源、生态环境适宜性分析

#### (1) 气象条件的适宜性

项目所在海域地处北回归线以南的低纬度地带，南海北部的广东沿海，属于典型的亚热带海洋季风气候区，常年气温较高，雨量充沛，相对湿度高，该区域的气候条件适宜于工程的建设。但该地区易受台风影响，对工程的施工有一定的影响，施工期间应做好防台措施。

#### (2) 风能资源丰富

本风电场轮毂高度处主导风向为 ENE，主导风风向频率为 29.0%，相应 ENE 向风能频率为 44.2%；风向、风能分布相对集中，风能资源较好，具备开发建设

风电场的风能资源条件。

### (3) 水深地形条件的适宜性

本项目位于明阳汕尾红海湾海上风电场场址内，位于汕尾市东南面海域，离岸距离约 36.8km，水深约 35~50m，海域宽阔，附近未见岛屿、礁石分布。地水下地形较平缓，整体呈北高南低趋势，属冲海积地貌单元。总的来说，项目所处海域水深条件较好，海底地形较平坦。因此本项目所在位置的地形条件适宜。

### (4) 地质条件的适宜性

项目拟建场地位于相对较稳定的地质构造单元上。风电场区海底地形较为平缓，未见滑坡、崩塌、土洞、海底流动（碎屑流、液化流、颗粒流及浊流）等不良地质作用发育迹象及海底地质灾害问题，且无矿产等对工程不利的地下埋藏障碍物。场地环境工程地质条件较简单，遭受地质灾害危害的可能性较小，工程引发地质灾害发生可能性也较小。场地地形地貌及地层条件较好，可满足风机基础建设需要，综合判定，拟建场地稳定性较好，适宜作为风电场工程建筑场地。

### (5) 生态环境的适宜性

项目建设不可避免的对工程周边海域的海洋环境质量、沉积物、海洋生态环境带来一定负面影响，造成一定的渔业资源及底栖生物损失。因此在工程设计、施工和运营时，必须将环境保护措施落实到施工和营运期的每个环节，确保工程建设对海域环境和海洋资源造成的影响降低到最低程度。根据环境影响预测结果，工程施工对周边水生生态环境的影响较小；施工期的生活垃圾、生活污水及船舶含油污水均统一收集后处理，禁止直接排放入海。

综上，本项目用海选址与自然资源和生态环境相适宜。

## 7.1.3 项目选址与周边其他用海活动的适宜性分析

根据本报告第 3.4 节，本项目附近主要的用海活动海上风电项目、航道、航路、锚地、海底光缆。

根据本报告第 5 章海域开发利用协调分析结论，界定本项目无利益相关者，协调责任部门为当地渔业主管部门以及海事主管部门。通过加强与各方的沟通和合作，本项目海域开发利用具有较好的可协调性，项目用海与周边其他用海活动不存在功能冲突，是相适宜的。

#### **7.1.4 项目选址方案的环境风险分析**

根据本报告第4章项目用海资源环境影响分析中对项目用海风险论证的结果，结合项目用海所在海域特征及周边开发活动分布状况，项目用海对海域的风险主要来自两个方面，一方面是由于自然灾害引发的风险事故，另一方面是项目船舶发生碰撞而引起的溢油事故。建设单位须及时了解热带气旋的预报，严格控制施工质量，注意施工和运营安全，减小热带气旋风险带来的影响。采取必要的风险防范措施，避免溢油风险事故的发生。

#### **7.1.5 项目选址合理性分析**

本项目用海与气象条件、风能资源、水深地形条件、地质条件等自然环境条件相适宜；对生态环境影响较小，在采取一定补偿措施以及环保措施的条件下，可减轻对生态环境的影响；用海风险可通过采取一定的措施避免；与周边其他用海活动具有较好的可协调性。

根据《国家能源局国家海洋局关于印发<海上风电开发建设管理办法>的通知》（国能新能〔2016〕394号），“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。”本项目风电场场址区域离岸最近约为36.8km，已超过10km；水深约35m~50m，水深大于10m；风电场场址不涉及各种保护区及重要、敏感和脆弱生态区域。工程风电机组和登陆点选址、海缆路由方案均避开通信、电力、油气等海底管线的保护范围。

因此，项目选址是合理的。

#### **7.1.6 项目选址唯一性分析**

2021年发布了汕尾红海湾场址，位于红海湾南侧，总装机容量450万千瓦，其中明阳汕尾红海湾海上风电场项目位于红海湾场址西侧区域内，场址面积约144km<sup>2</sup>，总装机容量为1000MW。本项目为明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目，装机容量为500MW，是汕尾红海湾海上风电规划项目，其场址必须位于汕

尾红海湾海上风电的规划场址内。本项目拟建设 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式风电机组。风电机组发出电能通过 8 回 66kV 集电海底电缆接入海上升压站，海上升压站位于一期项目场址范围内，升压站容量为 1000MW，可满足一期和二期项目建设，为集约节约用海，二期项目不再设置海上升压站，一期和二期项目升压后一并输送到陆上集控中心。因此，海上升压站及送出海底电缆纳入一期项目申请范围内，不在本次二期项目范围内。

因此，本项目选址具有唯一性。

## 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

本项目用海方式为构筑物用海（一级方式）的透水构筑物用海（二级方式）和其他用海方式（一级方式）的海底电缆管道用海（二级方式），本节通过对于维护海域基本功能、减少对水文动力及冲淤环境的影响、是否有利于保持自然岸线和海域自然属性等方面，分析项目用海方式的合理性。

#### 7.2.1.1 是否有利于维护海域基本功能

本项目建设风机和海底电缆，用海方式分别为透水构筑物和海底电缆管道。虽然需占用一定的海域，但透水构筑物和海底电缆管道用海基本不改变海域的自然属性，能够保持水体的流通交换，对海域的使用不属于不可恢复，不涉及炸岛和围填海等，项目实施虽然会对所在海域的渔业资源造成一定的影响，但通过生态减缓和补偿措施，不影响海域主导功能的实现，能够维护海域基本功能。

#### 7.2.1.2 能否最大程度地减少对水文动力环境、冲淤环境的影响

本项目透水构筑物和海底电缆管道用海能够保证水流的通畅，虽占用一定海域面积，但对整个水文动力环境、冲淤环境的影响并不大。因此，本项目用海方式能够最大程度减少对水文动力环境、冲淤环境的影响。

#### 7.2.1.3 是否有利于保持自然岸线和海域自然属性

项目主要建设风机和 66kV 集电电缆，不占用岸线，项目建设后不会对所穿越岸线造成明显不利影响，不会改变海域自然属性。因此本项目用海方式有利于

保持自然岸线和海域自然属性。

#### 7.2.1.4 是否有利于保护和保全区域海洋生态系统

本项目施工期间会对作业面的底栖生物和底栖生境造成完全破坏，栖息于上述范围内的底栖生物将全部损失，部分游泳能力差的底栖生物如底栖鱼类、虾类也将因为躲避不及而被损伤或掩埋。另外，施工产生的悬浮泥沙也造成海洋生物一定的损失。本项目施工造成的悬沙污染，对海域污染的范围主要是海缆附近两侧。工程施工过程产生的悬浮物扩散和沉降后，对项目周边海域的沉积物环境质量不会产生明显变化，即沉积物质量状况仍将基本保持现有水平。为弥补工程建设对海洋生态环境带来的不利影响，建设单位应做好环境保护工作和生态补偿工作，把不利影响降到最低。

项目风机基础施工及海底电缆铺设等将会引起部分底栖生物损失。同时，工程施工悬浮物会引起本海域生物种类和数量的减少，但是项目建成后，影响将逐渐消失，生物数量会慢慢恢复。项目用海方式及建设运营过程中对区域海洋生态系统的影响不大。可见，本项目建设对区域生态系统有一定影响，但可以通过增殖放流等措施进行生态补偿，本项目用海方式对区域海洋生态系统的影响是可以接受的。同时，项目已优先避让生态保护红线区，尽量减小对生态保护重要区域和生态敏感目标的影响。

因此，本项目用海方式是合理的。

#### 7.2.2 平面布置合理性分析

##### 7.2.2.1 布置原则

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，增加机组间电缆的长度，增大电量损耗。海上风电场风电机组应主要根据风电场区域内风能资源条件和海底地形地质条件进行布置，布置原则为：

- 1) 首先应充分考虑规划使用海域的周边环境限制条件，协调与港口、航道、油气管道等之间的关系。
- 2) 根据场区内风资源分布特点，充分利用风电场盛行风向进行布置，合理

选择风电机组间距。

3) 布置时既要尽量避免风电机组之间的尾流影响，又要减小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。

4) 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。

5) 为了便于施工、运行维护和降低工程投资，同一风电场内的同期工程，尽量选用型号与单机容量相同的风电机组。

6) 由于本项目升压站计划布置在场址内，考虑在场址北侧预留升压站位置。

7) 现阶段风机布置主要从发电效益角度出发，充分利用风能资源，且不和用海和环保冲突。

8) 本风电场轮毂高度处主导风向为 ENE，主导风风向频率为 29.0%，相应 ENE 向风能频率为 44.2%；风向、风能分布相对集中。风机布置时按平行主导风向 9~14 倍叶轮直径，垂直主导风向 3~6 倍叶轮直径的范围进行试算（后排风机间距可按海域情况加大），并适当进行角度的偏转，调整个别风机点位，寻找风电场总体发电效益最优的方案。

### 7.2.2.2 风机布置方案

#### (1) 风机机型比选

漂浮式风机旨在打造海上风电大兆瓦风机和漂浮式基础应用科研示范性重点工程，积极探索深水离岸海域、台风频繁等条件下的海上风电设计与施工技术，大力推进我国大容量海上风电设备国产化和技术革新，因此本次设置 1 台 16.6MW 漂浮式风机作为科研示范，其余 31 台为固定式风机。

本工程装机容量为 500MW，根据以上风机布置原则，分别对 12MW、14MW、16MW、18MW 共 4 种单机容量方案进行布置，各布置方案见图 7.2.2-1 所示。各方案行间距按 9~14 倍 RD，列间距按 3~6 倍 RD 试算，个别机位进行调整。

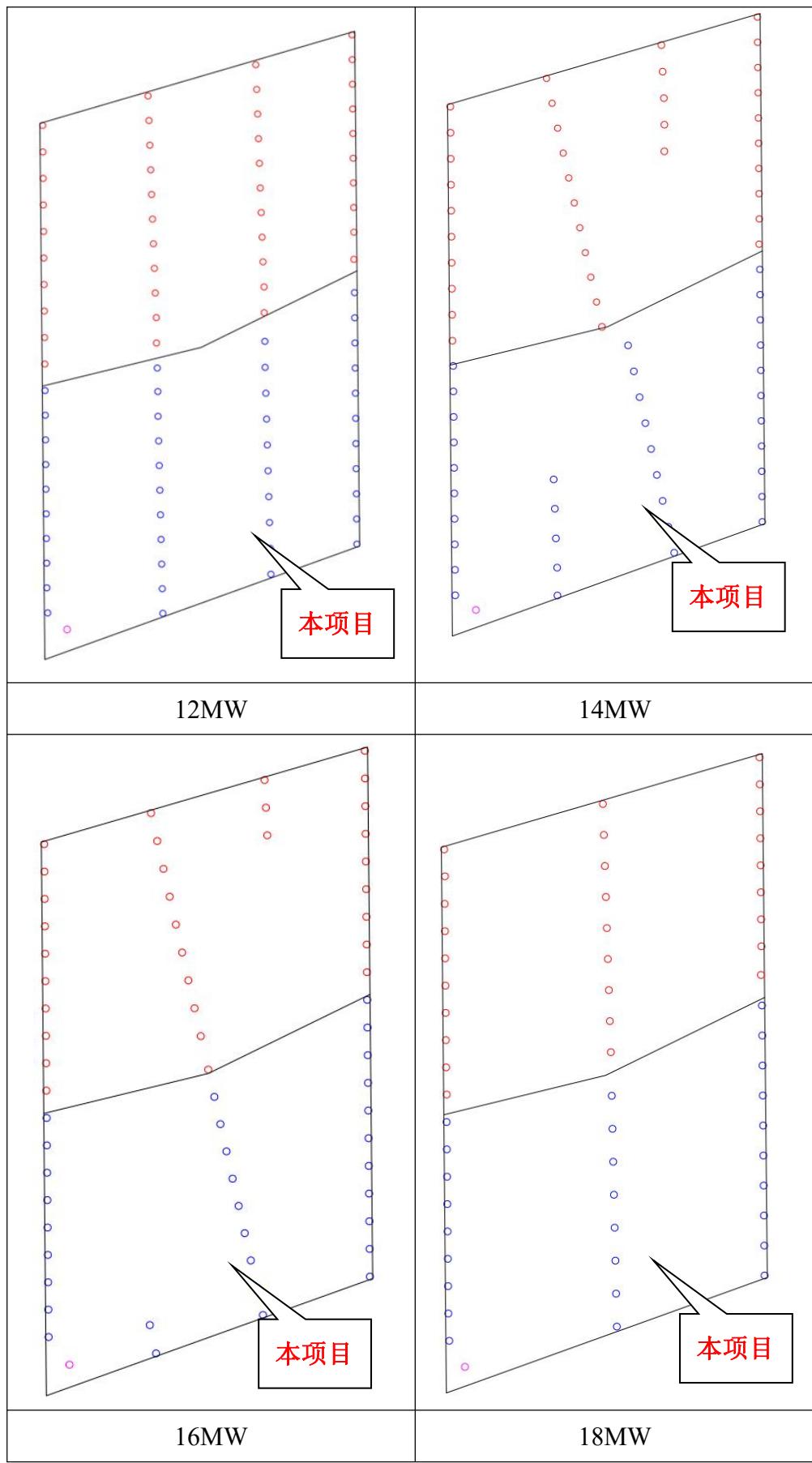


图 7.2.2-1 各容量风机机位布置示意图 (○为漂浮式风机)

### 1) 发电量

对风机排布进行优化布置，计算各比选机型发电量详见表 7.2.2-1。

表 7.2.2-1 各机型及排布方案发电量计算结果对比表

| 比选机型         | WTG01    | WTG02    | WTG03    | WTG04    |
|--------------|----------|----------|----------|----------|
| 额定功率 (kW)    | 12000    | 14000    | 16000    | 18000    |
| 台数 (台)       | 84       | 72       | 64       | 56       |
| 设计容量 (MW)    | 4917.505 | 4798.328 | 4809.714 | 4590.533 |
| 理论年发电量 (GWh) | 4437.217 | 4387.711 | 4396.193 | 4258.861 |
| 净发电量 (GWh)   | 9.77     | 8.56     | 8.60     | 7.23     |
| 平均尾流损失率 (%)  | 76       | 76       | 76       | 76       |
| 其他折减率 (%)    | 3372.285 | 3334.661 | 3341.106 | 3236.734 |
| 年上网电量 (GWh)  | 3345     | 3309     | 3261     | 3211     |
| 满发小时数 (h)    | 38.18    | 37.77    | 37.22    | 36.66    |
| 容量系数 (%)     | 12000    | 14000    | 16000    | 18000    |

### 2) 投资比较

由表 7.2.2-1 各机型发电效益计算结果看，虽然 WTG01 的发电量和满发小时数最优，但由于风机数量较多，机型单机容量越小，投资越大，因此本报告选取 4 种机型做进一步的比较分析，主要包括投资比较和经济效益比较，详见表 7.2.2-2。

表 7.2.2-2 各机型投资参数对比表

| 序号 | 参数             | WTG01    | WTG02    | WTG03    | WTG04    |
|----|----------------|----------|----------|----------|----------|
| 1  | 风机台数 (台)       | 84       | 72       | 64       | 56       |
| 2  | 单机容量 (MW)      | 12       | 14       | 16       | 18       |
| 3  | 年利用小时数 (h)     | 3345     | 3309     | 3261     | 3211     |
| 4  | 年上网电量 (GWh)    | 3372.285 | 3334.661 | 3341.106 | 3236.734 |
| 5  | 工程静态投资 (万元)    | 1329979  | 1293325  | 1249916  | 1217551  |
| 6  | 单位电度投资 (元/kwh) | 3.944    | 3.878    | 3.741    | 3.762    |
| 7  | 机型排序           | 4        | 3        | 1        | 2        |

由表 7.2.2-2 可知 WTG03 单位电度投资最低，经济效益最好，WTG04 经济技术指标排第 2 位，考虑到 WTG04 轮毂高度接近 170m，目前施工船机资源极其匮乏，吊装难度大，因此本阶段建议采用 WTG03 (MySE16-260) 作为推荐机型。

## (2) 推荐机型的布置优化方案

1台16.6MW漂浮式风机机位位于场址西南侧，16.6MW风机是明阳智能开发的又一大兆瓦风电机组，由于单机容量大，叶轮直径较大，将机组设置在西南侧主风向，可减少尾流影响，捕捉更多的风能，提升整场发电量。因此，在漂浮式风机位置已经确定的基础上，对其他风机机型进行比选。

