中广核汕尾甲子一海上风电场项目

环境影响报告书

浙江省环境科技有限公司

Zhejiang Environment Technology Co.,Ltd.

二〇一九年六月

中广核汕尾甲子一海上风电场项目

环境影响报告书

浙江省环境科技有限公司

Zhejiang Environment Technology Co.,Ltd.

二〇一九年六月

编制单位和编制人员情况表

建设项目名称	中广核汕尾甲子一海上风电场项目
环境影响评价文件类型	环境影响报告书
一、建设单位情况	
建设单位（签章）	中广核汕尾新能源有限公司
法定代表人或主要负责人（签字）	
主管人员及联系电话	杨炯杰 13828015844
二、编制单位情况	
主持编制单位名称（签章）	**浙江省环境科技有限公司**
社会信用代码	913300005765162022
法定代表人（签字）	
三、编制人员情况	
编制主持人及联系电话	**李晓斌 18611092363**

1. 编制主持人

姓名	职业资格证书编号	签字
李晓斌	HP00016023	

2. 主要编制人员

姓名	职业资格证书编号	主要编写内容	签字
李晓斌	HP00016023	总论、工程概况、工程分析、环境影响评价结论及建议	
白媛媛	HP00018051	区域环境概况、海洋环境影响现状调查与评价、环境保护的技术经济合理性、工程生态用海可行性、环境管理与监测计划	
薛红梅	HP0004779	环境影响预测与评价、环境风险分析与评价、清洁生产和总量控制、环境保护对策措施	

四、参与编制单位和人员情况

李晓明 徐瑞乐 李黎明

目 录

概述 ..... **I**

1 总论 ..... 错误!未定义书签。

1.1 评价任务由来与评价目的 ..... **错误!未定义书签。**
1.2 编制依据 ..... **错误!未定义书签。**
1.3 环境影响评价和环境质量标准 ..... **错误!未定义书签。**
1.4 评价内容与评价等级 ..... **错误!未定义书签。**
1.5 评价范围与评价重点 ..... **错误!未定义书签。**
1.6 环境保护目标和环境敏感目标 ..... **错误!未定义书签。**

2 工程概况 **5**

2.1 建设项目名称、性质、工程与投资规模及地理位置 ..... **错误!未定义书签。**
2.2 项目总体布置 ..... **错误!未定义书签。**
2.3 项目建设方案 ..... **错误!未定义书签。**
2.4 主要工程量 ..... **错误!未定义书签。**
2.5 项目施工方案 ..... **错误!未定义书签。**
2.6 施工机械设备 ..... **错误!未定义书签。**
2.7 施工进度计划 ..... **错误!未定义书签。**
2.8 占用（利用）海岸线、滩涂和海域状况 ..... **错误!未定义书签。**

3 工程分析 **30**

3.1 生产工艺与过程分析 85
3.2 工程各阶段污染环境影响分析 89
3.3 工程各阶段生态环境影响分析 100
3.4 环境影响要素识别和评价因子筛选 104

4 区域环境概况 ..... 错误!未定义书签。

4.1 自然环境概况 ..... **错误!未定义书签。**
4.2 自然资源概况 ..... **错误!未定义书签。**
4.3 社会环境概况 ..... **错误!未定义书签。**

5 海洋环境质量现状调查与评价 **107**

5.1 水文动力环境现状调查与评价 ..... **错误!未定义书签。**
5.2 地形地貌与冲淤环境影响现状调查与评价 ..... **错误!未定义书签。**
5.3 海水水质现状调查与评价 ..... **错误!未定义书签。**
5.4 海洋沉积物环境质量现状调查与评价 ..... **错误!未定义书签。**
5.5 海洋生物生态环境现状调查及分析 ..... **错误!未定义书签。**

5.6 海洋生物质量现状调查及评价.....**错误!未定义书签。**
5.7 渔业资源现状调查与评价.....**错误!未定义书签。**
5.8 鸟类生态环境现状调查与评价.....**错误!未定义书签。**
5.9 声环境现状监测与评价.....**错误!未定义书签。**
5.10 电磁辐射现状调查.....**错误!未定义书签。**
5.11 陆域环境质量现状调查.....362

6 环境影响预测与评价.....364

6.1 水文动力环境影响分析.....364
6.2 地形地貌与冲淤环境影响分析.....379
6.3 海水水质环境影响预测与评价.....383
6.4 海洋沉积物环境影响分析与评价.....391
6.5 海洋生态环境影响分析与评价.....392
6.6 鸟类影响分析.....395
6.7 水下噪声及电磁辐射对海洋生态影响分析.....399
6.8 陆域环境影响分析.....404
6.9 环境敏感目标影响分析与评价.....423

7 环境风险分析与评价.....425

7.1 环境事故风险评价概述.....425
7.2 海域风险识别.....427
7.3 海上溢油事故源项分析.....428
7.4 海上溢油事故环境风险后果计算.....430
7.5 海上溢油事故风险防范措施.....438
7.6 海洋自然灾害风险分析与评价.....445
7.7 陆域工程环境风险分析.....447

8 清洁生产和总量控制.....450

8.1 清洁生产分析.....450
8.2 总量控制.....453

9 环境保护对策措施.....454

9.1 建设项目各阶段的污染环境保护对策措施.....454
9.2 建设项目各阶段的非污染环境保护对策措施.....460
9.3 建设项目各阶段的海洋生态保护对策措施.....461
9.4 总量控制.....464
9.5 环境保护措施汇总.....464

10 环境保护的技术经济合理性.....468

10.1 环保投资估算 468
10.2 经济效益 469
10.3 社会效益 469
10.4 环境损益 470
10.5 环境经济损益综合分析与评价 472

11 工程生态用海方案的环境可行性分析 473

11.1 产业准入与区域管控要求符合性 473
11.2 生态建设需求分析及目标 474
11.3 岸线利用与保护措施 474
11.4 污染物排放与控制措施 475
11.5 生态保护与修复措施 477
11.6 长期监测与评估 481

12 海洋工程的环境可行性 482

12.1 海洋功能区划和海洋环境保护规划的符合性 482
12.2 与海洋生态红线制度的符合性 490
12.3 区域和行业规划的符合性 498
12.4 建设项目的政策符合性 503
12.5 工程选址与布置的合理性 503

13 环境管理与监测计划 509

13.1 环境管理计划 509
13.2 环境监测计划 513
13.3 环境管理和监测计划的可行性与时效性评估 516

14 环境影响评价结论及建议 517

14.1 工程分析结论 517
14.2 环境现状分析与评价结论 517
14.3 环境影响预测与分析评价结论 522
14.4 环境事故风险分析结论 525
14.5 清洁生产和总量控制结论 525
14.6 环境保护措施结论 526
14.7 综合评价结论 529

概述

一、建设项目的特点

中广核汕尾甲子海上风电场位于粤东汕尾市沿海地区，水深在 33m~39m 之间，距离陆地最近距离约 25.00km。根据《广东省海上风电发展规划（2017～2030）（修编）》，汕尾甲子海上风电场规划装机容量为 900MW。由东向西依次布置为中广核汕尾甲子二 400MW 海上风电场场址、中广核汕尾甲子一 500MW 海上风电场场址。

本项目，即中广核汕尾甲子一海上风电场项目规划装机容量 500MW。工程建设内容包括 91 台 5.5 MW 风电机组、220kV 海上升压站 2 座、陆上集控中心 1 座、场址内 20 回 35kV 集电海缆及升压站至登陆点 2 回 220kV 连陆海缆。场址外围风机包络海域面积约为 78.97km^2。项目运行期风机利用风能转化为机械能，然后转化为电能，升压后送出接入电缆，为非污染型生态项目。

工程建设对环境的影响主要为水环境影响、水动力和冲淤环境环境影响、生态环境影响以及对鸟类生境条件的影响。

二、环境影响评价的工作过程

2018 年 11 月，中广核汕尾新能源有限公司委托我公司（即浙江省环境科技有限公司）承担了本项目的海洋环境影响评价工作。评价单位接受委托后，立即组织项目参评人员对项目海域进行了现场踏勘，并收集了工程海域海洋环境质量现状调查成果、环境功能区划及与本工程相关的规划文件，并委托广东省生物资源应用研究所开展了区域鸟类现状调查及评价，委托中国船舶重工集团公司第七○二研究所开展了工程区域噪声和电磁环境现状调查与评价。

本项目环评阶段，中广核汕尾新能源有限公司通过网站公示、报纸公示、现场张贴公告等方式公示了项目环境影响评价信息，编制了《中广核汕尾甲子一海上风电场项目公众参与说明》。

在上述工作的基础上，评价单位依据项目工程可行性研究报告及相关专题报告，针对工程特点和区域海洋水质、生态环境现状，对项目建设的主要海洋环境影响进行了预测、分析和评价，同时针对陆上集控中心的影响进行了预测分析，给出有针对性的污染防治措施和生态影响减缓措施，提出了环境管理与监测计划

要求，明确了建设项目可行与否的结论，编制完成了《中广核汕尾甲子一海上风电场项目环境影响报告书》。

三、分析判定相关情况

项目建设符合国家产业政策，项目选址、建设规模符合《广东省海上风电发展规划（2017-2030）（修编）》。工程位于全国、省级海洋主体功能区规划中的限制开发区域，满足限制开发区域关于“海上风电深水远岸布局，离岸距离不少于10公里的海域布局”的要求。工程建设符合所在海域海洋环境保护要求和海域使用管理要求。项目建设符合《能源发展“十三五”规划》、《广东省“十三五”能源结构调整实施方案》及《国家海洋局关于进一步规范海上风电用海管理的意见》。

本工程工程不占用生态红线区，距离最近的生态红线区为“碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区”约4.1km。

四、关注的主要环境问题及环境影响

项目重点关注本项目及区域海上风电场群建设对生态（包括鸟类、渔业等）、水质、水动力与冲淤环境影响和环境保护措施。生态环境影响重点分析了工程建设运营对海域鸟类迁徙、生存活动以及栖息地的影响，以及对渔业资源的损害评估。环境保护措施重点提出了施工期悬浮沙、废水、噪声污染防治措施以及工程建设阶段和运营阶段的生态保护措施。

（1）水生生态影响及减缓措施

1）对鸟类的影响及保护措施

施工期海上作业对鸟类的影响主要是海上施工噪声、灯光对鸟类生存活动的直接影响，以及海缆敷设悬浮沙导致鱼类资源量减少从而间接影响鸟类觅食。施工时鸟类可在周边海域栖息活动，且施工时长有限，属于短期影响，不会对工程海域鸟类栖息活动产生长期不利影响。

运营期风电场址区离岸较远，不在鸟类主要迁徙路线上，对鸟类迁徙活动影响有限，但对在此区域迁飞觅食鸟类的正常生存活动有一定的负面影响。不利影响主要是风机噪声、光影响、碰撞效应和电磁场对鸟类活动的直接影响，以及风电场占海对鸟类生存栖息造成的间接影响。结合风机噪声预测和主要受影响鸟类噪声忍受阈值，风机运行噪声对距风机400m内鸟类的迁飞活动将产生一定影响，但鸟类间的沟通交流基本不会受风电场低频噪声的影响。此外，场址内灯光照明可能导致鸟类趋光撞击死亡，不良气象条件下，风电场的建设也会增加鸟类与风

机相撞概率。风电场包络海域会在一定程度上导致鸟类栖息地破碎化，造成鸟类栖息地的损失。

针对工程建设对鸟类的影响，本次提出生态保护措施要求包括：1）合理安排施工时间，尽量在鸟类非迁徙季节安装风机，候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过施工区时应降低施工强度；2）严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少漏光量；3）制定鱼类、甲壳类、贝类增殖放流计划，以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率；4）施工期对鸟类通过量和死亡率进行监测，一旦发现海上施工设施与鸟类撞击率较高时，应暂停施工，风电场运营期采用雷达或视频、录音等监控手段监测鸟类迁徙活动，探明鸟类是否有避让风机的行为，并对鸟撞事件作出预警。聘请专人在候鸟迁徙高峰期，定期在风电场开展调查监测，发现情况立即提供反馈和救助。

2）对渔业资源的影响及减缓措施

根据预测分析，本项目施工产生悬浮沙共计造成游泳生物 16.51t，鱼卵 7.36×10^7 粒，仔稚鱼 2.1×10^7 尾受损；基础结构施工占用海床底土及生态资源空间造成受损底栖生物 0.03t。电缆施工管沟开挖造成底栖生物损失 61.08t。项目基础结构用海破坏底质和渔业资源空间对生物造成了不可逆影响，生物资源损害的补偿年限应不低于 20 年，按 20 年进行赔偿，悬浮泥沙及施工期管沟开挖对海洋生物产生持续性影响的年限低于 3 年，按 3 年进行补偿；由此计算，本工程造成的生态损失总赔偿额为 533.57 万元。

针对工程建设对渔业资源的影响，本次提出生态保护措施要求包括：建设单位应按照生态补偿原则，根据农业部《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）的有关规定，对项目附近水域的生物资源恢复做出经济补偿，生态补偿款主要用于人工增殖放流、资源养护与管理以及生态环境跟踪调查及补偿方案的效果评估。增殖放流物种应结合工程所在海域的海洋生物种类分布特征和目前人工育苗、增殖放流技术合理选取，确保生态补偿措施落实到位以取得预期恢复效果。

（2）水质环境影响及减缓措施

二维潮流泥沙输运扩散模型预测结果显示：根据悬浮沙预测结果可知，超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 61.085km^2；增量浓度＞20mg/L 的面积为 1.257 km^2；增量浓度＞50mg/L 的面积为 0.621 km^2、超 III 类（>100mg/L）的面

积为 0.237 km^2、超 IV 类（＞150mg/L）海水水质的面积为 0.0km^2。

针对工程建设对海水水质的影响，本次提出生态保护措施要求包括：施工作业期间，在整体施工计划框架下，根据季节性海流条件，合理优化调整各施工作业区施工计划，将重点悬浮沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱的季节和潮期内；在施工前制定严格的作业规程，加强施工质量管理；严格按照施工方案作业，控制施工强度，减缓入海悬浮沙增量；水上作业时，施工船舶机舱油污水及作业人员生活污水、生活垃圾严禁排海，运回陆地处理。

（3）水动力与冲淤环境影响及减缓措施

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东北-西南向为主，因此在风电桩基东北-西南向的流速减小，导致在桩基群的附近和东北-西南两侧产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.16m/a 左右，而在桩基群的东南侧和西北侧，由于水动力的增强，则表现出略有冲刷，最大冲刷幅度为 0.11m/a 左右。整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 3cm/a 的范围不超过桩基区 3.5km。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

不考虑海床的自然冲刷和桩基修筑以后的一般冲刷，由经验公式得出桩基的局部冲刷深度为 6.3m，叠加一般冲刷（最大 0.2m）后风电桩基处的最大冲刷深度可达到 6.5m 左右。

针对工程建设对海域冲淤环境的影响，工程设计阶段采取了预留冲刷深度的措施，可以保证风电桩基稳定性。

五、环境影响评价的主要结论

项目建设有利于改善地区能源供应结构，社会效益、经济效益和环境效益明显。施工期对环境有短暂的污染影响和生态影响，但采取适当的措施，加强管理，是可以减缓的，施工期的环境影响是暂时的，施工结束污染消失。运营期风电场对区域大范围潮流场影响很小，风电机组建设对生态环境的长期累积影响需要持续跟踪监测。总体来看，项目建设生态影响有限，通过合理的污染控制、跟踪监测及生态补偿等措施，可以减缓对海域生态环境的影响程度。公众参与调查表明，未收到公众反对意见。在严格落实报告书提出的各项环保措施和要求后，本项目建设从海洋环境保护角度考虑是可行的。

1 总论

1.1 任务由来和评价目的

1.1.1 任务由来

广东省省内电源装机以火电机组为主，节能减排压力巨大，大力发展核电、风电等新能源产业，是实现电力能源结构优化的必由之路。广东省大陆海岸线总长约 4114.4km，海域面积 41.93 万 km^2，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，而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。规划工作由广东省能源局牵头，广东省电力设计研究院具体执行。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，7 月 20 日水利水电规划总院组织对该规划报告进行审查。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。2017 年 9 月《广东省海上风电场工程规划》进行了修编，制订了《广东省海上风电发展规划（2017-2030）（修编）》。

根据《广东省海上风电发展规划（2017-2030）（修编）》成果，广东沿海共规划了 23 处海上风电场址，到 2020 年底，规划建成投产海上风电装机容量 100 万千瓦，粤东、粤西和珠三角海域各有 1-2 个海上风电项目投产并网。到 2025 年底，建成投产海上风电装机规模 300 万千瓦，初步形成海上风电规模化开发格局。到 2030 年底，建成投产海上风电装机规模约 1000 万千瓦，形成规模化沿海风电带；海上风电产业成为广东省国际竞争力强的优势产业之一。

汕尾甲子海上风电场项目为规划的近海浅水区海上风电场之一，位于粤东汕尾市沿海地区，场址水深在 33m~39m 之间，距离陆地最近距离约 25km。规划装机容量为 900MW，按照甲子一 500MW 和甲子二 400MW 两个项目进行开发建设。本工程为甲子一工程，规划装机容量 500MW，拟布置 91 台 5.5 MW 风电机组，同时配套建设 220kV 海上升压站两座和陆上集控中心一座。风电场主要

由海上风力发电机组、35kV 集电海缆、海上 220kV 升压站、220kV 登陆海缆等组成。

本项目主要工程内容是建设海上风电机组与海上升压站，铺设海底电缆与登陆电缆，建设陆上集控中心，工程建设期 2 年，风电场设计运行期 25 年。项目施工建设和风电场投产运营可能会对工程海域海洋水质、沉积物环境、生物生态环境及声环境、电磁辐射环境造成一定影响。根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》和《中华人民共和国环境影响评价法》等法律的要求，本项目需进行环境影响评价。受中广核汕尾新能源有限公司委托（附件 1），浙江省环境科技有限公司承担了本项目环境影响评价工作。我公司在接受委托后，立即组织项目相关技术人员对项目所在区域进行了现场踏勘，收集了工程海域海洋环境质量现状调查成果，并对项目建设和运营过程中的环境影响进行了综合评估。在此基础上，按照相关法律法规、技术导则及国家和地方生态环境主管部门要求，编制完成了《中广核汕尾甲子一海上风电场项目环境影响报告书》（送审稿），现提交生态环境主管部门审批。

本报告环境影响评价对象包括海上风力发电机组、海上升压站、海底电缆及海缆登陆后的集控中心，环境影响评价时段包括项目施工期及运行期，退役期环境影响在拆除施工前另行评价。

1.1.2 评价目的

本次环境影响评价工作的目的是从保护海洋环境、维护海洋生态平衡、推进海洋生态文明建设及严格控制新污染的角度出发，评价目的重点包括：

（1）对评价区域环境现状进行系统调查，了解工程所在海域和陆域的环境特点，包括环境质量现状、目前存在的主要环境问题、工程范围内的环境敏感点等；

（2）通过工程分析确定本期主要环境影响因子及其污染源强，进而对可能产生的主要环境问题进行科学的分析和预测；

（3）针对工程带来的主要环境问题，提出切实可行的污染防治方案和环境保护措施，确保污染物达标排放，将工程建设引起的环境影响减小到最低程度；

（4）提出本工程环境管理和环境监测的要求和建议，为建设单位实施环境保护和环保主管部门的监督管理提供依据。

1.2 报告书编制依据

1.2.1 国家法律法规及部门规章

（1）《中华人民共和国环境保护法》，2015 年 1 月 1 日施行；

（2）《中华人民共和国海洋环境保护法》，2017 年 11 月 4 日修订；

（3）《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日修改；

（4）《中华人民共和国水污染防治法》，2018 年 1 月 1 日施行；

（5）《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日修订；

（6）《中华人民共和国环境噪声污染防治法》，2018 年 12 月 29 日修订；

（7）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2016 年 11 月 7 日修订；

（8）《中华人民共和国渔业法》，2013 年 12 月 28 日修订；

（9）《中华人民共和国野生动物保护法》，2018 年 10 月 26 日修订；

（10）《中华人民共和国海域使用管理法》，2002 年 1 月 1 日施行；

（11）《中华人民共和国海上交通安全法》，2016 年 11 月 7 日修订；

（12）《中华人民共和国可再生能源法》，2006 年 1 月 1 日施行；

（13）《中华人民共和国清洁生产促进法》，2012 年 7 月 1 日施行；

（14）《建设项目环境保护管理条例》，国务院令第 682 号，2017 年 10 月 1 日施行；

（15）《中华人民共和国自然保护区条例》，2017 年 10 月 7 日修订；

（16）《海洋自然保护区管理办法》，国家海洋局，1995 年 5 月 29 日施行；

（17）《中华人民共和国水生动植物自然保护区管理办法》，2014 年 4 月 25 日修订；

（18）《水产种质资源保护区管理暂行办法》，农业部令 2011 年第 1 号；

（19）《水生生物增殖放流管理规定》，农业部令第 20 号，2009 年 5 月 1 日施行；

（20）《海底电缆管道保护规定》，2004 年 3 月 1 日施行；

（21）《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》，1992 年 8 月 26 日施行；

（22）《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，国务院令第 475 号，2019 年 3 月 19 日修改；

（23）《防治陆源污染物污染损害海洋环境管理条例》，1990 年 8 月 1 日施行；

（24）《防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2008 年 1 月 1 日施行；

（25）《防治船舶污染海洋环境管理条例》，2018 年 3 月 19 日修订；

（26）《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》，1993 年 10 月 5 日施行；

（27）《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》，2019 年 5 月 1 日施行；

（28）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）；

（29）《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）

（30）国家海洋局关于印发《海洋工程环境影响评价管理规定》的通知（国海环字〔2017〕7 号）；

（31）《中华人民共和国船舶污染海洋环境应急防备和应急处置管理规定》交通运输部令 2016 年第 84 号，2016 年 12 月修改；

（32）《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》交通运输部令 2017 年 15 号，2017 年 5 月修改；

（33）《国家船舶溢油应急设备库设备配置管理规定（试行）》，2008 年 11 月；

（34）《产业结构调整指导目录（2011 年本）》，国家发展和改革委员会 2013 年修订。

1.2.2 地方法规及规范性文件

（1）《广东省环境保护条例》，2015 年 1 月修订；

（2）《广东省海洋环境保护条例》，2005 年 1 月；

（3）《广东省建设项目环境保护管理条例》，2012 年 7 月修订；

（4）《广东省渔业管理条例》，2003 年 9 月；

（5）《广东省固体废物污染环境防治条例》，2019 年 3 月 1 日施行；

（6）《广东省海域使用管理规定》，2007 年 3 月；

（7）《广东省海洋特别保护区管理规定》，2012 年 4 月；

（8）《广东省实施〈中华人民共和国海洋环境保护法〉办法》，2009 年 7 月；

（9）《广东省实施<中华人民共和国环境噪声污染防治>办法》，2010 年 7 月 23 日修正；

（10）《关于船舶污染物接收处理作业有关事宜的通知》，粤海海事危〔2004〕8 号；

（11）《广东省产业结构调整指导目录（2007 年本）》，2008 年 1 月。

1.2.3 技术导则、标准和规范

（1）《环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；

（2）《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T 19485-2014）；

（3）《海洋工程环境影响评价管理规定》（国海环字[2017]7 号）；

（4）《海上风电工程环境影响评价技术规范》，国家海洋局，2014 年 4 月 17 日；

（5）《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011）；

（6）《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）；

（7）《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2009）；

（8）《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）；

（9）《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2014）；

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

（11）《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017）；

（12）《海洋生态资本评估技术导则》（GB/T 28058-2011）；

（13）《辐射环境保护管理导则 电磁环境影响评价方法与标准》，（HJ/T10.3-1996）；

（14）《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）；

（15）《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；

（16）《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB/T18918-2002）；

（17）《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；

（18）《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）；

（19）《海水水质标准》（GB3097-1997）；

（20）《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）；

（21）《海洋生物质量标准》（GB18421-2001）；

（22）《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）；

（23）《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）；

（24）《海洋监测规范》（GB17378-2007）。

1.2.4 国际公约

（1）《国际防止废物和其它物质倾倒污染海洋公约》；

（2）《经 1978 年议定书修正的 1973 年国际防止船舶污染海洋公约（MARPOL73/78）》，国际海事组织；

（3）《中华人民共和国政府和日本政府保护候鸟及其栖息环境的协定》，1981 年 3 月 3 日；

（4）《中华人民共和国和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》，1986 年 10 月 20 日；

（5）《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》，1982 年 3 月 12 日议定书修订；

（6）《生物多样性公约》，签订于里约热内卢，1992 年 6 月 5 日。

1.2.5 功能区划和相关规划

（1）《全国海洋主体功能区规划》，国务院，2015 年 8 月；

（2）《全国海洋功能区划（2011-2020 年）》，国家海洋局，2012 年 4 月；

（3）《国家海洋局海洋生态文明建设实施方案》（2015-2020 年），国家海洋局，2015 年 7 月；

（4）《广东省海洋主体功能区规划》，广东省海洋与渔业厅 广东省发展和改革委员会，2017 年 12 月；

（5）《广东省海洋功能区划》（2011-2020），广东省人民政府，2012 年 11 月；

（6）《国家海洋局关于同意广东省海洋功能区划修改方案的函》（国海管字〔2016〕390 号）；

（7）《广东省海洋生态红线》，广东省人民政府，2017 年 9 月；

（8）《广东省近岸海域环境功能区划》，广东省人民政府办公厅，1999 年 7 月；

（9）《广东省环境保护规划纲要（2006-2020 年）》；

（10）《广东省环境保护“十三五”规划》；

（11）《广东省海洋经济发展“十三五”规划》；

（12）《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》；

（13）《广东省海洋生态环境保护规划 (2017-2020 年)》；

（14）《广东省海洋生态文明建设行动计划（2016-2020）》；

（15）《汕尾市海洋功能区划》（2015-2020 年）；

（16）《汕尾市环境保护 “十三五”规划》。

1.2.6 工程技术文件

（1）建设单位环评委托书；

（2）《中广核汕尾甲子一 500MW 海上风电场项目可行性研究报告》，中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司，2018 年 9 月；

（3）《中广核汕尾甲子海上风电场项目通航安全影响研究报告》（备案稿），广州嘉汶水上工程技术服务有限公司，2018 年 9 月；

（4）《中广核汕尾甲子一 500MW 海上风电场项目海缆预选路由选择依据说明材料》（报批稿），中广核汕尾新能源有限公司，2018 年 10 月；

（5）《中广核汕尾甲子一海上风电场项目海域使用论证报告书》（报批稿），广东海兰图环境技术研究有限公司，2018 年 10 月；

（6）《中广核汕尾甲子海上风电场项目水下噪声和电磁环境对海洋动物影响专题报告》，浙江省环境科技有限公司，2018 年 10 月；

（7）《中广核汕尾甲子海上风电场项目鸟类现状调查及评价专题报告》，广东省生物资源应用研究所，2019 年 6 月；

（8）建设单位提供的其他相关资料。

1.3 环境影响评价和环境质量标准

1.3.1 环境质量标准

1.3.1.1 海洋环境

根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年），本项目风电场区和部分 220kV 海底电缆位于珠海-潮州近海农渔业区，部分 220kV 海底电缆位于田尾山-石碑山农渔业区。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；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。

项目周边海域海洋功能区划包括田尾山工业与城镇用海区、湖东-甲子工业与城镇用海区、碣石湾近海海洋保护区等。其中，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。田尾山工业与城镇用海区和湖东-甲子工业与城镇用海区在基本功能未利用前，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；工程建设期间及建设完成后，执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。

其它甲壳类、鱼类和软体动物生物体内污染物（Hg、Zn、Pb、Cd、Cu）含量评价标准采用《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。

海洋水质、沉积物、生物质量标准限值见表 1.3-1~表 1.3-4。

表 1.3-1 海水水质标准（mg/L，pH 无量纲）

项目	第一类	第二类	第三类	第四类
SS	人为增加的量≤10		人为增加的量≤100	人为增加的量≤150
pH	7.8～8.5		6.8～8.8	
DO>	6	5	4	3
COD≤	2	3	4	5
无机氮≤	0.20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐≤	0.015	0.030	0.030	0.045
Hg≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
Cd≤	0.001	0.005	0.01	0.01
Pb≤	0.001	0.005	0.010	0.050
Cu≤	0.005	0.010	0.050	0.050
Zn≤	0.020	0.050	0.10	0.50
As≤	0.020	0.030	0.050	0.050
总 Cr≤	0.05	0.10	0.20	0.50
石油类≤	0.05	0.05	0.30	0.50
粪大肠菌群≤	2000	2000	2000	-

表 1.3-2 沉积物质量标准

序号	项目	第一类	第二类	第三类
1	汞（$\times10^{-6}$） ≤	0.20	0.50	1.00
2	镉（$\times10^{-6}$） ≤	0.50	1.50	5.00
3	铅（$\times10^{-6}$） ≤	60.0	130.0	250.0
4	锌（$\times10^{-6}$） ≤	150.0	350.0	600.0
5	铜（$\times10^{-6}$） ≤	35.0	100.0	200.0
6	铬（$\times10^{-6}$） ≤	80.0	150.0	270.0
7	砷（$\times10^{-6}$） ≤	20.0	65.0	93.0
8	有机碳（$\times10^{-2}$） ≤	2.0	3.0	4.0

序号	项目	第一类	第二类	第三类
9	硫化物（$\times10^{-6}$） ≤	300.0	500.0	500.0
10	石油类（$\times10^{-6}$） ≤	500.0	1000.0	1500.0

表 1.3-3 海洋生物（贝类）质量标准值（鲜重）（单位：mg/kg）

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

表 1.3-4 生物质量评价标准（单位：mg/kg）

生物类别	铜	铅	锌	镉	总汞	石油烃
鱼类	≤20	≤2.0	≤40	≤0.6	≤0.3	≤20
甲壳类	≤100	≤2.0	≤150	≤2.0	≤0.2	≤20
软体动物	≤100	≤10	≤250	≤5.5	≤0.3	≤20

1.3.1.2 陆域环境

（1）声环境

本工程海缆登陆区域为村庄附近，根据《汕尾市环境保护规划纲要（2008-2020）》中的噪声环境功能区划及《声环境质量标准》（GB3096-2008）中关于乡村声环境功能区的要求，执行《声环境质量标准》表 1 中 1 类标准。相应标准限值见表 1.3-5。

表 1.3-5 声环境质量标准 （单位：dB(A)）

类别	昼间	夜间
1	55	45

（2）环境空气

根据《汕尾市环境保护规划纲要（2008-2020）》中对环境空气质量功能区的划分，本工程所在陆域环境空气执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准，环境空气质量标准值见表 1.3-6。

表 1.3-6 环境空气质量标准（单位：μg/m³）

序号	项目	环境质量标准限值（二级）		
		年均值	日均值	小时值
1	SO_2	60	150	500
2	NO_2	40	80	200

序号	项目	环境质量标准限值（二级）		
		年均值	日均值	小时值
3	TSP	200	300	/
4	PM_{10}	70	150	/
5	$PM_{2.5}$	35	75	/

（3）电磁

工频电场是指随时间做 50Hz 周期变化的电荷产生的电场，因此根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中表 1 要求，以 4kV/m 作为公众暴露工频电场强度评价标准限值。同时架空输电线路线下的耕地、园地、牧草地、畜禽饲养地、养殖水面、道路等场所，其频率 50Hz 的电场强度控制限值为 10kV/m，且应给出警示和防护标志。

工频磁场是指随时间做 50Hz 周期变化的电荷产生的磁场。因此根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中表 1 要求，以 100μT 作为公众暴露工频磁感应强度评价标准限值。

1.3.2 污染物排放标准

1.3.2.1 海洋环境

（1）废水

本项目施工期船舶污染物排放执行交通部《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》（交海发[2007]165 号）要求，禁止本管理规定适用的船舶向沿海海域排放油类污染物；船舶所产生的油类污染物须定期排放至岸上或水上移动接收设施；除机舱通岸接头（接收出口）管系外，船舶的油污水系统的排放阀以及能够替代该系统工作的其它系统与油污水管路直接相连的阀门应予以铅封。同时，本项目施工船舶产生的含油污水、生活污水还应满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）的要求，相应标准限值见表 1.3-7。

（2）固体废物

本项目施工期船舶垃圾执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）的相应排放控制要求，详见表 1.3-7。

表 1.3-7 船舶水污染物排放控制标准

污染物	水域类别	船舶类别	排放控制要求
船舶含油废水	沿海	400 总吨及以上船舶	油污水处理装置出水口石油类限值为 15mg/L（排放应在船舶航行中进行）或收集并排入接收设施。
		400 总吨以下非渔	

		业船舶		
船舶生活污水	距最近陆地 3 海里以内海域	400 总吨及以上的船舶，以及 400 总吨以下且经核定许可载运 15 人及以上的船舶	不得直接排入环境水体	利用船载收集装置收集，排入接收设施；
				利用船载生活污水处理装置处理：2012 年 1 月 1 日以前安装（含更换）生活污水处理装置的船舶，执行 BOD_5≤50mg/L，SS≤150mg/L，耐热大肠菌群数≤2500 个/L；2012 年 1 月 1 日及以后安装（含更换）生活污水处理装置的船舶，执行 BOD_5≤25mg/L，SS≤35mg/L，耐热大肠菌群数≤1000 个/L，COD_{Cr}≤125mg/L，pH6~8，总氯（总余氯）<0.5 mg/L
	3 海里<与最近陆地间距离≤12 海里的海域		同时满足：（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放；（2）船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。	
	与最近陆地间距离>12 海里的海域		船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。	
船舶垃圾	在任何海域，应将应将塑料废弃物、废弃食用油、生活废弃物、焚烧炉灰渣、废弃渔具和电子垃圾收集并排入接收设施			
	对于食品废弃物，在距最近陆地 3 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 3 海里至 12 海里（含）的海域，粉碎或磨碎至直径不大于 25 毫米后方可排放；在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。			
	对于货物残留物，在距最近陆地 12 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 12 海里以外的海域，不含危害海洋环境物质的货物残留物方可排放。			
	对于动物尸体，在距最近陆地 12 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。			
	在任何海域，对于货舱、甲板和外表面清洗水，其含有的清洁剂或添加剂不属于危害海洋环境物质的方可排放；其他操作废弃物应收集并排入接收设施。			

（3）噪声

运营期风机低频噪音参照《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）中 1 类声环境功能区结构传播固定设备 B 类房间室内噪声排放限值，见表 1.3-8。

表 1.3-8 结构传播固定设备室内噪声排放限值（单位：dB(A)）

功能区类别	房间类型	倍频带中心频率（Hz） 时段	室内噪声倍频带声压级限值				
			31.5	63	125	250	500
1	B 类	昼间	79	63	52	44	38
		夜间	72	55	43	35	29

（4）工频电磁场

根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014），工程内容涉及 220kV 升压站工程，频率 50Hz，需同时控制电场强度和磁感应强度，限值换算后，工频电场强度控制限值 4kV/m，工频磁感应强度控制限制 100μT。

（5）废气

根据《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发[2018]168 号），本工程海上风电场场址及海缆位于船舶大气污染物排放控制区，施工期船舶和运营期工作船舶大气污染物排放控制按照《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发[2018]168 号）的要求执行，见表 1.3-9。

表 1.3-9 船舶大气污染物排放控制要求

采用标准	污染物	排放控制要求	适用对象
《船舶大气污染物排放控制区实施方案》	硫氧化物	硫含量不大于 0.5%m/m 的船用燃油	施工船舶、运营期工作船舶
	氮氧化物	2000 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的国际航行船舶，所使用的单台船用柴油发电机输出功率超过 130 千瓦的，应满足《国际防止船舶造成污染公约》第一阶段氮氧化物排放限值要求	
		2011 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的国际航行船舶，所使用的单台船用柴油发电机输出功率超过 130 千瓦的，应满足《国际防止船舶造成污染公约》第二阶段氮氧化物排放限值要求	
		2015 年 3 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的中国籍国内航行船舶，所使用的单台船用柴油发电机输出功率超过 130 千瓦的，应满足《国际防止船舶造成污染公约》第二阶段氮氧化物排放限值要求	

1.3.2.2 陆域环境

（1）废水

本工程陆上施工场地生产废水处理后全部回用于施工不外排，产生的生活污水生活污水经隔油、临时污水处理设施处理后回用洒水，执行《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）；运营期生活污水经地埋式污水处理设施处理达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）相应标准后用于站区绿化，相应标准限值见表 1.3-10。

表 1.3-10 城市杂用水水质标准（节选）（单位：mg/L）

项目	冲厕	道路清扫、消防	城市绿化	车辆冲洗	建筑施工用水
pH	6.0~9.0				
色度≤	30				
嗅	无不快感				
浊度/NTU≤	5	10	10	5	20
五日生化需氧量≤	10	15	20	10	15

项目	冲厕	道路清扫、消防	城市绿化	车辆冲洗	建筑施工用水
氨氮≤	10	10	20	10	20
溶解氧≥	1.0				

（2）噪声

施工期陆上施工场地噪声排放执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011），即昼间≤70 dB（A），夜间≤55 dB（A）。

（3）废气

施工期废气、运营期备用柴油发电机燃油尾气执行排放执行广东省地方标准《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）二级标准（第二时段），见表 1.3-11。

表 1.3-11 广东省地方标准《大气污染物排放限值》摘录(mg/m^3)

标准	SO_2	NOx	颗粒物
第二时段二级标准	500	120	120

柴油发电机尾气参考执行广东省地方标准《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）中 4.3.2.8 条，其烟气黑度不得超过林格曼 1 级。

施工期扬尘颗粒物无组织排放执行广东省《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）第二时段中无组织排放监控浓度限值 3.0mg/m^3。

运营期食堂厨房油烟废气执行《饮食业油烟排放标准》（GB18483-2001）表 2 小型饮食业的油烟最高允许排放浓度 2mg/m^3，净化设施最低去除效率 60%。

1.4 评价内容与评价等级

1.4.1 评价内容

1.4.1.1 海域部分

本次评价工程内容涉海部分主要包括海上风机机组工程、海底电缆工程和海上升压变电站。

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014），必选环境影响评价内容包括海洋水质环境、海洋沉积物环境、海洋生态和生物资源环境、海洋地形地貌与冲淤环境、海洋水文动力环境、环境风险，并可根据项目具体情况选择其他评价内容，详见表 1.4-1。

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，必选环境影响评价内容包括海洋水质环境、海洋沉积物环境、海洋生物生态、鸟类生态、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境、声环境、电磁环境，并可根据项目具体情况将景观纳

入评价内容，详见表 1.4-2。

表 1.4-1 海洋工程建设项目各单项环境影响评价内容

建设项目类型和内容	环境影响评价内容						
	海水水质环境	海洋沉积物环境	海洋生态和生物资源环境	海洋地形地貌与冲淤环境	海洋水文动力环境	环境风险	其它评价内容
海底管道、海底电（光）缆工程：海上和海底电（光）缆等工程……	★	★	★	☆	☆	★	☆
海上潮汐电站、波浪电站、温差电站等海洋能源开发利用工程：……风电发电、太阳能发电及其输送设施及网络等工程……	★	★	★	★	★	★	☆

a.★为必选环境影响评价内容；
b.☆为依据建设项目具体情况可选环境影响评价内容；
c.其它评价内容中包括放射性、电磁辐射、热污染、大气、噪声、固废、景观、人文遗迹等评价内容。

注：引自《海洋工程环境影响评价技术导则》。

表 1.4-2 海上风电项目各环境要素环境影响评价内容

海上风电项目工程类型	海洋水质环境	海洋沉积物环境	海洋生态			海洋水文动力环境	海洋地形地貌与冲淤环境	声环境（水、下、水上）	电磁环境	环境风险
			海洋生物生态	鸟类生态	景观					
海上风电机组工程	★	★	★	★	☆	★	★	★	☆	★
海底电缆工程	★	★	★			☆	☆		☆	★
升压变电站工程	★	★	★	☆	☆	★	★	☆	★	★

注：引自《海上风电工程环境影响评价技术规范》。

综合考虑本项目建设内容，本评价选择海洋水质环境、海洋沉积物环境、海洋生物生态、鸟类生态、海洋水文动力环境、海洋地形地貌与冲淤环境、声环境、电磁环境、大气环境作为评价内容。

1.4.1.2 陆域部分

本工程陆域部分工程内容主要为建设集控中心及登陆点到集控中心电缆，基地内设置有电气控制楼、运维楼、宿舍楼（包含食堂）、维修楼以及相应的水处理设施等。根据陆上工程施工期及运营期的特点及环境影响评价技术导则，选取电磁环境、声环境、地表水环境、陆域生态环境和大气环境作为评价内容。

1.4.2 评价等级

1.4.2.1 海域部分

（1）海洋水文动力、水质、沉积物、海洋生态、地形地貌与冲淤环境

本项目周边分布有自然保护区，属生态环境敏感区，风电机组装机容量500MW，属大型工程，海底电缆总长约160.92km（其中220kv海缆包括100MW海上升压站到 400MW 海上升压站一根 4.22km，400MW 海上升压站到登陆点两根33.35km×2；35kv集电海缆约90km），工程占海面积大于50×104m2。

根据《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）和《海上风电工程环境影响评价技术规范》，综合确定本项目工作等级为：海洋水文动力1级、水质1级、沉积物1级、海洋生态1级、海底地形地貌与冲淤环境1级。具体判定情况见表1.4-3。

表1.4-3 海洋水文动力、水质、沉积物和生态环境影响评价等级判据

技术导则	海洋工程分类	工程类型和工程内容	工程规模	工程所在海域特征和生态环境类型	单项海洋环境影响评价等级			
					水文动力环境	水质环境	沉积物环境	生态和生物资源环境
海洋工程环境影响评价技术导则	海上潮汐电站、波浪电站、温差电站等海洋能源开发利用工程	风电发电、太阳能发电及其输送设施及网络等工程	大型≥100MW	生态环境敏感区	1	1	2	1
	海底管道、海底电（光）缆工程	海上和海底电（光）缆等工程	长度＞100km		1	1	1	1
海上风电工程环境影响评价技术规范	海上风电项目	海上风电机组工程	大型≥100MW	生态环境敏感区	1	1	1	1
		海底电缆工程	长度≥100km		1	1	1	1
综合判定评价等级					1	1	1	1

（2）环境风险

参照《建设项目环境风险评价技术导则》，本项目施工期及运行期均存在船舶事故溢油风险，燃油泄漏风险，涉及可燃、易燃危险性物质，根据该危险物质的临界量为2500t，结合本工程船舶类型和可能发生事故溢油量，综合判定风险评价等级为简单分析。

（3）电磁环境

本工程风电机组输出直流电转换为交流电后升压输出至海上升压站，风电机组交流电输出电压为35kV，机组至升压站集电海缆电压等级为35kV，海上升压站主变为 35/220kV，送出电缆为 220kV。根据《电磁环境控制限值》（GB8702-2014），100kV 以下电压等级的交流输变电设施产生的电场、磁场、电磁场的设施属于免于管理范围，故本次仅对升压站及 220kV 送出线路电磁环境影响评价等级进行判定。根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》，其电磁环境评价等级为二级，见表 1.4-4。

表 1.4-4 海上风电电磁环境影响评价等级判据

电流类型	电压等级	工程类型	条件	评价工作等级
交流电	220~330kV	输电线路	海底电缆	三级
		升压变电站	户外式	二级
综合判定评价等级				二级

（4）大气环境、声环境

工程位于近岸海域，风电场所在海域无声环境、大气环境敏感目标，环境影响小，因此评价中仅对大气环境、声环境仅进行简要分析，重点对水下声环境影响进行预测评价。

1.4.2.2 陆域部分

（1）电磁环境

本项目 220KV 输电线（海上登陆点至集控中心段）为地下电缆，出 1 回接 500kV 升压变再通过 500kV 架空线路接入系统变电站；500kV 变压装置等布置在户外，其他电器设备布置在室内，根据《环境影响评价技术导则输变电工程》（HJ24-2014），本工程的集控中心的电磁环境影响评价工作等级为一级，输电线路的电磁环境影响评价工作等级为三级，详见表 1.4-5。

表 1.4-5 陆域工程电磁环境影响评价工作等级

分类	电压等级	工程	条件	评价范围	评价工作等级
交流	500KV	集控中心	户外式	站界外 50m	一级
	220~330KV	输电线路	地下电缆、架空线	架空线路：边导线地面投影外两侧各 50m； 地下电缆：电缆管廊两侧边缘各外延 5m（水平距离）	三级
	综合判定评价等级				一级

（2）声环境

根据《汕尾市环境保护规划纲要（2008-2020）》中的噪声环境功能区划及《声环境质量标准》（GB3096-2008）中关于乡村声环境功能区的要求，执行《声环境质量标准》表 1 中 1 类标准。根据《环境影响评价技术导则输变电工程》（HJ24-2014）和《环境影响评价技术导则声环境》（HJ2.4-2009）规定，建设项目所处的声环境功能区为 GB3096 规定的 1 类、2 类地区，或建设项目建设前后评价范围内敏感目标噪声级增高量达 3～5dB(A) [含 5dB(A)] ，或受噪声影响人口数量增加较多时，按二级评价。

（3）地表水环境

本项目施工期废水极少，经隔油、沉淀处理后回用生产、洒水，生活污水经隔油、临时污水处理设施处理后回用洒水；运行期污水经地埋式污水处理设施处理后用于站区绿化，不外排。根根据《环境影响评价技术导则 地表水环境》（HJ/T2.3-2018），本工程废水主要是站区工作人员生活污水，污染因子简单（主要是 COD、BOD_5、NH_3-N），对本工程的水环境影响进行一般性分析，本工程的地表水环境影响评价工作等级为三级。

（4）陆域生态环境

本工程永久、临时占地区域主要为农用地，林地，分布植被为灌草、少量乔木、果树、蔬菜等，为一般区域，不涉及特殊生态敏感区和重要生态敏感区，总计占地 4.6686hm^2，远小于 2km^2，因此，本工程的生态环境影响评价工作等级三级，判定情况见表 1.4-6。

表 1.4-6 本工程陆域生态环境影响评价等级判定

影响区域生态敏感性	工程占地范围
	面积≤2km^2，长度≤50km
一般区域	三级

1.5 评价范围与评价重点

1.5.1 评价范围

1.5.1.1 海域部分

本次环评以项目可能影响到的海域范围为主，同时综合考虑根据该工程特点、污染物特性、污染物种类以及承受的载体。根据《海洋工程环境影响评价技术导则》、《海上风电工程环境影响评价技术规范》的规定，各单项环境影响要素

评价范围如下：

（1）海洋水文动力、水质、沉积物、海洋生态、地形地貌与冲淤环境

海洋水文动力：一级评价，垂向距离一般不小于 5km，纵向距离不小于一个潮周期内水质点可能到达的最大水平距离的两倍；

海洋水质：一级评价，应能覆盖建设项目的环境影响所及区域，并能充分满足环境影响评价与预测的要求。以风电机组和海上升压站工程外缘线为起点向外扩展 15km，同时海底电缆沿垂直海底管线路由方向从管线外缘向两侧扩展不少于 5km；

海洋沉积物：一级评价，应将项目可能影响海洋沉积物的区域包括在内，并能充分满足环境影响评价与预测的要求，与水质评价范围一致。

海洋生态环境：一级评价，以主要评价因子受影响方向的扩展距离确定，扩展距离不小于 8km～30km。

海洋地形地貌与冲淤环境：应包括工程可能的影响范围，一般应不小于水文动力评价范围，同时应满足建设项目地貌与冲淤环境特征的要求。

（2）电磁环境

电磁环境：二级评价，评价范围为升压站站界外及电缆两侧各外扩 40m 范围。

（3）水下噪声

水下噪声：重点分析，评价范围与海洋生态评价范围一致。

（4）环境风险

环境风险：根据该海区以往同类工程溢油漂移数值预测结果，并考虑到溢油应急反应时间以及海上应急作业时间，取距风机及海缆路由周围 30km 范围内海域作为溢油事故对海洋环境影响的重点评价范围。

根据上述原则，确定本次环境影响评价范围为：以风电机组和海上升压站外缘线为起点向外扩展 15km，向西涉及碣石湾海马海洋自然保护区，延伸至保护区边界，向北与自然岸线围起的近似矩形的约 3100km^2 海域。

工程海域评价范围见图 1.5-1，控制坐标见表 1.5-1。

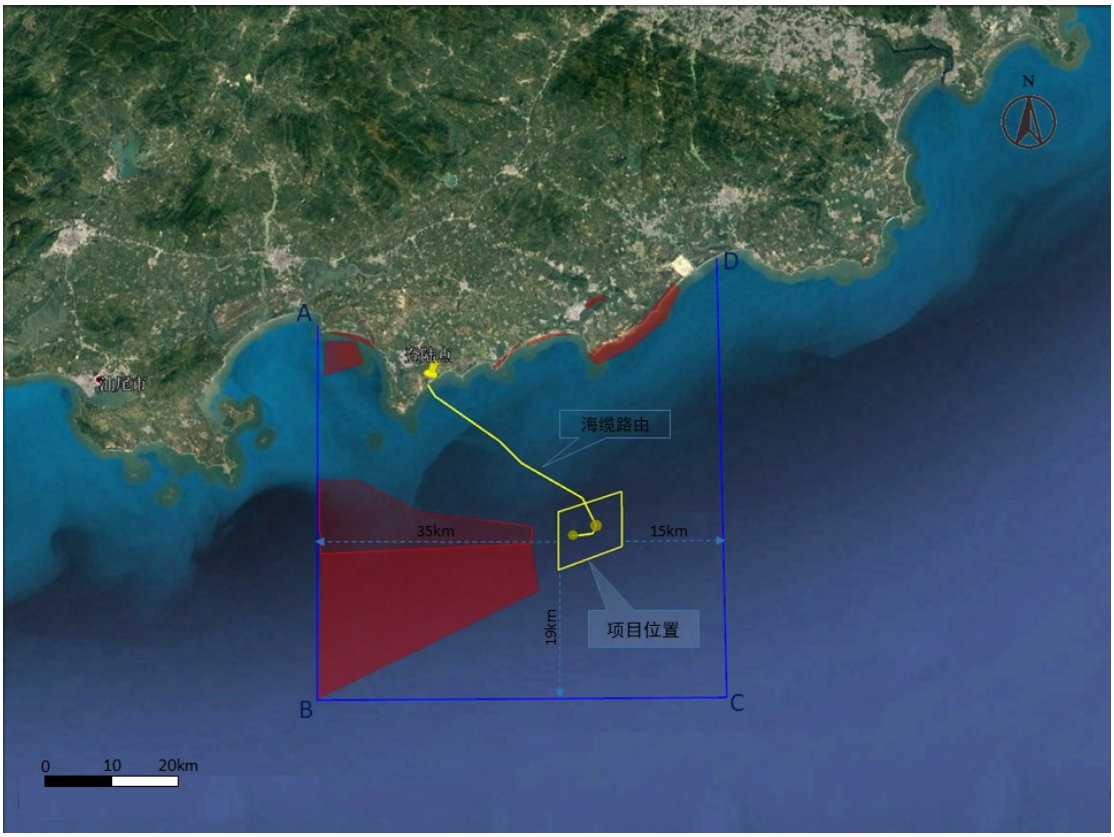


图 1.5-1 本项目海域评价范围示意图

表 1.5-1 评价范围控制点坐标一览表

控制点	东经	北纬
A	115°41'45.30"	22°51'34.57"
B	115°41'47.85"	22°21'32.96"
C	116°17'17.36"	22°21'49.87"
D	116°16'21.19"	22°57'06.02"

1.5.1.2 陆域部分

本工程陆域部分各要素环境影响评价范围见表 1.5-2。

表 1.5-2 陆域环境影响评价范围

环境要素	环境评价范围	依据
电磁环境	集控中心站界外 50m 范围， 架空线路：边导线地面投影外两侧各 50m； 地下电缆：电缆管廊两侧边缘各外延 5m（水平距离）	《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2014）
声环境	220kV 陆上集控中心：站界外 200m； 220kV 地下电缆：不评价 架空线路：边导线地面投影外两侧各 50m	《环境影响评价导则 声环境》（HJ2.4-2009）/ 《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2014）
生态环境	变电站：站场围墙外 500m 内； 架空线：边导线地面投影外两侧各 300m 内的带状区域	《环境影响评价技术导则 生态影响》（HJ19-2011） 《环境影响评价技术导则 输变电工程》（HJ24-2014）

1.5.2 评价重点

根据本工程特点和周围环境状况，本工程环境评价重点为：

（1）工程建设与海洋功能区划和其他相关规划的符合性；

（2）风机基础、升压站基础及电缆铺设施工对海水水质、生态、渔业资源的影响；

（3）区域规划风机场群对区域海洋水文动力、冲淤环境及海洋生物栖息和洄游、鸟类栖息生境的影响；

（4）水上噪声、水下噪声、电磁辐射对海洋动物生境的影响；

（5）项目建设对周围海域开发利用活动的影响；

（6）溢油环境事故风险分析评价；

（7）环境保护对策措施。

1.6 环境保护目标和环境敏感目标

1.6.1 环境保护目标

1.6.1.1 海域部分

本项目海上风电场位于珠海-潮州近海农渔业区、田尾山—石碑山农渔业区部分海域，根据功能区划，海洋环境保护对象包括海水水质、沉积物、海洋生态（包括渔业资源），具体保护目标如下：

（1）控制工程实施对工程及周边海域海洋生态环境（包括鸟类、海马等海洋动物）的影响，确保海域生态环境质量不因本工程建设而变劣，确保工程区域周围鸟类种类和海马等海洋动物生境条件等不因本工程建设而发生明显变化；

（2）控制工程实施对工程及周边海域渔业资源的影响，保护重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道。

（3）控制海缆铺设对区域航道通航安全的影响；

（4）控制海缆登陆工程对近岸养殖区及砂质海岸线、基岩海岸线和近岸海域生态环境的影响。

（5）确保项目实施后工程海域水质保持现有类别，不因工程建设而变劣。

（6）确保项目实施后工程海域沉积物质量保持现有类别，不因工程建设而变劣。

1.6.1.2 陆域部分

（1）电磁环境

保护对象：500kV 变电站站界外 50m、边导线地面投影外两侧各 50m、电缆管廊两侧边缘各外延 5m，评价范围内无公众居住、工作或学习的建筑物。

保护要求：敏感目标公众曝露的工频电场满足《电磁环境控制限值》(GB8702-2014)中 4kV/m 的控制限值，工频磁感应强度满足 100μT 的控制限值。架空输电线路线下的耕地、园地、养殖水面、道路等场所，电场强度满足 10kV/m 的控制限值。

（2）声环境

保护对象：500kV 变电站围墙外 200m 及架空线路边导线地面投影外两侧各 50m 范围内无声环境敏感目标。

保护要求：变电站建成后，周围声环境质量执行《声环境质量标准》(GB3096-2008)2 类标准，厂界满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008)1 类功能区排放标准。

（3）生态环境

保护对象：站场围墙外 500m 内及边导线地面投影外两侧各 300m 内的带状区域植被、水土保持设施等。

保护要求：尽量减少对工程临时占地、拟建线路下方植被的影响，目前区域未发现珍稀保护动植物，如涉及珍稀保护动植物，应采取措施予以保护；尽可能减少耕地占用；减少工程建设新增水土流失量，恢复工程区水土保持设施，使土壤侵蚀强度下降到工程建设前水平。

（4）水环境

保护对象：周围海域等。

保护要求：工程施工期及运行期均不向外排放施工废水和生活污水，施工期施工废水经隔油、沉淀后回用，生活污水经隔油、临时污水处理设施处理后回用洒水；运行期生活污水经站区地埋式生活污水处理装置处理后回用于站区绿化，不外排。

1.6.2 环境敏感目标

本项目建设涉及的环境敏感目标见表 1.6-1 和图 1.6-1~1.6-4。

表 1.6-1 本工程环境敏感目标一览表

类型	名称	位置关系	保护对象
海洋自然保护区	碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区（碣石湾近海海洋保护区）	西，4.1km	海马生物资源及海域生态环境
珍稀濒危物种集中分布区	碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区	西，4.3km	
重要渔业海域	金厢重要渔业海域限制类红线区	西北，10.1km	渔业资源及海域生态环境
重要砂质岸线及邻近海域	金厢重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	西北，9.3km	砂质岸线
	湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	北，8.2km	沙滩
	甲子重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	北，13.6km	沙滩
	东海重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	北，18.5km	沙滩
重要河口生态系统	螯江重要河口生态系统限制类红线区	北，23.5km	河口生态系统
海洋环境功能区划	珠海-潮州近海农渔业区	占用	重要渔业品种的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道
	田尾山-石碑山农渔业区	占用	甲子屿、港寮湾礁盘生态系统
	金厢旅游休闲娱乐区	西北，9.3km	近岸海域生态环境
南海区渔业水域保护区	南海北部幼鱼繁育场保护区	占用	渔业资源
	幼鱼幼虾保护区	占用	渔业资源

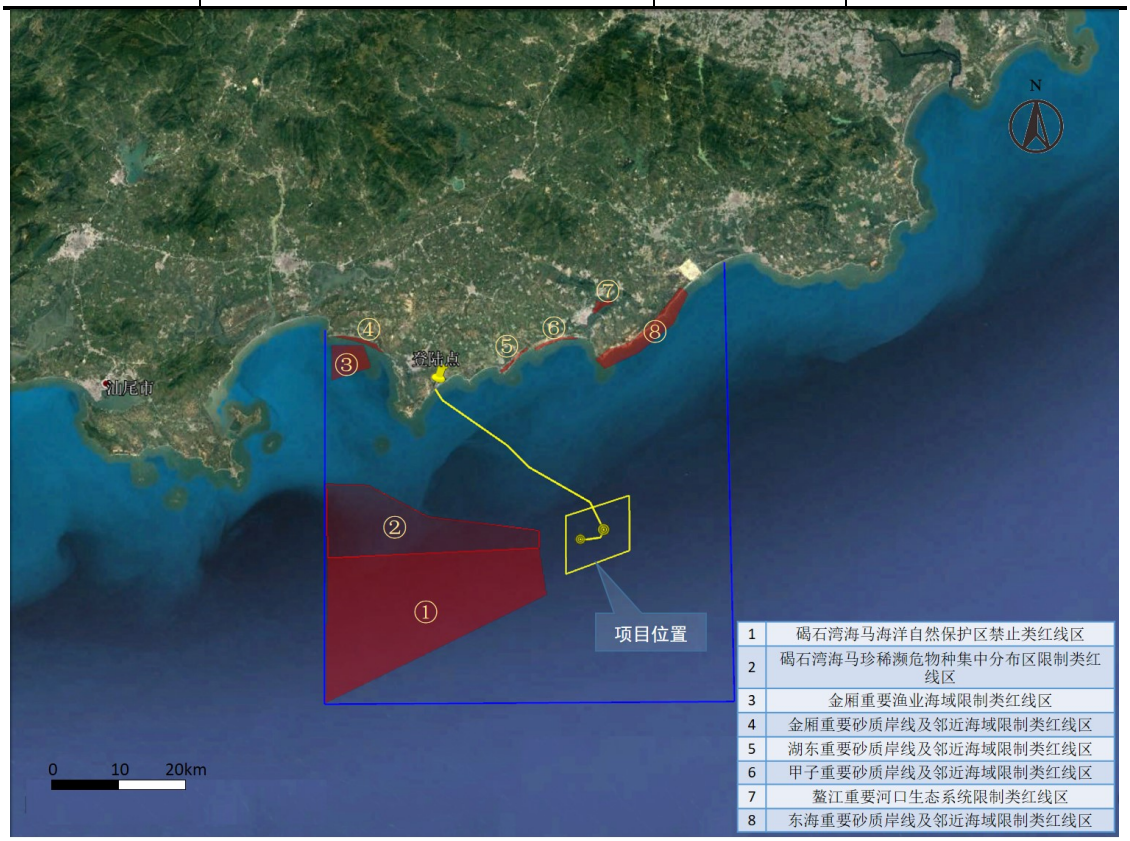


图 1.6-1 环境敏感目标分布图



图 1.6-2 环境敏感目标分布图（海洋环境功能区划）

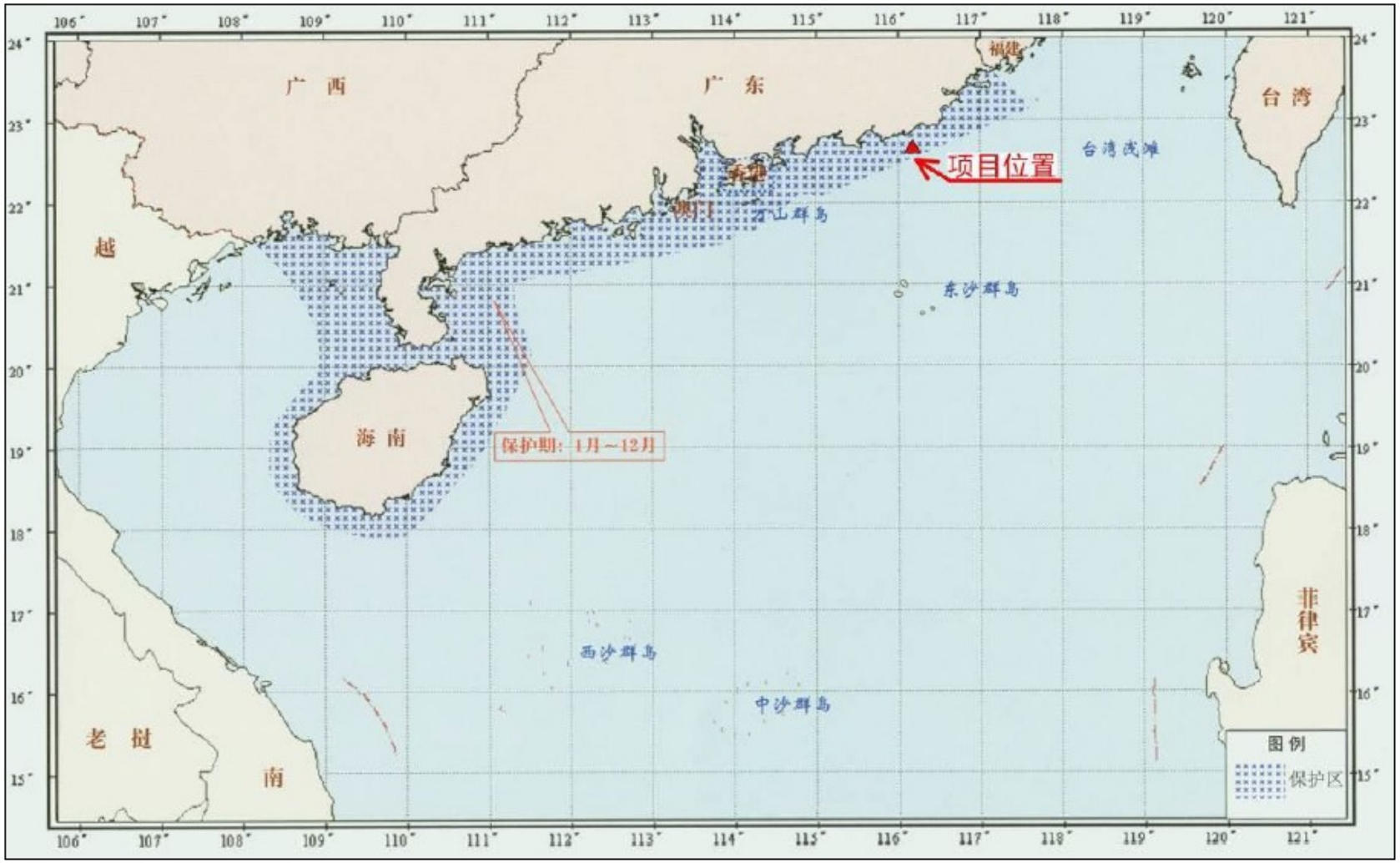


图 1.6-3 环境敏感目标分布图（南海北部幼鱼繁育场保护区）

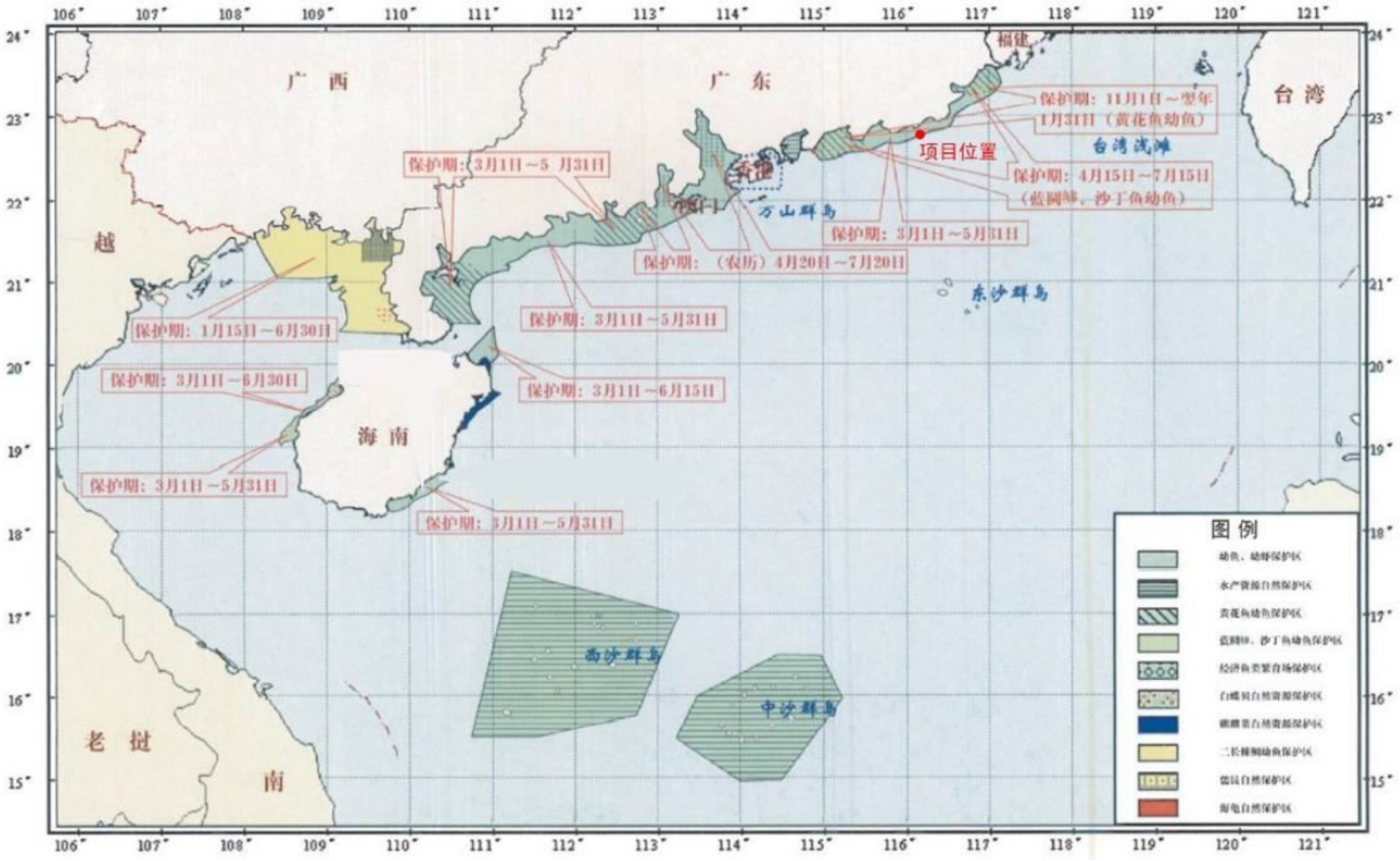


图 1.6-4 环境敏感目标分布图（幼鱼幼虾保护区）

2 工程概况

2.1 建设项目名称、性质、工程与投资规模及地理位置

项目名称：中广核汕尾甲子一海上风电场项目

项目性质：新建

地理位置：本项目位于广东省汕尾市陆丰湖东镇南侧海域（见图 2.1-1）。外围风机包络面积约 78.97km^2，风场场址水深在 33m~39m 之间，距离陆地最近距离约 25km。海缆路由区域水深范围为 0~33m。风电场场址坐标见表 2.1-1。陆上集控中心位于广东省汕尾市陆丰市碣石镇，距离海边最近距离约为 130m，集控中心地理位置见图 2.1-2。



图 2.1-1 项目风场场址地理位置图

表 2.1-1 项目风场场址坐标

角点	东经	北纬
1	116.044°	22.611°
2	116.044°	22.534°
3	116.136°	22.565°
4	116.136°	22.639°

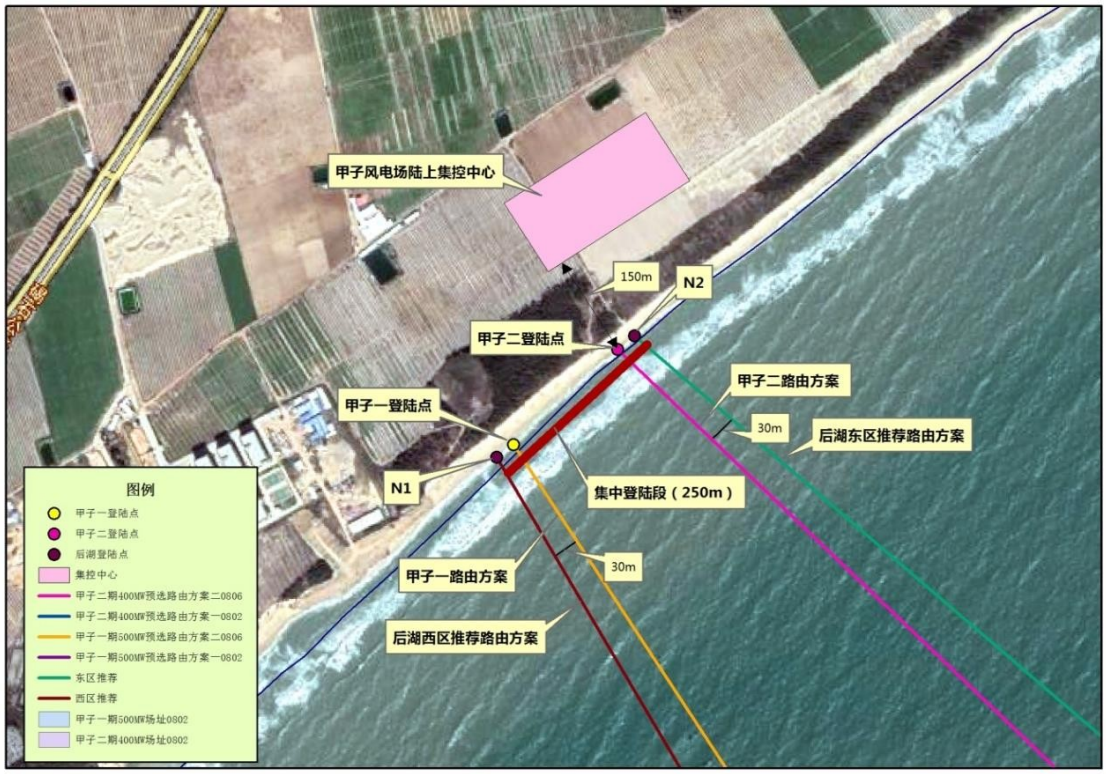


图 2.1-2 集控中心地理位置图

投资规模：风电场工程静态投资 960860 万元，风电场工程动态总投资 1025168 万元。

工程规模：本项目规划装机容量为 500MW，拟布置 91 台 5.5MW 风电机组，同时配套建设 2 座 220kV 海上升压站和陆上集控中心（甲子一、二项目共用）。风电机组发出的电能通过 20 回 5kV 集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆输送到陆上集控中心。考虑尾流损失后年发电量为 2164.3GWh，年上网电量为 1543.12GWh，容量系数 35.18%，年等效满负荷小时数为 3083h。

项目海上工程内容见表 2.1-2，陆上集控中心工程内容见表 2.1-2。

表 2.1-2 海上工程组成一览表

工程组成		数量/规模	说明
主体工程	风电机组工程	91 台	海上工程
	海上升压站工程	2 座	海上工程
	220kV 海缆敷设	37.57km	海上工程，由海上升压站连接至陆上
	35kV 海缆敷设	20 回	连接风机与海上升压站
	陆上集控中心	1 处	陆上工程
	控制保护设备及安装工程	——	包括：防腐蚀、防冲刷、靠船和防撞、空中导航等
	施工作业区	4 处	海上升压站施工区

			220kV 送出海缆施工区
			陆上集控中心施工区
			钢结构加工制作区
临辅工程	施工基地	2 处	施工主基地：临时用地，设在宝丽华甲湖湾电厂的重件码头和堆场
			施工辅助基地：布置与集控中心施工相关的生产及生活临时设施，辅助办公、零星材料堆放、半成品加工等。
	施工供水	——	施工基地可从附近市政管网接引；海上施工区的用水采用海上补给船进行补给。
	施工供电	——	施工基地从现有变电站接引或附近的电源接口直接接驳；海上施工采用船舶自备发电机或设置移动式柴油发电机。
配套工程	通信、消防、电气	——	风机组、海上升压站和陆上集控中心统一布置

表 2.1-3 陆上工程建设内容一览表

建设内容		建设规模
主体工程		1、主变容量及规模：陆上控制中心设置一台 500kV 1000MVA 的自耦升压变压器。 2、电压出线回路：220kV 配电装置采用双母线接线。本期 220kV 配电装置共 4 进 1 出，4 回 220kV 海缆进线，出 1 回接 500kV 变压器升压后送出。 3、无功补偿及过电压：本期考虑在陆上集控中心 220kV 海缆侧配置 4 套高压并联电抗器，每套额定容量为±70Mvar，用于无功补偿及工频过电压抑制；同时配置 4 套静止无功发生器（SVG），每套额定容量为±60Mvar。风场运行期间，由 SVG 根据 PCC 点的无功变化进行动态补偿。
辅助工程		电气控制楼、运维楼、宿舍楼（包含食堂）、维修楼等。
公用工程	供水系统	陆上集控中心水源采用市政自来水，设计拟从市政管网引接一根 DN100 入户管，分别接至变频生活给水设备和消防水池。
	排水工程	站内排水采用完全分流制。雨水全部自流排至站外市政雨水管网，生活污水经地埋式污水处理设施处理后用于站区绿化，不外排。
	环保工程	事故油池（200m^3）、生活污水处理站、绿化等。

2.2 项目总体布置

2.2.1 海上工程总体布置

本工程共在海上布置 91 台 5.5MW 的风电机组，装机容量为 500MW，配套建设一座 220kV 400MW 海上升压站和一座 220kV 100MW 海上升压站。风电机组发出电能通过 35kV 集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆接入位于陆上的集控中心。

总平面布置见图 2.2-1。

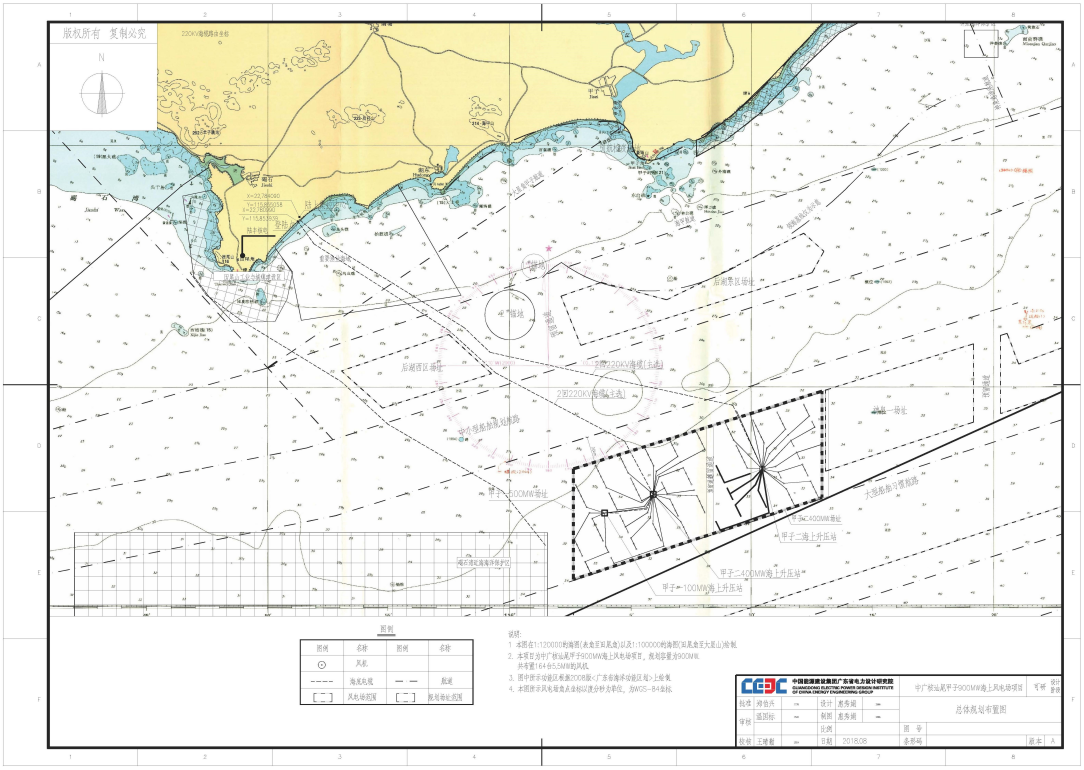


图 2.2-1 项目总体规划布置图

2.2.2 陆上集控中心总体布置

（1）集控中站区总平面布置

规划总用地面积 4.6686hm^2（包括甲子二以及后湖项目用地），其中后湖项目用地范围 2.8362hm^2 、甲子一二项目用地范围 1.8324hm^2 ，其中围墙内用地面积为 4.1969hm^2，基地内设置有电气控制楼、运维楼、宿舍楼（包含食堂）、维修楼以及相应的水处理设施等。

本项目集控中心与甲子二、后湖项目合建，集控中心用地呈矩形，东西方向为长边。根据接入系统方案，本工程出线向北。总平面布置将站址分为生产区及生活办公区两部分，站址东侧为生产区，最东侧位置布置电气控制楼、主变及电抗器区，在其西侧布置备品备件库、油脂库、水泵房、水池以及污水处理设施、维修楼、油品实验室；站址西侧为运维楼、宿舍楼（包含食堂）以及生活娱乐设施。

集控中心设置两个出入口，均位于站址北侧，出入口与站址北侧现有土路连接，该现有土路与北侧碣田公路通过西侧道路衔接。运输路线为碣田公路——西

侧道路——北侧土路——新建进站道路——站址内道路。因北侧土路做法、宽度及转弯半径等均不满足生产及工艺运输需求，所以需对其进行改扩建为 5.0m 宽、两边各设 0.5m 路肩的城市型混凝土道路，长度约 570m。新建进站道路长度约 150m，宽 5.0m。站内道路宽采用 5.0m，站内道路转弯半径采用 9.0m。

（2）站区竖向布置

本工程区域百年一遇最高潮水位为 3.30m。根据站区功能分区以及与北侧道路的衔接。本工程场地采用平坡布置，现状标高介于 7.90～12.3m 之间，基于厂区土石方平衡的考虑，站址室外地坪设计标高暂定为 9.9 m。在站址围墙外设置边坡，放坡至自然地面，边坡高度介于 1~2m 之间，采取自然放坡的方式。

站内道路均采用城市型，路面设有雨水口，道路断面考虑为单向横坡道路，较低侧设有雨水管道，场地及道路雨水经路侧雨水口排入雨水管道。雨水管道的设计原则是采用自流排水，取短捷路线。

（3）电气设备布置

陆上集控中心按甲子一、甲子二、后湖项目统一建设考虑设一座电气综合楼，采用双层布置，设置中压配电室、无功补偿设备间、柴油机房、低压配电室、二次设备间、通信机房、GIS 室、控制室。另设置泵房等辅助生产建构筑物。

高压电抗器和 500kV 主变采用户外布置。

500kV 及 220kV 送出线路为架空出线，220kV 海上风电进线及 35kV 各出线回路均采用电缆进出线。

2.3 项目建设方案

2.3.1 工程设计标准

本工程参照《风电场工程等级划分及设计安全标准》（FD002-2007）有关规定，按照装机容量划分，工程规模属于大（1）型，工程等别为 I 等。

本项目风机基础的潮水设计标准为重现期 50 年，本工程风机基础的海况（海洋环境荷载或荷载效应）设计标准为重现期 50 年。根据《海上风力发电场设计规范》的规定，考虑建筑物的重要性和建筑物破坏后果的严重性，并考虑与本工程风机基础的设计标准相匹配，本工程海上升压站结构设计使用年限为 50 年，结构安全等级为一级。海上升压站环境荷载设计标准取 100 年一遇。抗震设防类别为重点设防类（乙类）。

2.3.2 风电机组

2.3.2.1 风机机型

本工程现阶段设计推荐风机型号为 MySE5.5-155，风力发电机机组额定功率为 5.5MW，功率调节方式为变桨变速，机组主要参数见表 2.3-1。

表 2.3-1 推荐风机机型主要参数

序号	部件	参数
1	额定功率（MW）	5.5
2	台数（台）	91
3	安全风速（m/s）	70
4	预装轮毂高度（m）	100
5	叶轮直径（m）	158
6	理论年发电量（GWh）	2489.14
7	净发电量（GWh）	2164.30
8	平均尾流损失率（%）	13.03
9	其它折减率（%）	71.3
10	年上网电量（GWh）	1543.12
11	满发小时数（h）	3083
12	容量系数（%）	35.18

2.3.2.2 风机平面布置

本工程风机布置综合考虑密度、风电机组利用率、湍流、叶片污染、气候影响停机、场用电等因素，推荐机型为 5.5MW 风力发电机组变桨变速机型，采用阵列式布置，风机外围包络海域面积约为 78.97km^2，规划容量为 500MW。风电机组布置见图 2.3-1 和 2.3-2。一级轴间距 1937.5m，二级轴间距 1937.5m，相邻各风机之间相隔约 468.7m，前后排风机之间相隔 1879.9m。

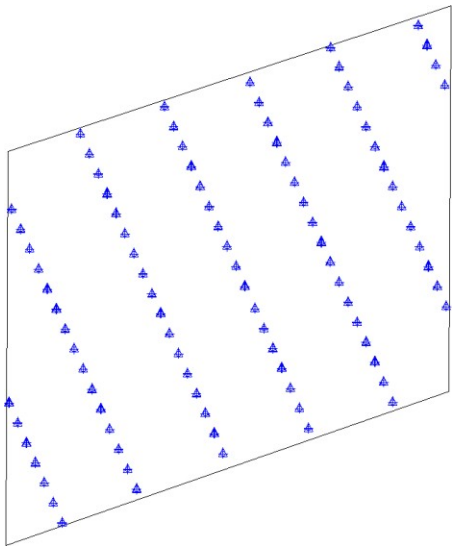


图 2.3-1 项目风电场风机布置示意图

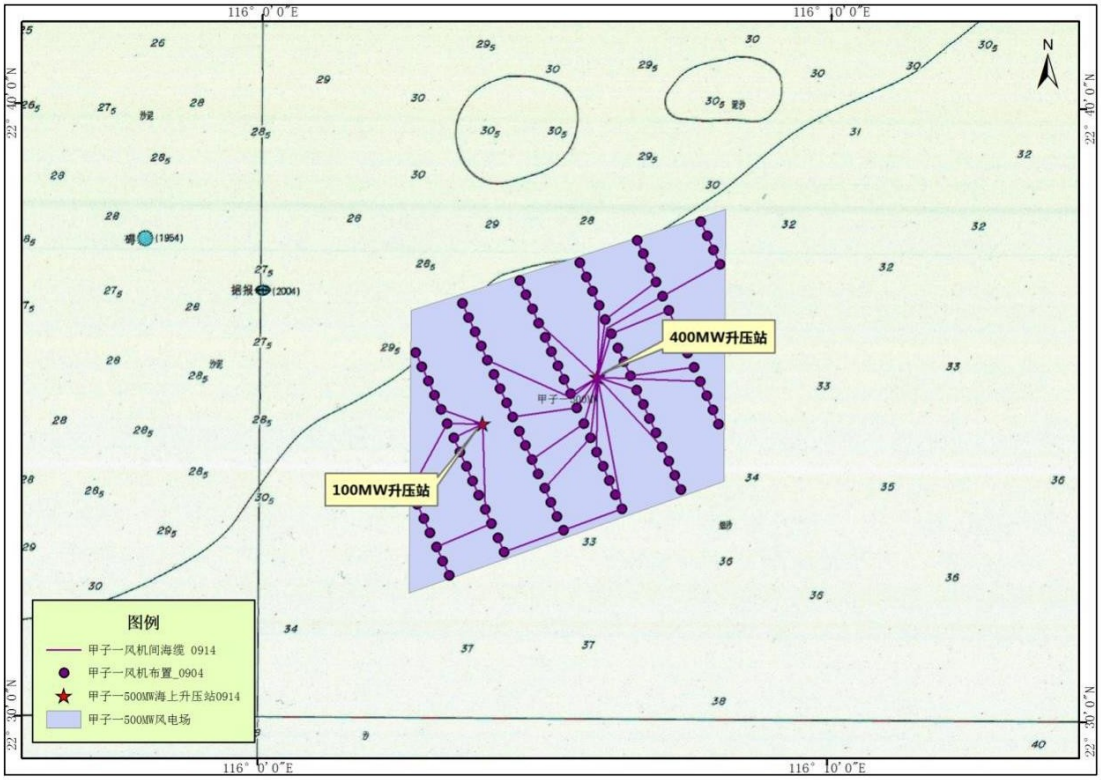


图 2.3-2 风机及升压站布设图

2.3.2.3 风机基础

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，桩型采用钢管桩，现阶段首推四桩导管架基础方案。

本工程四桩导管架基础设计方案为：导管架桩顶标高为-28.72m，结合风机基础平台底高程以及国内外同类工程过渡段尺寸（高约 3~7 米），导管架顶法兰标高为 24m。灌浆连接段长度为 6 米。用 4 根钢管桩定位于海底，4 根桩呈正方形均匀布设，上部导管架结构插入到钢管桩里，通过水下灌浆，构成组合式基础。导管架承受波浪、海流荷载、风机荷载及风机塔架传递的风荷载，并将荷载传递给 4 根垂直打入海底的钢管桩。根据现阶段地质资料以及结构计算成果，桩径 2.6m，桩中心距为 28m，整个风电场的平均钢管桩桩长约为 92.3 m，平均入土深度约为 86 m。四桩导管架基础方案结构布置详见图 2.3-3 所示。

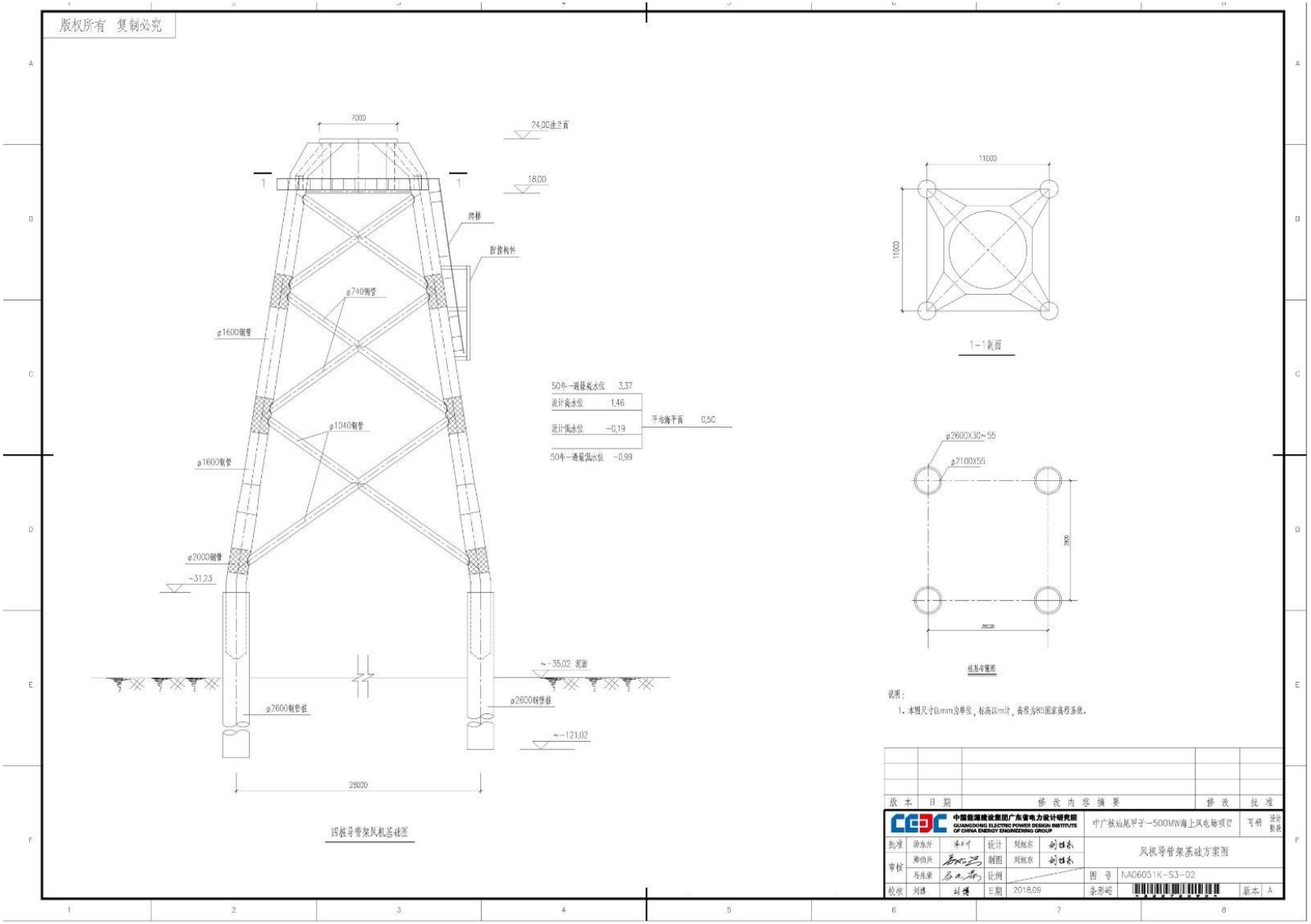


图 2.3-3 风机导管架基础方案图

2.3.2.4 电气设备

本工程总装机容量 500MW，建设 91 台 5.5MW 风电机组，采用变速变桨距风电机组，每台风电机组配置一套升压设备。风机集电线路共 20 回，电压等级为 35kV，采用链形拓扑结构。

2.3.2.5 公用工程

（1）防腐工程

考虑到基础施工可能采用的各种防腐蚀设计以及各区域腐蚀严重性的不同，确定风电场各腐蚀环境分区如下：

大气区：▽12.30m 以上区域；

浪溅、水位变动区：▽12.30m~▽-8.50m 区域；

水下区及泥下区：▽-8.50m 以下区域。

本工程风机基础防腐蚀设计使用年限按 27 年考虑。若 27 年后风机基础还需运行，需对其更换牺牲阳极块，并对重防腐涂层加强维护或补涂新的防腐涂层。根据国内外海洋工程、港口工程防腐蚀设计经验，工程钢管桩基础采用物理防护与电化学保护的联合保护方式，同时考虑预留腐蚀裕量。

大气区的钢结构单面腐蚀裕量为 1.00mm，浪溅区（包含了水位变动区）为 5mm，水下区和泥下区为 0.8mm。

表 2.3-2 四桩导管架基础主体结构防腐蚀方案

防腐蚀区域	配套方案	干膜厚度 DFT（μm）	总干膜厚度 TDFT（μm）
大气区	环氧富锌底漆	2×50	860
	环氧云铁中间漆或环氧玻璃鳞片中间漆	2×330	
	氟碳涂料（或聚氨酯面漆）	2×50	
浪溅区（包括水位变动区）	环氧玻璃鳞片中间漆	2×500	1060
	聚硅氧烷面漆	2×30	
水下区	环氧重型防腐涂料	2×350	700

（2）消防工程

风力发电机组防火系统包括火灾报警系统、灭火系统、灭火器等。主要保护场所是机舱、塔筒、轮毂，其中机舱的火灾危险性最高，是重点保护对象。本工程风电机组采用悬挂式超细干粉自动灭火系统、移动式灭火器等灭火措施。

本工程将机舱作为一个完整的防火分区，电气控制柜作为单独的防火单元。

在电气控制柜内部安装感烟探测器或感温探测器。在风机机舱顶部、塔筒顶部安装感烟探测器，在刹车盘片附近安装火焰探测器，由火灾报警信号启动灭火系统。在机舱、塔架采用悬挂式超细干粉自动灭火系统。系统为无管网非储压形式，灭火装置内置固态产气剂，在感温启动装置作用下会迅速产生大量气体，将超细干粉灭火剂瞬间喷出，喷射时间及灭火时间均不大于 1s。此外，在每台风力发电机舱和底部塔内至少分别放置 2 台 MF/ABC4 手提式磷酸铵盐干粉灭火器。

（3）防冲刷设计

海上风机基础常用的结构防冲刷处理方案有预留冲刷深度和采取防冲刷保护措施两种方法。其中，预留冲刷深度的办法可从结构设计方面解决冲刷造成的稳定、强度和变形的安全性影响，可靠性较高；防冲刷保护措施主要有在基础周围一定范围内抛块石、软排、尼龙布等。

根据基础选型推荐，本工程桩径范围为 2.4m～2.6m，得到桩周局部的最大冲刷坑深度约为 5.7m～6.4m。综合考虑工程区域整体冲刷和桩周局部冲刷的影响，结合附近其他工程经验，在结构计算时，采用的预留冲刷深度暂定为 1.5D。

（4）靠船和防撞设计

海上风机基础主要针对运维船只及可能的小型渔船进行防撞分析与设计，包括运维船只的正常操作靠泊和事故碰撞；对于比最大允许运维船舶更大的船舶的罕见巨大偶然碰撞，风机基础结构设计时并未考虑，一般通过采取相应的防撞安全措施，避免此类船舶撞击事故的发生。

2.3.3 海上升压站

2.3.3.1 升压站选址

考虑建筑物的重要性和建筑物破坏后果的严重性，并考虑与本工程风机基础的设计标准相匹配，本工程海上升压站结构设计使用年限为 50 年，结构安全等级为一级，推荐采用海上升压站—陆上集控中心（或陆上升压站）形式。

根据风电场接入系统方案，本项目新建两座 220kV 海上升压站，升压站建设规模分别为 400MW 和 100MW，升压站出两回海底电缆至陆上登陆点，接入新建陆上集控中心，经陆上集控中心就近送至变电网系统。

本项目水深 33m~39m，风电场规划总装机容量 500MW。从风电场集电线路角度考虑，本阶段设计海上升压站布置在整个风电场中部靠北的海域，该海域海底高程约为-38.0m。

2.3.3.2 升压站布置

海上升压站采用整体式布置，包括上部结构和下部结构。下部结构采用导管架型式，并设置了 4 根钢管桩。上部结构拟整体安装，即整个升压站包括其内部的电气设备在陆上建造、组装后整体运输和安装，本工程升压站暂不考虑布置直升机平台。本工程海上升压站底层甲板梁顶高程定为 21.00m。

（1）上部组块布置

400MW 海上升压站上部组块：采用三层布置，平面尺寸约为 39m×42m（不包含局部外挑吊装平台），顶层标高约 35m（不包括吊机），最高点距海平面约 37.5m 以上。上部结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成。上部组块主梁采用焊接 H 型钢 H1000、H900、H800 及热轧 H 型钢 HM600、HM450、HM350，次梁采用热轧 H 型钢 HN300、HN250 等。立柱采用 φ1800 钢管，两层主甲板间斜撑采用φ610 和φ377 钢管，底层甲板之上满铺 8mm 厚钢板，在立柱、撑杆与主梁交点处管节点用 Z 向钢钢材 DH36 加强。

100MW 海上升压站上部组块：采用三层布置，平面尺寸约为 30m×32m(不包含局部外挑吊装平台)。顶层标高约 35m(不包括吊机)，最高点距海平面约 37.5m 以上。上部结构由立柱、甲板、梁格和斜撑组成。上部组块主梁采用焊接 H 型钢 H1000、H900、H800 及热轧 H 型钢 HM600、HM450、HM350，次梁采用热轧 H 型钢 HN300、HN250 等。立柱采用 φ1200 钢管，两层主甲板间斜撑采用 φ610 和φ377 钢管，底层甲板之上满铺 8mm 厚钢板，在立柱、撑杆与主梁交点处管节点用 Z 向钢钢材 DH36 加强。

升压站上部组块舾装设计参考海上石油平台舾装。上部结构在陆上工厂制作， 完成焊接、涂装、电气设备安装调试等工序后运输至现场安装。整个上部结构在 结构、建筑、暖通、电气设备安装等施工完成并调试结束后整体吊装到升压站基础上。

（2）基础布置

400MW 海上升压站：导管架采用 4 腿导管架型式，导管架 4 个面的斜度约为 1:10。导管架顶标高 18m，底标高-39.7m。主导管下部采用 φ2400 钢管，上部采用 φ2000 钢管，成矩形布置，在标高-38.2m、-26.7m 处设水平 φ1200 钢管，-14.2m 处设水平φ1000 钢管，5.0m、15.1m 处设水平φ800 钢管及斜拉 φ900 钢管，导管架局部节点用钢材 DH36—Z35 加强。导管架上设靠船构件、登

船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等。钢管桩采用φ2800 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚为 35~70mm，桩长约为 89.6m，桩入泥约 78.0m。

100MW 海上升压站：导管架采用 4 腿导管架型式，导管架 4 个面的斜度约为 1：10。导管架顶标高 17m，底标高-34.35m。主导管采用 φ2000 钢管，成矩形布置，在标高-33.15m、-13.15m、3.25m、17.0m 处设水平 φ830 钢管及斜拉 φ830 钢管，导管架局部节点用钢材 DH36-Z35 加强。导管架上设靠船构件、登船平台等附属构件。导管架上设置靠船构件、登船平台以及牺牲阳极等。钢管桩采用φ2400 开口变壁厚钢管桩，共 4 根，壁厚为 35~70mm，桩长约为 78.7m，桩入泥约 70.0m。

钢管桩在陆上加工制作，用打桩船沉桩施工。

在海上升压站两侧沿导管架分别布置φ273mm 的 35kV 海缆保护 J 型套管和φ508mm 的 220kV 海缆保护 J 型套管。35kV 海缆和 220kV 海缆沿 J 型套管登入、登出海上升压站平台。电缆保护 J 型套管固定在导管架上，上部延伸到一层甲板，下面伸到泥面处，采用电缆柔性保护限制器固定。待钢管桩沉桩到位之后，导管架与钢管桩采用水下灌浆方式连接。

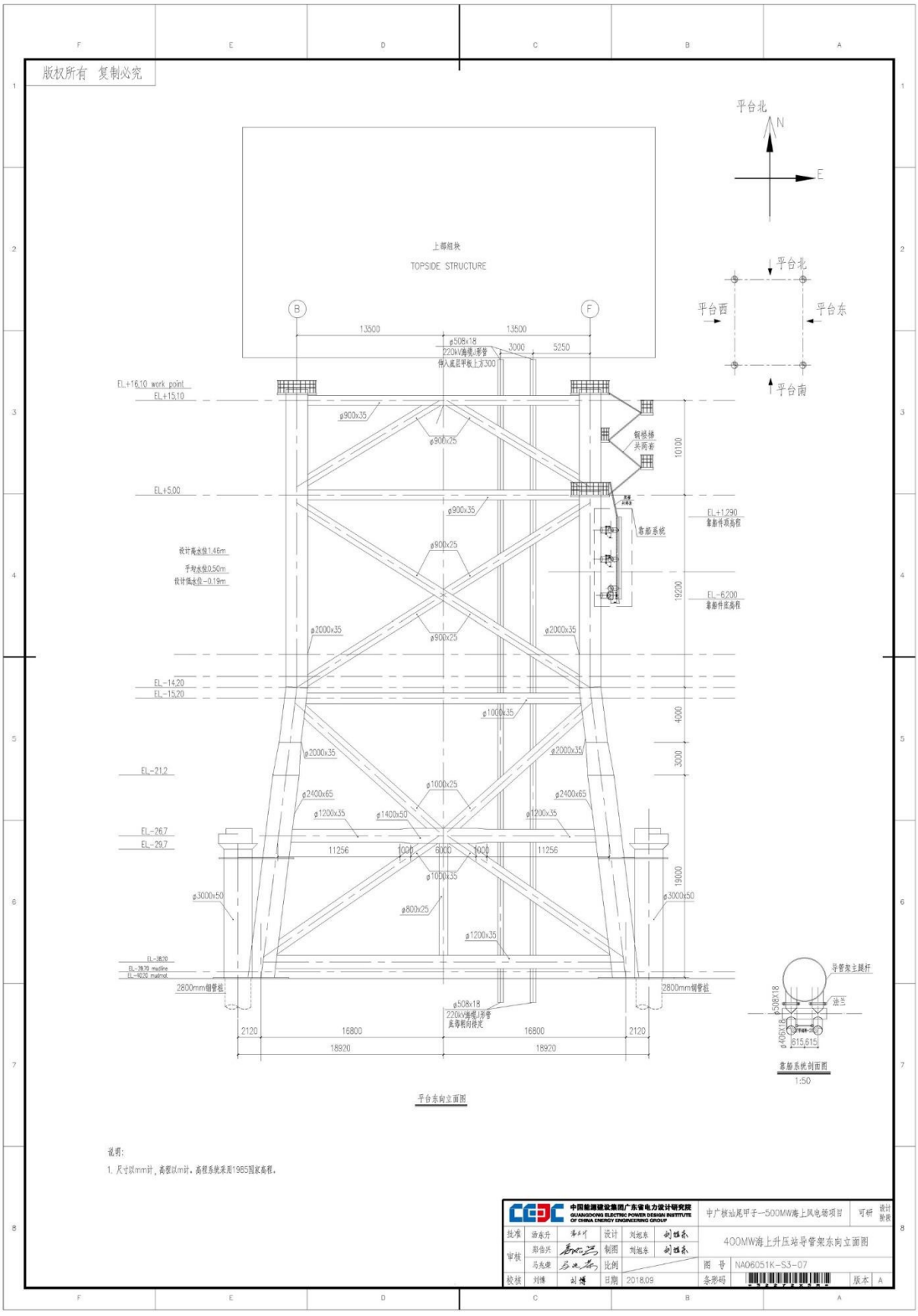


图 2.3-4 400MW 海上升压站基础导管架东向立面图

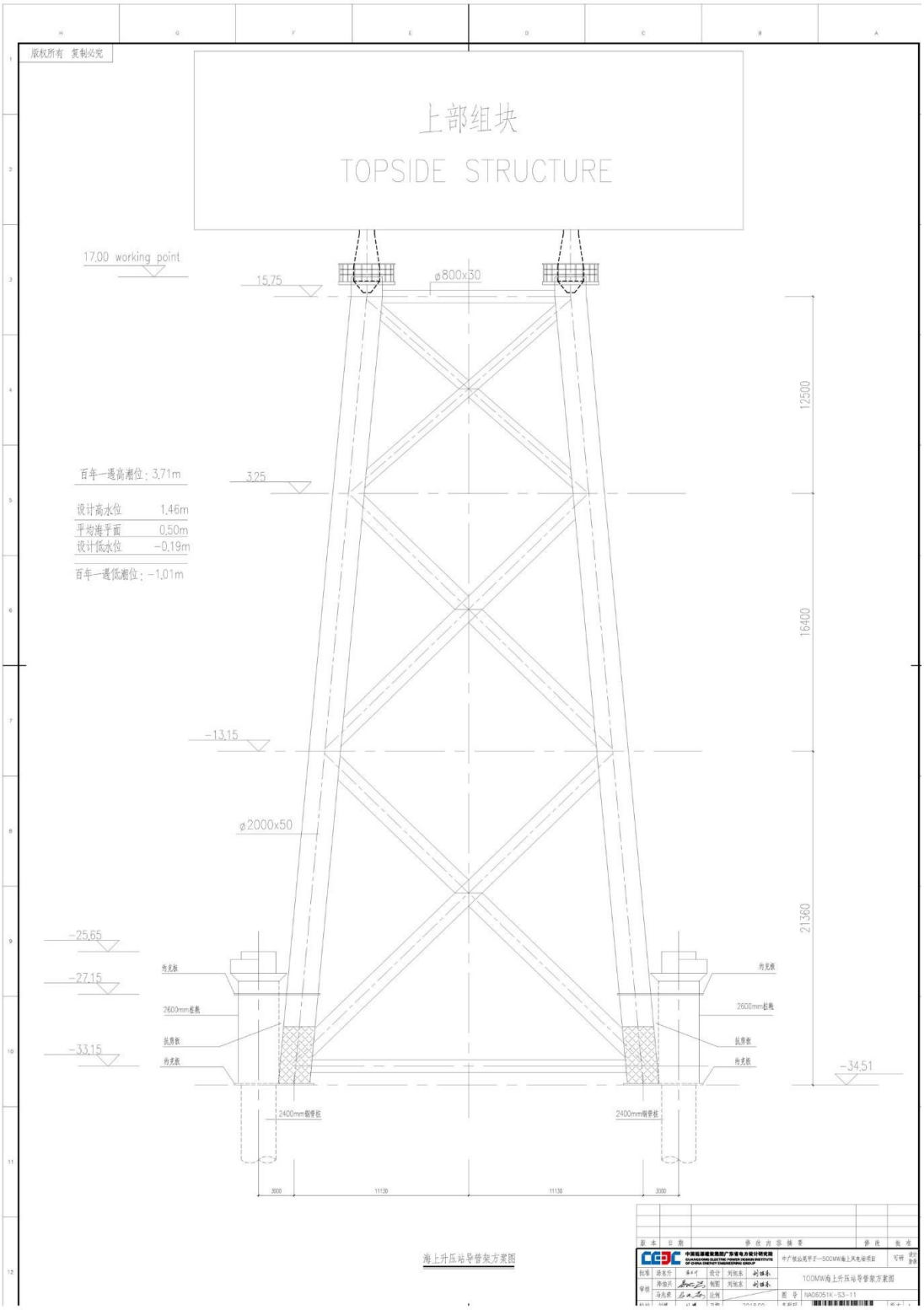


图 2.3-5 100MW 海上升压站基础导管架方案图

2.3.3.3 电气设备

本工程共设 2 座海上升压站，分别为 400MW 容量的 220kV 海上升压站和 100MW 容量的 220kV 海上升压站。

设一座 400MW 容量的 220kV 海上升压站，布置两台 220/35/35kV、容量为 240MVA 的主变压器，220kV 侧采用 3 进 2 出单母线接线；35kV 侧采用 4 段单母线接线，不同主变之间的母线进行联络；采用 2 回 220kV 三芯 3×800mm^2 XLPE 绝缘海底电缆送至陆上集控中心。陆上集控中心布置 220kV 高压配电装置，本项目采用 3 进 1 出双母线接线。

设一座 100MW 容量的 220kV 海上升压站，布置一台 220/35kV、容量为 120MVA 的主变压器，主变高压侧通过 1 回 220kV 三芯 3×400mm 2 XLPE 绝缘海底电缆连接至 400MW 海上升压站 220kV GIS，35kV 侧采用 1 段单母线接线。

本工程采用计算机监控，海上风电机组及其升压设备、海上升压站、陆上集控中心的监控系统作为整体统一规划设计。海上升压站按“无人值守”原则设计，在陆上集控中心设置集控室，实现对风电机组及升压设备、海上升压站和陆上集控中心主要电气设备的集中监视和控制。陆上集控中心甲子一、甲子二 900MW 项目合建，本项目拟新建 1 回 220kV 线路接入当地电网。

本工程 91 台 5.5MW 机组以 220kV 等级电压接入广东电网，根据有关调度规程，工程建成后由广东省中调调度，风电场实时远动信息送广东省中调/备调 EMS 系统和当地地调/备调 SCADA/EMS 系统，有关电度量送广东省电能计量中心。风电场关口计量点设置在风电场陆上集控中心 220kV 出线处。

2.3.3.4 公用工程

（1）防腐工程

本项目海上升压站基础防腐同风机基础防腐方案，钢管桩基础采用物理防护与电化学保护的联合保护方式。钢管桩基础水下区整体采用牺牲阳级保护，在大气区、浪溅区及水下区辅以长寿命防腐涂料进行防腐，牺牲阳极采用铝-锌-铟合金。

（2）消防工程

海上升压站根据不同的保护对象采用高压细水雾灭火系统、火探管式自动探火灭火装置、移动式灭火器等灭火措施。

本工程主变压器、柴油发电机室、配电室、柴油储罐、事故油罐、220kVGIS 等均采用高压细水雾灭火系统进行保护，高压细水雾水箱用水由陆上船运淡水提供。柜式电气设备（包括开关柜、低压配电柜、小电阻柜、导航盘、应急配电盘、

二次盘柜等）采用火探管式自动探火灭火装置，设备安装在电气盘柜旁侧或内侧。

根据海上升压站设备及房间布置情况，在平台走道、楼梯间、备品备件间、泵房等设置 MF/ABC4 手提式磷酸铵盐干粉灭火器，在电气房间设置 MT7 手提式二氧化碳灭火器，在含油场所设置推车式 MFT/ABC20 推车式水成膜泡沫灭火器。供运维人员在设备检修、维护时应急使用。

（3）给排水工程

给水：海上升压站按无人值守设计，平台生活用水采用船运淡水方式，供消防水箱补水或检修人员简单的生活用水。海上升压站采用船运淡水的供水方式，正常情况下，船舶通过自带的加压泵，将淡水输送至消防水泵房的消防水箱和临时休息室的生活水箱，在平台一层预留国际通岸接头供船舶接口使用，生活给水国际通岸接头 Dg50，消防给水国际通岸接头 Dg100。

排水：海上升压站排水系统分为雨水排水和含油排水两种。雨水排水系统主要排除海上升压站的天面及各层甲板汇集的雨水，该类水不会对海洋环境造成污染，可以直接排海。海上升压站含油废水来源于主变压器的事故排油，其排水性质呈周期性、间断性。主变压器事故排油时，通过排油管道排至事故集油罐，废油由船舶定期抽走外运。

事故油罐容积按高压细水雾灭火系统一次消防用水量与一台主变压全部油量之和来确定，约为 70m^3。事故油罐排油管采用钢管，焊接连接，管道须做好防盐雾腐蚀处理。

2.3.4 海底电缆

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 35kV 海底电缆和海上升压站与陆上集控中心之间的 220kV 海底电缆。推荐的海缆敷设方式为直埋方式。海缆登陆时，使用定向钻拖拉法穿越海岸埋设管道，再通过管道牵引海缆完成登陆，登陆后接入陆上集控中心。

（1）220kV 海缆

本项目 220kV 海底电缆是连陆主海缆，采用 2 回三芯 3×800mm 2XLPE 绝缘海底电缆，电缆连陆，电缆自身宽度 26cm，每根电缆之间安全间隔 50m。

（2）35kV 场内集电海缆

本项目 35kV 海底电缆为风机间的集电线路海缆，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 3×70～400mm^2

不等。

2.3.4.1 电缆布置

（1）集电海底电缆布置

集电海底电缆采用 35kV 三芯电缆，集电系统接线拓扑布局采用链形布局。风机按 20 个回路布置，各个回路考虑功率分布平衡，连接 4~5 台风机，风机连接电缆不交叉重叠。详见图 2.3-7。

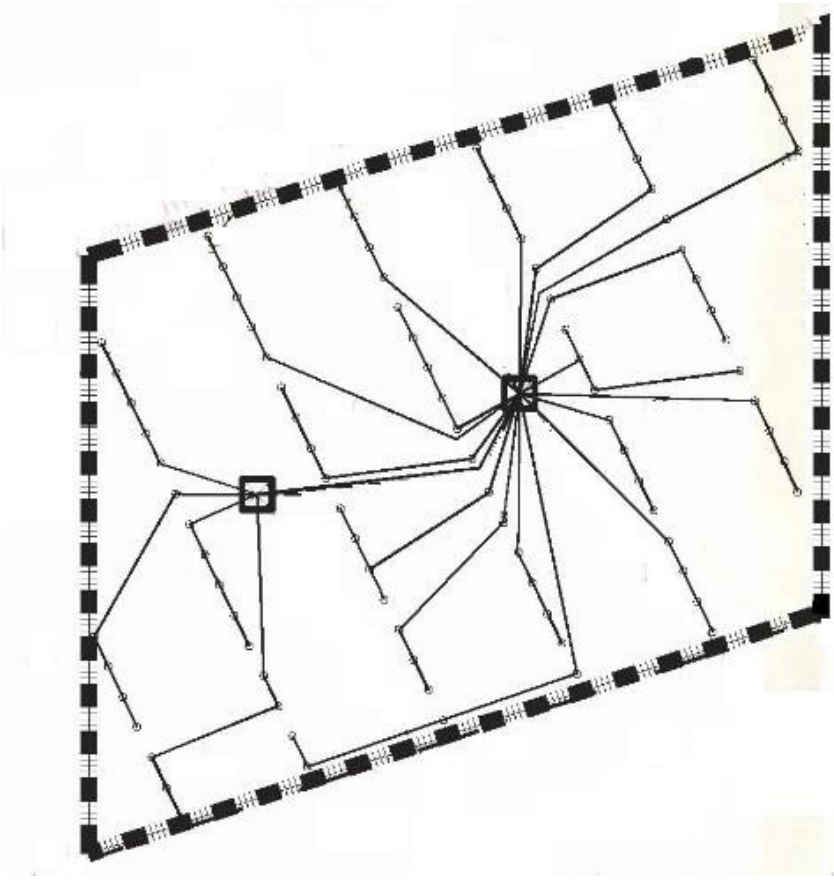


图 2.3-6 35kV 集电海缆布置示意图

（2）220kV 送出海底电缆布置

本工程集控中心位于场区北侧偏西的陆域，送出海底电缆登陆点位于汕尾陆丰市碣石镇东南的小海湾，登陆后通过电缆沟的形式向东北方向进入集控中心。

根据甲子海域海水风电场群集中登陆规划，甲子一 500MW 登陆点位于后湖西区登陆点 N1 沿岸线东侧约 30m，坐标为 115°51'14.182"E，22°46'51.563"N。如图 2.3-7 所示。



图 2.3-7 本项目登陆点及陆上集控中心位置

220kV 海缆送出包括两部分：100MW 海上升压站到 400MW 海上升压站采用一根三芯的海底电缆，布置在风电场内部，避开 35kV 海缆，路由长度约 4.22km；400MW 海上升压站到登陆点采用两根三芯的海底电缆，路由长度约 33.35km。

海缆路由方案靠近后湖风电场预留管廊带西侧，推荐路由方案从风电场西部 100MW 海上升压站出发，避开风机间海缆，保持与风机 200m 间距，向东侧延伸至一 AC1 和一 AC2 拐点，连接风电场中部 400MW 海上升压站，接着大致沿风机排布平行方向避开风机及风机间海缆向北延伸至风电场北侧一 AC3 拐点，接着向西北方向延伸约 10.4km 到达后湖西区东南侧一 AC4 拐点，距离后湖西区场址约 200m 沿西区场址边界平行方向延伸，在近岸水深 18m 左右鸟虫礁处大致平行于后湖西区推荐路由方案延伸，与后湖西区推荐路由方案距离约 170m 左右，随后与西区推荐路由距离逐渐缩小，登陆点与西区推荐登陆点距离约为 30m，路由长度约为 37.57km。具体路由方案见图 2.3-8～图 2.3-10，拐点坐标见表 2.3-3。

表 2.3-3 220kV 送出海缆拐点坐标（CGCS2000 坐标系）

序号	名称	经度	纬度	备注
1	100MW 升压站	116°3' 54.929" E	22°34' 48.508" N	海上升压站（100MW）
2	一 AC1	116°4' 30.018" E	22°34' 48.424" N	避开风机与风机间海缆
3	一 AC2	116°5' 39.046" E	22°34' 57.876" N	避开风机与风机间海缆
4	400MW 升压站	116°5' 55.565" E	22°35' 34.901" N	海上升压站（400MW）
5	一 AC3	116°4' 44.218" E	22°37' 47.341" N	避开风机与风机间海缆
6	一 AC4	115°59' 25.131" E	22°40' 35.468" N	后湖西区风电场东南侧
7	一 AC5	115°57' 28.647" E	22°42' 21.344" N	后湖西区风电场东北侧
8	一 AC6	115°51' 54.345" E	22°45' 55.867" N	避开近岸礁石
9	一 AC7（登陆点）	115°51' 14.182" E	22°46' 51.563" N	登陆点

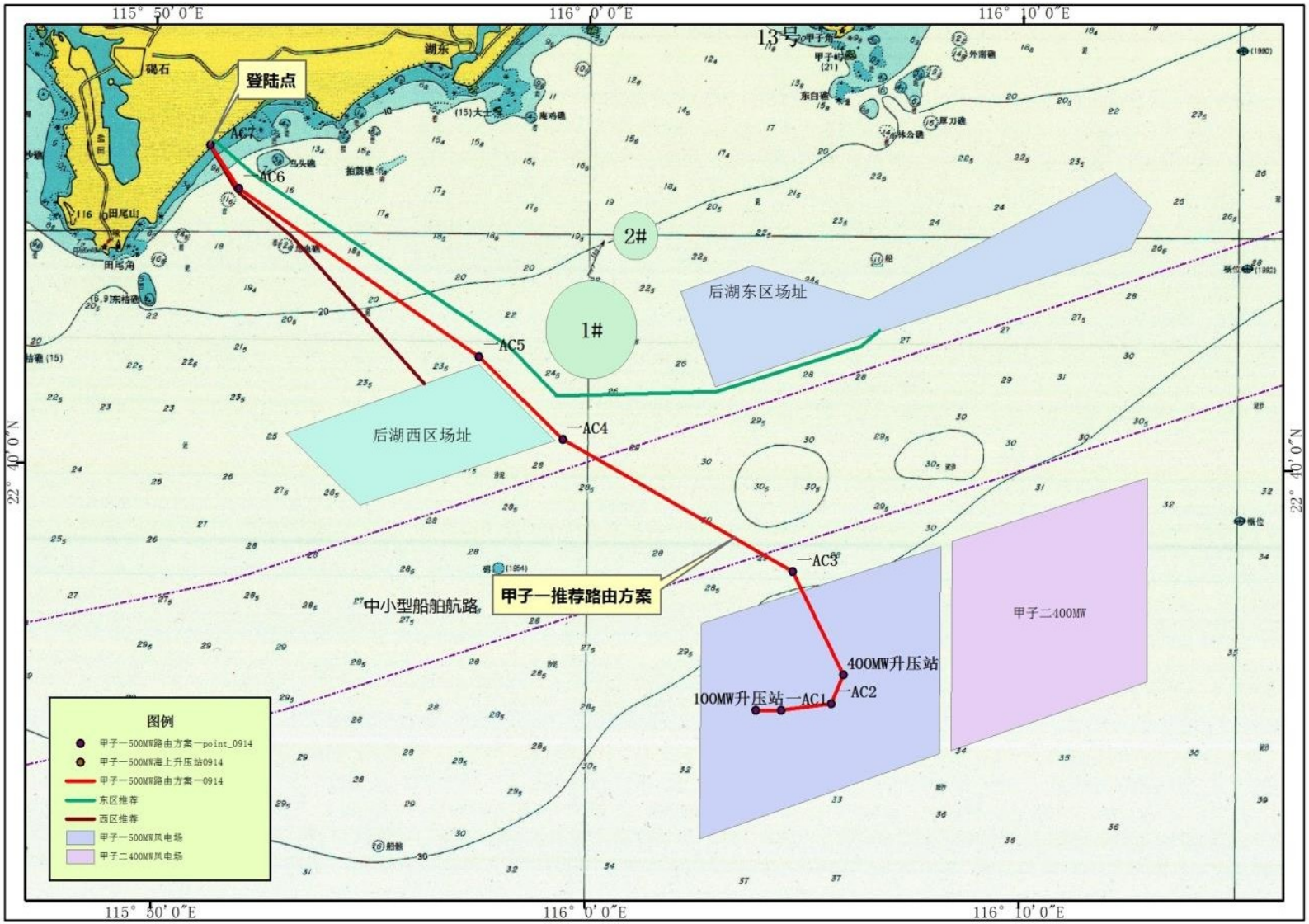


图 2.3-8　220kV 海底电缆整体路由方案位置图

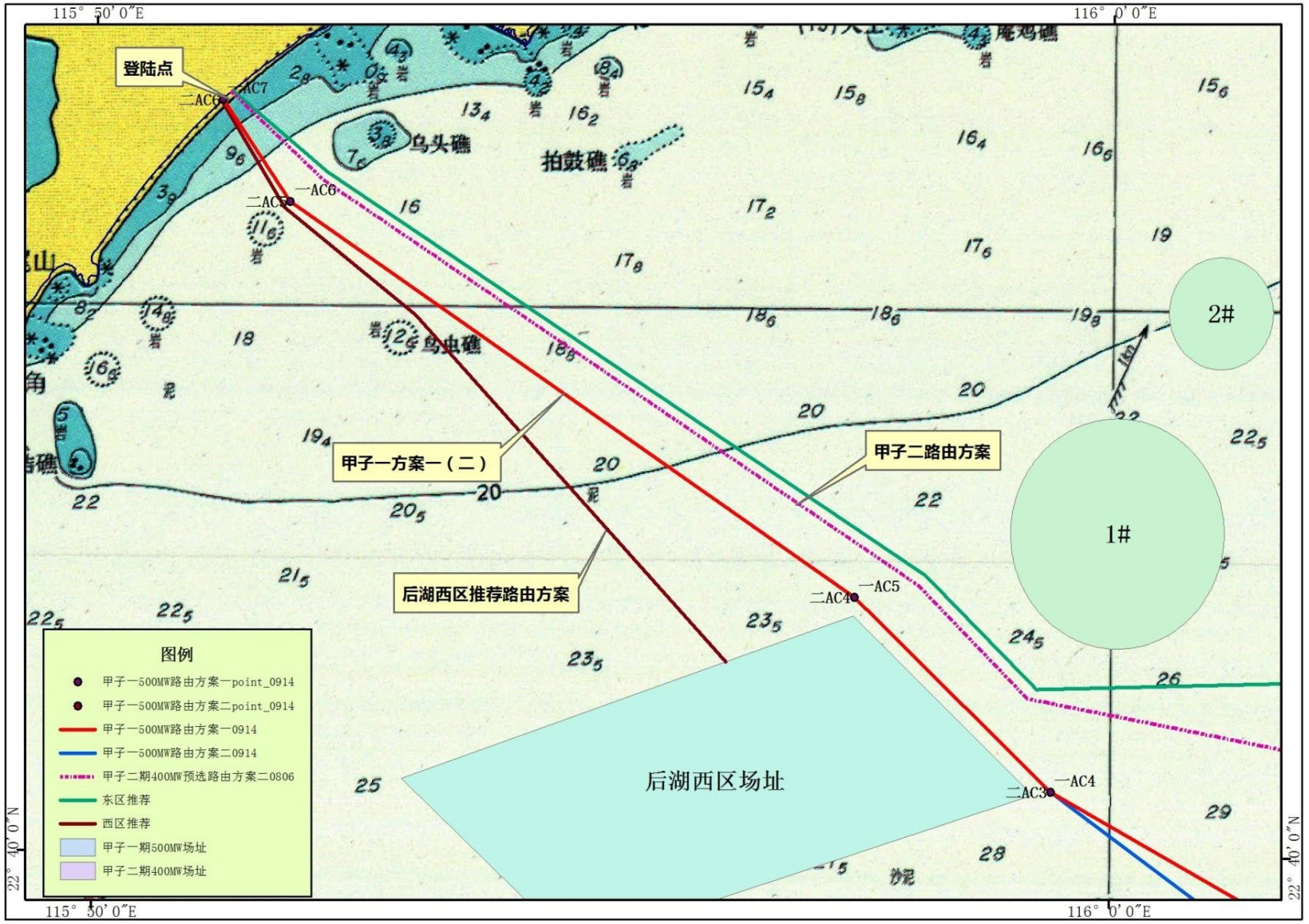


图 2.3-9　220kV 海底电缆路由方案近岸段位置图

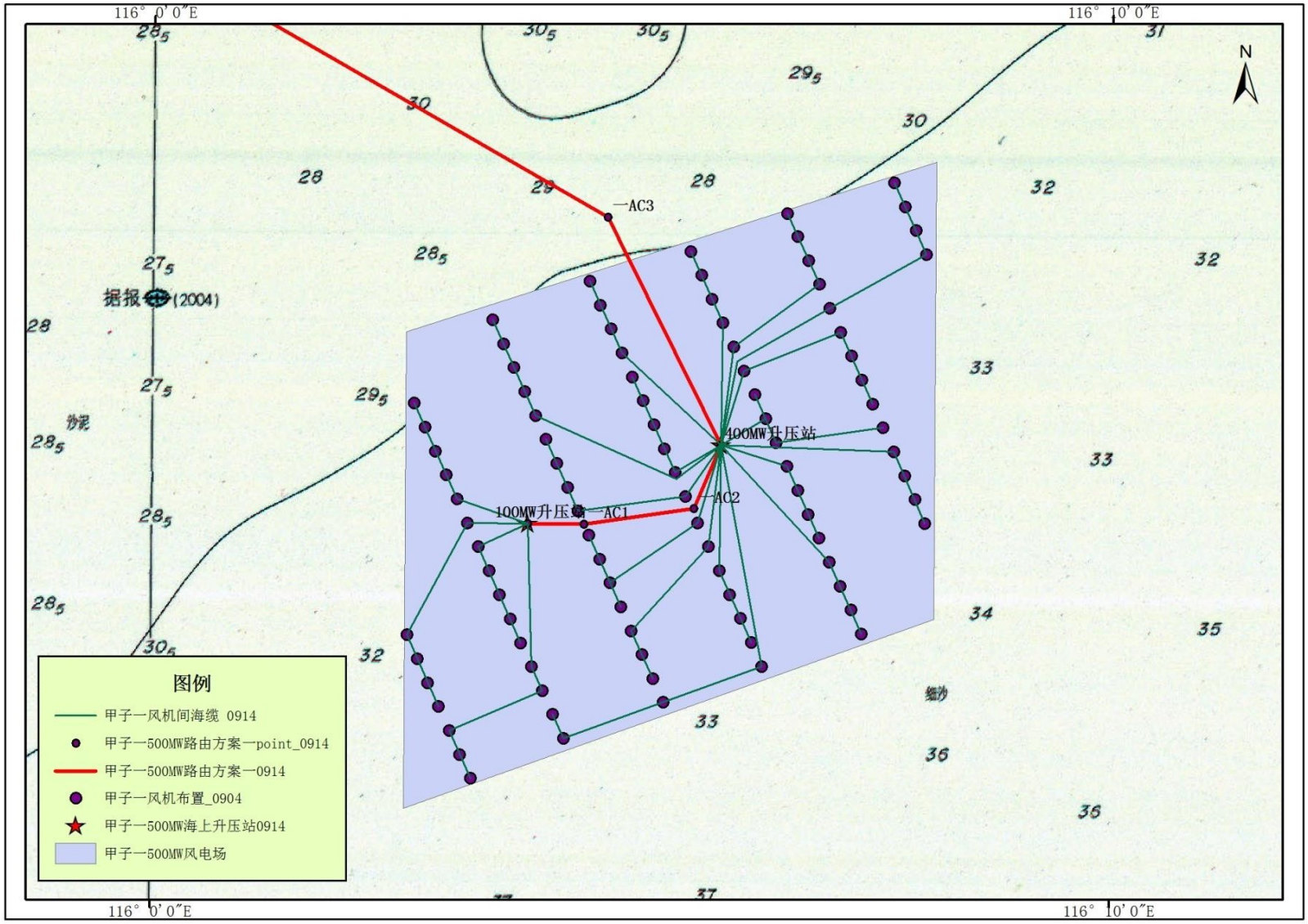


图 2.3-10　220kV 海底电缆路由风电场内路由图

2.3.4.2 电缆结构

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 35kV 海底电缆和海上升压站与陆上集控中心之间的 220kV 海底电缆。推荐的海缆敷设方式为直埋方式。海缆登陆时，使用定向钻拖拉法穿越海岸埋设管道，再通过管道牵引海缆完成登陆，登陆后接入陆上集控中心。

（1）220kV 海缆

本项目 220kV 海底电缆是连陆主海缆，采用 2 回三芯 3×800mm 2XLPE 绝缘海底电缆，电缆连陆，电缆自身宽度 26cm，每根电缆之间安全间隔 50m。

（2）35kV 场内集电海缆

本项目 35kV 海底电缆为风机间的集电线路用海，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 3×70～400mm^2 不等。

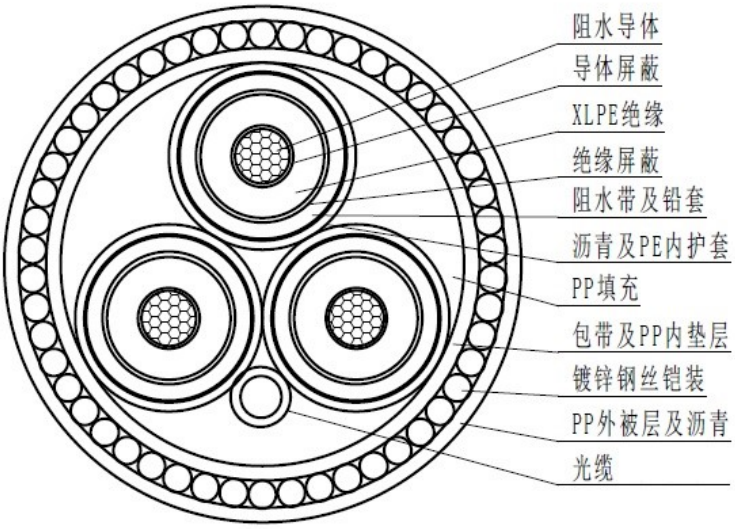


图 2.3-8 海底电缆结构断面示意图

2.3.5 陆上集控中心主要电器设备

集控中心主要电器设备详见表 2.3-4，主要参数如下：

表 2.3-4 项目主要电气设备情况一览表

序号	名称	型号和规格	单位	数量	
一	500kV 变压器	/			
1	主变压器	OSFPS-1000000/525 1000/1000/330MVA 525/230/±8x1.25%/35kV	套	1	

序号	名称	型号和规格	单位	数量	
		Uk1-2=12% Uk1-3=46%Uk2-3=30%			
二	500kV 配电装置	/			
1	500kV GIS 设备	550kV，4000A，63kA 线变组接线，1 个出线间隔	套	1	
三	220kV 配电装置				
1	252kV GIS 设备	252kV，50kA，3150A 双母线接线，2 个进线间隔，1 个出线间隔，2 个母线设备间隔,1 个母线联络间隔	套	1	
2	避雷器	204kV，10kA	只	2	
3	隔离开关	252kV，1250A，50kA	组	2	三相
4	220kV 电抗器	220kV，70Mvar	套	2	三相
四	无功补偿装置				
1	动态无功补偿装置	SVG 型，40.5kV，±60Mvar	套	2	
2	无源滤波器	5 次消谐，2Mvar	套	1	
五	35kV 配电装置	/			
1	35kV 金属铠装中置开关柜	40.5kV 断路器柜 3150A，31.5kA	面	2	
2	35kV 金属铠装中置开关柜	40.5kV 断路器柜 1250A，31.5kA	面	4	
3	35kV 金属铠装中置开关柜	PT 柜	面	1	
六	35kV 电缆	/			
1	35kV 电缆	XLPE-1x240 mm^2，26/35kV	Km	2	
2	35kV 电缆终端头	户内插拔式（每套三相）	套	12	
七	站用电系统	/			
1	站用变	SC11-1250/10， 37±2　2.5%/0.4kV，D,yn11，Ud=6%	套	1	
2	低压配电柜	/	面	20	
3	检修箱	/	个	6	
八	应急电源	/			
1	柴油发电机	500kW，400V	套	1	
九	照明系统	/			
1	灯具、开关、插座、导线、保护管等	/	项	1	
2	配电箱	IP54，多种规格	个	15	
十	电缆敷设				
1	低压电缆	ZR-YJV22-0.6/1kV NH-YJV22-0.6/1kV 多种规格	km	5	
2	电缆桥架	成品桥架	km	10	
3	保护管	/	项	1	
十一	接地	/			
1	接地铜排	/	km	2	
2	接地铜绞线	/	km	5	
十二	防火封堵	/	项	1	
十三	金具	/	项	1	
十四	安装材料	/	项	1	

表 2.3-5 项目输变电工程建设规模及布置型式一览表

项目	布置	主要电气参数
升压变压器	陆上升压站主变选用 1 台容量为 1000MVA，自耦，三相、三绕组、强迫油循环风冷、电力变压器。	型号：OSFPS-1000000/525 额定容量：1000/1000/240MVA 额定电压：525/230/±8x1.25%/35kV 调压方式：中压侧线端设有载调压分接开关 线圈联接组别：YN,a0,d11 电抗：Uk1-2=12%，Uk1-3=46%，Uk2-3=30%
500kV 配电装置	500kV 配电装置采用户外 GIS。 陆上升压站 GIS 采用线变组接线，设 1 个出线间隔。	额定电压：550kV 额定电流：3150A 额定开断电流：63kA 额定关合电流：160kA
220kV 配电装置	本工程采用屋内 GIS 型式。GIS 采用双母线接线，本期 2 个进线间隔，1 个出线间隔，2 个母线设备间隔，1 个母联间隔	额定电压：252kV 额定电流：3150A 额定开断电流：50kA 额定关合电流：125kA
35kV 配电装置	选用户内成套铠装式金属封闭式开关柜	额定电压：40.5kV 额定电流：1250A 额定短路开断电流(有效值)：31.5kA 额定动稳定电流(峰值)：80kA
站用变压器	/	型号：SC11-1250 /220 容量：1250kVA 电压组合：35±2×2.5%/0.4kV 联接组标号：D，yn11 阻抗电压：6%
低压开关柜	/	额定电压：1kV 断路器额定电流：1000A 额定短时耐受电流：50kA
柴油发电机	/	额定电压：400V 额定容量：500kW
高压并联电抗器	考虑在陆上集控中心 220kV 海缆侧配置 4 套高压并联电抗器	额定电压：220kV 额定容量：70Mvar
SVG 无功补偿装置	配置 4 套静止无功发生器（SVG）	额定电压：35kV 额定容量：±60Mvar
电压出线回路	4 回 220kV 海缆进线，出 1 回接 500kV 变压器升压后送出	/

2.3.6 给排水

（1）给水系统

陆上集控中心水源采用市政自来水，设计拟从市政管网引接一根 DN100 入户管，分别接至变频生活给水设备和消防水池。设置 300m^3 消防水池、100m^3 生活水池 1 座。

陆上集控中心给水系统主要包括生活给水系统、消防给水系统和杂用水系统。各给水系统完全分开设置。陆上集控中心劳动定员 125 人，根据《广东省用

水定额》（DB44T1461-2014），生活水量按每人180L/天计算，日用水量为22.5m^3/d。

（2）排水系统

站内排水采用完全分流制，分为雨水排水系统、生活污水排水和含油废水排水系统。雨水排水系统主要排除站内雨水。利用基地地势高度，自流分片排水，全部自流排至站外。生活污水经地埋式污水处理设施处理后定期由回用水泵提升输送至站区绿化喷洒和道路浇洒。在消防水池旁设一个有效容积为 10m3 的回用水池，水池中设置两台杂用水泵，从回用水池抽水用于站区内杂用水。陆上集控中心含油废水来源于变压器的事故排油和食堂污油，其排水性质呈周期性、间断性。食堂含油污水经小型隔油器分离后排入生活污水排水管网。本工程变压器附近设置一座事故油池。事故油池具油水分离功能，隔油后的洁净水排至雨水管网，污油交有资质单位处理。

（3）消防系统

消防用水量按站内最大一次灭火用水量考虑。最大消防用水量为 288 m^3，站内设一座有效容积为 300m^3 的消防水池，补水时间按不大于 48h 考虑，因此消防补水量要求不小于 6 m^3/h。

2.3.7 环保工程

生活污水：生活污水经化粪池处理后排入站内生活污水排水管道，再自流排水至生活污水处理站。生活污水处理站经地埋式一体化生物处理设备进行处理，污水处理系统出力选用 1m^3/h。在生活污水处理站设置一座污水调节池，收集站内生活污水和含油污水(隔油后)，用泵提升至一体化生物处理设备进行生物二级处理，然后经过滤及二氧化氯消毒后，出水储存于回用水池，定期由回用水泵提升输送至站区绿化喷洒和道路浇洒。经处理后的出水指标应满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）的规范要求，本工程站区生活污水经处理后全部回用，正常情况下无污水外排。

含油废水：食堂含油污水经小型隔油器分离后排入生活污水排水管网。本工程变压器附近设置一座事故油池。事故油池有效容积按最大一台主变油量 60%设计。本工程参考以往类似工程，在变压器附近设置 1 座直径 8m，深度 5m，容积约为 200m^3 的事故油池。事故油池具油水分离功能，洁净水排至雨水管网，污油交有资质单位处理。事故油池排油管采用球墨铸铁管和焊接钢管，变压器排油管由排油坑接至水封井的管材为球墨铸铁管，采用 K 型连接。绿化：在进站

道路两侧、站区入口和主要建筑附近种植观赏和美化效果好的常绿树，站内绿化选择低矮根系浅的灌木及花草类为主。

2.3.8 施工基地及施工码头

施工主基地应满足陆运货物中转、海上施工补给和风电机组设备、结构件及其他大件货物临时堆放以及风电机组组装等功能的要求。本项目施工主基地利用现有码头，布置在宝丽华甲湖湾电厂重件码头及其堆场。施工辅助基地计划布置在陆上集控中心附近区域港口，主要负责承担海上风电场施工的补给及海上施工人员的交通运输。

施工现场按海上升压站施工区、220kV 送出海缆施工区、陆上集控中心施工区、钢结构加工制作区分别设置消防管理区域。海上施工作业区的施工船舶主要配备移动式灭火器、消防水泵等设施。陆上施工基地及施工作业区配置设置灭火器、临时消防给水系统和临时消防应急照明等消防设施。

2.4 主要工程量

2.4.1 风机基础工程量

表 2.4-1 单台基础主要工程量表（共 91 台基础）

序号	项目	规格	单位	数量
1	主体钢结构（包括过渡段及加强构件）	DH36/DH36-Z35（导管架节点区、支撑节点区需采用 DH36-Z35）	t	1256
2	爬梯、栏杆	Q235B	t	8
3	防撞构件（两处）	Q345C	t	15
4	灌浆量	1d 强度不低于 50MPa，28 天强度不低于 120MPa	m^3	44
5	牺牲阳极块重量	铝-锌-铟合金	t	11
6	防腐涂层	大气区 930μm，浪溅区 1160μm，水下区 800μm	m^2	5625
7	灌浆密封圈	-	套	8
8	灌浆管线	20#	t	8
9	电缆 J 形管及弯曲限制器	20#	t	18
10	电缆牵引用钢丝绳	φ20，单根长 100m	m	200
11	运维吊机	1 吨，悬臂 10 米	套	1
12	护舷	SA500 型/长 9.0m	m^3	4
13	钢管桩	DH36	t	1030

2.4.2 海上升压站工程量

表 2.4-2 400MW 海上升压站主要工程量表

序号	项目	规格	单位	数量	备注
一、上部组块					
1.1	主体结构	Q345B	t	1209	导主腿杆、撑杆(竖向、斜向)及甲板主、次梁
1.2	甲板铺板	Q235B	t	479	四层甲板
1.3	活动地板	450mm 高	m^2	347.6	配电室使用
1.4	栏杆、楼梯、吊耳等附属构(部)件	Q235B	t	90	
1.5	防火防爆组合墙	6mm 厚防火防爆钢板	t	60	主变间
1.6	其他附属及加强构件	Q345B		125	
1.7	平台吊机		套	1	5t 海工悬臂吊 1 套，臂长 10m
1.8	3T 电动葫芦吊，长 10m		套	1	
1.9	手动平板液压推车		套	1	
1.10	墙体	Q235B	t	417	外墙 6mm 厚压型钢板，内隔墙 4mm 厚压型钢板
1.11	防火墙	A60，80mm 厚岩棉	m^2	2000.4	
二、下部基础结构					
2.1	主体结构导管架	DH36	t	2344	导管架主腿杆、撑杆(水平及斜向)
2.2	加强部位	DH36-Z35	t	120	
2.3	靠船件及爬梯	Q235B	t	60	
2.4	橡胶护舷	SA 型橡胶护舷	个	4	
2.5	J 形管	20#	t	102	
2.6	牺牲阳极	A□I-2	t	25	
2.7	防腐涂层	大气区 930um，浪溅区 1160 um，水下区 800 um	m^2	8289	
2.8	防沉板	Q235B	t	85	材质：DH36；规格：壁厚 10~24mm，封板厚 10mm；
2.9	灌浆材料	高强度灌料	m^3	80	材质：环氧基高强灌浆料；规格：试件 28d 抗压强度≥120.0MPa；
2.10	灌浆管线	灌浆管线 Ø108x5	t	7	共 300 米，一用二备
2.11	密封封隔器		个	4	每根桩靴 1 个，共 4 根
2.12	桩靴灌浆紧固器		套	4	每根桩靴 1 个，共 4 根
三、桩基					
3.1	钢管桩	DH36	t	1253	钢管桩 2800 mm 桩长

					约 87 米 4 根

表 2.4-3 100MW 海上升压站主要工程量表

序号	项目	规格	单位	数量	备注
一、上部组块					
1.1	主体结构	Q345B	t	900	导主腿杆、撑杆(竖向、斜向)及甲板主、次梁
1.2	甲板铺板	Q235B	t	345	四层甲板
1.3	活动地板	450mm 高	m^2	261	配电室使用
1.4	栏杆、楼梯、吊耳等附属构(部)件	Q235B	t	60	
1.5	防火防爆组合墙	6mm 厚防火防爆钢板	t	30	主变间
1.6	其他附属及加强构件	Q345B		90	
1.7	平台吊机		套	1	5t 海工悬臂吊 1 套，臂长 10m
1.8	3T 电动葫芦吊，长 10m		套	1	
1.9	手动平板液压推车		套	1	
1.10	墙体	Q235B	t	180	外墙 6mm 厚压型钢板，内隔墙 4mm 厚压型钢板
1.11	防火墙	A60，80mm 厚岩棉	m^2	1276.2	
二、下部基础结构					
2.1	主体结构导管架	DH36	t	1572	导管架主腿杆、撑杆(水平及斜向)
2.2	加强部位	DH36-Z35	t	120	
2.3	靠船件及爬梯	Q235B	t	60	
2.4	橡胶护舷	SA 型橡胶护舷	个	4	
2.5	J 形管	20#	t	92	
2.6	牺牲阳极	A□I-2	t	25	
2.7	防腐涂层	大气区 930um，浪溅区 1160um，水下区 800 um	m^2	6631	
2.8	防沉板	Q235B	t	85	材质：DH36；规格：壁厚 10~24mm，封板厚 10mm
2.9	灌浆材料	高强度灌浆料	m^3	60	材质：环氧基高强灌浆料；规格：试件 28d 抗压强度≥120.0MPa；
2.10	灌浆管线	20#	t	6	共 300 米，一用二备
2.11	密封封隔器		个	4	每根桩靴 1 个，共 4 根
2.12	桩靴灌浆紧固器		套	4	每根桩靴 1 个，共 4 根
三、桩基					
3.1	钢管桩	DH36	t	1050	钢管桩 2400 mm 桩长约 78.7 米 4 根

2.4.3 海缆工程量

表 2.4-4 海缆工程量表

序号	项目	数量	总量	备注
1	220kV 海缆	37.57km		2 回
2	35kV 海缆	约 90km		
3	海缆柔性保护套管	182 根(单根长 15m)	2730m	
4	海缆登陆防护结构	铸铁电缆保护管每节 1~2 米		
5	海缆登陆防护结构	沙包，每米 3 包		
6	海缆交越保护	每处交越段下层为 60m，上层为 80m，总计 420m，规格为 3.1x3.1x0.2m，上层加装一层橡胶垫块，下层加装两层橡胶垫块。	共 420m	

2.4.4 土石方平衡分析

2.4.4.1 海域部分

本项目施工期间主要涉及环节包括：海缆开挖、海上升压站及风机基础桩连接处混凝土灌浆及基础防冲刷铺设等内容，其中：

（1）海缆管沟开挖

送出海缆与场内集电海缆的海底敷设作业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）风机基础

风机基础上部采用过渡段与钢管桩进行灌浆连接，单台基础灌浆量为 44 m^3，总灌浆量为 4004m^3，将由施工方通过购买获得。

（3）海上升压站

海上升压站导管架套筒与钢管桩之间采用灌浆连接，其中 400MW 升压站需高强度灌浆料 80m^3、400MW 升压站需高强度灌浆料 60m^3，共计 140m^3，所需材料通过商业采购形式获得。

综上，本项目海域部分所需土石方量为 4144m^3。

2.4.4.2 陆域部分

（1）集控中心用地

集控中心规划总用地面积 4.6686hm^2（包括甲子二以及后湖项目用地），其中后湖项目用地范围 2.8362hm^2、甲子一二项目用地范围 1.8324hm^2，其中围墙内用地面积为 4.1969hm^2。

（2）进站道路用地

改扩建道路为 5.0m 宽、两边各设 0.5m 路肩的城市型混凝土道路，长度约 570m。新建进站道路长度约 150m，宽 5.0m。站内道路宽采用 5.0m，站内道路转弯半径采用 9.0m。

本工程陆上集控中心场地平整挖方约 21466m^3，填方约 20040m^3，土石方量基本平衡。

2.5 项目施工方案

本工程施工主要包括风机基础施工、风机机组安装、35kV 场内海缆敷设、220kV 送出海缆敷设、海上升压站施工等。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。

2.5.1 施工条件

2.5.1.1 交通运输条件

中广核甲子海上风电场工程位于广东省汕尾陆丰湖东镇后湖南侧海域。汕尾市位于广东省东南部，交通便利。

（1）公路

汕尾境内高速公路四通八达，主要有 G15 沈海高速公路、S20 潮莞高速公路、等纵横贯通全市。公路有 G324 福昆线等。

（2）铁路

厦深铁路汕尾段，厦深铁路北起厦门，经漳州、潮州、汕头、揭阳、汕尾、惠州引入深圳，全长 514km，其中广东段全长约 357km，福建段全长约 145km。

（3）航空

距离场址最近的机场为位于揭阳市揭东镇的潮汕国际机场。潮汕国际机场是广东省第三大干线机场，获批国家一类航空口岸，并实现对台直航。

汕尾市距离潮汕国际机场、广州白云国际机场、惠州平潭机场、深圳宝安国际机场、珠海金湾机场、香港机场、梅县机场直线距离分别约 100 km、 280km、140km、220km、280km、220 km、160km。

（4）港口航运及港口条件

本工程附近港口为汕尾港。汕尾港位于广东省东部沿海，地处汕头港至珠江口的中部，属国家对外开放一类口岸。汕尾港下设海丰港区、汕尾港区、汕尾新港区（红海湾）和陆丰港区共 4 个港区。

汕尾港海岸线全长约 455.2km，《汕尾港总体规划》（2010 年 12 月）规划的港口岸线长度约 33.2km，其中深水岸线 26150m，规划预留港口发展岸线 13700m。依据《汕尾港总体规划》（2010 年 12 月），在规划的汕尾、汕尾新港区(红海湾)、海丰、陆丰四个港区中，将以发展汕尾新港区为重点，同时加快建设海丰港区和陆丰港区。其中汕尾新港区为装卸集装箱、散杂货、油气品等的多功能综合性港区，规划岸线长度 6400m ，其中预留港口岸线长 3800m ，港区陆域面积约 263.6 万 m^2，规划期内将新建 9 个泊位，其中万吨级以上泊位 9 个；海丰港区主要功能为散货、油气品装卸为主，集装箱、件杂货装卸为辅，规划岸线长度 2700m ，港区陆域面积约 190.1 万 m^2 规划期内将新建 12 个泊位，其中万吨级以上泊位 4 个；汕尾港陆丰港区湖东作业区港址西北距陆丰市 45km ，距汕尾市约 65km，规划为港口深水岸线，主要用于装卸散货和件杂货为主的综合性港区。

（5）航道与锚地

汕尾市港口目前共有 7 条航道，包括汕尾港航道、马宫港航道、鲈门港航道、甲子港航道、碣石港航道、乌坎港航道、红海湾发电厂码头航道等。

汕尾市海域目前共有各类锚地 20 个，其中汕尾港区有大型船舶临时避风锚地、过驳锚地、引航锚地、检疫锚地和危险品船锚地等。

（6）施工场内外交通运输

国内生产的大型风机部件，可通过海运至附近可用的大型港口区域的施工基地，小型设备可通过公路与铁路交通运至施工基地，堆存在风机设备临时堆场，钢管桩和导管架等金属结构构件在选定的生产厂家加工装船后由驳船运至风机施工现场。施工基地与风机安装现场的交通运输通过驳船等运输船只进行。

本工程场内交通运输的主要有风机基础构件、海上风机主要部件或整机、各种施工设备、零星材料及构配件从施工主基地到风场内各个施工点的运输。运输工具主要为各类运输船、施工专用船舶等，接卸设备主要为码头吊机、船舶自带起重设备或专用起重船等。工程实施期间，风电场场内规划主航道与场址周边现有航道连接，避免船舶搁浅或触礁，确保施工期间的水上运输安全。

本工程风机布置区域属于近海的区域，水深条件介于 33m~39m 之间，可满足常规船只正常运行，与港口之间可通过进出港航道相互联系，因此场内交通运输通过船只自航或拖轮牵引进行移位与航行。

运输规划见下表 2.5-1。

表 2.5-1 施工场内外交通规划方案简表

序号		运输方式	转运地点	运达地点	备注
场外	1	海运	无	施工主基地	大型风机部件
	2	陆运	施工基地	风机设备临时堆场	小型设备
	3	海运	无	风机施工现场	钢管桩和导管架等金属结构构件
场内	4	驳船等运输船只	施工主基地	风机安装现场	风机基础构件、海上风机主要部件或整机、各种施工设备、零星材料及构配件

2.5.1.2 施工物资供应和能力

（1）施工物资及水电供应

本工程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，广东省内珠海市、深圳市具有多家钢结构加工厂家，钢材资源采购便利。陆上集控中心所需混凝土量相对较小，可在市内直接采购商品混凝土。

本工程的主要施工机械为大型的平底驳船、打桩船、拖轮、起重船及常规的机械设备等。大型专用船舶需从外地调用，小型船舶和部分机械设备可在当地租用。本区域的水电供应条件相对较好，港区供水、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。

（2）施工能力

海上风电场建设施工主要包括钢结构加工、风机基础施工、风机机组安装、海底电缆敷设等几大主要施工项目，对国内施工企业而言，较大的施工难点主要存在于风机基础施工及风机机组安装方面。现针对上述主要施工项目的国内施工能力简要分析如下：

钢结构加工制作方面：国内大型钢结构加工企业数量较多，加工制作技术及能力非常成熟，能够满足海上风电场建设需要，国外海上石油平台所需的大型导管架也常在国内进行加工制作，我国的钢结构加工制作能力已经达到甚至领先于其它国家；

风机基础施工方面：主要施工技术问题已经基本解决，施工船机设备数量较多，国内施工企业当前欠缺的主要是施工经验，截至目前，通过江苏如东试验性海上风电场、珠海桂山海上风电场示范项目、福建省莆田南日岛海上风电项目及上海东海大桥一期、二期海上风电场的建设，国内施工企业也已累积了一定的经验。

在风机机组安装方面：国内目前仅具备少数专用风电机组安装船舶，多数工

程只能依靠传统工程船舶用于风机安装。据前期调研资料信息，国内已有四艘海上风机专用安装船已经建造完成并投入使用。随着国内海上风电的逐步开发，依托发达的造船业，国内专用海上风机安装船数量会逐渐增加并投入使用，大幅缩短与国外的差距。

在海底电缆敷设施工方面：国内有多家海缆敷设施工企业，施工技术成熟、施工经验丰富、施工业绩较多，完全可以满足海上风电场的海缆敷设需求。

2.5.2 风机基础施工

本工程的风机基础在可研阶段进行了单桩基础、水上三桩基础、高桩承台基础、四桩导管架基础等几种基础形式的比选，最终推荐四桩导管架基础方案。

风机基础施工的主要工序如下：

（1）钢结构加工及制作

导管架基础需布置 4 根钢管桩。单根钢管桩重量约为 300t。单个基础的钢结构重量（不含钢管桩）约为 1238t，需要配备大型的起重船舶及驳船用于风机基础的运输及安装。珠海市及深圳地区具有大型钢管桩的制作厂家。

（2）导管架、钢管桩的运输

（a）导管架场内运输

完成建造的导管架在场内采用 1350t 履带吊配合轨道、台车进行运输；导管架在码头前沿通过 2000t 起重船起吊、装船并采取可靠措施固定。

（b）导管架场外运输

导管架场外运输利用 5000t 驳船进行，每次装载 2 台，通过 3000HP 拖轮拖带，将装有导管架的驳船运送至风电场安装或施工主基地临时存放。

（c）钢管桩的运输

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，采用 3000t 运输驳船运载，每次运输 8 根钢管桩至风电场，供 2 台风机基础施工使用。

（3）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

在风电场内中间位置首先施打 4 根风机基础工程桩或海上升压站基础工程桩，利用此工程桩改造成 GPS 测量基站平台，并在平台上设置供电系统。

（4）常规桩沉桩施工

（a）施工工艺流程

国内典型的沉桩施工工艺如下图 2.5-1：

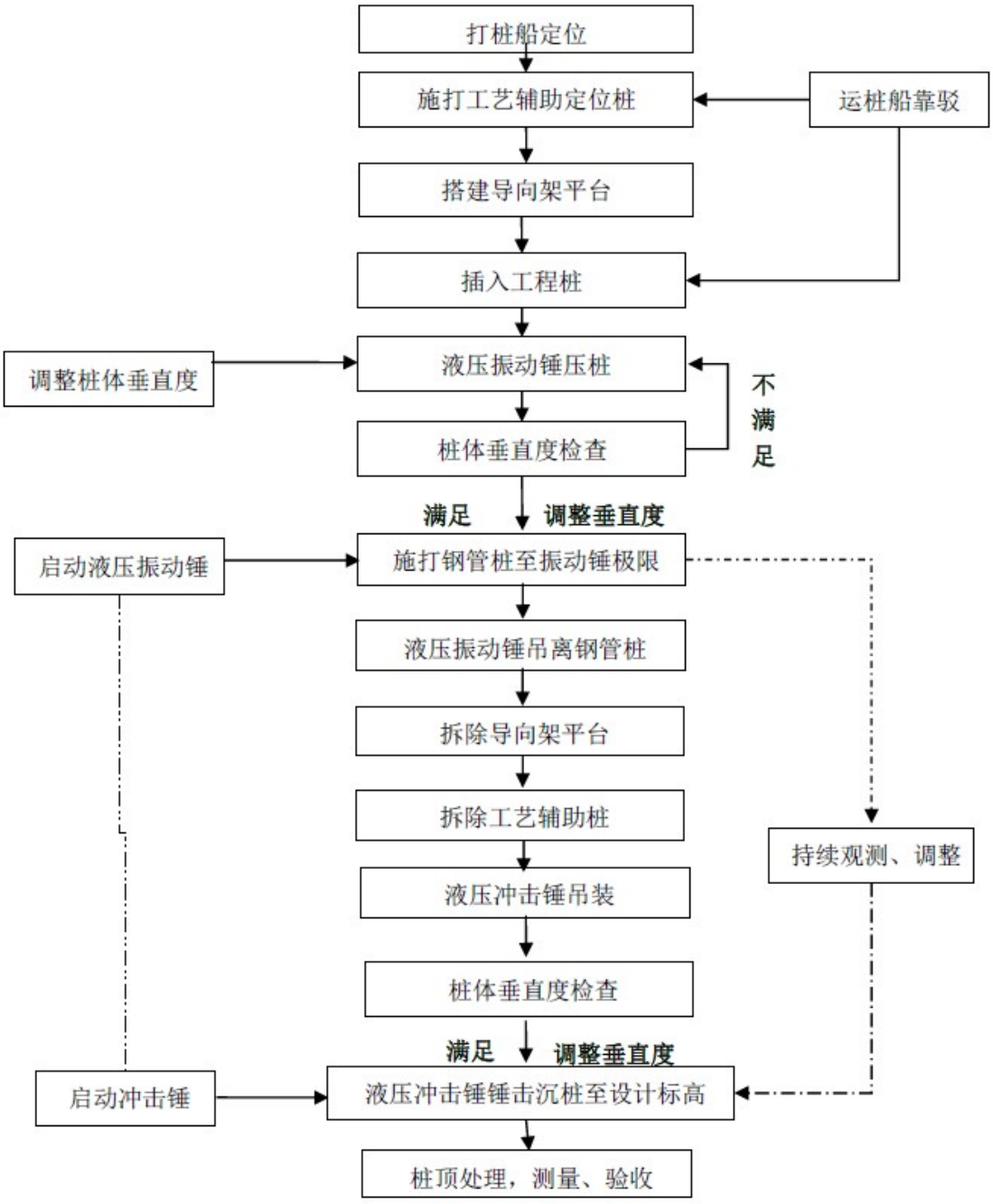


图 2.5-1 常规钢管桩沉桩施工工艺图

（b）主要施工步骤

a) 作业船抛锚、定位

沉桩施工采用设置工艺辅助桩及定位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定位架的稳定，在工艺定位架上设置四个 GPS 控制点及两台测倾仪，并通过设置在定位导向架上的液压调平装置进行工艺定位架的调平来保证四根钢管桩的桩位平面位置及垂直度。

b) 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振动锤稳桩，施打钢管桩至振动锤极限，过程中检查调整桩的垂直度；第三阶段采用起重船吊离振动锤，吊除定位导向，拆除工艺辅助桩；第四阶段采用起重船吊液压冲击锤，将钢管桩锤击至设计标高。

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。

c) 钢管桩顶部预处理

本工程地质条件较复杂，且桩顶标高偏差需控制在 50mm 内，可能会出现部分高桩，同时嵌岩桩钢管桩也要在安装导管架标高位置进行水下切割，钢管桩需要进行水下切割处理。

水下钢管桩的切割采用水下氧-弧切割法进行。施工单位也可根据自身施工能力，采用套筒围堰干施工方法代替水下水下切割法。

d) 测量、验收

分别精确测量 4 根桩的桩顶高程、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。

（5）嵌岩桩施工

根据本阶段地质勘查和结构设计成果，本项目不存在嵌岩桩施工作业。

（6）四桩导管架基础施工

（a）施工工艺流程

四桩导管架基础在国外的海上风电场已有广泛的应用，在国内的珠海桂山海上风电场示范项目工程中也有应用，其施工工艺已经成熟。借鉴国内外海上风电场的建设经验，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：

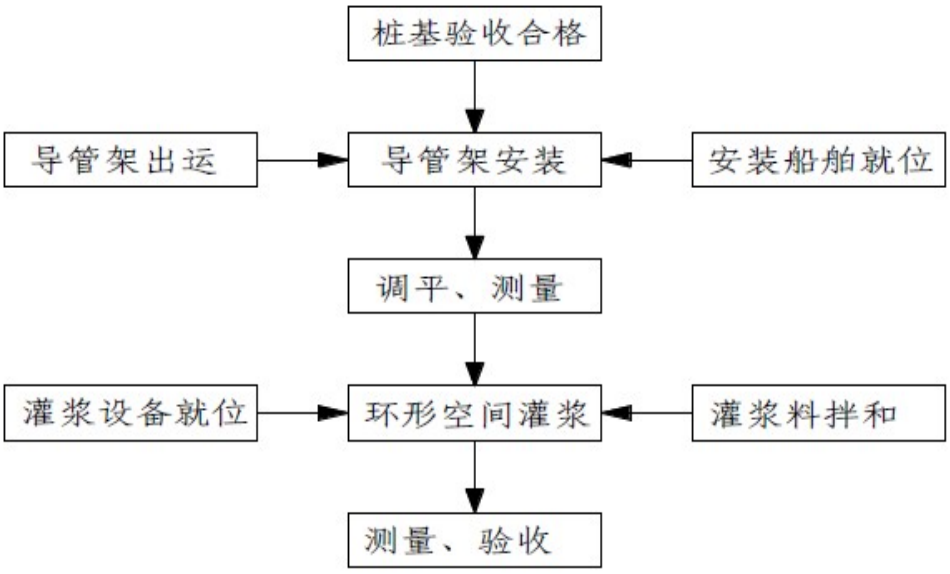


图 2.5-2 四桩导管架施工工艺图

（b）主要施工步骤

a）导管架海上吊装及调平施工

1200t 级以上起重船、导管架运输船分别抛锚就位 → 竖直起吊导管架，运输船起锚驶出，工作船驶入、锚泊就位 → 工作船吊放照明及视频监控仪入水，起重船下放导管架 → 通过水下监控及工作船上揽风控制导管架位置，将导管架连接钢锥体插入钢管桩 → 验收合格后，对导管架进行初步固定，完成导管架吊装。

b）水下灌浆施工

导管架吊装完成后，灌浆工作船立即驶入锚定 → 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 → 通过水下视频监控，当导管架上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。

2.5.3 风机机组安装

本项目推荐采用单机容量 5.5MW 的风机，预装轮毂高度为 100 米，总装机台数 91 台，总装机容量为 500MW。风机主要部件重量参数见下表。

表 2.5-2 风机主要部件重量参数表

序号	部位	重量（T）	备　注
1	机舱	243	
2	叶片	35*3	三叶片型式，叶轮直径 157m。

3	轮毂	91.5	
4	塔架	415	共 4 节
5	合计	854.5	

（1）施工工艺流程

风机机组安装工艺流程见下图。

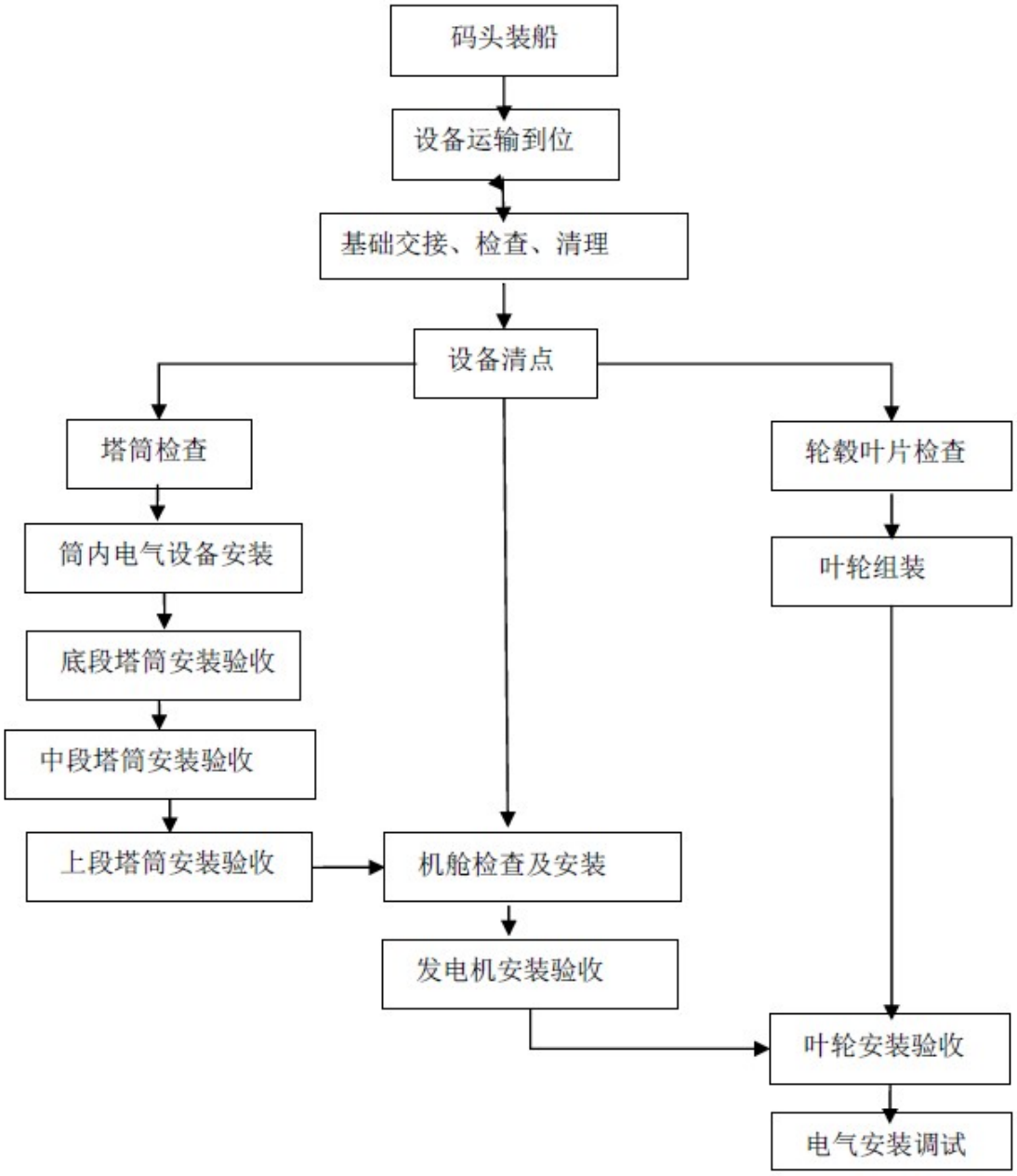


图 2.5-3 风机分体吊装安装施工工艺流程图

2.5.4 海上升压站施工

本风电场配套建设海上升压站二座。220kV 海上升压站由下部基础（包括桩基础、导管架）、上部结构（包括甲板平台和电气设备层）组成。下部基础由四

桩导管架及钢管桩组成，四桩导管架底部为矩形，钢管桩通过灌浆与设置在导管架腿杆边的桩靴进行连接。

（1）钢管桩、导管架制造运输

钢管桩及导管架制造及出运与风机基础类似，见 2.5.2 节。

（2）海上升压站平台及电气设备安装

海上升压站上部平台钢结构考虑在珠海市或附近深圳市附近钢结构加工厂制造、安装。平台结构在陆上施工场地内，利用龙门吊或履带吊机作为起吊设备进行组装，并在结构组装过程中完成电气设备以及其他相关专业设备的安装。在平台结构及电气设备安装完成后，进行检测调试，调试合格后待运出海。

（3）海上升压站下部基础施工

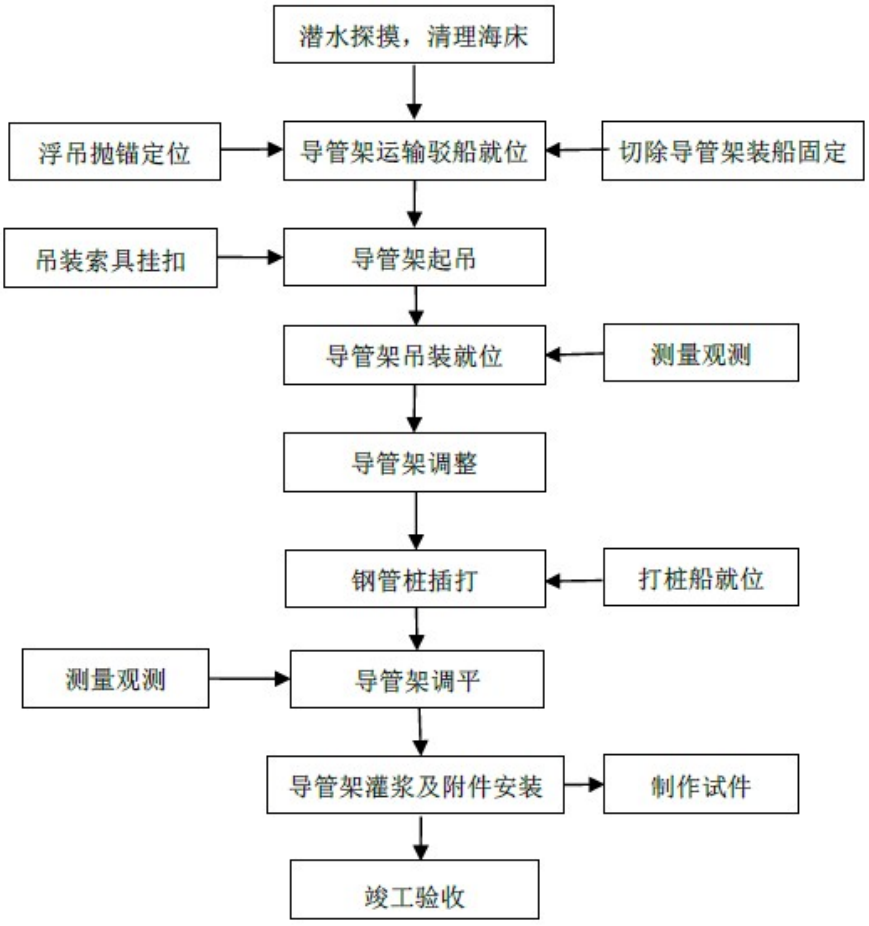


图 2.5-4 升压站桩基础导管架施工流程图

（a）导管架海上安装

在建造厂重装码头利用 3000t 以上起重船将导管架吊装至 5000t 以上的自航式平板驳上，并与平板驳船固定后，运至施工海域。

为保证导管架安放水平，施工前，在辅助驳船上配冲喷设备、沙石料等，对

海床实施扫海，垫砂整平，确保海床无障碍物及基本平整。

所有准备工作完成后，将导管架运输船抛锚定位，利用 3000t 以上起重船整体吊装到位，导管架安装到位后，应及早跟进沉桩施工，以免导管架在风浪作用下滑移，超出偏差要求。

（b）钢管桩沉桩施工

导管架安装就位后，进行钢管桩插打。沉桩作业选用 1000t 以上起重船配备 APE400 型液压振动打桩机。

钢桩沉桩分两步进行，第一步采用 APE400 液压振动打桩机按上述顺序依次沉桩至桩尖入土 40m 左右。然后测量并调整导管架平面水平度。第二步采用液压冲击打桩机或机械打桩锤依次沉桩到位。

（c）导管架与钢管桩连接

钢管桩沉桩完成后，固定于导管架腿杆上的桩靴与钢管桩之间的环缝按设计要求灌注高强灌浆材料连接。

（4）海上升压站平台安装

升压站整体安装流程见图 2.5-5。

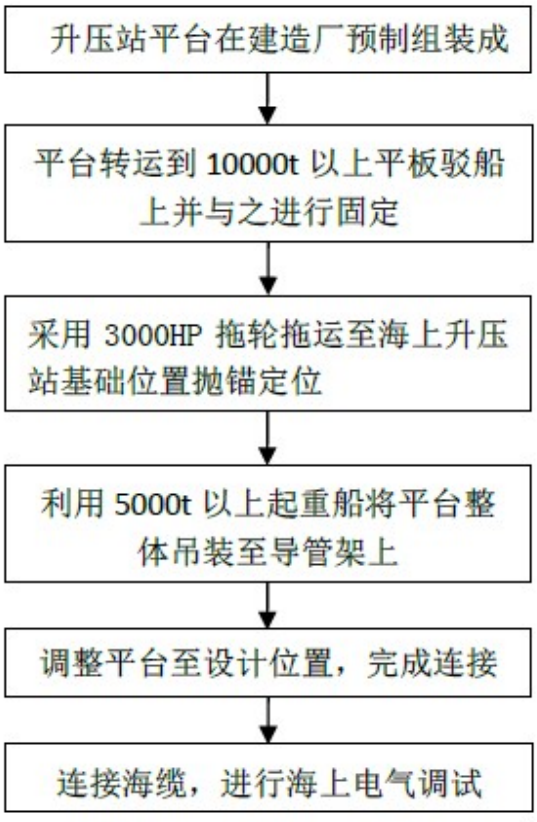


图 2.5-5 升压站平台整体安装流程图

（b）海上升压站平台出运

本工程升压站钢结构平台与内部电气设备组合形成整体的上部组块总重量约为 3900t，国内的起重船施工能力满足其起吊安装要求，因此采取起重船陆－水浮式起重吊装的模式进行升压站上部组块的装船工序。

运输用船舶应尽量保证升压站上部组块的整体边界在船舶型宽范围内，尤其应保证底部四根主柱位置在船舶型宽有效范围内。根据上述对运输船舶尺寸数据的要求并参考同类海工结构组块实际选用运输船舶的情况，推荐选用 10000t 级甲板驳船进行运输。

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

（c）海上升压站整体安装

根据钢桁架组合体上部结构整体吊装尺寸要求，选择 5000t 级及以上起重能力的浮式起重船进行组合体的安装工作。目前国内的海油工程的“蓝鲸”号（7500t）、新振浮 7（5000t）等起重船可满足本升压站上部组块的起吊工作，船机设备可选余地不大，需要根据施工进度计划提前与船机设备供应方沟通。上部组块转运时，可以采取起重船陆－水浮式起重吊装的模式进行升压站上部组块的装船工序。

海上升压站作为首批风机投产的一个关键节点，对于需要尽早进行首批风机发电的情况下，一般考虑在项目开始 9-10 个月之后完成海上升压站的吊装，海上升压站的安装制造过程一定需要提前进行准备工作以及备料，在项目开始的时候就开始建造海上升压站的上部组块，把设备的到货时间与钢结构加工时间有机的结合起来，升压站吊装完成之后，尽快完成电气调试，使之具备倒送电的条件。

2.5.5 海底电缆敷设

本工程海缆送出线路采用 2 回三芯 220 kV 海底电缆，集电海底电缆采用 35 kV 三芯电缆。海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 35 kV 海底电缆和海上升压站与陆上集控中心之间的 220 kV 海底电缆。

（1）近海区域海缆施工介绍

（a）近海区域海缆施工工艺流程

鉴于两种电压等级的海缆在海缆截面积、允许牵引力、单位重量、单根长度等参数存在较大差异，本工程拟选用两种不同吨位等级的海缆敷设船舶，即场内35 kV 集电海缆与 220 kV 送出海缆采用两类不同的施工船舶。场内 35 kV 集电海缆优先选用带动态 DP 定位的施工船舶；220 kV 送出海缆采用无动力的绞锚施工船。常规海缆敷设主要施工工艺如下：

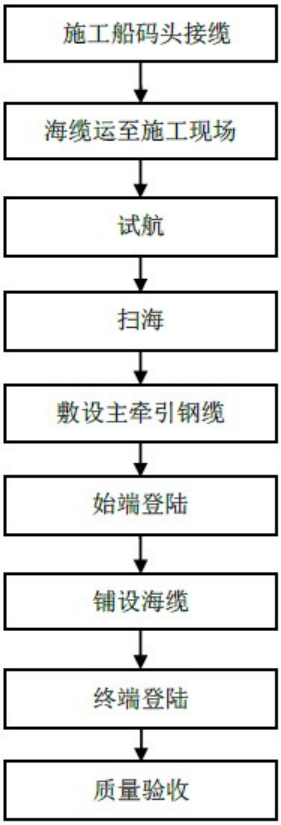


图 2.5-6 海缆敷设施工工艺

（b）主要施工方案

a) 接缆：接缆采用海缆敷设船接缆，接缆地点为一般为生产厂家码头。

b) 试航：施工船舶到达施工现场之后，可首先进行试航作业，以确保后续施工顺利及施工质量。

c) 扫海：在电缆敷设施工前，应对预定固定电缆路由进行扫海操作，以便于探明施工路由轴线上可能影响施工顺利进行的旧有废弃缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物。扫海应注意避开已知的海底管线区域，防止造成意外损坏。

d) 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。本工程初步考虑采用设置主牵引钢缆引导敷设船的施工方法。由于本工程路由较长，需分段敷设主牵引钢缆，

主牵引钢索由铺缆船释放并通过船上主锚机进行控制。

首先施工船根据 DGPS 定位，就位于海缆铺设起点附近的路由轴线上，由锚艇在海缆设计路由上距施工船 5km 处（或转弯处）抛设主牵引锚，主牵引锚和主牵引钢缆连接后，再由锚艇沿路由布放牵引钢缆，直至将主牵引钢缆和施工船上卷扬机连接，开始工程海缆的敷埋施工。

当施工至主牵引锚附近、完成该段海缆敷埋时，采用同样的施工方法进行主牵引钢缆的敷设及工程海缆的敷埋施工。当海缆敷设船距海缆登陆点的距离小于 5km 时，则将主牵引钢缆与预先设置在终端登陆点侧的地锚相连接。

e) 敷埋海缆

主要施工步骤是：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。

f) 埋设机投放

当主牵引钢缆准备完毕后，埋设犁被 A 字架投放入水中，在海底就位。施工船确保入水海缆保持较为合理的状态，牵引机逐步放出海缆并保持合适的张力， 同时调整埋设犁牵引钢索及脐带电缆的长度，使施工船和埋设犁之间的距离达到最佳值。

g) 埋深调节与控制

当埋设犁开始移动时，通过船上监控设备控制其犁刀位置，高压水泵埋设臂开始工作切入海床。逐步调整埋设深度，直至设计值，放出海缆。

在海缆敷设过程中，要严格控制绞锚施工作业船舶的前进速度，一般为 3 ~5 m/min，应于敷设海缆的速度保持一致。海缆敷埋的速度取决于海缆的规格、设计埋深、海床的地质特性等。

h) 风机平台与升压站平台登陆

在电缆终端登陆前，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。施工船埋设施工至风力发电机平台前，平台登陆人员应已完成必要的牵引机械和人员的配置。施工船到达工作区域后，将沿设计路由靠近登陆点。施工船到达指定位置后，埋设犁停止工作，埋设犁臂回收。靠近风机和升压站 50m 范围内的电缆铺设由潜水员配合采用高压水冲泥。

电缆沟冲挖完成后，将电缆端头用专用接头与预先设置在风机基础 J 形管内的钢丝绳连接，然后再平台上用小型卷扬机缓慢提升钢丝绳的另一端，使海缆缓慢穿过 J 形管，到达平台。施工过程中要防止电缆在水下电缆保护管入口处

打折或打扭。

电缆登平台作业完成后要做好电缆绑扎固定工作，特别是电缆进入保护管入口处的定位卡子和电缆保护管出口处固定卡子的安装。

电缆登平台作业完成后，要进行电缆连接端子的制作工作。

（2）220 kV 海缆登陆施工方案

本项目登陆点所在海岸类型为沉积型沙质海岸，岸线比较稳定，海岸沙滩比较宽缓（图 2.5-7），登陆点距集控中心约 150m，至集控中心地貌单元依次为沙滩、侵蚀陡坎、海积平原。靠近登陆点的近岸段礁石较少，海床平坦的水域较宽。登陆点向岸一侧西北方向约 30m 为茂密绿色植被覆盖的沙堤，再向西北 30m 为风电场集控中心，同时也是汕尾的风电基地所规划的集控中心建设用地。登陆段浅滩是广东省大陆自然保有岸线，属于严格保护岸段，海缆敷设时禁止采用开挖等施工手段，为了减少破坏，预先使用定向钻拖拉法穿越海岸埋设管道，再通过管道牵引海缆完成登陆。



图 2.5-7　　登陆点所在位置现状图

施工工艺流程如下：

施工准备 →导向孔施工 →反拉扩孔、成孔 →牵引管道 →基坑开挖→砌检查井 →回填 →清场。

1）根据施工要求，在靠近登陆点需开挖一个工作坑。在管道的起点设置一个工作坑，在管道的终点设置一个接收坑。在工作坑前方还需要停放施工机械以

及导管拆装施工操作面，需占用 10m×4m 的地方做工作坑的施工操作空间。

2）缆始端登陆前，在高潮位时将施工船锚泊就位在登陆点附近，以减小登陆距离，并利用 DGPS 测量系统定位于路由轴线上，抛“八”字开锚锚泊固定。施工时，需根据现场情况设定锚位，确保原有海底缆线的安全。

