

粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝
海水入海排水口设置论证报告
(备案稿)

建设单位：国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司

编制单位：深圳市汉宇环境科技有限公司

2022年3月



目录

1 总则	1
1.1 论证目的及依据	1
1.1.1 论证目的	1
1.1.2 论证依据	3
1.2 论证原则	6
1.3 论证范围	6
1.4 论证工作程序	7
1.5 论证的主要内容	7
2 粤东 LNG 项目概况及排水口情况	9
2.1 粤东 LNG 项目基本情况	9
2.1.1 粤东 LNG 项目建设情况	9
2.1.2 建设过程及相关审批情况	11
2.1.3 环评批文要求及竣工环境保护验收情况	12
2.1.4 用海权证情况	16
2.1.5 应急预案备案	17
2.2 粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程	17
2.2.1 接收站设施	18
2.2.2 接收站工艺流程	19
2.3 粤东 LNG 冷能利用方案	32
2.4 排水口基本情况	33
2.4.1.排水口基本信息	33
2.4.2 冷排水产生、排海过程	34
2.4.3 排水管网及排水口情况	35
3 论证范围内近岸海域环境功能区情况	42
3.1 近岸海域保护水质管理目标与要求	42

3.1.1 广东省海洋功能区划环境保护管理要求	42
3.1.2 近岸海域环境功能区划管理要求	44
3.2 近岸海域现有取排水状况	46
3.3 近岸海域环境质量现状	49
3.3.1 水文动力环境调查与评价分析	49
3.3.2 海水水环境质量调查与评价	67
3.3.3 海洋沉积物环境质量调查与评价	77
3.3.4 海洋生态环境质量现状评价	81
3.3.5 海洋生物质量调查结果与评价	106
4 入海排水口设置对环境影响分析	111
4.1 对水文动力环境的影响分析	111
4.1.1 潮流数值模型	111
4.1.2 模型验证	115
4.1.3 水动力分析	121
4.2 项目冷排水对水环境的影响分析	124
4.2.1 冷排水模型的基本方程	124
4.2.2 定解条件	125
4.2.3 计算参数	126
4.2.4 冷排水的计算工况	127
4.2.5 冷排水计算结果分析	128
4.3 余氯对海水水质环境的影响分析	131
4.3.1 冷排水中余氯数学模型	132
4.3.2 参数选取	133
4.3.3 预测内容	134
4.3.4 余氯影响预测	135
4.4 对水生态的影响分析	137
4.4.1 冷排水和余氯排放对海洋生态的影响分析	137
4.4.2 附近海域水生态敏感区	140
4.4.3 对水生态敏感区的影响分析	149

5 入海排水口设置合理性分析	151
5.1 入海排水口设置可行性分析	151
5.1.1 相关法规对入海排水口设置基本要求	151
5.1.2 与相关规划的符合性分析	153
5.2 对水生生态影响的合理性分析	169
5.3 对第三者影响分析	170
5.4 污水排放方式与排水口设置的合理性分析	170
6 水环境保护措施	173
6.1 排水口规范化措施	173
6.2 环境保护措施	173
6.3 建立水环境监测与报告制度	174
7 结论和建议	175
7.1 论证	175
7.2 建议	176
附件 1 国家海洋局关于粤东 LNG 项目用海预审意见的函.....	192
附件 2 建设项目选址意见书	194
附件 3 关于粤东 LNG 项目站址选址的审查意见.....	196
附件 4 环境保护部关于粤东 LNG 项目环境影响报告书的批复	198
附件 5 关于粤东 LNG 项目用海有关情况的复函（揭海函）	204
附件 6 关于粤东 LNG 项目用海有关情况的复函（粤海渔函）	205
附件 7 国家海洋局关于粤东 LNG 项目用海意见有关问题的复函	206
附件 8 国家发展改革委关于粤东液化天然气项目一期工程项目核准的批复 ..	207
附件 9 交通运输部关于粤东液化天然气项目一期工程配套码头工程初步设计的批复	216
附件 10 海域使用权证书	222
附件 11 港口工程竣工验收证书.....	243