对比选机型进行优化排布，推荐机型WTG03（MySE16-260）风机布置方案如图7.2.2-2所示。各方案以ENE为主导风向，并适当旋转调整角度，考虑适当加大后排间距距离，并对个别风机进行微调。

方案一各排风机基本垂直于主导风向，采用4列布置的方案，列间距为11.1~13.7D，行间距为3.6~5.0D。

方案二各排风机基本平行于主导风向，采用4列布置的方案，列间距为8.2~16.2D，行间距为3.7~5.1D。

方案三在方案二的基础上对各排风机的方位角进行微调，尽量减少风场中部尾流叠加影响严重区域的风机数量，减小风机行内间距，增加风机的列间距，采用近似3列的布置方案，列间距为11.3~12.3D，行间距为3.0~3.8D。

方案三的整体平均尾流优于其他方案，说明通过调整风机阵列内部的间距取值，可以在一定程度上改善部分风机点位因前排尾流叠加造成的发电量损失状况，最终本阶段推荐方案三。各风机布置方案发电量情况见表7.2.2-3。

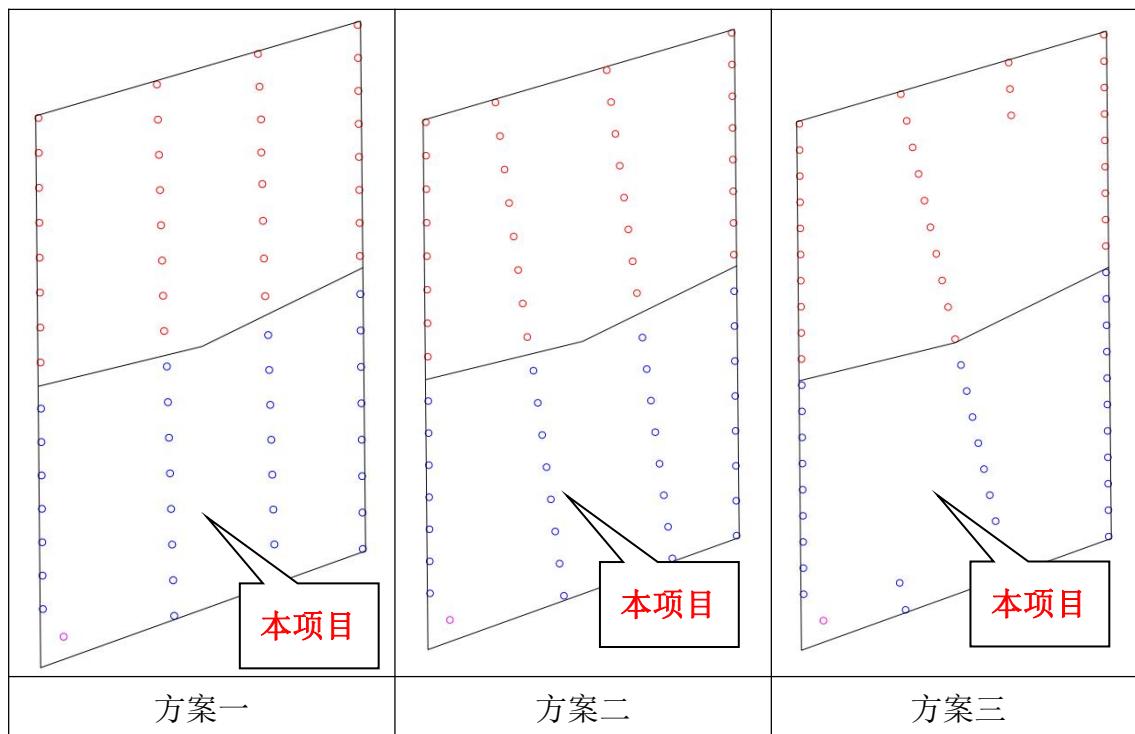


图 7.2.2-2 WTG03 各方案风机布置示意

表 7.2.2-3 各风机布置方案发电量比选

| 布置方案                 | 方案一      | 方案二      | 方案三             |
|----------------------|----------|----------|-----------------|
| 理论年发电量 (GWh)         | 4809.714 | 4809.714 | <b>4809.714</b> |
| 考虑尾流损失后年发电量<br>(GWh) | 4365.777 | 4381.168 | <b>4396.193</b> |
| 平均尾流损失率 (%)          | 9.23     | 8.91     | <b>8.60</b>     |
| 年上网电量 (GWh)          | 3317.991 | 3329.688 | <b>3341.106</b> |
| 满发小时数 (h)            | 3238     | 3250     | <b>3261</b>     |

综上，本风电场综合考虑了风机的机型、安全等级、场址区特殊环境、气候等条件要求，从机组性能、经济效应、风机尾流影响等方面出发，对布置方案多次优化，同时能达到风电场最好的发电效益，充分利用场址风力资源，最终确定布置方案。风电机组的布置满足了项目建设、开发的需求，同时调整风机内部间距，降低风机尾流影响，并体现了集约节约用海，充分考虑对周边海洋开发活动的影响，提高了项目的用海合理性，因此本工程风电机组用海平面布置合理。

### 7.2.2.3 66kV 海底电缆

本项目初步考虑与一期 32 台风机采用 2 回 500kV 三芯  $3 \times 800\text{mm}^2$  XLPE 绝缘海底电缆集中送至海上集控中心，海上集控中心位于风电场北侧。为降低海底电缆的整体投资，在海上升压站布置上考虑尽量缩短 500kV 海底电缆及 66kV 海底电缆的长度，即海上升压站应设置在风电场中心或靠近陆地侧；为便于运行船只进入，升压站与运行船只码头间的可通航水域距离应尽量缩短，即海上升压站应设置在风电场北侧。综合考虑，海上升压站站址选择有如下两个方案：

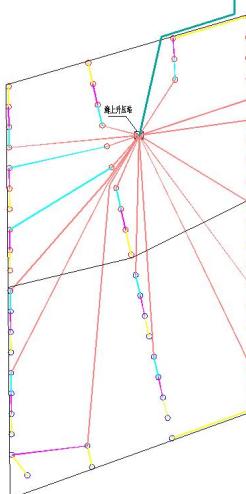
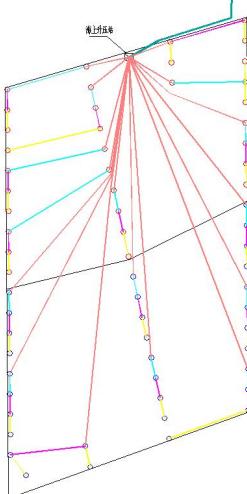
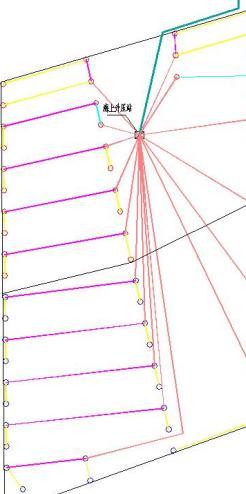
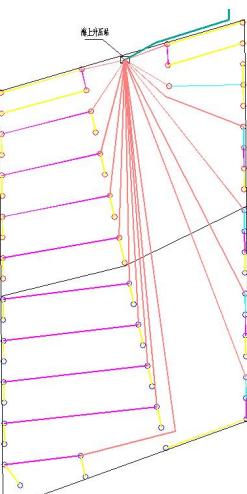
方案一：选择在场址中心稍靠北侧 1/3 处；

方案二：选择在场址北侧。

每个选址方案设计了两个集电线路方案。方案比较如下：

表 7.2.2-4 海上升压站及海底电缆布置方案比选

| 方案 | 方案一             | 方案二     |
|----|-----------------|---------|
|    | 选择在场址中心稍靠北侧 1/3 | 选择在场址北侧 |

|                  |              |   | 处   |   |
|------------------|--------------|---|---|---|
| 集电线路方案 A 布置图     |              |   |    |    |
| 方<br>案<br>对<br>比 | 项目           | 参数  | 路由长度 (km)   | 路由长度 (km)   |
|                  | 66kV 海缆      | 3×95mm <sup>2</sup> ~<br>3×500mm <sup>2</sup> | 140.6   | 170.6   |
|                  | 500kV 海<br>缆 | 3×800mm <sup>2</sup>                          | 38.2  | 35.9  |
| 集电线路方案 B 布置图     |              |   |  |  |
| 方<br>案<br>对<br>比 | 项目           | 参数  | 路由长度 (km)   | 路由长度 (km)   |
|                  | 66kV 海缆      | 3×95mm <sup>2</sup> ~<br>3×500mm <sup>2</sup> | 173.7   | 204.8   |
|                  | 500kV 海<br>缆 | 3×800mm <sup>2</sup>                          | 38.4  | 35.9  |

两个海上升压站候选场址在地形地貌、区域稳定性、工程地质和水文地质条

件等方面类似，从岩土工程条件来看，比选场址的条件相当；从施工条件来看，两个方案位置均便于施工船只进入。从技术上来看，两个方案均可行。

综合考虑经济性、用海面积，方案一 66kV 集电线路方案 A 海缆长度最短，经济性最优，用海面积较小。因此，本阶段海上升压站及 66kV 集电线路推荐采用方案一及集电线路方案 A。

综上，本项目海上升压站从场址地质、施工条件及技术条件要求；66kV 集电线路从经济性较优、线路长度较短，用海面积较小的角度出发，根据风电机组布置及考虑每个 66kV 母线段所带风电机组数量尽量平衡，一期、二期风电场共设置 16 回 66kV 集电海底电缆，对布置方案进行比选，体现了集约节约用海的原则，提高了项目的用海合理性，因此本项目海上升压站及 66kV 集电线路的平面布置合理。

## 7.3 用海面积合理性分析

### 7.3.1 项目用海面积合理性内容

#### 7.3.1.1 是否满足项目用海需求

##### (1) 风电机组用海需求

风电机组平面布置是决定海域使用面积大小的一个主要因素，风机行内间距和行间距与发电量、尾流影响、建设成本密切相关。布置风机的关键是根据工程区域的特点，确定各行和行内各风机的合理间距，并把尾流影响控制在合理的范围内。通过比选，本工程共安装风电机组32台，其中31台为固定式风电机组，1台为漂浮式风机。

四桩导管架桩径3.5m，桩中心距为35m，整个风电场的平均钢管桩桩长约为99.5m，平均入土深度约为94.5m。漂浮式风电机组采用半潜式基础，上部风机的塔筒与安装在中心节点上部的底段塔筒上部通过一个三通连接件连接起来。基础总长度117m，总宽度115m，高26m，吃水16.5m。总重（不含压载）8300t，包含压载总重15155t。

##### (1) 固定式风机

固定式风机基础推荐四桩导管架，风机基础推荐四桩导管架，基础塔筒与导

管架四柱腿间由4根变截面钢管连接，四根桩按正方形布置，桩与桩之间的中心点距离35m，平均桩径为3.5m。

根据海籍调查规范5.4.2.5电力工业用海——f) 海上风力发电项目用海，单个风机塔架以塔架中心点为圆心，中心点至塔架基础最外缘点外扩50m为半径的圆为界；多个风机塔架，范围为所有单个风机所占海域范围之和。项目风机基础四柱导管架塔架中心点至塔架基础最外缘点的距离是26.50m，以中心点至塔架基础最外缘点外扩50m，即76.50m为半径的圆为单个固定式风机基础的申请用海范围（见图7.3.1-1），本项目单台风机用海面积为1.8385公顷，在此基础上确定31台风力发电机组的总基础用海面积约为56.9935公顷，在高斯-克吕格（ $115^{\circ}30'$ ）投影下计算得风电机组用海面积合计为56.9935公顷。

因此，本项目风机用海面积可满足项目用海需求。

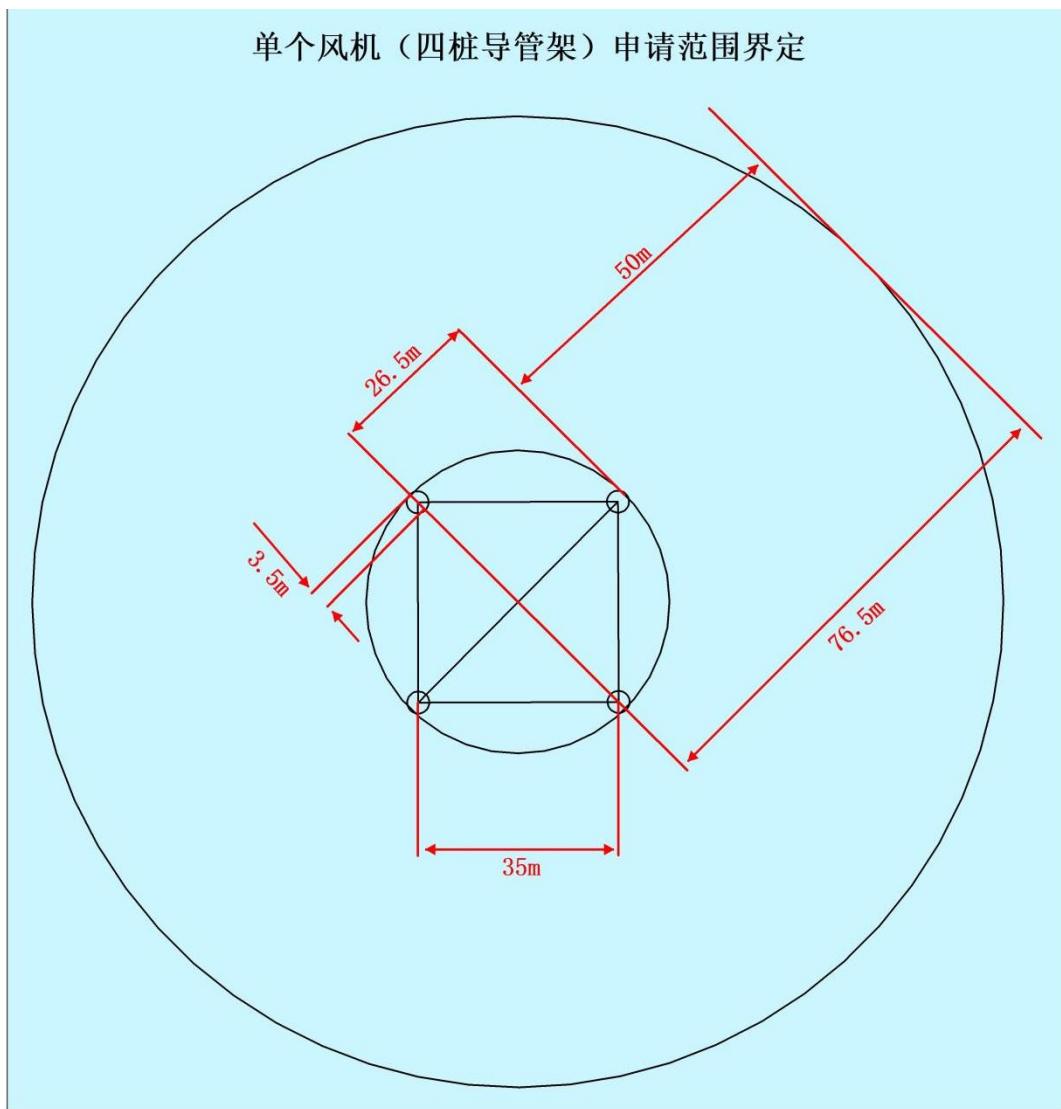


图 7.3.1-1 导管架基础用海范围界定示意图（单位：m）

### (2) 漂浮式风机（涉密，不公开）

### (3) 海底电缆用海需求

根据项目需要，风电机组发出电能需通过66kV集电海底电缆接入海上升压站，根据海籍调查规范5.4.2.5电力工业用海——g) 海上风力发电使用的海底电缆，以电缆管道外缘线向两侧外扩10m距离为界，再结合海底电缆的路由布置，确定海底电缆用海是满足项目需要以及合理的。

本项目66kV海底电缆为风机间的集电线路用海，最优集电拓扑方案为风机按8个回路布置，各个回路考虑功率分布平衡，连接4台风机，风机连接电缆不交叉重叠。根据设计要求，采用单根三芯的海底电缆，电缆自身直径180mm，根据规范要求，电缆用海以边界两边外扩10m为限。漂浮式风电66kV海底动态电缆入泥点距系泊点约20m，系泊点最大运动范围为半径25m的圆，海底动态电缆动态段限制在系泊点运动范围内（位于漂浮式风机基础用海申请范围内），根据《海籍调查规范》（HY/T124 2009）**5.1.5 方便行政管理** 在有效反映宗海形状和范围的前提下，宗海界址点的布设应清楚简洁。本项目动态海缆申请用海范围按照敷设路线由电缆管道外缘线向两侧外扩10m为界。