3）在终端登陆点处设置绞磨机。在电缆终端登陆前，已完成终端登陆的施工准备工作，具备登陆条件。

4）待电缆头牵引出施工船后，在电缆头上设置活络转头，并与设置在终端登陆点处绞磨机的牵引钢丝联结，启动绞磨机牵引电缆。

5）施工船移动船位，避让开电缆登陆路由。牵引电缆沿电缆设计的登陆路由牵引。

6）海缆登陆完成后，在登陆点派专人看护，完成验收，并在周边布置警示牌加以警戒，同时将敷设后路由轨迹提交业主，及时向海事、海洋局备案。

定向钻登陆平面及断面示意图如图 2.5-8 所示：

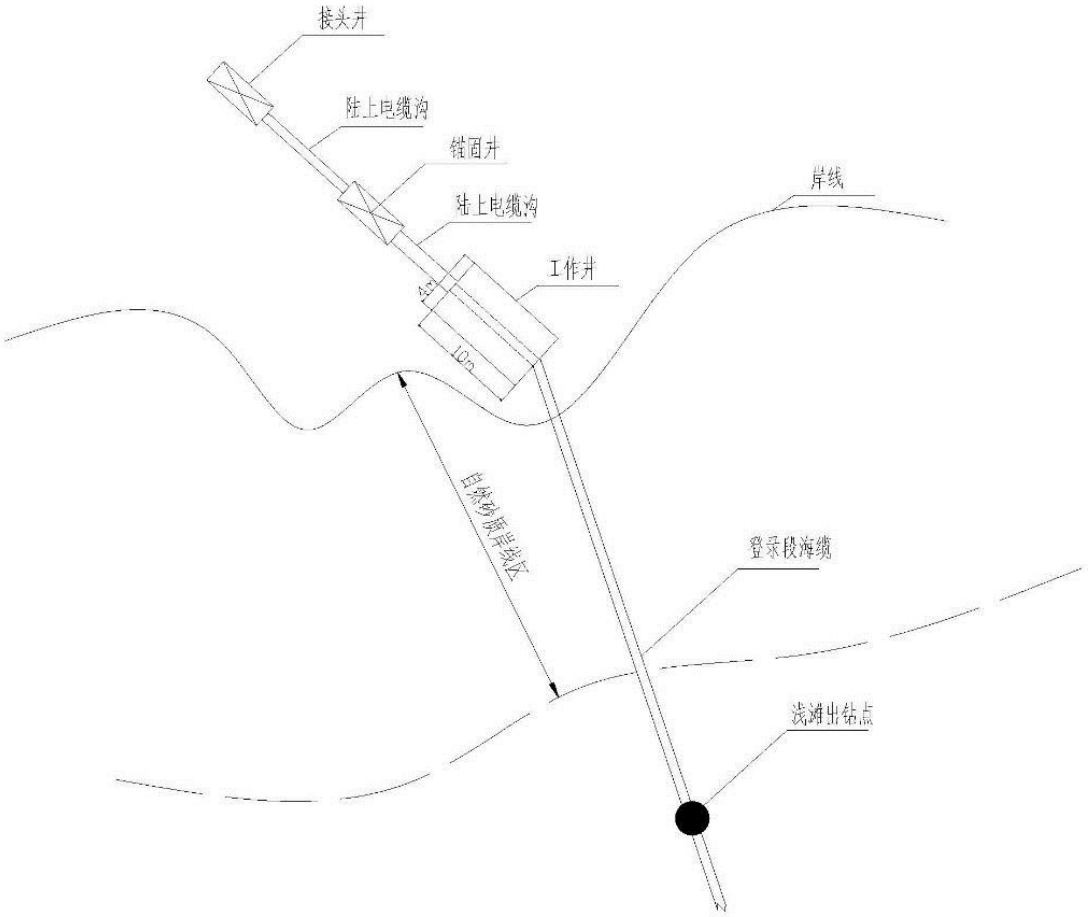


图 2.5-8a 定向钻登陆平面示意图

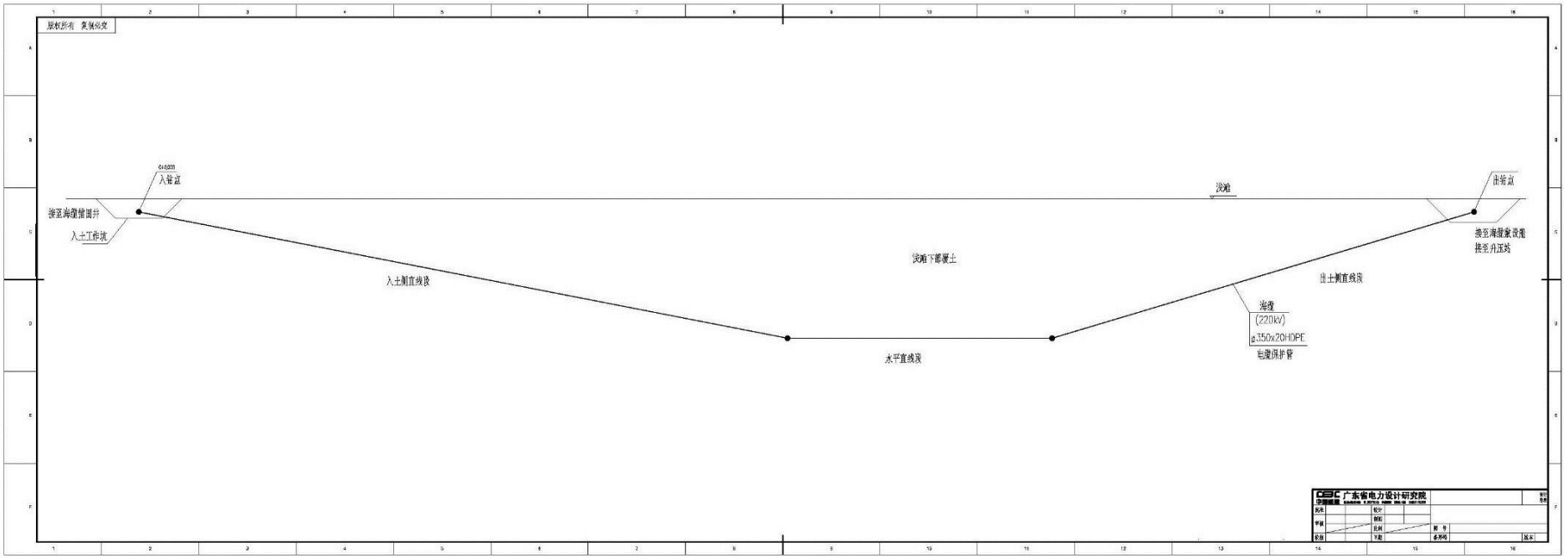


图 2.5-8b 定向钻登陆断面示意图

海缆登陆段施工，因工程特殊性需要运输船只一条，固定船只一条，配备专业潜水员。出钻点距登陆点 200~400m，具体根据海缆乘潮近岸的最小距离确定。完成多级扩孔，在浅滩出钻后由专业潜水员采用钢丝软绳栓至导向钻头牵引到固定船只上，由固定船只上的吊车牵制导向钻头的软绳，把钻头牵制到固定船只上换扩孔器连接扩孔器后方钻杆，用吊车把换好的钻杆、扩孔器放置海底，逐级扩孔。现有的条件下把管材整条焊接、打压完成后穿入钢丝绳，并与闷板连接好闷板安装完成后，注水把管子沉到出钻点，由专业潜水员把钻杆、扩孔器、分动器、所拖管材连接好，进行回拖。定向钻施工作业主要由潜水员水下作业和在陆上工作井内完成，工作船作为钻头接收平台，无需另建施工作业平台。

（3）海缆穿堤施工方案

根据本阶段所选的海缆登陆点，目前海缆登陆不存在穿堤施工。

（4）海缆保护方案

本工程海缆敷设主要包括风机与风机之间、风机与海上升压站之间的 35kV 海底电缆和海上升压站与陆上集控中心之间的 220kV 海底电缆。工程海域海床表层土为新近沉积淤泥土，推荐的海缆敷设方式为直埋方式；登陆部分为海涂和浅滩，推荐的海缆敷设方式是定向钻拖拉法。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。本工程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海洋行政主管部门备案，并同时抄报海事管理机构。省级以上人民政府海洋行政主管部门每年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。国家鼓励海底电缆所有者对海底电缆管道保护区和海底电缆管道的线路等设置标识。划定海底电缆防护区：海港区内为海底电缆两侧各 50 米。电缆防护区周围还应设置禁锚标志，以提醒过往船舶不得在防护区内锚泊。考虑到大型船只紧急抛锚的概率极低，海底电缆可采取全程埋设并采用套管保护、加盖保护件（碎石、混凝土件、沙包等）的保护方式。设置标识时，应向县级以上人民政府海洋行政主管部门备案。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）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）为保护交越段的原有光缆、电缆安全，需制定合理的交越保护方案。具体在海缆施工中，敷埋至交越点前规定位置时，距离交越缆前后各 100 m 停止敷埋作业。海缆敷设船“八字”开锚锚泊定位，抛锚位置须离开原有缆线距离 100 m 以上，并开始回收提升水下埋设机，当埋设机出泥至一定高度后，绞锚向前移船，同时布缆机以相应速度布放电缆进行抛放敷设。待水下埋设机越过交越点 100 m 后重新投放埋设机进行敷埋作业，在跨越布缆施工过程中，潜水员必须水下全程进行监护，确保海缆的安全。考虑到与其他管线影响问题，采用钢筋混凝土预制结构进行防护。具体方案见图 2.5-9：

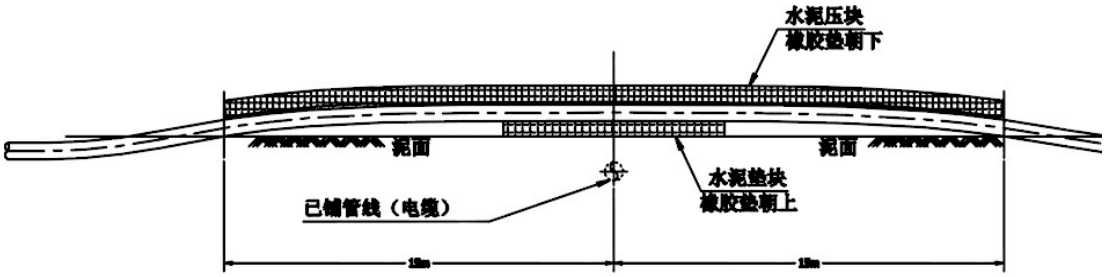


图 2.5-9 交越段电缆保护方案

5）登陆段海缆是局部无法完成敷设的路径段，为了提高登陆段海缆的安全性，海缆敷设后应按要求进行保护作业。比如终端至低潮水位线段的海缆保护，使用定向钻拖拉法穿越海岸埋设管道，再通过管道牵引海缆完成登陆，登陆后接入陆上集控中心，海缆登陆段可采用球墨铸铁套管保护（图 2.5-10）；陆上段，海缆敷设在预制混凝土槽内，再回填细沙，盖上盖板，埋设深度取 1.0m。

根据海缆敷设的设计方案和海缆保护要求，各海区段海缆埋深见图 2.5-11，其中海缆过非航道段直埋深度约 3m，海缆过航道段直埋深度约 4m，浅滩段带保护套管的，钢筋混凝土保护板埋深约 1.5m，电缆埋深约 2m。

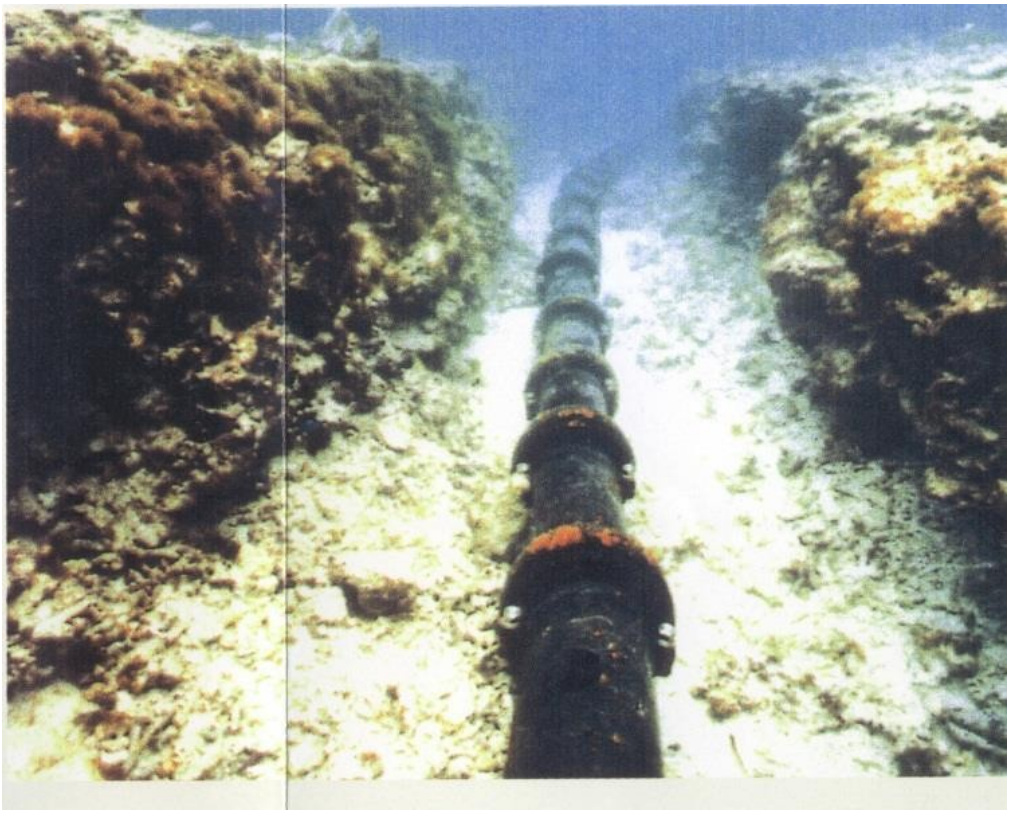


图 2.5-10　海缆保护套管

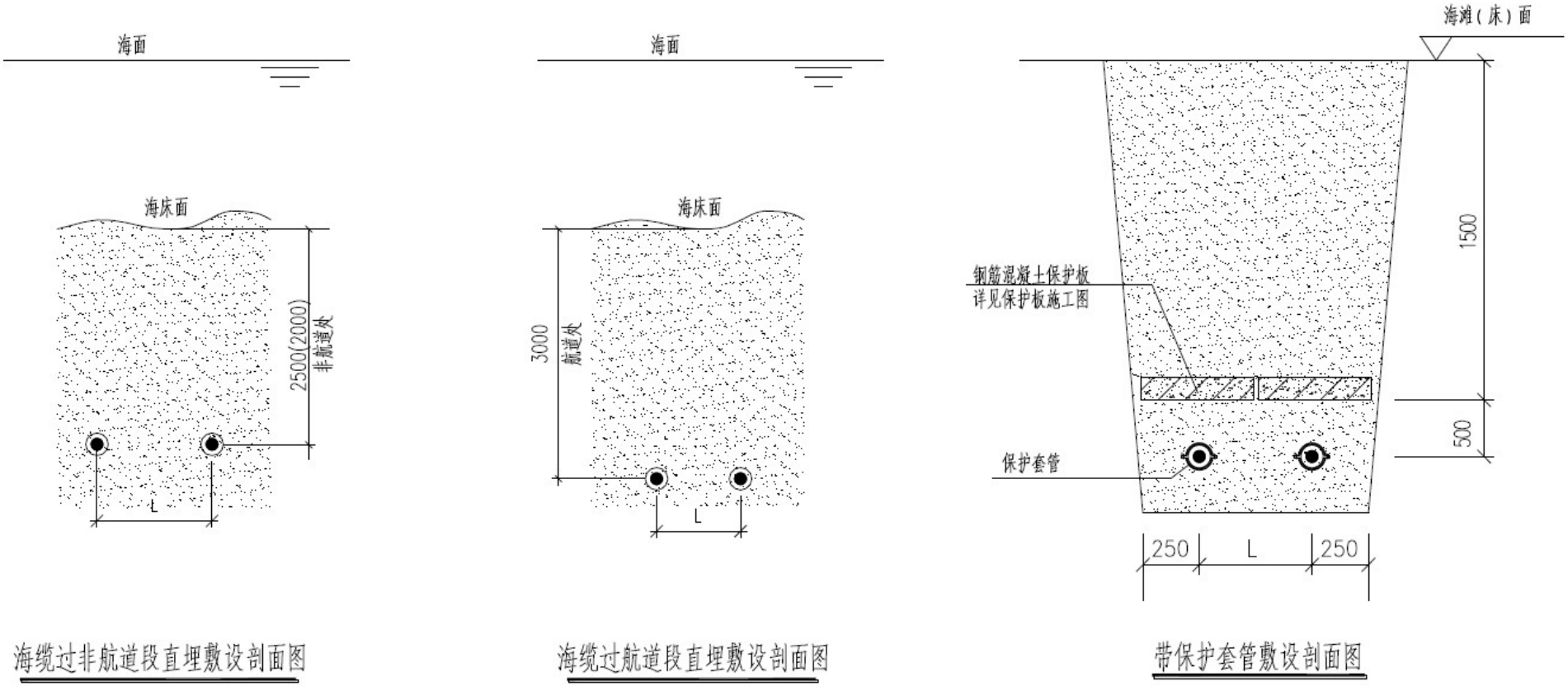


图 2.5-11 海缆保护及埋深示意图

2.6 施工机械设备

本工程风机基础施工主要船机配置表见表 2.6-1。

表 2.6-1 四桩导管架基础施工主要船机配置表

序号	名称及规格	单位	数量	用途	备注
1	起重船	艘	2	钢管桩打桩	起升高度 90 米以上，对应起重能力 500 吨以上，均配置 IHCS-800 液压打桩锤
2	起重船	艘	2	导管架吊装	起重能力 2000t 及以上
3	甲板驳船	艘	2	钢管桩运输	3000t 及以上，每次运输 8 根
4	甲板驳船	艘	2	导管架运输	5000t 及以上，每次运输 2 个
5	拖轮	艘	4	拖运、移位船只	3000HP 及以上
6	抛锚艇	艘	6	驳船、起重船等起抛锚	
7	交通艇	艘	2	接送人员	

风机机组安装施工主要船机配置表见表 2.6-2。

表 2.6-2 风机机组安装拟配备的主要施工船机设备表

序号	船　型	单位	数量	配置设备	船舶用途	备　注
1	自升平台船	艘	2	500t 主吊、50t 辅助吊	风机吊装	国内已有
2	起重船	艘	2	800t 海工吊	配合风机吊装	自航
3	平板驳	艘	2	3000t	风机运输	平板驳
4	拖轮	艘	4		拖航 3	自航
5	供给船	艘	2		淡水、油料	自航
6	交通艇	艘	2		场内交通	自航
7	多功能驳	艘	1		材料运输	自航
8	锚艇	艘	6		起抛锚	自航

海上升压站基础及上部平台安装施工主要船机配置表见表 2.6-3。

表 2.6-3 海上升压站施工主要船机配置表

序号	名称及规格	单位	数量	用途
1	3000t 起重船	艘	1	导管架装船、安装
2	APE-400 型振动锤	台	1	钢管桩稳桩
3	1000t 起重船	台	1	钢管桩起吊、插打
4	液压锤（柴油锤）	台	1	钢管桩插打 S800，S1200 备选
5	10000t 工程驳	艘	1	升压站平台运输
6	5000t 工程驳	艘	1	钢管桩、导管架运输
7	3000HP 拖轮	艘	1	驳船拖带
8	1000HP 拖轮	艘	2	驳船拖带
9	5000t 起重船	艘	1	升压站平台吊装
10	抛锚艇	艘	2	抛锚
11	300 匹交通船	艘	2	交通运输
12	1000t 工程驳	艘	1	灌浆船

13	1000t 级加水、加油船	艘	2	现场船舶供水、供油
14	运输台车	辆	4	升压站平台场内转运

电缆铺设施工主要船机配置表见表 2.6-4。

表 2.6-4 海缆铺设主要施工船机配置表

序号	设备名称	单位	数量	用途
1	铺缆船	艘	1	敷设 220kV 电缆
2	铺缆船	艘	1	敷设 35kV 电缆
3	两栖挖掘机	台	4	浅水滩涂地区域挖沟及回填
4	200t 汽车起重机	台	1	电缆装车
5	抛锚艇	艘	2	施工船抛锚、拖运施工船
6	2000HP 拖轮	艘	2	拖运施工船
7	交通艇	艘	2	接送施工人员
8	起重船	艘	1	电缆装船

2.7 施工进度计划

工程准备期主要包括规划的施工基地建设、钢管桩加工制作、风电场场内扫海、施工供水、施工供电、施工通信等准备工程建设。

工程准备工作完成以后，开展主体工程的施工。本工程（500MW）与甲子二项目（400MW）一并规划，本工程项目总工期计划为 48 个月。本工程于 T+0 月开工后，第 T+12 个月后本项目首批 3 台机组发电，第 T+22 个月后甲子二项目首批 3 台机组发电，T+46 个月后甲子二项目全部投产，T+48 月本项目全部 91 台风机投产发电，项目竣工。

2.8 占用（利用）海岸线、滩涂和海域状况

2.8.1 施工临时用地

本工程同时存在海上施工项目及陆上施工项目，施工现场覆盖范围较广，且周边条件复杂，结合工程条件及施工条件，本工程施工期间规划 2 个施工基地及 4 大施工作业区。其中施工基地分为：施工主基地、施工辅助基地；施工作业区分别是海上风场施工区、220kV 送出海缆施工区、陆上集控中心施工区、钢结构加工制作区。

本工程临时用地主要为施工主基地用地，约 40000m^2。

陆上集控中心施工基地：布置在汕尾市碣石镇陆域。场地内主要布置与集控中心施工相关的生产及生活临时设施，辅助用于办公、零星材料堆放、半成品加

工等。

施工主基地：施工主基地利用现有码头，布置在宝丽华的甲湖湾电厂重件码头和堆场。施工主基地设置管理机构办公生活区、钢结构加工制作场地、风机机组堆存及拼装场地、各种仓库、生产生活设施等，此施工区为海上各类施工项目的施工主基地，各种材料的装卸及堆存、成品半成品的出运都需利用此场地完成，施工基地设置有不小于 100 米长的泊位及重型吊机，港池水深应能满足大型运输船舶的吃水要求。

2.8.2 工程占海情况

本项目用海类型属于工业用海中的电力工业用海，用海方式包括透水构筑物和海底电缆管道用海，项目申请用海总面积 540.5044 公顷：其中透水构筑物用海总面积 147.9470 公顷，包括风机用海 144.2572 公顷、400MW 海上升压站用海 1.9743 公顷、100MW 海上升压站用海 1.7155 公顷；海底电缆管道用海总面积 392.5573 顷，包括 35kV 海底电缆用海 163.1093 公顷、220kV 海底电缆用海 229.4480 公顷。

本项目登陆段用海申请范围占用大陆自然岸线，占用岸线长度为 21m，电缆实际占用长度 0.85m，且仅占用岸线底层空间。

海缆登陆时，使用定向钻拖拉法穿越海岸埋设管道，再通过管道牵引海缆完成登陆，登陆后接入陆上集控中心；陆上段，海缆敷设电缆沟，盖上盖板，埋设深度取 1.0m。

海缆登陆段虽穿过砂质岸线，但是通过定向钻拖拉法穿越，仅占用岸线底层空间，不对砂质海岸进行开挖，且埋设有一定深度，不会诱发沙滩蚀退或破坏砂质海岸；而且由于占用岸段处于海缆保护范围，会采取一定措施对海缆登陆所在沙滩进行防护，有助于沙滩自然属性的维持，能保持岸线的原有生态功能，不改变岸线自然属性，所以不会减少汕尾市的自然岸线保有率。

本项目宗海位置图和界址图见图 2.8-1 和图 2.8-2。

中广核汕尾甲子一海上风电场项目宗海位置图

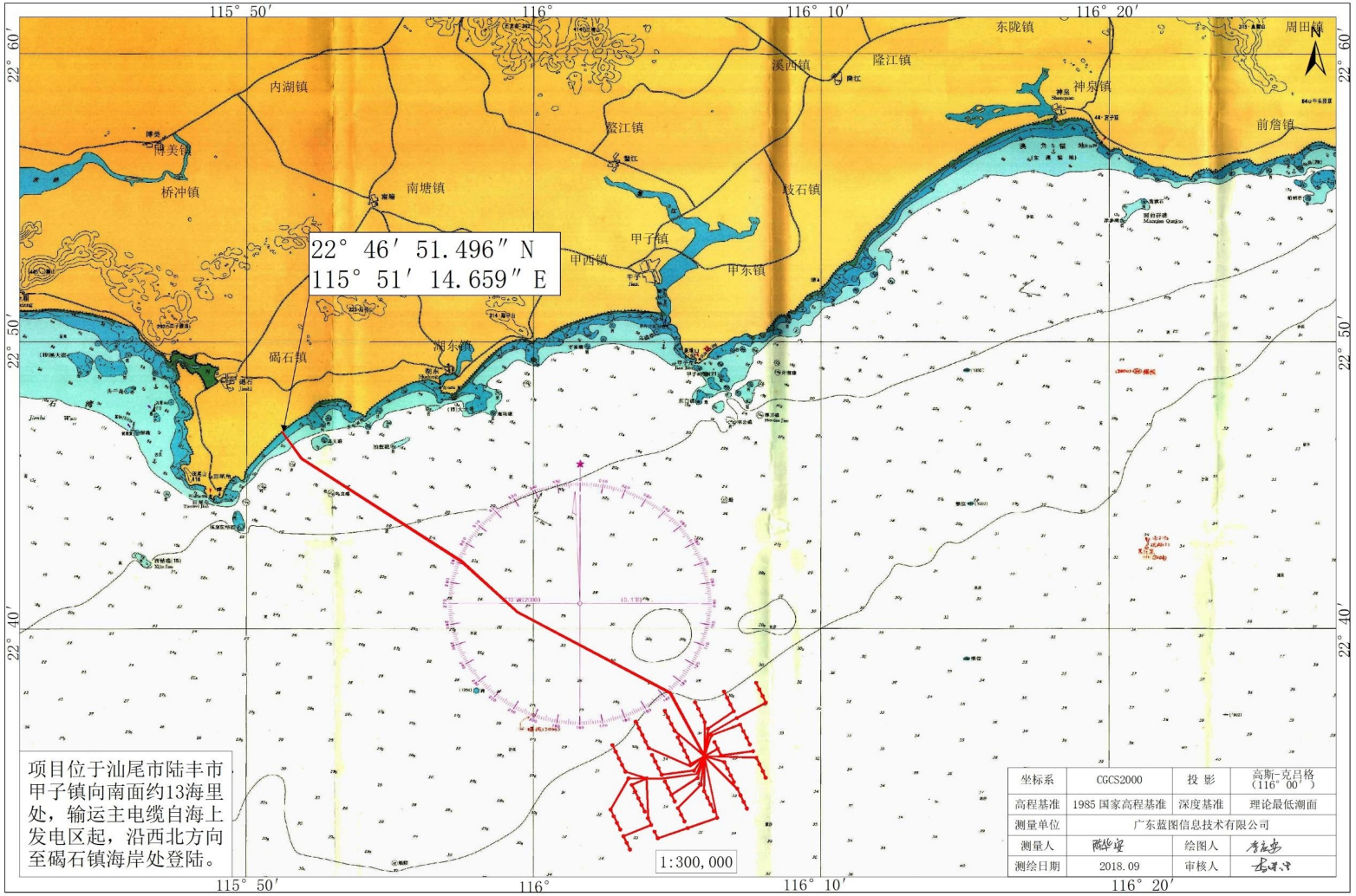


图 2.8-1 本项目宗海位置图

中广核汕尾甲子一海上风电场项目宗海界址图

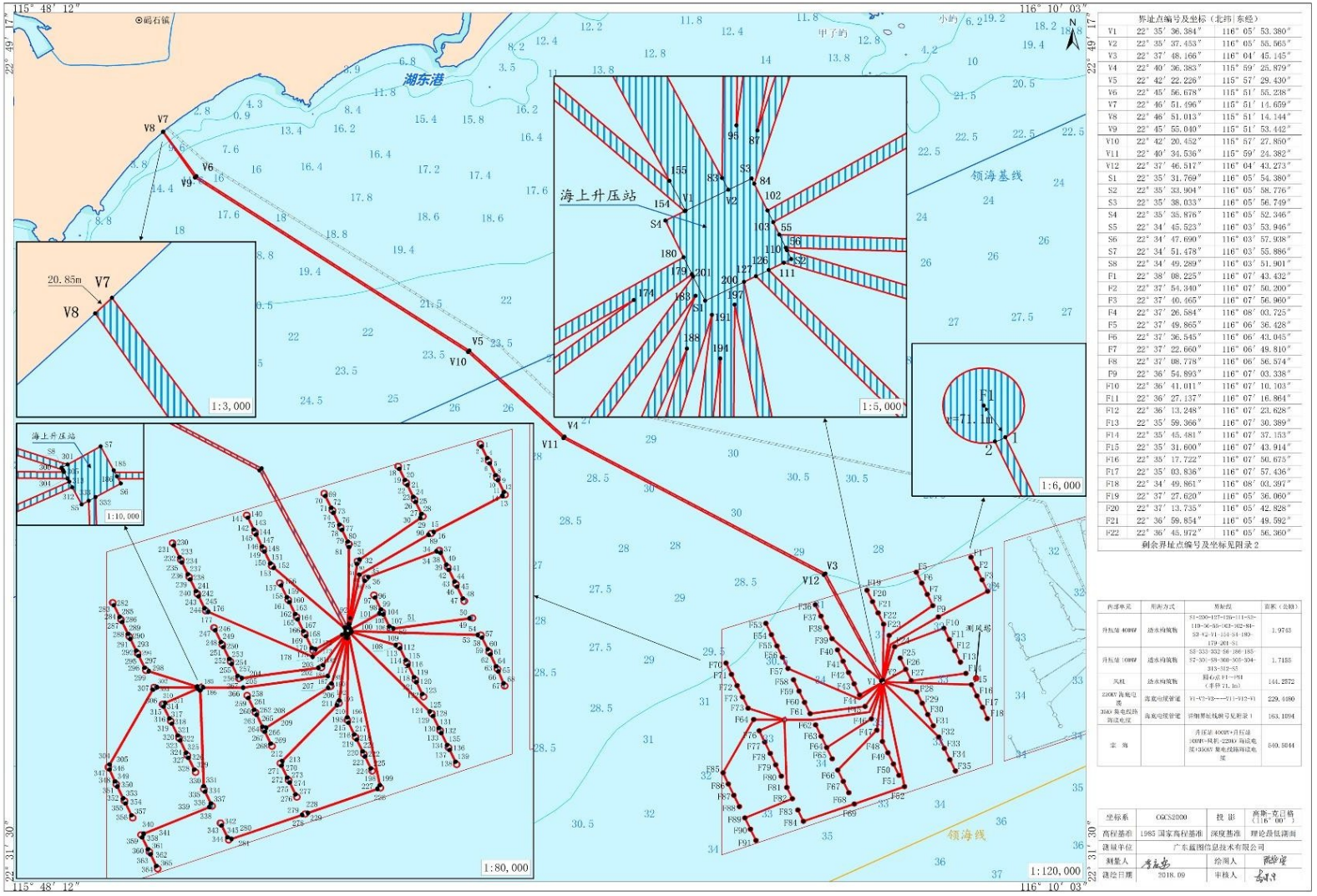


图 2.8-2 本项目宗海界址图

3 工程分析

3.1 生产工艺与过程分析

本工程生产工艺较简单，施工期主要为风机基础施工、风机安装，以及升压站施工，电缆敷设等。运行期风机利用风能转化为机械能，然后通过风机机舱内的发电机转化为电能，通过风机内变压器和升压站升压后送出接入电缆。

3.1.1 施工期产污环节分析

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

（1）风机基础及机组安装施工

风机基础施工与机组吊装施工过程中主要污染环节包括打桩时产生的悬浮物与噪声、施工作业船舶产生的含油污水与船舶废气、作业人员生活污水和生活垃圾以及钢结构制作施工基地各类废水、废气污染物。风机基础及机组安装施工产污节点见图 3.1-1 所示。

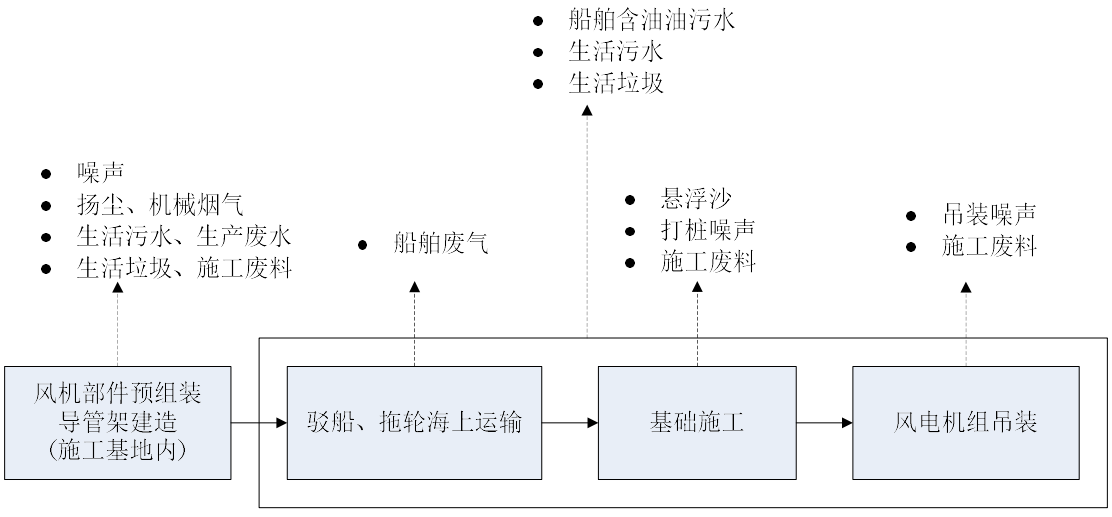


图 3.1-1 风机基础及机组吊装施工产污节点图

（2）升压站基础及平台吊装施工

海上升压站建设施工与风机基础及上部结构施工过程类似，施工主要污染环节包括打桩时产生的悬浮物和噪声、钢结构海上运输和安装施工时产生的船舶油污水、废气、固体废物，以及作业人员生活污水与生活垃圾。此外，施工基地内

钢结构制作和平台电气设备安装过程也将产生一定的废水、废气、固体废物。升压站基础及平台吊装施工产污节点见图 3.1-2 所示。

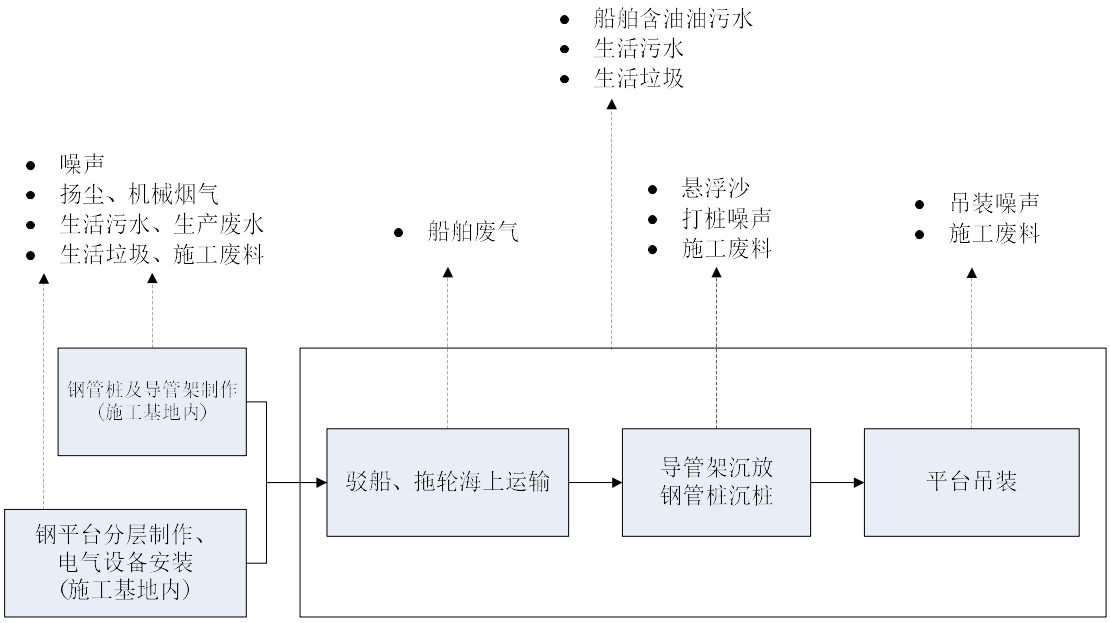


图 3.1-2 海上升压站建设施工产污节点图

（3）海底电缆敷设施工

海底电缆施工过程中海域主要污染环节是电缆敷设过程中高压水和埋设犁犁刀联合作用于海床产生的悬浮物、以及试航与扫海期间产生的海底废弃物。此外，还包括作业船舶燃油废气、轮机噪声、油污水及施工人员生活污水和生活垃圾。对于水深小于 3m 的滩涂区域，采用两栖挖掘机预挖沟，再进行电缆牵引敷设施工，挖沟作业尽量趁低潮坐滩施工，但在有水条件挖沟作业时也会产生一定的入海悬浮沙。海底电缆敷设施工产污节点见图 3.1-3 所示。

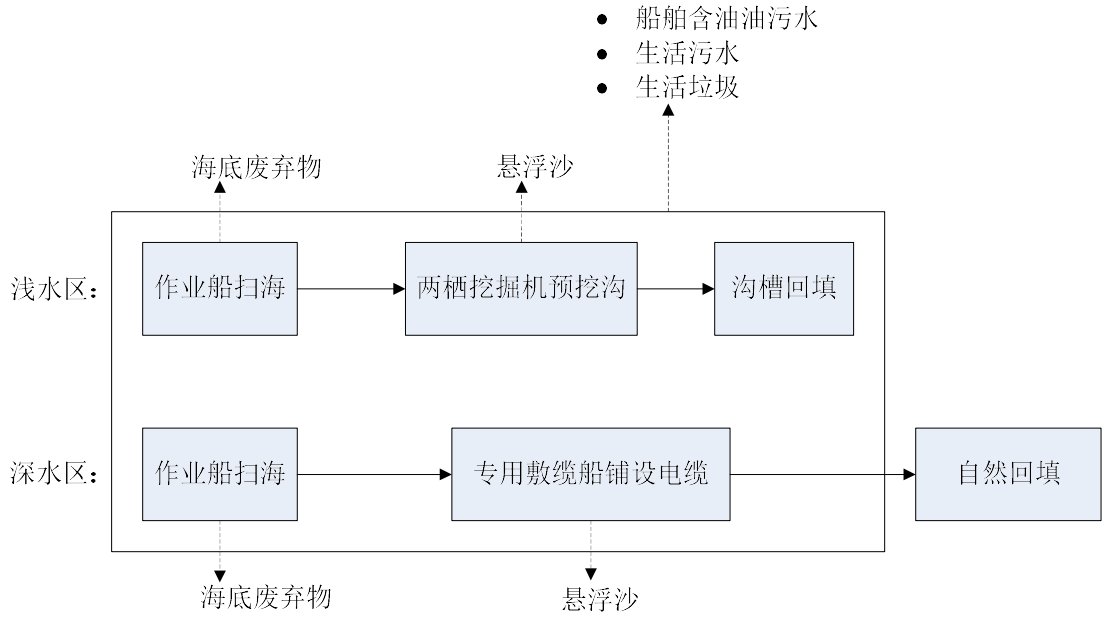


图 3.1-3 海底电缆敷设施工产污节点

（4）陆域集控中心及电缆施工

海缆登陆后，陆地区域电缆采用电缆沟敷设电缆。

电缆沟施工顺序为：电缆沟放样→清除障碍物→开挖上层杂填土→开挖下层土沟槽→垫层→侧模放线→支模、配筋、接地→混凝土浇筑、振捣、收光→养护→拆模电缆支架焊接→电缆施放→回填→现场清理。

工作井施工顺序为：施工放样→基坑开挖→混凝土垫层→砖砌井→压顶制模、钢筋绑扎→压顶混凝土浇捣→内墙抹灰→养护→盖板。

陆上集控中心施工准备阶段主要是施工备料及施工便道的施工，之后进行主体工程阶段的基础施工，包括集控中心建构筑物基础及杆塔基础、回填，边坡防护等，基础开挖完成后，集控中心设备进行安装，施工完成后，对基面进行防护。工程竣工后进行工程验收，最后投入运营。

施工期工艺流程及产污环节示意图见图 3.1-4。

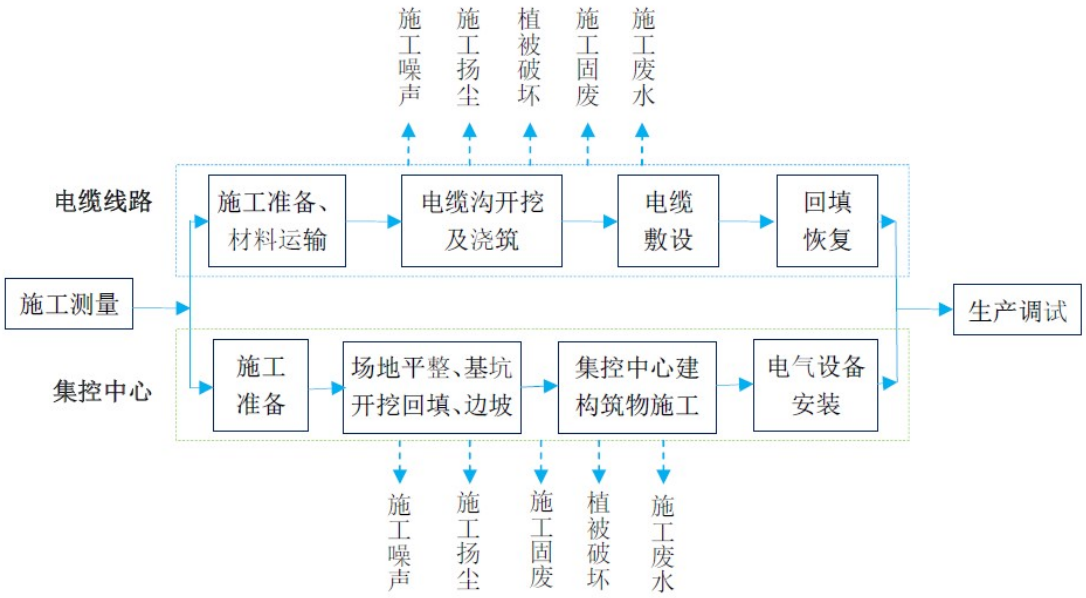


图 3.1-4 陆域施工期工艺流程及产污环节示意图

3.1.2 运行期产污环节分析

（1）海上工程

运行期风电场主要工艺是风机运转发电，是机械能向电能的能量形式的转化过程，该转化过程本身不产生污染物，其主要环境污染因素包括风机机组运行噪声、风机基础牺牲阳极金属离子溶出等；升压站主要环境污染因素包括主要噪声、工频电磁场及基础牺牲阳极金属离子的溶出等；海底电缆环境污染因素为 220kV 送出海缆工频电磁场影响。此外，风机和升压站维护过程会产生少量的废油和船舶废气。

本工程运行期产污环节详见图 3.1-5。

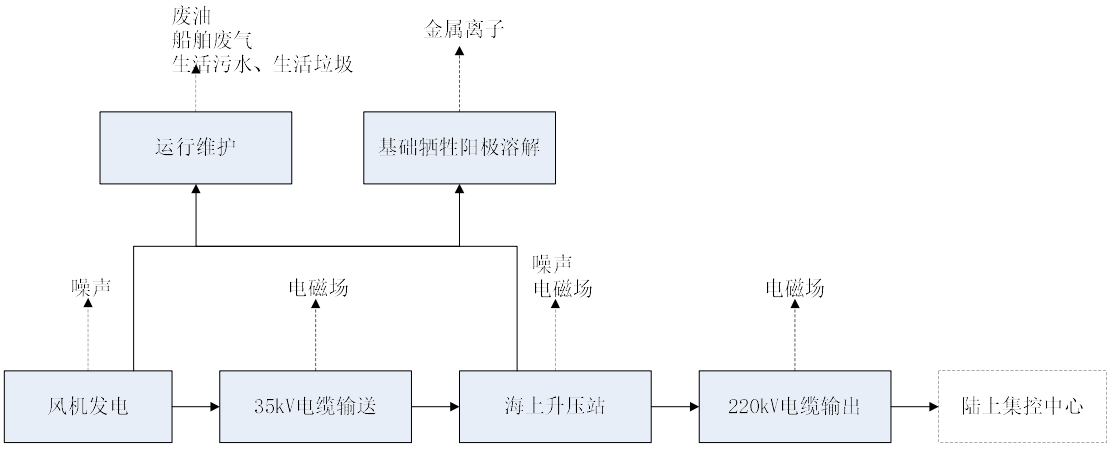


图 3.1-5 运营期海上工程产污节点图

（2）陆域工程

本工程陆域工程运行期对环境的影响主要包括高压线及各种电气设备产生的工频电场、工频磁感应场、电晕放电产生的噪声、食堂油烟废气、备用柴油发电机废气、陆上集控中心值守人员的生活污水以及变压器事故排油等。陆域工程运行期工艺流程及产污环节示意图见图 3.1-6。

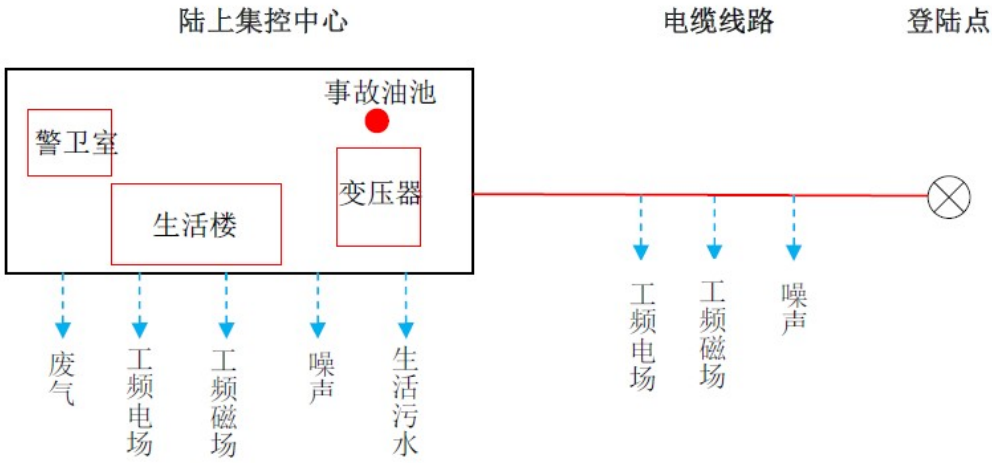


图 3.1-6 运行期陆域工程产污环节示意图

3.2 工程各阶段污染环境影响分析

3.2.1 施工期污染影响分析

3.2.1.1 悬浮物排放情况

（1）风机桩基和升压站桩基施工悬浮物

整个风电场的平均钢管桩桩长约为 92.3 m，平均入土深度约为 86 m，升压站钢管桩平均桩长 94.1m，桩入泥约 87.0m。拟采用 IHCS-800 液压打桩锤进行基础钢管桩施打作业，施工时振动冲击导致的海底泥沙再悬浮引起水体混浊。

根据同类工程实际施工经验，打桩悬浮物浓度不高，约为 0.15kg/s，引起周围海域悬浮物浓度增加（>10mg/L）范围一般在半径 100m 内。

（2）电缆铺设施工悬浮物

电缆铺设包括 35kV 集电海缆和 220kV 送出海缆，根据施工组织计划，水深小于 3m 区域采用两栖挖掘机预挖沟施工，再进行牵引电缆作业。潮间带预挖沟作业时段选择退潮后干施工，基本没有悬沙入海，但在有水时也会产生少量的悬浮沙。

两栖挖掘机斗容按照 1m^3 估算，作业效率取 1.5 分钟 1 斗，则 4 台挖掘机的作业效率为 160m^3/h。悬浮泥沙的发生量按《港口建设项目环境影响评价规范》中提出的公式进行估算：

$$Q = R/R_0 \cdot T \cdot W_0$$

式中：Q 为清淤作业悬浮物发生量 t/h；W_0 悬浮物发生系数(t/m^3)；R 发生系数 W_0 时的悬浮物粒径累计百分比(%)；R_0 现场流速悬浮物临界粒子累计百分比 (%)；T 挖泥效率(m^3/h)。取泥沙丢失率为 5%，取 R：R0=5%（砂质岸滩泥含量估算 5%）计算悬浮泥沙产生量。沉积物干容重取 0.9t/m^3，则两栖挖掘机施工的泥沙排放源强约 0.1kg/s。

水深大于 3m 区域采用水力机械海缆埋设机铺缆，作业时由高压水力埋设机冲切海床形成缆沟断面后及时铺缆，沟槽自然回填。采用如下公式计算深水区电缆埋设机冲切海床引起的悬浮沙增量：

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

式中：S 为悬浮沙源强，kg/s；A 为海缆挖沟横截面，m^2；v 为铺缆速度，m/s；ρ 为底质沉积物密度，kg/m^3；f 为起沙率，无量纲。

海底电缆敷设在泥面下约 3m 深处，海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，正常铺设速度约 4m/min，单条海底电缆铺设正常施工土方量=（0.3m+0.5m）×3m×0.5×4 m/min =4.8m3/min 计，折合 288m^3/h。

根据风电场区表层沉积物分布情况，15m 等深线以浅主要为粉砂质黏土，起沙率按照 40%估算，淤泥干容重取 900kg/m^3，由此计算得单条电缆施工的悬浮物源强=288m^3/h×40%×900kg/m^3/3600s/h=28.8kg/s。

15m 等深线以深主要为黏土质粉砂，根据风电场区表层沉积物粒径分析结果，淤泥平均含量为 15%，淤泥干容重取 900kg/m^3，由此计算得单条电缆施工的悬浮物源强=288m^3/h×15%×900kg/m^3/3600s/h=10.8kg/s。

3.2.1.2 废水污染物排放情况

（1）船舶含油污水

工程施工期主要为海上作业，施工期间将有起重船、工程驳船、拖轮、自升平台船、铺缆船等等多种类型的施工船舶集中在工程海域作业，各作业阶段船机配备情况详见表 2.6-1～表 2.6-4，船舶吨级在 3000t～10000t，施工时将产生少量的机舱含油污水，主要污染因子为石油类，石油类浓度约为 2000～20000mg/L

之间。

根据《港口工程环境保护设计规范》（JTS149-2018），500t 级船舶机舱含油污水产生量为 0.14 t/d•艘，500~1000t 级船舶机舱含油污水产生量为 0.14～0.27t/d•艘，1000~3000t 级船舶机舱含油污水产生量为 0.27～0.81t/d•艘，3000~7000t 级船舶机舱含油污水产生量为 0.81～1.96t/d•艘，7000~15000t 级船舶机舱含油污水产生量为 1.96～4.20t/d•艘，据此计算本工程海上各施工作业区船舶机舱含油污水产生量约为 4.41~13.28t/d，详见表 3.2-1，按石油类浓度为 10000mg/L 估算，则施工期石油类污染物的发生量共约为 4.41~13.28kg/d。需说明的是，船舶油污水最大产生量发生在首批风机并网发电后的高峰期大规模海上施工，包括风机基础及安装施工、电缆敷设，船舶油污水最大日产生量为 28.55t/d，相应的石油类产生量为 28.55 kg/d。

船舶油污水统一收集在作业船舶上，待船舶靠岸后交由有处理能力的接收单位进行接收处理，不排海。

表 3.2-1 船舶油污水产生量

船舶吨级（t）	施工船舶数量（艘）				船舶污水产生量（t/d）			
	风机基础施工	风机安装	升压站施工	铺设电缆	风机基础施工	风机安装	升压站施工	铺设电缆
500	8	11	7	4	1.12	1.54	0.98	0.56
500~1000	4	2	3	1	1.08	0.54	0.81	0.27
1000~3000	4	6	2	2	3.24	4.86	1.62	1.62
3000~7000	4	2	2	/	7.84	3.92	3.92	1.96
7000~15000	/	/	1	1	/	/	4.2	/
合计	20	21	15	8	13.28	10.86	11.53	4.41

（2）生活污水

根据施工组织计划，本项目施工平均人数为 280 人，高峰期 350 人，其中海上平均施工人数 150 人，陆上施工基地平均施工人数 130 人。根据《水运工程环境保护设计规范》（JTS 149-2018），海上施工人员生活用水量取 100L/人•d，陆上施工人员生活用水量取 120L/人•d，废水产生量按用水量的 80%计，则施工期海上生活污水产生量为 12.0m^3/d，陆上施工基地作业人员生活污水产生量为 12.48m^3/d。生活污水主要污染因子包括 COD、BOD_5、SS、氨氮及动植物油，根据施工经验，各污染因子的浓度含量水平为：COD：250mg/ L，BOD_5：150mg/ L ，SS：220 mg/ L ，氨氮 40mg/L，动植物油 30 mg/L。据此核算污染物产生量约为

COD：4.62kg/d，BOD_5：2.77kg/d，SS：4.07kg/d，氨氮：0.74kg/d，动植物油：0.55kg/d。海上生活污水收集在船载生活污水收集装置中，船舶靠岸后运至岸上，由罐车送至附近污水处理厂处理。陆域施工生活污水经隔油、临时污水处理设施处理后回用洒水。

（3）生产废水

施工期间，陆上施工主基地设置机械设备停放场 1 处，修配厂 1 处，施工生产废水主要为机械设备冲洗水和维修废水，主要污染因子为石油类和 SS，石油类含量约为 2000mg/L。根据同类施工经验，生产废水产生量约为 0.2m^3/d，则石油类污染物产生量为 0.4t/d。生产废水经隔油、沉淀处理满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）中相应标准要求后，回用于施工基地道路清洗、车辆冲洗等用水。

3.2.1.3 废气污染物排放情况

本工程在施工过程中所使用的施工船舶、机械和运输车辆均以柴油或汽油燃料，施工机械、船舶和车辆运行会产生一定量废气，主要污染物质包括 NOx、CO、SO_2 等。施工主基地内物料装卸、堆放、运输等将产生一定施工扬尘，影响基地周边环境空气质量。

工程施工船舶发电机功率按 3000HP 计，1HP 的功耗油按 150g 计，则单艘船舶单位小时耗油量为 450kg。燃油以轻柴油计算，船舶 SO_2、NOx、CO 的源强如下：

①船舶 SO_2 源强

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

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

柴油中 S 的含量一般为 0.5%～0.75%，取 0.75%；船舶无脱硫装置，脱硫效率取 0，则单艘船舶每小时 SO_2 的排放量为：2×450×0.75%×(1-0)=6.75kg/h。

②船舶 NOx 源强

燃烧 1t 柴油约产生 12.3kg NOx，船舶每小时耗油量为 450kg，则 NOx 排放量约为 5.54kg/h。

③船舶 CO 源强

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

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

单艘船舶每小时 CO 的排放量为：2.33×450×2%×90%=18.87kg/h。

工程施工船舶约 30 艘，则施工高峰期船舶 SO_2、NOx、CO 每小时排放量分别为 202.5kg/h、166.2kg/h、566.1kg/h。

陆上工程施工期如土方挖掘及回填、施工场地平整、进站道路建设开挖地表等施工作业将破坏施工区土壤结构，加上土石方临时堆放及物料运输车辆在干燥天气尤其是大风天气下容易产生扬尘，对周边大气环境产生一定影响；施工机械设备运行会产生少量尾气(含有 NO_x、CO、CmHn 等污染物)，这些施工扬尘、尾气等均为无组织排放，受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性较大。另外运输车辆在行驶过程中也会产生少量尾气(含有 NO_x、CO、CmHn 等污染物)以及道路扬尘，对道路沿线分布的居民点会产生一定影响。

3.2.1.4 噪声排放情况

本项目噪声源主要是海上工程施工区和陆上施工基地作业区各类施工作业产生的噪声，分述如下：

（1）海上施工噪声源强

海上施工噪声主要来自于来往施工船舶航行噪声以及风机、升压站施工点打桩作业噪声。

①船舶噪声—施工时将动用大量的运输船和工作船，作业船只在施工区的频繁行驶将对工程海域产生较大的干扰噪声。船舶通航时噪声包括机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声，其中机械噪声和螺旋桨噪声为主要噪声源。声源特性与船舶通航速度有关，表现为：低速运行时以船舶机械噪声为主，高速运行时以螺旋桨噪声为主。根据厦门大学在厦门五缘海海域、珠海海域对海洋环境噪声与船舶噪声进行的记录，一般运输船舶噪声的均方根声压级平均值约为 125.5dB/re 1μPa，部分航速较快、吨位较大、航行中仍在施工的船舶期峰值声压级可以达到 150 dB/re 1μPa 以上。

②打桩噪声—工程海上施工作业对海洋环境有短时明显影响的是施工过程中的冲击打桩。水下冲击打桩是海洋工程中一种典型的强噪声源，其特点是高声源级，单次冲击表现为脉冲式宽频波形，而单根管桩需要多次冲击才能施打至设计深度，因此表现为连续多个脉冲的脉冲串。本次风机桩基础打桩施工噪声源强

取 220 dB（re 1 μ Pa）。

（2）陆上施工噪声

工程施工期噪声源主要是各种施工机械设备和施工运输车辆产生的机械噪声及土方挖掘和场地平整以及打桩、钻孔等各种施工作业产生的施工噪声。其中土石方阶段施工机械主要有挖掘机、推土机、轮式装载机、重型运输车等；基础阶段施工机械主要为打桩机；结构施工阶段施工机械主要有混凝土振捣器、商砼搅拌机、升降机和木工电锯。工程输电线路施工噪声主要由塔基施工以及张力放线时各种机械设备和运输车辆产生，主要施工机械设备包括牵引机组、张力机组、振捣器、卷扬机和运输车辆等。根据《环境噪声与振动控制工程技术导则》（HJ2034-2013）附录 A（常见噪声污染源及其源强），工程主要施工设备的噪声源强详见表 3.2-2。

表 3.2-2 变电站工程施工期主要施工机械噪声源强一览表

施工阶段	施工机械设备	5m 处声压级 dB（A）	指向特征
土石方	电动挖掘机	80~86	无
	推土机	83~88	无
	轮式装载机	90~95	无
	重型运输车	82~90	无
打桩	打桩机	100~110	有
结构	混凝土振捣器	80~88	无
	商砼搅拌车	85~90	无
	升降机	95	无
	木工电锯	93~99	有
装修	卷扬机	84	无
	起重机	102	无

注：以上施工机械本工程不一定全部使用，仅列出源强对比参考使用。

3.2.1.5 固体废物排放情况

工程施工期间固体废物主要为施工人员生活垃圾和生产垃圾。

（1）生活垃圾

生活垃圾按每人每天产生量为 1.0kg 计，陆域和海域施工期合计平均施工人数 280 人，则海上人员生活垃圾产生量为 150 kg/d，陆域施工基地生活垃圾产生量为 130kg/d，共 380kg/d。海上生活垃圾由施工船舶收集后运至陆域，与施工基地生活垃圾一并送至附近生活垃圾处理厂处理。

（2）生产垃圾

生产垃圾主要为海缆铺设作业及风机基础施工作业产生的垃圾。

①海缆铺设作业垃圾

海缆铺设作业垃圾包括扫海清障作业及定向钻登陆施工产生的各类生产垃圾。海缆路由清障作业产生的固体废物主要为废弃缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物，按每公里 10kg 计算，路由清障作业共产生废弃物约 2t，随船携带，待船舶靠岸后外运处理。

海缆登陆作业产生的固体废物主要是开挖基坑弃土和定向钻钻孔泥浆和钻屑，基坑尺寸约为 10m×4m×1.5m，产生弃土量约为 60m3，钻屑按电缆管道外径（252mm）的 1.5 倍计算，穿越距离按 400m 计算，共产生钻屑量约 44.9m3，钻孔泥浆一般为钻孔开挖量的 3~4 倍，本次按钻孔开挖量的 4 倍计算，钻孔泥浆产生量约为 179.5m3，运至附近的建筑垃圾消纳场处理。

②风机基础施工垃圾

风机四桩导管架基础施工时需清理表层淤泥，按照目前设计深度，结合工程区底质情况，平均每个机位清淤量约 40m^3，清表淤泥原位堆积在风机基座周边，在海流作用下自然运移重分布。

3.2.1.6 施工期污染物排放汇总

施工期污染物排放量见表 3.2-3。

表 3.2-3 施工期污染物排放量汇总表

污染物种类	污染源	污染物	产生量	消减量	排放量
悬浮泥沙	桩基施工	SS	少量		
	电缆铺设	SS（15m 以浅）	28.8 kg/s	0	28.8 kg/s
		SS（15m 以深）	10.8 kg/s	0	10.8 kg/s
污水	船舶生活污水	COD、BOD_5、SS、氨氮、动植物油等	12.0m^3/d	12.0m^3/d	0
	船舶含油污水	石油类	28.55m^3/d	28.55 m^3/d	0
	陆域生产废水	石油类、SS	0.2m^3/d	0.2m^3/d	0
	陆域生活污水	COD、BOD_5、SS、氨氮、动植物油等	12.48 m^3/d	12.48 m^3/d	0
废气	施工基地扬尘	TSP	少量		
	船舶废气	SO_2	202.5kg/h	/	202.5kg/h
		NOx	166.2kg/h	/	166.2kg/h
		CO	566.1kg/h	/	566.1kg/h
固体废弃物	生活垃圾	食品残渣、包装袋	380kg/d	380kg/d	0
	生产垃圾	扫海清障垃圾	2.0t	2.0t	0
		定向钻钻屑泥浆	239.5m^3	239.5m^3	0

		风机基础表层清淤	2920m^3	0	2200m^3
噪声	施工船舶	噪声	>150dB(re 1μPa)	/	>150dB(re 1μPa)
	桩基施打	噪声	220 dB(re 1μPa)	/	220 dB (re 1μPa)
	陆域施工机械	噪声	80~110dB(A)	/	80~110dB(A)

3.2.2 运营期污染影响分析

3.2.2.1 噪声排放情况

（1）海域

海上工程运行期主要噪声源主要是风力发电机组运行和海上升压站变压器产生的噪声。

①风电机组类噪声可分两类：一类是气动噪声，由涡轮机转子叶片产生，通过空气传入水中，并随着风机转速的增加而增加；一类是机械振动噪声，由风机周围空气运动、机箱内齿轮箱和发电机机械振动产生，随风速增大而增强。参考相关数据，本项目 3 个叶片、5.5MW 风机在风机轮毂处的最大声功率级取115dB(A)。

②海上升压站噪声选用低噪声变压器，且布置在室内，主变噪声在 70dB 左右。

（2）陆域

变电站运行期噪声主要来自站内变压器的电磁噪声、低压电抗器产生的连续电磁性和机械性噪声、风机噪声。变压器的电磁噪声主要是由于铁心在磁通作用下产生磁致伸缩性振动耦合到变压器外壳，使外壳振动形成的，由变压器向外辐射，特别是产生共振时，所辐射的噪声更强。变压器电磁噪声的大小与变压器的功率有关，功率越大，电磁噪声越高。根据国内及广东省同种类型变压器实际运行经验及监测数据，500kV 单相主变压器 1m 处噪声源强约 75dB，低压电抗器 1m 处噪声源强约 60dB，风机排风口处噪声源强约 65dB。

输电线路噪声主要是由导线、金具及绝缘子的电晕放电产生。在晴朗干燥天气条件下，导线通常在起晕水平以下运行，很少有电晕放电现象，因而产生的噪声不大。在湿度较高或下雨天气条件下，由于水滴导致输电线局部电场强度的增加，会产生频繁的电晕放电现象，从而产生噪声。根据国内多条 220kV 输电线路的噪声监测结果(扣除背景噪声)进行核算，在潮湿雨天条件下，起晕点 1m 处

的噪声源强约为 65dB(A)，在无其它噪声源的情况下，线路下方的噪声值不会超过 50dB(A)。

3.2.2.2 牺牲阳极锌释放情况

工程运行期间，用于保护钢结构构筑物（风机、升压站）的牺牲阳极保护装置中的锌会释放到海水中，无其他污染物排放入海。本工程风机和升压站牺牲阳极材料选用铝锌铟合金，根据《铝-锌-铟-系合金牺牲阳极》（GB/T4948-2002），Al-Zn-In-Mg-Ti 合金牺牲阳极电流效率≧90%，实际消耗率 μ 的数值为 3.37kg/A•a。根据《海港工程钢结构防腐蚀技术规范》（JTS153-3-2007），参考 AI13 型牺牲阳极发生电流计算结果，牺牲阳极初期发生电流量约 2.57A，末期发生电流约 1.63A，平均发生电流量 I 为 2.10A，本工程牺牲阳极平均发生电流 Im 约为 1.16A/块（按 0.55I 选取），则每块牺牲阳极每年消耗 3.91kg。

根据工程建设方案，每台风机防腐所需牺牲阳极块重量为 11t，海上升压站防腐所需牺牲阳极块重量为 25t。Al-Zn-In-Mg-Ti 合金牺牲阳极规格为 1500×(220+240)×240(mm)，每块净重约 198kg，毛重 231kg，单台风机需要阳极 48 块，则 91 台风机所需阳极共 4368 块，海上升压站所需阳极共 216 块，由此计算，单台风机每年消耗的牺牲阳极为 187.68kg，每年释放的锌量为 13.14kg(锌含量按 7%)；91 台风机每年消耗的牺牲阳极为 17.08t，每年释放的锌量为 1.20t(锌含量按 7%计)；海上升压站每年消耗的牺牲阳极为 0.84t，每年释放的锌量为 0.06t(锌含量按 7%计)。风机和海上升压站每年释放的锌量约为 1.26t。

3.2.2.3 工频电磁场影响

（1）海域

工程新建 220kV 海上升压站 2 座，由于升压站电气设备均布置在室内，经过建筑物的屏蔽，电气设备室外工频场强值基本与周围环境本底值接近，故升压站对电磁环境影响很小；风电场输电电缆和升压站送出海缆埋设于海底 2.0m 以下，电磁影响很小。

（2）陆域

变电站及高压输电线路和带电装置运行时，由于导线、金属构件等导体内部带有电荷而在周围产生电场，导体上有电流通过而产生磁场，随时间做 50Hz 周期变化的电场、磁场称之为工频电场和工频磁场，工频电场、工频磁场是一种频率极低的电场、磁场，也是一种准静态场。

变电站产生的电磁场强度与电压等级、设备性能、平面布置、地形条件等均密切相关。输电线路运行产生的工频电场、工频磁场强度与线路的电压等级、运行电流、导线排列及周围环境有关。其总体趋势是随着距离变电站或输电线路距离的增加，工频电磁场呈现逐渐降低的趋势。

3.2.2.4 废水污染物排放情况

（1）海域

项目运行期污废水主要是维护人员生活污水以及风机机组、升压站检修时产生的油污水。

①生活污水

运行期每 6 个月进行一次风机维护，维护船舶每次维护产生的生活污水量约为 6m^3，船舶生活污水收集后运至岸上，罐车拉运至污水处理厂或纳入码头后方生活污水处理系统处理。

运行期海上升压站为无人值守，无生活污水产生，风电场运行由陆上集控中心远程监控，管理人员日常工作产生的生活污水环境影响另行评价。

②含油废水

风电机组设备每年检修一次，定期更换齿轮箱润滑油，风机润滑油 0.6t/台，检修过程中产生残油量取润滑油存量的 1%，为 0.06m^3/a，则 91 台风机总的残油量为 5.46m^3/a；升压站主变压器每年检修一次，单台主变载油量 56.2t，共两台，检修过程中将产生残油量取主变载油量的存量的 1%，为 11.24m^3/a，则运行期风电机组和升压站检修共产生油污水 16.7m^3/a。油污水随船携带，与其他检修维护产生的含油废物一同交由有资质的专业接收处理单位处理。

（2）陆域

集控中心在运行的过程中无生产工艺废水产生，根据《广东省用水定额》（DB44/T1461-2014），用水量按每人每天 180L 计算，排放系数 0.9，则生活用水量为 22.5m^3/d，生活污水产生量约为 20.25m^3/d。

生活污水经地埋式污水处理设施处理后用于站区绿化，处理后出水指标应满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2002）的要求后，回用于站区绿化或道路喷洒。

本工程站区生活污水经处理后全部回用，正常情况下无污水外排。

输电线路运行过程中无污废水产生排水主要为工作人员产生的生活污水。

3.2.2.5 固体废物排放情况

项目运行期污废水主要是维护人员生活垃圾以及风机机组、升压站检修时产生的含油废物。

（1）生活垃圾

运行期每 6 个月进行一次风机维护，维护船舶每次维护产生的生活垃圾量约为 200kg，垃圾随船携带，待船舶靠岸后运至岸上，送至附近的生活垃圾处理场或纳入码头后方生活垃圾外运处理系统。

（2）含油废物

风电机组设备每年检修两次，检修过程将产生油渣、油垢等，风机日常维护也将产生少量含油棉纱废物，含油废物产生量约为 0.2t/a，含油废物属危险废物，检修船舶靠岸后交由由资质的专业公司接收处理。

3.2.2.6 运营期污染物排放情况汇总

运营期污染物排放量见表 3.2-3。

表 3.2-3 运行期污染物排放量汇总表

污染物种类	污染源	污染物	产生量	拟采取措施	消减量	排放量
废水	运行维护生活污水	COD、BOD_5、SS、氨氮、动植物油等	$12m^3/a$	运维船靠岸后拉运至污水处理厂或纳入码头后方生活污水处理系统	$12m^3/a$	0
	检修含油污水	石油类	$16.7m^3/a$	交由有资质的专业接收处理单位处理	$16.7m^3/a$	0
固体废物	运行维护生活垃圾	食品残渣、包装袋	0.4t/a	运维船靠岸后送至附近的生活垃圾处理场或纳入码头后方生活垃圾外运处理系统	0.4t/a	0
	运行维护含油废物	油渣、油垢、含油棉纱等	0.2t/a	交由有资质的专业接收处理单位处理	0.2t/a	0
噪声	风机运转	噪声	115dB(A)	/	/	115dB(A)
	升压站主变	噪声	70dB(A)	/	/	70dB(A)
牺牲阳极重金属离子	风机牺牲阳极	锌	1.07t /a	/	0	1.20t/a
	升压站牺牲阳极	锌	0.03t/a	/	0	0.06t/a

3.3 工程各阶段生态环境影响分析

3.3.1 施工期非污染影响分析

3.3.1.1 对海洋生态的影响

（1）对潮间带生物、底栖生物的影响

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

（2）对浮游生物、游泳生物的影响

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

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

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

（3）对鸟类的影响

项目施工期间对鸟类的影响主要来自两方面：一方面是施工噪声、光照对鸟类的直接影响，包括海上船舶通航、风机安装时的施工噪声、灯光污染对海面上觅食、迁飞鸟类的影响，以及施工主基地机械活动对近岸栖息鸟类的影响；另一方面是施工悬浮沙导致游泳生物资源量的减小和栖息场所的改变，间接引起的鸟类觅食活动范围的变化。

（4）对海龟的影响

项目所在海域不属于海龟迁徙期间的关键觅食地。本项目风场场址距离海龟洄游路线较远，220kV 登陆海缆路由位于海龟夏季洄游路线上。由于本项目海

缆施工的时间不长，且施工位置不断变化，加上海龟洄游的活动范围较大，项目海缆施工对海龟洄游产生影响较小。

3.3.1.2 对通航环境的影响

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

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

3.3.1.3 对周边海洋开发活动的影响

路由区域涉及规划锚地和现存锚地。近年投入使用的有甲湖湾电厂码头配套1#锚地和 2#锚地，其中 1#锚地（中心坐标 22°43′N 116°00′E），直径为 2 海里，因其位于后湖场址中部，在路由管廊方案设计、比选、修改时已充分考虑其安全距离，尽量避开。甲湖湾电厂码头配套的 2 号锚地则位于后湖风电场东区的西北 2.1 公里处（中心坐标 22°45′N 116°01′E），直径为 1 海里，其外边界与甲子一风电场项目电缆路由的最近距离为 2.0 公里。

电缆路由铺设过程中需要注意与两锚地的安全距离，防止出入锚地的船舶与施工船舶的碰撞事故以及对电缆路由造成损害。

3.3.2 运营期非污染影响分析

3.3.2.1 对海洋水动力环境的影响

本项目风电场建成后，风机导管架基础竖立在海上，导管架下部支撑件及桩基套筒将形成阻水结构。由于风电场址海域水深 30m~40m 之间，场区海域面积 78.97km^2，且风机桩基桩径有限，占海面积很小，桩基群排间距和列间距均较大，因此工程建设对涨、落潮流场的影响主要集中在桩基周边水域，尤其是风机桩基础周围的流速可能发生一定变化，但不会对场址周边区域外围海洋水动力产生较大影响。

3.3.2.2 对海底地形地貌和冲淤环境的影响

工程在场址海域内呈点状分布，风机之间间距较大，受基础钢结构阻水影响，潮流经过桩基时将发生绕流现象，桩基周围流场的局部变化可能导致桩基周边局部冲刷和淤积。

3.3.2.3 对海洋生态的影响

（1）对底栖生物的影响

风机导管架基础结构采用四桩导管架结构，桩径 2.6m，共 91 台，；海上升压站平台采用四腿导管架型式，钢管桩桩径 2.8m，据此计算风机和海上升压站基础永久占用海域面积 1962m^2；场内集电海缆和送出海缆铺设后自然回淤，工程完工后一段时间内海床即可恢复，形成底栖生物新的栖息生境，不会对底栖生物生境造成永久性侵占。工程永久设施将减少占用海域范围内底栖生物的栖息面积，对其造成一定的不利影响。

（2）对鸟类的影响本项目位于广东省近岸海域，项目区周边生境类型多样，并有大、小星山等连陆和离岸岛屿，鸟类物种丰富。从全球鸟类迁徙路线来看，项目所在区域位于 “东亚-澳大利西亚迁徙通道”上，是多种候鸟迁徙的中途停歇驿站和越冬地。从区域历史调查资料来看，场址区东北侧盐洲考洲洋红树林湿地是一种重要的鸟类繁殖地和迁徙、越冬地。

从国内外风电场对鸟类的影响研究来看，海上风电场对鸟类的影响主要体现在以下几个方面：对鸟类栖息活动和觅食的影响；对鸟类迁徙行为的影响；对鸟类存活的影响；对鸟类繁殖行为的影响。本项目建设对该处鸟类栖息地的鸟类栖息、觅食和迁徙、越冬行为基本无影响，但风电场运行可能会对鸟类在海面上觅食、迁飞行为产生不利影响，表现为：风机运行噪声、叶片反射光、警示灯及升压站主变电磁场将会使鸟类产生回避效应，影响其个体信息交流，并可能导致其改变迁徙路线，风机建设运行还可能导致飞行鸟类碰撞致死等，这些都会对鸟类栖息活动范围产生负面影响。

（3）对海龟的影响

本项目距离惠东海龟国家级自然保护区较远，从区域历史调查资料来看，保护区及附近海域海龟活动和栖息区域主要集中在大星山岛周边，风电场附近海龟很少；海龟上岸筑巢产卵数量较少，项目最近有记录的海龟产卵场位于考洲洋口盲婆岭西侧，距离风电场址区较远；海龟的洄游通道与风电场址区有一定的距离，

风电场附近很少有海龟洄游。因此，项目建设对工程海域周边海龟保护区内海龟的索饵、洄游不会产生明显的不利影响，但由于海龟在海域内活动区域大，少数海龟个体可能游至场址区附近，而风电机组运行时存在灯光、噪声等敏感因素，尤其是风机中低频噪声辐射远，衰减慢，可能干扰少数个别海龟的正常觅食、产卵活动。

（4）对渔业资源的影响

项目运行阶段对渔业资源的影响主要是桩基占海对鱼类栖息地的侵占，以及机组运行噪声对鱼类生存活动的影响。

根据前述计算，工程永久设施合计占用海床面积为 1962m^2，风机和升压站构筑物建设将直接侵占该范围内鱼类生存活动空间，但构筑物建成后，钢结构表面可能逐渐附着小型藻类，形成鱼类新的觅食场所。此外，风电机组运行的低频噪声处在大多数鱼种能够探测的频段范围内，风机运行噪声将使成鱼产生趋避，主动逃离，对鱼类生存活动影响不大。

3.3.2.4 对通航环境的影响

项目风场北侧有海甲航线和大星角甲子航线，项目 220kV 海缆路由所经海域海上交通较为繁忙，路由北部近岸段与大星角甲子航线和海甲航线相交越，全国沿海大型船舶推荐航路位于拟建风电场南侧约 6.5km，来往船舶吨位较大、数量较多，风电场南边线距离该航路北边线有足够的安全距离。

项目建设后对水动力影响较小，风机建设引起的海底地形地貌与冲淤环境的影响范围局限在场址周边局部海域，不会对较远距离航路的通航水域条件产生不利影响，但场址区直接占用仅 78.97km^2 海域，机组布置呈南北向延展，与过往船舶航线不平行，将缩小船舶航线的可选择范围。风机结构也会对附近海域一定范围内通行船舶的通信导航设备、通信信号造成影响，但通过采取调整干扰措施，并加强监测能够得以减缓。另外，风机定期检修维护作业船穿越航道时存在一定的船舶碰撞风险。总体来看，正常海况条件下，项目建设不会对附近航道、习惯航路通航环境造成较大影响。

极端天气条件下，通航船舶可能由于能见度不良或导助航设施设备故障向场址区偏移，考虑到场址区与附近习惯航路存在一定的安全缓冲距离，且本区突发灾害天气预警预报工作经验成熟，发生船舶与风机碰撞事故的几率不大。

3.3.2.5 对景观环境的影响

海上风电场的建设必然会改变原来的自然景观，本项目风电场址区距离北侧陆地岸线最近距离约 25km，。类比相似海上工程景观效应，该距离属于视觉的不敏感区域，但风电机组轮毂高度达 100m，且场址内共布置 91 台风机，且叶片处于运转状态，横向和竖向视觉都难以忽视，对周边一定距离内的过往商船、客船和渔船观察者来说，存在一定的视线感觉负面影响。考虑到景观影响对象具有流动性特征，视线心理感觉不利影响不会对某区域固定观察着产生长期的不利影响，且风机塔筒、叶片外观设计采用白色，也能够减缓工程与海洋景观的不协调性，因此，综合来看，机组运行对景观环境影响不大。

3.3.2.6 对周边海洋开发活动的影响

工程区域周边近期规划实施项目为甲子二 400MW 的海上风电场，场址区与本项目邻近，项目实施后可能对规划实施风电场登陆海缆路由选择有一定的制约，但陆岸监控及并网设施可考虑共用，总体来说，从现阶段掌握的资料来看，本项目建设运营对周边规划建设海洋开发工程影响不大

3.4 环境影响要素识别和评价因子筛选

根据上述生产工艺过程及产污环节，进行环境影响要素识别分析，根据影响情况筛选主要评价因子。施工期及运行期影响评价因子详见表 3.4-1、表 3.4-2。

表 3.4-1 施工期环境影响评价因子一览表

环境要素		影响原因	影响性质	影响范围	评价因子	评价程度
自然环境	海洋水质	施工悬浮物、施工污废水等排放，混凝土砂浆外泄漏影响工程海域环境	可逆，较小	风机及海底电缆沿线周边海域	悬浮物、COD、石油类	-3
	沉积物环境	施工污水排放及废弃物丢弃	可逆，较小		废弃物及其他、大肠菌群、病原体和石油类	-2
	海洋生态	悬浮物浓度增加，破坏浮游动植物、及底栖生物生境	部分不可逆，较大		浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源	-3
	陆生植被	工程施工可能对陆域植被产生一些影响	部分不可逆，较小	升压站及海缆登陆段沿线	植被面积、生物量、生物多样性	-1
	鸟类	施工活动干扰鸟类栖息地、及其觅食活动	较小	施工区及邻近鸟类栖息地	鸟类数量、多样性	-1

	空气环境	施工产生的扬尘、施工机械和施工车辆排放的尾气等	可逆，较小	陆上、海上工程施工区域	TSP、PM_{10}、NO_2、CO、SO_2	-1
	声环境	施工机械和运输车辆运行时将产生噪声	可逆，较小	陆上、海上工程施工区域	Leq（A）	-1
社会环境	航运	海上施工影响航运交通	可逆，较小	海上施工海域及设备运输航线	通行船只数量，航行安全	-1
	渔业生产	渔业资源受施工影响损失、业生产面积减小	部分不可逆，较大	风机及海底电缆沿线周边海域	渔业生产面积、捕捞生产	-2
	环境卫生	施工人员生活垃圾	可逆，较小	陆上、海上工程施工区域	-	-1
	人群健康	施工人员进驻	可逆，较小		-	-1

注：＋有利影响；－不利影响；/无影响；

1：表示环境要素所受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析；

2：表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行一般的影响预测分析；

3：环境要素所受影响程度为较大或较为敏感，进行重点影响预测与评价。

表 3.4-2 运行期环境影响评价因子一览表

环境要素		影响原因	影响性质	影响范围	评价因子	评价程度
自然环境	海洋水文动力	对区域海洋水文动力环境造成一定影响	不可逆，较小	附近工程海域	潮汐、潮流	-3
	海洋地形地貌与冲淤环境	改变区域海域的地形地貌和冲淤情况	不可逆，较小	附近工程海域	冲淤深度	-2
	海洋生态	风机桩基压占底栖生物生境	部分不可逆，较小	风机桩基周围	底栖生物量	-1
	鸟类	风机运转对鸟类产生一定影响	中等	鸟类迁徙路线	鸟类数量、多样性	-2
	景观生态	风机矗立	中等	周边岛屿	景观自然度、鲜明度、协调性	+1
	声环境	风机运转产生噪声	较小	升压站和海上风电场区域	Leq（A）	-1
	电磁环境	海缆输电及电器设备运行将产生电磁场	较小	升压站及输电线路沿线	电、磁场强度	-1
	海洋水质、海洋生态	船舶风机碰撞溢油风险	中等	海域	油类	-3
	沉积物环境	牺牲阳极铝合金溶解	不可逆、较小	风机基础周围海域	铝、锌	-1
社会环境	社会经济	促进地区社会经济发展	较小	汕尾市	可持续能源利用	+1
	航运	风电场对航运交通影响	较小	航道、锚地	通航安全	-1

	渔业生产	风电场影响渔业捕捞	中等	风电场征用海域	渔业生产面积、捕捞生产	-3
	环境卫生	管理人员生活垃圾和生 活污水	较小	升压站	-	-1

4 区域环境概况

4.1 自然环境概况

4.1.1 气候气象

本项目所在的陆丰市位于广东省东部，北回归线以南的低纬度地区，地处亚热带，属亚热带季风性气候，光热充足，气候温和，雨量充沛，但降雨量的年内分配很不均匀，其中汛期的 4～9 月约占全年降雨量的 85.6%，降雨多属锋面雨和热带气旋雨，前汛期(6 月以前)以锋面雨为主，雨面广，降雨量大后汛期以台风雨为主，降雨强度大。季风盛行，全年盛行偏东风，年内风向随季节转换明显，大致 4～8 月盛行东南风，9～次年 3 月盛行东北偏北风。每年的夏、秋季节常受强烈热带风暴的影响。

离项目所在海域最近的气象台站为陆丰市气象站（位于东海镇东风路尾后壁洋“郊外”，北纬 22°57′，东经 115°39′），路由登陆点与它的直线距离约 35km，离路由起点（海域升压站）约 50-60km。根据其 1960 年至 2004 年的实测气象资料， 统计获得其气象要素特征值，见表 4.1-1。

表 4.1-1 陆丰气象站多年统计各气象要素的年、月特征值表

月份 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均气压(hPa)	1019.9	1018.5	1016.2	1013.0	1009.1	1006.2	1005.4	1005.0	1008.7	1013.9	1017.5	1020.0	1012.8
平均气温(℃)	14.4	15.3	17.9	21.7	25.1	27.1	28.4	28.2	27.0	24.2	20.3	16.2	22.1
极端最高气温(℃)	29.6	29.9	30.7	32.8	34.8	36.7	38.3	38.0	36.6	35.2	33.2	30.1	38.3
极端最低气温(℃)	0.9	1.8	2.8	8.1	14.4	18.4	21.8	21.7	16.6	8.0	5.2	1.0	0.9
平均绝对湿度(hPa)	11.9	13.7	16.7	21.7	26.8	30.9	32.1	31.5	28.3	22.3	17.2	13.0	22.2
最大绝对湿度(hPa)	26.6	29.3	30.9	33.2	36.4	38.1	38.8	38.1	36.6	34.5	30.3	27.6	38.8
最小绝对湿度(hPa)	1.4	3.0	3.1	6.2	8.2	13.6	22.6	17.9	10.8	5.3	2.7	0.6	0.6
平均相对湿度(%)	72	78	80	82	84	86	83	83	80	74	71	70	79
最小相对湿度(%)	7	12	9	22	16	22	34	28	27	17	12	8	7
平均风速	2.9	2.8	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	2.8

月份 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
(m/s)													
最大风速(m/s)	14.0	11.3	12.0	13.0	17.3	21.7	31.0	17.4	24.0	14.0	13.0	13.0	31.0
平均降雨量(mm)	27.3	55.7	88.4	157.1	278.5	442.3	318.4	326.5	200.3	51.3	32.1	28.7	2006.6
平均日照时数(h)	159.3	110.6	110.6	120.5	150.1	160.1	231.9	212.2	196.4	212.2	189.2	181.0	2034.1
蒸发量(mm)	109.0	93.3	110.6	122.5	144.4	143.3	180.0	171.5	165.0	171.4	143.1	122.5	1676.6

多年平均气温　22.1℃

历年极端最高气温 38.3 (2005 年 7 月 18 日)

历年极端最低气温 0.9　(1967 年 1 月 17 日)

历年最大年降水量 3045.0 mm (1961 年)

历年最小年降水量 942.2mm　(1963 年)

历年最大一日降水量　621.6 mm (1977 年 5 月 31 日)

历年最大一小时降水量 106.1mm (1997 年 7 月 5 日)

历年最大十分钟降水量 38.0mm (1997 年 7 月 5 日)

多年平均雨日数为 167d

多年平均雷暴日数为　54d

多年平均冰雹日数为　0.0d

多年平均雾日数为 5d

多年平均大风日数为　4d

多年平均霜日数为 0.0d

多年平均晴天日数为　56d

多年平均阴天日数为　174d

陆丰气象站主导风向是 E，占 18%，静风频率占 12%，其多年风向玫瑰图见图 4.1-1。历年 10m 高度十分钟平均最大风速 29.3m/s，相应风向 E，发生日期 1990 年 7 月 31 日。

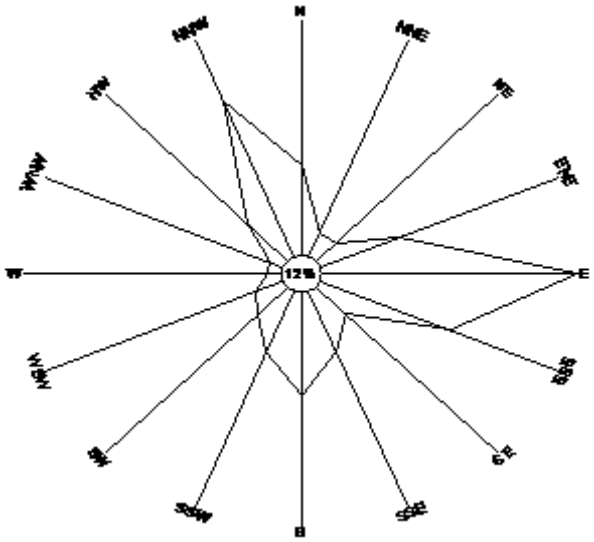


图 4.1-1　陆丰气象站累年统计风玫瑰图

4.1.2 海洋水文

4.1.2.1 基面关系

基面关系为理论最低潮面在平均海平面下 0.9m，56 黄海平均海面在理论最低潮面上 0.623m，85 国家高程在理论最低潮面上 0.465m，本节除特别说明外，潮位基面均基于平均海平面。各基准面关系如图 4.1-2 所示。

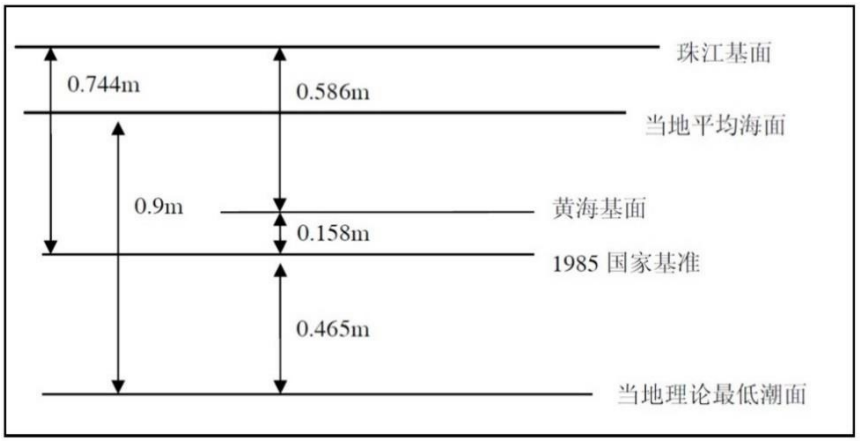


图 4.1-2　　汕尾站基面关系图

4.1.2.2 潮位特征

潮位特征采用神泉站、甲子站和遮浪站的观测情况。潮位站的观测均开始于 2017 年 12 与 1 日 0 时，其中神泉站观测结束于 2017 年 12 月 20 日 12 时，观测日数共计 19 日；甲子站观测结束于 2017 年 12 月 21 日 15 时，观测日数共计 20 日；遮浪站观测结束于 2017 年 12 月 31 日 17 时，观测日数共计 30 日。

各站逐时潮位数据变化如图 4.1-3 所示(潮位基面基于平均海平面)，从图中可以看出各潮位站的潮位数据日周期变化明显，并在其上叠加有半日周期的小幅振荡。约 14 天周期的大一小潮变化显著，在观测期间，3 个验潮站大-小潮周期内的最低潮位相当，最高潮位以遮浪站为最高，甲子站次之，神泉站最低。

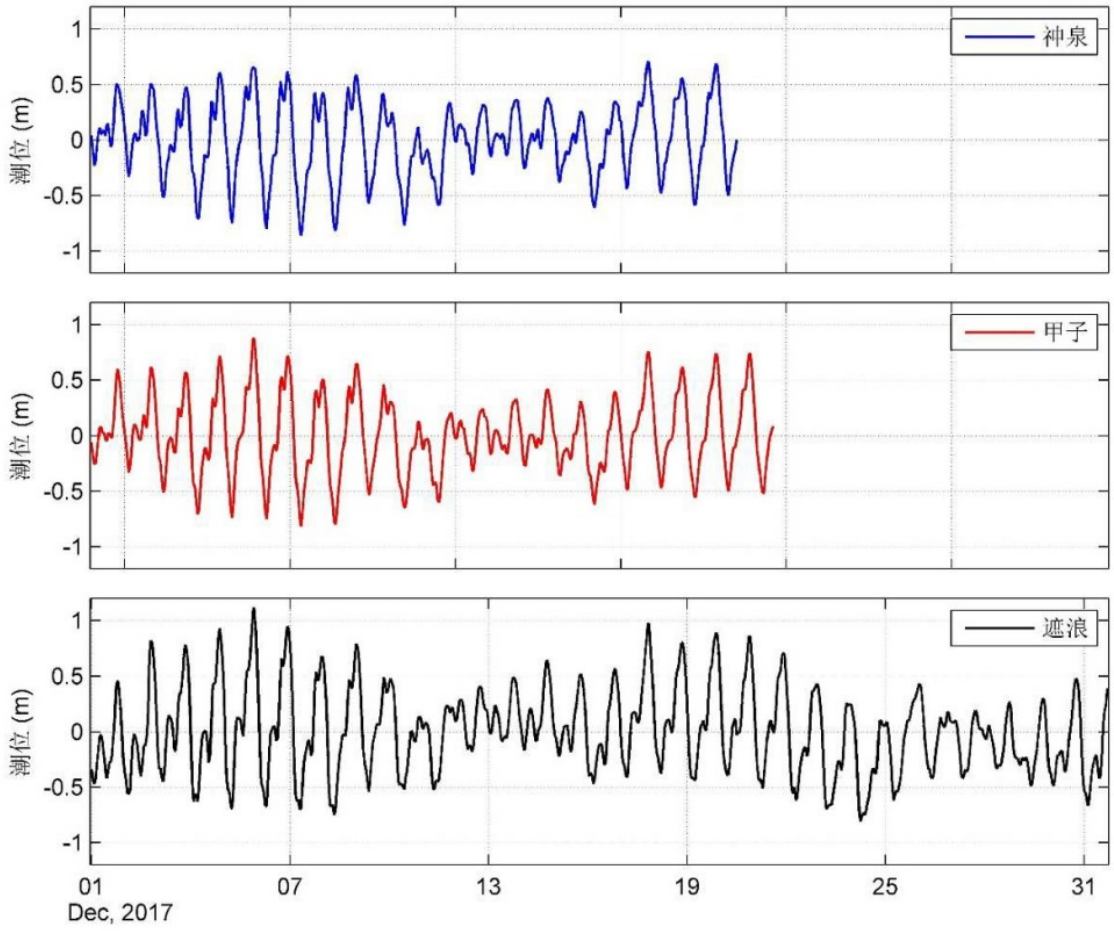


图 4.1-3　神泉、甲子、遮浪潮位站观测到的潮位变化

对神泉、甲子、遮浪这 3 个潮位站的数据资料进行统计，潮位特征如表 4.1-2 所示。

表 4.1-2　冬季潮位站短期潮位特征表（单位：m）

	神泉站	甲子站	遮浪站
最高潮位	0.72	0.90	1.12
最低潮位	-0.88	-0.80	-0.80
平均高潮位	0.46	0.51	0.64
平均低潮位	-0.56	-0.54	-0.48
最大潮差	1.46	1.64	1.84
平均潮差	1.01	1.05	1.13
平均涨潮历时（h）	13.71	14.21	14.50
平均落潮历时（h）	10.29	9.79	9.50

4.1.2.3 潮汐

本工程场址所在海域的潮汐为正规全日潮，场址以西的海域则为不正规全日潮。观测期间，3 个站的平均潮差相当，均为 1.1m 左右；平均高潮位以遮浪站为最高为 0.64m，神泉站最低为 0.46m；平均低潮位以遮浪站最高为-0.48m，神泉站最低为-0.88m；观测海域的平均涨潮历时大于落潮历时，在 3 个验潮站中，甲子站的平均涨潮历时和平均落潮历时均居中，分别为 14.21h 和 9.79h。

4.1.2.4 海流

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。

4.1.2.5 波浪

根据遮浪海洋站(N22°39′，115°34′)1971~1990 年观测资料统计，本海域以风浪为主，其年频率为 90%，涌浪年频率为 40%。受东北大风和热带气旋影响时，可产生大浪，冬半年东北大风影响下，碣石湾湾口可产生 3m 以上的偏东向大浪，成为冬半年的常浪向何强浪向。而夏半年，在热带气旋的影响下，湾口可产生 4m 以上偏南向的巨浪，并成为年极值波高。

冬季：常浪向为 E 向，出现频率 33%，平均 H1/10 波高 1.5m，平均周期 4.2s。强浪向为 E 向，最大 Hmax 波高可达 4.8m。

春季：常浪向为 ENE-ESE 向，出现频率分别为 22%~27%，平均 H1/10 波高为 1.2m，平均周期为 4.1s。强浪向为 ENE 和 E 向，最大 Hmax 波高可达 4.5m。

夏季：常浪向为 SW 向，出现频率为 22%，平均 H1/10 波高 1.2m，平均周期为 4.0s。强浪向为 SE 向，最大 Hmax 波高可达 9.5m。

秋季：常浪向为 ENE 向，出现频率为 26%，平均 H1/10 波高为 1.5m，平均周期为 4.3s。强浪向为 ESE 和 SE 向，最大 Hmax 波高可达 9.0m。

据遮浪海洋站资料统计，可见以 ENE-ESE 出现频率最高，而最大的 H_{max} 波高发生在 SE 向，为 1979 年 8 月 2 日 7908 号台风影响水域时产生，对应周期 9.1s。

遮浪站累年波浪玫瑰图见图 4.1-5。

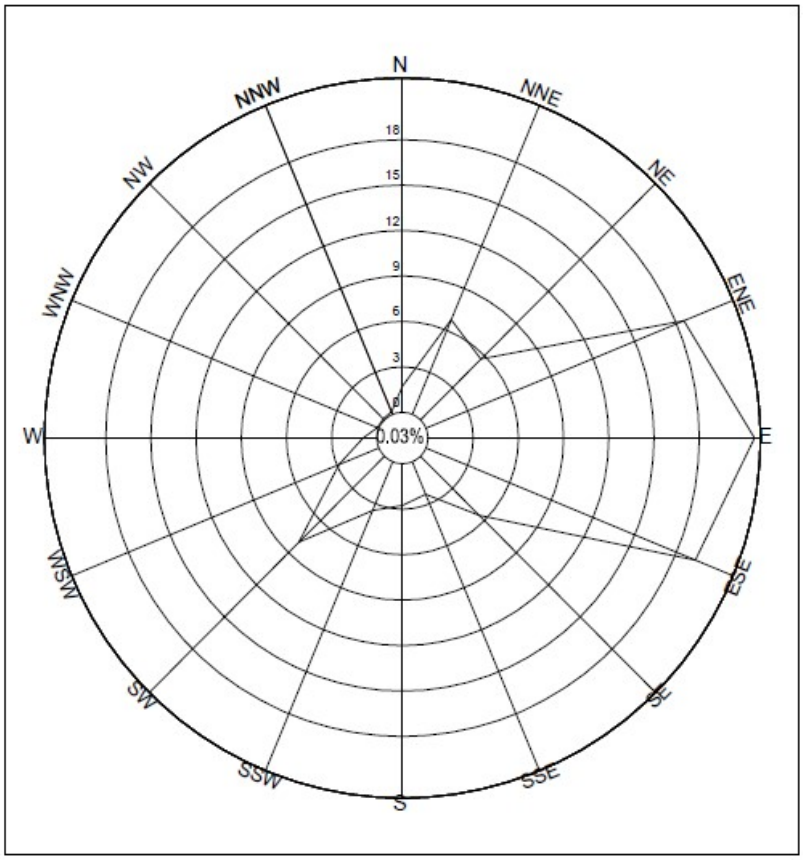


图 4.1-4　遮浪站累年波浪玫瑰图（1971-1990）

4.1.2.6　水温

根据场址东北侧约 70km 遮浪站 1961～2006 年的表层水温资料，统计得到该站逐月表层水温特征值如表 4.1-3。

表 4.1-3　遮浪海洋站 1961～2006 年逐月表层水温特征值

月份 / 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均水温(℃)	16.1	15.6	17.1	20.5	24.6	26.9	27.5	27.5	27.7	25.6	22.1	18.4	22.5
最高水温(℃)	21.2	21.9	27.6	27.5	29.9	31.9	32.6	32.2	32.7	30.1	27.8	24.8	32.7
最低水温(℃)	11.6	10.9	11.2	14.8	19.6	21.7	21.8	21.5	22.5	20.0	16.0	9.9	9.9

4.1.2.7　盐度

根据遮浪站 1961～2006 年的表层海水盐度资料统计，得到该站逐月表层海水盐度特征值如表 4.1-4。

表 4.1-4　遮浪海洋站 1961～2006 年逐月表层海水盐度(‰)特征值

月份 / 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年

平均盐度	32.2	32.3	32.9	33.2	33.2	32.0	31.8	32.1	32.5	33.0	32.8	32.2	32.5
最高盐度	34.0	34.8	34.8	34.5	35.5	35.0	35.0	35.3	35.1	35.6	35.2	35.1	35.6
最低盐度	27.3	28.5	28.6	25.1	19.2	17.0	20.3	15.9	18.7	27.9	28.8	24.0	15.9

4.1.3 地形地貌

项目位于汕尾市陆丰甲子镇南侧海域，距离陆岸约 25km，海域宽阔，附近未见岛屿、礁石分布。项目位置水深约 32m，水下地形较平缓，属冲海积地貌单元。

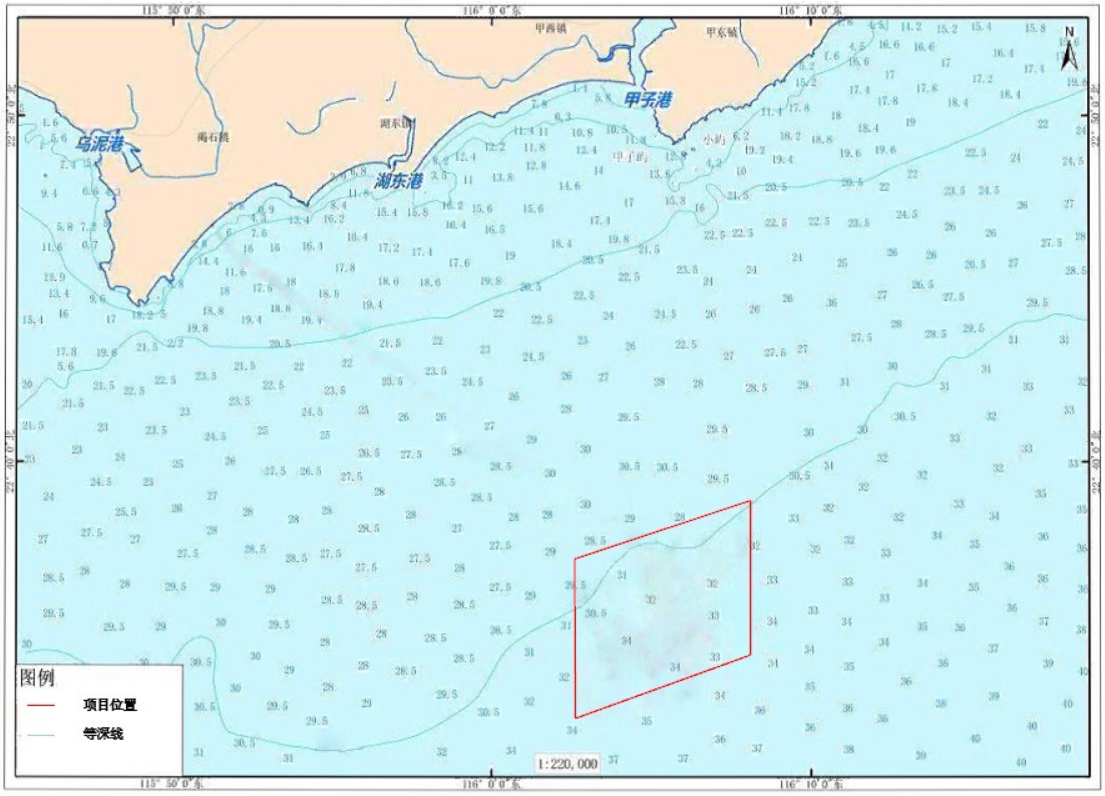


图 4.1-5　项目所在海域水深图

项目路由海域地貌类型包括海岸沙堤、沙滩、近岸水下浅滩和水下岸坡等类型。路由拟登陆点位于碣石镇东南的小海湾，海岸类型为沉积型沙质海岸，岸线为东北-西南走向，岸线比较稳定，海岸沙滩比较宽缓（图 4.1-6），海岸沙堤高程 1-2m。沙堤向陆内侧为防护林带。靠近登陆点的近岸段礁石较少，海床平坦宽阔。项目路由近岸段 1.5km 内为水下浅滩，其余大多为水下岸坡地貌。

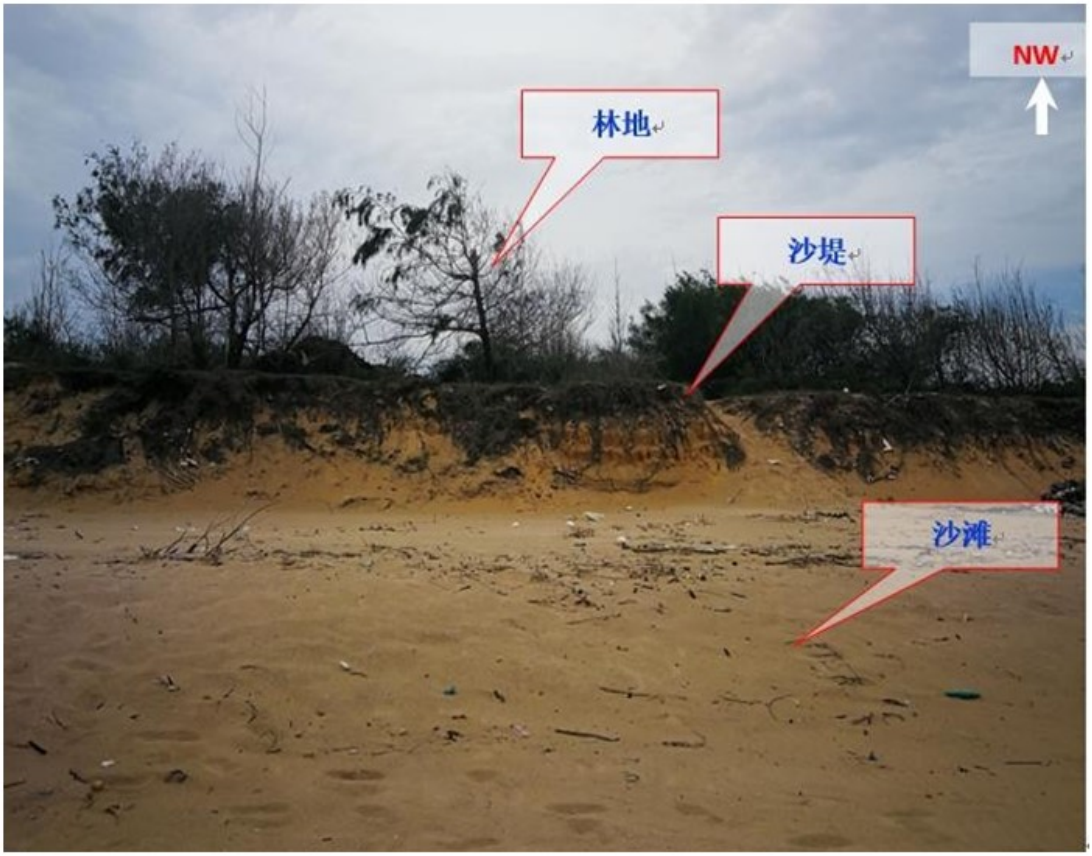


图 4.1-6　路由登陆点地貌特征

4.1.4 工程地质

4.1.4.1 区域地质构造

本区出露地层主要有三叠系上三叠统、侏罗系上侏罗统和第四系等地层单位（表 4.1-5）。除上述沉积地层相应的沉积岩外，周边的陆地和岛屿或半岛发育有大量的岩浆岩，它们是燕山三期至五期的各期侵入岩、脉岩和喷出岩。

燕山第三期侵入岩（γ52（3））：一般呈岩株，个别呈岩基产出。主要岩性为黑云母花岗岩，角闪黑云母花岗岩，局部边缘相出现角闪黑云母花岗岩。岩体侵入上侏罗统火山岩，也被燕山四期花岗岩侵入，时代属于晚侏罗世。

燕山第四期侵入岩（γ53（1））：呈岩株或基岩状产出，主要岩性为黑云母花岗岩、细粒斑状黑云母花岗岩组成。时代属于早白垩世。

燕山第五期侵入岩（γ53（2））：呈岩株、岩墙、岩瘤状产出，主要由花岗斑岩和石英正长岩组成，侵入于燕山四期花岗岩，时代属于晚白垩世。

脉岩：以石英脉、花岗岩脉、花岗斑岩脉、石英斑岩脉和辉绿岩脉较为发育。石英斑岩脉主要发育于北东向断裂带内，其余多发育于各期侵入岩内。

喷发岩：本区喷发岩较发育，岩性主要为熔岩、火山碎屑岩，其次为次火山岩。火山活动分两个喷发旋回。分别组成上侏罗统上高基坪群的是、下段。下段的岩石以流纹岩、流纹质凝灰岩类为主，球粒状流纹岩、质凝灰流纹岩为次，夹少量质凝灰岩粉砂岩、质凝灰岩绢云母页岩。上段则以夹少量英安质的熔岩和熔凝灰岩为特征。

表 4.1-5　本区陆域地层划分一览表

系	统	阶	群	代号	主要岩性	备注
第四系	全新统			Q_h	由陆相、海相、海陆混合相第一阶地及现代粘土、砂、粉砂、砾石、海相贝壳组 成。厚度在2.0~32.2m	^{14}C 年龄值在1390-10345之间。
	更新统			Q_p	二、、级河流阶地“老红沙堤”红色砂、砾石夹粉砂、粘土层、海相贝壳组成。厚度在 2.5~大于 24.5m。	^{14}C 年龄值在16450-18610之间。
侏罗系	上侏罗统		高基坪群	J_3gj	仅出露上亚群 J_3gjn^{b}，分上、下段。上段（J_3gjn^{b-2}）：底部为中酸性熔岩、火山碎屑岩，向上为酸性熔岩、火山碎屑岩夹页岩，厚度 1129-大于 3935m。下段（J_3gjn^{b-1}）：以灰色酸性熔岩、酸性火山碎屑岩为主。夹多层页岩、粉砂岩。喷发不整合于下付地层之上，厚度 229- 3494m。	仅出露上亚群，分上、下段
	上侏罗统		金鸡群	J_1jn	为滨海-浅海相碎屑岩。上亚群（J_1jn^{b}）：由黄、灰白色厚层状细粒长石石英岩、夹浅灰-灰白色绢云母泥质页岩组成，厚度大于 1174m。下亚群（J_1jn^{a}）：由灰白色厚层状细粒长石石英岩、绢云母页岩、泥质页岩夹粉砂岩、含碳质绢云母泥质页岩组成，与上三叠统连续沉积，厚度 524-608m	
三叠系	上三叠统				上三叠统（T_3）为一套滨海相碎屑岩。由灰黄色厚层状坟山岩、灰白色厚层状细粒石英砂岩、长石石英砂岩夹泥质页岩、粉砂岩组成，未见底，厚度大于 1024m。	

1、断裂

①东西向构造体系

该构造体系对汕尾海陆岩体和第四系展布有控制作用，本区属于高要-惠来东西向构造带的东段（图 4.1-7）。高要-惠来深断裂带，分布于北纬 22°40'～23°20'之间，经罗定、高要、广州、惠阳、海丰、惠来直插台湾浅滩。广东境内长约 500km，宽 10～30km。该深断裂带主要由潜伏基底断裂及近东西走向的逆冲断层、正断层、不同时代的褶皱和中新生代盆地所组成，沿断裂带发育着片理、片麻理、硅

化、糜棱岩化，并伴有中、新生代酸性、碱性岩浆的多次喷溢。断裂在近代仍具有多期活动性，这表现在：断裂性质交替变化、断裂两盘垂直 差异运动、阶地变形、断层气的异常、温泉分布及地震活动。此构造体系生成 于印支运动之后，主要活动与晚侏罗世、白垩纪直至第四纪仍继续活动，控制了汕尾、捷胜、甲子岩体的走向，并控制了海、陆丰一带第四系的展布方向。

②北东向构造体系（新华夏系）

北东向构造体系为汕尾海陆区域的主要构造体系，构造组分以北东 40º-60º 斜列式压扭断裂和强大的挤压破碎带为主，兼有褶皱。本体系构造形迹连续、规模大，生成于晚三叠世至晚侏罗世，第四纪仍继续活动。控制了本区自晚三叠世一来的构造发展史、近代地貌特征、以及钨、锡成矿带展布方向。同时，它与北西向构造一起，控制了海岸线的形态。在汕尾区域内，以梅陇断裂带规模最大，长约 32km、宽约 6km。

相邻的北东向断裂带还有：

潮州-普宁深断裂带该断裂带经潮州、揭阳、普宁至汕尾延伸入海，往北东经 饶平延伸到福建境内，与长乐—诏安断裂带西侧断裂相连，总体走向 NE40º～50º， 主要倾向 SE，倾角 50º～80º，广东境内陆地长达 210km，路由区域范围属于潮州-汕尾断裂带南西段，断裂连续性较好，区内延长约 37km，由九条大致平行展布的Ⅰ、Ⅱ级断裂所组成，这些断裂均向南东倾，剖面上组成一个逆冲断裂系。断裂带影响范围较宽，达 4km～5km，沿断裂发育硅化岩、碎裂岩、压碎花岗岩等。断裂的早期活动控制了岩浆侵入和喷发活动，中侏罗世-晚侏罗世早期火山 岩主要分布在断裂带的南东侧；沿着断裂常发育北东向花岗岩墙，断裂两侧地层 延伸方向呈大角度相交，并造成地层的大规模重复和缺失。该断裂带形成于侏罗 纪晚期的燕山运动第三幕，表现在多期的岩浆侵入与喷发，强烈活动于白垩纪。

汕头-惠来深断裂带该断裂发育于饶平、汕头一带，广东陆地部分长 150km，呈 45°～50°方向延伸，直至汕尾外海，与路由海域相交集。断裂广泛发育动热变质现象，砂岩硅化，花岗岩压碎、硅化和糜棱岩化形成动热变质带，显示强烈挤压逆冲现象。新构造运动时期以来，断裂活动控制了沿海山地丘陵、台地、滨海平原的分布。断裂北西盘具整体持续上升，而南东盘相对下降。其间又以第四纪早期活动的强度和幅度较大，中更新世以来，南东盘处于长期稳定的剥蚀状态，

晚更新世以来在某些地段仍有较强活动。

南澳深断裂带该断裂发端于南澳岛东北部海域，与北西向的饶平大断裂相交错，北东-南西走向，穿越南澳岛东部，大部分在海域，一直延续到汕尾外海。在南澳岛东北部海域，南澳深断裂带与饶平大断裂相交处，发生过 7 级强烈地震。

③北西向构造

由一系列北西向断裂构造组成，主要有饶平大断裂、韩江大断裂、榕江大断裂、普宁大断裂和惠来大断裂等，其中惠来大断裂离路由区域最近。

惠来大断裂位于路由登陆点东北约 30km 处，它的走向为北西 45°～50°，与高要～惠来深断裂带和潮州～普宁深断裂带相交错，并被潮州～普宁深断裂带错开为两段，总长约 50km。

2、褶皱

区内主要分布有北东向和北东东向的向斜，分别对应于汕尾、惠东、惠州等盆地。

3、新构造运动

新构造运动是指晚第三纪以来的地壳运动，主要标志有如下几项：

活动断裂

断块与断裂运动造成本区山盆、海陆分界明显。继承性断裂活动造成地貌反差强烈：地形变形、变位、山盆界线平直、河道多呈直线、折线状；滑坡、瀑布、洪积扇、温泉、冷泉、地震、重磁异常沿断裂分布。东西向断裂控制了第四系沉积等厚线、海水等深线的展布方向。对路由所在区域影响较大的活动断裂主要有：北东向的南澳深断裂带、汕头-惠来深断裂带和潮州-普宁深断裂带；东西向的高要-惠来深断裂带；北西向的惠来大断裂。



图 4.1-7　区域地质构造图（根据《广东省区域地质志》地质构造图）

4.1.4.2　岩土体工程地质分层及特征

针对本项目的地质勘察工作尚未完成，根据收集到的区域地质及邻近后湖风场及汕尾甲子风场测风塔工程的钻探结果，风电场范围内主要为全新世海相、海陆过渡相和晚更新世海陆交互相沉积层(Q_4^m、Q_4^{m+al} 和 Q_3^{m+al})。钻孔柱状图见图4.1-9。场地岩土层特征描述如下：

(1)海积成因粉砂混淤泥(Q_4^m，层号①$_1$)：深灰色，饱和，松散，局部过渡为

稍密，主要矿物为石英、长石，级配差，混贝壳碎屑，含多量细粒质土，局部呈淤泥混砂状，海相沉积。

(2) 海积成因淤泥质土(Q_4^m，层号①$_2$)：灰黑色，饱和，流塑，含粉砂颗粒，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。

(3) 冲海积成因粉质黏土(Q_4^{m+al}，层号②$_1$)：灰色，很湿，软塑，含多量粉细砂颗粒，标贯击数偏高，土质黏性、韧性较好，含少量有机质，可见贝壳碎屑，海陆过渡相沉积。

(4) 冲海积成因粉质黏土(Q_4^{m+al}，层号②$_2$)：灰色，湿，可塑，局部呈硬塑状，含多量粉细砂颗粒，局部夹粉砂或粉土层，土质黏性、韧性较好，含少量有机质，海陆过渡相沉积。

(5) 冲海积成因粉砂(Q_4^{m+al}，层号②$_3$)：灰色，饱和，稍密~中密，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部与黏性土或粉土互层，海相过渡相沉积。

(6)冲海积成因细砂(Q_4^{m+al}，层号②$_4$)：灰、灰黄色，饱和，中密，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部夹粉质黏土薄层，显细微水平层理，海陆交互相沉积。

(7) 冲海积成因中砂(Q_4^{m+al}，层号②$_5$)：灰色，饱和，中密，主要矿物为石英、长石，级配中等，局部混粗砂和角砾，粒径 0.20~0.50cm，含黏粒，部分岩芯呈团块状，海相过渡相沉积。

(8) 冲海积成因粗砂(Q_4^{m+al}，层号②$_6$)：灰色，饱和，稍密~中密，主要矿物为石英、长石，级配中等~较好，局部混角砾，粒径 0.20~0.50cm，含黏粒，部分岩芯呈团块状，海陆过渡相沉积。

(9) 冲海积成因粉土(Q_4^{m+al}，层号②$_8$)：灰色，饱和，中密，部分密实，含多量粘性土及粉砂，土质黏性、韧性差，干强度低，海相过渡相沉积。

(10) 冲海积成因粉质黏土(Q_3^{m+al}，层号③$_1$)：灰色，湿，可塑，局部硬塑，混多量粉砂颗粒，局部夹粉砂或粉土层，土质黏性、韧性较好，海陆交互相沉积。

(11) 冲海积成因粉质黏土(Q_3^{m+al}，层号③$_2$)：褐黄、兰灰色，稍湿，硬塑，局部可塑，含粉砂颗粒，土质黏性一般，韧性中等，海陆交互相沉积。

(12) 冲海积成因粉砂(Q_3^{m+al}，层号③$_3$)：灰色，饱和，密实，局部中密，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部与黏性土或粉土互层，海陆

交互相沉积。

(13) 冲海积成因细砂(Q_3^{m+al}，层号③$_4$)：灰黑色，饱和，密实，局部中密，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，岩芯成团块状，海陆交互相沉积。

(14) 冲海积成因中砂(Q_3^{m+al}，层号③$_5$)：灰色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配中等~较好，局部混粗砂和角砾，粒径 0.20~0.50cm，含多量黏粒，部分岩芯呈团块状，海陆交互相沉积。

(15) 冲海积成因粗砂(Q_3^{m+al}，层号③$_6$)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配中等~较好，混多量角砾，粒径 0.20~0.50cm，局部含黏粒， 表现混黏土粗砂，海陆交互相沉积。

(16) 冲海积成因砾砂(Q_3^{m+al}，层号③$_7$)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配中等，磨圆度较高，局部含黏粒，表现为混黏土砾砂，海相交互相沉积。

(17) 冲海积成因卵石(Q_3^{m+al}，层号③$_8$)：灰白、灰黄色，饱和，密实，呈次棱次圆状，主要矿物为石英，粒径 2~3.5cm，充填约 30%粘性土，海陆交互相沉积。

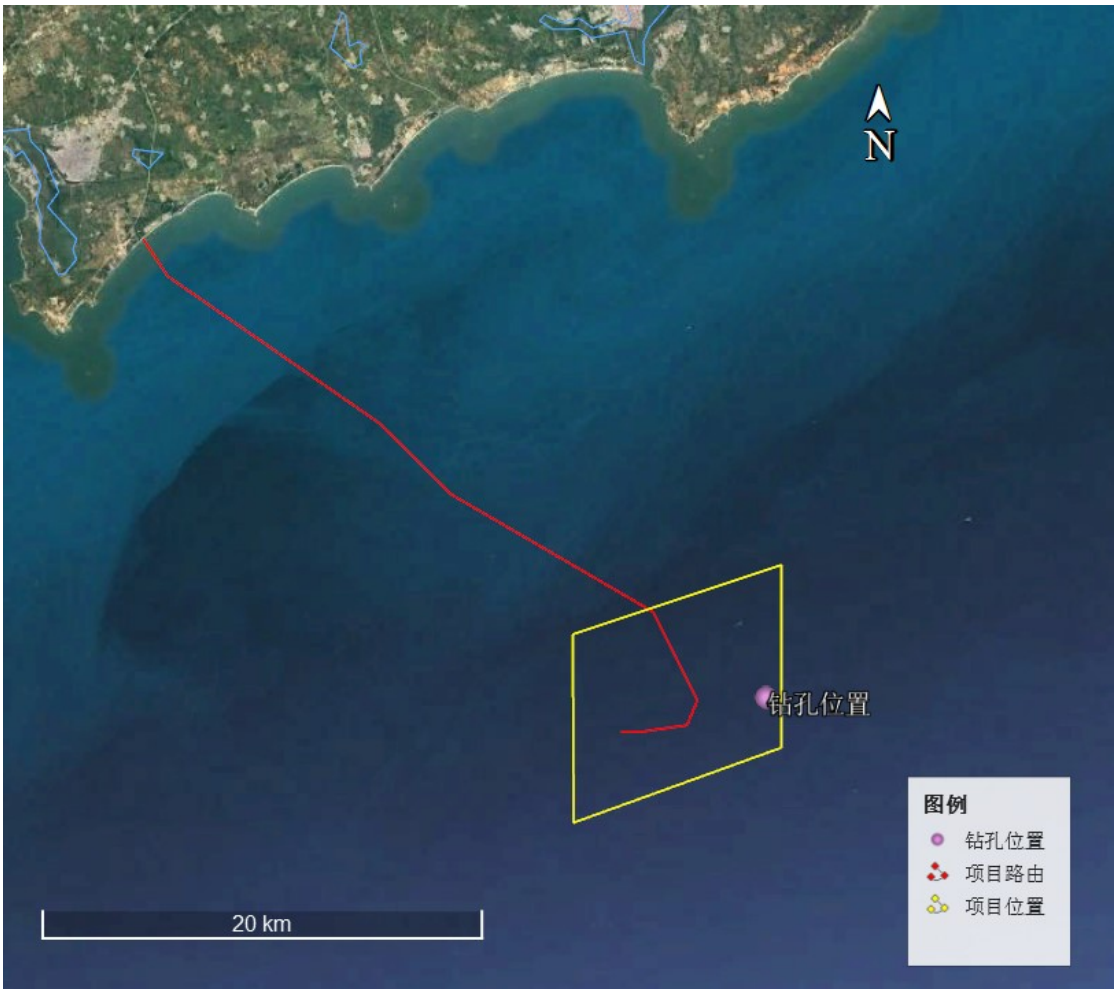


图 4.1-8　钻孔位置图

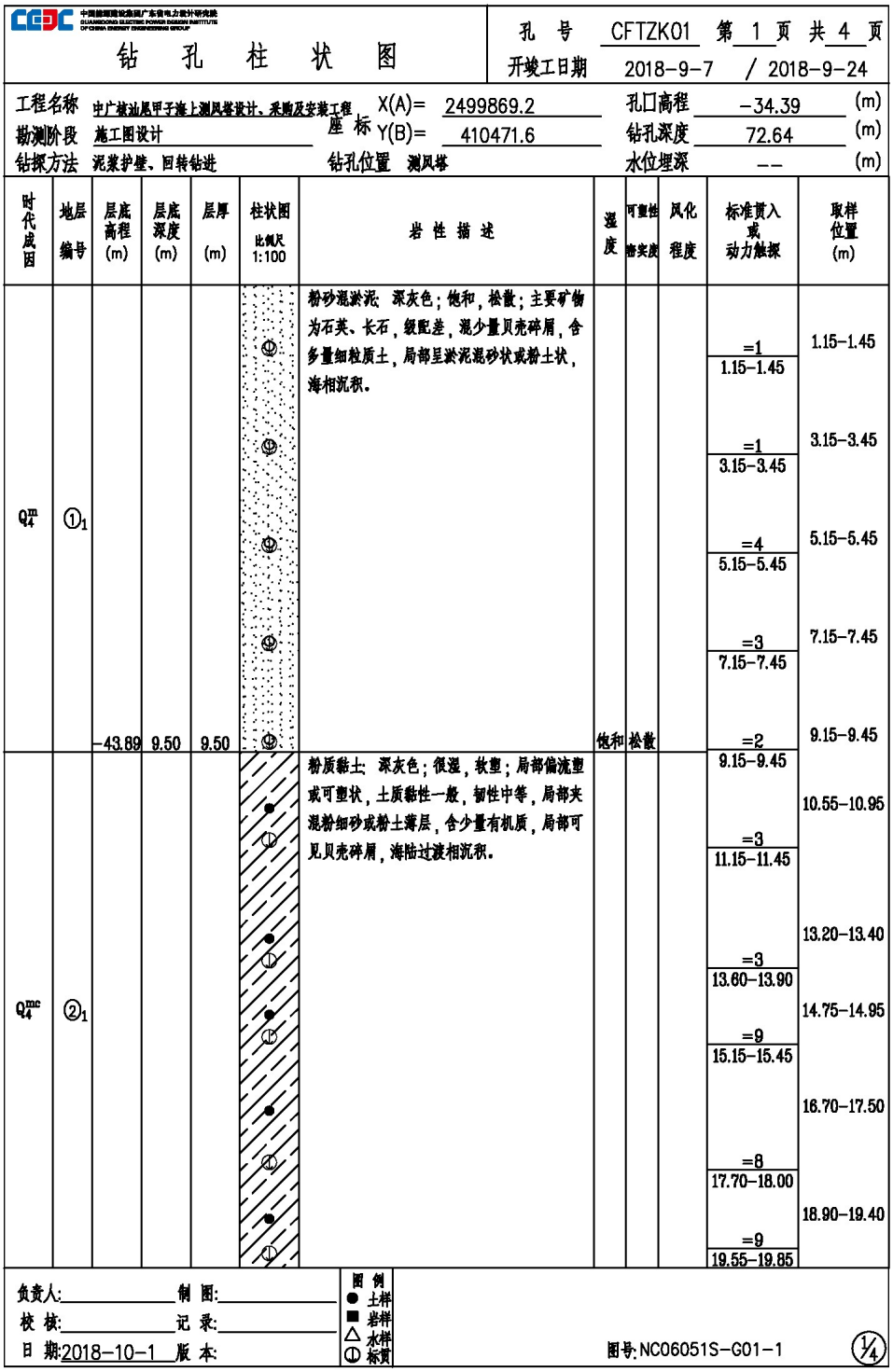


图 4.1-9a 钻孔柱状图 1

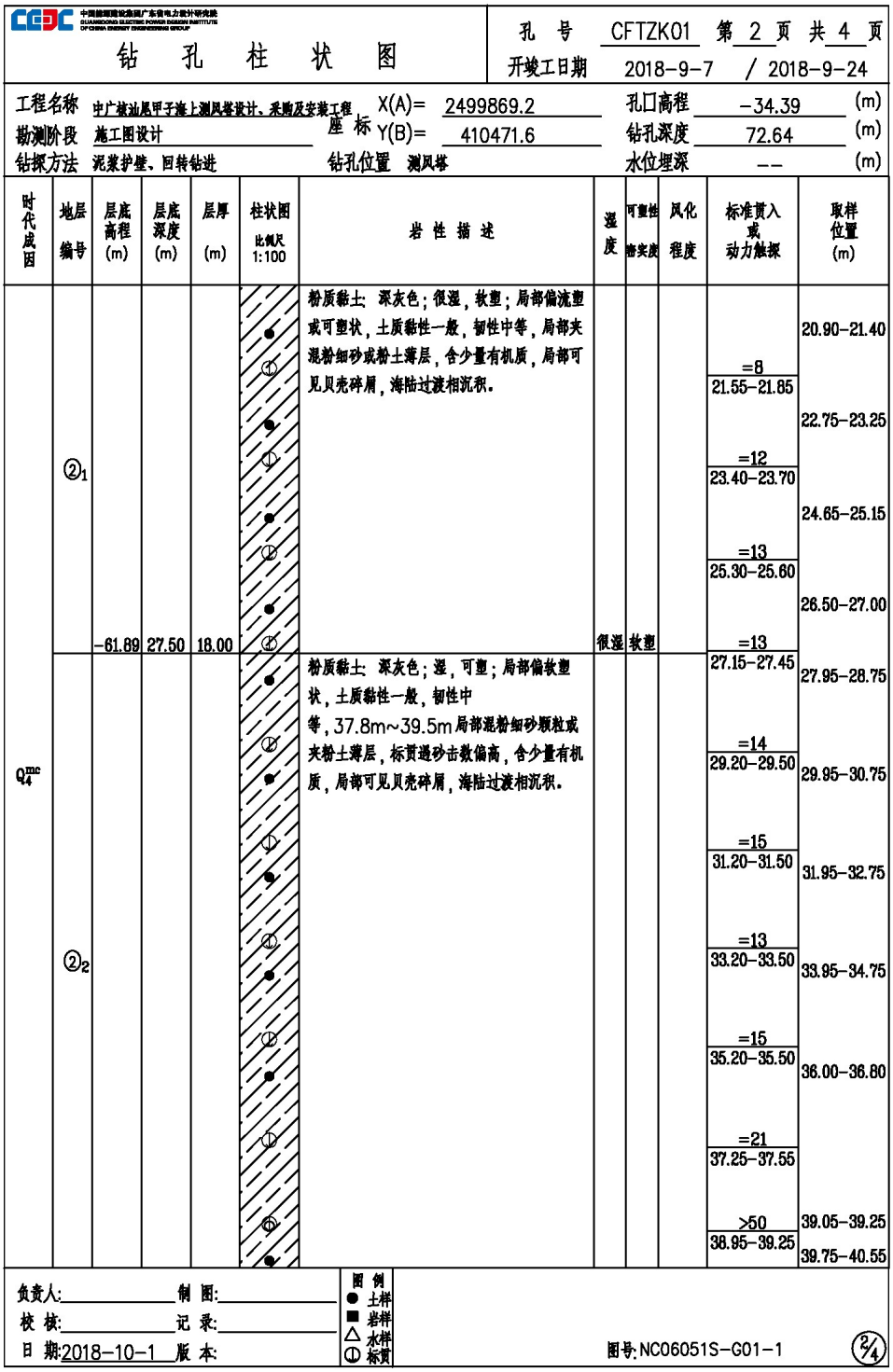


图 4.1-9b 钻孔柱状图 2

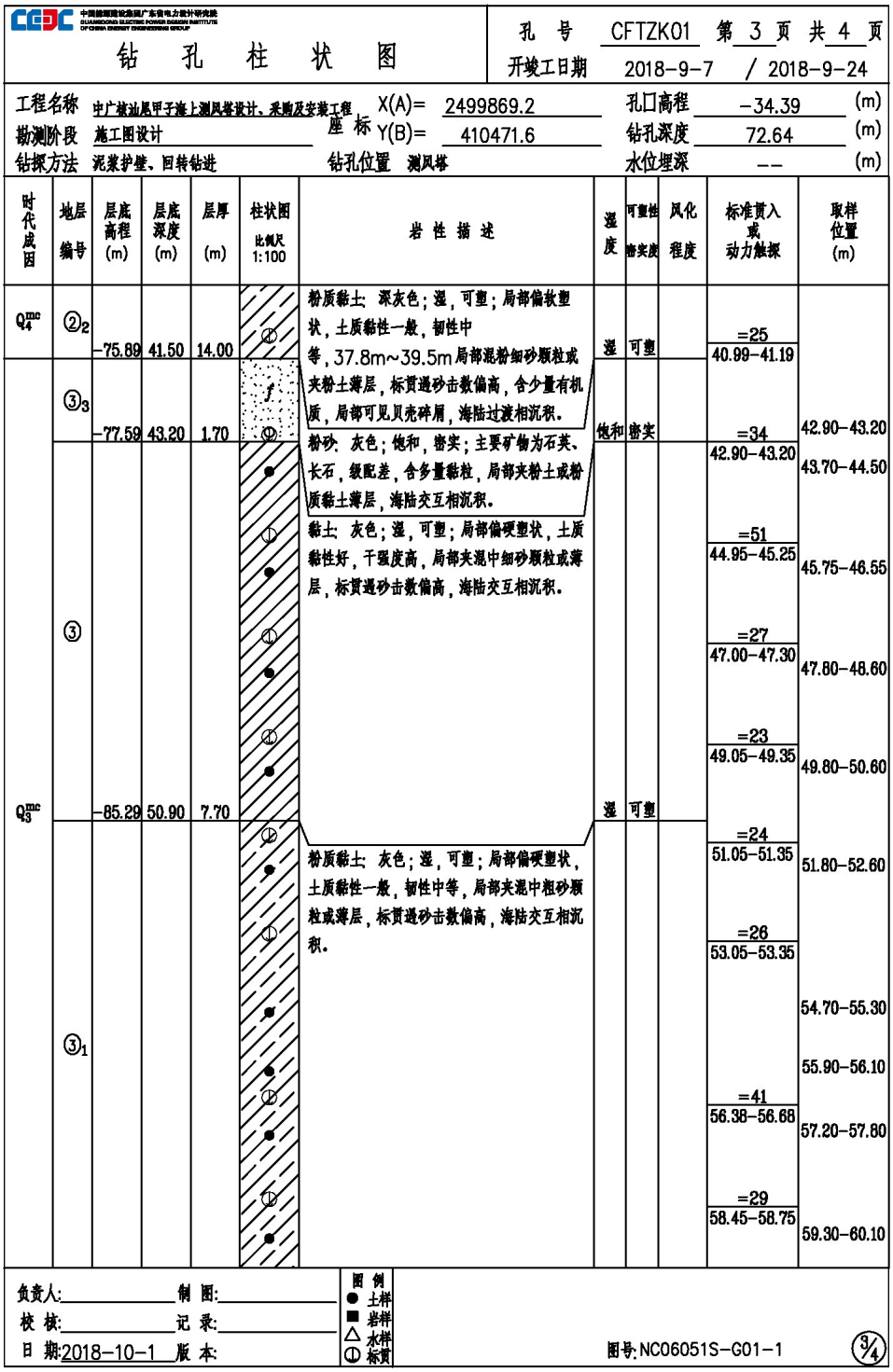
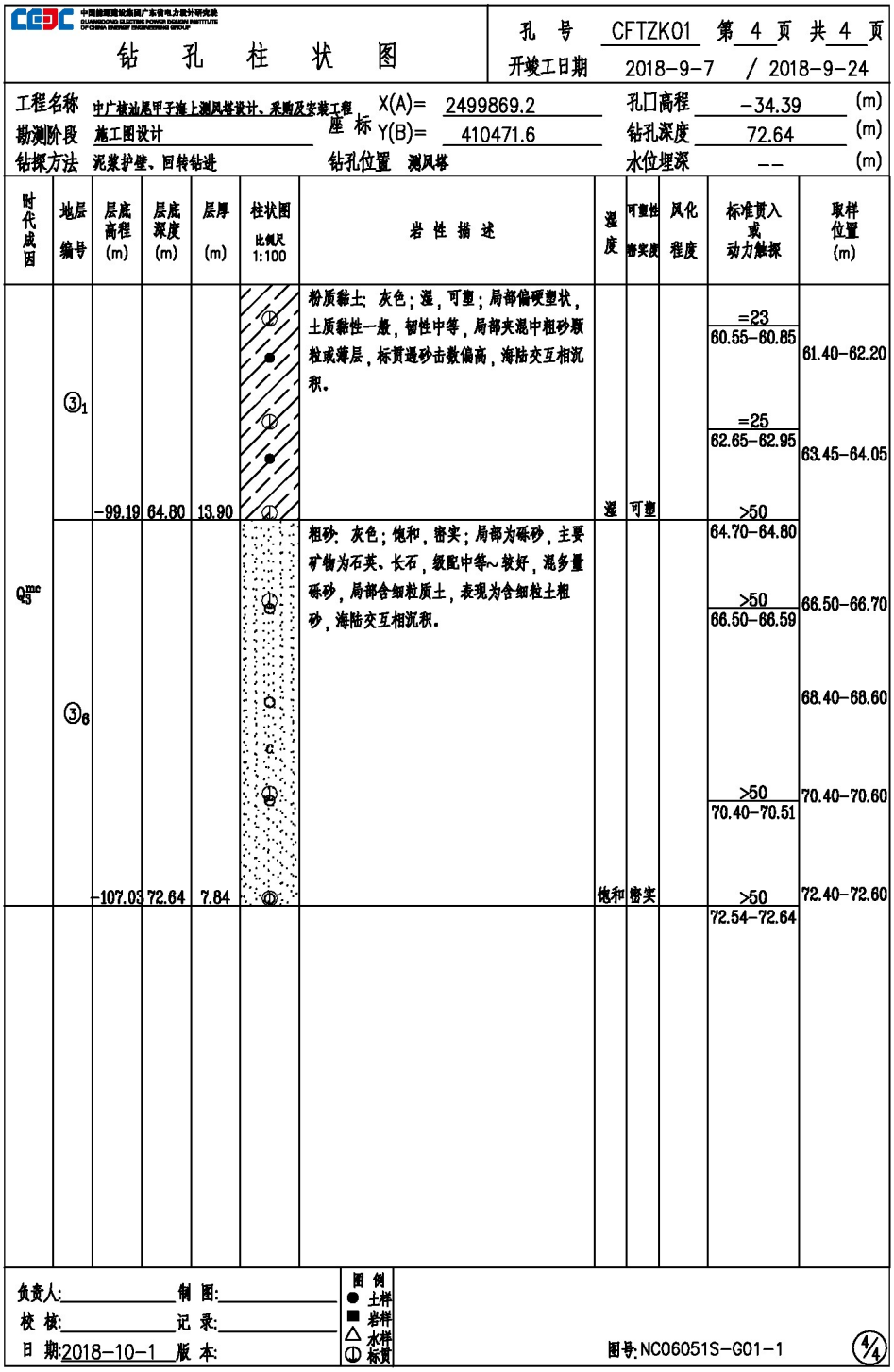


图 4.1-9c 钻孔柱状图 3



钻 孔 柱 状 图

孔 号 CFTZK01 第 4 页 共 4 页
开竣工日期 2018-9-7 / 2018-9-24

工程名称 中广核汕尾甲子海上测风塔设计、采购及安装工程
勘测阶段 施工图设计
钻探方法 泥浆护壁、回转钻进
座标 X(A)= 2499869.2 Y(B)= 410471.6
钻孔位置 测风塔
孔口高程 -34.39 (m)
钻孔深度 72.64 (m)
水位埋深 -- (m)

时代成因	地层编号	层底高程(m)	层底深度(m)	层厚(m)	柱状图 比例尺1:100	岩性描述	湿度	可塑性/密实度	风化程度	标准贯入或动力触探	取样位置(m)
Q_3^{mc}	③1	-99.19	64.80	13.90	① ② ④	粉质黏土：灰色；湿，可塑；局部偏硬塑状，土质黏性一般，韧性中等，局部夹混中粗砂颗粒或薄层，标贯遇砂击数偏高，海陆交互相沉积。	湿	可塑		=23 60.55-60.85 =25 62.65-62.95 >50 64.70-64.80	61.40-62.20 63.45-64.05
	③6	-107.03	72.64	7.84	④	粗砂：灰色；饱和，密实；局部为砾砂，主要矿物为石英、长石，级配中等~较好，混多量砾砂，局部含细粒质土，表现为含细粒土粗砂，海陆交互相沉积。	饱和	密实		>50 66.50-66.59 >50 70.40-70.51 >50 72.54-72.64	66.50-66.70 68.40-68.60 70.40-70.60 72.40-72.60

负责人: 制 图:
校 核: 记 录:
日 期:2018-10-1 版 本:

图例 ● 土样 ■ 岩样 △ 水样 ① 标贯

图号:NC06051S-G01-1 4/4

图 4.1-9d 钻孔柱状图 4

4.1.4.3 建筑场地类别划分

按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010) (2016 年版)对场地土的类型划分标准，场地土一般可划分为 3 种类型，即：中硬土、中软土和软弱土。现结合

钻孔波速测试成果，对各类土的具体划分如下：

中硬土： 由密实的粗砂（③6）组成；

中软土：由可塑的粉质黏土、黏土（②2、③、③1）和密实的粉砂（③3）组成；

软弱土：由松散的粉砂混淤泥（①1）和软塑的粉质黏土（②1）组成。

根据邻近工程钻孔揭露，拟建场地存在深厚淤泥及淤泥质土等软土，场地淤泥及淤泥质土存在软土震陷的可能性，建议进一步判别场地软土震陷情况。

4.1.4.4 海水腐蚀性分析

风电场基础位于海水中，处于长期浸水状态，承台以上结构部分位于海水及其涨落影响区，处于干湿交替状态，海水对桩基结构有可能产生腐蚀。

由于针对本项目的勘察工作尚未完成，参考项目邻近海域工程勘测结果，根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009 年版)第 12.2 有关规定，对海水腐蚀性评价如下：

海水对混凝土结构具中等腐蚀性，腐蚀介质为 SO_4^{2-}；对钢筋混凝土结构中钢筋在长期浸水环境下具微腐蚀性，在干湿交替环境下具强腐蚀性，腐蚀介质为 Cl^-。根据《油气田及管道岩土工程勘察规范》(GB 50568-2010)：海水对钢结构具中等腐蚀性。

由于地下水与海水存在较密切的水力联系，地下水对建筑材料的腐蚀性可按海水考虑。

4.1.4.5 地震烈度

在东南沿海区域范围内发生 M≥4 级以上地震 61 次，其中 4～4.9 级地震 36 次，5.0～5.9 级地震 10 次，6.0～6.9 级地震 7 次，7.0 级地震以上 4 次。根据图 4.1-10 显示，这些地震主要分布在陆丰以北、东北等地区，而工程区所在地区地震发生并不频繁，史料没有记载该地区发生过 4 级以上地震。据《中国地震动参数区划图》（GB18306-2001），工程区地震动峰值加速度为 0.10g，设计地震分组为第一组。地震动反应谱特征周期为 0.35s。据《中国地震东参数区划图》（GB18306-2015），陆丰市甲子镇、碣石镇、湖东镇三镇的地震峰值加速度均为 0.10g，三镇反应谱特征周期均为 0.40s。根据《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010），工程区抗震设防烈度为 VII 度。

区域范围内的地震活动表现出东北强西南弱的分区特征，以练江平原为界，西南地区地震活动较弱，仅有零星中强地震分布，东北地区是区域内破坏性地震主要分布区，且相对集中分布于潮汕盆地中的韩江和榕江平原地区以及滨海断裂上。现代微震震中分布显示与强震活动同样特征。根据地震统计成果，距风电路由海域东北约 40 公里外地震活动水平较高，项目所在海域范围内地震活动较弱。

综上所述，项目所在海域地质构造条件复杂程度简单，区域新构造运动较频繁且较为明显，工程区地震抗震设防烈度为 VII 度，区域地壳基本稳定，地震频率较低，震级小，现今地震弱活动

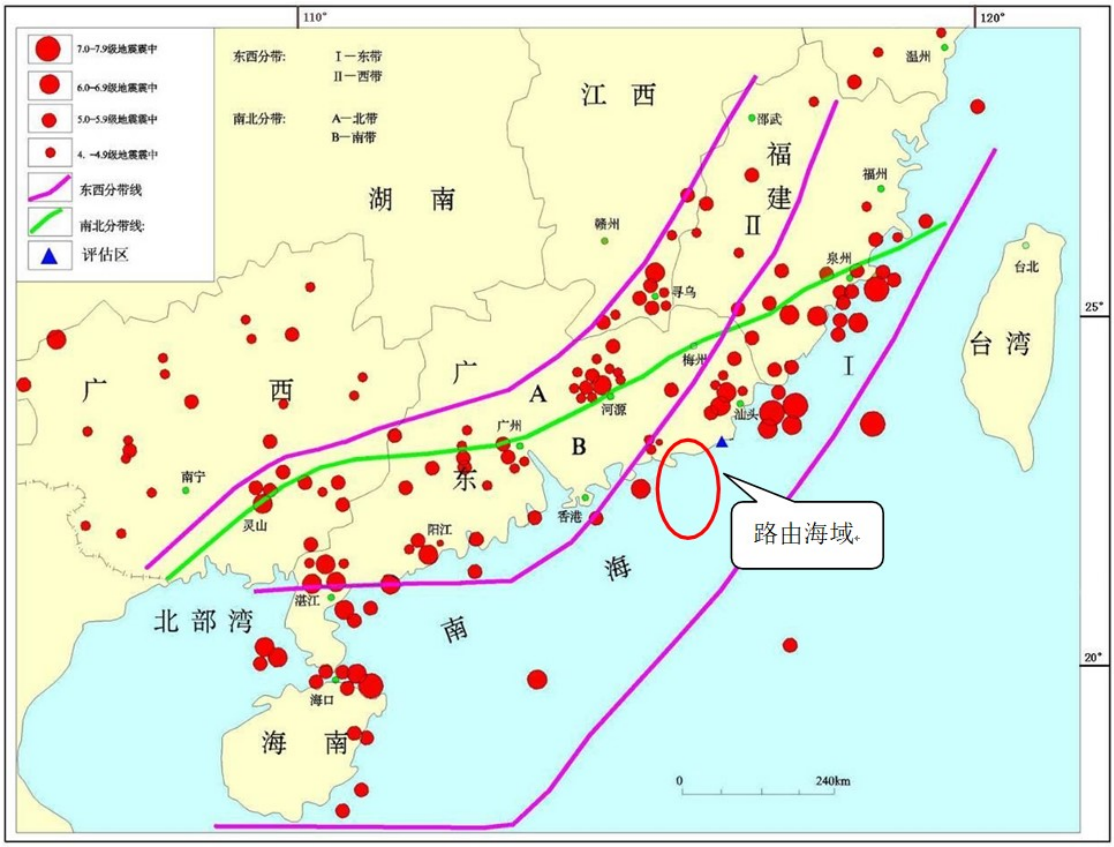


图 4.1-10　中国东南沿海地震分布及区带划分图（1601～2000 年，M≥3 ）



图 4.1-11　中国大陆及邻区破坏性地震（M≥4.7 级）震中分布图

（地震资料至 2009 年底）

4.1.5 自然灾害

本项目所在位置地处华南暴雨中心，年降雨量大且集中，因而洪涝较多；由于地处南海，热带气旋较多。本海域海洋灾害主要有热带气旋、雷暴等。

4.1.5.1 热带气旋

本项目场址位于陆丰市近海海面，根据历史资料分析，在广东珠江口以东至饶平一带沿海地区登陆的热带气旋均可能对场址区域造成正面的较大影响（表 4.1-6）。从 1949 至 2017 年，69 年中在广东珠江口以东至饶平一带沿海地区登陆的热带气旋有 96 个（其中达到台风以上量级的 52 个），年平均 1.4 个。有 13 年的登陆热带气旋个数达到 3 个以上，其中 1961 年有 6 个热带气旋在此区域登陆。69 年中，有 14 个（其中达到过台风以上级别的有 8 个，登陆时达到台风以上量级的 3 个）热带气旋在陆丰沿海登陆，登陆时强度最强的是 1510 号台风“莲花”，风速为 38m/s，出现在 2015 年 7 月 9 日。

登陆该区域的热带气旋一般集中在 6 到 10 月，占 9 成以上。登陆最早的是

1980 年 5 月 24 日登陆的 8004 号热带风暴，登陆最迟的是 2016 年 10 月 21 日在海丰登陆的 1622 号台风“海马”。

表 4.1-6　2000-2017 年登陆广东珠江口以东到饶平沿海一带的台风概览

年份	序号	中央编号	强度	过程中心气压极值（hpa）	过程中心风速极值（m/s）	登录地点	登录日期（月、日）	风力（级）	风速（m/s）	中心气压（hpa）
2000	5		热带低压	1002	15	香港	6.18	7	15	1002
2000	17	13	强热带风暴	980	28	惠东-海丰	9.01	10	28	980
2001	4	104	台风	965	35	海丰-惠东	7.06	11	30	970
2001	18	116	台风	960	40	惠来	9.2	10	28	985
2002	15	212	强热带风暴	980	28	陆丰	8.05	10	25	985
2004	12	409	热带风暴	990	23	香港	7.16	9	23	995
2004	14	411	热带风暴	990	23	陆丰-惠来	7.27	8	20	995
2005	10	510	强热带风暴	980	30	澄海	8.13	10	28	982
2006	1	601	强台风	945	45	饶平-澄海	5.18	12	35	960
2007	7	707	强热带风暴	975	30	香港	8.1	8	20	990
2008	7	806	台风	950	45	深圳	6.25	9	23	985
2009	7	906	台风	965	48	深圳	7.19	13	38	965
2011	6	1103	热带风暴	995	20	饶平-澄海	6.11	7	18	996
2013	20	1319	超强台风	915	60	汕尾	9.22	14	45	930
2014	7	1407	热带风暴	988	23	潮阳	6.15	9	23	988
2015	10	1510	台风	955	42	陆丰	7.09	13	38	965
2016	6	1604	台风	965	38	深圳	8.02	11	30	989
2016	24	1622	台风	905	68	海丰	10.21	13	38	970
2017	7	1702	强热带风暴	984	25	深圳	6.11	9	23	990
2017	15	1707	热带风暴	995	18	香港西贡	7.23	8	18	995
2017	25	1716	强热带风暴	990	25	陆丰	9.03	8	20	995

注：2006 年以前的登陆台风，按只定最大 12 级的旧标准记录登陆强度；2006 年以后的按新标准（最大 17 级）记录登陆强度。强度极值和登陆信息以《台风年鉴》或《热带气旋年鉴》

4.1.5.2　风暴潮

风暴潮灾害是由台风强烈扰动造成的潮水位急剧升降，是一种严重的海洋灾害，主要危害沿海地区。在广东地区，台风暴潮灾害的特点是：发生次数多、强度大、连续性明显，影响范围广，突发性强，灾害损失大，且主要危害经济发达

的沿海地区。影响工程水域的台风平均每年出现 2 次左右，一般多出现于 7~9 月。

通常为天文潮、风暴潮、海啸及其它长波振动引起海面变化的综合特征。观测期间影响本海区的台风主要有：莲花，浪卡，莫拉菲，天鹅，莫拉克，巨爵和凯撒娜。经过实测潮位值与天文潮的对比，得到它们引起的增水情况列于下表。

表 4.1-7　台风引起的增水

名称/编号	登陆地点	日期	台风引起的增水**(m)**
莲花(Linfa)/03	福建晋江	2009.6.20	0.34
浪卡(Nangka)/04	广东平海	2009.6.26	0.52
莫拉菲(Molave)/06	广东徐闻	2009.7.19	0.83
天鹅(Goni)/07	广东台山	2009.8.5	0.38
莫拉克(Morakot)/08	福建霞浦	2009.8.9	0.38
巨爵(Koppu)/15	广东台山	2009.9.14	0.51
凯撒娜(Ketsana)/16	越南广义	2009.9.29	0.68

4.1.5.3　雷暴

暴雨是指日量≥50 毫米的强降水过程，日雨量≥100 毫米为大暴雨；日雨量≥250 毫米为特大暴雨。近年来惠来县雷击灾害时有发生，对供电设施（变压器）、家用电器（电脑、电视机）、人畜等造成过危害。根据多年统计成果，本区域年平均雷暴日数 54.0d。

4.2　自然资源概况

4.2.1　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，西南为碣石湾、汕尾港，东北为甲子港、神泉港。

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）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。

（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）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。

（4）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。

4.2.2 主要航道

（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。航道具体情况见表 4.2-1 所示。

表 4.2-1　汕尾港航道统计表

序号	航道名称	长度（m）	宽度（m）	基准水深（m）	底质	可航水域（m）	备注
1	汕尾作业区航道（自 1#航标~5#航标）	4730	75	-5~-7	沙泥	120	人工疏浚形成
2	汕尾作业区内航道			-3.5~-7.0	沙泥	120	自然航道
3	马宫作业区航道			-3.0~-4.5	沙泥	120	自然航道

4	鲘门作业区航道			-2.8~-4.5	沙泥	120	自然航道
5	甲子作业区航道（自西方位标~航道）	2700	60（最窄处）	-2.8（最低处）	沙泥或泥沙质		航道弯曲
6	红海湾发电厂码头航道	4100	300	15.7	泥沙		
7	乌坎作业区航道	2100	60（最窄处）	-2.7~-6.0	泥沙		人工疏浚形成

（2）项目附近航路

风电场项目位于汕尾市陆丰南侧海面。其附近有粤东沿海小船航行的习惯航路、中小型船舶推荐航路及大型船舶推荐航路等，详见图 4.2-1。

粤东沿海小船航行的习惯航路主要为来往粤东沿海各港口口之间小型船舶的习惯航路,该航路小型船舶吨位、吃水较小，抗风浪能力较弱,船舶航行基本沿岸边航行。

根据《2011 年全国沿海船舶定线制总体规划》中括沿海推荐航路及粤东沿海定线制规划。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，该段航路北边线距离一期工程风电场(南移)南边线约 1.0 海里，在田尾角正南约 11 海里处转向 258，航程约 50 海里,在针头岩方位 106，距离约 13 海里处转向 235，驶向担杆水道。

全国沿海大型船舶推荐航路位于风电场南侧约 17.5 海里，航路宽 6 海里,主要是大型船舶推荐航路。

（3）项目附近主要航道

项目所在海域海上交通较为繁忙，主要有粤东海域区域内、粤东海域连接珠三角、以及粤东海域连接华南地区的海上运输航线。风电场北侧海甲航道和大星角甲子航道，这两条航线也与风电场项目路由相交越；另外，项目西北侧近岸海域存在碣石湾与海甲航道相连的航行通道，大星角甲子航道北侧存在煤电厂码头进出航道，项目东北侧神泉港海域存在神泉港与海甲航道相连的神泉港连港航道（图 4.2-1）。

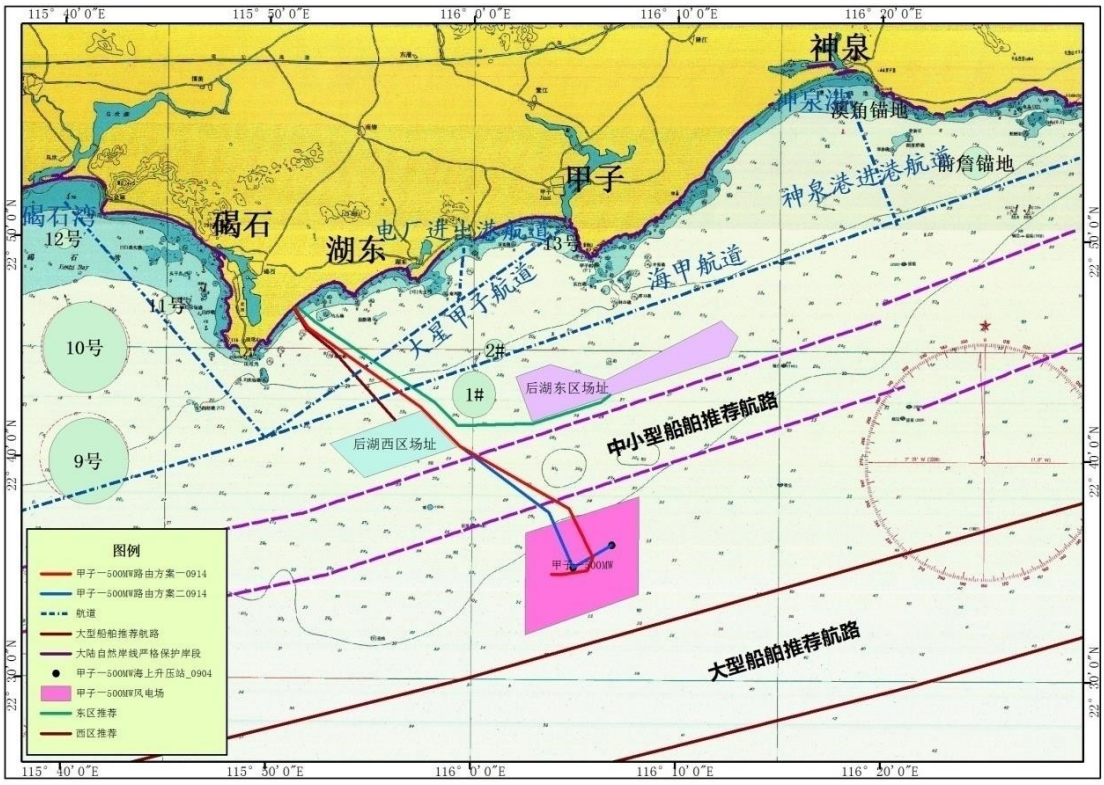


图 4.2-1　项目附近主要航道示意图

4.2.3 锚地资源

（1）汕尾港现有锚地和规划锚地

风电场项目区域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，锚地信息列表见表 3.3.3-1。汕尾港规划中 13 号锚地处于甲子港外，为一小型锚地，直径一海里，位于风电场项目东北 9km 处的甲子湾顶附近。其余港口与本项目相距较远，汕尾港 1~15 号锚地位置如图 3.3.3-1 所示。其中 9 号、10 号、11 号锚地位于项目西北方向 18km、19km、18km，汕尾港其他锚地与项目相距较远，关系不大。

表 4.2-2　汕尾港锚地规划表

序号	名称	中心地点	半径（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′54.00″	0.5	引航、检疫、防台
14	引航检疫锚地	115°07′40.00″，22°38′60.00″	0.5	引航、检疫、防台
15	引航检疫锚地	115°09′00.00″，22°36′00.00″	1	引航、检疫、防台

（2）甲湖湾电厂码头配套锚地

项目附近建有甲湖湾电厂，电厂码头设施配有 1#、2#锚地，见图 4.2-2。其中近年来投入使用的 1#锚地（中心坐标 22º43′ N，116º00′ E），直径为 2 海里，因其位于场址中部，在场址方案设计、比选、修改时已充分考虑其安全距离，尽量避开。甲湖湾电厂码头配套的 2 号锚地则位于风电场东区的西北 2.1 公里处（中心坐标 22º45′ N，116º01′ E）,直径为 1 海里，其外边界与项目位置的最近距离为 1.2 公里（图 4.2-2）。

本项目方案不穿越锚地，排除船舶因故障需临时停泊抛锚外，船舶正常停泊抛锚对本项目预选风电场位置基本不产生影响。

表 4.2-3　甲湖湾电厂码头配套锚地表

序号	名称	中心地点	半径（海里）	用途
1#	甲湖电厂锚地	116°66′00.00″，22°43′00.00″	2	甲湖湾电厂码头配套
2#	甲湖电厂锚地	116°01′00.00″，22°45′00.00″	1	甲湖湾电厂码头配套

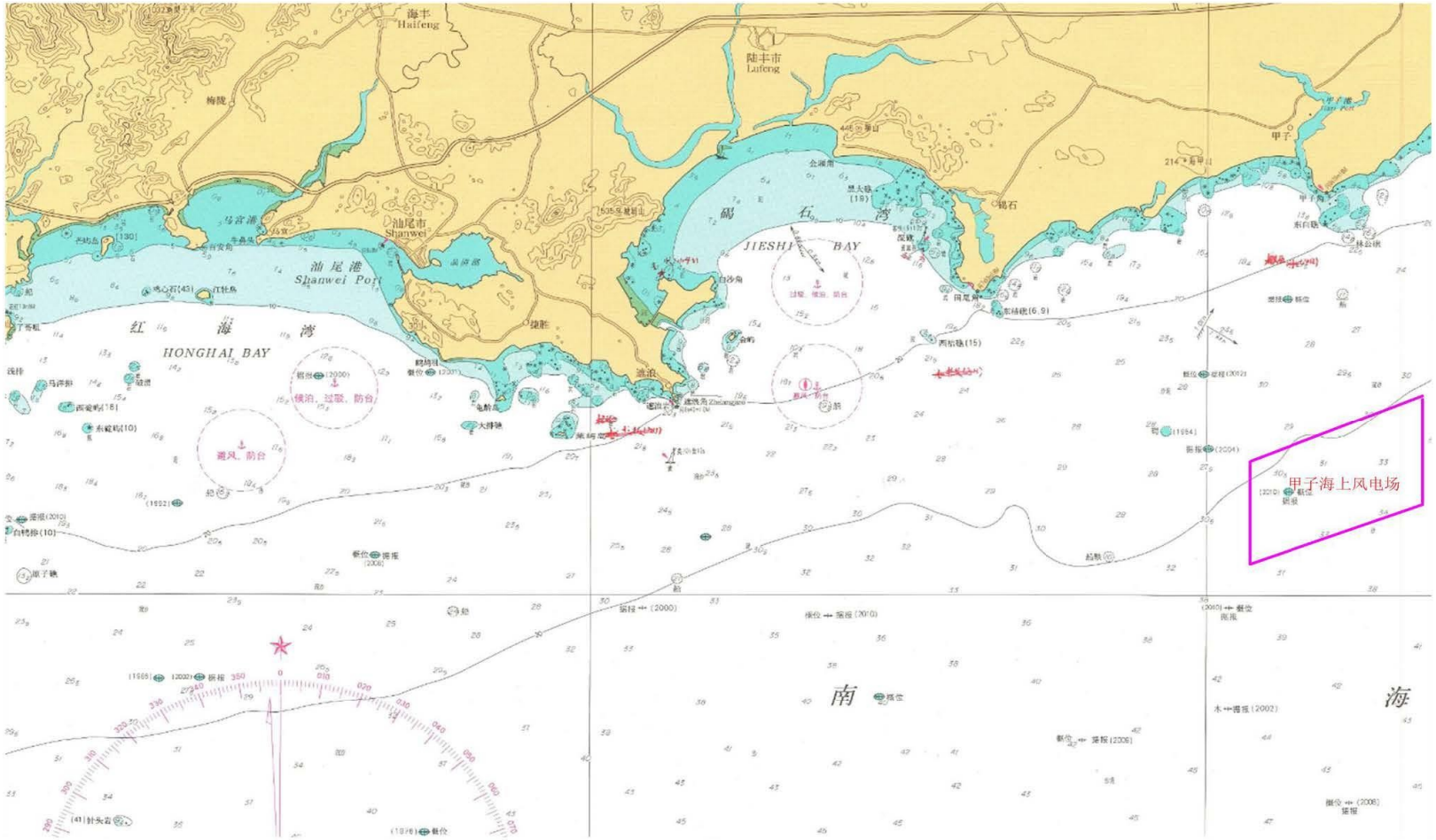


图 4.2-2　风电场项目与汕尾港规划港区及锚地的位置关系示意图

（底图来源：汕尾港总体规划（报批稿）2013 年 5 月）

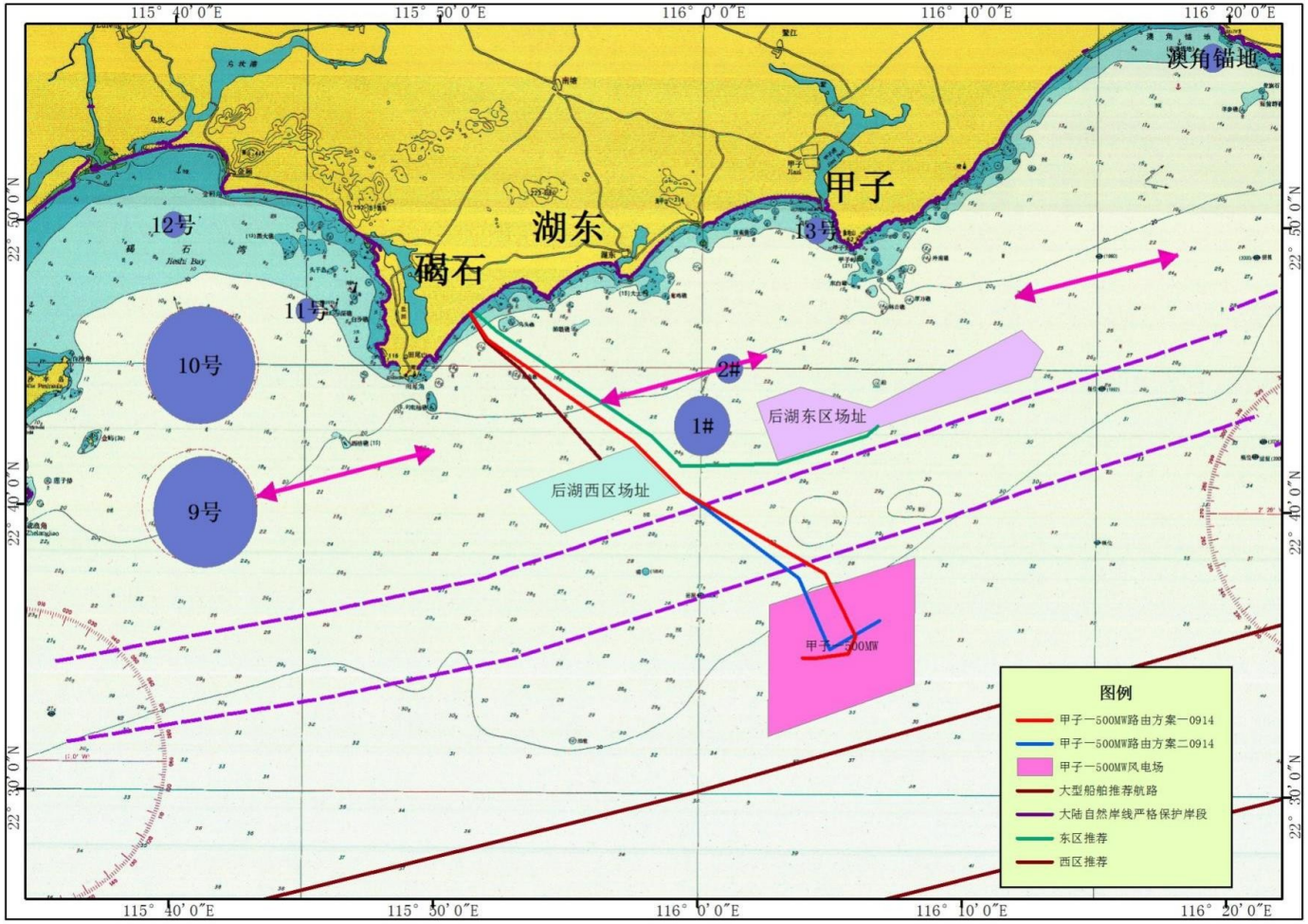


图 4.2-3　项目邻近海域锚地位置分布图

4.2.4 渔业生产

根据《中国海洋志第九分册（中国东部海洋）》（海洋出版社，1998），海洋捕捞是碣石湾沿海居民传统的海洋产业之一。碣石湾渔港众多是渔业发展的基础。湾外不远是汕头渔场、甲子渔场和汕尾渔场。金厢鱿鱼饮誉海内外。

由于近海捕捞过度，近海鱼类资源衰退，渔获物中杂鱼及小鱼增加，而价值较高的经济鱼类减少。因此，海洋渔业发展要坚持“以养为主、养捕结合、多种经营、全面发展”的方针，保护和利用近海水产资源，积极向外海发展，开展资源增殖，发展增养殖业，逐步实现近海渔业农牧化。要积极发展外海捕捞，与现有大马力的渔船进行改造，增加投资，组织一支由国营渔业公司的沿海县市参加的外海捕捞队，开辟外海渔场，形成渔业基地。东沙群岛离碣石湾较近，如能改进捕捞作业，则可利用该海域资源。东沙群岛以北和以西海域水深为 100~200m，海域面积 $1\times10^4km^2$，蕴藏着竹筴鱼、狭头鲐及红贝圆鳀等中、上层鱼类资源，为底拖网和流刺网捕捞渔场。

（1）海洋渔业从业人员

根据《2017 年陆丰市海洋与渔业局水产生产统计年报表》，陆丰市有海洋渔业乡 7 个，海洋渔业村 42 个，海洋渔业户 17549 户，海洋渔业人口 90333 人。陆丰市海洋渔业从业人员见表 4.2-5。从表可知，海洋渔业从业人员共 26873 人。

表 4.2-4　陆丰海洋渔业从业人员（人）

地区或县市		陆丰市
渔业乡（个）		7
渔业村（个）		42
渔业户（个）		17549
渔业人口	小计	90333
	其中：传统渔民	72274
渔业从业人员	小计	23699
	专业从业人员	20968
	其中：女性	1294
	兼业从业人员	3095
	其中：女性	486
	临时从业人员	1853
	其中：女性	210
专业从业人员中	捕捞	13890
	养殖	5500
	其它	1970

（2）海洋捕捞

本海区捕捞多采用拖网、围网的作业方式，也结合钓和刺等手段。对风电场项目调查和电缆铺设有一定的影响，但不会对埋设于海底 2m 以下的电缆造成破坏。在风电场项目调查时可选择休渔期进行，时间上与作业渔船避开，以减少相互干扰。

根据《2017 年陆丰市海洋与渔业局水产生产统计年报表》，陆丰市海洋捕捞产量见表 4.2-5。从表得知，海洋捕捞产量合计为 135018 吨，其中鱼类最多，为 79836 吨，占总产量的 59.13%；其次甲壳类为 29312 吨，占总产量的 21.71%；头足类为 18742 吨，占总产量的 13.88%；余下不足 10%为贝类、藻类、和其它类别。如按作业方式分（表 4.2-6），陆丰市拖网海洋捕捞产量最高，占总产量的 78.12%。

表 4.2-5　陆丰海洋捕捞产量（吨）

鱼类	甲壳类	头足类	贝类	藻类	其他类 （海胆海蜇等）	合计
79836	29312	18742	3786	789	2553	135018

表 4.2-6　陆丰按作业方式分的海洋捕捞产量（吨）

按捕捞渔具分						合计
拖网	围网	刺网	张网	钓具	其它渔具	
105480	69467	19467	167	1531	1449	135018

（3）海水养殖

①海水养殖产量

根据《2017 年陆丰市海洋与渔业局水产生产统计年报表》，陆丰市海水养殖产量见表 4.2-7。从表得知，海水养殖总产量为 94277 吨，其中，鱼类最高，接着是鱼类、甲壳类。

表 4.2-7　陆丰海水养殖产量（吨）

鱼类	甲壳类	贝类	藻类	其他类 （海胆海蜇等）	合计
30474	13334	44307	6118	44	94277

②海水养殖面积

陆丰市海水养殖面积见表 4.2-8。从表得知，海水养殖总面积为 6659 公顷，

其中甲壳类最多。

表 4.2-8　陆丰海水养殖面积（公顷）

鱼类	甲壳类（公顷）	贝类（公顷）	藻类（公顷）	其他类（海胆海蜇等）	合计
1410	2709	2053	454	33	6659

（4）海洋渔业产值

陆丰市海洋渔业原始产值（属第一产业部分）见表 4.2-9。从表可知，海洋渔业产值最高的是海洋捕捞，其次是海洋养殖，分别占 51.61%和 40.18%。

表 4.2-9　陆丰海洋渔业原始产值（万元）

捕捞和养殖					合计（万元）
海洋捕捞	海水养殖	淡水捕捞	淡水养殖	水产苗种	
133242	**103731**	**1219**	**19942**	**0**	**258134**

4.2.5 岛礁资源

汕尾市濒临南海，海域辽阔，海岸线长，近海岛屿众多。

汕尾市海岸线自陆丰与惠来县南海农场交界处至海丰县小漠乌山全长 455.2 公里。全国著名的汕尾渔场，面积达 3.5 万平方公里。其中属大陆架内的海洋国土面积 2.39 万平方公里，相当于汕尾市陆地国土面积的 4.5 倍。据《中国海岛志 •广东卷第一册》记载，汕尾市近海海域有岛（礁）311 个，其中有居民岛 2 个，无居民岛（礁）309 个。海岛总面积 79.6 平方公里，岛岸线长 12.82 公里，面积大于或等于 500 平方米的岛（礁）93 个。根据 2005 年版《海丰县志》和 2007 年版《陆丰县志》记载的岛屿名录共有 74 个。其中陆丰县 17 个。具体名称是：陆丰县：甲子屿岛、叠石岛、东白礁岛屿、大礁母岛、宫仔岛、赤礁东岛、大士岛、羊仔岛、北士岛、渔翁礁、眼礁岛、东桔礁岛、西桔礁岛、刺礁岛、头干岛、白礁岛、黑大礁岛。

汕尾市位于海岛保护区的粤东区，规划范围有 2 个区，分别是红海湾区、甲子湾—碣石湾沿岸区。该区域共有海岛 428 个，其中，有居民海岛 2 个，无居民海岛 424 个，列入国家第一批可开发利用无居民海岛有 2 个。

靠近项目登陆点的无居民海岛属于甲子湾—碣石湾沿岸区，有红厝礁、北士岛、水牛坟角、北士一岛、北士二岛、北士三岛、北士四岛、锣锅头、三洲澳东岛、三洲澳南岛、三洲澳西岛、三洲澳岛、鸟石礁、大马礁、大马南一岛、大马

南二岛、后耳礁、蚊帐礁、渔翁礁、眠礁、两峡礁、东桔礁、东桔东岛、浪泡石。

表 4.2-10　项目附近无居民海岛与项目相对距离

序号	名称	距离（km）
1	红厝礁	距海底电缆 6.65
2	北士岛	距海底电缆 4.23
3	水牛坟角	距海底电缆 3.95
4	北士一岛	距海底电缆 4.06
5	北士二岛	距海底电缆 3.97
6	北士三岛	距海底电缆 3.94
7	北士四岛	距海底电缆 4.02
8	锣锅头	距海底电缆 3.40
9	三洲澳东岛	距海底电缆 4.02
10	三洲澳南岛	距海底电缆 3.83
11	三洲澳西岛	距海底电缆 3.70
12	三洲澳岛	距海底电缆 3.65
13	鸟石礁	距海底电缆 3.46
14	大马礁	距海底电缆 3.59
15	大马南一岛	距海底电缆 3.46
16	大马南二岛	距海底电缆 3.54
17	后耳礁	距海底电缆 3.18
18	蚊帐礁	距海底电缆 4.14
19	渔翁礁	距海底电缆 4.48
20	眠礁	距海底电缆 4.47
21	两峡礁	距海底电缆 4.98
22	东桔礁	距海底电缆 5.53
23	东桔东岛	距海底电缆 5.67
24	浪泡石	距海底电缆 6.53

4.2.6 风能资源

甲湖湾地处台湾海峡喇叭口西南端，因独特的地理位置，风力资源特别丰富，是我国少有的可以大规模开发风力发电场的地域之一。

广东陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场（1400MW）一期工程后湖风场（500MW）工程轮毂高度 100m 处长年代年平均风速为 7.51m/s，平均风功率密度约为 422.4W/m2，风能资源较为丰富。轮毂高度处主导风向为 E，主导风能风向为 E，风向风能相对集中。风电场轮毂高度处 50 年一遇 10min 平均风速为 53.8m/s，50 年一遇 3s 极大风速为 71.1m/s。

4.2.7 三场一通道

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。

4.2.7.1 南海幼鱼产卵场

南海中上层鱼类产卵场分布见图 4.2-4，本项目不在产卵场内。项目附近海域产卵场有：鲐鱼产卵场，位于珠江口近海区，东经 113° 15′ ~116° 20′ ，北纬 21° ~22° 25′ ，水深 30~80 米，产卵期 1 月~3 月。

南海底层、近底层鱼类产卵场分布见图 4.2-5，本项目不在产卵场内。项目附近海域产卵场有：金钱鱼产卵场，由海南岛东岸一直延伸到汕尾附近，东径 111° 45′ ~115° 45′ ，水深为 25~107 米，主要是 40~80 米，产卵期 3 月~8 月；绯鲤类产卵场，位于珠江口近海，东径 112° 55′ ~115° 40′ ，北纬 21° 30′ ~22° 15′ ，水深为 20 米~87 米，产卵期 3 月~6 月。长尾大眼鲷产卵场，位于万山列岛的东南部，东径 113° 20′ ~115° 45′ ，北纬 20° 35′ ~22° 20′ ，水深为 26 米~80 米，产卵期 5 月~7 月。

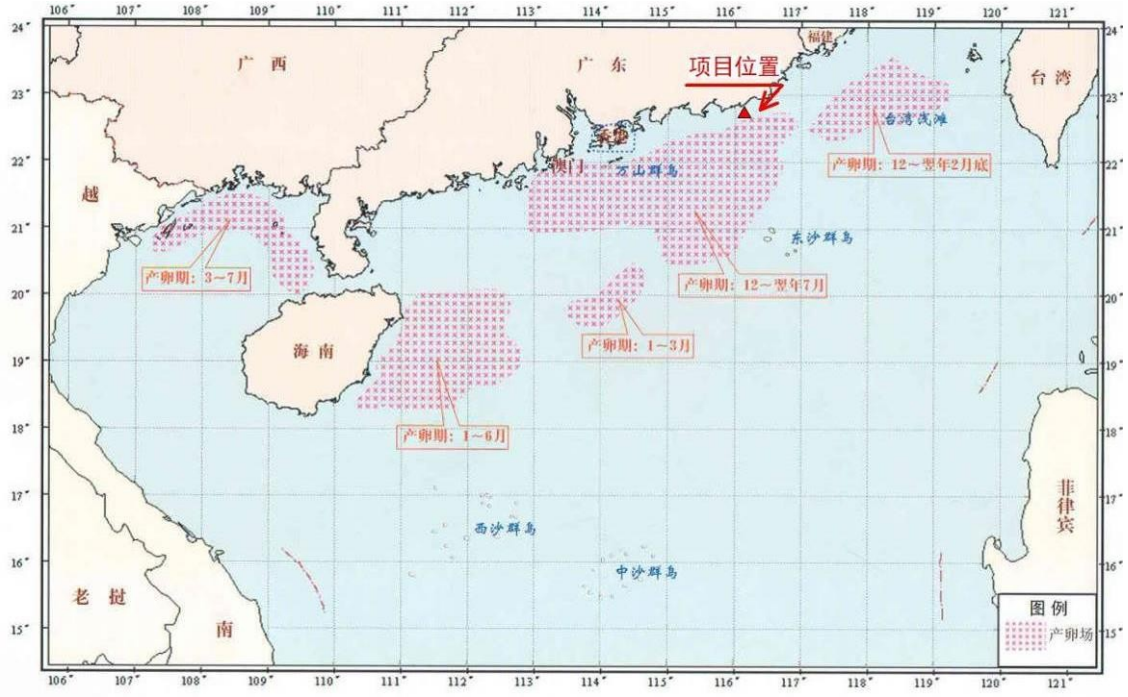


图 4.2-4 南海中上层鱼类产卵场示意图

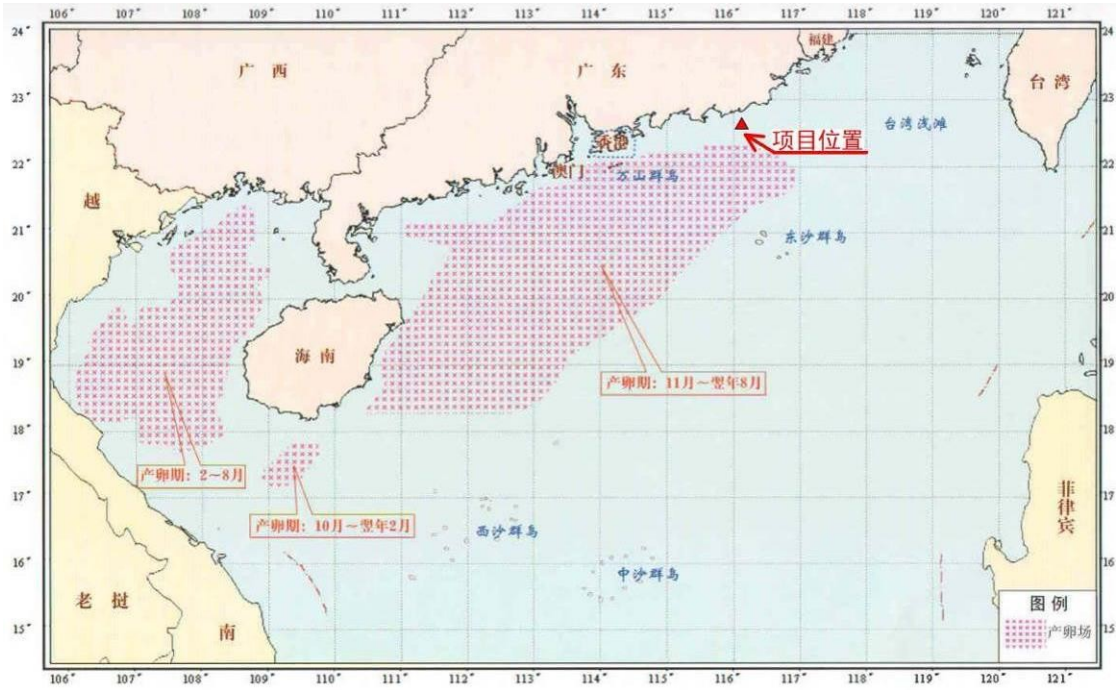


图 4.2-5　南海底层、近底层鱼类产卵场示意图

4.2.7.2　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-40 m 等深线水域，保护期为 1-12 月。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。如图 4.2-6 所示。

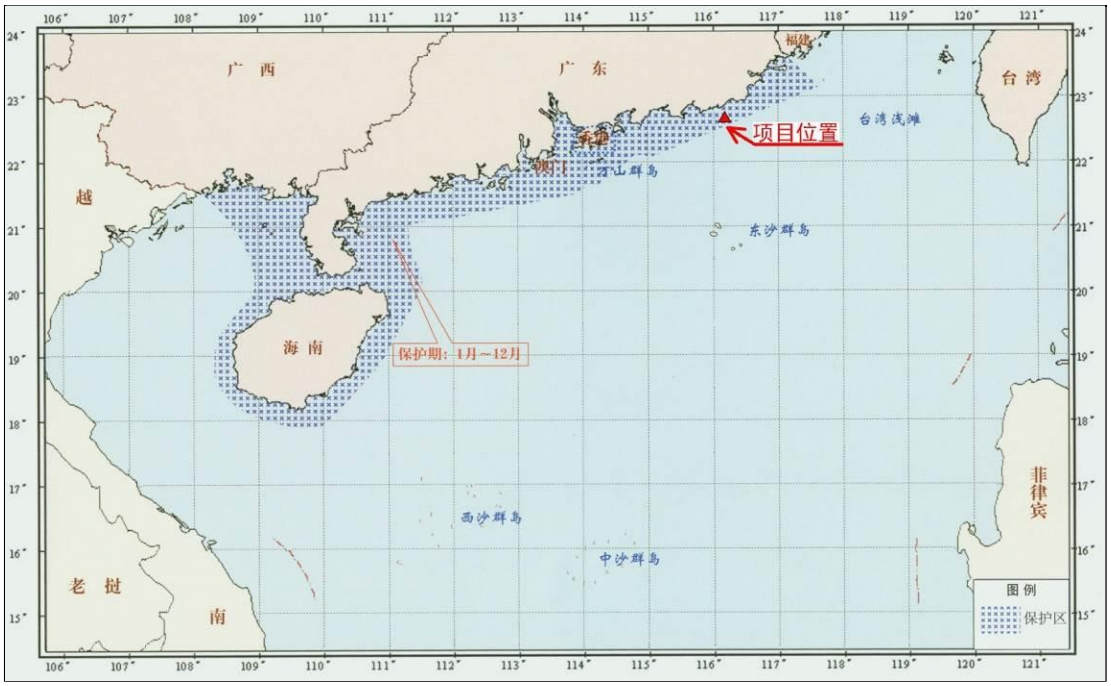


图 4.2-6　南海北部幼鱼繁育场保护区示意图

表 4.2-11　南海北部幼鱼繁育场保护区 17 个基点地理位置表

基点编号	东经	北纬	基点编号	东经	北纬
第一基点	117°40′	23°10′	第十基点	109°00′	18°00′
第二基点	117°25′	23°00′	第十一基点	108°30′	18°20′
第三基点	115°10′	22°05′	第十二基点	108°20′	18°45′
第四基点	114°50′	22°05′	第十三基点	108°20′	19°20′
第五基点	114°00′	21°30′	第十四基点	109°00′	20°00′
第六基点	111°20′	21°00′	第十五基点	108°50′	20°50′
第七基点	111°35′	20°00′	第十六基点	108°30′	21°00′
第八基点	110°40′	18°30′	第十七基点	108°30′	21°31′
第九基点	109°50′	17°50′			

4.2.7.3　渔业品种保护区

南海国家级及省级渔业品种保护区分布见图 4.2-7。

（1）南海幼鱼、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。本项目位于南海区幼鱼、幼虾保护区内。

（2）经济鱼类繁育场保护区

经济鱼类繁育场保护区共有二处。项目附近一处为珠江口经济鱼类繁育场保护区，范围从珠海市金星门水道的铜鼓角起，经内伶仃岛东角咀至深圳市妈湾下角止三点连线以北，番禺市的莲花山至东莞市的新沙二点连线以南的水域，保护期为每年的农历 4 月 20 日至 7 月 20 日。珠江口经济鱼类繁育场保护区距离项目较远，不在项目用海范围内。