附件 12 竣工环保验收意见 244

附件 13 粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口设置论证报告专家
评审意见 249

1 总则

1.1 论证目的及依据

1.1.1 论证目的

国家管网粤东液化天然气有限责任公司(以下简称“粤东 LNG”)成立于 2010 年 9 月 10 日,主要负责粤东液化天然气项目建设及投产后液化天然气的接收、储存、转运、气化外输、槽车/罐箱充装等气化输出等业务。

粤东 LNG 项目由接收站工程、码头工程和配套输气管线工程三部分组成,接收站工程一期核准建设规模为接卸 200 万吨/年 LNG,包括 3 座 16 万立方米 LNG 储罐以及配套工艺、公用工程设施;港口工程建设 1 个靠泊 8~26.7 万立方米 LNG 船舶的泊位、1 座 1000 吨级重件泊位码头以及配套设施;配套输气管线工程全长 177 km,包括一条干线两条支线(干线长 148 公里,支线长 29 公里),沿线设置 9 座站场,5 座阀室。

粤东 LNG 项目接收站及码头工程位于广东省揭阳市惠来县神泉镇以东约 8km、前詹镇以西约 5km 的卢园、沟疏村附近沿海。西北距惠来县约 15km,北距揭阳市约 74km,东北距汕头市约 70km。粤东 LNG 项目一期工程配套管线揭阳首站至浮洋分输站管段(以下简称“第一阶段”)起于揭阳市惠来县前詹镇揭阳首站,止于潮州市浮洋镇朱厝村浮洋分输站,经过揭阳市、潮州市、汕头市 3 个地级市的 6 个区县。

粤东 LNG 项目于 2010 年 11 月由第三方环评单位完成了环境影响评价报告书,2011 年 1 月取得国家环保部环评批复,2011 年 3 月设计单位完成了环保设施设计专篇,2013 年 2 月 18 日国家发改委核准。接收站与码头工程于 2013 年 5 月正式开工建设,2017 年 4 月 25 日接卸首船 LNG 进入试生产,2017 年 11 月完成环保设施自主竣工验收,目前处于正式生产运营期。排水口工程于 2013 年 11 月开工建设,2015 年 6 月建成,2015 年 12 月 30 日完成交工验收工作及手续。排水口已于 2014 年 5 月取得海域使用权证。

一般 LNG 储罐内天然气输出时,低压输出泵将 LNG 连续泵出至再冷凝器,在再冷凝器里将 LNG 同蒸发气接触换热,再由高压输出泵泵送至气化器,正常情况下, LNG 由开架式海水气化器气化后外输至输气主干线。由于是由开架式气化

器（ORV）加热气化排出的海水，为低温排水，其水质未受到污染。为了控制水温变化对排放区域内的海洋生态环境的影响，海水气化器的出水温度与当地海水的温度差控制在 5°C 以内。

为满足潜在市场需求，根据《关于粤东 LNG 外输能力扩建工程前期方案有关事宜的批复》液气管理【2021】72 号，粤东 LNG 将分三步实施建设。其中第一步为粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程。粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程是在现有接收站的基础上进行气化外输能力的扩建，对粤东 LNG 接收站现有的供水、供电、气化外输管道能力、消防等相关的配套及辅助设施进行研究，根据需要增加相关的配套及辅助设施，实现外输量 3600 万标方/天。拟增加的主要设备包括：在粤东 LNG 接收站预留用地建设 4 台高压泵，3 台 ORV，3 台海水泵，2 台高压压缩机及其配套设施，气化能力达到 3600 万方/天。拟于 2022 年完工。

本次论证的粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口属于上述接收站港口工程，位于接收站陆域东南侧，主要为接收站开架式气化器（ORV）而建。ORV 采用海水作为液化天然气气化热交换介质，海水经接收站陆域西南侧取水口引入后通过管道送至 ORV，通过直流换热使 ORV 中的液化天然气气化，换热冷凝的海水通过入海排水口排放入海，入海海水温降控制在 5°C 内。排水口采用地下埋管向外海排水。接收站现有装置冷海水排放量为 $13600\text{m}^3/\text{h}$ ，排到 LNG 接收站东南侧的海水排水口，入海口位置为 $116.37571758^{\circ}\text{E}, 22.92735234^{\circ}\text{N}$ 。拟建的外输能力扩建工程新增海水排放量 $25800\text{m}^3/\text{h}$ ，排入上述现有排水管，排水渠宽 4 米，扩建工程完成后，冷海水排放量增加至 $39400\text{m}^3/\text{h}$ 。