66kV海底电缆的用海通道宽度约为20.18m，其长度约为89.7km，计算得出66kV海缆用海面积约为181.0146公顷。本项目66kV海缆与风机及海上升压站部分用海重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即风机和海上升压站用海优先，海底电缆次之，所以66kV海底电缆用海面积中应去除和风机、海上升压站重叠部分，最终得出66kV海缆申请用海面积为169.7532公顷。

综上，本项目用海面积符合项目用海需求。

#### 7.3.1.2 是否符合相关行业的设计标准和规范

##### (1) 项目用海面积符合用海控制指标要求

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》（国海规范〔2016〕6号），“海上风电的规划、开发和建设，应坚持集约节约的原则，提高海域资源利用效率。充分考虑地区差异，科学论证，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”。本项目风电场总容量50万千瓦，风电场外缘边线包络海域面积68.38平方公里，每10万千瓦包络海域面积约13.68平方公里，小于16平方公里，符合国家海洋局规定的用海控制

要求。

#### **(2) 与《风力发电场设计技术规范》等风电行业规范相符合**

本项目风电场的设计按照《风力发电机组设计要求》(GB/T18451.1-2012)、《风力发电场设计技术规范》(DL/T5383-2007)、《风电场工程等级划分及设计安全标准》(FD002-2007)、《风电机组地基基础设计规定》(FD003-2007)、《风力发电场设计规范》(GB51096-2015)、《海上风电场工程施工组织设计技术规定》(NB/T31033-2012)等专业技术规范标准进行，海底电缆的布设满足《海底电力电缆输电工程设计规范》(GB/T51190-2016)、《海底电缆管道路由勘察规范》(GB17502-2009)等的要求，本项目设计符合风电等相关规范的设计要求。

#### **(3) 与《海籍调查规范》和《海域使用面积测量规范》相符合**

海岸线确定原则和方法依据以《全国海岸线修测技术规程》(自然资办函〔2019〕1187号)及《海岸线调查统计技术规范》(DB33/T2106-2018)规定的方法确定，本项目海岸线为广东省政府2022年批复海岸线。

本项目用海类型为电力工业用海，用海方式为透水构筑物用海和海底电缆管道用海。根据《海籍调查规范》中第5.4.2.5节电力工业用海，“海上风力发电项目用海，单个风机塔架以塔架中心点为圆心，中心点至塔架基础最外缘点外扩50m为半径的圆为界；多个风机塔架，范围为所有单个风机所占海域范围之和”；“海上风力发电使用的海底电缆，以电缆管道外缘线向两侧外扩10m距离为界”。

本项目风机以其基础外切圆外扩50m为半径的圆为界确定界址点；66kV海底电缆向两侧外扩10m距离为界确定界址点。

同时，《海籍调查规范》中规定：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。本项目海底电缆用海以外缘线向两侧外扩10m距离为界，66kV海底电缆与风机用海面积部分重叠，按照海域使用金征收标准的不同，采取就高不就低的原则：即风机基础用海优先，海底电缆次之，重叠部分面积扣除。

按照《海域使用面积测量技术规范》，本次论证项目拟申请用海面积是根据坐标解析法进行计算的，利用经外扩后的各点平面坐标计算面积，借助于CASS9.1的软件计算功能直接求得透水构筑物及海底电缆管道用海面积。

#### **(4) 与《海上风电开发建设管理办法》相符合**

根据《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一般按塔架中心点至基础外缘线点再向外扩 50m 为半径的圆形区域计算；海底电缆用海面积按电缆外缘向两侧各外扩 10m 宽为界计算；其他永久设施用海面积按《海籍调查规范》的规定计算。各种用海面积不重复计算。”

本项目风机以其基础外切圆外扩 50m 为半径的圆为界确定用海面积和范围，海底电缆以其外缘线向两侧外扩 10m 距离为界确定用海面积和范围。海底电缆用海面积与风机用海面积有部分重叠，海底电缆用海面积去除和风机的用海面积重叠部分后确定。因此，本项目拟申请用海面积的界定符合《海上风电开发建设管理办法》。

因此，本项目拟申请用海面积的界定符合相关管理办法的要求。

### 7.3.1.3 减少项目用海面积的可能性

本项目风电场的设计在满足风电工程尾流控制和安全性等需求的基础上，已经按照集约节约用海的原则，并以尽可能减少风电场占用海域面积为目标，对本项目的平面布置做了优化；同时，考虑到本工程周边海域航道、锚地和海洋保护区等开发利用现状的用海需求，设计单位对本项目的风机机组和海底电缆路由进行了优化。现阶段，综合考虑机组安全性、发电效益等因素，减少用海面积的可能性很小。

综上所述，项目用海面积是合理的。

## 7.3.2 宗海图绘制及用海面积量算

### 7.3.2.1 测量相关说明

#### (1) 宗海测量相关说明

根据《海域使用分类》《海籍调查规范》，广东海兰图环境技术研究有限公司负责进行本项目海域使用测量，测绘资质证书号为：乙测资字 44505356，参加本项测量人员为陈华安、张均雪。

#### (2) 执行的技术标准

《海域使用面积测量规范》(HY 070-2022);  
《海域使用分类》(HY/T 123-2009);  
《海籍调查规范》(HY/T 124-2009);  
《宗海图编绘技术规范》(HY/T 251-2018)。

### 7.3.2.2 宗海界址点的确定方法

本宗海有透水构筑物、海底电缆管道共两种用海方式。  
1) 固定式风机用海界址根据其中心点，以半径 76.5m 画圆确定用海界址；  
漂浮式风机用海界址根据其中心点，以半径 180.37m 画圆确定用海界址；  
2) 海底电缆用海界址是根据海底电缆设计宽度外扩 10m 距离为界确定用海界址。

### 7.3.2.3 宗海图的绘制

#### (1) 宗海平面图的绘制方法

利用委托方提供的项目平面布置图及数字化地形图作为宗海平面图的基础数据，在AutoCAD 2010界面下，形成有地形图及用海布置图等为底图，以用海界线形成不同颜色区分的用海区域。

#### (2) 宗海位置图的绘制方法

宗海位置图采用中国航海图书出版社2015年出版、图号为15300的海图，图式采用1998年版，墨卡托投影，2000国家大地坐标系，深度...米...理论最低潮面，高程...米...1985年国家高程基准，比例尺为1:250 000 (22°16')。

将上述图件作为宗海位置图的底图，经过相应地图整饰，绘出宗海界址图，具体见图7.3.3-1~图7.3.3-2。

### 7.3.2.4 宗海界址点坐标及面积的计算方法

#### (1) 宗海界址点坐标的计算方法

宗海界址点在 AutoCAD 2010 的软件中绘制属于高斯投影下的平面坐标，高斯投影平面坐标转化为大地坐标（经纬度）即运用了高斯反算过程所使用的高斯反算公式算出。根据数字化宗海平面图上所载的界址点 CGCS2000 大地坐标系，利用相关测量专业的坐标换算软件，输入必要的转换条件，自动将各界址点的平面坐标换算成以高斯投影、115°30' 为中央子午线的 CGCS2000 大地坐标。

**高斯投影反算公式:**

$$l = \frac{1}{\cos B_f} \left( \frac{y}{N_f} \right) \left[ 1 - \frac{1}{6} (1 + 2t_f^2 + \eta_f^2) \left( \frac{y}{N_f} \right)^2 + \frac{1}{120} (5 + 28t_f^2 + 24t_f^4 + 6\eta_f^2 + 8\eta_f^2 t_f^2) \left( \frac{y}{N_f} \right)^4 \right]$$
$$B = B_f - \frac{t_f}{2M_f} y \left( \frac{y}{N_f} \right) \left[ 1 - \frac{1}{12} (5 + 3t_f^2 + \eta_f^2 - 9\eta_f^2 t_f^2) \left( \frac{y}{N_f} \right)^2 + \frac{1}{360} (61 + 90t_f^2 + 45t_f^4) \left( \frac{y}{N_f} \right)^4 \right]$$

### (2) 宗海面积的计算方法

本次宗海面积计算采用坐标解析法进行面积计算,即利用经外扩后的各点平面坐标计算面积。借助于 AutoCAD 2010 的软件计算功能直接求得用海面积。

### (3) 宗海面积的计算结果

根据《海籍调查规范》及本项用海的实际用海类型,界定本项目用海为1宗海,宗海面积236.9673公顷,由透水构筑物、海底电缆管道共两种用海方式,其中风机(透水构筑物)用海面积67.2141公顷,66kV海底电缆用海面积169.7532公顷。

## 7.3.3 项目用海面积量算合理性分析

本项目用海类型为工业用海中的电力工业用海,用海方式为透水构筑物用海和海底电缆管道用海。按照《海域使用面积测量技术规范》,本次论证项目申请用海面积是根据坐标解析法进行面积计算,利用经外扩后的各点平面坐标计算面积,借助于CASS 9.1的软件计算功能直接求得透水构筑物用海面积为67.2141公顷,海底电缆管道用海面积为169.7532公顷。

因此,本项目申请用海面积的界定符合《海籍调查规范》《海域使用面积测量规范》等相关规范的要求。

本项目海域使用宗海位置图见图 7.3.3-1, 宗海界址图见图 7.3.3-2。

## 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海位置图

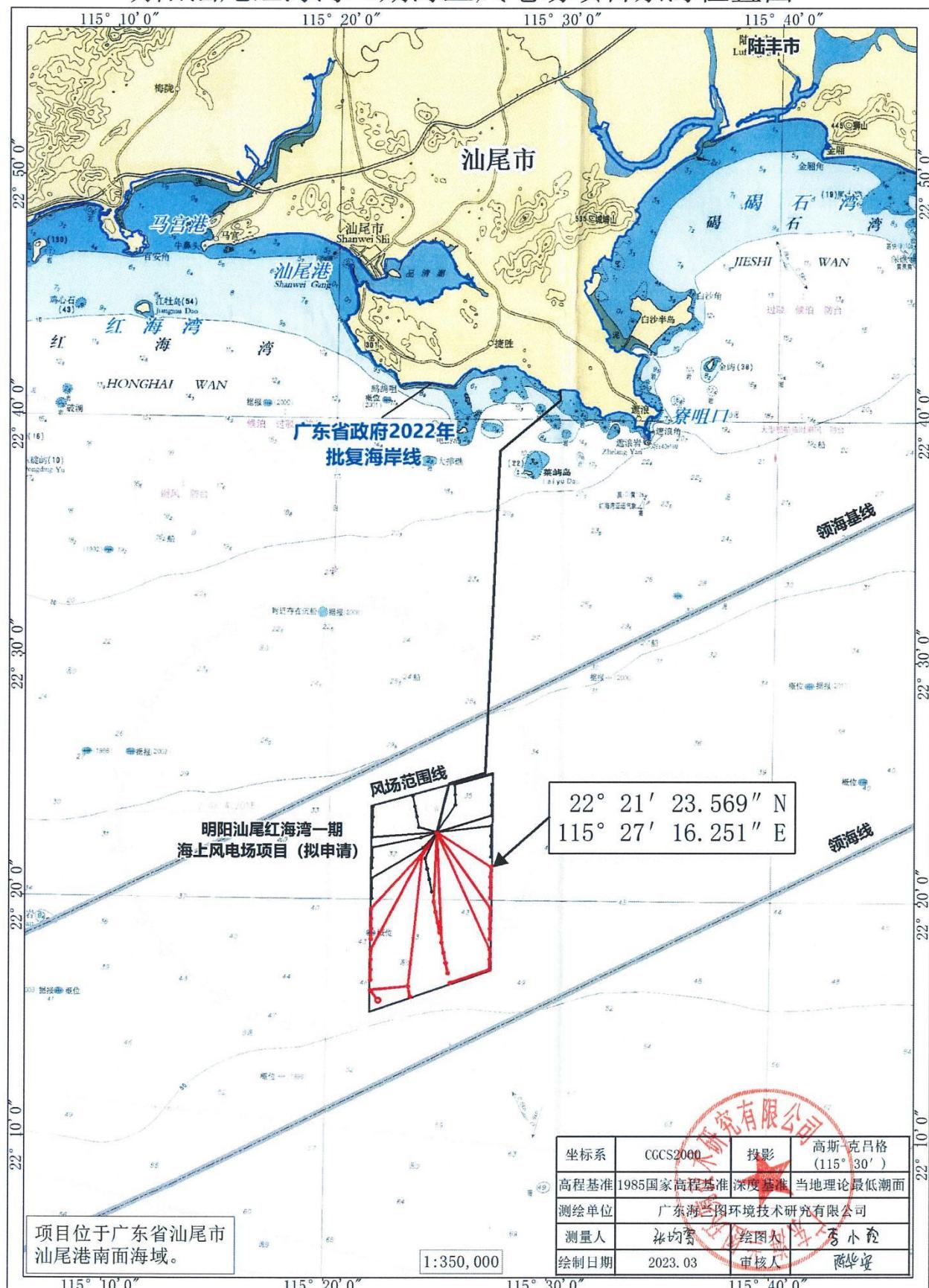


图 7.3.3-1 宗海位置图

## 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址图（风机、66kV集电海缆）

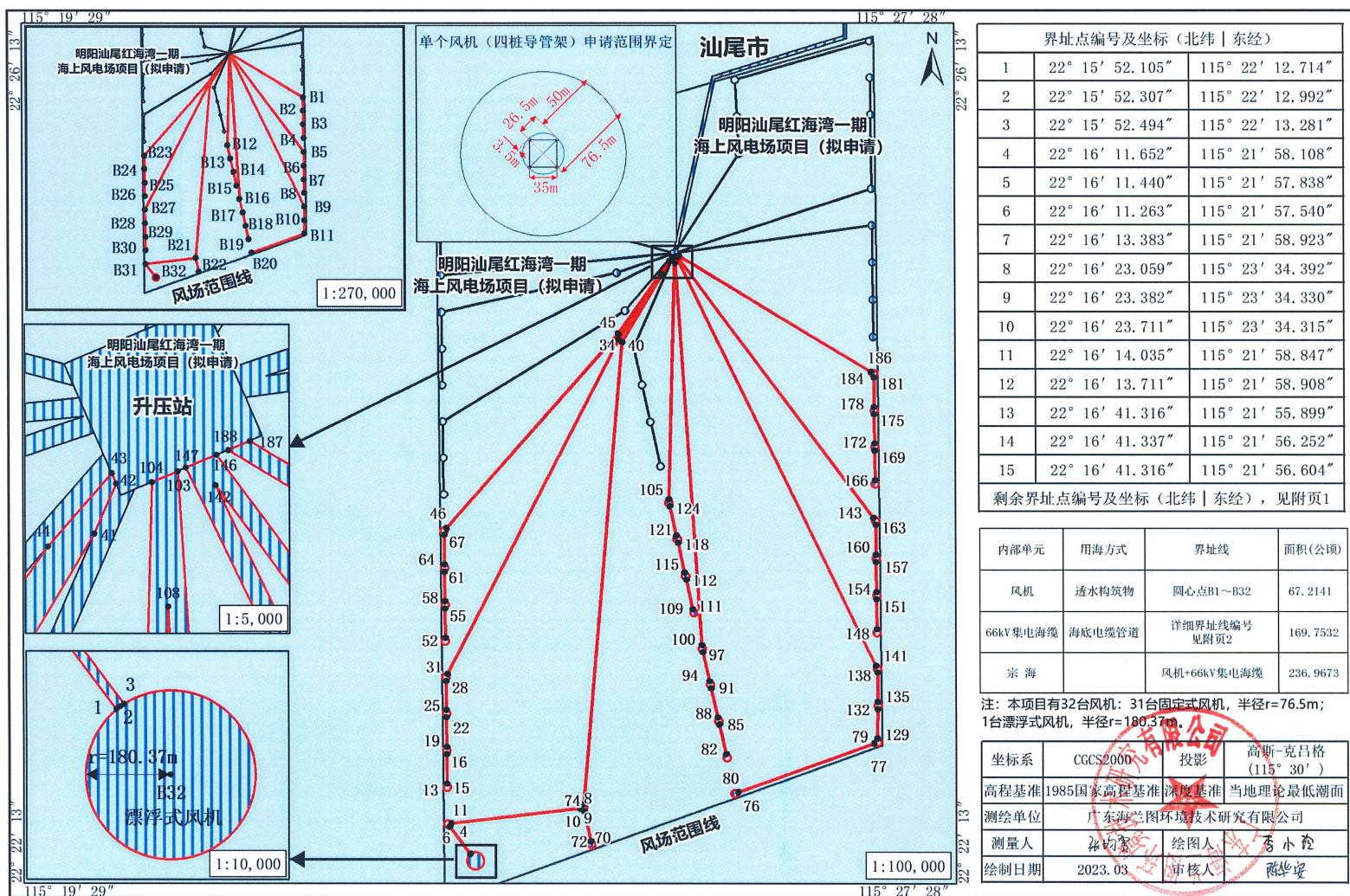


图 7.3.3-2 宗海界址图

表 7.3.3-1 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址线表

附页2 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址线表  
(66kV集电海缆)