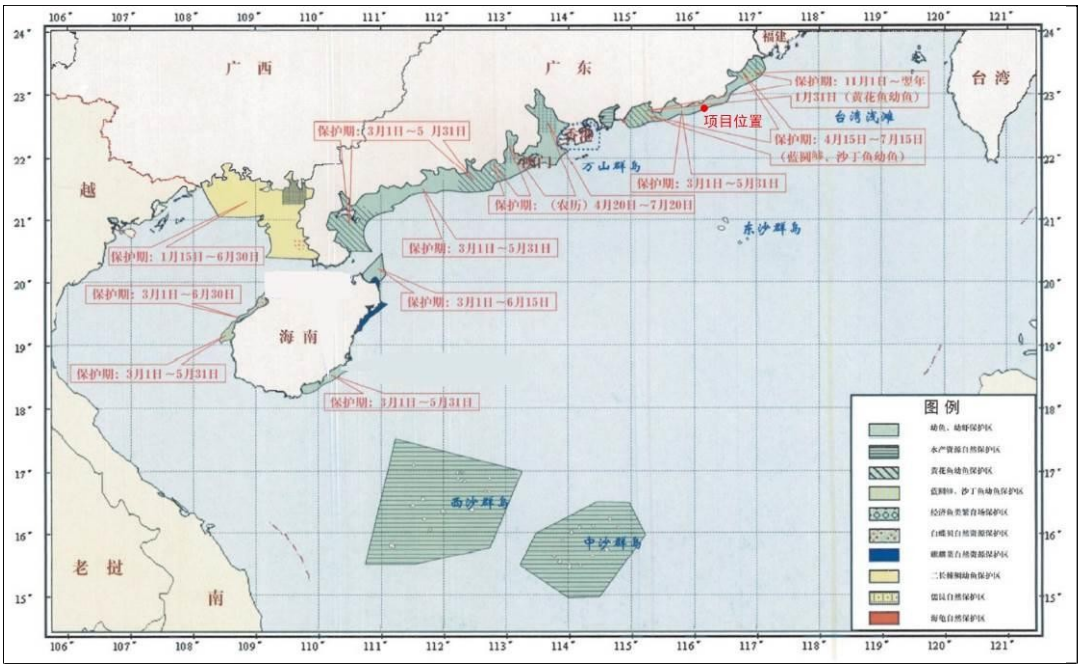


图 4.2-7　南海国家级及省级渔业品种保护区

4.2.8 鸟类资源

根据收集到的本项目附近宝丽华汕尾后湖海上风电场工程鸟类资源调查结果，风电场场址所在位置属于海洋环境，海上调查的范围区域内并无外海岛屿，海上分布红嘴鸥数量最多，其次为黑尾鸥和普通鸬鹚；海滨陆上多为鱼塘、农田、灌丛生境，其中白鹭、大白鹭、家燕、普通鸬鹚和红嘴鸥数量最多。

项目所在海域及登陆点附近海滨陆上，共调查到鸟类 10 目 23 科 40 种，大部分为海鸟和水鸟，非雀形目 23 种，占 57.5%，其中鹳形目和鸻形目分别有 6 种和 8 种，而雀形目 17 种，占 42.5%。

在调查到的 40 种鸟类中，有国家二级保护鸟类 1 种、列入中国濒危动物红皮书的 1 种，均为黑翅鸢，广东省保护鸟类 10 种，如白鹭、苍鹭、黑水鸡、黑翅长脚鹬等，“3 有”保护鸟类 35 种，如普通鸬鹚、珠颈斑鸠、白骨顶、泽鹬、普通翠鸟和鹊鸲等。

区域水鸟总数 1%水鸟共有 8 种，分别是普通鸬鹚、白鹭、大白鹭、苍鹭、黑尾鸥、红嘴鸥和家燕。由于海上风电场主要活动鸟类为海鸟，因此可选取种群数量较大的红嘴鸥和黑尾鸥作为指示物种，长期监测海上鸟类动态。

在居留型方面，在调查到的 40 种鸟类种，留鸟 24 种，占 60.00%，冬候鸟 13 种，占 32.50%，夏候鸟 3 种，占 7.50%。迁徙鸟类共 16 种，其中 14 种为非雀形目鸟类，冬候鸟多为鹭鸟和鸻鹬。

在区系方面，在调查到的 40 种鸟类中，东洋界 21 种占 52.50%，其次广布种 14 种，占 35.00%，古北界最少 5 种占 12.50%。

通过 3 个季度的物种数和个体数调查结果显示，在春季调查到的鸟类物种最多，而冬季的鸟类个体数量最多。冬候鸟在冬季的数量达到高峰，在春季逐渐往北迁飞，数量上有明显的降低，而 3 月正是鸟类北迁高峰，许多鸟类途径此地，因此可能导致了物种数量的增加。

4.2.9 海洋保护区

广东省汕尾市碣石湾海马资源市级野生动物自然保护区

汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区。位于陆丰市碣石镇对开海域，范围包括 A：东经 115°42′00″、北纬 22°33′00″；B：东经 116°00′50″、

北纬 22°34′00″；C：东经 116°02′35″、北纬 22°24′40″；D：东经 115°42′00″、北纬 22°20′40″等四点连线内海域，面积约为 500 公顷，保护对象为三斑海马、日本海马和克氏海马等及其栖息环境。2006 年 8 月 15 日由汕尾市政府（汕府函〔2016〕74 号）文件批准成立。本项目距离该保护区 9.2km。

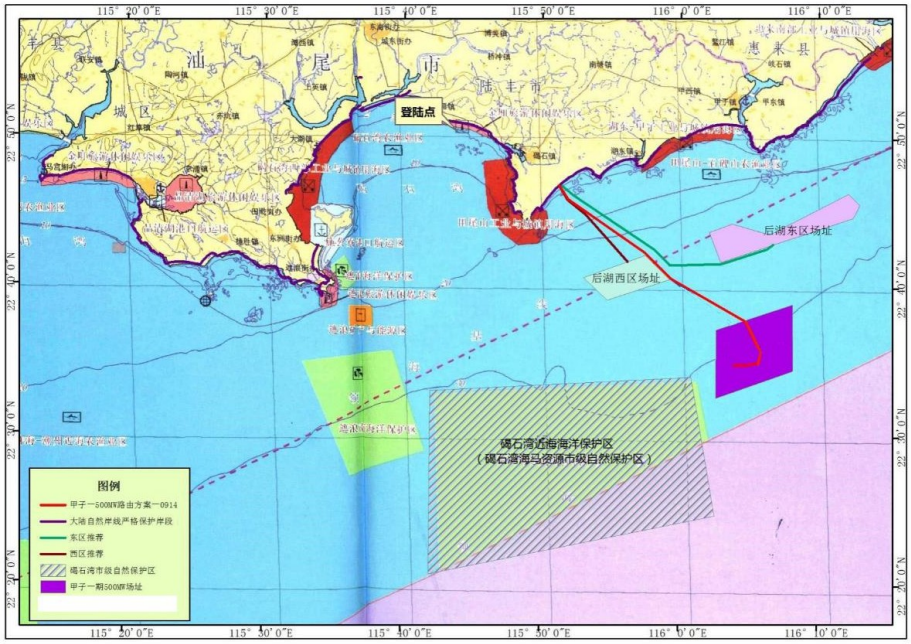


图 4.2-8　海马保护区与本项目位置示意图

4.2.10珍稀保护动物

（1）海马

海马因其头部酷似马头而得名，是一种近陆浅海小型鱼类，隶属海龙目海龙科海马属头侧扁，头每侧有 2 个鼻孔，头与躯干成直角形，胸腹部凸出，由 10～12 个骨头环组成，一般体长 10cm 左右，尾部细长，具四棱，常呈卷曲状，全身完全由膜骨片包裹，有一无刺的背鳍，无腹鳍和尾鳍。雄性海马腹面有一个育儿囊，卵产于其内进行孵化，一年可繁殖 2~3 代。

生活习性：海马因其拟态适应特性，习性也较特殊，喜栖于藻丛或海韭菜繁生的潮下带海区。性甚懒惰，常以卷曲的尾部缠附于海藻的茎枝之上，有时也倒挂于漂浮着的海藻或其他物体上，随波逐流。即使为了摄食或其他原因暂时离开缠附物，游泳一段距离之后，又找到其他物体附着之上。海马的游泳姿势十分优美，鱼体直立水中，完全赖以背鳍和胸鳍高频率地作波状摆动（每秒钟 10 次）而作缓慢的游动（每分钟仅达 1~ 3m）。海马的活动一般多在白天（上午和下午），晚上则呈静止状态。海马在水质变劣、氧气不足或受敌害侵袭时，往往因咽肌收

缩而发出咯咯的响声，这给养殖者发出“求救”的信号，但在摄食水面上的饵料时也会发声，应加以区别。

食性：海马是靠鳃盖和吻的伸张活动吞食食物，饵料的大小以不超过吻径为度。对饵料的种类和鲜度有一定选择性。海马的觅食视距仅为 1m 左右，所以饵料要投在经常群集处。自然海区海马主要摄食小型甲壳动物，主要有挠足类、蔓足类的藤壶幼体、虾类的幼体及成体、萤虾、糠虾和钩虾等。在人工饲养条件下，以摄食糠虾和樱虾效果最好，其次为足类和端足类。淡水枝角类等也可为食，但要注意避免因在海水中迅速死亡以污染水质。

海马的摄食量与水温、水质密切相关。在适温范围内，水温高，则摄食量大，消化快。水质不良时，摄食量减少，甚至停食。在正常条件下，海马的日摄食量约占体重的 10%海马一次摄食量很大，同时耐饥性也很强，从初生苗到成鱼耐饥时间可达 4~132 天。

运动方式：海马尾部的构造和功能与其他鱼类迥异。栖止时的海马，利用尾部具有卷曲的能力，使尾端得以缠附在海藻的茎枝上。故海马多栖息在深海藻类繁茂之外。游泳的姿态也很特别，头部向上，体稍斜直立于水中，完全依靠背鳍和胸鳍来进行运动，扇形的背鳍起着波动推进的作用。

生活环境：在自然海域中，海马通常喜欢生活在珊瑚礁的缓流中，因为它们不善于游水，故而经常用它那适宜抓握的尾部紧紧勾勒住珊瑚的枝节、海藻的叶片上，将身体固定，以使不被激流冲走。

生育：海马的雌雄鉴别很简单，就是雄鱼有腹囊（俗称：育儿袋），而雌鱼没有腹囊。海马并不是雌雄同体，海马只是雄性孵化。

每年的 5 月～8 月是海马的繁殖期，这期间海马妈妈把卵产在海马爸爸腹部的育儿袋中，卵经过 50~60 天，幼鱼就会从海马爸爸的育儿袋中生出，所以说是海马爸爸负责育儿，而不是真的由爸爸生小孩，爸爸的育儿袋只是起到了孵化器的作用，卵还是来源于妈妈。8～9 月为盛产期，渔民常于此时用张网捕捉。

（2）海龟

海龟是我国第二类重点保护的野生濒危动物，我国主要分布于西沙群岛、海南岛、广东、广西、台湾、福建、浙江、江苏和山东沿海地区。根据《广东省海洋环境保护规划》研究成果，以及南海水产研究所调查资料，海龟在广东省的主要活动地区为大亚湾、红海湾、汕头。我国已于 1985 年在广东惠东县港口镇海

龟湾建立了国家级海龟自然保护区。惠来县曾有海龟的分布。

大多数的海龟生存在比较浅的沿海水域、海湾、泻湖、珊瑚礁和流入大海的河口。不同种类和同一种类内部不同群体的海龟有着各自的迁徙习惯。

海龟生活于近海上层。以鱼类、头足纲动物、甲壳动物以及海藻等为食。每年 4～10 月为繁殖季节，常在礁盘附近水面交尾，需 3～4 小时。雌性在夜间爬到岸边沙滩上，先用前肢挖一深度与体高相当的大坑，伏在坑内，再以后肢交替挖一口径 20cm、深 50cm 左右的“卵坑”，在坑内产卵。产毕以砂覆盖，然后回到海中。每年产卵多次，每产 91～157 枚。卵白色，圆形，径 41～43mm，壳革质，韧软。孵化期 50～100 天。

海龟一般沿海岸及岛屿洄游活动。目前尚未有专门针对本项目所在海域的海龟现状调查资料，根据项目西侧大亚湾海域附近卫星追踪海龟出现位点（图 4.2-9）分析，海龟产卵季节在大亚湾、海龟湾和红海湾密集出现与活动海域主要在海龟保护区及其附近海域，其他海域则较少出现。本项目距离惠东海龟自然保护区外围保护带 100km 以上，且项目风场离岸近 30km，所在海域海面开阔，附近亦无岛屿，因此，可以推测项目论证范围内海龟出现的频率不高，项目所在海域也不是海龟迁徙期间的关键觅食地。根据对惠东海龟国家级自然保护区产卵后雌性绿海龟卫星跟踪结果表明，在产卵季节结束后，海龟离开产卵地，又开始在海水中的生活，活动范围较大（图 4.2-10），本项目风场场址距离海龟洄游路线较远，220kV 登陆海缆路由位于海龟洄游路线上。

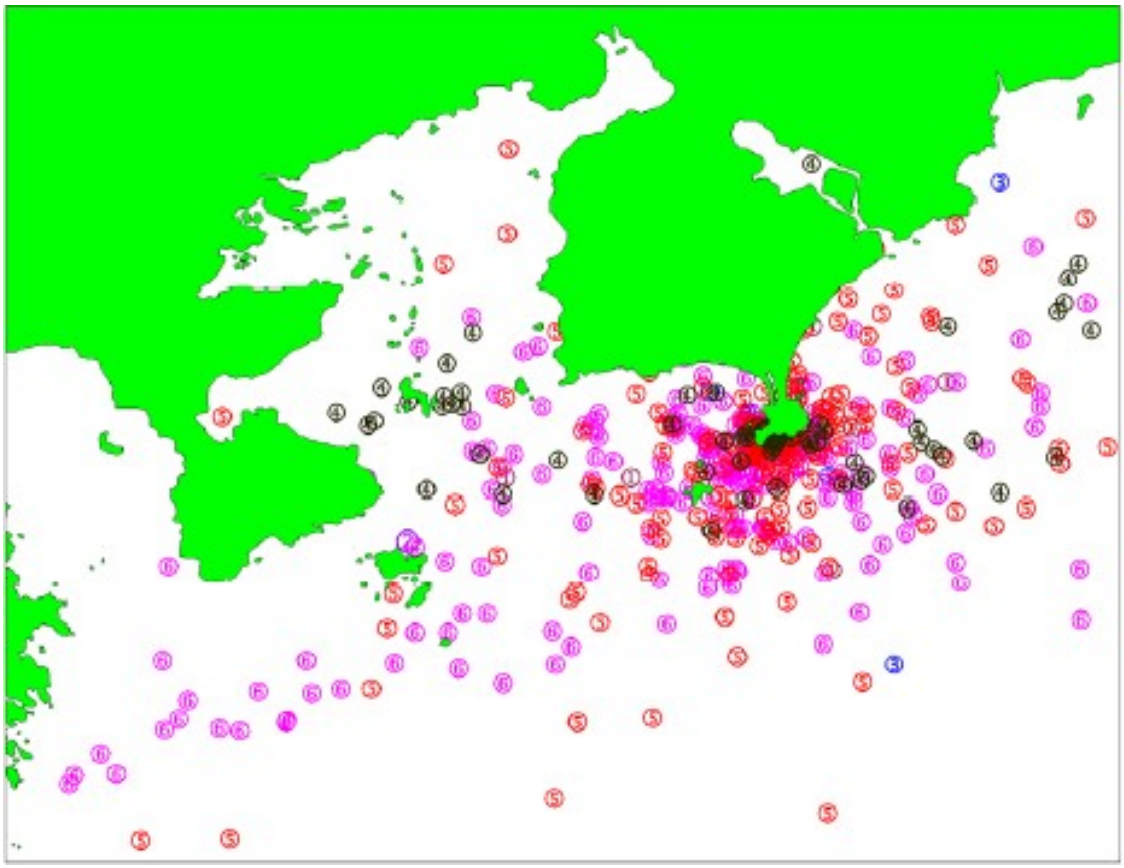


图 4.2-9　大亚湾卫星追踪海龟出现位点

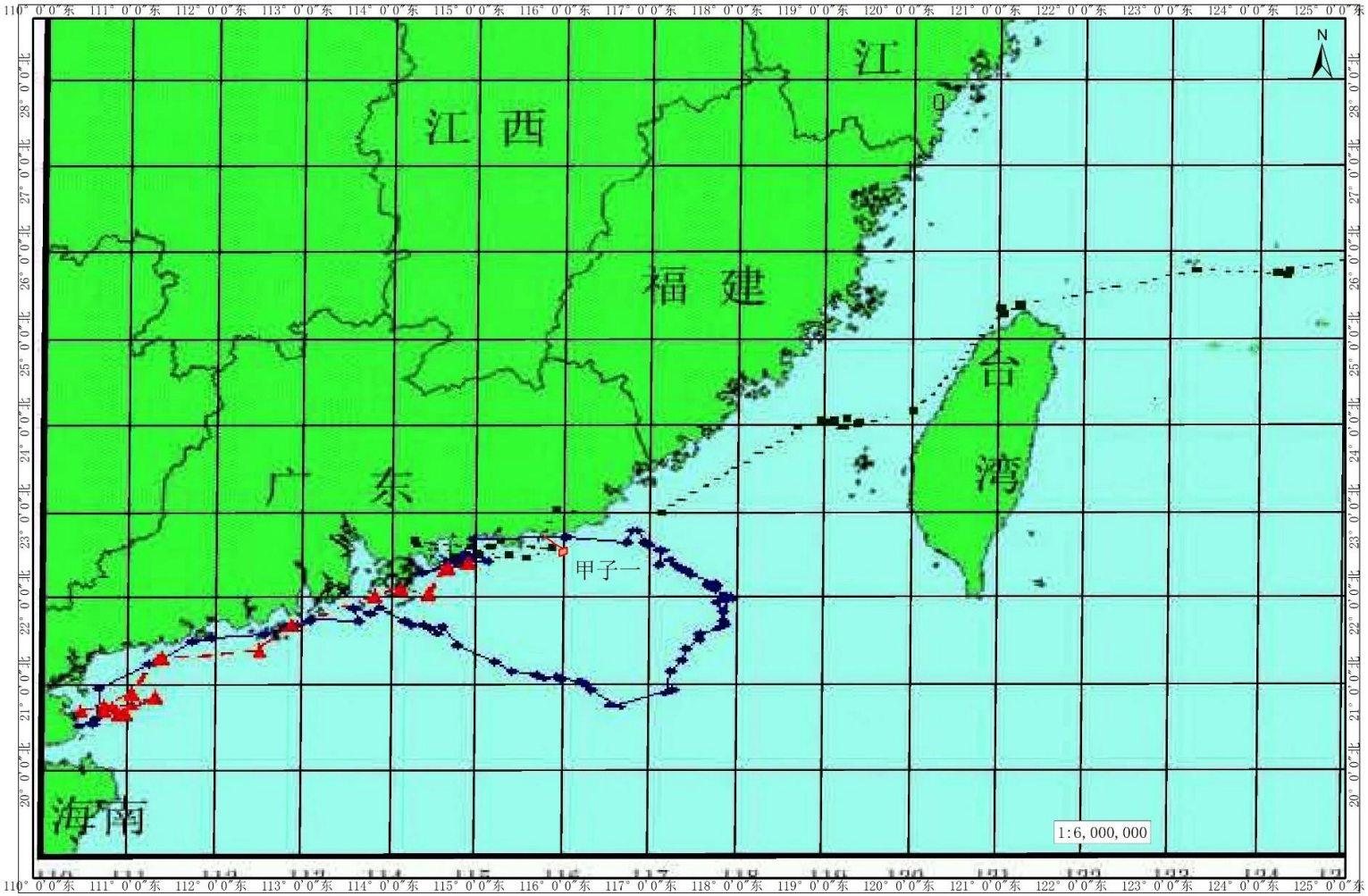


图 4.2-10　卫星追踪海龟洄游路线图

（3）鲎

鲎属于广东省第一批重点保护水生野生动物，具有重要的学术研究价值，有“活化石”之称，同时还具有较高的药用价值。我国主要分布于浙江、福建、台湾、广东、广西沿海。惠来海区有鲎分布的记录。

鲎栖息于沙质海底，昼伏夜出，大部分时间营底栖潜居生活，通常小个体生活在岸边沙滩中，随着年龄的增长，个体大的逐渐移向浅海。鲎不作长距离洄游，每年 11 月随着水温下降由浅海游向较深水域越冬，翌年 4～5 月又从深水区游向浅海，繁衍后代，繁殖期 5～8 月。春夏之交繁殖，雄体爬在雌体上游泳，被称为“海底鸳鸯” 。

鲎为雌雄异体，雌体比雄体大，成年雌体重约 4kg，雄体重约 1.8kg。雌体背负雄体，成对栖息、爬行、游动，称为海中鸳鸯。受精卵经过 5～6 周孵化成为幼虫，初孵幼虫长 7～8cm，称为三叶幼虫，幼虫经第一次蜕皮后长成幼鲎，从幼鲎到达性成熟，约需 4～5 年，蜕皮 13～14 次。

中国鲎：体呈瓢状，由头胸部、腹部和尾剑三部分组成，头胸甲长 30～40 厘米，甲面凹凸，青褐色。尾刺能自由运动，当背部贴地时常用此尾使身体翻转。头胸甲隆起线的中央突起外侧各有一个复眼。头胸甲与体后部背甲交接处有关节，可使腹部向前屈曲。头胸甲腹面有 6 对胸肢，雌性前 5 对肢端为钳状，雄性的第二、三对为钩爪形。腹部腹面有 6 对腹肢。我国沿岸均有分布。浙江以南的近岸浅海中较多。生活在近海多藻类的砂质海底。尤其在舟山海域繁殖季节(5～8 月)常呈双结对雌雄两个体爬行于沿岸沙滩上，极易捕捉。

南方鲎：是国家二级海洋保护动物，它是一种节肢动物，全身褐色，外形像个瓢，尾部长有一条细长的剑状尾巴，一般雌体身长约 43cm，雄体 33cm，头胸甲隆起较低，呈圆弧形，背面平滑无小刺，缘刺和东方鲎相似，不同的是雌体的第四、五、六缘刺并无明显退化。生活在海底。产卵期是 6 月下旬起到 8 月下旬，大涨潮前后几天的满潮时。小潮原则上不产卵。卵产在砂中。大多数鲎在最高满潮前一个小时到砂地开始产卵行动。先是雌鲎用足挖穴，在深约 10 至 15cm 的地方产卵，这时背上的雄鲎排精。第一次产卵后，它们前进 10 至 15cm，重复前面的动作，这样产卵几次至十几次。雌鲎前进时挖的沙，刚好埋上身后的洞穴。满潮一小时后，大多数鲎夫妇停止产卵游归大海。砂中的卵 6 至 8 周后孵化，孵出后留在原地过冬，第二年初夏，由砂中走出，经脱皮，变为第二龄。南

方鲎在医学上有药用功能，以尾状刺及其腹内鲎珠入药。

根据南海水产研究所调查资料，中国鲎分布于长江口以南的东海和南海海域，南方鲎分布于广东湛江东海岛以南的南海海域。中国鲎的活动区域较为分散，实地走访的当地渔民和调查问卷表明在沿海和海岛沙滩上很少观察到有中国鲎出现，由于沿海地区的逐渐工业化，及人们对海洋的开发利用，沙滩面积逐渐减少，沙质退化，且仅剩下不多的沙滩也受到严重污染，使鲎的生殖繁衍后代的场所受到严重污染，直接威胁着鲎的生存。相比上世纪，中国鲎在沙滩上发现以及产卵的频率明显下降，目前主要在等深线 3~10m 近海海域多有发现。

（4）龙虾

锦绣龙虾和中国龙虾均属于广东省第一批重点保护水生野生动物，具有较高的经济价值。在礁区周围有分布，主要产于惠来县靖海镇。

龙虾（学名：Palinuridae）是节肢动物门甲壳纲十足目龙虾科 4 个属 19 种龙虾的通称。又名大虾、龙头虾、虾魁、海虾等。它头胸部较粗大，外壳坚硬，色彩斑斓，腹部短小，体长一般在 20cm～40cm 之间，重 0.5kg 上下，是虾类中最大的一类。最重的能达到 5kg 以上，人称龙虾虎。体呈粗圆筒状，背腹稍平扁，头胸甲发达，坚厚多棘，前缘中央有一对强大的眼上棘，具封闭的鳃室。主要分布于热带海域，是名贵海产品。中国已发现 8 种，以中国龙虾产量较大。

中国龙虾，呈橄榄色，产于广东沿海一带，体形较大，产量也较大；锦绣龙虾，有美丽五彩花纹，最大可达 4kg～5kg，产于浙江舟山群岛一带，产量不大。龙虾主要生活于热带沿岸浅海的礁岩间，白昼潜伏于岩缝间或石下，夜间觅食活动，行动缓慢，多为杂食性。龙虾有很强的趋水流性，喜新水活水，逆水上溯，且喜集群生活。龙虾生长适宜水温为 24℃～30℃，当温度低于 20℃或高于 32℃时，生长率下降，水温 15℃以下时幼体成活率极低。龙虾适宜 PH 值范围为 5.8～9，但在繁殖孵化期要求 PH 值为 7.0 左右，溶氧量 3mg/L 以上。

4.3 社会环境概况

4.3.1 社会经济概况

（1）行政区划

汕尾市位于广东省东南部沿海，东临揭阳市，同惠来县交界；西连惠州市，与惠东县接壤；北接河源市，和紫金县相连；南濒南海。汕尾市历史悠久，源远

流长。中华人民共和国成立后，海丰、陆丰均属东江专员公署管辖，1953 年改属粤东行政公署，1957 年隶属惠阳专员公署，1958 年 12 月划归汕头地区专员公署，1983 年 9 月，又归属惠阳地区专署管辖，1988 年 1 月，经国务院批准，建立汕尾市。汕尾自然资源丰富，有山有水有平原，地腴水丰，自古有“南海物丰”之说。汕尾市总面积 5271km^2，辖区内有市城区、海丰县、陆丰市、陆河县、红海湾经济开发试验区、华侨管理区等 1 市 2 县 3 区，至 2017 年末全市常住人口 305.33 万人，其中不含深汕特别合作区的常住人口 297.76 万人；户籍人口 362.82 万人，其中不含深汕特别合作区的户籍人口 355.12 万人。

（2）经济发展现状

根据《汕尾市 2017 年国民经济和社会发展统计公报》，2017 年初步核算并经省统计局核定，2017 年全市实现地区生产总值（GDP）855.37 亿元（含深汕特别合作区的 GDP 为 902.69 亿元），比上年增长 8.1%。其中，第一产业增加值 128.89 亿元，增长 4.7%，对 GDP 增长的贡献率为 8.4%；第二产业增加值 379.74 亿元，增长 9.9%，对 GDP 增长的贡献率为 54.8%；第三产业增加值 346.74 亿元，增长 7.4%，对 GDP 增长的贡献率为 36.8%。三次产业结构为 15.1:44.4:40.5，第三产业比重比上年提高 0.1 个百分点。在现代产业中,高技术制造业增加值 55.41 亿元，增长 0.5%；先进制造业增加值 102.48 亿元，增长 1.8%。现代服务业增加值 151.10 亿元，增长 12.2%。生产性服务业增加值 119.67 亿元，增长 11.0%。民营经济增加值 583.70 亿元，增长 9.0%。2017 年，汕尾人均地区生产总值达到 28776 元，按平均汇率折算为 4262 美元；含深汕特别合作区的人均地区生产总值为 29645 元。

4.3.2 海域开发利用概况

本项目位于广东省汕尾市陆丰市湖东镇南侧海域，项目组对选址及周边周边进行了现场踏勘，结合遥感影像、海图以及业主提供的资料，了解了项目路由及风场区域附近海域的开发利用现状，项目论证范围内的开发活动主要有航道、锚地、渔业养殖、其他风场等

（1）航道、航路

项目所在海域海上交通较为繁忙，主要有粤东海域区域内、粤东海域连接珠三角、以及粤东海域连接华南地区的海上运输航线。风电场北侧海甲航道和大星角甲子航道，这两条航线也与风电场项目路由相交越；另外，项目西北侧近岸海

域存在碣石湾与海甲航道相连的航行通道，大星角甲子航道北侧存在煤电厂码头进出航道，项目东北侧神泉港海域存在神泉港与海甲航道相连的神泉港连港航道。

项目风电场南边约 6.5km 为大型船舶习惯航路，北边约 2km 为一中小型船舶推荐航路，路由从风电场至陆域穿越中小型船舶推荐航路、海甲航路、大星角甲子航路。因此在施工期间，需要注意海上的交通安全。

（2）锚地

距离项目路由较近的锚地有甲湖湾电厂码头设施配套 1#、2#锚地。其中近年来投入使用的 1#锚地（中心坐标 22º43′ N 116º00′ E），直径为 2 海里，甲湖湾 2#锚地（中心坐标 22º45′ N 116º01′ E），直径为 1 海里。其中 1#锚地距离本项目路由约 2.1km，2#锚地距离本项目路由约 6km。本项目方案不穿越锚地，排除船舶因故障需临时停泊抛锚外，船舶正常停泊抛锚对本项目预选风电场位置不产生影响。

（3）海上风电及测风塔工程

1）后湖海上风场测风塔

项目西区风场东侧附近有陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场一期工程后湖风场（500MW）测风塔工程，位于陆丰市湖东镇以南 15km 处，项目水深为-20m 左右。测风塔离水面总高度 102m，水面到平台高 12m，平台以上塔架高 90m（未含塔顶 5m 高避雷针）。在测风塔塔身特定高度配置两套独立测风仪器（仪器包括 8 层风速仪和 3 层风向标），用于收集工程海域风能资料。测风塔于 2018 年 3 月开工建设，2018 年 5 月安装完成，目前正在调试。距离本项目风机最近距离 9.26km，距离本项目路由最近 0.2km。

2）汕尾甲子海上风场测风塔

项目场址内有拟建汕尾甲子海上风场（900MW）的测风塔，用于收集本工程海域风能资料，以便为本项目风场优化设计提供依据。汕尾甲子海上风电场测风塔中心点位置北纬 22° 35’ 39.3”，东经 116° 7’ 49.8”，位于本项目风场场址东侧中部。测风塔基础采用钢管桩结构，测风塔上部塔架结构为桁架式结构，出海平面 120m（基础平台以上高度为 100m），在 25、50、70、80、90、100、110、120 米标高处安装风杯式测风仪，观测风电场的各高度层风速、风向、气压和气温等参数。该测风塔位于本项目风场场址内，附近有本项目的风机和

35kV 集电电缆， 与距离最近的风机用海外缘线约 208m，二者位置关系见图 4.3-1。

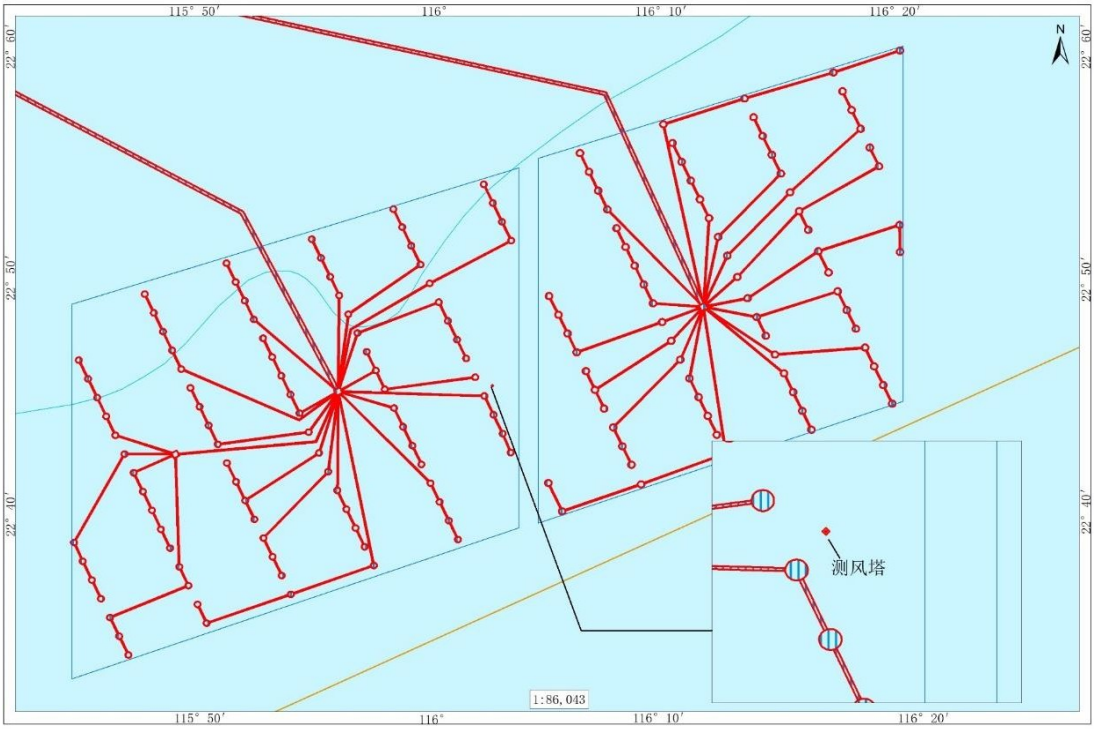


表 4.3-1　本项目与甲子测风塔位置关系图

3）拟建海上风电场

项目风电场区附近无已建成的海上风电场项目，有拟建后湖海上风电场区和神泉海上风电场区、汕尾甲子二 400MW 海上风场，以及待开发的粤东近海深水场址。

根据《广东省海上风电发展规划》（2017-2030），汕尾海域除本项目外，还规划建设后湖海上风电场区。后湖海上风电场区位于广东省汕尾市陆丰市湖东镇至揭阳市惠来神泉镇之间、汕尾陆丰湖东镇后湖南侧海域，后湖海上风电场总用海面积约 624.4846 公顷，水深约 30m~35m，规划装机容量为 500MW，分为西侧 200MW 和东侧 300MW，共安装单机容量为 5.5MW 的风力发电机组 91 台。同时建设风电场内 220kV 海上升压站两座：西片区 200MW 规模海上升压站，由 8 回风机机组电缆进线；东片区 300MW 规模海上升压站，由 11 回风机机组电缆进线。升压站出 2 回海底电缆至陆上登陆点，接入新建陆上集控中心，经陆上集控中心就近送至变电网系统。本项目场址位于后湖海上风场区南侧，距离约 9.3km；本项目路由向西北方向延伸，避开后湖海上风电场区，最近距离为 0.2km；项目路由经过后湖海上风电场东、西区场址中间的路由管廊，二者路由之间最近

的为登陆点所在位置，距离为30m。

项目东侧约8.8km为规划建设的国家电投揭阳神泉海上风电场区，该项目由国家电投集团广东电力有限公司投资，规划装机容量为400MW，海域部分共建设73台风机、配套220 kV海上升压站一座，16回35 kV集电海底电缆、2回220kV登陆电缆，项目申请总用海面积为 507.0440公顷，占用岸线长度24米。其与陆域岸线距离约27km，场址水深范围为33m~39m，本项目风电场区与神泉海上风电场距离约为8.8km，本项目路由与神泉风电场场区距离约为14km。

根据收集到的资料，本项目风场西北侧的后湖西区、后湖东区推荐路由方案已确定，本项目路由方案绕过后湖风场场址、距离后湖西区路由推荐方案最近距离 30m，无交越；风场东侧侧神泉一、神泉二 220kV 海缆推荐路由方案已确定，其中离本项目较近的国家电投揭阳神泉一 400MW 海上风电场，位于本项目场址东侧，中间有拟建甲子二 400MW 项目风场场址隔开，最近距离 8.8km，该项目海缆路由从场内出发，向东北方向延伸到达惠来县前詹镇港寮湾的登陆点，与本项目路由距离较远无交越。

另外，本项目风场东侧还有拟建中广核汕尾甲子二 400MW 海上风电场项目，其风场场址位于本项目风场场址东侧，中间预留 500m 宽的通道；220kV 海缆路由方案已确定，与本项目距离最近的为登陆点所在位置，最近距离大于100m，无交越；风电场南侧粤东近海深水场址尚待开发。

（4）渔业养殖活动和渔业基础设施

项目路由登陆点东西两侧均有渔业养殖用海项目，包括陆上养殖和浅海养殖两类。

陆上养殖主要为登陆点东北侧1.5km滴水村大面养殖塘（图4.3-1中Y3）和登陆点西南侧1.1km陆丰鹏晟种养有限公司（图4.3-1中Y2），养殖品种均为虾苗和成虾。

浅海养殖包括登陆点西南侧约 3.9km 处的陆丰市碣石鸿腾海产种苗养殖有限公司的鲍鱼场配套用海项目，养殖品种为鲍鱼种苗及成品，开放式养殖用海，用海面积49.8公顷（图4.3-1中Y1）；登陆点东侧约5.1km有陆丰市金穗种养场的养殖用海项目，围海养殖用海面积5.35公顷（图4.3-1中Y4）。

此外，登陆点东北侧有湖东三洲澳人工鱼礁区，距离项目 220kV 海缆最近距离为2.3km（图4.3-1中Y5）。该人工鱼礁区规划时限为2002年~2012年，自

规划以来并未在该海域投放人工渔礁块体，目前规划已过期。

项目登陆点西侧约 4.8km 为碣石渔港，该渔港位于碣石湾东岸，毗邻港澳，位于东经 115° 47′ 25″，北纬 22° 48′ 00″～22° 49′ 38″之间，南北长约 7km，水域面积约 5.6 平方公里。碣石渔港是广东省早期一级渔港，建造西拦沙堤 200 米，西护堤 149 米，建造东防波堤 320 米，东护岸 381 米，港池南护岸 486 米，渔业顺岸码头 200 米，航道基本达到－2.5m～－3.0m 水深处，满足渔船自由进出港。渔港后勤配套方面，有较大规模的水产品交易市场占地 7000 多平方米，鱼产品销售日高峰 2000 吨，制冰厂 3 座，日产冰 400 吨，船排厂（坞）4 个，水产品加工厂 50 多家，机械维修厂及渔业后勤配套设施齐全。

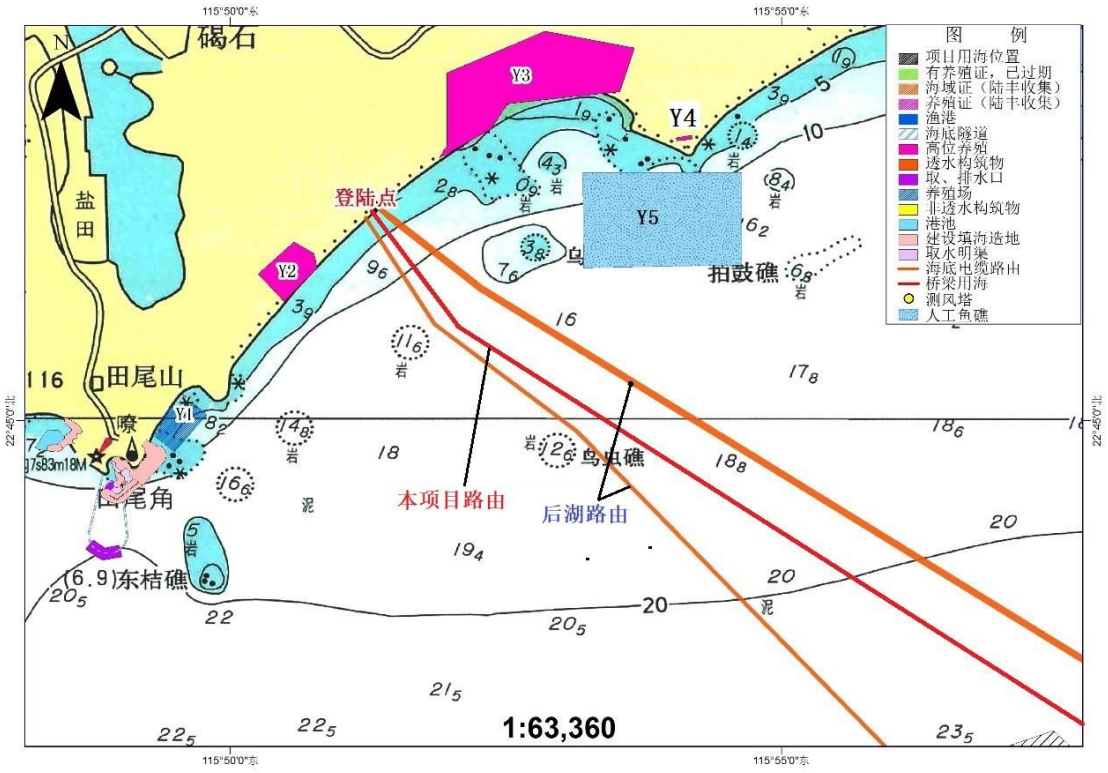


图 4.3-1　登陆点附近渔业养殖活动

（5）港口用海

项目登陆点东侧约 4km 处为汕尾市金峰超细材料有限公司的砂矿装卸码头及专用港港区，用海方式分别为填海和港池用海，包括湖东三洲澳砂矿装卸码头（建设填海造地用海，用海面积 0.49 公顷）和矿砂装卸码头专用港港区项目（港池、航道用海，用海面积 23.11 公顷）。

（6）自然保护区

汕尾市碣石湾海马资源市级自然保护区位于陆丰市碣石镇对开海域，范围包

括 A：东经 115°42′00″、北纬 22°33′00″；B：东经 116°00′50″、北纬 22°34′00″； C：东经 116°02′35″、北纬 22°24′40″；D：东经 115°42′00″、北纬 22°20′40″等四点连线内海域，面积约为 500 公顷，保护对象为三斑海马、日本海马和克氏海马等及其栖息环境。2006 年 8 月 15 日由汕尾市政府（汕府函〔2016〕74 号）文件批准成立。该保护区位于本项目风场场址西侧，最近距离约 3.0km。二者位置关系图见图 4.3-2。

综上，本项目周边海域使用现状见表 4.3-2 和图 4.3-2。

表 4.3-2 项目周边海域使用现状统计表

序号	名称	与本项目相对位置	说明
1	大型船舶习惯航路	风电场南边约 6.5km	
2	中小型船舶推荐航路	路由穿越，风电场区北边约 2km	
3	海甲航道	路由穿越	
4	大星角甲子航道	路由穿越	
5	甲湖湾电厂码头设施配套 1#、2#锚地	路由东侧约 2.1km	
6	陆丰宝丽华甲湖湾海上风电场一期工程后湖风场（500MW）测风塔工程	路由东侧约 2km	已建项目
7	鲍鱼场配套用海项目	登陆点西边约 3.9km	权证已过期
8	养殖用海项目	登陆点东边约 5.1km	权证已过期
9	湖东三洲澳砂矿装卸码头	登陆点东边约 4.0km	确权使用
10	矿砂装卸码头专用港港区项目	登陆点东边约 3.8km	确权使用
11	后湖海上风电场区	风电场北侧约 9.3km	拟建项目
12	神泉海上风电场区	风电场东侧约 8.8km	拟建项目
13	汕尾甲子海上风电项目海上测风塔工程	风场场址内，最近距风机用海外缘线 208m	拟建项目
14	汕尾甲子二海上风电场项目	风场东侧，最近距离 500m；路由最近处 100m	拟建项目
15	汕尾市碣石湾海马资源市级野生动物自然保护区	风电场西侧约 3.0km	
16	滴水村大面养殖塘	登陆点东北侧 1.5km	高位养殖
17	陆丰鹏晟种养有限公司	登陆点西南侧 1.1km	高位养殖
18	湖东三洲澳人工鱼礁区	路由东侧约 2.3km	未投放，规划过期
19	碣石渔港	登陆点西侧 4.8km	

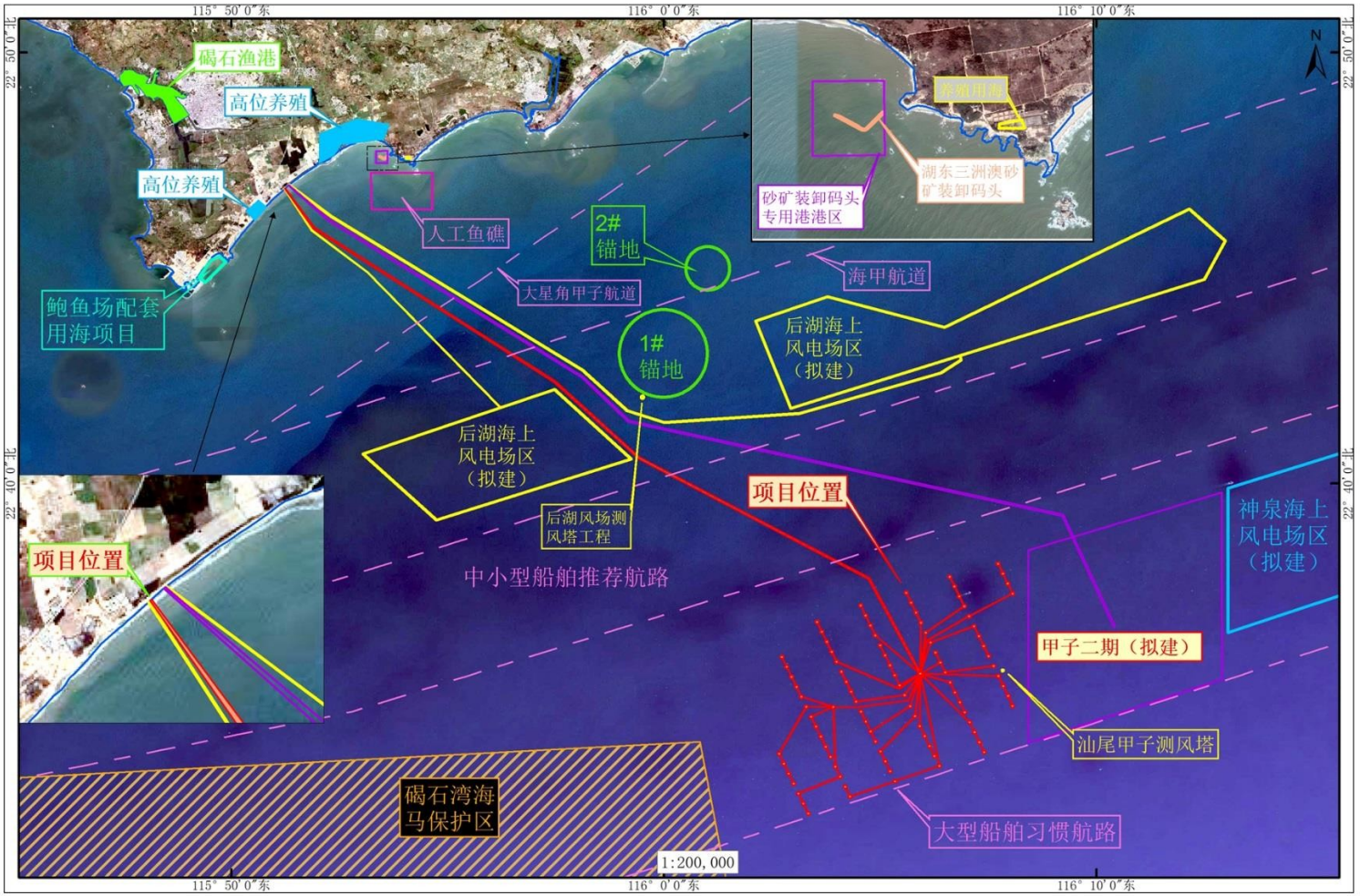


图 4.3-2　项目周边海域使用现状图

5 海洋环境质量现状调查与评价

5.1 水文动力环境现状调查与评价

本项目采用国家海洋局南海调查技术中心于2018年8-9月夏季、2019年1-2月冬季两季进行的小潮、中潮、大潮三个时段在中广核汕尾甲子一、二海上风电场项目所在海域开展监测调查获得的水文观测资料。

5.1.1 潮汐

5.1.1.1 潮位站及资料概况

根据项目要求，获取了甲子镇附近临时潮位观测站夏季T1站（116° 04.700′ E，22° 50.800′ N）和T2站（115° 48.061′ E，22° 49.291′ N）的潮汐资料，并对资料进行分析。潮位站的观测时间见表 5.1-1，覆盖夏季全潮观测期间，潮位站位置分布见图5.1-1。

表 5.1-1 潮位站位置信息统计

站位		经度(E)	纬度(N)	观测时间
2018年夏季	T1站（甲子）	116°04.700′	22°50.800′	8月3日0时~9月3日0时
	T2站（碣石）	115°48.061′	22°49.291′	8月3日0时~9月3日0时
2019年冬季	T1站（甲子）	116°04.700′	22°50.800′	1月1日0时~2月20日23时
	T2站（碣石）	115°47.753′	22°49.458′	1月1日0时~2月20日23时

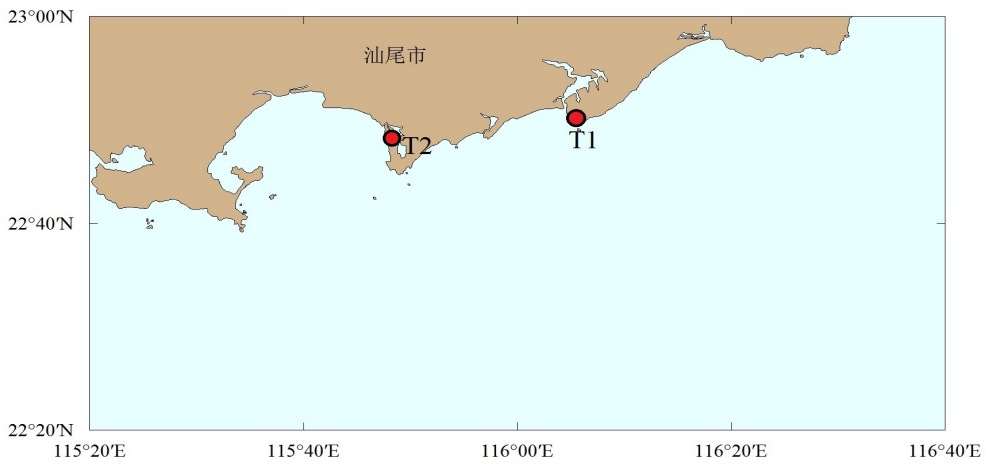


图 5.1-1 潮位观测站分布图

5.1.1.2 实测潮位统计分析

(1)潮汐过程线

将潮位站观测数据统一订正到 85 基面后，分别绘制出 2 个站的潮位过程曲线图（见图 5.1-2～5.1-3）。

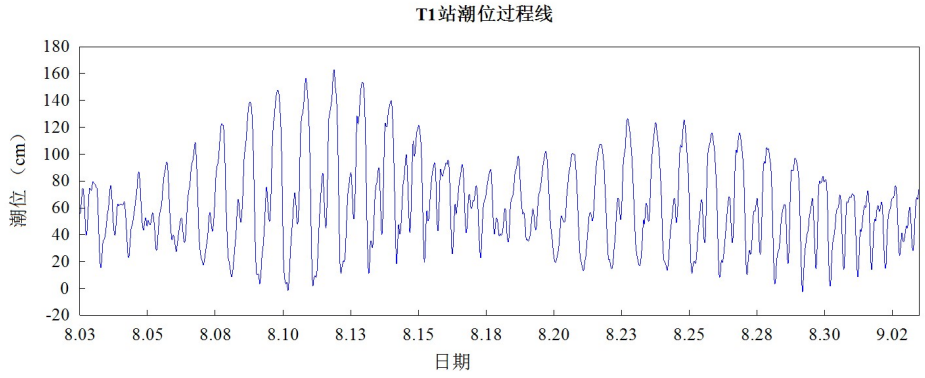


图 5.1-2a 夏季 T1 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

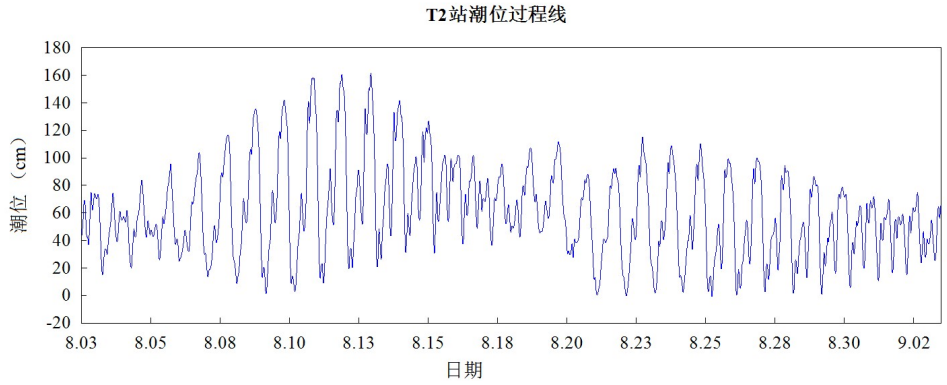


图 5.1-2b 夏季 T2 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

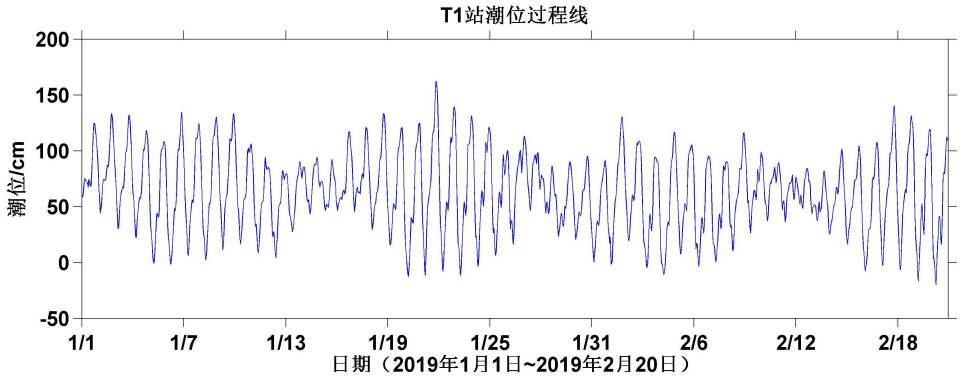


图 5.1-3a 冬季 T1 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

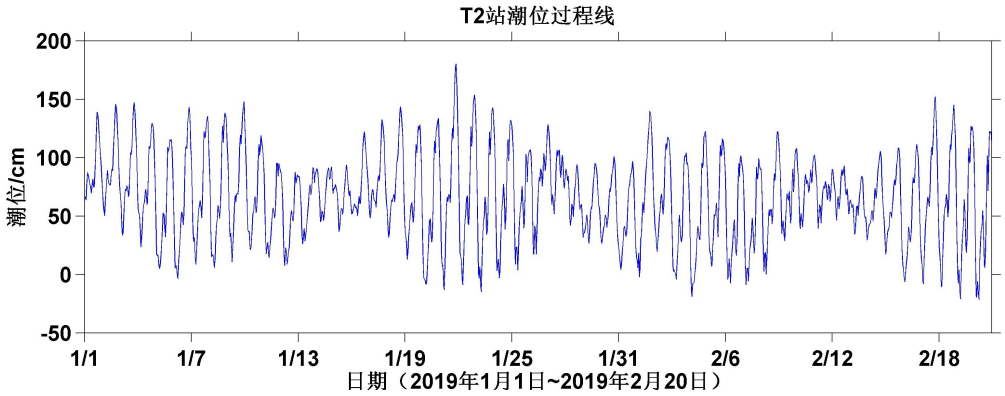


图 5.1-3b 冬季 T2 站潮位过程曲线（国家 85 基面）

(2)潮汐调和分析

夏季潮汐调和常数是进行潮汐预报和潮汐特性分析的基本参数，它的准确性是十分重要的。利用实测资料，采用最小二乘法原理计算得到 T1 和 T2 站各分潮的调和常数。表 5.1-2 为主要分潮的振幅（H）和迟角（g）。

表 5.1-2a 夏季潮汐调和常数

分潮 站名		O1	K1	M2	S2	M4	MS4
T1 站	H(cm)	24.0	29.1	9.5	4.2	6.7	3.3
	g(°)	249	311	270	258	207	274
T2 站	H(cm)	24.7	31.0	16.9	7.3	7.9	3.7
	g(°)	249	311	253	276	233	304

表 5.1-2b 冬季潮汐调和常数

分潮 站名		O1	K1	M2	S2	M4	MS4
T1 站	H(cm)	23.4	36.2	11.7	4.4	4.1	3.2
	g(°)	246	307	274	260	174	245
T2 站	H(cm)	24.3	36.6	17.3	8.0	5.0	3.7
	g(°)	245	306	254	274	199	272

(3)潮汐性质

根据主要日分潮振幅与主要半日分潮振幅的比值 F = (HK1+HO1)/HM2 来划分潮汐的类型。

当　　$F \leqslant 0.5$　　为正规半日潮

$0.5 < F \leqslant 2.0$　　为不正规半日潮

$2.0 < F \leqslant 4.0$　　为不正规全日潮

F > 4.0　　为正规全日潮

夏季根据调和常数计算得到，T1 和 T2 站的潮汐性质系数 F 分别为：5.60 和 3.29，T1 站属于正规全日潮类型，T2 站属于不正规全日潮类型。观测海区东边为正规全日潮海域，西边为不正规全日潮海域，各分潮中全日分潮占主导地位。主要全日分潮振幅比分别为 0.83 和 0.80，主要浅海分潮振幅和分别为 9.99cm 和 11.67cm，具体潮汐特性统计结果参见表 5.1-3a。

冬季根据调和常数计算得到，T1 和 T2 站的潮汐性质系数 F 分别为：5.07 和 3.53，T1 站属于正规全日潮类型，T2 站属于不正规全日潮类型。观测海区东边为正规全日潮海域，西边为不正规全日潮海域，各分潮中全日分潮占主导地位。主要全日分潮振幅比分别为 0.65 和 0.66，主要浅海分潮振幅和分别为 1.29cm 和 1.35cm，具体潮汐特性统计结果参见表 5.1-3b。

表 5.1-3a 夏季潮汐特性统计表

站　名 项　目	T1	T2
潮汐类型：（HO1+HK1）/HM2	5.60	3.29
主要全日分潮振幅比：HO1/HK1	0.83	0.80
主要浅海与主要半日分潮振幅比：HM4/HM2	0.70	0.47
主要日分潮与半日分潮振幅比：（HK1+HO1）/（HM2 +HS2）	3.87	2.30
主要浅海分潮振幅和：HM4+HMS4（单位：cm）	9.99	11.67

表 5.1-3b 冬季潮汐特性统计表

站　名 项　目	T1	T2
潮汐类型：（HO1+HK1）/HM2	5.07	3.53
主要全日分潮振幅比：HO1/HK1	0.65	0.66
主要浅海与主要半日分潮振幅比：HM4/HM2	0.35	0.29
主要日分潮与半日分潮振幅比：（HK1+HO1）/（HM2 +HS2）	3.68	2.41
主要浅海分潮振幅和：HM4+HMS4（单位：cm）	1.29	1.35

(4)潮汐特征

1）潮位

夏季，从图 5.1-4a 可以看出，T1 站平均海面为 58.7cm（85 国家基面），T2 站平均海面为 60.9cm，T2 站的平均海面大于 T1 站的平均海面。从最高潮位出现的时间来看，T1 站早于 T2 站，时间差约为 20min。由表 5.1-4a 可见，T1 和 T2 站最高潮位分别为 144cm 和 163cm；最低潮位分别为-5 和-4cm。

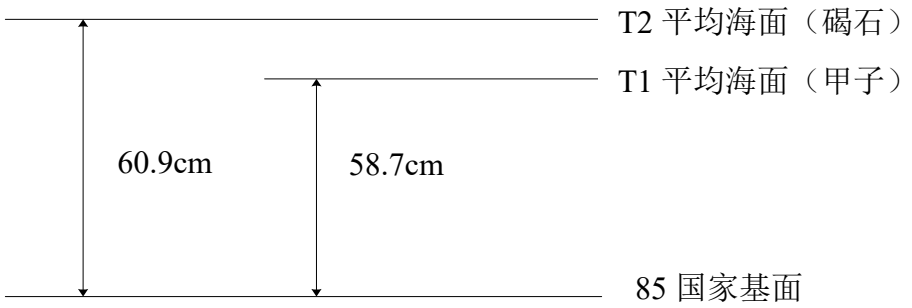


图 5.1-4a 夏季潮位观测站基面关系

冬季，从图 5.1-4b 可以看出，T1 站平均海面为 62.9cm（85 国家基面），T2 站平均海面为 65.0cm（85 国家基面），T2 站的平均海面大于 T1 站的平均海面。从最高潮位出现的时间来看，T1 站早于 T2 站，时间差约为 4min。由表 5.1-6b 可见，T1 和 T2 站最高潮位分别为 168cm 和 184cm；最低潮位分别为-21 和-26cm。

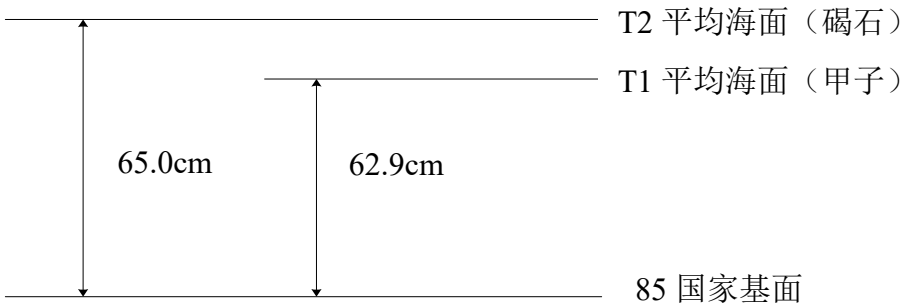


图 5.1-4b 冬季潮位观测站基面关系

2）潮差

夏季，潮差是描述一个海域潮汐动力的主要因子，其大小直接反映潮汐强弱程度，是反映潮汐变化特征的一项重要标志。为了说明调查海域潮差及其分布特征，采用 T1 和 T2 潮位站潮位观测资料进行潮差统计。T1 和 T2 站的最大潮差分别为 145cm 和 163cm，均小于 200cm，平均潮差分别为 56cm 和 70cm。

冬季，潮差是描述一个海域潮汐动力的主要因子，其大小直接反映潮汐强弱程度，是反映潮汐变化特征的一项重要标志。为了说明调查海域潮差及其分布特征，采用 T1 和 T2 潮位站潮位观测资料进行潮差统计。T1 和 T2 站的最大潮差分别为 182cm 和 200cm，平均潮差分别为 78cm 和 74cm。

3）涨、落潮历时

工程海域的夏季资料统计结果表明 T1 站平均涨潮历时和落潮历时分别为 7h55min 和 4h56min，T2 站分别为 8h40min 和 5h21min。涨潮历时大于落潮历时。从平均涨、落潮历时看，T1 站涨潮历时大于落潮历时 3h，T2 站涨潮历时大于落潮历时 3h20min。

工程海域的冬季资料统计结果表明 T1 站平均涨潮历时和落潮历时分别为 9h57min 和 7h34min，T2 站分别为 7h53min 和 6h32min。涨潮历时大于落潮历时。从平均涨、落潮历时看，T1 站涨潮历时大于落潮历时 2h23min，T2 站涨潮历时大于落潮历时 1h21min。

表 5.1-4a 夏季潮汐特征值

站名	潮位（cm）				潮差（cm）			涨落潮历时(h)	
	最高潮位	最低潮位	平均高潮位	平均低潮位	最大潮差	最小潮差	平均潮差	平均涨潮历时	平均落潮历时
T1 站	144	-5	85	29	145	10	56	7h55min	4h56min
T2 站	163	-4	94	23	163	20	70	8h40min	5h21min

表 5.1-4b 冬季潮汐特征值

站名	潮位（cm）				潮差（cm）			涨落潮历时(h)	
	最高潮位	最低潮位	平均高潮位	平均低潮位	最大潮差	最小潮差	平均潮差	平均涨潮历时	平均落潮历时
T1 站	168	-21	100	22	182	11	78	9h57min	7h34min
T2 站	184	-26	99	25	200	13	74	7h53min	6h32min

5.1.2 水文

5.1.2.1 调查日期

冬季

2019 年 1 月 12 日 14 时～2019 年 1 月 13 日 15 时（小潮）

2019 年 1 月 19 日 05 时～2019 年 1 月 20 日 06 时（中潮）

2019 年 2 月 19 日 02 时～2019 年 2 月 20 日 03 时（大潮）

夏季

2018 年 8 月 4 日 11 时～2018 年 8 月 5 日 12 时（小潮）

2018 年 8 月 8 日 11 时～2018 年 8 月 9 日 12 时（中潮）

2018 年 8 月 25 日 13 时～2018 年 8 月 26 日 14 时（大潮）

5.1.2.2 站位

全潮水文观测站位布设见图 5.1-5；表层沉积物采样站位布设图 5.1-6；全潮站位坐标见表 5.1-5a/b；沉积物取样站位坐标见表 5.5-6。

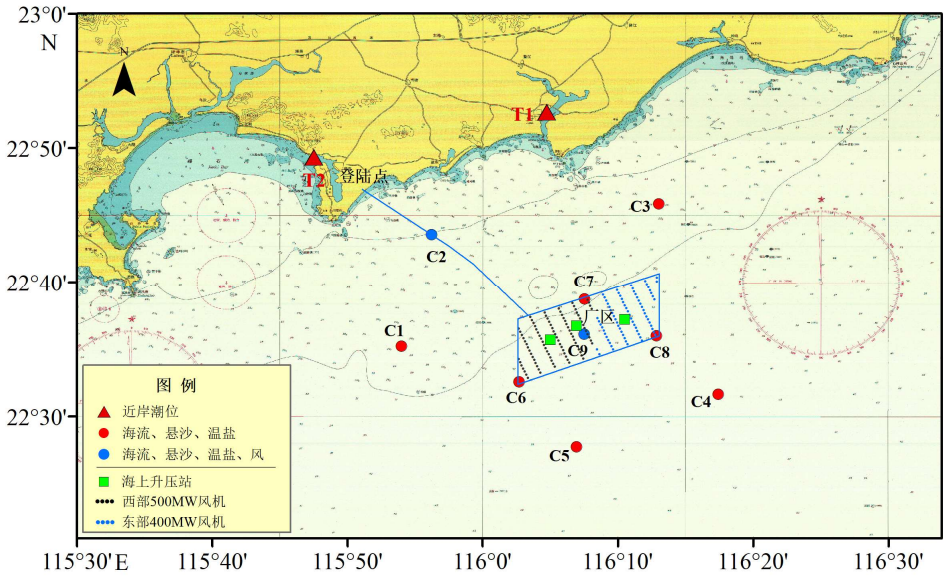


图 5.1-5 全潮水文观测站位布设图

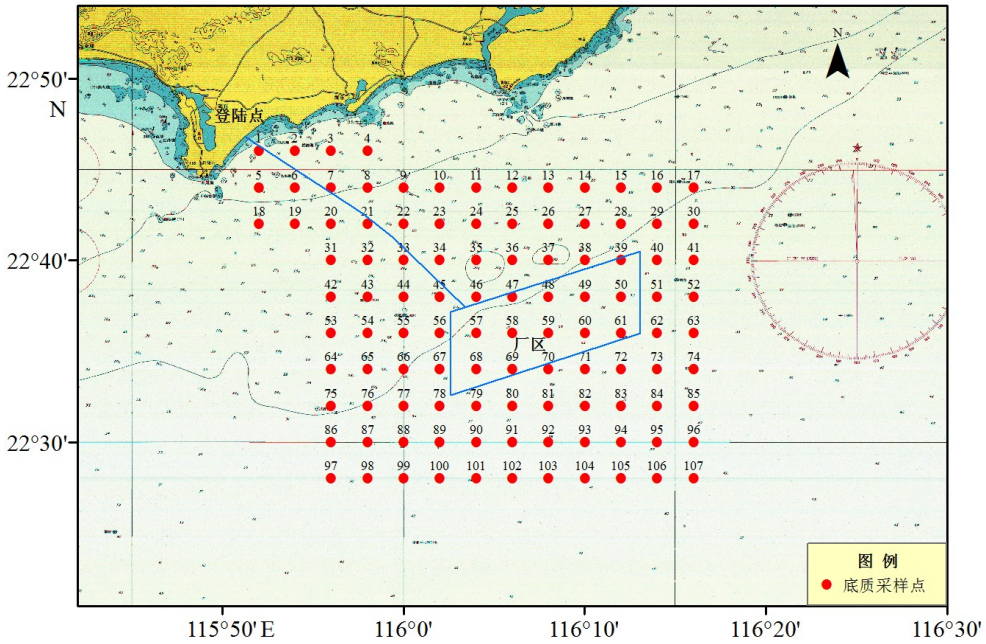


图 5.1-6 表层沉积物采样站位布设图

表 5.5-5a 冬季全潮站位坐标（WGS-84 坐标）与观测要素

潮期	序号	站号	实测坐标		观测要素			
			经度（E）	纬度（N）	海流	悬沙	温盐	风
小潮	1	C1	115°54.025′	22°35.195′	√	√	√	
	2	C2	115°56.269′	22°43.517′	√	√	√	√
	3	C3	116°13.051′	22°45.880′	√	√	√	
	4	C4	116°17.432′	22°31.663′	√	√	√	
	5	C5	116°6.902′	22°27.705′	√	√	√	
	6	C6	116°2.666′	22°32.613′	√	√	√	
	7	C7	116°7.475′	22°38.722′	√	√	√	
	8	C8	116°12.865′	22°35.918′	√	√	√	
	9	C9	116°7.466′	22°36.166′	√	√	√	√
中潮	1	C1	115°53.975′	22°35.161′	√	√	√	
	2	C2	115°56.166′	22°43.520′	√	√	√	√
	3	C3	116°13.027′	22°45.641′	√	√	√	
	4	C4	116°17.451′	22°31.660′	√	√	√	
	5	C5	116°6.902′	22°27.705′	√	√	√	
	6	C6	116°2.666′	22°32.613′	√	√	√	
	7	C7	116°7.475′	22°38.722′	√	√	√	
	8	C8	116°12.835′	22°35.906′	√	√	√	
	9	C9	116°7.548′	22°36.126′	√	√	√	√
大潮	1	C1	115°54.036′	22°35.229′	√	√	√	
大潮	2	C2	115°56.141′	22°43.565′	√	√	√	√
	3	C3	116°13.054′	22°45.789′	√	√	√	
	4	C4	116°17.500′	22°31.618′	√	√	√	
	5	C5	116°6.931′	22°27.798′	√	√	√	
	6	C6	116°2.692′	22°32.607′	√	√	√	
	7	C7	116°7.492′	22°38.761′	√	√	√	

潮期	序号	站号	实测坐标		观测要素			
			经度（E）	纬度（N）	海流	悬沙	温盐	风
	8	C8	116°12.808′	22°36.026′	√	√	√	
	9	C9	116°7.503′	22°36.083′	√	√	√	√

表 5.5-5b 夏季全潮站位坐标（WGS-84 坐标）与观测要素

潮期	**序号**	**站号**	**实测坐标**		**观测要素**			
			经度（E）	**纬度（N）**	**海流**	**悬沙**	**温盐**	**风**
小潮	1	C1	115°54.125′	22°35.193′	√	√	√	
	2	C2	115°56.191′	22°43.548′	√	√	√	√
	3	C3	116°13.078′	22°45.850′	√	√	√	
	4	C4	116°16.682′	22°31.289′	√	√	√	
	5	C5	116°6.989′	22°27.811′	√	√	√	
	6	C6	116°2.698′	22°32.586′	√	√	√	
	7	C7	116°7.493′	22°38.717′	√	√	√	
	8	C8	116°12.838′	22°35.984′	√	√	√	
	9	C9	116°7.518′	22°36.062′	√	√	√	√
中潮	1	C1	115°53.967′	22°35.161′	√	√	√	
	2	C2	115°56.238′	22°43.557′	√	√	√	√
	3	C3	116°13.013′	22°45.887′	√	√	√	
	4	C4	116°16.852′	22°31.218′	√	√	√	
	5	C5	116°6.955′	22°27.893′	√	√	√	
	6	C6	116°2.698′	22°32.557′	√	√	√	
	7	C7	116°7.635′	22°38.691′	√	√	√	
	8	C8	116°12.920′	22°35.726′	√	√	√	
	9	C9	116°7.499′	22°36.107′	√	√	√	√
大潮	1	C1	115°54.024′	22°35.267′	√	√	√	
大潮	2	C2	115°56.211′	22°43.539′	√	√	√	√
	3	C3	116°13.055′	22°45.853′	√	√	√	
	4	C4	116°17.232′	22°31.479′	√	√	√	
	5	C5	116°7.038′	22°27.828′	√	√	√	
	6	C6	116°2.563′	22°32.702′	√	√	√	
	7	C7	116°7.639′	22°38.730′	√	√	√	
	8	C8	116°12.901′	22°35.981′	√	√	√	
	9	C9	116°7.513′	22°36.104′	√	√	√	√

表 5.5-6 沉积物取样站位坐标（WGS-84 坐标）

站号	实测坐标		站号	实测坐标	
	经度	经度		经度	纬度

站号	实测坐标		站号	实测坐标	
	经度	经度		经度	纬度
1	115°52.004′	22°45.966′	55	116°00.001′	22°36.003′
2	115°54.062′	22°46.039′	56	116°02.003′	22°36.000′
3	115°56.000′	22°45.995′	57	116°03.997′	22°36.008′
4	115°58.035′	22°46.017′	58	116°06.003′	22°36.003′
5	115°52.010′	22°44.002′	59	116°08.029′	22°36.116′
6	115°54.010′	22°44.009′	60	116°10.007′	22°35.986′
7	115°56.008′	22°44.050′	61	116°12.006′	22°36.018′
8	115°58.050′	22°44.010′	62	116°14.000′	22°36.000′
9	116°0.004′	22°44.030′	63	116°16.000′	22°36.002′
10	116°02.022′	22°43.981′	64	115°56.008′	22°34.073′
11	116°03.993′	22°44.017′	65	115°58.011′	22°34.017′
12	116°06.002′	22°44.003′	66	116°00.004′	22°34.000′
13	116°08.029′	22°44.090′	67	116°02.007′	22°34.001′
14	116°10.000′	22°44.000′	68	116°04.004′	22°34.011′
15	116°12.004′	22°44.000′	69	116°06.001′	22°34.001′
16	116°14.001′	22°44.002′	70	116°07.959′	22°34.098′
17	116°16.000′	22°44.001′	71	116°10.016′	22°34.005′
18	115°52.000′	22°42.000′	72	116°11.989′	22°33.998′
19	115°54.007′	22°42.001′	73	116°14.000′	22°34.000′
20	115°56.020′	22°42.050′	74	116°16.002′	22°34.000′
21	115°58.010′	22°42.013′	75	115°56.017′	22°32.021′
22	116°00.060′	22°42.010′	76	115°58.021′	22°32.006′
23	116°02.010′	22°42.000′	77	116°00.004′	22°32.070′
24	116°03.998′	22°42.054′	78	116°02.002′	22°32.001′
25	116°06.008′	22°42.001′	79	116°04.002′	22°32.001′
26	116°08.026′	22°42.090′	80	116°06.000′	22°32.005′
27	116°10.008′	22°42.002′	81	116°08.002′	22°32.120′
28	116°11.978′	22°41.982′	82	116°10.110′	22°31.912′
29	116°14.000′	22°42.000′	83	116°11.915′	22°32.218′
30	116°16.001′	22°42.000′	84	116°14.000′	22°32.000′
31	115°55.980′	22°40.000′	85	116°16.002′	22°32.000′
32	115°58.010′	22°40.020′	86	115°56.009′	22°30.021′
33	116°00.008′	22°40.001′	87	115°58.010′	22°30.017′
34	116°02.003′	22°40.007′	88	116°00.001′	22°30.002′
35	116°03.988′	22°40.036′	89	116°02.006′	22°30.007′
36	116°06.000′	22°40.004′	90	116°04.113′	22°30.080′
37	116°08.066′	22°40.089′	91	116°06.120′	22°30.035′
38	116°10.003′	22°39.998′	92	116°08.103′	22°30.175′

站号	实测坐标		站号	实测坐标	
	经度	经度		经度	纬度
39	116°11.969′	22°40.007′	93	116°09.972′	22°29.923′
40	116°14.000′	22°40.000′	94	116°12.001′	22°30.000′
41	116°16.000′	22°40.001′	95	116°14.000′	22°30.000′
42	115°56.003′	22°38.004′	96	116°16.001′	22°30.000′
43	115°58.010′	22°38.002′	97	115°56.002′	22°28.010′
44	116°00.003′	22°38.000′	98	115°58.011′	22°28.001′
45	116°02.000′	22°38.001′	99	116°00.004′	22°28.004′
46	116°03.994′	22°37.998′	100	116°02.001′	22°28.004′
47	116°06.007′	22°38.000′	101	116°04.095′	22°28.134′
48	116°08.052′	22°38.141′	102	116°05.898′	22°28.100′
49	116°10.009′	22°38.002′	103	116°07.892′	22°28.070′
50	116°11.995′	22°37.968′	104	116°09.902′	22°28.179′
51	116°14.000′	22°38.000′	105	116°12.001′	22°28.000′
52	116°16.001′	22°38.000′	106	116°14.001′	22°28.000′
53	115°56.048′	22°36.100′	107	116°16.000′	22°28.000′
54	115°58.020′	22°36.013′			

5.1.2.3 观测方法

按照《海洋调查规范 第 2 部分：海洋水文观测》（GB/T 12763.2-2007）中相关要求执行。

5.1.2.4 实测海流

项目海域位于广东省东部、碣石湾口外海域，此海域海流不仅受到潮流、风海流、沿岸流和海水密度等因素作用，还受到地形的影响。本章拟从实测海流、潮流和余流等三个方面分析其基本特征及其分布和变化规律。

全潮期间实测海流矢量图中各时刻的垂线平均流速按如下公式进行矢量计算：V 垂线=0.1*V 表+0.2*（V0.2H+V0.4H+V0.6H+V0.8H）+0.1*V 底，本节潮位为 T1 站同步的潮位资料。表层为离海面 0.5m，底层为离海底 0.5m，H 为瞬时水深。

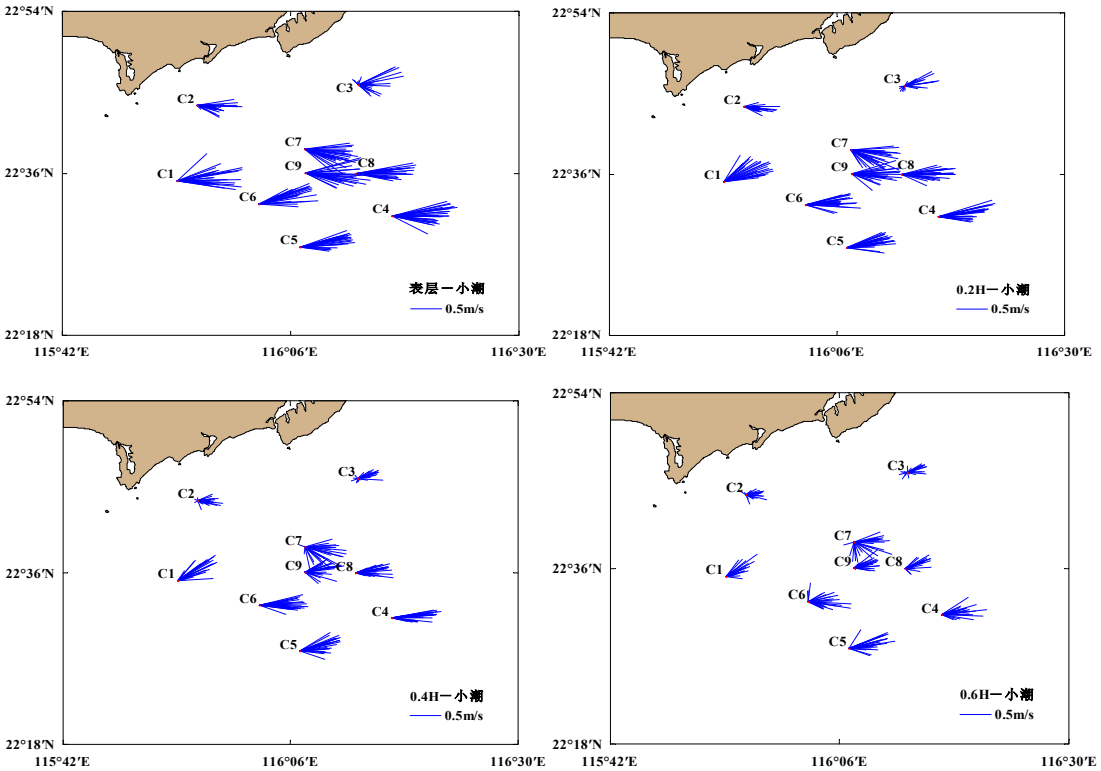
(1)小潮期海流

图 5.1-7 为小潮期各站各层（表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H 和底层，H 为瞬时水深）海流平面分布玫瑰图，图 5.1-8 为小潮期各站各层海流过程矢量图，图 5.1-7 为小潮期各站各层流速流向过程线。表 5.1-7 为小潮期各站各层平均流

速和最大流速统计表。

夏季从海流的流态来看，小潮期各站海流呈现出略带旋转流特征，受岸线的影响，主要流向为 NE 向。从表层到底层，各站各层海流形态较为相似，流向基本与岸线平行，主要为 NE 沿岸流（见图 5.1-7a）。小潮观测期间，实测海流半日潮的特征不显著，海流以沿岸流为主，大部分站以 NE 和偏 E 方向的流为主，工程区域 C7 站以 SE 和偏 E 方向的流为主，各站各层流向较为一致（见图 5.1-8 和图 5.1-9）。

从流速来看，小潮期的最大海流流速为 107.4cm/s，出现在 C1 站表层，其次为 105.5cm/s，出现在 C9 站表层，流向分别为 77° 和 97° ，以上均出现在落潮时段（见图 5.1-8a、图 5.1-9a 和表 5.1-7a），各站的涨潮期流速相对较小。各站最大平均流速为 82.0cm/s，为 C4 站表层，最小平均流速为 6.8cm/s，为 C5 站底层。在空间分布上，各站点流速、流向较为相近，C2 站和 C3 站流速略小于其它站点；在垂向分布上，流速由表层到底层基本呈现递减的规律；在数值上，各站的垂线平均流速、平均流向与 0.6H 平均流速、平均流向较为相近。



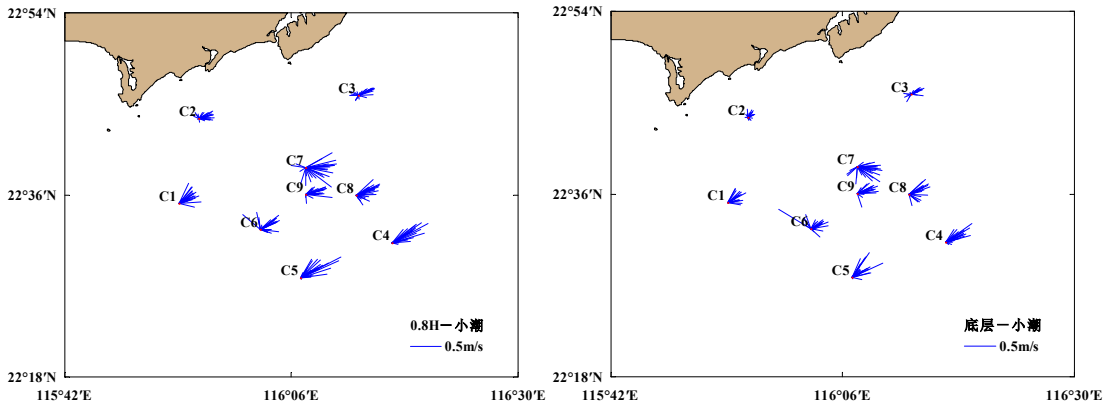
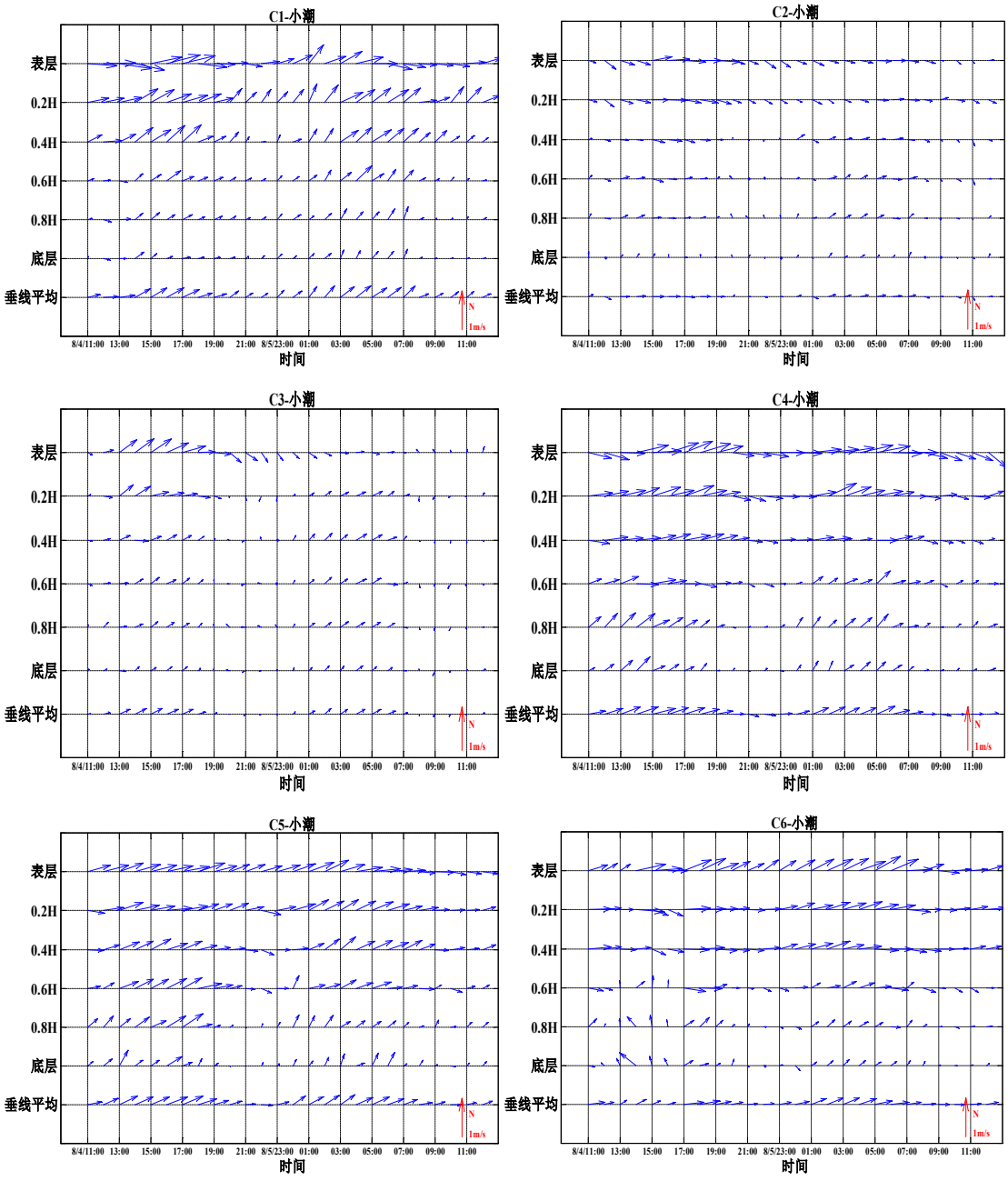


图 5.1-7a 夏季小潮期各站各层海流平面分布



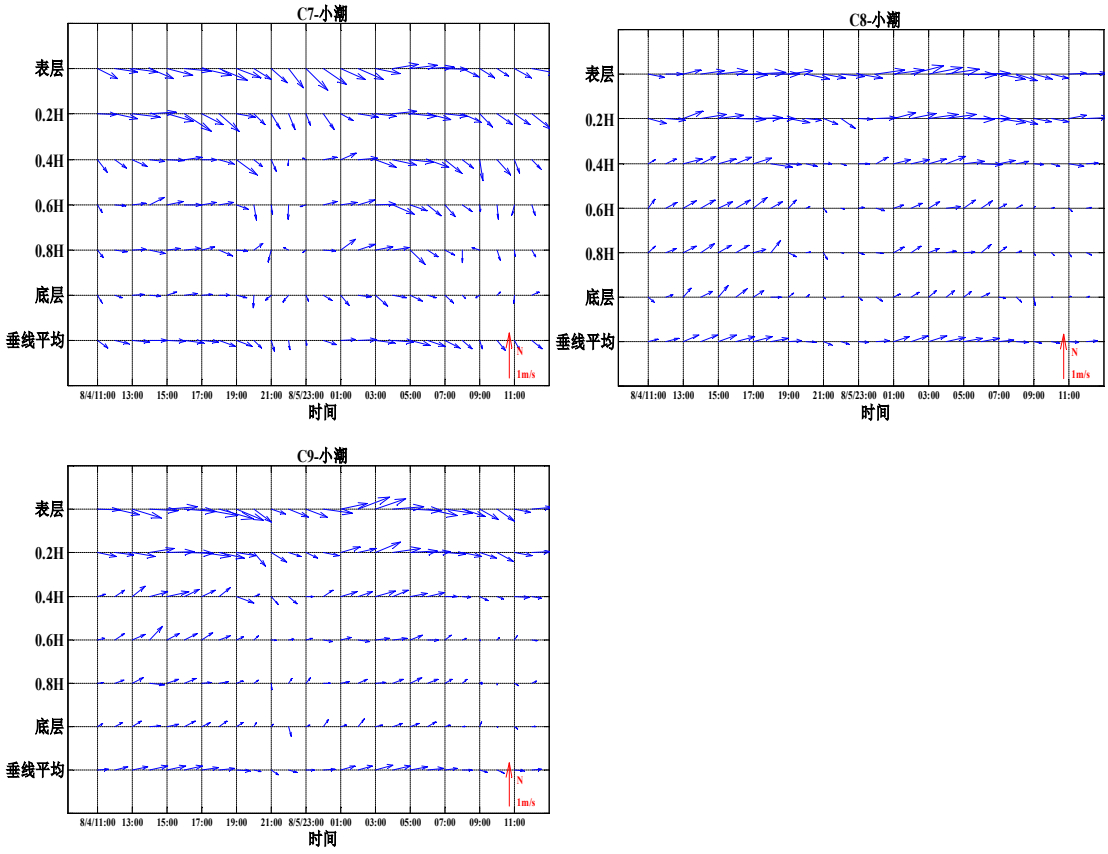
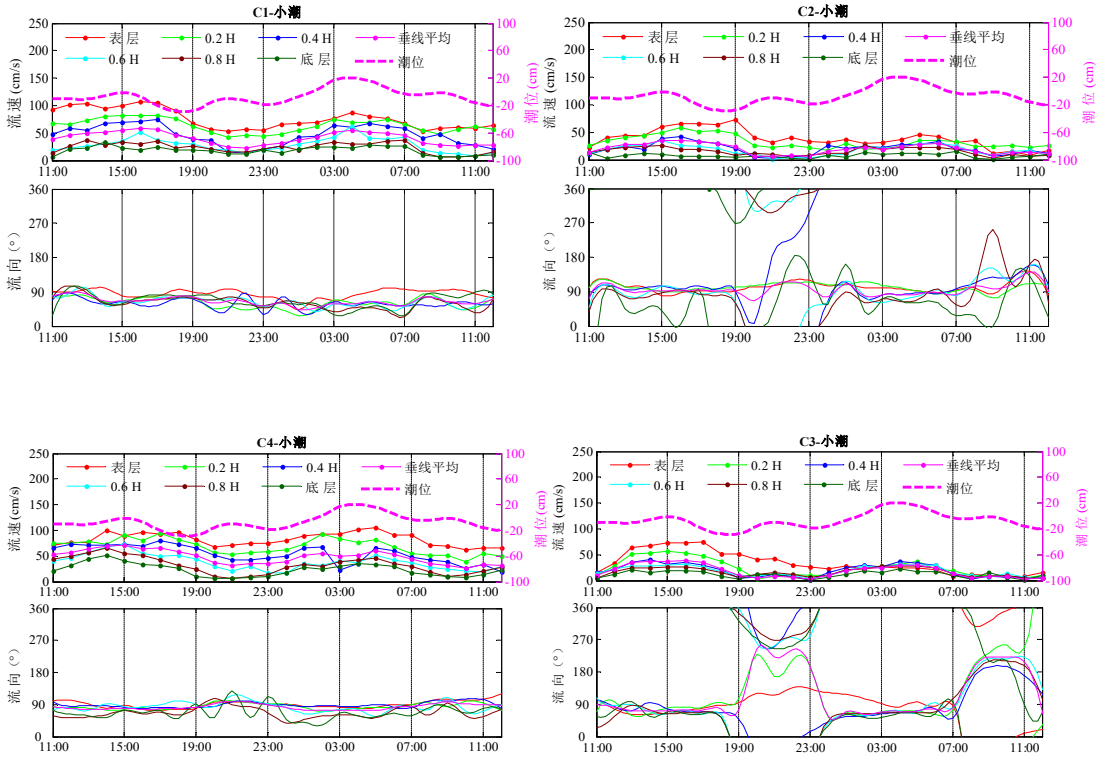


图 5.1-8a 夏季小潮期各站各层海流过程矢量图



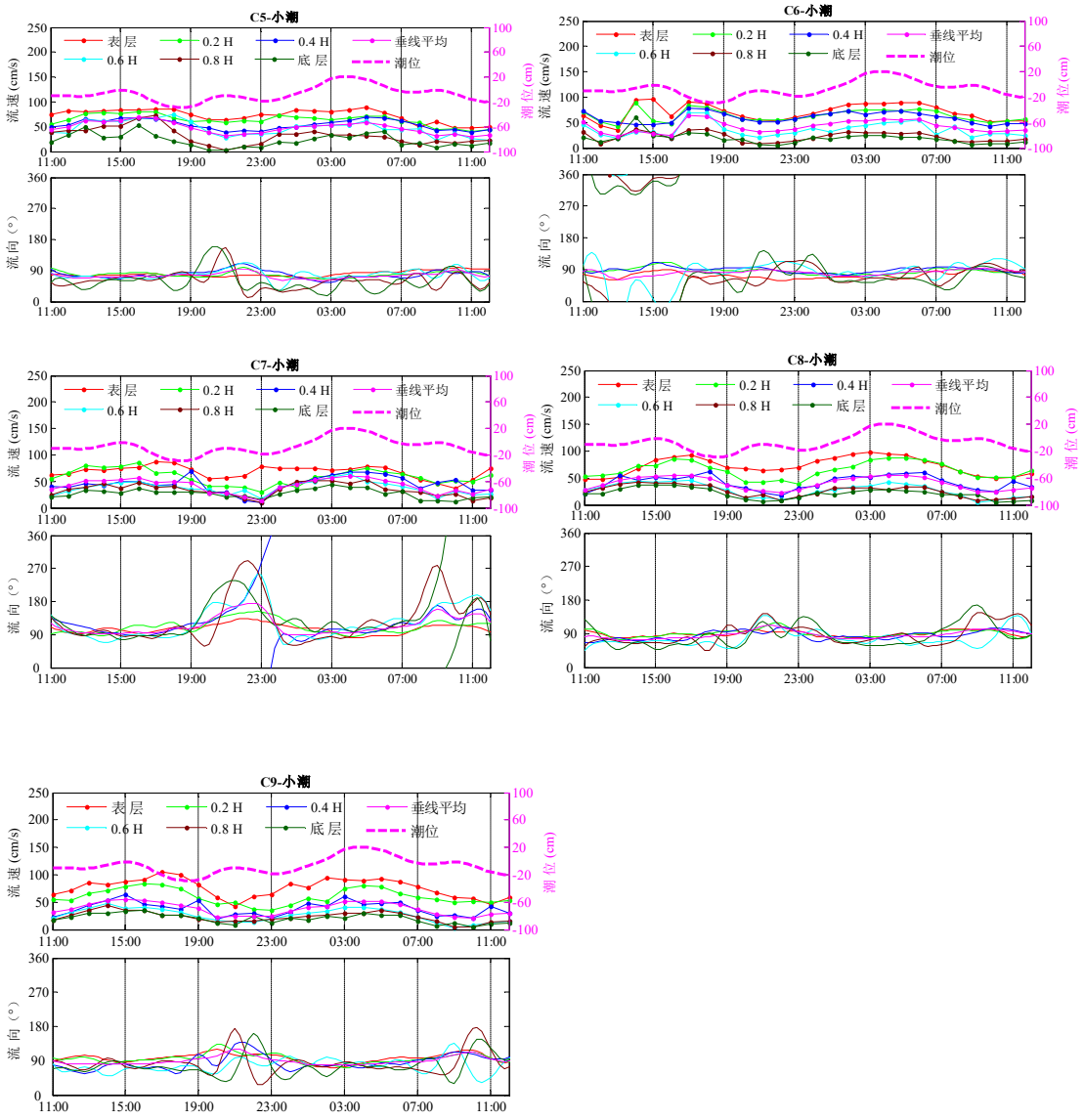


图 5.1-9a 夏季小潮期各站各层流速流向过程线（潮位为平均海面）

冬季从海流的流态来看，小潮期各站海流呈现出略带旋转的往复流特征，中层较为显著，受地形岸线的影响而沿着平行于岸线的方向运动，主要流向为WSW-ENE。从表层到底层，表层主要表现为 WSW 沿岸流，中底层海流形态较为相似，流向基本与岸线平行。表层海流明显受到冬季广东沿岸流的影响，在东北季风作用下，主要表现为 WSW 沿岸流，且流速较大，其它层主要为 WSW-ENE 往复流。除表层外，各站层实测海流主要呈现不正规半日潮流特征，工程区域 C6 站至 C9 站的各层流向较为一致（见图 5.1-7b 至图 5.1-8b）。

小潮期的最大海流流速为 63.3cm/s，出现在 C4 站 0.2H，其次为 62.3cm/s，出现在 C5 站 0.2H，流向分别为 250°和 240°，以上均出现在落潮时段（见图 5.1-8b、图 5.1-9b 和表 5.1-7b），各站的涨潮期流速相对较小。各站最大平均流速

为 26.6cm/s，为 C4 站表层，最小平均流速为 12.8cm/s，为 C6 站底层。在空间分布上，各站点流速、流向较为相近，C6 站流速略小于其它站点；在垂向分布上，流速由表层到底层基本呈现递减的规律；在数值上，各站的垂线平均流速、平均流向与 0.6H 平均流速、平均流向较为相近。

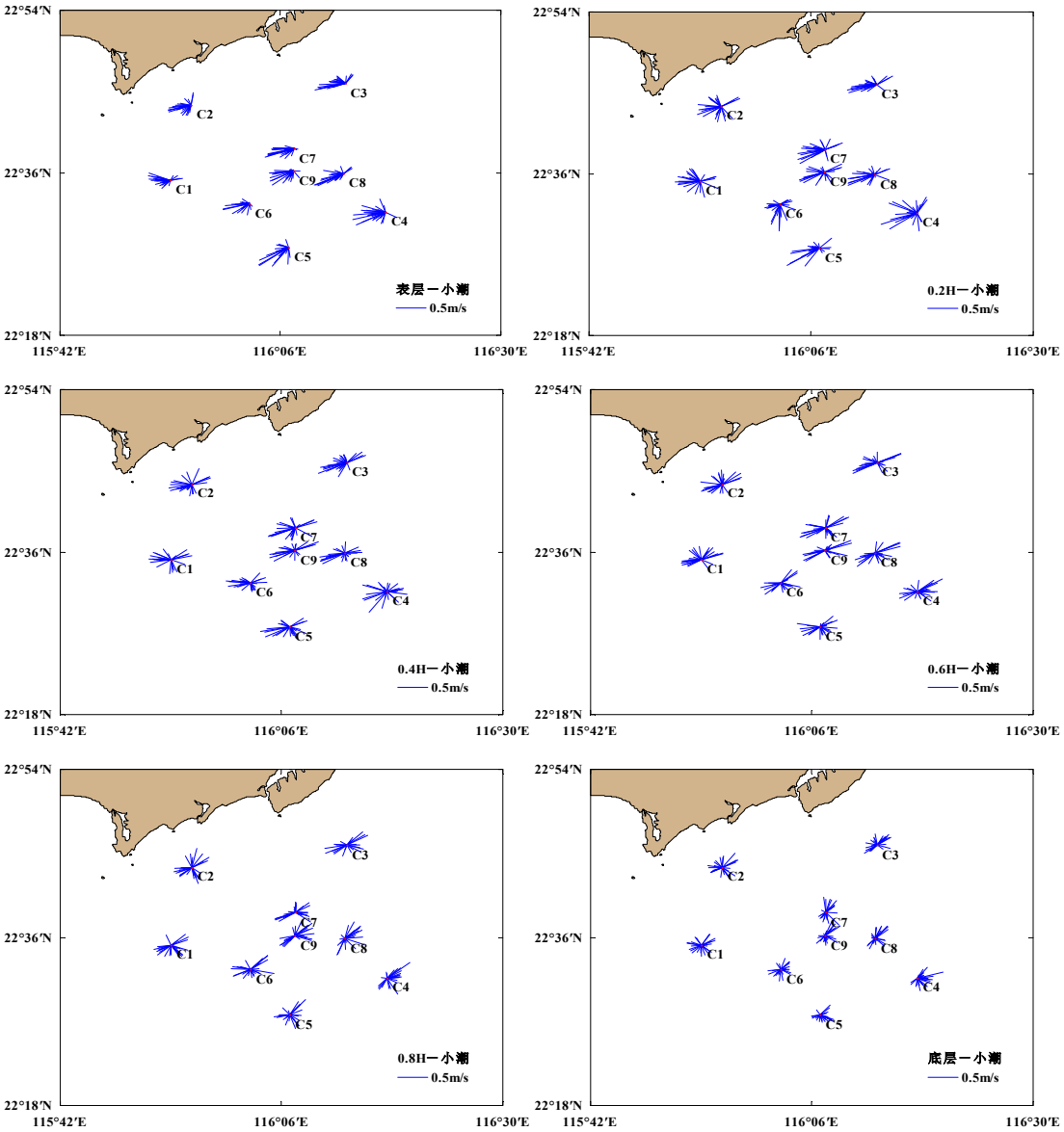
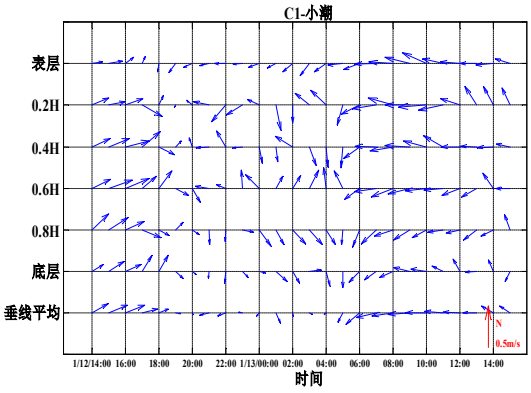
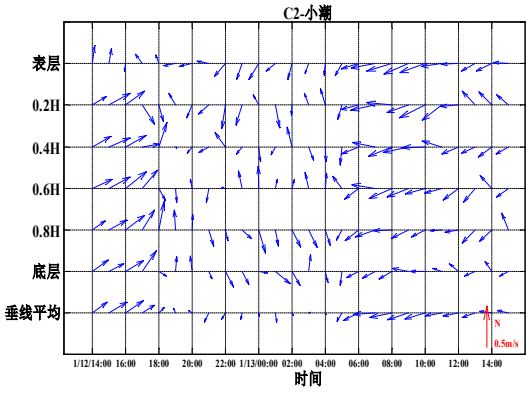
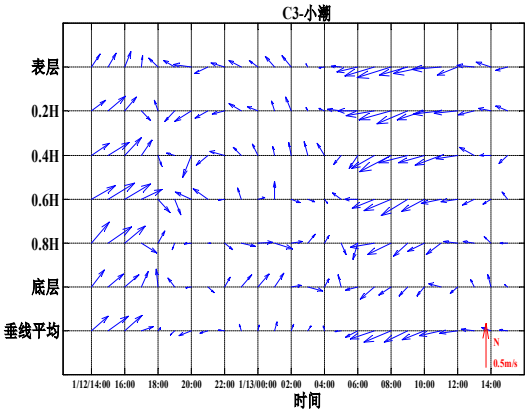
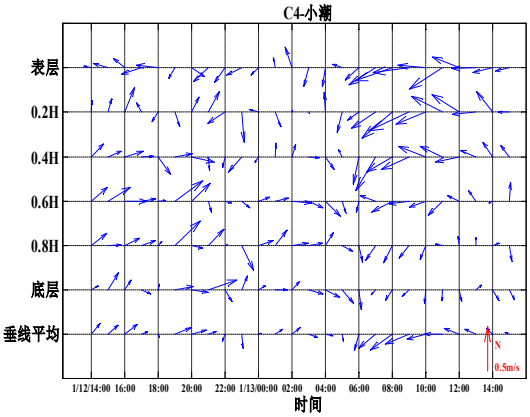


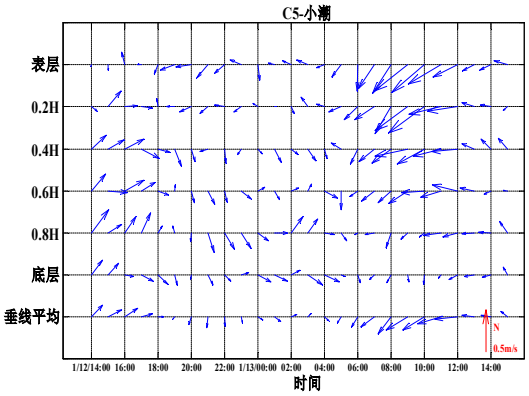
图 5.1-7b 冬季小潮期各站各层海流平面分布玫瑰图

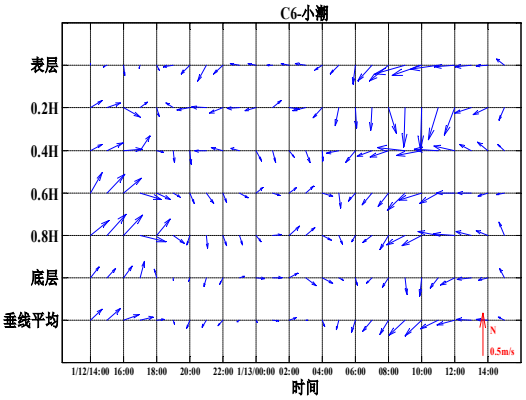

C1-小潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/12/14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 1/13/00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00
时间

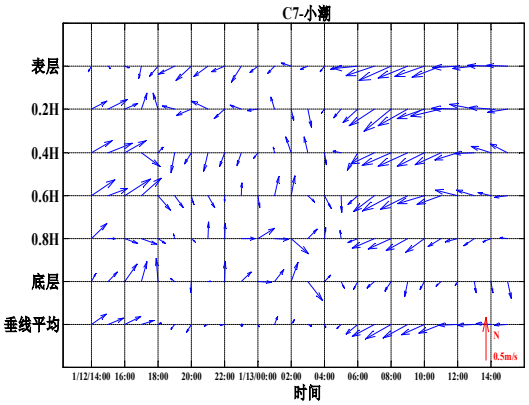

C2-小潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/12/14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 1/13/00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00
时间

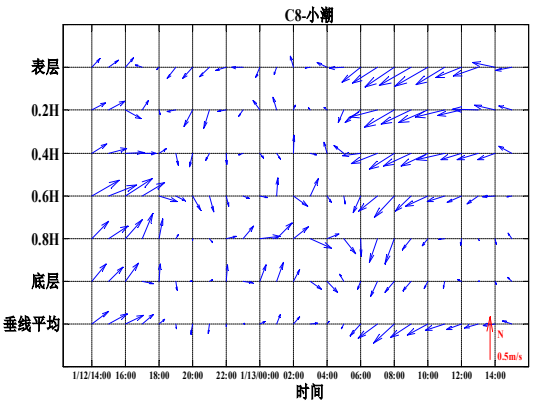

C3-小潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/12/14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 1/13/00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00
时间


C4-小潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/12/14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 1/13/00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00
时间


C5-小潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/12/14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 1/13/00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00
时间


C6-小潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/12/14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 1/13/00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00
时间


C7-小潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/12/14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 1/13/00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00
时间


C8-小潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/12/14:00 16:00 18:00 20:00 22:00 1/13/00:00 02:00 04:00 06:00 08:00 10:00 12:00 14:00
时间

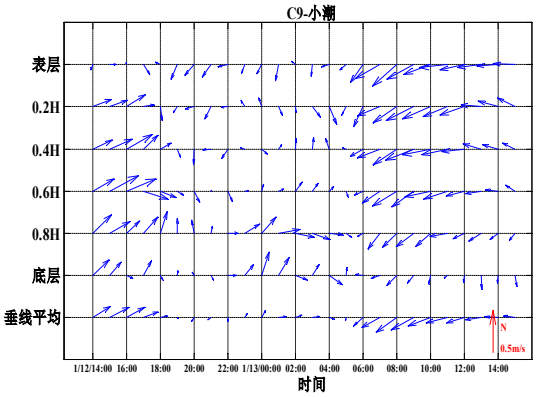
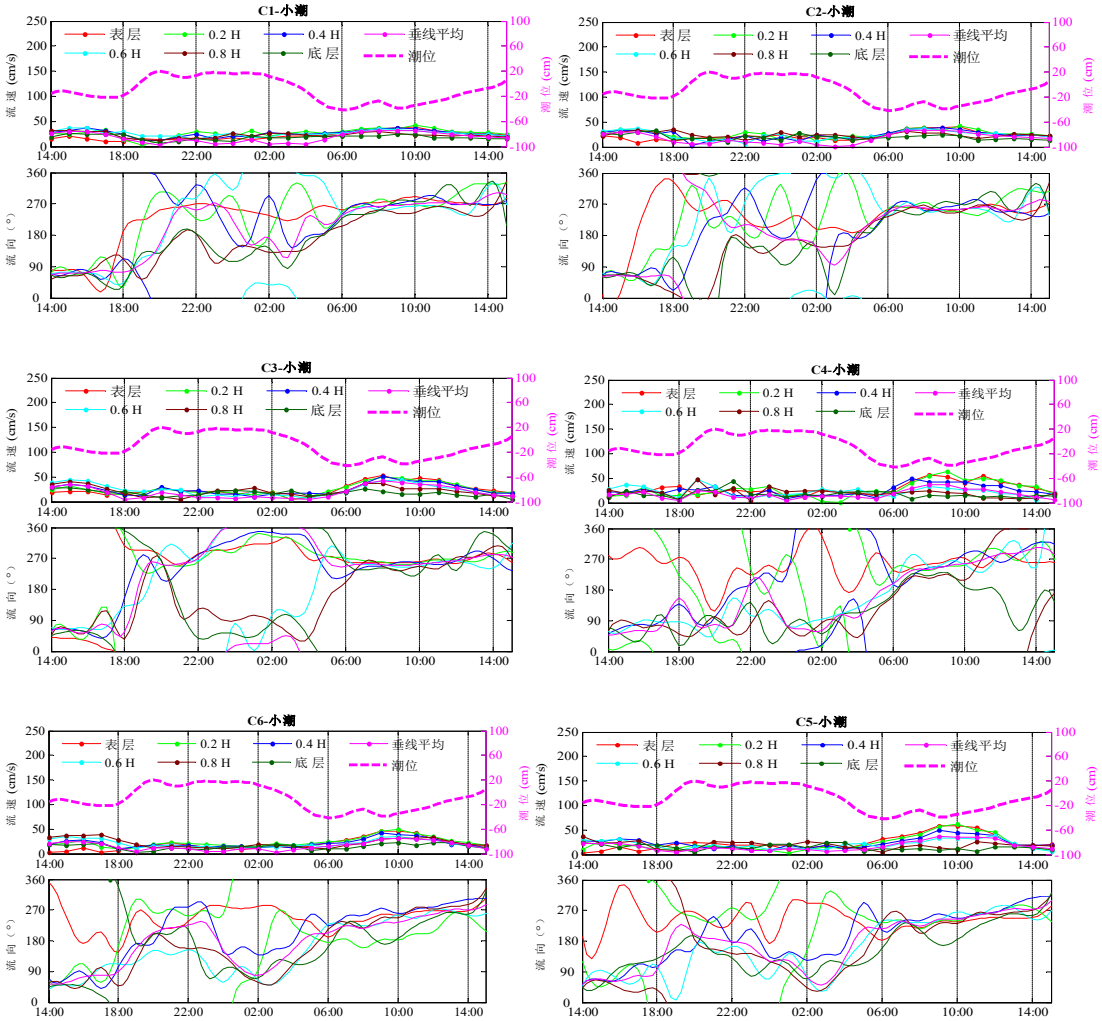


图 5.1-8b 冬季小潮期各站各层海流过程矢量图



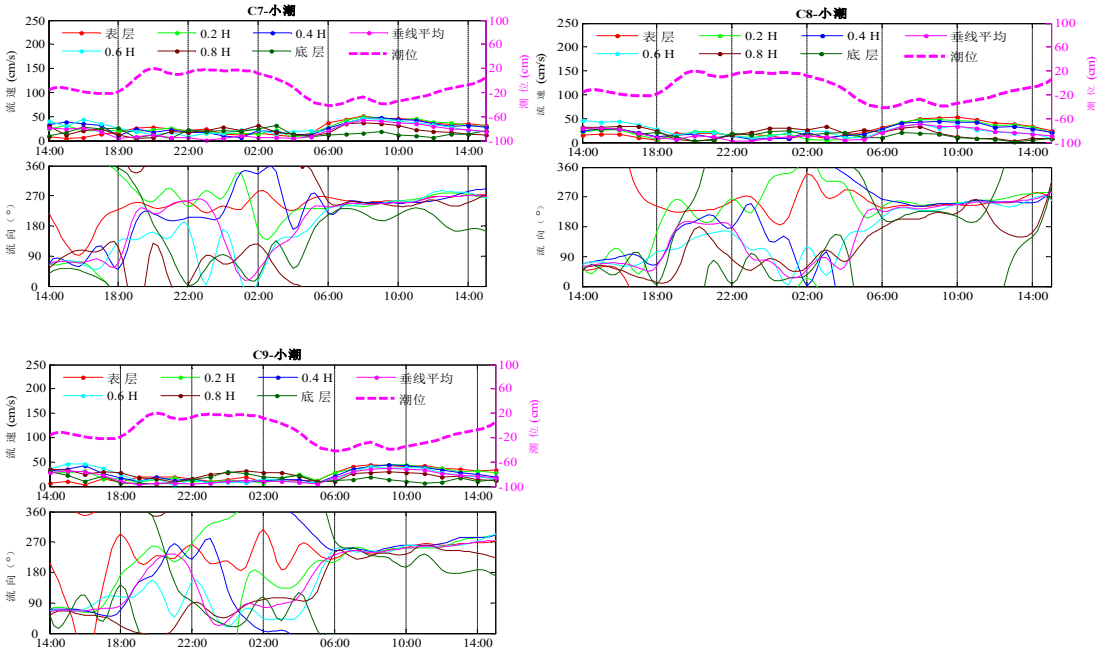


图 5.1-9b 冬季小潮期各站各层流速流向过程线（潮位为平均海面）

表 5.1-7a 夏季小潮期各站各层平均流速和最大流速统计表（流速单位：cm/s，流向单位：°）

测站	测层 要素	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
C1	V_{mean}	74.8	61.5	45.5	27.5	22.4	17.1	39.9
	V_{max}	107.4	81.7	74.2	62.5	36.1	32.6	58.6
	D_{Vmax}	77	66	54	53	88	61	67
C2	V_{mean}	37.9	31.9	19.2	16.9	14.3	6.8	19.5
	V_{max}	72.0	58.1	41.5	34.3	25.6	14.4	35.6
	D_{Vmax}	92	91	97	105	87	28	91
C3	V_{mean}	32.2	23.0	18.3	17.3	15.6	11.3	17.6
	V_{max}	74.7	56.7	40.5	32.3	28.6	22.3	38.3
	D_{Vmax}	79	80	94	72	67	65	73
C4	V_{mean}	82.0	68.3	53.6	37.8	31.4	22.6	47.9
	V_{max}	105.2	94.5	79.9	72.9	66.0	51.0	71.0
	D_{Vmax}	81	75	83	83	62	54	80
C5	V_{mean}	72.6	63.3	53.5	46.3	30.7	21.4	47.4
	V_{max}	89.3	80.4	69.6	74.5	73.3	53.6	70.0
	D_{Vmax}	85	85	70	81	62	65	74
C6	V_{mean}	69.6	63.5	59.4	33.5	20.5	17.6	41.6
	V_{max}	95.5	89.2	79.1	69.8	37.5	60.6	63.9
	D_{Vmax}	86	93	92	93	52	302	85
C7	V_{mean}	66.8	56.0	42.1	33.4	31.4	25.0	39.1
	V_{max}	86.8	85.5	69.0	64.1	53.0	43.6	59.7

测站	测层 要素	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
	D_{Vmax}	99	116	121	109	127	125	94
C8	V_{mean}	71.9	64.1	41.4	26.8	25.0	20.4	40.0
	V_{max}	97.8	86.6	62.1	45.1	43.0	36.4	55.5
	D_{Vmax}	81	83	98	59	64	48	79
C9	V_{mean}	75.2	59.3	37.5	25.7	22.0	19.0	37.5
	V_{max}	105.5	82.8	63.7	48.3	43.6	34.7	54.6
	D_{Vmax}	97	91	80	50	97	69	81

表 5.1-7b 冬季小潮期各站各层平均流速和最大流速统计表（流速单位：cm/s，流向单位：°）

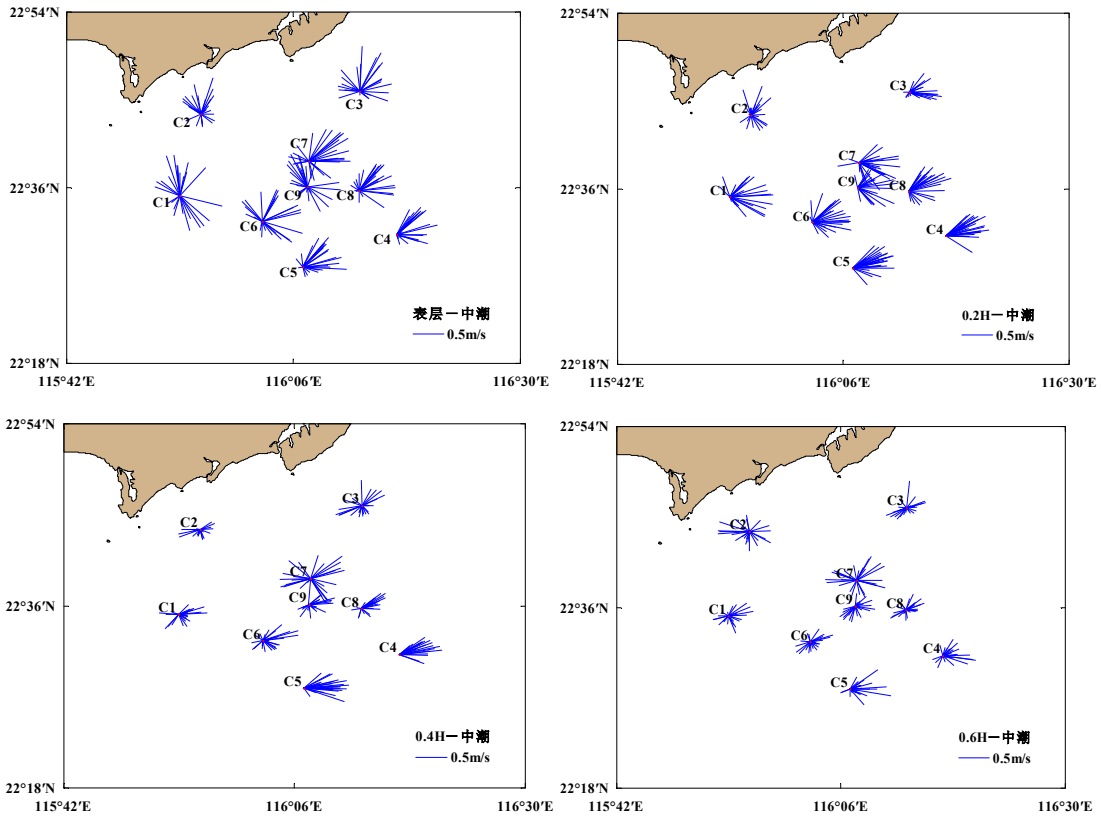
测站	测层 要素	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
C1	V_{mean}	20.7	24.5	23.1	24.1	21.3	16.5	17.5
	V_{max}	38.3	42.0	37.1	37.3	32.3	25.7	32.1
	D_{Vmax}	290	267	272	72	64	62	263
C2	V_{mean}	20.2	23.6	21.8	21.4	21.8	18.0	16.5
	V_{max}	39.9	41.6	38.5	37.5	35.3	32.5	33.5
	D_{Vmax}	254	248	260	58	14	41	259
C3	V_{mean}	23.5	23.9	23.4	23.1	20.3	16.5	18.6
	V_{max}	52.3	48.8	50.6	44.1	39.7	27.6	43.0
	D_{Vmax}	257	259	248	244	63	59	252
C4	V_{mean}	26.6	24.7	23.2	21.4	18.3	15.8	16.4
	V_{max}	57.2	63.3	48.8	47.3	47.0	43.9	37.3
	D_{Vmax}	255	250	218	62	54	76	251
C5	V_{mean}	22.1	21.3	22.2	18.7	17.5	13.6	16.0
	V_{max}	59.1	62.3	49.8	38.3	37.5	25.1	36.0
	D_{Vmax}	238	240	260	280	43	119	244
C6	V_{mean}	17.7	20.1	18.9	19.6	20.4	12.8	14.8
	V_{max}	46.0	49.5	41.6	35.3	39.2	22.5	31.5
	D_{Vmax}	257	182	275	255	101	248	233
C7	V_{mean}	24.3	25.4	24.7	24.0	18.6	15.0	17.8
	V_{max}	50.5	48.6	47.2	46.2	36.3	31.8	41.6
	D_{Vmax}	251	238	250	248	249	136	246
C8	V_{mean}	24.0	22.5	21.5	22.8	18.5	14.1	17.3
	V_{max}	53.5	48.3	43.9	45.1	33.8	29.1	37.9
	D_{Vmax}	246	246	250	66	110	46	234
C9	V_{mean}	20.4	22.2	21.6	21.3	21.2	13.7	17.6
	V_{max}	44.5	44.3	43.9	46.7	35.8	30.1	36.5
	D_{Vmax}	235	251	252	67	52	54	244

（2）中潮期海流

图 5.1-10 为中潮期各站各层（表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H 和底层，H 为瞬时水深）海流平面分布玫瑰图，图 5.1-11 为中潮期各站各层海流过程矢量图，图 5.1-12 为中潮期各站各层流速流向过程线。表 5.1-8 为中潮期各站各层平均流速和最大流速统计表。

夏季，从海流的流态来看，中潮期各站海流呈现出略带旋转流特征，相对小潮期明显些，尤其是表层，流向整体还是以 NE 为主导。从表层到底层，中底层各层海流形态较为相似，中底层流向范围沿主导的 SW-NE 两侧有所扩展（见图 5.1-10a）。中潮观测期间，各站实测海流主要呈现不正规半日潮流特征，各站各层流向较为一致（见图 5.1-11a 和图 5.1 -12a）。

与小潮期相比，中潮期各站流速有所减小，中潮期的最大海流流速为 76.4cm/s，出现在 C3 站表层，其次为 74.2cm/s，出现在 C7 站表层，流向分别为 2° 和 58°，以上均出现在涨潮时段（见图 5.1-11a、图 5.1-12a 和表 5.1-8a）。各站最大平均流速为 50.3cm/s，为 C4 站 0.2H，最小平均流速为 8.7cm/s，为 C2 站底层。在空间分布上，各站点流速、流向较为相近，C2 站流速略小于其它站点；在垂向分布上，表层流速要大于底层流速，基本呈递减规律；在数值上，各站的垂线平均流速、平均流向与 0.6H 平均流速、平均流向较为相近。



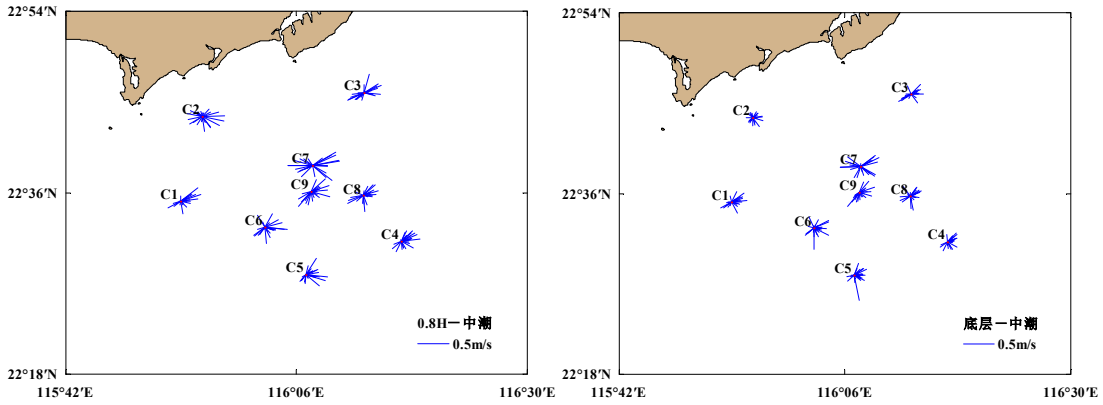
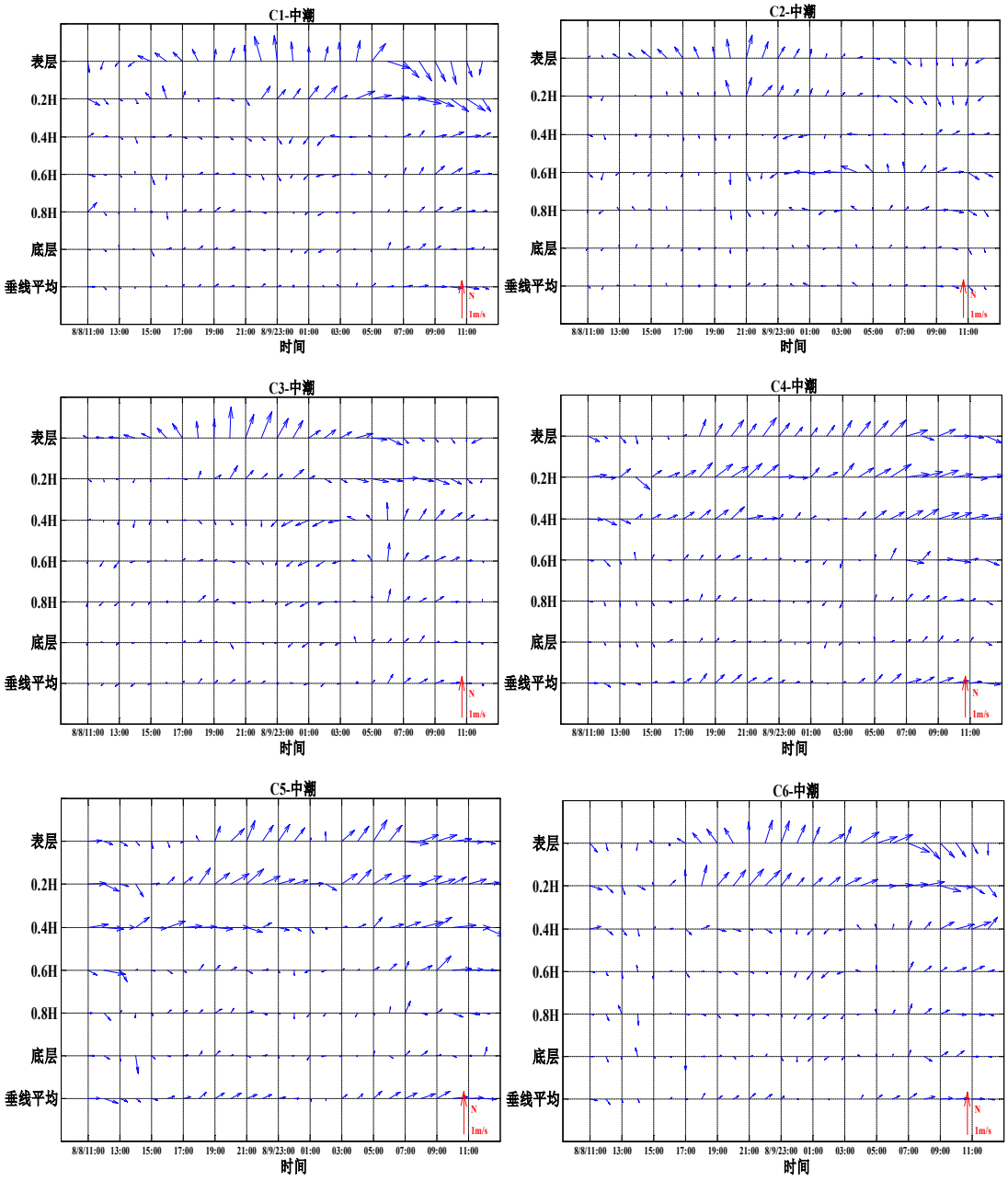


图 5.1-10a 夏季中潮期各站各层海流平面分布玫瑰图



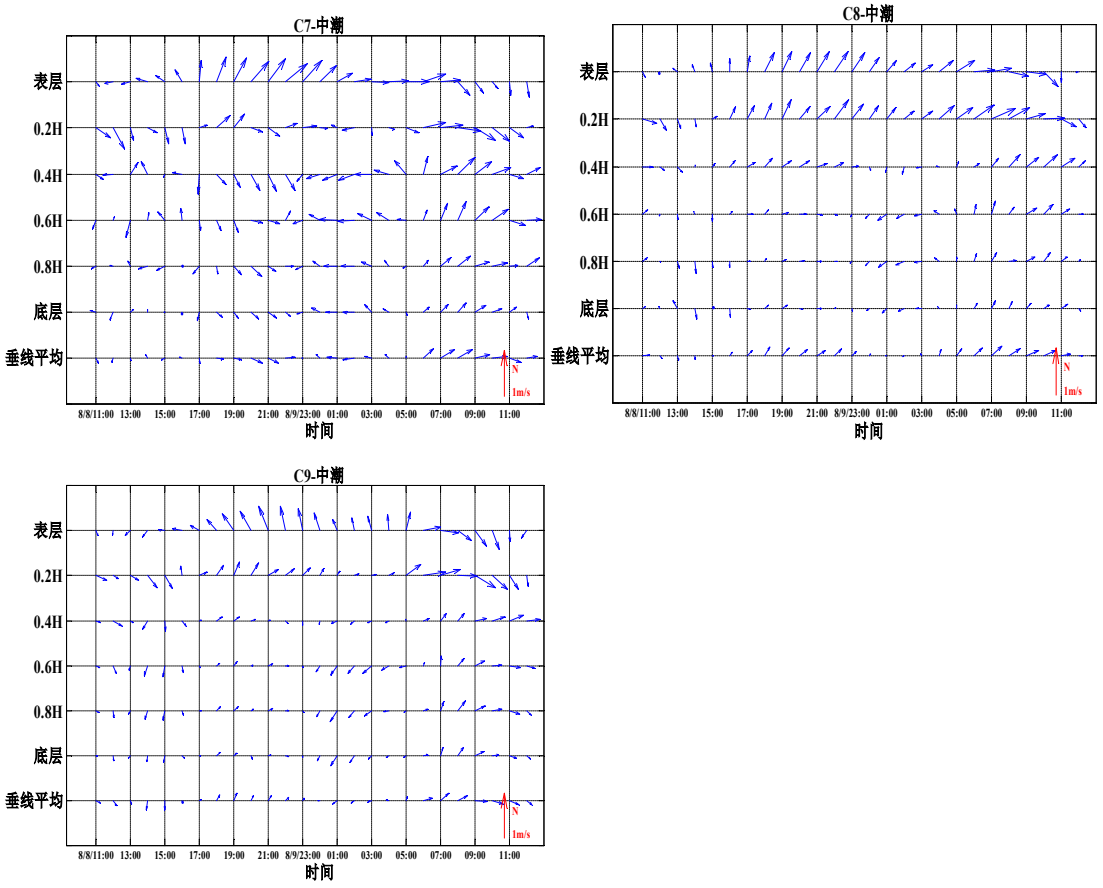
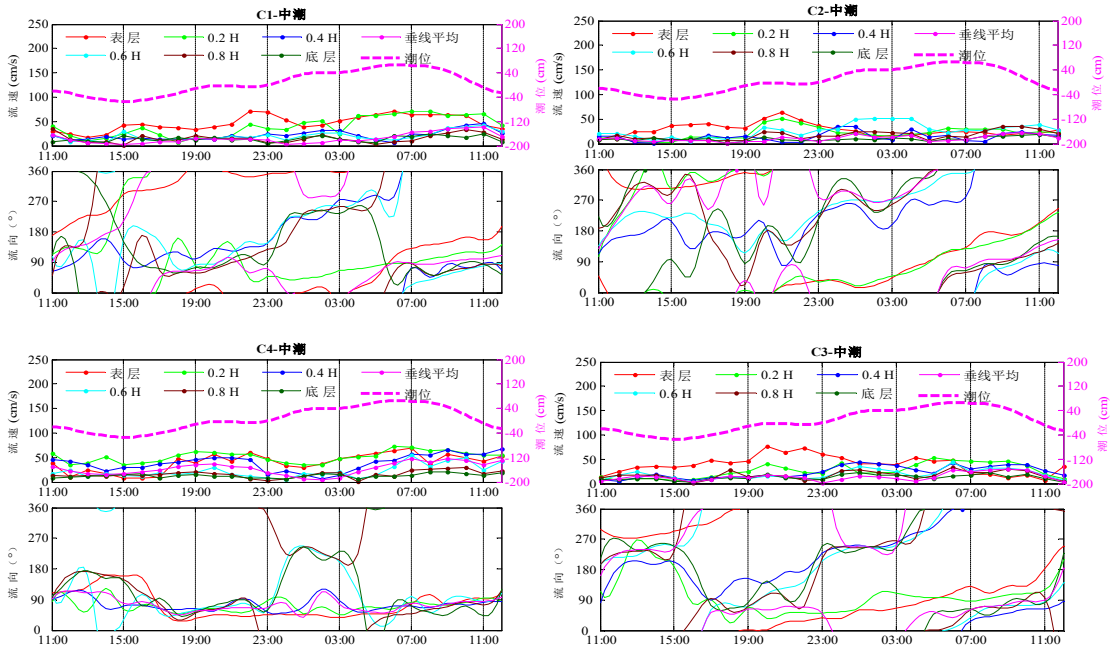


图 5.1-11a 夏季中潮期各站各层海流过程矢量图



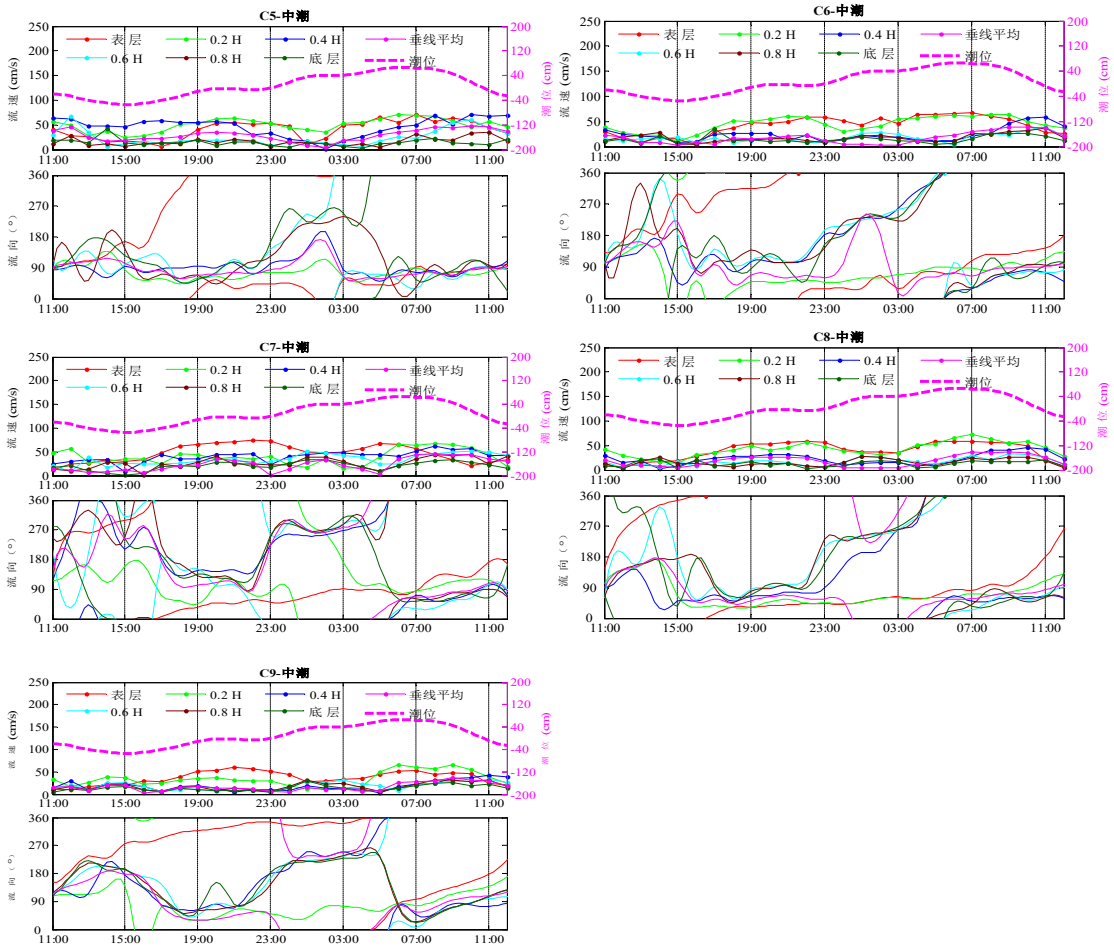


图 5.1-12a 夏季中潮期各站各层流速流向过程线（潮位为平均海面）

冬季从海流的流态来看，中潮期各站海流亦呈现出略带旋转的往复流特征，与小潮期类似但相对弱些，流向整体还是以 WSW-ENE 为主导，略有 N、NW 和 S 流。从表层到底层，表层主要表现为 WSW 沿岸流，中底层各层海流形态较为相似，中底层流向范围沿主导的 WSW-ENE 两侧有所扩展。除表层外，各站层实测海流主要呈现不正规半日潮流特征，除了 C5 站，各站各层流向较为一致（见图 5.1-10b 至图 5.1-12b）。

与小潮期相比，中潮期各站流速大致相当，中潮期的最大海流流速为 60.7cm/s，出现在 C3 站表层，其次为 58.0cm/s，出现在 C5 站底层，流向分别为 277° 和 57°，以上均出现在涨潮时段（见图 5.1-11b、图 5.1-12b 和表 5.1-8b）。各站最大平均流速为 25.5cm/s，为 C6 站 0.2H，最小平均流速为 10.8cm/s，为 C7 站底层。在空间分布上，各站点流速、流向较为相近，C2 站流速略小于其它站点；在垂向分布上，C5 站流速由表层到底层大致相当，垂向变化幅度不大，甚至个别时刻反而有所增加，底层流速要大于表层流速，其它站位流速由表层到底

层基本呈递减规律；在数值上，各站的垂线平均流速、平均流向与 0.6H 平均流速、平均流向较为相近。

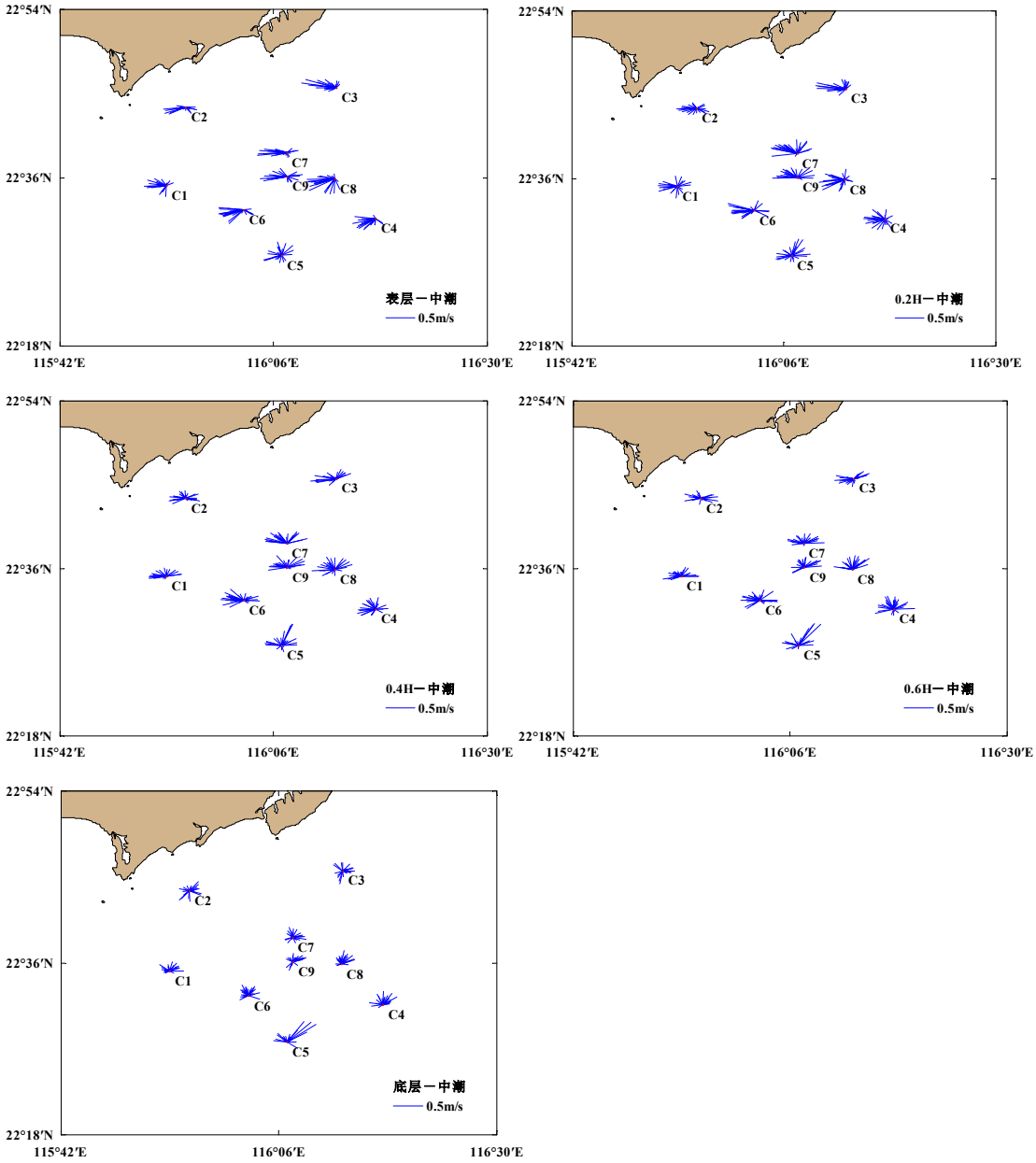
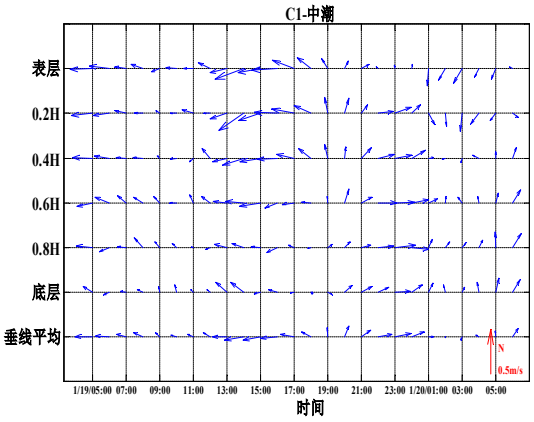
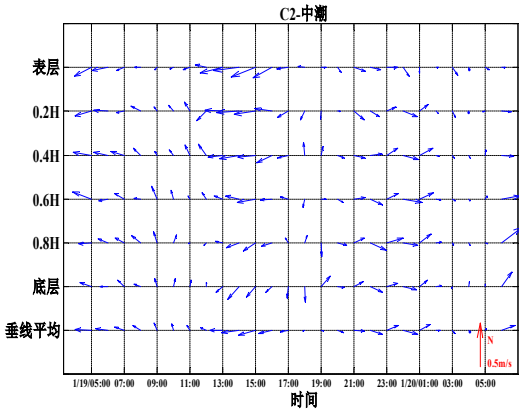
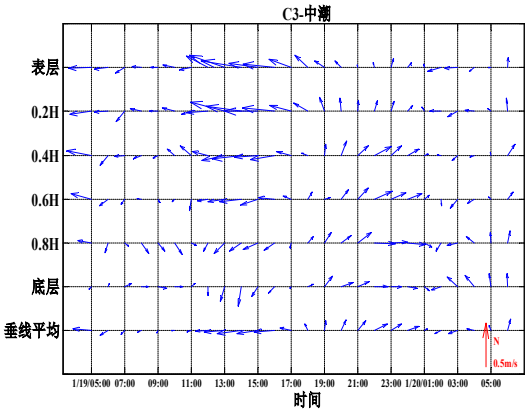
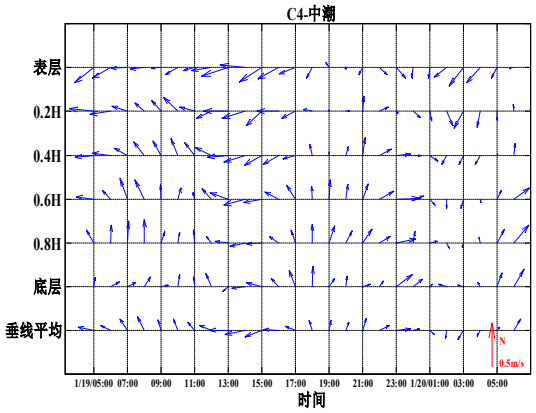


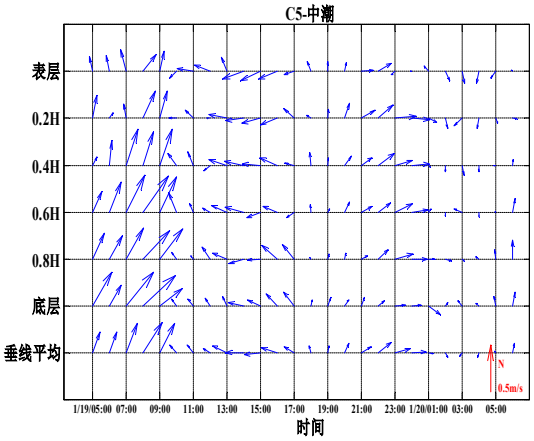
图 5.1-10b 冬季中潮期各站各层海流平面分布玫瑰图

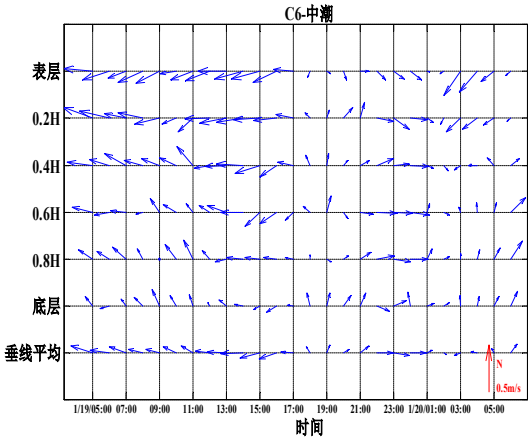

C1-中潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/19/05:00 07:00 09:00 11:00 13:00 15:00 17:00 19:00 21:00 23:00 1/20/01:00 03:00 05:00
时间

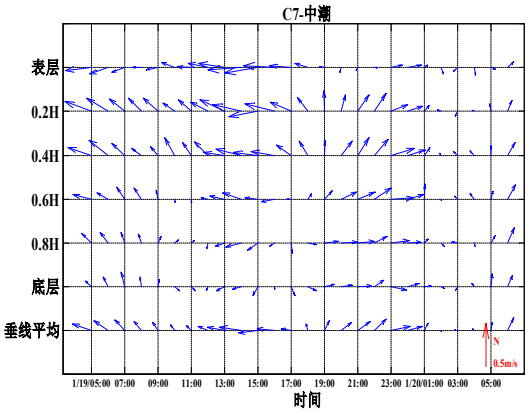

C2-中潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/19/05:00 07:00 09:00 11:00 13:00 15:00 17:00 19:00 21:00 23:00 1/20/01:00 03:00 05:00
时间

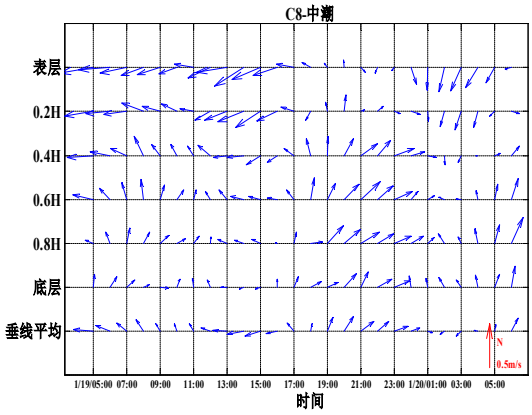

C3-中潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/19/05:00 07:00 09:00 11:00 13:00 15:00 17:00 19:00 21:00 23:00 1/20/01:00 03:00 05:00
时间


C4-中潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/19/05:00 07:00 09:00 11:00 13:00 15:00 17:00 19:00 21:00 23:00 1/20/01:00 03:00 05:00
时间


C5-中潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/19/05:00 07:00 09:00 11:00 13:00 15:00 17:00 19:00 21:00 23:00 1/20/01:00 03:00 05:00
时间


C6-中潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/19/05:00 07:00 09:00 11:00 13:00 15:00 17:00 19:00 21:00 23:00 1/20/01:00 03:00 05:00
时间


C7-中潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/19/05:00 07:00 09:00 11:00 13:00 15:00 17:00 19:00 21:00 23:00 1/20/01:00 03:00 05:00
时间


C8-中潮
表层
0.2H
0.4H
0.6H
0.8H
底层
垂线平均
N
0.5m/s
1/19/05:00 07:00 09:00 11:00 13:00 15:00 17:00 19:00 21:00 23:00 1/20/01:00 03:00 05:00
时间

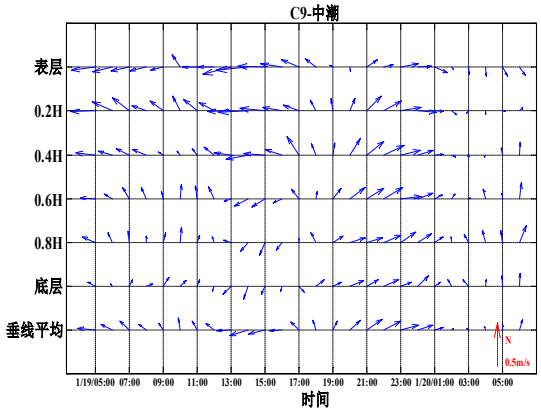
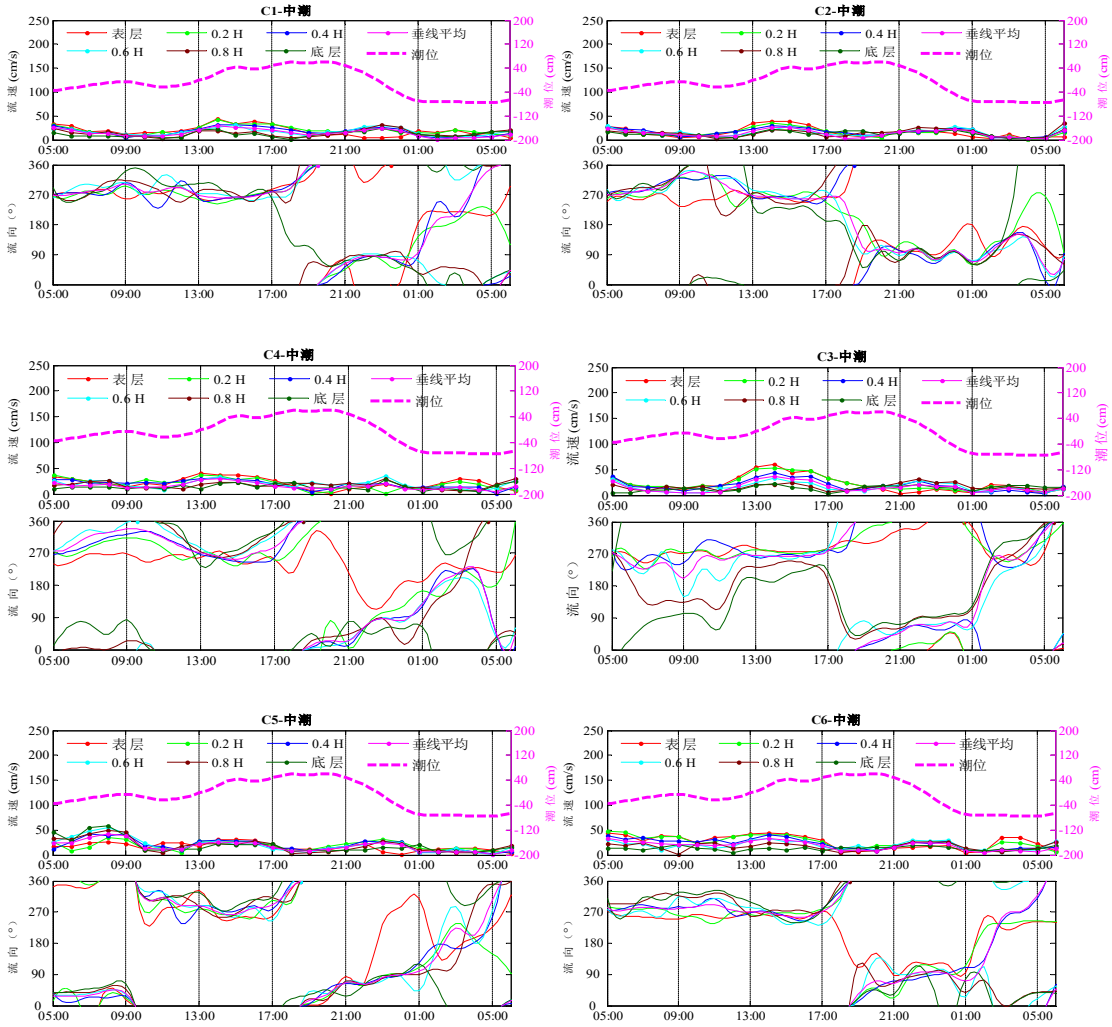


图 5.1-11b 冬季中潮期各站各层海流过程矢量图



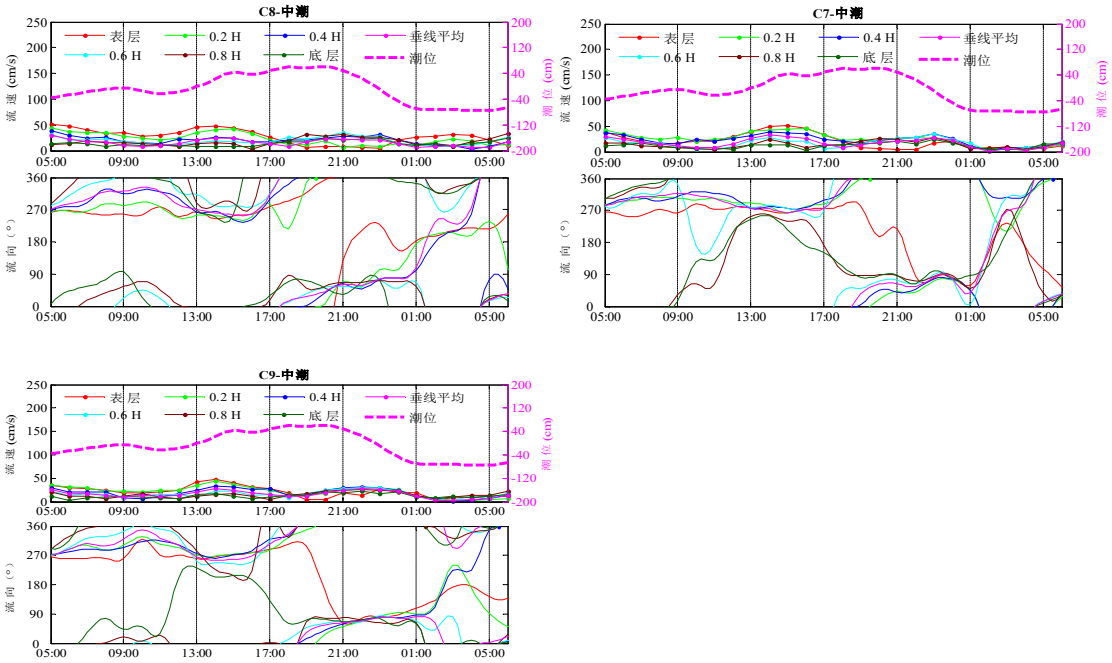


图 5.1-12b 冬季中潮期各站各层流速流向过程线（潮位为平均海面）

表 5.1-8a 夏季中潮期各站各层平均流速和最大流速统计表（流速单位：cm/s，流向单位：°）

测站	测层 要素	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
C1	V_{mean}	43.8	37.3	20.0	18.3	13.9	13.1	14.2
	V_{max}	71.9	70.7	45.2	41.4	35.4	24.4	38.8
	D_{Vmax}	342	87	87	79	50	54	101
C2	V_{mean}	26.2	20.3	12.7	23.2	15.9	8.7	10.1
	V_{max}	64.6	51.8	35.9	51.9	35.2	18.0	21.7
	D_{Vmax}	17	19	258	271	102	147	106
C3	V_{mean}	34.9	24.5	21.2	17.5	15.8	11.8	13.1
	V_{max}	76.4	52.7	43.6	44.2	32.4	23.2	29.5
	D_{Vmax}	2	98	251	6	15	239	77
C4	V_{mean}	37.8	50.3	38.6	20.3	14.6	11.7	26.8
	V_{max}	68.4	72.1	68.2	54.6	29.9	20.3	48.0
	D_{Vmax}	77	63	84	99	84	46	76
C5	V_{mean}	37.1	49.1	45.6	23.2	14.8	12.6	28.8
	V_{max}	71.7	70.2	71.7	68.1	34.6	42.2	48.3
	D_{Vmax}	93	73	86	99	97	169	86
C6	V_{mean}	38.6	41.1	22.1	16.0	15.7	12.8	16.1
	V_{max}	67.3	64.5	58.8	39.2	36.6	34.5	39.3
	D_{Vmax}	107	101	74	73	94	180	89
C7	V_{mean}	43.7	37.0	37.3	30.6	25.1	19.3	21.8

测站	测层 要素	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
	V_{max}	74.2	67.2	62.4	51.3	44.4	33.9	45.3
	D_{Vmax}	58	96	54	63	81	65	67
C8	V_{mean}	36.2	40.8	22.0	16.1	13.9	11.8	17.9
	V_{max}	59.2	72.9	45.2	32.6	27.9	23.0	37.2
	D_{Vmax}	42	72	57	69	242	168	73
C9	V_{mean}	33.3	31.9	17.2	16.9	16.1	12.5	15.1
	V_{max}	61.0	65.6	42.7	32.4	31.5	29.9	36.2
	D_{Vmax}	333	114	74	99	218	218	94

表 5.1-8b 冬季中潮期各站各层平均流速和最大流速统计表（流速单位：cm/s，流向单位：°）

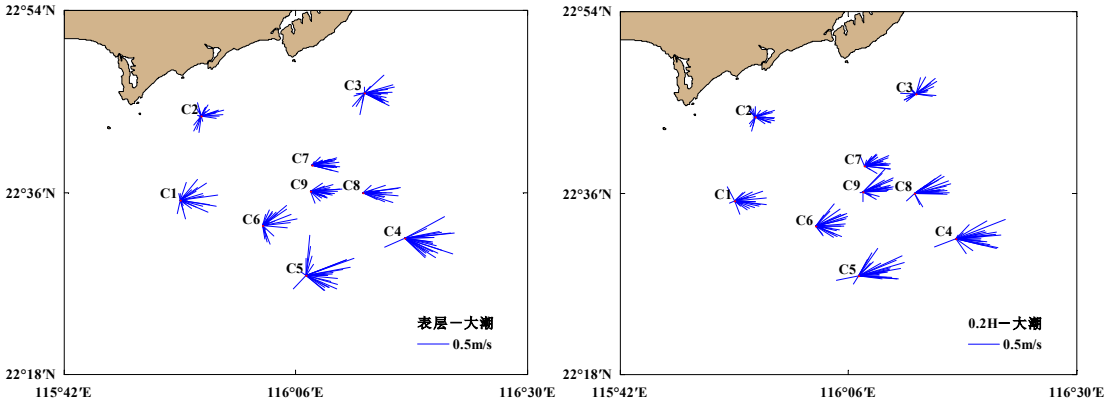
测站	测层 要素	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
C1	V_{mean}	17.5	18.3	15.9	15.7	12.8	10.8	14.0
	V_{max}	44.0	41.6	32.1	31.5	30.9	23.4	29.1
	D_{Vmax}	255	243	255	262	86	89	261
C2	V_{mean}	14.8	14.7	15.2	14.1	13.6	11.7	13.3
	V_{max}	38.6	34.6	29.6	29.5	35.2	23.2	26.9
	D_{Vmax}	265	268	262	285	60	230	257
C3	V_{mean}	20.3	20.2	17.9	14.7	15.2	11.7	14.3
	V_{max}	60.7	53.2	44.1	32.4	31.6	23.0	36.1
	D_{Vmax}	277	276	264	264	93	192	264
C4	V_{mean}	19.9	17.7	17.1	16.8	15.1	12.8	14.2
	V_{max}	40.6	37.0	32.2	35.1	29.5	27.2	29.9
	D_{Vmax}	257	271	255	89	49	61	259
C5	V_{mean}	14.9	16.3	17.0	18.7	17.8	18.1	16.2
	V_{max}	32.0	34.6	42.6	54.1	49.3	58.0	43.0
	D_{Vmax}	256	33	26	45	53	57	43
C6	V_{mean}	25.4	25.5	22.0	18.2	15.4	12.5	18.4
	V_{max}	44.1	46.8	40.1	33.3	26.1	20.9	33.2
	D_{Vmax}	274	285	272	270	92	327	268
C7	V_{mean}	20.0	23.5	21.6	15.1	12.9	10.8	15.9
	V_{max}	50.6	45.7	38.4	34.6	27.2	24.0	32.6
	D_{Vmax}	263	281	281	88	85	101	275
C8	V_{mean}	25.1	20.9	18.5	17.4	16.2	12.7	14.6
	V_{max}	50.7	44.3	38.7	35.0	33.8	24.1	29.9
	D_{Vmax}	263	263	266	56	31	73	272
C9	V_{mean}	20.4	20.8	17.3	14.7	13.4	11.3	14.8
	V_{max}	47.0	43.6	32.5	30.5	26.3	22.9	27.7
	D_{Vmax}	266	268	261	65	72	72	255

(3)大潮期海流

图 5.1-13 为大潮期各站各层（表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H 和底层，H 为瞬时水深）海流平面分布玫瑰图，图 5.1-14 为大潮期各站各层海流过程矢量图，图 5.1-15 为大潮期各站各层流速流向过程线。表 5.1-11 为大潮期各站各层平均流速和最大流速统计表。

夏季从海流的流态来看，大潮期各站层海流亦呈现出略带旋转流特征，流向以 NE 和 E 为主导。从表层到底层，各站各层海流形态较为相似（见图 5.1-13a）。大潮观测期间，表层实测海流略呈现不正规半日潮流特征，表层以下半日潮的特征不显著，海流以沿岸流为主，各站各层流向较为一致（见图 5.1-14a 和图 5.1-15a）。

从流速来看，大潮期的最大海流流速为 104.5cm/s，出现在 C5 站底层，其次为 61.3cm/s，出现在 C8 站 0.2H，流向分别为 234°和 75°，均出现在涨潮时段（见图 5.1-14a、图 5.1-15a 和表 5.1-9a）。各站最大平均流速为 49.0cm/s，为 C4 站表层，最小平均流速为 11.3cm/s，为 C1 站底层。大潮所处潮期不是很典型，故潮差相对小潮和中潮有所偏低，导致最大海流流速相对其它两个潮而言偏小。在空间分布上，其它各站点流速、流向较为相近，C4 站和 C5 站站流速略小于其它站点；在垂向分布上，除 C5 站，其它各站表层到底层的流速基本呈递减规律，但是垂向变化幅度不大，海流在垂向分布比较均匀，海水整体运动特征明显；在数值上，各站的垂线平均流速、平均流向与 0.6H 平均流速、平均流向较为相近。



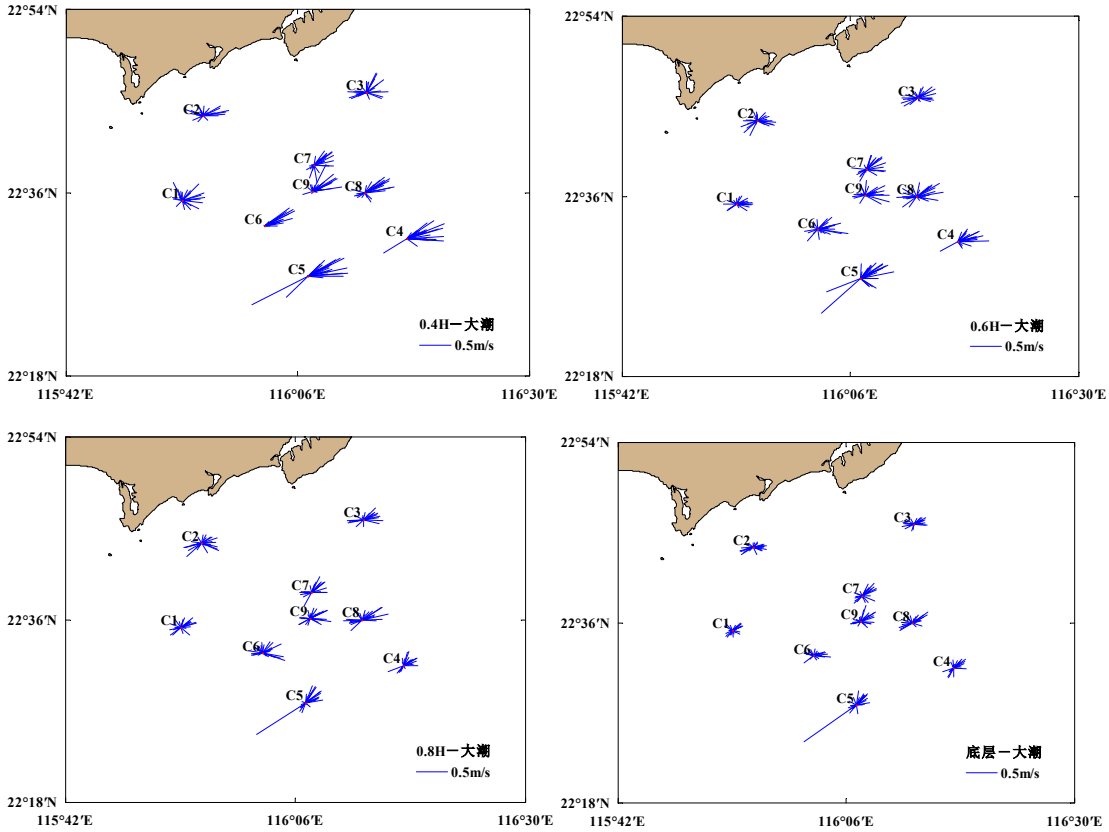
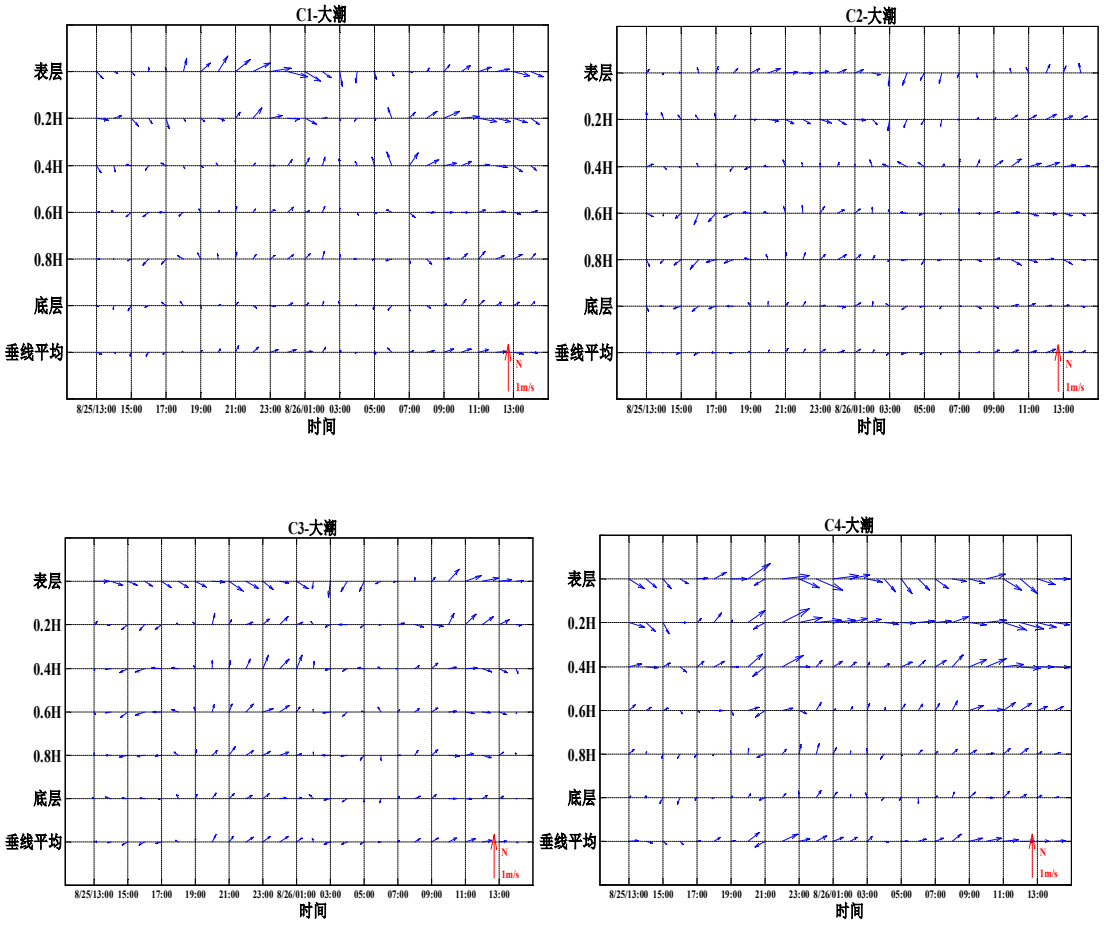


图 5.1-13a 夏季大潮期各站各层海流平面分布玫瑰图



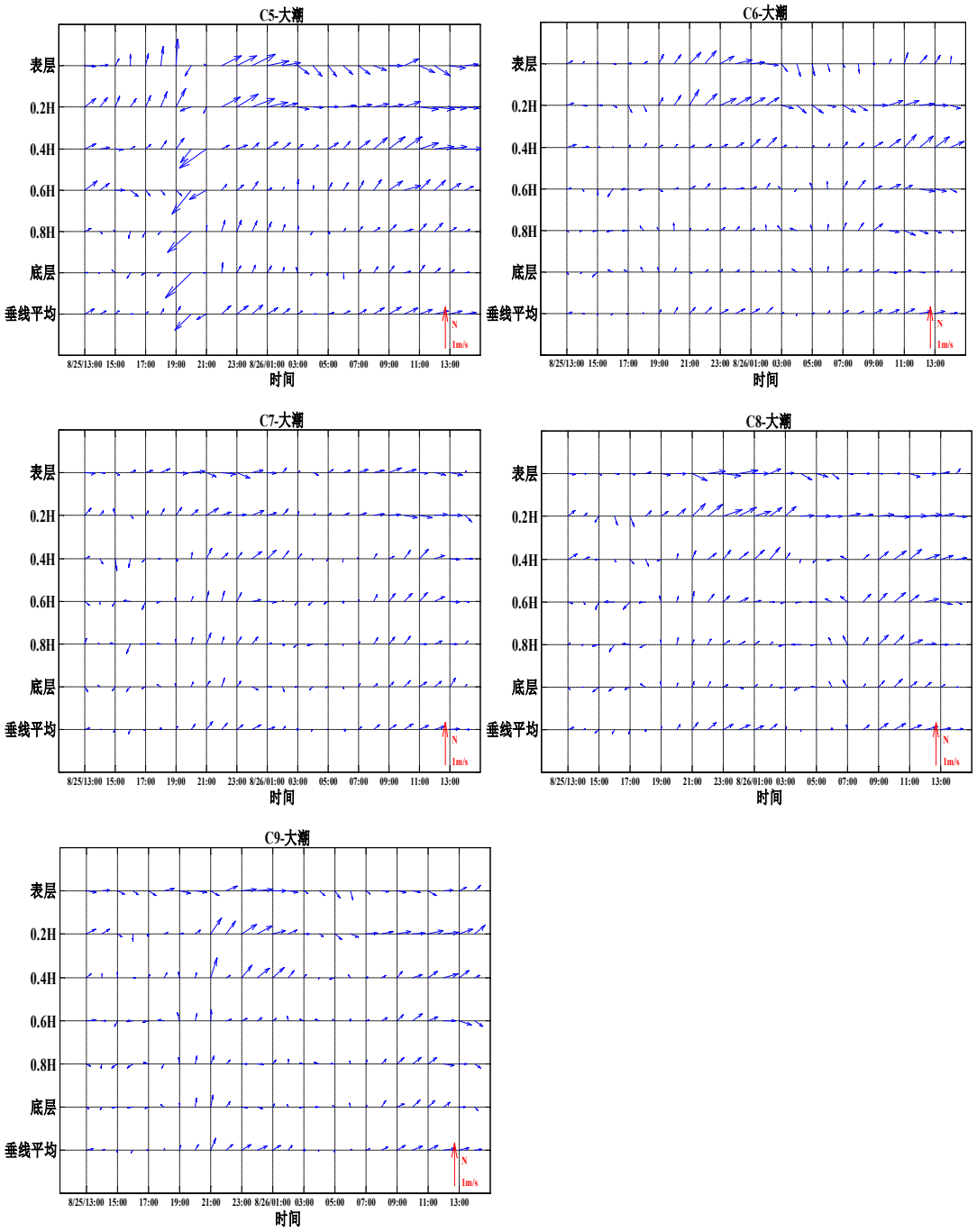
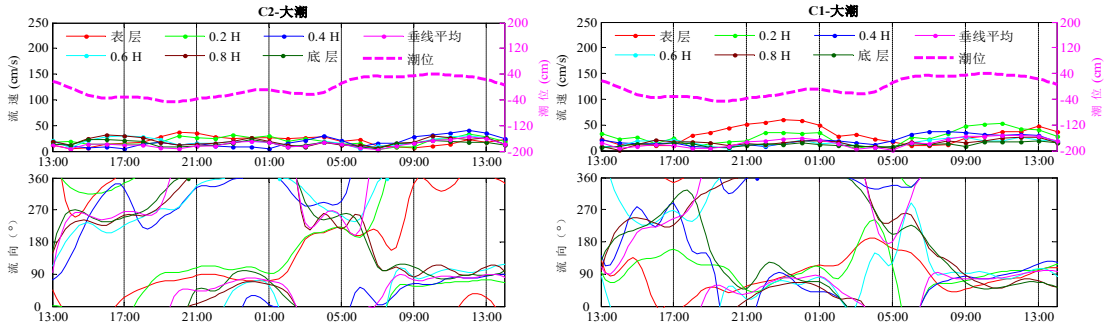


图 5.1-14a 大潮期各站各层海流过程矢量图



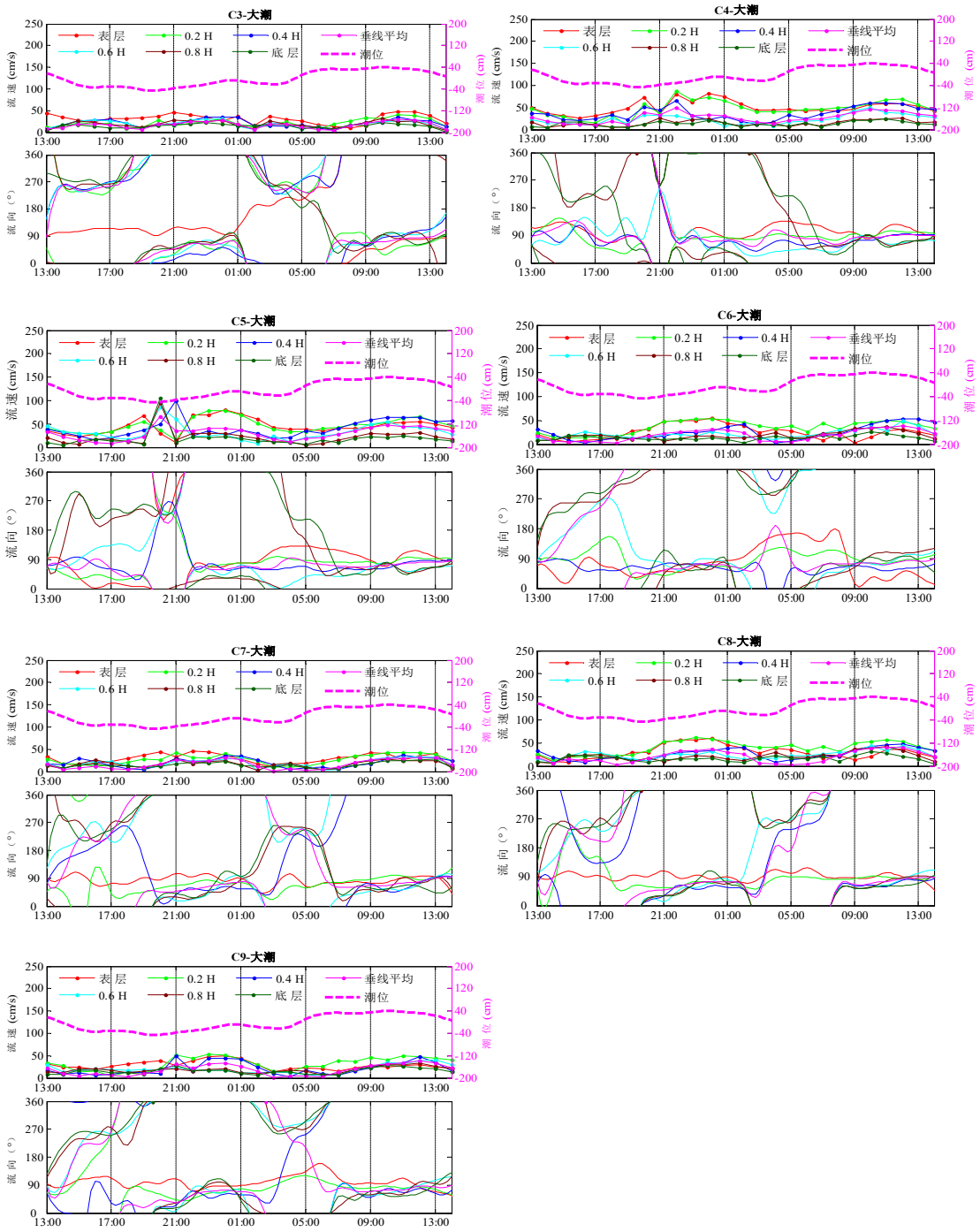


图 5.1-15a 夏季大潮期各站各层流速流向过程线（潮位为平均海面）

冬季从海流的流态来看，大潮期各站层海流亦呈现出略带旋转的往复流特征，中层较为显著，流向以 WSW-ENE 为主导。从表层到底层，各站各层海流形态较为相似，表层流中，靠近岸边，C2 站主要为 WSW 流，C3 站主要为 WSW-ENE 流，受地形岸线影响较为突出。靠外海的站旋转流特征较为明显，如 C5 站、C8 站，C4 站主要为 W 和 NW 流。各站层实测海流主要呈现不正规半日潮流特征，工程区域 C6 站至 C9 站的各层流向较为一致，且为主导流向（见图

5.1-13 至图 5.1-15）。

从流速来看，大潮期的最大海流流速为 68.9cm/s，出现在 C3 站 0.4H，其次为 66.8cm/s，出现在 C2 站表层，流向分别为 92°和 272°，分别出现在落潮和涨潮时段（见图 5.1-14b、图 5.1-15b 和表 5.1-9b）。各站最大平均流速为 30.0cm/s，为 C3 站 0.2H，最小平均流速为 10.9cm/s，为 C1 站底层。在空间分布上，其它各站点流速、流向较为相近，C1 站和 C5 站流速略小于其它站点；在垂向分布上，除 C4 站，其它各站表层到底层的流速基本呈递减规律，但是垂向变化幅度不大，海流在垂向分布比较均匀，海水整体运动特征明显；在数值上，各站的垂线平均流速、平均流向与 0.6H 平均流速、平均流向较为相近。

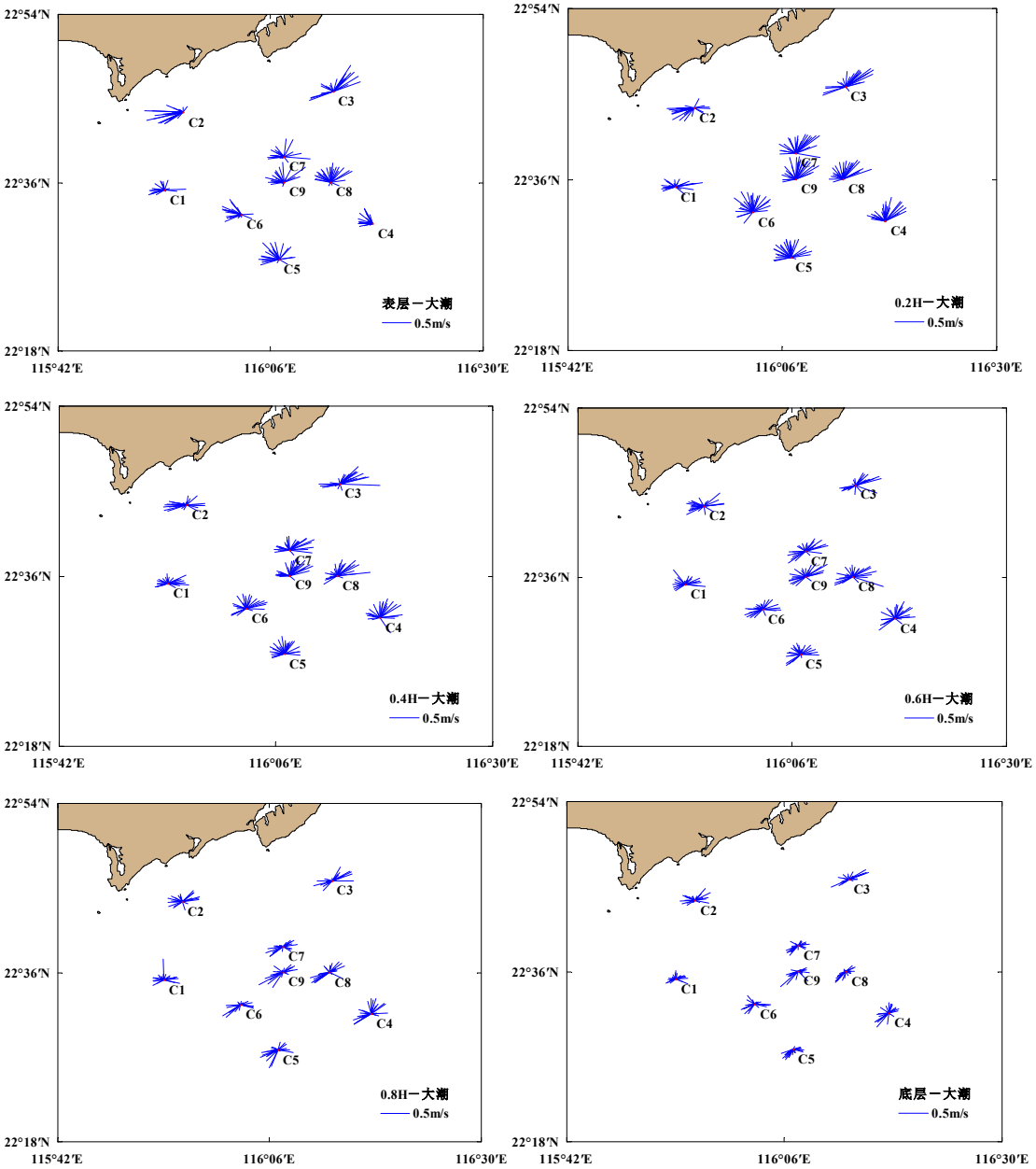
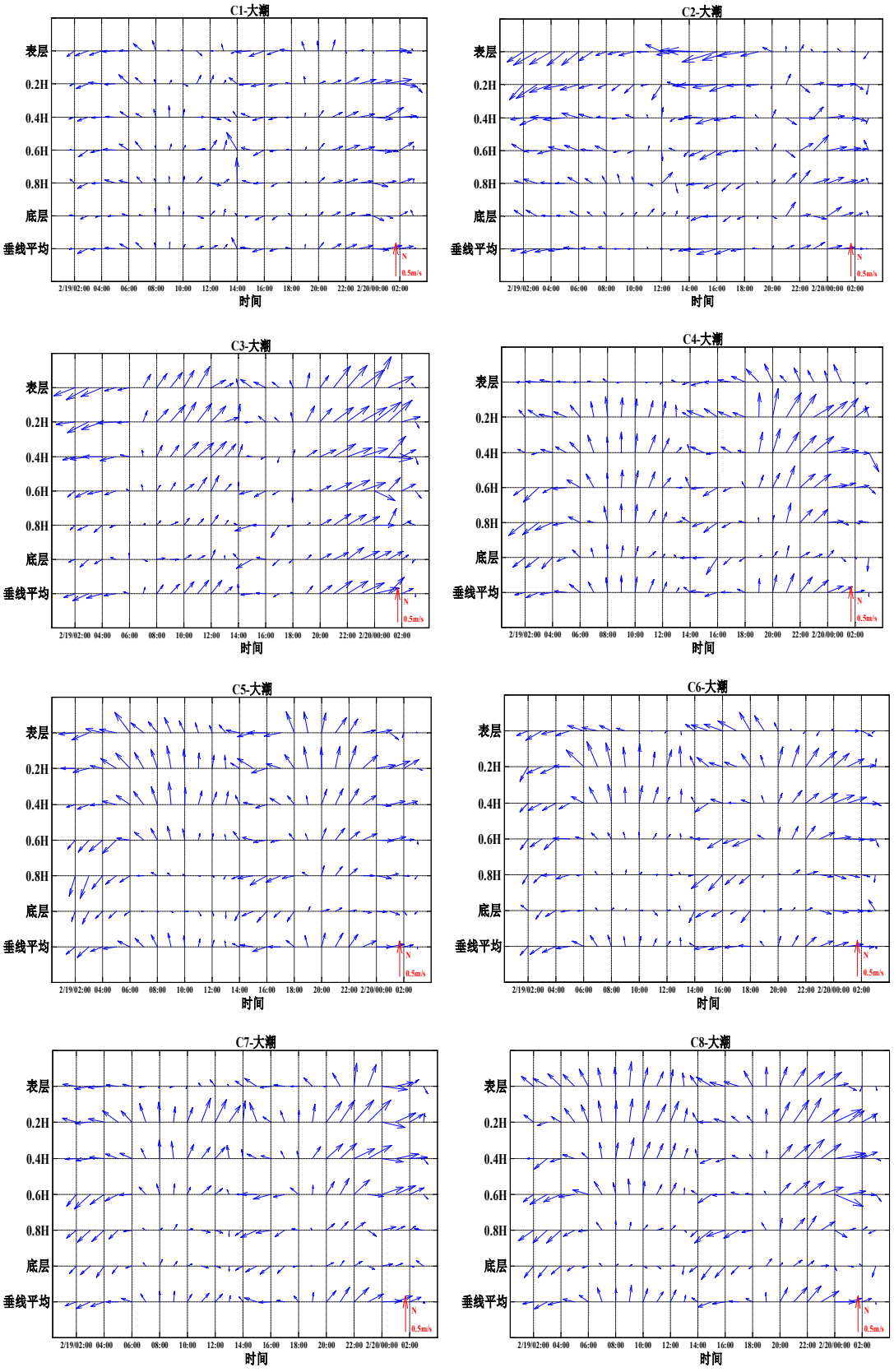


图 5.1-13b 冬季大潮期各站各层海流平面分布玫瑰图



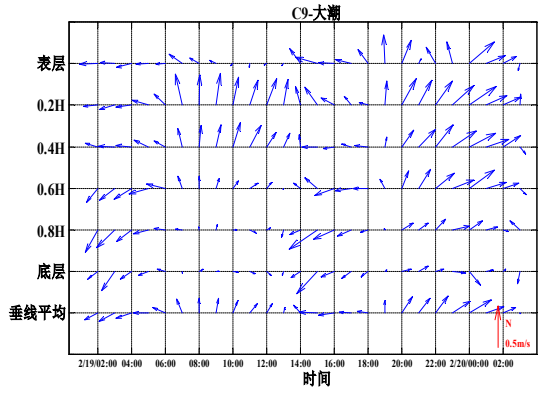
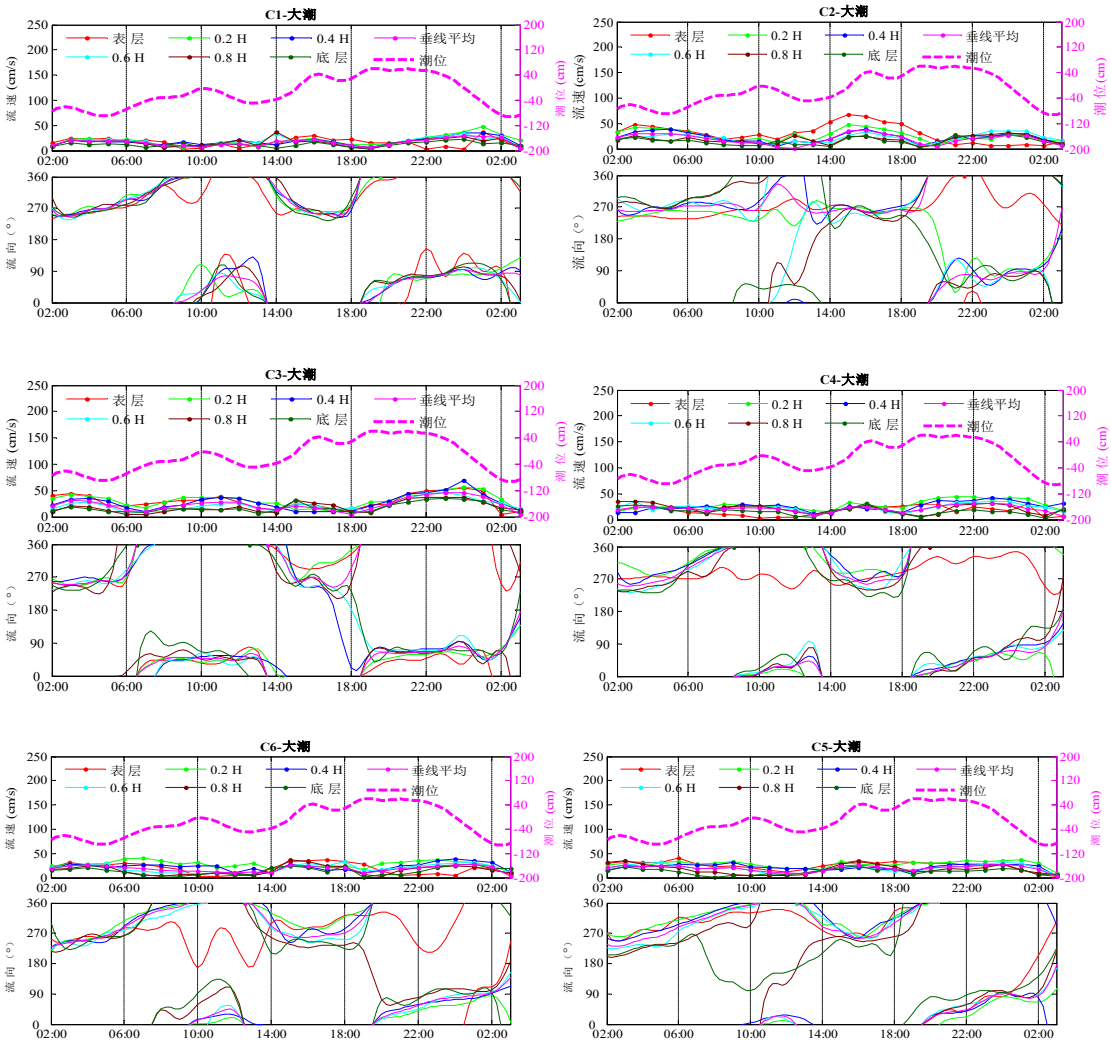


图 5.1-14b 冬季大潮期各站各层海流过程矢量图



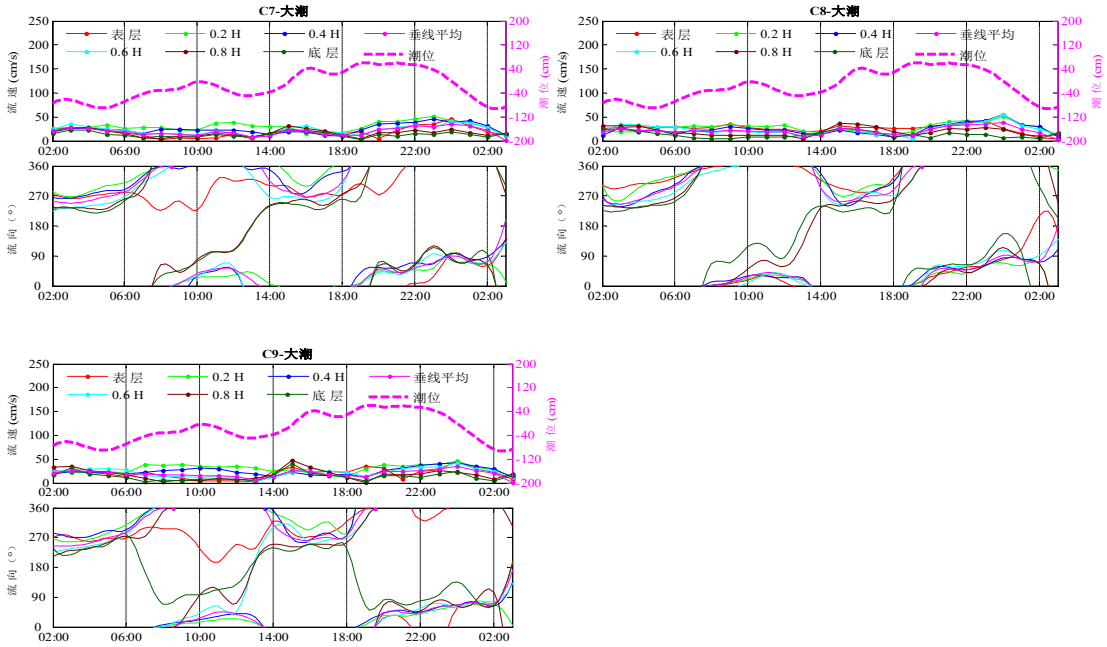


图 5.1-15b 冬季大潮期各站各层流速流向过程线（潮位为平均海面）

表 5.1-9a 夏季大潮期各站各层平均流速和最大流速统计表（流速单位：cm/s，流向单位：°）

测站	测层 / 要素	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
C1	V_{mean}	28.0	25.3	18.1	14.5	14.4	11.3	15.0
	V_{max}	60.0	52.3	37.6	26.9	25.7	18.5	29.9
	D_{Vmax}	82	29	45	92	74	67	88
C2	V_{mean}	16.9	17.8	16.1	16.4	17.6	13.8	12.9
	V_{max}	36.6	32.5	40.6	29.9	31.8	22.9	27.7
	D_{Vmax}	74	69	78	95	228	255	78
C3	V_{mean}	29.1	19.7	18.7	17.5	17.0	13.4	16.4
	V_{max}	48.3	39.8	35.0	30.9	31.6	22.0	30.3
	D_{Vmax}	79	51	28	62	94	62	79
C4	V_{mean}	49.0	46.5	35.4	22.3	13.9	12.1	27.2
	V_{max}	81.1	86.6	65.2	50.2	25.7	24.2	48.7
	D_{Vmax}	108	68	68	88	249	53	71
C5	V_{mean}	41.2	44.6	39.6	31.3	20.5	17.6	29.9
	V_{max}	80.9	78.1	100.5	86.1	93.6	104.5	65.6
	D_{Vmax}	70	65	242	227	237	234	234
C6	V_{mean}	23.5	34.8	24.1	20.1	16.7	12.6	18.4
	V_{max}	55.5	53.9	53.3	49.8	37.5	26.9	38.6
	D_{Vmax}	78	72	62	98	109	95	82
C7	V_{mean}	28.4	25.6	18.6	17.5	15.3	14.5	16.0
	V_{max}	45.1	42.8	36.4	33.1	28.6	27.9	32.1

测站	测层 / 要素	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
	D_{Vmax}	94	67	53	71	29	44	78
C8	V_{mean}	29.6	38.0	25.2	23.1	19.9	15.6	19.6
	V_{max}	61.0	61.3	47.6	44.2	42.8	31.3	41.1
	D_{Vmax}	83	75	79	81	77	56	82
C9	V_{mean}	27.6	31.2	19.9	18.4	16.6	14.2	17.3
	V_{max}	50.2	53.7	49.7	40.5	33.9	28.2	38.6
	D_{Vmax}	86	65	25	105	99	56	86

表 5.1-9b 冬季大潮期各站各层平均流速和最大流速统计表（流速单位：cm/s，流向单位：°）

测站	测层 / 要素	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层	垂线平均
C1	V_{mean}	14.4	18.3	16.7	16.6	14.5	10.9	15.1
	V_{max}	37.1	47.2	35.8	34.6	37.1	22.3	29.0
	D_{Vmax}	88	81	95	96	359	111	95
C2	V_{mean}	29.1	25.0	21.9	20.4	17.1	14.3	19.0
	V_{max}	66.8	47.0	39.3	35.3	31.2	28.7	37.0
	D_{Vmax}	272	268	255	50	74	62	256
C3	V_{mean}	28.2	30.0	26.0	20.7	18.0	16.6	22.2
	V_{max}	55.5	56.5	68.9	45.6	37.2	35.4	45.3
	D_{Vmax}	33	59	92	76	91	71	70
C4	V_{mean}	15.2	25.6	22.4	21.4	19.1	14.8	18.2
	V_{max}	30.4	44.2	42.6	35.6	34.8	31.9	31.1
	D_{Vmax}	332	41	58	58	238	221	56
C5	V_{mean}	22.5	24.4	19.4	17.9	16.3	11.8	17.4
	V_{max}	40.0	37.4	30.9	31.5	35.5	23.7	28.3
	D_{Vmax}	316	73	353	232	206	229	91
C6	V_{mean}	17.8	25.1	20.3	17.7	15.0	13.0	16.8
	V_{max}	36.1	40.6	37.9	32.8	37.2	28.2	28.2
	D_{Vmax}	293	331	73	251	237	92	85
C7	V_{mean}	16.9	27.4	22.2	20.9	16.1	12.7	17.6
	V_{max}	45.3	51.7	46.0	39.7	31.4	22.6	35.0
	D_{Vmax}	95	53	66	76	250	238	90
C8	V_{mean}	24.0	25.1	21.6	22.2	19.0	12.6	19.0
	V_{max}	41.8	51.6	55.7	54.2	36.0	26.5	38.3
	D_{Vmax}	61	70	83	108	239	224	91
C9	V_{mean}	18.1	26.4	22.1	20.5	17.1	13.2	18.0
	V_{max}	45.6	45.4	42.2	43.1	48.0	40.6	35.8
	D_{Vmax}	55	61	67	60	241	228	65

5.1.2.5 潮流

（1）潮流性质

根据《海洋调查规范》，潮流性质的划分采用潮流性质系数F=(WO1+WK1)/WM2作为判别标准：

当　　F≤0.5　　为正规半日潮

0.5<F≤2.0　为不正规半日潮

2.0<F≤4.0　为不正规全日潮

F>4.0　　为正规全日潮

式中W为分潮流椭圆长半轴，其中WO1为主要太阴日分潮流O1的最大流速，WK1为主要太阴太阳合成日分潮流K1的最大流速，WM2为主要太阴半日分潮流M2的最大流速。根据《海洋调查规范》，选用“引入差比关系的准调和分析方法”，此处选取遮浪海洋站（115°34′E，22°39′N）的潮位资料来计算差比数，对海流观测资料进行分析计算，得出观测期间的余流和O1（主要太阴全日分潮）、K1（太阴太阳合成全日分潮）、M2（主要太阴半日分潮）、S2（主要太阳半日分潮）、M4（浅水分潮）和MS4（浅水四分之一分潮）等6个主要分潮流的调和常数以及椭圆要素等潮流特征值。

夏季通过准调和分析，计算各站层的潮流性质系数F值见表5.1-10a。由表可知，个别站层系数大于2（如C6站和C9站表层），潮流类型为不正规全日潮流；个别站层（尤其是中低层）系数小于0.5（如C3站和C8站的0.4H～0.6H等），潮流类型为正规半日潮流外，其余各站各层的系数均大于0.5且小于2，潮流类型为不正规半日潮流。由此可见，调查海区潮流类型主要为不正规半日潮流。

表5.1-10a 夏季潮流性质系数

测层 测站	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
C1	1.96	1.64	0.79	0.44	0.33	0.36
C2	1.90	1.07	1.35	0.89	0.60	0.46
C3	0.80	0.79	0.51	0.23	0.13	0.20
C4	1.10	0.72	0.91	0.88	0.58	0.39
C5	1.30	1.07	1.49	1.75	0.55	0.46
C6	2.46	1.74	0.87	0.56	0.56	0.48
C7	1.81	0.74	0.65	0.49	0.42	0.53

测层 测站	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
C8	1.64	1.18	0.31	0.37	0.43	0.34
C9	2.15	1.05	0.49	0.60	0.42	0.40

冬季通过准调和分析，计算各站层的潮流性质系数 F 值见表 5.1-10b。由表可知，除了个别站层（尤其是中底层）系数小于 0.5（如 C3 站和 C4 站的底层等），潮流类型为正规半日潮流外，其余各站各层的系数均大于 0.5 且小于 2，潮流类型为不正规半日潮流。由此可见，调查海区潮流类型主要为不正规半日潮流。

表 5.1-10b 冬季潮流性质系数

测站 测层	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
表层	0.51	1.13	0.39	0.81	0.78	1.16	1.07	0.92	1.44
0.2H	0.61	0.88	0.36	0.97	0.66	1.09	0.83	0.81	0.94
0.4H	0.58	0.87	0.52	0.89	0.75	1.10	0.88	0.84	0.68
0.6H	0.70	0.90	0.53	0.77	0.75	1.00	0.77	0.75	0.66
0.8H	1.07	0.95	0.57	0.51	0.72	0.93	0.72	0.51	0.77
底层	1.03	0.93	0.47	0.40	0.54	1.05	0.66	0.40	0.59
垂线平均	0.70	0.87	0.46	0.75	0.69	1.04	0.79	0.72	0.77

（2）潮流的运动形式及潮流椭圆要素

潮流运动可粗略分为往复流和旋转流，它可由潮流的椭圆旋转率 k 值来描述，k 值为潮流椭圆的短半轴与长半轴之比，其值介于-1～1 之间。k 的绝对值越小越接近往复流，越大越接近于旋转流。k 值的正、负号表示潮流旋转的方向，正号表示逆时针方向旋转，负号表示顺时针方向旋转。

表 5.1-11 列出了 C1～C9 站各层 O1，K1，M2，S2，M4，MS4 分潮的最大流速（长轴）W，出现的方向（长轴向）θ，最小流速（短轴）w，椭圆率 k。图 5.1-16 为调查海区 M2，S2，K1，O1，M4，MS4 等分潮长轴平面分布图，从表和图中可以看出：

夏季

（1）本海区潮流主要以 M2 和 K1 分潮流为主，其次是 O1 和 S2，浅水分潮流 M4 和 MS4 的量值相对较小。最大 M2 和 S2 分潮流均出现在 C7 站 0.6H，分别为 26.15cm/s 和 10.99cm/s，最大 K1 和 O1 分潮流均出现在 C1 站表层，分别为 15.36cm/s 和 18.61cm/s，最大 M4 和 MS4 分潮流均出现在 C6 站 0.4H，分

别为 7.23cm/s 和 3.82cm/s。

（2）C1～C9 站各层 M2，K1 和 O1 分潮流的 k 值绝对值大部分大于 0.3，O1，K1，M2，S2，M4，MS4 分潮的最大值分别为 0.847、0.847、0.516、0.516、0.751、0.751，说明观测期间的潮流以旋转流为主。各站层各分潮流的椭圆率有正有负，表明观测海区潮流顺时针和逆时针旋转都有。

（3）各站层的分潮流运动方向主要为 SW～NE，其次为 NW～SE，略有 W～E，且 M2 和 S2 分潮流的差异较小。

冬季

（1）本海区潮流主要以 M2 和 K1 分潮流为主，其次是 S2 和 O1，浅水分潮流 M4 和 MS4 的量值相对较小。最大 M2 和 S2 分潮流均出现在 C3 站 0.2H，分别为 19.52cm/s 和 8.2cm/s，最大 K1 和 O1 分潮流均出现在 C6 站 0.4H，分别为 8.35cm/s 和 6.89cm/s，最大 M4 和 MS4 分潮流均出现在 C9 站表层，分别为 6.54cm/s 和 3.46cm/s。

（2）C1～C9 站各层 M2，K1、S2 和 O1 分潮流的 k 值绝对值大部分小于 0.3，O1，K1，M2，S2，M4，MS4 分潮的最大值分别为 0.497、0.497、0.116、0.116、0.843、0.843，说明观测期间的潮流以略带旋转的往复流为主。各站层各分潮流的椭圆率有正有负，表明观测海区潮流顺时针和逆时针旋转都有，但以顺时针方向旋转居多。

（3）各站层的分潮流运动方向主要为 WSW-ENE，其次为 NW～SE，略有 W～E，且 M2 和 S2 分潮流的差异较小

表 5.1-11a 夏季各站层主要分潮流的椭圆要素（单位：cm/s，°）

测站	测层	O1				K1				M2				S2				M4				Ms4			
		W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ
C1	表层	15.36	5.82	-0.379	344	18.61	7.05	-0.379	344	17.35	8.95	-0.516	92	7.29	3.76	-0.516	92	4.11	2.07	0.503	193	2.17	1.09	0.503	193
	0.2H	11.42	7.47	-0.654	104	13.83	9.05	-0.654	284	15.42	4.51	-0.293	99	6.48	1.90	-0.293	99	2.35	1.17	0.500	359	1.24	0.62	0.500	359
	0.4H	5.85	3.21	-0.549	263	7.08	3.89	-0.549	263	16.39	2.94	-0.179	78	6.89	1.24	-0.179	78	4.42	0.78	0.178	275	2.33	0.41	0.178	275
	0.6H	3.14	1.45	-0.463	249	3.80	1.76	-0.463	249	15.73	1.36	-0.086	66	6.61	0.57	-0.086	66	3.61	0.29	-0.081	308	1.91	0.15	-0.081	308
	0.8H	2.13	0.46	0.218	271	2.58	0.56	0.218	271	14.40	0.09	-0.006	62	6.05	0.04	-0.006	62	3.71	0.21	0.056	276	1.96	0.11	0.056	96
	底层	1.85	0.51	-0.275	254	2.24	0.61	-0.275	254	11.21	0.05	-0.004	65	4.71	0.02	-0.004	65	3.37	1.25	0.371	292	1.78	0.66	0.371	112
C2	表层	9.18	5.18	-0.564	196	11.12	6.27	-0.564	16	10.67	1.12	0.105	66	4.49	0.47	0.105	66	5.10	2.93	-0.573	259	2.69	1.54	-0.573	79
	0.2H	4.96	2.96	-0.596	5	6.01	3.58	-0.596	5	10.25	1.80	0.175	87	4.31	0.75	0.175	87	4.41	1.23	-0.280	246	2.33	0.65	-0.280	246
	0.4H	7.60	2.64	-0.347	266	9.20	3.20	-0.347	266	12.45	0.81	-0.065	78	5.24	0.34	-0.065	78	5.44	0.38	-0.070	261	2.87	0.20	-0.070	261
	0.6H	7.56	4.56	-0.603	291	9.16	5.52	-0.603	291	18.83	4.43	-0.235	83	7.92	1.86	-0.235	83	3.99	1.88	0.471	281	2.11	0.99	0.471	281
	0.8H	4.71	1.46	-0.310	284	5.71	1.77	-0.310	284	17.28	3.26	-0.189	85	7.26	1.37	-0.189	85	4.09	1.48	0.362	274	2.16	0.78	0.362	274
	底层	2.10	1.23	-0.585	95	2.54	1.49	-0.585	275	10.04	1.24	-0.124	85	4.22	0.52	-0.124	85	2.89	0.60	0.209	280	1.52	0.32	0.209	280
C3	表层	5.68	4.44	-0.782	20	6.88	5.38	-0.782	20	15.63	1.44	-0.092	57	6.57	0.60	-0.092	57	2.93	0.23	-0.079	241	1.55	0.12	-0.079	241
	0.2H	7.22	3.59	-0.496	108	8.75	4.34	-0.496	288	20.30	0.90	0.044	64	8.54	0.38	0.044	64	4.52	0.66	0.146	271	2.39	0.35	0.146	271
	0.4H	5.12	2.95	-0.577	267	6.20	3.57	-0.577	267	22.36	3.67	-0.164	68	9.40	1.54	-0.164	68	4.06	1.86	0.457	250	2.14	0.98	0.457	250
	0.6H	2.30	0.59	-0.257	277	2.78	0.72	-0.257	277	22.27	4.68	-0.210	71	9.36	1.97	-0.210	71	4.54	1.69	0.372	247	2.40	0.89	0.372	247
	0.8H	1.24	0.20	-0.164	270	1.50	0.25	-0.164	270	21.68	2.82	-0.130	71	9.11	1.19	-0.130	71	4.07	3.38	0.831	255	2.15	1.79	0.831	255
	底层	1.38	0.46	0.332	229	1.67	0.56	0.332	229	15.40	1.56	-0.101	72	6.47	0.66	-0.101	72	4.05	2.01	0.497	250	2.14	1.06	0.497	250

测站	测层	O1				K1				M2				S2				M4				Ms4			
		W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ
C4	表层	15.36	5.82	-0.379	344	18.61	7.05	-0.379	344	17.35	8.95	-0.516	92	7.29	3.76	-0.516	92	4.11	2.07	0.503	193	2.17	1.09	0.503	193
	0.2H	11.42	7.47	-0.654	104	13.83	9.05	-0.654	284	15.42	4.51	-0.293	99	6.48	1.90	-0.293	99	2.35	1.17	0.500	359	1.24	0.62	0.500	359
	0.4H	5.85	3.21	-0.549	263	7.08	3.89	-0.549	263	16.39	2.94	-0.179	78	6.89	1.24	-0.179	78	4.42	0.78	0.178	275	2.33	0.41	0.178	275
	0.6H	3.14	1.45	-0.463	249	3.80	1.76	-0.463	249	15.73	1.36	-0.086	66	6.61	0.57	-0.086	66	3.61	0.29	-0.081	308	1.91	0.15	-0.081	308
	0.8H	2.13	0.46	0.218	271	2.58	0.56	0.218	271	14.40	0.09	-0.006	62	6.05	0.04	-0.006	62	3.71	0.21	0.056	276	1.96	0.11	0.056	96
	底层	1.85	0.51	-0.275	254	2.24	0.61	-0.275	254	11.21	0.05	-0.004	65	4.71	0.02	-0.004	65	3.37	1.25	0.371	292	1.78	0.66	0.371	112
C5	表层	9.18	5.18	-0.564	196	11.12	6.27	-0.564	16	10.67	1.12	0.105	66	4.49	0.47	0.105	66	5.10	2.93	-0.573	259	2.69	1.54	-0.573	79
	0.2H	4.96	2.96	-0.596	5	6.01	3.58	-0.596	5	10.25	1.80	0.175	87	4.31	0.75	0.175	87	4.41	1.23	-0.280	246	2.33	0.65	-0.280	246
	0.4H	7.60	2.64	-0.347	266	9.20	3.20	-0.347	266	12.45	0.81	-0.065	78	5.24	0.34	-0.065	78	5.44	0.38	-0.070	261	2.87	0.20	-0.070	261
	0.6H	7.56	4.56	-0.603	291	9.16	5.52	-0.603	291	18.83	4.43	-0.235	83	7.92	1.86	-0.235	83	3.99	1.88	0.471	281	2.11	0.99	0.471	281
	0.8H	4.71	1.46	-0.310	284	5.71	1.77	-0.310	284	17.28	3.26	-0.189	85	7.26	1.37	-0.189	85	4.09	1.48	0.362	274	2.16	0.78	0.362	274
	底层	2.10	1.23	-0.585	95	2.54	1.49	-0.585	275	10.04	1.24	-0.124	85	4.22	0.52	-0.124	85	2.89	0.60	0.209	280	1.52	0.32	0.209	280
C6	表层	5.68	4.44	-0.782	20	6.88	5.38	-0.782	20	15.63	1.44	-0.092	57	6.57	0.60	-0.092	57	2.93	0.23	-0.079	241	1.55	0.12	-0.079	241
	0.2H	7.22	3.59	-0.496	108	8.75	4.34	-0.496	288	20.30	0.90	0.044	64	8.54	0.38	0.044	64	4.52	0.66	0.146	271	2.39	0.35	0.146	271
	0.4H	5.12	2.95	-0.577	267	6.20	3.57	-0.577	267	22.36	3.67	-0.164	68	9.40	1.54	-0.164	68	4.06	1.86	0.457	250	2.14	0.98	0.457	250
	0.6H	2.30	0.59	-0.257	277	2.78	0.72	-0.257	277	22.27	4.68	-0.210	71	9.36	1.97	-0.210	71	4.54	1.69	0.372	247	2.40	0.89	0.372	247
	0.8H	1.24	0.20	-0.164	270	1.50	0.25	-0.164	270	21.68	2.82	-0.130	71	9.11	1.19	-0.130	71	4.07	3.38	0.831	255	2.15	1.79	0.831	255
	底层	1.38	0.46	0.332	229	1.67	0.56	0.332	229	15.40	1.56	-0.101	72	6.47	0.66	-0.101	72	4.05	2.01	0.497	250	2.14	1.06	0.497	250

测站	测层	O1				K1				M2				S2				M4				Ms4			
		W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ
C7	表层	11.97	7.49	-0.626	59	14.50	9.08	-0.626	59	14.64	1.70	-0.116	74	6.16	0.71	-0.116	74	5.37	2.33	0.434	251	2.84	1.23	0.434	251
	0.2H	6.80	1.89	-0.278	310	8.24	2.29	-0.278	310	20.26	2.66	-0.131	79	8.52	1.12	-0.131	79	7.20	2.94	0.409	17	3.80	1.55	0.409	17
	0.4H	7.30	4.65	-0.637	220	8.85	5.63	-0.637	220	24.85	4.88	-0.196	78	10.45	2.05	-0.196	78	1.80	0.72	-0.399	291	0.95	0.38	-0.399	111
	0.6H	5.77	4.21	-0.729	271	6.99	5.10	-0.729	271	26.15	6.12	-0.234	70	10.99	2.57	-0.234	70	5.43	0.53	-0.098	256	2.87	0.28	-0.098	256
	0.8H	4.54	1.64	-0.361	239	5.50	1.99	-0.361	239	23.84	1.83	-0.077	79	10.02	0.77	-0.077	79	5.26	3.51	0.667	273	2.78	1.85	0.667	273
	底层	4.46	1.64	-0.368	216	5.41	1.99	-0.368	216	18.47	1.36	-0.074	76	7.76	0.57	-0.074	76	5.11	2.26	-0.442	261	2.70	1.19	-0.442	261
C8	表层	10.43	6.16	-0.591	54	12.63	7.47	-0.591	54	14.05	2.14	-0.153	82	5.91	0.90	-0.153	82	5.00	1.35	0.270	125	2.64	0.71	0.270	305
	0.2H	9.64	7.17	-0.744	42	11.68	8.69	-0.744	42	18.01	4.31	-0.239	60	7.57	1.81	-0.239	60	5.11	3.10	0.606	153	2.70	1.64	0.606	333
	0.4H	2.89	0.98	-0.340	267	3.50	1.19	-0.340	267	20.40	4.37	-0.214	61	8.57	1.84	-0.214	61	3.42	0.88	0.258	228	1.81	0.47	0.258	48
	0.6H	3.67	2.53	-0.689	247	4.45	3.06	-0.689	247	22.12	5.77	-0.261	65	9.30	2.42	-0.261	65	4.05	1.18	0.292	243	2.14	0.63	0.292	63
	0.8H	3.95	3.13	-0.795	234	4.78	3.80	-0.795	234	20.08	3.68	-0.183	63	8.44	1.55	-0.183	63	5.06	1.80	0.357	207	2.67	0.95	0.357	27
	底层	2.48	1.29	-0.521	203	3.01	1.57	-0.521	203	16.05	3.23	-0.201	61	6.75	1.36	-0.201	61	3.25	0.69	0.213	291	1.71	0.37	0.213	291
C9	表层	11.54	5.08	-0.440	336	13.98	6.15	-0.440	336	11.89	0.95	-0.080	74	5.00	0.40	-0.080	74	3.77	1.15	0.304	213	1.99	0.61	0.304	33
	0.2H	8.47	4.57	-0.539	319	10.26	5.53	-0.539	319	17.90	3.00	-0.168	60	7.52	1.26	-0.168	60	5.34	0.78	0.145	332	2.82	0.41	0.145	332
	0.4H	3.81	0.02	0.005	273	4.61	0.02	0.005	273	17.18	3.33	-0.194	60	7.22	1.40	-0.194	60	2.41	0.64	0.264	211	1.27	0.34	0.264	31
	0.6H	5.00	0.97	-0.193	273	6.06	1.17	-0.193	273	18.54	5.03	-0.271	64	7.79	2.11	-0.271	64	4.04	2.18	0.540	299	2.13	1.15	0.540	299
	0.8H	3.52	1.53	-0.434	278	4.26	1.85	-0.434	278	18.47	4.44	-0.240	64	7.76	1.87	-0.240	64	4.03	1.25	0.309	270	2.13	0.66	0.309	270
	底层	2.78	0.61	-0.220	256	3.37	0.74	-0.220	256	15.23	3.72	-0.244	59	6.40	1.56	-0.244	59	2.83	1.97	0.697	283	1.49	1.04	0.697	283

表 5.1-11b 冬季各站层主要分潮流的椭圆要素（单位：cm/s，°）

测站	测层	O1				K1				M2				S2				M4				Ms4			
		W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ
C1	表层	2.35	0.81	-0.343	287	2.85	0.98	-0.343	287	10.39	4.19	-0.403	82	4.37	1.76	-0.403	82	3.88	1.30	0.335	218	2.05	0.69	0.335	218
	0.2H	4.06	0.80	-0.196	284	4.92	0.97	-0.196	284	14.84	3.60	-0.243	75	6.24	1.52	-0.243	75	2.77	0.09	-0.033	243	1.46	0.05	-0.033	243
	0.4H	3.62	0.32	-0.089	281	4.39	0.39	-0.089	281	13.86	3.01	-0.217	88	5.83	1.26	-0.217	88	4.41	1.10	0.250	276	2.33	0.58	0.250	276
	0.6H	4.16	0.20	-0.048	275	5.05	0.24	-0.048	275	13.12	1.37	-0.105	76	5.52	0.58	-0.105	76	2.84	2.35	0.827	224	1.50	1.24	0.827	224
	0.8H	5.11	0.52	-0.101	297	6.19	0.62	-0.101	297	10.55	0.33	-0.031	84	4.44	0.14	-0.031	84	3.51	0.92	0.262	293	1.86	0.49	0.262	293
	底层	3.93	0.06	-0.014	300	4.76	0.07	-0.014	300	8.39	0.28	-0.034	84	3.53	0.12	-0.034	84	2.30	1.59	0.692	279	1.21	0.84	0.692	279
C2	表层	6.18	0.77	-0.125	286	7.49	0.93	-0.125	286	12.13	1.40	0.116	69	5.10	0.59	0.116	69	1.64	1.38	0.843	277	0.86	0.73	0.843	277
	0.2H	5.40	0.12	-0.022	281	6.54	0.14	-0.022	281	13.56	0.70	-0.051	77	5.70	0.29	-0.051	77	3.30	0.04	-0.013	280	1.74	0.02	-0.013	280
	0.4H	5.44	0.66	-0.121	284	6.59	0.80	-0.121	284	13.78	0.99	-0.072	81	5.79	0.41	-0.072	81	4.38	0.36	-0.083	244	2.31	0.19	-0.083	244
	0.6H	5.04	0.91	0.181	259	6.11	1.11	0.181	259	12.44	1.13	-0.091	76	5.23	0.48	-0.091	76	3.77	0.29	-0.077	246	1.99	0.15	-0.077	246
	0.8H	4.81	0.35	0.072	296	5.82	0.42	0.072	296	11.21	0.39	-0.034	75	4.71	0.16	-0.034	75	4.93	1.09	0.221	282	2.60	0.58	0.221	282
	底层	4.29	1.04	0.242	123	5.20	1.26	0.242	303	10.22	0.15	0.014	72	4.30	0.06	0.014	72	3.11	0.68	0.219	277	1.64	0.36	0.219	277
C3	表层	3.19	2.06	-0.645	4	3.87	2.50	-0.645	4	18.30	0.80	-0.043	68	7.69	0.33	-0.043	68	4.73	0.21	0.044	261	2.50	0.11	0.044	261
	0.2H	3.17	1.66	-0.525	55	3.84	2.01	-0.525	235	19.52	1.70	-0.087	68	8.20	0.71	-0.087	68	4.54	0.31	-0.069	241	2.40	0.16	-0.069	241
	0.4H	4.38	1.00	-0.227	84	5.31	1.21	-0.227	264	18.71	1.34	-0.072	68	7.86	0.56	-0.072	68	4.65	1.17	0.252	234	2.46	0.62	0.252	234
	0.6H	4.05	0.80	-0.199	84	4.90	0.97	-0.199	264	16.92	1.26	-0.074	70	7.11	0.53	-0.074	70	3.66	0.46	0.127	239	1.93	0.25	0.127	239
	0.8H	4.07	0.18	0.045	261	4.94	0.22	0.045	261	15.93	1.21	-0.076	71	6.69	0.51	-0.076	71	4.27	0.61	0.143	258	2.26	0.32	0.143	258
	底层	2.91	0.44	0.151	261	3.53	0.53	0.151	261	13.58	0.92	-0.068	70	5.71	0.39	-0.068	70	3.48	0.57	0.164	219	1.84	0.30	0.164	219

测站	测层	O1				K1				M2				S2				M4				Ms4			
		W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ
C4	表层	3.08	1.34	-0.436	252	3.73	1.63	-0.436	252	8.37	2.06	-0.246	62	3.52	0.86	-0.246	62	1.85	0.78	0.424	244	0.98	0.41	0.424	244
	0.2H	6.14	1.17	-0.191	282	7.44	1.42	-0.191	282	14.02	3.94	-0.281	56	5.89	1.66	-0.281	56	1.57	0.63	0.399	250	0.83	0.33	0.399	250
	0.4H	5.70	1.29	-0.227	291	6.91	1.57	-0.227	291	14.25	7.25	-0.509	53	5.99	3.05	-0.509	53	2.29	0.10	-0.044	273	1.21	0.05	-0.044	273
	0.6H	4.98	2.14	-0.430	293	6.03	2.59	-0.430	293	14.36	6.12	-0.426	57	6.03	2.57	-0.426	57	4.13	2.40	0.580	282	2.18	1.27	0.580	282
	0.8H	3.32	0.82	-0.247	297	4.03	1.00	-0.247	297	14.34	4.25	-0.296	52	6.03	1.79	-0.296	52	3.81	1.24	0.325	276	2.01	0.65	0.325	276
	底层	2.00	0.38	-0.191	308	2.43	0.46	-0.191	308	11.17	2.33	-0.208	56	4.69	0.98	-0.208	56	3.48	0.88	0.251	220	1.84	0.46	0.251	220
C5	表层	4.67	1.65	-0.353	290	5.66	2.00	-0.353	290	13.27	4.98	-0.375	58	5.58	2.09	-0.375	58	2.08	0.48	0.229	195	1.10	0.25	0.229	15
	0.2H	4.64	1.27	-0.274	292	5.62	1.54	-0.274	292	15.59	6.18	-0.396	62	6.55	2.60	-0.396	62	3.45	1.22	0.354	246	1.82	0.65	0.354	246
	0.4H	5.11	0.62	-0.121	314	6.19	0.75	-0.121	314	14.99	5.50	-0.367	60	6.30	2.31	-0.367	60	2.12	1.06	0.497	281	1.12	0.56	0.497	281
	0.6H	4.96	0.41	-0.082	312	6.01	0.49	-0.082	312	14.69	3.76	-0.256	58	6.17	1.58	-0.256	58	2.77	2.01	0.725	340	1.46	1.06	0.725	340
	0.8H	4.38	0.67	0.154	298	5.31	0.82	0.154	298	13.43	3.37	-0.251	59	5.65	1.42	-0.251	59	1.97	1.32	0.669	171	1.04	0.70	0.669	351
	底层	2.59	1.29	0.497	291	3.13	1.56	0.497	291	10.51	3.18	-0.303	65	4.42	1.34	-0.303	65	1.28	0.76	0.595	257	0.67	0.40	0.595	77
C6	表层	5.45	2.38	-0.437	271	6.60	2.88	-0.437	271	10.40	2.88	-0.277	96	4.37	1.21	-0.277	96	4.51	0.32	0.071	243	2.38	0.17	0.071	63
	0.2H	6.77	3.13	-0.463	281	8.20	3.79	-0.463	281	13.70	6.57	-0.479	65	5.76	2.76	-0.479	65	2.88	2.19	0.759	213	1.52	1.15	0.759	33
	0.4H	6.89	0.38	-0.056	291	8.35	0.47	-0.056	291	13.90	5.05	-0.363	67	5.84	2.12	-0.363	67	3.31	0.22	0.067	234	1.75	0.12	0.067	234
	0.6H	5.90	0.06	0.010	283	7.15	0.07	0.010	283	12.99	4.07	-0.314	67	5.46	1.71	-0.314	67	3.34	1.32	0.393	263	1.77	0.69	0.393	263
	0.8H	5.07	1.24	0.246	296	6.14	1.51	0.246	296	12.11	2.62	-0.216	68	5.09	1.10	-0.216	68	2.83	0.80	0.284	257	1.50	0.42	0.284	257
	底层	3.97	0.57	0.145	276	4.81	0.70	0.145	276	8.34	0.83	-0.100	66	3.51	0.35	-0.100	66	3.00	1.98	0.659	302	1.58	1.04	0.659	302

测站	测层	O1				K1				M2				S2				M4				Ms4			
		W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ	W	w	k	θ
C7	表层	5.22	1.39	-0.266	267	6.33	1.68	-0.266	267	10.83	1.02	-0.094	74	4.55	0.43	-0.094	74	4.65	0.03	0.007	269	2.46	0.02	0.007	269
	0.2H	5.94	2.91	-0.490	289	7.20	3.53	-0.490	289	15.78	3.65	-0.231	74	6.63	1.53	-0.231	74	3.84	2.79	0.727	274	2.03	1.47	0.727	274
	0.4H	6.19	1.23	-0.199	280	7.50	1.49	-0.199	280	15.58	4.29	-0.275	69	6.55	1.80	-0.275	69	4.52	0.65	0.144	280	2.39	0.34	0.144	280
	0.6H	5.46	0.97	-0.177	91	6.62	1.17	-0.177	271	15.66	4.84	-0.309	70	6.58	2.03	-0.309	70	4.37	2.22	0.507	262	2.31	1.17	0.507	262
	0.8H	4.18	0.45	0.108	84	5.06	0.55	0.108	264	12.89	2.28	-0.177	72	5.42	0.96	-0.177	72	3.79	1.02	0.269	256	2.00	0.54	0.269	256
	底层	2.85	0.15	0.054	274	3.45	0.19	0.054	274	9.57	1.77	-0.185	67	4.02	0.74	-0.185	67	3.11	2.06	0.662	234	1.64	1.09	0.662	234
C8	表层	5.56	2.18	-0.392	284	6.73	2.64	-0.392	284	13.40	5.03	-0.375	63	5.63	2.11	-0.375	63	1.39	0.55	0.399	261	0.73	0.29	0.399	261
	0.2H	5.43	0.52	-0.097	276	6.58	0.64	-0.097	276	14.81	4.98	-0.336	55	6.22	2.09	-0.336	55	4.16	1.68	0.404	267	2.20	0.89	0.404	267
	0.4H	5.90	0.82	-0.139	273	7.15	0.99	-0.139	273	15.61	4.44	-0.284	55	6.56	1.87	-0.284	55	3.47	1.25	0.360	254	1.83	0.66	0.360	254
	0.6H	5.63	1.63	-0.290	102	6.82	1.98	-0.290	282	16.53	5.36	-0.324	66	6.95	2.25	-0.324	66	3.03	1.19	0.392	268	1.60	0.63	0.392	268
	0.8H	3.45	1.01	-0.293	274	4.17	1.22	-0.293	274	15.07	3.58	-0.238	66	6.34	1.50	-0.238	66	3.55	1.59	0.447	250	1.88	0.84	0.447	250
	底层	1.84	0.12	0.064	70	2.23	0.14	0.064	250	10.29	1.84	-0.179	62	4.32	0.77	-0.179	62	2.99	1.07	0.359	214	1.58	0.57	0.359	214
C9	表层	6.04	2.77	-0.459	257	7.32	3.36	-0.459	257	9.26	2.70	-0.292	76	3.89	1.14	-0.292	76	6.54	0.01	0.002	248	3.46	0.01	0.002	248
	0.2H	6.55	1.99	-0.305	293	7.93	2.42	-0.305	293	15.37	4.74	-0.308	62	6.46	1.99	-0.308	62	4.15	2.00	0.481	277	2.19	1.05	0.481	277
	0.4H	4.97	0.80	-0.160	275	6.03	0.96	-0.160	275	16.07	4.29	-0.267	66	6.75	1.80	-0.267	66	3.17	0.29	0.091	251	1.68	0.15	0.091	251
	0.6H	4.76	0.63	-0.132	87	5.76	0.76	-0.132	267	15.98	4.71	-0.295	66	6.72	1.98	-0.295	66	2.28	0.90	0.397	238	1.20	0.48	0.397	238
	0.8H	4.73	0.22	-0.047	268	5.74	0.27	-0.047	268	13.65	1.76	-0.129	70	5.74	0.74	-0.129	70	4.03	1.41	0.349	229	2.13	0.74	0.349	229
	底层	2.81	0.90	0.321	255	3.41	1.09	0.321	255	10.64	1.81	-0.170	67	4.47	0.76	-0.170	67	3.02	1.17	0.386	221	1.59	0.62	0.386	221

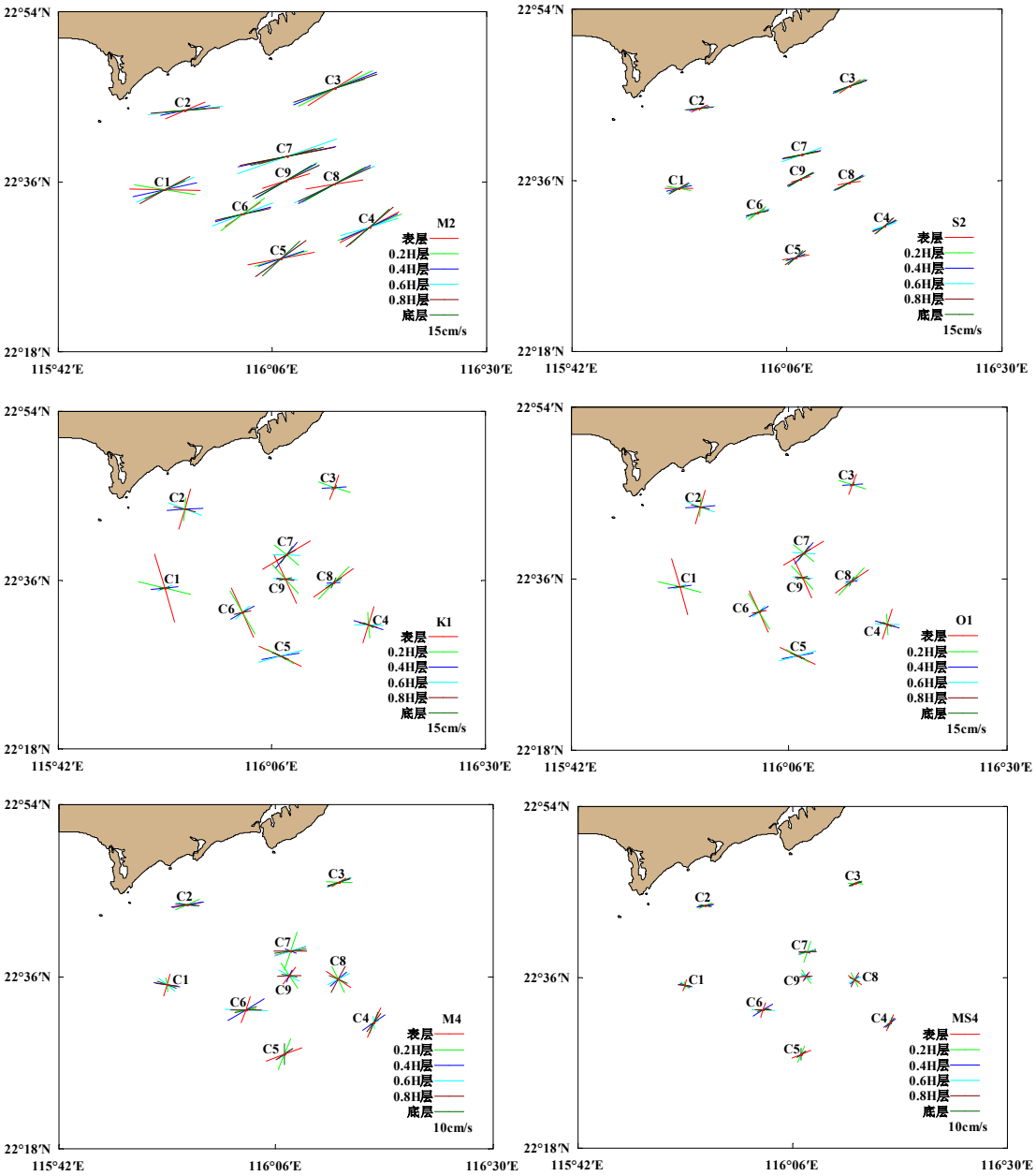
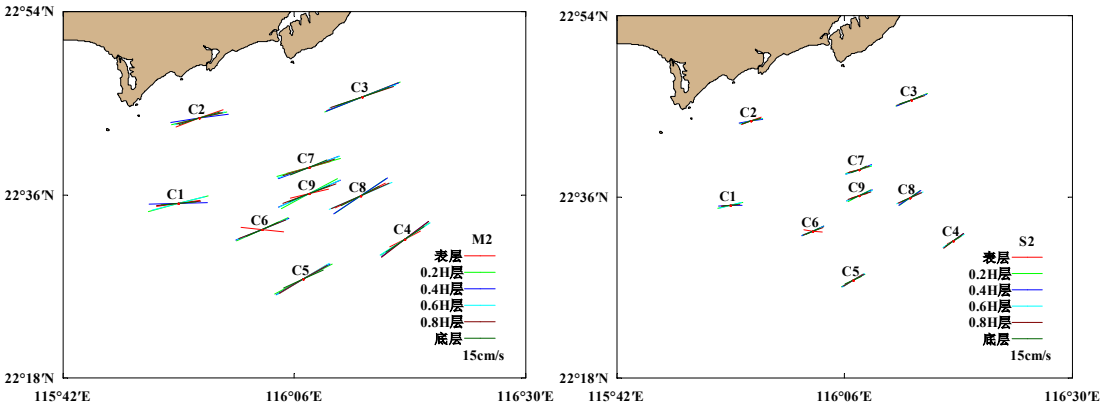


图 5.1-16a 夏季各站主要分潮的长轴分布图



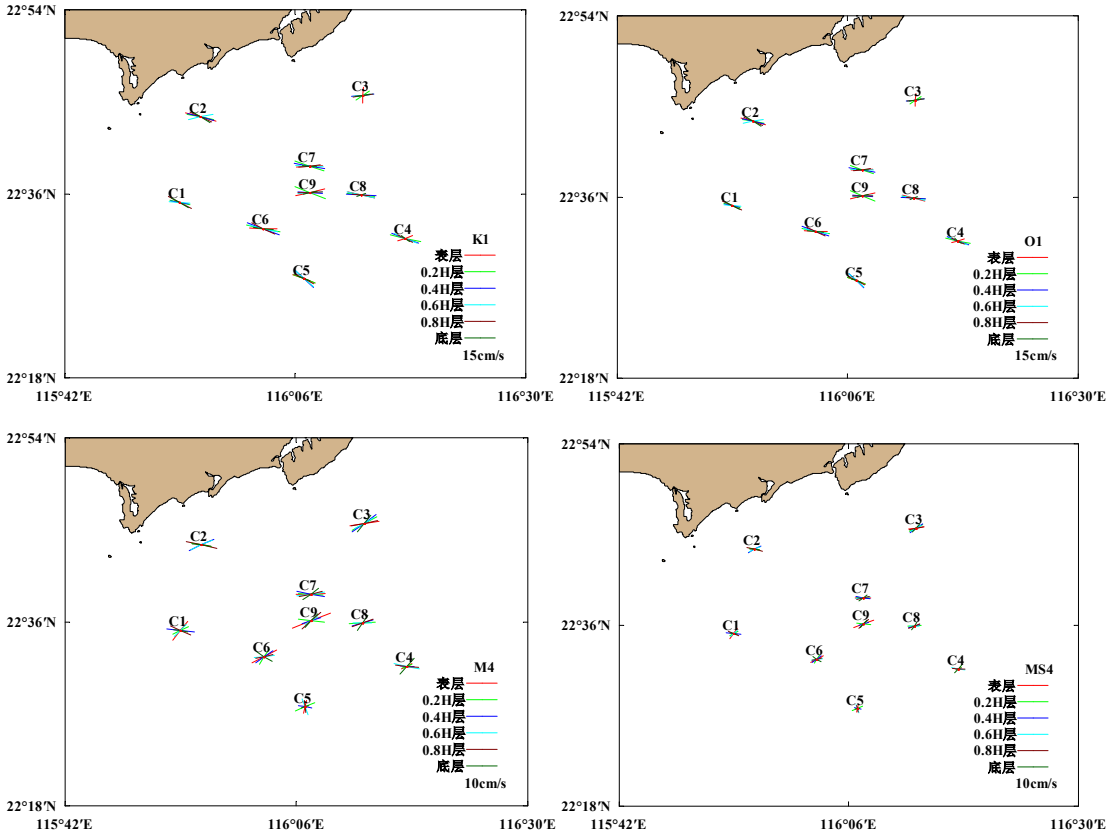


图 5.1-16b 冬季各站主要分潮的长轴分布图

（3）理论最大可能潮流

根据《海港水文规范》的规定，对于正规半日潮流的海区，最大可能潮流 Vmax 按式（A）计算；对于正规全日潮流的海区，最大可能潮流 Vmax 按式（B）计算；对于不正规半日潮流和不正规全日潮流的海区，最大可能潮流 Vmax 取式（A）和式（B）计算中的较大值：

$$\vec{V}_{MAX} = 1.295\vec{W}_{M2} + 1.245\vec{W}_{S2} + \vec{W}_{K1} + \vec{W}_{O1} + \vec{W}_{M4} + \vec{W}_{MS4} \qquad （A）$$

$$\vec{V}_{MAX} = \vec{W}_{M2} + \vec{W}_{S2} + 1.600\vec{W}_{K1} + 1.450\vec{W}_{O1} \qquad （B）$$

式中 W 为分潮流的最大流矢量。本海区内最大可能潮流流速和对应的流向受地形影响各有不同，计算结果列于表 5.1.-12 中。

夏季计算结果

（1）理论最大可能潮流流速的最大值出现在 C7 站 0.6H，为 67.9cm/s，流向为 ENE。

（2）各站层的理论最大可能潮流流速极大值，C2、C7 和 C9 站均出现在 0.6H，C3 和 C6 站出现在 0.4H，C8 站出现在 0.2H，C1、C4 和 C5 站出现在表层。流速极大值多出现在中层及以上层。

（3）各站层最大可能潮流流向与 M2 分潮的椭圆长半轴方向 WSW～ENE 基本一致，且随深度变化差异不明显。

表 5.1-12a 夏季潮流可能最大流速及流向

测层 \ 测站 / 要素		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
表层	流速(cm/s)	63.8	42.5	43.5	52.9	59.4	39.6	60.9	53.7	44.6
	流向(º)	143	32	47	42	90	134	64	64	134
0.2H	流速(cm/s)	60.5	29.6	56.3	32.2	41.6	39.6	51.5	57.5	44.3
	流向(º)	103	60	78	89	79	120	81	50	96
0.4H	流速(cm/s)	49.2	47.7	57.7	46.1	44.6	49.5	60.8	47.9	41.6
	流向(º)	82	81	71	75	77	67	70	63	64
0.6H	流速(cm/s)	38.5	55.7	52.0	41.2	48.8	47.9	67.9	54.5	48.1
	流向(º)	74	93	73	82	68	69	74	65	77
0.8H	流速(cm/s)	35.4	47.6	48.2	39.4	38.4	42.0	60.6	51.7	46.1
	流向(º)	71	91	73	58	65	80	77	57	73
底层	流速(cm/s)	28.3	27.1	37.0	31.7	29.3	31.0	49.2	36.7	37.0
	流向(º)	74	89	70	51	50	74	69	62	66
垂线平均	流速(cm/s)	39.9	37.5	47.8	36.3	37.4	39.5	54.1	43.2	40.6
	流向(º)	89	89	73	71	67	78	77	56	79

冬季计算结果：

（1）理论最大可能潮流流速的最大值出现在 C3 站 0.4H，为 50.2cm/s，对应的流向为 69°。

（2）各站层的理论最大可能潮流流速极大值，C1 站、C2 站、C3 站、C6 站和 C7 站均出现在 0.4H，C4 和 C8 站出现在 0.6H，C5 站出现在 0.2H，可见流速极大值多出现在中层及以上层。

（3）各站层最大可能潮流流向与 M2 分潮的椭圆长半轴方向 WSW～ENE 基本一致，且随深度变化差异不明显。

表 5.1-12b 冬季理论最大可能潮流流速及流向

测层 \ 测站 / 要素		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
表层	流速(cm/s)	28.0	36.5	43.6	24.8	33.3	37	38.1	36.8	40.1
	流向(º)	78	84	62	65	68	89	81	77	74
0.2H	流速(cm/s)	39.1	40.8	49.3	38.8	40.9	41.3	46	42.9	44.8

	流向(º)	80	87	65	72	73	74	86	70	82
0.4H	流速(cm/s)	39.8	42.6	50.2	37.5	35.2	42.2	47.2	44.7	44.1
	流向(º)	92	85	69	73	81	80	82	68	73
0.6H	流速(cm/s)	36.2	39.4	44.9	39.2	32.4	40.1	46.6	45.4	42.5
	流向(º)	77	75	72	77	85	80	77	78	71
0.8H	流速(cm/s)	34.5	36.6	44.4	35	30.3	35	38.3	39.7	40.6
	流向(º)	99	91	74	70	80	83	75	71	71
底层	流速(cm/s)	26.3	30.4	35.6	26.9	25.4	26.6	27.7	26.8	29.7
	流向(º)	97	90	68	62	75	84	71	59	65
垂线平均	流速(cm/s)	34.9	37.9	45.6	34.2	33.8	38	41.6	40.3	40.9
	流向(º)	87	84	70	71	75	80	79	71	73

5.1.2.6 余流

余流通常指实测海流资料中除去周期性流动(天文潮)之外，剩余的部分流动．其中包括潮汐余流、风海流和密度流等非周期性流动。调查海区各潮期的余流流速及流向列于表 5.1-13。图 5.1-17 为各潮期余流平面分布图。从图和表中，可以看到以下特点：

夏季

（1）调查海域各站海流呈现出略带旋转流特征，受岸线的影响，主要流向为 NE 向。从表层到底层，中底层各层海流形态较为相似，全潮期海流方向主导为 NE，其次为 E；各站各层实测海流半日潮流特征不显著，观测期海流以沿岸流为主。

（2）小潮观测期间最大流速为 107.4cm/s，其次为 105.5cm/s，最大和最小平均流速分别为 82.0cm/s 和 6.8cm/s；中潮观测期间最大流速 76.4cm/s，其次为 74.2cm/s，最大和最小平均流速分别为 50.3cm/s 和 8.7cm/s；大潮观测期间最大流速为 104.5cm/s，其次为 61.3cm/s，最大和最小平均流速分别为 49.0cm/s 和 11.3cm/s。小潮期各站落潮流速普遍大于涨潮流速，中、大潮期则相反。

（3）调查海域观测期的潮流类型主要为不正规半日潮流，潮流运动形式以旋转流运动为主。潮流主要以 M2 和 K1 分潮流为主，其次是 O1 和 S2，浅水分潮流 M4 和 MS4 的量值相对较小。各站层的分潮流运动方向主要为 SW～NE。理论最大可能潮流流速的最大值出现在 C7 站 0.6H，为 67.9cm/s，流向为 ENE。最大可能潮流流速极大值多出现在中层及以上层，各站层最大可能潮流流向与 M2 分潮的椭圆长半轴方向 WSW～ENE 基本一致，且随深度变化差异不明显。

（4）调查海域观测期的余流主要介于 0.6cm/s～81.3cm/s。小、中、大潮期各站的余流最大值分别为 81.3cm/s、49.4cm/s 和 47.5cm/s，分别出现在 C4 站表层、C4 站 0.2H 和 C4 站表层。底层余流流速比其余各层流速小。观测期余流具有风海流的性质。小潮期各站各层的余流方向，除了 C2 和 C7 站主要为 SE 外，其余各站主要为 NE；中、大潮期各站各层的余流方向，除了个别站出现 SE 及 E 外，大部分站层余流方向主要为 NE。

（5）观测期的海流以潮流和风海流为主，尤其是小潮和中潮，海流可能最大流速可取潮流可能最大流速与风海流可能最大流速的矢量和，故会出现实测最大流速要大于理论最大可能潮流流速的情况。

表 5.1-13a 夏季各潮期的余流流速及流向（流速：cm/s，流向：°）

测站	测层	小潮		中潮		大潮	
		流速	流向	流速	流向	流速	流向
C1	表层	73.9	84	12.6	14	23.7	81
	0.2H	61.1	62	29.0	83	21.5	87
	0.4H	45.1	59	8.5	112	9.5	61
	0.6H	27.3	63	6.5	110	5.7	82
	0.8H	22.2	60	7.3	83	4.8	48
	底层	16.9	63	6.0	89	3.6	78
C2	表层	38.1	97	13.3	359	8.0	71
	0.2H	31.8	99	8.6	53	10.4	84
	0.4H	17.4	97	5.4	211	6.4	27
	0.6H	14.6	88	8.2	243	0.6	106
	0.8H	12.2	70	2.1	167	2.4	129
	底层	5.3	44	1.7	120	1.8	109
C3	表层	29.1	83	19.9	22	21.9	106
	0.2H	19.2	77	20.5	85	8.8	48
	0.4H	15.2	73	2.0	258	5.1	15
	0.6H	12.1	74	1.7	192	4.0	40
	0.8H	10.6	65	1.6	81	5.1	54
	底层	7.0	65	1.5	117	4.4	56
C4	表层	81.3	89	34.3	62	47.5	99
	0.2H	68.0	83	49.4	70	46.0	84
	0.4H	52.9	87	37.1	74	34.6	74
	0.6H	36.9	83	14.1	84	21.0	70
	0.8H	31.0	62	8.2	87	9.0	50

测站	测层	小潮		中潮		大潮	
		流速	流向	流速	流向	流速	流向
	底层	22.2	62	6.5	92	5.9	57
C5	表层	72.1	79	32.9	61	34.1	80
	0.2H	63.1	78	47.4	74	43.2	72
	0.4H	52.4	77	43.7	87	32.7	70
	0.6H	44.9	77	18.0	89	20.8	64
	0.8H	30.5	58	9.4	96	11.8	48
	底层	21.0	50	7.4	104	6.1	39
C6	表层	69.7	73	19.7	57	19.0	71
	0.2H	63.1	85	37.4	71	32.8	81
	0.4H	58.8	89	13.1	91	22.9	63
	0.6H	31.7	86	5.3	113	11.4	79
	0.8H	18.1	60	6.7	113	6.4	44
	底层	12.0	57	5.5	117	4.5	46
C7	表层	66.5	103	30.6	63	28.8	84
	0.2H	55.3	108	29.5	105	24.3	72
	0.4H	40.7	112	3.9	126	11.5	70
	0.6H	29.8	111	4.1	11	6.8	58
	0.8H	25.2	103	1.9	98	6.4	37
	底层	20.9	115	2.5	113	5.5	59
C8	表层	72.0	88	31.2	55	30.0	90
	0.2H	63.5	89	37.0	64	36.4	77
	0.4H	41.0	84	17.0	69	16.8	64
	0.6H	26.0	72	4.8	64	7.4	49
	0.8H	23.3	79	3.1	106	6.5	33
	底层	18.5	78	3.3	72	4.3	9
C9	表层	73.8	95	13.8	340	26.6	94
	0.2H	58.2	93	26.2	84	29.8	74
	0.4H	36.2	83	9.4	99	17.2	52
	0.6H	25.0	75	5.4	157	8.6	61
	0.8H	21.2	79	5.5	133	6.2	57
	底层	18.0	74	4.8	138	6.2	38

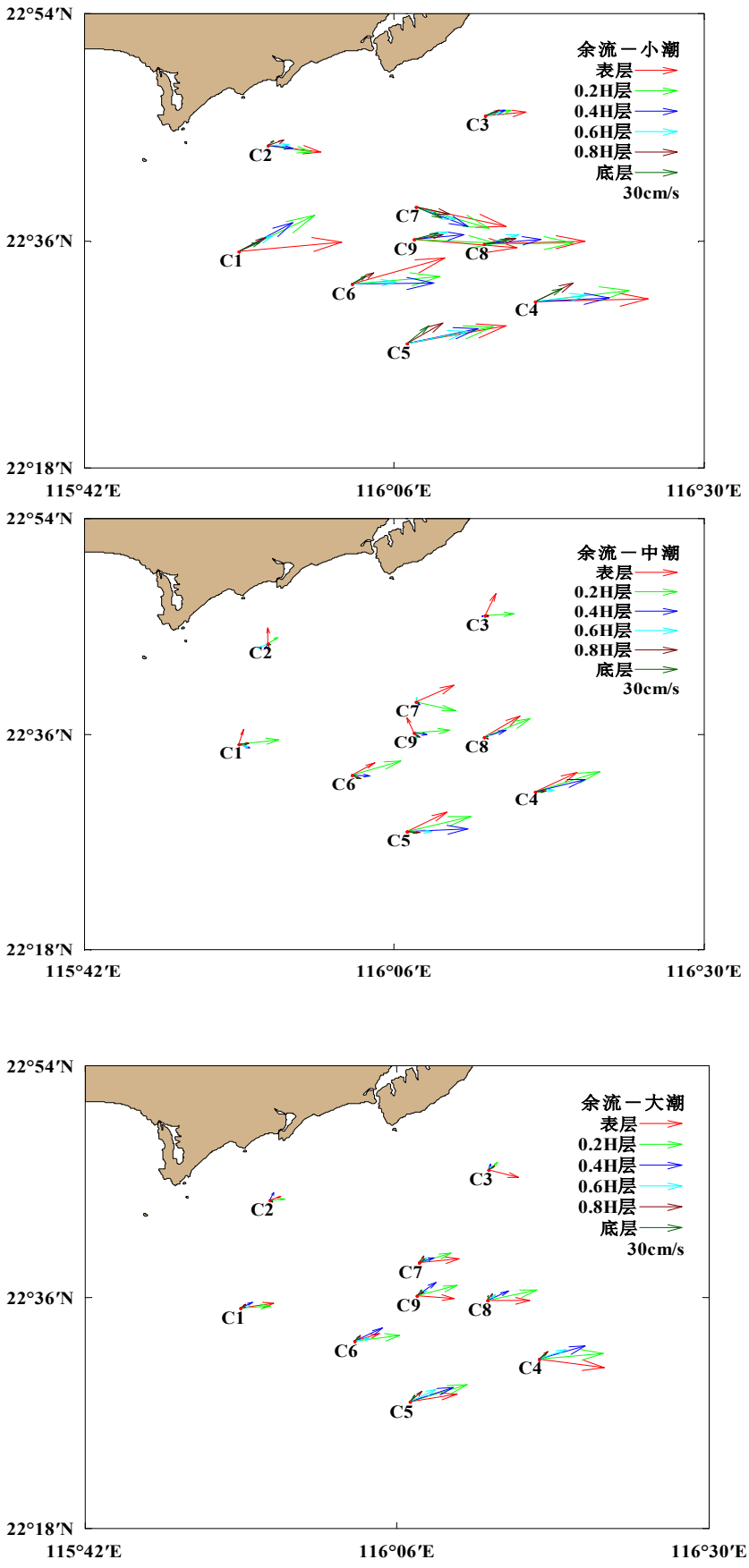


图 5.1-17a 夏季各潮期余流平面分布图

冬季：

（1）调查海域各站海流呈现出略带旋转的往复流特征，中层较为显著，主要流向为 WSW-ENE，表层流主要表现为 WSW 沿岸流。从表层到底层，中底层海流形态较为相似。除表层外，各站层实测海流主要呈现不正规半日潮流特征。

（2）小潮观测期间最大流速为 63.3cm/s，其次为 62.3cm/s，最大和最小平均流速分别为 26.6cm/s 和 12.8cm/s；中潮观测期间最大流速 60.7cm/s，其次为 58.0cm/s，最大和最小平均流速分别为 25.5cm/s 和 10.8cm/s；大潮观测期间最大流速为 68.9cm/s，其次为 66.8cm/s，最大和最小平均流速分别为 30.0cm/s 和 10.9cm/s。小潮期各站落潮流速普遍大于涨潮流速，中、大潮期则相反。

（3）调查海域观测期的潮流类型主要为不正规半日潮流，潮流运动形式以略带旋转的往复流为主。潮流主要以 M2 和 K1 分潮流为主，其次是 S2 和 O1，浅水分潮流 M4 和 MS4 的量值相对较小。各站层的分潮流运动方向主要为 WSW-ENE。理论最大可能潮流流速的最大值出现在 C3 站 0.4H，为 50.2cm/s，对应的流向为 69°。理论最大可能潮流流速极大值多出现在中层及以上层，各站层最大可能潮流流向与 M2 分潮的椭圆长半轴方向 WSW～ENE 基本一致，且随深度变化差异不明显。

（4）调查海域观测期的余流主要介于 0.9cm/s～27.6cm/s。小、中、大潮期各站的余流最大值分别为 25.2cm/s、22.7cm/s 和 27.6cm/s，分别出现在 C4 站表层、C8 站表层和 C2 站表层。底层余流流速比其余各层流速小。小潮期各站各层的余流方向主要为 WSW，中潮期大部分站层的余流方向主要为 NNE~WSW，大潮期大部分站层余流方向主要为 NNE~NW 范围。

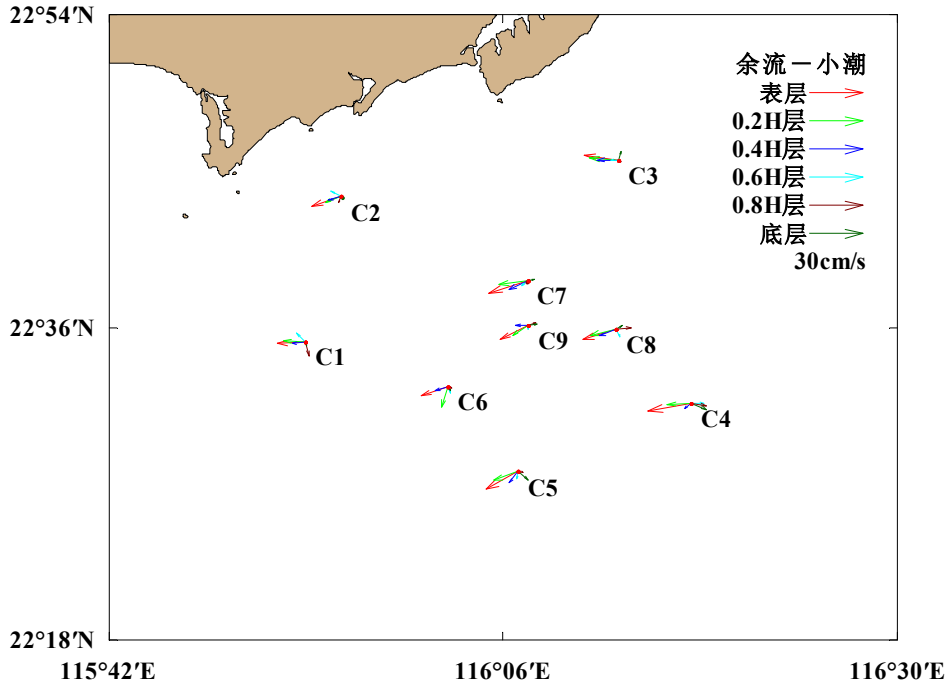
（5）观测期的海流以潮流和风海流为主，海流可能最大流速可取潮流可能最大流速与风海流可能最大流速的矢量和，故会出现实测最大流速要大于理论最大可能潮流流速的情况。

表 5.1-13b 冬季各潮期的余流流速及流向（流速：cm/s，流向：°）

测站	测层	小潮		中潮		大潮	
		流速	流向	流速	流向	流速	流向
C1	表层	15.8	267	14.5	268	6.6	288
	0.2H	12.1	272	9.0	266	4.5	22
	0.4H	7.5	262	7.4	295	4.2	36
	0.6H	7.2	317	5.7	320	4.7	13

测站	测层	小潮		中潮		大潮	
		流速	流向	流速	流向	流速	流向
	0.8H	8.0	166	3.6	356	4.4	20
	底层	2.2	163	4.9	2	2.1	26
C2	表层	17.3	252	7.6	247	27.6	260
	0.2H	9.8	251	5.5	260	16.3	249
	0.4H	7.9	254	3.8	307	9.6	272
	0.6H	6.5	297	1.5	354	6.1	282
	0.8H	3.8	204	2	58	3.8	342
	底层	0.9	138	1.6	86	3.2	347
C3	表层	19.7	278	19	285	14.7	19
	0.2H	16.6	273	17.9	286	16.8	35
	0.4H	12.2	270	8.7	290	14.4	55
	0.6H	4.8	270	2.8	278	7.8	62
	0.8H	1.7	129	3.4	131	5.9	53
	底层	5.1	13	3.6	94	6.4	61
C4	表层	25.2	259	17.6	244	14.9	294
	0.2H	13.7	267	11.8	265	20	359
	0.4H	5.3	232	8.8	290	13.5	13
	0.6H	6.6	91	8.1	343	8.5	8
	0.8H	8.6	103	10.6	9	6.8	322
	底层	9.4	114	8.1	11	3.4	286
C5	表层	20.3	240	6.2	306	14.6	316
	0.2H	14.5	250	5.2	5	17.6	342
	0.4H	8.2	219	9	7	11.7	349
	0.6H	4.2	188	11.2	18	5.2	327
	0.8H	2.7	95	10.7	22	6.5	237
	底层	7.4	129	11.5	26	5.4	186
C6	表层	16.4	251	19.6	249	13.8	283
	0.2H	12.8	199	15.9	268	17.1	347
	0.4H	7.7	249	11.3	287	8.0	357
	0.6H	4.1	161	5.0	300	4.0	296
	0.8H	1.9	118	6.2	345	4.7	209
	底层	2.7	151	6.9	348	2.3	205
C7	表层	23.0	252	14.5	270	8.3	310
	0.2H	16.4	261	16.3	313	20.6	16
	0.4H	11.6	242	13.4	326	12.1	27
	0.6H	4.4	229	5.8	359	4.2	358

测站	测层	小潮		中潮		大潮	
		流速	流向	流速	流向	流速	流向
	0.8H	1.4	213	4.2	65	2.4	221
	底层	3.9	85	4.3	73	2.4	205
C8	表层	19.5	252	22.7	249	17.7	353
	0.2H	14.3	256	14.9	257	19.4	11
	0.4H	9.8	246	7.5	327	12.1	28
	0.6H	5.3	151	12	8	4.9	8
	0.8H	8.6	87	12.3	34	4.4	276
	底层	4.2	61	10	29	4.7	205
C9	表层	18.2	243	10.8	267	11.4	318
	0.2H	10.8	239	10.5	309	20.7	7
	0.4H	7.3	271	7.7	329	13.6	15
	0.6H	2.1	199	7.1	13	5.5	352
	0.8H	4.3	71	7.4	25	4.6	241
	底层	4.4	78	5.4	56	5.3	194



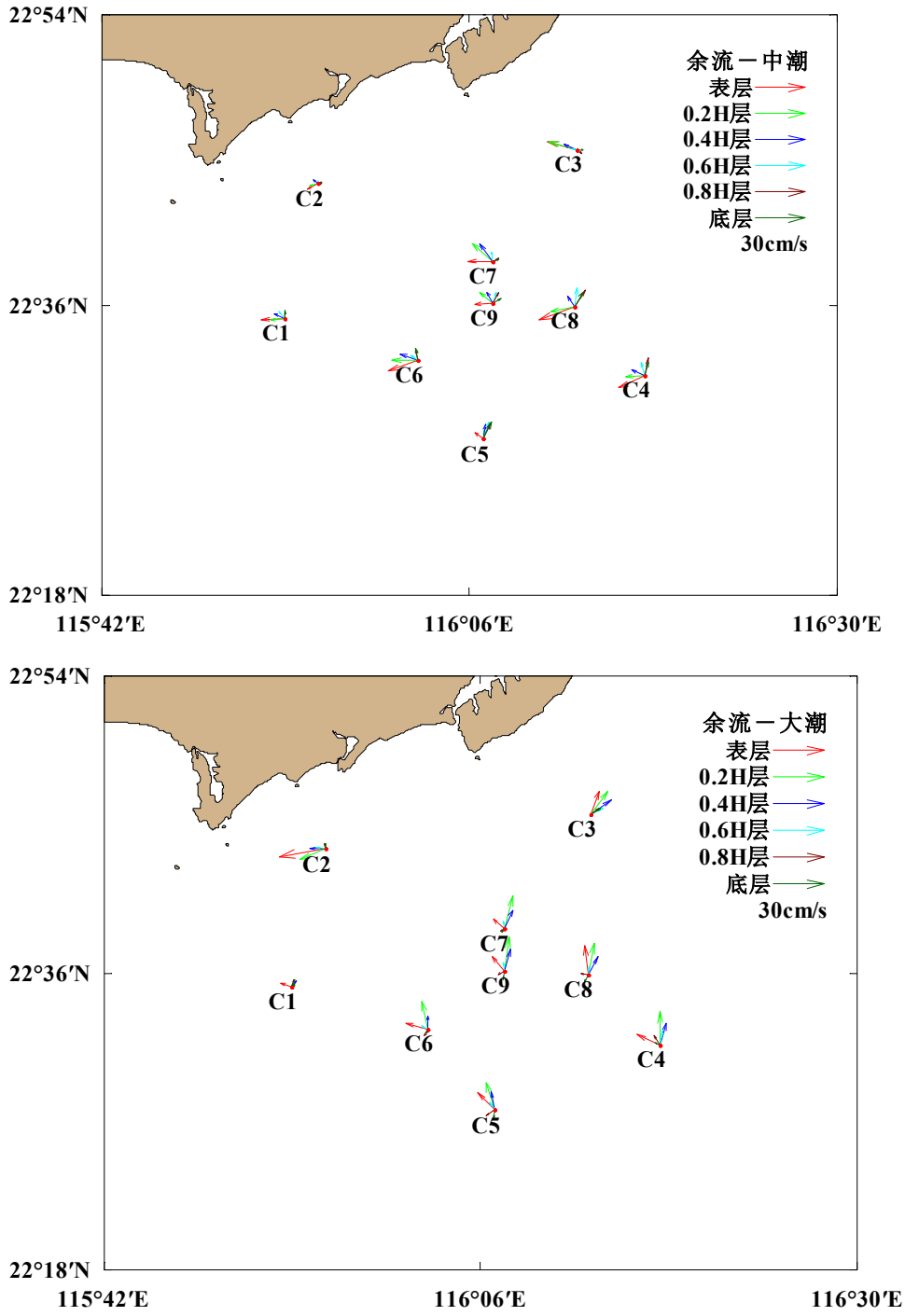


图 5.1-17b 冬季各潮期余流平面分布图

5.1.3 海水温度

本次海水温度观测一共设 9 个站，每个站观测六层，即表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H 和底层，H 为瞬时水深。本章通过以上资料对该海域的海水温度的分布特征作如下分析。

5.1.3.1 海水温度垂向分布特征

表 5.1-14～表 5.1-18 是小、中、大潮期各站位各个垂向分层的平均水温。

夏季：

从表 5.1-14a～表 5.1-16a 中可以看出，小潮期平均水温为 24.81℃，中潮期平均水温最高，为 24.97℃，大潮期平均水温最低，为 24.03℃；小潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均水温分别为 28.95℃、22.83℃、21.87℃；中潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均水温分别为 30.50℃、21.91℃、21.54℃；大潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均水温分别为 27.40℃、22.27℃、21.63℃；整体上来说大、中、小潮期间，表层平均水温高于 0.6H 层和底层，0.6H 层水温和底层水温相差不大，大潮期水温最低，中潮期和小潮期水温相当。小潮期 C3 站平均水温最低，为 22.82℃，C5 站平均水温最高，为 26.63℃；表层、0.2H 层和 0.4H 层平均水温最低的为 C3 站，0.6H 层最低的为 C2 站，0.8H 层和底层最低的为 C1 站。中潮期 C7 站平均水温最低，为 24.30℃，C5 站平均水温最高，为 25.80℃，各站平均水温相差不大；表层平均水温最低的为 C2 站，0.2H 层和 0.4H 层最低的为 C7 站，0.6H 层和 0.8H 层最低的为 C8 站，底层最低的为 C6 站。大潮期 C3 站平均水温最低，为 23.20℃，C4 站平均水温最高，为 25.36℃；表层、0.2H 层和 0.4H 层平均水温最低的为 C3 站，0.6H 层和 0.8H 层最低的为 C1 站，底层最低的为 C3 站。

总体而言，小潮期水温从表层到底层逐渐降低，表底层最大温度差为 8.30℃，最小温度差为 4.31℃；除去 C3 站表层周日变化明显，其余各站的表层和 0.2H 层周日变化均不明显；各站的周日变化主要体现在 0.4H 层和 0.6H 层；所有站的 0.8H 层和底层几乎不变；中潮期水温从表层到底层逐渐降低，表底层最大温度差为 9.39℃，最小温度差为 7.94℃；各站的 0.2H 层和 0.4H 层水温周日变化明显，所有站的 0.8H 层和底层几乎不变；水温存在明显的分层；大潮期水温从表层到底层逐渐降低，表底层最大温度差为 7.14℃，最小温度差为 3.41℃；各站的周日变化主要体现在 0.2H 层和 04H 层；所有站的 0.8H 层和底层几乎不变。

冬季：

从表 5.1-12b-5.1-14b 中可以看出，小潮期平均水温为 18.19℃，中潮期平均水温最低，为 17.63℃，大潮期平均水温最高，为 21.05℃；小潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均水温分别为 18.02℃、18.09℃、18.61℃；中潮期各站表层、0.6H

层和底层的平均水温分别为17.56℃、17.64℃、17.71℃；大潮期各站表层、0.6H层和底层的平均水温分别为21.56℃、20.97℃、20.40℃。整体上来除去大潮表层的平均水温高于其它层，小、中潮期间表层和0.6H层的平均水温低于底层，表层、0.6H 层和底层水温均相差不大，大潮期水温最高，中潮期和小潮期水温相当。小潮期C2站平均水温最低，为17.39℃，C5站平均水温最高，为20.11℃；表层、0.2H层、0.4H层和0.6H层的平均水温最低的为C2站，0.8H层和底层最低的为C3站。中潮期C2站平均水温最低，为17.10℃，C4站平均水温最高，为18.35℃，各站平均水温相差不大；各层平均水温最低的均为C2站，各层平均水温最高的均为C4站。大潮期C2站平均水温最低，为17.69℃，C4站平均水温最高，为22.86℃，各层平均水温最低的均为C2站。

总体而言，除去近岸的两个站，小潮期水温从表层到底层逐渐升高，表底层最大温度差为1.48℃，最小温度差为0.13℃；除去C1和C2站表层周日变化明显，其余各站的表层和0.2H层周日变化均不明显；各站的周日变化主要体现在0.6H层和0.8H层；中潮期水温从表层到底层逐渐升高，各站的表底层温度差不大，最大温度差仅为0.30℃，各站的水温也较为接近；各站各层水温的周日变化不明显，所有站的0.8H层和底层几乎一致，水温分层不明显；大潮期水温从表层到底层逐渐降低，表底层最大温度差为2.86℃，最小温度差为0.05℃；各站的周日变化主要体现在0.4H层和06H层；所有站的0.8H层和底层几乎不变，水温存在一定的分层。

表5.1-14a 夏季小潮观测期间各站平均水温垂向分布（℃）

层次 站名	表层	0.2H层	0.4H层	0.6H层	0.8H层	底层	平均
C1	29.61	28.35	25.56	22.07	21.32	21.31	24.70
C2	26.77	25.06	22.70	21.74	21.65	21.64	23.26
C3	26.12	23.43	21.94	21.82	21.81	21.81	22.82
C4	29.99	29.54	28.50	23.79	22.56	22.56	26.16
C5	30.32	29.84	29.33	25.88	22.38	22.05	26.63
C6	30.03	29.39	28.56	24.04	21.81	21.77	25.93
C7	28.80	26.67	23.89	21.90	21.68	21.68	24.10
C8	29.53	28.37	25.67	22.17	22.10	22.10	24.99
C9	29.36	27.84	24.86	22.04	21.91	21.92	24.66
平均	28.95	27.61	25.67	22.83	21.91	21.87	24.81

表5.1-15a 夏季中潮观测期间各站平均水温垂向分布（℃）

层次 站名	表层	0.2H层	0.4H层	0.6H层	0.8H层	底层	平均

C1	30.43	28.18	23.50	21.74	21.41	21.41	24.44
C2	29.85	29.02	26.58	23.12	21.98	21.90	25.41
C3	30.23	28.65	22.88	21.58	21.56	21.56	24.41
C4	30.68	30.11	26.97	22.08	21.77	21.77	25.56
C5	30.60	30.32	27.86	22.71	21.65	21.65	25.80
C6	30.71	30.24	24.61	21.56	21.34	21.34	24.97
C7	30.56	27.53	23.34	21.55	21.42	21.42	24.30
C8	30.82	30.52	25.82	21.45	21.43	21.43	25.24
C9	30.66	29.08	23.48	21.41	21.35	21.36	24.56
平均	30.50	29.30	25.00	21.91	21.54	21.54	24.97

表 5.1-16a 夏季大潮观测期间各站平均水温垂向分布（℃）

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	27.32	25.83	23.32	21.65	21.23	21.22	23.43
C2	25.73	25.11	23.24	21.98	21.86	21.85	23.30
C3	25.62	24.23	22.69	22.26	22.22	22.21	23.20
C4	28.89	29.05	26.82	23.54	21.96	21.93	25.36
C5	28.90	28.99	27.16	23.51	21.80	21.76	25.35
C6	27.81	27.23	25.10	22.15	21.25	21.24	24.13
C7	27.17	26.44	23.15	21.71	21.55	21.55	23.60
C8	27.55	27.09	24.15	21.86	21.53	21.54	23.95
C9	27.57	27.23	24.29	21.78	21.39	21.39	23.94
平均	27.40	26.80	24.44	22.27	21.64	21.63	24.03

表 5.1-14b 冬季小潮观测期间各站平均水温垂向分布（℃）

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	17.99	17.85	17.82	17.77	17.82	17.80	17.84
C2	17.49	17.42	17.37	17.35	17.35	17.36	17.39
C3	17.38	17.36	17.30	17.33	17.45	17.50	17.39
C4	18.47	18.54	18.65	18.84	19.10	19.19	18.80
C5	19.51	19.57	19.99	20.27	20.57	20.75	20.11
C6	17.94	17.96	17.89	17.85	18.35	19.42	18.24
C7	17.69	17.66	17.65	17.68	17.89	18.22	17.80
C8	17.78	17.76	17.76	17.88	18.73	18.80	18.12
C9	17.87	17.83	17.81	17.82	18.31	18.50	18.02
平均	18.02	17.99	18.02	18.09	18.40	18.61	18.19

表 5.1-15b 冬季中潮观测期间各站平均水温垂向分布（℃）

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	17.42	17.43	17.45	17.47	17.49	17.50	17.46
C2	17.11	17.11	17.10	17.10	17.10	17.10	17.10
C3	17.38	17.37	17.31	17.38	17.44	17.49	17.40
C4	18.21	18.23	18.28	18.37	18.47	18.52	18.35

C5	17.85	17.87	17.93	17.99	18.06	18.09	17.97
C6	17.61	17.63	17.67	17.69	17.71	17.72	17.67
C7	17.43	17.44	17.46	17.50	17.54	17.56	17.49
C8	17.47	17.51	17.61	17.67	17.73	17.77	17.63
C9	17.55	17.56	17.58	17.60	17.64	17.67	17.60
平均	17.56	17.57	17.60	17.64	17.69	17.71	17.63

表 5.1-16b 冬季大潮观测期间各站平均水温垂向分布（℃）

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	19.38	19.33	19.32	19.32	19.32	19.32	19.33
C2	17.90	17.78	17.58	17.57	17.64	17.66	17.69
C3	21.23	21.20	20.89	19.53	18.30	18.38	19.92
C4	23.25	23.25	23.19	23.00	22.30	22.15	22.86
C5	22.61	22.61	22.50	22.34	21.96	21.79	22.30
C6	22.00	21.98	21.77	21.36	21.03	21.01	21.53
C7	22.30	22.31	22.07	21.45	20.75	20.72	21.60
C8	22.93	22.92	22.74	22.29	21.73	21.48	22.35
C9	22.48	22.48	22.31	21.91	21.16	21.06	21.90
平均	21.56	21.54	21.37	20.97	20.47	20.40	21.05

5.1.3.2 海水温度水平分布特征

夏季：

（1）小潮期平均水温为 24.81℃，中潮期平均水温最高，为 24.97℃，大潮期平均水温最低，为 24.03℃。整体上来说大、中、小潮期间表底层水温差异较大，水温存在较明显的分层。

（2）小潮期间表底层平均温度差最大值为 8.30℃，发生在 C1 站，最小值为 4.31℃，发生在 C3 站。中潮期间表底层平均温度差最大值为 9.39℃，发生在 C8 站，最小值为 7.94℃，发生在 C2 站。大潮期间表底层平均温度差最大值为 7.14℃，发生在 C5 站，最小值为 3.41℃，发生在 C3 站。

（3）从空间分布上来讲，表、中、底层温度大部分是从岸边向外海逐渐增大，近岸 C2、C3 站平均温度最低，外海的 C4、C5 站平均温度较高；各站表层平均温度在 25.62℃～30.82℃之间，中层平均温度在 21.41℃～25.88℃之间，底层平均温度分布范围是 21.22℃～22.56℃。

图 5.1-18a—5.1-20a 是夏季各潮期海水温度表、0.6H、底层平面分布图。

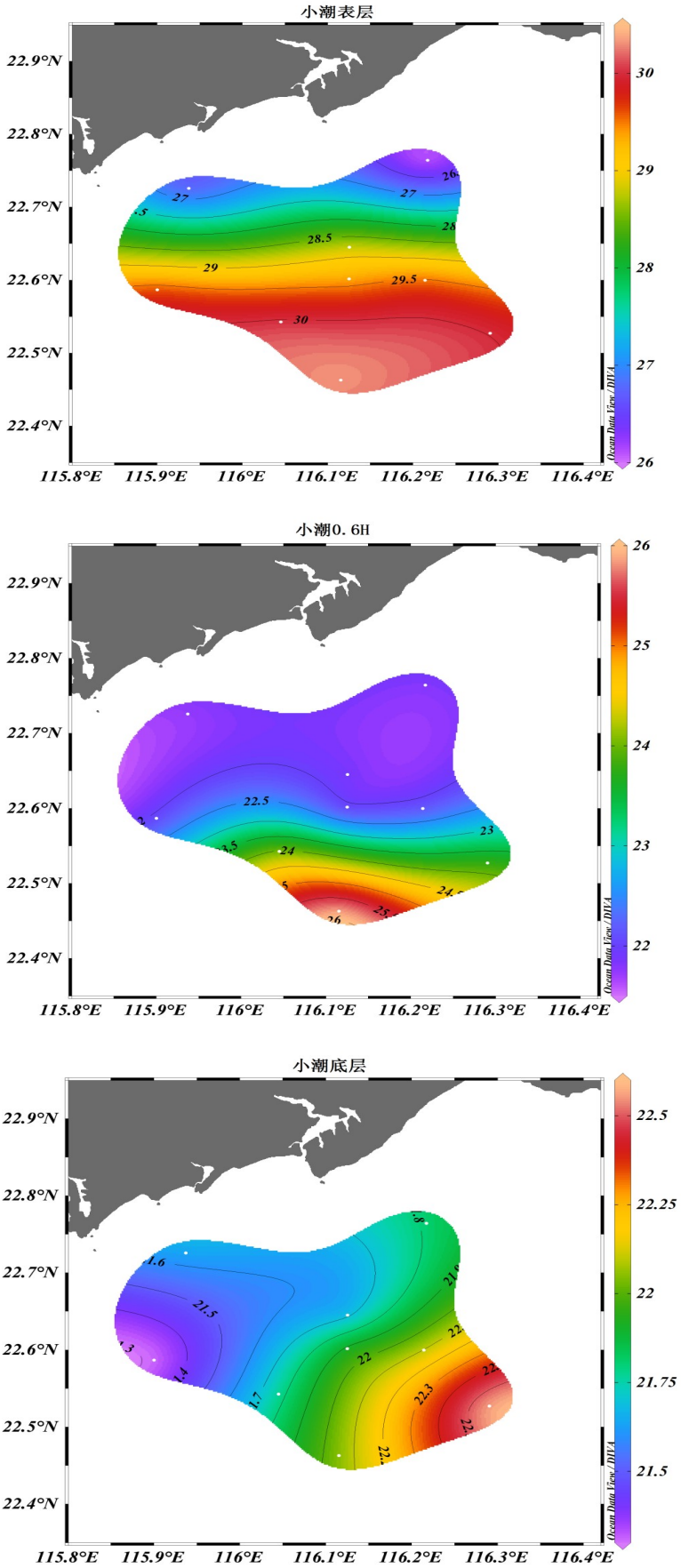


图 5.1-18a 夏季小潮期海水温度表、0.6H、底层平面分布图

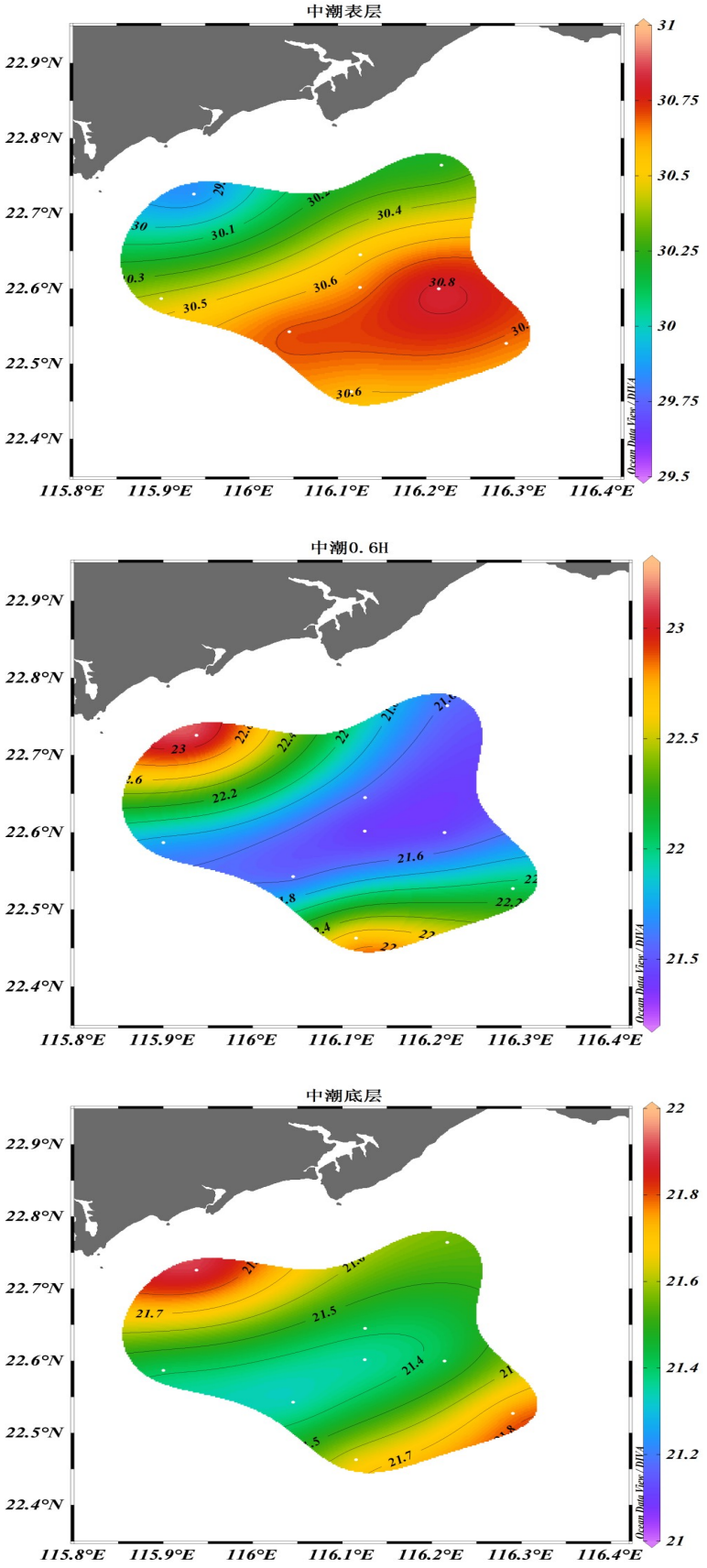


图 5.1-19a 夏季中潮期海水温度表、0.6H、底层平面分布图

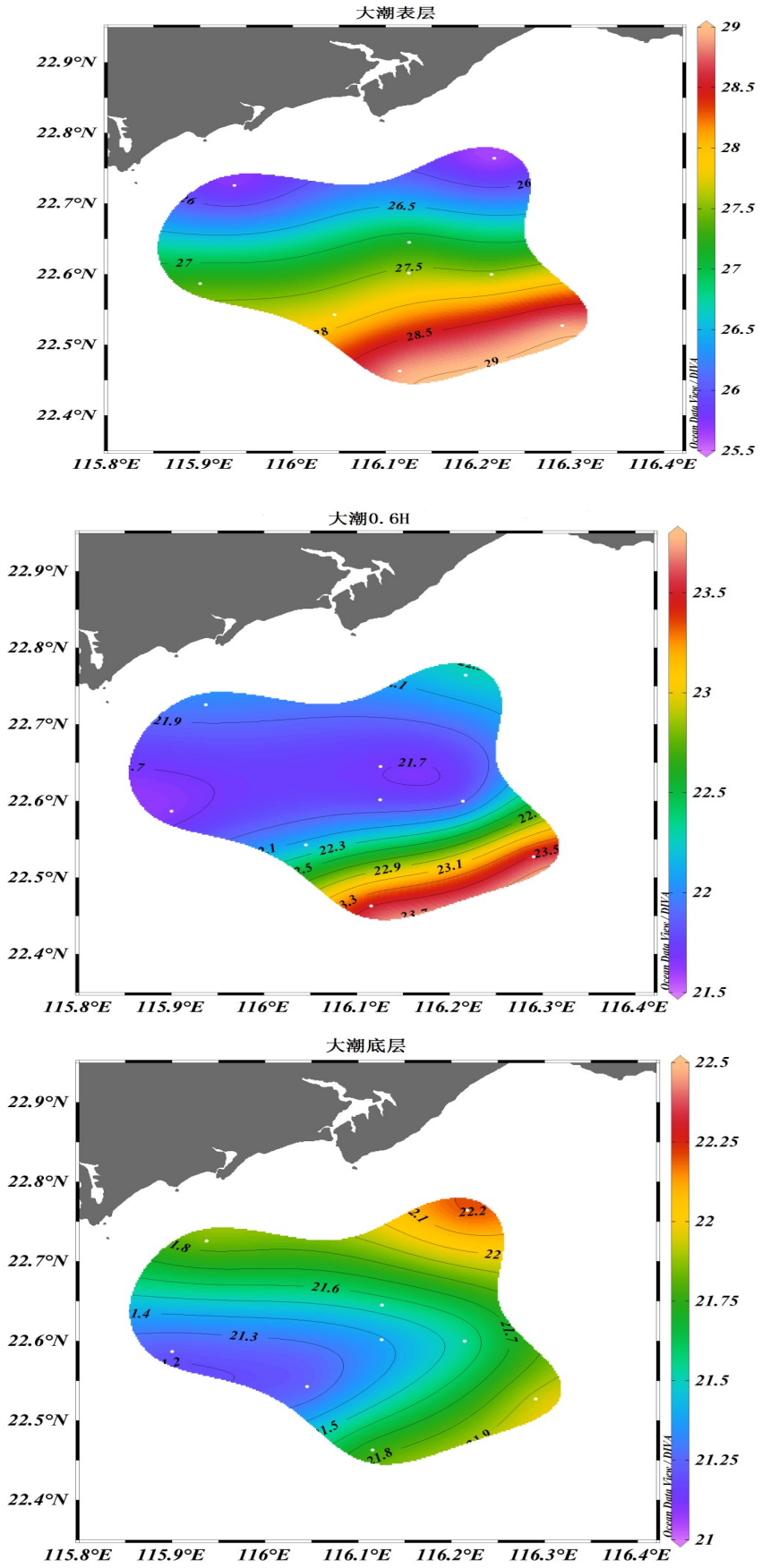


图 5.1-20a 夏季大潮期海水温度表、0.6H、底层平面分布图

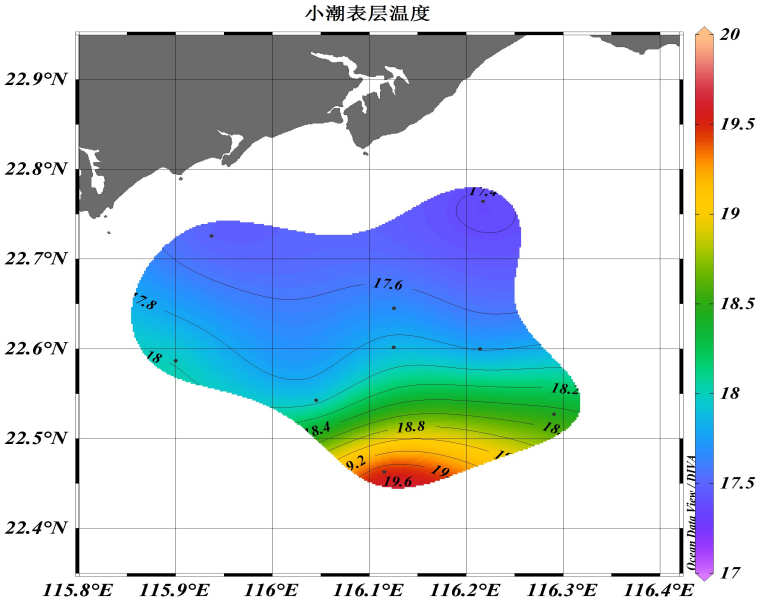
冬季：

（1）小潮期平均水温为 18.19℃，中潮期平均水温最低，为 17.63℃，大潮期平均水温最高，为 21.05℃。整体上来说小、中、大潮期间表底层水温差异较不大，水温分层不明显。

（2）小潮期间表底层平均温度差最大值为 1.48℃，发生在 C6 站，最小值为 0.13℃，发生在 C2 站。中潮期间表底层平均温度差最大值为 0.30℃，发生在 C4 站，最小值为 0.01℃，发生在 C2 站，中潮各站各层水温相差不大。大潮期间表底层平均温度差最大值为 2.86℃，发生在 C3 站，最小值为 0.05℃，发生在 C1 站。

（3）从空间分布上来讲，表、中、底层温度大部分是从岸边向外海逐渐增大，近岸 C2、C3 站平均温度最低，外海的 C4、C5 站平均温度较高；各站表层平均温度在 17.11℃～23.25℃之间，中层平均温度在 17.10℃～23.00℃之间，底层平均温度分布范围是 17.10℃～22.15℃。

图 5.1-18b—5.1-20b 是冬季各潮期海水温度表、0.6H、底层平面分布图。



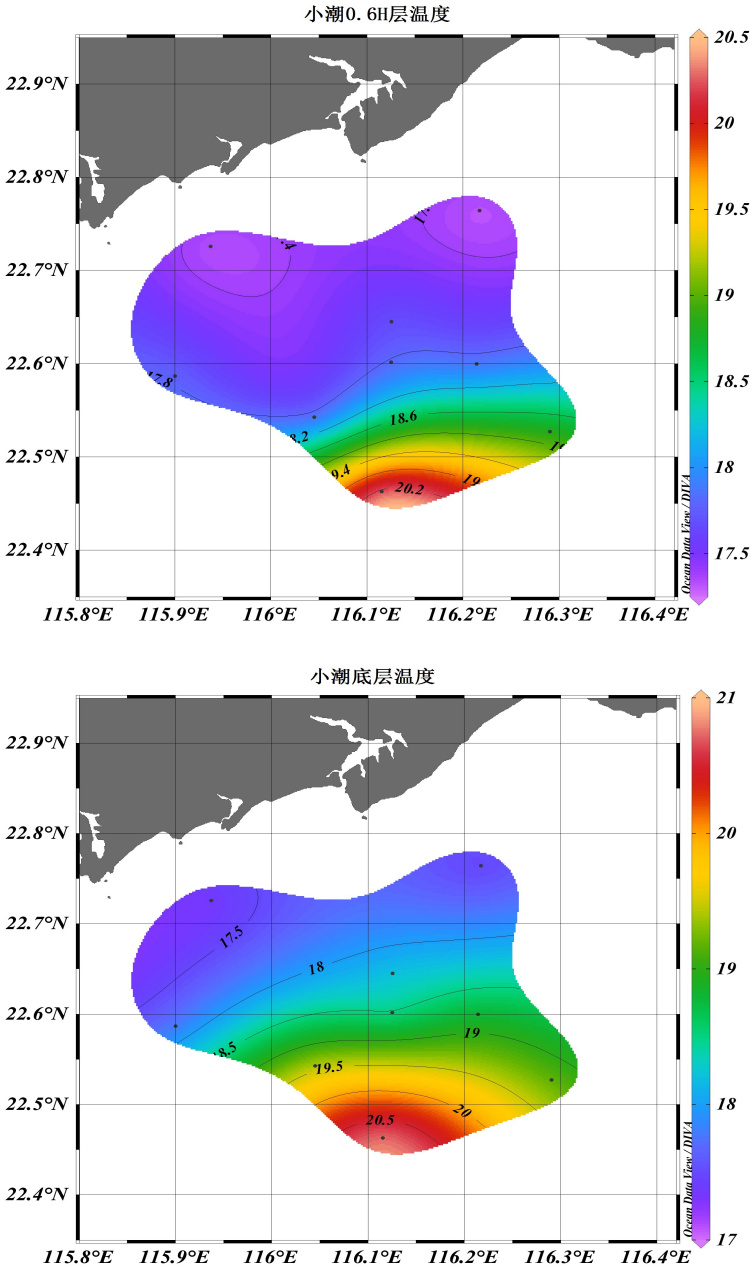


图 5.1-18b 冬季小潮期海水温度表、0.6H、底层平面分布图

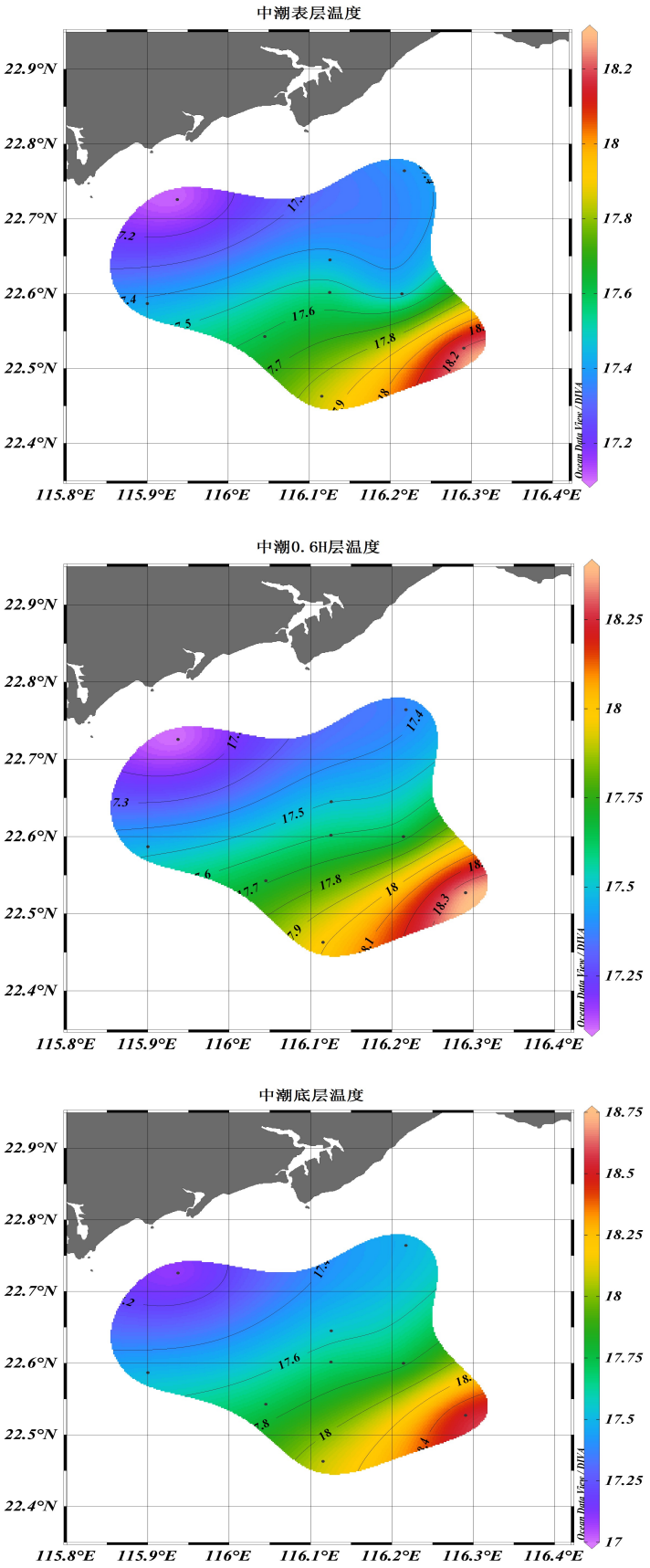


图 5.1-19b 冬季中潮期海水温度表、0.6H、底层平面分布图

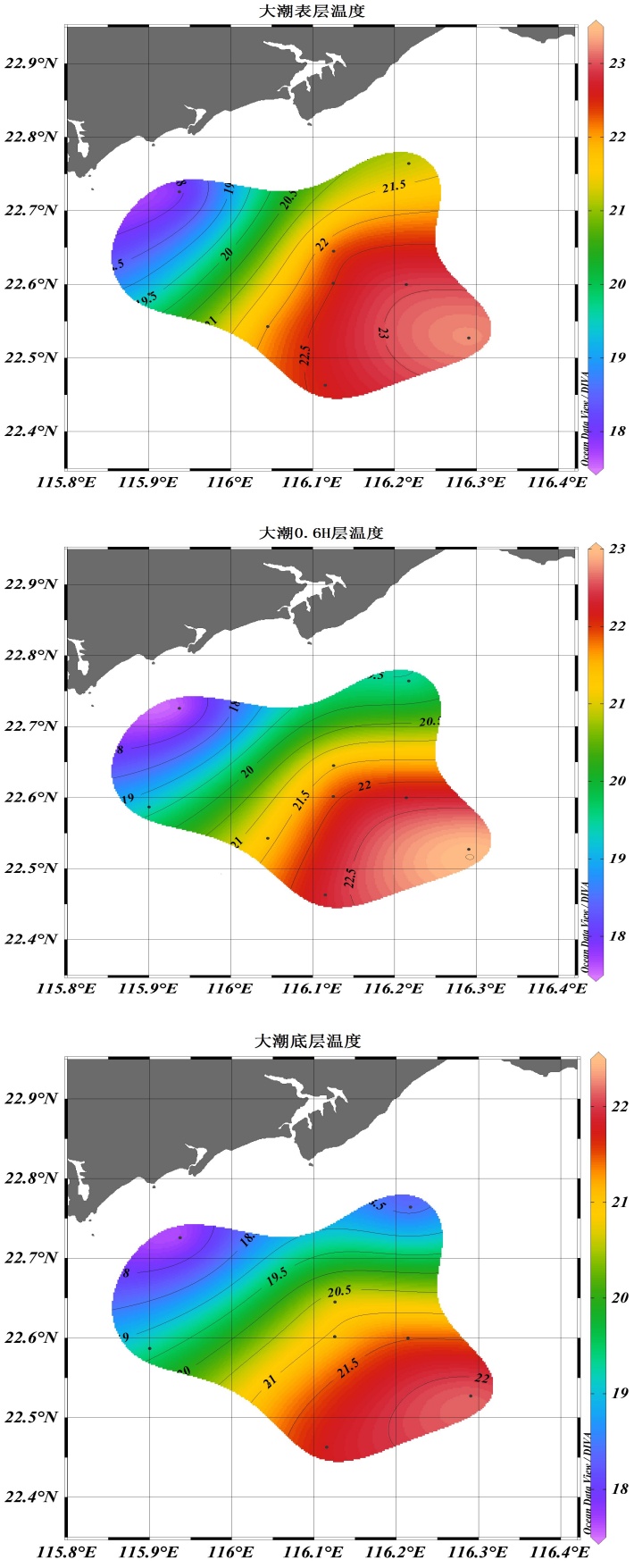


图 5.1-20b 冬季大潮期海水温度表、0.6H、底层平面分布图

5.1.4 海水盐度

本章将通过 9 个全潮观测站资料分析调查海域的盐度变化规律。

5.1.4.1 海水盐度垂向分布特征

夏季

表 5.1-17a～表 5.1-19a 是小、中、大潮期各站位各个垂向分层的平均盐度，从表中可以看出，小潮期平均盐度为 33.878，中潮期平均盐度最低，为 33.255，大潮期平均盐度最高，为 34.011；小潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均盐度分别为 32.885、34.284、34.410，表层盐度小于底层；中潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均盐度分别为 30.650、34.383、34.446，底层盐度高于表层；大潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均盐度分别为 33.011、34.473、34.561。小潮期表层 C5 站平均盐度最低，为 32.161，C2 站平均盐度最高，为 33.851，0.6H 层 C5 站平均盐度最低，为 33.982，C2 站平均盐度最高，为 34.412，底层 C3 站平均盐度最低，为 32.979，C8 站平均盐度最高，为 34.426；中潮期表层 C1 站平均盐度最低，为 29.950，C5 站平均盐度最高，为 31.556，0.6H 层 C2 站平均盐度最低，为 34.231，C8 站平均盐度最高，为 34.513，底层 C3 站平均盐度最低，为 34.410，C6 站平均盐度最高，为 34.526；大潮期表层 C1 站平均盐度最低，为 32.615，C2 站平均盐度最高，为 33.637，0.6H 层 C5 站平均盐度最低，为 34.347，C6 站平均盐度最高，为 34.683，底层 C3 站平均盐度最低，为 34.480，C6 站平均盐度最高，为 34.885。

冬季：

表 5.1-17b～表 5.1-19b 是小、中、大潮期各站位各个垂向分层的平均盐度，从表中可以看出，小潮期平均盐度最低 32.333，中潮期平均盐度为 33.446，大潮期平均盐度最高，为 34.160；小潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均盐度分别为 32.085、32.258、32.806，表层盐度小于底层；中潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均盐度分别为 32.345、32.473、32.554，底层盐度高于表层；大潮期各站表层、0.6H 层和底层的平均盐度分别为 34.141、34.164、34.151，各层盐度相当。小潮期表层 C2 站平均盐度最低，为 31.257，C5 站平均盐度最高，为 33.619，0.6H 层 C2 站平均盐度最低，为 31.307，C5 站平均盐度最高，为 34.012，底层 C2 站平均盐度最低，为 31.357，C5 站平均盐度最高，为 34.263。中潮期表层 C2 站平均盐度最低，为 31.080，C4 站平均盐度最高，为 33.414，0.6H 层 C2 站平均盐

度最低，为 31.093，C4 站平均盐度最高，为 33.523，底层 C2 站平均盐度最低，为 31.099，C4 站平均盐度最高，为 33.596。大潮期表层 C2 站平均盐度最低，为 32.957，C5 站平均盐度最高，为 34.499，0.6H 层 C2 站平均盐度最低，为 33.098，C5 站平均盐度最高，为 34.508，底层 C2 站平均盐度最低，为 33.214，C5 站平均盐度最高，为 34.490。

表 5.1-17a 夏季小潮观测期间各站平均盐度垂向分布

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	32.568	33.170	33.743	34.311	34.410	34.415	33.770
C2	33.851	34.025	34.197	34.366	34.386	34.391	34.203
C3	33.537	33.835	34.126	34.354	34.378	34.382	34.102
C4	32.405	33.222	33.601	34.178	34.390	34.401	33.699
C5	32.161	32.955	33.639	33.982	34.384	34.425	33.591
C6	32.422	33.195	33.684	34.219	34.487	34.485	33.749
C7	33.222	33.644	34.080	34.342	34.370	34.373	34.005
C8	32.909	33.235	33.870	34.426	34.436	34.439	33.886
C9	32.890	33.363	34.017	34.378	34.385	34.379	33.902
平均	32.885	33.405	33.884	34.284	34.403	34.410	33.878

表 5.1-18a 夏季中潮观测期间各站平均盐度垂向分布

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	29.950	31.830	34.163	34.384	34.412	34.416	33.192
C2	30.781	31.606	33.395	34.231	34.370	34.411	33.132
C3	30.609	32.140	34.111	34.325	34.386	34.410	33.330
C4	31.202	32.022	33.641	34.379	34.413	34.418	33.346
C5	31.556	31.836	33.527	34.260	34.397	34.408	33.331
C6	30.739	30.921	33.945	34.487	34.523	34.526	33.190
C7	30.141	32.574	34.175	34.390	34.403	34.408	33.348
C8	30.582	30.812	33.909	34.513	34.511	34.515	33.140
C9	30.288	31.654	34.286	34.481	34.473	34.503	33.281
平均	30.650	31.710	33.906	34.383	34.432	34.446	33.255

表 5.1-19a 夏季大潮观测期间各站平均盐度垂向分布

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	32.615	33.242	34.118	34.469	34.511	34.512	33.911
C2	33.637	33.719	34.203	34.456	34.480	34.482	34.163
C3	33.345	33.881	34.368	34.477	34.481	34.480	34.172
C4	32.898	33.166	33.803	34.366	34.538	34.543	33.886
C5	32.998	33.253	33.871	34.347	34.550	34.556	33.929
C6	32.872	33.381	34.112	34.683	34.829	34.885	34.127
C7	33.029	33.329	34.237	34.481	34.507	34.510	34.015
C8	32.883	33.210	34.111	34.488	34.535	34.540	33.961
C9	32.821	33.148	34.059	34.491	34.548	34.544	33.935
平均	33.011	33.370	34.098	34.473	34.553	34.561	34.011

表 5.1-17b 冬季小潮观测期间各站平均盐度垂向分布

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	31.901	31.909	31.931	31.963	31.950	32.014	31.945
C2	31.257	31.258	31.275	31.307	31.331	31.357	31.297
C3	31.328	31.327	31.344	31.412	31.595	31.677	31.447
C4	32.920	33.059	33.191	33.341	33.486	33.528	33.254
C5	33.619	33.669	33.868	34.012	34.174	34.263	33.934
C6	32.057	32.065	32.075	32.179	32.667	33.648	32.449
C7	31.771	31.788	31.806	31.873	32.183	32.650	32.012
C8	31.962	31.965	31.980	32.240	33.229	33.277	32.442
C9	31.947	31.957	31.963	31.998	32.616	32.837	32.220
平均	32.085	32.111	32.159	32.258	32.581	32.806	32.333

表 5.1-18b 冬季中潮观测期间各站平均盐度垂向分布

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	32.171	32.189	32.233	32.258	32.273	32.282	32.234
C2	31.080	31.090	31.087	31.093	31.099	31.116	31.094
C3	31.342	31.335	31.377	31.486	31.582	31.664	31.464
C4	33.414	33.420	33.457	33.523	33.596	33.622	33.505
C5	32.956	32.977	33.046	33.114	33.170	33.195	33.076
C6	32.648	32.671	32.736	32.779	32.798	32.808	32.740
C7	32.411	32.419	32.438	32.507	32.585	32.611	32.495
C8	32.463	32.517	32.666	32.781	32.859	32.910	32.699
C9	32.625	32.663	32.686	32.718	32.753	32.774	32.703
平均	32.345	32.365	32.414	32.473	32.524	32.554	32.446

表 5.1-19b 冬季大潮观测期间各站平均盐度垂向分布

层次 站名	表层	0.2H 层	0.4H 层	0.6H 层	0.8H 层	底层	平均
C1	33.791	33.860	33.882	33.890	33.892	33.893	33.868
C2	32.957	33.016	33.033	33.098	33.197	33.214	33.086
C3	34.171	34.181	34.179	33.919	33.667	33.722	33.973
C4	34.307	34.313	34.327	34.330	34.364	34.372	34.336
C5	34.499	34.506	34.519	34.508	34.496	34.490	34.503
C6	34.446	34.456	34.448	34.423	34.395	34.395	34.427
C7	34.326	34.438	34.453	34.440	34.420	34.418	34.416
C8	34.366	34.394	34.422	34.446	34.450	34.456	34.422
C9	34.403	34.418	34.423	34.424	34.410	34.404	34.414
平均	34.141	34.176	34.187	34.164	34.144	34.151	34.160

5.1.4.2 海水盐度水平分布特征

夏季海水盐度水平分布特征:

（1）小潮期平均盐度为 33.878，中潮期平均盐度最低，为 33.255，大潮期平均盐度最高，为 34.011。整体上来说小、中、大潮期间海水垂向分层明显，表底层海水平均盐度差异较大。

（2）小潮期间表底层平均盐度差最大值为 2.264，发生在 C5 站，最小值为 0.540，发生在 C2 站。中潮期间表底层平均盐度差最大值为 4.446，发生在 C1 站，最小值为 2.852，发生在 C5 站。大潮期间表底层平均盐度差最大值为 2.013，发生在 C6 站，最小值为 0.844，发生在 C2 站。

（3）从空间分布上来讲，各潮期表、中、底层盐度的分布均有所不一样，小潮期表现为近岸高云海低；中潮期表现为近岸低、中间高；大潮期表现为西侧高东侧低。各站表层平均盐度在 29.950～33.851 之间，中层平均盐度在 33.982～34.683 之间，底层平均盐度分布范围是 34.373～34.885。

图 5.1-21a—5.1-23a 是夏季各潮期盐度表、中、底层平面分布图。

冬季海水盐度水平分布特征:

（1）小潮期平均盐度最低，为 32.333，中潮期平均盐度为 32.466，大潮期平均盐度最高，为 34.160。整体上来说小、中、大潮期间海水垂向分层均不太明显，表底层海水平均盐度差异不大。

（2）小潮期间表底层平均盐度差最大值为 1.591，发生在 C6 站，最小值为 0.100，发生在 C2 站。中潮期间表底层平均盐度差最大值为 0.447，发生在 C8 站，最小值为 0.037，发生在 C2 站。大潮期间表底层平均盐度差最大值为 0.448，发生在 C3 站，最小值为 0.001，发生在 C9 站。

（3）从空间分布上来讲，各潮期表、中、底层盐度的分布均相差不大，均表现为近岸低远海高；盐度最低出现在近岸的 C2 和 C3 站，盐度最高的出现在远海的 C4 和 C5 站，即观测海区北侧低、南侧高。各站表层平均盐度在 31.080～34.499 之间，0.6H 层平均盐度在 31.093～34.508 之间，底层平均盐度分布范围是 31.116～34.490。

图 5.1-21b—5.1-23b 是冬季各潮期盐度表、中、底层平面分布图。

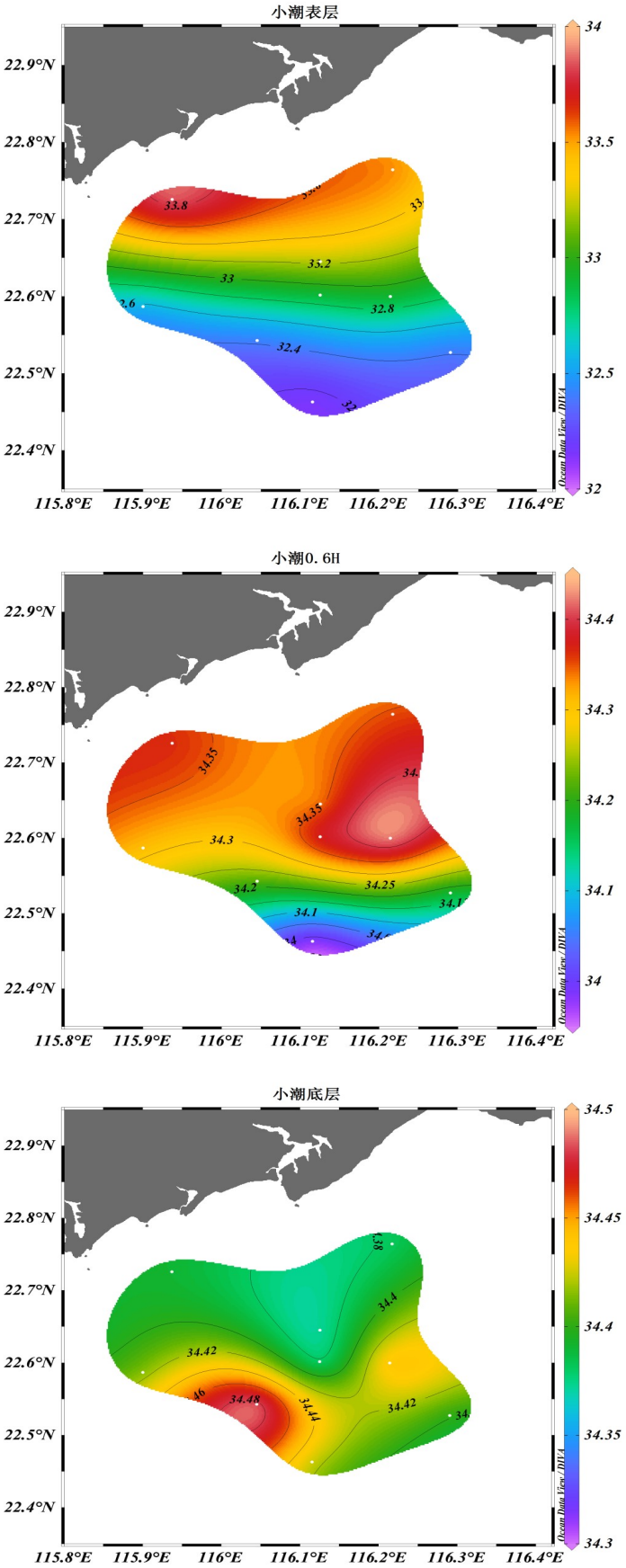


图 5.1-21a 夏季小潮期海水盐度表、0.6H、底层平面分布图

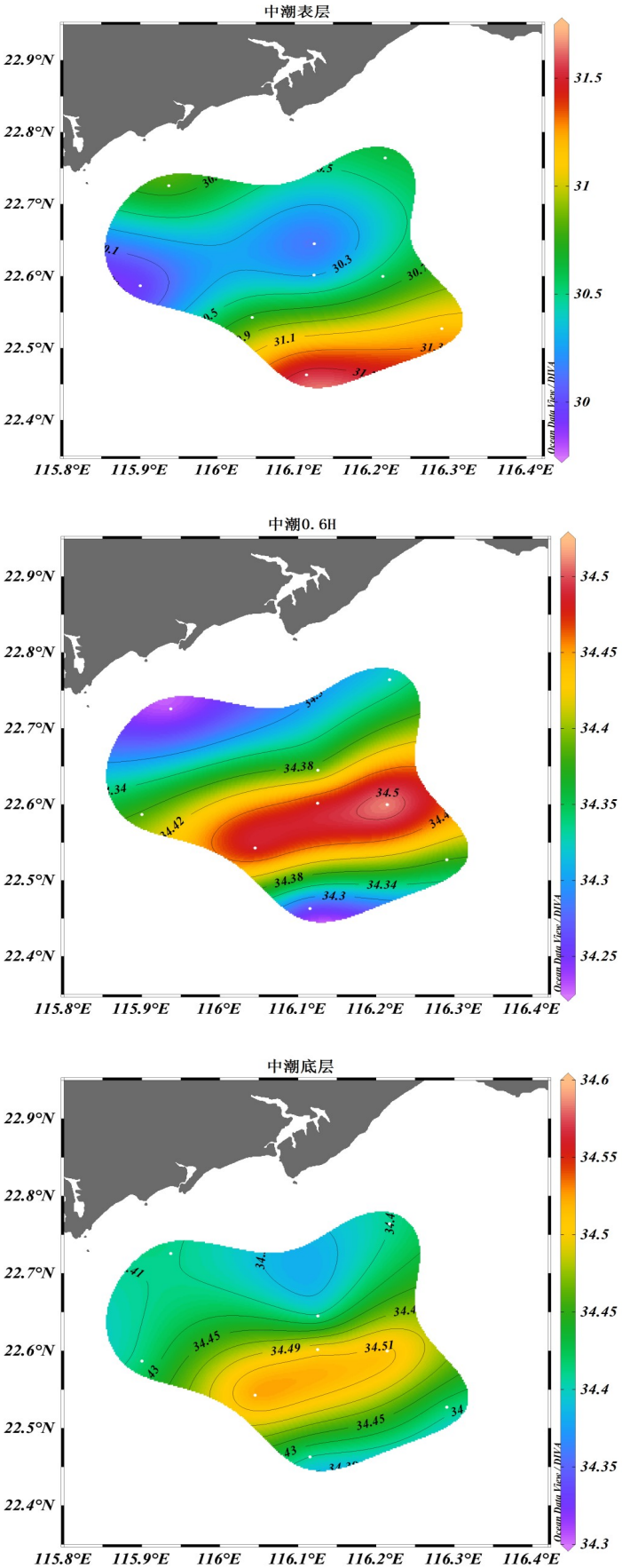


图 5.1-22a 夏季中潮期海水盐度表、0.6H、底层平面分布图

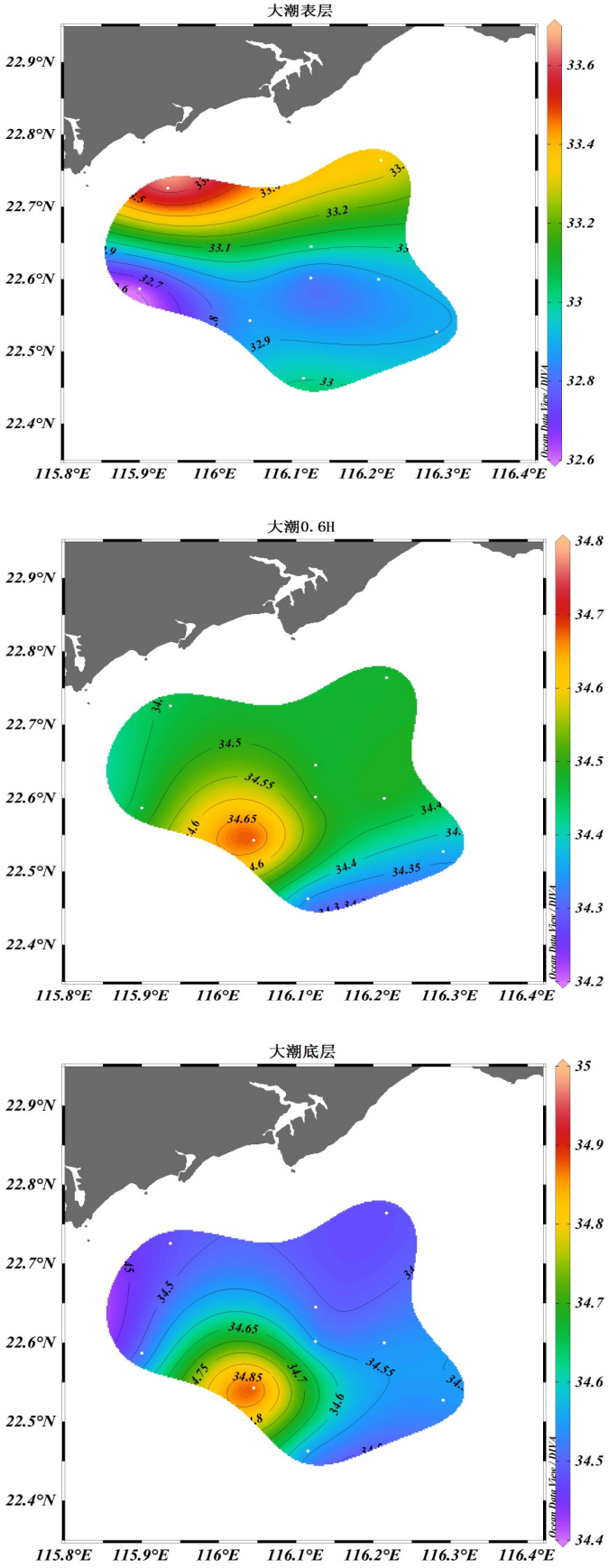


图 5.1-23a 夏季大潮期海水盐度表、0.6H、底层平面分布图

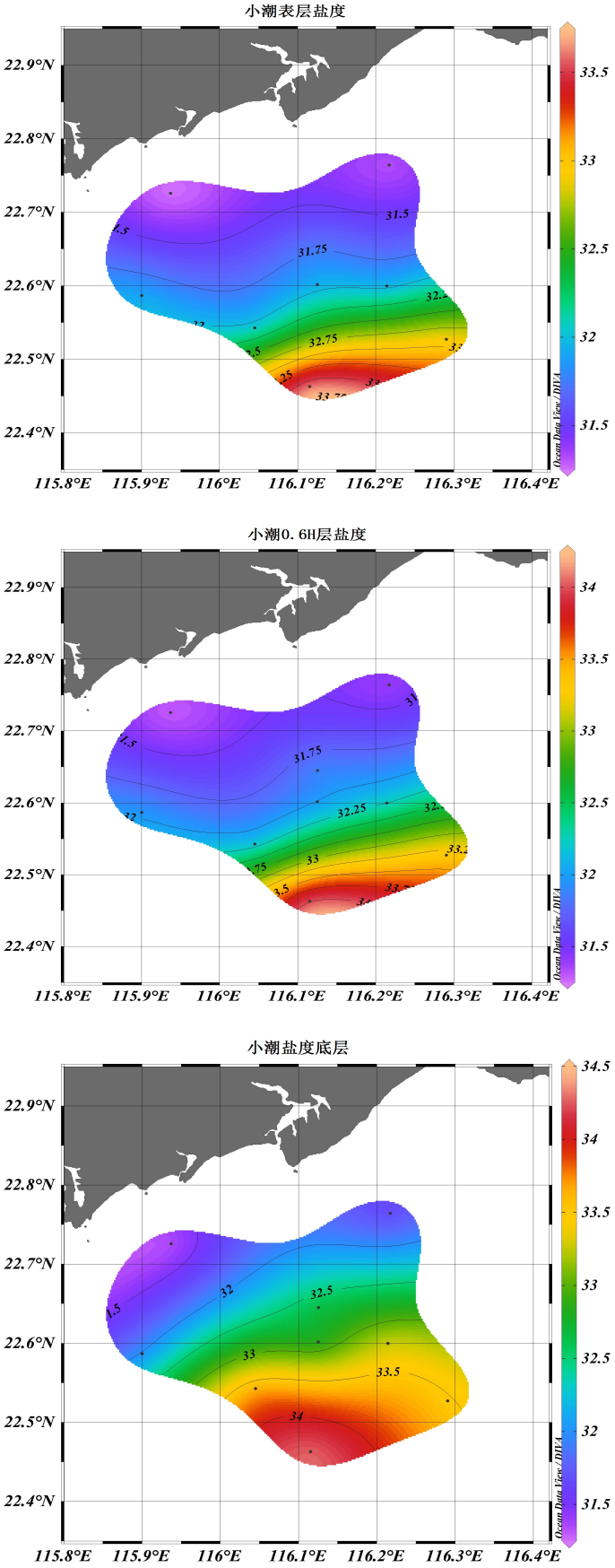


图 5.1-21b 冬季小潮期海水盐度表、0.6H、底层平面分布图

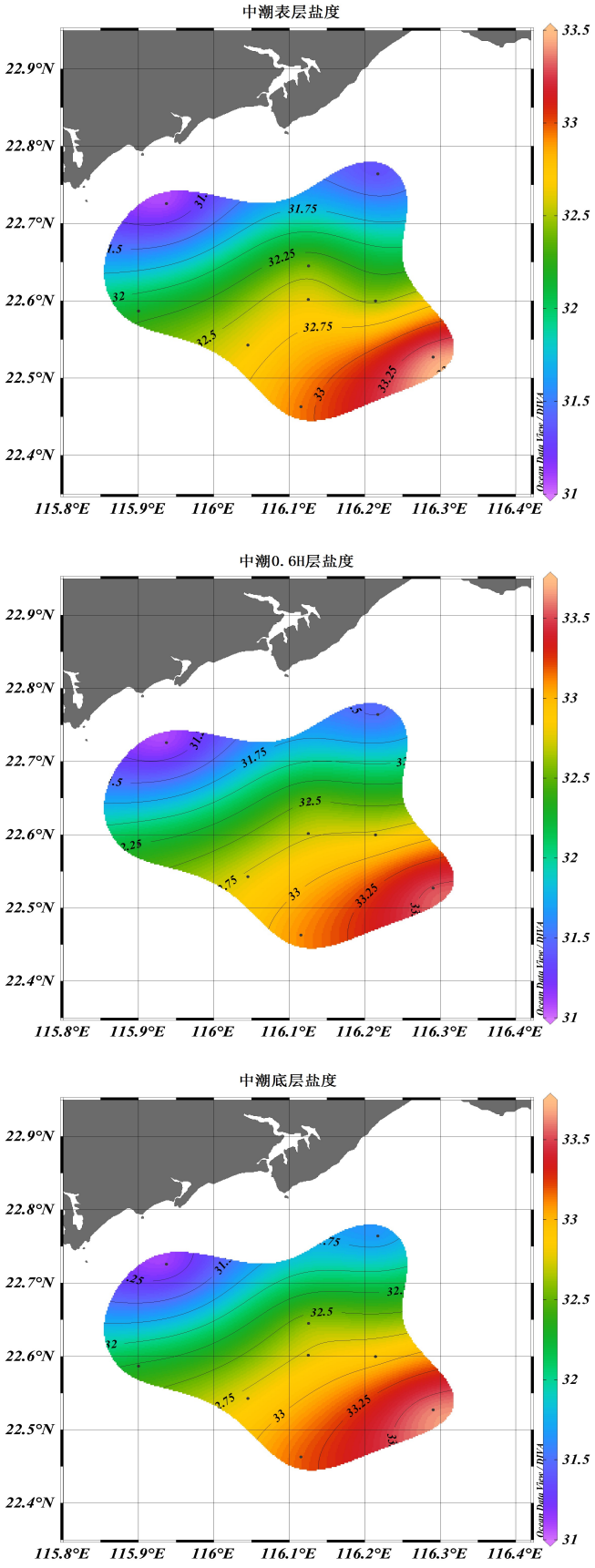


图 5.1-22b 冬季中潮期海水盐度表、0.6H、底层平面分布图

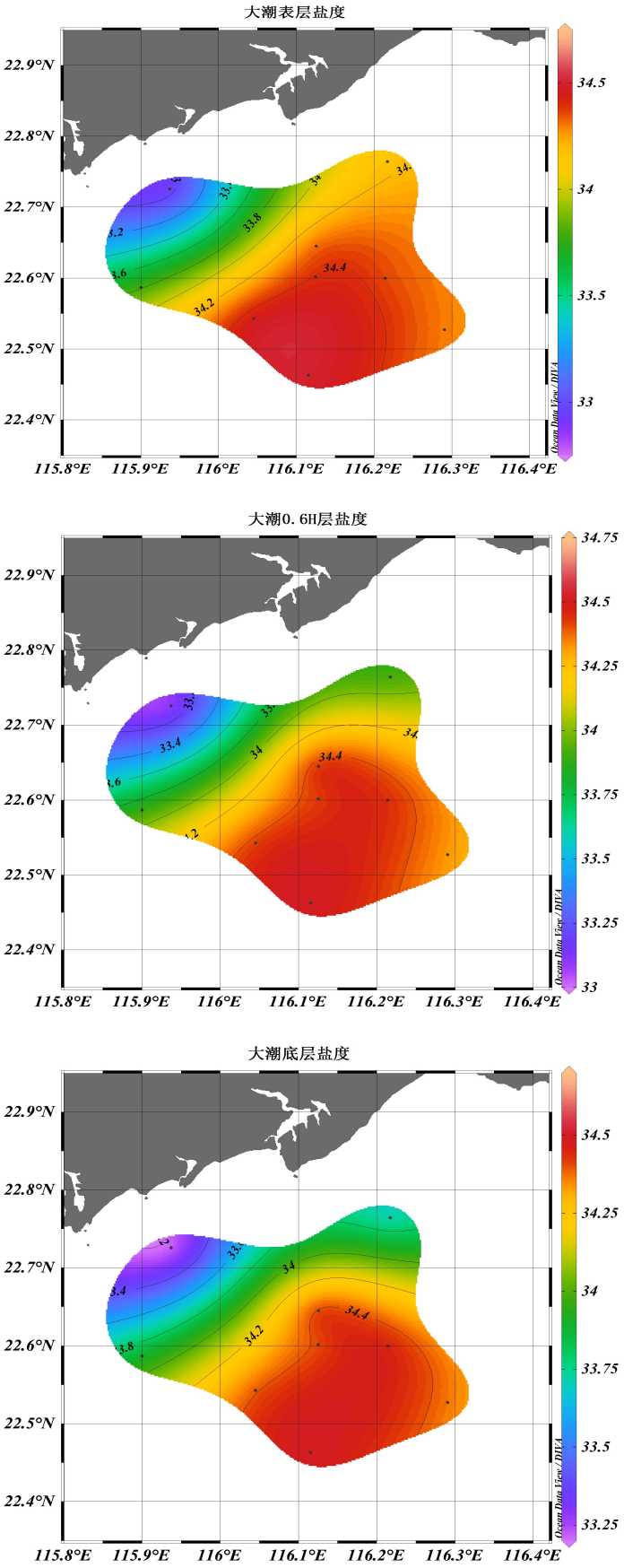


图 5.1-23b 冬季大潮期海水盐度表、0.6H、底层平面分布图

5.1.5 悬沙

悬沙测站位置与海流观测站位置一致，按照合同要求悬沙测点选择在 C1～C9 站位。根据水深，采用三点法（表、中、底层）采集水样，其中表层为距表面 0.5m 位置处，中层为 0.6H 位置处，底层为离底 0.5m 位置处（H 为水深）。

5.1.5.1 悬沙含量及其分布特征

（1）特征值统计与平面分布

本次悬沙观测的 9 个测站 C1~C9 站远离岸边，水深较深。其中，最小的 C2 测站实测平均水深 20m，最大的 C5 测站平均水深超过 43m，实测悬沙含量普遍偏小。

夏季：

根据本次实测的悬沙资料统计，项目所在甲子附近海域夏季海水含沙量在 0.0001kg/m^3~0.022kg/m^3 之间（见表 5.1-20a）。

小潮表层、中层和底层的含沙量最大值分别为 0.0183 kg/m^3、0.022 kg/m^3、0.0139 kg/m^3；中潮分别为 0.0116 kg/m^3、0.0162kg/m^3、0.0199 kg/m^3；大潮分别为 0.0189 kg/m^3、0.0135 kg/m^3、0.0118 kg/m^3。

总的来说，夏季海水最大含沙量大多出现在电厂附近的 C6~C9 测站，水深最浅的 S2 和 S13 测站，最大含沙量分布依次为小潮期、大潮期、中潮期。

表 5.1-21a 为实测各站大、中、小潮表、底层平均含沙量统计表。图 5.1-24a~5.1-26a 为夏季工程海区小潮、中潮和大潮平面平均含沙量平面分布图。

可以看出，工程附近海域夏季小潮期平均含沙量为 0.0025kg/m^3～0.0032kg/m^3；中潮期平均含沙量为 0.0020kg/m^3～0.0035kg/m^3；大潮期平均含沙量为 0.0024kg/m^3～0.0042kg/m^3。

全站平均含沙量最大值为 0.0042kg/m^3，出现在大潮期的 C1 站。最小值为 0.0020kg/m^3，出现在中潮期的 C3 站。

总体而言，观测海区测站水深较深，平均悬沙含量普遍较小，近岸测站的平均悬沙含量略高于深水区的测站。各测站表、中、底层的平均悬沙含量分布相近，悬沙含量分布层化不明显。

冬季：

根据本次实测的悬沙资料统计，项目所在甲子附近海域冬季海水含沙量在 0.0008kg/m3~0.024kg/m3 之间（见表 5.1-18b）。

小潮表层、中层和底层的含沙量最大值分别为 0.0196 kg/m3、0.0218 kg/m3、0.0240 kg/m3；中潮分别为 0.0204 kg/m3、0.0189kg/m3、0.0186 kg/m3；大潮分别为 0.0125 kg/m3、0.0118 kg/m3、0.0147 kg/m3。

总的来说，冬季海水最大含沙量大多出现在离岸较近的 C1~C3 站，电厂附近的 C4~C9 深水测站含沙量略小，最大含沙量分布小潮期与中潮期相近、大潮期相对较小。

表 5.1-19b 为实测各站大、中、小潮表、底层平均含沙量统计表。图 5.1-22b）~5.1-24b)为冬季工程海区小潮、中潮和大潮平面平均含沙量平面分布图。

可以看出，工程附近海域冬季小潮期平均含沙量为 0.0026kg/m3～0.0103kg/m3；中潮期平均含沙量为 0.0031kg/m3～0.0102kg/m3；大潮期平均含沙量为 0.0026kg/m3～0.0051kg/m3。

全站平均含沙量最大值为 0.0103kg/m3，出现在小潮期的 C2 站。最小值为 0.0026kg/m3，出现在小潮期 C9 站和大潮期 C7 站。

总体而言，观测海区测站水深较深，平均悬沙含量普遍较小，近岸测站的平均悬沙含量略高于深水区的测站。各测站表、中、底层的平均悬沙含量分布相近，悬沙含量分布层化不明显。

表 5.1-20a 夏季悬沙最值含量统计（单位：kg/m3）

潮期	站号	表　层		中　层		底　层	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
小潮	C1	0.0126	0.0004	0.0159	0.0001	0.0092	0.0004
	C2	0.0133	0.0004	0.0076	0.0001	0.0083	0.0001
	C3	0.0107	0.0003	0.0087	0.0008	0.0077	0.0002
	C4	0.0068	0.0002	0.0107	0.0001	0.0115	0.0005
	C5	0.0100	0.0001	0.0113	0.0001	0.0123	0.0001
	C6	0.0172	0.0001	0.0098	0.0001	0.0108	0.0001
	C7	0.0183	0.0001	0.0069	0.0002	0.0092	0.0001
	C8	0.0082	0.0005	0.0098	0.0001	0.0139	0.0002
	C9	0.0101	0.0002	0.0220	0.0002	0.0107	0.0001
中潮	C1	0.0074	0.0001	0.0162	0.0001	0.0092	0.0001
	C2	0.0089	0.0001	0.0115	0.0007	0.0103	0.0001
	C3	0.0087	0.0002	0.0051	0.0001	0.0051	0.0002
	C4	0.0116	0.0001	0.0050	0.0001	0.0118	0.0001
	C5	0.0064	0.0002	0.0087	0.0001	0.0041	0.0001
	C6	0.0104	0.0002	0.0094	0.0002	0.0199	0.0002
	C7	0.0099	0.0002	0.0130	0.0004	0.0173	0.0007
	C8	0.0104	0.0001	0.0140	0.0001	0.0147	0.0001
	C9	0.0101	0.0001	0.0101	0.0004	0.0092	0.0002

大潮	C1	0.0189	0.0003	0.0135	0.0008	0.0107	0.0003
	C2	0.0086	0.0008	0.0061	0.0009	0.0078	0.0008
	C3	0.0179	0.0002	0.0080	0.0005	0.0070	0.0009
	C4	0.0170	0.0003	0.0106	0.0004	0.0118	0.0005
	C5	0.0083	0.0008	0.0084	0.0010	0.0058	0.0006
	C6	0.0063	0.0011	0.0067	0.0013	0.0064	0.0011
	C7	0.0061	0.0004	0.0082	0.0008	0.0119	0.0008
	C8	0.0070	0.0006	0.0055	0.0006	0.0046	0.0005
	C9	0.0068	0.0009	0.0080	0.0021	0.0082	0.0020

表 5.1-21a 夏季悬沙平均含量统计（单位：kg/m3）

潮期	站号	表层	中层	底层	全站平均	底/表
小潮	C1	0.0032	0.0032	0.0023	0.0029	0.71
	C2	0.0030	0.0026	0.0035	0.0031	1.14
	C3	0.0030	0.0035	0.0029	0.0031	0.96
	C4	0.0024	0.0023	0.0030	0.0026	1.21
	C5	0.0033	0.0031	0.0033	0.0032	1.00
	C6	0.0039	0.0031	0.0019	0.0030	0.48
	C7	0.0030	0.0021	0.0025	0.0025	0.81
	C8	0.0027	0.0026	0.0038	0.0030	1.42
	C9	0.0025	0.0028	0.0023	0.0026	0.92
中潮	C1	0.0019	0.0022	0.0025	0.0022	1.30
	C2	0.0027	0.0031	0.0034	0.0031	1.27
	C3	0.0019	0.0018	0.0021	0.0020	1.08
	C4	0.0024	0.0019	0.0022	0.0022	0.92
	C5	0.0021	0.0022	0.0017	0.0020	0.79
	C6	0.0023	0.0026	0.0035	0.0028	1.51
	C7	0.0031	0.0031	0.0043	0.0035	1.40
	C8	0.0028	0.0030	0.0023	0.0027	0.81
	C9	0.0025	0.0026	0.0021	0.0024	0.87
大潮	C1	0.0045	0.0045	0.0037	0.0042	0.82
	C2	0.0031	0.0031	0.0033	0.0032	1.05
	C3	0.0038	0.0044	0.0039	0.0040	1.04
	C4	0.0044	0.0033	0.0038	0.0038	0.86
	C5	0.0027	0.0027	0.0020	0.0025	0.75
	C6	0.0030	0.0035	0.0032	0.0032	1.06
	C7	0.0026	0.0031	0.0040	0.0032	1.54
	C8	0.0025	0.0025	0.0022	0.0024	0.86
	C9	0.0039	0.0042	0.0041	0.0041	1.03

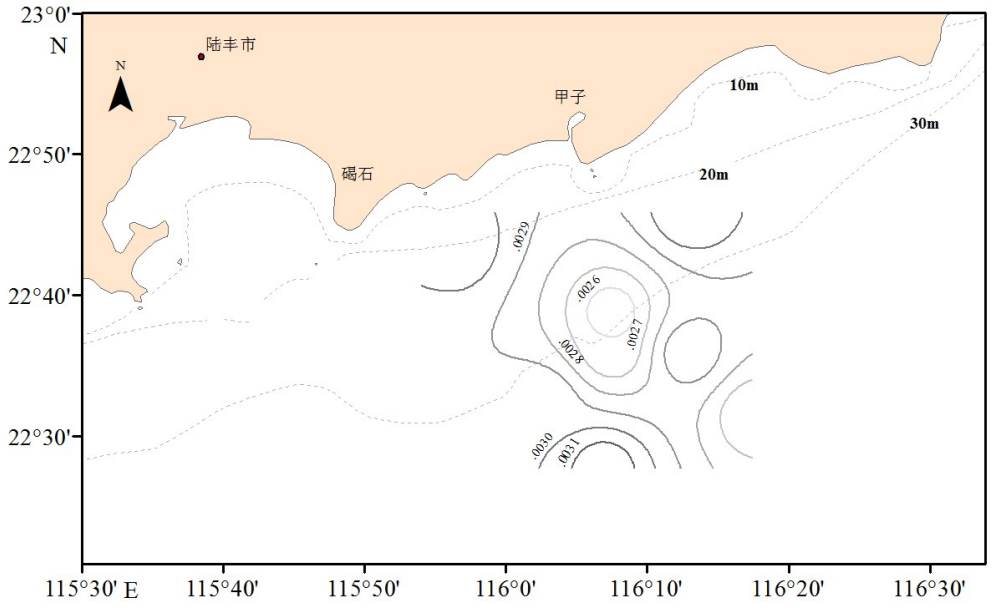


图 5.1-24a 夏季小潮期平均含沙量平面分布

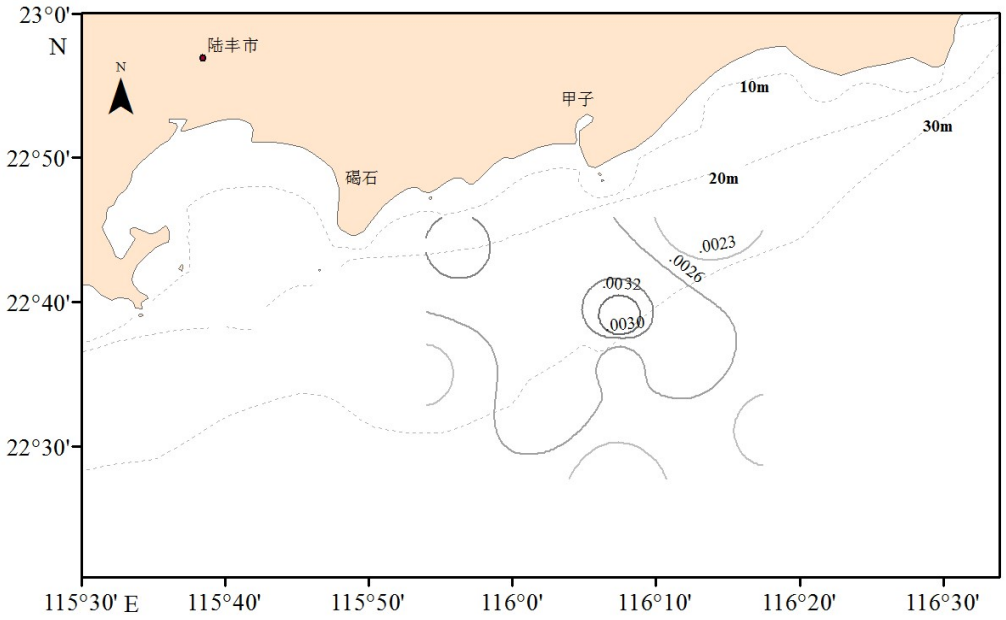


图 5.1-25a 夏季中潮期平均含沙量平面分布

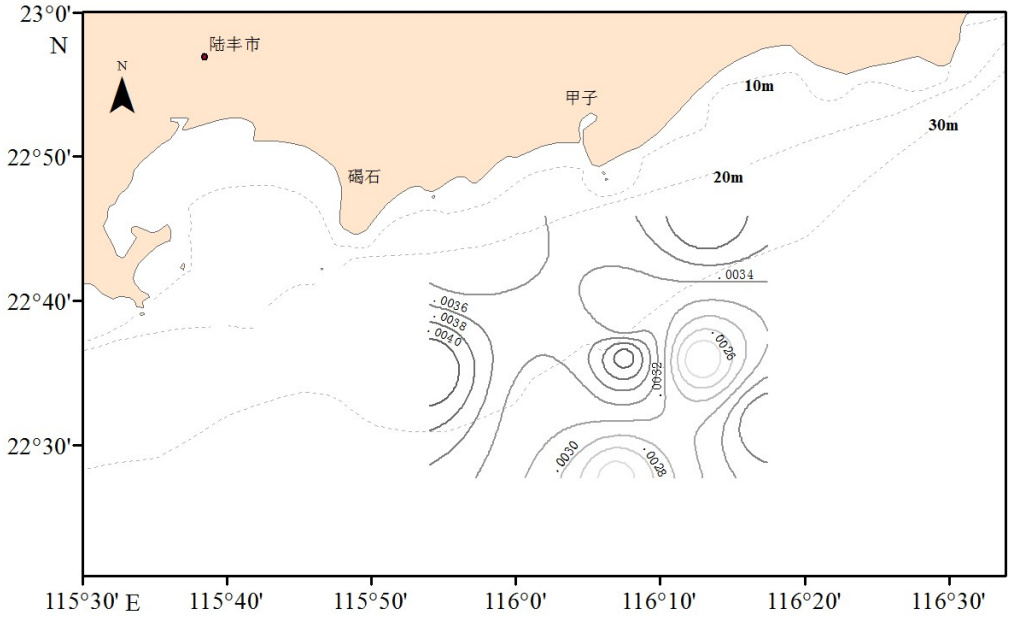


图 5.1-26a 夏季大潮期平均含沙量平面分布

表 5.1-20b 冬季悬沙最值含量统计（单位：kg/m3）

潮期	站号	表　层		中　层		底　层	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
小潮	C1	0.0118	0.0032	0.0103	0.0027	0.0146	0.0027
	C2	0.0196	0.0020	0.0218	0.0034	0.0240	0.0053
	C3	0.0114	0.0011	0.0096	0.0012	0.0111	0.0012
	C4	0.0116	0.0016	0.0120	0.0011	0.0129	0.0020
	C5	0.0098	0.0014	0.0117	0.0011	0.0135	0.0018
	C6	0.0078	0.0011	0.0103	0.0011	0.0118	0.0010
	C7	0.0127	0.0009	0.0185	0.0009	0.0182	0.0009
	C8	0.0115	0.0008	0.0095	0.0010	0.0085	0.0009
	C9	0.0118	0.0010	0.0071	0.0012	0.0044	0.0010
中潮	C1	0.0174	0.0031	0.0189	0.0024	0.0129	0.0037
	C2	0.0204	0.0028	0.0175	0.0039	0.0186	0.0046
	C3	0.0154	0.0034	0.0140	0.0032	0.0173	0.0021
	C4	0.0102	0.0009	0.0091	0.0013	0.0097	0.0010
	C5	0.0086	0.0010	0.0096	0.0010	0.0119	0.0010
	C6	0.0097	0.0012	0.0092	0.0010	0.0119	0.0010
	C7	0.0104	0.0010	0.0114	0.0010	0.0106	0.0011
	C8	0.0147	0.0011	0.0143	0.0013	0.0169	0.0010
	C9	0.0097	0.0017	0.0097	0.0012	0.0103	0.0011
大潮	C1	0.0123	0.0014	0.0065	0.0011	0.0073	0.0010
	C2	0.0125	0.0010	0.0115	0.0011	0.0094	0.0011
	C3	0.0102	0.0011	0.0095	0.0012	0.0112	0.0014
	C4	0.0100	0.0010	0.0118	0.0013	0.0082	0.0011
	C5	0.0060	0.0010	0.0080	0.0012	0.0072	0.0011
	C6	0.0078	0.0010	0.0066	0.0010	0.0073	0.0011
	C7	0.0055	0.0012	0.0078	0.0010	0.0147	0.0013

	C8	0.0060	0.0014	0.0096	0.0010	0.0058	0.0011
	C9	0.0074	0.0014	0.0101	0.0013	0.0115	0.0011

表 5.1-21b 冬季悬沙平均含量统计（单位：kg/m3）

潮期	站号	表层	中层	底层	全站平均	底/表
小潮	C1	0.0056	0.0057	0.0060	0.0058	1.08
	C2	0.0094	0.0103	0.0110	0.0103	1.16
	C3	0.0047	0.0051	0.0045	0.0048	0.98
	C4	0.0051	0.0046	0.0050	0.0049	0.98
	C5	0.0048	0.0052	0.0061	0.0053	1.27
	C6	0.0033	0.0027	0.0034	0.0031	1.03
	C7	0.0042	0.0039	0.0040	0.0040	0.95
	C8	0.0035	0.0029	0.0029	0.0031	0.82
	C9	0.0030	0.0024	0.0024	0.0026	0.81
中潮	C1	0.0084	0.0082	0.0083	0.0083	0.99
	C2	0.0099	0.0099	0.0108	0.0102	1.08
	C3	0.0079	0.0084	0.0089	0.0084	1.13
	C4	0.0040	0.0036	0.0040	0.0038	1.01
	C5	0.0026	0.0031	0.0036	0.0031	1.36
	C6	0.0036	0.0033	0.0035	0.0035	0.99
	C7	0.0032	0.0040	0.0035	0.0035	1.10
	C8	0.0048	0.0058	0.0060	0.0055	1.24
	C9	0.0053	0.0054	0.0059	0.0055	1.11
大潮	C1	0.0037	0.0029	0.0034	0.0033	0.90
	C2	0.0051	0.0050	0.0053	0.0051	1.04
	C3	0.0039	0.0032	0.0036	0.0036	0.90
	C4	0.0040	0.0037	0.0035	0.0037	0.89
	C5	0.0027	0.0029	0.0028	0.0028	1.03
	C6	0.0026	0.0025	0.0028	0.0026	1.07
	C7	0.0026	0.0025	0.0036	0.0029	1.36
	C8	0.0029	0.0036	0.0027	0.0031	0.93
	C9	0.0032	0.0037	0.0041	0.0037	1.27

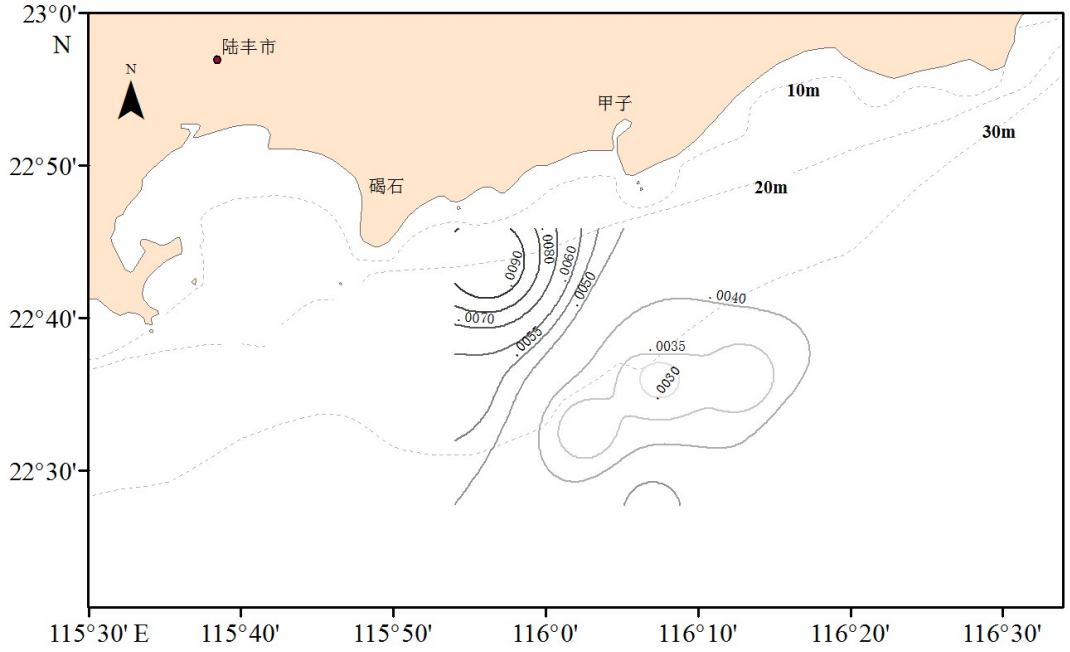


图 5.1-24b 冬季小潮期平均含沙量平面分布

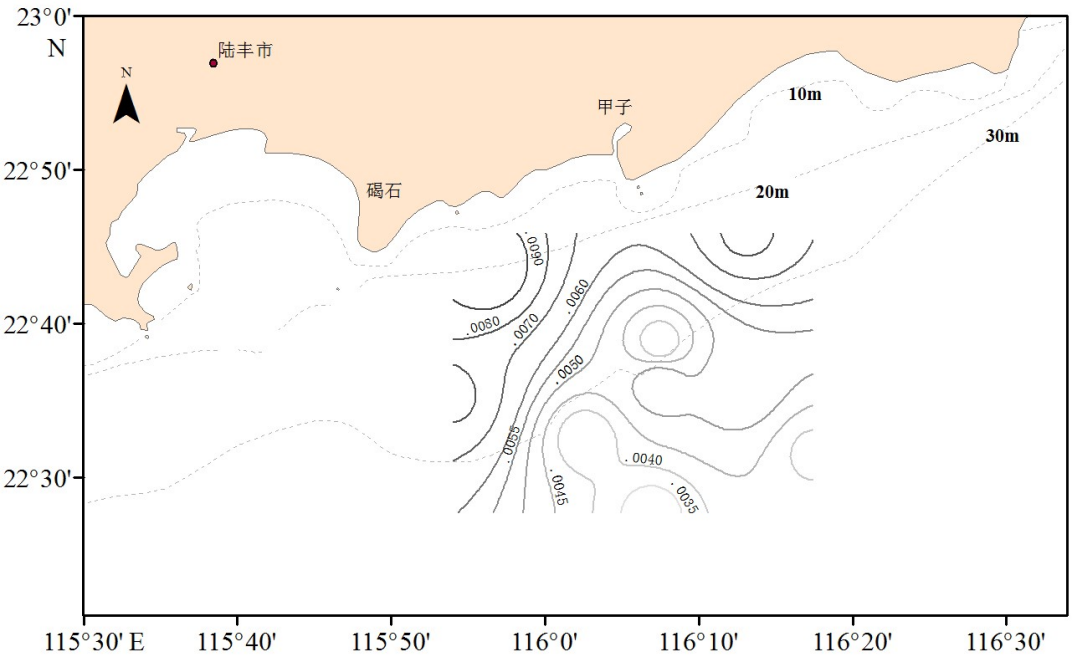


图 5.1-25b 冬季中潮期平均含沙量平面分布

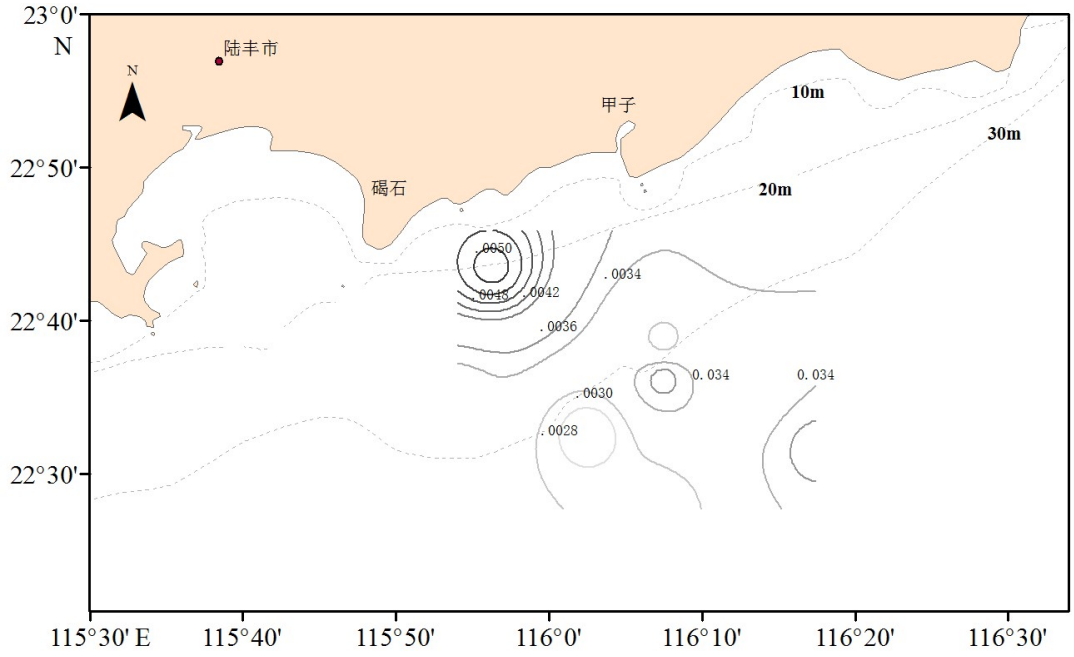


图 5.1-26b 冬季大潮期平均含沙量平面分布

（2）悬沙中值粒径

夏季：

本海区悬沙中值粒径范围，小潮期为 0.015mm～0.026mm，平均值 0.022mm；中潮为 0.02mm～0.034mm，平均值 0.027mm，大潮为 0.015mm~0.025mm，平均值 0.018mm。

悬沙类型以砂质粉砂为主，占 97%以上，其次为粉砂，占 3%。

冬季：

本海区悬沙中值粒径范围，小潮期为 0.0088mm ～ 0.0215mm，平均值 0.0152mm；中潮为 0.0076mm ～ 0.0200mm，平均值 0.0143mm，大潮为 0.0119mm~0.0210mm，平均值 0.0174mm。

悬沙类型以沙质粉砂为主，占 64.7%，其次为粘土质粉砂，占 28.0%，再次为粉砂，占 7.3%。

（3）悬沙含量周日变化特征

夏季：

图 5.1-27a~图 5.1-29a 为本次全潮观测悬沙含量周日变化图。本次实测悬沙含量分布与潮位涨落变化对应并不明显，涨、落潮期间均有悬沙峰值出现。中潮和大潮期间有个别站位如 C3、C6 和 C7 站在涨潮期间出现泥沙峰值。

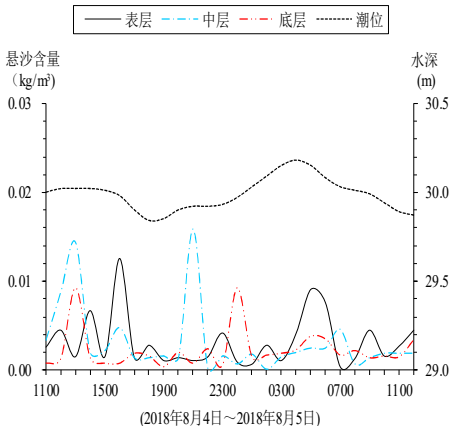
由于本海区水深较深，潮流及波浪动力对海床表面的泥沙运动影响较小，垂

向上泥沙含量在观测期间各时刻的变化都不大，出现泥沙峰值的个数及量值都较小，悬沙含量波动幅度变化不大。

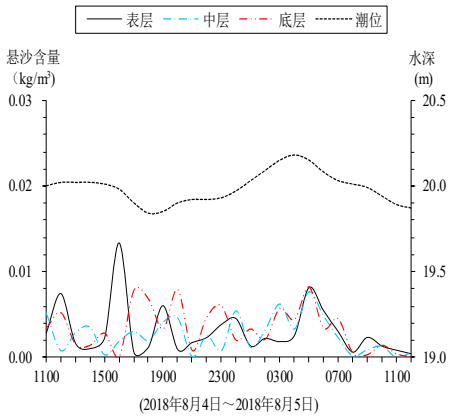
冬季：

图 5.1-27b~图 5.1-29b 为本次全潮观测悬沙含量周日变化图。可以看出，悬沙含量分布与潮位涨落变化对应并不明显，涨、落潮期间均有悬沙峰值出现。小潮和中潮期间近岸的 C1~C3 站在涨潮期间出现泥沙峰值。

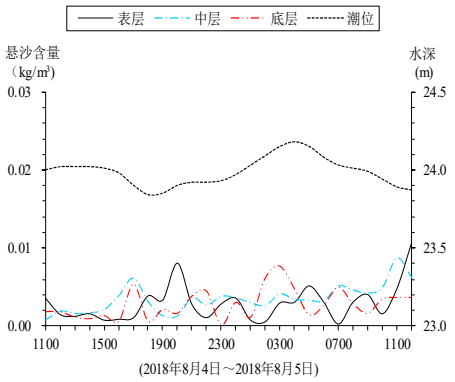
由于本海区水深较深，潮流及波浪动力对海床表面的泥沙运动影响较小，垂向上泥沙含量在观测期间各时刻的变化都不大，出现泥沙峰值的个数及量值都较小，悬沙含量波动幅度变化不大。



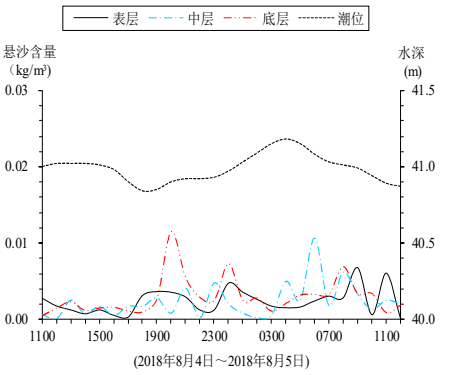
C1 站



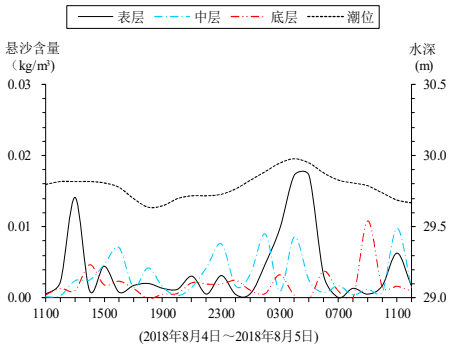
C2



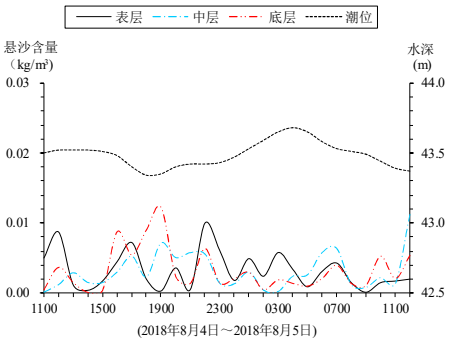
C3



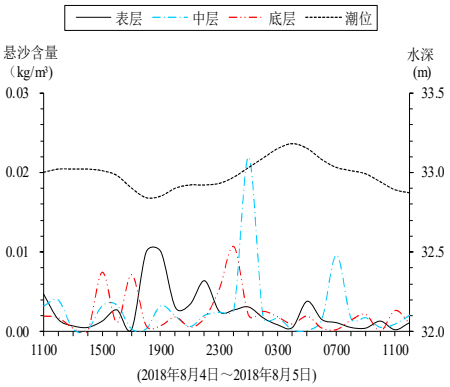
C4



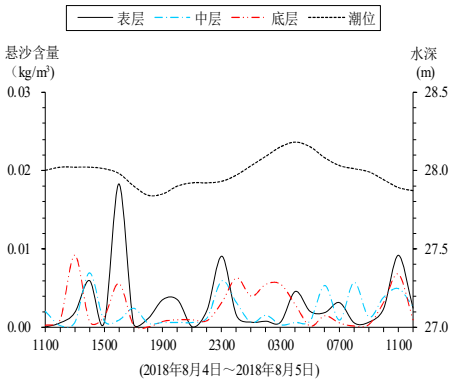
C5



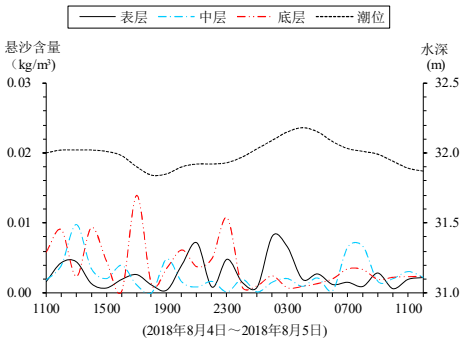
C6



C7

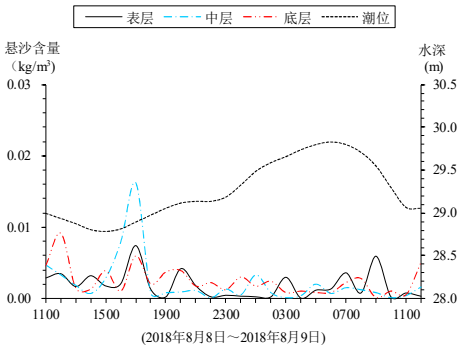


C8

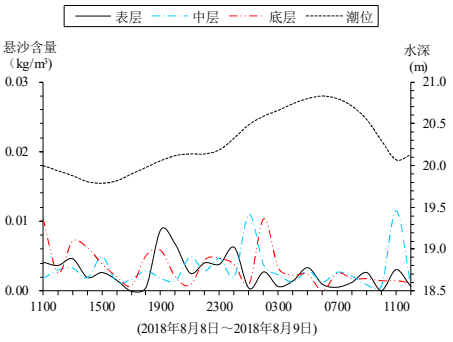


C9

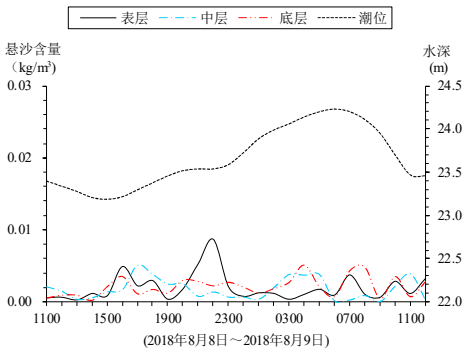
图 5.1-27a 夏季小潮期 C1~C9 站表、中、底悬浮体含量周日变化图



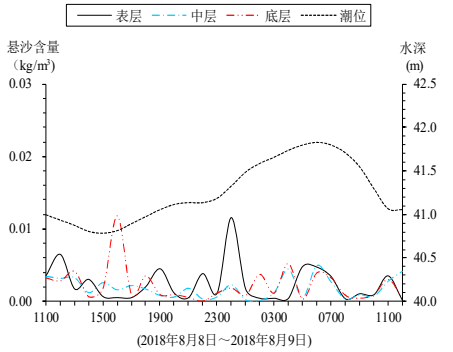
C1



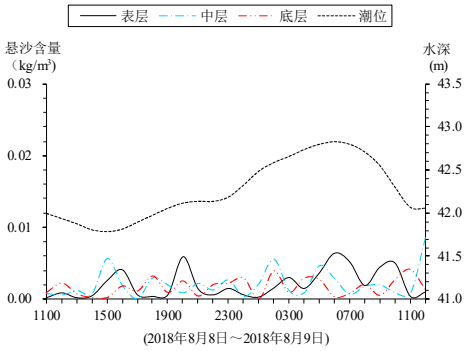
C2



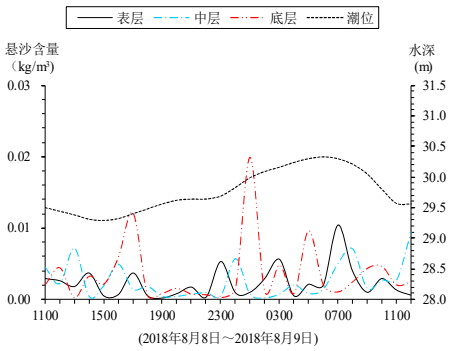
C3



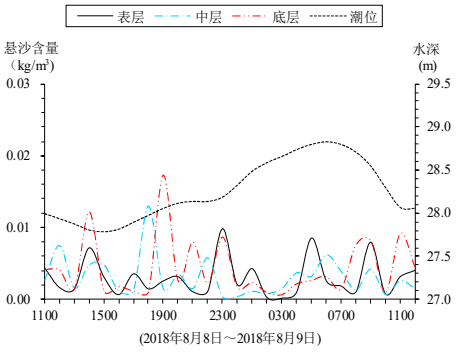
C4



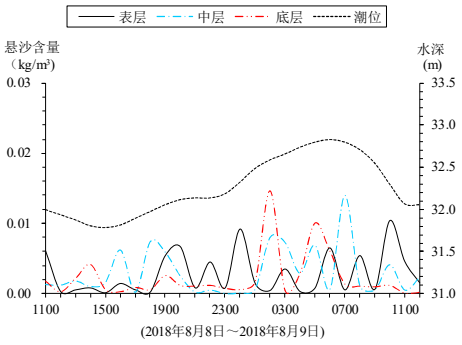
C5



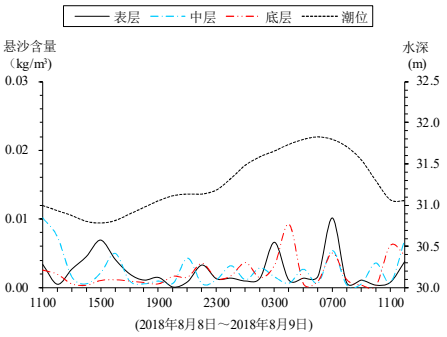
C6



C7

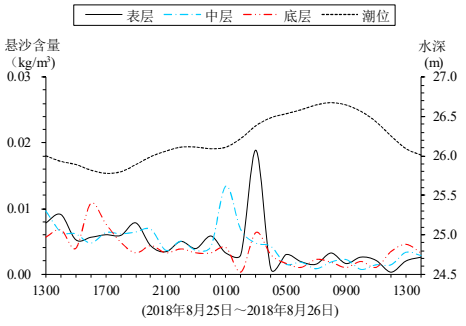


C8

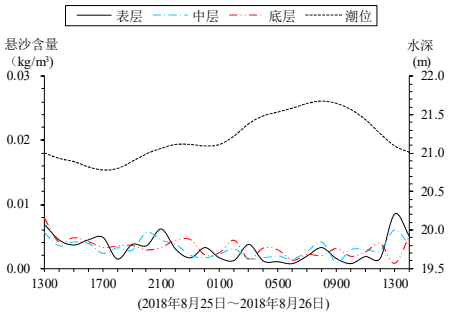


C9

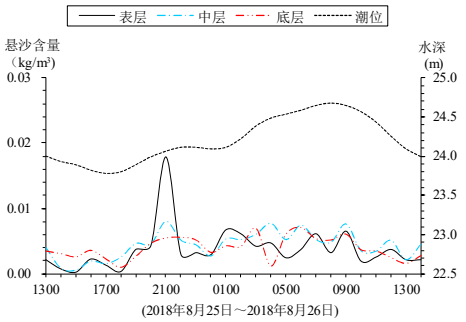
图 5.1-28a 夏季中潮期 C1~C9 站表、中、底悬浮体含量周日变化图



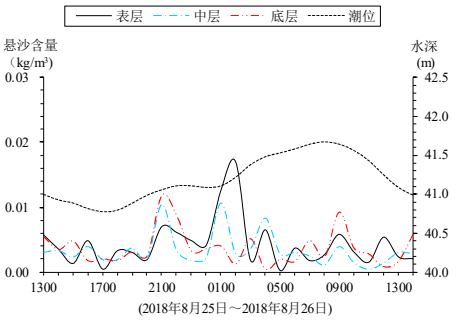
C1



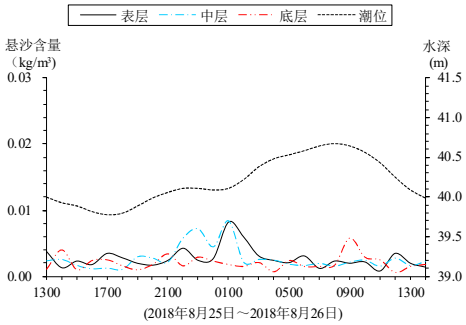
C2



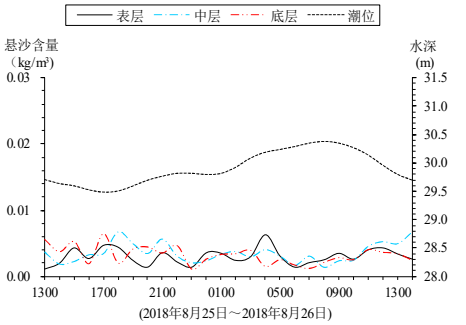
C3



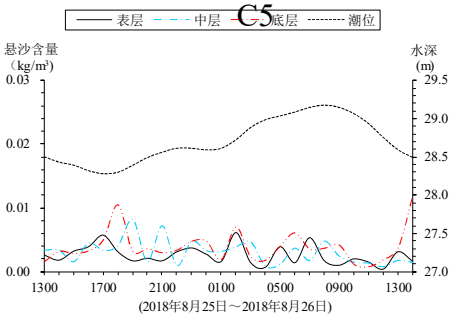
C4



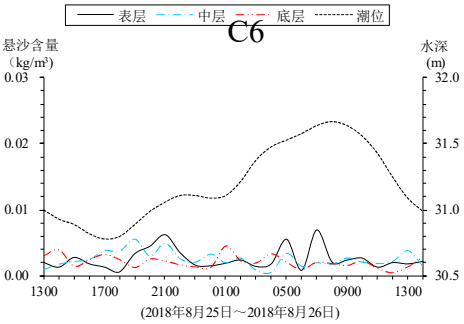
C5



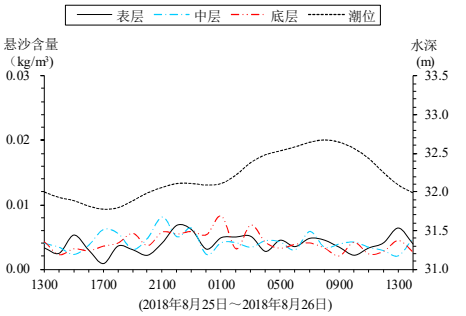
C6



C7

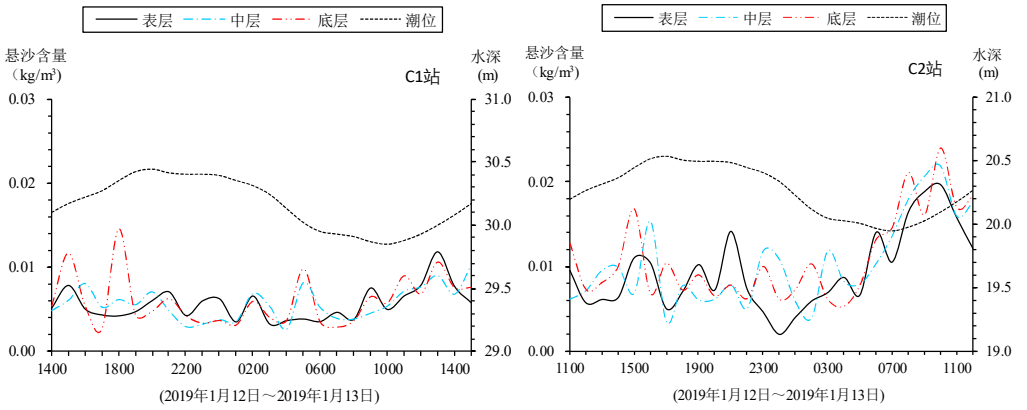


C8



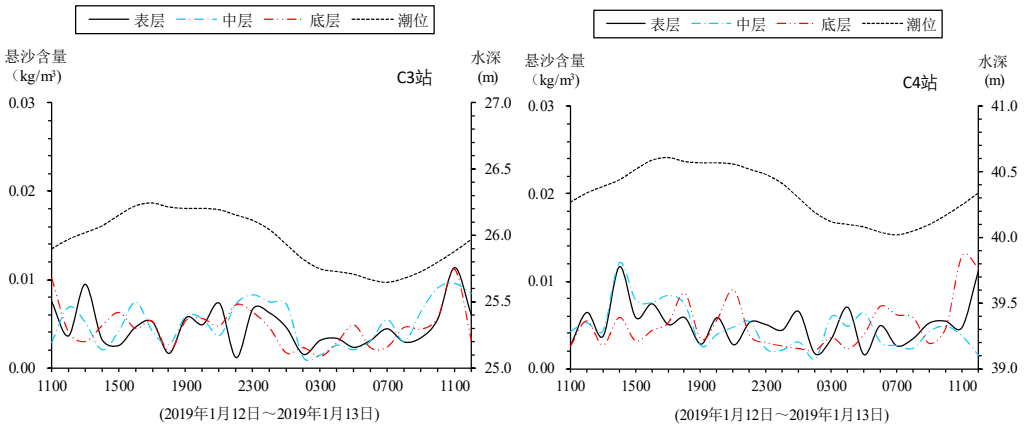
C9

图 5.1-29a 夏季大潮期 C1~C9 站表、中、底悬浮体含量周日变化图



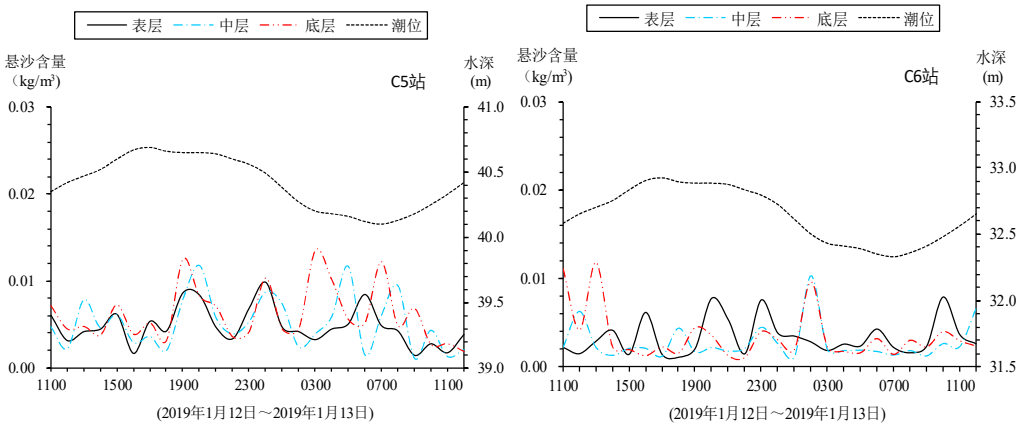
(2019年1月12日～2019年1月13日)