| 内部单元         | 用海方式       | 序号 | 界址线                         | 面积(公顷)   |
|--------------|------------|----|-----------------------------|----------|
| 66kV<br>集电海缆 | 海底电缆<br>管道 | 1  | 1-2-3-4-5-6-1               | 1. 4761  |
|              |            | 2  | 7-8-9-10-11-12-7            | 5. 5463  |
|              |            | 3  | 13-14-15-16-17-18-13        | 1. 2693  |
|              |            | 4  | 19-20-21-22-23-24-19        | 1. 2693  |
|              |            | 5  | 25-26-27-28-29-30-25        | 1. 2693  |
|              |            | 6  | 31-32-……-50-51-31           | 59. 1503 |
|              |            | 7  | 52-53-54-55-56-57-52        | 1. 2693  |
|              |            | 8  | 58-59-60-61-62-63-58        | 1. 2693  |
|              |            | 9  | 64-65-66-67-68-69-64        | 1. 2693  |
|              |            | 10 | 70-71-72-73-74-75-70        | 1. 3185  |
|              |            | 11 | 76-77-78-79-80-81-76        | 6. 1830  |
|              |            | 12 | 82-83-84-85-86-87-82        | 1. 3011  |
|              |            | 13 | 88-89-90-91-92-93-88        | 1. 3011  |
|              |            | 14 | 94-95-96-97-98-99-94        | 1. 3011  |
|              |            | 15 | 100-101-……-107-108-100      | 27. 1303 |
|              |            | 16 | 109-110-111-112-113-114-109 | 1. 3011  |
|              |            | 17 | 115-116-117-118-119-120-115 | 1. 3011  |
|              |            | 18 | 121-122-123-124-125-126-121 | 1. 3011  |
|              |            | 19 | 127-128-129-130-131-132-127 | 1. 2585  |
|              |            | 20 | 133-134-135-136-137-138-133 | 1. 2864  |
|              |            | 21 | 139-140-……-146-147-139      | 33. 6525 |
|              |            | 22 | 148-149-150-151-152-153-148 | 1. 2864  |
|              |            | 23 | 154-155-156-157-158-159-154 | 1. 2864  |
|              |            | 24 | 160-161-162-163-164-165-160 | 1. 2864  |
|              |            | 25 | 166-167-168-169-170-171-166 | 1. 2864  |
|              |            | 26 | 172-173-174-175-176-177-172 | 1. 2864  |
|              |            | 27 | 178-179-180-181-182-183-178 | 1. 2864  |
|              |            | 28 | 184-185-186-187-188-184     | 9. 6105  |

|      |                 |     |     |
|------|-----------------|-----|-----|
| 测量单位 | 广东海兰图环境技术研究有限公司 |     |     |
| 测量人  | 张均青             | 绘图人 | 李小霞 |
| 绘制日期 | 2023年3月         | 审核人 | 陈华坚 |

表 7.3.3-2 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址续表 1

## 附页1 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址点（续1）

| 界址点编号及坐标(北纬 东经) |                 |                  |    |                 |                  |
|-----------------|-----------------|------------------|----|-----------------|------------------|
| 16              | 22° 17' 01.794" | 115° 21' 56.604" | 57 | 22° 18' 43.427" | 115° 21' 55.898" |
| 17              | 22° 17' 01.772" | 115° 21' 56.251" | 58 | 22° 18' 48.358" | 115° 21' 55.898" |
| 18              | 22° 17' 01.793" | 115° 21' 55.899" | 59 | 22° 18' 48.380" | 115° 21' 56.251" |
| 19              | 22° 17' 06.724" | 115° 21' 55.899" | 60 | 22° 18' 48.358" | 115° 21' 56.603" |
| 20              | 22° 17' 06.746" | 115° 21' 56.251" | 61 | 22° 19' 08.836" | 115° 21' 56.603" |
| 21              | 22° 17' 06.724" | 115° 21' 56.604" | 62 | 22° 19' 08.814" | 115° 21' 56.251" |
| 22              | 22° 17' 27.202" | 115° 21' 56.604" | 63 | 22° 19' 08.836" | 115° 21' 55.898" |
| 23              | 22° 17' 27.180" | 115° 21' 56.251" | 64 | 22° 19' 13.766" | 115° 21' 55.898" |
| 24              | 22° 17' 27.202" | 115° 21' 55.899" | 65 | 22° 19' 13.788" | 115° 21' 56.251" |
| 25              | 22° 17' 32.133" | 115° 21' 55.899" | 66 | 22° 19' 13.766" | 115° 21' 56.603" |
| 26              | 22° 17' 32.154" | 115° 21' 56.251" | 67 | 22° 19' 34.244" | 115° 21' 56.603" |
| 27              | 22° 17' 32.133" | 115° 21' 56.604" | 68 | 22° 19' 34.223" | 115° 21' 56.251" |
| 28              | 22° 17' 52.611" | 115° 21' 56.603" | 69 | 22° 19' 34.244" | 115° 21' 55.898" |
| 29              | 22° 17' 52.589" | 115° 21' 56.251" | 70 | 22° 16' 00.359" | 115° 23' 41.900" |
| 30              | 22° 17' 52.611" | 115° 21' 55.898" | 71 | 22° 16' 00.447" | 115° 23' 42.240" |
| 31              | 22° 17' 57.413" | 115° 21' 57.164" | 72 | 22° 16' 00.494" | 115° 23' 42.589" |
| 32              | 22° 17' 57.280" | 115° 21' 57.488" | 73 | 22° 16' 21.306" | 115° 23' 37.875" |
| 33              | 22° 17' 57.109" | 115° 21' 57.789" | 74 | 22° 16' 21.217" | 115° 23' 37.535" |
| 34              | 22° 21' 48.796" | 115° 24' 07.837" | 75 | 22° 16' 21.171" | 115° 23' 37.185" |
| 35              | 22° 22' 34.084" | 115° 24' 40.135" | 76 | 22° 16' 33.215" | 115° 25' 32.042" |
| 36              | 22° 21' 47.296" | 115° 24' 09.517" | 77 | 22° 17' 06.073" | 115° 27' 13.115" |
| 37              | 22° 16' 26.137" | 115° 23' 36.885" | 78 | 22° 17' 06.375" | 115° 27' 12.977" |
| 38              | 22° 16' 26.128" | 115° 23' 37.238" | 79 | 22° 17' 06.692" | 115° 27' 12.883" |
| 39              | 22° 16' 26.075" | 115° 23' 37.587" | 80 | 22° 16' 33.834" | 115° 25' 31.810" |
| 40              | 22° 21' 47.084" | 115° 24' 10.204" | 81 | 22° 16' 33.532" | 115° 25' 31.948" |
| 41              | 22° 22' 43.677" | 115° 24' 47.238" | 82 | 22° 16' 59.750" | 115° 25' 22.890" |
| 42              | 22° 22' 45.405" | 115° 24' 48.071" | 83 | 22° 16' 59.839" | 115° 25' 23.230" |
| 43              | 22° 22' 45.769" | 115° 24' 47.909" | 84 | 22° 16' 59.886" | 115° 25' 23.579" |
| 44              | 22° 22' 43.246" | 115° 24' 45.506" | 85 | 22° 17' 20.417" | 115° 25' 18.891" |
| 45              | 22° 21' 53.294" | 115° 24' 06.869" | 86 | 22° 17' 20.328" | 115° 25' 18.551" |
| 46              | 22° 19' 38.767" | 115° 21' 57.752" | 87 | 22° 17' 20.281" | 115° 25' 18.201" |
| 47              | 22° 19' 38.565" | 115° 21' 58.031" | 88 | 22° 17' 25.103" | 115° 25' 17.100" |
| 48              | 22° 19' 38.330" | 115° 21' 58.278" | 89 | 22° 17' 25.193" | 115° 25' 17.439" |
| 49              | 22° 21' 52.883" | 115° 24' 07.420" | 90 | 22° 17' 25.240" | 115° 25' 17.789" |
| 50              | 22° 22' 34.091" | 115° 24' 39.293" | 91 | 22° 17' 45.771" | 115° 25' 13.100" |
| 51              | 22° 21' 49.130" | 115° 24' 07.229" | 92 | 22° 17' 45.681" | 115° 25' 12.760" |
| 52              | 22° 18' 22.950" | 115° 21' 55.898" | 93 | 22° 17' 45.634" | 115° 25' 12.410" |
| 53              | 22° 18' 22.971" | 115° 21' 56.251" | 94 | 22° 17' 50.457" | 115° 25' 11.309" |
| 54              | 22° 18' 22.950" | 115° 21' 56.603" | 95 | 22° 17' 50.547" | 115° 25' 11.649" |
| 55              | 22° 18' 43.427" | 115° 21' 56.603" | 96 | 22° 17' 50.594" | 115° 25' 11.998" |
| 56              | 22° 18' 43.406" | 115° 21' 56.251" | 97 | 22° 18' 11.125" | 115° 25' 07.309" |

|      |                 |     |     |
|------|-----------------|-----|-----|
| 测量单位 | 广东海兰图环境技术研究有限公司 |     |     |
| 测量人  | 张均霄             | 绘图人 | 李小玲 |
| 测绘日期 | 2023.03         | 审核人 | 陈华安 |

表 7.3.3-3 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址续表 2

## 附页1 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址点（续2）

| 界址点编号及坐标(北纬 东经) |                 |                  |     |                 |                  |
|-----------------|-----------------|------------------|-----|-----------------|------------------|
| 98              | 22° 18' 11.035" | 115° 25' 06.969" | 139 | 22° 18' 00.195" | 115° 27' 14.810" |
| 99              | 22° 18' 10.988" | 115° 25' 06.619" | 140 | 22° 18' 00.354" | 115° 27' 15.119" |
| 100             | 22° 18' 15.911" | 115° 25' 05.913" | 141 | 22° 18' 00.474" | 115° 27' 15.448" |
| 101             | 22° 18' 15.951" | 115° 25' 06.264" | 142 | 22° 22' 45.325" | 115° 24' 51.756" |
| 102             | 22° 18' 15.948" | 115° 25' 06.617" | 143 | 22° 19' 42.638" | 115° 27' 14.410" |
| 103             | 22° 22' 45.811" | 115° 24' 50.363" | 144 | 22° 19' 42.848" | 115° 27' 14.681" |
| 104             | 22° 22' 45.438" | 115° 24' 49.396" | 145 | 22° 19' 43.023" | 115° 27' 14.980" |
| 105             | 22° 19' 57.358" | 115° 24' 42.985" | 146 | 22° 22' 46.370" | 115° 24' 51.811" |
| 106             | 22° 19' 57.368" | 115° 24' 43.338" | 147 | 22° 22' 45.930" | 115° 24' 50.671" |
| 107             | 22° 19' 57.335" | 115° 24' 43.690" | 148 | 22° 18' 26.251" | 115° 27' 15.901" |
| 108             | 22° 22' 41.136" | 115° 24' 49.938" | 149 | 22° 18' 26.273" | 115° 27' 16.254" |
| 109             | 22° 18' 41.165" | 115° 24' 59.726" | 150 | 22° 18' 26.251" | 115° 27' 16.606" |
| 110             | 22° 18' 41.254" | 115° 25' 00.066" | 151 | 22° 18' 47.004" | 115° 27' 16.606" |
| 111             | 22° 18' 41.301" | 115° 25' 00.415" | 152 | 22° 18' 46.982" | 115° 27' 16.253" |
| 112             | 22° 19' 01.832" | 115° 24' 55.725" | 153 | 22° 18' 47.004" | 115° 27' 15.901" |
| 113             | 22° 19' 01.743" | 115° 24' 55.385" | 154 | 22° 18' 51.935" | 115° 27' 15.901" |
| 114             | 22° 19' 01.696" | 115° 24' 55.035" | 155 | 22° 18' 51.956" | 115° 27' 16.253" |
| 115             | 22° 19' 06.518" | 115° 24' 53.934" | 156 | 22° 18' 51.935" | 115° 27' 16.606" |
| 116             | 22° 19' 06.608" | 115° 24' 54.274" | 157 | 22° 19' 12.687" | 115° 27' 16.605" |
| 117             | 22° 19' 06.655" | 115° 24' 54.623" | 158 | 22° 19' 12.666" | 115° 27' 16.253" |
| 118             | 22° 19' 27.186" | 115° 24' 49.932" | 159 | 22° 19' 12.687" | 115° 27' 15.900" |
| 119             | 22° 19' 27.096" | 115° 24' 49.592" | 160 | 22° 19' 17.618" | 115° 27' 15.900" |
| 120             | 22° 19' 27.049" | 115° 24' 49.243" | 161 | 22° 19' 17.640" | 115° 27' 16.253" |
| 121             | 22° 19' 31.872" | 115° 24' 48.141" | 162 | 22° 19' 17.618" | 115° 27' 16.605" |
| 122             | 22° 19' 31.961" | 115° 24' 48.481" | 163 | 22° 19' 38.371" | 115° 27' 16.605" |
| 123             | 22° 19' 32.008" | 115° 24' 48.831" | 164 | 22° 19' 38.349" | 115° 27' 16.252" |
| 124             | 22° 19' 52.539" | 115° 24' 44.139" | 165 | 22° 19' 38.371" | 115° 27' 15.900" |
| 125             | 22° 19' 52.450" | 115° 24' 43.799" | 166 | 22° 20' 08.984" | 115° 27' 15.899" |
| 126             | 22° 19' 52.403" | 115° 24' 43.450" | 167 | 22° 20' 09.006" | 115° 27' 16.252" |
| 127             | 22° 17' 09.669" | 115° 27' 15.222" | 168 | 22° 20' 08.984" | 115° 27' 16.604" |
| 128             | 22° 17' 09.681" | 115° 27' 15.575" | 169 | 22° 20' 29.737" | 115° 27' 16.604" |
| 129             | 22° 17' 09.650" | 115° 27' 15.926" | 170 | 22° 20' 29.715" | 115° 27' 16.251" |
| 130             | 22° 17' 29.946" | 115° 27' 16.534" | 171 | 22° 20' 29.737" | 115° 27' 15.899" |
| 131             | 22° 17' 29.933" | 115° 27' 16.181" | 172 | 22° 20' 34.668" | 115° 27' 15.899" |
| 132             | 22° 17' 29.964" | 115° 27' 15.829" | 173 | 22° 20' 34.689" | 115° 27' 16.251" |
| 133             | 22° 17' 34.885" | 115° 27' 15.903" | 174 | 22° 20' 34.668" | 115° 27' 16.604" |
| 134             | 22° 17' 34.906" | 115° 27' 16.255" | 175 | 22° 20' 55.420" | 115° 27' 16.604" |
| 135             | 22° 17' 34.885" | 115° 27' 16.608" | 176 | 22° 20' 55.399" | 115° 27' 16.251" |
| 136             | 22° 17' 55.638" | 115° 27' 16.607" | 177 | 22° 20' 55.420" | 115° 27' 15.899" |
| 137             | 22° 17' 55.616" | 115° 27' 16.255" | 178 | 22° 21' 00.351" | 115° 27' 15.899" |
| 138             | 22° 17' 55.637" | 115° 27' 15.902" | 179 | 22° 21' 00.373" | 115° 27' 16.251" |

|      |                 |     |     |
|------|-----------------|-----|-----|
| 测量单位 | 广东海兰图环境技术研究有限公司 |     |     |
| 测量人  | 张均奇             | 绘图人 | 李小玲 |
| 测绘日期 | 2023.03         | 审核人 | 陈华安 |

表 7.3.3-4 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址续表 3

## 附页1 明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目宗海界址点（续3）

| 界址点编号及坐标(北纬 东经) |                 |                  |  |  |  |
|-----------------|-----------------|------------------|--|--|--|
| 180             | 22° 21' 00.351" | 115° 27' 16.604" |  |  |  |
| 181             | 22° 21' 21.103" | 115° 27' 16.604" |  |  |  |
| 182             | 22° 21' 21.082" | 115° 27' 16.251" |  |  |  |
| 183             | 22° 21' 21.103" | 115° 27' 15.898" |  |  |  |
| 184             | 22° 21' 24.593" | 115° 27' 13.815" |  |  |  |
| 185             | 22° 21' 24.883" | 115° 27' 13.981" |  |  |  |
| 186             | 22° 21' 25.150" | 115° 27' 14.187" |  |  |  |
| 187             | 22° 22' 46.849" | 115° 24' 53.052" |  |  |  |
| 188             | 22° 22' 46.540" | 115° 24' 52.251" |  |  |  |
| B1              | 22° 21' 23.569" | 115° 27' 16.251" |  |  |  |
| B2              | 22° 20' 57.886" | 115° 27' 16.251" |  |  |  |
| B3              | 22° 20' 32.202" | 115° 27' 16.251" |  |  |  |
| B4              | 22° 20' 06.519" | 115° 27' 16.252" |  |  |  |
| B5              | 22° 19' 40.836" | 115° 27' 16.252" |  |  |  |
| B6              | 22° 19' 15.153" | 115° 27' 16.253" |  |  |  |
| B7              | 22° 18' 49.469" | 115° 27' 16.253" |  |  |  |
| B8              | 22° 18' 23.786" | 115° 27' 16.254" |  |  |  |
| B9              | 22° 17' 58.103" | 115° 27' 16.254" |  |  |  |
| B10             | 22° 17' 32.419" | 115° 27' 16.255" |  |  |  |
| B11             | 22° 17' 07.195" | 115° 27' 15.500" |  |  |  |
| B12             | 22° 19' 54.882" | 115° 24' 43.243" |  |  |  |
| B13             | 22° 19' 29.529" | 115° 24' 49.037" |  |  |  |
| B14             | 22° 19' 04.175" | 115° 24' 54.829" |  |  |  |
| B15             | 22° 18' 38.822" | 115° 25' 00.622" |  |  |  |
| B16             | 22° 18' 13.468" | 115° 25' 06.413" |  |  |  |
| B17             | 22° 17' 48.114" | 115° 25' 12.204" |  |  |  |
| B18             | 22° 17' 22.760" | 115° 25' 17.995" |  |  |  |
| B19             | 22° 16' 57.406" | 115° 25' 23.785" |  |  |  |
| B20             | 22° 16' 32.711" | 115° 25' 29.425" |  |  |  |
| B21             | 22° 16' 23.652" | 115° 23' 36.987" |  |  |  |
| B22             | 22° 15' 58.014" | 115° 23' 42.790" |  |  |  |
| B23             | 22° 19' 36.710" | 115° 21' 56.251" |  |  |  |
| B24             | 22° 19' 11.301" | 115° 21' 56.251" |  |  |  |
| B25             | 22° 18' 45.893" | 115° 21' 56.251" |  |  |  |
| B26             | 22° 18' 20.484" | 115° 21' 56.251" |  |  |  |
| B27             | 22° 17' 55.076" | 115° 21' 56.251" |  |  |  |
| B28             | 22° 17' 29.667" | 115° 21' 56.251" |  |  |  |
| B29             | 22° 17' 04.259" | 115° 21' 56.251" |  |  |  |
| B30             | 22° 16' 38.850" | 115° 21' 56.252" |  |  |  |
| B31             | 22° 16' 13.442" | 115° 21' 56.252" |  |  |  |
| B32             | 22° 15' 47.587" | 115° 22' 16.730" |  |  |  |

|      |                 |     |     |
|------|-----------------|-----|-----|
| 测量单位 | 广东海兰图环境技术研究有限公司 |     |     |
| 测量人  | 张均宾             | 绘图人 | 李小霞 |
| 测绘日期 | 2023.03         | 审核人 | 陈华安 |

## 7.4 用海期限合理性分析

本项目用海类型为工业用海中的电力工业用海，用海方式为构筑物用海中的透水构筑物用海和其他用海方式中的海底电缆管道用海。根据《中华人民共和国海域使用管理法》第二十五条海域使用权最高期限规定：“港口、修造船厂等建设工程海域使用最高年限为 50 年”。

本项目风机的设计服务年限为 25 年，总工期计划为 21 个月，因此，本项目申请用海期限为 27 年。

结合国家对项目用海年限的规定，本项目拟申请使用海域 27 年符合《中华人民共和国海域使用管理法》的规定。期满后，如有需要可按照有关规定再行申请续期。

因此，本项目申请用海期限是合理的。

# 8 海域使用对策措施

## 8.1 区划实施对策措施

《中华人民共和国海域使用管理法》第四条规定：“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。”第十五条规定：“养殖、盐业、交通、旅游等行业规划涉及海域使用的，应当符合海洋功能区划。沿海土地利用总体规划、城市规划、港口规划涉及海域使用的，应当与海洋功能区划相衔接。”

根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020年），本项目所在的海洋功能区为珠海-潮州近海农渔业区，项目周边的海洋功能区有：遮浪南海洋保护区和针头岩海洋保护区。本项目建设仅施工期对珠海-潮州近海农渔业区、遮浪南海洋保护区、针头岩海洋保护区的水质和部分水生生物有短时期影响。

本项目用海对所在海洋功能区的主导功能没有明显影响，不会对所在海洋功能区的基本功能造成不可逆转的转变，符合所在功能区的海域使用管理要求和环境保护要求，与《广东省海洋功能区划》（2011-2020年）相符合。

项目建设单位应严格执行和实施广东省海洋功能区划，坚持把海洋功能区划作为工程海域使用管理的依据。海洋功能区划范围内的一切用海活动，都应当依据批准的区划。坚持把海洋功能区划作为开发利用海洋资源、引导海洋生产力合理布局及工程海洋生态环境保护的依据。依据广东省海洋功能区划管理的具体要求，为保证工程的安全，在工程用海区域范围内禁止进行打桩、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、捕捞等作业活动，以保障风机基础和海底电缆安全。

## 8.2 开发协调对策措施

### 8.2.1 协调对策措施

本项目所在附近海域的开发活动主要为海上风电项目、航道、航路、锚地、海底光缆等，根据本报告第5章分析，本项目无利益相关者，协调责任部门为当地渔业主管部门以及海事主管部门。

建设单位要严格落实与利益相关者的协调措施，采取必要、可行的措施减轻

工程建设对利益相关者的影响，加强与利益相关者的联系沟通，制定切实可行的协调方案，解决双方之间存在的矛盾，努力做到和谐、平安建设项目。针对目前项目附近海域开发现状提出以下协调对策：

(1) 项目建设单位应当按照国家有关规定依法履行报批手续。根据本项目的环境影响范围，与利益相关者签订相关补偿协议，达成一致意见，项目建设单位应积极开展相关补偿和生态保护措施，以确保对周边开发利用活动的影响降低到最低水平，使项目的开发建设得以稳步、有序地进行。

(2) 建设单位应该建立安全有效的联系机制，施工前应与航道管理部门进行充分沟通协调，做好船舶的进出安排，确保船舶的通航安全。项目施工期间，应与航道部门和海事部门协调，对作业船只的活动时间及活动范围进行控制和规范，设置相应的施工警示标志，同时上报海事部门，使本项目在施工和作业过程中尽量不对该区域通行的船只造成干扰和影响；项目建成后，将于风机处设置显著标识，防止附近船舶航行发生碰撞事故。并且建设单位应严格执行《通航报告》提出的对策措施，严格执行有关管理部门的意见。建设期间建设单位经检查发现存在影响附近水域通航安全的情况，应及时通知海事主管部门，申请发布相应的航行警告；发现存在安全隐患时及时处理，并向海事主管机关报告。

(3) 项目附近存在捕捞渔场，渔船交通流较大，为提醒渔船注意，避免渔船进入风电场区域，建设单位应在风电场外围设置航标灯，引导过往船舶航行，风电场附近也将设计醒目标示，避免渔船误入风电场区域，在近海面塔桶上采用红色灯警示色，避免渔船碰撞引发事故。此外，拟建风电场的海缆工程，应重视埋深和保护工作。本项目的建设将造成海洋生物资源损失，本项目建设单位应采取措施，实施生态保护修复，开展以增殖放流为主的生态保护修复措施，建设单位应与当地渔业主管部门充分沟通协调，明确增殖放流实施地点、实施计划、投放苗种等，在当地渔业主管部门的协调下有序开展。

综上所述，本期工程在实施前，必须落实与利益相关者的协调与补偿，签订合适合理、多方认可的协调意见或者补偿协议，明确相关责任，妥善安排施工计划，做好应急预案，采取合理有效的防护措施，尽可能避免产生利益冲突，只有在协调好与各方利益相关者的关系后，方可开工建设；在实施过程中，如果发生利益冲突，应该立即停工，等待利益冲突得到妥善解决后方可复工。

## **8.2.2 发生重大利益冲突的应急对策措施**

根据本报告书第 5.3 章节的分析，在协调过程中发生重大利益冲突的可能性不大，但在特定的环境和条件下，仍可能发生重大的利益冲突。对此，若因本项目建设发生重大利益冲突，应采取以下应急措施：

（1）一旦发生重大利益冲突，立即逐级报告汕尾市城区人民政府、汕尾市人民政府；；

（2）由汕尾市城区人民政府成立应急领导小组，统一负责、领导应急处置工作；

（3）应急领导小组需立即中止冲突事件，并及时确认发生重大利益冲突后是否有人员伤亡，若有人员伤亡，应及时进行需依据相关法律程序处理，使责任人承担必要的法律责任；

（4）应急领导小组实地了解双方利益不可协调的具体原因，听取双方各自的利益需要，依据实际情况和相关法规、文件等，制定协调方案，直至双方均同意为止；

（5）利益冲突事件得到妥善解决后，方可进行风电场的建设。

## **8.3 风险防范对策措施**

本项目为海上风电场，由海上风电机组、海底电缆等部分组成。上述项目组成部分在施工期和运营期均存在发生突发环境事故的可能，主要包括雷电、台风等自然灾害风险，项目海域内通航环境风险，船舶碰撞溢油风险，其它用海风险分析。

### **8.3.1 海洋自然灾害风险事故防范对策措施**

风电场主要易受的自然灾害风险来自雷击和台风袭击。

#### **8.3.1.1 台风风险防范措施**

为将自然灾害对项目的影响减至最低，建议工程施工采取以下的措施：

（1）施工期间应尽量选择避开台风季节，在台风季节施工应做好各项防台抗台预案和安全措施，以减轻灾害带来的损失。

（2）根据工程特点，编制相关抵御热带气旋和台风暴潮入侵的详细计划，

并严格执行。

(3) 按规定及时收听预报信息，按照防台应急预案，做好防抗台风工作。警惕热带气旋预兆及“热带低压”的突然袭击。

(4) 施工作业船在施工前应认真查阅有关航行通电、通告及潮汐表等资料，防止搁浅、风灾等事故发生；应按时收听气象预报，遇有暴雨、台风等恶劣气候，严格遵守有关航行规定，服从海事主管部门的指挥。

(5) 工程完工后，应加强对工程区域的监测，及时掌握工程海域稳定状况，把项目的用海风险和对环境影响降低到最小程度。

(6) 推荐使用装置性能可靠的测风仪器，建议使用受风面积小、不易受破坏且能精确测量风速、风向的红外超声波感应仪，避免因测风仪器损坏使风力发电机组不能正确偏航避风。

(7) 推荐使用强度高、质量轻的碳纤维增强型塑料作为风机叶片的填充材料以提高风机叶片的强韧性，从而提高风机设计荷载。

(8) 加强风机运行的强度监测，优化运行。在叶片上设置具有检测作用的光导纤维，实时了解叶片的载荷、温度、被伤害和疲劳程度，根据实际情况，及时维修并对其优化合理使用。

(9) 运营期应定期进行桩基监测，并根据监测结果来评估结果及时制定相应安全措施。

### 8.3.1.2 雷击风险防范措施

本项目海上风机屹立于海上，周边无遮挡物，为海面以上较高的构筑物，本项目提出的防雷措施如下：

(1) 针对雷电对设备的破坏特性，建议在叶片上翼面复合材料中加入具有良好导电性能和比重轻的碳纤维，并在叶尖部位装一个接闪器，通过电缆与叶片法兰连接，再由轮毂通过塔架内的接地线接入地网形成雷电通道。当雷电击中叶片时，强大的雷电流通过雷电通道泻入大地，达到避雷效果，而不致使对叶片及其他设备造成损坏。

(2) 在配电装置的适当部位配置氧化锌避雷器，限制雷电侵入波过电压，保护各处的设备免遭雷电侵入波过电压损坏。避雷器的设置，也对操作过电压进行抑制。

通过风电场的合理布置并采取上述防雷击措施，风机及电气接线能有效抵御雷击造成的损害。

### 8.3.2 通航环境风险的防范对策措施

#### 8.3.2.1 施工期航行风险事故防范措施

本项目施工具有一定的通航环境风险，从而存在一定油料泄漏的风险，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) 工程施工期间需制定切实有效的安全管理措施和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海事局有关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，应在显眼处，按照相关规定设置信号（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，密切关注周围船舶动态。

(7) 施工作业船应派专人值班瞭望，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) 为避免工程施工船所抛的开锚对过往船舶造成危害影响，应白天在艉悬挂经旗，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瞭望。

(9) 施工过程需在水上进行，气象水文等因素对施工安全及进度有一定的

干扰。如遇热带气旋、波浪、潮流等影响施工区域时，及时停止施工作业；施工期间注意台风的影响，当风力达到施工船舶的抗风等级时，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时，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) 由于工程施工时所占用的可通航水域面积很大，因此在施工作业期间，施工建设单位需向海事主管部门申请划定施工作业区，设置航行警戒标，配置现场警戒船。

(12) 为确保海上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、航行船舶及从事捕捞作业的渔民都了解工程内容、施工范围、工期等相关情况，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，做好船舶垃圾、残油、含油污水等污染物、废弃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，同时向海事主管部门报告，接受调查处理。

(14) 在电缆铺设的过程中，应设置阶段性施工警戒区，随时根据电缆铺设进度及时设置施工警戒区，防止周围船舶误闯施工区域。施工船要正确显示号灯号型，加强与周围船舶的联系与沟通，避免周围船舶靠近电缆铺设区域。海底电缆铺设完成后，应按《海底电缆管道保护规定》规定划定海底电缆管道保护区，禁止在海底电缆管道保护区内从事挖砂、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆管道安全的海上作业；建设单位应当在海底电缆管道铺设竣工后 90 日内，将海底电缆管道的路线图、位置表等注册登记资料报送县级以上人民政府自然资源行政主管部门备案，并同时抄报海事主管部门。

### 8.3.2.2 运营期航行风险事故防范措施

为防范运营期船舶碰撞及溢油事故风险，必须采取相应的安全措施。

(1) 本项目的风电场建成后需在适当位置（包括海底电缆路由）设置相应的航标灯以及警示标志，航标灯安装应满足《中国海区水上助航标志》

（GB4696-1999）与《中国海区水中建（构）筑物标志规定》（GB17380-1998）等关于独立构筑物专用航标灯质的要求，航标配布方案应委托专业单位进行设计，并报航标主管部门审批后再进行设置，以确保该水域的航行安全。

（2）根据有关规定设立海底电缆保护区，向社会发布海底电缆公告，禁止在海底电缆保护区内从事挖砂、钻探、打桩、底托捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底管道安全的海上作业。

（3）工程建成后应将海底电缆、具体位置、走向、埋深以及风电场位置海域范围等报请海事局等部门及时更新航海图书资料，发布相应《航海通告》。

（4）工程营运方应制定相应的日常检查养护制度和防风、防台等应急预案。特别在恶劣天气后应及时检查风电场风机基础、设备的安全状况及导助航等设施的工作状况，减少影响通航安全因素的存在。出海检查时，应选择良好的气象、水文和海浪条件，保证执行检查工作船舶的航行和作业安全。

（5）业主方经检查发现存在影响附近海域通航安全的情况和安全隐患时应及时处理，并且及时通知海事主管部门，申请发布相应的航行警告。

（6）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，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，与海事主管部门随时保持通讯联系，以便在发生突发事件时能及时获得海事主管部门的应急援助。

（7）为了避免或缓解船舶应急抛锚损害路由电缆的风险，结合当地海域的实际情况，埋深应有一定的富裕量，采用套管保护、加盖保护件（碎石、混凝土件、沙包等）的保护方式，并加强海缆埋深状况的监测。必要时，可向主管部门申请在两侧设置标识；同时，可以对海底电缆管道采取定期复查、监视等保护措施。

（8）风电场外围风机下部平台及水面以上的管桩支撑涂染醒目的油漆等警示标志，使得风电场风机目标更易以肉眼察觉，便于过往船舶从远处发现本风电场的存在，及早采取避让措施；风电场建成后，外围风机下部平台上安装灯标以及 AIS 航标，便于过往船舶在白天和夜间都能够及时发现本风电场。

综上所述，本拟建风电场对过往船舶的航行安全存在一定的风险，但若业主单位管理、协调得当，并制定相关安全保障措施，缓解或消除本风电场所在海域

发生水上事故的风险。

### 8.3.3 溢油风险防范对策措施

#### 8.3.3.1 溢油事故防范措施

本工程各项施工活动基本都需要依赖船舶，如一旦发生装卸作业事故，运输船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故，将可能对海域生态环境带来严重的影响。因此，对海上溢油事故应进行防范及应急处理，实行“预防为主、平灾结合、常备不懈”的方针，最大程度减轻事故的危害与损失。