(2019年1月12日～2019年1月13日)



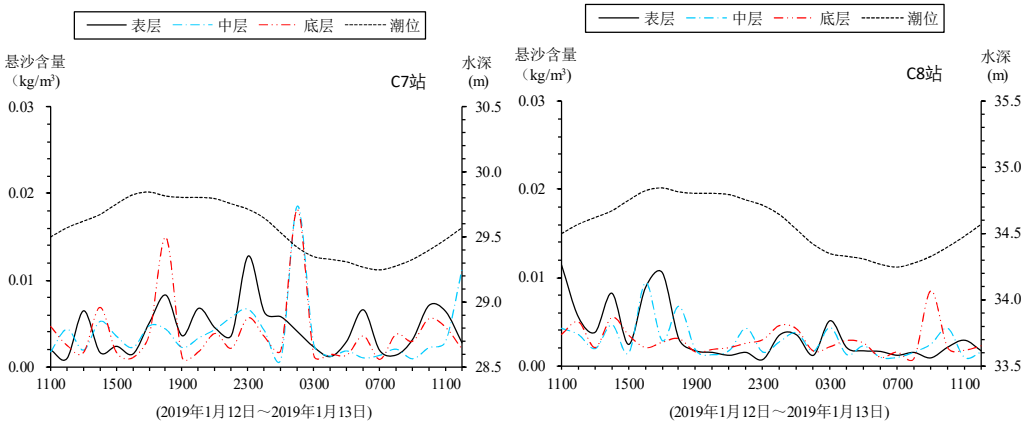
(2019年1月12日～2019年1月13日)

(2019年1月12日～2019年1月13日)



(2019年1月12日～2019年1月13日)

(2019年1月12日～2019年1月13日)



(2019年1月12日～2019年1月13日)

(2019年1月12日～2019年1月13日)

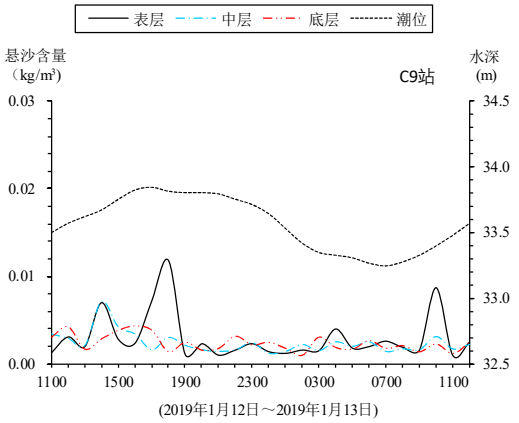
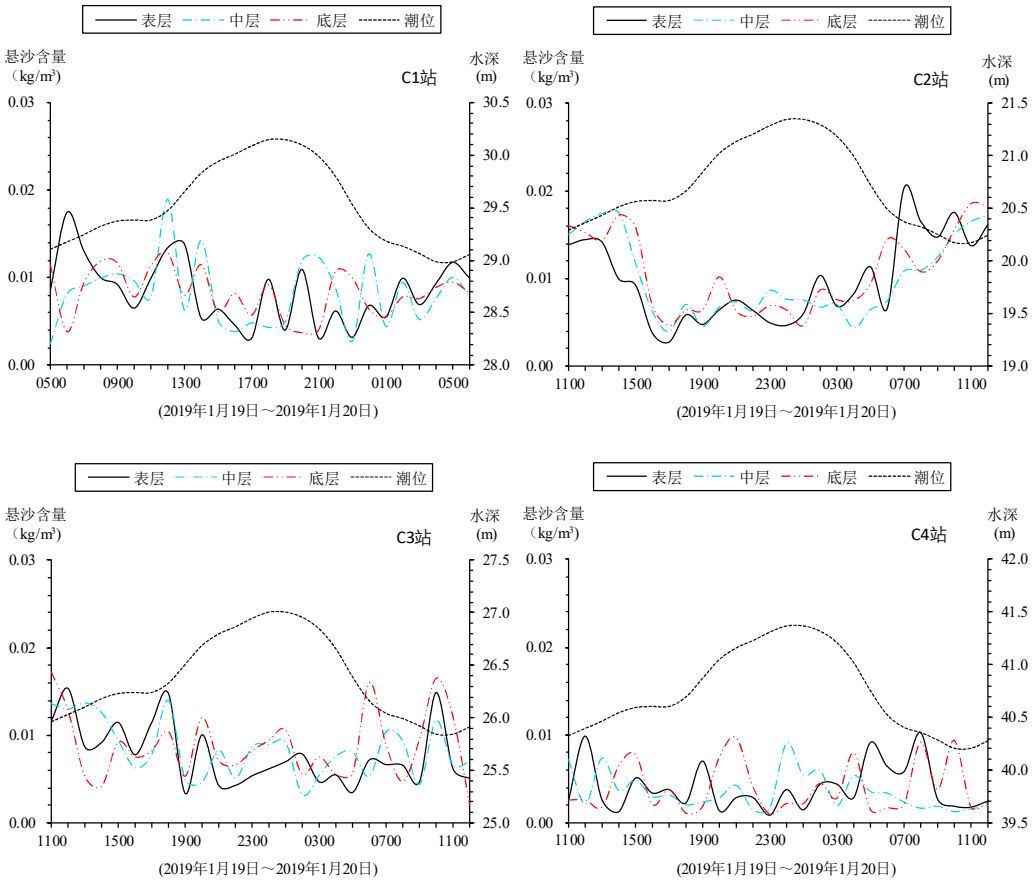


图 5.1-27b 冬季小潮期 C1~C9 站悬沙含量周日变化图



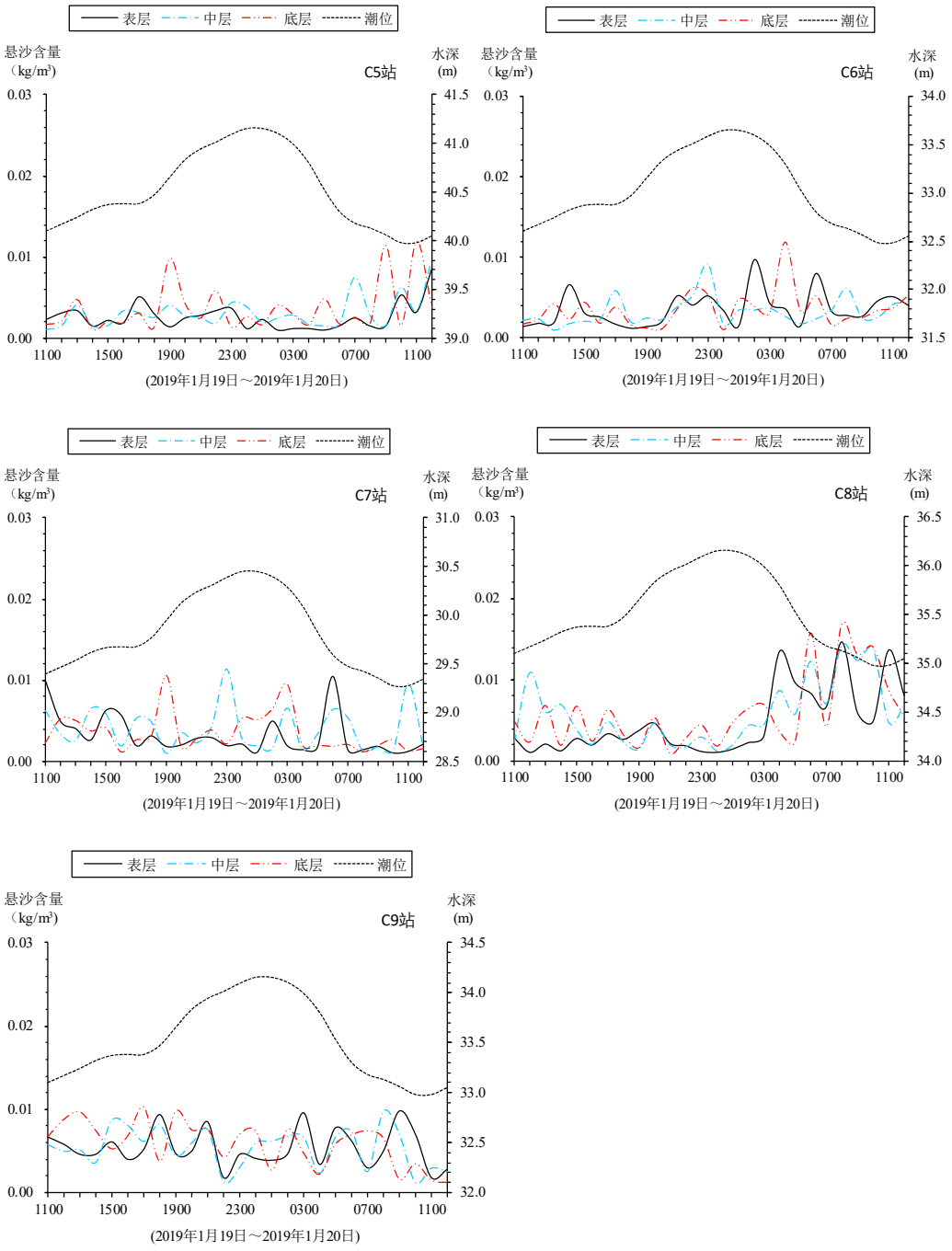
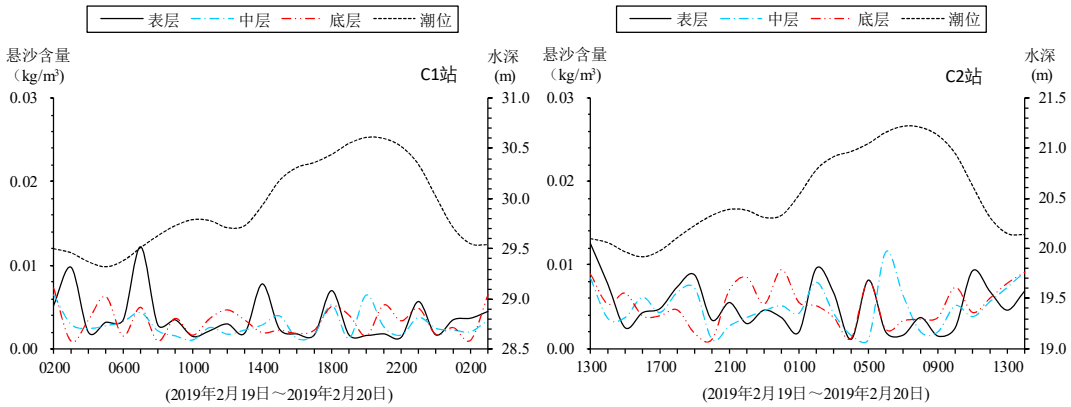
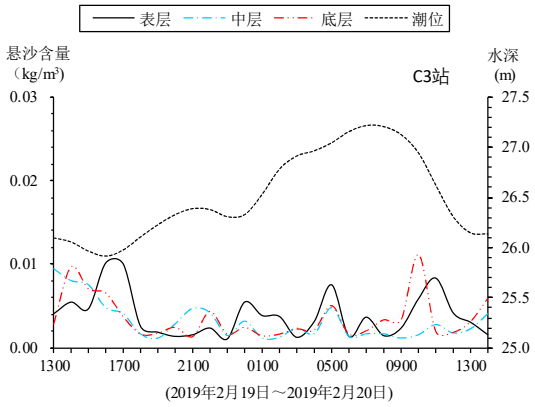
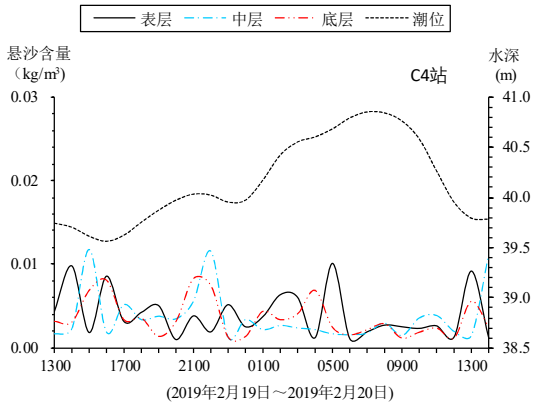


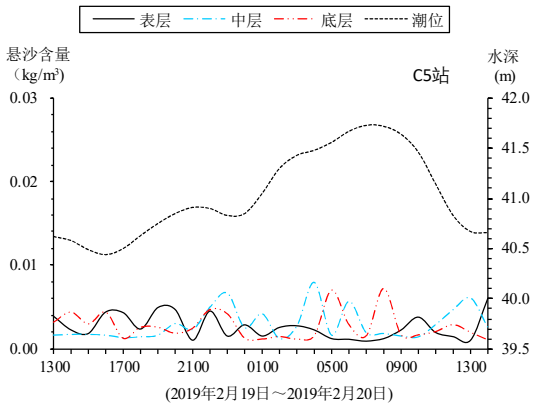
图 5.1-28b 冬季中潮期 C1~C9 站悬沙含量周日变化图

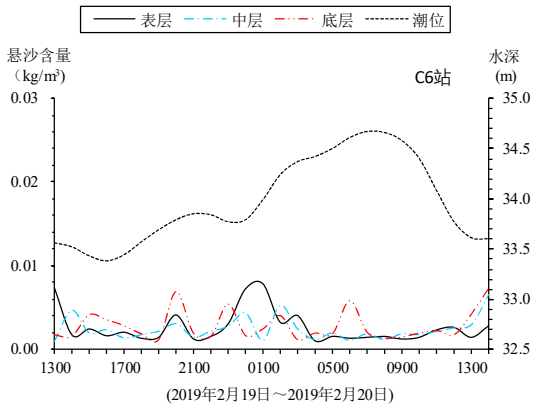

表层
中层
底层
潮位
悬沙含量（kg/m³）
水深(m)
C1站
0.03
0.02
0.01
0.00
31.0
30.5
30.0
29.5
29.0
28.5
0200
0600
1000
1400
1800
2200
0200
(2019年2月19日～2019年2月20日)

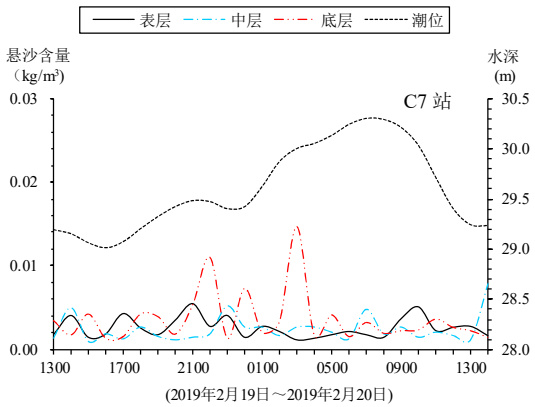
表层
中层
底层
潮位
悬沙含量（kg/m³）
水深(m)
C2站
0.03
0.02
0.01
0.00
21.5
21.0
20.5
20.0
19.5
19.0
1300
1700
2100
0100
0500
0900
1300
(2019年2月19日～2019年2月20日)

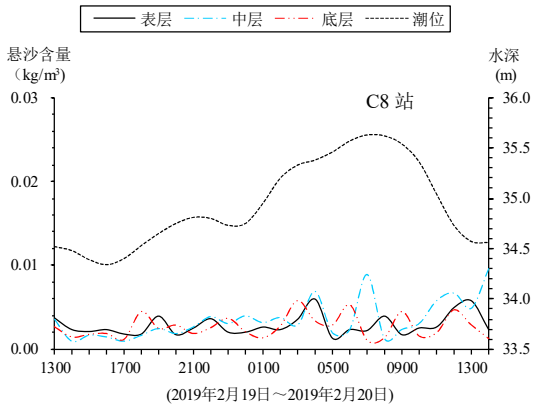

表层
中层
底层
潮位
悬沙含量（kg/m³）
水深(m)
C3站
0.03
0.02
0.01
0.00
27.5
27.0
26.5
26.0
25.5
25.0
1300
1700
2100
0100
0500
0900
1300
(2019年2月19日～2019年2月20日)


表层
中层
底层
潮位
悬沙含量（kg/m³）
水深(m)
C4站
0.03
0.02
0.01
0.00
41.0
40.5
40.0
39.5
39.0
38.5
1300
1700
2100
0100
0500
0900
1300
(2019年2月19日～2019年2月20日)


表层
中层
底层
潮位
悬沙含量（kg/m³）
水深(m)
C5站
0.03
0.02
0.01
0.00
42.0
41.5
41.0
40.5
40.0
39.5
1300
1700
2100
0100
0500
0900
1300
(2019年2月19日～2019年2月20日)


表层
中层
底层
潮位
悬沙含量（kg/m³）
水深(m)
C6站
0.03
0.02
0.01
0.00
35.0
34.5
34.0
33.5
33.0
32.5
1300
1700
2100
0100
0500
0900
1300
(2019年2月19日～2019年2月20日)


表层
中层
底层
潮位
悬沙含量（kg/m³）
水深(m)
C7 站
0.03
0.02
0.01
0.00
30.5
30.0
29.5
29.0
28.5
28.0
1300
1700
2100
0100
0500
0900
1300
(2019年2月19日～2019年2月20日)


表层
中层
底层
潮位
悬沙含量（kg/m³）
水深(m)
C8 站
0.03
0.02
0.01
0.00
36.0
35.5
35.0
34.5
34.0
33.5
1300
1700
2100
0100
0500
0900
1300
(2019年2月19日～2019年2月20日)

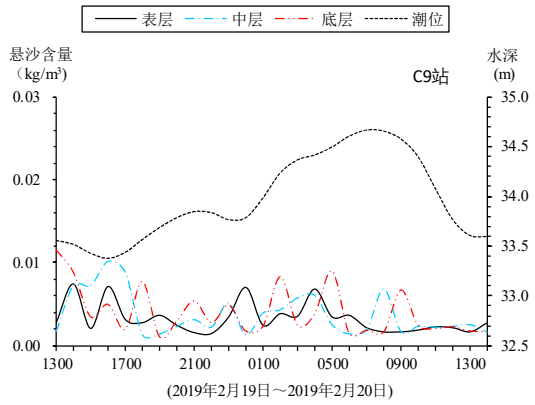


图 5.1-29b 冬季大潮期 C1~C9 站悬沙含量周日变化图

5.1.5.2 悬沙运移及来源分析

（1）悬沙运移计算方法

悬沙运移情况可由下面提供的计算方法确定。该方法需要的同步实测的悬沙、潮位、海流数据，主要计算公式为：

单宽输沙率：

$$q = HVS$$

式中：

q－单宽输沙率，单位为 kg/(m · s)；

H－水深，单位为 m ；

V－流速，单位为 m/s ；

S－悬沙含量，单位为 kg/m3 。

周日单宽净输沙量：

$$W_{净} = [(q0+q1)t1+(q1+q2)t2+\cdots+(qn-1+qn)tn]/2$$

式中：

W－净－周日单宽净输沙量，单位为 kg/（m · d）

t－取样时间

q－单宽输沙率

（2）周日单宽输沙量

根据上述公式计算得到夏季各站周日单宽净输沙量如表 5.1-22a 所示。绘制的大潮、中、小潮期各站的周日单宽净输沙量分布图见图 5.1-30a~图 5.1-32a。

表 5.1-22a 夏季各站周日单宽净输沙量

站号	小潮		中 潮		大 潮	
	净输沙量(kg)	方向(°)	净输沙量(kg)	方向(°)	净输沙量(kg)	方向(°)
C1	3412.1	77	207.0	78	809.0	82
C2	1218.2	89	253.7	288	220.7	82
C3	910.1	81	399.4	36	822.9	83
C4	4056.0	85	1521.6	71	2991.5	88
C5	6074.3	77	1728.6	70	2048.6	72
C6	3693.5	74	783.4	91	1060.3	76
C7	2456.1	108	1009.9	60	874.8	75
C8	3176.7	81	1240.4	59	856.3	72
C9	3033.1	88	116.6	116	1512.2	78

从表中看出，本次调查最大周日单宽净输沙量为 6074.3 kg/(m · d)，出现在 C5 站，其次为 C4 站和 C6 站，分别为 4056 kg/(m · d)、3693kg/(m · d)，均发生在小潮期；最小周日单宽净输沙量为 116.6 kg/(m · d)，出现在中潮期的 C9 站。调查海区周日单宽净输沙量有如下特点：

（1）全潮观测期间，小潮周日单宽净输沙量最大，其次为中潮，大潮最小。

（2）小潮、中潮和大潮的输沙趋势均为沿岸线向东北方向输运，深水测站的输沙量大于浅水测站。

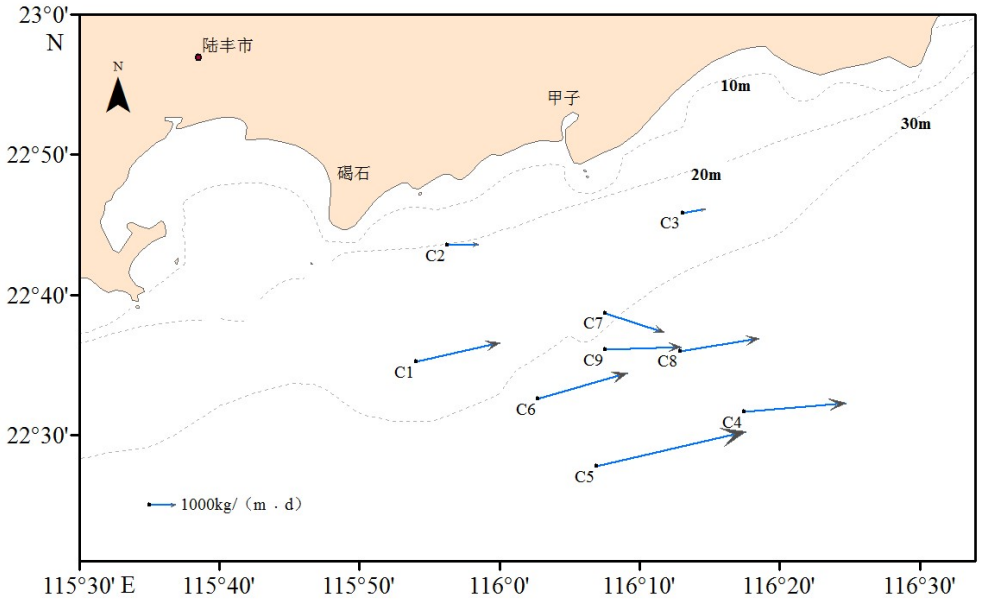


图 5.1-30a 夏季小潮周日单宽净输沙量分布图

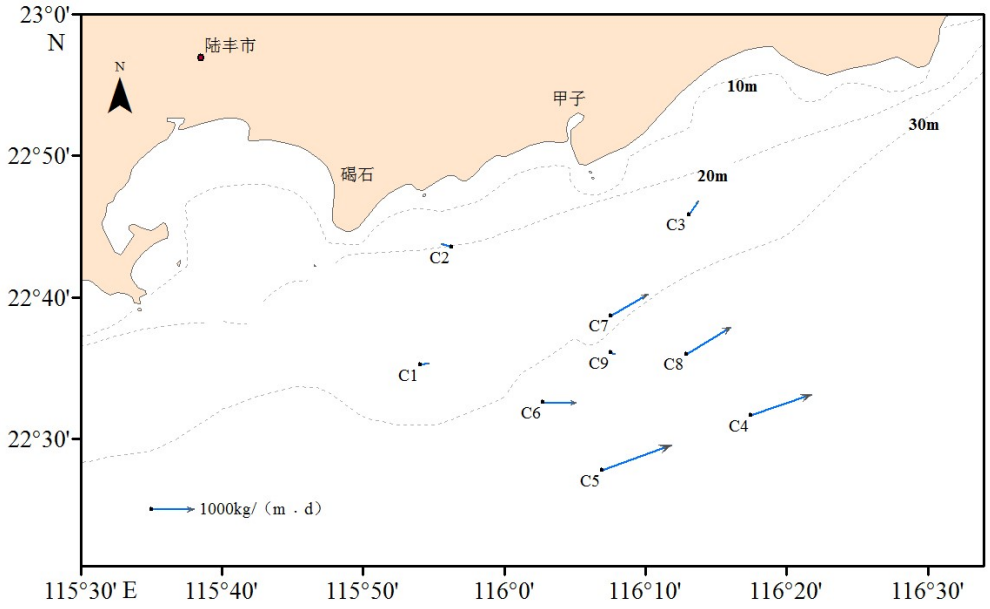


图 5.1-31a 夏季中潮周日单宽净输沙量分布图

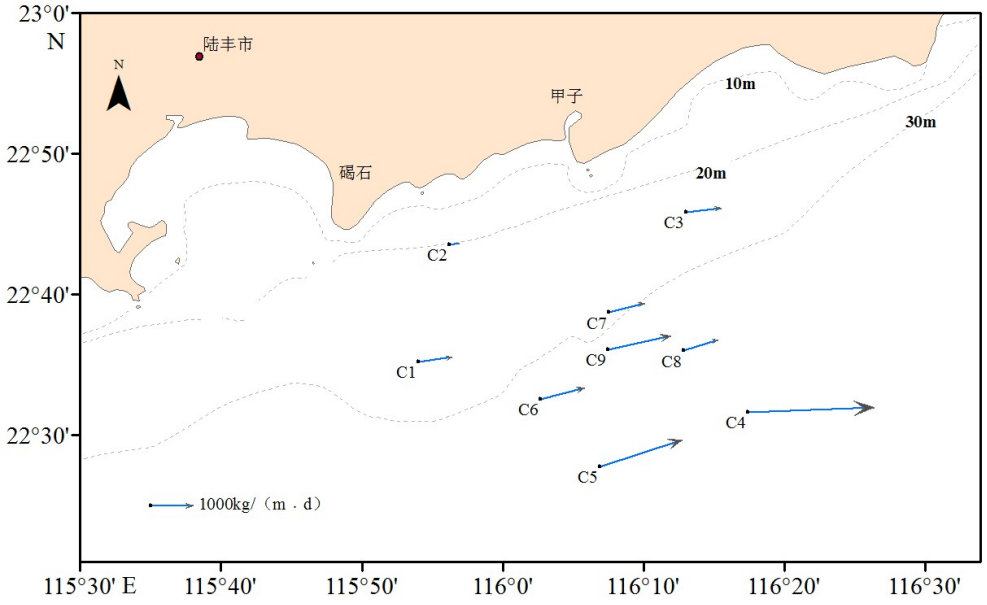


图 5.1-32a 大潮周日单宽净输沙量分布图

根据上述公式计算得到冬季各站周日单宽净输沙量如表 5.1-20b 所示。绘制的小潮、中、大潮期各站的周日单宽净输沙量分布图见图 5.1-29b~图 5.1-31b。

表 5.1-22b 冬季各站周日单宽净输沙量

站号	小潮		中 潮		大 潮	
	净输沙量(kg)	方向(°)	净输沙量(kg)	方向(°)	净输沙量(kg)	方向(°)
C1	1165.3	286	1684.6	298	372.2	322
C2	2069.1	262	350.8	270	1080.3	270
C3	718.2	293	1335.0	276	344.4	25
C4	218.9	199	874.2	298	1046.7	312

C5	1374.4	211	753.2	346	573.5	312
C6	335.8	219	665.8	264	476.7	275
C7	602.0	238	438.5	316	265.3	325
C8	312.4	177	741.8	319	601.5	24
C9	386.8	210	672.7	335	996.7	284

从表中看出，本次调查最大周日单宽净输沙量为 2069.1kg/(m · d)，出现在 C2 站小潮，其次为 C1 站和 C5 站，为 1684.6 kg/(m · d)、1374.4kg/(m · d)，分别发生在中潮、小潮期；最小周日单宽净输沙量为 265.3 kg/(m · d)，出现在大潮期的 C7 站。

调查海区周日单宽净输沙量有如下特点：

（1）全潮观测期间，小潮周日单宽净输沙量最大，其次为中潮，大潮最小；深水测站的输沙量小于浅水测站。

（2）小潮期，近岸段输沙趋势为沿岸或西北向岸输运、深水段输沙趋势为向西南外海输运；中潮、大潮的输沙趋势均为沿西北向岸输运。

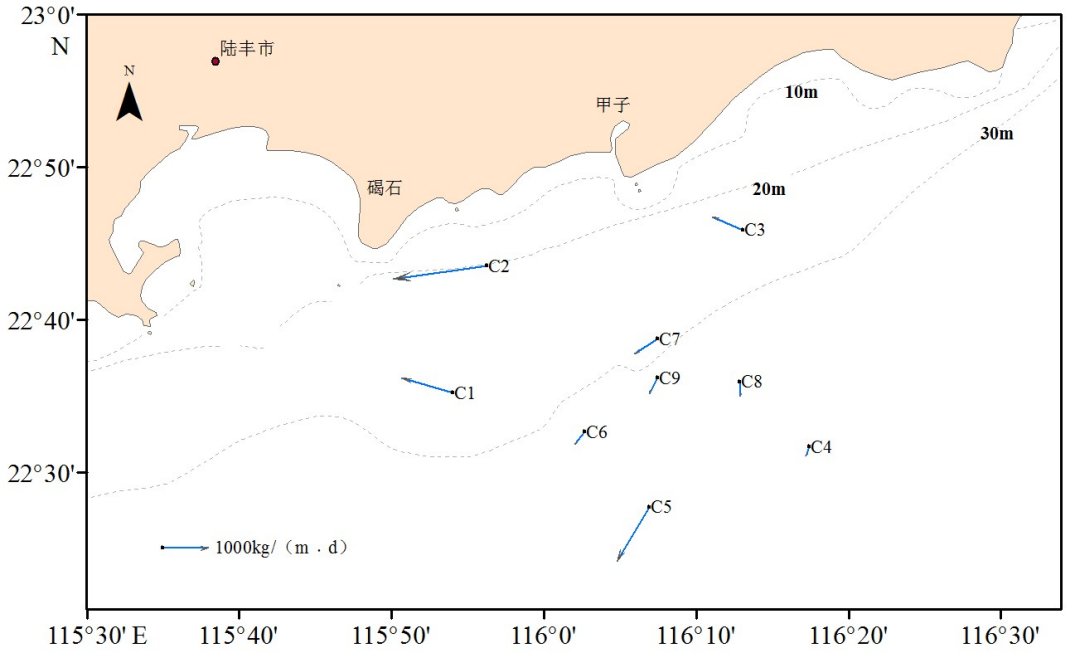


图 5.1-30b 冬季小潮周日单宽净输沙量分布图

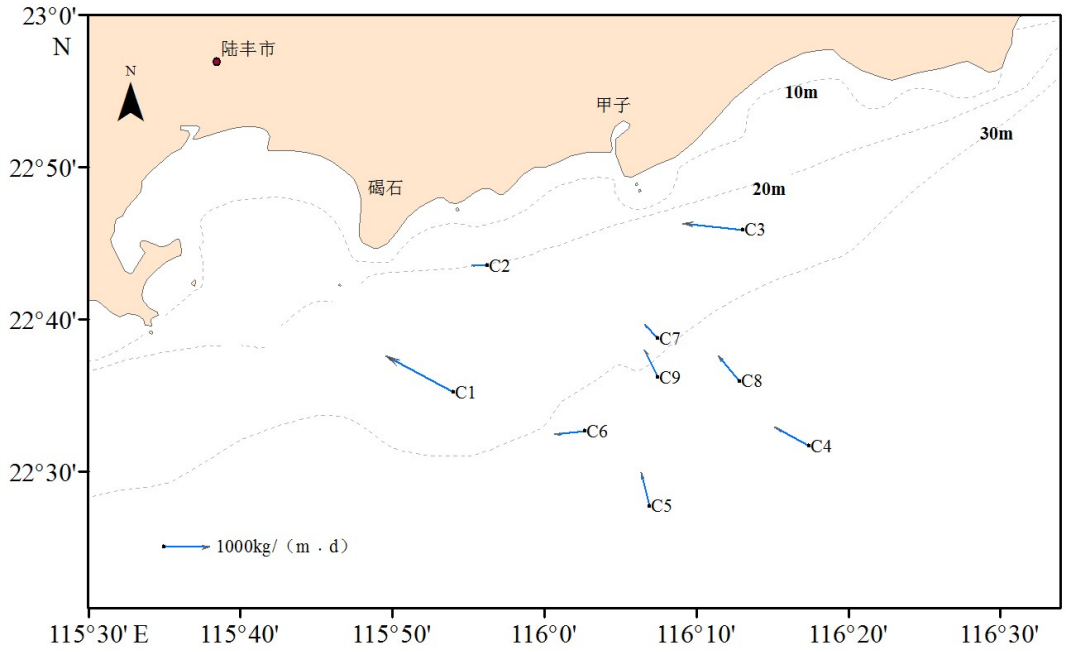


图 5.1-31b 冬季中潮周日单宽净输沙量分布图

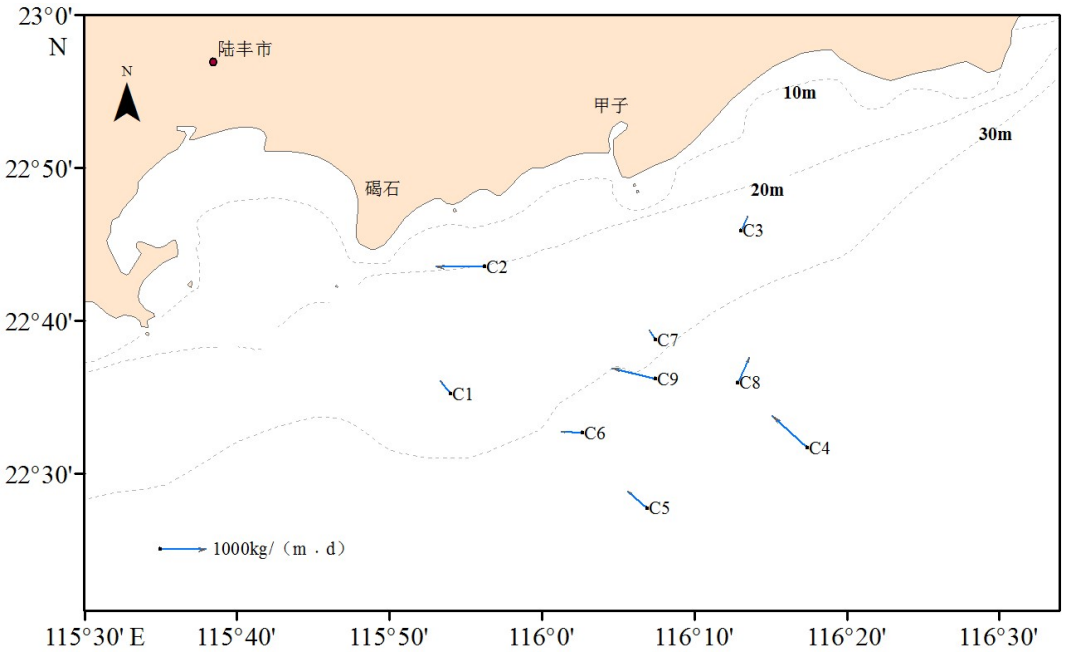


图 5.1-32b 冬季大潮周日单宽净输沙量分布图

5.1.6 总结

冬季：

（1）观测海域 T1 和 T2 站的潮汐性质系数 F 值分别为 5.07 和 3.53，T1 站属于正规全日潮类型，T2 站属于不正规全日潮类型。观测期间 T1 和 T2 站的最大潮差分别为 182cm 和 200cm，平均潮差分别为 78cm 和 74cm。T1 站平均涨潮

历时和落潮历时分别为 9h57min 和 7h34min，T2 站分别为 7h53min 和 6h32min。涨潮历时大于落潮历时。

（2）调查海域各站海流呈现出略带旋转的往复流特征，表层主要表现为 WSW 流，中底层主要表现 WSW-ENE 流。潮流类型主要为不正规半日潮流，实测最大流速为 68.9cm/s。计算的理论最大可能潮流的最大值为 50.2cm/s。观测海域余流主要介于 0.9cm/s～27.6cm/s。底层余流流速比其余各层流速小。观测期间小潮期各站各层的余流方向主要为 SW；中、大潮期各站各层的余流方向，大部分站层余流方向主要为 NE~SW 范围。

（3）观测海域水温呈现以下特点：各站表层平均温度在 17.11℃～23.25℃之间，中层平均温度在 17.10℃～23.00℃之间，底层平均温度分布范围是 17.10℃～22.15℃。潮期上平均水温，大潮期最高，小潮期次之，中潮期最低。垂向上各站位水温，小、中潮期水温从表层到底层逐渐升高，大潮期水温从表层至底层基本呈现逐渐降低变化的特点。从空间分布上来讲，表、中、底层温度大部分是从岸边向外海逐渐增大，近岸 C2、C3 站平均温度最低，外海的 C4、C5 站平均温度较高。

（4）观测海域盐度呈现以下特点：各站表层平均盐度在 31.080～34.499 之间，0.6H 层平均盐度在 31.093～34.508 之间，底层平均盐度分布范围是 31.116～34.490。潮期上平均盐度，大潮期盐度最高，中潮期次之，小潮期最低。垂向上各站位盐度，从表层到底层基本呈现逐渐增加的特点，但各站盐度分层不明显。空间分布上，各潮期表、中、底层盐度的分布均相差不大，均表现为近岸低远海高，即观测海区北侧低、南侧高。

（5）观测海域冬季小潮期平均含沙量为 0.0026kg/m3～0.0103kg/m3；中潮期平均含沙量为 0.0031kg/m3～0.0102kg/m3；大潮期平均含沙量为 0.0026kg/m3～0.0051kg/m3。悬沙中值粒径范围，小潮期为 0.0088mm～0.0215mm，平均值 0.0152mm；中潮为 0.0076mm～0.0200mm，平均值 0.0143mm，大潮为 0.0119mm~0.0210mm，平均值 0.0174mm。悬沙类型以沙质粉砂为主，占 64.7%，其次为粘土质粉砂，占 28.0%，再次为粉砂，占 7.3%。本海区水深较深，潮流及波浪动力对海床表面的泥沙运动影响较小，悬沙含量波动幅度变化不大。小潮周日单宽净输沙量最大，其次为中潮，大潮最小，深水测站的输沙量小于浅水测站。最大周日单宽净输沙量为 2069.1kg/(m·d)，最小单宽净输沙量为

218.9kg/(m · d)。小潮期，近岸段输沙趋势为沿岸或西北向岸输运、深水段输沙趋势为向西南外海输运；中潮、大潮的输沙趋势均为沿西北向岸输运。深水测站的输沙量小于浅水测站。

夏季：

（1）观测海域 T1 和 T2 站的潮汐性质系数 F 值分别为 5.60 和 3.29，T1 站属于正规全日潮类型，T2 站属于不正规全日潮类型。观测期间 T1 和 T2 站的最大潮差分别为 145cm 和 163cm，平均潮差分别为 56cm 和 70cm。T1 站平均涨潮历时和落潮历时分别为 7h55min 和 4h56min，T2 站分别为 8h40min 和 5h21min。涨潮历时大于落潮历时。

（2）调查海域各站海流呈现出略带旋转流特征，受岸线的影响，主要流向为 NE 向，海流以沿岸流为主。潮流类型主要为不正规半日潮流，实测最大流速为 107.4cm/s。计算的理论最大可能潮流的最大值为 67.9cm/s。观测海域余流主要介于 0.6cm/s～81.3cm/s。底层余流流速比其余各层流速小。观测期间各站各层余流方向基本为 E~NE。

（3）观测海域水温呈现以下特点：各站表层平均温度在 25.62～30.82℃，中层平均温度在 21.41～25.88℃，底层平均温度分布范围在 21.22～22.56℃。潮期上，中潮期水温最高，小潮期次之，大潮期最低。垂向上，各站位水温从表层至底层基本呈现逐渐降低变化的特点。从空间分布上来讲，表、中、底层温度大部分是从岸边向外海逐渐增大，近岸 C2、C3 站平均温度最低，外海的 C4、C5 站平均温度较高。

（4）观测海域盐度呈现以下特点：各站表层平均盐度在 29.950～33.851，中层平均盐度在 33.982～34.683，底层平均盐度分布范围在 34.373～34.885。潮期上，大潮期盐度最高，小潮期次之，中潮期最低。垂向上，各站位盐度从表层到底层基本呈现逐渐增加的特点，0.6H、0.8H 和底层盐度较为接近。空间分布上，各潮期表、中、底层盐度的分布均有所不一样，小潮期表现为近岸高云海低；中潮期表现为近岸低、中间高；大潮期表现为西侧高东侧低。

（5）观测海域夏季小潮期平均含沙量为 0.0025kg/m3～0.0032kg/m3；中潮期平均含沙量为 0.0020kg/m3 ～ 0.0035kg/m3；大潮期平均含沙量为 0.0024kg/m3～0.0042kg/m3。悬沙中值粒径范围，小潮期为 0.015mm ~ 0.026mm；中潮为 0.02mm ~ 0.034mm，大潮为 0.015mm~0.025mm。悬沙类型以砂质粉砂为

主，占 97%以上，其次为粉砂，占 3%。本海区水深较深，潮流及波浪动力对海床表面的泥沙运动影响较小，悬沙含量波动幅度变化不大。小潮周日单宽净输沙量最大，其次为中潮，大潮最小。最大单宽净输沙量为 6074.3kg/(m · d)，最小单宽净输沙量为 116.6kg/(m · d)。小潮、中潮和大潮的输沙趋势均为沿岸线向东北方向输运，深水测站的输沙量大于浅水测站。

（6）表层沉积物的平均粒径（Mz）分布范围为Φ=2.13—7.41， 平均值Φ=4.18，表层沉积物颗粒呈现出东南部粗，西北部细的分布特点。表层沉积物的分选系数 位于 0.72—2.38 之间，平均值为 1.51，分选性东南部好于西北部，但总体分选性仍属差类型。表层沉积物的偏态 Ski 值在-0.33—0.87 之间，平均值为 0.21，极负偏—极正偏均有分布，东南部和西北部以近对称态为主，中部以正偏态和极正偏态为主。

（7）表层沉积物类型共有六种：砂（S）、粘土质粉砂（YT）、粉砂质砂(TS)、砂质粉砂（ST）、粉砂（T）、砂（含砾）（S（G）），其中以砂（S）为主，粘土质粉砂（YT）次之。表层沉积物中砂含量最高，粉砂含量次之，粘土含量居第三，砾含量最低。

5.2 地形地貌与冲淤环境影响现状调查与评价

5.2.1 区域地质构造

（1）断裂

①东西向构造体系

该构造体系对汕尾海陆岩体和第四系展布有控制作用，本区属于高要-惠来东西向构造带的东段（图 5.2-1）。高要-惠来深断裂带，分布于北纬 22°40′～23°20′之间，经罗定、高要、广州、惠阳、海丰、惠来直插台湾浅滩。广东境内长约 500km，宽 10～30km。该深断裂带主要由潜伏基底断裂及近东西走向的逆冲断层、正断层、不同时代的褶皱和中新生代盆地所组成，沿断裂带发育着片理、片麻理、硅化、糜棱岩化，并伴有中、新生代酸性、碱性岩浆的多次喷溢。断裂在近代仍具有多期活动性，这表现在：断裂性质交替变化、断裂两盘垂直差异运动、阶地变形、断层气的异常、温泉分布及地震活动。此构造体系生成于印支运动之后，主要活动与晚侏罗世、白垩纪直至第四纪仍继续活动，控制了汕尾、捷胜、甲子岩体的走向，并控制了海、陆丰一带第四系的展布方向。

②北东向构造体系（新华夏系）

北东向构造体系为汕尾海陆区域的主要构造体系，构造组分以北东 40º-60º斜列式压扭断裂和强大的挤压破碎带为主，兼有褶皱。本体系构造形迹连续、规模大，生成于晚三叠世至晚侏罗世，第四纪仍继续活动。控制了本区自晚三叠世一来的构造发展史、近代地貌特征、以及钨、锡成矿带展布方向。同时，它与北西向构造一起，控制了海岸线的形态。

在汕尾区域内，以梅陇断裂带规模最大，长约 32km、宽约 6km。相邻的北东向断裂带还有：

潮州-普宁深断裂带该断裂带经潮州、揭阳、普宁至汕尾延伸入海，往北东经饶平延伸到福建境内，与长乐—诏安断裂带西侧断裂相连，总体走向 NE40°～50°，主要倾向 SE，倾角 50°～80°，广东境内陆地长达 210km，路由区域范围属于潮州-汕尾断裂带南西段，断裂连续性较好，区内延长约 37km，由九条大致平行展布的Ⅰ、Ⅱ级断裂所组成，这些断裂均向南东倾，剖面上组成一个逆冲断裂系。断裂带影响范围较宽，达 4km～5km，沿断裂发育硅化岩、碎裂岩、压碎花岗岩等。断裂的早期活动控制了岩浆侵入和喷发活动，中侏罗世-晚侏罗世早期火山岩主要分布在断裂带的南东侧；沿着断裂常发育北东向花岗岩墙，断裂两侧地层延伸方向呈大角度相交，并造成地层的大规模重复和缺失。该断裂带形成于侏罗纪晚期的燕山运动第三幕，表现在多期的岩浆侵入与喷发，强烈活动于白垩纪。

汕头-惠来深断裂带该断裂发育于饶平、汕头一带，广东陆地部分长 150km，呈 45°～50°方向延伸，直至汕尾外海，与路由海域相交集。断裂广泛发育动热变质现象，砂岩硅化，花岗岩压碎、硅化和糜棱岩化形成动热变质带，显示强烈挤压逆冲现象。新构造运动时期以来，断裂活动控制了沿海山地丘陵、台地、滨海平原的分布。断裂北西盘具整体持续上升，而南东盘相对下降。其间又以第四纪早期活动的强度和幅度较大，中更新世以来，南东盘处于长期稳定的剥蚀状态，晚更新世以来在某些地段仍有较强活动。

南澳深断裂带该断裂发端于南澳岛东北部海域，与北西向的饶平大断裂相交错，北东-南西走向，穿越南澳岛东部，大部分在海域，一直延续到汕尾外海。在南澳岛东北部海域，南澳深断裂带与饶平大断裂相交处，发生过 7 级强烈地震。

③北西向构造

由一系列北西向断裂构造组成，主要有饶平大断裂、韩江大断裂、榕江大断裂、普宁大断裂和惠来大断裂等，其中惠来大断裂离本项目最近。惠来大断裂走向为北西 45°～50°，与高要～惠来深断裂带和潮州～普宁深断裂带相交错，并被潮州～普宁深断裂带错开为两段，总长约 50km。

（2）褶皱

区内主要分布有北东向和北东东向的向斜，分别对应于汕尾、惠东、惠州等盆地。

（3）活动断裂

断块与断裂运动造成本区山盆、海陆分界明显。继承性断裂活动造成地貌反差强烈：地形变形、变位、山盆界线平直、河道多呈直线、折线状；滑坡、瀑布、洪积扇、温泉、冷泉、地震、重磁异常沿断裂分布。东西向断裂控制了第四系沉积等厚线、海水等深线的展布方向。对项目所在区域影响较大的活动断裂主要有：北东向的南澳深断裂带、汕头-惠来深断裂带和潮州-普宁深断裂带；东西向的高要-惠来深断裂带；北西向的惠来大断裂。



图 5.2-1　汕尾及其邻近海域构造图

（据《广东省地震构造图集》，魏柏林主编，地震出版社，2000）

5.2.2 地形地貌

5.2.2.1 海底地形

由项目所在海域水深图（如图 5.2-2）可见，风场场址水深约为 30~35m，路由海域水深约 0~33m，海底地形平坦，20m、25m 及 30m 等深线基本沿岸线平行呈东北/西南走向，海域整体水深条件良好，无剧烈变化地形。

根据水深地形图来看，项目电缆路由从登陆点至风电场水深变化大体一致，海底地形起伏均变化不大，从登陆点往南延伸 9.4km 左右跨越 20m 等深线，

15.0km 左右跨越 25m 等深线，31.0km 左右跨越 30m 等深线，到风电场海上升压站水深平稳变化至 33m 左右。

中广核汕尾甲子二400MW海上风电场项目水深图

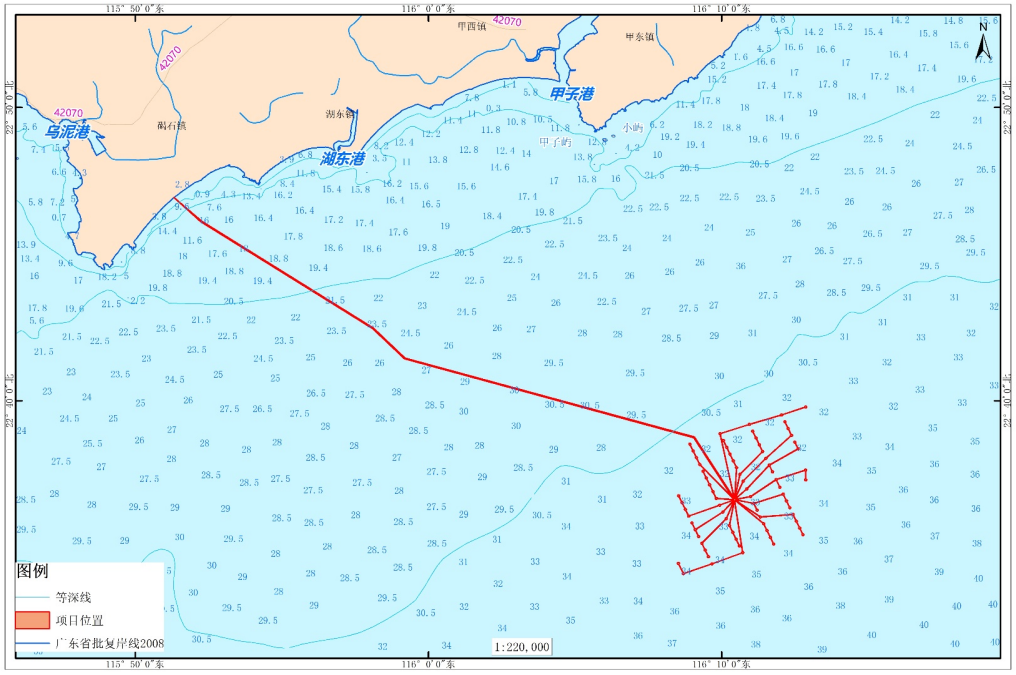


图 5.2-2　项目所在海域水深图

5.2.2.2　海床演变

根据 1970 年工程区域海图以及 2017 年工程附近海域地形测量的成果，绘制出 1970 年-2017 年间场址海域等深线变化图（见图 5.2-3），从图上可看出，48 年间工程海域工程区域海床高程以冲蚀为主，但强度不大，冲刷深度平均值为 2m，平均下降 0.04m/a。由于工程海域缺少中间年份的海图资料，进一步收集了本项目周边近岸海域有不同年份的测图地形，用于海床演变分析。临近海域 2007-2008 年测图地形与 2011 年测图地形等高线比较，等深线在 27m 以深海域的差别较小，海门湾邻近海域 2003 年测图地形与 2012 年测图地形等深线比较，等深线在 18m 以深海域的差别就已非常小，由此初步判断，近 15 年来工程周边海域地形变化不大，海床基本稳定。

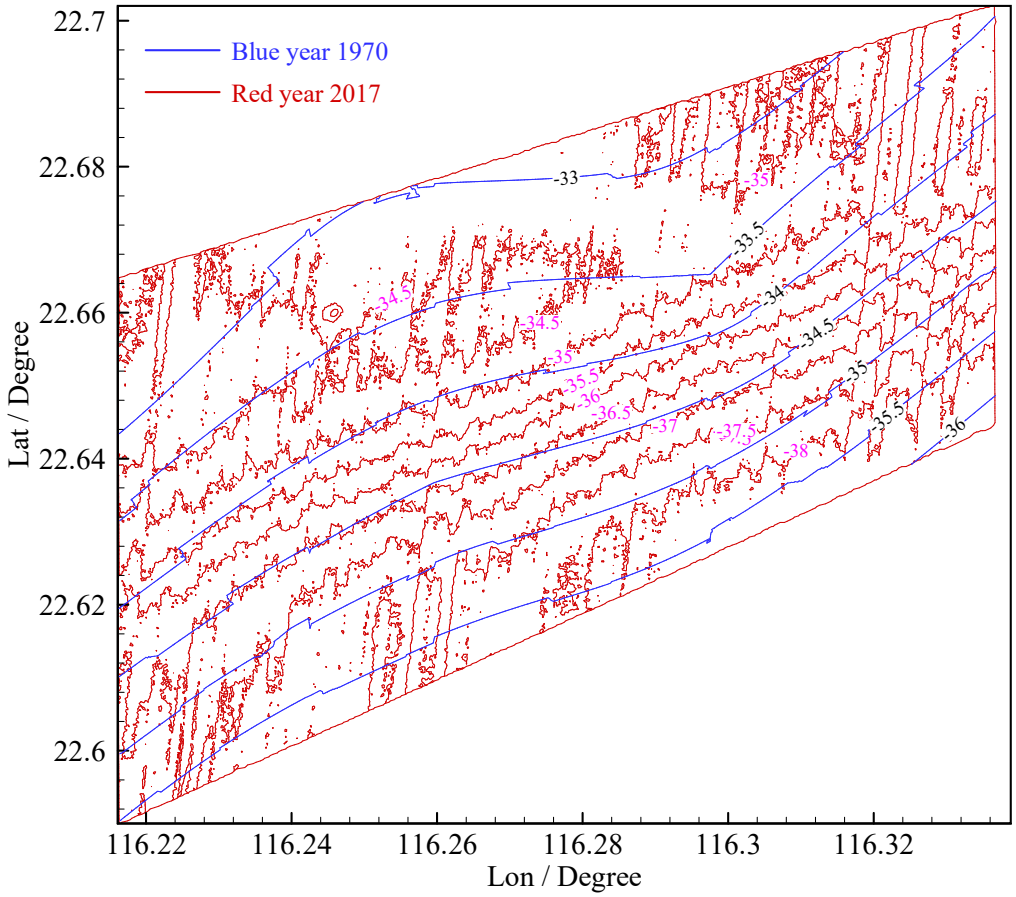


图 5.2-3　1970 年-2017 年间场址海域等深线变化图

5.2.2.3　海域地貌

项目海域地貌类型包括海积平原、侵蚀陡坎、沙滩、近岸水下浅滩和水下岸坡等类型。

路由拟登陆点位于碣石镇东南的小海湾，海岸类型为沉积型沙质海岸，岸线为东北-西南走向，岸线比较稳定，海岸沙滩比较宽缓（图 5.2-4），海岸沙堤高程 1-2m。沙堤向陆内侧为防护林带。靠近登陆点的近岸段礁石较少，海床平坦宽阔。

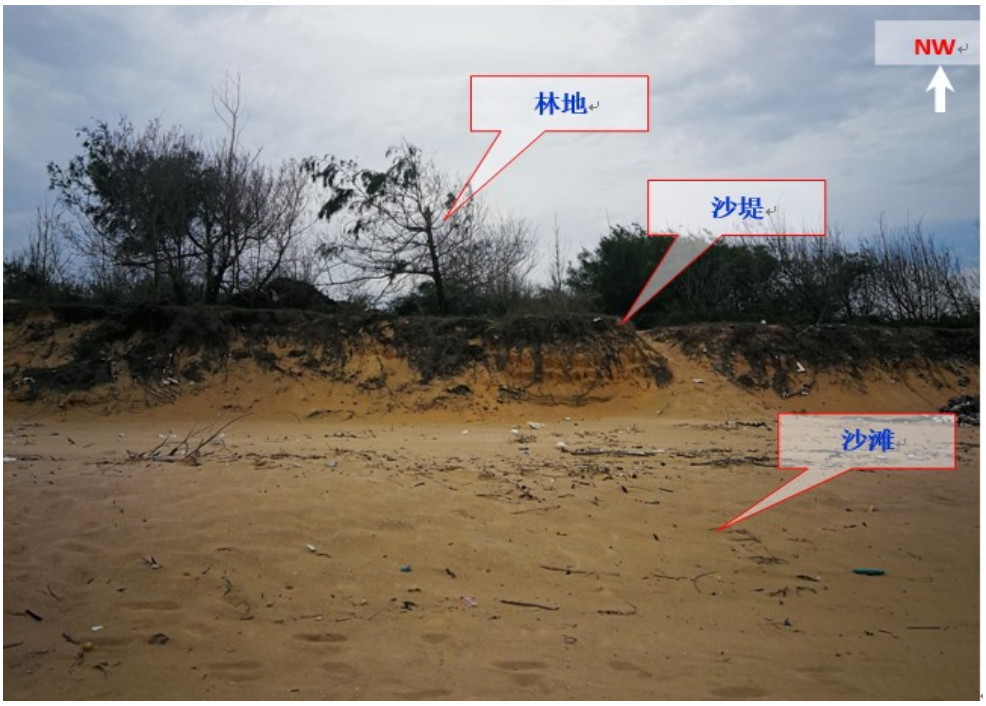


图 5.2-4　路由登陆点地貌特征

项目路由近岸段 1.5km 内为水下浅滩，其余大多为水下岸坡地貌，见图 5.2-5。

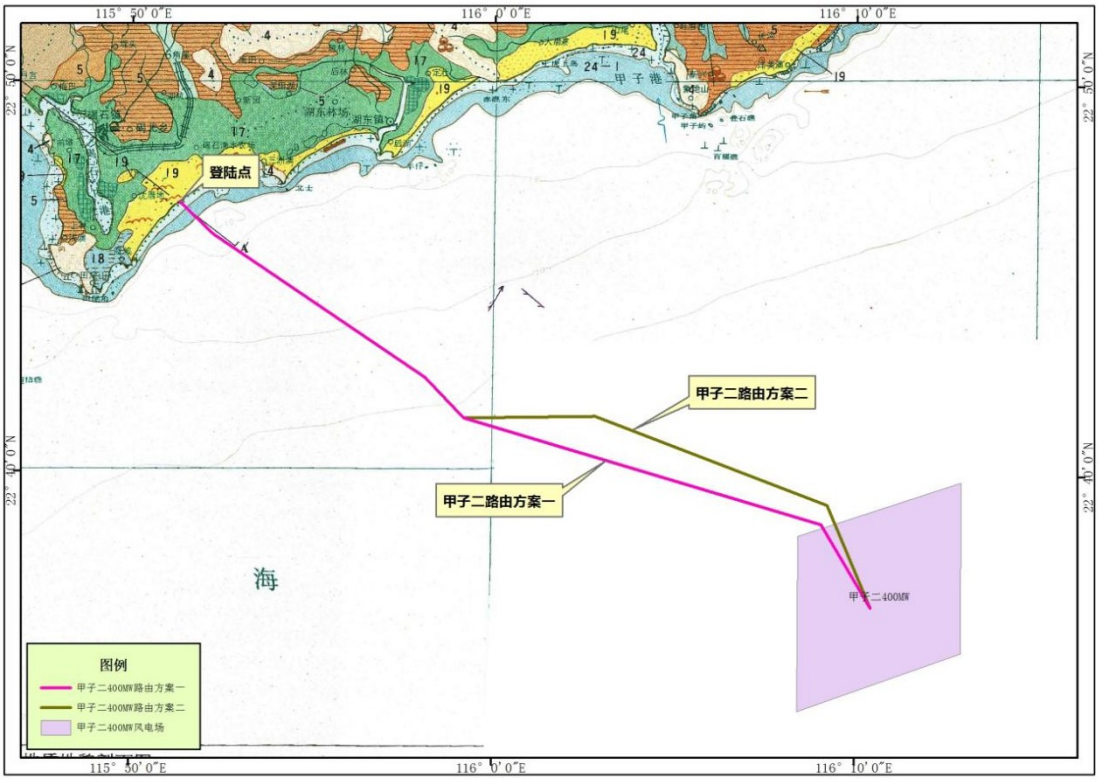


图 5.2-5　项目海域地貌图

5.2.3 工程地质

5.2.3.1 区域地质构造

根据区域地质演化、沉积建造及构造发育特点，广东地区在一级构造单元上位于华南加里东褶皱带。对构造单元进一步细分，测风塔区域属粤东—闽东隆起区，区域内断裂广泛发育，北东向最强烈，北西向次之。

拟建风电场场址附近的区域性深大断裂主要有：（1）南澳深断裂带（编号(1)）、（2）汕头—惠来深断裂带（编号(2)）、（3）高要—惠来深断裂带（编号(9)）、（4）滨海大断裂（编号⑤）、（5）普宁大断裂（编号⑫）、（6）惠来大断裂（编号⑬）（详见图 5.2-6《区域地质构造图》）。



图 5.2-6　区域地质构造图（根据《广东省区域地质志》地质构造图）

对各深大断裂特征描述如下：

（1） 南澳深断裂带（编号(1)）

地处粤东沿海前缘的南澳岛，为福建长乐—南澳深断裂带或长乐—厦门深断裂带的一部分，西南方向延入惠来境内，与靖海变质带连接，可能叠加于珠江口外的担杆群岛之上，总体沿 45º—60º 方向延伸，略向东南凸出，广东境内断续延长约 400km。

该带由大致平行的冲断裂、变质带、混合—花岗岩化带所组成，实际上是一条构造、岩浆、变质杂岩带。根据重力和航磁资料：它的东侧是重力高带，西侧是重力低带，莫霍面埋深方面，断裂带恰巧位于东侧上地幔隆起区和西侧上地幔斜坡区的转折线上；从航磁资料表明，该带由三条负磁异常组成，连续性较好。因而，是一条地球物理场的重要分界线。

断裂带所经地段，出露的岩石有晚侏罗世的火山—沉积岩系，花岗岩类，均已遭受了断裂区域变质作用和混合—花岗岩化作用，形成南澳低压型变质岩带，沉积岩系已成为变粒岩，火山岩系成为变质流纹岩和石榴石、绿帘石流纹岩，所见花岗岩已变成片理化、糜棱岩化混合岩，具条带一条纹状构造。该断裂变质带可划分为断裂区域绿片岩相变质亚带、角闪岩相变质亚带。变质作用强度自内陆向沿海逐渐增高，表现为大陆边缘活动带的特征，形成一套高温低压型的红柱石、矽线石变质岩，还有基性岩。混合岩的空间分布有多中心现象。岩石交代作用普遍而强烈，有十多种交代结构，交代作用的类型因地而异，有的以钾交代为主，有的以钠交代为主。由于岩石反复遭受应力的作用，因而压碎、错断、位移、双晶弯曲现象常见。

根据构造特征和沉积相的分析，该断裂带起源于侏罗纪，而以晚侏罗世、早白垩世活动最为强烈，表现在：断裂带控制了晚侏罗世火山岩系的分布，并使这种岩系遭受区域变质作用和混合岩作用；沿断裂带分布的变质交代型混合花岗岩被晚白垩世细粒花岗岩、花岗斑岩所侵入。因此，变质—混合岩化作用的时代应为晚侏罗世之后，晚白垩世之前。

该断裂从项目西北面通过，距离项目最近直线距离约为 6 km 。

（2）汕头—惠来深断裂带（编号(2)）

该断裂带发育于饶平、汕头、惠来一带。于陆丰甲子镇潜入南海，广东陆地部分长约 150km，呈 45～50° 方向延伸，沿断裂出露基岩广泛发育热变质现象，侏罗系砂页岩、火山岩强烈柔皱和片理化，伴有硅化、劈理化和挤压性透镜体，

显示断裂具压性兼剪性。该断裂带形成于燕山运动第三幕，并控制燕山期岩体的分布。以汕头为界，可将断裂分为南、北两段。汕头以北段断裂地貌表现明显，断裂对地貌有控制；断裂不仅控制了第四系厚度分布，对上更新统沉积也有明显控制作用；形变测量断裂两侧有差异沉降；断裂在澄海和汕头发生过 4¾级地震；该段为晚更新世活动断裂。汕头以南段断裂地表形迹不发育；基岩区地表 NE 向断裂形迹均较小且都没有第四纪活动迹象；练江平原内仅存在小规模前第四纪断裂。

该断裂从项目西北面通过，距离项目最近直线距离约为 24km。

（3）高要—惠来深断裂带（编号(9)）

该带跨越于北纬 22º40′~23º20′之间，分布于罗定、高要、广州、惠阳、海丰、惠来一线，往东插入台湾浅滩。深断裂带由东西走向的冲断裂、潜伏基底断裂组成，单条长 10—100km，伴随有片理、片麻理、硅化破碎，糜棱岩化带的广泛发育，宽几十米至几百米，并有中、新生代酸性、碱性岩浆的多次喷溢、侵入和构造盆地的发育，还有不同时代褶皱带、隆起、拗陷带的定向分布。断裂带分别被吴川—四会、河源、莲花山深断裂带所分割而出露不甚连续。

在惠阳一海丰一惠来一线，长达 200km 的狭长地带，有一系列东西走向的航磁正异常带，南侧为负值；重力垂向二次导数有异常反映，推测为潜伏的基底断裂所引起，控制了中生代岩浆的多次喷溢和侵入，并以晚侏罗世最为剧烈。基底断裂经过的地段，压碎花岗岩、糜棱岩、硅化，片理化带成群成带分布，宽几十米至 2km。

根据岩相、古地理、古构造资料的分析，高要—惠来深断裂带形成于印支运动，局部地段控制了晚三叠一早侏罗世的沉积。随着燕山运动的来临，该断裂带的活动更为强烈，发生了重熔型和同熔型花岗岩浆喷溢和侵入。追循这条深断裂带，白垩纪、第三纪的罗定加益、高要马鞍—白土、三水、东莞等盆地发育。在三水盆地，西樵山、走马营及钻孔中见到的玄武岩和粗面岩，其同位素年龄值为 64—47Ma，是陆内裂谷微型扩张的产物，它发生于地幔局部隆起的脊部，与超壳深断裂相联系。布格重力异常表现为东西向的重力高带。近时期，现代河流水系循东西向断裂带分布，地热异常相对集中，计有温泉 36 处，热水盆地 1 处，每年地热释放能量为 721.7TJ，相当于 6.7 级地震释放的能量。全带 M>4 级的地震有 45 次，释放总能量达 8921.4TJ，多集中于沿海地带，是广东地震频度最高

的地区之一。地震和地热表现为：东段较强，西段较弱，在温泉、热水盆地分布区，常有小震群重复出现。

该断裂从项目北面通过，距离项目最近直线距离约为 45km 。

（4）滨海大断裂（编号⑤）

根据已有研究工作（中国地震局地球物理研究所，2006），滨海断裂台湾海峡段不是一条连续的断裂，而是由被一些北西向断裂大致等间距横向分割的、呈北北东向斜列分布的断裂段组成。该断裂带由多条次级断裂斜列组合而成，走向北北东－北东，整体倾向东南，局部倾向北西，倾角较陡，甚至近于直立。滨海断裂是大陆隆起与台湾海峡坳陷盆地的重要分界；新构造期以来断裂活动性较强，晚第四纪以来仍有较强活动；滨海断裂是东南沿海重要的地震活动带，近海的一系列7～7½级地震都分布在滨海断裂带上。滨海断裂由北向南有平潭海外段、泉州海外段、金门海外段、东山海外段、南澳海外段和汕头海外段等段落，根据前人调查分析结论：滨海断裂汕头海外段具正断性质，最新活动应在早更新世；滨海断裂南澳海外段为第四纪晚期活动断裂。

该断裂从项目东南面通过，距离项目最近直线距离约为 55km 。

（5）普宁大断裂（编号⑫）

该断裂长期以来均为推测断裂，已有研究工作推测该断裂隐伏于练江盆地的南缘，西端起自普宁以东，东至田心一带，走向北西西，延伸长约 40km。根据“广东省粤东地区核电项目乌屿厂址关键性地震地质问题评价”针对普宁大断裂开展了包括地面地质调查、浅层地震勘探、钻探等多手段综合调查结果（中国地震局地球物理研究所，2006），该断裂在地表基岩出露区内未见断裂形迹；物探及钻探结果表明普宁大断裂沿北西西向延伸隐伏于练江平原第四纪沉积物之下，断裂西段大致位于练江盆地西部普宁－两英之间，由两条规模较大、近于平行的断裂组成，总体表现为正断性质，对第四系底部有控制作用；东段表现为 1 条规模相对较小的断层，为逆断性质，对练江盆地的结构和第四纪地层分布没有控制。普宁大断裂最新活动时间为中更新世，晚更新世以来不活动。

该断裂从项目北面通过，距离项目最近直线距离约为 72km 。

（6）惠来大断裂（编号⑬）

该断裂属河婆—惠来北西向扭压性断裂构造带的中段，走向 315°～340°左右，倾向 50°左右，倾角 65°左右，力学性质扭张性～扭压性。断裂穿行于

(J1)地层、(J3)地层及(γ52(3))花岗岩之中，全长约 28km，沿断裂岩石强裂硅化，遭受挤压破碎，矿物晶体模糊，暗色矿物及斜长石常蚀变成绿泥石。沿断裂有石英脉侵入，石英脉沿走向呈锯齿状。断层角砾岩带宽 3～10m 不等。故推断该断裂形成于燕山晚期～喜山期。

该断裂从项目西北面通过，距离项目最近直线距离约为 40km 。

5.2.3.2 岩土体工程地质分层及特征

本次工程布置了 1 个钻孔，钻孔位置图见图 5.2-7。根据本次勘测成果，测风塔地段地层主要为全新世海相、海陆过渡相和晚更新世海陆交互相沉积层(Q4m、Q4m+al 和 Q3m+al)。钻孔柱状图见图 5.2-8。场地岩土层特征描述如下：

(1)粉砂混淤泥(Q4m，层号①1)：深灰色，饱和，松散，局部过渡为稍密，主要矿物为石英、长石，级配差，混贝壳碎屑，含多量细粒质土，局部呈淤泥混砂状，海相沉积。

(2)粉质黏土(Q4mc，层号②1)：灰色，很湿，软塑，含多量粉细砂颗粒，标贯击数偏高，土质黏性、韧性较好，含少量有机质，可见贝壳碎屑，海陆交互相沉积。

(3)粉质黏土(Q4mc，层号②2)：灰色，湿，可塑，局部呈软塑状，含多量粉细砂颗粒，局部夹粉砂或粉土层，土质黏性、韧性较好，含少量有机质，海陆交互相沉积。

(4)黏土(Q3mc，层号③)：灰色，湿，可塑，局部硬塑，混多量粉砂颗粒，局部夹粉砂或粉土层，土质黏性、韧性较好，海陆交互相沉积。

(5)粉质黏土(Q3mc，层号③1)：灰色，湿，可塑，局部硬塑，混多量粉砂颗粒，局部夹粉砂或粉土层，土质黏性、韧性较好，海陆交互相沉积。

(6)粉砂(Q3mc，层号③3)：灰色，饱和，密实，局部中密，主要矿物为石英、长石，级配差，含多量黏粒，局部与黏性土或粉土互层，海陆交互相沉积。

(7)粗砂(Q3mc，层号③6)：灰、灰黄色，饱和，密实，主要矿物为石英、长石，级配中等~较好，混多量角砾，粒径 0.20~0.50cm，局部含黏粒，表现混黏土粗砂，海陆交互相沉积。

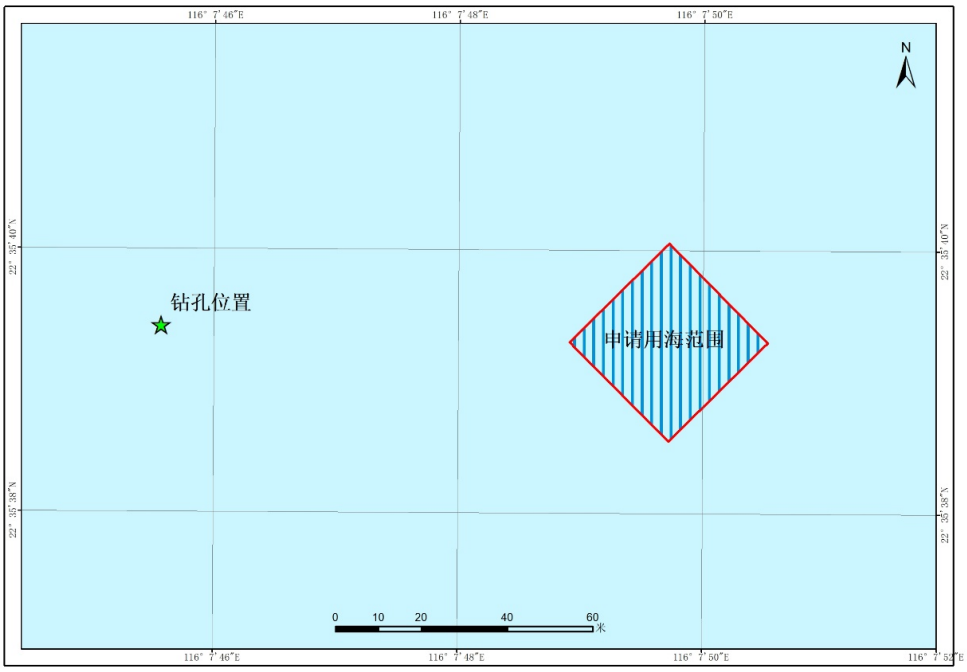
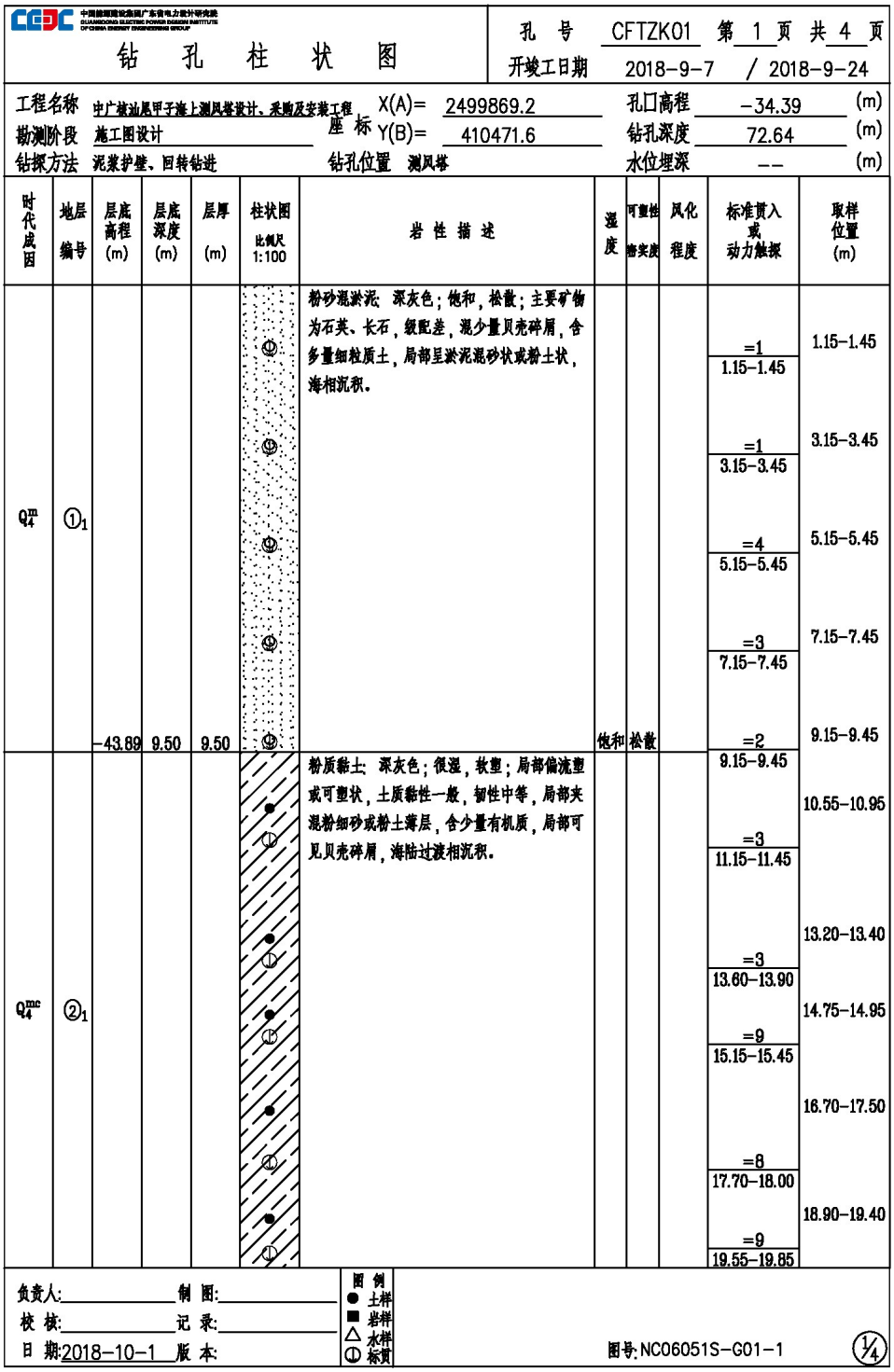

116° 7'46"E
116° 7'48"E
116° 7'50"E
N
22° 35'40"N
22° 35'38"N
钻孔位置
申请用海范围
0 10 20 40 60
米

图 5.2-7 钻孔位置图



钻 孔 柱 状 图

孔 号 CFTZK01 第 1 页 共 4 页
开竣工日期 2018-9-7 / 2018-9-24

工程名称 中广核汕尾甲子海上测风塔设计、采购及安装工程
勘测阶段 施工图设计
钻探方法 泥浆护壁、回转钻进
座标 X(A)= 2499869.2 Y(B)= 410471.6
钻孔位置 测风塔
孔口高程 -34.39 (m)
钻孔深度 72.64 (m)
水位埋深 -- (m)

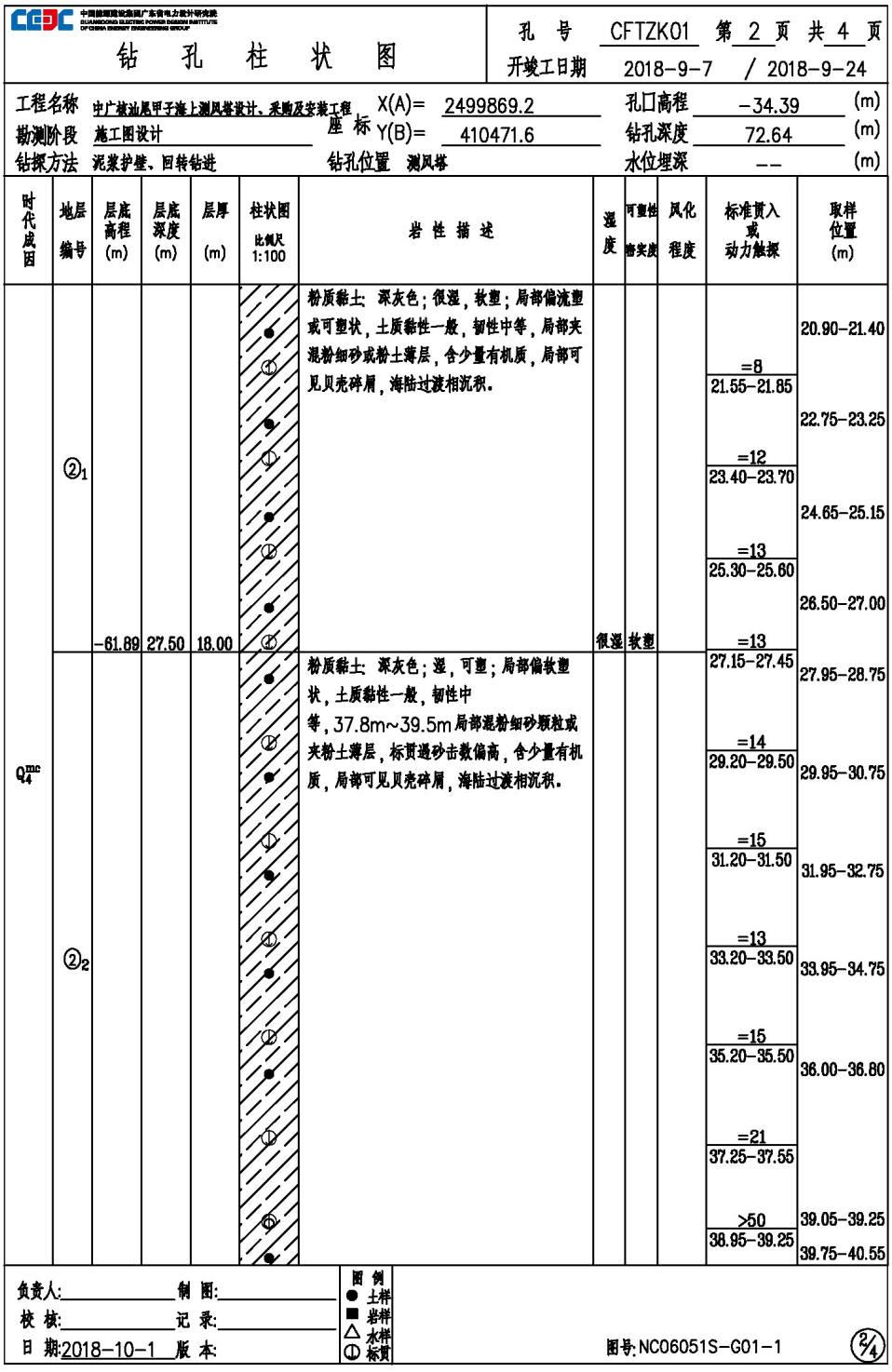
时代成因	地层编号	层底高程(m)	层底深度(m)	层厚(m)	柱状图 比例尺1:100	岩性描述	湿度	可塑性或密实度	风化程度	标准贯入或动力触探	取样位置(m)
Q_4^m	①1	-43.89	9.50	9.50		粉砂混淤泥：深灰色；饱和，松散；主要矿物为石英、长石，级配差，混少量贝壳碎屑，含多量细粒质土，局部呈淤泥混砂状或粉土状，海相沉积。	饱和	松散		=1 1.15-1.45 =1 3.15-3.45 =4 5.15-5.45 =3 7.15-7.45 =2 9.15-9.45	1.15-1.45 3.15-3.45 5.15-5.45 7.15-7.45 9.15-9.45
Q_4^{mc}	②1					粉质黏土：深灰色；很湿，软塑；局部偏流塑或可塑状，土质黏性一般，韧性中等，局部夹混粉细砂或粉土薄层，含少量有机质，局部可见贝壳碎屑，海陆过渡相沉积。				=3 11.15-11.45 =3 13.60-13.90 =9 15.15-15.45 =8 17.70-18.00 =9 19.55-19.85	10.55-10.95 13.20-13.40 14.75-14.95 16.70-17.50 18.90-19.40

负责人: 制图:
校核: 记录:
日期:2018-10-1 版本:

图例
● 土样
■ 岩样
△ 水样
① 标贯

图号:NC06051S-G01-1 1/4

图 5.2-8a 钻孔柱状图 1



钻 孔 柱 状 图

孔 号 CFTZK01 第 2 页 共 4 页
开竣工日期 2018-9-7 / 2018-9-24

工程名称 中广核汕尾甲子海上测风塔设计、采购及安装工程
勘测阶段 施工图设计
钻探方法 泥浆护壁、回转钻进
座标 X(A)= 2499869.2 Y(B)= 410471.6
钻孔位置 测风塔
孔口高程 -34.39 (m)
钻孔深度 72.64 (m)
水位埋深 -- (m)

时代成因	地层编号	层底高程(m)	层底深度(m)	层厚(m)	柱状图 比例尺1:100	岩性描述	湿度	可塑性或密实度	风化程度	标准贯入或动力触探	取样位置(m)
Q_4^{mc}	②1	-61.89	27.50	18.00		粉质黏土：深灰色；很湿，软塑；局部偏流塑或可塑状，土质黏性一般，韧性中等，局部夹混粉细砂或粉土薄层，含少量有机质，局部可见贝壳碎屑，海陆过渡相沉积。	很湿	软塑		=8 21.55-21.85 =12 23.40-23.70 =13 25.30-25.60 =13 27.15-27.45 =14 29.20-29.50 =15 31.20-31.50 =13 33.20-33.50 =15 35.20-35.50 =21 37.25-37.55 >50 38.95-39.25	20.90-21.40 22.75-23.25 24.65-25.15 26.50-27.00 27.95-28.75 29.95-30.75 31.95-32.75 33.95-34.75 36.00-36.80 39.05-39.25 39.75-40.55
	②2					粉质黏土：深灰色；湿，可塑；局部偏软塑状，土质黏性一般，韧性中等，37.8m~39.5m局部混粉细砂颗粒或夹粉土薄层，标贯遇砂击数偏高，含少量有机质，局部可见贝壳碎屑，海陆过渡相沉积。					

负责人: 制 图:
校 核: 记 录:
日 期:2018-10-1 版 本:

图例
● 土样
■ 岩样
△ 水样
① 标贯

图号:NC06051S-G01-1 3/4

图 5.2-8b 钻孔柱状图 2

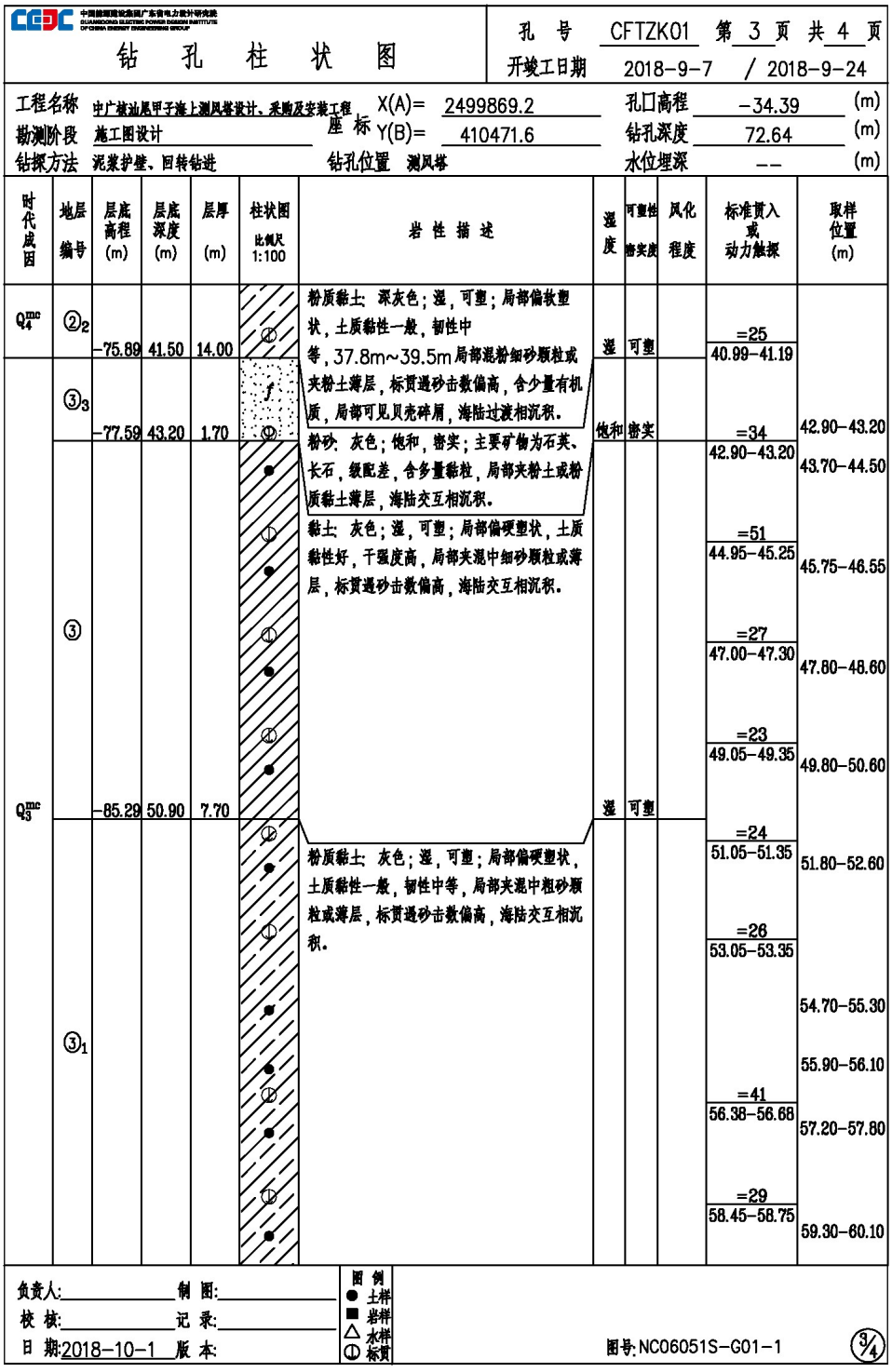
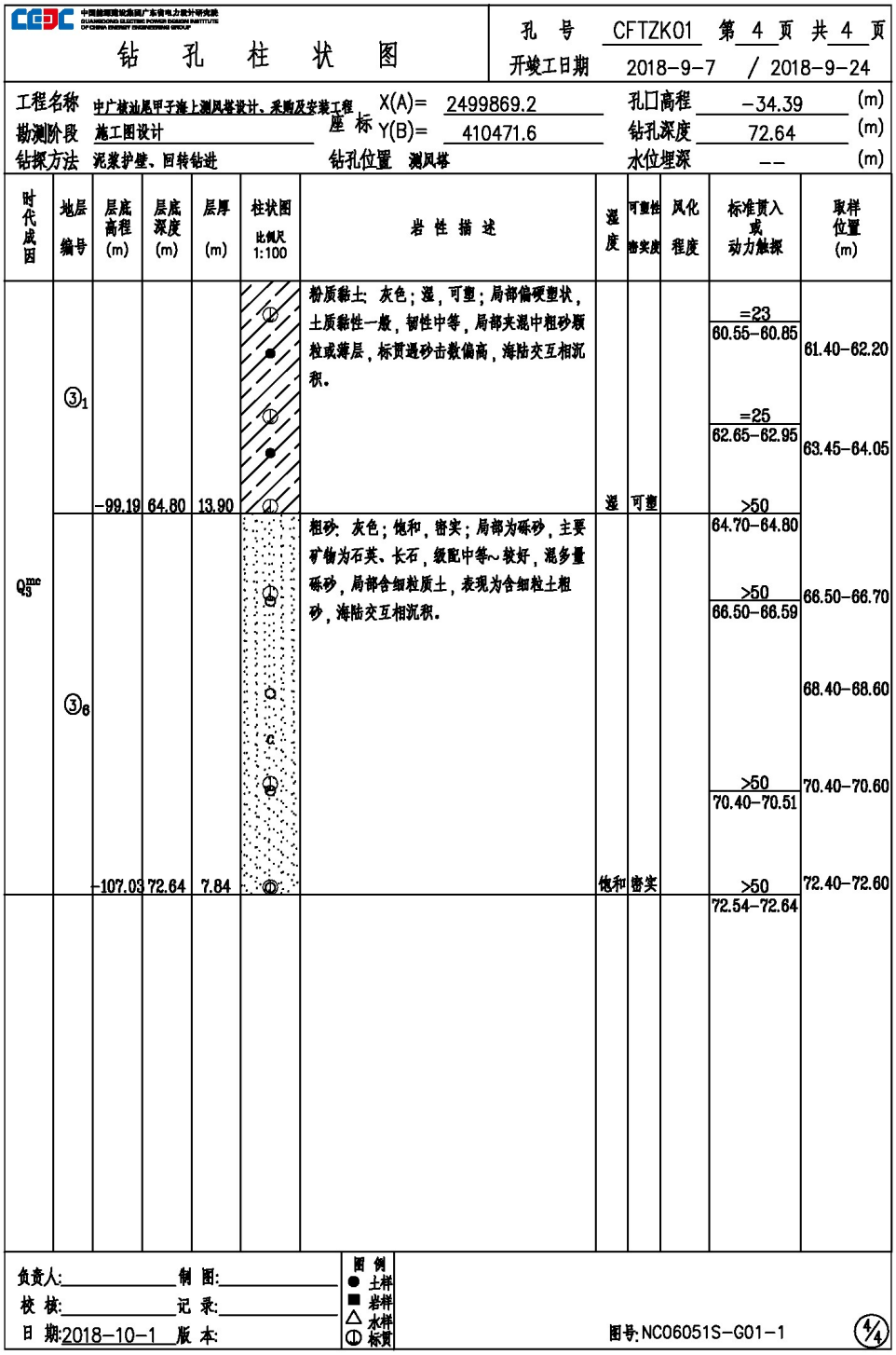


图 5.2-8c 钻孔柱状图 3



钻 孔 柱 状 图

孔 号 CFTZK01 第 4 页 共 4 页
开竣工日期 2018-9-7 / 2018-9-24

工程名称 中广核汕尾甲子海上测风塔设计、采购及安装工程
勘测阶段 施工图设计
钻探方法 泥浆护壁、回转钻进
座标 X(A)= 2499869.2 Y(B)= 410471.6
钻孔位置 测风塔
孔口高程 -34.39 (m)
钻孔深度 72.64 (m)
水位埋深 -- (m)

时代成因	地层编号	层底高程(m)	层底深度(m)	层厚(m)	柱状图 比例尺1:100	岩性描述	湿度	可塑性/密实度	风化程度	标准贯入或动力触探	取样位置(m)
	③1	-99.19	64.80	13.90	① ① ①	粉质黏土：灰色；湿，可塑；局部偏硬塑状，土质黏性一般，韧性中等，局部夹混中粗砂颗粒或薄层，标贯遇砂击数偏高，海陆交互相沉积。	湿	可塑		=23 60.55-60.85 =25 62.65-62.95 >50	61.40-62.20 63.45-64.05
Q_5^{mc}	③6	-107.03	72.64	7.84	⑥	粗砂：灰色；饱和，密实；局部为砾砂，主要矿物为石英、长石，级配中等~较好，混多量砾砂，局部含细粒质土，表现为含细粒土粗砂，海陆交互相沉积。	饱和	密实		64.70-64.80 >50 66.50-66.59 >50 70.40-70.51 >50 72.54-72.64	66.50-66.70 68.40-68.60 70.40-70.60 72.40-72.60

负责人: 制 图:
校 核: 记 录:
日 期: 2018-10-1 版 本:

图例
● 土样
■ 岩样
△ 水样
① 标贯

图号: NC06051S-G01-1

图 5.2-8d 钻孔柱状图 4

5.2.3.3 建筑场地类别划分

按照《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010) (2016 年版)对场地土的类型划分标准，场地土一般可划分为 3 种类型，即：中硬土、中软土和软弱土。现结合

钻孔波速测试成果，对各类土的具体划分如下：

中硬土： 由密实的粗砂（③6）组成；

中软土：由可塑的粉质黏土、黏土（②2、③、③1）和密实的粉砂（③3）组成；

软弱土：由松散的粉砂混淤泥（①1）和软塑的粉质黏土（②1）组成。

按照《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010，2016 年版)4.1.6 条建筑场地类别划分方法，综合评定测风塔建筑的场地类别为 IV 类，根据 4.1.1 条划分标准，场地软弱土层分布广，厚度大，属对建筑抗震不利的地段。

5.2.4 表层沉积物

2018 年 8 月 6 日—2018 年 8 月 7 日和 2018 年 10 月 16 日—2018 年 10 月 17 日，国家海洋局南海调查技术中心先后两次在调查海域进行了表层沉积物采样。采样仪器使用蚌式采泥器，采样深度为 10cm—15cm 以浅的表层，共采样表层沉积物样 107 个，各实际采样站位分布如图 5.2-9 所示，样品采集时按《海洋调查规范: 第 8 部分: 海洋地质地球物理调查》（GB/T12763.8—2007）中要求进行了现场描述和相关处理，然后运回实验室进行粒度分析。

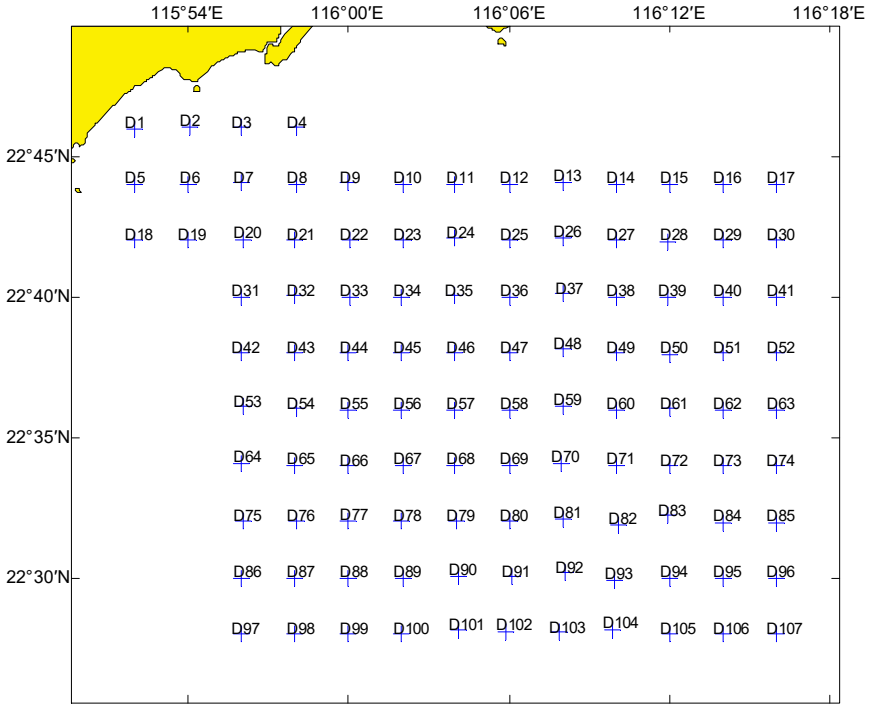


图 5.2-9 底质采样站位分布图

表层沉积物样进行粒度分析时，对于粒径完全小于 0.063mm 的样品全部采

用英国 Marlvern 公司生产的 Mastersize3000 型激光粒度仪进行；对于含有大于 0.063mm 的少数样品采用综合分析法，即大于 0.063mm 的样品采用筛析法，筛析法不同筛子的孔径间距为 1Φ，小于 0.063mm 的采用激光粒度仪分析法，最后把两者的分析结果进行综合。

沉积物粒级采用尤登-温德华氏等比Φ制标准 （GB/T12763.8—2007）。沉积物粒度参数（平均粒径、分选系数和偏态）采用福克和沃德公式计算（GB/T12763.8—2007）。沉积物的分类和命名采用谢帕德的沉积物粒度三角图解法（GB/T12763.8—2007）。沉积物类型分布图、粒度参数等值线图、各级配粒组含量分布图均采用计算机软件进行绘制。

5.2.4.1 表层沉积物粒度参数特征

沉积物粒度参数（平均粒径、分选系数和偏态）特征分析是揭示沉积环境的主要手段，沉积物粒度主要受到搬运介质、搬运方式、沉积环境等因素控制，其分布受制于泥沙输入的形式和水动力对泥沙颗粒再分配的能力，因此沉积物粒度参数常常被用来识别沉积环境(沉积相)的类型或判定物质运动的方式，反映海岸及海洋动力沉积环境和空间变化特征。

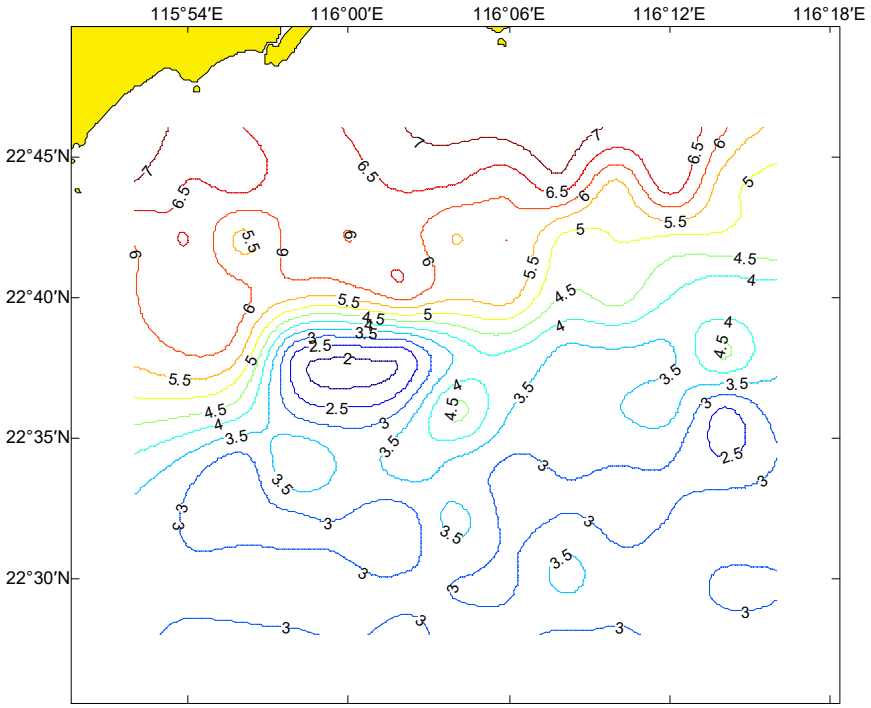


图 5.2-10 表层沉积物平均粒径Φ等值线图

图 5.2-10 为表层沉积物平均粒径Φ等值线分布图，由图可知，调查海域表层

沉积物的平均粒径（Mz）分布范围为Φ=2.13—7.41， 平均值Φ=4.18，表层沉积物平均粒径等值线大致成东北西南走向、与此处的等深线总体走向平行。表层沉积物颗粒呈现出东南部粗，西北部细，由东南向西北表层沉积物颗粒逐渐变细的特点。总体而言，表层沉积物颗粒较粗，主要为极细砂和粗粉砂级，反映的沉积动力总体较强。Mz≤4.00 的表层沉积物，分布于调查海域的东南部 25m—45m 的范围内，主要为细砂和极细砂，反映的沉积动力较强，主要为波浪动力作用，确切地说，是低海平面时期古海岸的波浪作用，而非现代波浪作用，因为该区域水深都在 25m—45m，已超出普通波浪作用的深度，其中 3Φ等值线在东南部成圈闭合；Mz＝5.00Φ—7.00Φ之间的表层沉积物，分布于调查海域的西北部，近岸 25m 以浅的区域，主要为粗粉砂，反映的沉积动力总体中等； Mz＞7.00Φ的表层沉积物，在本调查海域几乎很少出现，这亦表明，本调查海域几乎没有 7Φ以细的细粉砂和粘土级的表层沉积物落淤的动力环境。

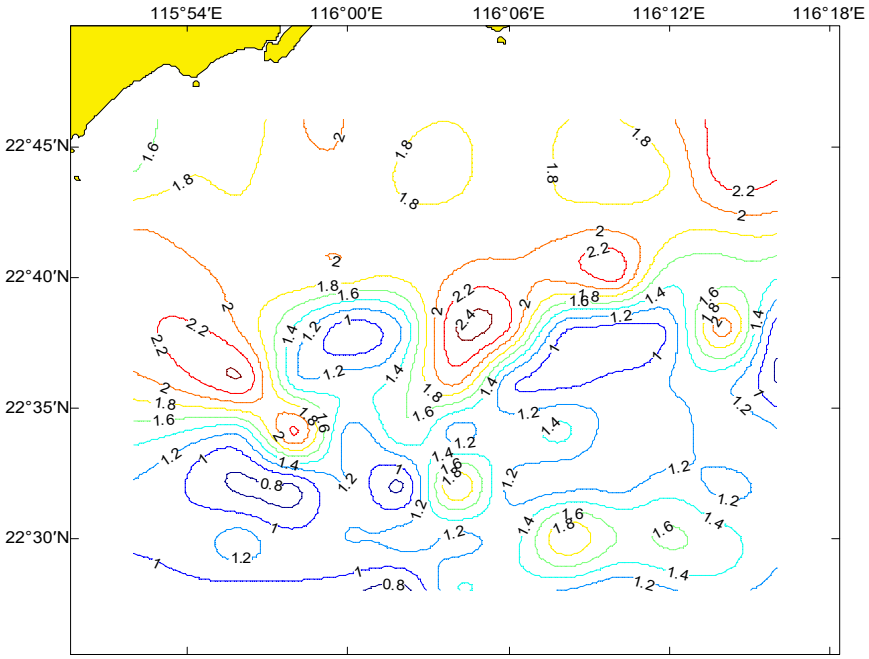


图 5.2-11 表层沉积物分选系数等值线图

图 5.2-11 为表层沉积物分选系数等值线图，由图可知，表层沉积物的分选系数 位于 0.72—2.38 之间，平均值为 1.51，分选性东南部好于西北部，但总体分选性仍属差类型。此反映了调查海域表层沉积物受多种动力相互作用，如波浪、沿岸流、潮流等，表层沉积物颗粒筛选和淘洗的程度还不够充分。

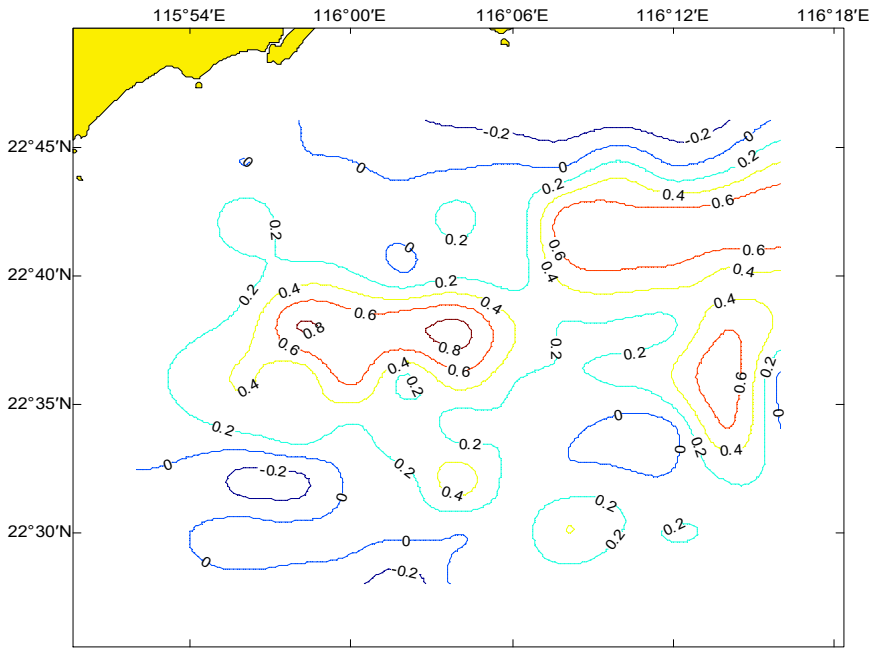


图 5.2-12 表层沉积物偏态等值线图

图 5.2-12 为偏态等值线图，由图可知，表层沉积物的偏态 Sk_i 值在-0.33—0.87 之间，平均值为 0.21，极负偏—极正偏均有分布，调查海域的东南部和西北部的偏态多在-0.1～0.1 之间，频率曲线以近对称态为主，调查海域中部的偏态多在 0.2～0.8 之间，频率曲线以正偏态和极正偏态为主。

5.2.4.2 表层沉积物类型与分布

根据粒度分析结果，点绘成表层沉积物类型分布图（如图 5.2-13）。由图可知，调查海域的表层沉积物类型共有六种：砂（S）、粘土质粉砂（YT）、粉砂质砂(TS)、砂质粉砂（ST）、粉砂（T）、砂（含砾）（S（G）），其中以砂（S）为主，粘土质粉砂（YT）次之。

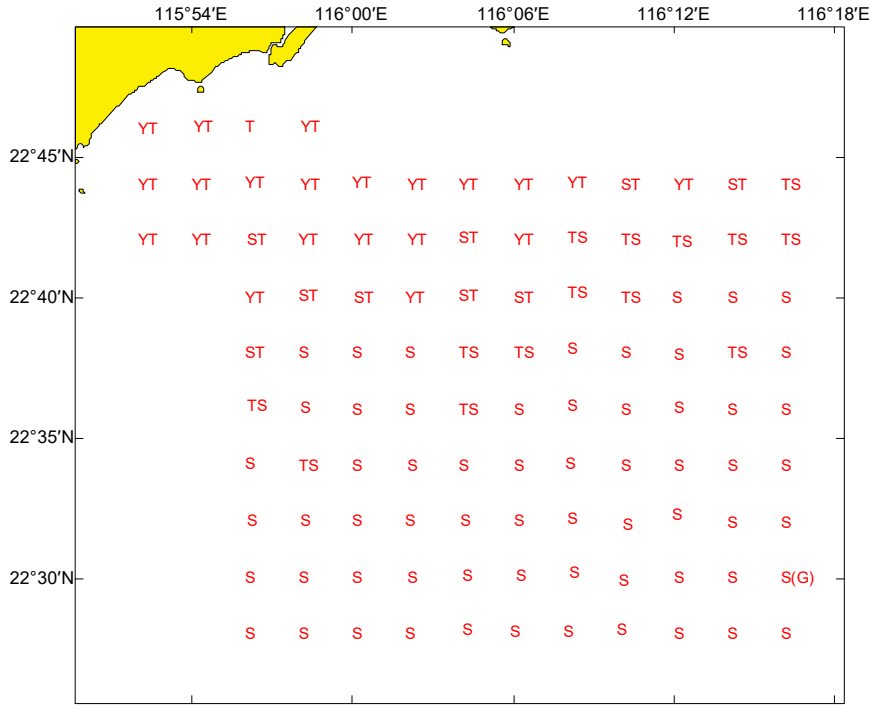


图 5.2-13 夏季表层沉积物类型分布

砂分布于调查海域的南部，砂的分布面积最大。砂的平均粒径位于 2.13Φ—4.01Φ之间，平均值为 3.11Φ，主要为极细砂。砂的分选中等—差（分选系数位于 0.72—2.00 之间，平均值为 1.20），颗粒频率曲线极负偏—极正偏态均有分布，但以近对称态和正偏态为主。砂反映的是高能量和强动力的沉积环境。

粘土质粉砂分布于调查海域的西北部，其分布面积紧次于砂。粘土质粉砂的平均粒径位于 5.99Φ—7.41Φ之间，平均值为 6.44，分选差（分选系数位于 1.46—1.98 之间，平均值为 1.83），颗粒频率曲线全部成近对称态。粘土质粉砂反映的是低能量和弱动力的沉积环境。

粉砂质砂分布于调查海域的东北部和西部的部分区域，粉砂质砂的分布面积在所有表层沉积类型中居第三。粉砂质砂的平均粒径位于 3.56Φ—5.00Φ之间，平均值为 4.53Φ。粉砂质砂的分选差（分选系数位于 1.86—2.38 之间，平均值为 2.10），颗粒频率曲线全部成极正偏态。粉砂质砂反映的是较高能量和较强动力的沉积环境。

砂质粉砂零星分布于调查海域的北部和西北部的部分区域，砂质粉砂的分布面积较小。砂质粉砂的平均粒径位于 5.26Φ—5.67Φ之间，平均值为 5.49Φ。砂质粉砂的分选差（分选系数位于 1.72—2.28 之间，平均值为 1.96），颗粒频率曲

线成正偏态和极正偏态。砂质粉砂反映的是较低能量和较弱动力的沉积环境。

粉砂和砂（含砾）两种表层沉积物类型仅分布于调查海域西北部的 D3 站和东南部的 D96 站，它们的分选差（分选系数分别为 1.68 和 1.26），颗粒频率曲线成近对称态。

5.2.4.3 表层沉积物各粒级组成及分布特征

表层沉积物是由不同粒级的沉积物沉积组合在一起的，将不同粒级组成的沉积物， 例如砾、砂、粉砂和粘土等， 按其百分含量值，分别绘在图上，可进一步了解表层沉积物的各粒级组成及分布特征。

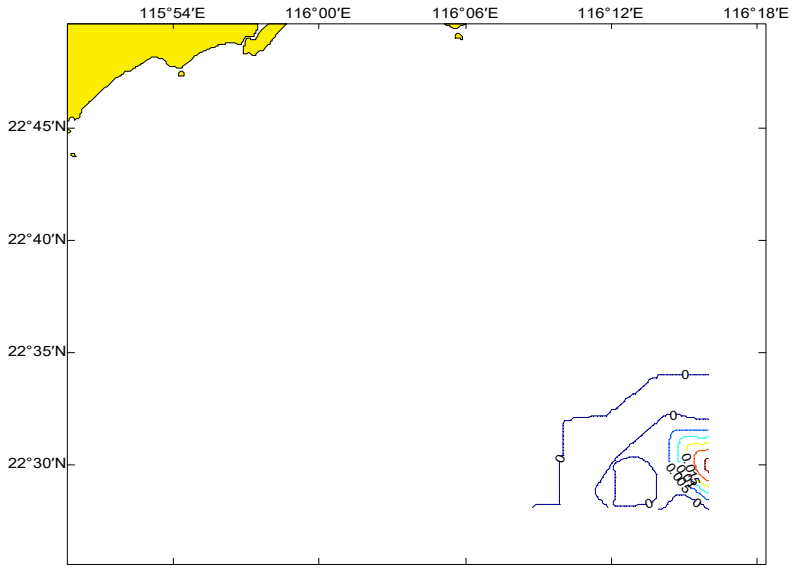


图 5.2-14 表层沉积物中砾（Φ ＜ －1）的百分含量分布

图 5.2-14—图 5.2-17 为表层沉积物中砾、砂、粉砂和粘土的百分含量分布图。由各图可知，表层沉积物中砂含量最高，在 1.41%—96.25%之间，平均值为 63.57%。砂大于 60%的含量分布于调查海域的南部和东南部，南部和东南部的砂含量位于 60.00%—90.00%之间，调查海域的西北部的砂含量位于 10.00%—20.00%之间(见图 5.2-12)。表层沉积物粉砂含量次之，在 2.83%—75.57%之间，平均值为 28.09%，粉砂含量在调查海域的西北部的值在 60.00%—80.00%之间，在调查海域的东南部的值在 10.00%—20.00%之间（见图 5.2-13）。表层沉积物中粘土含量居第三，在 0.82%—33.38%之间，平均值为 8.34%。(见图 5.2-14)。表层沉积物中砾含量最低，仅分布于调查海域的东南部的 D96 站，砾含量为 0.03%(见图 5.2-14）。另外，综合图 5.2-15—图 5.2-17 可知，砂、粉砂和粘土百

分含量等值线基本成东北西南向，与此处的等深线的总体走向平行，此反映出波浪在沉积动力中占主导作用。

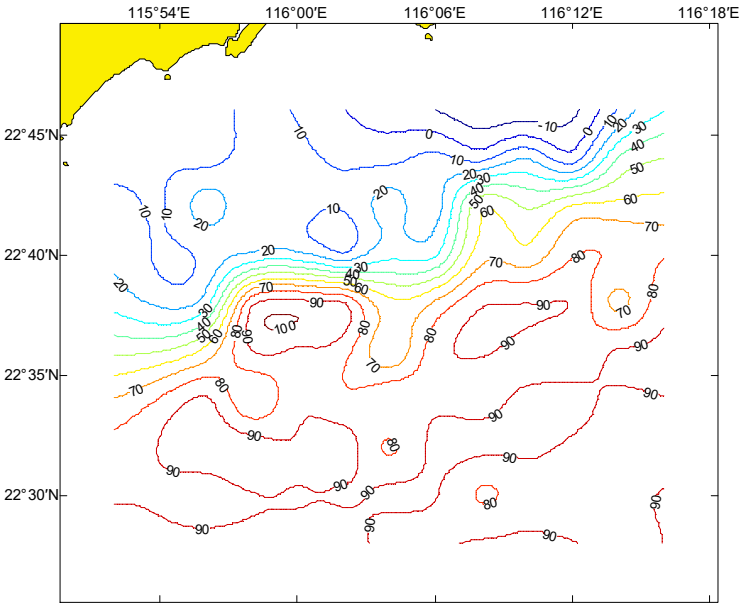


图 5.2-15 表层沉积物中砂（Φ ＝ －1—4）的百分含量分布

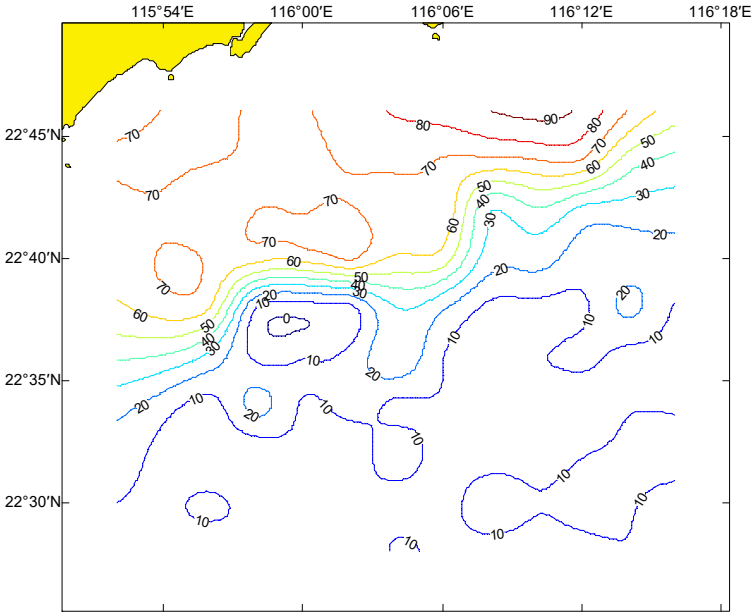


图 5.2-16 表层沉积物中粉砂（Φ ＝4—8） 的百分含量分布

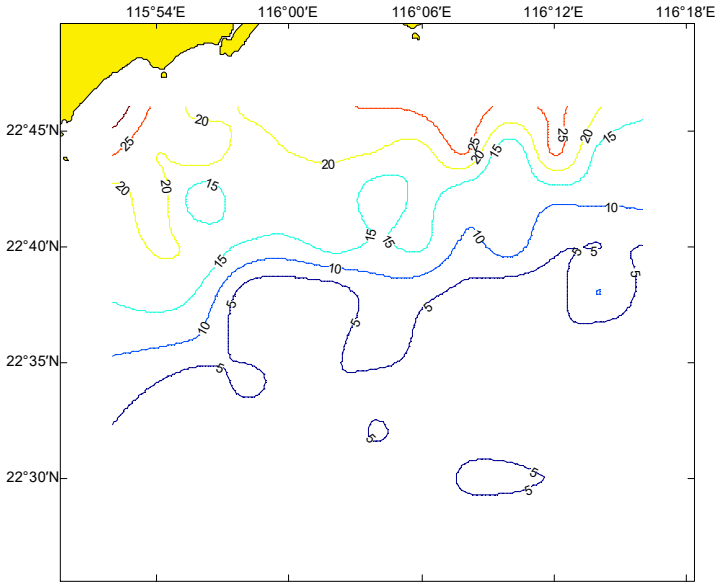


图 5.2-17 表层沉积物中粘土（Φ ＝8—12）的百分含量分布

5.3 海水水质现状调查与评价

国家海洋局南海调查技术中心于 2018 年 10 月 15 日～10 月 23 日在本项目附近海域进行秋季海水水质、海洋沉积物、海洋生物生态、渔业资源、海洋生物质量等的监测。

于 2019 年 3 月 29 日～4 月 7 日在本项目附近海域进行春季海水水质、海洋生物生态、渔业资源、海洋生物质量等的监测。

5.3.1 调查站位和范围

本项目调查水质调查站位 40 个，按照均匀分布、重点代表的原则布置。调查站位方向大体上与主潮流方向或海岸线垂直，均匀布设。见表 5.3-1 和图 5.3-1。

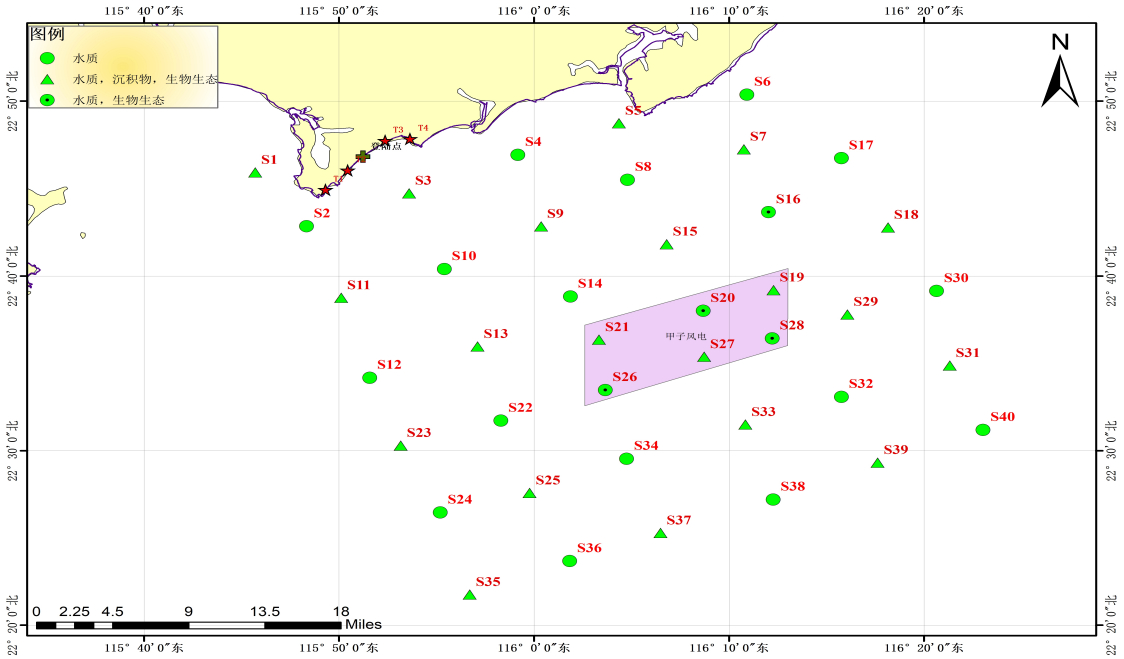


图 5.3-1 调查站位图

表 5.3-1 调查站位表

名称	经度（E）	纬度（N）	调查项目（秋季）	调查项目（春季）
S1	115.7617	22.76538	水质，沉积物，生物	水质，生物
S2	115.8055	22.71407	水质	水质
S3	115.8932	22.74549	水质，沉积物，生物	水质，生物
S4	115.9861	22.78218	水质	水质
S5	116.0725	22.81227	水质，沉积物，生物	水质，生物
S6	116.1818	22.83948	水质	水质
S7	116.1793	22.78748	水质，沉积物，生物	水质，生物
S8	116.0798	22.75838	水质	水质
S9	116.006	22.71398	水质，沉积物，生物	水质，生物
S10	115.9233	22.67337	水质	水质
S11	115.8351	22.64591	水质，沉积物，生物	水质，生物
S12	115.8595	22.56962	水质	水质
S13	115.9517	22.59949	水质，沉积物，生物	水质，生物
S14	116.031	22.6471	水质	水质
S15	116.1133	22.697	水质，沉积物，生物	水质，生物
S16	116.2004	22.72752	水质，生物	水质，生物

S17	116.2626	22.77898	水质	水质
S18	116.3024	22.713	水质，沉积物，生物	水质，生物
S19	116.2046	22.65324	水质，沉积物，生物	水质，生物
S20	116.1445	22.63347	水质，生物	水质，生物
S21	116.0555	22.60594	水质，沉积物，生物	水质，生物
S22	115.9716	22.5287	水质	水质
S23	115.8861	22.50493	水质，沉积物，生物	水质，生物
S24	115.9197	22.44101	水质	水质
S25	115.9962	22.45968	水质，沉积物，生物	水质，生物
S26	116.0608	22.55791	水质，生物	水质，生物
S27	116.1452	22.58969	水质，沉积物，生物	水质，生物
S28	116.2035	22.60722	水质，生物	水质，生物
S29	116.2678	22.63003	水质，沉积物，生物	水质，生物
S30	116.3439	22.65242	水质	水质
S31	116.3551	22.58125	水质，沉积物，生物	水质，生物
S32	116.2626	22.55147	水质	水质
S33	116.1805	22.52501	水质，沉积物，生物	水质，生物
S34	116.079	22.49233	水质	水质
S35	115.9449	22.36259	水质，沉积物，生物	水质，生物
S36	116.0304	22.39463	水质	水质
S37	116.108	22.4215	水质，沉积物，生物	水质，生物
S38	116.2044	22.45343	水质	水质
S39	116.2936	22.48866	水质，沉积物，生物	水质，生物
S40	116.3836	22.51986	水质	水质
T1	115.8217	22.74882	潮间带	潮间带
T2	115.8407	22.76729	潮间带	潮间带
T3	115.8728	22.79557	潮间带	潮间带
T4	115.894	22.7973	潮间带	潮间带

5.3.2 调查时间和频次

本次调查于秋季 2018 年 10 月 15 日至 10 月 23 日、春季 2019 年 3 月 29 日至 4 月 7 日。

5.3.3 调查项目及采样分析方法

调查项目包括：透明度、水深、水温（分层）、盐度、pH、悬浮物、化学需氧量、溶解氧、铵盐、硝酸盐、亚硝酸盐、活性磷酸盐、硫化物、挥发酚、石油类、总汞、砷、铜、铅、镉、铬、锌等共 21 项。

采样和分析方法按《海洋调查规范》(GB/T12763-2007)和《海洋监测规范》（GB17378-2007）进行，见表 5.3-2。

所用调查船只进入预定站位，使用 DGPS 进行定位，测量水深，根据现场水深决定采样层次，当水深<10m 时，只采取表层样；当 10m≤水深<25m 时，采表层和底层水样；当>25 m 时,采表、中、底三层水样。并进行分装、预处理、编号记录、保存。

表 5.3-2 水质监测项目分析方法一览表

序号	监测项目		样品采集、预处理及保存方法	样品测定方法	检出限
一	水文项目				
1	水深		现场测定	重锤	0.1 m
2	水温		现场测定	颠倒式温度计法	0.2 ℃
3	盐度		现场测定	盐度计法	0.005
二	水化学项目				
4	pH		现场测定	pH 计电测法	0.01
5	溶解氧(DO)		加 1 mL $MnCl_2$ 和 1 mL KI-NaOH 溶液固定，现场测定	碘量滴定法	0.085 mg/L
6	化学需氧量(COD_{Mn})		现场测定	碱性高锰酸钾法	0.1 mg/L
7	总悬浮物		0.45 μm，φ60 mm 微孔滤膜现场过滤	重量法	0.1 mg/L
8	营养盐	亚硝酸（NO_2-N）	现场用 0.45 μm，φ60 mm 微孔滤膜过滤、现场测定或过滤后-20℃冷冻保存	重氮-偶氮法	0.92 μg/L
9		硝酸盐（NO_3-N）		锌镉还原法或铜镉还原法	0.7μg /L
10		铵盐（NH_4-N）		次溴酸钠氧化法	5.0 μg/L
11		活性磷酸盐（PO_4-P）		抗坏血酸还原磷钼蓝法	1.9 μg/L
12	石油类		正己烷萃取	紫外分光光度法	3.5μg/L
13	重金属	总汞（Hg）	加 H_2SO_4 至 pH<2	原子荧光分光光度法	0.001μg/L
14		镉（Cd）	用 0.45 μm，φ60 mm 微孔滤膜过滤加 HNO_3 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.01μg/L

15		铅（Pb）	用 0.45 μm，φ60 mm 微孔滤膜过滤加 HNO_3 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.03μg/L
16		铜（Cu）	用 0.45 μm，φ60 mm 微孔滤膜过滤加 HNO_3 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.2μg/L
17		总铬（Cr）	加 H_2SO_4 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.4μg/L
18		砷（As）	用 0.45 μm，φ60 mm 微孔滤膜过滤加 H_2SO_4 至 pH<2 低温冷藏	原子荧光分光光度法	0.5μg/L
19		锌（Zn）	用 0.45 μm，φ60 mm 微孔滤膜过滤加 HNO_3 至 pH<2 低温冷藏	火焰原子吸收分光光度法	3.1μg/L
20	挥发酚		加 H_3PO_4 至 pH<4，每升水样加 2 g 硫酸铜（$CuSO_4·5H_2O$）	4-氨基安替比林分光光度法	1.1μg/L

注：水温和盐度水文和化学共用。

5.3.4 评价因子、评价标准及方法

（1）评价因子

评价因子包括 pH、溶解氧、化学需氧量、无机氮、活性磷酸盐、硫化物、石油类、汞、砷、铜、铅、锌、镉，总铬共 14 项。

（2）评价标准

根据评价海域的特征和《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》（2012 年 12 月），本次评价执行《中华人民共和国海水水质标准》(GB3097-1997)，以各站位所处的功能区的管理要求来确定评价标准，见表 1.3-1。

对照《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年）中各个海洋功能区内的环境保护要求，将站位及其所属的海洋功能区、海洋环境保护要求对照列入表 5.3-3。

表 5.3-3 海洋功能区及其环境保护要求

功能区名称	对应站位	海洋环境保护要求
田尾山工业与城镇用海区	S2	执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。
碣石湾农渔业区	S1	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。
碣石湾近海海洋保护区	S22、S23	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。
田尾山-石碑山农渔业区	S3、S4、S5、S6、S7、S8、	执行海水水质二类标准、海洋沉积

	S9、S10、S11	物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。
珠海-潮州近海农渔业区	S12、S13、S14、S15、16、S17、S18、S19、S20、S21、S26、S27、S28、S29、S30	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。
-	S24、S25、S31、S32、S33、S34、S35、S36、S37、S38、S39、S40	-

（2）评价方法

根据监测结果，采用单项指数法对水质现状进行评价。

① 单项水质参数 i 在第 j 点的标准指数

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

式中：Si，j — i 污染物在 j 点的污染指数；

Ci，j — i 污染物在 j 点的实测浓度，mg/L；

Cs，j — i 污染物的评价标准，mg/L。

② DO 的标准指数为：

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

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

$$DO_f = 468 / (31.6 + T)$$

式中： DOs—溶解氧的海水水质标准，mg/L;

DOj—j 点的溶解氧，mg/L;

DOf—饱和溶解氧浓度，mg/L;

③ pH 的标准指数为：

$$SpH = \frac{\left|pH - pHsm\right|}{DS}$$

其中： $pHsm = \frac{pHsu + pHsd}{2}$ ， $DS = \frac{pHsu - pHsd}{2}$

式中：SpH — 评价因子的质量指数；

pH — 测站评价因子的实测值；

pHsu — pH 评价标准的上限值；

pHsd — pH 评价标准的下限值；

水质参数的标准指数＞1，表明该水质参数超过了规定的水质标准。

5.3.5 水质调查结果及统计

每季设 40 个站位，各调查要素统计结果见附表 20a/b。各水质要素的分布特征如下：

水深

秋季各站水深变化范围为 11.0 m~44.0 m，平均水深 31.6 m。S1 站的水深最小，S37 站的水深最大。

春季各站水深变化范围为 13.0 m~43.0 m，平均水深 30.9 m。S5 站的水深最小，多站水深 43.0m。

透明度

秋季各站透明度变化范围为 0.6 m~7.5 m，平均透明度 3.9 m。S36 站的透明度最大，S6 和 S7 站的透明度最小。

春季本次调查，春季各站透明度变化范围为 1.0 m~12.0 m，平均透明度 4.9 m。S37 站的透明度最大，S1 站的透明度最小。

水温

秋季各站水温变化范围为 19.1℃~28.8℃，平均水温为 25.2℃。

春季各站水温变化范围为 20.0℃~25.0℃，平均水温为 22.3℃

pH

秋季各站 pH 值变化范围为 8.12~8.22，平均 pH 值为 8.16。最低 pH 值出现在 S2 站和 S11 中层，最高 pH 值出现在 S39 站表层。

春季各站 pH 值变化范围为 8.17~8.27，平均 pH 值为 8.21。最低 pH 值出现在 S15 站底层，最高 pH 值出现在 S26 站底层。

盐度

秋季各站盐度值变化范围为 32.73~34.13，平均盐度值为 33.65。最低盐度值出现在 S5 站表层，最高盐度值出现在 S23 站底层。

春季各站盐度值变化范围为 33.11~34.77，平均盐度值为 34.04。最低盐度值出现在 S11 站底层，最高盐度值出现在 S38 站底层。

化学需氧量（CODMn）

秋季各站 CODMn 的质量浓度变化范围为 0.60 mg/L~1.24 mg/L，平均值为 0.83 mg/L。最低值出现在 S2 站表层，最高值出现在 S33 站底层。

春季各站 CODMn 的质量浓度变化范围为 0.31 mg/L~1.12 mg/L，平均值为 0.54 mg/L。最低值出现在 S38 站表层，最高值出现在 S1 站底层。

溶解氧（DO）

秋季各站 DO 的质量浓度变化范围为 5.59 mg/L~6.28 mg/L，平均值为 6.02 mg/L。最低值出现在 S11 站底层，最高值出现在 S35 站表层。

春季各站 DO 的质量浓度变化范围为 6.68 mg/L~8.00 mg/L，平均值为 7.22mg/L。最低值出现在 S37 站底层，最高值出现在 S21 站表层和中层。

石油类

秋季各站石油类的质量浓度变化范围为 0.017 mg/L~0.034 mg/L，平均值为 0.023 mg/L。最低值出现在 S29 和 S30 站，最高值出现在 S10 站。

春季各站石油类的质量浓度变化范围为 0.018 mg/L~0.077 mg/L，平均值为 0.037 mg/L。最低值出现在 S15 站，最高值出现在 S23 站。

悬浮物

本次调查，各站悬浮物的质量浓度变化范围是 0.1mg/L ~13.9 mg/L，平均值为 3.59 mg/L。最低值出现在 S32 站表层，最高值出现在 S7 站表层。

春季各站悬浮物的质量浓度变化范围是 0.1mg/L ~21.6 mg/L，平均值为 3.75 mg/L。最低值出现在 S34 站中层，最高值出现在 S29 站中层。

无机氮（TIN）

秋季各站无机氮的质量浓度变化范围为 0.022 mg/L~0.272 mg/L，平均值为 0.075 mg/L。最低值出现在 S38 站底层，最高值出现在 S40 站底层。

春季各站无机氮的质量浓度变化范围为 0.014 mg/L~0.061 mg/L，平均值为 0.029 mg/L。最低值出现在 S22 站中层，最高值出现在 S3 站表层。

活性磷酸盐

秋季各站活性磷酸盐的质量浓度变化范围为 0.003 mg/L ~0.091mg/L，平均值为 0.010 mg/L。最低值出现在 S30 站中层，最高值出现在 S40 站底层。

春季各站活性磷酸盐的质量浓度变化范围为 0.000 mg/L ~0.006mg/L，平均值为 0.001 mg/L。最低值出现在 S26 站中层，最高值出现在 S40 站中层。

硫化物

秋季各站硫化物的质量浓度变化范围为 0.3 μg/L ~0.6 μg/L，平均值为 0.4 μg/L。最低值出现在 S1 站底层和 S23 站，最高值出现在 S8 站底层、S9 站和

S30 站表层。

春季各站硫化物的质量浓度变化范围为 0.3 μg/L~0.7 μg/L，平均值为 0.5 μg/L。最低值和最高值均出现在多个站位。

挥发性酚

秋季各站挥发性酚的质量浓度变化范围为未检出~3.0 μg/L，平均值为 2.0 μg/L。S19 站中层、S28 站底层、S30 站表层和 S39 站中层未检出，最高值出现在多个站位。

春季各站挥发性酚的质量浓度变化范围为 1.4 μg/L~4.8 μg/L，平均值为 3.0 μg/L。最低值出现在 S19 站底层和 S23 站中层，最高值出现在 S21 站表层。

铜

秋季各站铜的质量浓度变化范围为未检出~5.0 μg/L，平均值为 1.0 μg/L。多站未检出，最高值出现在 S35 站底层。

春季各站铜的质量浓度变化范围为未检出~1.7 μg/L，平均值为 0.7 μg/L。多站未检出，最高值出现在 S14 站底层。

铅

秋季各站铅的质量浓度变化范围为未检出~3.04 μg/L，平均值为 0.56 μg/L。S7 站表层和 S27 站中层未检出，最高值出现在 S1 站。

春季各站铅的质量浓度变化范围为未检出~0.55 μg/L，平均值为 0.14 μg/L。多站未检出，最高值出现在 S8 站底层。

镉

秋季各站镉的质量浓度仅 S16 站表层、S27 站底层和 S31 表层检出。

本次调查，春季各站镉的质量浓度均未检出。

锌

秋季各站锌的质量浓度变化范围为未检出 ~42.6 μg/L，平均值为 11.9 μg/L。多站未检出，最高值出现在 S22 站底层。

春季各站锌的质量浓度变化范围为未检出 ~20.2 μg/L，平均值为 6.14 μg/L。多站未检出，最高值出现在 S14 站底层。

总铬

秋季各站总铬的质量浓度仅 S12 底层，S15 站表层，S20 站底层和 S36 站中层检出。

春季各站锌的质量浓度变化范围为未检出 ~3.6 μg/L，平均值为 1.7 μg/L。多站未检出，最高值出现在 S2 站底层。

总汞

秋季各站总汞的质量浓度变化范围为 0.007 μg/L ~0.056 μg/L，平均值为 0.029 μg/L。最低值出现在 S24 站中层，最高值出现在 S10 站中层。

春季各站总汞的质量浓度变化范围为 0.002 μg/L ~0.035 μg/L，平均值为 0.006 μg/L。最低值出现在 S2 站表层，最高值出现在 S10 站底层。

砷

秋季各站砷的质量浓度变化范围为 0.7 μg/L ~1.0 μg/L，平均值为 0.8 μg/L。最低值出现多个站位，最高值出现在 S6 站表层和 S9 站。

春季各站砷的质量浓度变化范围为 0.9 μg/L ~1.2 μg/L，平均值为 1.1 μg/L。最低值和最高值均出现在多个站位。

5.3.6 水质调查结果评价

水质评价以各站位所处的海洋功能区的环境保护要求进行评价（见表 5.3-3），各站位各水质调查要素评价结果见附表 21a/b 和附表 22a/b，各水质要素的评价值分析如下。

秋季调查，水质中的 pH、CODMn、石油类、硫化物、铜、镉、砷和铬符合水质一类标准；相对于水质一类标准，溶解氧超标率 31.5%、无机氮超标率 1.8%、活性磷酸盐超标率 10.81%、铅超标率 15.31%、锌超标率 8.11%、汞超标率 1.8%。

对超过一类标准的水质样品采用二类标准评价

溶解氧、无机氮、铅、汞、锌均符合水质二类标准；相对于水质二类标准，活性磷酸盐超标率 0.9%（二三类标准）。

对超过三类标准的水质样品采用四类标准评价，结果活性磷酸盐超标率 0.9%。

根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年），秋季调查站位所属的功能区管理要求中，除位于碣石湾近海海洋保护区的 S22 和 S23 站溶解氧仅符合二类水质标准以及位于珠海-潮州近海农渔业区的 S12、S13、S26 和 S27 站溶解氧仅符合二类水质标准位，S14 站的铅和锌仅符合二类水质标准，S40 站活性磷酸盐符合四类标（超标）准外，其余各站各项因子均符合其管理要求。综上所述，调查海域秋季水质基本符合所属功能区管理要求。其中 S26 和 S27 为项目区站位。

春季调查，水质中的 pH、CODMn、溶解氧、硫化物、无机氮、铜、镉、活性磷酸盐、砷、铅、汞和铬符合水质一类标准；相对于水质一类标准，石油类（一二类）超标率 10%、锌超标率 0.9%。

对超过一类标准的水质样品采用二类标准评价

油类符合水质三类标准，锌符合水质二类标准。

根据《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年），春季调查站位所属的功能区管理要求中，除位于碣石湾农渔业区的 S1 站、位于碣石湾近海海洋保护区的 S22 和 S23 站及位于珠海-潮州近海农渔业区的 S12 站石油类仅符合三类水质标准（超标）位外，其余各站各项因子均符合其管理要求。综上所述，调查海域春季水质基本符合所属功能区管理要求。水质很好。

调查结果表明，调查评价海域受石油类、无机氮、活性磷酸盐、重金属汞、铅和锌的污染，污染程度不高，其中活性磷酸盐、石油类超标。由于项目附近海域开发强度不高，污染物一方面可能来自通航船舶油污水排放，另一方面可能来自北侧陆源污染物排放所致。

5.4 海洋沉积物环境质量现状调查与评价

5.4.1 调查站位

本项目沉积物调查站位 20 个，调查站位图及站位表见图 5.3-1 和表 5.3-1。

5.4.2 调查时间

与水质调查同步进行，于 2018 年 10 月 15 日至 10 月 23 日进行一个潮段的调查。用 0.1 m^2 的抓泥斗采表层（0~10 cm）沉积物。

5.4.3 调查项目

沉积物调查项目包括：铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、总汞（Hg）、砷（As）、铬（Cr）、硫化物、有机碳、石油类、粒度、pH 等 12 项。

5.4.4 调查项目分析方法

沉积物样品的采取和分析方法按《海洋监测规范》（GB17378－2007）和《海洋调查规范》（GB/T 12763－2007）的要求进行。沉积物项目分析方法见表 5.4-1。

表 5.4-1　沉积物项目分析方法一览表

序号	监测项目	保存方法	样品测定方法	检出限（mg/kg）
1	硫化物	1ml 乙酸锌固定	碘量法	0.3
2	总汞（Hg）	聚乙烯袋装，冷冻避光保存	原子荧光分光光度法	0.002
3	铜（Cu）		无火焰原子吸收分光光度法	2.0
4	铅（Pb）			3.0
5	镉（Cd）			0.04
6	锌（Zn）		火焰原子吸收分光光度法	6.0
7	石油类		紫外分光光度法	3.0
8	有机碳		重铬酸钾氧化-还原容量法	0.10%
9	总铬（Cr）		无火焰原子吸收分光光度法	2.0
10	砷		原子荧光分光光度法法	0.06
11	粒度	聚乙烯袋装，常温保存	激光粒度法	---

5.4.5 评价因子、评价标准及方法

（1）评价因子

调查海域沉积物环境质量评价的调查因子包括硫化物、总汞、铜、铅、砷、锌、镉、总铬、石油类和有机碳，共 10 项。

（2）评价方法

沉积物现状评价采用单项指数法和平均分指数法进行，其指数计算方法如下：

$$Q_j = \frac{C_j}{C_o}$$

式中：Cj — 评价因子实测值

Co — 评价因子的评价标准值

Qj — j 站评价因子的质量分指数

Qj≤1　　属清洁

Qj>1　　属污染

（3）评价标准

根据评价海域的特征和《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》（2012 年 12 月），本次调查站位功能区划如表 5.3-3，因此，评价标准执行《中华人民共和国国家标准海洋沉积物质量》(GB 18668-2002)， 除 S2 号站执行沉积物第二类标准外，其余站执行沉积物第二类标准。海洋沉积物质量标准见表 1.3-2。

5.4.6 沉积物调查结果及分析

（1）沉积物粒度调查结果及分析

本次调查，各站位沉积物粒度分析结果见表 5.4-2。用谢帕德分类法进行分类，本次调查的沉积物类型主要为砂，共在 10 个站出现；其次为砂质粉砂和粉砂质砂，各在 4 个站出现，粘土质粉砂和粉砂各在 1 个站出现。本次调查的沉积物砾石的百分含量变化范围是 0~2.77，平均为 0.13；各站砂的百分含量变化范围是 2.62~97.00，平均为 62.40；各站粉砂的百分含量变化范围是 2.45~70.67，平均含量为 28.76；粘土的百分含量变化范围是 0.55~26.66，平均含量为 8.71；平均粒径（MZ）变化范围是 2.48~7.13，平均为 4.17；中值粒径（Md）变化范围是 2.33~7.09，平均为 4.03。

表 5.4-2 沉积物粒度分析结果统计表

样品编号	粒组百分含量				粒度参数(福克法)					谢帕德分类法
	砾石	砂	粉砂	粘土	M_Z	σ_I	SK_I	KG	Md	
S1	2.77	60.28	29.29	7.65	3.92	2.79	0.13	1.01	3.66	粉砂质砂
S3	0.04	2.62	70.67	26.66	7.13	1.47	0.05	1.12	7.09	粉砂
S5	0.00	6.42	70.54	23.03	6.89	1.64	-0.09	1.18	6.96	粘土质粉砂
S7	0.00	27.26	53.63	19.12	5.34	2.89	-0.19	0.89	5.89	砂质粉砂
S9	0.00	15.94	64.52	19.54	6.17	2.05	0.01	0.90	6.22	砂质粉砂
S11	0.00	13.45	70.01	16.52	6.08	1.83	0.09	0.85	6.02	砂质粉砂
S13	0.00	95.12	3.77	1.11	2.56	0.80	0.22	0.75	2.44	砂
S15	0.00	17.86	62.54	19.59	6.17	2.05	-0.03	0.90	6.30	砂质粉砂
S18	0.00	64.05	27.72	8.24	4.59	1.96	0.56	1.24	3.76	粉砂质砂
S19	0.00	74.23	19.03	6.74	3.94	2.12	0.41	1.66	3.42	粉砂质砂
S21	0.00	76.10	17.88	6.02	3.72	2.11	0.43	1.50	3.19	砂
S23	0.00	85.73	10.81	3.45	2.96	1.39	0.21	1.59	3.04	砂
S25	0.00	87.27	10.17	2.56	3.01	1.29	0.14	1.77	3.15	砂
S27	0.00	80.85	15.73	3.42	3.47	1.60	0.32	1.84	3.29	砂
S29	0.00	81.15	14.84	4.02	3.64	1.52	0.37	2.56	3.41	砂
S31	0.00	81.80	14.29	3.91	3.28	1.65	0.34	1.51	3.12	砂
S33	0.00	60.88	31.76	7.36	4.28	2.22	0.42	0.80	3.63	粉砂质砂
S35	0.00	95.73	3.41	0.87	2.65	0.80	0.03	0.71	2.65	砂
S37	0.00	97.00	2.45	0.55	2.63	0.75	0.03	0.73	2.63	砂
S39	0.00	93.35	5.40	1.25	2.48	1.07	0.39	1.29	2.33	砂
S39 平行	0.00	93.34	5.41	1.25	2.60	1.07	0.28	1.20	2.53	砂
最小值	0.00	2.62	2.45	0.55	2.48	0.75	-0.19	0.71	2.33	
最大值	2.77	97.00	70.67	26.66	7.13	2.89	0.56	2.56	7.09	
平均值	0.13	62.40	28.76	8.71	4.17	1.67	0.20	1.24	4.03	

（2）沉积物化学调查结果及分析

本次沉积物调查结果统计表见表 5.4-3。

有机碳

本次调查海域，有机碳的质量分数变化范围是（0.13~1.21）×10-2，平均为 0.37×10-2。最小值出现在 S13 站，最大值出现在 S3 站。

硫化物

本次调查海域，硫化物的质量分数变化范围是（19.4~292.0）×10-6，平均为 106.5×10-6。最小值出现在 S13 站，最大值出现在 S5 站。

石油类

本次调查海域，石油类的质量分数变化范围是（7.2~130.0）×10-6，平均为 26.9×10-6。最小值出现在 S13 站，最大值出现在 S5 站。

铜

本次调查海域，铜的质量分数变化范围是（未检出~19.6）×10-6，平均为 9.1×10-6。多个站未检出，最大值出现在 S3 站。

铅

本次调查海域，铅的质量分数变化范围是（未检出~52.0）×10-6，平均为 16.9×10-6。S39 站未检出，最大值出现在 S3 站。

锌

本次调查海域，锌的质量分数变化范围是（21.5~114.6）×10-6，平均为 44.9×10-6。最小值出现在 S39 站，最大值出现在 S3 站。

镉

本次调查海域，镉仅 S31 站检出，质量分数为 0.09×10-6。

总汞

本次调查海域，总汞的质量分数变化范围是（0.010~0.073）×10-6，平均为 0.026×10-6。最小值出现在 S25 站，最大值出现在 S3 站。

砷

本次调查海域，砷的质量分数变化范围是（3.21~11.80）×10-6，平均为 5.71×10-6。最小值出现在 S39 站，最大值出现在 S3 站。

铬

本次调查海域，铬的质量分数变化范围是（10.9~52.9）×10-6，平均为 21.3×10-6。最小值出现在 S39 站，最大值出现在 S3 站。

表 5.4-3 沉积物化学调查结果统计表

站位	油类	硫化物	总汞	砷	铜	铅	镉	铬	锌	有机碳
	$\times10^{-6}$									$\times10^{-2}$
S1	33.7	82.7	0.023	5.60	4.6	20.2	ND	19.0	42.9	0.34
S3	62.9	195.0	0.073	11.80	19.6	52.0	ND	52.9	114.6	1.21
S5	130.0	292.0	0.060	10.90	13.6	33.4	ND	35.3	87.8	0.82
S7	63.5	154.0	0.067	9.78	13.3	32.6	ND	38.0	84.4	0.71
S9	13.3	182.0	0.029	7.53	5.8	18.5	ND	20.3	49.3	0.26
S11	21.5	143.0	0.035	7.02	7.8	22.5	ND	25.4	62.0	0.46
S13	7.2	19.4	0.010	4.79	ND	10.0	ND	12.8	25.3	0.13
S15	39.4	246.0	0.042	8.19	10.4	26.8	ND	33.1	73.9	0.74
S18	14.5	64.4	0.022	4.21	4.0	16.2	ND	19.1	42.9	0.30
S19	14.5	56.4	0.016	4.78	2.8	16.3	ND	18.3	35.7	0.28
S21	11.1	39.6	0.025	4.27	ND	7.8	ND	14.6	29.6	0.20
S23	9.4	58.7	0.013	4.46	ND	8.6	ND	13.1	26.7	0.19
S25	10.1	52.0	0.010	3.74	ND	7.7	ND	15.2	28.7	0.21
S27	16.5	66.7	0.020	4.44	ND	7.7	ND	14.8	28.0	0.18
S29	12.8	98.1	0.014	4.63	ND	10.8	ND	15.4	30.6	0.22
S31	17.6	59.0	0.012	3.97	ND	6.1	0.09	19.8	29.4	0.23
S33	16.8	24.8	0.011	4.10	ND	11.8	ND	14.7	27.8	0.23
S35	16.1	94.9	0.011	3.26	ND	4.3	ND	17.6	28.8	0.23
S37	15.6	86.0	0.014	3.42	ND	7.2	ND	15.5	28.1	0.23
S39	12.4	115.0	0.013	3.21	ND	ND	ND	10.9	21.5	0.15
最小值	7.2	19.4	0.010	3.21	ND	ND	ND	10.9	21.5	0.13
最大值	130.0	292.0	0.073	11.80	19.6	52.0	0.09	52.9	114.6	1.21
平均值	26.9	106.5	0.026	5.71	9.1	16.9	0.09	21.3	44.9	0.37

（3）沉积物化学调查结果评价

通过运用与水质相同评价公式，计算出表层沉积物中各评价因子的标准指数及超标率，列于表 5.4-4。由表可知，所有站位各评价因子均符合第一类沉积物质量标准，表明调查海域沉积物质量状况良好。重金属指标较高的 S3 站和硫化物较高的 S5 站据项目位置较远。

表 5.4-4　沉积物评价指数和超标率

站位	有机碳	硫化物	油类	总汞	铜	铅	锌	镉	铬	砷
	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类
S1	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.0	0.2	0.3
S3	0.6	0.7	0.1	0.4	0.6	0.9	0.8	0.0	0.7	0.6
S5	0.4	1.0	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.0	0.4	0.5
S7	0.4	0.5	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.0	0.5	0.5
S9	0.1	0.6	0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.0	0.3	0.4
S11	0.2	0.5	0.0	0.2	0.2	0.4	0.4	0.0	0.3	0.4

S13	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2
S15	0.4	0.8	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.0	0.4	0.4
S18	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.0	0.2	0.2
S19	0.1	0.2	0.0	0.1	0.1	0.3	0.2	0.0	0.2	0.2
S21	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2
S23	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2
S25	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2
S27	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2
S29	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2
S31	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
S33	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.2	0.2
S35	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2
S37	0.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0	0.2	0.2
S39	0.1	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2
最小值	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2
最大值	0.6	1.0	0.3	0.4	0.6	0.9	0.8	0.2	0.7	0.6
超标率	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

5.5 海洋生物生态环境现状调查及分析

5.5.1 调查站位

秋季、春季调查站位同，海洋生态调查设 24 个调查站位，分别是 S1、S3、S5、S7、S9、S11、S13、S15、S16、S18、S19、S20 、S21、S23、S25、S26、S27、S28、S29、S31、S33、S35、S37、S39 号站位；潮间带设 4 条断面，每条断面分高潮带、中潮带和低潮带进行调查；叶绿素 a 和初级生产力调查站位 24 个，与生物调查站位相同，具体站位图和坐标表见图 5.3-1 和表 5.3-1。春秋季调查均由国家海洋局南海调查技术中心完成，生物种类鉴定及分析均由中国科学院南海海洋研究所完成。

5.5.2 调查时间

海洋生物调查与海水水质调查同步进行。

5.5.3 调查项目

海洋生物：叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、底栖生物、潮间带生物。

叶绿素 a：分析水体内叶绿素 a 的质量浓度；

初级生产力：测量水体透明度，根据该处水体内叶绿素 a 的质量浓度计算初级生产力；

浮游植物：分析其种类组成、数量分布和密度、主要优势种，并提供其种类名录；

浮游动物：分析其种类组成、数量分布和密度、主要优势种，并提供其种类名录；

底栖生物：分析其种类组成、数量分布、主要优势种的生物量和栖息密度，并提供其种类名录；

潮间带生物：分析其种类组成、数量分布、主要优势种的生物量和栖息密度，并提供其种类名录。

5.5.4 调查和分析方法

生态调查按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）进行。当观测船只进入预定站位，使用 GPS 进行定位，测量水深。根据水深采集样品，采样所用的采样器、采样瓶及其相关用具必须按规范清洁干净。

叶绿素 a 和初级生产力

叶绿素 a：均采集表层（<0.5 m）、底层（离底 2 m）两个层次海水样品 500 ml，当水深小于 10 m 时，只取表层水样。经 0.45 μm 滤膜过滤后放干燥冷藏箱保存，采用分光光度法进行分析，以 mg/m3 表示。

初级生产力：水柱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，依据叶绿素 a、透明度、水深、光照时间和碳同化系数进行估算：

$$P = C_a QLt / 2$$

P ——初级生产力（mgC/(m2・d)）；

Ca ——叶绿素 a 质量浓度（mg/m3）；

Q ——同化系数（mgC/(mgChl-a・h)），根据中国水产科学研究院南海水产研究所以往调查结果，这里取 3.12；

L ——真光层的深度（m），按 3 倍透明度计算，当 3 倍透明度超过水深时，以水深计算；

t ——白昼时间（h），根据调查日出日落时间计算，取 11.5。

浮游植物

浮游植物样品用浅水Ⅲ型浮游生物网或小型浮游生物网取样。水深小于 200m 时，自底层（距底 2m）至表层垂直拖网取得。

浮游动物

浮游动物样品用浅水Ⅰ型浮游生物网或大型浮游生物网取样。水深小于200m时，自底层（距底2m）至表层垂直拖网取得。

底栖生物

用0.1 m2的抓泥斗采泥器（每站采3个平行样）采集底栖生物样品，获得泥样经二层套筛冲洗，上层套筛孔径1 mm，下层套筛孔径0.5 mm。

潮间带生物

为获取低潮带的样品，潮间带生物调查必须在大潮期间进行。在泥、沙等底质断面，每站用25 cm×25 cm×30 cm的定量采样框取3~4个样方；在岩基断面，用25 cm×25 cm的定量框取2个样方。

5.5.5 样品预处理、保存及分析评价方法

预处理、保存及监测分析方法按照《海洋调查规范》（GB/T12763.6-2007）、《海洋监测规范》（GB17378－2007）和《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）进行，见表5.5-1。

表5.5-1　海洋生态及渔业资源调查项目监测分析方法

序号	监测项目	样品预处理及保存方法	样品测定方法
1	叶绿素a	0.45 μm滤膜过滤后冷藏避光保存	分光光度法
2	初级生产力	——	根据叶绿素a同化系数换算
3	浮游植物	加入占样品体积5%的甲醛溶液固定	显微镜鉴定；浓缩计数法计数
4	浮游动物	加入占样品体积5%的甲醛溶液固定	计数框计数；体视显微镜鉴定；湿重法测定生物量
5	底栖生物	加入占样品体积5%的甲醛溶液固定	人工鉴定种类、计数、测定生物量和栖息密度
6	潮间带生物	加入占样品体积5%的甲醛溶液固定	人工鉴定种类、计数、测定生物量和栖息密度

本次海洋生物的评价方法采用优势度、多样性指数和均匀度，计算公式如下：

优势度（Y）应用以下公式计算：

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

式中：ni为第i种的个体数；fi是该种在各站中出现的频率；N为所有站每个种出现的总个体数。

采用 Shannon-Weaner 指数测定多样性指数，其计算公式为：

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

式中：H′——种类多样性指数

S——样品中的种类总数

Pi——第 i 种的个体数与总个体数的比值。

采用 Pielou 均匀度测定均匀度，其公式为：

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

式中：J——均匀度

H′——种类多样性指数

S——样品中的种类总数

5.5.6 海洋生物调查结果及分析

5.5.6.1 叶绿素 a 及初级生产力

秋季调查共采集 24 个站位的叶绿素 a 样品。各站位叶绿素 a 质量浓度见表 5.5-2a。各站表层平均叶绿素质量浓度变化于(0.32-2.69) mg/m3，平均值为 1.19 mg/m3；各站中层平均叶绿素质量浓度变化于(0.37-1.59) mg/m3，平均值为 0.98 mg/m3；各站表层底层平均叶绿素质量浓度变化于(0.22-2.34) mg/m3，平均值为 1.15 mg/m3。参照美国环保局（EPA）叶绿素 a 的质量浓度评价标准 [0.3 mg/m3～2.5 mg/m3 为贫营养，50 mg/m3～140 mg/m3 为富营养]，本次调查各站位叶绿素 a 均处于贫营养水平。

各站海洋初级生产力范围为（45.53-516.67）mgC/(m2·d)，最大出现在 S29 号站，最小出现在 S7 号站，平均为 199.21 mgC/(m2·d)，各站海洋初级生产力均为低水平。

春季调查共采集 24 个站位的叶绿素 a 样品。各站位叶绿素 a 质量浓度见表 5.5-2b。各站表层平均叶绿素质量浓度变化于(0.92-5.19) mg/m3，平均值为 2.37 mg/m3；各站中层平均叶绿素质量浓度变化于(0.99-5.46) mg/m3，平均值为 2.12 mg/m3；各站底层平均叶绿素质量浓度变化于(1.00-4.34) mg/m3，平均值为 2.27 mg/m3。参照美国环保局（EPA）叶绿素 a 的质量浓度评价标准 [0.3 mg/m3～2.5 mg/m3 为贫营养，50 mg/m3～140 mg/m3 为富营养]，本次调查各站位叶绿素 a 均处于贫营养水平。

各站海洋初级生产力范围为（384.27-1802.97）mgC/(m2·d)，最大出现在 S21 号站，最小出现在 S3 号站，平均为 1013.20 mgC/(m2·d)。

表 5.5-2a 秋季叶绿素 a 含量及初级生产力水平

站位	叶绿素 a(mg/m^3)			初级生产力
	表	中	底	mgC/(m^2·d)
S1	2.69	-	2.34	289.55
S3	1.21	-	1.16	45.59
S5	2.27	-	2.02	122.17
S7	1.41	-	2.06	45.53
S9	0.95	-	1.08	51.13
S11	1.61	1.11	1.10	173.30
S13	1.17	1.11	1.07	188.91
S15	1.27	1.29	1.23	170.88
S16	1.55	1.44	1.30	166.84
S18	1.18	0.97	1.12	127.02
S19	1.61	1.07	1.38	242.62
S20	1.56	1.03	1.63	167.92
S21	1.50	1.20	1.74	282.56
S23	0.60	0.61	0.77	161.46
S25	0.33	0.37	0.42	124.32
S26	0.78	0.73	0.67	251.88
S27	1.63	1.59	1.51	438.63
S28	1.06	1.18	1.24	342.30
S29	1.60	1.36	1.19	516.67
S31	0.51	0.78	0.83	137.24
S33	0.64	0.66	0.78	213.56
S35	0.60	0.90	0.22	235.73
S37	0.51	0.58	0.37	164.69
S39	0.32	0.58	0.42	120.56
最小值	0.32	0.37	0.22	45.53
最大值	2.69	1.59	2.34	516.67
平均值	1.19	0.98	1.15	199.21

表 5.5-2b 春季叶绿素 a 含量及初级生产力水平

站位	叶绿素 a(mg/m^3)			初级生产力
	表	中	底	mgC/(m^2·d)
S1	4.75	-	4.22	766.94
S3	3.57	-	3.52	384.27
S5	4.34	-	3.98	934.32
S7	2.80	-	2.69	452.09
S9	3.35	-	3.43	1081.78
S11	2.98	2.80	2.30	641.53
S13	1.87	2.33	1.87	704.50
S15	5.19	5.46	2.04	1675.95
S16	2.65	2.19	2.52	570.49
S18	1.94	1.78	2.06	835.29
S19	1.43	1.50	1.57	769.63

S20	1.99	1.91	1.39	963.92
S21	3.35	3.43	4.34	1802.97
S23	1.42	1.28	1.27	1222.79
S25	0.92	2.32	2.19	-
S26	2.98	3.14	3.30	1603.84
S27	2.05	1.87	2.90	1323.97
S28	2.13	2.15	1.86	1146.37
S29	1.36	1.46	1.51	731.95
S31	1.13	1.12	1.11	912.25
S33	1.27	1.21	1.00	1093.62
S35	0.97	1.99	1.07	991.90
S37	1.14	0.99	1.14	1472.52
S39	1.26	1.43	1.12	1220.64
最小值	0.92	0.99	1.00	384.27
最大值	5.19	5.46	4.34	1802.97
平均值	2.37	2.12	2.27	1013.20

5.5.6.2 浮游植物

（1）浮游植物密度和分布

秋季调查监测结果显示，调查海区浮游植物个体数量变化范围为（6.05×104～73.15×104）ind/m3，平均为 20.62×104 ind/m3。不同站位的个体数量差异较大，最高个体数量出现在 S26 站；S3 站次之，其个体数量为 57.12×104 ind/m3；最低个体数量则出现在 S29 站。

浮游植物个体数量组成以硅藻占优势，其个体数量占各站总丰度的21.03%～98.69%，平均为 77.77%，硅藻在 24 个测站均有出现；蓝藻居第二位，在各站丰度中的所占比例为 0.00%～76.06%，平均为 13.16%，出现频率为 100%。(表 5.5-3a)。

春季调查监测结果显示，调查海区浮游植物个体数量变化范围为（11.09×104～87.92×104）ind/m3，平均为 25.54×104 ind/m3。不同站位的个体数量差异较大，最高个体数量出现在 S5 站；S1 站次之，其个体数量为 49.00×104 ind/m3；最低个体数量则出现在 S25 站。

浮游植物个体数量组成以硅藻占优势，其个体数量占各站总丰度的32.31%～100.00%，平均为 85.74%，硅藻在 24 个测站均有出现；甲藻在各站丰度中的所占比例为 0.00%～67.69%，平均为 14.26%(表 5.5-3b)。

表 5.5-3a 秋季浮游植物密度、分布及组成

单位：×104 ind/m3

站位	总个体数量	硅藻		甲藻	
		丰度	百分比	丰度	百分比
S1	18.98	9.91	52.22	1.07	5.62
S3	57.12	37.32	65.34	1.27	2.22
S5	23.30	22.55	96.77	0.75	3.23
S7	12.36	11.90	96.30	0.46	3.70
S9	7.77	1.63	21.03	0.23	2.91
S11	35.58	32.34	90.89	0.84	2.36
S13	9.30	8.44	90.76	0.86	9.24
S15	20.09	13.82	68.80	0.91	4.53
S16	7.38	7.08	95.94	0.30	4.06
S18	38.36	37.86	98.69	0.50	1.31
S19	8.66	7.11	82.12	1.55	17.88
S20	38.51	35.09	91.14	0.48	1.25
S21	14.30	14.00	97.90	0.30	2.10
S23	12.31	10.53	85.53	1.78	14.47
S25	17.55	7.26	41.34	7.05	40.18
S26	73.15	67.18	91.84	2.74	3.75
S27	18.52	16.50	89.11	2.02	10.89
S28	9.98	8.95	89.68	0.42	4.25
S29	6.05	3.62	59.77	1.38	22.74
S31	18.73	11.62	62.01	0.96	5.13
S33	17.47	10.78	61.72	6.69	38.28
S35	7.95	7.67	96.44	0.28	3.56
S37	10.76	5.24	48.67	0.69	6.37
S39	10.68	9.88	92.47	0.80	7.53
合计	20.62	16.60	77.77	1.43	9.06
范围	6.05～73.15	1.63～67.18	21.03～98.69	0.23～7.05	1.25～40.18

表 5.5-3b　春季浮游植物密度、分布及组成

站位	总丰度	硅藻		甲藻	
		丰度	百分比	丰度	百分比
S1	49.00	46.93	95.78	2.07	4.22
S3	11.86	11.20	94.44	0.66	5.56
S5	87.92	64.48	73.34	23.44	26.66
S7	19.05	18.67	98.00	0.38	2.00
S9	22.61	20.70	91.54	1.91	8.46
S11	32.19	28.29	87.87	3.90	12.13
S13	23.02	21.87	94.98	1.16	5.02
S15	19.14	13.94	72.84	5.20	27.16
S16	21.05	6.80	32.31	14.25	67.69
S18	25.08	17.16	68.42	7.92	31.58
S19	13.88	13.35	96.22	0.53	3.78
S20	12.98	5.88	45.33	7.10	54.67
S21	28.20	25.31	89.77	2.89	10.23
S23	18.79	16.93	90.11	1.86	9.89
S25	11.09	9.31	83.97	1.78	16.03
S26	13.19	12.05	91.39	1.14	8.61
S27	32.95	31.20	94.69	1.75	5.31
S28	27.10	18.83	69.46	8.28	30.54
S29	28.24	26.02	92.17	2.21	7.83
S31	35.34	33.76	95.53	1.58	4.47
S33	19.60	19.59	99.94	0.01	0.06

S35	24.13	24.13	100.00	0.00	0.00
S37	20.15	20.13	99.90	0.02	0.10
S39	16.30	16.26	99.75	0.04	0.25
合计	25.54	21.78	85.74	3.75	14.26
范围	11.09～87.92	5.88～64.48	32.31～100.00	0.00～23.44	0.00～67.69

（2）浮游植物的种类组成

秋季调查共记录浮游植物 3 门 31 属 76 种(含 11 个变种及变型)。其中以硅藻门出现的种类为最多，为 20 属 49 种，占总种数的 64.47%；甲藻门出现 10 属 26 种，占总种数的 34.21%；蓝藻门出现 1 属 1 种，占总种数的 1.32%(表 5.5-4a)。甲藻类的角藻出现种类数最多（11 种），其次是硅藻类的角毛藻（8 种），再次为硅藻类的圆筛藻，为 7 种，其它属出现的种类较少(附录)。

春季调查共记录浮游植物 2 门 36 属 83 种(含 19 个变种及变型)。其中以硅藻门出现的种类为最多，为 25 属 52 种，占总种数的 62.65%；甲藻门出现 11 属 31 种，占总种数的 37.35%(表 5.5-4b)；甲藻类的角藻出现种类数最多（14 种），其次是硅藻类的角毛藻（12 种），再次为硅藻类的根管藻，为 9 种，其它属出现的种类较少(附录)。

表 5.5-4a　秋季浮游植物种类分类统计

类群	属数	种类数	种类组成比例（%）
硅藻	20	49	64.47
甲藻	10	26	34.21
蓝藻	1	1	1.32
合计	31	76	100.0

表 5.5-4b　春季浮游植物种类分类统计

类群	属数	种类数	种类组成比例（%）
硅藻	25	52	62.65
甲藻	11	31	37.35
合计	36	83	100.0

（3）生物多样性及均匀度

秋季调查，各站位浮游植物种数变化范围在 16~33 种之间。Shannon-wiener 多样性指数范围为 1.25~3.79，平均为 2.35，多样性指数以 S13 站最高，S5 站最低。Pielou 均匀度指数范围为 0.31~0.75，平均为 0.51，各站位生物种间分布不均匀，其中 S13 站均匀度指数最高，S5 站最低(表 5.5-5 a)。

春季调查，各站位浮游植物种数变化范围在 15~34 种之间。Shannon-wiener 多样性指数范围为 1.22~3.89，平均为 2.89，多样性指数以 S25 站最高，S13 站最低。Pielou 均匀度指数范围为 0.30~0.80，平均为 0.62，各站位生物种间分布不均匀，其中 S21 站均匀度指数最高，S13 站最低(表 5.5-5b)。

表 5.5-5a　秋季浮游植物的多样性指数及均匀度

调查站位	种类数	多样性指数	均匀度指数
S1	17	2.56	0.63
S3	19	1.56	0.37
S5	17	1.25	0.31
S7	19	2.17	0.51
S9	16	1.55	0.39
S11	18	1.76	0.42
S13	33	3.79	0.75
S15	23	2.40	0.53
S16	17	2.17	0.53
S18	32	2.25	0.45
S19	23	2.96	0.65
S20	19	1.69	0.40
S21	21	2.18	0.50
S23	28	2.75	0.57
S25	26	3.46	0.74
S26	24	2.02	0.44
S27	28	2.87	0.60
S28	27	1.62	0.34
S29	29	3.47	0.71
S31	32	2.79	0.56
S33	33	3.27	0.65
S35	25	1.78	0.38
S37	26	2.50	0.53
S39	21	1.50	0.34
平均值	24	2.35	0.51
范围	16~33	1.25~3.79	0.31~0.75

表 5.5-5b　春季浮游植物的多样性指数及均匀度

调查站位	种类数	多样性指数	均匀度指数
S1	33	1.97	0.39
S3	24	3.65	0.80
S5	19	2.48	0.58
S7	26	2.18	0.46
S9	24	2.19	0.48
S11	22	1.52	0.34

S13	17	1.22	0.30
S15	22	2.46	0.55
S16	29	3.01	0.62
S18	20	2.59	0.60
S19	15	2.02	0.52
S20	20	3.06	0.71
S21	28	3.84	0.80
S23	31	3.79	0.77
S25	31	3.89	0.79
S26	33	3.53	0.70
S27	24	3.13	0.68
S28	24	2.91	0.63
S29	27	3.36	0.71
S31	23	2.91	0.64
S33	33	3.86	0.77
S35	26	3.44	0.73
S37	32	3.25	0.65
S39	34	3.15	0.62
平均值	26	2.89	0.62
范围	15~34	1.22~3.89	0.30~0.80

（4）优势种

以优势度 Y 大于 0.02 为判断标准，**秋季**调查的浮游植物优势种共出现 4 种，分别为菱形海线藻、中肋骨条藻、伏氏海毛藻和束毛藻。这 4 种优势种的丰度占调查海区总丰度的 59.05%（11.06%~19.47%）。其中菱形海线藻的优势度最高，为 0.116，占调查海区总丰度的 15.94%，为本次调查的第一优势种；中肋骨条藻的优势度也较高，为 0.090，占总丰度的 11.06%，居第二位（见表 5.5-6a）。伏氏海毛藻和束毛藻的优势度分别为 0.058 和 0.051，其丰度分别占调查海域总丰度的 19.47%和 12.58%。这 4 种优势种在整个调查区域分布广泛。

以优势度 Y 大于 0.02 为判断标准，**春季**调查的浮游植物优势种共出现 4 种，分别为钟形中鼓藻、奇异棍形藻、具槽直链藻和劳氏角毛藻。这 4 种优势种的丰度占调查海区总丰度的 59.82%（4.29%~28.26%）。其中钟形中鼓藻的优势度最高，为 0.190，占调查海区总丰度的 28.26%，为本次调查的第一优势种；奇异棍形藻的优势度也较高，为 0.121，占总丰度的 14.53%，居第二位（见表 5.5-6b）。具槽直链藻和劳氏角毛藻的优势度分别为 0.120 和 0.051，其丰度分别占调查海域总丰度的 12.73%和 4.29%。

表 5.5-6a　秋季浮游植物主要优势种及优势度指数

种名	出现率（%）	优势度(*Y*)	个体数量(×10⁴ind/m³)	百分比（%）
菱形海线藻	70.83	0.116	3.29	15.94
中肋骨条藻	50.00	0.090	2.28	11.06
伏氏海毛藻	45.83	0.058	4.01	19.47
束毛藻	45.83	0.051	2.59	12.58

表 5.5-6b　春季浮游植物主要优势种及优势度指数

种名	出现率（%）	优势度(*Y*)	丰度(×10⁴cells/m³)	占总丰度百分比（%）
钟形中鼓藻	83.33	0.190	7.22	28.26
奇异棍形藻	87.50	0.121	3.71	14.53
具槽直链藻	79.17	0.120	3.25	12.73
劳氏角毛藻	75.00	0.051	1.10	4.29

（5）小结及评价

本次春季调查共记录浮游植物 2 门 36 属 83 种(含 19 个变种及变型)。其中以硅藻门出现的种类为最多，为 25 属 52 种，甲藻门出现 11 属 31 种。甲藻类的角藻出现种类数最多（14 种）。浮游植物丰度变化范围为 11.09×104 cells/m3～87.92×104 cells/m3，平均为 25.54×104cells/m3。浮游植物优势种为钟形中鼓藻、奇异棍形藻、具槽直链藻和劳氏角毛藻。各站位浮游植物种数变化范围 15~34 种之间。Shannon-wiener 多样性指数范围为 1.22~3.89，平均为 2.89。Pielou 均匀度指数范围为 0.30~0.80，平均为 0.62。

本次秋季调查共记录浮游植物 3 门 31 属 76 种(含 11 个变种及变型)。其中以硅藻门出现的种类为最多，为 20 属 49 种，甲藻门出现 10 属 26 种。甲藻类的角藻出现种类数最多（11 种）。浮游植物个体数量变化范围为（6.05×104～73.15×104）ind /m3，平均为 20.62×104 ind /m3。浮游植物优势种为菱形海线藻、短齿角毛藻、中肋骨条藻、伏氏海毛藻和束毛藻。各站位浮游植物种数变化范围 16~33 种之间。Shannon-wiener 多样性指数范围为 1.25~3.79，平均为 2.35。Pielou 均匀度指数范围为 0.31~0.75，平均为 0.51。

5.5.6.3　浮游动物

（1）种类组成

本次秋季调查共记录浮游动物 11 个生物类群 77 种(见附录)，其中水螅水母类 10 种，毛颚类和被囊类各 5 种，管水母类 4 种，十足类 3 种，桡足类 34 种，栉水母类、枝角类、浮游环节动物和介形类各 1 种，浮游幼虫类 12 种（类）。

本次春季调查共记录浮游动物 11 个生物类群 67 种(见附录)，其中桡足类 37 种，毛颚类 5 种，水螅水母类和被囊类各 4 种，管水母类和介形类各 2 种，十足类、栉水母类、浮游螺类和浮游环节动物各 1 种，浮游幼虫类 9 种（类）。（2）浮游动物生物量、密度及分布

本次秋季调查结果显示，各采样站浮游动物湿重生物量变化幅度为（18.33～168.11）mg/m3，平均生物量为 78.65mg/m3。在整个调查区中，生物量最高出现在 S1 站，其次出现在 S15 站，为 150.54mg/m3，最低出现在 S35 站，为 18.33mg/m3。在个体数量分布方面，浮游动物密度变化幅度为（34.05～488.89）ind/m3，平均密度为 92.05ind/m3。浮游生物最高密度出现在 S1 站，其次为 140.00ind/m3，出现在 S15 站，最低密度则出现在 S25 站（表 5.5-7a）。