##### 1、防范措施

为防止施工过程中溢油事故的发生，施工船舶应加强日常管理措施，通过严格质量控制和完善的管理予以防范。一旦发生船舶溢油事故，应立即通报有关部门，采取应急措施，把溢油事故对周围环境的影响降低到最小。

###### （1）加强教育，提高意识

施工前，加强对施工人员的安全环保技术培训教育，加强设备的维护和管理，提高施工人员的安全防范意识，切实贯彻“安全第一，预防为主”的方针，预防溢油事故的发生。

###### （2）加强装卸货物管理

在装卸货物前，工作人员必须对各环节逐一进行检查，在确认可靠无误的前提下方可实施作业。

###### （3）加强装卸货物管理

在装卸货物前，工作人员必须对各环节逐一进行检查，在确认可靠无误前提下方可实施作业。

###### （4）设置集油设施

在临时生活办公区应配置相应的集油设备和器材，如围油栏、吸油材料、消油剂等。

##### 2、污染控制措施

采用国际上常用的物理清除法和化学清除法处理溢油。

物理清除法主要设备为围油栏和回收设备，利用围油栏将溢油围在一定范围内，采用回收装置回收溢油；化学清除法则是通过向浮油喷洒消油剂等化学药剂，

达到分解溢油的目的。

当溢油发生后，应根据溢油量大小、油的扩散方向、气象及海况条件，迅速围住油膜，并缩小围圈，采用吸油船最大限度的回收溢油，随后加入适量消油剂等化学清除试剂对溢油进行分散乳化处理，破坏油膜，减轻对海洋环境的影响。

### 8.3.3.2 溢油事故应急预案

当发生海上溢油时，溢油流入海面，对海洋生物将产生严重影响，为将溢油环境风险造成危害降低到最小，根据《中国海上船舶溢油应急计划》、《国家突发公共事件总体应急预案》和《广东省突发公共事件总体应急预案》相关要求和说明，制定本项目的应急预案。

#### (1) 应急计划区

本项目的应急计划区主要为风电场区和电缆铺设线路附近，应急事件包括船舶碰撞、倾翻等突发性海上溢油事故。

#### (2) 应急组织机构、人员

##### ①应急领导机构

应急总领导机构由当地海事主要部门承担，统一领导突发公共事件的应急处置工作，其他各相关部门负责协助工作。

现场应急领导机构由建设单位分管环保的领导、环境保护管理办公室负责人、承包商单位分管环保的领导组成。

##### ②现场指挥

由应急领导机构指定现场指挥，各类事故应急行动由安全科科长负责指挥。

##### ③溢油应急救援小组

应急指挥部按各自职责设立溢油应急救援小组：清污组、通信组、工艺组、警戒组、物资供应组、现场救护组、设备保障组、防火组、油污处理组。各小组部门主管和主要职责见表 8.3.3-1。

溢油应急救援小组部门主管和主要职责。

表 8.3.3-1 应急小组主要职责

| 应急小组 | 部门主管  | 主要职责  |
|------|-------|---|
| 清污组  | 安全环保组 | 做好溢油围控工作；<br>对泄漏油品进行收集，做好溢油清除作业。                |
| 通信组  | 技术组   | 负责应急指挥与事故现场的通信联络；<br>确保作战命令的下达和现场各种信息的反馈及通信的畅通。 |

| 应急小组  | 部门主管  | 主要职责                                   |
|-------|-------|--|
| 工艺组   | 储运调度科 | 及时关闭相关阀门，控制溢油源，防止事故进一步扩大。              |
| 警戒组   | 安全环保科 | 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。 |
| 物资供应组 | 综合科   | 提供运输防污所需的器材、材料。                        |
| 现场救护组 | 综合科   | 提供现场进行救护工作；负责处置(运输、焚烧)油污物的工作，防止二次污染。   |
| 设备保障组 | 工务科   | 保障电力能源供给，负责应急设备的维修。                    |
| 防火组   | 安全环保科 | 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 | 油品检验科 | 负责处置油污物的工作，防止二次污染。                     |

### (3) 预案分级响应

响应等级以对公共安全、社会秩序和生态环境可能造成的危害与威胁程度作为优先考虑原则。参考《中国海上船舶溢油应急计划》和《南海海区溢油应急预案》，海域发生船舶污染事故，其事故及相应的应急响应等级分为三级：一般事故（III级响应）、较大事故（II级响应）、重大事故（I级响应），依次分别用蓝色、黄色和红色表示。风电场范围内船舶发生的污染事故，及时报搜救中心，由搜救中心办公室根据专家的意见，进行综合分析，确定应急等级。

一般污染事故：溢油量不足 10t，且事故发生非敏感区域，水面溢油不威胁环境敏感区和岸线，动用本项目预案的溢油应急反应队伍和设备能够控制溢油源，并能围控和清除海面溢油。

较大污染事故：溢油量大于 10t 不足 50t，或满足以下条件之一的：

①溢油事故发生在敏感区内或距离敏感区有一定距离，但极有可能对敏感区域或岸线造成污染损害；

②围控和清除水面溢油所需资源超出所在地应急清污能力，需调用本辖区内其他应急资源。

重（特）大污染事故：溢油量在 50t 以上，或满足下列条件之一的：

①溢油对环境敏感区及岸线构成一般或严重威胁，动用本辖区资源较难防护敏感区和清除溢油；

②溢油源不能控制，围控和清除水面溢油所需资源明显超出本辖区的应急清污能力，需请求政府部门启动相应预案的应急行动。

本项目发生溢油事故发生时，应立即启动并实施本部门应急预案，I级响应：现场指挥在事故应急领导机构的统一领导下，具体安排组织重大事故应急救援预案的组织和实施；组织所有应急力量按照应急救援预案迅速开展抢险救援工作；

根据事故，对应急工作中发生的争议采取紧急处理措施；根据预案实施过程中存在的问题和险情的变化，及时对预案进行调整、修订、补充和完善，确保人员各尽其职、应急工作灵活开展；现场应急指挥与应急领导机构要保持密切联系，定期通报事故现场的态势，配合上级部门进行事故调查处理工作，做好稳定社会秩序的善后及安抚工作，适时发布公告，将危机的原因责任及处理决定公布于众，接受社会的监督。III级、II级响应：各相关职能部门按照各自职责开展应急处置工作，防止事故扩大、蔓延，保证信息渠道畅通，及时向领导机构通报情况。

因环境污染事故存在不可预见、作用时间较长、容易衍生发展的特点，现场指挥可根据现场实际情况随时将响应等级升级或降级。

#### （4）溢油应急救援保障

①应急防治队伍：原则上由本项目的全体工作人员组成，一旦发生溢油事故，指挥部可根据情况的需要，动员、调配储备的人力资源投入行动。

②应急防治设备：施工期，为应对施工船舶的跑、冒、滴、漏油情况，施工船舶应备有围油栏、吸油棉体等。

#### （5）报警、通讯联络方式

①报警方式：在岸上临时生活办公区设置专线报警电话。

②应急通讯：应急领导机构与现场指挥通过对讲机、电话进行联系；现场指挥与应急救援人员通过对讲机进行联系；应急过程中对讲机均使用一频道（消防频道）；如无线通讯中断，应急领导机构和现场指挥可组织人员进行人工联络。

③信息报送程序：发生溢油环境风险事故时，必须及时上报，报告应急领导机构和其它相关部门、上级部门，报送方式可采用电话、传真、直接派人、书面文件等。

#### （6）应急监测、救援及控制措施

环境监测组负责人带领环境监测人员及应急查询资料到达现场，对事故原因、性质进行初步分析、取样、送样，并做好样品快速检测工作，及时提供监测数据、污染物种类、性质、控制方法及防护、处理意见，并发布应急监测简报，对事故出现后周围的安全防护距离、应急人员进出现场的要求等提供科学依据。

#### （7）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。

岸上临时生活办公区工作人员协同有关部门做好现场清洁与清理，消除危害因素。

善后处理，对可能造成的危害提供处置建议等相关技术支持，并对事故现场和周边环境进行跟踪监测，直至符合国家环境保护标准。做好事故调查处理。

#### （8）应急培训计划

为了确保应急计划的有效性和可操作性，必须预先对计划中所涉及的人员、设备器材进行训练和保养，使参加应急行动的每一个人都能做到应知应会、熟练掌握。

定期进行一次应急演习，在模拟的事故状态下，检查应急机构，应急队伍，应急设备和器材，应急通讯等各方面的实战能力。通过演习，发现应急工作中薄弱环节，并修改、完善应急计划。

#### （9）公众教育和信息

对可能发生事故的附近区域居民进行宣传教育，并发布相关信息。

### 8.3.4 其他风险的防范对策措施

#### 8.3.4.1 风机倒塌防范措施

- （1）风机塔筒在招标选型时要选择技术成熟、质保体系完整的制造商。
- （2）塔筒必须由具备专业资质的机构进行监造和监检，不得自行监理。
- （3）风机基础浇筑时，确保风机基础施工工艺符合规范要求。
- （4）风机基础养护应严格按照规范执行，做好养护记录。
- （5）风机质保期内定期检查，应加强对螺栓力矩和塔筒的探伤检查，每次定期检查项目必须包括有关安全回路的测试和各塔筒连接部件的检查。
- （6）风机调试必须完整有效的检测风机上的全部保护功能，必须做到逐一验证有效可靠性。

- (7) 任何情况下，禁止风机在重要保护功能退出时运行。
- (8) 暴雨、台风、地震等恶劣自然灾害发生后，应立即开展风电场边坡、基础、道路灯安全检查，发现隐患须立即进行处理，确保风机安全。
- (9) 风电场设置有完整的现场监控系统，一旦发生倒塌事故可通过现场监控系统及时预警。
- (10) 风电场运行维护期制定严格的运行维护措施，一般在风暴潮、地震等自然灾害发生后，风电场运行维护人员将及时进入现场，并配合专业检测人员检查风机及基础结构损伤情况。
- (11) 如果发生风机倒塌事故，将及时上报当地海事主管部门，对外发布航行预警通告，确保不对周边海上作业构成安全影响；风电场业主将及时组织吊装、施工单位，对倒塌风机及基础结构进行打捞，转运至陆上处理，现场视损伤情况确定是否进行重建工作。
- (12) 如果发生少量风机机组润滑油落入海中，立即上报当地海事主管部门，调配溢油处置设备对落入海洋的油污进行处理。

#### **8.3.4.2 电气设备应急对策措施**

- (1) 应加强风电场值班、运行等相关人员的安全教育，各种操作需按照规章执行。风机维修时产生的润滑油跑、冒、滴、漏应及时采用棉纱吸净，并对废油和废弃物进行妥善收集和保管，避免因人为因素引起海洋环境污染。
- (2) 海缆铺设线路设置标志，并向海洋主管部门申报。若工程海域有其他海洋工程建设，应与有关部门协调做好海底电缆的保护工作。根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作业。

#### **8.3.4.3 风力发电机组火灾事故防范措施**

- (1) 建立健全安全防火各项规章制度、应急预案，并定期组织火灾应急预案演练，坚持设备定期巡视检查，巡检项目中应包括风机防火检查。
- (2) 在易着火点悬挂“严禁烟火”的警示牌。
- (3) 远程控制人员定期监控机组各部件温度情况，发现异常升高现象，应立即登机进行检查。
- (4) 禁止带火种进入风机，风机内避免使用明火作业。特殊情况下必须使

用明火时，应有可靠的防火措施。

(5) 机舱内必须选用阻燃电缆，保温材料必须用阻燃材料，禁止存放易燃物品。

(6) 定期检查风力发电机组电缆的绝缘情况，按规定对风力发电机进行维护、预防性试验，防止定、转子相间接地或绝缘损坏造成短路引发火灾。

(7) 风机内应使用非易燃清洗剂，不准使用汽油、酒精等易燃物品清洗、擦拭设备。

(8) 禁止在机舱的油管道上进行焊接工作，保证油系统严密不漏油。

#### 8.3.4.4 鸟类飞行碰撞风机风险分析防范

为减少鸟撞风机给风电场带来的损失，提出下列防范措施：

(1) 风机的叶片采用橙红与白色相间的警示色，使鸟类在飞行中能及时分辨出安全路线，及时规避，以减少鸟只碰撞风机的几率。最好在风机上加设闪烁红色灯光，以减少在夜间迁徙的鸟类碰撞风机的几率。此外，为减少反射阳光对雀鸟的影响，风力发电机的机件使用非反光涂料。

(2) 加强区域鸟类活动特征以及鸟类与风机撞击情况的观测，建议在运行期通过设立鸟类观察救助站，采用雷达监控设备，持续监测风场对鸟类的影响；特别是在候鸟迁徙高峰的时候，及时观测鸟类动向。在候鸟大规模迁徙期间，如遇到大群候鸟停歇风电场内及附近，可以采取驱赶措施，必要时应当停机驱赶。万一发现鸟类伤亡，应及时救治受伤鸟只，鸟类观察救助站人员应当接受专业鸟类知识培训，并将伤亡记录及时向有关单位汇报。将风机鸟撞防范工作纳入区域发展规划，协调邻近地区的开发建设。

(3) 加强对施工人员的管理：除了对自然环境的影响外，施工人员的素质也可能会对鸟类造成影响。应对风电场施工机械及人员进行严格管理，合理安排施工时间，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过场址应适当停工等待；同时合理布置施工运输路线，减小施工期对鸟类的影响。

#### 8.3.4.5 海底电缆及风机基础泥沙冲刷淘空风险防范

针对海底电缆及风机基础，本项目建议采取以下防护措施进行加以保护：

(1) 建设单位应按照国家法律法规，维护自己的合法权益，保护海底电缆

的安全。根据《海底电缆管道保护规定》，本项目海底电缆敷设竣工后 90 日内，建设单位应及时将海底电缆的路线图、位置表等注册登记资料报送当地县级以上人民政府自然资源行政主管部门备案，并同时抄报海事主管部门。省级以上人民政府自然资源行政主管部门每年会向社会发布海底电缆管道公告，划定海底电缆管道保护区，禁止在海底电缆保护区内从事挖沙、钻探、打桩、抛锚、拖锚、底拖捕捞、张网、养殖或者其他可能破坏海底电缆安全的海上作业。

(2) 对海底电缆管道保护区、海底电缆管道的线路等设置标识。设置标识时，应向县级以上人民政府自然资源行政主管部门备案。同时，可以对海底电缆管道采取定期复查、监视等其他保护措施。

(3) 对海缆加强铠装保护，电缆铺设后发生泥沙冲刷导致电缆外漏受损的风险较小。为了防止风机桩基因冲刷淘空而发生倒塌事故，工程应对桩基周围进行防护或加大桩基埋深等措施。

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

## 8.4 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。工程实施中，用海的位置、面积与审批面积应相符；用海工程建筑物与审批应相符，海域的使用功能应与申请用途相同，海域的使用时间应与申请时间相符，海域施工工艺应按规范要求实施，并最大限度地减少对海域生态环境、海水水质等的影响。在用海项目获得政府批准后，业主应积极主动与地方自然资源行政主管部门联系，按批准的位置、范围、用海类型和用海方式进行施工和营运，不越过功能区。共同管理好取得用海权的海域，使用海权益不被侵犯。

针对本项目的用海特点，应进行以下监控、管理对策与措施。

### 8.4.1 海域使用面积监督管理

海域使用范围和面积的监控是实现国有资源有偿、有度、有序使用的重要保障。加强海域使用面积监控可以防止海域使用单位和个人采取少审批、多占海，非法占用海域资源，造成海域使用金流失现象的发生；同时可以防止用海范围超

出审批范围造成的海域资源不合理利用，造成海洋资源的浪费、环境的破坏以及引发用海矛盾等现象的发生。因此，进行项目用海的海域使用面积监控是非常必要的。

根据该项目的用海特点，项目海域使用面积监控应主要集中在施工期。目前，海域使用动态监视监测体系已经建立，建议广东省海域使用动态监管中心采取定期、不定期，抽查与普查相结合的形式对项目用海面积进行监控管理，定期监控的时间频度建议为三个月。重点监控风机设置和用海面积；海缆铺设是否按照批复用海范围等。

#### **8.4.2 海域使用用途监督管理**

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“违反本法第二十八条规定，擅自改变海域用途的，责令限期改正，没收违法所得，并处非法改变海域用途的期间内该海域面积应缴纳的海域使用金五倍以上十五倍以下的罚款”执行。

#### **8.4.3 海域使用时间监督管理**

根据《海域使用管理法》：第二十九条规定“海域使用权期满，为申请续期或申请续期未获批准的，海域使用权终止”。该法第二十六条规定“海域使用期限届满，海域使用权人需要继续使用海域的，应当最迟于期限届满前二个月向原批准用海的人民政府申请续期。”

根据项目工可，本项目风机的设计服务年限为 25 年，总工期计划为 21 个月。因此，本项目申请用海期限为 27 年。

综上所述，提出以下相关监督管理措施：

（1）在用海单位实施工程之前，应明确海域使用界限、海域使用用途，强制用海单位严格按照确定的界限施工。在施工期，应定期、不定期检查工程建设是否遵循海域使用界限。

（2）目前工程用海面积是根据工程总平面布置图量算的，在工程进入初步

设计和施工图设计阶段后可能会优化更改，因此在工程完工后，应立即进行海籍测量，再一次确认海域使用范围和界限，并确定海域使用用途，对于没有按照要求进行用海的，应令其停止作业活动。

(3) 风机的用海方式是透水构筑物用海，海底电缆的用海方式是海底电缆管道用海。海底电缆的用海方式一般不容易改变，在风机的实施过程中，应监督施工单位不改变其基础结构形式。

(4) 海域使用权到期后，建设单位如需要继续使用海域，应当最迟于期限届满前两个月向自然资源行政主管部门申请续期，获准后方可继续用海。

#### 8.4.4 海域使用资源环境监督管理

《中华人民共和国海域使用管理法》第二十四条规定，海域使用权人发现所使用海域的自然资源和自然条件发生重大变化时（主要是风险事故），应当及时报告海洋行政主管部门，并做好应急响应。

为了更好地指导工程施工，保证工程进度，保障工程质量，建议尽快明确施工单位。落实施工设备选型，建立施工队伍，开展环保施工、安全施工等的前期教育工作。

为了及时了解和掌握本项目所在区域的海域环境质量发展变化情况以及主要污染源的污染排放状况，建设单位必须定期委托有资质的环境监测部门对施工期间的施工质量、环境影响减缓措施的落实情况进行监控，同时也对本项目所在区域的环境质量及各污染源主要污染物的排放源强进行监测。

#### 8.4.5 海域使用跟踪监测

项目区域及附近海域渔业资源较丰富，品种繁多，有鸟类活动，并且存在风机墩柱局部冲刷的风险。建设单位应根据风电场环境特点及工程特征，制定海洋生态及渔业环境调查计划、海水水质及沉积物环境监测计划、鸟类及其栖息地观测计划和流场及局部冲刷观测计划等具体的跟踪监测计划。监测计划的实施由业主方委托具备 CMA 计量认证资质的单位开展，技术要求按照有关环境监测规范的规定执行，并在施工完成后及时向海洋主管部门提交符合要求的跟踪监测计量认证分析测试报告，以备查。通过跟踪监测，了解和掌握该项目施工过程产生的影响范围和程度，验证相关预测结果，并提出相应的海域使用管理对策措施。

根据风电场环境特点及工程特征，制定水生生物及渔业环境调查计划、海水水质及沉积物环境监测计划、鸟类及其栖息地观测计划和流场及局部冲刷观测计划。

#### 8.4.5.1 施工期环境监测

通过环境监测可以及时掌握工程施工期污染物排放情况及对施工现场周围区域环境质量的影响程度，并反映和掌握运营期防治污染措施的有效程度和治理污染设施的运行治理效果，为环境管理工作提供科学依据。因此，必须做好本项目的环境监测计划。

施工期对水质、沉积物、生态、噪声进行监测，如有问题应及时采取防治措施，共布设水质监测站位 20 个，沉积物监测站位 10 个，海洋生态监测站位 10 个，游泳动物监测断面 3 条，各监测站位由本报告春季海洋环境现状调查站位中选取，监测过程中可视情况做适当的调整，站位布设如图 8.4.5-1 所示，坐标见表 8.4.5-1。

表 8.4.5-1 施工期监测站位一览表

| 编号 | 东经             | 北纬            | 调查内容      |
|----|----------------|---------------|-----------|
| 1  | 115°32'05.370" | 22°28'10.229" | 水质、沉积物、生态 |
| 2  | 115°32'28.309" | 22°24'47.261" | 水质、沉积物、生态 |
| 3  | 115°32'34.181" | 22°21'22.388" | 水质        |
| 4  | 115°32'49.600" | 22°17'57.890" | 水质、沉积物、生态 |
| 5  | 115°32'53.678" | 22°14'38.378" | 水质        |
| 6  | 115°26'42.630" | 22°12'50.890" | 水质、沉积物、生态 |
| 7  | 115°26'30.880" | 22°16'16.979" | 水质        |
| 8  | 115°26'16.339" | 22°19'42.740" | 水质、沉积物、生态 |
| 9  | 115°26'10.151" | 22°23'10.421" | 水质、沉积物、生态 |
| 10 | 115°25'55.369" | 22°26'40.229" | 水质        |
| 11 | 115°20'02.371" | 22°25'30.230" | 水质、沉积物、生态 |
| 12 | 115°20'16.238" | 22°21'46.699" | 水质        |
| 13 | 115°20'26.830" | 22°18'07.560" | 水质        |
| 14 | 115°20'38.540" | 22°14'26.678" | 水质、沉积物、生态 |
| 15 | 115°20'46.799" | 22°10'48.860" | 水质        |
| 16 | 115°14'16.778" | 22°08'56.839" | 水质、沉积物、生态 |

|    |                |               |           |
|----|----------------|---------------|-----------|
| 17 | 115°14'09.841" | 22°12'28.552" | 水质、沉积物、生态 |
| 18 | 115°14'18.308" | 22°16'34.230" | 水质        |
| 19 | 115°14'15.090" | 22°20'23.701" | 水质、沉积物、生态 |
| 20 | 115°14'16.778" | 22°24'12.629" | 水质、沉积物、生态 |

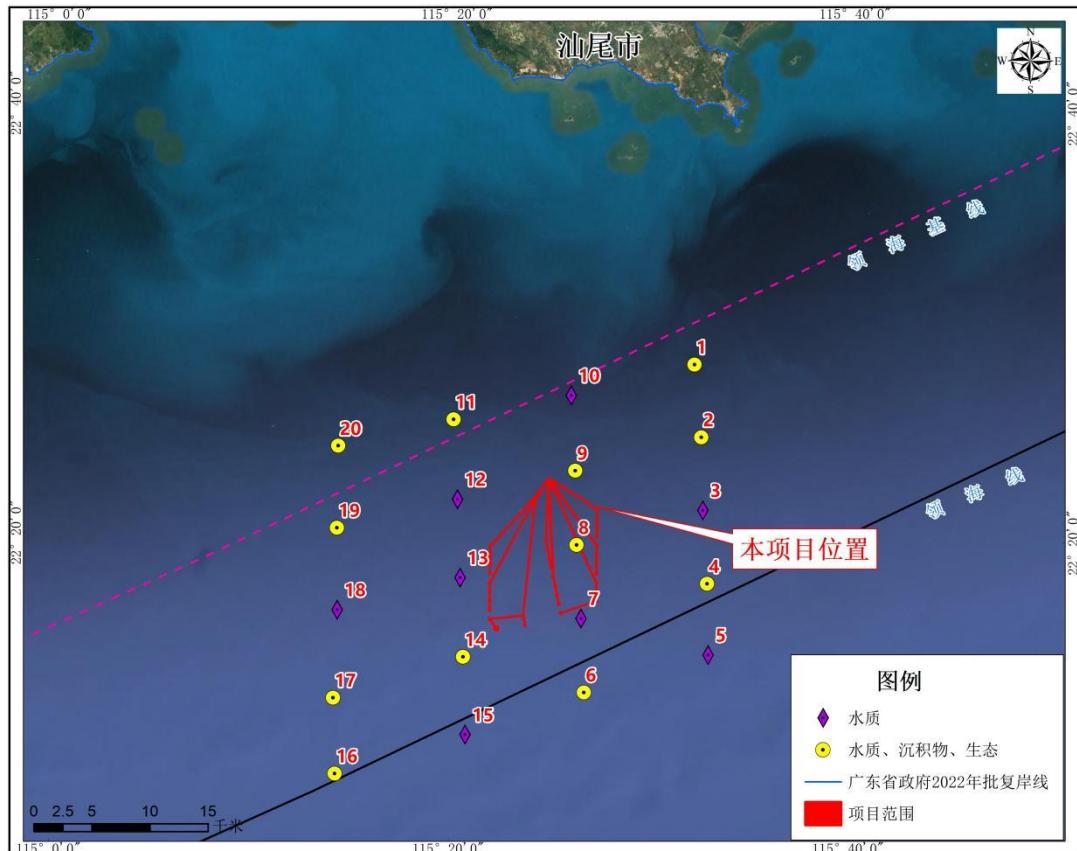


图 8.4.5-1 跟踪监测站位图

### (1) 海水水质监测

为了解项目施工期悬浮物的污染状况, 桩基施工及电缆沟开挖对海洋水质环境的影响, 监测施工过程中悬浮物影响程度和范围, 评价施工期水质是否满足海水水质标准, 为施工期环境管理提供依据, 对项目施工期水环境质量进行跟踪监测。

监测项目: pH、悬浮物、石油类、化学需氧量、溶解氧、无机氮、活性磷酸盐、叶绿素 a、锌、铜、铅。

监测站位: 根据风电场位置布置监测点位见表 8.4.5-1 和图 8.4.5-1。

监测频率: 2 次/年, 春、秋各一次 (避开生物产卵期)。

### (2) 沉积物监测

监测项目: pH、锌、铜、铅、石油类、含水率。

监测站位: 根据风电场位置布置监测点位见表 8.4.5-1 和图 8.4.5-1。

监测频率: 2 次/年, 春季或秋季(避开生物产卵期)。

### (3) 生态监测

监测项目: 叶绿素 a、浮游动物(含鱼卵仔鱼)、浮游植物、底栖生物、生物质量(石油烃、锌、铜、铅)。

监测站位: 根据风电场位置布置监测点位见表 8.4.5-1 和图 8.4.5-1。

监测频率: 1 次/年, 春、秋各一次(避开生物产卵期)。

### (4) 噪声监测

监测项目: 噪声频带有效声压级、噪声声压谱级。

监测位置: 在施工区域布设 9 个噪声监测点。

监测频率: 施工前监测 1 次, 施工期高峰期监测一次(对打桩作业进行监测)。

昼间噪声监测时段为晨 6:00~晚 10:00, 夜间噪声监测时段为晚 10:00~晨 6:00, 分别监测 15min(避开生物产卵期)。

施工期由受委托监测站根据工程施工进度按监测计划进行监测, 若有异常情况应及时通知当地自然资源行政主管部门和当地生态环境局, 以便采取相应的对策措施; 同时要将工程施工的环境监测结果编制年度监测报告。

## 8.4.5.2 运营期环境监测

运营期的环境监测项目由本项目的业主方委托有资质的环保监测单位开展, 如有可能应与当地环保监测部门的年度监测相结合, 以充分利用现有资源并便于整个地区的环境质量变化情况相对照。

### (1) 海水水质监测

监测项目: pH、悬浮物、石油类、化学需氧量、溶解氧、无机氮、活性磷酸盐、叶绿素 a、锌、铜、铅、石油类。

监测站位: 与施工期一致, 详见表 8.4.5-1 和图 8.4.5-1。

监测频率: 1 次/年, 春季或秋季(避开生物产卵期)。

### (2) 沉积物监测

监测项目: pH、锌、铜、铅、石油类、含水率等。

监测站位: 与施工期一致, 详见表 8.4.5-1 和图 8.4.5-1。

监测频率：1次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

### （3）生态监测

监测项目：叶绿素a、浮游植物、浮游动物（含鱼卵仔鱼）、底栖生物、生物质量（石油烃、锌、铜、铅）。

监测站位：与施工期一致，详见表8.4.5-1和图8.4.5-1。

监测频率：1次/年，春季或秋季（避开生物产卵期）。

### （4）地形及风机墩柱局部冲刷监测

监测项目：水深地形、风机墩柱局部冲刷监测（冲刷深度、冲刷坑直径和冲刷坑形状等参数，若有必要，应对风机墩柱局部冲刷进行加测。在风暴潮等恶劣气象条件过后对风机墩柱局部冲刷情况进行必要的加测）。

监测位置：以工程外扩边界2km的海域，测量比例按照1:5000；2km-15km的海域，测量图比例尺按照1:10000。

监测时间及频次：工程运营期前5年内，每年监测1次，遇灾害性天气加密监测；5年之后根据前期监测分析结果，可2~3年监测1次。

### （5）噪声监测

监测项目：噪声频带有效声压级（dB re 1μPa）、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辐射噪声。

监测位置：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。

监测频率：每年1次，低、中和额定风速输出时。

### （6）电磁环境监测

监测项目：工频电场强度、工频磁感应强度。

监测位置：在海上风机区附近布设9个监测点。

监测频率：每年1次。

### （7）鸟类观测

监测内容：①鸟类群落特征，包括工程建设区及邻近地区鸟类的种类组成、数量、分布以及迁徙、迁飞特征、穿越风电场、与风机发生撞击的情况等；②栖息地生境特征：包括植被、饵料动物的种类、数量以及分布情况的变化；滩涂淤涨情况；鸟类适宜生境面积的变化等。

监测时间：在项目营运初期（5 年），加强对区域鸟情、滩涂淤涨变化、鸟类与风机撞击情况的观测研究。

监测频率：调查监测频次根据季节划分，在鸟类数量较集中的春秋季迁徙期，可进行强化监测。

## 8.5 生态用海建设方案

### 8.5.1 产业准入与区域管控要求符合性

根据国家海洋局办公室《关于规范和加强生态用海审查的意见》(征求意见稿)(海办管字〔2016〕590号),本项目属于海洋战略性新兴产业和绿色环保低碳产业,也是重大民生工程,其用海需求符合国家海洋局提倡的产业准入相关要求。

本项目用海位于《广东省海洋功能区划(2011-2020年)》(2012年)中的珠海-潮州近海农渔业区,本项目海域使用类型为电力工业用海,用海方式包括透水构筑物及海底电缆管道用海,用海方式不改变用海区的海域自然属性,用海符合海域使用管理要求和海洋环境保护要求,对周边海洋功能区影响不大,项目用海与海洋功能区划相符合。

根据第6章的分析,本项目属于《产业结构调整指导目录》(2019年本,2021年修改)的第一类鼓励类的建设项目;项目的建设属于海上风电建设项目,符合《“十四五”现代能源体系规划》等风电开发的要求,符合《广东省国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中“大力发展战略性新兴产业”的要求。

因此,本项目的建设符合国家产业结构调整指导目录、海洋经济发展规划和产业发展政策等。

### 8.5.2 岸线保护措施

自然岸线是海陆长期作用形成的自然海岸形态,具有环境上的稳定性、生态上的多样性和资源上的稀缺性等多重属性。自然岸线一旦遭到破坏,很难恢复和再造。

本项目不占用自然岸线,不涉及围填海,不进行采挖海砂、倾废等活动。本项目建设后不会对所占岸线造成明显不利影响,基本不会改变海域自然属性。

根据《广东省自然资源厅关于印发海岸线占补实施办法(试行)的通知》,“海岸线占补是指项目建设占用海岸线导致岸线原有形态或生态功能发生变化,要进行岸线整治修复,形成生态恢复岸线,实现岸线占用与修复补偿相平衡。”本项

目不占用自然岸线，不需进行海岸线占补。

### 8.5.3 染物排放与控制

#### 8.5.3.1 海上污水处理与防治措施

1、严格执行国家《船舶污染物排放标准》和 73/78 国际防止船舶造成污染公约的相关规定，严禁所有施工船只的含油废水等在施工海域排放。本项目船只无压舱水排放，大型施工船舶设相应的防污设备和器材，并备油类记录簿，含油污水如实记录；设专用容器，回收施工残油、废油；对船舶油污水进行统一收集运至岸上，委托有资质的公司接收处置。

2、对海域施工期间，各类供给船、铺缆船等施工船舶上作业人员产生的生活污水、生活垃圾，需统一收集运至岸上处理，并委托有资质的单位接收处置。

3、甲板冲洗水可直接排放入海。甲板上偶尔出现的少量油（通常是润滑油）应用锯末或棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱等应收集后运回陆地。注意清洁施工船舶等，及时维护和修理施工机械，施工机械若产生机油滴漏，应及时采取措施，用专用装置收集并妥善处理。建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等有害物质时，应立即采取措施，控制和消除污染，并向海事局报告。

4、加强施工设备的管理与养护，杜绝油类物质泄漏，减少海水受污染的可能性。

#### 8.5.3.2 固废污染防治对策措施

本项目施工期产生的固体废弃物主要包括组装场地加工废料和施工人员生活垃圾等。

1、风机塔基与塔架焊接过程产生的废弃焊头和拆卸下来的材料设备包装废弃物不得随意丢弃，应在作业点及时收集回收。建议在每个施工现场设置废料回收桶，交有资质的固体废弃物处置单位统一处置，避免固废堆积产生二次污染。