本次春季调查结果显示，各采样站浮游动物湿重生物量变化幅度为（128.71～993.47）mg/m3，平均生物量为 400.47mg/m3。在整个调查区中，生物量最高出现在 S33 站，其次出现在 S28 站，为 848.45mg/m3，最低出现在 S23 站。在个体数量分布方面，浮游动物密度变化幅度为（83.87～553.13）ind/m3，平均密度为 249.41ind/m3。浮游生物最高密度出现在 S28 站，其次为 548.44ind/m3，出现在 S27 站，最低密度则出现在 S23 站（表 5.5-7b）。

表 5.5-7a　秋季浮游动物生物量及密度

站位	生物量（mg/m^3）	密度（ind/m^3）
S1	168.11	488.89
S3	105.38	102.94
S5	83.08	127.92
S7	100.29	82.38
S9	67.15	53.70
S11	63.74	77.80
S13	84.09	79.63
S15	150.54	140.00
S16	70.81	105.19
S18	86.35	62.90
S19	123.95	76.61
S20	113.42	64.67
S21	24.21	68.21
S23	84.56	54.03
S25	34.20	34.05
S26	47.97	82.26
S27	71.25	80.63
S28	60.71	64.09
S29	75.91	70.15
S31	54.22	76.54
S33	68.41	58.38
S35	18.33	37.07

S37	67.50	81.31
S39	63.35	39.76
平均值	78.65	92.05
范围	18.33～168.11	34.05～488.89

表 5.5-7b　春季浮游动物生物量及密度

站位	生物量（mg/m³）	密度（ind/m³）
S1	459.58	254.17
S3	261.18	132.35
S5	611.00	455.00
S7	380.71	216.67
S9	415.00	226.09
S11	207.20	130.00
S13	273.89	166.67
S15	323.54	289.29
S16	243.46	146.15
S18	298.87	167.74
S19	355.47	193.75
S20	235.65	150.00
S21	336.79	189.29
S23	128.71	83.87
S25	597.92	304.17
S26	380.00	179.03
S27	661.78	548.44
S28	848.45	553.13
S29	359.26	183.82
S31	212.18	119.23
S33	993.47	495.83
S35	484.50	410.00
S37	268.38	248.75
S39	274.38	142.50
平均值	400.47	249.41
范围	128.71～993.47	83.87～553.13

（3）生物多样性指数及均匀度

本次秋季调查海域各测站的浮游动物出现种类数在 10～23 种之间；种类多样性指数范围为 1.93～3.43 之间，平均为 2.77，多样性指数最高出现在 S16 站，其次为 S15 站，最低则出现在 S39 站；种类均匀度的分布趋势与多样性指数相似，其变化范围在 0.48～0.82 之间，平均为 0.71，最高出现在 S11 站，最低出现在 S39 站（表 5.5-8a）。

本次春季调查海域各测站的浮游动物出现种类数在 10～23 种之间；种类多样性指数范围为 1.97～3.95 之间，平均为 3.00，多样性指数最高出现在 S20 站，其次为 S16 站，最低则出现在 S35 站；种类均匀度的变化范围在 0.49～0.92 之间，平均为 0.73，最高出现在 S3 站，最低出现在 S35 站（表 5.5-8b）。

表 5.5-8a　秋季浮游动物多样性指数及均匀度

站位	总种数	多样性指数 H'	均匀度 J
S1	19	3.22	0.76
S3	17	2.87	0.70
S5	12	2.90	0.81
S7	11	2.58	0.75
S9	10	2.59	0.78
S11	15	3.21	0.82
S13	14	2.38	0.62
S15	23	3.41	0.75
S16	19	3.43	0.81
S18	19	3.08	0.73
S19	21	2.76	0.63
S20	13	2.77	0.75
S21	14	2.47	0.65
S23	13	2.18	0.59
S25	15	2.61	0.67
S26	11	2.68	0.77
S27	15	2.89	0.74
S28	14	2.45	0.64
S29	15	2.89	0.74
S31	20	3.24	0.75
S33	15	3.07	0.78
S35	15	2.30	0.59
S37	16	2.57	0.64
S39	16	1.93	0.48
平均值	16	2.77	0.71
范围	10～23	1.93～3.43	0.48～0.82

表 5.5-8b　春季浮游动物多样性指数及均匀度

站位	总种数	多样性指数 H'	均匀度 J
S1	9	2.32	0.73
S3	13	3.39	0.92
S5	24	3.48	0.76
S7	14	2.62	0.69
S9	13	2.41	0.65
S11	18	3.31	0.79
S13	23	3.11	0.69
S15	24	3.17	0.69
S16	21	3.92	0.89
S18	23	3.57	0.79
S19	18	3.29	0.79
S20	24	3.95	0.86
S21	19	3.30	0.78
S23	18	3.55	0.85
S25	19	3.20	0.75
S26	12	2.32	0.65
S27	16	2.09	0.52
S28	19	2.60	0.61
S29	17	3.17	0.78
S31	18	2.97	0.71
S33	20	2.87	0.67

S35	16	1.97	0.49
S37	16	2.81	0.70
S39	17	2.63	0.64
平均值	18	3.00	0.73
范围	9～24	1.97～3.95	0.49～0.92

（4）优势种及其分布

以优势度≥0.02 为判断标准，**本调秋季**查海域在调查期间浮游动物的优势种为毛颚类的肥胖软箭虫，介形类的齿形海萤，桡足类的微刺哲水蚤和精致真刺水蚤、管水母类的双手水母和桡足类的亚强次真哲水蚤等组成，其优势度指数分别为 0.203、0.148、0.084、0.070、0.068 和 0.033（见表 5.5-9a）。本调查海域浮游动物的优势种分布较为广泛，第一优势种是齿形海萤，其平均密度为 16.84ind./m3，占浮游动物总密度的 21.42%。主要分布在本海域的 S1 和 S3 采样站，其密度分别为 59.44ind./m3 和 30.59ind./m3。桡足类的微刺哲水蚤为本次调查浮游动物优势种中居第二位的种类，其平均分布密度为 13.69ind./m3，占浮游动物总密度的 17.41%，主要分布在 S15 和 S3 站，其分布密度为 45.00 ind./m3 和 41.18ind./m3，其它站位分布密度较低（<30 ind/m3）。精致真刺水蚤、双手水母、亚强次真哲水蚤和肥胖软箭虫的平均密度分别为 7.67ind/m3、7.26ind/m3、7.29ind/m3 和 4.60ind/m3，分别占调查海域浮游动物总密度的 9.76%、9.24%、9.26%和 5.85%。

以优势度≥0.02 为判断标准，本次**春季**调查海域在调查期间浮游动物的优势种为小拟哲水蚤、锥形宽水蚤、小长腹剑水蚤和亮大眼剑水蚤等组成，其优势度指数分别为 0.187、0.106、0.081 和 0.057（见表 5.5-9b）。本调查海域浮游动物的优势种分布较为广泛，第一优势种是小拟哲水蚤，其平均密度为 54.65ind/m3，占浮游动物总密度的 13.65%。主要分布在本海域的 S27 和 S15 采样站，其密度分别为 153.13ind/m3 和 135.71ind/m3。桡足类的锥形宽水蚤为本次调查浮游动物优势种中居第二位的种类，其平均分布密度为 44.13ind/m3，占浮游动物总密度的 11.02%，主要分布在 S27 和 S35 站，其分布密度为 287.50ind/m3 和 262.50ind/m3。小长腹剑水蚤和亮大眼剑水蚤的平均密度分别为 25.91ind/m3 和 16.98ind/m3，分别占调查海域浮游动物总密度的 6.47%和 4.24%。

表 5.5-9a　秋季浮游动物的优势种及优势度

种名	出现率（%）	优势度（*Y*）	平均密度（ind./m^3）	占总密度的百分比（%）
齿形海萤	100.00	0.203	16.84	21.42

微刺哲水蚤	83.33	0.148	13.69	17.41
精致真刺水蚤	79.17	0.084	7.67	9.76
双手水母	83.33	0.070	7.26	9.24
亚强次真哲水蚤	75.00	0.068	7.29	9.26
肥胖软箭虫	79.17	0.033	4.60	5.85

表 5.5-9b　春季浮游动物的优势种及优势度

种名	出现率（%）	优势度（*Y*）	平均密度（ind/m^3）	占总密度的百分比（%）
小拟哲水蚤	91.67	0.187	54.65	13.65
锥形宽水蚤	50.00	0.106	44.13	11.02
小长腹剑水蚤	66.67	0.081	25.91	6.47
亮大眼剑水蚤	79.17	0.057	16.98	4.24

（5）小结及评价

秋季共记录调查海域浮游动物 11 个生物类群 77 种，其中水螅水母类 10 种，颚类和被囊类各 5 种，管水母类 4 种，十足类 3 种，桡足类 34 种，栉水母类、枝角类、浮游环节动物和介形类各 1 种，浮游幼虫类 12 种（类）。浮游动物平均湿重生物量为 78.65mg/m^3，变化范围在（18.33～168.11）mg/m^3；平均分布密度为 92.05ind/m^3，变化范围为（34.05～488.89）ind/m^3。种类多样性指数范围为 1.93～3.43 之间，平均为 2.77；均匀度指数变化范围在 0.48～0.82 之间，平均为 0.71。毛颚类的肥胖软箭虫，介形类的齿形海萤，桡足类的微刺哲水蚤和精致真刺水蚤、管水母类的双手水母和桡足类的亚强次真哲水蚤为本次调查海区浮游动物优势种。

春季共记录调查海域浮游动物 11 个生物类群 67 种，其中桡足类 37 种，毛颚类 5 种，水螅水母类和被囊类各 4 种，管水母类和介形类各 2 种，十足类、栉水母类、浮游螺类和浮游环节动物各 1 种，浮游幼虫类 9 种（类）。浮游动物平均湿重生物量为 400.47mg/m3，变化范围在（128.71～993.47）mg/m3；平均分布密度为 249.41ind/m3，变化范围为（83.87～553.13）ind/m3。种类多样性指数范围为 1.97～3.95 之间，平均为 3.00；均匀度指数变化范围在 0.49～0.92 之间，平均为 0.73。小拟哲水蚤、锥形宽水蚤、小长腹剑水蚤和亮大眼剑水蚤为本次调查海区浮游动物优势种。

5.5.6.4　底栖生物

（1）种类组成和分布

本次秋季调查共记录大型底栖动物 48 种，其中环节动物 21 种、软体动物 9

种、节肢动物 12 种、棘皮动物 4 种和其它动物 2 种（附录 I-底栖生物种类名录）。环节动物、软体动物和甲壳动物分别占总种数的 43.75%、18.75%和 25.00%，是构成本次调查海区大型底栖生物群落的主要类群。

本次春季调查共记录大型底栖动物 43 种，其中环节动物 18 种、软体动物 9 种、节肢动物 11 种、棘皮动物 3 种和其它动物 2 种（附录 I-底栖生物种类名录）。环节动物、软体动物和甲壳动物分别占总种数的 41.86%、20.93%和 25.58%，是构成本次调查海区大型底栖生物群落的主要类群。

（2）底栖生物的优势种和优势度

本次秋季底栖生物调查共记录 5 种优势种，分别为蠕虫动物的短吻铲荚蠕、棘皮动物的光滑倍棘蛇尾和环节动物的双鳃内卷齿蚕、叶须内卷齿蚕和奇异稚齿虫，其优势度分别为 0.089、0.037、0.054、0.124 和 0.021。叶须内卷齿蚕在 24 个测站中有 13 个站出现，其平均分布密度为 19ind./m2，占底栖生物平均栖息密度的 19.89%。短吻铲荚蠕在 24 个测站中有 10 个站出现，其平均分布密度为 17ind./m2，占调查海区底栖生物平均密度的 17.74%。倍棘蛇尾在 24 个测站中有 10 个站出现，其平均分布密度为 7ind./m2，占调查海区底栖生物平均密度的 7.35%（表 5.5-10a）。

本次春季底栖生物调查共记录 2 种优势种，分别为环节动物的叶须内卷齿蚕和棘皮动物的光滑倍棘蛇尾，其优势度分别为 0.035 和 0.023。叶须内卷齿蚕在 24 个测站中有 10 个站出现，其平均分布密度为 4ind./m2，占底栖生物平均栖息密度的 8.33%。光滑倍棘蛇尾在 24 个测站中有 6 个站出现，其平均分布密度为 5ind/m2，占调查海区底栖生物平均密度的 9.29%（表 5.5-10b）。

表 5.5-10a　秋季底栖动物优势种及优势度

优势种	优势度（Y）	平均密度(ind/m^2)	占总生物栖息密度的百分比(%)	出现率(%)
叶须内卷齿蚕	0.124	19	19.89	62.50
短吻铲荚蠕	0.089	17	17.74	50.00
双鳃内卷齿蚕	0.054	9	10.04	54.17
倍棘蛇尾	0.037	7	7.35	50.00
奇异稚齿虫	0.021	4	3.94	54.17

表 5.5-10b　春季底栖动物优势种及优势度

优势种	优势度（Y）	平均密度(ind/m^2)	占总生物栖息密度的百分比(%)	出现率(%)

叶须内卷齿蚕	0.035	4	8.33	41.67
光滑倍棘蛇尾	0.023	5	9.29	25.00

（3）数量分布

秋季调查海区大型底栖动物平均栖息密度为 93ind/m2，以环节动物密度最高，为 54ind./m2，占总密度的 58.32%；其他动物次之，15ind./m2，占 16.28%；甲壳类动物和棘皮动物分别占总密度的 10.73%和占 12.88%。

本次调查结果表明，各监测站位的底栖生物栖息密度分布不均匀，其中 S23 号站密度较高，为 188ind./m2， 该站密度较高的原因在于该站位记录到数量较多的蜎虫动物的短吻铲荚蜎，其密度为 140ind/m2。分布密度高于 150ind/m2 的站位还有 S28 站，其它站位的分布密度均低于 150 ind/m2 (表 5.5-11a)。

春季调查海区大型底栖动物平均栖息密度为 52ind/m2，以环节动物和节肢动物密度最高，分别均为 21ind./m2，分别占总密度的 40.38%和 39.42%；棘皮动物和软体动物分布密度分别为 6ind/m2 和 4ind/m2，分别占总密度的 12.18%和 7.37%。

本次调查结果表明，各监测站位的底栖生物栖息密度分布不均匀，其中 S25 号站密度较高，为 116ind/m2，该站密度较高的原因在于该站位记录到数量较多的节肢动物的日本沙钩虾，其密度为 60ind/m2。分布密度高于 100ind/m2 的站位还有 S26 站，其它站位的分布密度均低于 100ind/m2 (表 5.5-11b)。

表 5.5-11a　秋季底栖生物栖息密度（ind/m2）

站位	合 计	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其 它
S1	40	32	4	4	0	0
S3	76	40	4	4	0	28
S5	40	32	0	4	4	0
S7	104	64	0	20	4	16
S9	108	28	4	28	4	44
S11	72	52	4	16	0	0
S13	148	56	0	8	4	80
S15	72	52	0	0	20	0
S16	76	40	0	4	24	8
S18	144	72	4	0	52	16
S19	68	36	4	16	4	8
S20	124	72	4	0	48	0
S21	60	36	0	4	8	12
S23	188	24	0	16	8	140
S25	80	60	4	0	8	8
S26	80	64	0	8	8	0

S27	100	76	0	16	8	0
S28	184	164	0	8	12	0
S29	80	32	4	20	24	0
S31	128	108	0	8	12	0
S33	72	32	0	20	20	0
S35	68	40	4	16	8	0
S37	76	60	0	16	0	0
S39	44	32	0	4	8	0
平均值	93	54	2	10	12	15
范围	40～188	24～164	0～4	0～28	0～52	0～140

表 5.5-11b　春季底栖生物栖息密度（ind/m2）

站位	合计	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其它
S1	24	4	0	20	0	0
S3	60	8	4	48	0	0
S5	40	12	8	16	4	0
S7	28	4	4	20	0	0
S9	88	24	4	60	0	0
S11	36	24	4	0	4	4
S13	20	16	4	0	0	0
S15	32	8	0	20	0	4
S16	28	20	0	4	4	0
S18	76	20	4	8	44	0
S19	44	24	8	12	0	0
S20	48	40	4	0	4	0
S21	64	28	4	24	8	0
S23	68	48	8	0	12	0
S25	116	32	8	64	12	0
S26	108	12	4	84	8	0
S27	60	36	8	12	4	0
S28	56	12	0	44	0	0
S29	72	8	0	20	44	0
S31	32	20	0	12	0	0
S33	40	36	0	4	0	0
S35	36	16	4	16	0	0
S37	36	28	0	4	4	0
S39	36	24	12	0	0	0
平均值	52	21	4	21	6	0
范围	20～113	4～48	0～12	0～84	0～44	0～4

秋季底栖生物平均生物量为 13.59g/m2，以其他动物（主要为蛏虫动物）居首位，生物量为 6.29g/m2，占总生物量的 46.26%；其次软体动物，为 3.76g/m2，占总生物量的 27.70%；棘皮动物居第三位，为 1.83 g/m2，占 13.45%；环节动物和甲壳动物分别占总生物量的 7.69%和 4.90% (表 5.5-12a)。

本次调查海域的底栖动物生物量平面分布也不均匀，变化范围从（0.68～

47.04）g/m2。生物量最高站位出现在为 S25 站，为 47.04g/m2。生物量最低站位为 S5 站，仅为 0.68g/m2。

春季底栖生物平均生物量为 14.86g/m2 ,以棘皮动物居首位，生物量为 9.32g/m2，占总生物量的 62.72%；其次软体动物，为 4.15g/m2，占总生物量的 27.94%；环节动物和节肢动物分别占总生物量的 2.46%和 3.97% (表 5.5-12b)。

本次调查海域的底栖动物生物量平面分布也不均匀，变化范围从（0.36～122.32）g/m2。生物量最高站位出现在为 S29 站。生物量最低站位为 S1 站，S29 站生物量高的原因在于该站出现生物量高达 122.16g/m2 的光滑倍棘蛇尾。

表 5.5-12a　秋季底栖动物生物量（g/m2）

站位	合 计	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其 它
S1	22.80	0.88	21.84	0.08	0.00	0.00
S3	15.44	0.20	5.00	0.04	0.00	10.20
S5	0.68	0.48	0.00	0.12	0.08	0.00
S7	25.76	0.64	0.00	0.44	0.12	24.56
S9	18.24	0.48	0.36	0.40	0.04	16.96
S11	1.28	0.84	0.36	0.08	0.00	0.00
S13	29.60	0.68	0.00	0.04	0.48	28.40
S15	1.36	0.64	0.00	0.00	0.72	0.00
S16	5.76	0.84	0.00	0.04	0.76	4.12
S18	12.52	0.64	0.36	0.00	8.44	3.08
S19	2.64	0.52	0.24	0.40	0.24	1.24
S20	2.40	0.56	0.32	0.00	1.52	0.00
S21	30.64	0.28	0.00	1.00	22.40	6.96
S23	3.16	0.32	0.00	0.08	0.08	2.68
S25	47.04	0.72	42.16	0.00	0.08	4.08
S26	1.20	0.64	0.00	0.40	0.16	0.00
S27	1.12	0.56	0.00	0.52	0.04	0.00
S28	28.52	3.44	0.00	0.08	0.00	25.00
S29	26.08	1.36	0.12	1.04	0.00	23.56
S31	10.52	3.92	0.00	0.36	6.24	0.00
S33	6.52	1.44	0.00	3.56	1.52	0.00
S35	21.84	1.08	19.56	0.64	0.56	0.00
S37	9.92	3.64	0.00	6.28	0.00	0.00
S39	1.00	0.28	0.00	0.36	0.36	0.00
平均值	13.59	1.05	3.76	0.67	1.83	6.29
范围	0.68～47.04	0.20～3.92	0.00～42.16	0.00～6.28	0.00～22.40	0.00～28.40

表 5.5-12b　春季底栖动物生物量（g/m^2）

站位	合计	环节动物	软体动物	节肢动物	棘皮动物	其它
S1	0.36	0.04	0.00	0.32	0.00	0.00
S3	9.00	0.08	8.48	0.44	0.00	0.00
S5	1.76	0.12	1.48	0.08	0.08	0.00

S7	3.88	0.04	1.92	1.92	0.00	0.00
S9	0.76	0.16	0.36	0.24	0.00	0.00
S11	11.80	0.12	0.84	0.00	1.04	9.80
S13	4.20	0.12	4.08	0.00	0.00	0.00
S15	3.28	0.08	0.00	2.60	0.00	0.60
S16	3.04	0.68	0.00	2.32	0.04	0.00
S18	91.96	0.08	2.24	0.04	89.60	0.00
S19	5.64	0.12	5.40	0.12	0.00	0.00
S20	2.28	0.08	0.20	0.00	2.00	0.00
S21	11.44	0.12	8.60	0.32	2.40	0.00
S23	1.68	1.12	0.48	0.00	0.08	0.00
S25	8.72	2.32	2.40	0.80	3.20	0.00
S26	10.12	1.48	5.40	0.84	2.40	0.00
S27	9.36	0.20	8.68	0.12	0.36	0.00
S28	0.52	0.08	0.00	0.44	0.00	0.00
S29	122.32	0.08	0.00	0.08	122.16	0.00
S31	0.72	0.40	0.00	0.32	0.00	0.00
S33	1.48	0.64	0.00	0.84	0.00	0.00
S35	3.80	0.20	3.48	0.12	0.00	0.00
S37	2.88	0.32	0.00	2.20	0.36	0.00
S39	45.72	0.08	45.64	0.00	0.00	0.00
平均值	14.86	0.37	4.15	0.59	9.32	0.43
范围	0.36～122.32	0.04～2.32	0.00～45.64	0.00～2.60	0.00～12.16	0.00～9.80

秋季环节动物在调查海区所有站位都有出现，平均密度为 54ind/m2，密度分布范围为（24～164）ind/m 2；平均生物量为 1.05g/m2，生物量分布范围为（0.20～3.92）g/m2。

软体动物的平均密度为 2ind/m2，密度分布范围为（0～4）ind/m 2。24 个站位中有 10 个站位记录到该类动物，出现率为 41.67%，平均生物量为 3.76g/m2，生物量分布范围为（0.00～42.16）g/m2。

节肢动物平均密度为 10ind/m2，密度仅高于软体动物。密度分布范围为（0～28 ）ind./m 2。平均生物量为 0.67g/m2，生物量分布范围为（0.00～6.28）g/m2。

棘皮动物平均生物量为 1.83g/m2，平均栖息密度为 11ind/m2。生物量和栖息密度变化范围分别为（0.00～22.40）g/m2 和（0～52）ind/m 2。

春季环节动物在调查海区所有站位都有出现，平均密度为 21ind/m2，密度分布范围为（4～48）ind/m 2；平均生物量为 0.37g/m2，生物量分布范围为（0.04～2.32）g/m2。

软体动物的平均密度为 4ind/m2，密度分布范围为（0～12）ind/m 2。24 个站位中有 16 个站位记录到该类动物，出现率为 66.67%，平均生物量为 4.15g/m2，生物量分布范围为（0.00～45.64）g/m2。

节肢动物平均密度为 21ind/m2，密度仅高于软体动物。密度分布范围为（0～84 ）ind./m 2。平均生物量为 0.59g/m2，生物量分布范围为（0.00～2.60）g/m2。

棘皮动物平均生物量为 9.32g/m2，平均栖息密度为 6ind/m2。生物量和栖息密度变化范围分别为（0.00～122.16）g/m2 和（0～44）ind/m 2。

（4）生物多样性指数及均匀度

秋季调查海域的各定量采样站位大型底栖生物出现种数变化范围在 4～12 种/站。多样性指数(H′)变化范围在 1.44～3.20 之间，平均值为 2.27。多样性指数最高出现在 S18 站;最低则出现在 S26 站。均匀度指数范围在 0.56～0.91 之间，平均为 0.81（表 5.5-13a）。

春季调查海域的各定量采样站位大型底栖生物出现种数变化范围在 3～9 种/站。多样性指数(H′)变化范围在 0.72～2.23 之间，平均值为 1.43。多样性指数最高出现在 S25 站；最低则出现在 S1 站。均匀度指数范围在 0.32～0.83 之间，平均为 0.62（表 5.5-13b）。

表 5.5-13a　秋季底栖生物多样性指数及均匀度

站位	出现的种类数	多样性指数(*H′*)	均匀度（*J*）
S1	6	1.88	0.73
S3	7	2.22	0.79
S5	5	1.45	0.62
S7	10	2.91	0.88
S9	9	2.53	0.80
S11	6	1.95	0.75
S13	9	2.44	0.77
S15	6	2.05	0.79
S16	9	2.87	0.91
S18	12	3.20	0.89
S19	10	3.03	0.91
S20	6	2.08	0.81
S21	4	1.46	0.73
S23	7	2.36	0.84
S25	9	2.87	0.91
S26	6	1.44	0.56
S27	7	2.41	0.86
S28	5	1.92	0.83
S29	9	2.90	0.91
S31	6	2.25	0.87
S33	5	1.76	0.76
S35	8	2.55	0.85
S37	6	1.92	0.74
S39	5	1.92	0.83
平均值	7	2.27	0.81
范围	4～12	1.44～3.20	0.56～0.91

表 5.5-13b　春季底栖生物多样性指数及均匀度

站位	出现的种类数	多样性指数(*H'*)	均匀度（*J*）
S1	3	0.72	0.46
S3	4	0.73	0.37
S5	7	1.41	0.50
S7	4	1.25	0.63
S9	5	1.22	0.53
S11	5	1.55	0.67
S13	4	1.50	0.75
S15	4	1.15	0.57
S16	4	1.25	0.63
S18	6	1.72	0.67
S19	5	1.92	0.83
S20	4	0.87	0.43
S21	7	0.91	0.32
S23	8	2.16	0.72
S25	9	2.23	0.70
S26	6	1.32	0.51
S27	7	1.97	0.70
S28	5	1.55	0.67
S29	4	1.17	0.58
S31	4	1.45	0.72
S33	4	1.53	0.77
S35	5	1.75	0.75
S37	5	1.75	0.75
S39	4	1.30	0.65
平均值	5	1.43	0.62
范围	3～9	0.72～2.23	0.32～0.83

（5）小结

秋季共记录大型底栖动物 48 种，其中环节动物 21 种、软体动物 9 种、节肢动物 12 种、棘皮动物 4 种和其它动物 2 种。底栖动物平均栖息密度为 93ind/m2，平均生物量为 13.59g/m2。蛞虫动物的短吻铲荚蛞、棘皮动物的光滑倍棘蛇尾和环节动物的双鳃内卷齿蚕、叶须内卷齿蚕以及奇异稚齿虫为本次调查海区底栖动物优势种。底栖动物平均多样性指数和均匀度指数分别为 2.27 和 0.81。

春季共记录大型底栖动物 43 种，其中环节动物 18 种、软体动物 9 种、节肢动物 11 种、棘皮动物 3 种和其它动物 2 种。底栖动物平均栖息密度为 52ind/m2，平均生物量为 14.86g/m2。环节动物的叶须内卷齿蚕和棘皮动物的光滑倍棘蛇尾为本次调查海区底栖动物优势种。底栖动物平均多样性指数和均匀度指数分别为 1.43 和 0.62。

5.5.6.5　潮间带生物

秋季、春季次调查均设置 4 条断面进行潮间带生物调查，每条断面分为高、

中、低三个潮区。

（1）种类组成及生境生态特征

秋季调查断面采集到的潮间带生物共有 8 大门类 50 种（含定性），以软体动物种类最多，为 15 种，占总种数的 30.00%；其次是节肢动物，14 种，占总种数的 28.00%，环节动物 10 种（附录 IV）。

本次秋季调查的 4 个潮间带断面除 T1 断面为岩礁相外，其它 3 条断面均为软相砂质断面，受风浪和潮流的作用强度大，其断面长度长，沉积物分选较好，沉积环境很不稳定，有机质含量很低，导致生物种类相当贫乏。

砂滩断面的高潮区种类极少，仅记录到角眼沙蟹和痕掌沙蟹的分布。 中潮区与高潮区干燥贫瘠的生境相比，本区在波浪和潮流的作用下，随着沉积物含水率和有机质含量的增加，中潮区已出现砂滩习见的斧蛤和等边浅蛤等种类。中潮区出现的种类在低潮区也有分布，如斧蛤和等边浅蛤等。常见的有大角玻璃钩虾、腹沟虫和半足沙蚕等种类。

春季调查断面采集到的潮间带生物共有 7 大门类 38 种，以软体动物种类最多，为 13 种，占总种数的 34.21%；其次是节肢动物，11 种，占总种数的 28.95%，环节动物 6 种（附录 IV）。

本次调查的 4 个潮间带断面除 T1 断面为岩礁相外，其它 3 条断面均为软相砂质断面，受风浪和潮流的作用强度大，其断面长度长，沉积物分选较好，沉积环境很不稳定，有机质含量很低，导致生物种类相当贫乏，其中 T2 及 T3 断面未采到样品。

（2）数量分布

1）生物量及栖息密度的组成

秋季调查断面潮间带生物平均生物量为 148.49g/m2，平均栖息密度为 191ind/m2。

在潮间带生物量的组成中，以肢动物居首位，为 66.93g/m2，占总生物量的 45.08%；其次为软体动节物，其生物量为 27.01g/m2，占 18.19%；藻类和环节动物分别占总生物量的 34.97%和 1.74%。

在栖息密度方面，其组成情况与生物量相同，栖息密度最高类群为节肢动物，为 119ind./m2，其次为环节动物，为 39ind./m2 (见表 5.5-14a)。

春季调查断面潮间带生物平均生物量为 152.80g/m2，平均栖息密度为

180ind/m2。

在潮间带生物量的组成中，以节肢动物居首位，为 121.69g/m2，占总生物量的 79.64%；其次为软体动物，其生物量为 14.24g/m2，占 9.32%；藻类和环节动物分别占总生物量的 10.47%和 0.57%。

在栖息密度方面，其组成情况与生物量相同，栖息密度最高类群为节肢动物，为 81ind./m2，其次为软体动物，为 75ind/m2 (见表 5.5-14b。

表 5.5-14a　秋季潮间带生物量及栖息密度的组成

类　别	合计	环节动物	软体动物	节肢动物	藻类	其它
生物量（g/m^2）	148.49	2.59	27.01	66.93	51.93	0.04
栖息密度（ind./m^2）	191	39	29	119	—	4

表 5.5-14b　春季潮间带生物量及栖息密度的组成

类别	合计	环节动物	软体动物	节肢动物	藻类	其它
生物量（g/m^2）	152.80	0.87	14.24	121.69	16.00	0.00
栖息密度（ind./m^2）	180	25	75	81	—	0

2）生物量及栖息密度的水平分布

秋季调查断面的底栖生物生物量和栖息密度的水平分布方面，生物量表现为 T1 断面 >T4 断面 >T3 断面 > T2 断面，而栖息密度则表现为 T1 断面 >T4 断面 >T2 断面 > T3 断面 (表 5.5-15a)。

春季调查断面的底栖生物生物量和栖息密度的水平分布方面，生物量和栖息密度均表现为 T1 断面>T4 断面>T2 断面=T3 断面 (表 5.5-15b)。

表 5.5-15a　秋季潮间带生物量及栖息密度的水平分布

断面名称	项目	合 计	环节动物	软体动物	节肢动物	藻类	其 他
T1	生物量（g/m^2）	522.67	9.78	39.41	265.63	207.70	0.15
	栖息密度（ind/m^2）	622	89	74	444	0	15
T2	生物量（g/m^2）	1.07	0.16	0.00	0.91	0.00	0.00
	栖息密度（ind/m^2）	45	27	0	19	0	0
T3	生物量（g/m^2）	9.04	0.13	8.67	0.24	0.00	0.00
	栖息密度（ind/m^2）	24	16	5	3	0	0
T4	生物量（g/m^2）	61.20	0.29	59.95	0.96	0.00	0.00
	栖息密度（ind/m^2）	72	24	37	11	0	0

表 5.5-15b　春季潮间带生物量及栖息密度的水平分布

断面名称	项目	合计	环节动物	软体动物	节肢动物	藻类	其他

T1	生物量（g/m²）	601.48	3.26	52.89	481.33	64.00	0.00
	栖息密度（ind/m²）	652	89	267	296	—	0
T2	生物量（g/m²）	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	栖息密度（ind/m²）	0	0	0	0	—	0
T3	生物量（g/m²）	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	栖息密度（ind/m²）	0	0	0	0	—	0
T4	生物量（g/m²）	9.71	0.21	4.08	5.41	0.00	0.00
	栖息密度（ind/m²）	69	11	32	27	—	0

3）生物量及栖息密度的垂直分布

秋季在垂直分布上，潮间带生物的生物量和栖息密度均表现为低潮区最高，高潮区最低，即低潮区＞中潮区＞高潮区（表 5.5-16a）。

表 5.5-16a　秋季潮间带生物量及栖息密度的垂直分布

潮带	项　目	合 计	环节动物	软体动物	节肢动物	藻类	其 它
高	生物量（g/m²）	0.44	0.00	0.44	0.00	0.00	0.00
	栖息密度（ind./m²）	11	0	11	0	0	0
中	生物量（g/m²）	138.74	0.89	44.65	91.53	1.67	0.00
	栖息密度（ind./m²）	245	48	52	144	0	0
低	生物量（g/m²）	306.30	6.89	35.92	109.27	154.11	0.11
	栖息密度（ind./m²）	317	68	24	213	0	11

春季在垂直分布上，潮间带生物的湿重生物量表现为低潮区最高，高潮区最低，即低潮区＞中潮区＞高潮区，而栖息密度则表现为中潮区最高，高潮区最低，即中潮区＞低潮区＞高潮区（表 5.5-16b）。

表 5.5-16b　春季潮间带生物量及栖息密度的垂直分布

潮带	项目	合计	环节动物	软体动物	节肢动物	藻类	其它
高	生物量（g/m²）	4.19	0.00	1.67	2.52	0.00	0.00
	栖息密度（ind./m²）	58	0	56	2	—	0
中	生物量（g/m²）	170.36	1.69	15.35	153.32	0.00	0.00
	栖息密度（ind./m²）	247	46	106	95	—	0
低	生物量（g/m²）	283.85	0.92	25.71	209.22	48.00	0.00
	栖息密度（ind./m²）	236	28	62	145	—	0

（4）生物多样性指数及均匀度

秋季计算结果显示，调查断面潮间带多样性指数(H′)和均匀度(J)均属中等偏低水平，4 条断面多样性指数平均为 2.31。均匀度指数平均为 0.863(表 5.5-17a)。

表 5.5-17a 秋季潮间带生物多样性指数及均匀度

断面名称	样方内出现的种类数	多样性指数(*H′*)	均匀度(*J*)

T1	13	2.95	0.80
T2	4	1.66	0.83
T3	5	2.06	0.89
T4	7	2.56	0.91
平均	7	2.31	0.86

春季计算结果显示，4 条断面潮间带生物多样性指数平均为 1.34，均匀度指数平均为 0.41(表 5.5-17b)。

表 5.5-17b 春季潮间带生物多样性指数及均匀度

断面名称	样方内出现的种类数	多样性指数(*H'*)	均匀度(*J*)
T1	13	2.98	0.81
T2	0	0.00	0.00
T3	0	0.00	0.00
T4	7	2.36	0.84
平均	5	1.34	0.41

（5）小结

秋季调查断面采集到的潮间带生物共有 8 大门类 50 种（含定性），以软体动物种类最多，为 15 种，占总种数的 30.00%；其次是节肢动物，14 种，占总种数的 28.00%，环节动物 10 种）。秋季调查断面潮间带生物平均生物量为 148.49g/m2，平均栖息密度为 191ind/m2。秋季计算结果显示，调查断面潮间带多样性指数(H′)和均匀度(J)均属中等偏低水平，4 条断面多样性指数平均为 2.31。均匀度指数平均为 0.863。

春季调查断面采集到的潮间带生物共有 7 大门类 38 种，以软体动物种类最多，为 13 种；其次是节肢动物，11 种，再次为环节动物 6 种。调查断面潮间带生物平均生物量为 152.80g/m2，平均栖息密度为 180ind/m2。调查断面潮间带多样性指数和均匀度分别为 1.34 和 0.41。

5.6 海洋生物质量现状调查及评价

5.6.1 调查和分析方法

5.6.1.1 样品采集

本次秋季调查，在 S1、S3、S5、S7、S9、S11、S13、S15、S16、S18、S19、S20、S21、S23、S25、S26、S27、S28、S29、S31、S33、S35、S37、S39 号站

共计 24 个站位采集 15 种鱼类、1 种头足类、3 种甲壳类和 1 种贝类生物样品共 20 个种类 48 个样品，所采种类分别为带鱼、二长棘鲷、斑鰭白姑鱼、网纹裸胸鳝、龙头鱼、迈氏条尾魟、尖吻鳗、竹荚鱼、皮氏叫姑鱼、尖头斜齿鲨、前鳞骨鲻、金色小沙丁鱼、刺鲳、圆额金线鱼、海鳗、中国枪乌贼、红星梭子蟹、口虾姑、长叉口虾蛄和江珧。样品经冷冻保存后带回实验室进行分析测定。

本次春季调查，在 S1、S3、S5、S7、S9、S11、S13、S15、S16、S18、S19、S20、S21、S23、S25、S26、S27、S28、S29、S31、S33、S35、S37、S39 号站共计 24 个站位采集 13 种鱼类、4 种甲壳类和 3 种头足类生物样品共 20 个种类 48 个样品，所采种类分别为短吻鳐、杂食豆齿鳗、中华青鳞鱼、多齿蛇鲻、皮氏叫姑鱼、蓝圆鲹、大头白姑鱼、油舒、刺鲳、前鳞骨鲻、竹荚鱼、二长棘鲷、带鱼、日本蟳、口虾蛄、锈斑蟳、逍遥馒头蟹、中国枪乌贼、莱氏拟乌贼和短蛸。样品经冷冻保存后带回实验室进行分析测定。

5.6.1.2 检测项目和分析方法

测定项目包括铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、汞（Hg）、砷（As）和石油烃（TPHs），各项目的测定方法（表 5.6-1）参照海洋监测规范-第 6 部分：生物体分析（GB17378.6-2007）。

表 5.6-1 海洋生物质量各检测项目的测定方法与检出限

检测参数	分析方法	检验方法标准	检出限(mg/kg)
Cu	无火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17378.6-2007/6.1	0.50
Pb	无火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17378.6-2007/7.1	0.20
Zn	无火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17378.6-2007/9.1	0.10
Cd	无火焰原子吸收分光光度法	GB/T 17378.6-2007/8.1	0.01
Hg	原子荧光分光光度法	GB/T 17378.6-2007/5.1	0.01
As	原子荧光分光光度法	GB 17378.6-2007/11.1	0.05
TPHs	荧光分光光度法	GB 17378.6-2007/13	0.20

5.6.1.3 评价方法

海洋生物质量中鱼类和甲壳类样品残毒（除石油烃外）的评价标准采用《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准（表 1.3-4）。海洋生物质量中贝类样品残毒采用中华人民共和国国家标准

《海洋生物质量》（GB 18421-2001）中的相关标准进行评价（表 1.3-3）。头足类样品不予评价。

（1）超标率计算

$$POS\ (\%) = \frac{SC}{TSC} \times 100$$

式中：POS——超标率；

SC——超标的样品数；

TSC——总样品数。

（2）质量指数

采用单项因子质量指数法进行评价,评价因子质量指数计算公式为：

$$Q_{ij} = C_{ij} / C_{oi}$$

式中：Qij—站 j 评价因子 i 的标准指数；

Cij—站 j 评价因子 i 的实测值；

Coi—评价因子 i 的评价标准值。

5.6.2 监测结果

5.6.2.1 总体情况

从**秋季**调查监测结果看（表 5.6-2a），鱼类 Zn、As 及 TPHs 检出率为 100%，Cu 检出率为 16.67%，Pb 检出率为 30.56%，Cd 检出率为 0%，Hg 检出率为 86.11%。甲壳类 Cu、Zn、Hg、As 及 TPHs 检出率为 100%，Pb 检出率为 33.33%，Cd 检出率为 66.67%。贝类检出率为 100%。头足类 Cu、Zn、Hg、As 及 TPHs 检出率为 100%，Pb 检出率为 40.00%，Cd 检出率为 60.00%。

S1 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd，甲壳类生物体 Pb 的检出率为 0.0%；S3 号站鱼类生物体 Cu、Cd，甲壳类生物体 Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S5 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S7 号站鱼类生物体 Cu、Cd，头足类生物体 Pb 的检出率为 0.0%；S9 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S11 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd、Hg 的检出率为 0.0%；S13 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S15 号站鱼类生物体 Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S16 号站鱼类生物体 Pb、Cd，头足类生物体 Pb 的检出率为 0.0%；S18 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd、Hg 的检出率为 0.0%；S19 号站鱼类生物体 Cu、Cd 的检出率为 0.0%；S20 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S21 号站鱼类生

物体 Cd、Hg，头足类生物体 Cd 的检出率为 0.0%；S23 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S25 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd，头足类生物体 Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S26 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S27 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S28 号站鱼类生物体 Cu、Cd，甲壳类生物体 Pb 的检出率为 0.0%；S29 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S31 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S33 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S35 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd、Hg 的检出率为 0.0%；S37 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd，甲壳类生物体 Pb、Cd 的检出率为 0.0%；S39 号站鱼类生物体 Cu、Pb、Cd 的检出率为 0.0%；。

各站分别按鱼类、甲壳类、头足类、贝类样品检测值平均， Zn、Cd 和 TPHs 含量由大到小为贝类、甲壳类、头足类和鱼类；Cu 含量由大到小为甲壳类、头足类、贝类和鱼类；Pb 含量由大到小为贝类、鱼类、甲壳类和头足类；Hg 含量由大到小为鱼类、甲壳类、贝类和头足类；As 含量由大到小为头足类、贝类、甲壳类和鱼类。

春季从调查监测结果看（表 5.6-2b），Cu、Zn、As 及 TPHs 检出率为 100%，Pb 检出率为 95.83%，Cd 检出率为 27.08%，Hg 检出率为 91.67%，Cr 检出率为 6.25%。鱼类 Cu、Zn、As 及及 TPHs 检出率为 100%，Pb 检出率为 93.75%，Cd 检出率为 12.50%，Hg 检出率为 93.75%，Cr 检出率为 9.38%。甲壳类 Cu、Pb、Zn、Cd、As 及 TPHs 检出率为 100%，Hg 检出率为 60.00%，Cr 检出率为 0.00%。软体类 Cu、Pb、Zn、Hg、As 及 TPHs 检出率为 100%，Cd 检出率为 36.36%，Cr 检出率为 0.00%。

S1 号站鱼类生物体 Cd、Cr，软体类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S3 号站鱼类生物体 Cd、Cr，软体类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S5 号站鱼类生物体 Cr 的检出率为 0.0%；S7 号站鱼类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S9 号站鱼类生物体 Pb（蓝圆鲹）、Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S11 号站鱼类生物体 Cd、Cr，甲壳类生物体 Hg、Cr 的检出率为 0.0%；S13 号站鱼类生物体 Cd、Cr，甲壳类生物体 Cr 的检出率为 0.0%；S15 号站鱼类生物体 Cd、Cr，软体类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S16 号站鱼类生物体 Cd、Cr，软体类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S18 号站鱼类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S19 号站鱼类生物体 Cd、Hg、Cr，软体类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S20 号站鱼类生

物体 Cd（多齿蛇鲻）、Cr（中华青鳞鱼）的检出率为 0.0%；S21 号站鱼类生物体 Hg、Cr，软体类生物体 Cr 的检出率为 0.0%；S23 号站鱼类生物体 Cd、Cr，甲壳类生物体 Cr 的检出率为 0.0%；S25 号站甲壳类生物体 Hg（口虾蛄）、Cr 的检出率为 0.0%；S26 号站鱼类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S27 号站鱼类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S28 号站鱼类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%；S29 号站鱼类生物体 Cd、Cr，软体类生物体 Cr 的检出率为 0.0%；S31 号站鱼类生物体 Cd（中华青鳞鱼）、Cr 的检出率为 0.0%；S33 号站鱼类生物体 Pb（大头白姑鱼）、Cd、Cr（大头白姑鱼）的检出率为 0.0%；S35 号站鱼类生物体 Cd、Cr，软体类生物体 Cr 的检出率为 0.0%；S37 号站鱼类生物体 Cd、Cr，软体类生物体 Cr 的检出率为 0.0%；S39 号站软体类生物体 Cd、Cr 的检出率为 0.0%。

各站分别按鱼类、甲壳类、软体类样品检测值平均，Cu、Zn 和 Cd 含量由大到小为甲壳类、软体类和鱼类；Pb 和 Hg 含量由大到小为鱼类、软体类和甲壳类；As 含量由大到小为软体类、鱼类和甲壳类；TPHs 含量由大到小为软体类、甲壳类和鱼类；Cr 含量仅鱼类检出。

表 5.6-2a　秋季生物体污染物检测结果（mg/kg）

站位	种类	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	TPHs
S1	带鱼	ND	ND	5.8	ND	0.023	0.058	0.976
S3	二长棘鲷	ND	0.037	7.9	ND	0.013	0.076	0.872
S5	二长棘鲷	ND	0.041	8.5	ND	0.016	0.100	1.060
S5	斑鰶白姑鱼	ND	ND	4.3	ND	0.012	0.070	0.869
S7	二长棘鲷	ND	0.039	8.3	ND	0.016	0.110	0.910
S9	网纹裸胸鳝	ND	ND	11.0	ND	0.050	0.140	0.989
S11	龙头鱼	ND	ND	5.2	ND	ND	0.870	1.270
S13	迈氏条尾魟	ND	ND	5.9	ND	0.058	0.490	0.885
S13	斑鰶白姑鱼	ND	0.023	4.9	ND	0.012	0.062	1.060
S15	尖吻鳗	0.55	0.041	13.0	ND	0.017	0.220	3.010
S15	竹荚鱼	1.10	ND	11.0	ND	0.015	0.150	1.210
S16	竹荚鱼	1.10	ND	8.5	ND	0.013	0.120	1.350
S18	皮氏叫姑鱼	ND	ND	5.5	ND	0.017	0.077	1.100
S18	龙头鱼	ND	ND	4.0	ND	ND	0.077	1.370
S19	二长棘鲷	ND	0.032	8.9	ND	0.014	0.130	1.580
S20	带鱼	ND	ND	5.5	ND	0.011	0.094	1.130
S20	龙头鱼	ND	ND	5.7	ND	0.013	0.072	1.980
S21	竹荚鱼	0.70	0.059	14.0	ND	ND	0.110	1.080
S23	尖头斜齿鲨	ND	ND	3.8	ND	0.030	0.150	1.150
S23	斑鰶白姑鱼	ND	ND	4.2	ND	0.014	0.092	1.070
S25	带鱼	ND	ND	6.0	ND	0.020	0.100	1.280

S26	带鱼	ND	ND	4.2	ND	0.018	0.074	0.942
S26	尖头斜齿鲨	ND	ND	3.7	ND	0.029	0.180	0.871
S27	前鳞骨鲻	0.66	0.061	14.0	ND	0.011	0.110	1.080
S27	斑鰭白姑鱼	ND	ND	4.9	ND	0.015	0.110	0.822
S28	带鱼	ND	0.027	5.0	ND	0.029	0.072	1.020
S29	金色小沙丁鱼	1.40	0.065	15.0	ND	0.020	0.190	1.410
S29	斑鰭白姑鱼	ND	ND	5.5	ND	0.016	0.110	0.999
S31	迈氏条尾魟	ND	ND	5.0	ND	0.038	0.160	1.560
S31	二长棘鲷	ND	ND	6.6	ND	0.019	0.180	1.180
S33	尖头斜齿鲨	ND	ND	3.5	ND	0.027	0.310	0.998
S35	刺鲳	ND	ND	6.4	ND	0.010	0.190	1.060
S35	二长棘鲷	ND	0.023	9.9	ND	ND	0.190	1.490
S37	圆额金线鱼	ND	ND	5.7	ND	0.014	0.110	0.950
S39	海鳗	ND	ND	4.8	ND	ND	0.093	0.922
S39	龙头鱼	ND	ND	4.8	ND	0.036	0.550	0.789
S7	中国枪乌贼	5.00	ND	12.0	0.099	0.014	0.650	1.690
S9	中国枪乌贼	5.90	0.026	13.0	0.150	0.013	0.510	2.250
S16	中国枪乌贼	4.70	ND	12.0	0.130	0.012	0.860	2.390
S21	中国枪乌贼	5.20	0.031	14.0	ND	0.013	0.940	2.080
S25	中国枪乌贼	2.80	ND	12.0	ND	0.013	0.610	1.750
S1	红星梭子蟹	8.60	ND	27.0	0.190	0.019	0.280	3.270
S3	红星梭子蟹	5.90	ND	28.0	ND	0.021	0.330	1.100
S11	红星梭子蟹	4.90	0.041	18.0	0.089	0.015	0.250	3.480
S19	口虾姑	11.00	0.027	20.0	0.380	0.014	0.440	1.580
S28	长叉口虾姑	16.00	ND	17.0	0.330	0.016	0.340	1.780
S37	红星梭子蟹	5.90	ND	20.0	ND	0.017	0.320	2.430
S33	江珧	1.10	0.490	112.0	4.500	0.016	0.690	3.000
平均		4.58	0.066	11.58	0.73	0.019	0.255	1.439
检出率（%）		37.50	33.33	100.00	16.67	89.58	100.00	100.00

注：低于检出限的残毒因子用 ND 表示。

表 5.6-2b　春季生物体污染物检测结果（mg/kg）

站位	种类	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	TPHs
S1	短吻鳐	0.87	0.250	16.0	ND	0.034	0.790	ND	9.82

S3	杂食豆齿鳗	1.19	0.260	20.2	ND	0.017	10.100	ND	15.90
S5	中华青鳞鱼	0.98	0.050	10.6	0.210	0.003	0.724	ND	2.53
S5	多齿蛇鲻	12.50	0.120	31.2	1.070	0.006	2.170	ND	27.60
S7	多齿蛇鲻	0.56	0.060	5.9	ND	0.016	1.640	ND	24.00
S7	皮氏叫姑鱼	0.74	0.070	6.3	ND	0.041	9.230	ND	4.10
S9	蓝圆鲹	0.93	ND	5.8	ND	0.007	0.638	ND	4.28
S9	短吻鳐	1.16	0.070	12.4	ND	0.009	1.930	ND	12.30
S11	大头白姑鱼	0.44	0.060	7.3	ND	0.017	1.330	ND	19.50
S13	油鲹	0.46	0.050	4.5	ND	0.026	1.400	ND	1.29
S15	大头白姑鱼	1.09	0.090	7.7	ND	0.010	0.663	ND	12.70
S16	多齿蛇鲻	0.80	0.220	14.6	ND	0.007	0.726	ND	1.66
S18	刺鲳	0.39	0.050	6.9	ND	0.020	5.000	ND	11.40
S18	前鳞骨鲻	0.32	0.040	3.3	ND	0.018	1.230	ND	19.60
S19	短吻鳐	1.20	0.030	7.3	ND	ND	2.110	ND	4.55
S20	多齿蛇鲻	1.42	0.310	23.2	ND	0.034	0.698	0.34	8.60
S20	中华青鳞鱼	0.70	0.040	7.6	0.150	0.010	0.557	ND	10.50
S21	多齿蛇鲻	0.56	0.050	9.1	0.030	ND	1.280	ND	5.15
S23	竹筴鱼	0.44	0.050	8.1	ND	0.018	1.740	ND	18.20
S26	杂食豆齿鳗	0.44	0.030	6.8	ND	0.044	1.010	ND	19.70
S26	前鳞骨鲻	0.82	0.250	15.8	ND	0.021	8.350	ND	14.20
S27	中华青鳞鱼	0.55	0.100	9.8	ND	0.008	1.270	ND	1.18
S27	前鳞骨鲻	0.39	0.040	6.9	ND	0.023	0.600	ND	2.62
S28	二长棘鲷	0.58	0.120	10.5	ND	0.009	2.690	ND	4.40
S28	竹筴鱼	1.32	0.110	8.1	ND	0.044	1.180	ND	33.60
S29	短吻鳐	0.66	0.110	11.5	ND	0.017	1.630	ND	30.50
S31	中华青鳞鱼	1.26	0.280	21.2	ND	0.003	1.110	0.34	1.21
S31	带鱼	1.26	0.110	9.3	ND	0.011	0.975	ND	1.52
S33	短吻鳐	1.42	0.220	21.3	ND	0.018	0.556	0.31	8.61
S33	大头白姑鱼	0.30	ND	3.1	ND	0.013	0.653	ND	2.97
S35	多齿蛇鲻	0.41	0.030	4.3	ND	0.010	1.300	ND	2.12
S37	中华青鳞鱼	2.68	0.260	17.2	ND	0.012	2.560	ND	15.50
S11	日本蟳	25.10	0.040	33.0	0.280	ND	0.562	ND	17.10
S13	口虾蛄	11.10	0.110	22.3	0.200	0.018	0.852	ND	27.90
S23	锈斑蟳	33.10	0.040	44.4	0.370	0.005	0.956	ND	7.49
S25	逍遥馒头蟹	34.80	0.040	47.3	0.410	0.019	1.820	ND	8.90
S25	口虾蛄	26.30	0.140	33.3	1.150	ND	2.290	ND	19.80
S1	中国枪乌贼	1.46	0.110	15.4	ND	0.019	1.320	ND	30.30
S3	中国枪乌贼	0.43	0.040	6.7	ND	0.003	0.424	ND	37.00
S15	莱氏拟乌贼	2.73	0.300	18.4	ND	0.012	1.180	ND	14.90
S16	莱氏拟乌贼	1.38	0.110	15.4	ND	0.012	1.880	ND	21.50
S19	中国枪乌贼	1.00	0.060	5.4	ND	0.059	1.730	ND	22.60
S21	中国枪乌贼	4.03	0.060	17.2	0.050	0.012	1.740	ND	11.50
S29	短蛸	9.57	0.090	18.6	0.160	0.006	6.190	ND	28.90
S35	莱氏拟乌贼	3.04	0.030	14.3	0.350	0.010	0.521	ND	14.20
S37	中国枪乌贼	2.95	0.040	12.7	0.040	0.005	1.730	ND	11.80
S39	短蛸	0.83	0.250	15.6	ND	0.013	9.300	ND	9.91
S39	中国枪乌贼	1.14	0.090	6.5	ND	0.019	1.480	ND	14.80
平均		4.12	0.110	14.17	0.34	0.017	2.121	0.330	13.55
检出率（%）		100.00	95.83	100.00	27.08	91.67	100.00	6.25	100.00

注：低于检出限的残毒因子用 ND 表示。

5.6.2.2 海洋生物体质量评价

本次秋季调查，鱼类、头足类和甲壳类均未出现超标现象，贝类铅符合第二类标准，锌超第三类标准，镉符合第三类标准，其他各项因子均符合第一类标准（表 5.6-3a、5.6-4a）。结果说明调查海域总体上生物体污染现象良好，仅有贝类超标。

本次春季调查，鱼类生物体 S5 站多齿蛇鲻 Cd 和 TPHs、S7 站多齿蛇鲻、S28 站竹荚鱼、S29 站短吻鳐 TPHs，甲壳类生物体 S13 站口虾蛄 TPHs，软体类生物体 S1、S3、S19 站中国枪乌贼、S16 站莱氏拟乌贼、S29 站短蛸 TPHs 超标。Cd 总超标率分别为 2.08%和 20.83%，其余没有超标现象出现（表 5.6-3b）。结果说明调查海域总体上生物体污染现象良好。

表 5.6-3a 秋季鱼类、头足类和甲壳类 生物质量指数

站位	种类	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	TPHs
S1	带鱼	-	-	0.15	-	0.08	/	0.05
S3	二长棘鲷	-	0.02	0.20	-	0.04	/	0.04
S5	二长棘鲷	-	0.02	0.21	-	0.05	/	0.05
S5	斑鰭白姑鱼	-	-	0.11	-	0.04	/	0.04
S7	二长棘鲷	-	0.02	0.21	-	0.05	/	0.05
S9	网纹裸胸鳝	-	-	0.28	-	0.17	/	0.05
S11	龙头鱼	-	-	0.13	-	-	/	0.06
S13	迈氏条尾魟	-	-	0.15	-	0.19	/	0.04
S13	斑鰭白姑鱼	-	0.01	0.12	-	0.04	/	0.05
S15	尖吻鳗	0.03	0.02	0.33	-	0.06	/	0.15
S15	竹荚鱼	0.06	-	0.28	-	0.05	/	0.06
S16	竹荚鱼	0.06	-	0.21	-	0.04	/	0.07
S18	皮氏叫姑鱼	-	-	0.14	-	0.06	/	0.06
S18	龙头鱼	-	-	0.10	-	-	/	0.07
S19	二长棘鲷	-	0.02	0.22	-	0.05	/	0.08
S20	带鱼	-	-	0.14	-	0.04	/	0.06
S20	龙头鱼	-	-	0.14	-	0.04	/	0.10
S21	竹荚鱼	0.04	0.03	0.35	-	-	/	0.05
S23	尖头斜齿鲨	-	-	0.10	-	0.10	/	0.06
S23	斑鰭白姑鱼	-	-	0.11	-	0.05	/	0.05
S25	带鱼	-	-	0.15	-	0.07	/	0.06
S26	带鱼	-	-	0.11	-	0.06	/	0.05
S26	尖头斜齿鲨	-	-	0.09	-	0.10	/	0.04
S27	前鳞骨鲻	0.03	0.03	0.35	-	0.04	/	0.05

S27	斑鰭白姑鱼	-	-	0.12	-	0.05	/	0.04
S28	带鱼	-	0.01	0.13	-	0.10	/	0.05
S29	金色小沙丁鱼	0.07	0.03	0.38	-	0.07	/	0.07
S29	斑鰭白姑鱼	-	-	0.14	-	0.05	/	0.05
S31	迈氏条尾魟	-	-	0.13	-	0.13	/	0.08
S31	二长棘鲷	-	-	0.17	-	0.06	/	0.06
S33	尖头斜齿鲨	-	-	0.09	-	0.09	/	0.05
S35	刺鲳	-	-	0.16	-	0.03	/	0.05
S35	二长棘鲷	-	0.01	0.25	-	-	/	0.07
S37	圆额金线鱼	-	-	0.14	-	0.05	/	0.05
S39	海鳗	-	-	0.12	-	-	/	0.05
S39	龙头鱼	-	-	0.12	-	0.12	/	0.04
S7	中国枪乌贼	/	/	/	/	/	/	/
S9	中国枪乌贼	/	/	/	/	/	/	/
S16	中国枪乌贼	/	/	/	/	/	/	/
S21	中国枪乌贼	/	/	/	/	/	/	/
S25	中国枪乌贼	/	/	/	/	/	/	/
S1	红星梭子蟹	-	-	0.03	-	-	/	0.05
S3	红星梭子蟹	-	-	0.03	-	0.18	/	0.04
S11	红星梭子蟹	0.05	0.02	0.08	0.05	0.07	/	0.08
S37	红星梭子蟹	0.06	-	0.09	0.08	0.07	/	0.11
S19	口虾姑	0.05	-	0.08	0.07	0.06	/	0.12
S28	长叉口虾姑	0.05	-	0.09	-	0.07	/	0.10
平均		0.07	0.40	0.17	0.06	0.07	12.20	0.06
超标率（%）		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00

表 5.6-3b　春季鱼类、头足类和甲壳类生物质量指数

站位	种类	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	TPHs
S1	短吻鳐	0.04	0.13	0.40	-	0.11	/	-	0.49
S3	杂食豆齿鳗	0.06	0.13	0.51	-	0.06	/	-	0.80
S5	中华青鳞鱼	0.05	0.03	0.27	0.35	0.01	/	-	0.13
S5	多齿蛇鲻	0.63	0.06	0.78	1.78	0.02	/	-	1.38
S7	多齿蛇鲻	0.03	0.03	0.15	-	0.05	/	-	1.20
S7	皮氏叫姑鱼	0.04	0.04	0.16	-	0.14	/	-	0.21
S9	蓝圆鲹	0.05	-	0.15	-	0.02	/	-	0.21
S9	短吻鳐	0.06	0.04	0.31	-	0.03	/	-	0.62
S11	大头白姑鱼	0.02	0.03	0.18	-	0.06	/	-	0.98
S13	油鲹	0.02	0.03	0.11	-	0.09	/	-	0.06
S15	大头白姑鱼	0.05	0.05	0.19	-	0.03	/	-	0.64
S16	多齿蛇鲻	0.04	0.11	0.37	-	0.02	/	-	0.08
S18	刺鲳	0.02	0.03	0.17	-	0.07	/	-	0.57
S18	前鳞骨鲻	0.02	0.02	0.08	-	0.06	/	-	0.98
S19	短吻鳐	0.06	0.02	0.18	-	-	/	-	0.23
S20	多齿蛇鲻	0.07	0.16	0.58	-	0.11	/	0.23	0.43
S20	中华青鳞鱼	0.04	0.02	0.19	0.25	0.03	/	-	0.53

S21	多齿蛇鲻	0.03	0.03	0.23	0.05	-	/	-	0.26
S23	竹筴鱼	0.02	0.03	0.20	-	0.06	/	-	0.91
S26	杂食豆齿鳗	0.02	0.02	0.17	-	0.15	/	-	0.99
S26	前鳞骨鲻	0.04	0.13	0.40	-	0.07	/	-	0.71
S27	中华青鳞鱼	0.03	0.05	0.25	-	0.03	/	-	0.06
S27	前鳞骨鲻	0.02	0.02	0.17	-	0.08	/	-	0.13
S28	二长棘鲷	0.03	0.06	0.26	-	0.03	/	-	0.22
S28	竹筴鱼	0.07	0.06	0.20	-	0.15	/	-	1.68
S29	短吻鳐	0.03	0.06	0.29	-	0.06	/	-	1.53
S31	中华青鳞鱼	0.06	0.14	0.53	-	0.01	/	0.23	0.06
S31	带鱼	0.06	0.06	0.23	-	0.04	/	-	0.08
S33	短吻鳐	0.07	0.11	0.53	-	0.06	/	0.21	0.43
S33	大头白姑鱼	0.02	-	0.08	-	0.04	/	-	0.15
S35	多齿蛇鲻	0.02	0.02	0.11	-	0.03	/	-	0.11
S37	中华青鳞鱼	0.13	0.13	0.43	-	0.04	/	-	0.78
S11	日本蟳	0.25	0.02	0.22	0.14	-	/	-	0.86
S13	口虾蛄	0.11	0.06	0.15	0.10	0.09	/	-	1.40
S23	锈斑蟳	0.33	0.02	0.30	0.19	0.03	/	-	0.37
S25	逍遥馒头蟹	0.35	0.02	0.32	0.21	0.10	/	-	0.45
S25	口虾蛄	0.26	0.07	0.22	0.58	-	/	-	0.99
S1	中国枪乌贼	0.01	0.01	0.06	-	0.06	/	-	2.02
S3	中国枪乌贼	0.00	0.00	0.03	-	0.01	/	-	2.47
S15	莱氏拟乌贼	0.03	0.03	0.07	-	0.04	/	-	0.99
S16	莱氏拟乌贼	0.01	0.01	0.06	-	0.04	/	-	1.43
S19	中国枪乌贼	0.01	0.01	0.02	-	0.20	/	-	1.51
S21	中国枪乌贼	0.04	0.01	0.07	0.01	0.04	/	-	0.77
S29	短蛸	0.10	0.01	0.07	0.03	0.02	/	-	1.93
S35	莱氏拟乌贼	0.03	0.00	0.06	0.06	0.03	/	-	0.95
S37	中国枪乌贼	0.03	0.00	0.05	0.01	0.02	/	-	0.79
S39	短蛸	0.01	0.03	0.06	-	0.04	/	-	0.66
S39	中国枪乌贼	0.01	0.01	0.03	-	0.06	/	-	0.99
平均		0.07	0.04	0.22	0.29	0.06	/	0.22	0.75
超标率（%）		0.00	0.00	0.00	2.08	0.00	0.00	0.00	20.83

表 5.6-4a　秋季贝类质量指数

种类	Cu	Pb		Zn			Cd			Hg	As	TPHs
	一类	一类	二类	一类	二类	三类	一类	二类	三类	一类	一类	一类
江珧	0.11	4.9	0.245	5.6	2.24	1.12	22.5	2.25	0.9	0.32	0.69	0.2

5.7 渔业资源现状调查与评价

5.7.1 调查站位

渔业资源调查包括鱼卵仔稚鱼和游泳生物。本次调查鱼卵仔稚鱼和游泳动物均设置 24 个站位进行调查，与海洋生物调查站位一致，具体站位图和调查站位表见图 5.3-1 和表 5.3-1。

5.7.2 调查时间

渔业资源调查与海洋生物调查同步进行。

5.7.3 调查项目

海洋生物：鱼卵仔稚鱼、游泳生物。

鱼卵仔稚鱼：种类组成、数量分布（时间和空间的分布）、优势种，并提供其种类名录；

游泳生物：种类组成、渔获物生物学特征、优势种分布、渔获量分布和资源密度（重量、尾数），以及渔业生产情况。

5.7.4 调查和分析方法

渔业资源调查依据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）和《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）相关要求进行。

当观测船只进入预定站位，使用 GPS 进行定位，测量水深。

鱼卵仔鱼：利用浅水Ⅰ型浮游生物网进行水平拖网采样，采样时网具于海水表层（0~3 m）水平拖曳取样，拖网采样船速 1 kn ~2 kn，拖网时长 10 min。

游泳生物：由于水深限制，本次游泳生物拖网调查采用虾拖网进行拖网采样，拖网时长 30 min，同时记录网口长度、网口宽度、网具长度、网眼大小。每网样品按种分类，各站的渔获样品均在现场进行初步分析和测定；渔获样品较少（<20 kg）时，将全部样品进行分析测定；渔获物较多时，先挑选个体较大和稀有种类的样品，其余小杂鱼样品随机取样，再进行分析测定；当不能进行现场分析和测定时，将样品按类别装于聚乙烯袋中，冷冻保存带回实验室分析和测定。

本次游泳生物调查租用拖渔船进行。调查使用的网具为底拖网，网衣长 20 m，网口高度 1.5 m，浮纲长度 12.0 m，囊网网目 1.5 cm。平均拖速为 3.2 kn，拖时为 0.5 h。

游泳生物资源密度采用底拖网扫海面积法（Shindo，1973 转引自 Aoyama，1973；Nguyen，2005）估算。计算公式为：

$$d = \frac{y}{vl} \cdot \frac{1}{(1-E)}$$

式中：d 为资源密度；y 为拖网渔获率；v 为平均拖速；l 为网口宽度（取上纲的 0.67 倍）；E 为逃逸率（取 0.5）。

游泳生物种类的优势度（Y）用以下公式计算：

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

式中：ni 为第 i 种的个体数；fi 是该种在各站中出现的频率；N 为所有站每个种出现的总个体数。

采用 Shannon-Weaner 指数测定游泳生物的多样性指数，其计算公式为：

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

式中：H′为种类多样性指数；S 为样品中的种类总数；Pi 为第 i 种的个体数与总个体数的比值。

采用 Pielou 均匀度测定游泳生物的均匀度，其公式为：

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

式中：J 为均匀度；H′为种类多样性指数；S 为样品中的种类总数。

评估资源密度的方法：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，求算公式为：

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

其中：S－重量密度（kg/km2）或个体密度（ind/km2）

a－底拖网每小时的扫海面积（扫海宽度取浮纲长度的 2/3）

y－平均渔获率（kg/h）或平均生物个体密度（ind/h）

E－逃逸率（取 0.5）

确定优势种的方法：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 计算公式为 IRI=（N+W）F。

式中：N－某一种类的尾数占渔获总尾数的百分比

W－某一种类的重量占渔获总重量的百分比

F－某一种类的出现的站位数占调查总站位数的百分比

5.7.4.1 样品预处理、保存及分析评价方法

预处理、保存及监测分析方法按照《海洋调查规范》（GB/T12763.6-2007）、《海洋监测规范》（GB17378－2007）和《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）进行，见表 5.7-1。

表 5.7-1 海洋生态及渔业资源调查项目监测分析方法

序号	监测项目	样品预处理及保存方法	样品测定方法
1	鱼卵仔稚鱼	加入占样品体积 5%的甲醛溶液固定	计数框计数；体视显微镜鉴定；计算丰度
2	游泳生物	现场分析和测定或者装入聚乙烯袋中冷冻保存	人工鉴定种类、计数、测定生物量

本次渔业资源的评价方法采用优势度、多样性指数和均匀度，计算公式与海洋生物调查时采用的计算公式一致。

5.7.5 渔业资源调查结果及分析

5.7.5.1 鱼卵、仔稚鱼

（1）种类组成及数量分布

秋季调查在采集的定量样品中，经鉴定，至少共出现了鱼卵仔鱼 10 种，其中鲱形目 1 种，鲈形目鉴定出 4 科 1 属 3 种 (表 5.7-2a)。

鱼卵的种类仅记录小公鱼（*Stolephorus sp.*）、鰕虎鱼科（Gobiidae）、鲻属（Leiognathus sp.）、细鳞鲷（Therapon jarbua）、鲷科（Sparidae）、舌鳎科（Cynoglossidae）、白姑鱼（Argyrosomus argentatus）和未定种等 8 种，而仔鱼则记录到小公鱼、白氏银汉鱼（Allanetta bleekeri）、鲻属、鲻科（Mugilidae）、和鲷科等 6 种。

表 5.7-2a 秋季调查海区鱼卵、仔鱼种类组成

种类		拉文文学名	鱼卵	仔稚鱼
鲱形目	小公鱼	*Stolephorus* sp.	+	+
鲈形目	鰕虎鱼科	Gobiidae	+	
	鲻属	*Leiognathus* sp.	+	+
	细鳞鲷	*Therapon jarbua*	+	+
	舌鳎科	Cynoglossidae	+	
	鲷科	Sparidae	+	+
	鲻科	Mugilidae		+
	白氏银汉鱼	*Allanetta bleekeri*		+
	白姑鱼	*Argyrosomus argentatus*	+	
未定	未定种		+	

春季调查在采集的定量样品中，经鉴定，至少共出现了鱼卵仔鱼 14 种，其中鲱形目 3 种，鲈形目鉴定出 4 科 3 属 3 种 (表 5.7-2b)。

本次春季调查共记录到小公鱼、小沙丁鱼、棱鳀、鲻属、舌鳎科、多鳞鳢、

白姑鱼、鱼衔和未定种等 9 种鱼卵，而仔鱼则记录到小公鱼、棱鳀、鰕虎鱼科、鲬属、细鳞鲷、鲷科、鲻科、金线鱼等 8 种。

表 5.7-2b　春季调查海区鱼卵、仔鱼种类组成

种类		拉文文学名	鱼卵	仔稚鱼
鲱形目	小公鱼	*Stolephorus*sp.	+	+
	小沙丁鱼	*Sarinella* sp.	+	
	棱鳀	*Thrissa*sp.	+	+
鲈形目	鰕虎鱼科	Gobiidae		+
	鲬属	*Leiognathus* sp.	+	+
	细鳞鲷	*Theraponjarbua*		+
	舌鳎科	Cynoglossidae	+	
	鲷科	Sparidae		+
	多鳞鱚	*Sillagosihama*	+	
	鲻科	Mugilidae		+
	金线鱼	*Nemipterus*sp.		+
	鱼衔	*Callionymus*sp.	+	
	白姑鱼	*Argyrosomusargentatus*	+	
未定	未定种		+	

（2）数量分布

本次秋季鱼类浮游生物水平拖网调查共采到鱼卵 912 个，仔鱼 59 尾。调查海区的鱼卵水平拖网的平均密度为 308 个/1000m3。采获鱼卵数量密度最高为 S37 站，为 717 个/1000m3，调查期间 24 个测站有 24 均采到鱼卵，鱼卵出现率为 100.00%。鱼卵密度变化范围在 141 个/1000m3~717 个/1000m3。仔鱼在 24 个监测站中有 24 个站出现，出现率 100.00%，仔鱼的平均密度为 20 尾/1000m3。密度变化范围在 8 尾/1000m3~40 尾/1000m3。

垂直拖网共采到鱼卵 264 个，仔鱼 40 尾。垂直拖网的平均密度为 2030 个/1000m3。采获鱼卵数量密度最高为 S 站，为 4412 个/1000m3，调查期间 24 个测站有 23 均采到鱼卵，鱼卵出现率为 95.83%。鱼卵密度变化范围在 0 个/1000m3~4412 个/1000m3。仔鱼在 24 个监测站中有 17 个站出现，出现率 70.83%，仔鱼的平均密度为 330 尾/1000m3。密度变化范围在 0 尾/1000m3~2059 尾/1000m3 (表 5.7-3a)。

鲬属的鱼卵是本次调查数量居首位的种类，鲬鱼类是一种个体小的集群性中上层鱼类，以浮游动植物为食，是甚为常见且个体数量较大的小型鱼类，本次调查鱼卵和仔鱼均有出现，鱼卵的密度水平拖网在（0～218）个/1000m3 之间，平均密度 58 个/1000m3。鱼卵的密度垂直拖网在（0～205）个/1000m3 之间，平均

密度 449 个/1000m3。

鲷科是近岸和港湾重要经济鱼类，经济价值较高，主要是在冬季产卵，11 月份是产卵初期，水平拖网共采到鲷科鱼卵 213 个，仔鱼 6 尾。水平拖网鱼卵的密度在（0～187）个/1000m3 之间，平均密度 72 个/1000m3。垂直拖网鱼卵的密度在（0～1429）个/1000m3 之间，平均密度 402 个/1000m3。

表 5.7-3a　秋季鱼类浮游生物密度及其分布

站位	水平拖网		垂直拖网	
	鱼卵（个/1000m^3）	仔鱼（尾/1000m^3）	鱼卵（个/1000m^3）	仔鱼（尾/1000m^3）
S1	251	24	3889	556
S3	286	24	4412	2059
S5	290	8	3333	0
S7	169	16	3810	238
S9	265	16	0	435
S11	141	16	2200	0
S13	268	16	370	741
S15	158	24	3750	536
S16	332	16	2963	185
S18	205	24	3226	323
S19	297	40	806	0
S20	260	8	667	833
S21	200	40	1071	0
S23	342	24	968	323
S25	278	16	1351	270
S26	424	16	2742	161
S27	377	8	625	625
S28	260	16	758	152
S29	154	16	2206	0
S31	389	16	2564	128
S33	436	16	2162	0
S35	406	32	1951	244
S37	717	16	1071	119
S39	480	24	1829	0
平均值	308	20	2030	330
最小值	141	8	0	0
最大值	717	40	4412	2059

本次春季鱼类浮游生物垂直拖网共采到鱼卵 117 个，仔鱼 14 尾。垂直拖网的平均密度为 945 个/1000m3。采获鱼卵数量密度最高为 S26 站，为 3065 个

/1000m3，调查期间 24 个测站有 15 均采到鱼卵，鱼卵出现率为 79.17%。鱼卵密度变化范围在 0 个/1000m3~3065 个/1000m3 。仔鱼在 24 个监测站中有 9 个站出现，出现率 37.50%，仔鱼的平均密度为 104 尾/1000m3。密度变化范围在 0 尾/1000m3~500 尾/1000m3 (表 5.7-3b)。

表 5.7-3b 鱼类浮游生物密度及其分布

站位	垂直拖网	
	鱼卵（个/1000m^3）	仔鱼（尾/1000m^3）
S1	2083	0
S3	2059	0
S5	1500	500
S7	2619	0
S9	0	0
S11	2200	200
S13	0	185
S15	0	179
S16	0	192
S18	1613	0
S19	1094	0
S20	0	484
S21	1071	0
S23	323	0
S25	0	0
S26	3065	0
S27	938	0
S28	938	0
S29	1176	0
S31	0	385
S33	0	0
S35	1625	250
S37	375	125
S39	0	0
平均	945	104
最小值	0	0
最大值	3065	500

5.7.5.2 游泳生物

（1）游泳生物的种类组成

本次秋季调查，共捕获游泳生物 78 种，其中：鱼类 41 种，头足类 4 种，甲壳类中 33 种（表 5.7-4a）。站位 S39 种类数最多，为 37 种，站位 S20 种数最少，

为 20 种。

表 5.7-4a　秋季各站位各类游泳生物渔获种数分布

站位	类群			合计
	鱼类	甲壳类	头足类	
S1	18	9	2	29
S3	16	8	1	25
S5	14	7	2	23
S7	13	12	1	26
S9	18	8	1	27
S11	14	10	3	27
S13	18	6	3	27
S15	13	7	3	23
S16	14	8	3	25
S18	17	9	1	27
S19	14	11	2	27
S20	11	6	3	20
S21	14	9	3	26
S23	15	13	3	31
S25	14	12	1	27
S26	14	12	2	28
S27	14	13	2	29
S28	19	8	3	30
S29	21	6	2	29
S31	13	14	3	30
S33	15	12	2	29
S35	16	15	3	34
S37	19	12	2	33
S39	18	17	2	37

本次春季调查，共捕获游泳生物 82 种，其中：鱼类 44 种，头足类 3 种，甲壳类中 35 种（表 5.7-4b）。断面 S29 种类数最多，为 34 种，断面 S26 种数最少，为 10 种。

表 5.7-4b　春季各站位各类游泳生物渔获种数分布

站位	类群			合计
	鱼类	甲壳类	头足类	
S1	8	12	1	21
S3	8	14	1	23
S5	5	8	2	15
S7	4	11	1	16
S9	8	12	2	22
S11	8	9	1	18
S13	5	16	2	23

S15	9	10	1	20
S16	7	10	2	19
S18	6	10	1	17
S19	4	15	3	22
S20	9	8	2	19
S21	1	7	1	9
S23	6	9	1	16
S25	6	7	2	15
S26	2	7	1	10
S27	5	9	2	16
S28	9	8	3	20
S29	22	10	2	34
S31	5	13	2	20
S33	9	10	2	21
S35	5	10	1	16
S37	10	9	1	20
S39	7	10	2	19

（2）渔获率

秋季调查海区的游泳生物总重量渔获率和总个体渔获率分别为13.39 kg/h和1758 ind/h，其中：鱼类重量渔获率和个体渔获率均值分别为8.32 kg/h和1444 ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率分别为62.16%和88.37%；甲壳类重量渔获率和个体渔获率均值分别为4.66 kg/h和290 ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率分别为34.79%和16.50%；头足类重量渔获率和个体渔获率分别为0.41 kg/h和23 ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率分别为3.05%和1.33%(表5.7-5a、表5.7-5a。

表5.7-5a　秋季各站位重量渔获率及各类群百分比

站位	总重量渔获率（kg/h）	重量渔获率(kg/h)			重量渔获比例(%)		
		鱼类	甲壳类	头足类	鱼类	甲壳类	头足类
S1	16.31	10.02	5.90	0.39	61.42	36.19	2.39
S3	13.57	5.57	7.89	0.11	41.08	58.13	0.80
S5	9.38	6.69	2.52	0.18	71.27	26.85	1.88
S7	12.08	6.46	5.28	0.34	53.47	43.72	2.82
S9	10.93	5.90	4.92	0.11	54.00	44.98	1.02
S11	11.74	5.68	5.49	0.57	48.39	46.72	4.89
S13	22.68	9.87	12.33	0.48	43.50	54.37	2.13
S15	22.19	11.63	10.22	0.34	52.42	46.06	1.52
S16	13.79	11.28	2.11	0.39	81.85	15.29	2.86
S18	15.31	12.53	2.73	0.04	81.85	17.86	0.29
S19	11.46	6.97	4.17	0.33	60.78	36.37	2.84
S20	12.73	9.77	2.37	0.59	76.76	18.64	4.60

S21	12.30	8.62	3.42	0.26	70.07	27.79	2.15
S23	10.72	8.56	1.75	0.41	79.83	16.32	3.84
S25	13.39	8.72	4.36	0.32	65.07	32.54	2.39
S26	9.47	5.39	3.52	0.56	56.93	37.11	5.95
S27	13.21	8.96	3.70	0.54	67.87	28.01	4.12
S28	8.57	5.98	2.17	0.42	69.79	25.35	4.86
S29	13.57	8.97	4.36	0.23	66.11	32.16	1.72
S31	9.60	4.64	3.83	1.13	48.35	39.87	11.78
S33	13.77	5.48	7.76	0.54	39.77	56.33	3.89
S35	13.44	9.16	3.79	0.49	68.16	28.22	3.62
S37	15.50	12.19	3.02	0.29	78.65	19.50	1.85
S39	15.53	10.64	4.15	0.75	68.47	26.72	4.82
平均	13.39	8.32	4.66	0.41	62.16	34.79	3.05

表 5.7-6a　秋季各站位个体渔获率及各类群百分比

站位	总个体渔获率（ind/h）	个体渔获率(ind/h)			个体渔获比例(%)		
		鱼类	甲壳类	头足类	鱼类	甲壳类	头足类
S1	1176	820	340	16	69.73	28.91	1.36
S3	1050	514	534	2	48.95	50.86	0.19
S5	628	416	206	6	66.24	32.80	0.96
S7	1154	722	422	10	62.56	36.57	0.87
S9	702	378	322	2	53.85	45.87	0.28
S11	1056	744	298	14	70.45	28.22	1.33
S13	1666	996	652	18	59.78	39.14	1.08
S15	2314	1850	448	16	79.95	19.36	0.69
S16	1042	908	126	8	87.14	12.09	0.77
S18	1736	1620	112	4	93.32	6.45	0.23
S19	716	508	182	26	70.95	25.42	3.63
S20	1610	1468	108	34	91.18	6.71	2.11
S21	1693	1678	3.418	12	99.09	0.20	0.71
S23	2202	2094	88	20	95.10	4.00	0.91
S25	1690	1460	206	24	86.39	12.19	1.42
S26	3266	3000	250	16	91.86	7.65	0.49
S27	2178	1906	214	58	87.51	9.83	2.66
S28	1054	902	134	18	85.58	12.71	1.71
S29	1478	1256	210	12	84.98	14.21	0.81
S31	1074	772	218	84	71.88	20.30	7.82
S33	1318	608	656	54	46.13	49.77	4.10

S35	2200	1922	262	16	87.36	11.91	0.73
S37	5246	4642	594	10	88.49	11.32	0.19
S39	3938	3480	376	82	88.37	9.55	2.08
平均	1758	1444	290	23	82.17	16.50	1.33

春季调查海区的游泳生物总重量渔获率和总个体渔获率分别为18.10 kg/h和653 ind/h，其中：鱼类重量渔获率和个体渔获率均值分别为5.98 kg/h和106 ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率分别为33.07%和14.71%；甲壳类重量渔获率和个体渔获率均值分别为10.90 kg/h和513 ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率分别为60.25%和80.42%；头足类重量渔获率和个体渔获率分别为1.21 kg/h和34 ind/h，占总重量渔获率和总个体渔获率分别为6.69%和4.88% (表 5.7-5b、5.7-6b)。

表 5.7-5b　春季各站位重量渔获率及各类群百分比

站位	总重量渔获率（kg/h）	重量渔获率(kg/h)			重量渔获比例(%)		
		鱼类	甲壳类	头足类	鱼类	甲壳类	头足类
S1	28.28	13.64	14.40	0.23	48.25	50.93	0.82
S3	26.70	10.71	14.39	1.60	40.11	53.89	5.99
S5	20.71	3.76	14.67	2.28	18.15	70.84	11.01
S7	22.46	4.12	17.74	0.60	18.34	78.98	2.67
S9	34.58	5.54	25.76	3.28	16.03	74.49	9.48
S11	23.20	18.84	3.76	0.60	81.19	16.22	2.59
S13	19.12	5.82	11.33	1.97	30.42	59.28	10.30
S15	22.47	7.63	14.60	0.24	33.95	64.98	1.07
S16	17.39	6.80	9.69	0.90	39.10	55.73	5.17
S18	12.32	5.72	5.40	1.20	46.43	43.83	9.74
S19	19.13	5.30	12.39	1.44	27.72	64.75	7.53
S20	18.85	8.22	10.10	0.53	43.58	53.60	2.82
S21	7.52	0.35	5.85	1.32	4.68	77.78	17.54
S23	14.45	4.55	8.90	1.00	31.50	61.58	6.92
S25	15.00	6.08	6.88	2.04	40.53	45.87	13.60
S26	9.04	1.60	6.88	0.56	17.70	76.11	6.19
S27	13.05	2.44	9.12	1.49	18.69	69.87	11.43
S28	7.94	1.85	3.60	2.48	23.36	45.39	31.25
S29	19.42	8.05	10.52	0.85	41.46	54.17	4.37
S31	20.07	3.21	15.82	1.04	15.99	78.83	5.18
S33	15.63	5.65	8.81	1.17	36.13	56.37	7.50

S35	12.69	3.12	8.13	1.44	24.59	64.06	11.35
S37	14.80	5.04	9.48	0.28	34.07	64.04	1.89
S39	19.50	5.56	13.44	0.50	28.51	68.92	2.56
平均	18.10	5.98	10.90	1.21	33.07	60.25	6.69

表 5.7-6b　春季各站位个体渔获率及各类群百分比

站位	总个体渔获率（ind/h）	个体渔获率(ind/h)			个体渔获比例(%)		
		鱼类	甲壳类	头足类	鱼类	甲壳类	头足类
S1	936	82	852	2	8.76	91.03	0.21
S3	908	96	808	4	10.57	88.99	0.44
S5	1872	168	1664	40	8.97	88.89	2.14
S7	834	60	766	8	7.19	91.85	0.96
S9	864	160	684	20	18.52	79.17	2.31
S11	398	114	272	12	28.64	68.34	3.02
S13	788	236	528	24	29.95	67.01	3.05
S15	1240	136	1100	4	10.97	88.71	0.32
S16	418	52	330	36	12.44	78.95	8.61
S18	272	36	232	4	13.24	85.29	1.47
S19	836	88	712	36	10.53	85.17	4.31
S20	1152	84	1032	36	7.29	89.58	3.13
S21	458	320	58	80	69.79	12.76	17.45
S23	650	32	514	104	4.92	79.08	16.00
S25	340	74	252	14	21.76	74.12	4.12
S26	226	20	198	8	8.85	87.61	3.54
S27	290	24	218	48	8.28	75.17	16.55
S28	730	168	398	164	23.01	54.52	22.47
S29	434	112	286	36	25.81	65.90	8.29
S31	604	204	348	52	33.77	57.62	8.61
S33	314	72	214	28	22.93	68.15	8.92
S35	128	52	60	16	40.63	46.88	12.50
S37	566	66	492	8	11.66	86.93	1.41
S39	412	76	304	32	18.45	73.79	7.77
平均	653	106	513	34	14.71	80.42	4.88

（3）资源密度

秋季渔业资源平均重量密度为 564.66 kg/ km2，从站位分布来看，重量密度均值最高为站位 S13，为 956.76 kg/ km2，最低为站位 S28，为 361.44 kg/km2；从类群来看，重量密度均值最高为鱼类（350.98 kg/km2），其次为甲壳类（196.44 kg/km2），最低为头足类，仅 17.24 kg/km2（表 5.7-7a）。

表 5.7-7a　秋季调查站位的渔业资源重量密度（kg/ km2）

站位	鱼类	甲壳类	头足类	合计
S1	422.70	249.06	16.45	688.21
S3	235.14	332.76	4.56	572.45
S5	282.13	106.31	7.42	395.87
S7	272.43	222.74	14.34	509.51
S9	248.98	207.38	4.72	461.08
S11	239.70	231.43	24.21	495.34
S13	416.20	520.23	20.33	956.76
S15	490.78	431.22	14.26	936.26
S16	476.02	88.93	16.62	581.57
S18	528.66	115.33	1.86	645.86
S19	293.95	175.91	13.75	483.61
S20	412.15	100.06	24.72	536.93
S21	363.55	144.19	11.14	518.88
S23	361.02	73.82	17.38	452.23
S25	367.69	183.84	13.50	565.03
S26	227.55	148.32	23.79	399.66
S27	378.15	156.09	22.95	557.18
S28	252.27	91.63	17.55	361.44
S29	378.40	184.10	9.87	572.37
S31	195.74	161.40	47.67	404.81
S33	231.01	327.19	22.61	580.81
S35	386.42	159.97	20.50	566.88
S37	514.15	127.48	12.06	653.70
S39	448.68	175.07	31.55	655.30
平均	350.98	196.44	17.24	564.66

秋季渔业资源平均个体密度为 74154 ind/km2，个体密度分布最高出现在站位 S37，为 221304 ind/km2，最低出现在站位 S5，为 22492 ind/km2。个体资源密度均值最高为鱼类（60929 ind/km2），其次为鱼类（12236 ind/km2），最低为头足类（988 ind/km2）（表 5.7-8a）。

表 5.7-8a　秋季调查站位的渔业资源个体密度（ind/km2）

站位	鱼类	甲壳类	头足类	合计
S1	34592	14343	675	49610
S3	21683	22527	84	44294
S5	17549	8690	253	26492

S7	30458	17802	422	48682
S9	15946	13584	84	29614
S11	31386	12571	591	44548
S13	42016	27505	759	70281
S15	78043	18899	675	97617
S16	38304	5315	337	43957
S18	68340	4725	169	73233
S19	21430	7678	1097	30205
S20	61928	4556	1434	67918
S21	70787	144	506	71437
S23	88336	3712	844	92892
S25	61590	8690	1012	71293
S26	126556	10546	675	137777
S27	80405	9028	2447	91879
S28	38051	5653	759	44463
S29	52985	8859	506	62350
S31	32567	9196	3544	45307
S33	25649	27673	2278	55600
S35	81080	11053	675	92807
S37	195824	25058	422	221304
S39	146804	15862	3459	166125
平均	60929	12236	988	74154

春季渔业资源平均重量密度为 763.48 kg/ km2，从断面分布来看，重量密度均值最高为断面 S1，为 1192.83 kg/ k m2，最低为断面 S21，为 317.40 kg/km2；从类群来看，重量密度均值最高为甲壳类（459.96 kg/km2），其次为鱼类（252.47 kg/km2），最低为头足类，仅 51.05 kg/km2（表 5.7-7b）。

表 5.7-7b　春季调查站位的渔业资源重量密度（kg/ km2）

站位	鱼类	甲壳类	头足类	合计
S1	575.57	607.47	9.79	1192.83
S3	451.89	607.13	67.50	1126.51
S5	158.62	618.94	96.18	873.74
S7	173.80	748.37	25.31	947.48
S9	233.87	1086.69	138.37	1458.93
S11	794.77	158.79	25.31	978.87
S13	245.35	478.04	83.02	806.41
S15	321.79	615.90	10.12	947.82
S16	286.86	408.86	37.97	733.68
S18	241.30	227.80	50.62	519.72
S19	223.75	522.59	60.75	807.09
S20	346.59	426.24	22.44	795.28
S21	14.85	246.87	55.68	317.40

S23	192.03	375.45	42.19	609.66
S25	256.49	290.23	86.06	632.78
S26	67.50	290.23	23.62	381.35
S27	102.93	384.73	62.94	550.60
S28	78.21	151.95	104.62	334.78
S29	339.68	443.79	35.77	819.24
S31	135.33	667.37	43.87	846.57
S33	239.27	371.74	49.44	660.45
S35	131.62	342.88	60.75	535.25
S37	212.78	399.92	11.81	624.51
S39	234.55	566.97	21.09	822.61
平均	252.47	459.96	51.05	763.48

春季渔业资源平均个体密度为 26822 ind/km2，个体密度分布最高出现在断面 S5，为 78971 ind/km2，最低出现在断面 S21，为 1934 ind/km2。个体资源密度均值最高为甲壳类（21567 ind/km2），其次为鱼类（3948 ind/km2），最低为头足类（1308 ind/km2）（表 5.7-8b）。

表 5.7-8b　春季调查站位的渔业资源个体密度（ind/km2）

站位	鱼类	甲壳类	头足类	合计
S1	3459	35942	84	39485
S3	4050	34086	169	38304
S5	7087	70196	1687	78971
S7	2531	32314	337	35182
S9	6750	28855	844	36448
S11	4809	11474	506	16790
S13	9956	22274	1012	33242
S15	5737	46404	169	52310
S16	2194	13921	1519	17633
S18	1519	9787	169	11474
S19	3712	30036	1519	35267
S20	3544	43535	1519	48597
S21	1350	247	337	1934
S23	1350	21683	4387	27420
S25	3122	10631	591	14343
S26	844	8353	337	9534
S27	1012	9196	2025	12234
S28	7087	16790	6918	30795
S29	4725	12065	1519	18308

S31	8606	14680	2194	25480
S33	3122	9028	1181	13331
S35	2194	2531	675	5400
S37	2784	20755	337	23877
S39	3206	12824	1350	17380
平均	3948	21567	1308	26822

（4）优势种

秋季根据相对重要性指数（IRI）公式计算评价调查海域内游泳生物的相对重要性指标（IRI），并以 IRI 大于 200 作为优势渔获物的判断指标，本次调查的优势渔获物共有 11 种。其中，鹿斑鲾的 IRI 最高，为 5537；其他种类的 IRI 依次为二长棘鲷（1633）、康氏小公鱼（1612）、长毛对虾（1184）、东方蟳（1104）、短吻鲾（886）、近缘新对虾（840）、猛虾蛄（748）、斑鰶白姑鱼（495）、皮氏叫姑鱼（430）和鲳（201），其它种类的相对重要性指数小于 200，其渔获率及百分比组成见表 5.7-9a。

表 5.7-9a　秋季调查海域游泳生物优势种

种名	占渔获物总重量百分比（%）	占渔获物总尾数百分比（%）	*IRI*
鹿斑鲾	11.51	43.86	5537
二长棘鲷	12.99	3.36	1633
康氏小公鱼	4.22	16.15	1612
长毛对虾	8.99	3.36	1184
东方蟳	7.79	3.72	1104
短吻鲾	6.05	3.62	886
近缘新对虾	5.94	3.66	840
猛虾蛄	5.74	1.74	748
斑鰶白姑鱼	3.76	3.23	495
皮氏叫姑鱼	3.87	2.59	430
鲳	2.14	0.41	201

春季根据相对重要性指数（IRI）公式计算评价调查海域内游泳生物的相对重要性指标（IRI），并以 IRI 大于 200 作为优势

渔获物的判断指标，本次调查的优势渔获物共有 12 种。其中，口虾姑的 IRI 最高，为 1397；其他种类的 IRI 依次为近亲蟳（730）、长叉口虾姑（720）、长毛对虾（685）、竹荚鱼（577）、白姑鱼（552）、黑斑口虾蛄（463）、中国枪乌贼（381）、

猛虾蛄（326）、红狼牙虾虎鱼（239）、太阳强蟹（213）和大头白姑鱼（205），其它种类的相对重要性指数小于 200，其渔获率及百分比组成（见表表 5.7-9b）。

表 5.7-9b　春季调查海域游泳生物优势种

种名	占渔获物总重量百分比（%）	占渔获物总尾数百分比（%）	*IRI*
口虾蛄	13.21	17.29	1397
近亲蟳	2.72	13.21	730
长叉口虾蛄	3.72	4.50	720
长毛对虾	2.48	4.66	685
竹荚鱼	7.10	1.56	577
白姑鱼	3.10	4.26	552
黑斑口虾蛄	4.47	3.46	463
中国枪乌贼	3.08	1.27	381
猛虾蛄	3.95	1.26	326
红狼牙虾虎鱼	1.81	1.21	239
太阳强蟹	4.39	4.13	213
大头白姑鱼	1.57	0.48	205

（5）小节

秋季调查至少共出现了鱼卵仔鱼 10 种，其中鲱形目 1 种，鲈形目鉴定出 4 科 1 属 3 种。调查海区水平拖网的鱼卵平均密度为 308 个/1000m3；仔鱼的平均密度为 20 尾/1000m3。垂直拖网的鱼卵平均密度为 2030 个/1000m3；平均仔鱼密度为 330 尾/1000m3。共捕获游泳生物 78 种，其中：鱼类 41 种，头足类 4 种，甲壳类中 33 种。调查海区的游泳生物总重量渔获率和总个体渔获率均值分别为 13.39 kg/h 和 1758 ind/h。渔业资源平均重量密度和个体密度分别为 564.66 kg/km2 和 74154 ind/km2。

春季调查至少共出现了鱼卵仔鱼 14 种，其中鲱形目 3 种，鲈形目鉴定出 4 科 3 属 3 种。调查海区垂直拖网的鱼卵平均密度为 945 个/1000m3；平均仔鱼密度为 104 尾/1000m3。共捕获游泳生物 82 种，其中：鱼类 44 种，头足类 3 种，甲壳类中 35 种。调查海区的游泳生物总重量渔获率和总个体渔获率均值分别为 18.10 kg/h 和 653 ind/h。渔业资源平均重量密度和个体密度分别为 763.44 kg/km2 和 26822 ind/km2。

5.8 鸟类生态环境现状调查与评价

广东省生物资源应用研究所于 2018 年 9 月~2019 年 3 月期间，根据《海上风电项目海洋环境影响评价技术规范》的要求对中广核汕尾甲子一海上风电场项目的鸟类现状进行调查。

5.8.1 调查范围

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014 年 4 月），鸟类生态环境现状调查范围应至少涵盖工程边界线向外扩展 8 km 区域，并视受保护鸟类受影响程度适当增加。结合本项目实际情况，调查范围以图 5.8-1 绿线区域为主，辅以距离风电场最近的汕尾甲子、揭阳惠来等陆地海岸线近 3 年鸟类现状调查资料（由本单位提供）。其中绿线区域需开展一个连续完整季节周期的鸟类现状调查，调查以上区域内的鸟类物种及其栖息地生态环境现状。

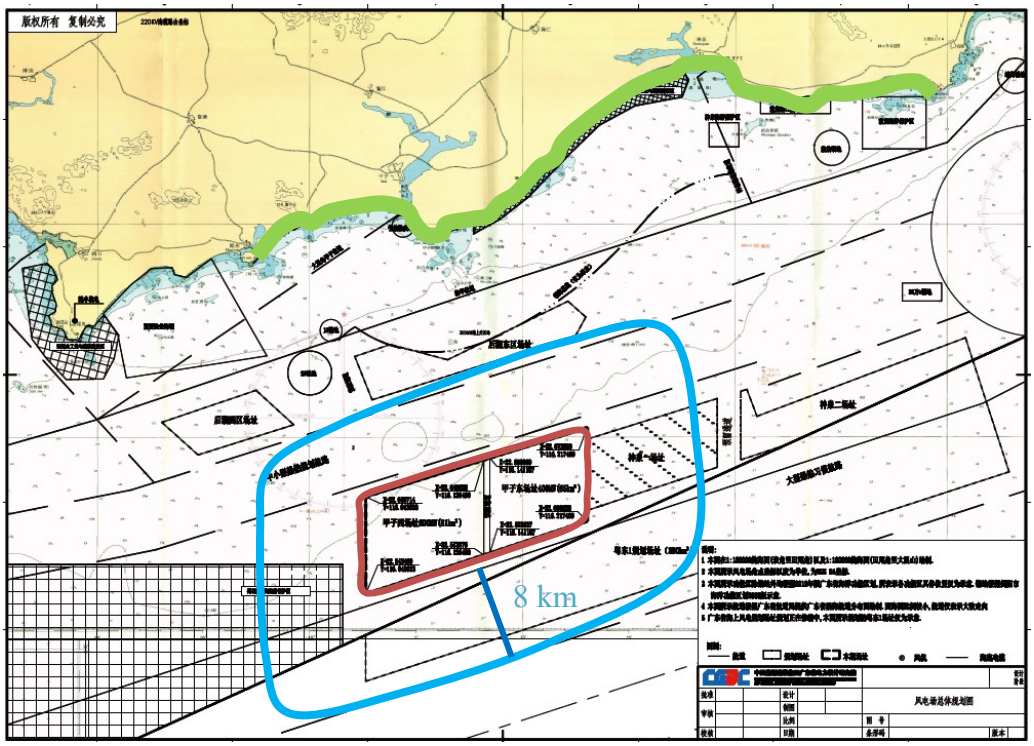


图 5.8-1 汕尾甲子海上风电项目鸟类生态环境调查范围示意图

5.8.2 调查时间与内容

5.8.2.1 调查内容

主要包括调查区域环境概况、鸟类种类组成、数量、居留型及食性；主要迁徙鸟类的种类、数量、迁徙行为、飞行模式等；鸟类优势类群及其生境选择；国

家级重点保护鸟类受保护鸟类的种类与数量。

5.8.2.2 调查时间与频次

依据《海上风电工程环境影响评价技术规范》（国家海洋局，2014 年 4 月），鸟类现状调查周期一般为一年，调查频次每季至少为 1 次以上，由现有资料未发现区域内有鸟类迁徙地、繁殖地、越冬地分布，因此制定调查频次为每季度 1 次，以 2018 年 8 月、11 月、2019 年 1 月、3 月作为主要调查时间。

5.8.3 调查与统计方法

5.8.3.1 调查方法

根据《海上风电工程环境影响评价技术规范》制定的方法调查海上风电场及周边的鸟类。

(1)样线（带）法

本次调查主要使用海上样线法，即调查人员乘船沿固定线路前进，调查人员从船上调查船两侧 400 m 以内飞行和水中海鸟，船行的速度在 7-16 节，完整地记录所见样线两侧的鸟种、数量、高度或距离，并采用快照的方法确定鸟类密度。

其中，调查样线×两侧宽度=调查样带，样带面积为调查评价范围的 10%。实际调查时，先乘船驶至项目实施区域，按事前规划好的样线分布图在调查区域内前进，至边界坐标时折返，最后以到达边界端点结束。样线规划如图 3 和 4 黄线所示。

(2)样点法

采用样点法作为样线法的补充，在区域内选取固定的观察点进行观察计数，周边岛屿和项目场址内主要选择测风塔作为观测样点，周边区域根据生境异质性选择沙滩、泥滩、红树林、浅海、农田等类型设置观测点，通过乘船或步行用望远镜开展调查。

(3)繁殖鸟类调查法

在调查海域内发现具有繁殖和育雏行为的主要种类为岩鹭和燕鸥类，采用密度法估算繁殖种群数量。

(4)休息场统计

采用直接计数方法对大群鸟类休息场行鸟类种类及数量统计。

5.8.3.2 调查统计

直接计数法得到的某种鸟类数量总和即为该区域该种鸟类的数量。

样带（方）数量计算公式为 N= *M（N－某区域某种动物数量； －该区域该物种平均密度；M－该调查区域总面积）。 = / （ －j 个样带（方）调查的该物种数量和； －j 个样带（方）总面积）。

把整个调查过程中的每种鸟类数量总和除以鸟类调查总数量，求出该种鸟类所占百分数。当百分数大于 50%为极多种，用“＋＋＋＋”表示；百分数为 10%－50%，为优势种，用“＋＋＋”表示；当百分数为 1%－10%，为常见种，用“＋＋”表示；当百分数小于 1%，为稀有种，用“＋”表示。

5.8.3.3 鸟类生态环境现状评价

详述调查区域内各季节鸟类分布和密度、特有种、受保护物种、受胁物种和关注物种的生态学特征，评估项目区域作为鸟类栖息、觅食、繁殖和/或换羽地的重要性。采用图表和名录详细列出评价区域历史和现场调查观测到的种类和数量，包括鸟类名称（中文名和学名）、记录数量、发现地点、时间、是否受保护物种、区域水鸟总数 1%水鸟、区域具有代表性指标物种等。

5.8.4 结果分析

5.8.4.1 区域概况分析

（1）鸟类种类特征

根据本项目四季调查数据统计，共记录鸟类 83 种，隶属 12 目 32 科（附录表一）。优势类群为雀形目 PASSERIFORMES，共有 31 种，其次为鸻形目 CHARADRIIFORMES，有 26 种，科目种类和数量的组成见图 2 和图 3。由于本调查主要调查地为海上和沿岸湿地区域，湿地水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分。湿地水鸟是指在生态上依赖于湿地，即某一生活史阶段依赖于湿地，且在形态和行为上对湿地形成适应特征的鸟类。根据 Howes 等（1988）对水鸟的定义，广义的水鸟包括鹈鹕科 (Podicipedidae)、鹭科 (Ardeidae)、鸭科 (Anatidae)、秧鸡科 (Rallidae)、反嘴鹬科 (Recurvirostridae)、鸻科 (Charadriidae)、鹬科 (Scolopacidae)、燕鸻科 (Glareolidae)、鸥科 (Laridae)、燕鸥科 (Sternidae)、翠鸟科 (Alcedinidae)等鸟类，其他统称为陆生鸟类。按上述定义，本次调查的鸟类中，水鸟有 42 种，陆生鸟类有 41 种。按主要居留型划分，留鸟共有 38 种，迁徙鸟

共 45 种，其中冬候鸟 27 种，迁徙过境鸟 7 种，夏候鸟 11 种，可见本区域有多种迁徙性鸟类，其中冬候鸟种类较多。

鸟类目水平物种及数量分布如图 5.8-2；鸟类科水平物种及数量分布如图 5.8-3。

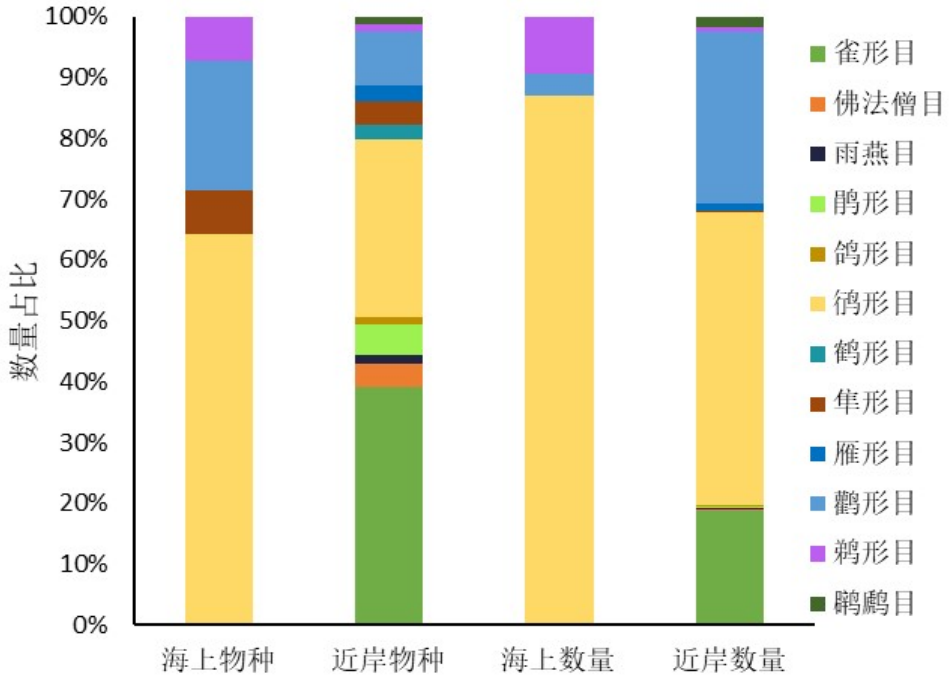


图 5.8-2 鸟类目水平物种及数量分布

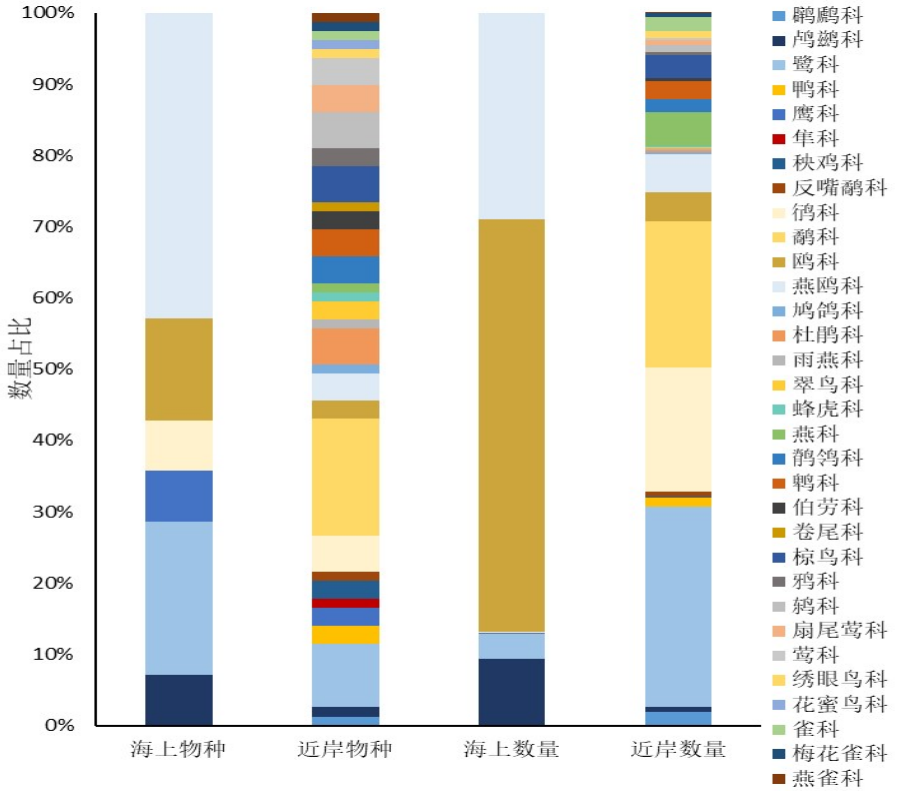


图 5.8-3 鸟类科水平物种及数量分布

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 75 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 16 种；国家重点保护陆生动物中的二级保护动物的有 7 种，包括岩鹭（Egretta sacra）、黑翅鸢（Elanus caeruleus）、黑鸢（Milvus migrans）、普通鵟（Buteo buteo）、红隼（Falco tinnunculus）、褐翅鸦鹃（Centropus sinensis）；小鸦鹃（Centropus bengalensis）国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物（下简称“三有”动物）68 种；属于 IUCN 红皮书的有灰尾漂鹬（Heteroscelus brevipes）和红颈滨鹬（Calidris ruficollis）两种，均为近危（NT）级别；列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种有黑翅鸢、黑鸢、普通鵟和红隼四种。《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录（以下简称中日候鸟保护协定）和《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录（以下简称中澳候鸟保护协定）是中国分别和日本、澳大利亚签订的有关候鸟保护的协定，目的是尽力减少对两国间候鸟所到之主要地区的伤害。本地区中，属于中日候鸟保护协定的有 35 种，中澳候鸟保护协定种类有 24 种，详见附录一表。

以上保护物种中国家级以上的种类以猛禽为主，属于海岛及其周边海域独有重点珍稀保护种的主要有岩鹭和黑鸢两种，总体上珍稀和濒危的种类较少。

(2) 鸟类数量概况

数量方面，四季调查共记录鸟类 5590 只次。其中鸻形目鸟类数量最多，占总数量的 56.9%。优势种有红嘴鸥（Larus ridibundus）和白鹭（Egretta garzetta）两种，分别观察到 871 和 571 只次，占总调查数量的 15.6%和 10.2%。常见种（超过总数量 1%）有 21 种，包括黑腹滨鹬、环颈鸻、铁嘴沙鸻、大白鹭、白额燕鸥、家燕、池鹭、灰翅浮鸥、普通鸬鹚和红颈滨鹬等等，常见种数量合共占总数量的 60.1%。调查结果显示，调查范围内物种分布较均匀、多样性较高，没有数量极多种，整体上以水鸟为主，占总数量的 84.7%。居留型方面，以冬候鸟的数量最多，占总数量的 45.3%，其次为留鸟，占 33.4%，过境迁徙鸟和夏候鸟仅占总调查数量的 7.0%和 14.2%。充分说明该地区主要为鸟类提供越冬地，同时在此栖息的留鸟数量也较丰富。

《国际重要湿地公约（Ramsar）》对重要湿地的评价标准中有这样一条：“如果一块湿地定期栖息有一个水禽物种或亚种某一种群 1%的个体，就应被认为具

有国际重要意义”。生态专家认为，水鸟栖息具有混群性，占全球种群数量 1%以上的水鸟物种，往往可以作为同类水鸟的代表物种，反映整个水鸟的丰富程度，从而反映栖息地的生态环境质量。因此，国际上通常将鸟类的丰富程度作为衡量一个地区生态环境质量优劣的重要标志。本项目所调查鸟类物种的全球种群数量1%数量估计来自于湿地国际的水鸟种群数量估计（Wetlands International 2016）。经对比分析，项目用地和周边区域没有记录到单次鸟类调查数量超过占全球种群数量 1%以上的物种（表 5.8-1）。

表 5.8-1 汕尾甲子海上风电项目及周边水鸟数量与全球种群比较

目	科	种	学名	1%标准	调查最大值
鹳鹮目	鹳鹮科	小鹳鹮	Tachybaptus ruficollis	3900	49
鹈形目	鸬鹚科	普通鸬鹚	Phalacrocorax carbo	260	107
鹳形目	鹭科	苍鹭	Ardea cinerea	10000	30
		大白鹭	Ardea alba	1000	165
		白鹭	Egretta garzetta	10000	200
		岩鹭	Egretta sacra	10000	6
		牛背鹭	Bubulcus ibis	10000	29
		池鹭	Ardeola bacchus	10000	64
		夜鹭	Nycticorax nycticorax	10000	40
雁形目	鸭科	绿翅鸭	Anas crecca	7700	12
		琵嘴鸭	Anas clypeata	5000	16
鹤形目	秧鸡科	白胸苦恶鸟	Amaurornis phoenicurus	20000	1
		黑水鸡	Gallinula chloropus	---------	1
鸻形目	反嘴鹬科	黑翅长脚鹬	Himantopus himantopus	1000	30
	鸻科	金眶鸻	Charadrius dubius	250	23
		环颈鸻	Charadrius alexandrinus	1000	161
		铁嘴沙鸻	Charadrius leschenaultia	790	153
		蒙古沙鸻	Charadrius mongolus	260	12
	鹬科	扇尾沙锥	Gallinago gallinago	10000	16
		泽鹬	Tringa stagnatilis	1000	20
		青脚鹬	Tringa nebularia	1000	16
		林鹬	Tringa glareola	1000	19
		翘嘴鹬	Xenus cinereus	500	5
		矶鹬	Actitis	500	9

			hypoleucos		
		灰尾漂鹬	Heteroscelus brevipes	440	12
		翻石鹬	Arenaria interpres	290	5
		三趾滨鹬	Calidris alba	220	35
		红颈滨鹬	Calidris ruficollis	3200	69
		青脚滨鹬	Calidris temminckii	1000	48
		尖尾滨鹬	Calidris acuminata	1600	3
		黑腹滨鹬	Calidris alpina	10000	249
	鸥科	西伯利亚银鸥	Larus vegae	---------	26
		红嘴鸥	Larus ridibundus	20000	506
	燕鸥科	黑枕燕鸥	Sterna sumatrana	---------	10
		普通燕鸥	Sterna hirundo	10000	35
		白额燕鸥	Sterna albifrons	1000	166
		褐翅燕鸥	Sterna anaethetus	10000	50
		灰翅浮鸥	Chlidonias hybrida	---------	141
		白翅浮鸥	Chlidonias leucopterus	10000	5

5.8.4.2 各季节调查结果详述

（1） 2018 年 8 月调查情况

2018 年 8 月为夏季调查，本次调查共记录鸟类 38 种，隶属 8 目 20 科。优势类群为雀型目，有 16 种，鸻形目有 9 种。其中水鸟 19 种，其余 19 种为陆鸟。数量上，共记录 800 只次，优势种为白额燕鸥和白鹭，数量分别占该月调查总数量的 20.8%和 12.4%。常见种为环颈鸻、麻雀、家燕、褐翅燕鸥、池鹭、普通燕鸥、夜鹭、牛背鹭、铁嘴沙鸻、白头鹎、灰背椋鸟、八哥、白喉红臀鹎、粉红燕鸥、三趾鹬、白鹡鸰等 16 种，共占当季调查数量的 59.0%。

居留型方面，留鸟种类最多，有 26 种。候鸟共有 12 种，其中夏候鸟有 6 种，冬候鸟和迁徙过境鸟各有 4 种和 2 种，部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留鸟数量最多，占总数量的 47.5%，其次为夏候鸟，占 35.9%。可以看出在该季节留鸟和夏候鸟占主要组成部分，进入繁殖盛期。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 32 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 10 种，包括苍鹭、大白鹭、白鹭、牛背鹭、池鹭、夜鹭、粉红燕鸥、普通燕鸥、白额燕鸥、褐翅燕鸥、灰翅浮鸥；国家二级保护动物的有

1 种，为岩鹭；列入国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物 30 种；列入 IUCN 红皮书的物种有 1 种，为灰尾漂鹬；没有列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种。属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 15 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 13 种。

（2）2018 年 11 月调查情况

2018 年 11 月为夏季调查，本次调查共记录鸟类 59 种，隶属 11 目 30 科。优势类群为雀型目，有 22 种，其次为鸻形目有 21 种。其中水鸟 33 种，其余 26 种为陆鸟。数量上，共记录 1777 只次，优势种为红嘴鸥、黑腹滨鹬和白鹭，数量分别占该月调查总数量的 20.5%、12.9%和 11.3%。常见种为大白鹭、环颈鸻、铁嘴沙鸻、池鹭、小鸊鹈、青脚滨鹬、红颈滨鹬和普通鸬鹚等 15 种，共占当季调查数量的 42.0%。

居留型方面，留鸟种类最多，有 26 种。候鸟共有 33 种，其中冬候鸟有 23 种，夏候鸟和迁徙过境鸟各有 5 种，部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟数量最多，占总数量的 56.3%，其次为留鸟，占 33.5%。可以看出在该季节有大量的冬候鸟和迁徙鸟南迁到达本地区。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 55 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 12 种，包括苍鹭、大白鹭、白鹭、牛背鹭、池鹭、黑水鸡、黑翅长脚鹬、西伯利亚银鸥、红嘴鸥、普通燕鸥、灰翅浮鸥和白翅浮鸥；国家二级保护动物的有 4 种，为岩鹭、黑翅鸢、红隼和小鸦鹃；列入国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物 51 种；列入 IUCN 红皮书的物种有 1 种，为红颈滨鹬；列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种有黑翅鸢和红隼 2 种。属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 25 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 19 种。

（3）2019 年 1 月调查情况

2019 年 1 月为冬季调查，本次调查共记录鸟类 50 种，隶属 9 目 23 科。优势类群为雀型目，有 24 种，鸻形目有 14 种。其中水鸟 24 种，其余 26 种为陆鸟。数量上，共记录 1909 只次，优势种为红嘴鸥和黑腹滨鹬，数量分别占该月调查总数量的 26.5%和 13.0%。常见种为环颈鸻、白鹭、铁嘴沙鸻、大白鹭、普通鸬

鹬和红颈滨鹬等 13 种，共占当季调查数量的 49.7%。

居留型方面，留鸟种类最多，有 24 种。候鸟共有 26 种，其中冬候鸟有 21 种，夏候鸟和迁徙过境鸟各有 2 种和 3 种，部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以冬候鸟数量最多，占总数量的 66.1%，其次为留鸟，占 23.7%。可以看出在该季节主要优势鸟类为在本地区越冬的冬候鸟。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 44 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 9 种，包括苍鹭、大白鹭、白鹭、池鹭、黑翅长脚鹬、西伯利亚银鸥、红嘴鸥、普通燕鸥、灰翅浮鸥；国家二级保护动物的有 2 种，为岩鹭和普通鵟；列入国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物 42 种；列入 IUCN 红皮书的物种有 1 种，为红颈滨鹬；列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种有 1 种，为普通鵟。属于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 20 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 14 种。

（4）2019 年 3 月调查情况

2019 年 5 月为春季调查，本次调查共记录鸟类 46 种，隶属 7 目 20 科。优势类群为雀型目和鸻形目，均有 17 种。其中水鸟 23 种，其余 23 种为陆鸟。数量上，共记录 1104 只次，优势种为灰翅浮鸥、家燕和白鹭，数量分别占该月调查总数量的 12.7%、11.5%和 10.7%。常见种为白额燕鸥、环颈鸻、铁嘴沙鸻、池鹭、灰背椋鸟、褐翅燕鸥、夜鹭、白头鹎等 19 种，共占当季调查数量的 53.9%。

居留型方面，留鸟种类最多，有 24 种。候鸟共有 22 种，其中冬候鸟有 11 种，夏候鸟和迁徙过境鸟各有 6 种和 5 种，部分种类在本地区有多个居留型的种群。数量上以留鸟数量最多，占总数量的 39.9%，其次为夏候鸟，占 36.9%。可以看出在该季节留鸟和夏候鸟占主要组成部分。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 42 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 10 种，包括大白鹭、白鹭、牛背鹭、池鹭、夜鹭、普通燕鸥、白额燕鸥、褐翅燕鸥、灰翅浮鸥、白翅浮鸥；国家二级保护动物的有 3 种，为岩鹭、黑鸢和褐翅鸦鹃；列入国家保护的有益或者有重要经济、科学研究价值的陆生野生动物 39 种；列入 IUCN 红皮书的物种有 2 种，为灰尾漂鹬和红颈滨鹬；列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种有黑鸢 1 种。属

于《中华人民共和国政府和日本国政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录内的物种共有 21 种，列入《中国政府和澳大利亚政府保护候鸟及其栖息环境的协定》名录的物种共有 19 种。

（5）季节动态综合分析

四季调查结果综合见图 4 所示，调查区域的鸟类物种数以秋季最高，其次为冬季；而数量则是冬季最高，其次为秋季。个体数量方面存在较明显的季节差异，物种数虽然季节差异不显著，但从物种组成来说，存在季节性更替。以下通过不同尺度的物种多样性分析物种季节动态变化。

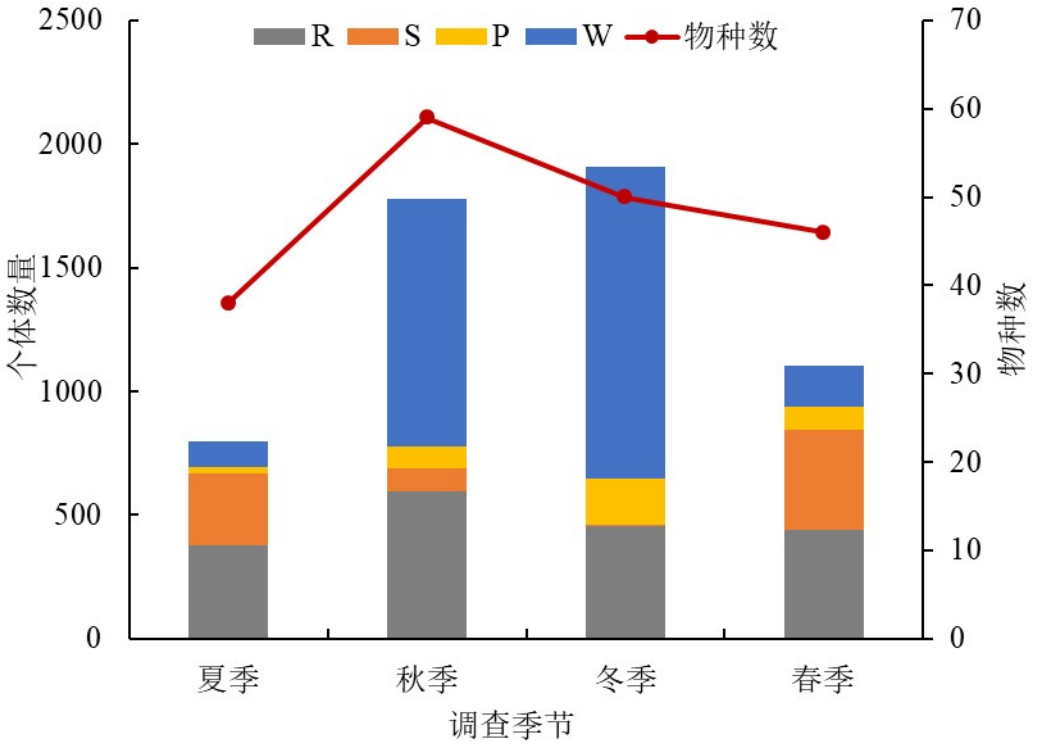


图 5.8-4 调查区域鸟类物种和数量季节变化

α 多样性主要关注某种生境下的物种数目，因此也被称为生境内的多样性(within habitat diversity)，在这一尺度下，维持多样性的主要生态因素有生态位多样性以及物种之间的相互作用；α 多样性包括物种丰富度（S）、物种多样性指数（H’）和物种均匀度指数（E）。从表 5.8-2 可以看出，虽然物种数以秋季最高，其次为冬季，但从多样性方面看，则以春季物种多样性和均匀度为最高，主要由于春季鸟类数量较平均，而秋冬季有部分种类集大群活动，降低了区域整体的物种多样性水平。

表 5.8-2 调查区域鸟类α多样性指标测度

	夏季	秋季	冬季	春季
物种丰富度 S	38	59	50	46
多样性指数 H'	2.85	2.96	2.69	3.11
均匀度指数 E	0.78	0.73	0.69	0.81

β多样性指沿环境梯度不同生境或季节群落之间物种组成的相异性或物种沿环境梯度的更替速率，也被称为生境间的多样性(between habitat diversity)。控制β多样性的主要生态因子有气候、土壤、地貌以及干扰等。表 5.8-3 结果显示春-夏季和秋-冬季间的鸟类物种相似度较高。其余季节间的相似度在 0.5-0.6 之间，即有超过 40%的物种发生季节变化，物种更替速率较高。

表 5.8-3 调查区域鸟类β多样性 Sorensen 指数比较

	夏季	秋季	冬季
秋季	0.515		
冬季	0.545	0.789	
春季	0.714	0.610	0.583

5.8.4.3 海域鸟类现状

风电场所在区域以及周边 8 km 缓冲区域内均为浅海海域，调查主要通过乘船沿样线观察，期间仅发现极少量燕鸥科鸟类飞行，主要为褐翅燕鸥和普通燕鸥。将调查范围扩展至沿岸浅海海域，则在海域中共发现鸟类 4 目 6 科 14 种，共 1272 只次，以鸻形目鸥科和燕鸥科鸟类为主，其次还有普通鸬鹚和岩鹭等。

保护状况方面，岩鹭是海上活动鸟类中主要的保护物种，属于国家二级保护动物，其中岩鹭在沿岸和离岸岩礁上繁殖，会在礁石和近岸沙滩的周边海域活动，根据调查估计种群约 10-20 只。鸥科和燕鸥科的鸟类属于广东省重点保护陆生动物，主要分布在多个港口、鱼排和养殖网箱周边海域，部分燕鸥在离岸礁石上繁殖，红嘴鸥和西伯利亚银鸥在越冬期会在近岸港口海域聚集停歇。根据调查结果显示，甲子港以南以甲子屿为主的多个小型礁石岛屿是较多燕鸥聚集的栖息地，燕鸥混群活动，估计共有数量超过 200 只，该地点距离风电场项目场址大概 18km。惠来县神泉港周边有较多红嘴鸥在近岸海面越冬，估计数量约 300-500 只，其次有少量普通鸬鹚在近岸岛礁上越冬，约 60-100 只，该地点距离风电场项目场址约 33km。

5.8.4.4 沿岸鸟类现状

在沿岸鸟类调查中，共记录到鸟类 12 目 32 科 79 种。种类上以雀型目和鸻形目种类最多，分别有 31 和 23 种；数量上以鸻形目和鹳形目最多，分别占总数量的 48.1%和 28.2%，优势种为白鹭和黑腹滨鹬。本区域多为岩礁海岸，泥质滩涂稀少，有部分沙质海滩，其中部分为度假休闲区域，加上多个渔港码头，总体上人为活动较多，适宜鸟类分布和活动的海岸不多。主要有一些喜在岩礁栖息的种类，如岩鹭、矶鹬和燕鸥科鸟类等。在近海分布较多的红嘴鸥也常到岸边停歇，而大型的银鸥则较少到岸上停留。隆江镇的沙滩夏季有白额燕鸥和环颈鸻繁殖，种群数量分别约为 200-300 只，50-80 只，冬季则较多小型鸻鹬类聚集，此处距离风电场项目场址约 28km。此外，近岸有部分围垦养殖塘、水田等沼泽湿地类型，水鸟种类较海岸丰富，但总体数量不多。

根据本单位在广东沿海开展的迁徙水鸟分布调查，距离项目场址超 60 公里远的汕头海岸湿地，和超过 80 公里远的汕尾海丰是鸟类保护区和迁徙鸟类主要集中分布地，其种类分别达到 203 种和 243 种，数量每年均上万计，本区域和这两处鸟类栖息地相比，可供鸟类觅食的滩涂湿地较少，因此种类和数量均远小于以上两处地区，可以认为本地区不是沿海迁徙鸟类的主要途径地。

5.8.4.5 鸟类迁飞路线与飞行高度分析

风力资源的地理分布大多与鸟类迁徙通道相重叠，尤其在我国，在沿海、岛屿、内陆湖泊、河流、水库地区的附近是风力资源最丰富的地区，也是水鸟迁徙的主要停歇地带（卞兴忠和蒋志学, 2010）。鸟类在全球的迁徙路线可分为 8 个主要迁飞区（Bamford et al, 2008），我国东南沿海位于其中最大的“东亚-澳大利西亚迁徙通道”上（如下图 5.8-5），是多种候鸟迁徙的中途停歇驿站和越冬地，其中沿海滩涂是迁徙水鸟主要集中栖息的区域。汕尾甲子镇沿岸位于我国广东东部沿海，其东侧的汕头海岸湿地和西侧的汕尾海丰湿地是东亚-澳大利亚西亚迁徙路线上的主要停歇点，每年有多种水鸟停歇和越冬。两地距离本项目场址均超过 50km。

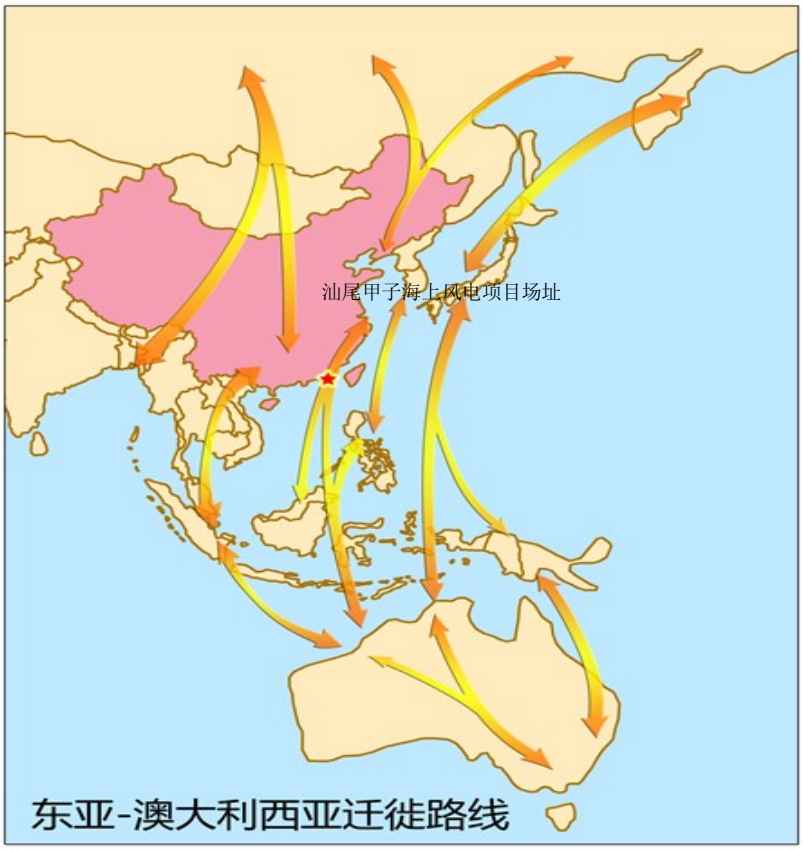


图 5.8-5 东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线示意图

鸟类的迁徙路线，虽然在大尺度上可能体现出空间上的近似关系。但是具体的迁飞路径，停歇地点有很大的种间变异，甚至种内的不同种群之间均有变异。研究鸟类迁徙，需要对鸟类进行环志标记或者卫星追踪调查。目前研究表明，大部分迁徙性水鸟的连续飞行距离较长，经常进行上千公里甚至数千公里的连续飞行（马志军, 2013）。大部分对迁徙路线的研究采用直线将营巢地——中途停歇地——越冬地之间联结起来，形成理论上的迁徙路线，然而受地面构造、景观类型、植被、食物及天气等各种条件影响，实际路线有所偏差。如雁鸭类大都集中于内陆水域，沿湖泊、河流迁徙，鸻鹬类则多沿海岸绕行（张孚允和杨若莉, 1997）。根据神泉的地形地貌、景观类型、鸟类栖息生境等分布情况，结合实际观察，迁徙鸟类在汕尾甲子海上风电场及周边近岸海域没有聚集停歇点，仅在沿岸岩礁和滩涂湿地零散分布，在港口和沙滩区域较为集中，迁徙路线主要沿海岸迁徙。

由于沿海湿地和岛屿位于候鸟迁徙通道上，风电建设会对候鸟迁徙形成一定阻隔，从而缩窄候鸟飞行通道，如 Plonczkier & Simms（2012）通过四年雷达监测发现雁群逐渐避开离岸风力发电机组所在海域（图 5.8-6）。Krijgsvel 等（2010）

在对鸟类穿过风电场飞行路线研究中也发现，在风电场建成后该区域鸟类的通量较之于风电场建设之前明显下降。但海上鸟类迁徙通道一般较宽，以垂直海岸线5公里范围内鸟类密度最大，上海地区为多个临港风电场址作统一规划时为鸟类和鱼类活动预留的通道也为5 km宽。汕尾甲子海上风电场距离甲子镇陆岸有19 km，可满足鸟类飞行需要，对鸟类迁徙通道的阻隔作用较小。

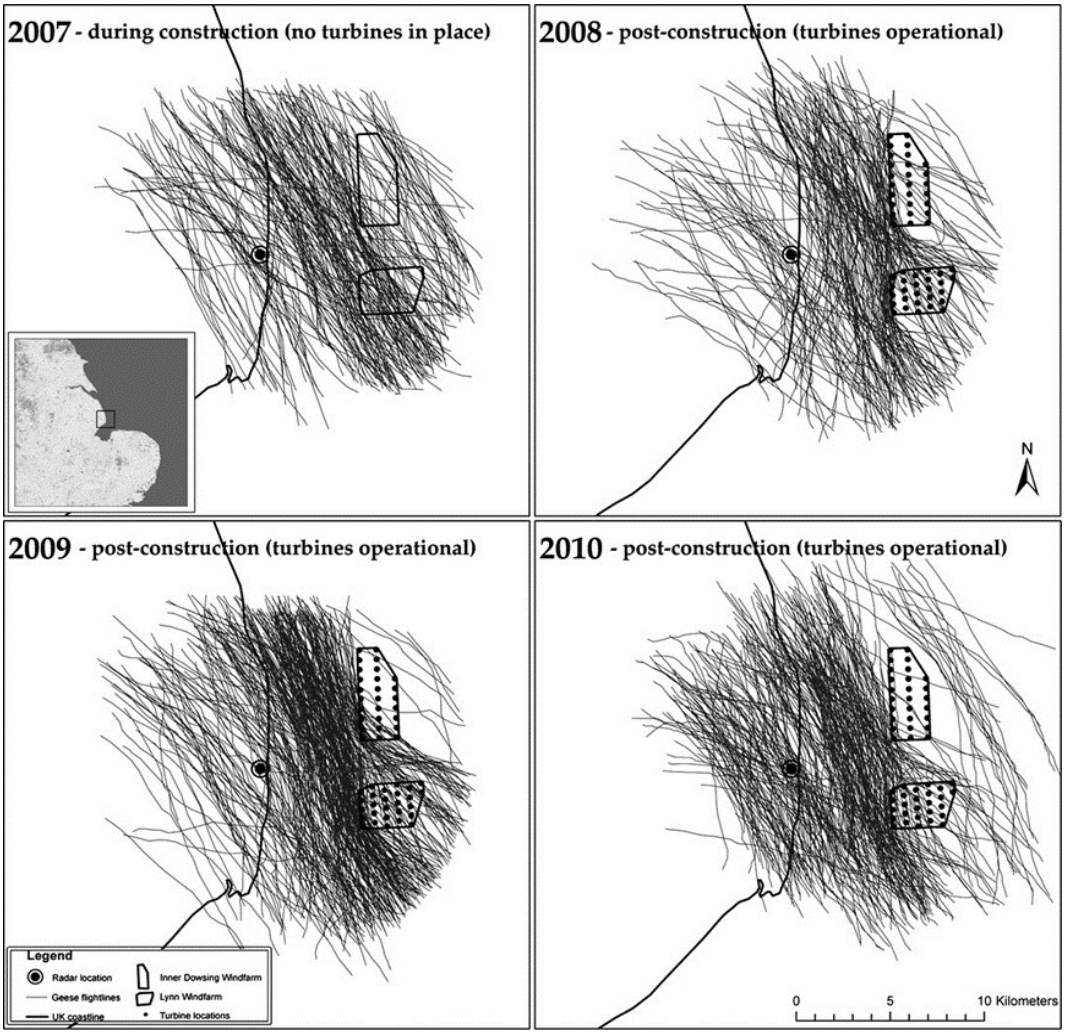


图 5.8-6　雷达监测雁群对风机组的回避情况（引自 Plonczkier & Simms 2012）

据研究资料显示（图5.8-7，候鸟迁徙季节的迁飞高度一般超过300 m：普通鸟类迁徙过程中飞翔高度在400 m以下，鹤类在300-500 m，鹳、雁等最高可达900 m（卞兴忠和蒋志学, 2010）。本区主要沿海岸迁徙飞行种类为鸻鹬类、鹭类、小型雁鸭类、鸥类，基本没有大型的鹳鹤类，飞行高度一般为300 m-400 m之间。

而对于鸟类的日常飞行（如往返于休息地与觅食地、饮水地等）来说，飞行高度会较长途迁徙低，尤其是在觅食等情况下，一般低于100 m。小型雀形目鸟类很少在海面飞行，项目范围可能涉及到的种类中，猛禽和鸥形目是较常见在海

面活动的类型。在西班牙南部的 Tarifa 研究发现（Barrios and Rodriguez, 2004），猛禽在风场区域翱翔时，会选择避开叶片旋转能达到的高度范围，如繁殖期和冬季选择在较低的高度飞行（平均在 57-59 m 之间），其余时期是飞行高度则在 110 m 左右，在其他区域其高度差异不明显（繁殖期 68.20 m，越冬期 60.07 m，非繁殖季节 79 m）。且观察到大部分鸟类在穿过风机列时会显著提升飞行高度，以避开碰撞。另外，在不良的气象条件下，如大雾、降雨或强逆风时，大气能见度降低，鸟类也会降低飞行高度（Drewitt and Langston, 2006）。

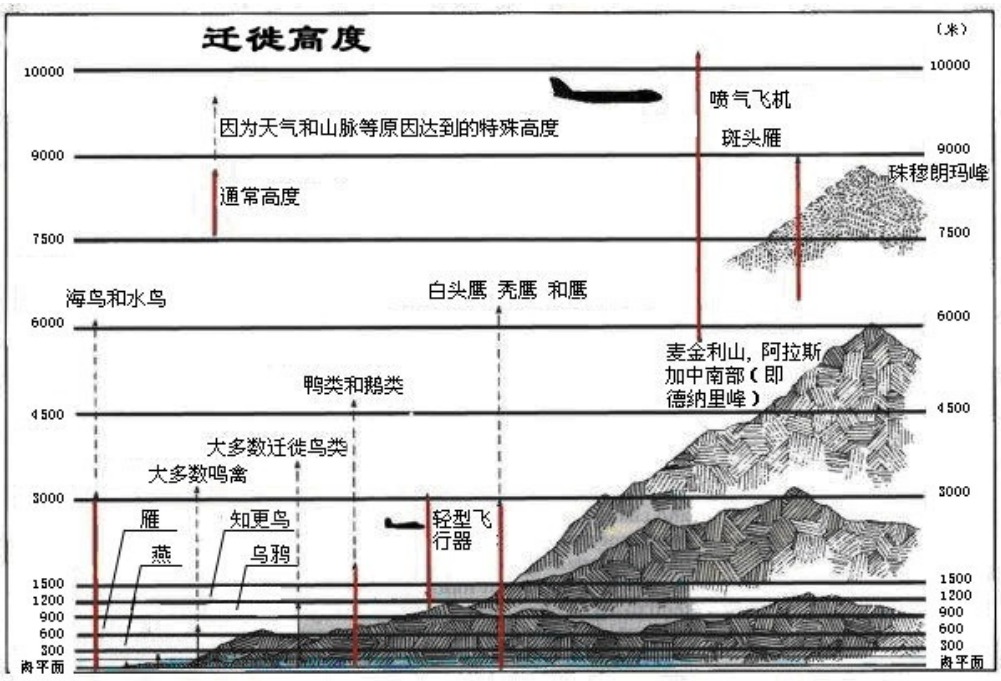


图 5.8-7　不同鸟类类群的飞行高度示意图

5.8.4.6　评价结论

本项目所选场址为离岸较远海域，鸟类经过几率较低，评价区域内的近岸以岩礁海岸为主，较少有鸟类集大群活动。通过对项目区域的全面调查和对比分析，鸟类主要分布区域为甲子港以南离岸岛礁，以夏季繁殖燕鸥类为主，距离项目场址约 18 公里，其次为近岸海港，以冬季越冬红嘴鸥为主，距离项目场址约 33 公里，其次为近岸沙滩，以小型鸻鹬类和白额燕鸥等为主，距离项目场址约 28 公里。调查到较为重要的保护种类为岩鹭，繁殖地主要为近岸岩礁，其活动范围以近岸 2 公里海域为主，其次为黑鸢，繁殖地为近岸林地，活动范围以近岸林地和 2 公里海域，仅觅食时会飞出海面。大部分迁徙性水鸟沿陆岸 5 公里范围内迁徙，飞行时会避开风电场，但本风电场距离陆岸近 19 公里，为候鸟预留足够宽的迁

徙通道，对迁徙飞行路线影响较少。从以上结果可推断风电场场址所在地并非鸟类主要觅食、栖息地和迁徙通道，风电场的建设不会对该区域的大部分种类产生阻碍其种群发展的影响。

需要注意的物种主要是鸥科和燕鸥科等喜在海面飞行的鸟类，另由于部分鸻鹬类的迁徙期飞行路线有可能越过海面，需要通过进一步观测加以确认。建议在风电场区设立视频观测系统，并定期开展人工观测，建立长期系统的连续观测体系。集控中心和登陆点施工时尽量减少占地、开挖面积和植被破坏，严格管理，合理安排施工时间，合理布置施工运输路线，减小对鸟类的影响；运行期建议对风机叶片进行涂警示色、加灯光等处理，根据候鸟迁徙节律调节运行时间，并设立鸟类观察救助站。

5.9 声环境现状监测与评价

5.9.1 水上噪声环境现场调查

5.9.1.1 调查概况

(1) 调查时间和海况

2018 年 9 月中国船舶重工集团公司第七〇二研究所（中国合格评定国家认可委员会认可证书注册号：CNAS L0112；计量认证证书编号：2015000730W）对风电场区所处海域的声环境质量进行了现场监测。测试时停止船上一切机械设备，禁止一切与测量无关的操作工作，测量采用蓄电池供电，测试区域天气阴，水深 25~36m，海况 2 级，流速 0.2kn~1.1kn，风速 0.3~3.4 m/s。工程海域水下环境噪声监测条件见表 5.9-1。

表 5.9-1 风电场各个测试点位测试时的环境条件记录表

测点	即时风速（m/s）	平均风速（m/s）	风向	流速(kn)	海况	波高（m）	天气	水深(m)
1#	1.0	1.0	西南	0.6	2	0.2	晴	25
2#	2.7	2.0	东北	0.6	2	0.3	晴	28
3#	2.7	2.0	东南	0.8	2	0.3	晴	29
4#	3.7	3.4	东南	0.3	2	0.3	晴	32
5#	2.0	1.7	东北	0.8	2	0.3	晴	29
6#	2.7	2.0	东北	0.6	2	0.3	晴	32
7#	2.7	2.3	东南	0.5	2	0.3	晴	32
8#	2.0	2.0	东南	0.2	2	0.3	晴	32
9#	0.6	0.3	东北	1.1	2	0.1	晴	32

10#	0.5	0.3	东北	0.4	2	0.3	晴	33
11#	1.7	1.7	南	0.8	2	0.1	晴	35
12#	1.0	1.0	东北	1.0	2	0.6	晴	36

(2) 调查设备

调查设备为声级计，型号为 B&K2250，机号为 3007987

(3) 调查方法

按照《声环境质量标准》（GB3096-2008）中“6 环境噪声监测要求”和《海洋环境噪声测量规程》（GJB692-89）的要求进行监测。

5.9.1.2 调查点位

本次监测共设置 12 个环境噪声监测点位（包括 12 个水上监测点和 12 个水下监测点）。水上噪声和水下噪声监测点位点位相同，调查点位详见图 5.9-1、表 5.9-2，图中红色标号所示为噪声调查站位点。

表 5.9-2 测试点位置坐标

序号	就位点		测试点	
	经度 E	纬度 N	经度 E	纬度 N
1#	22°44'11.04"	116°08'08.04"	22°44'11.01"	116°08'08.03"
2#	22°37'10.68"	116°02'37.23"	22°37'10.97"	116°02'37.80"
3#	22°38'59.46"	116°08'25.32"	22°38'59.35"	116°08'25.25"
4#	22°40'26.04"	116°13'2.7"	22°40'25.97"	116°13'02.67"
5#	22°33'42.66"	115°58'51.36"	22°33'42.60"	115°58'51.24"
6#	22°35'40.44"	116°05'25.32"	22°35'40.40"	116°05'25.28"
7#	22°37'34.08"	116°10'32.88"	22°37'34.02"	116°10'32.83"
8#	22°38'48"	116°15'24.75"	22°38'47.90"	116°15'24.90"
9#	22°32'36.54"	116°02'37.86"	22°32'36.47"	116°02'37.80"
10#	22°34'25.44"	116°08'8.64"	22°34'25.42"	116°08'08.63"
11#	22°36'2.7"	116°13'2.7"	22°36'02.26"	116°13'02.67"
12#	22°30'32.52"	116°07'51"	22°30'31.41"	116°07'50.90"

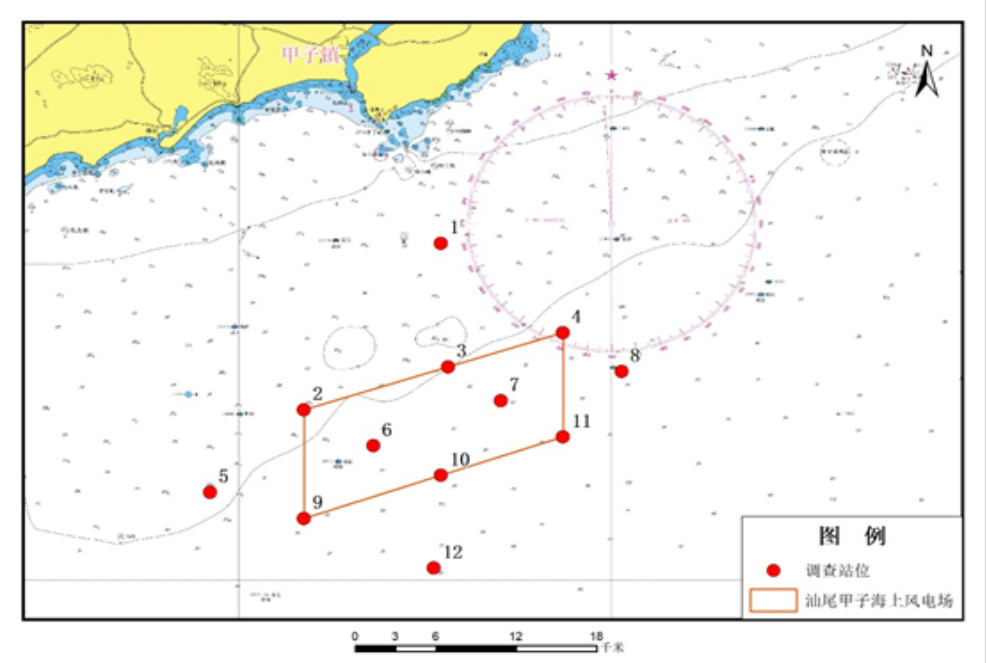


图 5.9-1 噪声调查点位示意图

5.9.1.3 水上声环境现状

(1) 监测内容

水上声环境监测内容包括：

①等效连续 A 声级 Leq；

②累计百分声级：L10、L50、L90。

共监测 12 个点。

(2) 监测结果

工程海域水上声环境监测结果见表 5.9-3。

表 5.9-3 工程海域水上声环境监测结果

测点编号	噪声源	等效连续声级(dB/20μPa)	累积百分声级 L10(dB/20μPa)	累积百分声级 L50(dB/20μPa)	累积百分声级 L90(dB/20μPa)
1#	海上声环境	60.3	60.3	46.3	41.9
2#	海上声环境	58.8	57.8	44.9	38.9
3#	海上声环境	54.9	56.5	50.8	47.4
4#	海上声环境	53.6	49.7	44.7	43.0
5#	海上声环境	57.8	51.3	41.1	35.0
6#	海上声环境	57.2	53.8	43.2	40.3
7#	海上声环境	56.2	54.8	42.1	36.1

8#	海上声环境	54.8	53.9	42.7	38.1
9#	海上声环境	57.3	56.1	50.2	42.5
10#	海上声环境	60.9	56.0	43.4	32.9
11#	海上声环境	57.8	53.5	39.5	31.8
12#	海上声环境	57.4	53.8	40.8	36.0

(3) 监测结果评价

由海上声环境现状调查结果可知，海面上环境噪声等效连续 A 声级主要分布在 53.6~60.9dB(A)之间，最大等效连续声级约为 60.9dB(A)。船舶停机后，海上噪声主要受到风声和浪声影响，风声越大，等效连续 A 声级越大。

5.9.2 水下噪声环境现场调查

5.9.2.1 调查概况

(1) 调查时间和海况

与水上环境噪声各测点位置相同。

(2) 调查设备

测试系统主要有水听器、电荷放大器、数据采集分析仪、声级计及直流电源等组成，图 5.9-2 为测试系统仪器仪表框图。水下噪声监测设备见表 5.9-4。

表 5.9-4 水下噪声监测设备概况

序号	名　　称	型号	机号
1	水听器	8104	2847128
2	水听器	8104	2847132
3	水听器	8104	2847133
4	电压放大器	2692	3007146
5	数据采集仪	BK3660D	100372

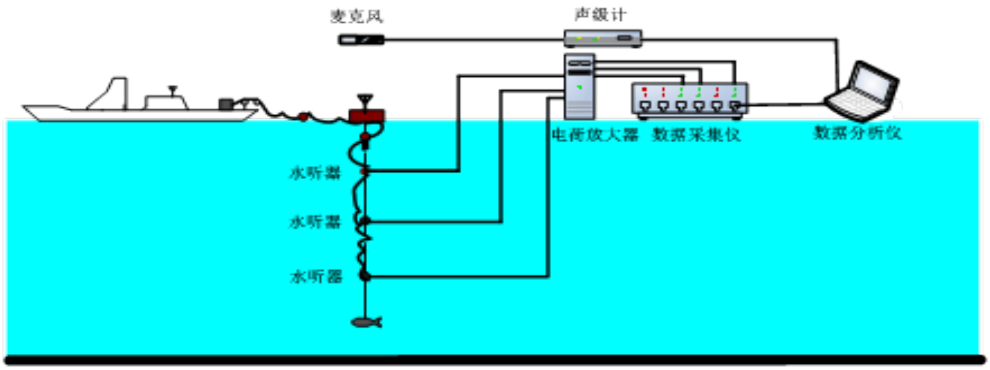


图 5.9-2 测试主要仪器仪表框图

(3) 调查方法

调查测量方法按照《声学 水下噪声测量》GB/T 5265 标准进行。

5.9.2.2 调查点位

与水上环境噪声各测点位置相同（见图 5.9-1）。

5.9.2.3 调查内容

调查内容为频带声压级、声压谱级以及各测点的峰值声压级。

(1) 水下噪声频带声压级和声压谱（密度）级的相关的定义：

① 水下噪声

指损害海洋动物有用信号接收或者干扰海洋动物正常行为的各种噪声源所辐射的在水中传播的噪声。

② 水下噪声频带声压级

一定频带内的水下噪声的声压级，单位为分贝（dB）。频带宽度和基准声压应指明，频带声压级是带宽的函数。

③ 水下噪声声压谱[密度]级：

由于所采用滤波器带宽的不同，其测量结果不能直接比较，为了对不同滤波器的结果进行比较，引入声压谱（密度）级的概念。

水下噪声声压谱（密度）级是水下噪声信号在某一频率的声压谱密度与基准声压谱密度与基准声压谱密度之比的以 10 为底的对数乘以 20。单位为分贝（dB）。

频带声压级和声压谱[密度]级关系：

当已知知声压谱级 谱级，可以计算频带声压级 和宽带声压级，见公式

$$L_{ps} = L_{pf} - 10\lg \Delta f$$

(2) 相关参数的计算

水下噪声频带声压级 Lpf 和水下噪声声压谱 [密度] 级 Lps，可分别用式（5-1）和式（5-2）计算。

① 水下噪声频带声压级 Lpf

$$L_{pf} = 20\lg\frac{p_f}{p_0} \qquad (5\text{-}1)$$

式中： L_{pf} — 噪声频带声压级，单位为分贝（dB）；

P_f — 测得的一定带宽噪声声压，单位为帕（Pa）；

P_0 — 基准声压，单位为单位为帕（Pa），通常取 Pa.

② 水下噪声声压谱 [密度] 级 L_{ps}

在海洋中基准声压的谱密度级为 1μPa/$\sqrt{Hz}$ ，当声能在Δf 中均匀分布时；

$$L_{ps} = L_{pf} - 10\lg\Delta f \qquad (5\text{-}2)$$

式中：

Lps— 噪声声压谱级，又称为等效谱级，单位为分贝（dB），基准值为 1μPa/$\sqrt{Hz}$；

L_{pf}— 测得的中心频率为 f 的频带声压级，单位为分贝（dB），基准值为 1μPa ；

Δf —带通滤波器的有效带宽。

③ 背景噪声测量修正值 K

在水下噪声测量中，为减小背景干扰噪声对测量目标的影响，应对测得的结果进行修正，即将实测频带声压级 Lpf0 减去修正值 K，得到修正后的频带声压级 Lpf，如下式所示：

$$L_{pf} = Lpf0 - K \qquad (5\text{-}3)$$

本工程所进行的海洋背景噪声测量用船载方式进行，测量中船位抛锚并关闭发动机和辅机，水下没有其他的干扰声源存在，因此干扰噪声修正值 K=0。

水下声环境背景监测点与水上监测点位相同，共调查 12 个站点。根据各测点具体的海域深度，每个站点在不同个水层深度进行测量。

5.9.2.4 调查结果

工程海域海洋环境背景噪声级随着频率的增高而下降，20Hz 声压谱级在 79.8dB~122.5dB 之间，均值为 97.8dB，频带声压级在 86.5dB~129.2dB 之间，均值为 104.5dB；100Hz 声压谱级在 82.2dB~106.6dB 之间，均值为 94.7dB，频带声压级在 95.8dB~120.3dB 之间，均值为 108.4dB；500Hz 声压谱级在 76.1dB~98.2dB 之间，均值为 85.8dB，频带声压级在 96.7dB~118.8dB 之间，均值为 106.5dB；1kHz 声压谱级在 70.5dB~97dB 之间，均值为 79.8dB，频带声压级在 94.2dB~111.8dB 之间，均值为 102.6dB；2kHz 声压谱级在 56.4dB~92dB 之间，均值为 71.9dB，频带声压级在 83.1dB~107.8dB 之间，均值为 97.6dB；5kHz 声压谱级在 51.9dB~87.1dB 之间，均值为 61.8dB，频带声压级在 82.6dB~97.8dB 之间，均值为 91.1dB；10kHz 声压谱级在 50.2dB~84.5dB 之间，均值为 56.5dB，频带声

压级在 83.8dB~98.5dB 之间，均值为 88.7dB；20kHz 声压谱级在 49.8dB~86.8dB 之间，均值为 54.2dB，频带声压级在 86.5dB~99.6dB 之间，均值为 89.3dB。

工程海域水下环境噪声调查结果见附表 1-19。

5.10 电磁辐射现状调查

5.10.1 调查概况

（1）调查时间和海况

2018 年 9 月，深圳市中检联检测有限公司对评价范围进行电磁监测，调查海况与水上环境噪声各测点位置相同。

（2）调查设备

电磁辐射监测主要采用宽频电磁辐射分析仪。

（3）调查方法

工频电场和工频磁场测量方法按照《交流输变电工程电磁环境监测方法》（试行）HJ 681-2013 标准进行，射频电场测量方法按照《辐射环境保护管理导则电磁辐射监测仪器和方法》HJ/T 10.2-1996 标准进行。

5.10.2 调查点位

与水上环境噪声各测点位置相同（见图 5.9-1）。

5.10.3 调查内容

工频电场、工频磁场及射频电场。

5.10.4 调查结果

工程海域海洋环境电磁辐射工频电场测量值为 0.21V/m 或 0.22V/m，工频磁场平均值均为 0.01μT。工程海域电磁辐射工频电场和工频磁场调查结果见表 5.10-1。

表 5.10-1 工程海域电磁辐射调查结果（工频电场和工频磁场）

检测点位置及编号	检测项目	
	工频电场（V/m）	工频磁场（μT）
1#	0.21	0.01
2#	0.21	0.01
3#	0.22	0.01
4#	0.22	0.01

5#	0.22	0.01
6#	0.22	0.01
7#	0.22	0.01
8#	0.21	0.01
9#	0.21	0.01
10#	0.21	0.01
11#	0.22	0.01
12#	0.21	0.01

工程海域海洋环境电磁辐射射频电场的电场强度在 0.13V/m~0.73V/m 之间，均值为 0.30V/m，功率密度在 0.01μW/cm^2~0.14μW/cm^2 之间，均值为 0.03μW/cm^2。工程海域电磁辐射射频电场调查结果见表 5.10-2。

表 5.10-2　工程海域电磁辐射调查结果（射频电场）

检测点位置及编号	检测项目	
	电场强度 E（V/m）	功率密度 Pd（μW/cm^2）
1#	0.73	0.14
2#	0.26	0.02
3#	0.25	0.02
4#	0.32	0.03
5#	0.13	0.01
6#	0.16	0.01
7#	0.32	0.03
8#	0.40	0.04
9#	0.18	0.01
10#	0.25	0.02
11#	0.39	0.04
12#	0.16	0.01

5.11 陆域环境质量现状调查

5.11.1 声环境质量现状

为了解建设项目周围的声环境质量现状，深圳市政院检测有限公司于 2018 年 10 月 15~16 日对集控中心场址四周进行噪声监测，监测方法按国家环保部颁布的规范进行，环境噪声测点结果见下表：

表 5.11-1 建设项目环境噪声现状监测结果（单位:dB（A））

测点编号	测点位置	10 月 15 日		10 月 16 日		执行标准
		昼间	夜间	昼间	夜间	

1#	项目东南厂界外 1m	52	42	51	41	1 类： 昼间 55dB(A) 夜间 45dB(A)
2#	项目西南厂界外 1m	50	40	51	40	
3#	项目西北厂界外 1m	54	43	53	42	
4#	项目东北厂界外 1m	53	42	52	42	

噪声监测结果表明，建设项目边界噪声符合《声环境质量标准》(GB3096-2008)1 类标准要求。

5.11.2 电磁环境质量现状

深圳市政院检测有限公司于 2018 年 10 月 15 日，对中广核汕尾甲子海上风电场陆上集控中心建设项目选址周边进行电磁辐射监测，于项目选址边界和 220kV 电缆登陆点处布设 5 个监测点，监测结果见表 11。

本项目与中广核汕尾甲子海上风电场项目统一由中广核集团开发建设，两个项目的陆上集控中心相邻，中广核汕尾甲子海上风电场项目集控中心占地 1.8324 公顷，均已通过用地预审，在环评开始阶段，由中广核汕尾甲子海上风电场项目的建设单位委托深圳市政院检测有限公司对项目周边进行检测。

表 5.11-2 电磁辐射监测结果

测点编号	测点位置	电场强度（V/m）		磁感应强度（μT）	
		检测结果	标准限值	检测结果	标准限值
1	1#	1.59	4000	0.027	100
2	2#	1.53	4000	0.029	100
3	3#	1.48	4000	0.031	100
4	4#	1.83	4000	0.018	100
5	5#	1.21	4000	0.032	100

监测结果表明，陆上集控中心场址四周工频电场强度为 1.21~1.83V/m，工频磁感应强度为 0.018~0.032μT，海缆登陆点上方工频电场强度为 1.21V/m，工频磁感应强度为 0.032μT，监测数据均能满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）中频率为 0.05kHz 的公众曝露控制限值，即电场强度 4000V/m、磁感应强度 100μT。因此，本工程场址及线路所经区域电磁环境质量良好。

6 环境影响预测与评价

6.1 水文动力环境影响分析

6.1.1 潮流数学模型

根据《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规范》的要求。建立工程海域二维潮流模型。用有限体积元方法对二维潮流运动基本方程组（如下）进行离散，得到离散方程组，从而得出流速、流向、潮位。考虑滩地随涨、落潮或淹没或露出，采用活动边界技术，以保证计算的精度和连续性。

（1）控制方程

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial y}=0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial \eta}{\partial x}+A_h(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2})-R_b\frac{\sqrt{u^2+v^2}}{H}u+fv+\tau_{sx}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial \eta}{\partial y}+A_h(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2})-R_b\frac{\sqrt{u^2+v^2}}{H}v-fu+\tau_{sy}$$

式中： 水平方向扩散系数，取值为 $1.15\times10^5 cm^2/s$，η 为平均海面起算的海面高度，u、v 为垂向平均流的东、北分量，H= +h 总水深，h 为平均海面起算的水深，f 为体现地球自转效应的科氏参数，Rb 为海底摩擦系数，取值为 0.0025，g 为重力加速度，取值为 9.81； ，为风对自由水面的剪切力在 X、Y 方向的分量；其中：

$$t_{sx}=f_s r_a u_w\sqrt{u_w^2+v_w^2}$$

$$t_{sy}=f_s r_a v_w\sqrt{u_w^2+v_w^2}$$

f_s为风阻力系数，取值为 0.25；ρ_a为空气密度，取值为 $1.205kg/m^3$；u_w,v_w风速在 X、Y 方向的分量，在本次模拟中，未考虑风应力的作用。

（2）边界条件和初始条件

a）边界条件

在本工程项目研究采用的数值模式中，需给定两种边界条件，即闭边界条件和开边界条件。

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

所谓闭边界条件即水陆交界条件，计算水域与陆地交界的固边界上Γ_2有：

$$\vec{U}\cdot\vec{n}\big|_{\Gamma_2}=0$$

式中：$\vec{n}$为固边界法向；$\zeta^*(x,y,t)$、$u^*(x,y,t)$和$v^*(x,y,t)$为已知值（实测或准实测或分析值）。式（3-6）中的$\vec{U}$为流速矢量（$|\vec{U}|=\sqrt{u^2+v^2}$），其物理意义为流速矢量沿固边界的法向分量为零。

b）初始条件

$$\left.\begin{aligned}\zeta(x,y,t)\big|_{t=t_0}&=\zeta_0(x,y,t_0)\\ u(x,y,t)\big|_{t=t_0}&=u_0(x,y,t_0)\\ v(x,y,t)\big|_{t=t_0}&=v_0(x,y,t_0)\end{aligned}\right\}$$

式中：$\zeta_0(x,y,t_0)$、$u_0(x,y,t_0)$和$v_0(x,y,t_0)$为初始时刻t_0的已知值。

c）活动边界处理

本模型采用干湿点判断法处理潮滩活动边界，在岸边界处，将邻近计算点的水位等值外推，根据潮滩“淹没”与“干出”过程同潮位变化的相关关系，当水深$h\le 0$时，潮滩露出，当水深$h>0$时，潮滩淹没。如果在某一时刻一节点干出，那么将此格点从有效计算域中去掉，同时，对流速做瞬时垂直壁处理，将与此水位点相邻的流速点设置为零流速；如果某个水位点判断为淹没，则将此点归入计算域。为了确保潮流方程不失去物理意义，选取一个最小水深 h_{min} 作为判断值，若$h\le h_{min}$，则认为格点干出。

（3）潮流模型范围

数学模型的网格剖分与本工程方案尺度相适应，对本工程方案进行合理概化，对潮流运动进行详细的模拟。模型计算区域选择由 22°7.8′N～23°13.6′N，115° 27.2′E～116°59.3′E 为外海开边界构成的区域。

模型采用三角形网格剖分计算区域，工程前三角形网格节点数为 21752 个，三角形网格数为 35136 个，由于工程后不存在岸线变化，工程后与工程前采用相同的网格， 最大网格长 2.0km，位于外海边界处；最小网格长 3m，位于风电桩基处。大范围网格剖分见图 6.1-1a，工程区局部网格剖分见图 6.1-1b。

桩基附近的模型计算网格见图 6.1-1c，风电桩基类似于陆点，工程后将风电桩基处理成陆点不参与计算，即工程前后的网格相同，工程后桩基和海上集控中心处的水深改变为负数成为陆点。

模型水深和岸线由以下海图确定：2006 年福州至广州 1:1000000 海图（海图编号：10015）；1998 年碣石湾至珠江口 1：250000 海图（海图编号：15300）；2000 年田尾角至大星山 1:100000 海图（海图编号：15310）；2007 年大亚湾 1:60000 海图（海图编号：15369）。并采用项目区域实测地形进行局部调整，所有水深都经过绘图水深和平均海平面的转化。模型的计算水深见图 6.1-2。

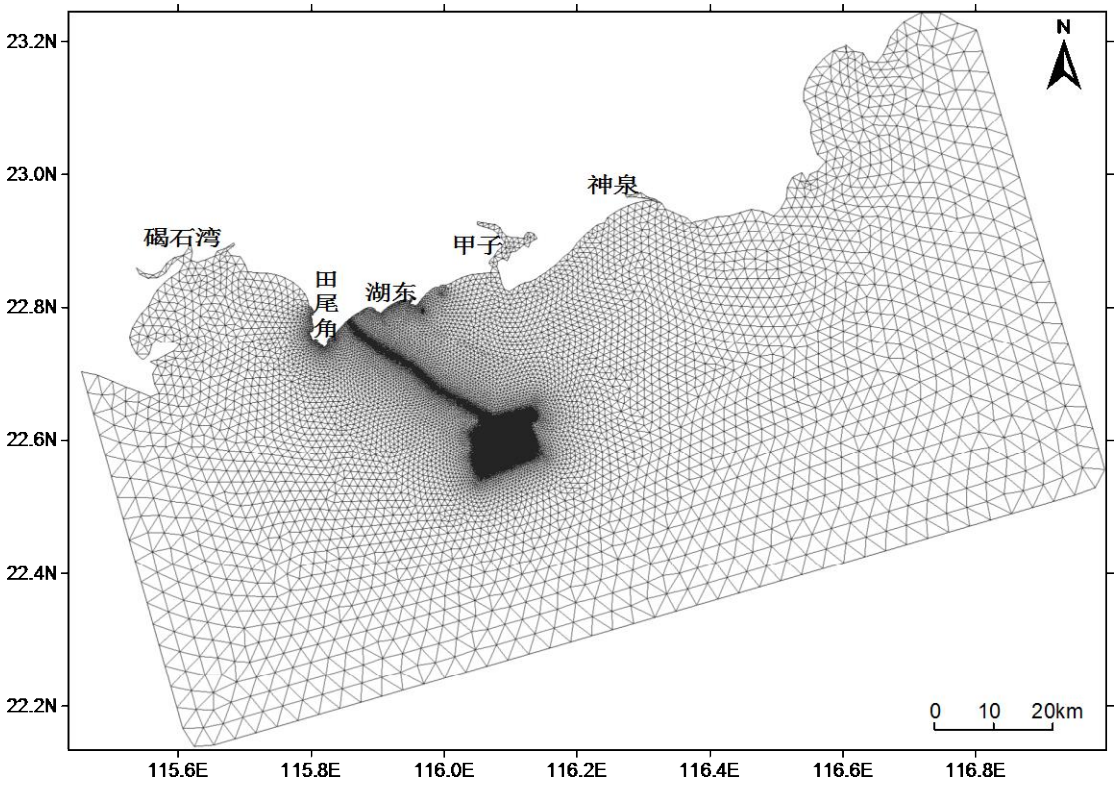


图 6.1-1a 模型计算网格

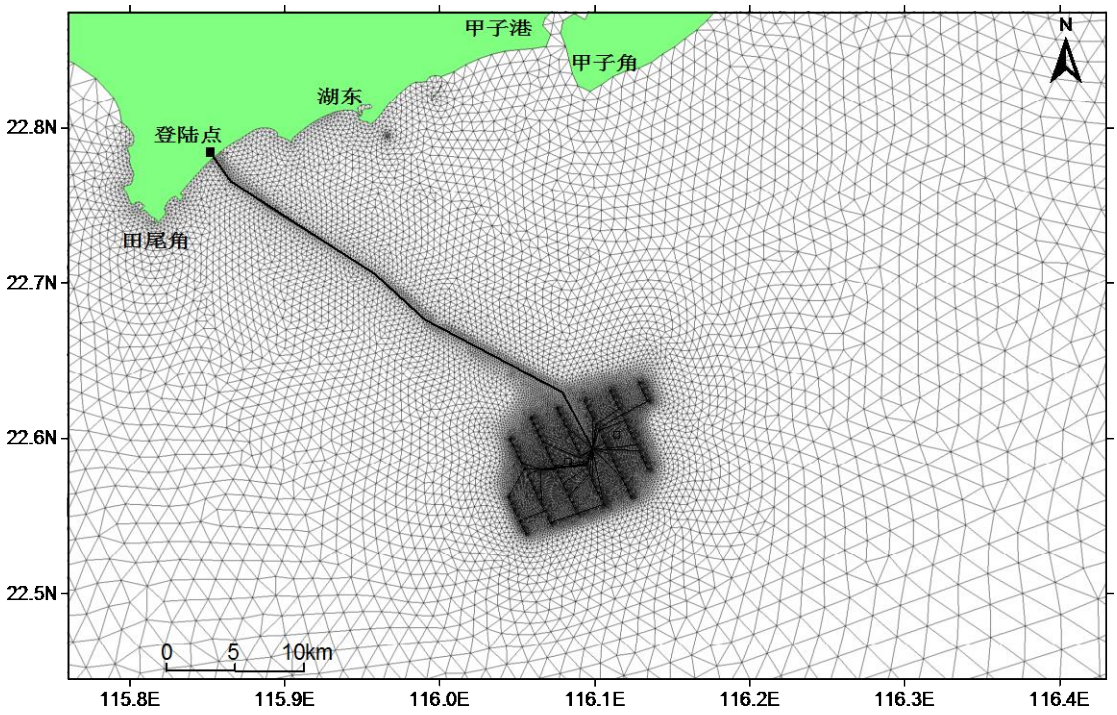


图 6.1-1b 工程区模型计算网格（局部放大）

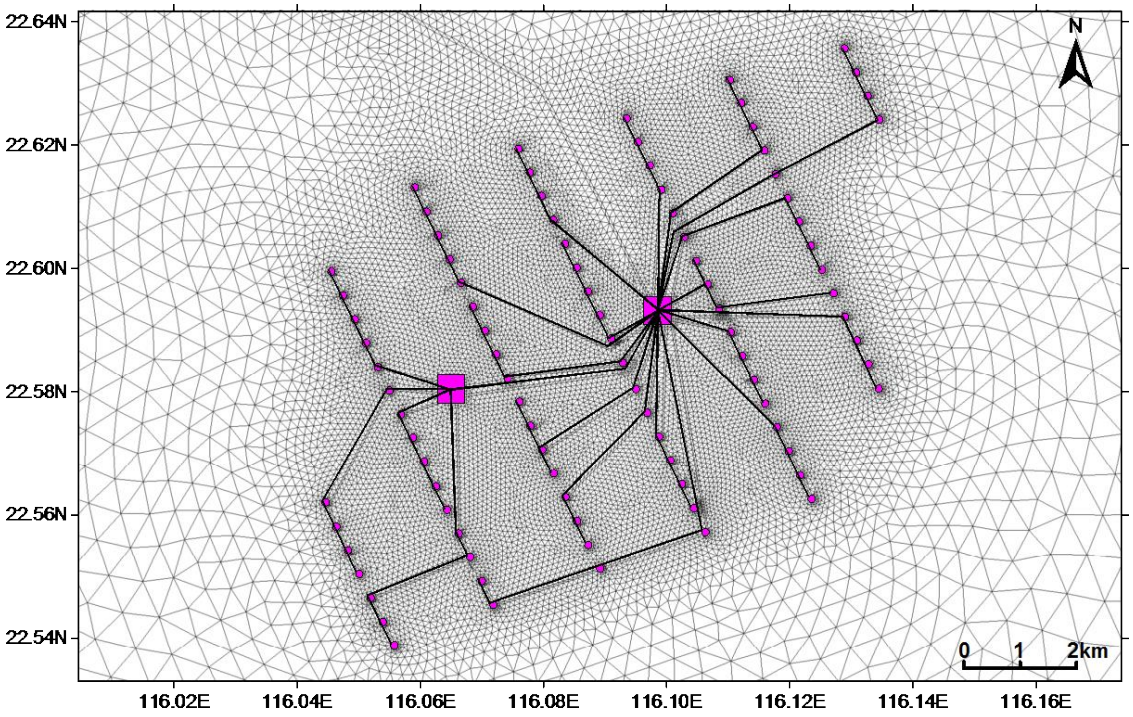


图 6.1-1c 工程后模型计算网格（桩基附近）

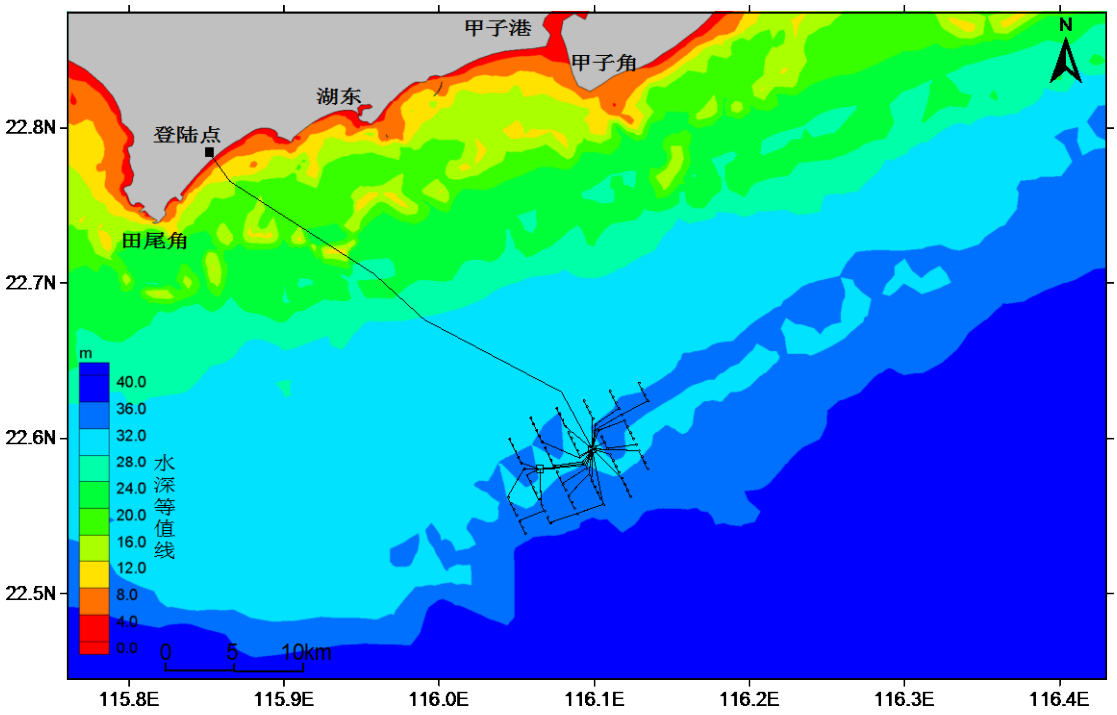


图 6.1-2 模型计算水深

6.1.2 模型的验证和潮流场结果分析

（1）模型的验证

模型的验证有两部分，包括用项目区域附近 2017 年 12 月 6～11 月 7 日的 9 个站点（站位编号为 B1～B9）的潮流资料和 2 个站（神泉 T1 站和甲子 T2 站，观测站位见图 6.1-3）的潮位资料与计算结果比较，绘制潮位曲线图 6.1-4 和流向、流速曲线如图 6.1-5 至图 6.1-13。由于实测流速为表、中、底三层，因此验证时采用垂向平均实测流速、流向资料。

由潮位和潮流的计算数据和实测数据的对比情况来分析，潮位验证的平均绝对误差为 6.7cm，流速和流向的验证也基本上与实测资料一致。从潮位过程（图 6.1-4）和流速、流向验证曲线图（图 6.1-5 至图 6.1-13）对照可以看出， 模拟结果与实测数据基本吻合，即除 6#站外，各站位为规则半日潮流，6#站为不规则半日潮流，在纯潮流作用下，潮流表现为旋转流，转流时为顺时针旋转；迭 加风应力作用后表现为风海流，流向受潮流与风应力共同作用。根据潮位和潮流 流速、流向的验证效果可知本模型可以用于本项目工程的动力场和物质输运分析。

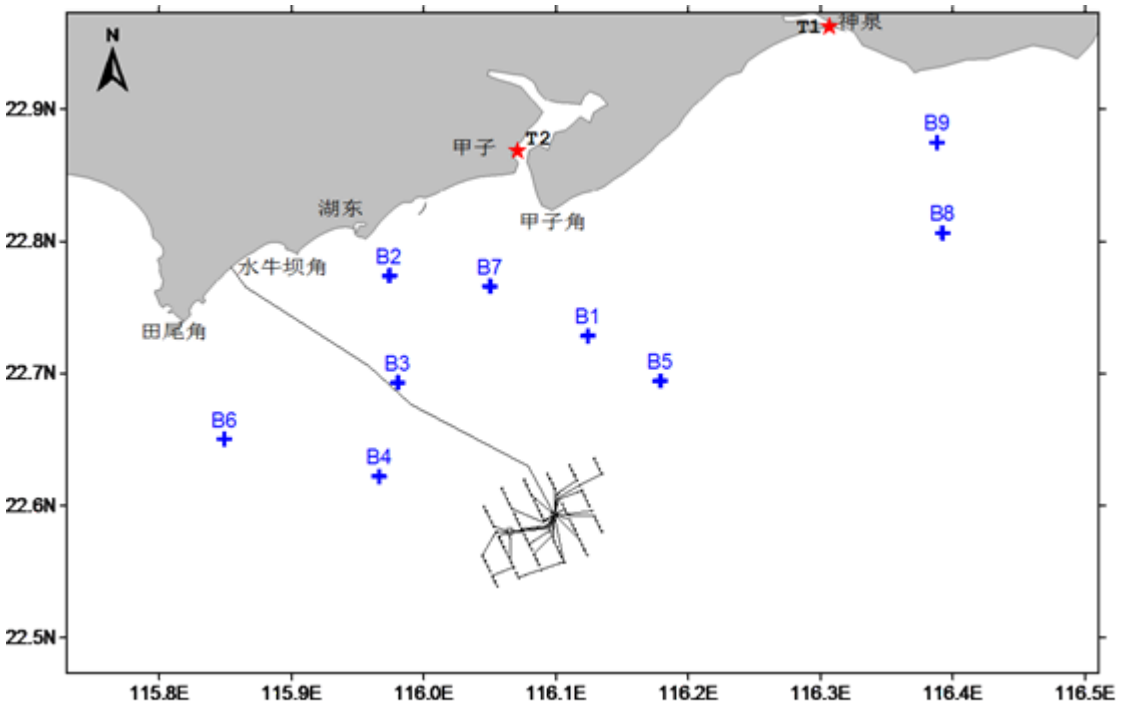


图 6.1-3　　测流站点图



图 6.1-4a 神泉 T1 站潮位过程验证

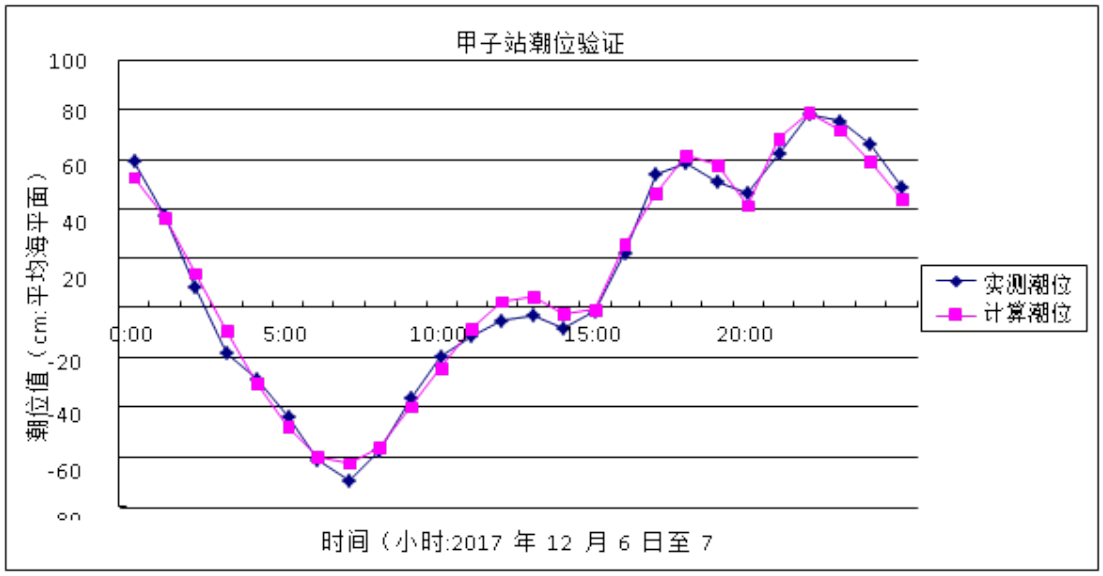


图 6.1-4b 甲子 T2 站潮位过程验证

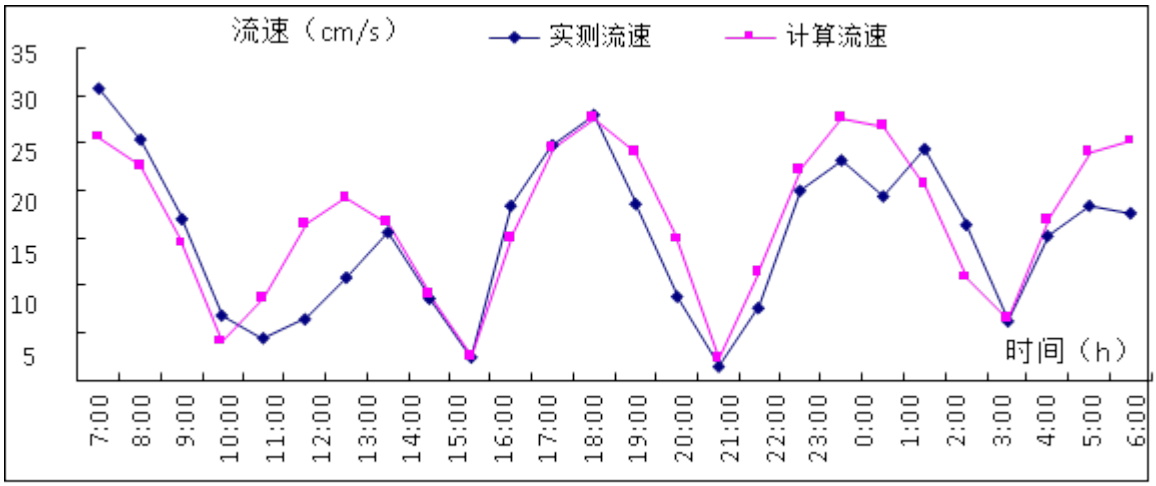


图 6.1-5a B1 站实测流速与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

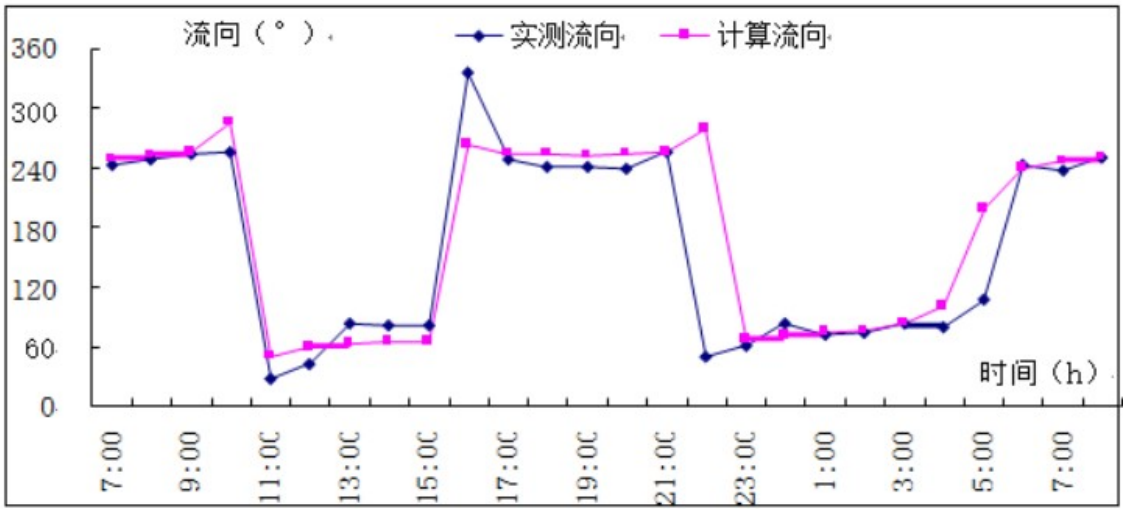


图 6.1-5b B1 站实测流向与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

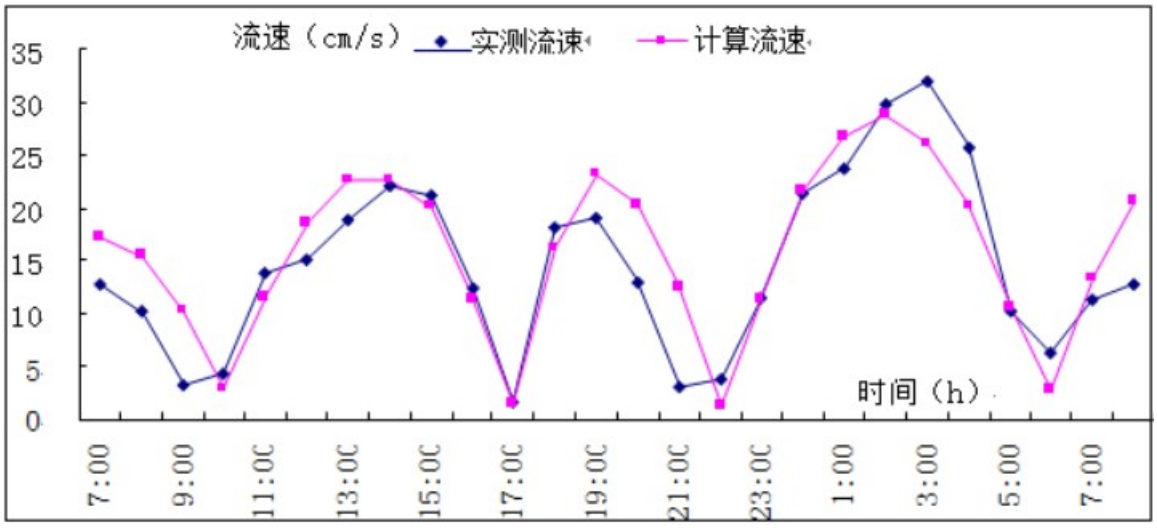


图 6.1-6a　B2 站实测流速与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

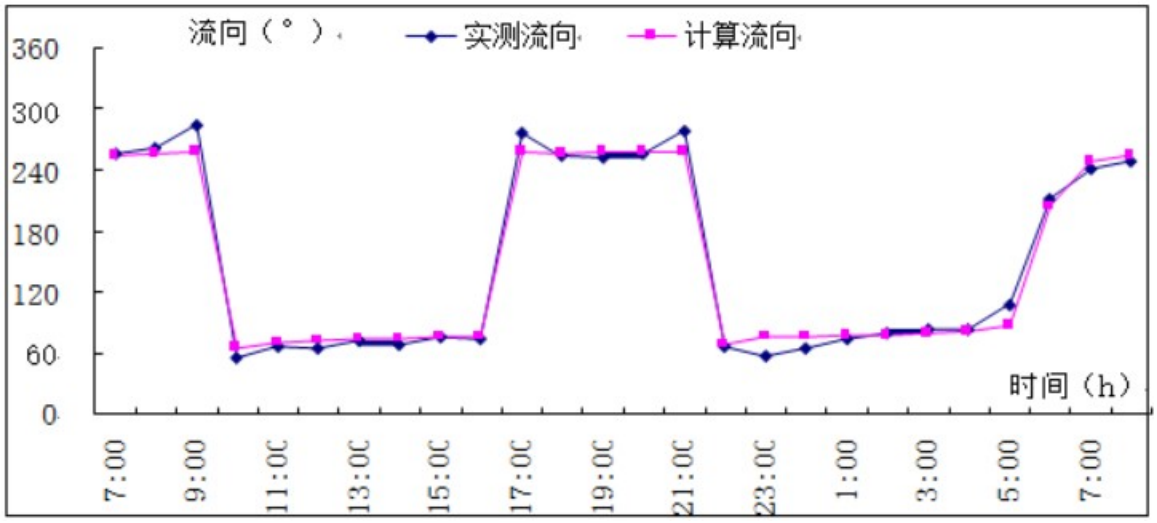


图 6.1-6b　B2 站实测流向与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

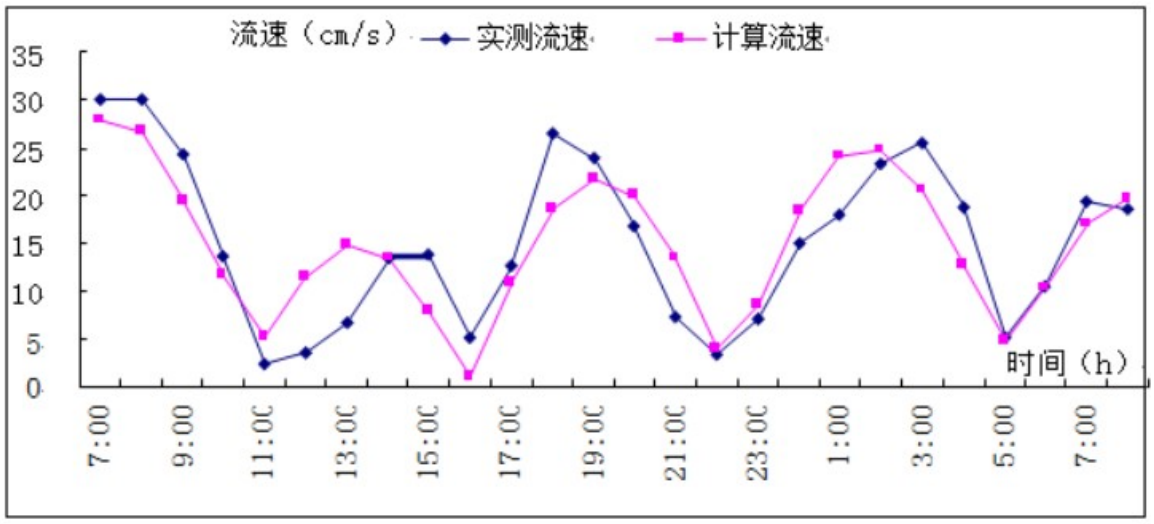


图 6.1-7a　B3 站实测流速与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

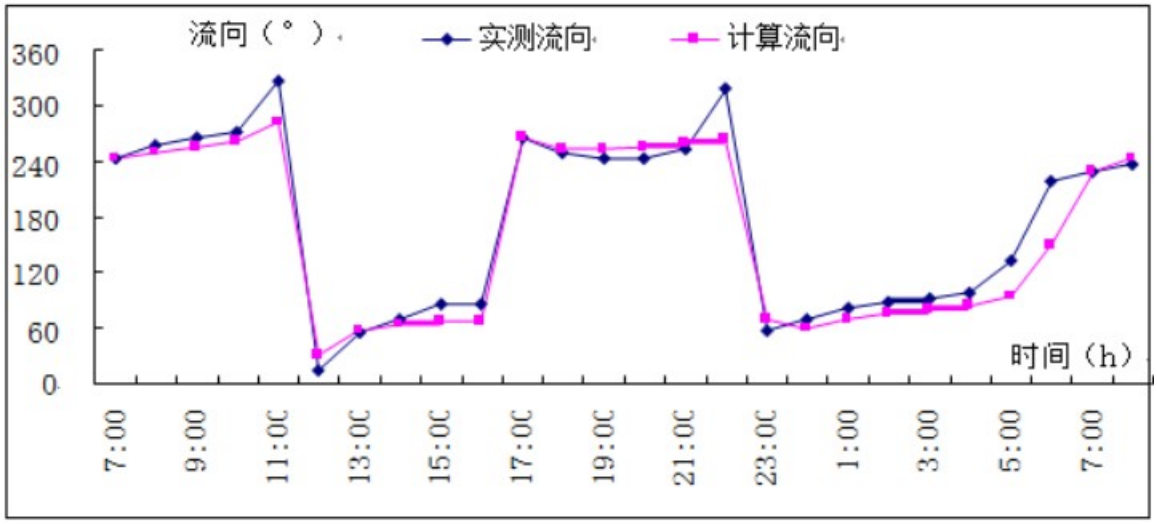


图 6.1-7b B3 站实测流向与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

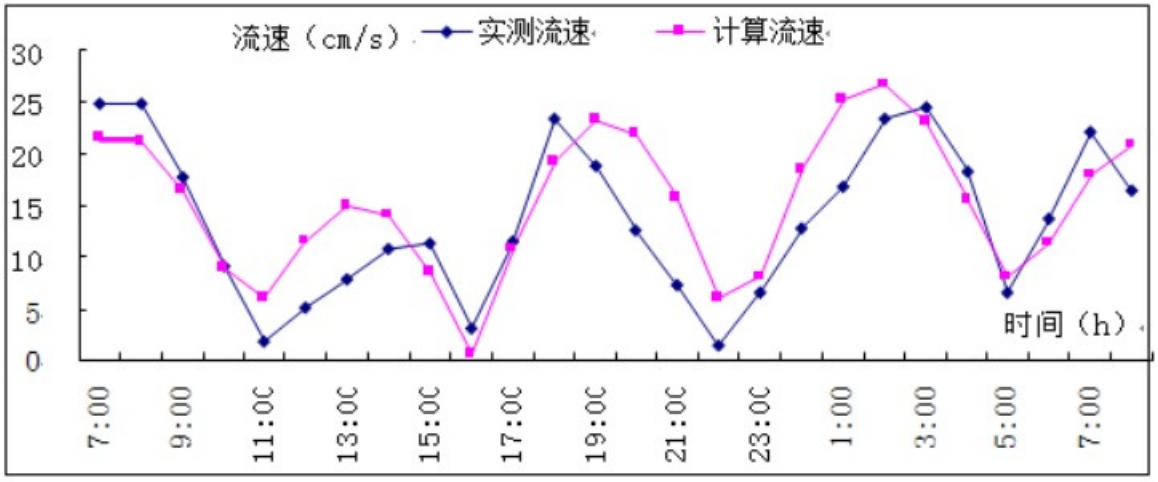


图 6.1-8a B4 站实测流速与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

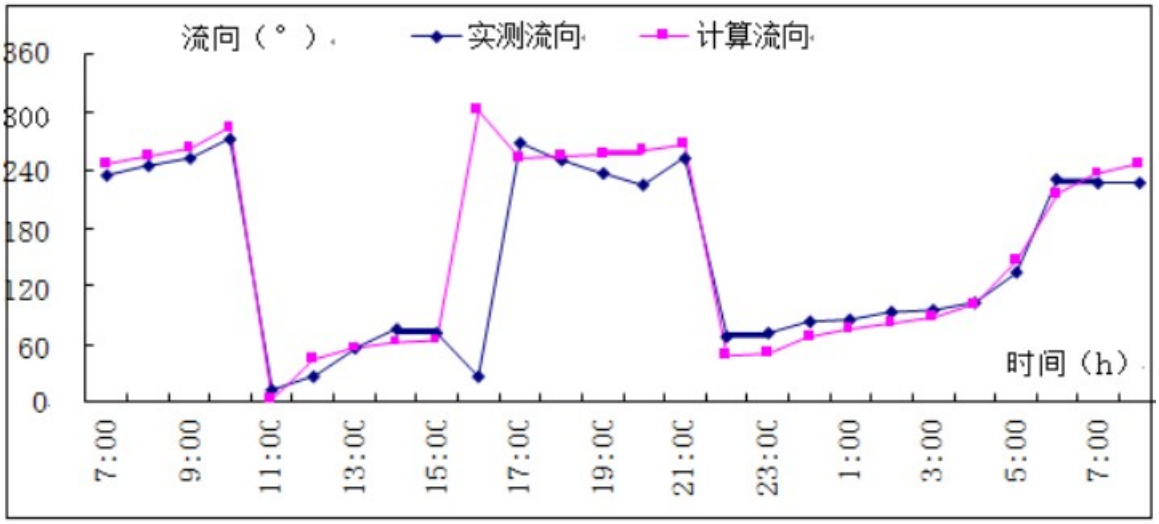


图 6.1-8b B4 站实测流向与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

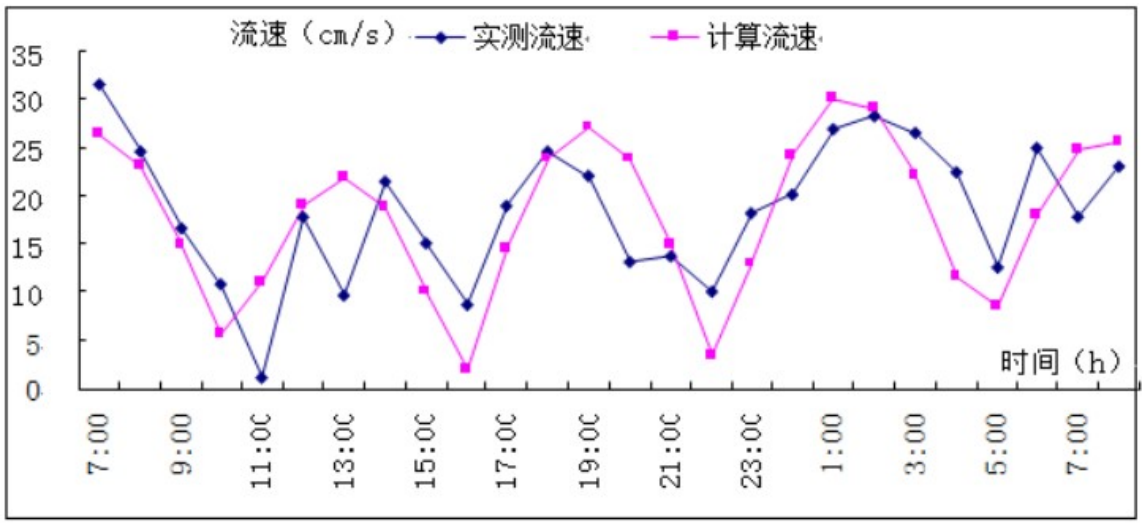


图 6.1-9a B5 站实测流速与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

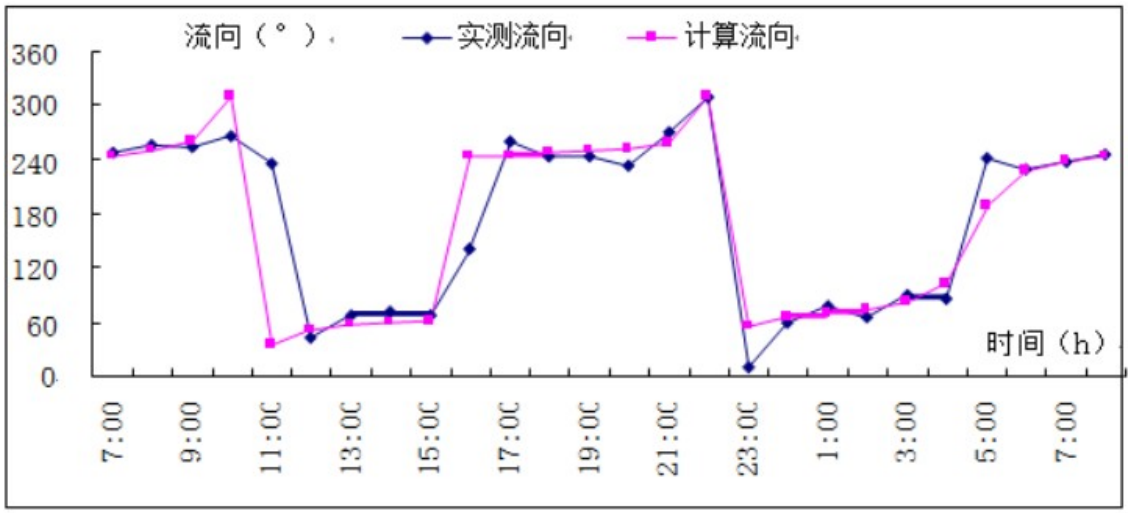


图 6.1-9b B5 站实测流向与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

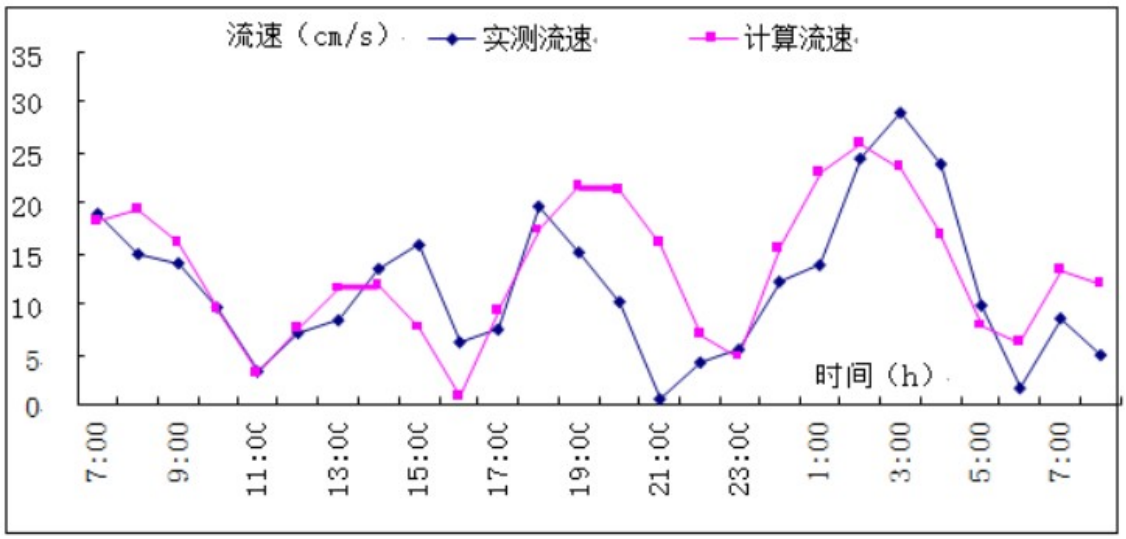


图 6.1-10a B6 站实测流速与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

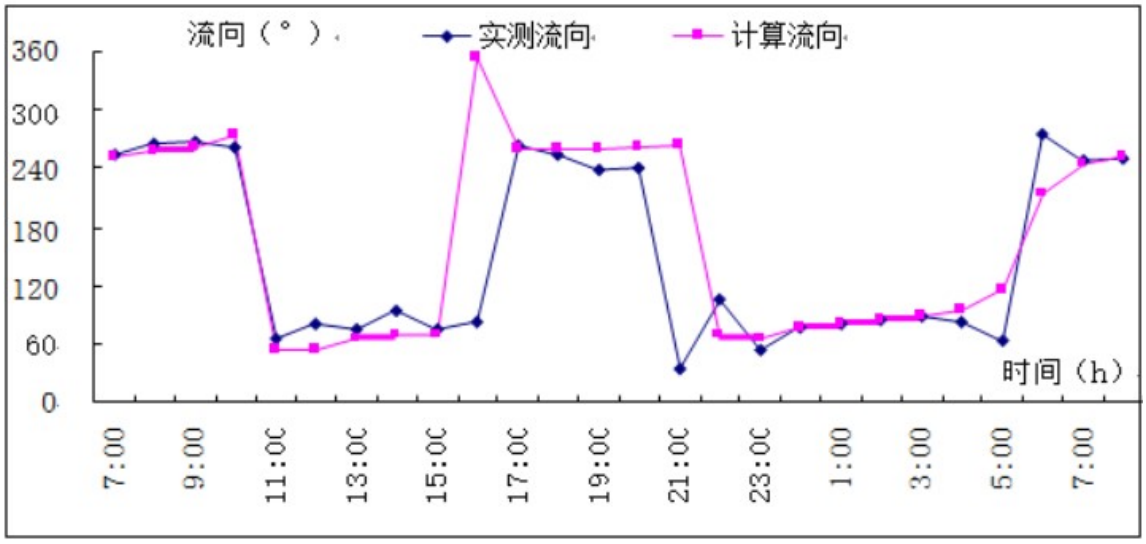


图 6.1-10b B6 站实测流向与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

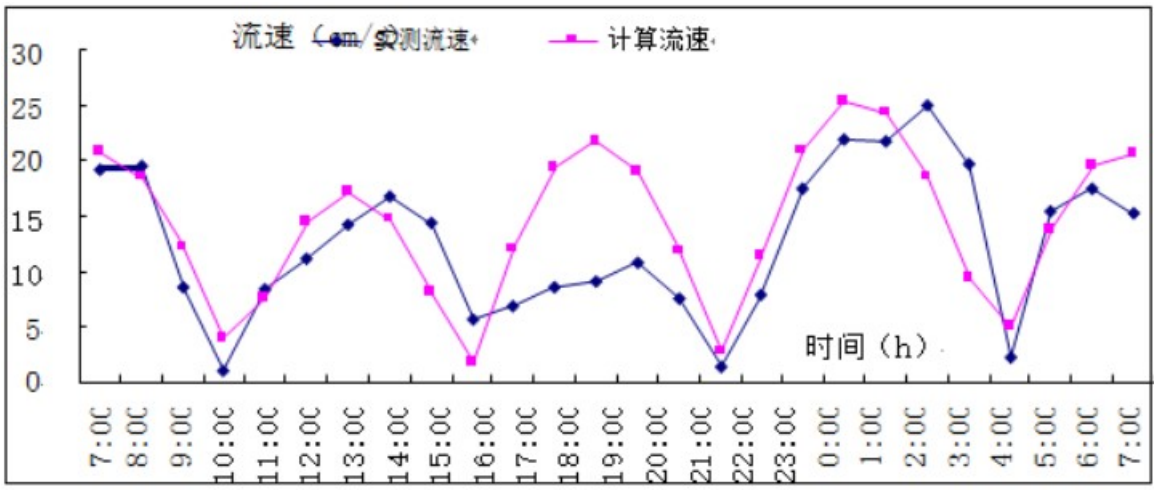


图 6.1-11a B7 站实测流速与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

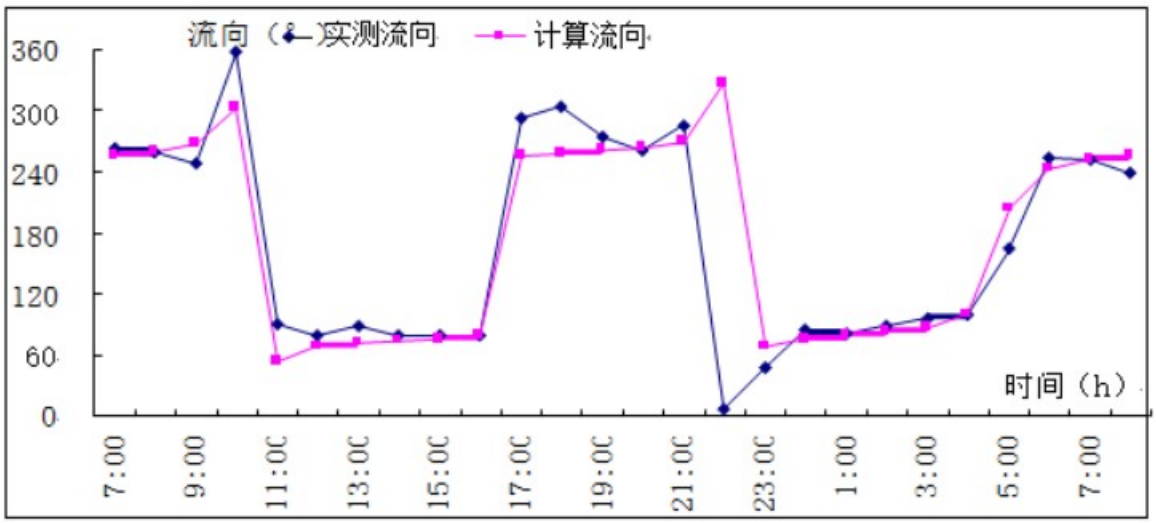


图 6.1-11b B7 站实测流向与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

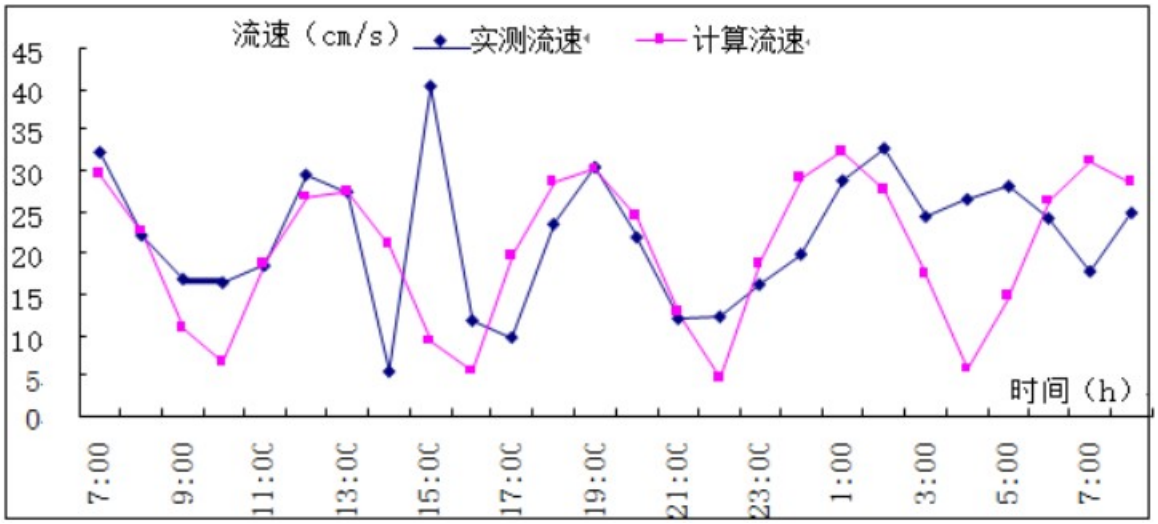


图 6.1-12a B8 站实测流速与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

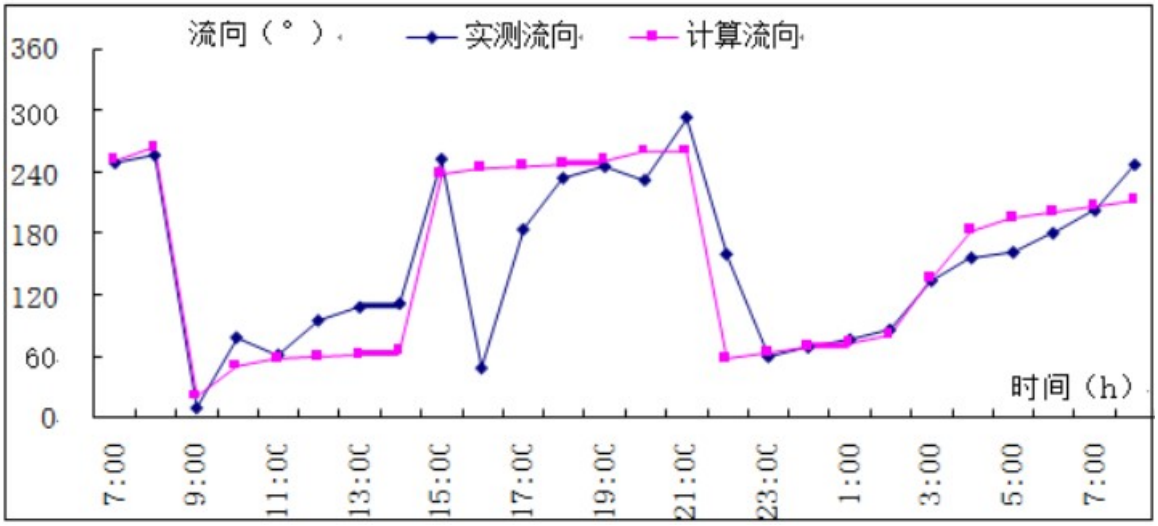


图 6.1-12b B8 站实测流向与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

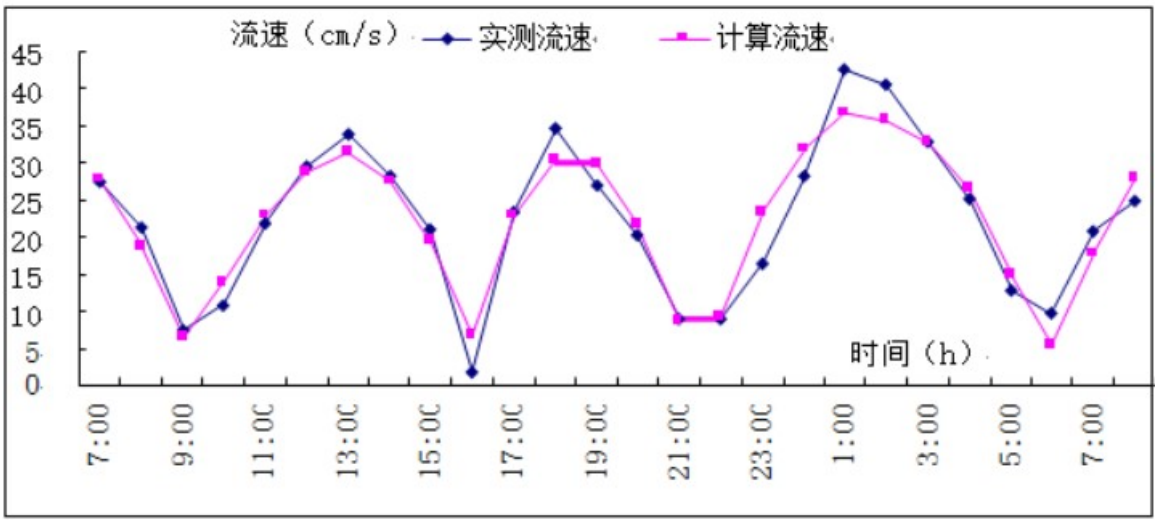


图 6.1-13a B9 站实测流速与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

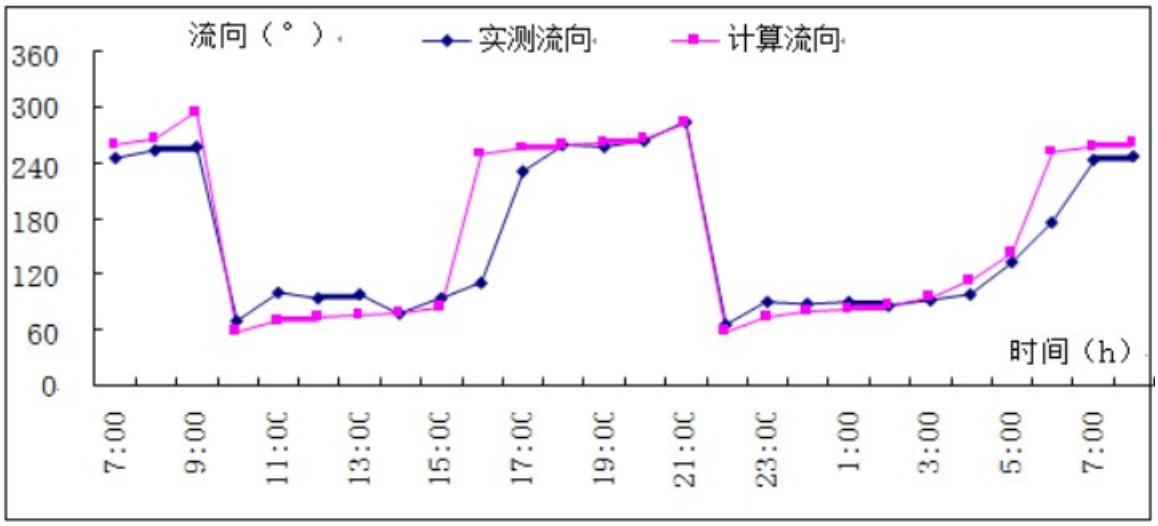


图 6.1-13b　B9 站实测流向与计算结果比较(2017 年 12 月 7～8 日，大潮期)

（2）　潮流流场模拟结果

为了分析项目所在区域工程实施前后的动力场变化情况，现绘出项目附近海区落急、落平、涨急、涨平四个典型时刻的流场见图 6.1-14 至图 6.1-17。在近岸海域受陆地边界的影响，落潮流流向基本为平行海岸线，即落潮流为东北向西南，涨潮流为由西南向东北上溯，在近岸区会受到局地岸线的影响而发生偏转。

（1）　项目附近海域的潮差较小，潮流较弱，涨潮流最大只有 35cm/s 左右；落潮流最大可达到 40cm/s 左右，桩基距离陆地的最近距离在 25km 左右，流向基本为平行于海岸线，转流时间较短，不超过 1 个小时。转流时潮流流向顺时针旋转。

（2）　涨急、落急时刻，在局部岬角处，最大流速可达到 50cm/s 左右，如甲子角、水牛坝角、田尾角等处。

（3）　涨平、落平时刻，流速微弱，流速小于 20cm/s。

整体分析，通常条件下，本项目所在海区为弱潮海区，潮差小，潮流弱。但由于潮流较弱，海流容易受到其他驱动力的影响，如风应力、波浪应力和温盐斜压力等。因此实测海流的规律性一般，如本次实测海流中，小潮期流速与大潮期接近即体现了这一点。

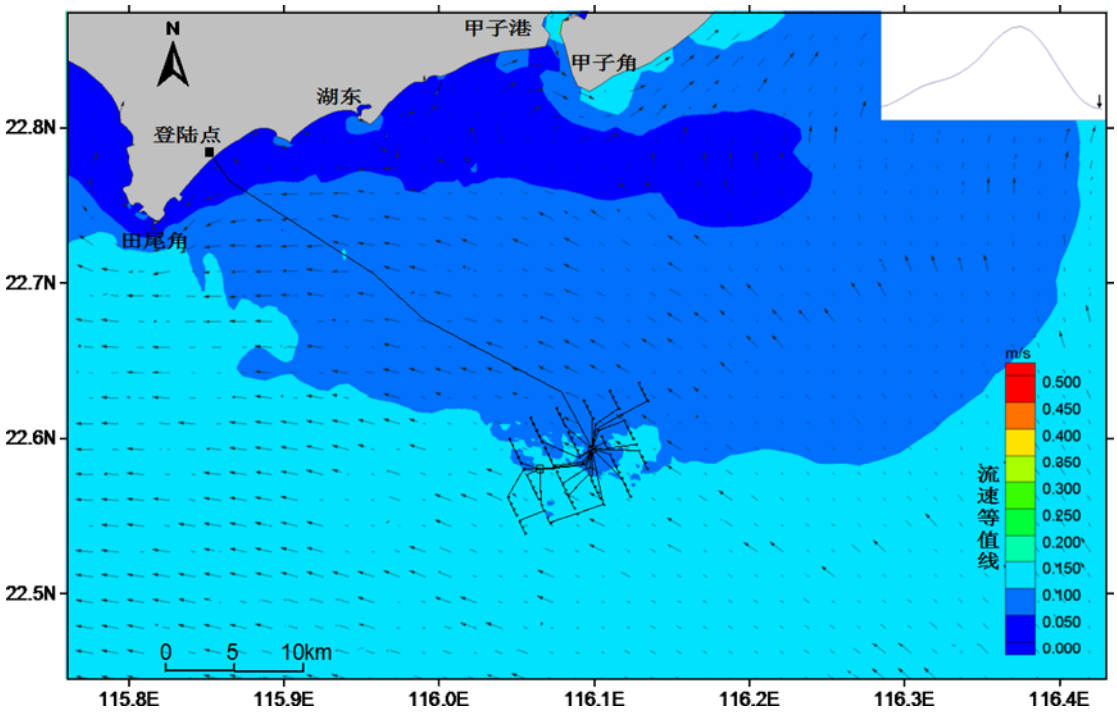


图 6.1-14 现状落平（低潮）时刻潮流场

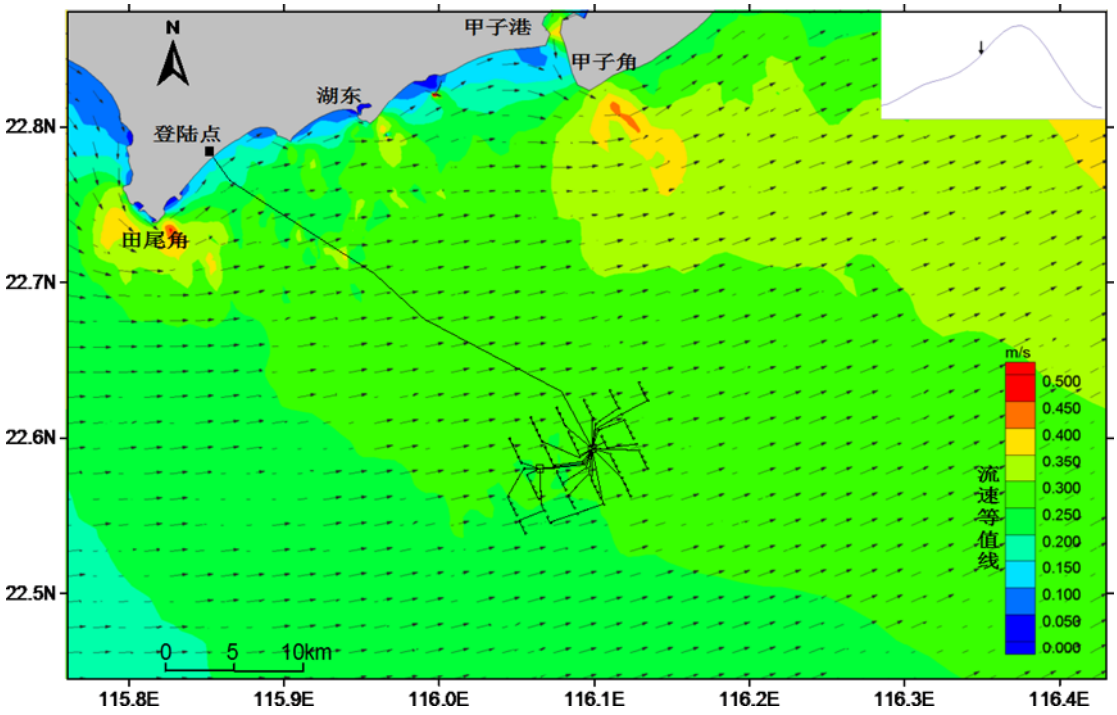


图 6.1-15 现状涨急时刻潮流场

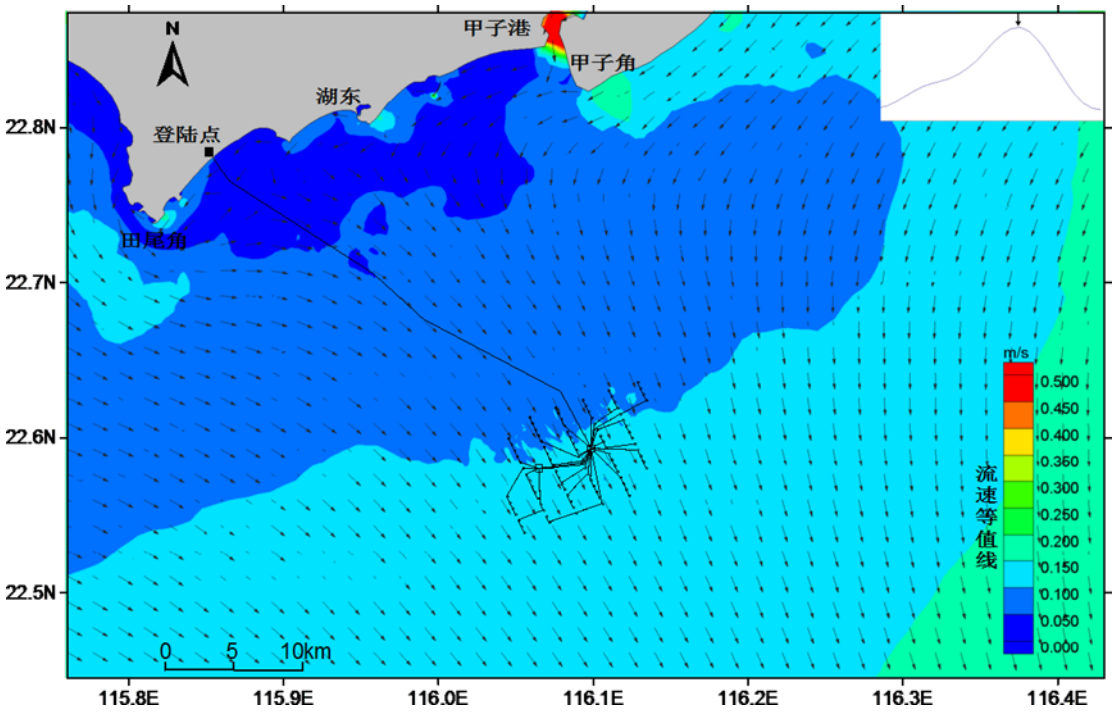


图 6.1-16　现状涨平（高潮）时刻潮流场

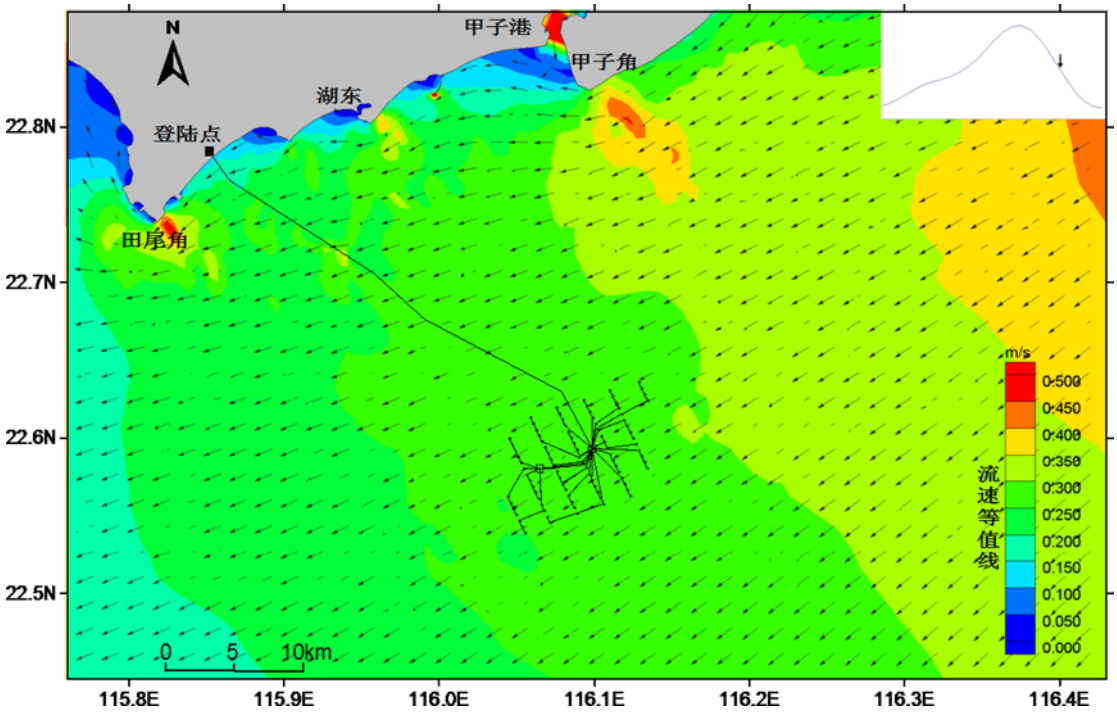


图 6.1-17　现状落急时刻潮流场

6.2 地形地貌与冲淤环境影响分析

6.2.1 工程前后项目区域冲淤变化分析

桩基建成以后，除了海床的自然演变以外，还有由于桩基压缩桩基之间的过水断面引起流速改变造成的冲淤变化以及桩基阻挡水流引起的冲淤，各种冲淤交织在一起同时进行，冲刷过程变得较为复杂。在桩基的冲淤演变过程中，一般将就一复杂的的综合冲刷过程分为三个独立的部分：即自然演变冲刷、一般冲刷和局部冲刷，假定三者独立地、相继地进行，分别进行计算，最后叠加，作为桩基的最大冲刷深度。通常情况下，海床的自然演变冲刷认为已达到冲淤平衡状态，即自然演变冲淤幅度为零，因此本报告只计算桩基附近的一般冲刷和局部冲刷，其中局部冲刷参考 6.2.2 节中的局部冲刷公式进行计算，本节仅计算由于桩基压缩和阻挡水流引起的局部冲刷，采用经验公式进行估算。本节计算的一般冲刷和 6.2.2 节计算的局部冲刷叠加得到桩基附近的最大冲刷深度。

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

$$p=\frac{\alpha s w t}{\gamma_d}[1-(\frac{V2}{V1})^{2m}]$$

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

1、计算参数的确定

α为沉降几率，取 0.67；

t 为年淤积历时，单位取秒（S），一年即为 31557600 秒；

S 为水体平均悬沙含量，单位：kg/m^3，根据 2017 年 12 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 0.011kg/m^3；

γ_d为泥沙干容重，按照公式$\gamma_d=1750\times D_{50}^{0183}$ 计算，单位为 kg/m^3，D_{50} 为泥沙中值粒径；

V1，V2 分别为数值计算工程前、工程后全潮平均流速，单位为 m/s，全潮平均流速的取值采用流速大小绝对值的平均值；

M 根据当地的流速与含沙量的关系近似取作 1。

根据以上的设定和潮流数值模拟计算的结果，计算得到工程后每年回淤强度情况，绘制出工程后达到冲淤平衡时的冲淤强度等值线图(图 6.2-1) (+表示淤积，-表示冲刷)。

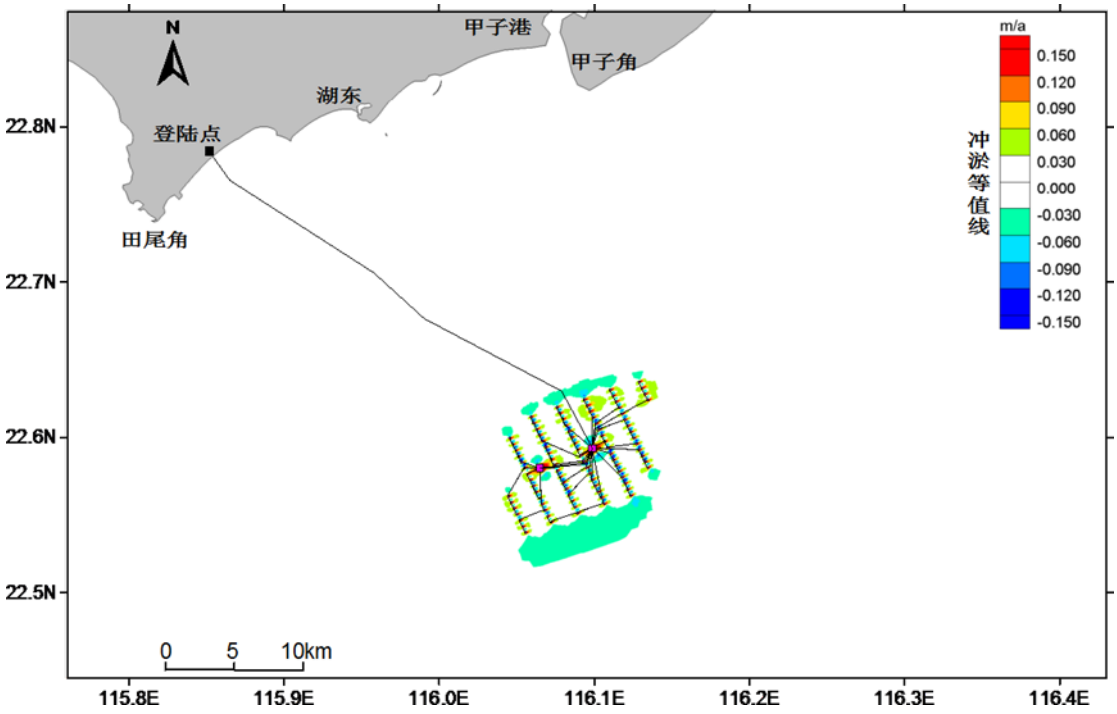


图 6.2-1 工程后拟建工程附近海区冲淤图

2、计算结果分析

由图 6.2-1 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东北-西南向为主，因此在风电桩基东北-西南向的流速减小，导致在桩基群的附近和东北-西南两侧产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.16m/a 左右，而在桩基群的东南侧和西北侧，由于水动力的增强，则表现出略有冲刷，最大冲刷幅度为 0.11m/a 左右。

整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 3cm/a 的范围不超过桩基区 3.5km。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

6.2.2 风电桩基附近的冲刷深度分析

在桥梁（桩基）引起的泥沙冲刷研究中，建桥（桩基）后，除河床（海床）的自然演变以外，还有桥梁孔径压缩水流和墩台阻挡水流引起的冲刷，各种冲刷交织在一起同时进行，冲刷过程非常复杂。墩台（桩基）周围河床（海床）的最大冲刷深度，是各种冲刷综合作用的结果，直接威胁着墩台（桩基）基础的安全。

为了便于研究和计算，把这一复杂综合的冲刷过程，分为独立的三部分，即自然（演变）冲刷、一般冲刷和局部冲刷，并假定它们独立地相继进行，可以分别计算，然后叠加。在本项目研究当中，桩基的周边地貌为滨海至浅海海积平原，水深在 20m 以上，通常情况下，海床的自然演变已达到平衡状态，即自然冲刷较小。桥梁建设中的一般冲刷是由于桥墩占用过水断面面积而引起，在本项目风电桩基分布中，相邻桩基的距离在 300m 以上，两个桩基之间由于桩基占用过水面积而使流速增加的现象并不明显，根据估算，一般冲刷的最大幅度为 0.2m/a 左右，只分布在桥墩附近的小范围内，其冲刷幅度和范围都较小；局部冲刷为桥墩（桩基）周边由于流速的增加而引起，在桥墩和桩基周边普遍存在。

综合以上分析可知，在本项目当中，主要分析桩基周边的局部冲刷程度。桥墩（桩基）阻挡水流，水流在桥墩（桩基）两侧绕流，形成十分复杂的、以绕流旋涡体系为主的绕流结构，引起桥墩（桩基）周围急剧的泥沙运动，形成桥墩（桩基）周围局部冲刷坑（图 6.2-2）。旋涡体系是一个复杂的综合水流结构，包括两侧绕流旋涡和墩前向下水流在床面附近形成的马蹄形旋涡、桥墩两侧边界层分离形成的尾流旋涡以及床面附近形成的小旋涡。

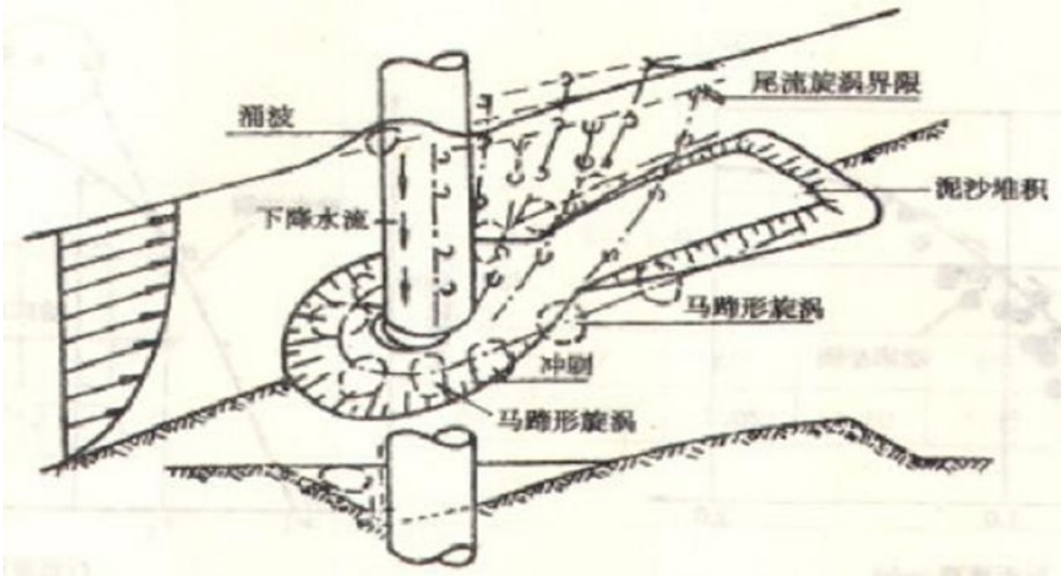


图 6.2-2 墩台（桩基）冲刷示意图

按照沙质海床的桥墩（桩基）冲刷计算公式 65-2 进行计算：

$$h_b = K_\xi K_\eta 2 1. R^{0.60} h^{0.15} \left(\frac{v - v'}{v_0} \right)^n$$

上式中，h_b—桥渡局部冲刷深度（m），从一般冲刷后床面算起；

K_ξ—墩形系数；根据图 4.1.3-2，取 0.95。

B_1—计算墩宽（m）；按照桩基的直径，取 9m。

h—一般冲刷后水深（m）；由工程前水深可知，桩基处平均水深为 25m。

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

d—冲刷层平均粒径（mm）；取细砂的平均粒径为 0.17mm。

v—行近流速（m/s），取一般冲刷后墩前垂向平均流速；根据数模和实测结果,取 0.25m/s。

V_0—河床泥沙起动流速（m/s），由张瑞瑾公式计算，即：

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

v'_0—桥墩起冲流速（m/s），一般取 $v'0=0.12(d+0.5)^{0.55}$

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

其中 B1 和 K_ξ 由下图决定。

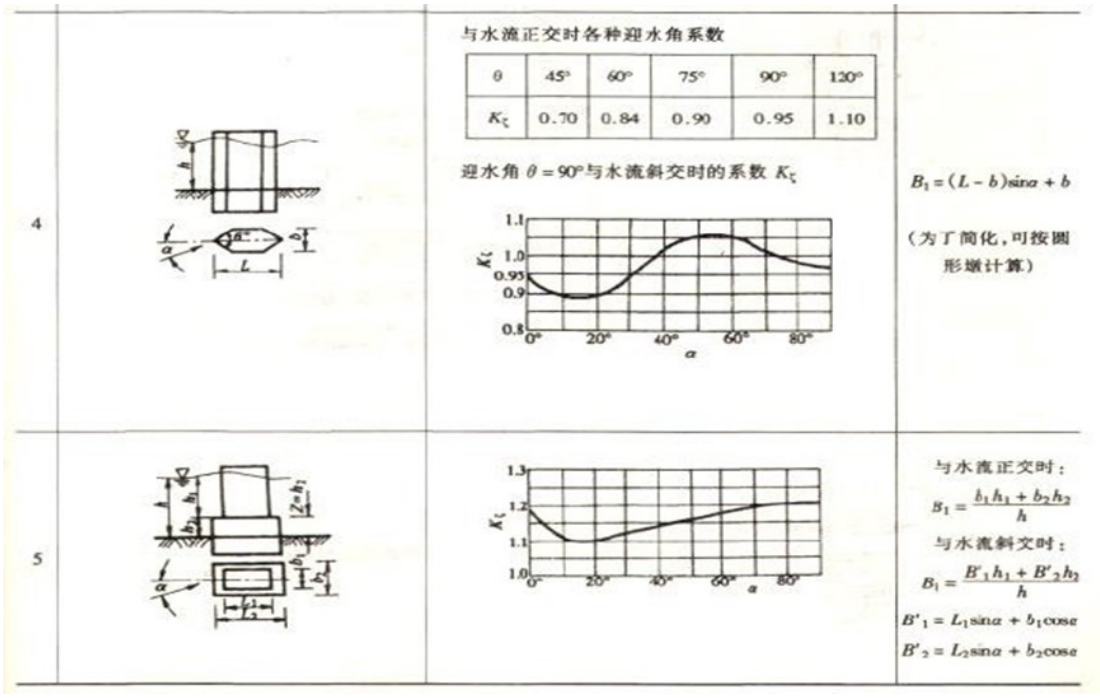


图 6.2-3 桥墩（桩基）冲刷的 65-2 公式的参数选取

根据以上的设定，不考虑海床的自然冲刷和桩基修筑以后的一般冲刷，由经验公式得出桩基的局部冲刷深度为 6.3m，叠加一般冲刷（最大 0.2m）后风电桩基处的最大冲刷深度可达到 6.5m 左右。

6.3 海水水质环境影响预测与评价

项目用海对于资源、生态的损耗主要在于海底电缆铺设施工过程中产生的悬浮物泥沙的影响，因此主要研究海底电缆铺设工程施工过程中悬浮物的扩散包络范围和强度。

6.3.1 水环境的影响因子

本项目工程对海域环境产生影响的决定因素，主要是悬浮泥沙的产生量和该海域的自净能力。通常，悬浮泥沙产生量越大，水质越混浊，对环境的影响也就越大。再则，其影响程度还取决于海域的环境容量（负荷限度），即海域的地理条件和水体的活跃程度。后者主要是指海流的输运、扩散能力和海水的更新率。一般来说，海域越封闭，水域容积越小，海水交换能力越弱，稀释能力越低，环境负荷能力也就越低。

环境影响预测的目的，在于将上述原则与系统工程的方法联系起来，预测项目施工过程中所形成的悬浮物影响浓度场和定量地描述项目施工作业可能产生的环境后果，为采取防范措施提供科学依据。

6.3.2 二维潮流泥沙输运扩散方程

根据《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规范》及有关研究方法。建立工程海域二维潮流泥沙输运扩散模型。用差分方法对二维潮流泥沙输运扩散基本方程组（如下）进行离散，得到离散方程组，根据潮流模型计算出的水位、流速，从而得出在潮流动力作用下的水体含沙量分布。考虑滩地随涨、落潮或淹没或露出，采用活动边界技术，以保证计算的精度和连续性。

二维潮流泥沙输运扩散基本方程：

$$\frac{\partial S}{\partial t}+u\frac{\partial S}{\partial x}+v\frac{\partial S}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial}(D_x\frac{\partial S}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial}(D_y\frac{\partial S}{\partial y})+F_s/H+Q_S/H$$

$$Q_S=Q_0-S\omega\left(1-R\right)$$

$$R=\begin{cases}\dfrac{\alpha D_{50}}{\beta+D_{50}}\left(u_*-u_{*cr}\right) & \left(u_*\geq u_{*cr}\right)\\ 0 & \left(u_*\leq u_{*cr}\right)\end{cases}$$

$$u_{*cr}=0.04\frac{\rho_s-\rho_0}{\rho_0}\sqrt{gD_{50}}$$

S为垂直方向积分的水体含沙浓度，在模型中，S 由悬浮泥沙点源扩散形成，不计算潮流本身对海底的冲淤引起的泥沙变化；

D_x、D_y分别为x、y方向的泥沙扩散系数，悬沙紊动扩散系数D_x和D_y可取与相应的水流紊动粘性系数N_x，N_y相同数值，对于流速较小的弱潮海区，将水流看成平流模式，在平流条件下泥沙紊动扩散系数的取值范围为 2～10m^2/s；在此模型中取水平方向的扩散系数取 5 m^2/s；

F_S为泥沙源汇函数或床面冲淤函数；Q_0为海底疏浚产生的悬浮泥沙量，在此即为点源源强；ρ_s为悬砂密度(取石英密度为 2.65g/cm^3)；ρ_0为海水密度(取为 1.035g/cm^3)；γ为海水分子运动粘性系数(取为 10^{-3}cm^2/s)；u_*、u_{*cr}分别为摩擦速度和泥沙再悬浮速度；R为沉降泥沙的再悬浮率($0\leq R\leq 1$)，在此取 0.2；D_{50}为泥沙的中值粒径，在此取粉砂的中值粒径 0.008mm。

泥沙源函数按下面方法确定：

底部切应力计算公式：

$\tau=\rho f_b UU$

当 时,水中泥沙处于落淤状态，则：

$$F_s=\alpha\omega S(1-\frac{\tau}{\tau_d})$$

当$\tau_d<\tau<\tau_e$时,海底处于不冲不淤状态，则：

$F_s=0$

当$\tau\geq\tau_e$时,海底泥沙处于起动状态，则：

$$F_s=-M(\frac{\tau}{\tau_e}-1)$$

以上各式中：U 为平均流速；

ω为泥沙沉降速度；

S 为水体含沙量；

α为沉降几率；

τ_d 为临界淤积切应力；

τ_e 为临界冲刷切应力；

M 为冲刷系数。

悬浮泥沙沉降速度采用张瑞谨(1998)提出的泥沙沉降速度的通用公式：

$$\omega=\sqrt{(13.95\frac{v}{d_s})^2+1.09\frac{\gamma_s-\gamma}{\gamma}gd_s}-13.95\frac{v}{d_s}$$

其中，γ、γ_s 分别为水、泥沙的容重；d_s 为悬浮泥沙的中值粒径；v 为黏滞系数。关于临界淤积切应力 τ_d，这里采用窦国仁(1999)提出的计算公式：

$$\tau_d=\rho f_b U_c U_c$$

其中 U_c 为临界海底泥沙起动速度。

$$U_c=k\left[\ln 11\frac{h}{\Delta}\right]\left(\frac{d'}{d_*}\right)^{\frac{1}{6}}\sqrt{3.6\frac{\rho_s-\rho}{\rho}gd_s+\left(\frac{\gamma_0}{\gamma'_0}\right)^{1/2}\frac{\varepsilon_0+gh\delta(\delta/d_s)^{1/2}}{d_s}}$$

式中：k=0.32；

$d_*=10$；

$\varepsilon_0=1.75cm^3/s$，为综合泥沙粘结力，一般泥沙取该值；

$\delta=2.31\times10^{-5}cm$，是薄膜水厚度参数；

γ_0 为海底泥沙干容重；

γ'_0 泥沙颗粒的稳定干容重；

h 为水深；

ρ_s 为泥沙密度；

$$d'=\begin{cases}0.5mm & 当 d\le 0.5mm 时\\ d & 当 0.5mm\le d\le 10mm 时\\ 10mm & 当 d\ge 10mm 时\end{cases}$$

$$\Delta=\begin{cases}1.0mm & 当 d\le 0.5mm 时\\ 2d & 当 0.5mm\le d\le 10mm 时\\ 2d_*^{1/2}d''^{1/2} & 当 d\ge 10mm 时\end{cases}$$

6.3.3 定解条件

（1） 初始条件

$$S(x,y,t)\big|_{t=t_0} = S_0(x,y,t_0)$$

式中：$S_0(x,y,t_0)$为初始时刻t_0的已知值。

（2）边界条件

计算水域与陆地交界的固边界Γ_1上有：

$$S(x,y,t)\,|_{\Gamma_1} = S^*(x,y,t)$$ (当水流流入计算域时)

$$\frac{\partial(HS)}{\partial t}+\frac{\partial(HSu)}{\partial x}+\frac{\partial(HSv)}{\partial y}=0$$ (当水流流出计算域时)

计算水域与陆地交界的固边界Γ_2上有：

$$\frac{\partial S}{\partial \vec{n}}=0$$

式中：$S^*(x,y,t)$为已知值(实测或准实测或分析值)，$\vec{n}$为陆地边界的单位法向矢量，式(1-12)的物理意义为泥沙沿固边界的法向通量为零。

（3）数值方法

将一个时间步长分为两个半步长，在每个半时间步长内，依下述求解过程计算潮位及 x，y 方向流速。离散差分方程如下：

前半步长：

$$As1S_{i-1,j}^{\,n+\frac{1}{2}}+Bs1S_{i,j}^{\,n+\frac{1}{2}}+Cs1S_{i+1,j}^{\,n+\frac{1}{2}}=Ds1$$

后半步长：

$$As2S_{i,j-1}^{\,n+1}+Bs2S_{i,j}^{\,n+1}+Cs2S_{i,j+1}^{\,n+1}=Ds2$$

上式中 As1,Bs1,Cs1,Ds1,As2,Bs2,Cs2,Ds1,Ds2 为已知系数。

6.3.4 悬浮泥沙源强度

在海上风电的建设过程中，产生悬浮泥沙扩散的施工主要是电缆铺设时引起。根据工可的施工方案，施工过程中各段的源强分别计算如下：

（1） 潮间带段

220kV 电缆登陆段涨潮水深小于 3m 的施工段，拟采用两栖挖掘机施工。其中潮间带段选择退潮后干施工，基本没有悬沙入海。

（2） 浅海段

两栖挖掘机斗容按照 1m^3 估算，作业效率取 1.5 分钟 1 斗，则 4 台挖掘

机的作业效率为 160m³/h。悬浮泥沙的发生量按《港口建设项目环境影响评价规范》中提出的公式进行估算：

$$Q=\frac{R}{R_0}\cdot T\cdot W_0$$

式中：Q 为清淤作业悬浮物发生量 t/h；W_0 悬浮物发生系数(t/m³)；R 发生系数 W_0 时的悬浮物粒径累计百分比(%)；R_0 现场流速悬浮物临界粒子累计百分比(%)；T 挖泥效率(m³/h)。

取泥沙丢失率为 5%，取 R：R_0=5%（砂质岸滩泥含量估算 5%）计算悬浮泥沙产生量。沉积物干容重取 0.9t/m³，则两栖挖掘机施工的泥沙排放源强=160（m³/h）×5%×900 （t/m³）×5%/3600（秒/小时）=0.1kg/s。

（3）15m 以浅

海底电缆敷设在泥面下约 3m 深处，海缆沟槽底宽约 0.3m，顶宽约 0.5m，正常铺设速度约 4m/min，单条海底电缆铺设正常施工土方量=（0.3m+0.5m）×3m×0.5×4 m/min =4.8m³/min 计，折合 288m³/h。

根据风电场区表层沉积物分布情况，15m 等深线以浅主要为粉砂质黏土，起沙率按照 40%估算，淤泥干容重取 900kg/m³，由此计算得单条电缆施工的悬浮物源强=288 （m³/h）×40%×900（kg/m³）/3600（s/h）=28.8kg/s。

（4）15m 以深

15m 等深线以深主要为黏土质粉砂，根据风电场区表层沉积物粒径分析结果， 淤泥平均含量为 15%，淤泥干容重取 900kg/m³，由此计算得单条电缆施工的悬浮物源强=288 （m³/h）×15%×900（kg/m³）/3600（s/h）=10.8kg/s。

模拟计算过程中仅仅考虑工程施工产生的悬浮泥沙增量的影响，潮流对海底床作用产生的泥沙将不计算。选择桩基周围的 240 个源点进行模拟计算(图 6.3-1)， 除此之外，还选择海上升压站与陆上集控中心的连线上的 30 个源点，总共 270 个源点，预测施工产生的悬浮泥沙对水质环境的影响范围与程度。

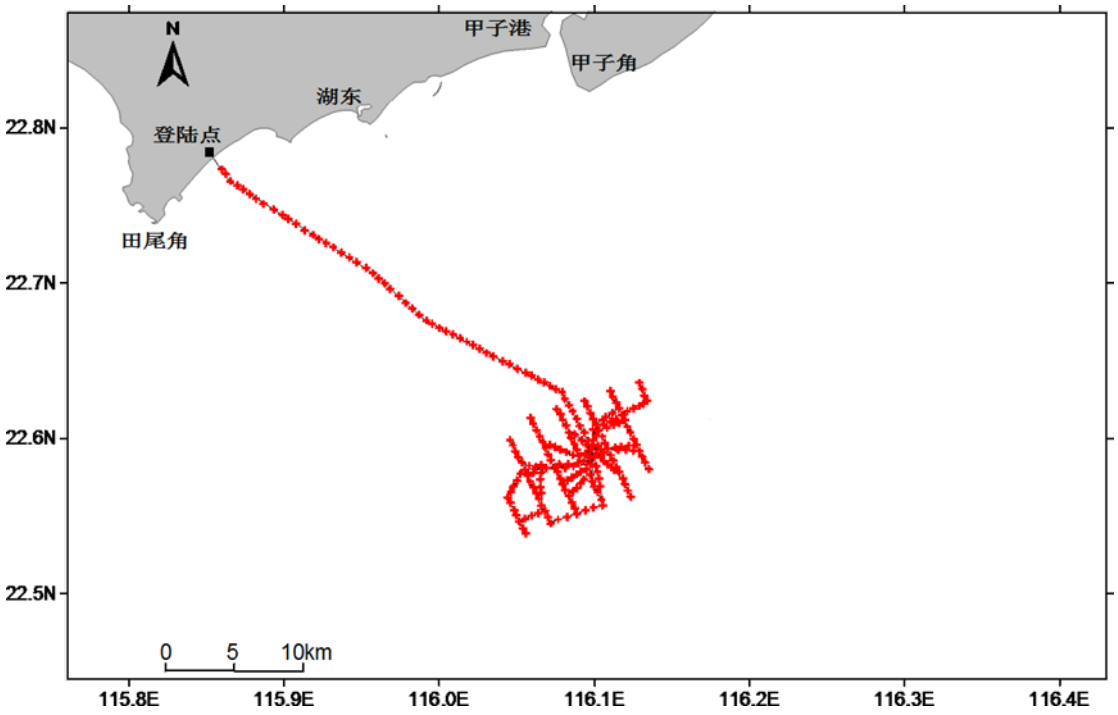


图 6.3-1 模拟铺设源点位置示意图

6.3.5 悬浮物分布的计算结果及分析

自电缆铺设施工作业的初始时刻起，源点附近由于沉降、掺混过程所形成的悬浮物混浊云团，在海流作用下扩散迁移形成“污染区”。由于不停作业，云团核心浓度（中心含沙量）随着时间的推移而不断升高，云团面积不断扩大。在初始阶段，这一过程演变很快，但经过一定时间后，浓度随时间的变化变缓，指某一时间不再升高，即达到所谓“平衡态”。它表征了各种因素（源强、自净能力）对环境水质的影响程度。潮混合使核心浓度达到平衡态的时间，决定于水域的地形特征和流场的强弱以及流态。通常，水域小，流场强，达到平衡态的时间就短。云团核心浓度在电缆铺设施工作业开始后，很快达到平衡态，由于施工所在海域的水深较大，虽然源强较大，但在二维水深平均后单位水体的浓度并不大； 此后，随着电缆铺设施工的继续，核心浓度在潮流和潮汐的共同作用下发生波动式振荡；作业停止后，挖泥点的核心浓度（含沙量）将迅速（3 小时内）下降到零。

图 6.3-2 为电缆铺设施工过程中悬沙扩散的包络范围。泥沙的扩散除了自身的沉降外，主要受到潮流输运作用影响，因此泥沙的扩散方向与潮流的方向相同。从图中可以看出，项目施工过程中引起的悬浮泥沙对水质的影响较小，除了近岸区的 8 个源点引起的悬浮泥沙扩散范围顺潮流方向延伸的距离约为 0.8km，其它源点引起的悬沙扩散范围顺潮流方向的延伸距离都小于 0.5km。因此，近岸区

的悬浮物扩散影响较大，高浓度的水体也主要分布在近岸区，而风电桩基所在海区的影响较小，仅分布在管线和桩基附近的小范围内。

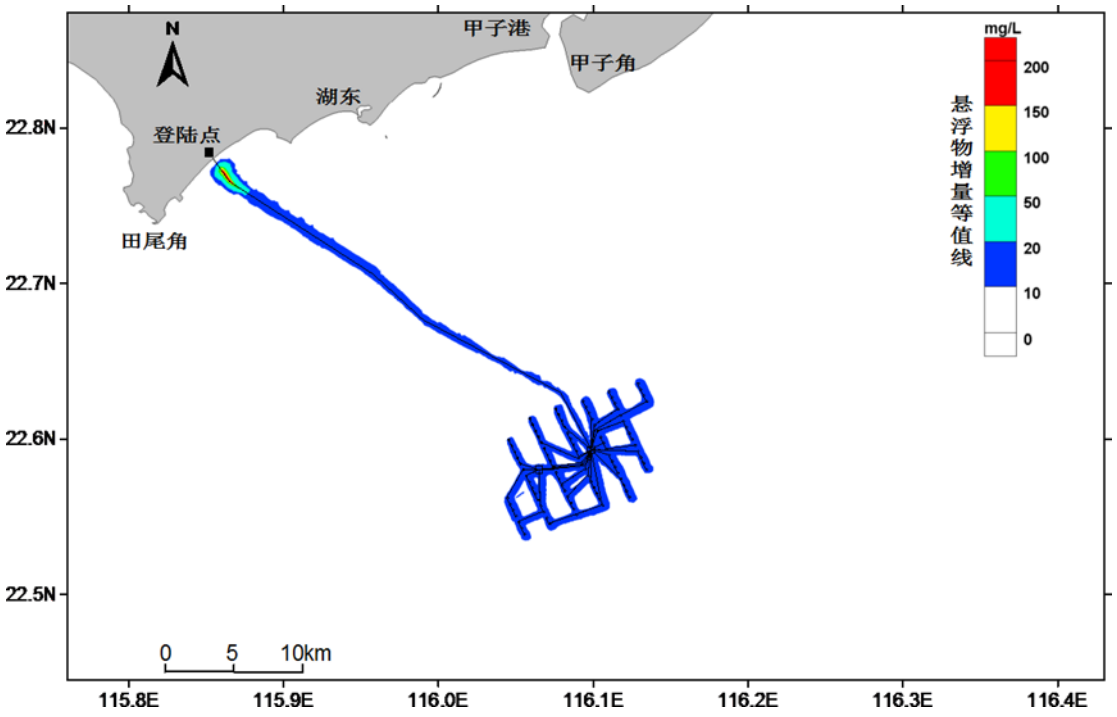


图 6.3-2a 15 个潮周期内悬浮泥沙浓度最大分布范围（单位：mg/L）

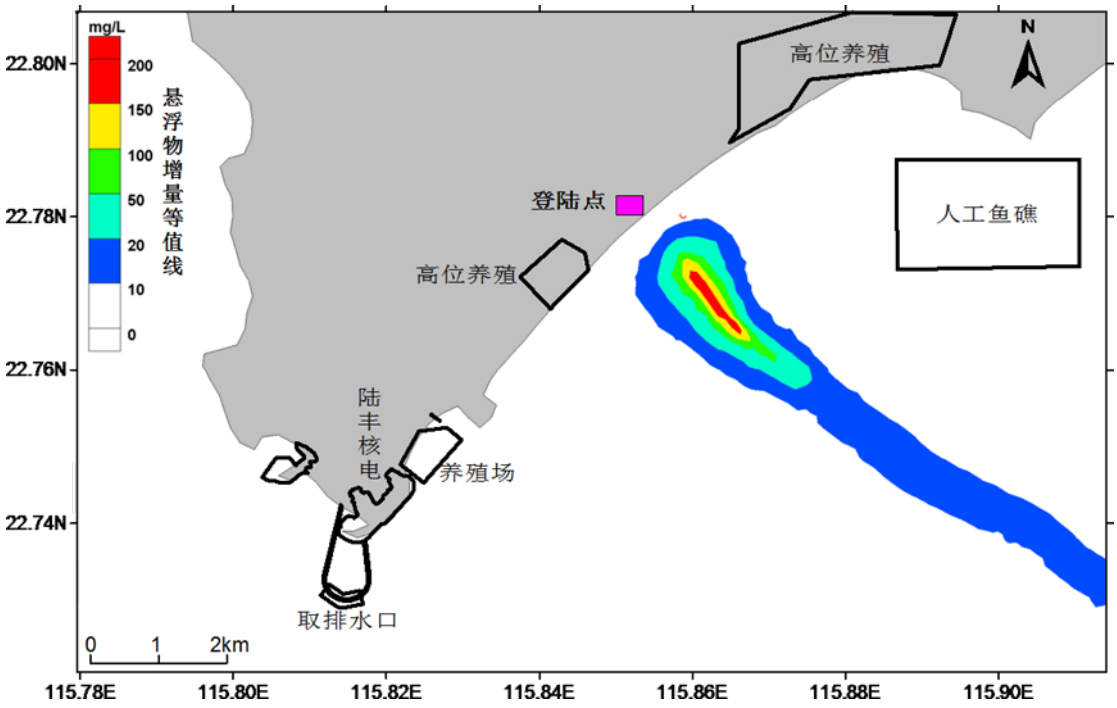


图 6.3-2b 登陆点附近悬浮泥沙浓度局部放大图（单位：mg/L）

6.3.6 悬浮物的影响范围

在此对海底电缆铺设引起的悬沙影响进行估计。为了估计悬浮泥沙的影响大小，根据模型的计算结果，分别计算了不同浓度的覆盖面积，并列入下表 6.3- 1。

表 6.3-1　　海底电缆铺设悬浮泥沙各浓度的最大影响范围面积（km^2）

浓度	＞10mg/L （超Ⅰ、Ⅱ类水质）	＞20mg/L	＞50mg/L	＞100mg/L (超 III 类水质)	＞150mg/L (超 IV 类水质)
面积	61.085	1.257	0.621	0.237	0.0

由表 6.3-1 和图 6.3-2 可以看到，从悬浮物最大浓度增量包络线分布分析可知，超 I、II 类海水水质(>10mg/L)的面积为 61.085km^2；增量浓度＞20mg/L 的面积为 1.257 km^2；增量浓度＞50mg/L 的面积为 0.621 km^2、超 III 类（>100mg/L）的面积为 0.237 km^2、超 IV 类（＞150mg/L）海水水质的面积为 0.0km^2。

6.3.7 钢管桩灌浆溢流和泄漏对水质影响分析

本工程风机基础施工时，钢管桩插打完成后需对其进行水泥砂浆浇筑，海上升压平台施工时钢套筒与钢管桩需灌浆连接，灌浆作业利用钢套箱进行水泥砂浆浇注作业。水下灌浆施工时，通过水下视频监控，当导管架上灌浆溢流孔有浓浆溢出，即可完成灌浆，因此正常施工情况下，钢管桩灌浆溢流量很小，而且局限在溢流孔位置附近。

为保证浇筑质量，钢套箱为半封闭结构，一般情况下不会发生水泥砂浆泄漏。但由于钢套箱需反复利用，可能发生因结构安装造成钢套箱的局部破损从而发生泄漏的情况。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 45 min 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 kg/m^3~2000 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。

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环境较小。

6.3.8 施工污废水排放影响分析

本工程施工船舶均设置有船舶生活污水和船舶含油污水的收集处理装置，所有生活污水和船舶含油污水均经过处理装置收集，定期运回陆地交具有处理资质的单位接收后统一处理，不在海区排放，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。

6.4 海洋沉积物环境影响分析与评价

6.4.1 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结果，风机桩基基础附近沉积物环境质量状况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没有疏浚物产生，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。

此外，施工期由于大型施工船舶在工程海域集结，施工船舶将产生一定数量的生产废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生船舶含油机舱水、生活污水等废水未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油等直接弃置入海，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，应不会影响海底沉积物质量。

（3） 钢管桩灌浆连接

本项目风机钢管桩基础与风机导管架间需进行灌浆连接，所灌注混凝土砂浆可能发生泄漏、溢出，进而可能对桩基附近水质和沉积物环境造成污染。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。

6.4.2 风电场营运期对沉积物环境的影响分析

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和同类项目类比结果，牺牲阳极释放的锌有 10%进入沉积物中计，单台风机每年沉积的锌约 1.704kg。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。

6.5 海洋生态环境影响分析与评价

6.5.1 施工期影响分析

（1）底栖生物及潮间带生物的影响

风机基础及海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖及潮间带生境造成直接破坏，进而引起底栖生物和潮间带生物量的损失。

本项目共 91 台风机，每台风机 4 个桩，风机基础桩基直径 2.6m；2 个升压站，每个升压站 4 个桩，其中 400MW 升压站桩基直径 2.4m、100MW 升压站桩基直径 2.0m，计算风机和升压站基础压占面积为 1962m^2。

海底电缆铺设造成底质破坏范围按照两侧各外扩 10m 计算，35KV 海缆施工占用海域面积 161.1093 公顷，220KV 海缆施工占用海域面积 229.4480 公顷，计算海底电缆铺设一次性破坏底栖生物底质生境面积为 392.6 公顷。

（2）浮游生物及游泳生物的影响

海缆施工前扫海清障及埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由沿线较大范围海域的含沙量暂时上升。钢管柱打桩产生悬浮泥沙也会对海洋生物将产生一定的影响。

施工悬浮物使工程附近局部海域混浊度增加，降低了水体的透光率，限制了浮游植物和底栖植物的光合作用率，导致该水域内初级生产力下降。初级生产力的降低将通过食物链影响到整个生态系统的各个环节。透光率的降低还会改变某些靠光线强弱而进行垂直迁移的浮游动物的生活规律。

对部分游泳生物来讲，悬浮物的影响也较为显著。悬浮固体，细微的固体颗

粒会粘附在动物的表面，干扰动物的感觉功能；有些粘附甚至引起动物表皮组织溃烂；通过动物的呼吸，悬浮物会阻塞鱼类的鳃组织，造成呼吸困难；滤食性浮游动物及鱼类会吞食适当粒径的悬浮颗粒，造成内消化系统混乱。水体的浑浊还会降低水中溶解氧含量，进而对用于生物和浮游动物产生不利影响。

由于水质浑浊，阳光透射率下降，使得该片水域内的游泳生物迁移到别处。在施工期间，洄游到这里或经过这里产卵的群体，由于产卵场的环境受到干扰而改变正常的洄游路线。在这里栖息、生长的一些地方性种类以及幼体、在浅水区索饵成长的幼鱼幼虾，其正常的分布规律被扰乱，导致部分鱼群改变原有的集群和正常的洄游路线。

施工悬沙浓度增加导致海水水质变差，鱼卵和仔稚鱼将受到悬浮泥沙的影响而死亡。悬浮泥沙对鱼卵的影响很大，水体中若含有过量的悬浮固体，细微颗粒会粘附在鱼卵的表面，妨碍鱼卵呼吸，不利于鱼卵的孵化，从而影响鱼类繁殖。据研究，当悬浮固体物质含量大到 1000mg/L 以上，鱼类的鱼卵能够存活的时间将很短。

从水环境影响预测结果来看，施工悬沙增量大于 10mg/L（超Ⅱ类海水水质标准）的最大影响在施工区域附近 61.085km^2 范围内，施工期这一范围内，初级生产力下降，渔业资源受到一定的影响。根据以往疏浚工程产生的悬浮物的影响程度来看，悬浮物对水质的影响在工程结束后延续 4～5 个小时可基本消除。因此，施工悬沙对水质的影响属于短期环境效应，随着施工作业的结束，水质将逐渐恢复，随之而来的便是生物的重新植入。

（3）海龟的影响

本项目论证范围内出现海龟产卵的频率不高。项目所在海域也不属于海龟迁徙期间的关键觅食地。本项目风场场址距离海龟洄游路线较远，220kV 登陆海缆路由位于海龟夏季洄游路线上。由于本项目海缆施工的时间不长，且施工位置不断变化，加上海龟洄游的活动范围较大，理论上项目海缆施工对海龟洄游不会产生不良影响。但也应加强施工期间生态保护管理和宣传，施工过程中若发现有海龟出现，应对海龟加强观测，一旦发现异常，应与当地海洋与渔业主管部门联系；若无异常，需采取驱赶措施，确定无海龟活动后，再继续进行海缆敷设施工。

6.5.2 营运期影响分析

营运期影响主要是风机基础占压影响。在风机桩基群占用海域范围内，原有

泥质型的底栖生物类群在很长一段时间内不可恢复。

此外，本项目运营期产生的污染物主要有风机、海上升压站检修产生的少量变压器油污水和固体废物，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、低沸点的组份对一切生物均有毒性。实验证明石油烃会破坏浮游植物细胞，油膜会阻碍海－气交换，影响光合作用。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为 0.1~10mg/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 Paracalanussp.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，升压站变压器已设计了事故油池，主变事故排油进入事故池，对海洋环境影响很小。

6.6 鸟类影响分析

本节参考《汕尾甲子海上风电项目鸟类现状调查及评价专题报告》的研究成果编写，该项研究由广东省生物资源应用研究所开展。

6.6.1 施工期对鸟类影响预测

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。

由于本次项目场址分为两期工程进行，需要注意两期工程分别施工会延长施工时间，从而造成影响加剧，建议合理安排两期工程施工间隔，选择在非候鸟迁徙高峰期进行施工。

陆上升压站和登陆点的施工期对鸟类影响与对其他陆生动物的影响类似，主要是施工场所永久或临时占用栖息地，道路交通运输和设备安装时造成的环境污染降低生境质量等。除永久用地的影响会持续至运行期，有关工程建设对鸟类的干扰和因环境污染带来的生境质量下降在施工结束后，其影响可以消除。

6.6.2 运行期对鸟类影响预测

建设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：

6.6.2.1 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，项目设置一座 220kV 海上升压站+一座陆上集控中心，因此本项目运行期噪声主要为风机运转噪声和升

压站及集控中心主变噪声。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6.6-1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。

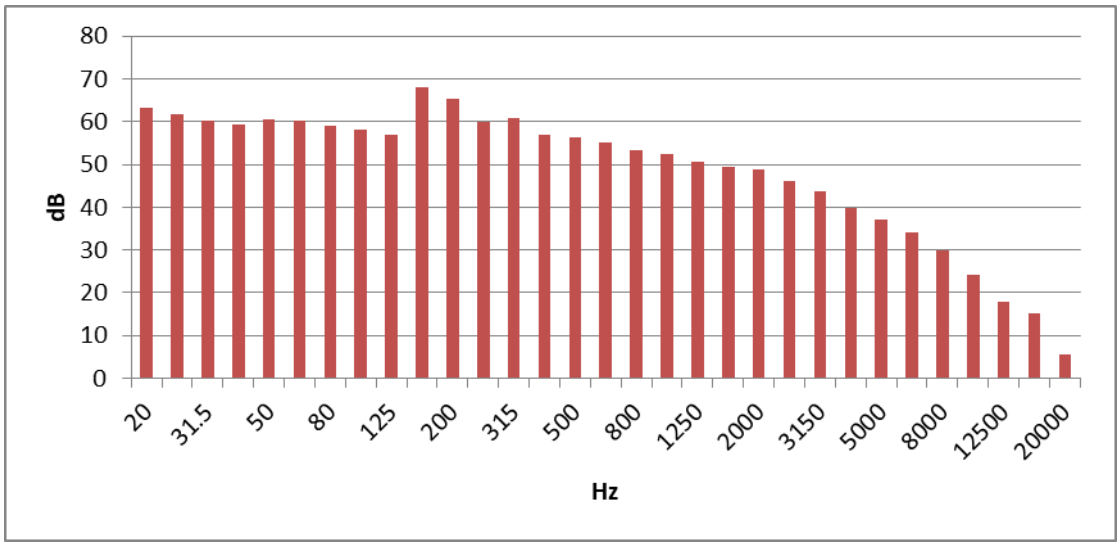


图 6.6-1　96m/s 时风力发电机组噪声的 1/3 倍频程频谱

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。其他如白头鹎等鸣禽，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。

陆上集控中心噪声参数不详，但由于位于陆地，受影响的鸟类种类会较海面多，且主要为陆生鸟类，如雀形目鸟类等。不是大部分鸟类的适宜生境，因而建设前后在该区域分布的鸟类状况相差不会很大。

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≤405 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

根据广东省近年主要风电项目所选风机型号估计，风机轮毂高度为 105 m，叶片运行影响高度为 184 m。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。

6.6.2.2 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）。

6.6.3 综合评价

风电场运营避开了长距离迁徙和短距离迁飞通道，对候鸟迁徙影响可以忽略。风机会使鸟类产生趋避行为，在一定程度上减少鸟类的活动范围，但是随着时间 的推移，部分鸟类会对风电场内的环境会产生适应性。鸟类在长距离迁徙时飞行高度较高，通常不会发生碰撞。对短距离迁飞，偶有鸟类飞入风电场区域，但个体数量较少，因而，发生鸟击相撞的概率较低。

综上所述，海上风电场不会导致海上鸟类数量的急剧下降和不可逆的损伤，对海上鸟类的影响有限。

6.7 水下噪声及电磁辐射对海洋生态影响分析

6.7.1 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

目前在水下噪声对海洋哺乳动物和鱼类影响相关阈值判断中，根据水下工程噪声对海洋生物影响的危害性程度进行分级。其中声源级高于 180 dB 的水下噪声为危险级，可能会对海豚的听觉系统造成伤害，主要有打桩噪声和水下爆破噪声；声源级在 120~180 dB 范围的水下噪声为警告级，可能会对海豚行为产生影响，主要有施工船舶噪声以及钻孔噪声和疏浚噪声；声源级低于 120 dB 的水下噪声强度基本接近海洋环境噪声，因此评定为安全级。

根据对声音最为敏感的石首科鱼类—大黄鱼的相关研究：大黄鱼幼苗的敏感频率在 800Hz，声压级约 140dB/re 1 μ Pa 时幼苗对声波即有明显反应，当声压级达到 172dB/re 1 μ Pa 时有些幼苗直接死亡；大黄鱼小鱼的声敏感频率转移至 600Hz， 当声强达到 150dB/re 1 μ Pa 以上小鱼有主动避开声源的行为，当声源强度达到 187dB/re 1 μ Pa，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 600Hz 附近，当声源达到 192dB/re 1 μ Pa 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。

研究表明强噪声对鱼类的影响程度有：（1）改变鱼的行为模式，包括：摄食、捕获，规避和离开某个区域；遮蔽效应和听力损失；行为模式改变；紧张等。（2）损害物种的耳朵听觉细胞。（3）大黄鱼的发声强度分别为（大鱼：140dB、中鱼 130dB、小鱼 110dB）。施工期水下噪声当超过这些强度后，也将会影响大黄鱼之间的交流。

（2） 施工期水下噪声影响

1） 对石首鱼类的影响：当海域中有石首科鱼类时，考虑鱼群在海域中游动性，以 155dB 作为对石首鱼如鮸鱼、棘头梅童鱼、叫姑鱼等产生影响为阈值， 可算出对应桩径 2.4m 的四桩导管架基础打桩施工，与施工风机的对应距离为 2.9km。因此，当施工海域有石首鱼科的仔鱼和产卵场时，针对四桩导管架风机基础施工，在离桩基 2.9 km 的距离范围外为石首鱼科鱼类的安全距离。

2） 对海豚的影响：本工程规划风电场场址有少量瓶鼻海豚、印太江豚、中华白海豚等哺乳类动物活动。钢管桩施工时在 1km 处所产生的水下噪声还在 160dB/uPa 以上，边缘点的钢管桩施工期打桩水下噪声会对中华白海豚和江豚的行为产生影响。对于四桩导管架风机基础水下打桩施工时，在 190m 范围为危险区域（暂时或永久听力损伤）；在 1.52km 范围内为警告区域（行为干扰）。在

这些施工海域中对中华白海豚的活动需要进行观测、驱赶等工作。

3） 其他施工活动的影响：重力式风机基础挤密砂桩施工时产生的声源级为 180dB/uPa，可能对打桩近距离（20m 以内）的石首鱼类等有一定的影响，但在距离砂桩 66m 处的噪声声压级约为 140 dB/uPa. 对海洋鱼类和距离风电场一定距离（1km）外的中华白海豚、江豚和海龟等影响程度不明显。

工程的其他水下施工噪声，如船舶、钻孔，噪声声源级可达到 150 dB，可能对该海域中的鱼类行为产生某些干扰；而一般的水下噪声，如抛沙等噪声，噪声声压级基本上已低于 120dB，和海洋环境噪声相当，不会对鱼类和海豚、海龟等的行为产生影响。

4） 对“三场一通道”的影响：工程施工海域位于南海区幼鱼、幼虾保护区、南海北部幼鱼繁育场保护区的范围边缘带上，施工水下噪声对石首鱼类幼鱼将产生一定影响，在项目建设过程中必须高度重视幼鱼、幼虾的保护。

5） 对海洋生物的累加影响：虽然相关测量数据及研究表明中小幅度的撞击式桩基施工不会对一定距离外(如 200m 左右)的鲸豚类动物及海洋鱼类造成直接致死或致伤，但长时间较高声压水平的桩基施工对海洋鱼类的累积效应可能造成慢性影响。如时间水下噪声对鲸豚类动物造成慢性威胁，包括遮蔽效应和听力损失、行为模式改变、紧张等；对鱼类的交流、行为、觅食和避敌产生短期的有害影响。施工船将会对在这一带水域活动的鱼类、特别是石首科鱼类造成滋扰，受影响的鱼类将因回避而离开施工区。但环境滋扰消失或较少时会恢复其原来的生活状态，当施工作业完成或滋扰减少时，部分海洋生物会恢复其原来的活动范围， 迁移到较远水域的个体一般还会回迁。

（3） 营运期水下噪声影响

根据江苏如东海上风电场（一期）、福建福清嘉儒风电场近海风机、莆田平 海湾一期海上风电场和上海东海大桥海上风电场（一期、二期）等 5 个海上风电场在运营期水下噪声的类比监测结果，风机运行水下噪声的频谱级没有明显变化，在 120Hz 到 1.5kHz 间的功率谱级比同样深度不同距离的功率谱提高 10~20dB/re 1μPa。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，因此风电场营运所带来的轻微的噪声增加对鱼类等海洋生物影响 不大，即鱼类等海洋生物对海上风电场营运噪声做出行为响应的可能性不大。但 不同海洋生物种群间由于声学特性差异较大，对不同性质声

音的反应也不一样，仍需要对海洋生物本身的声学特性进行深入的研究。

1） 对成鱼的影响：结合海上风电场营运期水下噪声测量结果，在综合分析对声音最为敏感的大黄鱼声学特性后，可以得出风电场营运期总体的水下噪声强度比较低，与原海洋环境背景噪声相当，风电场营运所带来的轻微的噪声增加对鱼类的影响不大。

2） 对鱼卵、仔鱼的影响：水下噪声对鱼卵、仔鱼的影响目前数据较少。由于成年鱼类会主动远离噪声源，幼体是浮游生活且随海流而动，没有能力远离噪声源。因此，仔稚鱼与成熟阶段相比，可能会受到更多的水下噪声的影响。

3） 对中华白海豚、江豚和“三场一通道”的影响：根据风电场水下噪声监测结果和国外数据分析，风电场营运期总体的水下噪声强度比较低，与原海洋环境背景噪声基本上相当，对中华白海豚、江豚影响程度有限。营运期水下噪声对产卵场、索饵场和洄游通道的不同鱼类目前研究不多，因此在营运期水下噪声对工程周边海域中大黄鱼、白姑鱼、叫姑鱼等产卵场的影响还有待进一步深入的研究。

4) 对其他海洋生物的影响：营运期水下噪声对虾蟹及贝壳等其它海洋生物的初步的实验结果分析，营运期水下噪声对其影响不明显。但由于实验时间有限，长期影响的数据分析还有待近一步研究。

（4） 水下噪声对海洋生物的安全距离要求

海上风电工程水下噪声对海洋生物的影响主要在施工期间，尤其是施工打桩作业产生的水下噪声将对临近的海洋生物资源造成明显的影响。因此，对于四桩导管架基础的钢管桩打桩施工，应确立在 190m 范围内为危险区域，在这些区域范围，噪声可能对海洋动物产生直接的伤害效果；1520m 范围内为警告区域，在这个区域范围内对鱼类的行为有所影响。因此，施工期间需对影响范围内出现的中华白海豚、江豚及鱼类要进行可能的驱赶，以减小对海洋生物的不利影响。

6.7.2 电磁辐射影响

（1） 升压站电磁环境影响

升压站内的主变压器及各种高压电气设备会对周围电磁环境产生一定的改变，包括工频电磁场。但由于升压站内电气设备较多，布置复杂，其产生的工频电磁场难于用模式进行理论计算，因此采用类比测量的方法进行环境影响评价。由于目前广东尚且没有投运的海上升压站，故选择相似的 220kV 菊城变电站的

电磁辐射监测进行类比。

类比结果表明，菊城变电站四周厂界的工频电场强度在 9.36V/m～460.28V/m 之间，其中南侧围墙外 5m 处（220kV 配电装置区侧）电场强度值最高，达到 460.28V/m； 磁感应强度在 31.35nT～361.5nT 之间，测量值均低于《电磁环境控制限值》（GB8702- 2014）的推荐限值（工频电场强度≤4000V/m，工频磁感应强度≤0.1mT）要求。

由此可以预测，本项目海上升压站建成投产后，其周围的工频电磁场强度亦能满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）的推荐限值要求。

（2） 海底电缆电磁环境影响

营运中的海上风电场电缆在每一相导体中均存在 120° 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，35kV 电线空间磁感应强度在电缆线中心距离上的磁感应强度为 22μT，综合量最大值出现在距电缆中心线投影 5m 处，其值为 24.91μT，之后随与此点距离的增加，其值逐步降低。

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）对很多种鱼进行研究发现，如鲈鱼、白斑狗鱼、拟鲤、红眼鱼、 鲷科鱼东方欧鳊和鲈科鱼梅花鲈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。

同时厦门大学开展的了工频电磁辐射对海洋生物短期影响实验研究显示，海洋生物能够感知强度为 1.0mT 以上交流电磁场的存在，并做出不同生理反应，这种生理反应的持久性未进行进一步评估。强度在 0.3mT 以下的交流电磁场对海洋生物作用 48h 后，其体内的碱性磷酸酶，酸性磷酸酶以及超氧化物歧化酶的比活力变化不显著。

本工程海底电缆均敷设于海底土层以下，电缆外层的金属屏蔽层、铠装层以及海底土层对磁场具有强烈的屏蔽作为，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。从现有资料分析，35kV 海底电缆在埋设海底下 2~3m 深时，其在海底面上所辐射的磁感应强度为 10-10~10-5T 数量级。在假设的理想条件即电缆金属护套完全接地情况下，电场将严格限制在每个核内部。对于 35kV 的集群海底电缆，由于磁场在海域介质中的衰减特性，在离机群中心距离 1m 外，磁感应强度已降在 10-6T 以下；对于 220kV 海底电缆，磁感应强度已降在 10-5T 以下。目前学术界研究的磁场需在 10-5T～10-3T 数量级才发现海洋生物产生反应。因此，在目前的理论构架下，可以不考虑本项目海底电缆对海洋生物产生的影响。

综上，通过类比可知，本项目海上升压站建成投产后，其周围的工频电磁场强度均能满足《电磁环境控制限值》（GB8702-2014）的推荐限值要求；在目前的理论构架下，可以不考虑海底电缆建成运行对海洋生物产生的影响。

6.8 陆域环境影响分析

6.8.1 施工期陆域环境影响分析

6.8.1.1 施工期空气环境影响分析

工程施工期环境空气污染物主要来源于施工机械及施工车辆排放的废气、各类施工活动产生的施工扬尘。施工期产生的施工扬尘主要取决于施工作业方式、材料堆放情况及项目所处地的气象条件等因素。

据有关资料，车辆行驶产生的扬尘约占施工总扬尘的 60%以上。施工车辆对沿线村庄环境空气质量会产生一定的影响，为减少扬尘产生的影响，需对受影响

区域道路进行定期洒水抑尘，施工场地洒水抑尘试验结果见表 6.8-1。

表 6.8-1 施工场地洒水抑尘试验结果一览表

距离(m)		5	20	50	100
TSP 平均浓度(mg/m^3)	不洒水	10.14	2.89	1.15	0.86
	洒水	2.01	1.40	0.67	0.60

输电线施工对环境空气的影响主要为基面开挖等施工作业产生的施工扬尘，但输电线路工程量小，施工点分散、跨距长、时间短，在采取及时洒水降尘、、临时堆放场加盖篷布等措施后，对沿线居民点环境空气质量基本没有影响，可满足广东省《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001)的相关限值。

6.8.1.2 施工期声环境影响分析

本项目施工过程中设备安装、基础开挖、车辆运输、各类施工机械作业产生的施工噪声对 100m 范围内声环境影响较大。其中，挖掘机、载重汽车运输、噪声源强一般为 85~100dB（A），其施工活动场所对环境影响相对较小，一般距离 40m 外可达标；而振捣器、打桩机、电钻、切割机、电锯等噪声源强较高，为 90~110dB（A），其施工噪声对环境相对较大，一般距离 100m 外可达标。吊车、打夯机、液压机噪声级一般为 70~110dB（A），一般距离 50m 可达标。距离项目最近的敏感目标约 300m，因此影响较小。

在施工过程中通过合理安排施工时间和规划施工场地，高噪声施工机械安装消声器、隔振垫等措施，使施工场地的噪声达到《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）的相关要求。

6.8.1.3 施工期水环境影响分析

根据工程施工源项分析，施工期废水主要包括施工人员生活污水和施工生产废水，施工生产废水主要为基础开挖废水、机械设备冲洗废水等，其中主要污染物为 SS、少量石油类，混凝土采用商购运至现场使用，无混凝土拌合废水产生。施工期修筑隔油池、沉淀池，基础开挖废水、机械设备冲洗废水经隔油、沉淀池收集沉淀处理后回用于周边绿化或者冲洗其他施工设备。施工时泥沙容易流入附近海滩，尤其在暴雨期间施工时，若不做好临时拦、截、排措施，洪水作用下水土流失产生的泥浆、砂土将随集水沟进入海滩，污染其水质。

输电线路工程打桩泥浆水经泥浆池沉淀，上清液回用于周边绿化或者冲洗其他施工设备，污泥干化后回用本工程。输电线路施工时施工人员较少，与变电站

施工人员一并在变电站施工区营地设临时生活区，产生的食堂含油污水经隔油处理后回用于周边绿化或者冲洗其他施工设备，其他生活污水利用施工区营地临时生活区污水处理系统处理后回用洒水，不外排，不会对周边水环境造成影响。

施工生活污水主要为施工人员产生的生活污水，主要为粪便污水以及洗涤废水等，主要污染物为 COD、BOD、氨氮、TP 等。施工期生活污水水质相对简单，没有毒性因子，经隔油、沉淀处理后回用生产、洒水，生活污水经隔油、临时污水处理设施处理后回用洒水，不外排，不会对周边水环境造成影响。

6.8.1.4 施工期固体废物环境影响分析

施工固体废弃物主要包括施工人员产生的少量生活垃圾、施工过程中产生的土石方和建筑垃圾。建设过程中开挖将产生土石方，要求施工过程中集中堆放，电缆敷设完成后就近回填摊平，无弃方。如果施工材料管理不善将造成施工物品、沙石、水泥等遗留地表，影响部分土地功能。

本工程生活垃圾集中收集后交由环卫部门统一外运，对建筑垃圾进行分类收集、分类暂存。禁止乱丢乱弃；建筑垃圾可回收部分由建设单位统一分类回收，不可回收部分运至市政相关部门指定地点，不得随意丢弃。采取上述措施后，本项目施工期产生的固体废物均能得到合理处置，不会造成二次污染，对周边环境影响很小。

6.8.1.5 生态环境影响分析

（1）受工程影响生态系统类型及特有程度

工程站址及线路沿线的生态系统类型主要为农用地生态系统，植被类型是以少量灌草、乔木。上述类型在东莞市、广东其他地区普遍存在，受工程影响的生态系统类型并非东亚、中国、广东及本地特有生态系统类型。因此，工程建设不会减少生态系统类型数量，对生态系统的特有性基本无影响。

（2）对生态系统类型的影响

工程站址永久占地总计 4.6686hm^2，占地主要为农用地。施工道路临时占地约 0.07hm^2；临时堆场、余方填方区位于用地红线内，不新增临时占地。工程临时占地类型基本为荒草地、灌丛及少量园地等，总占地占汕尾市生态系统总面积的很小。

工程建设对评价范围内生态系统的影响主要体现为使农田生态系统面积减

少，但占评价范围总面积比例不大，因此工程建设对生态系统的区域影响总体有限。

（3）对生态系统服务功能的影响。

工程占地区主要为农用地生态系统。由于工程建设，农用地生态系统面积有所减少，人工植被类型主要服务功能为服务人类生产生活，这类功能可通过货币补偿、植被恢复等方式保持其生态系统服务功能不降低；灌草、少量乔木在汕尾市、广东其他地区普遍存在，受工程影响的植物并非东亚、中国、广东及本地特有植物类型，其主要服务功能为提供经果和水土保持等，这类功能也可通过货币补偿、绿化等方式保持其生态系统服务功能不降低。

（4）对陆生植物的影响

①对植物生物多样性的影响

根据现场调查，工程站址和输电线路生态评价区的植物种类较少。根据工程建设的特点，线路路径短占地少，占地仅减少了区域植被的生物量，不会造成某一植物种类在该区域消失，对评价范围内生物多样性的影响很小。工程变电站占地主要涉及生物多样性较低，站址区无特有和珍稀植物分布，站址建设过程中将降低站址区周边的生物多样性，但一般站址区将采用植物进行绿化，站址四周及道路两侧也将栽植树木。因此，站址建设对评价区生物多样性的影响总体较小。

②对种群数量及生物量的影响

工程建设过程中，站址等永久占地将对植物种群数量造成一定的损失，临时占地虽可在施工结束后进行恢复，但仍在一定时期内将造成种群数量减少。

工程建设将不可避免地造成一定的生物量损失，但损失量占评价区总生物量的比例较小，其中临时占地部生物量损失分可通过植被恢复等措施在施工结束后进行恢复；永久占地部分虽无法在占地区进行补偿，但仍可通过加强站内及周边区域的植被保育等措施减少生物量损失。可见工程建设对区域植被生物量的影响总体较小。

③对线路下方植被的影响

根据《110～750kV 架空输电线路设计规范》(GB50545-2010)，500kV 导线与线下树木(考虑自然生长高度)之间的垂直距离不小于 7.0m，本工程采用高塔跨越的方式，且线路路径区域植被以灌草为主，在架线、运行期间基本不需砍伐线下植被。因此，工程线路架设不会改变线路下方的植被类型，对线路沿线区域生

物多样性基本无影响。

④对珍稀保护植物及古树名木的影响

根据现场踏勘及相关部门调查，工程线路沿线及站址区生态环境评价范围内未发现有国家级、省级野生珍稀保护植物和古树名木。

（5）对陆生动物的影响

工程拟建站址周围人为活动不频繁，动物以家畜为主，工程建设对站区周围动物影响很小。输电线路工程路径较短，环境特征与变电站站址类似，占地少且施工时间短，工程建设仅对沿线局部区域(主要为施工临时用地)植被造成破坏和影响，不会造成野生动物物种减少，对线路沿线区域野生动物生物多样性基本无影响。

6.8.1.6 施工期水土流失影响分析

水土流失主要发生在工程施工期和运行初期两个时段。施工期由于变电站站区及进场道路土石方开挖等各类施工作业造成一定的植被破坏，施工扰动地表，导致地表裸露损坏水土保持设施，引发新的水土流失。工程运行初期，大规模的施工活动基本停止，主体工程设计中具有水土保持功能的工程，如工程防护措施、土地整治和植物措施相结合的综合防治措施已实施，将发挥良好的固土保水作用，可达到保护环境、恢复生态、保障工程安全运行的目的，新增水土流失量逐渐减小。但由于植物恢复发挥作用尚需一段时间，土壤侵蚀强度仍高于建设前强度，仍存在一定的水土流失。根据已建、在建同类型工程的施工实例经验，根据具体地形情况布设，主要利用乡村道路和现有平地，占地面积较小，施工完毕后，场地即可恢复。工程站址永久占地总计 4.6686hm^2，占地主要为农用地。改扩建道路永久占地面积 0.342 hm^2，新建道路永久占地面积 0.075 hm^2。施工道路临时占地约 0.07hm^2；厂区挖方量为 21466m^3，填方量为 20040m^3。永久占地会改变原有土地的利用方式，本工程的永久占地主要是集控中心、进厂道路及电缆线路占地，本工程临时占地主要是施工区用地。施工过程中有一定的水土流失，在采取拦挡回填等措施后，水土流失量较小。施工结束后，通过植被恢复与补偿措施，可将本工程生态影响降至最低。

6.8.2 运营期陆域环境影响分析

6.8.2.1 电磁环境影响预测与评价

（1）电磁影响评价分析原则

本工程包括新建 500kV 变电站工程，工程 220KV 输电线（海上登陆点至集控中心段）为地下电缆，出 1 回接 500kV 升压变再通过 500kV 架空线路接入系统变电站，根据《环境影响评价技术导则 输变电工程》，电磁环境影响采用类比评价的方法。

（2）变电站电磁环境影响评价

工程新建 500kV 变电站电磁环境影响预测采用模拟类比的方法，即选取与 500kV 变电站建设规模、电压等级、主变容量、总平面布置环境条件相同或类似的已运行的变电站进行电磁环境的实际测量，以预测分析本项目 500kV 变电站建成投运后对所在区域周围电磁环境影响的定量预测。

①类比对象选择

根据本工程可行性研究报告，500kV 变电站本期为 1×1000MVA，500kV 主变户外布置，500kV 配电装置采用户外 GIS 布置。220kV 配电装置采用户内 GIS 布置。35kV 配电装置采用户内布置。经相关资料调研，选取东莞市的 500kV 莞城变电站作为 500kV 变电站类比对象。

类比对象 500kV 莞城变电站（以下简称“莞城变”） 占地面积 4.05hm2，与本工程变电站面积相近，变电站周围为农村地区，地形地貌与本工程变电站接近；莞城变现有规模 4 台主变（4×1000MVA），本工程为 1 台主变（1×1000MVA），比莞城变略小；莞城变与本工程拟建变电站平面布置相近，莞城变 500kV 配电装置为 HGIS 设备布置，本工程 500kV 配电装置为户外 GIS 设备布置，由于配置装置楼对母线工频电场的屏蔽作用，理论上本工程产生的工频磁场小于类比对象；莞城变 500kV 出线多于拟建 500kV 变电站，均采用架空线路出线，监测期间运行负荷高于本工程建成投产时的设计负荷，从相对不利角度考虑是合适的。

综上所述，选取 500kV 莞城变作为本次评价类比对象是合理的，可比性分析详见表 6.8-2。

表 6.8-2 本项目 500kV 变电站和 500kV 莞城变电站可比性分析一览表

变电站		500kV 莞城变电站	本项目
电压等级		500kV	500kV
占地面积		4.05hm^2	4.6686hm^2
主变压器	型式	单相、自耦、无载、户外强油风冷	自耦，三相、三绕组、强迫油循环风冷
	容量	4×1000MVA	1×1000MVA
	布置	户外	户外
500kV 配电装置		HGIS 设备布置	户外 GIS 设备布置
220kV 配电装置		户外常规布置	户内 GIS 设备布置
出线		500kV 6 回	500kV 1 回
平面布置		500kV 配电装置 HGIS 布置于站区南侧，220kV 户内 GIS 配电装置布置于站区北侧，主变位于 220kV、500kV 配电装置之间	500kV 配电装置户外 GIS 布置于站区东侧，220kV 户内 GIS 配电装置布置于站区东侧，主变位于 220kV、500kV 配电装置西侧
外环境情况		500kV 莞城变周边为农村地区，较为空旷	500kV 变周边为农村地区，较空旷

②类比监测

广东省辐射环境监测中心于 2007 年 4 月 20 日在变电站围墙四周均匀布点，高压进线侧或距带电构架较近的一侧围墙外侧适当增加测量点位，并选择一条测量路径(避开进出线)，垂直于围墙方向进行衰减断面监测，测量离地面 1.5m 高度处的工频电场强度、工频磁感应强度。

表 6.8-3 类比变电站监测期间运行工况一览表

主变	电压(kV)			电流(A)			运行状态
	U ab	UbC	Uca	(a 相)	(b 相)	(c 相)	
1#	520.3~523.3	522.2~523.7	522.3~522.3	400.1~410.4	401.6~411.8	397.2~407.5	正常运行
2#	522.2~522.7	523.1~524.2	523.7~523.9	403.1~411.8	403.3~410.4	398.7~407.4	正常运行
3#	522.7~522.9	523.7~524.2	523.7~524.2	401.6~408.9	401.6~408.9	397.2~404.5	正常运行
4#	522.3~522.7	524.2~525.2	523.0~523.7	401.6~407.4	403.1~410.4	398.6~406.0	正常运行

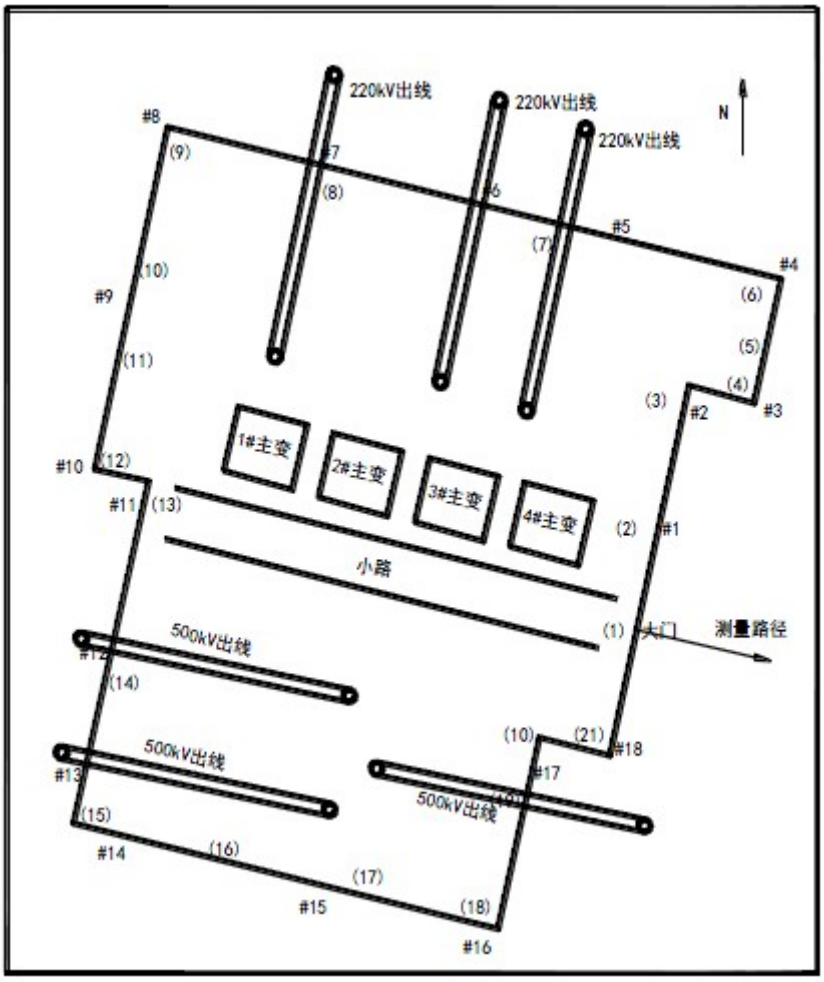


图 6.8-1 东莞市 500kV 莞城变电站电气平面布置及电磁环境类比监测点位示意图

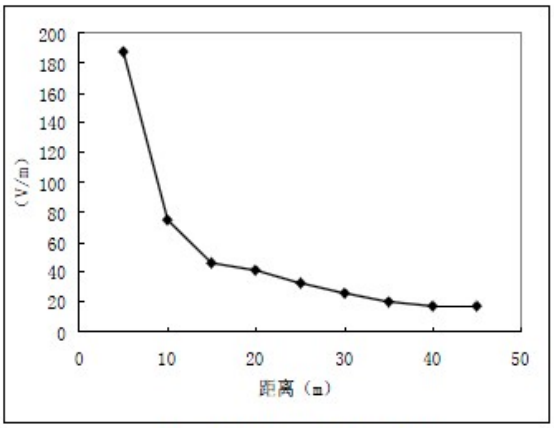
③ 类比监测结果分析

类比变电站莞城变厂界电磁环境监测是在符合监测规范的天气条件下，由广东省辐射环境监测中心完成的，监测时变电站运行正常，因此监测数据时有效的。变电站电磁环境类比监测结果详见表 6.8-4。

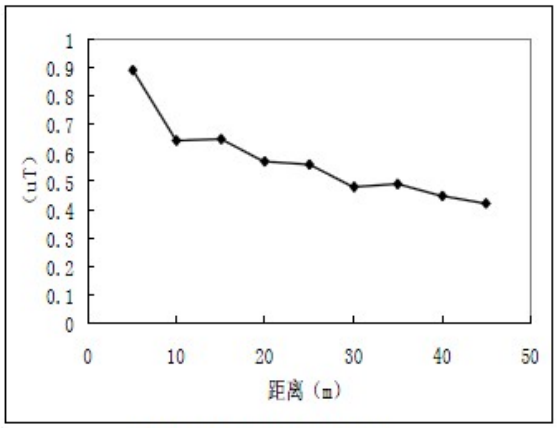
表 6.8-4 500kV 莞城变电站工频电场、工频磁场类比监测结果一览表

测点序号	监测点位	距离地面 1.5m 处		备注
		工频电场强度(V/m)	工频磁感应强度(μT)	
1	#1	7.0	0.88	靠近主变附近装置区靠近 500kV 出线
2	#2	10.5	0.85	
3	#3	5.6	0.45	
4	#4	14.0	0.58	
5	#5	9.0	0.73	靠近 220kV 配电装置区及 220kV 出线
6	#6	881.1	6.71	
7	#7	269.7	9.33	
8	#8	366.2	4.58	
9	#9	94.0	0.98	

10	#10	555.4	4.19	
11	#11	1660.4	4.35	靠近 500kV 配电装置区及 500kV 出线
12	#12	984.9	3.14	
13	#13	451.0	4.71	
14	#14	327.6	4.08	
15	#15	725.0	2.00	
16	#16	528.6	0.53	
17	#17	326.2	0.48	
18	#18	1048.0	0.53	靠近 500kV 配电装置区及 500kV 出线
19	东围墙外 5m	187.4	0.89	东围墙外靠近 500kV 配电装置区，测量路径
20	东围墙外 10m	75.0	0.64	
21	东围墙外 15m	45.7	0.65	
22	东围墙外 20m	41.7	0.57	
23	东围墙外 25m	32.4	0.56	
24	东围墙外 30m	26.4	0.48	
25	东围墙外 35m	20.6	0.49	
26	东围墙外 40m	17.4	0.45	
27	东围墙外 45m	17.3	0.42	



工频电场强度变化曲线



工频磁感应强度变化曲线

图 6.8-2 类比变电站工频电场、工频磁场类比监测结果变化趋势图(离地 1.5m)

以上监测结果表明，类比变电站四周厂界处的工频电场强度监测值在 5.6～1660.4V/m 之间，其中最大值为 1660.4V/m，出现在变电站西围墙外 5m(500kV 出线附近)；工频磁感应强度监测值在 0.45～9.33μT 之间，其中最大值为 9.33μT，出现在变电站北围墙外 220kV 出线附近；类比变电站东围墙外，工频电场强度和磁感应强度均随着距离的增加而减小，分别满足 4kV/m、100μT 的评价标准要求。

④敏感点预测

根据类比分析，本项目 500kV 变电站与莞城变电站电压等级、主变容量相同，本项目变 500kV、220kV 配电装置为户内布置，周围空间产生的工频电场、

工频磁场较 500kV 莞城变电站略小并分布规律类似。

因此，根据预测，根据工频电场、工频磁场衰减规律，在没有其他电磁源强干扰情况下，敏感目标处工频电场、工频磁场强度应小于变电站厂界外强度。本工程变电站外敏感点处工频电场强度应小于 1660.4V/m，工频磁场强度应小于 9.33μT，分别满足 4kV/m、100μT 的评价标准要求。站场界 50m 范围内无辐射敏感点。

（3）输电线路电磁环境影响评价

工程 220KV 输电线(海上登陆点至集控中心段)为地下电缆,出 1 回接 500kV 升压变再通过 500kV 架空线路接入变电站，输电线路环境影响预测采用模拟类比的方法，即选取用 500kV、220kV 同塔四回路架空，本次对工程线路电磁环境影响采用类比分析。

① 类比对象选择

输电线路产生的电磁场强度与线路的电压等级、架线形式、导线形式等方面有关。本工程线路为 220kV/500kV 混压同塔四回路，影响较大的是下方的双回线路。本工程 220kV 线路架设在下方，因此四回线路的电磁影响主要受控于下方的 220kV 线路。本次同塔四回线路类比对象选用已建成运行的 500kV 台香线，其影响较工程线路要更大，相对不利。因此，从相对不利的角度，选择台香线作为类比对象是合适的。500kV 台山电厂~香山站送电线路与本工程线路的可比性分析详见表 6.8-5。

表 6.8-5 线路可比性分析一览表

线路名称	台香线	本项目
电压等级	500kV	500kV
线路排列方式	同塔双回	同塔双回
导线型号	4×ACSR/AS-720/50	4×JL/LB1A-720/50
导线截面	720mm^2	720mm^2
导线载流量	609.67~1247.48A	1159A
导线分裂间距	500mm	500mm
监测位置导线离地最小高度（m）	13~49m	/

②类比监测

监测布点：工频电场、工频磁场：

1) 工程沿线中山市东升镇太平村、中山市横栏镇横东村各个居民点距离本工程输电线路最近户各布置一个监测布点，如果为楼房则在阳台或顶层也布置一

个工频电场、工频磁场监测点位。

2) 500kV 台山电厂~香山变电站输变电工程线路途经中山市部分农田及水塘区域设置监测点位。

3) 在线路沿线设置电磁环境影响监测断面。

表 6.8-6 500kV 圭峰~香山甲乙线同塔双回线路运行工况一览表（2012 年 6 月 20 日）

项目 时间	500kV 峰香甲线				500kV 峰香乙线			
	有功功率 P（MW）	无功功率 Q（Mvar）	相电流 I（A）	线电压 U(kV)	有功功率 P（MW）	无功功率 Q（Mvar）	相电流 I（A）	线电压 U（kV）
0:00	774.91	-107.22	787.88	533.05	784.65	-9.75	891.06	533.05
1:00	745.67	-116.97	759.75	533.05	755.41	-34.21	858.23	533.05
2:00	799.28	-136.46	825.4	534.07	809.02	-43.86	923.89	534.07
3:00	687.18	-126.71	703.47	534.07	696.93	-53.61	792.57	534.07
4:00	667.69	-136.46	694.09	535.08	672.56	-63.36	769.13	535.08
5:00	667.69	-155.96	694.09	535.08	677.43	-73.1	773.82	535.08
6:00	570.21	-146.21	590.91	534.57	579.96	-73.1	661.26	534.57
7:00	599.46	-126.71	619.05	534.07	609.2	-63.36	698.78	534.07
8:00	599.46	-9.75	609.67	527.97	599.46	58.48	689.4	527.97
9:00	833.39	48.74	848.85	526.96	813.9	146.21	961.41	526.96
10:00	930.86	38.99	952.03	526.96	921.12	146.21	1073.96	526.96
11:00	1077.07	38.99	1097.41	525.94	1067.33	165.7	1238.1	525.94
12:00	706.68	-38.99	722.23	534.07	706.68	38.99	806.64	534.07
13:00	906.5	0	923.89	530.01	896.75	82.85	1036.44	530.01
14:00	1072.2	58.48	1102.1	526.96	1052.7	185.2	1233.41	526.96
15:00	1062.45	38.99	1083.34	527.97	1052.7	155.96	1224.04	527.97
16:00	1081.95	29.24	1102.1	528.48	1072.2	151.08	1242.79	528.48
17:00	1086.82	0	1106.79	530.01	1077.07	126.71	1247.48	530.01
18:00	833.39	0	844.16	533.56	823.64	87.73	947.34	533.56
19:00	789.53	43.86	801.95	531.53	784.65	136.46	905.13	531.53
20:00	818.77	34.12	839.47	531.53	813.9	126.71	947.34	531.53
21:00	828.52	14.62	848.85	532.54	823.64	116.97	947.34	532.54
22:00	809.02	0	820.71	532.54	794.4	107.22	919.2	532.54
23:00	818.77	-19.49	830.09	533.05	813.9	77.98	937.96	533.05

③电磁影响衰减断面类比监测结果与分析

为了解类比工程线路正常运行时对周围电磁环境的影响规律，在线路沿线设置电磁环境影响监测断面，监测结果详见表 6.8-7。

表 6.8-7 类比工程输电线路工频电磁场强度衰减断面监测结果一览表

序号	点位描述	工频电场强度（V/m）	工频磁感应强度（μT）	备注说明
监测断面（江门市新会区古井镇 500kV 鼓香线县道跨越处，对地线高 23m）				
1	线行中心对地投影点	1.0×10^3	4.3	监测期

2	东侧边导线对地投影点	1.0×10^3	4.2	间工程线路正常运行
3	东侧边导线对地投影点外 5m	1.3×10^3	3.9	
4	东侧边导线对地投影点外 10m	1.2×10^3	3.7	
5	东侧边导线对地投影点外 15m	9.8×10^2	3.2	
6	东侧边导线对地投影点外 20m	6.7×10^2	2.8	
7	东侧边导线对地投影点外 25m	4.8×10^2	2.5	
8	东侧边导线对地投影点外 30m	2.9×10^2	2.2	
9	东侧边导线对地投影点外 35m	2.3×10^2	1.9	
10	东侧边导线对地投影点外 40m	1.6×10^2	1.5	
11	东侧边导线对地投影点外 45m	1.0×10^2	1.4	
12	东侧边导线对地投影点外 50m	61	1.2	

以上现状监测结果表明，500kV 台山电厂~香山变电站输变电工程监测断面所有监测点位，工频电场强度监测值在 61~1.3×103V/m 之间，最大值 1.3×103V/m 出现在监测断面线路边导线对地投影点外 5m 处；工频磁感应强度监测值在 1.2~4.3μT 之间，最大值 4.3μT 出现在监测断面线路中心线投影下，随着与边导线投影距离的增加工频电场强度和工频磁感应强度监测值呈逐渐衰减趋势，各点位监测值能满足 4kV/m、100μT 的评价标准限值要求。

④敏感点预测

1) 居民区处电磁场类比监测结果与分析

500kV 台山电厂~香山变电站输变电工程线路沿线仅有中山市东升镇太平村、中山市横栏镇横东村两个敏感点，敏感点电磁环境现状监测结果见表 6.8-8。

表 6.8-8 类比工程输电线路沿线环境敏感点电磁环境现状监测结果一览表

敏感目标	中山市东升镇太平村	中山市横栏镇横东村	
监测点位	廖友子租用临时工棚门口（线高 25m）	梁荣家 3 层楼顶（线高 49m）	梁荣家门口
工频电场强度（V/m）	7.7×10^2	1.8×10^2	1.3×10^2
工频磁感应强度（μT）	2.0	0.82	0.66
影响源说明	距现有 500kV 峰香线（本工程新会（圭峰）站~香山站段线路）边导线投影约 15m，距常住居民陈小玲家约 25m。	距现有 500kV 峰香线（本工程新会（圭峰）站~香山站段线路）边导线投影约 30m	

以上现状监测结果表明，500kV 台山电厂~香山变电站输变电工程线路沿线居民点所有监测点位，工频电场强度在 130V/m~770V/m 之间，其中最大值为 770V/m，出现在中山市东升镇太平村廖友子租用临时工棚门口（距现有本工程线路边导线投影约 15m）；

工频磁感应强度在 0.66μT~2.0μT 之间，其中最大值为 2.0μT，也出现在中山市东升镇太平村廖友子租用临时工棚门口，所有监测点位监测值均分别满足

4kV/m、100μT 的评价标准限值要求。

2) 农田区域电磁场类比监测结果与分析

线路沿线香山变间隔扩建处农田区域电磁环境现状监测结果详见表 6.8-9。

表 6.8-9 类比工程输电线路沿线农田区域电磁环境现状监测结果一览表

序号	监测点位	工频电场强度（V/m）	工频磁感应强度（μT）
1	江门市台山赤溪镇龙颈村附近线下农田区（线高 13m）	6.1×10^3	2.2
2	中山市新会区古井镇南朗村北侧线下农田区（线高 23m）	1.0×10^3	4.2

根据沿线电磁环境现状监测数据及现场调查情况，500kV 台山电厂~香山变电站输变电工程线路对线下作业区域及香山变间隔扩建电磁环境影响能够满足 10kV/m 评价标准要求。

⑤类比监测结果综合分析

通过以上类比过程，我们可以用对类比工程监测结果的分析来认识此类线路工程的工频电磁场情况及其总体分布规律。

类比对象 500kV 台香线沿线居民区所有监测点位监测值均分别满足 4kV/m、100μT 的评价标准限值要求。沿线农田区工程对线下作业区域电磁环境影响能够满足 10kV/m 评价标准要求。衰减断面监测结果反映随着与边导线投影距离的增加线下工频电场强度和工频磁感应强度监测值呈逐渐衰减趋势。

因此，本工程边导线地面投影外两侧各 50m 范围内无居民区。沿线农田区工程对线下作业区域电磁环境影响能满足 10kV/m 评价标准要求。随着与边导线投影距离的增加线下工频电场强度和工频磁感应强度监测值呈逐渐衰减趋势。

6.8.2.2 运营期噪声环境影响分析

运行期声环境影响预测线路部分采用类比方法进行评价，变电站部分采用模式预测方法进行预测评价。

（1）线路工程类比评价

工程输电线路声环境影响采用类比的方法对敏感点声环境影响进行预测分析。根据本工程输电线路沿线敏感点声环境现状监测结果，并类比参考 500kV 甬台温 II 回线路声环境现状监测结果。500kV 甬台温 II 回线路沿线敏感点噪声监测数据见表 32。

类比线路附近村庄的噪声监测方法和依据参照《声环境质量标准》

(GB3096-2008)，确保数据的真实有效，监测点均选择靠近线路民房面向线路侧地面，为敏感目标受线路影响最大值，因此作为类比数据是合理的。

表 6.8-10 中所采用的输电线路电压等级与本工程一致，载流量与本工程相近，即噪声源强基本一致，线路高度与本工程有相同或相近，因此，用以上线路附近敏感点声环境数据做为类比数据能够较好地反映 500kV 输电线路对附近敏感点的影响。从表中输电线路沿线敏感点噪声监测结果可以看出，在不受其他噪声源影响的情况下，500kV 输电线路沿线敏感点声环境质量能够满足《声环境质量标准》(GB3096-2008)1 类标准要求。因此可以预测，500kV 线路工程建成投产后沿线周围声环境均可满足相应评价标准要求。

表 6.8-10 500kV 甬台温Ⅱ回线路沿线敏感点噪声现状监测结果一览表

线路名称	监测点位	距边导线投影距离(m)	线高 (m)	噪声监测值 dB(A)	
				昼间	夜间
500kV 甬台温Ⅱ回线	姜山镇黎山村贴水桥	10	24	41.0	43.7
	奉化市张家岙	7	29	38.6	41.3
	黄岩区头陀镇孙西村	8	27	45.0	38.4
	黄岩区头陀镇广西岙村	14	34	42.5	38.3
	乐清市大荆镇黄家岙村	14	30	48.0	43.9
	乐清市芙蓉镇包宅	5	17	43.3	41.7

（2）陆上集控中心噪声环境影响分析

本项目营运期的噪声主要来源于设备运行噪声和电磁噪声，主要噪声源有水泵和 SVG 等，主要噪声设备源强类比同类型项目，见下表 6.8-11。

表 6.8-11 主要噪声设备情况表

序号	噪声源（设备）	布置方式	源强 dB（A）	备注	数量（个）	高度（m）	与厂界最近距离（m）	布设位置
1	给水/消防泵	室内	85～90	中、低频	6	0.5	50	消防、生活水泵房
2	220kV 电抗器	室内	60~65	中、低频	2	2	20	电抗器区
3	500kV GIS 室离心风机	室内	60~65	中、低频	6	3	40	电气综合楼
4	252kV GIS 室离心风机	室内	60~65	中、低频	6	3	40	电气综合楼
5	500kV 变压器	室外	70~75	中、低频	1	2	50	主变室
6	500kW 柴油发电机	室内	85~98	仅供应急使用	1	0.5	50	大备品备件库

本项目集控中心噪声环境影响分析采用理论计算进行预测评价。预测模式采

用《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4－2009）工业噪声中室外点声源预测模式，计算考虑地面效应引起的附加隔声量、站内建筑物和围墙的降噪量。

① 室内声源等效室外声源声功率级计算方法：

如图 6 所示，声源位于室内，室内声源可采用等效室外声源声功率级法进行计算。设靠近开口处（或窗户）室内、室外某倍频带的声压级分别为 Lp1 和 Lp2。若声源所在室内声场为近似扩散声场，则室外的倍频带声压级可按下公式近似求出：

$$L_{p2} = L_{p1} - (TL + 6)$$

式中： TL——隔墙（或窗户）倍频带的隔声量，dB。

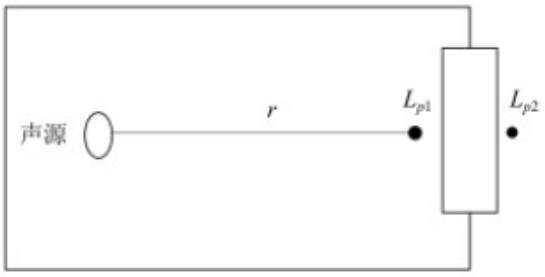


图 6.8-3 室内声源等效为室外声源图例图

也可按下式计算某一室内声源靠近围护结构处产生的倍频带声压级：

$$L_{p1} = L_w + 10\lg\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

式中：Q——指向性因数，通常对无指向性声源，当声源放在房间中心时，Q=1，当放在一面墙的中心时，Q=2；当放在两面墙夹角处时，Q=4，当放在三面墙夹角处时，Q=8；

R——房间常数， ，S 为房间内表面面积，m^2，α 为平均吸声系数；

r——声源到靠近围护结构某点处的距离，m。

然后按下式计算出所有室内声源在围护结构处产生的 i 倍频带叠加声压级：

$$L_{p1i}(T) = 10\lg\left(\sum_{j=1}^{N} 10^{0.1L_{p1ij}}\right)$$

式中： ——靠近围护结构处室内 N 个声源 i 倍频带的叠加声压级，dB；

L_{p1ij} 室内 j 声源 i 倍频带的声压级，dB；

N—— $L_{p1i}(T)$ 声源总数。

在室内近似为扩散声场时，按下式计算出靠近室外围护结构处的声压级：

$$L_{p2i}(T)=L_{p1i}(T)-(TL_i+6)$$

式中：　　——靠近围护结构处室外 N 个声源 i 倍频带的叠加声压级，dB；

TL——围护结构 i 倍频带的隔声量，dB 。

然后按下式将室外声源的声压级和透过面积换算成等效的室外声源，计算出中心位置位于透声面积（S）处的等效声源的倍频带声功率级。

$$L_w=L_{p2}(T)+10\lg s$$

然后按室外声源预测方法计算预测点处的 A 声级。

② 户外声传播衰减计算

$$LA=L_0-20\lg(r_A/r_0)$$

其中：r_A—计算点值点声源的距离，m；

r_0—噪声测量点值操作位置的距离，r_0=1m。

③ 噪声叠加公式

$$L=10\lg\left[\sum_{i=1}^{n}X0.1Li\right]$$

其中：L—n 个噪声源的平均声级[dB(A)]；

Li—i 个噪声源的声级；

n—噪声源的个数。

集控中心终期规模站界噪声预测结果见表 6.8-12。等声级线见附图 6.

表 6.8-12 噪声预测结果单位：dB（A）

序号	位置	贡献值
1	南	48.97
2	东	31.08
3	北	49.09
4	西	43.66

由表 34 可知，集控中心建成投运后，站界围墙 1m 处噪声昼间、夜间最大贡献值为 49.09dB（A），满足《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）2 类标准昼间标准 60dB(A)和夜间标准 50dB(A)要求。

项目周边 200m 范围没有居民区、医院、学校等声环境敏感目标，因此，项

目噪声对声环境的影响不大。

6.8.2.3 运营期废水环境影响分析

本项目运营期废水主要来源于日常维护人员产生的生活污水以及含油污水。

（1）生活污水

本项目陆上集控中心宿舍按 125 人食宿建设。参照《广东省用水定额》（DB44/T 1461-2014），用水量按每人每天 180L 计算，排放系数 0.9，则生活用水量为 22.5m3/d，生活污水产生量约为 20.25m3/d。生活污水经化粪池处理后、食堂含油污水经隔油处理后，与其他生活污水一起排入站内污水处理设施，处理后出水指标应满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2002）的要求后，回用于站区绿化或道路喷洒。本工程站区生活污水经处理后全部回用，正常情况下无污水外排。输电线路不产生生产废水和生活污水，对周围水体水质不产生影响。

项目拟采取地埋式生活污水一体化处理设施处理场内生活污水，工程设计处理能力为 1m3/h，一体化处理站尺寸为 3*3*2.5m，工艺流程简图见图 6.8-4。

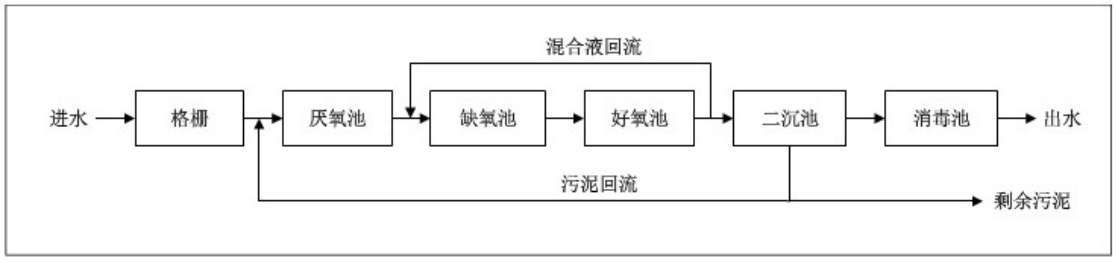


图 6.8-4 生活污水处理工艺流程简图

工艺说明：

进水经格栅井将污水中较大的悬浮物和漂浮物截流，经潜污泵提升后进入污水调节池，调节池主要用于削减高峰负荷，利于下一步处理。

在厌氧池中，流入的污水及同步进入的从二沉池回流的含磷污泥，本池主要功能为释放磷，使污水中 P 的浓度升高，溶解性有机物被微生物细胞吸收而使污水中的 BOD5 浓度下降；另外，NH_3-N 因细胞的合成而被去除一部分，使污水中的 NH_3-N 浓度下降，但 NO_3-N 含量没有变化。

在缺氧池中，反硝化菌利用污水中的有机物作碳源，将回流混合液中带入大量 NO_3-N 和 NO_2-N 还原为 N_2 释放至空气，因此 BOD5 浓度下降，NO_3-N 浓度大幅度下降，而磷的变化很小。

在好氧池中，有机物被微生物生化降解，而继续下降；有机氮被氨化继而被硝化，使 NH_3-N 浓度显著下降，但随着硝化过程使 NO_3-N 的浓度增加，P 随着聚磷菌的过量摄取，也以较快的速度下降。

A^2/O 工艺它可以同时完成有机物的去除、硝化脱氮、磷的过量摄取而被去除等功能，脱氮的前提是 NO_3-N 应完全硝化，好氧池能完成这一功能，缺氧池则完成脱氮功能。厌氧池和好氧池联合完成除磷功能。

废水进入二沉池中，通过重力作用，实现泥水分离，稳定出水水质。污泥部分回流只厌氧池内，多余污泥定期抽取，不设置污泥脱水工序，污泥委外处理。

项目废水采用次氯酸钠消毒，次氯酸钠溶于水后，产生次氯酸(HClO) ，离解出 ClO^-

利用 CIO^-极强的消毒能力，杀灭污水中的细菌和病原体。

项目生活污水经地埋式生活污水一体化处理设施处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2002）标准后，用于绿化或道路喷洒。

（2）含油污水

根据《电力设备典型消防规程》（DL 5027-2015）及可行性研究报告内容，工程在 500kV 变电站内设置集油坑、事故油池及连接管线，主变下方设置集油坑，集油坑容积不低于主变油量的 20%。在站区东南侧设置总事故油池，有效容积为 200m^3，尺寸为 φ8m×5m (直径×高)，油池有效容积不低于主变油量的 60%。各变压器事故排油时，首先排至主变油坑，通过含油废水排放管道排至事故油池，变压器油等经处理后由建设单位回收利用，不能处理的交由有资质的单位处理，不外排。建设单位已承诺将根据变电站运行情况，与有资质单位签订《废物(油)回收处理合作协议》，负责对危险废物（液）进行回收处理。变电站发生火灾等事故时主变附近的消防废水含废油，首先排至主变油坑，通过含油废水排放管道排至事故油池，经处理后统一交由有资质的单位处理，不外排。本期建设事故油池有效容积 200m^3，尺寸为 φ8m×5m (直径×高)，已充分预留了事故时含油消防水的容量，事后建设单位应委托有资质单位及时处理含油废水。

（3）废水用于绿化及林地灌溉的可行性分析

类比同类型项目，生活污水经地埋式生活污水一体化处理设施进出水质如下：

表 6.8-13 设计进出水水质表（单位：mg/L）

指标	CODcr	BOD_5	SS	氨氮	总磷	总氮
进水	250	120	150	30	40	4
出水	60	20	20	8（15）	20	1

一体化处理措施尾水可满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB/T 18918-2002）标准要求，而绿化灌溉废水要求满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T18920-2002）（BOD5≤20mg/L，氨氮≤20mg/L，溶解氧≤1.0mg/L，溶解性总固体≤1000mg/L）标准要求。根据本项目设计出水水质可满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2002）标准要求。本项目生活污水产生量约为 20.25m3/d，项目周边为大片山林地，从废水产生量来说，附近林地可以消纳本项目排放的生活污水。因此项目污水用于绿化或道路喷洒可行。

6.8.2.4 运营期固体废物环境影响分析

变电站及输电线路施工人员运行期固体废物主要为生活垃圾，集控中心按 125 位工作人员考虑，站内产生生活垃圾约为 62.5kg/d，站内设置足够的垃圾箱，本项目产生的生活垃圾经分类收集，废纸、包装纸、报纸等回收利用，其他生活垃圾最后交由环卫部门统一清运，集中处理。妥善处理后，集控中心固体废物对周边环境影响很小。

变压器因绝缘和冷却的需要，装有大量的变压器油。冷却油一般在事故或检修时排泄。根据《国家危险废物名录（2016）》中相关规定，变压器油属危险废物（废物类别为 HW08 废矿物油与含矿物油废物）。

表 36 国家危险废物名录（摘录）

废物类别	废物代码	危险废物	危险特性
HW08 废矿物油与含矿物	900-220-08	变压器维护、更换和拆解过程中产生的废变压器油	T，I

为了防止变压器油泄漏至外环境，本工程变压器附近设置一座事故油池。事故油池有效容积按最大一台变压器油量 60％设计，参考以往类似工程，在变压器附近设置 1 座直径 8m，深度 5m，容积约为 200m3 的事故油池，各变压器事故排油时，首先排至主变油坑，通过含油废水排放管道排至事故油池，变压器油等经处理后由建设单位回收利用，不能处理的交由有资质的单位处理，不外排。

站内运行过程中产生的废旧蓄电池将统一收集后交由有资质单位处理，不随意丢弃，不会对环境造成影响。

6.8.2.5 生态环境影响分析

本项目各项污染物均能达标排放，且周边无珍稀濒危物种，本项目的建设不会对周边动植物的生产影响，不会影响到周边生态系统的结构与功能。

6.9 环境敏感目标影响分析与评价

本工程附近海域的环境敏感目标主要有碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区、碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区、金厢重要渔业海域限制类红线区、重要砂质岸线及邻近海域、南海北部幼鱼繁育场保护区、幼鱼幼虾保护区等，工程建设对各敏感区的影响主要为施工期产生悬浮沙和冲淤环境的影响。

工程与碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区距离为 4.1km，与碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区距离为 4.3km，工程占用南海北部幼鱼繁育场保护区、幼鱼幼虾保护区，工程距离其他环境敏感目标均较远。

6.9.1 对碣石湾海马资源市级自然保护区的影响分析

碣石湾海马资源市级自然保护区位于陆丰市碣石镇对开海域，范围包括 A：东经 115°42′00″、北纬 22°33′00″；B：东经 116°00′50″、北纬 22°34′00″；C：东经 116°02′35″、北纬 22°24′40″；D：东经 115°42′00″、北纬 22°20′40″等四点连线内海域，面积约为 500 公顷，保护对象为三斑海马、日本海马和克氏海马等及其栖息环境。每年的 5 月～8 月是海马的繁殖期。

根据悬浮沙预测结果可知，超I、II类海水水质(>10mg/L)的面积为55.632km^2；增量浓度＞20mg/L 的面积为 2.021km^2；增量浓度＞50mg/L 的面积为 1.213 km^2、超 III 类（>100mg/L）的面积为 0.263 km^2、超 IV 类（＞150mg/L）海水水质的面积为 0.0km^2。项目施工过程中引起的悬浮泥沙对水质的影响较小，除了近岸区的 8 个源点引起的悬浮泥沙扩散范围顺潮流方向延伸的距离约为 0.8km，其它源点引起的悬沙扩散范围顺潮流方向的延伸距离都小于 0.5km。因此，近岸区的悬浮物扩散影响较大，高浓度的水体也主要分布在近岸区，而风电桩基所在海区的影响较小，仅分布在管线和桩基附近的小范围内。

整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 3cm/a

的范围不超过桩基区 3.5km。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

因此，项目施工不会对碣石湾海马资源市级自然保护区（即碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区）水质产生影响，也不会对碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区水质产生影响。

6.9.2 对渔业资源“三场一通道”的影响

本工程位于南海北部幼鱼繁育场保护区、幼鱼幼虾保护区内，同时位于海洋功能区划中的珠海-潮州近海农渔业区和田尾山-石碑山农渔业区。项目施工期产生的悬浮沙对南海北部幼鱼繁育场保护区、幼鱼幼虾保护区以及农渔业区范围内海水水质的影响是暂时的，随着施工的结束，其影响也随之消失，因此施工期对南海北部幼鱼繁育场保护区、幼鱼幼虾保护区不会造成不可逆的不利影响；本项目营运期对渔业资源的影响主要为基础结构占海造成其栖息地的减少，本项目风电电场场址桩基等占用海床约 540.5044m^2，相对保护区所占比例很小，且冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 3cm/a 的范围不超过桩基区 3.5km。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

因此，工程建设不会对鱼类的产卵、索饵、洄游活动造成明显影响。

6.9.3 对其他敏感目标的影响

本工程评价范围内的其他敏感目标还包括金厢重要渔业海域限制类红线区、金厢重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区、湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区、甲子重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区、东海重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区、螯江重要河口生态系统限制类红线区、金厢旅游休闲娱乐区。

本项目 220kV 海缆登陆占用的大陆自然岸线为湖东港砂质岸线，但其用海方式能确保不改变砂质岸线自然属性，能保持岸线的原有生态功能。项目距其他砂质岸线敏感目标和螯江重要河口生态系统限制类红线区、金厢旅游休闲娱乐区较远，项目施工以及施工引起的悬浮沙不会对其造成不利影响。

7 环境风险分析与评价

7.1 环境事故风险评价概述

7.1.1 评价原则

按照《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）的要求，环境风险评价应以突发性事故导致的危险物质环境急性损害防控为目标，对建设项目的环境风险进行分析、预测和评估，提出环境风险预防、控制、减缓措施，明确环境风险监控及应急要求，为建设项目环境风险防控提供科学依据。

7.1.2 评价工作程序

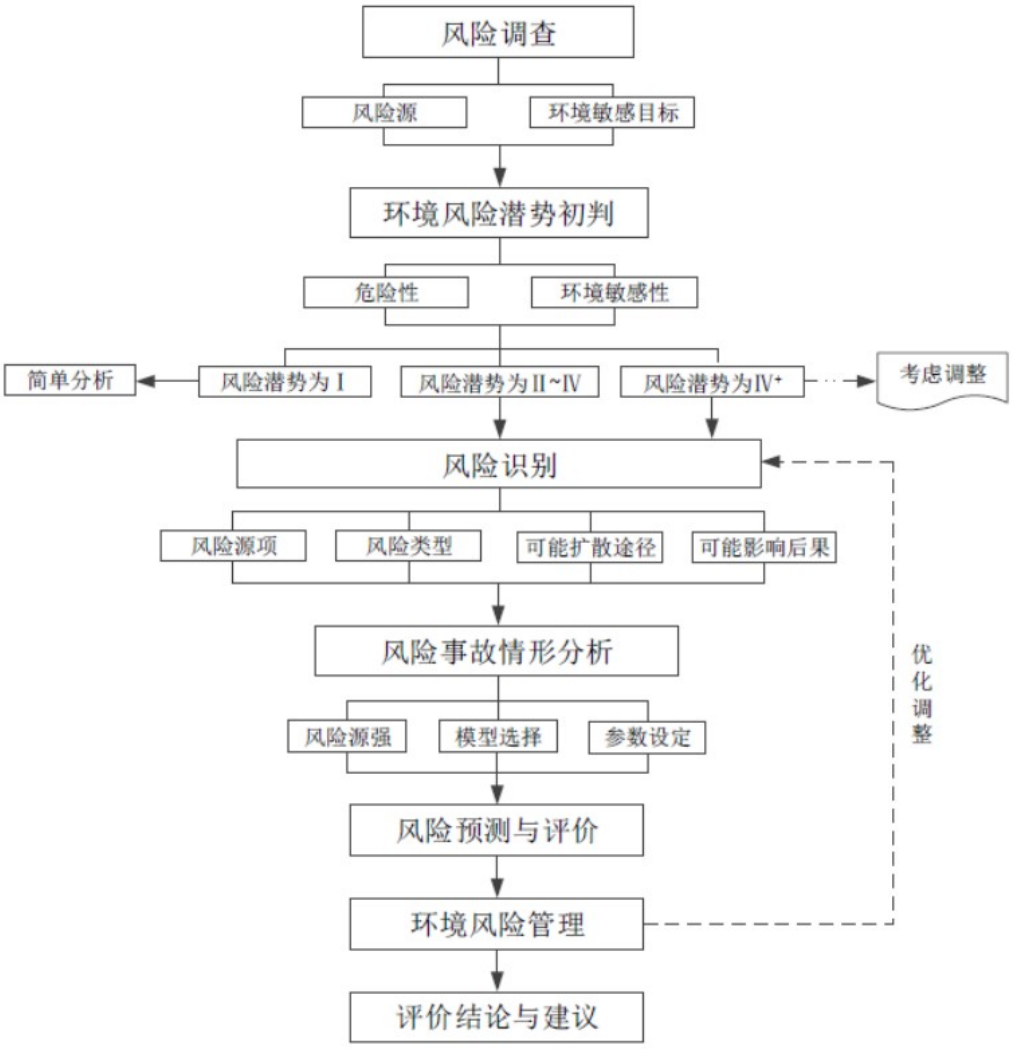


图 7.1-1 评价工作程序

7.1.3 评价工作等级

7.1.3.1 风险潜势初判

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）附录 C，Q 按下式进行计算：

$$Q=\frac{q1}{Q1}+\frac{q2}{Q2}+\cdots\frac{qn}{Qn}$$

式中：q_1，q_2……q_n—每种危险物质的最大存在量，t；

Q_1，Q_2…Q_n—每种危险物质的临界量，t。

当 Q＜1 时，该项目环境风险潜势为 I。

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

Q 的确定见下表。

表 7.3-1 建设项目 Q 值确定表

序号	危险物质名称	最大存在量 q_1/t	临界量 Q_1/t	该种危险物质 Q 值
1	油类	585	2500	0.24

本项目主要施工船舶中最大为 10000 吨的工程驳，燃油总量最大约 650m^3，约合 585t（密度按 0.9t/m^3 计）。

由以上可知，当 Q＜1 时，该项目环境风险潜势为 I。

7.1.3.2 评价等级

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ/T169－2018）评价工作等级划分要求，参照表 7.3-2，本项目环境风险潜势为 I，评价等级为简单分析。

表 7.3-2 评价工作等级划分

环境风险潜势	IV、IV+	III	II	I
评价工作等级	一	二	三	简单分析 [a]

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

7.1.4 评价基本内容

本次评价主要内容有：评估工作船舶污染及油品泄漏环境风险，提出减轻污染危害后果的对策，提出应急方案，具体内容见表 7.1-2。

表 7.1-2 本次船舶污染海洋环境风险评估内容一览表

序号	程序	主要内容

1	风险识别	气象灾害风险分析、溢油事故风险分析
2	源项分析	事故发生概率、源强分析
3	风险影响预测	污染事故危害程度
4	风险评价	综合评价风险可接受水平
5	降低风险对策	减少事故概率和危害后果对策
6	提出应急预案	提出应急能力建设方案

7.2 海域风险识别

本工程为海上风电场，由海上风电机组、海上升压站、海底电缆等部分组成。参考国内外相关资料，上述项目组成部分在建设期和运行期均存在发生突发环境事故的可能，主要包括项目海域内通航环境风险，船舶碰撞溢油风险，热带气旋、风暴潮、台风等自然灾害风险、长时期冲刷造成电缆和海床之间形成淘空的风险和海底线缆突发事故风险以及发生灾害时海上升压站主变油泄漏事故，通过分析最终以溢油事故为评价重点，计算模拟，进行预测。

7.2.1 船舶溢油事故风险分析

溢油污染分为事故性污染和操作性污染两大类，事故性污染是指船舶碰撞、搁浅、触礁等突发性事故造成的污染；操作性污染是指加油作业以及船舶事故性排放机舱油污水、洗舱水、废油等造成的污染。造成溢油事故除一些不可抗拒的自然因素外，绝大部分是由于操作不当或违章作业等人为原因引起的。

溢油发生后，油膜在海面上漂浮扩散，阻止海气交换，将对海洋水环境、生态环境和景观造成影响。

本项目的作业船舶可能影响工程水域船舶的通航，船只相互干扰、碰撞的几率增加，存在一定的交通安全隐患。

1、溢油对海域水质和沉积物环境的影响

受溢油影响的海域，油膜覆盖在海水表面，可溶性组分不断溶于水中，在风浪的冲击下，油膜不断破碎分散，并与水混合成为乳化油，增加了水中的石油浓度。油膜覆盖下，影响海-气之间的交换，致使溶解氧减小，从而影响水的物理化学和生物化学过程。溢油后，石油的重组分可自行沉积，或粘附在悬浮物颗粒中，沉积在沉积物表面。油块可在重力作用下沉降，从而影响沉积物表面物理性质和化学成分。

2、溢油对海域生物资源的影响

油膜覆盖下，影响水-气之间的交换，致使溶解氧减小，光照减弱，从而影

响浮游动物、浮游植物及底栖生物的生长。而溶解及乳化后的油会对水生生物资源造成一定危害，沉积到底质的油类将对底栖生物造成严重影响。因此，一旦发生事故溢油且处理不及时，将对油膜扫过海域的水生生物资源造成一定影响，主要体现在溢油突发时的急性致死影响及围油、回收油不彻底而产生的长期慢性污染影响。

7.2.2 海洋气象灾害风险分析

我国是世界上自然灾害种类最多、活动最频繁、危害最严重的国家之一。台风、暴雨、干旱、冰雹、大雾、高温、低温冷害、雪灾、寒潮、沙尘暴、雷电、龙卷风、大风等气象灾害每年交替发生。近年来我国每年因气象灾害造成的直接经济损失约为2000亿元左右。

热带气旋是项目周边区域主要的气象灾害之一，每年7～9月为热带气旋多发季节，以8月中旬至9月中旬最为频繁。项目所在海域受到热带气旋影响时，伴随风暴增水、狂风、暴雨、巨浪等，是项目施工期巨大的不安全因素。风暴增水如果叠加天文大潮高潮位，则有可能超过标高冲走设施、物料等；狂风会吹走施工前沿的未固定物，影响陆域建筑安全；也可能对风机构筑物的安全造成一定的影响。

7.3 海上溢油事故源项分析

7.3.1 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。

7.3.2 事故发生概率

采用类比法预测操作性船舶溢油事故发生的可能性。选取广东省船舶溢油事故数据作为类比对象。

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 7.3-1 溢油事故发生概率估算表（次/年）

海域	总事故发生概率	<10t	10～50吨	100～500吨	500～1000 吨	1000～10000 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（平均）	1.76	1.44	0.12	0.12	0.04	0.04	0

7.3.3 溢油源强分析

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以及升压站变压器泄漏引发的溢油事故。

本项目施工期作业船舶为非油轮，主要风险因子为燃料油。施工期作业船舶最大为 10000 吨级的工程驳，根据《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017），船舶溢油事故溢油量选取工程的可能最大水上溢油事故溢油量，按照施工船舶的 1 个燃料油边舱的容积确定。参照《水上溢油环境风险评估技术导则》中附录 C，10000 吨级作业船舶燃油舱单舱燃油量为 52m^3，综合考虑，本次溢油风险计算的源强设定为 50 吨，油品为燃料油。

本项目营运期运维船相对较小，船舶吨级约为为 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^3 和 1m^3。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。

表 7.3-2 项目风险事故源强

	项目	预测物质	源强
施工期	船舶碰撞	燃料油	50t
营运期	船舶碰撞	燃料油	25t
	油品泄漏	柴油	56.2t

7.4 海上溢油事故环境风险后果计算

7.4.1 溢油风险预测

7.4.1.1 预测方法

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，在运营期的渔船停泊或者其它作业过程中，也可能会导致船舶碰撞而发生溢油污染事故发生。在本模型计算中，模拟最大吨位船舶的溢油事故，根据前述分析，本次模型计算的溢油量定为 50 吨，油品为燃料油。

假设船舶燃油仓中 50 吨柴油在 6 小时内全部溢出，则溢油强度为 Q=50000kg/6/3600s=2.31kg/s。为方便预测计算，假设 300 个油粒子代表 50 吨的油料，即每个油粒子代表 167kg 的油量。由于溢油发生在不同地点时扩散范围差异较大，每个油粒子代表的溢油油膜面积和影响范围跟溢油点、溢油发生时间（涨潮、落潮）、风速、流速、波浪等因素有关，所以，每个油粒子代表的溢油油膜面积是一个受多因素影响的、不断变化的值。溢油模拟的情况只是一个大概的范围，具体的油膜范围受多种环境影响因子控制。

不可溶泄漏物多为油状液体，密度比水轻，在空气的蒸发或挥发以及在水中溶解性都很小。因此，当石油类物质溢散到水层表面时，就会发生各种变化，产生各种现象，反应出溢油的特征。首先发生的变化是快速扩散，同时产生挥发现象，挥发速度的快慢决定于石油的性质、天气状况和地形位置。溢油在自然界还可发生各种反应，如氧化反应、乳化作用、溶解作用、微生物降解等。各种反应之间都是相互关联的，这些现象和反应会造成溢油性质的改变，或者影响到水面除油的方法。因此，不可溶泄漏物溢出到海面以后，存在以下几种运动形态：

扩展 由于油品比水轻，将漂浮于水面。在初期阶段由于受重力和表面张力的作用而在水面上向四周散开，范围越扩越大。这个过程称为油的扩展。

漂移 是指油膜在海流、风、波浪、潮汐等因素的作用下引起的漂移。

分散 油品在海面形成油膜以后，受到破碎波的作用使一部分油品以油滴

形式进入水中形成分散油。一部分油滴重新上升到水面，也有部分油滴从海面逸出而挥发到大气中。

乳化 由于机械动力，如涡旋、破碎浪花、湍流等因素，使油品和水激烈混合，形成油包水乳化物和水包油乳化物。

吸附沉淀 部分油品粘附在海水中的悬浮颗粒上，并随之沉到海底。

生物降解 海洋环境中的微生物对水中的油品有降解作用。

油品在海洋环境中的归宿问题是个复杂的问题，由于受到各种环境条件(温度、盐度、风、波浪、悬浮物、地理位置和本身的化学组成等)的影响，每一次事故溢出物的归宿也不尽相同。其主要的影响因素有乳化、吸附沉淀和生物降解等。

溢油在水体中的运动主要表现为两种过程：在平流作用下的整体位移和在剪流与湍流作用下的扩散。溢油自身的表面扩展过程持续时间很短，而持续时间较长的运动形式主要表现为平流输运和湍流扩散。平流和湍流两种运动模式同时存在，通常称为“平流—扩散”问题。以往多数的研究方法都是基于各种类型的平流扩散方程的数值求解，这类数值方法的困难在于数值扩散问题，即数值离散引进的一种与物理扩散无关的伪扩散效应，可能存在数值扩散完全掩盖物理扩散的现象，使所得到的数值结果完全失真，不能描述真实的物理过程。

本次模拟采用“油粒子”方法来模拟溢油在海洋环境中的形成，即把溢油分成许多离散的小油滴(或小斑块)来模拟溢油在水体中的输运扩散过程。采用“粒子—扩散”概念的方法可以真实地重现许多实际观测到的溢油扩散特征。例如潮流和风将油膜拉长，波浪导致油膜的破裂等特征。

“粒子扩散”的概念，是把浓度场模拟为由大量的粒子组成的“云团”，其个每一个粒子携带一定数据的示踪物质，采用拉格朗日法模拟油粒子在特定的流场条件下发生平移和位移的过程。再迭加油粒子在湍流场中的随机运动，即采用同时考虑到平流和湍流的扩散模式。

7.4.1.2 参数选取

本报告采用溢油粒子漂移模型进行预测，溢油模型采用的动力是根据潮流模型计算的结果和风场叠加后的动力，边界条件等设置见潮流模型。

油粒子模式为：假设油膜由油粒子为代表，所有油粒子在海流和风作用下作拉格朗日运动，某一油粒子其运动遵循下列运动方程控制：

原坐标为(X_0，Y_0)油粒子在Δt时间后漂移到坐标(X，Y)则

$$X = X_0 + u_i \times \Delta t + R_x$$

$$Y = Y_0 + v_i \times \Delta t + R_y$$

$$u_i = u_{ci} + \alpha w_{xi}$$

$$v_i = v_{ci} + \alpha w_{yi}$$

u_{ci}和v_{ci}分布是坐标(X_i，Y_i)的海流东、北分量；w_{xi}、w_{yi}为风速东、北分量，α为风对油膜拖曳系数，采用 ECOMSI 公式，R 为随机扩散位移，同流速、流向、时间有关。

$$R_X = \beta u_{ci} \times (\alpha + 1/e^t)$$

$$R_y = \beta v_{ci} \times (\alpha + 1/e^t)$$

跟踪每一油粒子(X，Y)的位置，统计油粒子扫过的网格面积，可得油膜在各区域的面积。

7.4.1.3 风险组合

在本报告中分别对大潮涨潮期和落潮期发生溢油泄漏事故的情况进行计算，并选取常风向下的大风风速情况进行预测分析。

根据潮流状况与盛行风况的条件确定预测组合。潮流分涨初时刻、涨潮初始时刻发生溢油的状况；根据风玫瑰图，项目所在海区冬季的常风向为东北东向风（ENE 向），风速取最大可作业风速为 13.8m/s；夏季常风向为南南西向风（SSW 向），风速取最大可作业风速 13.8m/s；另外，为了模拟不利风向情况下的溢油扩散，选取对岸吹的风向 S 向风。模拟工况组合情况如表 7.4-1。溢油源点见图 7.4-1，位于海上集控中心处。

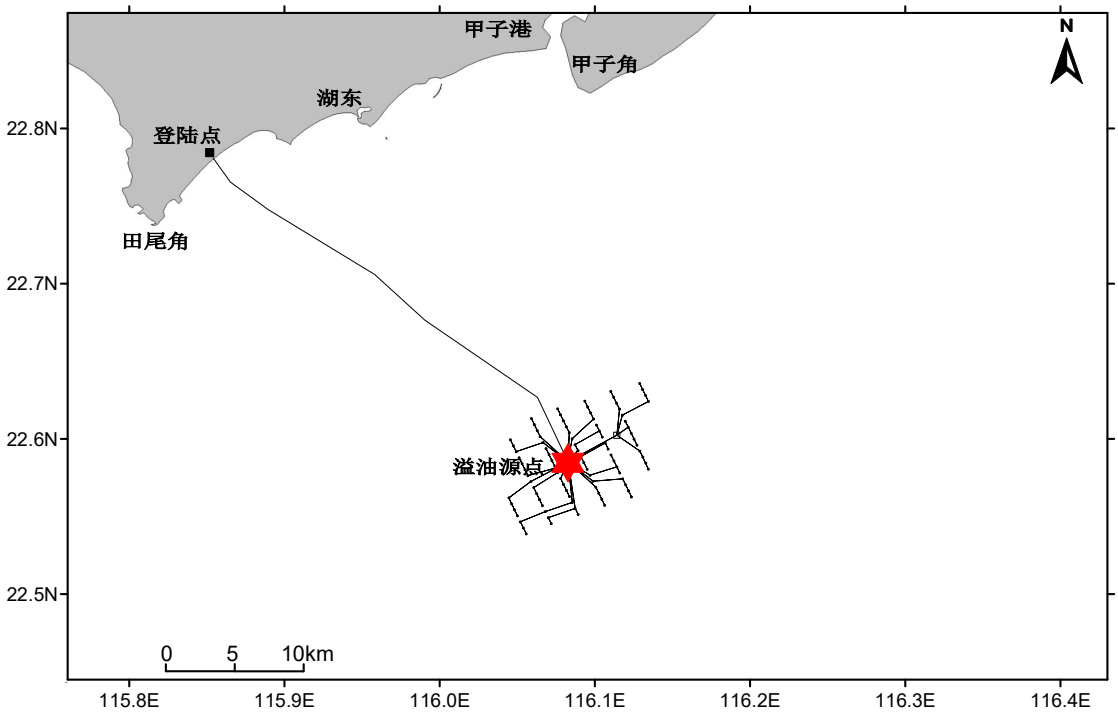


图 7.4-1 溢油源点位置示意图

表 7.4-1 预测风险组合 1

方案组合	事故点	溢油量（t）	风向	风速	选择原因	溢油开始潮流状况
1	海上集控中心附近	50	SSW	13.8	夏季最大可作业风	落潮
2			SSW	13.8	夏季最大可作业风	涨潮
3			ENE	13.8	冬季最大可作业风	落潮
4			ENE	13.8	冬季最大可作业风	涨潮
5			S	13.8	对岸的不利风向	落潮
6			S	13.8	对岸的不利风向	涨潮

7.4.1.4 溢油数值模拟预测结果

根据模型预测，预测风险组合 6 种情况下溢油事故发生后的油膜漂移轨迹及其扩散范围见图 7.4-2 和图 7.4-7，各风况下的油膜的扫海面积、抵达敏感区时间

见表 7.4-2。

从计算结果可见，不同组合情况下油膜漂移轨迹有差异，油膜漂移主要取决于风况与潮流的共同作用。

工况 1 至工况 6，由于本海区的潮流较弱，风速为 13.8m/s 时，风应力的作用占主导，溢油扩散的方向基本为顺风的方向。工况 1 和工况 2，SSW 向风作用时，油粒子向东北方向扩散，主要影响的岸段为甲子角至神泉港沿岸，由于风电场离岸较远，溢油发生后大约 24 小时左右即抵岸。工况 3 和工况 4，在 ENE 向风的作用下，油粒子向外海西南方向扩散，扩散的范围和距离都较大，但对近岸海域的影响较小。工况 5 和工况 6，溢油发生在落潮初期时，油粒子主要向甲子港的西侧扩散，近岸的养殖区会受到影响；溢油发生在涨潮初期时，油粒子抵岸处为甲子角并向甲子港内扩散，对甲子港的影响较大。

由于本模型中油粒子靠近岸边即视为停止扩散运动，因此与现实中油粒子靠岸不一定即停止运动有所差异。

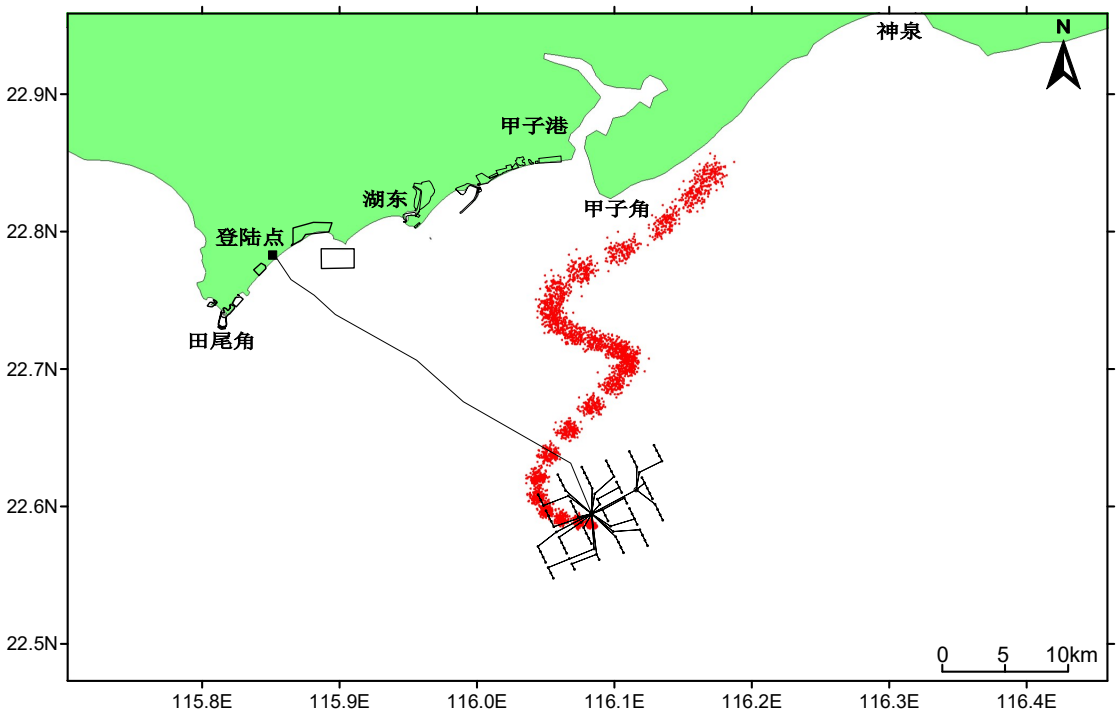


图 7.4-2　工况 1，夏季风落潮时溢油漂移路径及扩散范围（SSW，风速 13.8m/s）

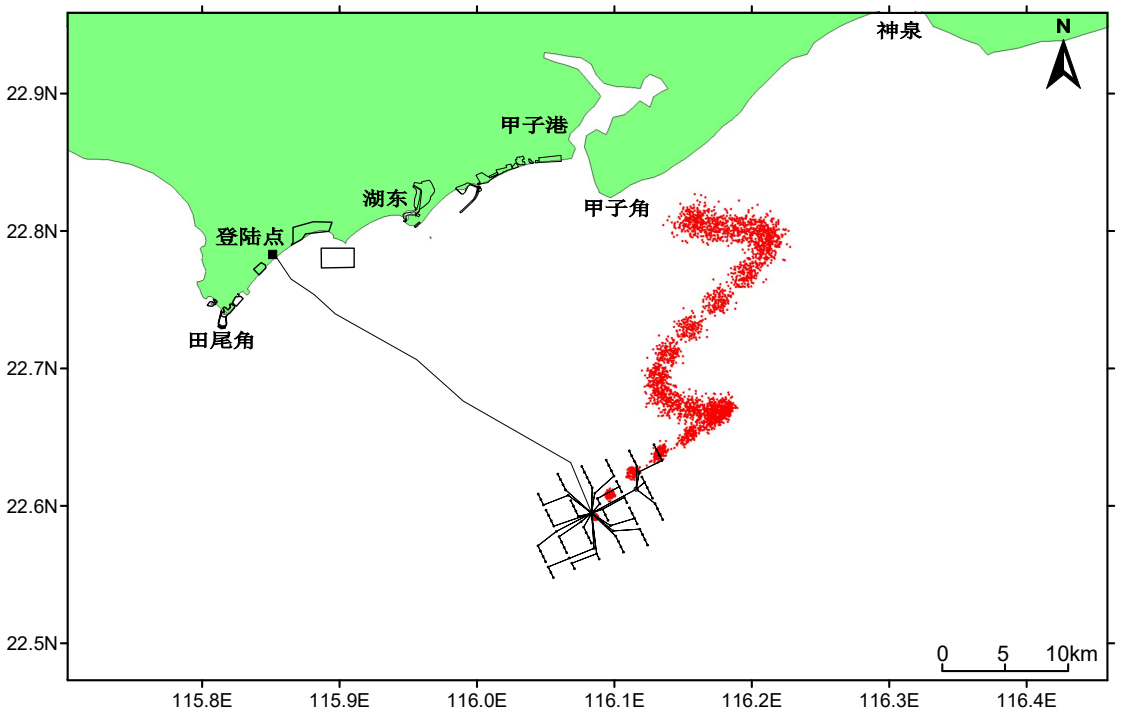


图 7.4-3　工况 2，夏季风涨潮时溢油漂移路径及扩散范围（SSW，风速 13.8m/s）

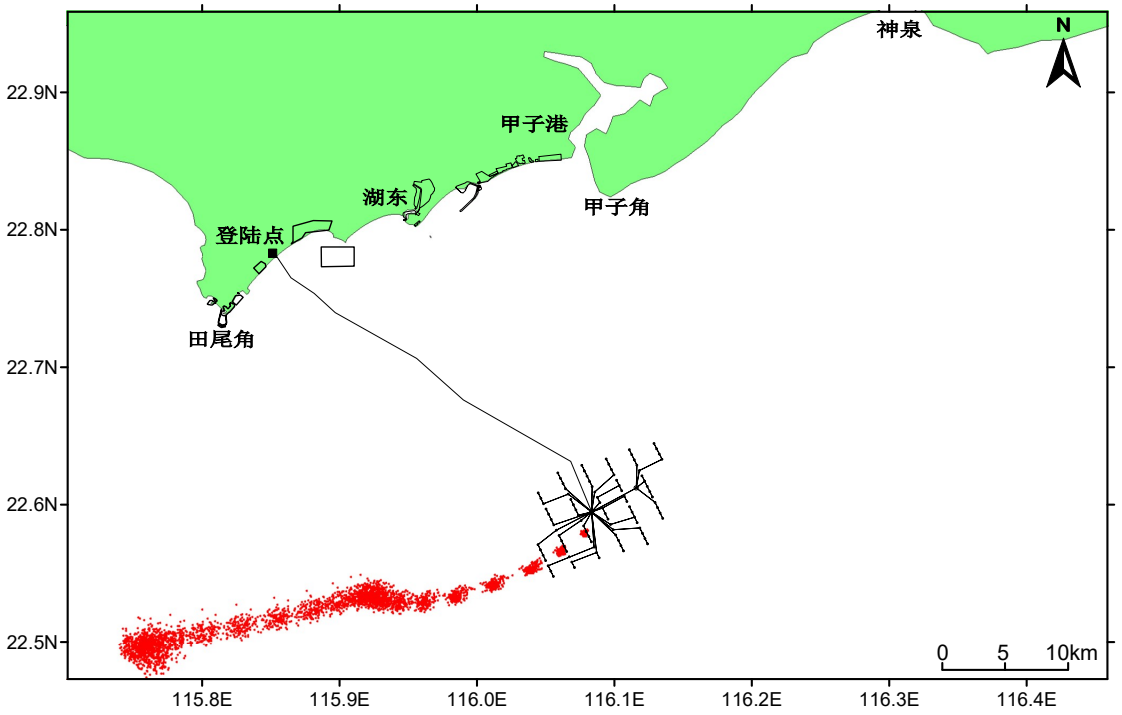


图 7.4-4　工况 3，冬季风落潮时溢油漂移路径及扩散范围（ENE，风速 13.8m/s）

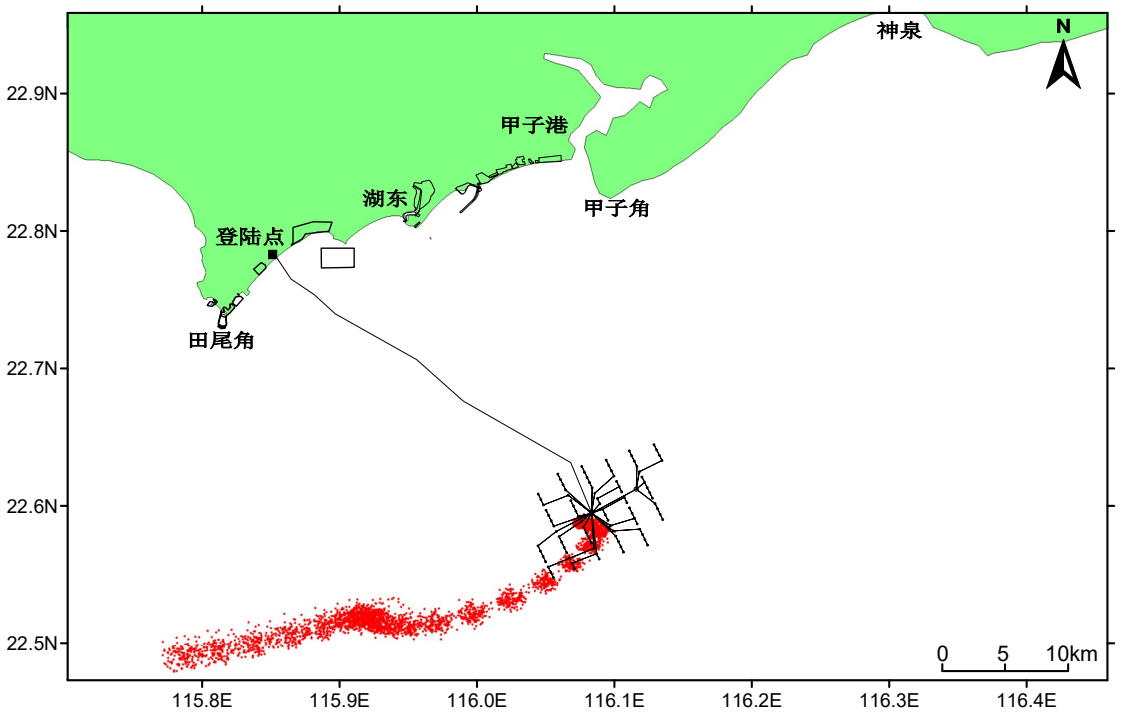


图 7.4-5　工况 4，冬季风涨潮时溢油漂移路径及扩散范围（ENE，风速 13.8m/s）

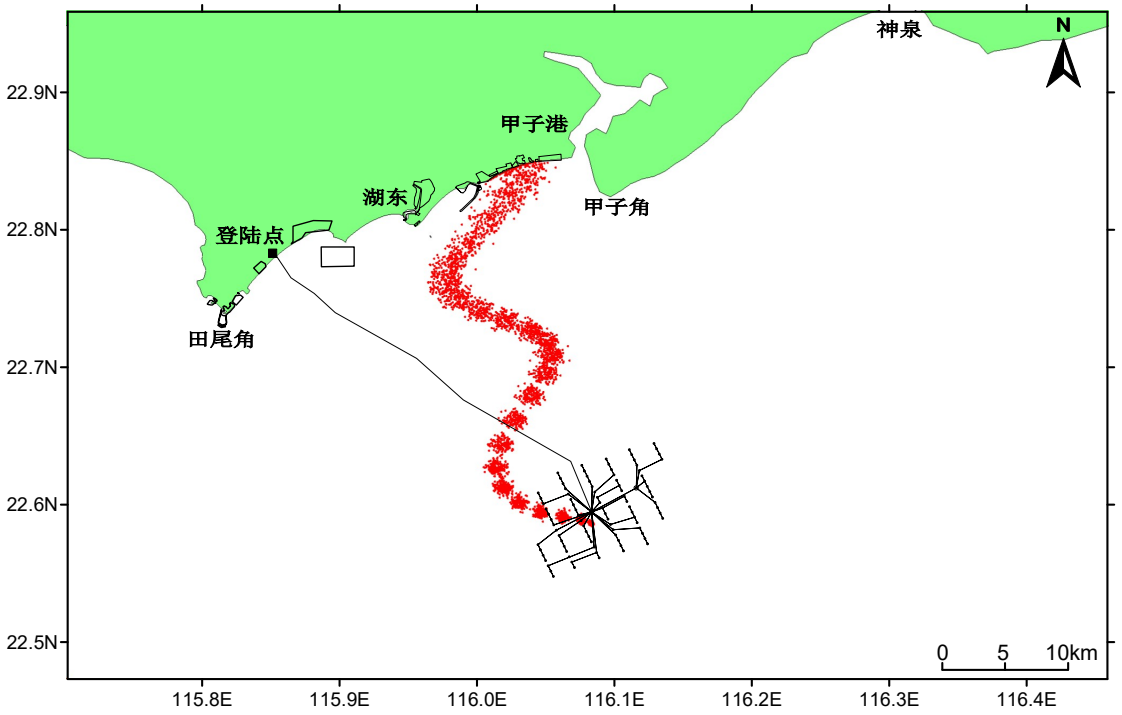


图 7.4-6　工况 5，不利风落潮时溢油漂移路径及扩散范围（S，风速 13.8m/s）

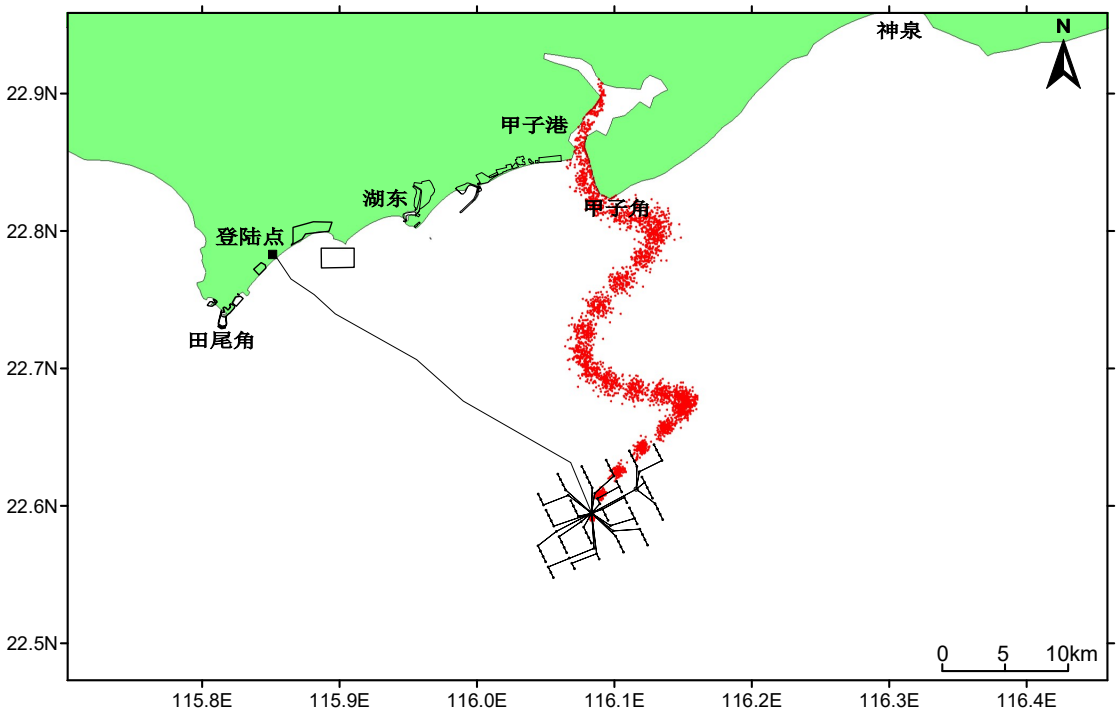


图 7.4-7　工况 6，不利风涨潮时溢油漂移路径及扩散范围（S，风速 13.8m/s）

表 7.3-2 各风况下的油膜的扫海面积、抵达敏感区时间（源点 1）

典型风向	风速	初始溢油时刻	扫海面积（km2）	抵达敏感点的时间（h）（地点）
夏季风向 SSW	13.8m/s	落潮	23.78	25(甲子角至神泉港沿岸)
		涨潮	28.84	26(甲子角至神泉港沿岸)
冬季风向 ENE	13.8m/s	落潮	25.63	--
		涨潮	28.29	--
不利风向 S	13.8m/s	落潮	25.14	23(甲子港西侧沿岸)
		涨潮	26.02	22(甲子港、甲子角)