2、施工中禁止任意向海洋抛弃各类固体废弃物，同时应尽量避免各类物料散落海中。施工中产生的固体废弃物应由施工单位负责及时清理处置，施工结束时，需做好施工现场的清理和固体废弃物的处理处置工作，不得在地面有明显的固体废弃物残留。

- 3、施工单位应及时对能利用的施工废弃材料清理处置。
- 4、应设立施工人员生活垃圾收集点，定期清运至陆上，按当地环卫部门规定统一处置。
- 5、各施工单位加强对施工人员的教育和管理，不得随地大小便，不得随处随手乱扔垃圾，保证粪便和生活垃圾集中处置。

## 8.5.4 生态保护与修复措施

### 8.5.4.1 施工期生态环境保护

- 1、优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下，尽可能减少开挖面、开挖量，选择环境友好的施工方案，减小对海洋生物的影响。
- 2、严格限制施工使用的场区范围。在使用范围内划定施工作业范围，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。在满足施工技术要求的前提下尽可能减少两栖施工设备对滩涂压占范围，划定两栖设备的作业施工行驶带，禁止两栖设备在行驶带外穿行。
- 3、当风机桩基和电缆铺设完成后，应及时平整并压实滩涂地面，以有利于加快滩涂植被的自然修复。
- 4、加强施工管理，采用环保型的施工机械和施工工艺，缩短工程施工时间，尽可能减少因工程施工对水生生物和渔业资源所造成的影响。
- 5、优化施工进度安排，电缆铺设应选择海况良好的低潮位露滩干地施工，尽量避免涉水施工，以减少悬浮泥沙扩散对渔业资源的影响。
- 6、对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞、养殖作业活动的范围、时间，尤其禁止施工人员在鱼类产卵高峰期抓捕鱼类。
- 7、合理安排实施施工计划，施工工期的选择应尽可能地避开鱼类的产卵期和休渔期。

### 8.5.4.2 运营期生态环境保护

#### 1、增殖放流措施

国内外长期从事渔业资源研究的专家研究证实，在渔业资源衰退或受损的情况下，除了降低捕捞强度和减少海洋环境污染及生境破坏之外，从根本上恢复渔

业资源、改良资源结构、增加渔业生产，进行渔业资源的人工增殖放流是重要、快捷的有效措施。通过增殖放流，可以迅速弥补本项目施工和营运等因素对海洋渔业资源造成的损失。

#### （1）增殖放流品种选择原则

本地原种或子一代的苗种或亲体；能大批量人工育苗；品质优良（属优质经济鱼、虾类、贝类）；适应工程附近海域生态环境且生势良好；工程附近海域自然生态状况中曾经拥有的种类，确需放流其他苗种的，应当通过省级以上渔业行政主管部门组织的专家论证；鱼类品种以恋礁性鱼类、适合转产转业和发展游钓休闲渔业品种等为主，或在资源结构中明显低于自然生态状况中的比例，资源衰退难以自然恢复；禁止使用外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合生态要求的水生生物物种进行增殖放流。

#### （2）增殖放流备选品种

鱼类为青石斑鱼、花鲈、紫红笛鲷、红笛鲷、真鲷、黑鲷、平鲷、黄鳍鲷、花尾胡椒鲷、黄姑鱼等；虾类为长毛对虾、斑节对虾、日本对虾、刀额新对虾、周氏新对虾等；贝类为巴非蛤、贻贝、扇贝等。

#### （3）增殖放流苗种规格质量

鱼苗体长应在 5cm 以上；虾苗体长应在 2.5cm 以上；贝苗壳长应在 0.5cm 以上。放流苗种应当来自有资质的生产单位、检验机构认可。

#### （4）增殖放流计划

在施工期间根据实际情况开始实施海洋生物增殖放流，增殖放流的期限为 5 年，每年 1 次。每年的增殖放流工作安排在南海区伏季休渔期间内的 5 月下旬至 7 月上旬，以避开高强度捕捞压力时间，提高增殖放流效果。

#### （5）增殖放流前后的管理

增殖放流前后的现场管理主要由渔业主管部门承担。增殖放流前清理放流区域的作业，并划出一定范围的临时保护区，增殖放流后加强巡逻管理。

## 2、开展人工鱼礁建设

建设人工鱼礁渔场，能有效地改善和修复海洋生态环境、增殖和养护渔业资源、提高水产品质量，这已被发达国家的建设实践所证实。建设人工鱼礁，可以有效地修复工程建设期和运营期给周围海域渔业资源和海洋生态环境带来的损

害，此外，人工鱼礁可以阻止底拖网作业，防止海底出现“荒漠化”、有效地修复海洋生态环境。人工鱼礁的建设是保护珍稀濒危生物、保护物种多样性的有效途径。人工鱼礁的建设与旅游业相结合，不仅渔业产值获得可观的增加值，使部分被调整的渔船改装为垂钓游艇，缓解渔船出路和渔民就业问题，同时在礁区作业主要是垂钓和刺网，捕大留小，促进渔业资源良性循环；建礁后礁体被附着生物所覆盖，诱集和聚集鱼类等在礁区觅食、繁殖和栖息，初级生产力和次级生产力大大增加，成为海上人工牧场和近海渔场，使原来的“沙漠”变为“绿洲”，提高渔业产量和质量，促进海洋生态环境良性循环，结合人工鱼礁建设进行渔业资源增殖放流，形成礁区“海洋牧场”，能更好地发挥人工鱼礁生态系统的作用。投放人工鱼礁，可以有效保护缺乏保护能力的幼鱼幼虾，提高其成活率，提高人工增殖放流效果，为鱼类提供良好的栖息环境和索饵场，有助于渔业资源成倍或数十倍的增加。

建议建设单位配合当地海洋渔业主管部门，在人工鱼礁建设规划中列出的人工鱼礁区，在施工期间根据实际情况安排人工鱼礁建设，作为本工程项目海洋生境恢复和保护的辅助措施。人工鱼礁建设可选用钢筋混凝土、废旧渔船等礁体材料，可结合大型海藻吊养等浮式人工鱼礁建设方式。

### 3、加强渔业资源和生态保护宣传

建议建设单位通过多种方式结合，加强渔业资源和生态保护宣传，一方面加强社会环境保护教育，另一方面树立建设单位的环保形象。

#### 8.5.4.3 水下噪声防治措施

1、施工期的打桩将对周围海域的海洋生物、特别是对石首鱼类以及海洋哺乳动物等的行为活动将带来一定影响。鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出预测，在时间上控制一次一桩。

2、施工期水下打桩应严格确立在距离桩基一定范围为鱼类、海洋哺乳动物受水下噪声影响的危险区域。在该危险距离范围内应对鱼类、海豚等哺乳类动物进行可能地进行驱赶、搬移等工作。

3、注意鱼类在遭到水下噪声影响时所处的生命周期，尽量避免在鱼类繁殖期、产卵期时施工，建立水中作业时间窗的概念。水中作业时间窗表示在该段时

间中对某个物种的潜在影响最小，或者在该时间窗内物种本身的生命周期使之不受影响。如每年3~5月为鱼类产卵期、洄游期的主要季节，应避开此时间段或者降低施工强度。

#### 4、确定打桩时间前应该对海域内不同鱼类的活动和分布进行全面的考虑。

由于鱼类具有多种行为使得它们遭受噪声影响的程度也不同。如产卵场、索饵场和洄游通道功能的作用有一定的季节性，每年3-5月是主要季节。工程中作业顺序应安排得当，电缆铺设和风机打桩尽可能避开渔业的敏感季节；如高机动游动的鱼类可以在打桩进行时离开该海域而停止施工后返回，而其他鱼类则具有较低的机动性，无法快速离开一个海域。因此，可以依据不同的鱼种洄游迁徙的时间而确定打桩的时间。

美国《评估与削减打桩噪声对鱼类的影响技术指导手册》【Rick Oestman,et al,2009】讨论了打桩施工海域的施工时间与鱼类活动状况的之间的关系。对于河口与河道内的水下打桩施工时间需要错开该河道的洄游性鱼类大量经过的时间段，需要进行不同时段上的分别磋商，将打桩噪声对鱼类和海洋哺乳动物的影响减至最低。

#### 5、施工期的一般施工活动中，应注意施工机械和运输机械的维护和更新，尽量采用低噪声的环保机械，避免噪声过大的运输船只在海上运输作业。

### 8.5.4.4 鸟类生态环境保护

#### 1、生态环境补偿措施

为了减轻海上风电场对鸟类生存的影响，对本项目在施工期和运营期对生态环境可能带来的不利影响提出以下的生态恢复措施和生态补偿方案：

##### (1) 施工期生态环境补偿措施

施工时尽量减少占地，减少开挖面积，减少植被破坏；应对风电场施工机械及人员进行严格管理，合理安排施工时间，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过场址应适当停工等待；同时合理布置施工运输路线，减小施工期对鸟类的影响。

根据研究鸟类通常以视觉判断飞行路线中的障碍物，为减少鸟类碰撞风机叶片的机会，根据日本等地的成功经验，风机的叶片应当用橙红与白色相间的警示色，使鸟类在飞行中能及时分辨出安全路线，及时规避，以减少鸟只碰撞风机的

几率。同时在风机上加设使鸟类回避的灯光，以减少在夜间迁徙的鸟类碰撞风机的几率。此外，为减少反射阳光对雀鸟的影响，风力发电机的机件使用非反光涂料。

## （2）运营期生态环境补偿措施

本项目造成海域鸟类的栖息地丧失，可通过在其他海域制定鱼类、甲壳类、贝类的增殖放流计划，以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率作为补偿。

在运营期，通过设立鸟类观察救助站，采用雷达监控设备，持续监测风场对鸟类的影响；特别是在候鸟迁徙高峰的时候，及时观测鸟类动向。在候鸟大规模迁徙期间，如遇到大群候鸟停歇风电场内及附近，可以采取驱赶措施，必要时应当停机驱赶。万一发现鸟类伤亡，应及时救治受伤鸟只，鸟类观察救助站人员应当接受专业鸟类知识培训，并将伤亡记录及时向有关单位汇报。

## 2、生态监测和管理措施

### （1）施工期生态监理和环境教育

通过制定相应的环保手册对施工人员、施工区域、施工方式、施工时间进行有效地指导。开工前，在工地及周边设立爱护鸟类、鱼类和自然植被的宣传牌。在整个施工期内，由建设单位委托的环保专职人员承担生态监理，采用巡检监理的方式，对材料堆放、施工方式、施工机械和宿营地进行环境监理，检查生态保护措施的落实及施工人员的生态保护行为。施工人员进场后，立即进行生态保护教育，明确禁止施工人员进入候鸟群分布区，杜绝猎杀鸟类的行为。同时，严格控制车辆噪声，夜间禁止鸣笛，减少噪声对鸟类的惊扰，并尽量避免在鸟类大规模迁徙时段施工。

### （2）运营期监督管理和效果检验

运营期应该注意监督建设单位的生态保护措施是否到位，观察生态补偿措施效果；风电场运行的时候，在候鸟迁徙高峰期应该关闭风机。要对风电场的管理人员进行鸟类知识的宣传和相关指导，并和鸟类管理保护单位建立必要的工作联系，使其对鸟类的干扰程度降到最低。

在施工前期、施工期间和运营期应分别开展鸟类种类和数量的监测，以比较分析风电场对鸟类造成的影响，密切关注变化较大的种类。鸟类监测是一项专业性很强且工作量很大的任务，需由相关单位的鸟类专业人员进行，建设单位也可

以在专业人员的指导下，参与风电场范围内及周边地带的鸟类监测工作。

由于海洋性鸟类不易观测、部分鸻鹬类的迁徙期飞行路线有可能越过海面等因素，需要开展长期观测获取准确数据。监测时段应主要安排在鸟类迁徙高峰期，开展不少于 5 年的鸟类监测，分别在近岸鸟类聚集地和在海上监测候鸟的动向，并做好观测记录。可利用鸟类观察救助站作为固定监测点，并和救助站人员合作，根据日常观测记录调整监测时间。

# 9 结论与建议

## 9.1 结论

### 9.1.1 项目用海基本情况

本项目为明阳汕尾红海湾二期海上风电场项目，拟建设 31 台 16.0MW 的固定式风电机组及 1 台 16.6MW 的漂浮式风电机组，采用阵列式布置，66kV 集电海缆采用链型拓扑结构，共 8 个回路。

项目用海类型为工业用海中的电力工业用海，用海方式包括透水构筑物用海（风力发电机组）、海底电缆管道用海（66kV 集电海缆），项目申请总用海面积为 236.9673 公顷，其中透水构筑物用海面积 67.2141 公顷，66kV 海底电缆管道用海面积 169.7532 公顷。

本项目风机和 66kV 集电海缆均位于近海深水区域，距离最近的陆地 36.8km，不占用大陆岸线和海岛岸线。

本项目风机的设计服务年限为 25 年，工程建设期为 21 个月，因此，项目申请用海期限定为 27 年。

### 9.1.2 项目用海必要性结论

本项目所在海域风能资源丰富，具备发展近海深水海上风电项目的建设条件，项目建设符合国家和区域风电产业战略和规划，有利于满足地区电力需求和能源产业结构调整，本项目用海是必要的。

### 9.1.3 项目用海资源环境影响分析结论

工程后对流场影响较小，施工引起悬浮物含量增高，悬浮泥沙扩散范围内的浮游生物及游泳生物将受到影响。风机桩基施工、电缆沟开挖对渔业资源的影响主要表现在对开挖区附近高浓度悬浮物水域中的海洋生物的仔幼体可能造成的伤害。渔业资源生物量损失随着施工的结束，慢慢可以得到恢复，因此施工对渔业资源的影响是暂时的、可逆的。

项目用海风险主要有船舶通航风险、船舶溢油风险自然灾害如雷击、台风、

风暴潮等风险，以及意外事故风险，但这些风险都可以通过执行必要的防护措施、制定应急预案、加强监测等方法来避免或者减弱影响。

项目建设的主要环境风险是船舶事故引起的溢油，建设单位需采取严格有效的防范对策措施和制定应急预案。

#### 9.1.4 海域开发利用协调分析结论

本项目无利益相关者，协调责任部门为当地渔业主管部门以及海事主管部门，通过加强与各方的沟通和合作，本项目海域开发利用具有较好的可协调性，项目用海与周边其他用海活动不存在功能冲突，是相适宜的。

#### 9.1.5 项目用海与海洋功能区划及相关规划符合性

本项目建设符合国家产业政策，符合《全国海洋主体功能区划》《广东省海洋主体功能区划》《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》“三区三线”和省、市“三线一单”的管控要求。

项目与《“十四五”现代能源体系规划》《海上风电开发建设管理办法》《广东能源发展“十四五”规划》等能源行业规划的要求相符。

项目符合《2030年前碳达峰行动方案》《广东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》《广东省自然资源保护与开发“十四五”规划》《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》《广东省海洋经济发展“十四五”规划》《广东省海洋生态环境保护“十四五”规划》以及《汕尾市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》等各级相关规划的相关要求。

#### 9.1.6 项目用海合理性分析

本项目选址区位和社会条件满足项目用海要求，项目选址与自然资源和生态环境相适宜性，与周边用海活动的适宜性分析。项目用海选址合理。

本项目用海方式包括透水构筑物和海底电缆管道，用海方式不改变海域自然属性，用海方式合理。

本项目风机机组布置经过了比选优化，在满足风电场布置技术要求的同时，做到了集约节约用海，本项目用海平面布置合理。

本项目申请用海面积可以满足项目用海需求，符合相关行业的设计标准和规

范，符合国家海洋局关于海上风电用海控制指标要求，界址点界定与量算符合《海籍调查规范》的要求，本项目用海面积合理。

### 9.1.7 项目用海可行性结论

本项目的建设属于海上绿色能源开发，有利于实现电力能源结构优化，符合国家产业政策，有利于实现经济社会的可持续发展，项目建设和项目用海必要。本项目建设符合海洋功能区划、海洋生态红线的管理要求，与产业结构、风电行业规划及其他相关规划相符合，本项目无利益相关者。项目用海与周边自然环境和社会条件适宜，工程选址、用海方式、平面布置、申请用海面积和用海期限等合理。项目建设具有良好的社会经济效益，风电场的建设为广东省海上风电产业基地建设发挥重要作用。

## 9.2 建议

- (1) 施工期间加强悬浮物扩散的监测，采取必要措施，控制悬浮物的扩散范围，减轻生态环境影响。
- (2) 施工前应与航道管理部门进行充分沟通协调，做好船舶的进出安排，应及时通知海事主管部门，申请发布相应的航行警告；发现存在安全隐患时及时处理，并向海事主管机关报告。
- (3) 工程建成后应将项目位置海域范围具体位置等报请海事局等部门，发布相应《航海通告》。