7.4.2 溢油事故危害后果评价

海难性事故最可能发生事故风险概率划分和危害后果定性分类见表 7.4-3 和表 7.4-4。

根据本项目的溢油量和风险发生概率，本项目的风险概率和风险后果处于极小和小风险区，由最可能发生事故风险评估矩阵图（见图 7.4-5）可知本项目为低风险项目，但是仍需要采取适当的、必要的措施降低风险。

表 7.4-3 最可能发生事故风险概率划分

分类	说明	定义
F1	极大	每 1 个工作年内发生一次的事件

F2	大	每 1～10 个工作年发生一次的事件
F3	中	每 10～50 个工作年发生一次事件
F4	小	每 50～100 个工作年发生一次的事件
F5	极小	超过 100 个工作年发生一次的事件

表 7.4-4 最可能事故危害后果定性分类

分类	描述语	详细说明
C1	特别重大	事故级别为特别重大，船舶溢油 1000 吨以上，或造成直接经济损失 2 亿元以上，或对环境造成特别重大影响。
C2	重大	事故级别为重大，船舶溢油 500 以上不足 1000 吨，或造成直接经济损失 1 亿元以上不足 2 亿元，或对环境造成重大影响。
C3	较大	事故级别为较大，船舶溢油 100 吨以上不足 500 吨，或者造成直接经济损失 5000 万元以上不足 1 亿元，或对环境造成较大影响。
C4	一般	事故级别为一般，船舶溢油 50 吨以上不足 100 吨，或者造成直接经济损失 1000 万元以上不足 5000 万元，或对环境造成一般影响。
C5	较小	事故级别为较小，船舶溢油量 50 吨以下，或者造成直接经济损失不足 1000 万元，或对环境造成影响较小。

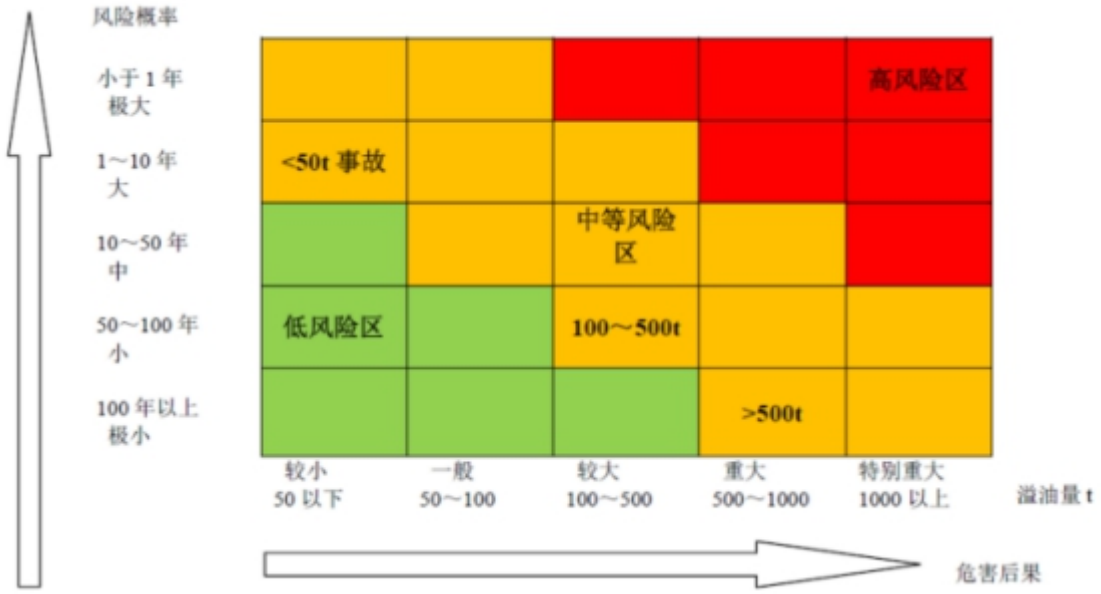


图 7.4-5 最可能发生事故风险评估矩阵图

7.5 海上溢油事故风险防范措施

7.5.1 海上溢油事故防范措施

1、系统地采取预防措施

采用“人、机、环境、控制（管理）”四大要素，对每个要素采取切实有效的安全措施。为了预防事故，就必须从根本上控制公司岸上、船上工作人员的职业素质和操作；控制船体、机电设备的技术状态，严格维护保养，保障其运转正常；

正确估量航行环境中蕴含的自然力量和船舶的抵御能力，及时正常地预报天气和海况，及时规避灾害天气，避免不可抗力的袭击；加强公司岸上和船上的安全管理，完善机构、规章及其运作。国际海事组织要求公司按照 ISM 规则建立安全管理体系（SMS）并予有效运作和取得证书，其船舶才可从事国际航行；通过港口国监控（PSC）对船舶的技术状况和安全操作进行监控等。

2、船舶驾驶员的业务技术应符合要求

按《防治船舶污染海洋环境管理条例》，落实本条例规定的防治污染有关措施。人的不安全行为是事故因果链中引发事故的直接原因，规范船员操作行为能直接阻止事故的发生。ISM 规则要求对影响安全的关键操作和特殊操作进行控制。

3、健全维护保养制度，确保机电设备正常运转

主机、供电系统、舵机是船舶在大风浪中的自下而上保障，任何故障和失灵，都会使船舶面临事故危险。健全维护保养制度并予切实执行和有效监督，意味着远离危险和减少事故。在横倾初期，可迅速调整压载水和移驳燃油、淡水来控制，压载泵、消防泵、驳油泵、淡水泵就必须随时可用。在进水初期，污水泵等排水系统必须有效工作。

4、加强航道内船舶交通秩序的管理

本项目应积极配合航道交通管理部门对船舶交通秩序的管理，及时掌握进出航道船舶的动态，在本项目船舶通过时，尽量对其它船舶采取避让措施等。

5、掌握天气动态，规避灾害天气

船舶遵守货物系固规定，能以不变应万变地抵御通常的航海风险。船长必须正确、周密地分析和估计航程中的天气动态及其对本船的影响，及早采取针对性的防范措施。对于灾害性天气，应及时规避，尽可能避免遭遇和对峙，但应作好应急对抗准备。

6、健全应急演习制度

应急反应计划使人员职责和关系明确，程序清楚。应急演习能使船员综合运用有关知识和技能，熟悉群体配合。应急计划，应包含货物移动和船舶横倾、机电失灵、船舶破损和船舶进水、灭火时积水处理、溢油处理等单项。为了保证演习效果，可在演习前数天作有针对性的讲授和演示。演习时应如同实战。演习后应作讲评和总结，必要时应作补充培训。

7、健全公司安全管理

船舶公司有责任使船机维护、人员职责和操作管理规章完备，严格执行监督和纠正环节。公司应对船长规避灾害天气赋予决策权并给予必要的指导，向船长提供足够的维护、操作和系固资源，按规定检查和督促防倾覆反应计划及溢油等其他应急计划的演习。

7.5.2 海上溢油事故应急措施

对于重大或不可接受的风险，制定应急响应方案，建立应急反应体系，事件一旦发生时可迅速加以控制，使危害和损失降低到尽可能低的程度。

1、溢油应急指挥组织。该组织应由企业生产管理部门、公安、消防、海事部门、环保部门、救捞部门、海洋部门、渔监、水产部门、卫生防疫、安监等职能部门组成，并确定事故应急领导小组，组长应由项目主管经理担任并全面负责。

2、溢油联络机构。应建立相应的快速灵敏的报警系统和通讯联络系统，以便发生事故时及时进行抢险作业。

3、溢油作业队伍的建设。确立各种事故的抢险人员体系，并登记保存于计算机系统，同时应对抢险人员作定期培训和演练的计划，以确保关键时发挥其主力军作用。

4、溢油应急设施的配备。配置相当数量的溢油应急设备和器材，建议充分利用区域内溢油应急防治设备。

5、溢油应急反应及油污处置方法。具体见 7.5.4 小节。

6、溢油应急行动计划应报当地海事部门备案。

7、一旦发生溢油事故，应立即采取全面有效措施向可能受到危害者通告并向当地海事部门上报。

7.5.3 主要溢油应急设备资源

7.5.4 溢油应急处理方法

溢油处理方法很多。针对海上的溢油应急情况可选择一些溢油控制方案，但必须考虑到所需设备、环境因素的影响，因此要注意优先权的选择。通常可选择的措施有围控和机械回收、喷洒化学消油剂等。

1、围控和机械回收

燃料油溢到水面后，自身重力和风、流以及其他因素的作用下会迅速扩散和

漂移。因此，溢油应急反应的首要任务是尽快采取有效措施，控制溢油，阻止其进一步扩散和漂移，以减少水域污染范围，减轻污染损害程度。这种将溢油控制在较小范围并阻止其进一步扩散和漂移所采取的措施称为溢油围控。

围油栏对溢油的围控、导流和防范作用，要通过适当的布放形式来实现。在开阔水域布放围油栏，主要采用两船拖带和三船拖带方式，具体还要根据实际情况而定。

①两船拖带之“J”型

如下图所示，这种形式需要用两艘船。一艘作为主拖船，用于拖带围油栏较短的一端，同时存放所需的回收设备和回收作业人员；另一艘作为辅拖船，用于拖带围油栏较长的一端。围油栏的长度需要 200-400m。从主拖船至 J 形底部之间围油栏的长度为 20-40m，撇油器放置在 J 形的底部。围油栏要尽可能紧靠在主拖船的一侧（10-20m），以便于撇油器或其它回收设备的操作。

为了获得并保持理想的围油栏底部形状，可以通过拉动连接围油栏与船舶之间的绳索，对围油栏底部的形状进行适当的调整。

在进行两船拖带作业时，一般情况下，主拖船为指挥船，主拖船应根据溢油围扫情况及时、准确地向前面的拖船发出指令，拖船应注意随时与主拖船良好的通信联络，严格按照指令及时调整航向和航速，只有这样才能时刻保持良好的 J 型围扫形式，达到理想的溢油回收效果。

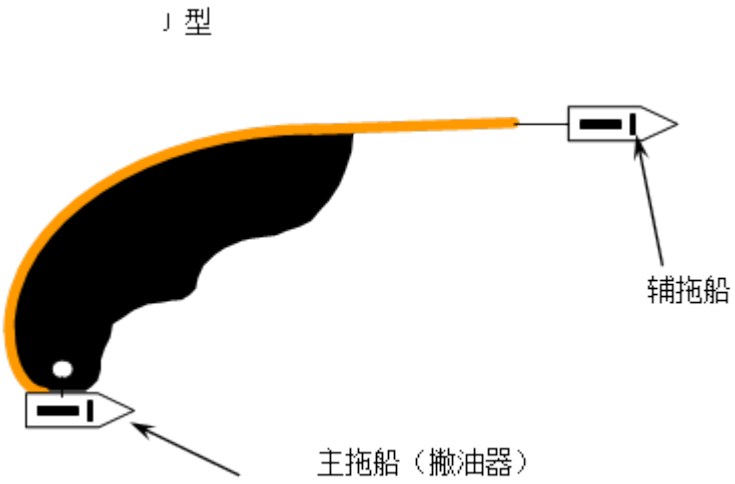


图 7.5-1 “J”型拖带

②两船拖带之“U”型

如下图所示，U 形拖带由三艘船来完成。拖带时，在前面两艘拖带船同时并

进的同时，第三艘船舶则应根据两艘拖船行进的速度，始终处于 U 形的底部外侧，利用撇油器对 U 形底部聚集的油膜进行回收作业。此种形式的围扫作业，回收量较大。

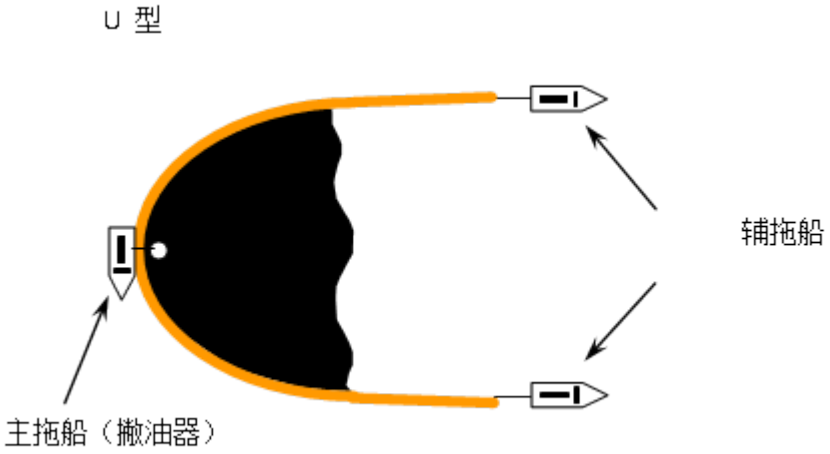


图 7.5-2 “U”型拖带

2、喷洒化学消油剂

使用化学消油剂的原则：海面溢油首先使用机械回收，消油剂应严格控制使用，在发生油污染事故时，应优先采取回收措施，对少量确实无法回收的油，经海洋行政主管部门准许后，方可使用少量的化学消油剂。一次性使用化学消油剂的数量，应根据不同海域和敏感区等情况，由海洋行政主管部门做出具体规定。作业者应按规定向海洋行政主管部门报告，经准许后方可使用。

在海面浮油可能发生火灾或者严重危及人命和财产安全，又无法使用回收方法处理，而使用化学消油剂可以减轻污染和避免扩大事故后果的紧急情况下，使用消油剂的数量和报告程序可不受限制，但事后应将事故情况和使用化学消油剂情况详细报告海洋行政主管部门。

7.5.5 海上溢油事故应急预案

一旦发生海上溢事故时，业主、船方和管理部门应共同协作，及时启动溢油应急计划，把油污染减少到最低程度。为了能及时作出反应，对溢油事故作出最快速、最有效的处理，本评价提出的溢油应急预案，是针对本章内容提出的溢油风险防范，不能代替业主单位的应急预案报告的编制内容。本小节的应急预案主要包括应急响应通知程序、应急机构建立和应急措施程序。

1、应急响应通知程序

为了确保有关人员能在发生事故时能及时得到警报并针对发生的紧急情况

作出相应的反应，采取应对措施而设定应急响应通知程序，一旦通知在应急小组指挥范围内，应急措施程序就立即生效。

本项目的应急响应通知程序主要包括：当船舶发生碰撞导致油泄漏事故时，应及时向应急值班报告，同时向海事主管部门汇报。并立即将事故简要报告上级主管领导、生产指挥系统，通知当地公安、消防部门、环保部门和港监部门。

2、应急措施程序

一旦船舶发生碰撞发生油泄漏时，要及时在四周布设围油栏，用最快的办法将船舱内的油品用泵输送、转移到另一艘完成的油船中去；

当溢油发生后，应根据溢出量的大小、油的扩散方向、气象以及海况条件，迅速估算出围油方向和面积，缩小围圈，用吸油船最大限度地回收流失的油，然后加消油进行分散乳化处理，破坏油膜，减轻其对海域的污染。本项目海上溢油事故的应急处理方法和程序如图 7.5-3。

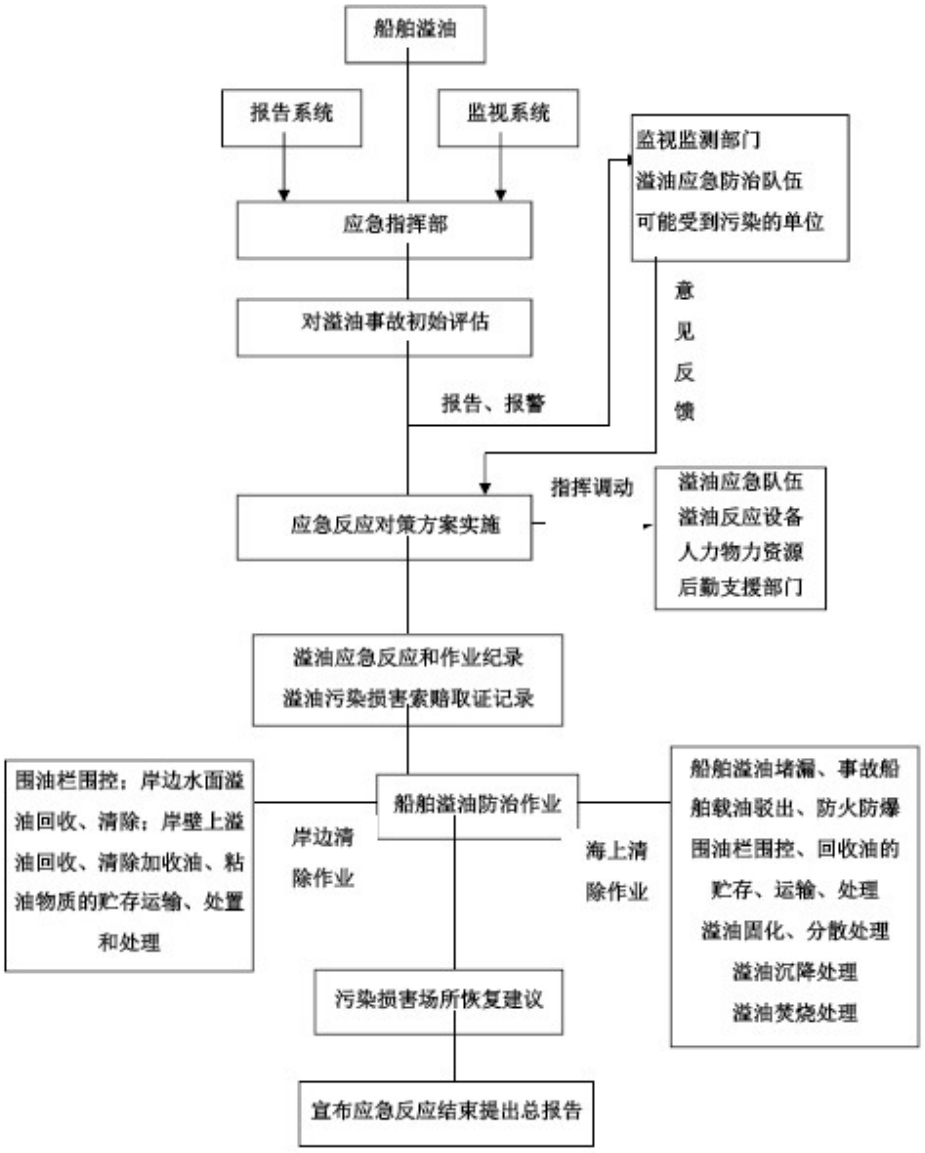


图 7.5-3 小型溢油事故应急反应程序图

组织织抢险队和救护队迅速奔赴现场。抢救伤员，同时采取防止事故蔓延或扩大的措施；

在现场领导小组的统一组织指挥下，按照制定的抢修方案和安全技术措施，周密组织，分工负责，在确保安全的前提下进行抢修。

3、应急器材设备

参考交通部 2009 年发布的“港口码头溢油应急设备配备要求”JT/T 451-2009 的规定，通用码头也应配置溢油应急设备，港口或同一港区、作业区的码头，可根据自身情况建立联防机构。通常的溢油应急设备有：围油栏、消油剂、消油剂喷洒装置、收油机、吸油毡、吸油拖缆、溢油回收船等。当发生事故风险时，应请求海事和环保部门统一调配周边相关应急力量，公共完成事故风险控制工作。

4、应急通讯系统

本工程项目所具备的现代化通讯设备，能够满足溢油应急通讯的需要，无须另行设置新的专门的通讯系统。

7.6 海洋自然灾害风险分析与评价

7.6.1 海洋自然灾害影响分析

风电场易受的自然灾害风险来自雷击和台风袭击。

（1）雷击对风电场的影响分析

空中的尘埃、冰晶等物质在大气运动中剧烈摩擦生电以及云块切割磁力线，在云层上下层分别形成了带正负电荷的带电中心，运动过程中当异性带电中心之间的空气被其强大的电场击穿时，就形成放电。对风电场运行带来危害的主要是云地放电，带负电荷的云层向下靠近地面时，地面的凸出物、金属等会被感应出正电荷，随着电场的逐步增强，雷云向下形成下行先导，地面的物体形成向上闪流，云和大地之间的电位差达到一定程度时，即发生猛烈对地放电。

雷电一般具有：冲击电流大；持续时间短；雷电流变化梯度大和冲击电压高等特点。通常雷击有三种形式，直击雷、感应雷、球形雷。

风机设备遭受雷击受损通常有下列 4 种情况：

1）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；

2）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；

3）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；

4）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。

（1）台风对风电场的影响分析

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。

台风对风电场的造成的损害包括：

1）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。

2）台风带来的狂风暴雨对输电线路的破坏。

3）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。

4）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。

7.6.2 海洋自然灾害防范措施

（1）防雷措施

针对雷电对设备的破坏特性，建议在叶片上翼面复合材料中加入具有良好导电性能和比重轻的碳纤维，并在叶尖部位装一个接闪器，通过电缆与叶片法兰连接，再由轮毂通过塔架内的接地线接入地网形成雷电通道。当雷电击中叶片时，强大的雷电流通过雷电通道泻入大地，达到避雷效果，而不致使对叶片及其他设备造成损坏。

对于雷电脉冲的危害，每台升压变压器高压侧均装设一组氧化锌避雷器，避雷器能把因雷电感应而窜入电力电缆线、信号传输线的高电压限制在一定范围内，保证设备不被击穿而达到防雷效果。

本项目风电场风力发电机组和升压变压器部分接地电阻小于 4Ω，风力发电机塔架基础以及变电站的基础均可作为自然接地体，再敷设必要的人工接地体。对地电阻小，雷电流能够迅速散流到大地，设备不会因地电位“反击”而损坏。

通过风电场的合理布置并采取上述防雷击措施，风机及电气接线和升压设备能有效抵御雷击造成的损害。

（2）台风（热带气旋）预防措施

为减少台风给风电场带来的损失，根据台风的破坏机理本报告提出下列防范措施：

1）装置性能可靠的测风仪器，建议使用受风面积小、不易受破坏且能精确测量风速、风向的红外超声波感应仪，避免因测风仪器损坏使风力发电机组不能正确偏航避风。

2）推荐使用强度高、质量轻的碳纤维增强型塑料作为风机叶片的填充材料以提高风机叶片的强韧性，从而提高风机设计荷载。

3）加强风机运行的强度监测，优化运行。在叶片上设置具有检测作用的光导纤维，实时了解叶片的载荷、温度、被伤害和疲劳程度，根据实际情况，及时维修并对其优化合理使用。

7.7 陆域工程环境风险分析

7.7.1 陆域风险识别

7.7.1.1 物质危险性识别

本工程陆域集控中心站内可能产生环境风险的物料为 500kV 变电站内的变压器油。

变压器油是电气绝缘用油的一种，是石油的一种分馏产物，其主要成分为烷烃、环烷族饱和烃及芳香族不饱和烃等化合物，有绝缘、冷却、散热、灭弧等作用。

事故漏油一般在主变压器出现事故时产生，若不能够得到及时、合适处理，将对环境产生严重的影响。废旧蓄电池如不妥善保存随意丢弃，其内部的重金属和酸碱等可能泄露到环境中，最终污染土壤水源等。

7.7.1.2 生产过程潜在危险识别

变压器油位于主变压器中，每台单相主变下方设置一个集油坑，各集油坑再与事故油池连通。变电站主变事故油池容量约为 200m^3。

根据国内已建成运行的 500kV 变电站的运行情况，除非设备年久失修老化，主变事故漏油发生概率极小。根据设计，一旦发生事故，变压器油将先排入集油坑，再经排油管道进入事故油池，容量可满足最大单台单相主变事故油量要求，不会外溢。事故废油等经处理后由建设单位回收利用，不能处理的交由有资质的单位处理，不外排。

站内运行过程中产生的废旧蓄电池将统一收集后交由有资质单位处理，不随意丢弃，不会对环境造成影响。

综合以上分析，本项目陆域工程的环境风险因子为事故油，主要风险单元为主变压器。

7.7.2 风险影响分析

① 最大可信事故的确定

根据以上分析，本工程最大可信事故为主变事故漏油外溢。

② 泄漏量的计算

最大泄漏量为 1 台单相主变的变压器油量。

③ 事故影响简要分析

主变事故漏油一旦外溢，将汇集到站区雨水管道，经站区雨水排水系统排至站外排洪沟，影响周围水体水质。

7.7.3 环境风险管理

（1）环境风险防范措施

环境风险防范措施是在安全生产事故防范措施的基础，防止有毒有害物质泄漏进入环境的措施。

变电站负责环保的部门主管站内的环境风险防范工作，制订实施站内环境风险防范计划，明确管理组织、责任人与责任范围、预防措施、宣传教育等内容，主要有以下环境风险防范措施：

①设置事故油收集设施

根据《220kV～750kV 变电站设计技术规程》等规范要求，工程在变电站内已设置集油坑、事故油池及连接管线。

主变下方设置集油坑，集油坑容积不低于单台单相主变油量(66t)的 20%。

根据规范要求，因单相主变每相间均有防火墙相隔，设计时考虑单台主变事故时所需应急容量。本工程在站区东南侧设置总事故油池，考虑到单台主变总油量约为 66t（体积约 71.5m^3），事故油池有效容积为 200m^3；同时事故时单次消防喷头喷水容量约 129.5m^3（速度为 90L/s，喷水时间约 0.4 小时），事故油池尺寸为Φ8m×5m （直径×高，尺寸为现阶段暂估尺寸），根据设计规程，油池有效容积不低于单台主变油量(66t)的 60%，能够满足设计规程和消防要求，事故油池具有油水分离功能。

② 事故油处置要求

工程变压器油为石油的一种分馏产物，属于危险废物，应交由危险废物处理资质的单位接收处理。

③ 建立报警系统

针对本工程主要风险源主变压器存在的风险，应建立报警系统，主变压器设专门摄像头，与监控设施联网，一旦发生主变事故漏油，监控人员便启动报警系

统，实施既定环境风险应急预案。

④ 防止进入周围水体

为防止主变事故漏油的情况下，变电站内设置主变事故油池，一旦发生事故，变压器油将先排入集油坑，再进入事故油池。如果事故油通过站内排水系统排至站外排洪沟，需采取相应的截流措施。

7.7.4 环境风险防范应急措施

考虑到主变事故漏油可能造成的后果，建立快速科学有效的漏油应急反应体系是非常必要。漏油事故的应急防治主要落实于应急计划的实施，事故发生后，能否迅速有效的做出漏油应急反应，对于控制污染、减少污染对环境造成的损失以及消除污染等都起着关键性作用。主变事故漏油的应急反应体系包括以下几方面的内容：

① 变电站内健全的应急组织指挥系统。

以变电站站长为第一责任人，建立一套健全的应急组织指挥系统。

② 加强主变压器、事故油池的日常维护和管理。

对于主变压器、事故油池的日常维护和管理，指定责任人，定期维护。

③ 完善应急反应设施、设备的配备。

防止事故漏油进入周围水体的风险防范措施须落实，事故废油及含油废水经事故油坑、管网排入事故油池，需做好事故油系统的防腐防渗，按照“三同时”的要求进行环保验收。

④ 指定专门的应急防治人员，加强应急处理训练。

变电站试运行期间，组织一次应急处理训练，投入正常运行后，定期训练。

8 清洁生产和总量控制

8.1 清洁生产分析

《中华人民共和国清洁生产促进法》明确指出：“新建、改建和扩建项目应当进行环境影响评价，对原料使用、资源消耗、资源综合利用以及污染物产生与处置等进行分析认证，优先采用资源利用率高以及污染物产生量少的清洁生产技术、工艺和设备。”

清洁生产是保护环境、保持社会经济与环境可持续发展的关键，它要求生产企业通过源头消减实现在生产过程中控制和减少污染物排放，是主动、有效的行为和对策，可达到节能、降耗、减污、增效的目标。

本项目是中广核汕尾甲子一 500MW 海上风电项目，工程主要以建设海上风电工程为主，其清洁生产与其它工业项目有所区别。但从清洁生产实质和内涵来看，都是为了更好地保护生态环境、减少污染、降低能耗、避免对生态环境的破坏，实现环境社会经济的可持续发展。

从海洋环境影响的性质来看，本工程施工期对海洋环境存在一定的悬浮沙影响，营运期正常工况生产过程中无污染物排海。由于风力发电本身属于清洁能源开发项目，大大减少了对环境的污染，发展风力发电，体现了从源头抓起、消减污染物产生、预防为主的环境战略；增加科技含量，加速产品结构的集约型增长方式；对企业而言，实现了环境效益和经济效益的统一，是典型的清洁生产方式。

8.1.1 施工期清洁生产分析

（1）清洁的施工工艺

本工程风机基础施工采用钢管桩沉桩、安装导管架后在环形空间进行灌浆；

海缆敷设主要施工步骤为：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。本工程主要施工工艺如打桩、海缆埋设等虽然在一定范围内使水中悬浮物浓度上升，但影响范围十分有限，避免了对底泥、水体长时间的扰动和影响，且范围有限，从源头上减轻了工程建设对海洋生态环境及水质的影响，施工工艺符合清洁生产要求。

（2）清洁的物料来源

本工程施工采用的物料来源包括钢材、油料、水泥及砂石料等，上述材料都由正规厂商提供，确保材料无毒无害、不含放射性等污染，并经由相关资质的部门检测合格后方可使用，可见工程施工采用的物料符合清洁生产的要求。

（3）废物回收利用

施工期污废水主要来源于施工机械冲洗废水、混凝土拌合废水、船舶油污水以及施工人员生活污水等，施工中尽量减少设备和车辆冲洗次数，从源头减少施工用水量和施工废水产生量。施工废水和生活污水经处理达标后均尽可能回用于设备冲洗、施工道路浇洒等，进一步降低工程施工对水资源的消耗量，并减少尾水排放量。

（4）有效的环境管理

建立严格的环境管理制度，落实岗位责任制，加强生产中的现场管理，定期进行设备维护和检修，合理安排施工工期、施工工艺，可以体现科学管理原则，使整个施工建设井然有序，最大限度的降低能耗，降低对生态环境的影响，减少安全隐患，提高施工建设效率。本工程的施工单位应通过 ISO9000 的认证。

综上所述，本工程施工采用的工艺、原材料，施工过程中的废物回收、环境管理等方面均符合清洁生产的要求。

8.1.2 营运期清洁生产分析

8.1.2.1 原材料与资源能源清洁性分析

项目利用清洁能源—风能，其具有储量巨大、可以再生、无污染等特点，风力发电无需火力发电所需的煤、油等燃料即可产生电力，除常规保养外，没有其他任何消耗。本工程装机容量 500MW，设计年平均上网发电量 1543.12GWh。根据《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》(环发[2015]164 号)，与同等规模的火力发电相比，按火电每度电耗标准煤 300g/kWh，则每年可为国家节约标煤约 46.2936 万 t/a，工业锅炉每燃烧一吨标准煤,就产生烟尘 9.6kg，二氧化碳 2620kg,二氧化硫 8.5kg,氮氧化物 7.4kg，每年可减少烟尘排放量约 0.444 万吨，SO_2 排放量约 0.3934 万 t，NO_x 排放量约 0.3425 万 t，CO_2 排放量约 121.29 万 t 等有害物质排放量，减轻环境污染。由此可见，风力发电不仅能充分利用当地丰富的风能资源生产电力资源，而且可以节约煤炭、水等主要资源，大大提高资源的利用率。

8.1.2.2 工艺技术与装备先进行分析

（1）风力发电机组先进行分析

①风力发电机组单机容量大

目前，风力发电机组正趋向大型化，单机容量逐渐向兆瓦级发展，其发电工艺技术已较成熟。本工程拟使用的 5.5MW 单机容量属目前国际领先的大型风机，有利于提高风能利用率，降低使用成本，同时可大大减少风机台数，节约海域资源。从目前国内外建设运行的风电场风机设备情况来看，本工程总装机处于国际上较大规模，充分代表了海上风电场大型化、集中化的发展方向。

②风电机组调节技术先进

目前风力发电机组调节技术包括定桨距失速调节和变速变浆距调节。定桨距失速调节存在着风力发电机组性能受叶片失速性能的限制、额定风速较高、风轮转动惯量大等缺点。本项目风力发电机组采用变速变浆距调节技术，该技术使叶轮转速在较大范围内变化，以提高风能利用率，其主要优点包括：额定风速较低，机组启动性能好，风能转化效率高，能提供更好的电能质量及发电效率高，降低风电机组负荷，停机方便安全等。目前采用变速变浆距调节的风力发电机组是世界主流技术，应用也越来越广泛。

③风电机组发电机的驱动方式先进

目前主要的风力发电技术包括：异步风力发电技术、电励磁同步风力发电技术、永磁同步风力发电技术等。相对于其它风力发电技术，永磁同步风力发电技术具有对电网影响小，可靠性能高，传动损失小，发电机效率高，发电品质高，日常维修少等优势。此外，半直驱变速变桨风力发电机组的动力驱动具有更高可靠性和更长的使用寿命，也避免了直驱式驱动方案和高速齿轮箱驱动方案的诸多缺陷。结合风电场输电特点、场区地形、地貌、地质条件、机组安装及运输等因素，本工程选用中速永磁同步的齿轮箱半直驱式兆瓦级风力发电机。

综上，本风电场选用的风力发电机，工艺技术成熟，为国内外较先进的设备。

（2）自动化控制程度高

本项目建成营运后，整个风电场采用微机自动监控体系，实现对风力发电机组及海上升压站内各设备的实时监测进行数据分析处理，并通过远动传输系统将数据及时发送至电网公司，可大大提高工艺控制的精确性和劳动生产率。

8.1.2.3 污染物产生与排放控制分析

本项目营运期产生的废水主要为运维人员生活污水和维修含油废水，生活污水待运维船靠岸后，经罐车拉运或经市政污水管网排至附近污水处理厂处理。维修含油废水随船携带，待船舶靠岸后交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理，不直接外排环境水体，做到了零排放。

8.1.2.4 产品清洁分析

本项目生产产品为绿色无污染电力，不仅为当地电网提供清洁能源，实现电力的可持续发展，而且有利于改善当地电力系统的能源结构，实现电力供应的多元化，提高电网中可再生能源发电的比例。同时以电力带动加工业的发展，促进当地经济和社会的可持续发展。

8.1.3 清洁生产水平分析

首先，从单机容量角度评价，本工程推荐的 5.5MW 单机容量属目前国际领先的大型风机，较目前常用的 2~3MW 单机容量风机，可大大减少风机台数，节约海域资源。从目前国内外建设运行的风电场风机设备情况来看，本工程总装机处于国际上较大规模，充分代表了海上风电场大型化、集中化的发展方向。

因此本工程设备选型符合海上风电机组技术发展方向，也适应工程所在海域的自然环境特点

8.2 总量控制

本项目运行期主要污染物包括维修人员产生的生活污水、生活垃圾和风机设备维护产生的含油废水等，产生量均较小，维修人员产生的生活污水由船舶收集后送至岸上，罐车拉运或经市政污水管网排至附近污水处理厂处理，生活垃圾由船舶收集后送至岸上由环卫部门清运。风机设备维护产生的含油废水委托有资质的单位进行处置，不会增加海域污染负荷。因此项目建设可满足《国家海洋局关于进一步加强海洋工程建设项目和区域建设用海规划环境保护有关工作的通知》中项目零污染、增产不增污的要求。

工程施工期在采取一定环保措施及生态保护措施后对周围环境及生态影响较小，运营期无污废水、废气等排放，主要特征污染为电磁环境影响，不涉及总量控制指标要求。

9 环境保护对策措施

9.1 建设项目各阶段的污染环境保护对策措施

9.1.1 施工期污染防治措施

在施工阶段产生的主要污染有水下施工产生的悬浮泥沙、项目施工产生的污废水、固体废物、噪声和废气等，对于施工期的污染防治措施如下：

（1）悬浮沙污染防治措施

①施工前应结合项目周边及项目自身施工进度，合理安排施工整体进度计划，制定好施工主要节点流程图。项目在各个阶段施工作业时，严格按照施工方案执行，保证施工进度和控制施工强度，以免增加悬浮沙增量。

②浅水区海缆始端登陆施工时，尽量采用两栖挖掘机在低潮露滩时挖沟作业，减少悬浮沙入海增量，沟槽开挖前制定严格的作业规程，规范铲斗抓泥和落泥强度，控制开挖范围，保证挖掘精度。

③深水区海缆敷设作业时，采用专用海缆船，根据前述分析，通过海缆船埋设犁敷埋电缆时，悬浮沙与船速、电缆沟尺度及海域底质特征有关，施工时将根据海缆路由区底质详勘报告确定各区段具体的海缆埋深和沟槽宽度，控制高压水冲泥管道压力，减小超挖量，同时控制拖轮航速，减小悬浮沙产生量。

④深水区海缆终端登陆平台作业时，由潜水员配合进行高压水冲泥作业，作业时潜水员与船上人员密切沟通，严格控制高压输水胶管射水压力和射水方向。

⑤风机和升压站桩基打桩过程中，根据场址区地质情况精确定位桩基位置，选用高效的桩基施打设备，确保管桩平稳、快速贯入，减小对海床的扰动。合理控制工艺桩拔除强度，防止拔桩时桩体倾斜刮擦海床或拔除力过大造成局部掀沙。

⑥特殊区域保护海缆作业时，由潜水员或水下机器人配合进行抛填水泥石块作业，作业时潜水员与船上人员密切沟通，精确确定抛填石块量，严格控制抛填水泥石块的落水速度和抛填量，防止抛石落水速度过快或过量抛填造成悬浮沙扩散范围增大。

⑦施工作业期间，在整体施工计划框架下，根据季节性海流条件，合理优化调整各施工作业区施工计划，将重点悬浮沙产生作业环节尽量安排在风浪相对

小、潮流相对弱等不利于悬沙扩散的潮期内。

（2）污废水污染防治措施

1）海域污废水防治措施

①施工期间作业船舶含油污水，遵照《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》中对海上施工船舶的要求，施工船舶油污水系统按要求进行铅封，船舶油污水统一收集在作业船舶上，待船舶靠岸后交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理，严禁船舶含油废水向施工海域排放。

②水上作业时，各类供给船、铺缆船和起重作业船等施工船舶上作业人员产生的生活污水，需统一收集运至岸上，由经市政管网送至附近污水处理厂处理。

③导管架连接灌浆作业过程中，工作人员应严格根据灌浆方案确定灌浆量，通过视频监控或潜水员配合，精确把控溢浆时间和溢浆量，灌浆结束后，灌浆设备和管理系统清洗废水收集在工作船上，严禁排海造成海水污染。

④船舶水上作业和航行期间，应及时清理甲板残油，定期维护船载机械设备，防止残油、机油滴漏入海，建议采用锯末或棉纱吸净残油后，统一收集含油废物，严禁向海排放任何油类物质；建议施工时在守护船上配备必要的溢油收集设施设备，一旦发生残油入海或船舶溢油事故时，立即采取措施，消除油污或控制影响范围；建议施工前与含油污水处置单位尽早签订处理协议，明确污水接卸量、接卸时间等，并向海事局报告。

2）陆域污废水防治措施

施工过程中，应采取如下控制措施，减轻施工废水对周边水环境的影响：

①500kV 变电站工程施工期修筑沉淀池，各种施工作业产生的少量施工废水经沉淀处理后回用于周边绿化或者冲洗其他施工设备，沉淀池容量应大于 30m3。施工期设隔油池，产生的含油废水经隔油池处理后回用，禁止外排。泥浆水经泥浆池沉淀后，上清液回用于周边绿化或者冲洗其他施工设备，泥浆干化后回用工程填方。

②施工期产生的生活污水经隔油、沉淀处理后回用生产、洒水，生活污水经隔油、临时污水处理设施处理后回用洒水，不外排。

③物料集中堆放并用土工布挡护，避免雨季受雨水冲刷排入周边养殖塘、河道，造成水体污染。

④ 施工期应避开暴雨期，并采取临时拦、截、排及护坡措施。

⑤ 事故油池池底设防渗层、施工缝处设橡胶止水带、选择符合防腐防渗要求的混凝土、管材等，确保事故废油收集系统爱满足防渗、防腐要求。

（3）固废废物污染防治措施

本项目在施工过程中拟对施工固体废弃物采取如下措施：

1）海域固体废物防治措施

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废弃材料设备包装物不随意丢弃，在各风机作业点设置废料回收桶，废弃物统一收集在容器中，施工结束后统一送往陆上进行回收再利用或处置。

②对风机基础灌浆作业时产生的多余浆料，不可直接丢弃入海，统一收集在工作船配备的废料桶或废料箱内，灌浆结束后统一回收运输至陆上处置。

③海缆施工前扫海清障打捞产生的固体废弃物（废弃缆线、插网、渔网等），在施工船舶上设置专门的收集装置，海底废弃物打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理。

④海缆登陆施工时，禁止任意向海域中抛弃各类固体废弃物。

⑤对于施工期船舶施工人员产生的生活垃圾，由施工船舶收集后运至陆域，与施工基地生活垃圾一并送至附近生活垃圾处理厂处理。

2）陆域固体废物防治措施

① 为避免施工垃圾及生活垃圾对环境造成影响，在工程施工前应作好施工机构及施工人员的环保培训。

② 对建筑垃圾进行分类收集、分类暂存。生活垃圾集中收集后交由环卫部门统一外运，禁止乱丢乱弃；建筑垃圾主要为施工过程中产生的废料等建筑垃圾，可回收部分由建设单位统一分类回收，不可回收部分运至市政相关部门指定地点，不得随意丢弃。

③ 做好建筑垃圾暂存点的防护工作，避免风吹、雨淋，尽量缩短垃圾暂存的时间，争取日产日清。

④ 通过土石方平衡尽量减小弃土弃渣量。施工期间多余的建筑垃圾和多余挖方土应按城建部门指定的地点回填或堆放。

（4）噪声污染防治措施

1）海域噪声污染防治措施

①加强施工船只管理，避免施工区域船舶集中，避免在同一工程区大量动力

机械设备同时运作导致局部声级过高。

②施工船舶应采取有效措施控制主辅机噪声排放，包括：在发动机排气管安装弹簧吊架加以固定，在机舱路口上布置主、辅机消声器；合理设置消声器结构和机舱室结构，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛声。

③海上打桩作业时，在打桩锤上加装隔音及消音材料，降低结构辐射噪声，同时隔离桩体内部的噪声向外传播。

④在海上风机组吊装安装作业时，吊装船上的工作人员与场地施工观察员保持密切联系，保证吊装安装作业的准确度和稳定度，以免产生安装误差，多次反复安装产生过多噪声污染。

2）陆域噪声污染防治措施

①尽量选用低噪声的施工机械设备，合理安排施工布置和施工工序，尽量避免高噪音施工机械和设备同时运作，严格控制施工时间，禁止在夜间(22:00~次日 6:00)施工。

②变电站周边声评价范围内无敏感目标，最近的西侧沈厝地距变电站厂界约1.9km，变电站土石方和结构施工阶段施工场界应设置临时隔声围屏，阻隔施工噪声对周围居民的影响。

③施工运输车辆经过居民区时禁止鸣笛且减速慢行，输电线路牵张场和临时施工占地尽量远离居民区布置。

（5）废气污染防治措施

1）海域废气污染防治措施

①通过合理布置施工方案，提高施工船舶的使用率。选用具有合适功率的施工机械作业，加强过程检验，提高一次施工成功率，避免返工情况发生。

②施工船舶按照《船舶大气污染物排放控制区实施方案》的相关要求，应使用硫含量不大于 0.5%m/m 的船用燃油，降低船舶硫氧化物、氮氧化物、颗粒物和挥发性有机物等大气污染物的排放。

2）陆域废气污染防治措施

① 合理安排工期，对土层扰动大的作业期避开干燥大风天气，以减轻扬尘源强。

② 施工单位应文明施工，加强施工期的环境管理和环境控制工作。

③ 物料运输时，车辆运输散体材料和废弃物时必须密闭、包扎、覆盖、避

免沿途漏撒；运载土方的车辆必须在规定的时间内，按指定路段行驶，控制扬尘污染。

④ 加强材料转运与使用的管理，合理装卸，操作规范。

⑤ 进出场地的车辆限制车速，场内道路、堆场及车辆进出时洒水，保持湿润，减少或避免产生扬尘，对出入工地且车身、车轮粘有泥土的车辆进行清洗，以防止泥土被带出污染公路路面。

⑥ 施工临时中转土方以及弃土弃渣等要合理堆放，可定期洒水进行扬尘控制。

9.1.2 营运期污染防治措施

本工程营运期产生的污染主要有污废水、固体废物、噪声环境和电磁环境的影响，具体污染防治措施如下：

（1）污废水防治措施

①对于升压站维修产生的油污水，统一收集至运维船上，待船舶靠岸后交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理，每半年清运一次。

②对在事故工况下升压站产生的含油污水，收集在升压站拟设置的事故油池内，所收集油污水应交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理。

③对于维护人员产生的少量生活污水在船舶上统一收集，运至岸上，由罐车拉运或经市政污水管网排至附近污水处理厂处理。

④陆域集控中心拟采取地埋式生活污水一体化处理设施处理场内生活污水，工程设计处理能力为 1m^3/h。生活污水经化粪池处理后、食堂含油污水经隔油处理后，与其他生活污水一起排入站内污水处理设施，处理后出水指标应满足《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2002）的要求后，回用于站区绿化或道路喷洒。本工程站区生活污水经处理后全部回用，正常情况下无污水外排。

（2）固体废物防治措施

①对风机及相关设备进行维护或突发事故时产生的少量废油，应用锯末或棉纱吸净后冲洗。维护结束后，应将废油、含油废物等集中收集含油废物箱中，一并送交由有资质单位处理，避免污染项目海域生态环境。

②营运期运维人员产生的生活垃圾随船携带，统一收集，船舶靠岸后由环卫部门清运处理。

③变电站及输电线路施工人员运行期固体废物主要为生活垃圾，经分类收

集，废纸、包装纸、报纸等回收利用，其他生活垃圾最后交由环卫部门统一清运，集中处理。

④站内运行过程中产生的废旧蓄电池将统一收集后交由有资质单位处理，不随意丢弃。为了防止变压器油泄漏至外环境，本工程变压器附近设置一座事故油池。各变压器事故排油时，首先排至主变油坑，通过含油废水排放管道排至事故油池，变压器油等经处理后由建设单位回收利用，不能处理的交由有资质的单位处理，不外排。

（3）噪声污染防治措施建议

①对于风机噪声，为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，降低结构辐射噪声，同时隔离机舱内部的噪声向外传播，以降低振动噪声。

②对于海上升压站噪声，选用低噪声变压器，保证主变噪声小于 70dB。建议升压站主变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板，并将铝合金接地。

③在主变压器设备选型时，提出噪声源强要求，距主变压器 1m 处声压级不超过 75dB(A)。变电站总平面合理布置，主变位于站区东侧，各功能区分开设置；同时加强绿化并设置围墙，以尽量衰减降低运行噪声影响。对导线和金具等要求具有较高的加工工艺，防止由于导线缺陷处或毛刺处的空气电离产生的电晕，降低输电线路运行时产生的可听噪声水平。

（4）电磁环境保护措施建议

① 保证变电站内高压设备、建筑物钢铁件均接地良好，所有设备导电元件间接触部位均连接紧密，对大功率电磁振荡的设备采取必要的屏蔽，将机箱孔、口和连接处密封。

② 变电站内金属构件，如吊夹、保护环、保护角、垫片、接头、螺栓、闸刀片等均做到表面光滑，尽量避免毛刺的出现。

③ 工程输电线路设计阶段未经过居民集中区域，两条线路已尽量压缩线路走廊，应优先按照逆向序排列导线，以降低输电线路运行期的电磁环境影响。

④ 工程新建线路经过架空输电线路线下的耕地、园地、牧草地、畜禽饲养地、养殖水面、道路等场所时，混压同塔四回路 220kV 导线对地最小距离应不小于 6.5m，500kV 导线对地最小距离为 34.7m，以保证农田区的工频电场强度满

足 10kV/m 的限值要求；边导线地面投影外两侧各 50m 范围内，混压同塔四回路 220kV 导线对地最小距离应不小于 10.0m， 500kV 导线对地最小距离为38.2m，以保证居民区等环境敏感区的工频电场强度满足 4kV/m 的限值要求。混压同塔四回路平行架设 220kV 导线对地最小距离应不小于 6.5m， 500kV 导线对地最小距离为37.0m，以保证农田区的工频电场强度满足10kV/m 的限值要求。

⑤ 按照《电力设施保护条例》要求，在输电线路边导线外 20m 内划定为电力线路保护区的范围，禁止新建民房及学校等人员常住的建筑物。

9.2 建设项目各阶段的非污染环境保护对策措施

9.2.1 施工期非污染环境保护对策措施

严格按照批准的用海范围、用海方式进行施工，可以最大限度减少对潮流场等水文动力条件的改变程度，同时降低对地形地貌和冲淤环境的影响。采取前一节的减少污染物排放的环境保护措施，能够降低施工期间污染因子对海水水质、沉积物质量的影响，减少海洋生物的损失量。

合理安排船舶运输情况，建议加强对在该水域航行船舶的管理，在项目施工时应注意避让倾倒区作业船舶。同时，航行的船舶应加强瞭望，避免驶入风电场区域，在最大程度缓解拟建工程与航行船舶的影响。并且施工期间应注意作业精度，防止对已建海底管线造成破坏，可以最大限度减少对通航环境和海洋开发活动的影响。

9.2.2 营运期非污染环境保护对策措施

根据第六章环境影响分析，通常条件下，本项目所在海区为弱潮海区，潮差小，潮流弱。但由于潮流较弱，海流容易受到其他驱动力的影响，如风应力、波浪辐射应力和温盐斜压力等。工程整体实施后，应在运营阶段加强监测，尽量减小工程建设对项目所在区域水动力条件的影响。冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 4cm/a 的范围不超过桩基区 2.9km，周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

考虑到景观影响对象具有流动性特征，且风机塔筒、叶片外观设计采用白色，也能够减缓工程与海洋景观的不协调性，因此，综合来看，机组运行对景观环境影响不大。风机结构也会对附近海域一定范围内通行船舶的通信导航设备、通信

信号造成影响，但通过采取调整干扰措施，并加强监测能够得以减缓。另外，风机定期检修维护作业船穿越航道时存在一定的船舶碰撞风险。总体来看，正常海况条件下，项目建设不会对附近航道、习惯航路通航环境造成较大影响。

9.3 建设项目各阶段的海洋生态保护对策措施

9.3.1 施工期海洋生态保护措施

（1）为减轻施工对海洋浮游生物、海龟、渔业资源的影响，应采用以下措施：

①由于鱼类的产卵场、索饵场和洄游通道功能的作用有一定的季节性，每年4-6月为主要季节，海龟的产卵期是每年5-8月为主要季节，项目作业时应尽量避开鱼类和海龟产卵盛期或者减少施工强度对其的影响。

②对于桩基打桩和海缆敷设，优化施工工艺，针对施工对海洋环境影响较大的作业环节制定作业规程，尽量避免由于操作技术不当导致的入海悬浮沙增大，同时作业时要求施工精准定位，提高作业精准度，配备GPS全球定位系统，准确确定施工位置，从而降低悬浮泥沙对周边海域水质环境、生态环境的影响；

③根据现状调查资料，工程所在海域有石首鱼科，对噪声污染较敏感。水上桩基础施工应避免采用撞击式的打桩作业方式，建议采用环保型液压式打桩机，采用液压式打桩也应采用软启动的作业方式，即开始轻打几下，让潜在的水生动物有时间逃离回避，再逐步增强施工强度。同时鉴于施工期的打桩噪声具有强度高、时间相对短的特点，海上施工期应对每日预计打桩数量（即最高数量）、打桩的持续时间做出控制，在时间上控制一次一桩。桩基周围建议采用气泡帷幕（Bubble curtain）等屏蔽措施，减缓噪声能量的散播；

④施工期间对项目附近的生态环境进行跟踪监测，应对重点产污节点，主要是风机基础施工和海缆敷设过程等水下施工阶段施工海域进行污染物监测，并适当提高监测频率。监测应有针对性，在施工期间加强对主要经济鱼类和海龟的观测和跟踪监测，建议在打桩作业周围海域，主要对石首科鱼类进行观测和跟踪监测，在海缆敷设作业周边海域，主要对海龟的进行观测和跟踪监测，掌握生态环境的发展变化趋势，以便及时采取调控措施。

（2）为减轻施工对底栖生物的影响，应采用以下措施：

①海缆敷设施工时，严格控制作业带宽度，根据电缆沟设计沟槽宽度选择合

理的两栖挖掘机铲斗尺寸，并优化海缆敷设船埋设犁型号，减少超挖量，从而降低对底栖生物的影响范围；

②桩基施工前，潜水员对施工海域进行海底探摸，清理海床时，对游泳能力相对较强的底栖生物进行驱赶，对游泳能力相对较弱的底栖生物，尽量采用专业网具进行挪移，最大程度减少底栖生物受损量；

③施工船舶驻船锚泊时，根据施工作业需求和海况条件，由专业人员精准确定锚泊点，避免反复抛锚，减少不必要的拖锚作业，降低对底栖生物的损害程度。

（3）为缓解施工对鸟类的影响，应采用以下措施：

①合理安排施工时间，尽量在鸟类非迁徙季节竖立风机，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过施工区时应降低施工强度；严格控制光源使用量，减少使用红色闪光灯和钠蒸汽灯，对光源进行遮蔽，减少漏光量，尤其是在有大雾或强逆风的夜晚，应该停止施工，减小施工期对鸟类的影响；

②施工期间加强船只管理，施工船舶应采取有效措施控制噪声排放，并对施工人员进行管理和培训，严格执行施工期噪声防治措施，减小对鸟类的影响；

③参考陆上风电场施工对鸟类的保护措施，建议风电场内塔架、塔筒安装施工作业面尽量按与鸟类迁徙路线相平行的方向展开，防止迁徙鸟类迁飞时遇到横向风机而改变迁徙路径或出现异常迁徙行为；

④制定风电场的科学管理制度，对风电场进行鸟类的通过量和死亡率监测，一旦发现海上施工设施与夜间迁徙候鸟或白天集群迁徙活动的猛禽撞击率较高时，应暂停施工，避免撞击率过高。

⑤陆上施工主基地应加强施工人员管理及相应培训，禁止捕杀鸟类。

（4）其他生态保护措施建议

为了预防海上风险事故，必须从根本上控制公司岸上、船上工作人员的职业素质和操作；控制船体、机电设备的技术状态，严格维护保养，保障其运转正常；正确估量航行环境中蕴含的自然力量和船舶的抵御能力，及时正常地预报天气和海况，及时规避灾害天气，避免不可抗力的袭击；加强公司岸上和船上的安全管理，完善机构、规章及其运作。

9.3.2 营运期海洋生态保护措施

营运期的海洋生态保护措施重点包括鸟类和海龟的保护措施、海洋渔业资源补偿措施、生态环境跟踪监测措施等。

（1）对鸟类的保护措施

①本项目造成海域鸟类的栖息地丧失，可通过在附近海域制定鱼类、甲壳类、贝类增殖放流计划，以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率作为补偿。

②在运行期，通过设立鸟类观察救助站，持续监测风场对鸟类的影响；候鸟迁徙高峰的时候，及时观测鸟类动向，如遇到大群候鸟停歇风电场内及附近，可以采取驱赶措施，必要时应当停机驱赶。万一发现鸟类伤亡，应及时救治受伤鸟只，鸟类观察救助站人员应当接受专业鸟类知识培训，并将伤亡记录及时向有关单位汇报。

（2）对海龟的保护措施

本项目的建设将会造成海龟食物来源的减少和栖息生境的扰动，间接影响海龟的生存活动，建议采取补偿措施，在附近海域增殖放流海龟饵料生物，以增加海龟觅食成功几率作为补偿。

（3）对海洋渔业资源的生态补偿措施

①采用增殖放流的措施

本项目的建设将会造成区域范围内一定量的海洋生态资源损失，按照生态补偿原则予以补偿。根据农业部《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）的有关规定，建设单位应对项目附近水域的生物资源恢复做出经济补偿，生态补偿款主要用于当地海洋农渔业主管部门人工增殖放流、资源养护与管理以及生态环境跟踪调查及补偿方案的效果评估，建议由当地农渔业主管部门统一制定和实施生态恢复措施，有目的、有计划地进行修复。增殖放流物种应结合工程所在海域的海洋生物种类分布特征和目前人工育苗、增殖放流技术合理选取，确保生态补偿措施落实到位以取得预期恢复效果。

②加强渔业资源和生态保护宣传

在进行海洋生物增殖放流时，举行仪式，以保护海域生态环境为主题，加强社会环境保护教育。

（3）海洋生态跟踪监测

营运期间对项目附近的生态环境进行跟踪监测，监测应有针对性，建议在工程邻近海域、以及必要的环境敏感区附近设置监测点，加强对主要经济鱼类和海龟的观测和跟踪监测，掌握生态环境的发展变化趋势，以便及时采取调控措施。

（4）其他生态保护措施建议

①切实落实本报告提出的营运期废水和固体废物等污染物的防治措施，禁止直接排海，可减轻对附近海域生态环境的破坏。

②对于重大或不可接受的风险，制定应急响应方案，建立应急反应体系，事件一旦发生时可迅速加以控制，使危害和损失降低到尽可能低的程度。

9.4 总量控制

本项目运行期主要污染物包括维修人员产生的生活污水、生活垃圾和风机设备维护产生的含油废水等，产生量均较小，维修人员产生的生活污水由船舶收集后送至岸上，罐车拉运或经市政污水管网排至附近污水处理厂处理，生活垃圾由船舶收集后送至岸上由环卫部门清运。风机设备维护产生的含油废水委托有资质的单位进行处置，不会增加海域污染负荷。因此项目建设可满足《国家海洋局关于进一步加强海洋工程建设项目和区域建设用海规划环境保护有关工作的通知》中项目零污染、增产不增污的要求。因此，本工程不涉及总量控制。

9.5 环境保护措施汇总

工程建设中必须严格执行环境保护“三同时”制度，确保各类环保设施的正常运转。本工程环境保护对策措施一览表详见表 8.2-1。

表 9.5-1　环境保护对策措施、生态保护对策措施

项目	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入时间	责任主体及运行机制
污水处理	施工生产废水处理	生产废水处理设施	含油废水经收集后采用隔油沉淀池进行处理，污泥由有资质单位回收处理。	生产废水经处理达《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)后回用于道路洒水，不外排。	施工临时场地，与施工临时场地同步建设	施工单位、建设单位建设、使用和管理
	施工及运行期生活污水处理	隔油池、化粪池、生活污水暂存池、罐车清运	施工期和运行期生活污水经隔油池、化粪池预处理由罐车送至有资质单位处理。	生活污水经罐车送至资质单位处理，不直接外排。	施工基地，进场时同步设置	施工单位、建设单位建设、使用和管理
	升压站油污水处理	油污水收集桶	设置 0.1m³收集桶 1 个，集中收集统一外运，交由有资质单位处理。	生产废水经处理达《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)后回用于道路洒水，不外排。	基地内	建设单位建设、使用和管理
	船舶污水处理	污水收集装置	施工船舶均设置船舶生活污水和船舶含油污水的收集装置，船舶生活污水和含油废水交由有资质单位外运处理。	经处理达《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T18920-2002)后回用于道路洒水，不外排。	工程海域，进入工程海域施工时使用	建设单位监制，施工单位使用和管理、维护
固体废弃物处置	生活垃圾处理	垃圾桶	根据需要在升压站和施工基地设置生活垃圾筒，由当地环卫部门定期清运。	统一收集后委托当地环卫部门清运处理，对周边环境无污染影响。	升压站内和施工场地内，与其建设同步	施工单位、建设单位建设、使用和管理
	风机维护垃圾处理	含有废物箱	风机维护含油废物箱 2 个，收集后运至岸上，委托当地环卫部门定期清运。	统一外送具有相应资质的单位进行处置，对周边环境无污染影响。	升压站内，与升压站建设同步	建设单位建设、使用和管理
海洋生态	渔业资源补偿	采用增殖放流方法补偿	以当地海域常见的经济贝类、鱼、虾类为主。	按照相关主管部门的要求，按时完成增殖放流的品种、数量，不会对	风电场影响海域，施工完成后的3年内完	建设单位落实，可委托专业单位

项目	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入时间	责任主体及运行机制
保护				工程海域生物资源造成明显影响。	成	
	鸟类及其生境	叶片涂装采用非反光材料	73 台风机的叶片全部涂色	增加风机叶片可见度，为减少反射阳光对雀鸟的影响，减少鸟类撞击的概率。	风机叶片，与风机安装同步	建设单位落实，可委托叶片厂家及护套厂家
		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和动向。	通过在其他海域制定鱼类、甲壳类、贝类增殖放流计划，以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率作为补偿。	施工期结束后，在运营期开始前，建设好鸟类观察救助站	建设单位落实，可委托专业单位
大气污染物控制	燃油废气处理装置	柴油发电机尾气水喷淋处置	定期洒水，施工船只管理、机械设备维护保养等管理措施。	尾气处理达到广东省《大气污染物排放限值》（DB44/27-2001）（第二时段）二级标准。	施工临时场地，施工期间实施	施工单位、建设单位实施和管理
声环境保护	噪声防治	管理措施	施工车辆和施工设备的维护保养，张贴通告和投诉电话等噪声管理措施；打桩施工采用软启动方式。即首桩采用小幅度的冲击，而后强度逐渐增强。	施工期场界噪声执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)的限值要求。	施工临时场地，施工期间实施	施工单位、建设单位实施和管理
环境管理	环境管理情况	风电场环保管理	设专职人员对风电场环境保护工作统一管理	/	风电场内，施工期及运行期	建设单位实施和管理
	环境监理	环境监理	采用巡视方式进行环境监理	/	工程影响范围，施工期	建设单位落实，可委托专业单位
	环境监测	环境监测	水文动力、海洋生态、渔业环境、海洋水质、沉积物监测以及鸟情观测、地形地貌与冲淤观测。	/	监测计划范围内，施工期及运行期	建设单位落实，可委托专业单位
	其它	环保措	环保措施设	/	工程影响	建设单位

项目	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入时间	责任主体及运行机制
		施计划、专项科研等	计，开展专项科研，竣工环保验收调查等。		范围，施工期及运行期	实施和管理

10 环境保护的技术经济合理性

10.1 环保投资估算

本工程总投资 1024152 万元，环保投资共约 2682.69 万元，约占总投资的 0.26%，主要包括水环境保护、固废处理、渔业资源修复、鸟类保护、龟类保护、环境监测及建设管理费用等，具体详见表 10.1-1。

10.1-1 环保投资估算表

序号	项目和费用名称		投资	备注
工程准备期	水质、沉积物、生态环境监测		160	
	噪声、电磁监测及跟踪评价		45	
	渔业资源调查		80	
	海龟及其栖息地观测		50	
	鸟情及其栖息地观测研究		40	
	小计		375	
工程施工期	施工生产、生活污水收集和处理		150	含船舶油污水、施工基地生产生活污水处理
	噪声影响减免措施		15	以管理为主
	固体废弃物处理		35	固废收集装置及清运处理费
	环境空气保护		20	洒水、宣传管理
	工程环境监理费		80	
	小计		300	
工程营运期	污染物处置	生活污水收集和处理	/	纳入陆上集控中心环保投资
		固体废物收集和处理	/	
	生态补偿	海洋生物资源修复补偿	1482.69	渔业资源、生态补偿
		鸟类栖息地修复	100	鸟类救护、宣传教育、涂叶片警示色等
		海龟补偿	100	
	跟踪监测	水质、沉积物、生态环境监测	80	春、秋季各 1 次
		渔业资源监测	40	春、秋季各 1 次
		噪声、电磁环境监测	50	
		海龟监测	50	
		鸟类监测	50	
	环境管理	工程环境管理费	35	
		宣传技术培训费	20	
	小计		2007.69	
合计			2682.69	

10.2 经济效益

风力发电是新能源中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化前景的发电方式之一。本工程经济效益主要为风力发电收入。本工程装机容量 500MW，设计年平均上网发电量 1543.12GWh。项目的风力发电收入计算方法如下：

发电收入＝上网量×上网电价

上网电量是指在经过变压器送到电网的电量，扣除各项损耗之后的电量。

根据国家发改委印发的《关于海上风电上网电价政策的通知》（发改价格〔2014〕1216 号文），“2017 年以前（不含 2017 年）投运的近海风电项目上网电价为每千瓦时 0.85 元（含税，下同），潮间带风电项目上网电价为每千瓦时 0.75 元。”根据《国家能源局关于 2018 年度风电建设管理有关要求的通知》（国能发新能〔2018〕47 号），“已印发 2018 年度风电建设方案的省（自治区、直辖市）和已经确定投资主体的海上风电项目 2018 年可继续推进原方案。”（即执行 0.85 元/千瓦时电价）。根据《广东省发展改革委关于下达广东省 2018 年重点建设项目计划的通知》（粤发改投资〔2018〕144 号），该项目已列入广东省 2018 年重点建设项目，将于 2018 年核准并开工，因此将执行 0.85 元/千瓦时电价，预计项目生产期内年均产生经济效益约 131165.2 万元/年。

10.3 社会效益

1、有效调整资源结构，缓解用电紧张

本工程利用近岸海域开发风能资源，有效调整了“汕尾电网火电组成，电源结构形式较单一，发电用煤需求量大”的能源结构。本项目年平均上网发电量 1543.12GWh，有利于缓解汕尾市用电紧张问题。

2、降低碳排放，有利于生态保护

风能是绿色资源，风力发电几乎不产生大气污染物，进一步提升了当地的空气质量，为该地区的可持续发展提供了可靠保障。积极开发丰富的风力资源，替代一部分矿物能源，对于降低煤炭消耗、缓解环境污染等具有非常积极的意义。项目的开发建设，每年可减少多种大气污染物的排放，如二氧化硫（SO_2）、一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO_2）等污染物的排放，本工程不仅是广东省能源供应的有效补充，而且作为绿色能源，有利于缓解电力工业的环境保护压力，促进广东省生态环境的可持续发展。

3、推动电力技术进步，实现海上风电快速发展

本风电场的建设能有效促进地方经济，带动产业链发展同时通过引、消化国外先进技术，选用国产风电机组使我国制造能力一步提升。项目建设对技术进步和产业升级有着良好的推进作用，实现海上风电规模化开发带动风电装备及服务业发展，以龙头企业为依托实现全产业链发展，为海上风电产业打造成具有国际竞争力的优势产业打造坚实基础。

因此，本项目具有显著的社会效益。

10.4 环境损益

10.4.1 环境收益

目前世界上的太阳能、风能、海洋能等作为可再生能源正处于飞速发展时期，但我国电力能源结构以火电为主，水电、核电、风电、太阳能发电所占比重较少。为此，本报告对比燃煤发电技术评价本项目实施所具有的环境效益。

10.4.1.1 节能效益

本项目总装机 500MW，年上网电量约 1543.12GWh。根据《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方案》（环发〔2015〕164 号），全国平均发电煤耗以 300gce/kWh 计。与同等发电量的火电相比，本项目运行期可节约原煤约为 46.2936 万 t/a。近年随着国家经济发展，工业化进程的推进，煤炭资源日益趋紧，价格一路走高，发电用煤价超过 800 元/t，本项目节能可产生效益约 37034.88 万元/a。随着煤炭资源的日益减少，尤其是优质煤的快速消耗，风电场项目的节能效益将愈加显著。

10.4.1.2 污染物减排效益

风力发电作为一种清洁能源，相比火电工业在运行过程中不会产生包含烟尘、SO_2、NOx 等大气污染物。本项目装机容量 500MW，年上网电量 1543.12GWh，根据前节计算，本项目每年可节约标煤约 46.2936 万 t/a，据此计算本项目建设实施每年可减少烟尘排放量约 0.444 万吨，SO_2 排放量约 0.3934 万 t，NO_x 排放量约 0.3425 万 t，CO_2 排放量约 121.29 万 t。此外，参考国家发改委能源研究所等单位研究成果，目前国内外火力发电 CO_2 排放系数为 0.8100t/MWh，本项目可减少排放温室效应气体 $CO_2$125 万 t/a。

对于减排 SO_2 等带来的经济价值，暂按其在中国的排污费用折算。根据《中华人民共和国环境保护税法》（2018 年 1 月 1 日实施），每一大气污染物污染当量取值为 1.2 元，SO_2 的污染当量值为 0.95kg，NO_x 的污染当量值为 0.95kg，烟尘污染当量值为 2.18kg。针对减排 CO_2 所能带来的经济价值，采用碳税法计算固定 CO_2 的经济价值，根据国际通用的瑞典碳税率，每减少排放 1t CO_2 所带来的经济效益折合人民币为 339.80 元。

据此计算，本工程大气污染物减排效益约 42415.24 万元/a，详见表 10.4-1。

表 10.4-1 大气污染物减排效益

序号	项目	减排量（万 t/a）	单价	环境效益（万元/a）
1	烟尘	0.444	1.2 元/2.18kg	244.4
2	SO_2	0.3934	1.2 元/0.95kg	496.9
3	NO_x	0.3425	1.2 元/0.95kg	432.6
4	CO_2	121.29	339.80 元/t	41241.34
5	合计	-	-	42415.24

10.4.2 环境损失

本工程实施造成的环境损失主要包括施工造成的底栖生物损失和渔业资源损失、建设过程中灯光、噪音和人为扰动等对海龟的影响及鸟类栖息地减少和鸟类撞击风机造成的损失。

本项目施工产生悬浮沙共计造成游泳生物 8121.98kg，鱼卵 1.39×10^9 粒，仔鱼 9.58×10^7 尾受损；基础结构施工占用海床底土及生态资源空间造成底栖生物损失量 0.02t、游泳生物 10.13kg，鱼卵 159.78 粒，仔鱼 11.02 尾，电缆施工管沟开挖造成底栖生物损失 14.78t。造成的生态损失总赔偿额为 1482.69 万元。

项目对海龟的影响有直接和间接影响。直接影响如：海龟在产卵前，对灯光、噪音和人为扰动等很敏感，工程干扰都会致使其放弃筑巢产卵。间接影响：造成海龟食物来源的减少和栖息生境的扰动，进而影响附近海域内海龟的生活等。

本项目对鸟类的影响分施工期和运行期。施工期间产生的噪声和光污染会对鸟类造成直接干扰，如觅食的鸟类远离施工区域数量减少、多样性降低；照明会干扰夜间迁徙的鸟类；入海悬沙等污染还会间接影响鸟类的食物分布等。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。

项目对环境影响是有的暂时的，对海洋生物影响范围是局部的，可通过恢复和补偿是环境损失有效降低。对环境影响是有的是永久的，但影响很小。

10.5 环境经济损益综合分析与评价

综上所述，本项目具有明显的节能、污染物减排的环境效益，本项目节能可产生效益约 37034.88 万元/a，大气污染物减排效益约 42415.24 万元/a。同时还具有一定社会效益，缓解电力供需矛盾和改善电源结构，有效调整资源结构，推动电力技术进步，实现海上风电快速发展。但本工程在建设和运行过程中会不可避免的造成生态渔业资源、海龟、鸟类和海洋生态等方面的环境损失，可通过跟踪监测、补偿措施进行恢复。

11 工程生态用海方案的环境可行性分析

十二五期间，原国家海洋局提出《开发利用海洋资源必须坚持“五个用海”》，即规划用海、集约用海、生态用海、科技用海和依法用海。2015 年 4 月，中共中央、国务院陆续印发《水污染防治行动计划》、《关于加快推进生态文明建设的意见》和《生态文明体制改革方案》，将海洋资源科学开发和生态环境保护提升到战略地位。为贯彻落实中央精神要求，大力推进海洋生态文明建设，建设美丽海洋，促进人海和谐，促进经济社会可持续发展，国家海洋局编制出台了《海洋生态文明建设实施方案》（2015-2020 年）（以下简称《实施方案》），共提出 10 个方面的任务。

按照国家海洋局《国家海洋局海洋生态文明建设实施方案（2015－2020 年）》及有关要求，并结合广东实际，广东省海洋与渔业局编制出台了《广东省海洋生态文明建设行动计划》（2016-2020）（以下简称《行动计划》）。

根据《实施方案》和《行动计划》的主要任务和相关要求，结合海洋风电工程的特点，本章从生态功能定位符合性、用海布局优化、岸线利用与保护、污染物排放与控制、生态保护与修复、跟踪监测及监测能力建设六个方面阐述本项目的生态用海方案的环境可行性。

11.1 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），用海项目优先保障国家重大战略实施，保障国家重大基础设施、海洋战略性新兴产业、海洋特色产业园区、绿色环保低碳产业、循环经济产业、重大民生工程等建设项目用海需求。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 - 潮州近海农渔业区和田尾山-石碑山农渔业区，本项目海域使用类型为电力工业用海，用海方式属于透水构筑物和海底电缆管道用海，用海方式不改变用海区的海域自然属性，本项目在运营期，桩基可发挥人工鱼礁的功能，为海洋生

物提供庇护所，优化该海域的海洋生态环境，虽然用海类型不是渔业用海，但是功能上与渔业用海一致。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，本工程与《广东省海洋功能区划》（2011-2020 年）、《广东省海洋生态红线》、《广东省环境保护规划纲要（ 2006-2020 年）》、《广东省海洋主体功能区规划》、《可再生能源中长期发展规划》（2006-2020 年）、《广东省海上风电发展规划（2017﹣2030）》、《汕尾市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》等相关政策规划的要求，符合国家产业政策。

本项目位于《广东省环境保护规划纲要（2006-2020 年）》（粤府〔2006〕35 号）的有限开发区、《广东省海洋主体功能区规划》（粤海渔[2018]12 号）的限制开发区域，所在区域未被划定为省海洋生态红线区，占用大陆海岸线自然岸线 21 米，不占用海岛自然岸线，工程选址合理可行。

11.2 生态建设需求分析及目标

本项目是清洁能源的开发利用项目，符合国家产业发展政策，符合当地总体发展规划和环境保护要求，具有良好的社会效益和环境效益。

风电场的生产过程是将当地的风能转变为机械能、再转变为电能过程，在整个工艺流程中，不产生大气、水体、固体废弃物等污染物，也不会产生大的噪声污染。虽然本项目在施工期对区域环境有一定程度的不利影响，但通过采取适当的措施，可将不利影响减小至最低程度。

本项目不存在制约工程建设的重大环境问题，只要在项目设计、建设和营运阶段严格执行环评报告和水保方案中提出的环境保护与水土保持防治措施，工程建设对当地生态环境影响较小。

本项目生态建设的需求和目标主要包括：维持海域自然属性，维持促进珍稀濒危物种栖息和索饵的渔业资源，保护碣石湾海马资源自然保护区；严格控制污染物排放，维持海洋环境质量现状；维持和恢复渔业资源，保障渔业用海需求。

11.3 岸线利用与保护措施

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，因此，进行围填海造地工程建设，应尽量不用或少用自然岸线，要避免采取截弯取直等严重破坏自然岸线的围填海造地方式。

项目登陆段占用湖东湾砂质岸线 21 米，附近另有两处大陆海岸自然岸线，分别为长湖村砂质岸线和海甲村砂质岸线。项目施工和营运期均无采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动。海缆登陆时，使用定向钻拖拉法穿越海岸埋设管道，再通过管道牵引海缆完成登陆，登陆后接入陆上集控中心；陆上段，海缆敷设电缆沟，盖上盖板，埋设深度取 1.0m。因此，登陆段虽然穿过砂质岸线，但埋设有一定深度，不会对岸线造成影响，仅占用岸线的底层空间，不会诱发沙滩蚀退，相反该岸线位于海缆保护范围内，会受到严格保护，有助于保持岸线的原有生态功能。

11.4 污染物排放与控制措施

11.4.1 水环境保护措施

本项目废水主要是生产废水和生活污水，其中生产废水主要来自混凝土拌和系统冲洗废水，以及机修含油废水；

（1）混凝土拌和系统冲洗废水

海上混凝土拌和船冲洗废水 pH 值在 12 左右，悬浮物浓度取 5000mg/L，如果直接排放，会造成局部水域的污染，因此把混凝土拌合船冲洗废水收集在岸上施工区统一处理。考虑到混凝土冲洗废水是间歇性排放，在施工区设置立方沉淀池，冲洗水在池内经过加药调节 pH 值并沉淀后回用于拌合系统。沉淀的污泥， 脱水处理后，与主体工程的弃渣一起送填。

（2）机修含油废水

本工程建议采用小型隔油池处理机修含油废水。它的优点是投资较小，能耗少，管理简单方便。缺点是处理效果较油水分离器差，但是因为每天产生的污水量较小，废水经处理后，对水体石油类污染物增量的贡献也比很小，处理后废水回用于场地绿化和清洗道路。建议本工程采用该方式。

（3）生活污水

对施工区生活废水的常见处理方法有采用化粪池处理或者成套生活污水处理设备的方法，化粪池处理具有造价低，运行费用低等优点，但污染物的去除率较低，仅适用于污水量小、排放标准要求不高的工程。成套设备因技术指标和经

济指标有相当的优势，在小规模生活污水处理领域中受到了更为广泛的青睐。本工程把海上施工船只的生活污水就近运回施工区统一处理。

11.4.2 声环境保护措施

加强施工机械设备、船舶和车辆的维修和保养，使其处于良好的工作状态，以降低噪声源强。

施工船舶应有效控制主辅机噪声；限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛鸣放。

11.4.3 环境空气质量保护措施

陆域运输车辆加盖防尘布，沿线定期洒水，以减少扬尘影响。

定期对施工机械进行维修、保养，始终保持发动机处于良好状况，降低尾气中有害成分的浓度，满足尾气排放标准。

建筑材料堆放场采取土工布围护，并由人工定期洒水，以保持材料一定的湿度。

11.4.4 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陆域集控中心施工产生的垃圾、组装场地加工废料和施工人员生活垃圾等几部分。

（1）陆域集控中心工程施工期间会产生少量建筑垃圾，不得随意倾倒，应运至指定垃圾处理点进行处理，另外做好施工前后的水土保持、生态环境保护工作。

（2）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。

（3）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。

（4）对能利用的施工废弃材料由施工单位负责及时清理处置。

（5）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。

（6）各施工单位加强对施工人员的教育和管理，不随地大小便，不随处随手乱扔垃圾，保证粪便和生活垃圾集中处置。

11.5 生态保护与修复措施

11.5.1 施工期生态环境保护

a）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。

b）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。

c）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。

d）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。

e）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。

f）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。

g）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。

11.5.2 运行期生态环境保护

（1）设立海洋生态环境跟踪监测系统。根据海域环境特征，在风电场附近内设立长期的监测站点，对海域的各种水生生物资源（包括叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源）等进行定期监测。

（2）在渔业主管部门组织协调下，开展渔业资源生态补偿，实施渔业资源 增殖放流等生态保护方案。人工增殖放流可以补充经济水产生物幼体和饵料基础，提高项目周围海域渔业资源的数量和底栖生物量，修复和改善工程周围海域渔业生物种群结构。

放流前后的现场管理主要由渔政管理部门承担。一是时间的选择，放流工作将安排在定置张网禁渔和伏季休渔期间。二是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，保护区内禁止的作业除了国家规定禁止的作业类型及伏季休渔禁止的拖网、帆张网等作业之外，禁止 10 米等深线以外的定置作业，

同时禁止沿岸、滩涂、潮间带等 10 米等深线以内的定置作业、迷魂阵、插网、流网、笼捕作业等小型作业；三是在渔区广为宣传，便于放流品种的回捕、保护、管理等工作的顺利开展。

放流后的现场管理由渔政渔港监督管理部门组织有关渔政力量加强放流区域的管理，并落实监督、检查措施。

放流品种：本项目施工将对渔业资源造成一定的损失，根据 2017 年秋季和 2018 年春季的调查，渔业资源中的主要优势种为带鱼、中国枪乌贼、皮氏叫姑鱼、红星梭子蟹、口虾蛄、条纹鲳、南美白对虾、赤鼻棱鳀、日本蟳等。建议将以上物种作为增殖放流的主要品种，每年具体实施以前，建设单位应向海洋渔业行政主管部门征询邻近海域当年增殖放流计划，在海洋渔业行政主管部门计划框架下和指导下实施放流工作，并每年需要安排跟踪监测工作，根据跟踪监测和放流效果评估及时调整下一年度放流品种和规格。增殖放流计划调整还要考虑苗种的市场价格。

放流地点：从已有的可以放流水域来看，本项目周边包括风电场址北部海域、海缆登陆段附近人工鱼礁区周边海域，具体地点依据增殖放流区等环境资料选划。放流规模、地点在海洋渔业行政主管部门计划框架下，根据跟踪监测结果，苗种 的市场价格、预算等具体确定。

放流季节：增殖放流时间一般采取三个时间段，一是考虑成活率，即冬末春初的 3 月，这一季节放流有助于提高放流品种的存活率；二是依据水产苗种的可来源时间，如大多数鱼种、蟹虾种类苗种的产出时间都是相对固定的，也只能在这一时间段进行放流；三是禁渔期增殖放流，取这一时间段放流可有效杜绝偷捕、误捕现象发生，有助于放流品种的适应、栖息和生长。因此，最佳放流时间应尽可能将这三个或其中两个时间段进行有机结合。

11.5.3 电磁环境保护

由于升压站的电磁影响与变电设备选型、建筑结构、平面布置、施工质量等均有很大关系，同时随着变电设备运行时间的加长，高压设备、配件等也会逐渐

老化、损坏和受到环境污染，都会使升压站的电磁场增大。为尽量减小变电设备产生的电磁场对环境的影响，提出以下防护措施：

（1）选用带有金属罩壳的电气设备：各电压等级的配电装置 GIS 设备采用封闭式母线，对裸露电气设备采取设置安全遮拦或金属栅网等屏蔽措施。

（2）主变设备、主变压器外壳以及主变室内墙体敷设的铝合金吸音板采取良好的接地措施。

（3）对升压站设备的金属附件，如吊夹、保护环、保护角、垫片和接头等要合理设计外形和尺寸，避免出现高电位梯度点。金属附件上的保护电镀层要求光滑，所有的边角应挫圆，螺栓头也应打圆或屏蔽起来，避免尖角和凹凸；应使用合理的几何形状和材料的绝缘子及其保护装置，控制绝缘子的表面放电。

（4）在安装高压设备时，应减少设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电；对电力线路的绝缘子和金属，要求绝缘子表面保持清洁和不积污，金属间保持良好的连接，防止间隙性放电。

11.5.4 鸟类生态环境保护

为了减轻海上风电场对鸟类生存的影响，对本建设项目在施工和运营期间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替代补偿方案：

（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）运行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。

除采取生态恢复措施和替代补偿方案之外，还需要对鸟类影响进行生态监测。

（1）施工期生态监理和环境教育

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。通过制定相应的环保手册对施工人员、施工区域、施工方式、施工时间进行有效的指导。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；风电场运营的时候，在候鸟迁徙高峰来临时应该关闭风机。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，使其对鸟类的干扰降低到最低程度。

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，参加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确切数据。监测时段应主要安排在鸟类迁徙高峰，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。

11.6 长期监测与评估

根据《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》要求，为及时了解和掌握本项目在其建设期间对海洋水质、沉积物和生态产生的影响，以便对可能造成环境影响的关键环节事先进行制度性的监测，使可能造成环境影响的因素得以及时发现，需要对项目建设对海洋环境产生的影响进行长期监测和评估。

根据本建设项目的工程特征和区域环境现状、环境规划要求，制定本项目的环境监测计划，包括环境监测的项目、频次、分析方法和评价标准等具体内容，详见报告 13 章节。

12 海洋工程的环境可行性

12.1 海洋功能区划和海洋环境保护规划的符合性

12.1.1 与海洋主体功能区规划的符合性分析

12.1.1.1 与《全国海洋主体功能区规划》的符合性

2015 年 8 月，国务院印发《全国海洋主体功能区规划》，规划根据“陆海统筹、尊重自然、优化结构、集约开发”的基本原则，依据海洋主体功能，将海洋空间划分为优化开发区域、重点开发区域、限制开发区域、禁止开发区域。项目所在地属于限制开发区域中的渔业保障区，包括传统渔场、海水养殖区和水产种质资源保护区。

限制开发区域的发展方向与开发原则是：实施分类管理，在海洋渔业保障区，实施禁渔区、休渔期管制，加强水产种质资源保护，禁止开展对海洋经济生物繁殖生长有较大影响的开发活动。…在传统渔场，要继续实行捕捞渔船数量和功率总量控制制度，严格执行伏季休渔制度，调整捕捞作业结构，促进渔业资源逐步恢复和合理利用；加强重要渔业资源保护，开展增殖放流，改善渔业资源结构。在海水养殖区，要推广健康养殖模式，推进标准化建设；发展设施渔业，拓展深水养殖，推进以海洋牧场建设为主要形式的区域综合开发。加强水产种质资源保护区建设和管理，在种质资源主要生长繁殖区，划定一定面积海域及其毗邻岛礁，用于保障种质资源繁殖生长，提高种群数量和质量。”

本工程属《全国海洋主体功能区规划》中的限制开发区域内的传统渔场。项目建设过程中会产生悬浮沙、噪声等污染，通过合理安排施工计划、控制开挖范围、避开产卵期施工等措施，合理保护渔业资源。对永久占用的海域，项目实施完成后结合工程所在海域的海洋生物种类分布特征、人工育苗和增殖放流技术进行增殖放流，尽快恢复工程海域的渔业资源。因此，本项目的建设与《全国海洋主体功能区规划》是符合的。

12.1.1.2 与《广东省海洋主体功能区规划》的符合性

根据《关于印发广东省海洋主体功能区规划的通知》（粤海渔[2018]12 号），依据主体功能，将海洋空间划分为优化开发、重点开发、限制开发和禁止开发四

类区域，项目所在汕尾市陆丰市属于限制开发区域中的海洋渔业保障区。见表12.1-1 和图 12.1-1。

表 12.1-1 广东省海洋主体功能区划总表（节选）

类型	区域范围		海域面积（km^2）	比例（%）
限制开发区域	海洋渔业保障区	汕头市：南澳县、潮南县 揭阳市：惠来县 汕尾市：海丰县、陆丰县 惠州市：惠东县 阳江市：阳东区、阳西县 茂名市：电白区 湛江市：吴川市、雷州市、徐闻市	28499	44.04

该区域的发展方向和布局明确要求“加快发展海洋风电产业。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，实现海洋开发和海洋保护双赢。有序推进珠三角海域的惠州港口，粤东海域的洋东、勒门（一）、海门（二、三） 靖海、神泉、后湖、甲子，粤西的南鹏岛、沙扒、外罗、新寮、徐闻等近海浅水区海上风电建设，到 2020 年规划建设装机容量 840 万千瓦，优先保障1344 平方公里海域使用需求。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”。

根据规划附表“表 1 广东省海上风电布局及发展时序”，本项目属于甲子海上风电场，用海总面积 144km^2，规划容量 90 万千瓦（本项目用海面积80km2， 规划容量 50 万千瓦 ），开发时序为 2019 年。因此，项目建设符合《广东省海洋主体功能区规划》的发展方向和布局。

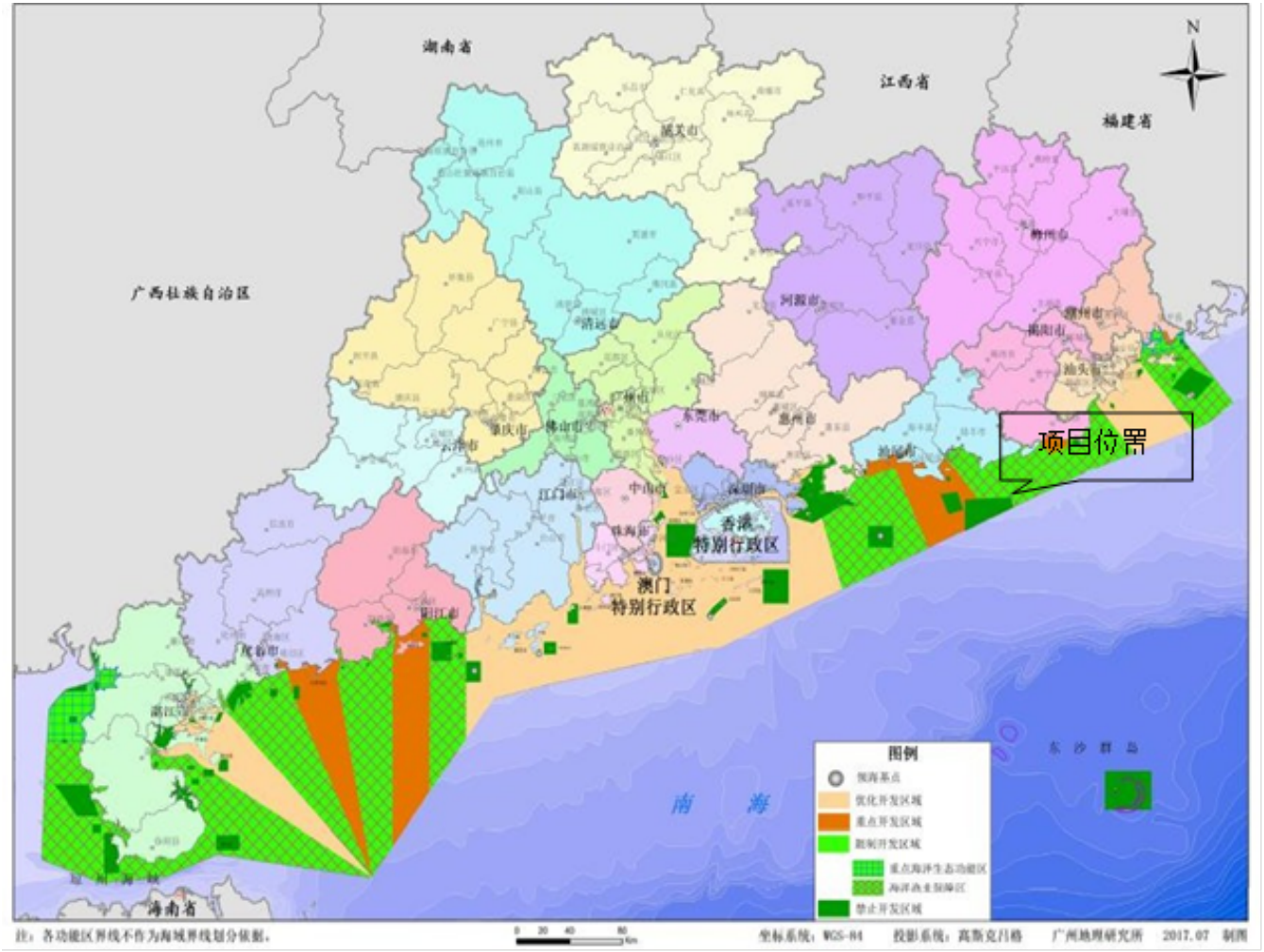


图 12.1-1 广东省海洋主体功能区划

12.1.2项目与海洋功能区划的符合性分析

12.1.2.1 与《全国海洋功能区划》的符合性

2012 年 3 月，国务院批准了《全国海洋功能区划》（2011~2020 年），区划将我国管辖海域划分为渤海、黄海、东海、南海和台湾以东海域共 5 大海区，29 个重点海域。其中，“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。”

本项目位于汕尾市陆丰湖东镇后湖南侧海域，项目建设对海域影响的因素有悬浮沙等。本项目对水动力和海床冲淤的影响仅局限于风电场附近，不会对领海基点地形地貌的稳定造成影响。因此项目与《全国海洋功能区规划》不冲突。

12.1.2.2 与《广东省海洋功能区划》的符合性

本工程位于汕尾市陆丰湖东镇南侧海域。根据《广东省海洋功能区划（2011 - 2020 年）》，项目风电场区、部分 220KV 海底电缆位于珠海-潮州近海农渔业区， 部分 220KV 海底电缆穿越田尾山-石碑山农渔业区。项目周边海域海洋功能区划有：田尾山工业与城镇用海区、湖东-甲子工业与城镇用海区、碣石湾近海海洋保护区等。各功能区的分布详见图 12.1-2 及表 12.1-2，海洋功能区划登记表见表 12.1-3。

表 12.1-2 项目所在及周围海域海洋功能区划分布状况

编号	海洋功能区划名称	与本项目的方位关系及最近距离	功能区
1	珠海-潮州近海农渔业区	风电场、海底电缆项目所在	农渔业区

2	田尾山-石碑山农渔业区	海底电缆穿过	农渔业区
3	田尾山工业与城镇用海区	海底电缆东北侧约 2.5km	工业与城镇用海区
4	湖东-甲子工业与城镇用海区	海底电缆东北侧约 20km	工业与城镇用海区
5	碣石湾近海海洋保护区	风电场南侧 1.8km	海洋保护区

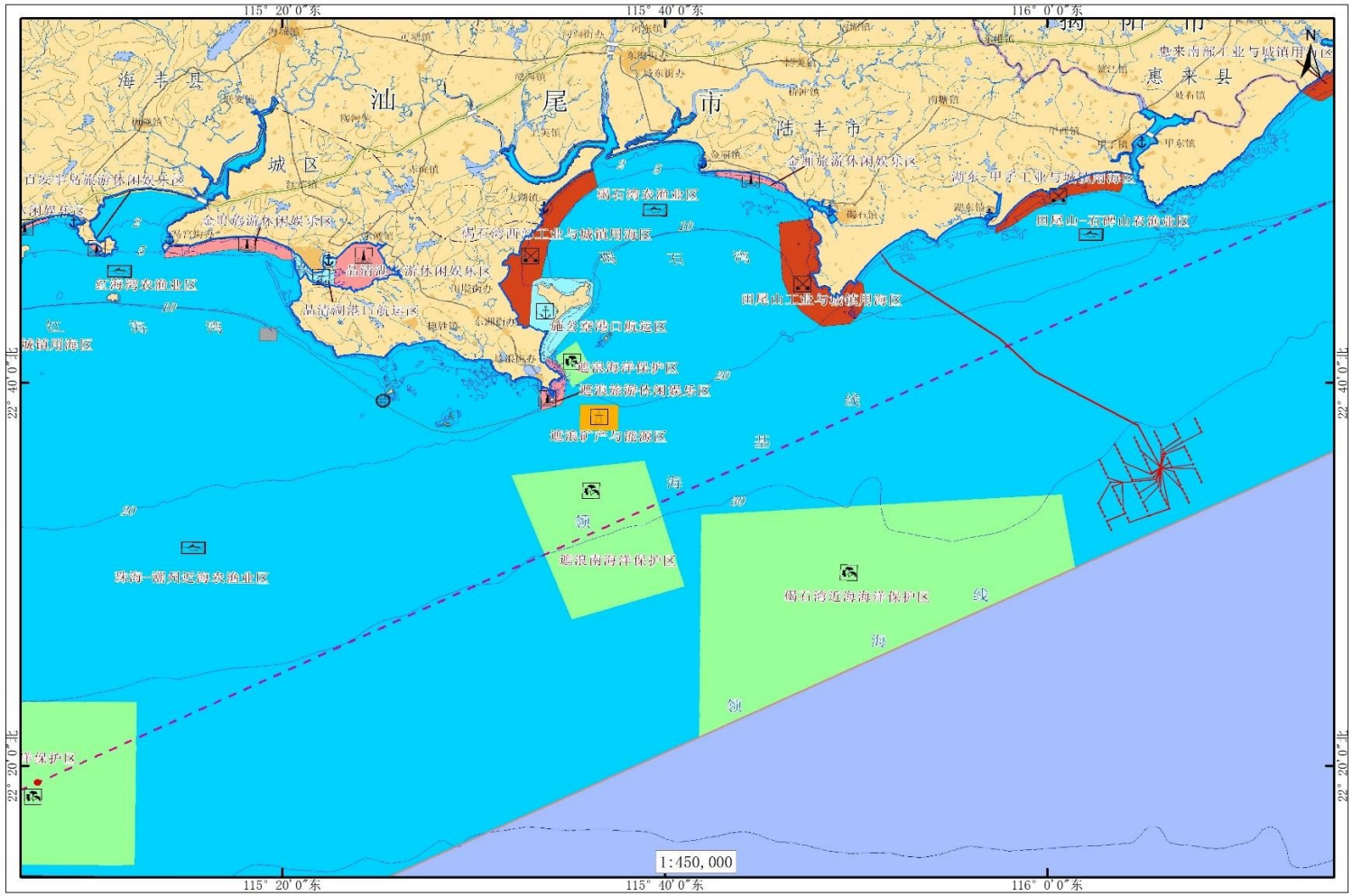


图 121.1-2 项目所在海域及周边海域海洋功能区分布示意图

表 12.1-3 项目周边海洋功能区划一览表（广东省海洋功能区划）

序号	代码	功能区名称	地理范围（东经、北纬）	功能区类型	面积（公顷）岸段长度（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； 2. 禁止炸岛等破坏性活动； 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； 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； 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； 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。
130	A1-17	田尾山—石碑山农渔业区	东至:116°30′23″ 西至:115°49′43″ 南至:22°43′05″ 北至:22°59′33″	农渔业区	44281 128331	1. 相适宜的海域使用类型为渔业用海； 2. 严格保护石碑山角领海基点； 3. 保障神泉渔港、澳角渔港、甲子渔港、湖东渔港、深水网箱养殖、人工鱼礁用海需求，保障防灾减灾体系建设用海需求； 4. 适当保障后湖、石碑山角等旅游娱乐用海需求； 5. 适当保障港口航运用海需求； 6. 经严格论证后，适当保障海上风电用海需求； 7. 严禁在曲清河、瀛江、隆江等河口海域围填海，维护防洪纳潮功能，维持航道畅通； 8. 合理控制养殖规模和密度； 9. 保障国防安全用海需求。	1. 保护甲子屿、港寮湾礁盘生态系统，保护龙虾、鲍、鲨、海龟、海胆等重要渔业品种； 2. 严格控制养殖自身污染和水体富营养化， 防止外来物种入侵； 3. 加强渔港环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海； 4. 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。

序号	代码	功能区名称	地理范围（东经、北纬）	功能区类型	面积（公顷） 岸段长度（米）	管理要求	
						海域使用管理	海域使用管理
129	A3-26	田尾山工业与城镇用海区	东至:115° 50′ 30″ 西至:115° 45′ 56″ 南至:22° 42′ 55″ 北至:22° 48′ 35″	工业与城镇用海区	4183 15382	1. 相适宜的海域使用类型为造地工程用海、工业用海； 2. 保障核电用海需求，在基本功能未利用前，保留浅海增养殖等渔业用海； 3. 适当保障港口航运用海需求； 4. 围填海须严格论证，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源； 5. 工程建设及营运期间采取有效措施降低对周边功能区的影响； 6. 加强对围填海、温排水的动态监测和监管。	1. 加强海洋环境监测，建立完善的应急体系； 2. 基本功能未利用前，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； 3. 工程建设期间及建设完成后，执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。
131	A3-27	湖东-甲子工业与城镇用海区	东至:116° 04′ 10″ 西至:115° 57′ 16″ 南至:22° 47′ 45″ 北至:22° 51′ 01″	工业与城镇用海区	1811 14022	1. 相适宜的海域使用类型为造地工程用海、工业用海； 2. 在基本功能未利用前，保留增养殖等渔业用海； 3. 适当保障港口航运用海需求； 4. 保护砂质海岸； 5. 围填海须严格论证，严禁在曲清河、瀛江等河口海域围填海，优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源； 6. 工程建设期间采取有效措施降低对周边功能区的影响； 7. 加强对围填海的动态监测和监管。	1. 保护近岸海域生态环境； 2. 基本功能未利用前，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； 3. 工程建设期间及建设完成后，执行海水水质三类标准、海洋沉积物质量二类标准和海洋生物质量二类标准。
231	B6-31	碣石湾近海海洋保护区	东至:116° 01′ 33″ 西至:115° 42′ 00″ 南至:22° 21′ 15″ 北至:22° 34′ 00″	海洋保护区	48115	1. 相适宜的海域使用类型为特殊用海； 2. 严格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。	1. 保护海马及其生境； 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。

12.2 与海洋生态红线制度的符合性

海洋生态红线是指依法在重要海洋生态功能区、海洋生态敏感区和海洋生态脆弱区等区域划定的边界线以及管理指标控制线，是海洋生态安全的底线。科学划定广东省海洋生态红线，制定和实施相应管控措施，旨在有效保护全省海洋生态环境、维护海洋生态健康、优化海洋生态安全格局、增强海洋经济可持续发展能力，推进海洋生态文明建设。

2017 年 9 月广东省人民政府原则同意《广东省海洋生态红线》，沿海各地级以上市人民政府和省海洋与渔业厅等有关部门要按照“严标准、限开发、护生态、抓修复、减排放、控总量、提能力、强监管”的总体思路，认真执行海洋生态红线制度，切实做到用最严格的制度保护海洋生态环境，保障我省海洋经济可持续发展。根据广东省海洋与渔业厅印发的《广东省海洋生态红线》，广东全省共划定 13 种类型的海洋生态红线区 268 个，总面积 18163.98 平方公里。

《广东省海上风电场工程规划》是全国首个顺利经过国家海洋局会签的地方海上风电开发规划，该规划明确要求“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”。由此可见，在海上风电场工程规划制定之初就已经考虑并避开了了海洋功能区划中一些海洋生态敏感区和海洋生态红线区，相当于在顶层设计层面避免了用海功能冲突的问题。

《广东省海洋生态红线》划定按照生态保护与整治修复并举的原则，有效衔接了国家和省级海洋功能区划、省级海洋环境保护规划、国家级战略规划、全省海岛保护规划以及其他沿海区域或行业发展规划等涉海区划、规划，并充分考虑了我省重大、重点项目发展和建设用海保障，考虑了沿岸核电、海上风电等重大项目的用海需求。

1、项目所在海域海洋生态红线区

本风电场选址和海底电缆路由经过多方案比选，最终完全避开了《广东省海洋生态红线》中的限制类和禁止类区域，登陆段占用大陆自然岸线保有 21 米，

仅占用岸线底层空间。

本项目风机组不占用生态红线区，距离项目较近的生态红线区有碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区（201）、碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区（202）、湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（203）、甲子重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（204）、金厢重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（199）、金厢重要渔业海域限制类红线区（200），见图 12.2-1。针对海洋自然保护区的核心区和缓冲区等禁止类红线区的管控措施要求，按照《中华人民共和国自然保护区条例》和《海洋特别保护区管理办法》的相关要求，实行严格保护，禁止实施改变区内自然生态条件的生产活动和任何形式的工程建设活动。针对限制类红线区的总体管控措施包括：1、禁止围填海；2、禁止采挖海砂；3、不得新增入海陆源工业直排口；4、严格控制河流入海污染物排放，海洋生态红线区陆源入海直排口污染物排放达标率达 100%；5、控制养殖规模，鼓励生态化养殖；6、对已遭受破坏的海洋生态红线区，实施可行的整治修复措施，恢复原有生态功能；7、实行海洋垃圾巡查清理制度，有效清理海洋垃圾。除实施上述总体管控要求外，针对红线区类型，制定细化的分类管控措施及环保要求，具体管控措施和环境保护要求见表 12.2-2。

本项目 220kV 海缆登陆占用的大陆自然岸线为湖东港砂质岸线（185）；工程海域周边大陆自然岸线有金厢角砂质岸线（183）、浅澳港砂质岸线（184）、长湖村砂质岸线（186），见图 12.2-2。大陆自然岸线的管控措施为“维持岸线自然属性，向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动,保持自然岸线形态，保护岸线原有生态功能，加强对受损自然岸线的整治与修复。”“需要利用自然岸线进行渔业基础设 施、交通、能源、海底管线、旅游娱乐等公益或公共基础设施工程建设 的，在符合海洋功能区划和海洋环境保护规划情况下，要经科学论证和环境影响评价，经相应行政主管部门审批后实施”。各岸线的具体管控措施见表 12.2-3。

表 12.2-1 本项目与海洋生态红线区及主体岸线相对位置关系

序号	生态红线区	与本项目最近距离、相对位置	类型
1	碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区（201）	风场场址西南面 2.8km	稀濒危物种集中分布区

2	碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区（202）	风场场址西南面 2.8km	海洋自然保护区
3	湖东重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（203）	海缆登陆段东侧 8.6km	要砂质岸线及邻近海域
4	金厢重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区（199）	海缆登陆段西侧 8.1km	要砂质岸线及邻近海域
5	金厢重要渔业海域限制类红线区（200）	海缆登陆段西侧 9.6km	重要渔业海域
6	湖东港砂质岸线（185）	海缆登陆段占用，占用长度 21m	砂质岸线
7	金厢角砂质岸线（183）	海缆登陆段西侧8.4km	砂质岸线
8	浅澳港砂质岸线（184）	海缆登陆段西侧 5.8km	砂质岸线
9	长湖村砂质岸线（186）	海缆登陆段东侧 9.7km	砂质岸线

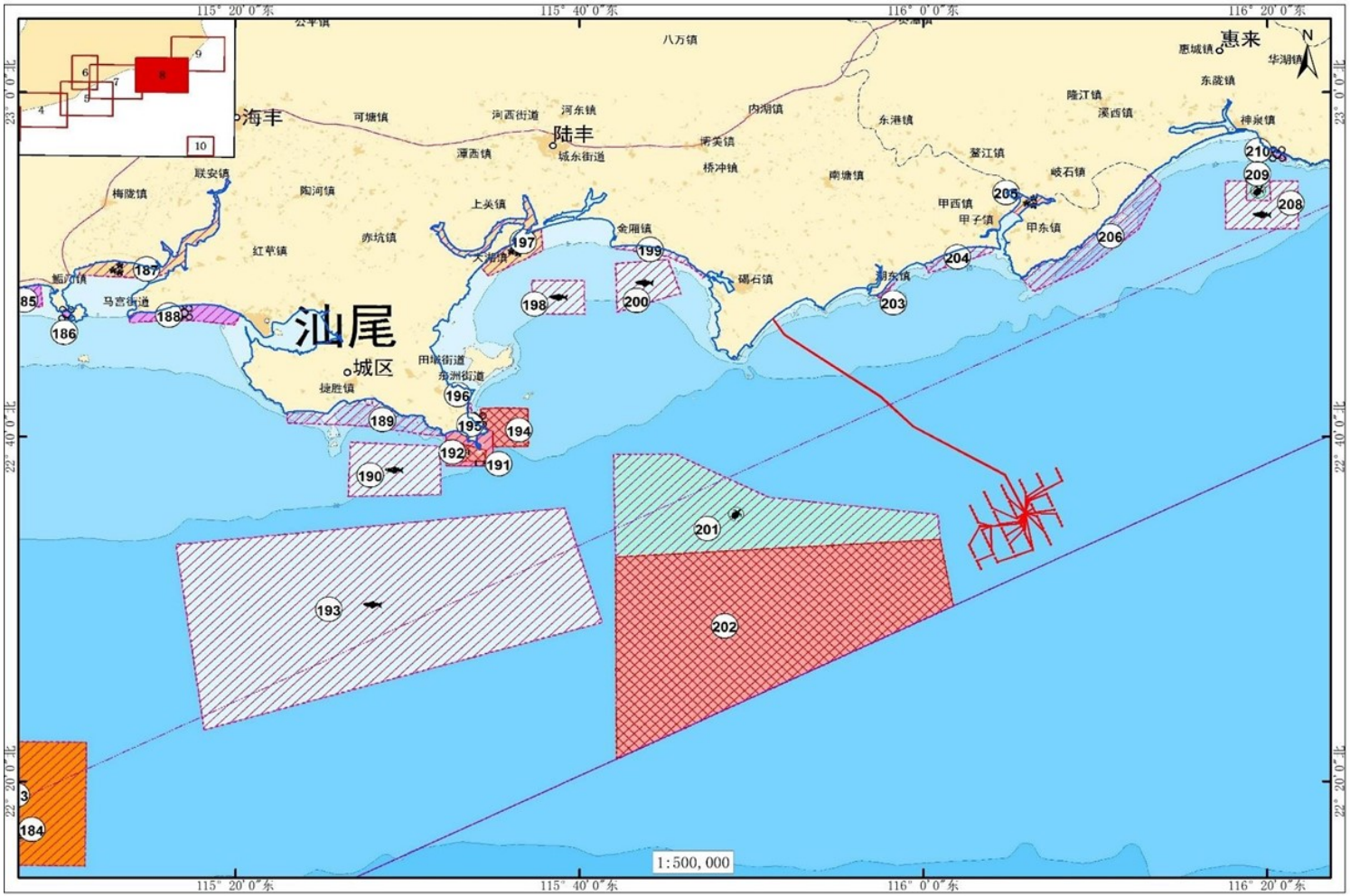


图 12.2-1 广东省海洋生态红线区控制图（项目周边）

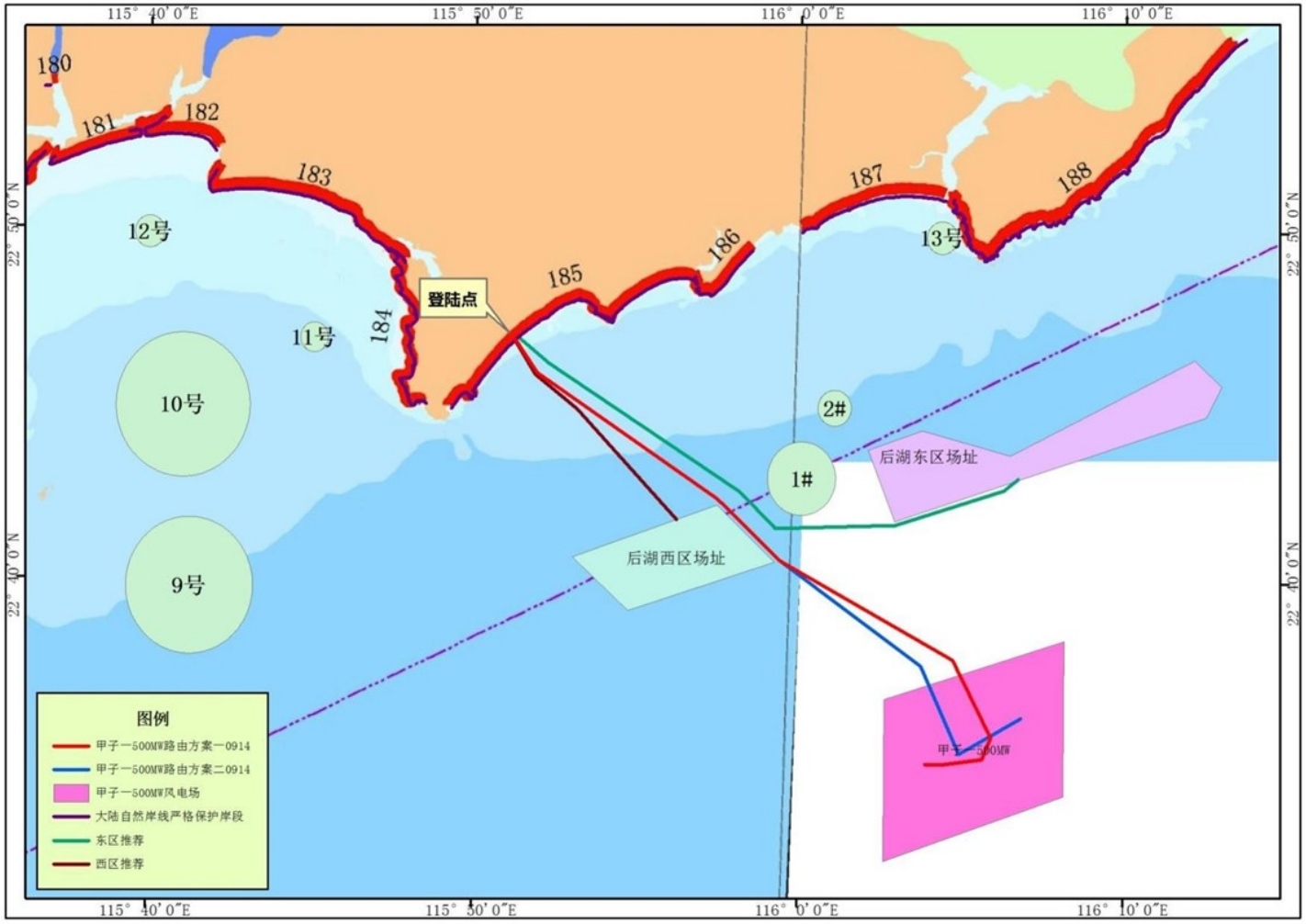


图 12.2-2 汕尾市大陆海岸线自然岸线保有示意图（项目周边）

表 12.2-2 项目附近红线区一览表（《广东省海洋生态红线》）

序号	管控类别	类型	名称	地理位置（四至）	覆盖区域		生态保护目标	管控措施
					面积（km^2）	海岸线长度（km）		
199	限制类	重要砂质岸线及邻近海域	金厢重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	115°42′0.08″-115°47′19.57″E;22°49′14.93″-22°51′6.38″N	4.93	10.4	砂质岸线	管控措施：禁止从事可能改变或影响砂质岸线自然属性的开发建设活动。设立砂质海岸退缩线，禁止在高潮线向陆一侧 500 米或第一个永久性构筑物或防护林以内构建永久性建筑。在砂质海岸向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动。加强对受损砂质岸线的修复。 环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，禁止排放有害有毒的污水、油类和其他废弃物，改善海洋环境质量。
200	限制类	重要渔业海域	金厢重要渔业海域限制类红线区	115°42′5.07″-115°45′50.96″E;22°47′15.71″-22°50′18.43″N	26.16	0	渔业资源	管控措施：维持海域自然属性，禁止围填海，保护渔业资源产卵场、育幼场、索饵场和洄游通道。禁止新增围填海，禁止截断洄游通道、水下爆破施工等开发活动；禁止破坏性捕捞方式，合理有序开展捕捞作业；严格执行禁渔期、禁渔区制度以及渔具渔法规定。港口、航道及其他基础设施建设应以不破坏渔业生态环境为前提。 环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，严格通知有害有毒的污水、油类、油性混合物和其他废弃物，防止船舶污水、溢油及化学品泄漏等对渔业水域水质造成不利影响改善海洋环境质量。
201	限制类	珍稀濒危物种集中分布区	碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区	115°41′55.01″-116°0′50″E;22°32′59.99″-22°38′58.42″N	210.29	0	海马生物资源	管控措施：严格保护海马资源及其生境，维持海域自然属性，禁止围填海，维持促进珍稀濒危物种栖息和索饵的渔业资源。禁止排放有害有毒的污水、油类、油性混合物、热污染物和其他废弃物，防止船舶污水、溢油及化学品泄漏等对渔业水域水质造成不利影响，改善海洋环境质量。 环境保护要求：执行海水水质第一类标准、海洋沉积物质量第一类标准和海洋生物质量第一类标准。

序号	管控类别	类型	名称	地理位置（四至）	覆盖区域		生态保护目标	管控措施
					面积（km^2）	海岸线长度（km）		
202	限制类	海洋自然保护区	碣石湾海马海洋自然保护区禁止类红线区	115°41′58.9″-116°1′33.61″E;22°21′15.78″-22°33′59.99″N	480.23	0	海马生物资源	管控措施：执行《海洋特别保护区管理办法》和《海洋自然保护区管理办法》等相关法律法规，重点保护海洋生物资源和海岛景观。禁止实施各种与保护无关的工程建设活动，禁止实施改变区内自然生态条件的生产活动和工程建设活动。鼓励采取适当的人工生态整治与修复措施，恢复海洋生态、资源与关键生境。 环境保护要求：按照海洋环境保护法律法规及相关规划要求进行管理，禁止直接向海域排放污染物，改善海洋环境质量。
203	限制类	重要砂质岸线及邻近海域	湖东重要砂质岸线及邻近海域	115°57′16.93″-115°58′27.35″E;22°48′1.97″-22°49′14.35″N	0.97	2.7	沙滩	管控措施：禁止从事可能改变或影响砂质岸线自然属性的开发建设活动。设立砂质海岸退缩线，禁止在高潮线向陆一侧 500 米或第一个永久性构筑物或防护林以内构建永久性建筑。在砂质海岸向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱发沙滩蚀退的开发活动。加强对受损砂质岸线的修复。 环境保护要求：海水水质、海洋生物质量、沉积物等维持现状，对沙滩资源破坏较严重的区域进行整治修复，保持海洋水文动力维持原状。

2、与海洋生态红线区的符合性分析

根据上述分析，本项目风场场址避开了重要生态红线区，项目施工期间会对水生生物生境和渔业资源造成一定不利影响，但这种影响是局部的、暂时的，随着施工结束影响逐渐消失，因此这种影响在可接受的范围内，可采用生态补偿方式进行弥补，项目营运期间对附近生态红线区基本不会产生不利影响。

项目虽占用大陆自然岸线，但其用海方式能确保不改变砂质岸线自然属性，能保持岸线的原有生态功能，符合自然岸线保有率的管理要求。

根据《广东省海洋生态红线》大陆岸线管控要求，“需要利用自然岸线进行渔业基础设施、交通、能源、海底管线、旅游娱乐等公益或公共基础设施工程建设的，在符合海洋功能区划和海洋环境保护规划情况下，要经科学论证和环境影响评价，经相应行政主管部门审批后实施”，本项目需要利用自然岸线进行海底管线基础设施工程建设，符合海洋功能区划和海洋环保规划，已经科学论证、并进行环境影响评价，报行政主管部门审批，符合其管控要求。本项目与所占用红线（大陆自然岸线）具体管控要求的符合性详见表 12.2-4。

表 12.2-4　项目与省海洋生态红线的符合性分析

红线名称	生态红线管理要求	项目情况描述	是否符合
湖东港砂质岸线	维持岸线自然属性，向海一侧 3.5 海里内禁止采挖海砂、围填海、倾废等可能诱 发沙滩蚀退的开发活动。	本项目登陆段电缆施工采用定向钻拖拉法，不影响沙滩自然属性， 不涉及采挖海砂、围填海等活动。	符合

	保持自然岸线形态，保护岸 线原有生态功能，加强对受 损自然岸线的整治与修复。	项目登陆段海缆敷设仅占用岸线底层空间，不影响自然岸线形态和原有生态功能；项目建成后，对登陆段海缆所在自然岸段采取保护措施，能够有效保护沙滩的自然属性，维持沙滩自然面貌和环境整洁。	符合
	保障不改变自然岸线属性的核电基础设施建设。	项目占用岸段属于规划的甲子海域海水风电场群集中登陆区域，不影响核电基础设施建设。	符合

因此，项目实施符合红线区和自然岸线的管控措施，项目用海与《广东省海洋生态红线》相符。

12.3 区域和行业规划的符合性

12.3.1 与《广东省环境保护规划纲要（2006-2020）》的符合性

2006 年，广东省政府印发了《广东省环境保护规划纲要（2006-2020）》，提出了“三区控制、一线引导、五域推进”的总体战略。“三区控制”是指以优化空间布局为突破口，分类指导、分区控制，将全省划分为严格控制区、有限开发区和集约利用区。根据生态环境敏感性、生态服务功能重要性和区域社会经济发展差异性等，把全省陆域和沿海海域划分为 6 个生态区、23 个生态亚区和 51 个生态功能区。在此基础上，结合生态保护、资源合理开发利用和社会经济可持续发展的需要，全省陆域划分为陆域严格控制区、有限开发区和集约利用区；结合近岸海域环境功能区划、水质目标和海洋生态保护的要求，近岸海域划分为近岸海域严格控制区、有限开发区和集约利用区，实行生态分级控制管理。《广东省环境保护规划纲要（2006-2020）》要求各地必须划定不小于规定面积的陆域和近岸海域严格控制区。

（1）严格控制区：近岸海域严格控制区总面积约 959.9km^2，占全省近岸海域面积的 13.7%，包括海洋自然保护区、珍稀濒危海洋生物保护区和红树林保护区等区域。严格控制区内禁止所有与环境保护和生态建设无关的开发活动。近岸海域严格控制区内禁止设置排污口，同时要加强海洋生态环境保护，加快红树林

生态恢复，有效保护珍稀濒危海洋生物，避免开设航道和旅游线路。

（2）有限开发区：近岸海域有限开发区总面积约 4707.6km^2，占全省近岸海域面积的 67.1%，包括养殖区、滨海浴场、盐业开发区、海滨旅游区、景观保护区、水上运动区、渔场渔业生产区等区域。有限开发区内可进行适度的开发利用，但必须保证开发利用不会导致环境质量的下降和生态功能的损害，同时要采取积极措施促进区域生态功能的改善和提高。近岸海域有限开发区内要重点推行科学养殖技术，合理控制养殖密度和规模，滨海旅游区要严格划定边界，并建立完善的管理体系。

（3）集约利用区：近岸海域集约利用区总面积约 1353km^2，占全省近岸海域面积的 19.3%，包括工业发展区、排污区、航运发展区、经济开发和围垦区等区域。近岸海域集约利用区内要严格按照近岸海域功能区的范围和功能定位进行有序开发，合理控制围海造地，科学调整工业产业结构和规模，加强治污力度，避免开发建设对周围海域环境产生严重影响。

广东省近岸海域生态分级控制如图 12.3-1 所示，项目所在海域在《广东省环境保护规划纲要》中属于有限开发区，在不影响海环境质量和生态功能的前提下，可进行适度开发利用。

因此，本项目与《广东省环境保护规划纲要（2006-2020 年）》要求是相符的。

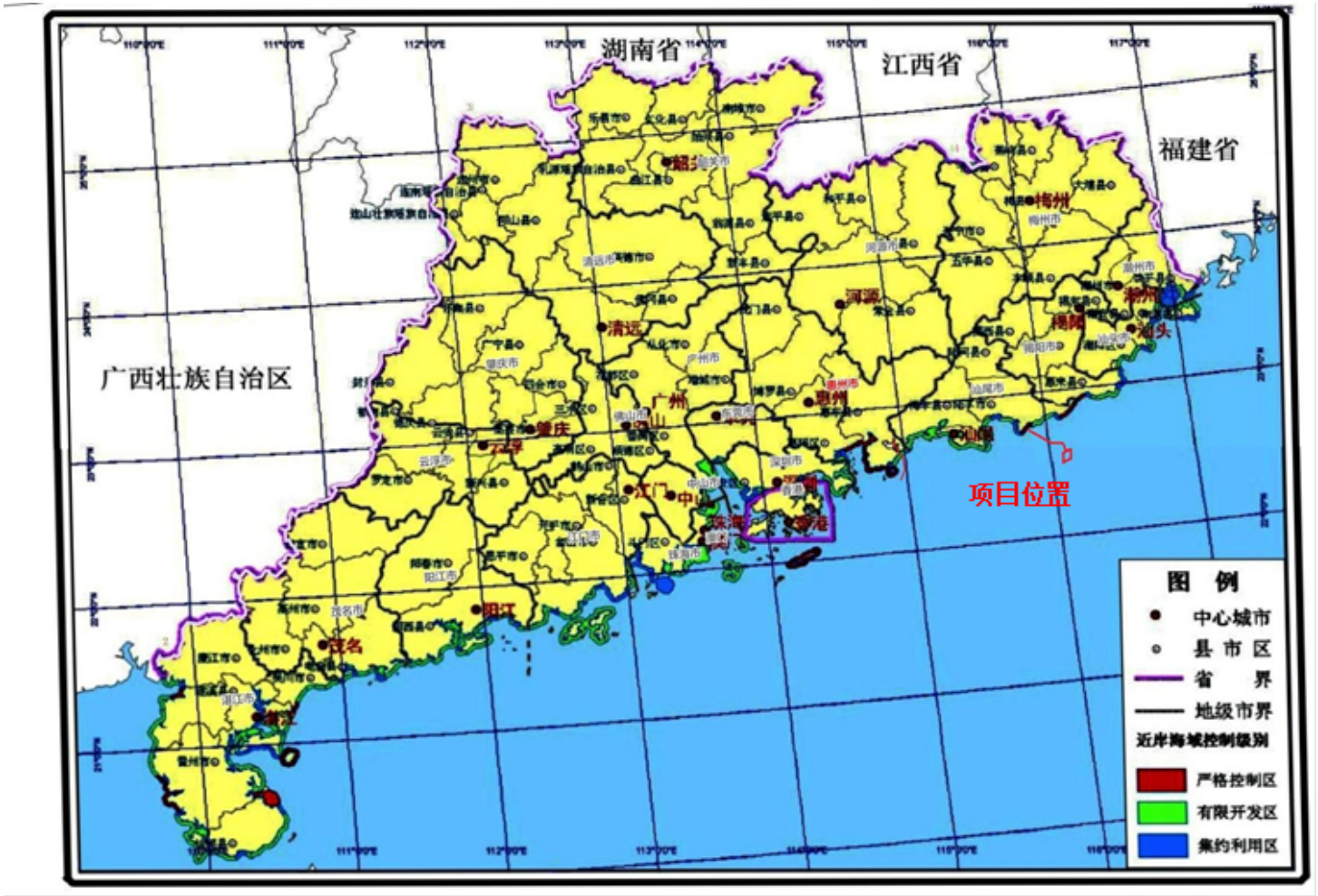


图 12.3-1 项目所在海域的近岸生态分级控制图

12.3.2 与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》符合性分析

根据广东省人民政府、国家海洋局 2017 年 10 月提出的《广东省海岸带综合保护与利用》，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。包括以生产为主的城镇空间和农业空间、以港口开发、临海工业为主的建设用海空间、以渔业生产为主的海洋生物资源利用空间，其中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，主要分布在粤东的汕头洋东、勒门、海门，揭阳神泉、靖海，汕尾甲子、后湖，珠三角的惠州港口，珠海桂山、金湾，粤西的阳江沙扒、南鹏岛、湛江新寮、外罗、徐闻等临近海域。

本项目属于新能源产业类型，项目风机组位置位于红海湾区的生态空间和生产空间，项目海缆穿过农业空间/海洋生物资源利用空间。项目虽占用岸线，但仅占用底层空间，占用的岸线处于海缆保护范围内，能够得到充分的保护，有利于保持岸线自然属性。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。



图 12.3-2 广东省海岸带红海湾区基础空间规划分图

12.3.3 与《广东省海洋生态环境保护规划（2017～2020）》的符合性分析

根据《广东省海洋生态环境保护规划（2017～2020)》，到 2020 年，我省海洋生态安全格局不断优化，开发强度得到合理控制，海洋生态环境质量总体保持稳定，基本实现海洋经济与生态环境协调发展；海洋生态环境保护制度不断完善，海洋生态环境管理保障能力明显增强，海洋生态文明建设取得阶段性成效。着力推动传统产业转型升级，依据沿海不同区域资源环境承载能力，科学规划产业布局，推动海洋渔业、海洋船舶工业、海洋油气业、海洋盐业等传统产业改造升级，合理布局沿海重化工业、能源产业，提高产品技术含量和附加值，增强市场竞争力。

本项目是根据广东省海上风电发展规划（2017-2030）（修编）》提出的广东沿海 23 处海上风电规划场址之一，项目建设符合可持续发展的原则和国家能源产业发展政策方针，能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。本项目没有围填海工程，工程建设期间会区域生态环境和海域底栖生物有一定影响，但随着工程结束影响就会消失，不会对海洋生态环境造成较大的不利影响。

因此，本项目与《广东省海洋生态环境保护规划（2017～2020)》是符合的。

12.4 建设项目的政策符合性

根据国家发展改革委 2013 年发布的《产业结构调整指导目录（2011 年本）（2013 修正）》，新能源项目增加“海上风电场建设与设备制造”作为第 12 项鼓励类项目。工程为海上风电场建设项目，属于产业结构调整鼓励类项目。由此可见，本工程建设符合国家产业政策的要求。

12.5 工程选址与布置的合理性

12.5.1 项目用海选址合理性分析

根据国家能源局、国家海洋局印发的关于《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。

本工程位于广东省汕尾市陆丰湖东镇后湖南侧海域，风电场选址与附近航道、锚地、倾倒区有一定的安全距离，且未在各种保护区等范围内；场址最近端距离 陆岸 25 公里。场址涉海面积约 80 平方公里，水深 33﹣39 米之间；风电场附近海 域空旷，不存在有相关水上、水下建筑物等设施，也不存在军事设施；工程风机组和登陆点选址、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； 工程选址符合相关规划的要求，从通航安全的角度上来看，本工程选址是可行的。因此，本项目选址总体与《海上风电开发建设管理办法》相符合。

本工程选址是在《广东省海上风电场工程规划》成果基础上的进一步细化。该场址在上层规划中已充分考虑了项目建设对港口航运、渔业生产、国防军事及生态环境等的影响，在规划中得到了地方海洋、海事、部队、农业等部门的认可。因此评价认为项目选址总体满足国家对海上风电开发建设管理的要求。

根据场址附近海上测风塔测风周年的观测资料统计，海上测风塔在测风年不同高度年平均风速在 8.27~9.23m/s，年平均风功率密度在 607～809W/m^2 之间。经长年代订正分析，测风塔代表年 100m 高度的年平均风速为 8.68m/s，平均风功率密度约为 674.4W/m^2。根据《风电场风能资源评估方法》（GB/T18710-2002)风功率密度等级评判标准，本风电场风能资源属于 5 级，风能资源丰富。

其次，本工程位于广东省汕尾市陆丰湖东镇后湖南侧海域，海域宽阔，场区内未见岛屿与礁石分布，场区水深在 33m～39m 之间，水下滩面地形较平缓，综合评价场地稳定性较好，场址具备规模开发条件；本风电场选址风能资源较丰富， 且风电品质也较高，可用于并网型风力发电，具有较好的开发前景。且本工程选址位于近海，参考《风电场场址选择技术规定》，推荐的电气线路输电容量和距离，本风电场海缆登陆后可就近接入电网消纳，具有方便的电网接入条件。

另外项目选址选线时充分考虑了生态环境敏感目标的分布，对周边生态环境影响不大。建议工程建设单位在施工和运营中严格落实好各种环保措施，尽量减

少工程建设对周边海洋环境的影响，同时可采取鱼类增殖放流等方式进行生态资源补偿。根据风险分析，一旦发生溢油事故，将威胁到该水域的渔业资源和生产，对溢油事故必须严加防范杜绝发生，避免造成经济损失和环境污染。项目在采取一定补偿措施以及环保措施的条件下，工程建设对周边海域的生态环境影响程度较小。

总体上，项目与珍稀濒危动植物物种保护区保持一定的安全距离，不影响重要渔业的三场一通道，海域总体生态环境较好，工程选址符合环境和生态保护要求，可减少对渔业资源、鸟类的影响。

12.5.2 平面布置合理性分析

12.5.2.1 布置原则

风电机组布置，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）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。

7）本风电场轮毂高度处主导风向为 NE，风向、风能分布相对集中。风机布置时按平行主导风向 10～14 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。

12.5.2.2 风机布置方案

根据规划要求，本工程装机容量为 500MW，根据以上风机布置原则，分别对 5MW、5.5MW、6MW、6.45MW 和 7.0MW 共 5 种方案进行布置。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） 结合风能资源分析的相关成果（风速频率分布和风向频率分布），利用对（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 3 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°，主导风速频率上/下浮 30%，对（3）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。

（7） 利用 WAsP 软件计算发电量，风资源文件采用现场实测 D152168 数据，经塔影订正与长年代订正后的一周年完整的风速风向数据。

从经济收益的角度，本项目推荐机型为 MySE5.5-155，对推荐的 5.5MW 机型进行风电机组布置，现阶段主要从技术角度出发，依据充分利用风能资源、在不与用海和环保冲突条件下合理使用规划场址面积。根据风资源评估结果，本风电场主导风向为 E，风向风能相对集中。而本风电场用地范围总体大致呈 W～ E 走势的长方形海域。本阶段按照充分利用风能并满足集约用海的要求，按行距从 5~7 倍，列距从 10~15 倍的多种布置方案根据尾流大小进行局部微调得到最终布置方案，风电机组平面布置是合理的。

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、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，因此本工程风机机组用海平面布置合理。

12.5.2.3 海上升压站平面布置

本项目建设 400MW 和 100MW 海上升压站各一座。其中 400MW 海上升压站上部组块采用三层布置，平面尺寸约为 39m×42m （不包含局部外挑吊装平台），100MW 海上升压站上部组块采用三层布置，平面尺寸约为 30m×32m（不包含局部外挑吊装平台）。一层只布置柴油罐、主变压器集油罐、备品备件间、临时休息室；二层布置主变室、GIS 室、消防设备间、配电室、蓄电池室；三层布置通风机房与应急配电室、应急柴油机房、辅助柴油机房、电抗器、柴油升压变压室、220KV GIS、二次设备间等。海上升压站按无人值守设计，但在运维期间，会有检修人员登上平台进行作业，因此平台设有逃生及安全疏散系统。

总体而言，海上升压站空间有限，其平面布置应力求紧凑、节约空间，本项目海上升压站的布置充分考虑了在满足其主体功能实施和兼顾运维、安全需求的基础上，充分节约空间。因此，海上升压站的平面布置是合理的。

12.5.2.4 220kV 海缆平面布置

根据 7.1.4 章节分析，本工程海缆送出线路进行了方案比选，综合考虑经济性、合理性和安全性等因素，避开场址西面的碣石湾海马珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区、碣石湾近海海洋保护区，以及近岸的锚地，线路短捷，路由长约 37.57km，采用 2 回三芯 220kV 送出海底电缆。

本项目路由方案充分考虑与后湖、甲子二项目以及深海风电海缆空间的协调，与甲子二项目的路由方案保持较小的间隔，在预留够深海风电海缆空间的基础上，有效减少风电海缆管廊带面积，符合集约节约用海原则。

综上，220kV 海缆平面布置充分考虑了周边用海活动现状和风电场整体规划，符合集约节约用海的原则，并考虑甲子二项目和深海风电海缆空间需求， 预

留共用管廊通道，平面布置合理。

12.5.2.5 35kV 海缆平面布置

本项目海底电缆采用 35kV 三芯电缆，根据风电机组布置及考虑每个 35kV 母线段所带风电机组数量尽量平衡，风电场共设置 20 回 35kV 集电海底电缆，采用链形拓扑结构，随风机布置调整进一步优化集电线路拓扑连线，并结合场址地质情况确定集电海缆路由，其平面布置是合理的。

13 环境管理与监测计划

13.1 环境管理计划

13.1.1 环境管理的目的和任务

环境管理是工程管理的一部分，是工程环境保护工作有效实施的重要环节。环境管理目的在于保证工程各项环境保护措施的顺利实施，使工程施工和运行产生的不利环境影响得到减免，以实现工程建设与生态环境保护、经济发展相协调。

本项目环境管理工作由建设单位、监理单位和施工单位共同承担。建设单位具体负责和落实从项目施工开始至结束的一系列环境保护管理工作。对施工期工区内的环境保护工作进行检查、落实，协调各有关部门之间的环保工作，并配合地方海洋环保部门共同做好工区的环境保护监督和检查工作。

环境监理单位承担环境保护监理工作，按照国家对建设项目环境保护管理要求，依据环境影响报告书、环境保护设计文件和合同、标书中的有关内容对施工过程中的环境保护工作进行监理，制定具体监理方案，确保落实各项保护措施、实施进度和质量。项目环境保护监理贯穿于项目施工全过程。海底线缆、风机和升压站桩基在施工期产生一定量的悬浮物、生活污水和含油污水废水及其它施工垃圾等，对环境产生一定程度的不利影响，施工单位应严格按照环境保护有关条例规定开展施工活动。

环境管理主要内容包括：根据项目设计文件中有关环保内容，落实项目的环保措施和各项经费，合理安排施工时间、方式，确保将项目建设对渔业资源、鸟类和海龟的影响减到最小；确保施工期间施工废水和生活污水处理处置去向明确；合理安排施工方式、时间，确保施工基地场界噪声达标；保持陆上场地整洁，保证施工生产垃圾、生活垃圾符合国家有关规定；做好施工人员卫生防疫工作；委托有资质单位按照有关监测技术规范进行环境监测，定期提供监测数据和分析报告。

13.1.2 环境管理机构

工程环境管理分为外部管理和内部管理两部分。

外部管理是指海洋环境保护行政主管部门，依据国家相关法律、法规和政策，

按照工程需达到的环境标准与要求，依法对各工程建设阶段进行不定期监督、检查及环境保护竣工验收等活动。

内部管理是指建设单位执行国家和地方有关环境保护的法律、法规、政策，贯彻环境保护标准，落实环境保护措施，并对工程的过程和活动按环保要求进行管理。内部管理分施工期和运行期两个阶段。

施工期内部管理由建设单位负责，对工程施工期环境保护措施进行优化、组织和实施，保证达到建设项目环境保护要求。施工期内部环境管理体系由建设单位、施工单位、设计单位和监理单位共同组成，通过各自成立的相应机构对工程建设的环保负责。

运行期由工程运行管理单位负责，对环境保护措施进行优化、组织和实施。

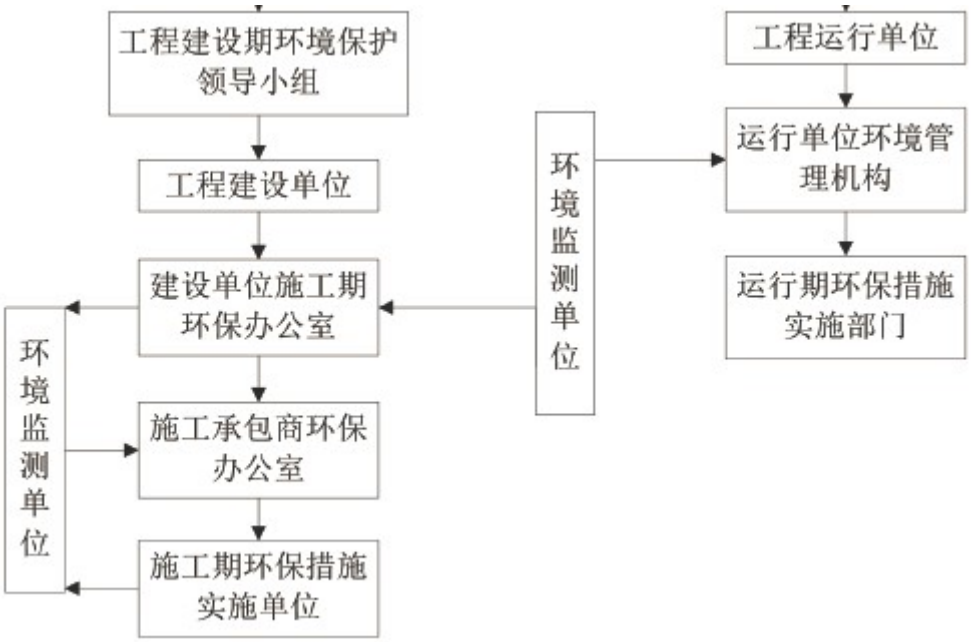


图 13.1-1 内部管理体系框架图

13.1.3环境管理职责

1、施工期

建设单位：工程开工前建设单位应设置“环境保护领导小组”和“环境保护办公室”。

“环境保护领导小组”成员由建设单位、监理单位、设计单位及施工单位等各有关单位的主要领导组成，其中建设单位主要领导任主要负责人，负责确定工程环保方针、审查项目环境目标和指标、审批环保项目立项和投资投入报告、审

批环保项目实施方案和管理方案、检查环境管理业绩、培养职工环境保护意识等工作。

“环境保护办公室”为工程施工期“环境保护领导小组”的常设办事机构，设专职人员 1 人。具体负责和落实工程建设过程中环境保护管理工作，其主要职责包括：①通过开展调查研究，确定适合本工程的环境保护方针和经济技术政策，确立环境保护目标，并结合工程施工方案予以分解；②制定、贯彻工程环境保护的有关规定、办法、细则，并处理执行过程中的有关事宜；③组织编制工程环境保护总体规划和年度计划，组织规划和计划的全面实施，做好环境保护年度预决算，配合财务部门对环境保护资金进行计划管理；④委托进行环保专项设计，检查设计进度，组织设计成果的验收和审查，并保证各项环境保护措施的有效实施；⑤依照法律、规定和方法，对整个工程各项环境保护措施的实施情况进行监督和管理，实施环境质量一票否决制；⑥协调各有关部门之间的关系，听取和处理各环境管理机构提交的有关事宜和汇报，不定期向上级海洋环境保护行政主管部门汇报工作，配合地方海洋、环保部门共同作好工区的环境保护监督和检查工作；⑦督促承包商环境管理机构的工作，内部处理环境违法、违规行为，表彰先进事迹；⑧检查督促接受委托的环境监测部门监测工作的正常实施，加强环境信息统计，建立环境资料数据库；⑨完善内部规章制度，搞好环境管理的日常工作，作好档案、资料收集、整理等工作。

施工单位：施工期的污废水处理、声环境保护、环境空气保护、固体废物保护、生态环境保护等环境保护费用应由施工单位承担，并在招标文件中明确。施工单位应切实确保措施到位，落实相关费用。

各施工承包单位在进场后均应设置“环境保护办公室”，设专职人员 1～2 人，实施工程招标文件中或设计文件中规定的环境保护对策措施，及时处理施工过程中出现的环境问题，接受有关部门对环保工作的监督和管理。主要包括以下内容工作：①制定环境保护年度工作计划和编写环境保护工作季报、年报；②检查所承担的环保设施的建设进度、质量及运行、检测情况，处理实施过程中的有关问题；③核算年度环境保护经费的使用情况；④接受环保管理办公室和环境监理单位的监督，报告承包合同中环保条款的执行情况。

监理单位：为了更加有效地实施工程环境保护管理，成立风电场环境监理部，并接受水产资源保护区管理部门全程参与工程环境管理和施工期环境监理。环境

监理部的机构组织、监理内容和监理制度见“13.1.4 环境监理”。

设计单位：根据国家法律法规、海洋环境保护主管部门要求、环境影响报告书和批复等有关文件，从环境保护角度优化工程设计，选用对环境影响小的设计方案，反馈于建设单位和施工单位。

2、运行期

运行期间，环境管理职能由项目运营方承担，安排专职人员对风电场运行期环境保护工作统一管理、并配合地方环保、渔政和海事部门共同做好项目运行期环境管理，包括海洋渔业资源、鸟类活动及撞机情况观测、海龟活动观测和通航安全管理等的监督和检查工作。

工程建成运行后，在工程管理部门中设置“环境保护办公室”，设兼职人员1人，具体负责和落实工程建成运行后的环境保护管理工作，其主要职责包括：根据相关的环境保护法律、法规及技术标准，确定工程运行期环境保护方针和环境保护目标，制定运行期环境保护管理办法；负责落实环保经费及环境监测工作的正常实施，做好环境信息统计；协调处理运行期工程影响区出现的各项环境问题，配合地方海洋、环保、水产种质资源保护区管理部门、渔政和海事部门共同做好工程运行期环境管理工作，主要包括生态补偿、鸟类活动及撞机情况观测、乌龟活动观测和通航安全管理等的监督和检查工作。

13.1.4工程环境监理

工程施工期应实施环境监理制度，以便对各项环保措施的实施进度、质量及实施效果等进行监督控制，及时处理和解决可能出现的环境污染和生态破坏事件。

1、机构设置与工作方式

根据工程规模和施工规划，施工期环境保护监理部门拟设专职监理人员 1人。环境监理人员采用定期巡视方式，对施工区环境保护工作进行动态管理。监理随时检查各项环境监测数据，现场巡视发现问题后，立即要求承包商限期治理，并以公文函件确认。对于限期处理的环境问题，按期进行检查验收，将检查结果形成纪要下发承包商。

2、工作范围及职责

施工环境监理的工作范围包括施工区及所有因工程建设可能造成环境污染和生态破坏的区域。施工环境监理的主要职责为：依照国家环境保护法律、法规

及标准要求，以经过审批的工程环境影响报告书、环境保护设计及施工合同中环境保护相关条款为依据，监督、检查承包商或环保措施实施单位对施工区环保措施的实施进度、质量及效果。指导、检查、督促各施工承包单位环境保护办公室的设立和正常运行。根据实际情况，就承包商提出的施工组织设计、施工技术方案和施工进度计划提出清洁生产等环保方面的改进意见，以保证方案满足环保要求。审查承包商提出的环境保护措施的工艺流程、施工方法、设备清单及各项环保指标。加强现场的监控，重点监督检查船舶含油废水、其它生产生活污废水收集和处理系统的施工质量、运行情况。对在监理过程中发现的环境问题，以书面形式通知责任单位进行限期处理改进。对承包商施工过程及施工结束后的现场，依据环境保护要求进行检查和质量评定。

3、监理工作制度

环境监理工程师根据工作情况作出监理记录；每季编制环境监理季报，视施工情况开展阶段性总结，工程施工结束后编制一份环境保护工作总结报告。

13.2 环境监测计划

（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，必须做好该工程的环境监测计划。

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。其中水质、沉积物、生态共设 12 个监测站位（监测过程中可视情况做适当的调整），站位布设如图 13.2-1 所示，坐标见表 13.2-1。

表 13.2-1　施工期监测站位一览表

编号	东经	北纬	调查内容
1	116°12′58.24″	22°31′05.67″	水质、生态、沉积物
2	116°12′59.19″	22°36′19.28″	水质、生态
3	116°07′10.78″	22°38′34.39″	水质、生态、沉积物
4	116°07′05.76″	22°31′09.36″	水质
5	116°02′52.43″	22°31′27.43″	水质
6	116°02′40.95″	22°40′04.37″	水质
7	116°02′46.17″	22°42′47.97″	水质、生态、沉积物
8	116°02′52.43″	22°45′46.78″	水质、生态

编号	东经	北纬	调查内容
9	115°58′35.78″	22°41′43.90″	水质
10	115°58′33.79″	22°39′03.36″	水质、生态、沉积物
11	115°58′31.60″	22°35′21.12″	水质
12	115°52′59.43″	22°44′42.63″	水质

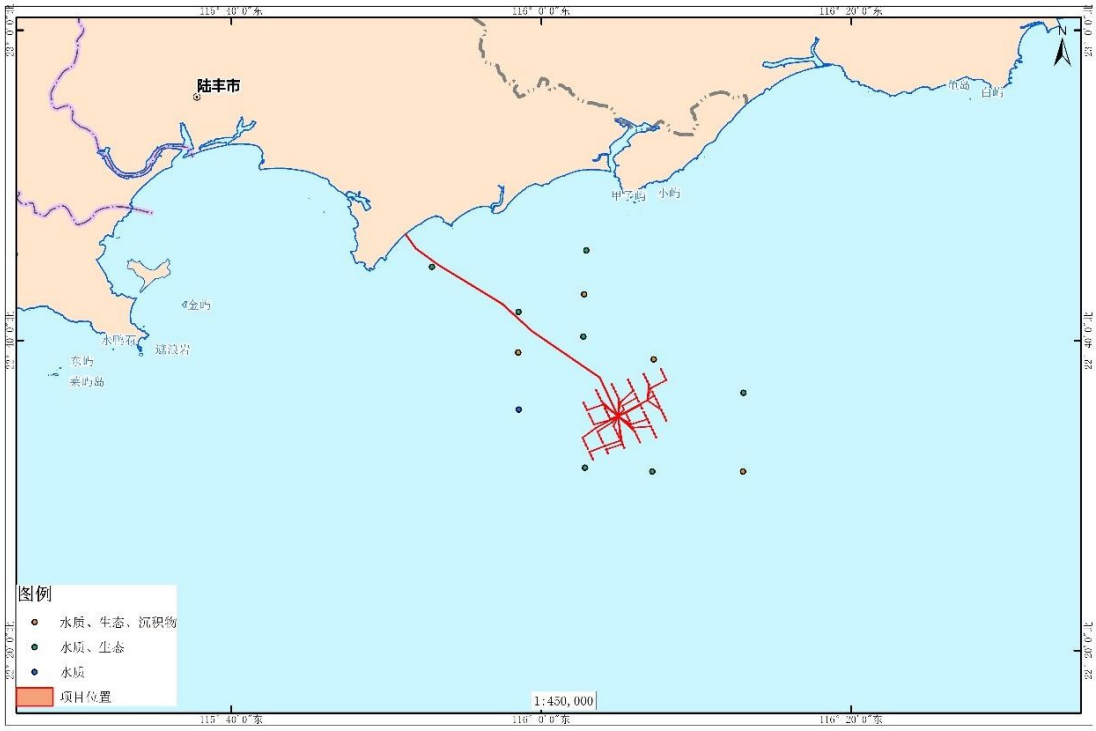


图 13.2-1 跟踪监测站位图

a）海水水质监测

监测项目：水温、水深、透明度、盐度、浑浊度、悬浮物、油类、pH、DO、化学需氧量、氨、硝酸盐、亚硝酸盐、活性磷酸盐、Zn、Cd、Pb、Cu、Hg、As、总铬。

监测站位：根据风机位置和路由走向布置监测点位见图 13.2-1。监测频率：2 次/年，春、秋各一次。

b）沉积物监测

监测项目：pH、硫化物、有机质、石油类、Cu、Cd、Pb、Zn、Hg，Cr，As。

监测站位：见图 13.2-1。

监测频率：1 次/年，春季或秋季。

c）水生生态监测

监测项目：叶绿素 a、浮游植物、浮游动物、底栖生物、鱼卵仔鱼和渔业资

源，生物质量（石油烃、Cu、Pb、Cd、Zn，）。

监测站位：见图 13.2-1。

监测频率：2 次/年，春、秋各一次。

d）噪声监测

监测项目：Leq

监测位置：在施工区域布设 2 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。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。

e）海岸线监测

登陆施工期间对登陆点所在自然岸段进行监测，重点海缆登陆施工前后岸线位置、地貌和高程变化等内容。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海洋行政主管部门和当地环保局，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。

（2）营运期环境监测

运营期的环境监测项目由本工程的业主委托当地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。

a）海水水质监测

监测项目：pH、油类、化学需氧量。

监测站位：在海上施工区根据风机位置布置监测点位见图 13.2-1。

监测频率：1 次/年。

b）沉积物监测

监测项目：锌、铜、油类。监测站位：见图 13.2-1。

监测频率：1 次/年。

c）水生生态监测

监测项目：浮游动物、鱼卵仔鱼和鱼业资源。监测站位：同沉积物监测站位。

监测频率：1 次/年，春季或秋季。

d）冲淤环境

监测内容：海岸冲淤情况；风机墩柱局部冲刷情况，包括冲刷深度等；对风电场附近的航道、锚地水深等。

监测时间：运营期 5 年内； 监测频率：1 次/年。

e）声环境监测计划

布点：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。

监测项目：噪声频带有效声压级（dB re 1 μPa）；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。

监测频率：低、中和额定风速输出时。

f） 电磁环境监测计划

布点：在海上风机区及变压器附近各布设 1 个监测点。

监测项目：工频电场强度、工频磁感应强度。

监测频率：每年 1 次。

g）鸟类观测

监测内容：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。

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：在运行初期（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：春秋两季。

13.3 环境管理和监测计划的可行性与时效性评估

本章对工程的环境管理和环境监理的机构设置、人员配备、环保措施落实保障制度等进行设置，可对工程环境保护措施落实情况起到了有效监管的目的。同时，针对施工环境影响特点，制定了环境监测计划，可有效地掌握施工区环境质量状况，为环境管理决策提供了有效的依据。环境管理和监测计划可行。

14 环境影响评价结论及建议

14.1 工程分析结论

中广核汕尾甲子一海上风电场项目位于广东省汕尾市陆丰湖东镇南侧海域，项目规划装机容量为500MW，拟布置91台5.5MW风电机组，配套建设2座220kV海上升压站和陆上集控中心。风电机组发出的电能通过 20 回 35kV 集电海底电缆接入海上升压站，升压后通过 2 回 220kV 海底电缆输送到陆上集控中心。项目申请用海总面积 540.5044 公顷，陆上临时用地 4.0hm^2。工程首批风机发电工期为 12 个月，总工期为 48 个月（与甲子二项目一并规划）。风电场工程静态投资 975334 万元，风电场工程动态总投资 1024152 万元。其中环保投资 2682.69 万元，占总投资的 0.33%。

本工程施工期主要环境影响为风机、升压站桩基施工和电缆沟开挖施工导致海底泥沙悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境，并由此可能对工程海域海洋生态环境（底栖生物和浮游动、植物）和渔业资源造成一定损害，海上施工作业也对工程海域渔业生产产生一定影响。同时，施工活动的侵扰会对工程海域鸟类栖息活动也将产生一定影响。施工过程中产生的施工污废水、废气、扬尘、施工噪声和固体废弃物可能对工程区域环境质量造成一定污染。此外，海上施工还可能对海底线缆和海域通航环境安全造成一定影响。

本工程为风力发电项目，运营期对环境的影响主要源于风力发电机组运行噪声、风机和升压站的牺牲阳极金属离子释放、风机运营维护产生的含油废水、含油废物以及检修人员生活污水和生活垃圾。风电机组运行噪声约为 115 dB(A)，运行噪声对鸟类、海洋生物栖息和觅食活动可能产生影响；风机和海上升压站每年释放的锌量约为 1.26t。此外，风机桩基对工程海域水动力、地形地貌和冲淤环境有一定影响，对周围海域通航环境和电磁环境也可能产生一定影响。

14.2 环境现状分析与评价结论

14.2.1 海水水质现状

2018 年春季调查显示：pH 值、溶解氧、化学需氧量、镉、铜、汞、砷、硫

化物和石油类均符合第一类海水水质标准；部分站位的铅、锌超第一类海水水质标准，但符合第二类海水水质标准；无机氮因子中有 1 个站位超二类标准，但符合第三类海水水质标准；活性磷酸盐因子中大多数站位超二、三类海水水质标准，但符合四类海水水质标准，有 1 个站位底层水质超四类海水水质标准。

2017 年秋季调查显示：pH 值、溶解氧、化学需氧量、无机氮、镉、铜、汞、锌、砷、硫化物、石油类均符合第一类海水水质标准；有 8 个站位的铅超第一类海水水质标准，但符合第二类海水水质标准；有 16 个站位的活性磷酸盐超第一类海水水质标准，但符合第二类海水水质标准；

从春、秋两季调查结果综合来看，项目所在海域的大部分调查项目基本能够满足一类海水水质标准，少数满足二类海水水质标准，说明该海域环境质量较好。

14.2.2 海洋沉积物质量现状

2018 年 3 月调查沉积物质量较好，硫化物、总汞、铜、铅、砷、锌、镉、总铬、油类和有机碳的质量比均符合其所在功能区的管理要求（第一类海洋沉积物质量标准）。

2017 年 11 月海洋沉积物调查结果中，硫化物、锌、镉、总铬、油类和有机碳的质量比均符合其所在功能区的管理要求（第一类海洋沉积物质量标准）；其他调查因子中，总汞有 9 个站位超第一类海洋沉积物质量标准，但符合第二类海洋沉积物质量标准，有 2 个站位符合第三类海洋沉积物质量标准；铜有 5 个站位超第一类海洋沉积物质量标准，但符合第二类海洋沉积物质量标准；铅和砷有 2 个站位超第一类海洋沉积物质量标准，但符合第二类海洋沉积物质量标准。

从春、秋两季调查结果综合来看，该调查海域的沉积物质量良好。

14.2.3 海洋生态环境现状

（1）叶绿素 a 和初级生产力

2018 年春季调查显示：调查海区表层水体叶绿素 a 含量的变化范围为 0.86mg/m^3 ~ 3.45mg/m^3，平均值为 1.62mg/m^3，调查海域初级生产力的变化范围为 90.85mg•C/(m^2•d)~ 403.26mg•C/(m^2•d)，平均值为 188.46mg•C/（m^2•d）。

2017 年秋季调查显示：该海域 18 个调查站位表层水体叶绿素 a 平均含量为 3.00mg/m^3，变化范围在 0.56～7.61mg/m^3，海区表层水体初级生产力范围在 68.50～1068.56mgC/m^2•d 之间，平均值为 315.26mgC/m^2•d。

（2）浮游植物

2018 年春季调查显示：本次调查共记录浮游植物 2 门 31 属 84 种，丰度变化范围为 2.44×10^4 cells/m^3～43.86×10^4cells/m^3，平均为 12.16×10^4cells/m^3。本次调查的浮游植物优势种共出现 4 种，分别为菱形海线藻、短齿角毛藻、锤状中鼓藻和劳氏角毛藻。各站位浮游植物种数变化范围在 25~39 种之间。Shannon-wiener 多样性指数范围为 2.73~4.32，平均为 3.57，均匀度指数范围为 0.53~0.83，平均为 0.70。

2017 年秋季调查显示：调查海域共鉴定出浮游植物 78 种，隶属于 5 门，其中以硅藻门为主，共 53 种，调查海域的浮游植物平均密度为 1148.72×10^3cell/m^3，各站位浮游植物密度处于 $29.18\sim18898.65\times10^3$cell/$m^3$ 之间。本次调查海域浮游植物优势种有 6 个，分别是：佛氏海毛藻、骨条藻、角毛藻、菱形海线藻、束毛藻、圆海链藻。多样性指数范围处于 2.13～4.08 之间，平均值为 3.35；均匀度指数（J）变化范围在 0.43～0.85，平均值为 0.71。

（3）浮游动物

2018 年春季调查显示：本次调查共记录浮游动物 13 个生物类群 74 种，各采样站浮游动物湿重生物量变化幅度为 53.39 mg/m^3～347.86mg/m^3，平均生物量为 121.80mg/m^3。优势种是由毛颚类的肥胖软箭虫、桡足类的近缘大眼剑水蚤、小拟哲水蚤和中华哲水蚤等组成。种类多样性指数范围为 3.07～4.10 之间，平均为 3.79，种类均匀度的分布趋势与多样性指数相似，其变化范围在 0.75～0.92 之间，平均为 0.86。

2017 年秋季调查显示：本次调查海域发现浮游动物由 13 大类群组成，共计 84 种。各站位浮游动物平均密度为 184.30ind./m^3，最大浮游动物密度为 784.48ind./m^3，最小的为 24.01ind./m^3；优势种类包括肥胖箭虫、精致真刺水蚤、桡足类幼体、双生水母、微刺哲水蚤、亚强次真哲水蚤、长尾类幼体。多样性指数变化范围在 2.34～4.13 之间，平均值为 3.35，均匀度 J 范围在 0.67～0.88，平均值为 0.72。

（4）底栖生物

2018 年春季调查显示：本次调查共记录大型底栖动物 46 种，其中环节动物 19 种、软体动物 9 种、节肢动物 10 种、棘皮动物 6 种和其它动物 2 种。底栖生物平均栖息密度为 121ind/m^2 ，生物量变化范围从 0.70 g/m^2～64.40g/m^2，平均

生物量为 23.13g/m^2 。本次调查水域的底栖生物有 3 种优势种，分别为蛏虫动物的短吻铲荚蛏、棘皮动物的细腕阳遂足和节肢动物的塞切尔泥钩虾，多样性指数(H′) 变化范围在 1.63～3.24 之间，平均值为 2.27；均匀度指数范围在 0.57～0.98 之间，平均为 0.81。

2017 年秋季调查显示：本次调查出现大型底栖生物有 5 大类群 17 种，栖息密度范围为 0～76.19ind./m^2，平均栖息密度为 34.39ind./m^2，各调查站位生物量变化范围为 0～45.495g/m^2，平均生物量为 7.914g/m^2，调查的优势种有 5 种，分别是棘皮动物的光辉倍棘蛇尾，节肢动物的日本鼓虾，环节动物的后指虫、丝异蚓虫和真鳞虫。多样性指数范围在 0～2.73 之间，平均为 1.67；均匀度指数（J）变化范围在 0.99～0.92，平均为 0.94。

（5）潮间带生物

2018 年春季调查显示：调查断面采集到的潮间带生物共有 3 大门类 12 种，平均生物量为 9.00g/m^2，平均栖息密度为 10.64ind/m^2。多样性指数平均为 1.54。均匀度指数平均为 0.73。

2017 年秋季调查显示：调查断面采集到的潮间带生物经鉴定共有 2 大门类 5 种。潮间带生物生物量平均为 17.438g/m^2，栖息密度平均为 16.89ind./m^2。多样性指数平均为 0.51，均匀度指数平均为 0.64。

（6）生物质量

2018 年春季调查显示：大部分生物体内的石油烃和重金属均符合相应的评价标准，个别生物体内的石油烃、镉、铜、砷出现超标。

2017 年秋季调查显示：除 1 个样品内的汞、砷、铅、锌和铬超标外，其余各站位生物体内重金属均未出现超标。其它站位均符合相应的评价标准，海洋生物质量良好。

总体来看，海洋生物质量良好。

14.2.4海洋渔业资源现状

（1）鱼卵仔稚鱼

2018 年春季调查共采到鱼卵 65 个，仔鱼 15 尾。调查海区的鱼卵平均密度为 951 个/1000m^3，仔鱼的平均密度为 271 尾/1000m^3。鱼卵仔鱼共 9 种，其中鲱形目 2 种，鲈形目鉴定出 3 科 1 属 2 种。

2017 年秋季调查海域共捕获鱼卵数量 1658 粒，密度分布范围在 0.275～1.037

粒/m^3之间，平均为0.497粒/m3。捕获的仔稚鱼数量共16尾，平均密度为0.005尾/m^3。初步鉴定出9种，鲈形目最多，有4种，鲱形目、鳀形目、鲽形目、银汉鱼目、鲉形目各有1种。

（2）游泳生物

2018年春季共捕获游泳生物79种，其中鱼类44种，头足类5种，甲壳类中30种。渔业资源平均重量密度为309.58kg/km^2，平均个体密度为23659ind/km^2，调查的优势渔获物共有11种，包括带鱼、口虾蛄、哈氏仿对虾、龙头鱼、黑斑口虾蛄、短吻鳐、隆线强蟹、鲜明鼓虾、汉氏棱鳀、日本蟳和红星梭子蟹等。

2017年秋季调查共捕获游泳动物80种。其中：甲壳类14种；鱼类63种；头足类 3 种。游泳动物平均个体密度和重量密度分别为 43780.14ind./km^2 和1417.73kg/km^2。调查优势种种有 8 个，分别为中国枪乌贼、皮氏叫姑鱼、红星梭子蟹、口虾蛄、条纹鳐、南美白对虾、赤鼻棱鳀、日本蟳。

14.2.5水上、水下声环境现状

（1）水上噪声环境调查结论

由海上声环境现场调查结果可知，该工程海域海面上环境噪声无计权等效噪声级主要分布在 70~93 dB 之间，算术平均值为 88.6 dB；最大声级的算术平均值为 114.6 dB；在 20 Hz~20 kHz 的频率分布范围内，各频带噪声级的最大动态范围为 46 dB。

（2）水下噪声环境调查结论

工程海域水下环境背景噪声声谱级随着频率的增高而下降，在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，全频带累积声压级为 124 dB，噪声谱级的总动态变化范围是67 dB，而在特定频率（如 100 Hz）的

噪声功率谱级的动态变化范围为 25 dB。总体上，在 100 Hz 以上的频率的噪声谱级在 103 dB 以下；500 Hz 以上频率的噪声谱级均在 97 dB 以下；1 kHz 以上频率的噪声谱级在 85 dB 以下；而在 5 kHz 以上频率，噪声谱级在 67 dB 以下。

14.3 环境影响预测与分析评价结论

14.3.1 海洋水文动力影响

本项目建设对海洋水文动力的影响主要是风电机组桩基施工，透水构筑物影响水域流场，从而对周边的水动力环境和冲淤环境带来影响。

根据潮流数学模型模拟结果，桩基引起的流速改变的幅度和范围较小，流速最大改变幅度为 20cm/s 左右，流速改变幅度大于 4cm/s 的范围向东西两侧延伸 4.8km 左右，向南北两侧延伸 2.6km 左右，流速增大的区域出现在桩基群的南北两侧和桩基之间，流速减小的区域出现在桩基和桩基群的东北-西南侧，桩基周边的流速改变在涨潮时以顺流方向减小为主，落潮时桩基东北-西南两侧流速减小，相邻桩基之间的涨急和落急流速略有增强。

14.3.2 地形地貌与冲淤环境影响

根据泥沙淤积影响计算分析结果，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东北-西南向为主，因此在风电桩基东北-西南向的流速减小，导致在桩基群的附近和东北-西南两侧产生一定的淤积，最大淤积强度在 0.16m/a 左右，而在桩基群的东南侧和西北侧，由于水动力的增强，则表现出略有冲刷，最大冲刷幅度为 0.11m/a 左右。整体上看，冲淤范围仅局限于风电桩基群的附近海区，冲淤幅度大于 3cm/a 的范围不超过桩基区 3.5km。周边临近海区的冲淤基本不受本工程的影响。

不考虑海床的自然冲刷和桩基修筑以后的一般冲刷，由经验公式得出桩基的局部冲刷深度为 6.3m，叠加一般冲刷（最大 0.2m）后风电桩基处的最大冲刷深度可达到 6.5m 左右。

14.3.3 海水水质的影响

项目施工过程中引起的悬浮泥沙对水质的影响较小，除了近岸区的 8 个源点引起的悬浮泥沙扩散范围顺潮流方向延伸的距离约为 0.8km，其它源点引起的悬沙扩散范围顺潮流方向的延伸距离都小于 0.5km。因此，近岸区的悬浮物扩散影响较大，高浓度的水体也主要分布在近岸区，而风电桩基所在海区的影响较小，仅分布在管线和桩基附近的小范围内。从悬浮物最大浓度增量包络线分布分析可知，超 I、II 类海水水质(＞10mg/L)的面积为 61.085km^2；增量浓度＞20mg/L 的

面积为 1.257km^2；增量浓度＞50mg/L 的面积为 0.621 km^2、超 III 类（＞100mg/L）的面积为 0.237km^2、超 IV 类（＞150mg/L）海水水质的面积为 0.0km^2。

14.3.4海洋沉积物的影响

海缆施工过程仅是对局部沉积物冲起和覆盖，沉积物发生分选、位移、重组和松动，并没有混入其它污染物，不会对沉积物性质产生明显影响。风机桩基施工悬浮沙影响范围小，基础灌浆时严格控制浆料泄漏入海，不会对工程海域沉积物环境质量造成明显的不利影响。海上作业船舶污水、固体废物上岸处理，不排海，对海洋沉积物无影响。

工程运行期间，仅有少量牺牲阳极保护装置中锌释放到海域中，无其他污染物排放入海，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，对区域海洋沉积物环境无明显不利影响。

14.3.5海洋生态环境影响

本工程电缆管沟开挖造成底栖生物损失 61.08t，电缆敷设施工产生的悬浮沙共造成游泳生物 16.51t，鱼卵 7.36×10^8 粒，仔鱼 2.10×10^7 尾受损；风机基础结构施工占用海床底土及生态资源空间造成底栖生物损失量 0.03t、游泳生物 1.69kg，鱼卵 428500 粒，仔鱼 12243 尾受损。悬浮泥沙及施工期管沟开挖对海洋生物损害按 3 年进行补偿，风机基础结构用海对海洋生物损害按 20 年进行补偿，计算本工程造成的生态损失总赔偿额为 817.16 万元。

14.3.6水下噪声和电磁辐射对海洋生态的影响

（1）水下噪声对海洋生态的影响

项目施工期水下噪声影响主要是风电桩基打桩噪声影响，船舶通航水下噪声影响较小。风机基础钢管桩施工时，以冲击式打桩可能产生 220dB 峰值声源级估算，水下噪声衰减到 190dB、180dB、160dB、150dB 时离施工风机中心处的距离分别约为 24m、66m、534m、1520m。结合重点声敏感海洋生物听力保护阈值，在距离桩基 1520m 内，长时间暴露于打桩噪声可能会使得石首科幼鱼听力受到损害，受到致死致伤的影响；在距离桩基 66m 以内，长时间暴露于打桩噪声可能会使得石首科成鱼听力受到损害，改变行为模式；其他海洋哺乳动物、非石首科鱼类在桩基施工周边局部区域也会受到一定影响。工程场区距离周边距离产卵场较远，不会对鱼类产卵活动产生明显影响。

项目营运期风电场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，风机运行引起的水下噪声对工程周边海域海洋生物的行为不会带来明显影响。

（2）电磁场对海洋生态影响

工程产生工频电场和工频磁场的设备主要为海底电缆和海上升压站，通过类比陆上埋地电缆、海上风电场及陆上变电站电磁环境监测数据可知，本工程35kV、220kV 电缆线路由于电缆外层遮蔽产生的电磁场强度非常小，基本与背景值一致，海上升压站上位于水上且为室内布置，工频电场强度和工频磁感应强度也不大，均远小于《电磁环境控制限制》(GB8702-2014)中 4kV/m 和 0.1mT 的限值要求。

根据实验研究结果可知，鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类的磁场影响范围主要为 0.2mT～4.05mT，在 0～0.2mT 之内电磁场对鱼类、底栖贝类、底栖虾蟹类行为无明显差异，影响较小。由类比监测数据分析可知，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。因此工程产生的电磁场对底栖贝类和鱼类、虾蟹类影响较小。

14.3.7对鸟类及其生境的影响

（1）施工期对鸟类及其生境的影响

施工期对鸟类的影响包括海上施工和陆上施工两方面的影响。海上施工对鸟类的影响主要是海上施工噪声、灯光对鸟类生存活动的直接影响，以及海缆敷设悬浮沙导致鱼类资源量减少从而间接影响鸟类觅食。结合工程区域鸟类调查结果，风电场址区域活动鸟类数量有限，物种较为单一，在场址区及周边一定范围均有分布，施工期鸟类可在周边海域栖息活动，且施工时长有限，属于短期影响，不会对工程海域鸟类栖息活动产生长期不利影响；陆上施工对鸟类的影响主要是登陆海缆施工占用近岸区域鸟类栖息地的影响，但海缆登陆施工影响范围小，影响时间短，也不会对滩涂区域鸟类生存造成严重影响。总体来看，海上施工对鸟类的影响是可以接受的。

（2）运营期对鸟类及其生境的影响

海上风电场建设对鸟类的影响主要是风机噪声、光影响、碰撞效应和电磁场对鸟类活动的直接影响，以及风电场占海对鸟类生存栖息造成的间接影响。从风机噪声对鸟类影响来看，风电场址周边鸟类主要为鸥科和燕鸥科鸟类，结合风机

噪声预测和主要受影响鸟类噪声忍受阈值，风机运行噪声对距风机 400m 内鸟类的迁飞活动将产生一定影响，但鸟类间的沟通交流基本不会受风电场低频噪声的影响，估算风机噪声影响范围小于 3668hm²；从风机光照对鸟类影响来看，场址内照明对夜间迁徙鸟类有一定的负面影响，采用长波光时可能导致鸟类趋光撞击死亡；从风电场建设可能导致鸟类与风机碰撞效应来看，正常天气条件下影响不大，不良气象条件下，鸟类降低飞行高度将增加与风机相撞的概率；对风机和升压站电磁场对鸟类的影响，现有研究成果尚无证据表明低频电磁场会对鸟类群落产生影响。此外，场址区离岸最近距离约 21 公里，不在鸟类主要迁徙路线上，对鸟类迁徙活动影响有限，但整个场址包络海域面积约 147.9470hm^2，会在一定程度上导致鸟类栖息地破碎化，降低栖息地质量，影响在此区域栖息的鸟类种群数量，减少当地和迁徙停歇觅食鸟类在场址海域附近的活动范围造成鸟类栖息地的损失。

14.4 环境事故风险分析结论

根据本项目环境风险事故分析结果，主要包括船舶溢油事故和自然灾害引发的环境风险等风险事故。

通过风险识别分析，本项目风险事故预测主要考虑施工期、运营期船舶碰撞溢油风险，分别对大潮涨潮期和落潮期发生溢油泄漏事故的情况进行计算，并选取夏季常风、冬季常风和不利风向大风风速情况进行预测分析。溢油数值预测结果表明，当溢油发生在电缆路由时，溢油最快在 1h 后即抵达“惠东海龟自然保护区”；当溢油发生在风电场场址内时，溢油最快在 18h 后将抵达 “大亚湾海洋自然保护区”。可见，一旦发生溢油事故而又没有任何应对措施，油膜在风和潮流的作用下将会对敏感区造成严重的污染。

经核算，目前惠州辖区的溢油应急设备可以处置本项目施工期及营运期产生的海上溢油风险事故。建设单位应在项目开工前，与区域具备溢油应急处置单位充分沟通，确保事故发生时可调用应急资源能够及时响应，则工程环境风险事故可以控制在可接受水平。

14.5 清洁生产和总量控制结论

本工程装机容量 500MW，利用清洁的可再生风能源转变为电力输出。风电

机组选用中速永磁同步的齿轮箱半直驱式兆瓦级风力发电机，采用变速变桨调节技术，有利于提高风能利用率。工程年均上网发电量 1543.12GWh，发电过程中不消耗矿物质能源，工程运行与同等发电量的火电相比，可减少大量烟尘、SO_2、NOx 等废气排放，减轻环境污染。工程施工期及运行期各类污染物均收集后运至陆域处理，危险废物由有资质的单位接收处理，对海洋环境影响小，符合清洁生产要求。

工程运行期主要污染物主要是运维人员产生的生活污水、生活垃圾和风机设备维护产生的含油废水、废物等，工作人员生活垃圾委托环卫部门清运，生活污水上岸处理，升压站检修废油和风机维护废油委托有资质的单位进行处置，因此，本工程不涉及总量控制。

14.6 环境保护措施结论

14.6.1 施工期环境保护措施

（1）悬浮沙污染防治措施

施工前合理安排施工整体进度计划，在整体施工计划框架下，根据海流条件，适时优化调整各施工作业区施工计划，将重点悬浮沙产生作业环节尽量安排在风浪相对小、潮流相对弱的潮期内；浅水区施工时，尽量选择低潮露滩时作业，制定严格的作业规程，规范铲斗抓泥和落泥强度，控制开挖范围，保证挖掘精度；深水区海缆敷设时，严格控制控制拖轮航速和高压水冲泥管道压力；风机打桩选用高效的桩基施打设备，控制工艺桩拔除强度，减小对海床的扰动；特殊区域海缆保护作业时，精确定位，严格控制抛填水泥石块的落水速度和位置，防止悬浮沙扩散范围增大。

（2）废水污染防治措施

海域施工期间，作业船舶含油污水统一收集在作业船舶上，待船舶靠岸后交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理，作业人员产生的生活污水，需统一收集运至岸上，送至附近污水处理厂处理；船舶甲板残油、船载设备机油及时清理， 防止滴漏入海；风机基础灌浆设备和管理系统清洗废水收集在工作船上，严禁排海。

陆域施工期间，施工基地设置污废水收集和处理系统，生产废水经隔油、沉淀处理满足相应标准要求后，回用于施工基地道路清洗、车辆冲洗等用水，不外

排；生活污水统一收集后，经市政污水管网排至附近污水处理厂处理。

（3）固废废物污染防治措施

海域施工期间，在各风机作业点设置废料回收桶，风机塔基与塔架废弃焊接料统一收集在容器中，施工结束后统一送往陆上进行回收再利用或处置；风机基础灌浆多余浆料统一收集在工作船配备的废料桶或废料箱内，灌浆结束后统一回收运输至陆上处置；海缆路由扫海清障打捞废弃物统一收集并运回陆上统一处理；船舶施工人员生活垃圾收集后运至陆域，与施工基地生活垃圾一并送至附近生活垃圾处理厂处理。

陆域施工期间，施工基地生产垃圾收集装置，由施工单位负责及时清理处置；生活垃圾统一收集至生活垃圾箱后定期清运至附近生活垃圾处理厂处理。

（4）噪声污染防治措施

海域施工期间，加强施工船只管理，避免施工区域船舶集中，避免在同一工程区大量动力机械设备同时运作导致局部声级过高；采取有效措施控制主辅机噪声排放；在海上打桩作业时，在打桩锤上辅以隔音及消音材料；机组吊装时，确保吊装安准确度和稳定度，避免设施碰撞噪声。

陆域施工期间，合理安排施工计划，非特殊情况严格禁止夜间施工作业；选用噪声低的施工机械，加强设备维护保养；禁止不符合国家噪声排放标准的运输车辆进入工区，加强车辆管理，加强与附近工厂宿舍居住人员的协商与沟通，避免施工期噪声扰民。

（5）废气污染防治措施

海域施工期间加强施工船只管理，避免船舶拥堵，加剧废气污染物产生；陆域施工基地加强对施工机械、运输车辆的维修保养，禁止不符合国家废气排放标准的机械和车辆进入工区，禁止以柴油为燃料的施工机械超负荷工作，减少烟度和颗粒物排放；施工场地定期洒水，防止土方表面浮尘产生，在大风日加大洒水量及洒水次数，保持车辆出入的路面清洁、湿润，减少行车时产生大量扬尘。

（6）生态保护措施

1）为减轻施工对海洋浮游生物、海龟及渔业资源的影响，应采取以下措施：

项目作业时尽量避开鱼类和海龟的产卵期，最大程度降低水生生物产卵盛期内的施工强度；桩基打桩和海缆敷设时，优化施工工艺，制定作业规程，提高作业精准度，从而降低悬浮泥沙对周边海域水质环境、生态环境的影响；水上桩基

础施工应避免采用撞击式的打桩作业方式，打桩采用软启动的作业方式，桩基周围建议采用气泡帷幕等屏蔽措施，减缓噪声能量的散播；开展施工期生态环境跟踪监测，监测应有针对性，风机基础施工海域重点对石首科鱼类进行观测和跟踪监测，海缆敷设作业水域应加强对海龟的观测和跟踪监测，根据监测结果及时采取调控措施。

2）为减轻施工对底栖生物的影响，应采取以下措施：

海缆敷设施工时，严格控制作业带宽度，减少超挖量，降低对底栖生物的影响范围；桩基施工前，潜水员海底探摸清理海床时，对游泳能力相对较强的底栖生物进行驱赶，对游泳能力相对较弱的底栖生物，尽量采用专业网具进行挪移，减少底栖生物受损量；施工船舶驻船锚泊时，由专业人员精准确定锚泊点，避免反复抛锚，减少不必要的拖锚作业，降低对底栖生物的损害程度。

3）为缓解施工对鸟类的影响，应采取以下措施：

合理安排施工时间，尽量在鸟类非迁徙季节安装风机，候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过施工区时应降低施工强度；严格控制光源使用量，对光源进行遮蔽，减少漏光量；采取有效措施控制船舶噪声排放，减小对鸟类的影响；风电机组安装施工作业面尽量按与鸟类迁徙路线相平行的方向展开，防止迁徙鸟类迁飞时遇到横向风机而改变迁徙路径或出现异常迁徙行为；施工主基地加强施工人员管理及相应培训，禁止捕杀鸟类。

14.6.2 运营期环境保护措施

（1）废水污染防治措施

升压站油污水统一收集的油污水待船舶靠岸后交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理；生活污水在船舶上统一收集后运至岸上，有罐车或经市政污水管网排至附近污水处理厂处理；事故工况下升压站产生的含油污水收集在升压站事故油池中，油污水交由海事部门指定的有资质的单位进行接收处理。

（2）固体废物污染防治措施

对风机及相关设备进行维护或突发事故时废油处理产生的含油废物集中收集在废物箱中，船舶靠岸后交由有资质单位处理；运维人员生活垃圾统一收集后上岸后由环卫部门处理。

（3）噪声污染防治措施

220kV 升压站选用低噪声变压器，保证主变噪声小于 70dB。为降低风机结

构噪声，建议可在风机机舱内表面贴附阻尼材料，建议主变压器、降压变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板，并将铝合金接地。

（4）海洋生态保护措施

1）对鸟类的保护措施

本项目建成后造成海域鸟类的栖息地丧失，可通过在附近海域制定鱼类、甲壳类、贝类增殖放流计划，以增加鸟类在其他海域觅食和栖息的几率作为补偿。运行期通过设立鸟类观察救助站，持续监测风场对鸟类的影响；候鸟迁徙高峰的时候，及时观测鸟类动向，如遇到大群候鸟停歇风电场内及附近，可以采取驱赶措施，必要时应当停机驱赶。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）对海洋生物的生态补偿措施

本项目的建设将会造成区域范围内一定量的海洋生态资源损失，按照生态补偿原则，针对项目建设造成的海洋生物资源的损失予以补偿。结合工程所在海域的海洋生物种类分布特征和目前人工育苗技术，合理选择增殖放流物种；对项目附近的生态环境进行跟踪监测，加强对主要经济鱼类和海龟的观测和跟踪监测，掌握生态环境的发展变化趋势。

14.7 综合评价结论

中广核汕尾甲子一海上风电场项目建设符合我国可持续发展能源战略、增加电力供应并改善地区电源结构，社会效益、经济效益和环境效益明显。项目建设符合国家产业政策的要求，符合《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》等相关规划的要求。根据对本项目所在区域环境现状的调查分析以及对海洋环境影响的模拟预测和分析，本评价在充分考虑项目建设施工和运营可能对海洋环境造成的影响的条件下，提出了一系列有针对性的环境保护措施。建设单位在项目实施过程中，应进一步优化施工方案、加强施工期及营运期的管理，切实落实工程可研及本报告书提出的各项环保对策措施及生态补偿措施，则项目建设对环境的影响程度和对海洋生态环境造成的损失可以接受。在此前提下，本评价认为，本项目建设从环境保护角度考虑是可行的。