根据《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017 年 11 月修正版）第三十条，“入海排污口位置的选择，应当根据海洋功能区划、海水动力条件和有关规定，经科学论证后，报设区的市级以上人民政府环境保护行政主管部门审查批准”。根据《水污染防治行动计划》等相关法律法规、标准规范以及《揭阳市生态环境局入海排污口设置备案制度的通知》文件要求，为论证粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口设置的科学性、合理性，确保粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口设置位置符合海洋功能区划、海洋环境保护规划、近岸海域环境功能区划、海洋生态保护红线等相关区划、规划，所在海域海水动力条件符合排水口设置条件等，切实落实国家和地方海洋环境保护要求，

粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口需要开展入海排海口论证报告的编制工作。为此，国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司委托深圳市汉宇环境科技有限公司（以下简称论证单位）进行粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口设置的可行性论证工作。论证单位接受委托后，组织技术人员开展现场踏勘和调查，收集项目附近的海水水质、沉积物、生态质量现状资料。在满足海洋功能区环境保护要求的前提下，采用数值模拟等预测方式，论证入海排水口的设置对周边海域海洋水文动力环境、水质环境、沉积环境、海洋生态及生物资源的影响；结合海洋生态环境保护等要求，对排污口设置的合理性进行分析论证，并提出海洋生态环境保护措施，编制了《粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口设置论证报告》。2022 年 3 月 4 日，国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司组织召开了《粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口设置论证报告》专家评审会。论证单位根据专家评审意见进行了认真修改、完善后，形成本备案稿，为生态环境保护行政主管部门备案入海排水口提供科学参考。

1.1.2 论证依据

1.1.2.1 法律法规、部门规章、规划

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 年 4 月 24 日修订版）；
- (2) 《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017 年 11 月 7 日修订版）；
- (3) 《中华人民共和国水污染防治法》（2017 年 6 月 27 日修正版）；
- (4) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 年 12 月 29 日修正版）；
- (5) 《中华人民共和国防治陆源污染物污染损害海洋环境管理条例》（1990 年 6 月 22 日，国务院令 61 号）；
- (6) 《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》（2017 年 3 月 1 日修订版）；
- (7) 《近岸海域环境功能区管理办法》（1999 年 12 月 10 日，国家环境保护总局第 8 号令）；
- (8) 《中华人民共和国水污染防治法实施细则》（2000 年 3 月 20 日，国务院令 284 号）；
- (9) 《水污染防治行动计划》（国发〔2015〕17 号）。

1.1.2.2 地方性法规、规划

- (1) 《广东省环境保护条例》（2015 年 1 月 3 日修订版）；
- (2) 《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府〔1999〕68 号）；
- (3) 《广东省实施<中华人民共和国海洋环境保护法>办法》（2018 年 11 月 29 日修正版）；
- (4) 《广东省海域使用管理条例》（2007 年 3 月 1 日起施行）；
- (5) 《广东省海域开发利用与保护总体规划纲要》（粤府办〔2001〕8 号）；
- (6) 《关于进一步加强环境保护工作的决定》（粤府〔2002〕71 号）；
- (7) 《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》（粤府〔2013〕9 号）；
- (8) 《广东省水污染物排放标准》（粤环函〔2003〕434 号）；
- (9) 《广东省环境保护规划纲要（2006-2020 年）》（粤府〔2006〕35 号）；
- (10) 《广东省海洋生态红线区划（2016-2020 年）》（粤府函〔2017〕275 号）；
- (11) 《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020 年）》；
- (10) 《广东省生态环境保护“十四五”规划》；
- (11) 《广东省海洋经济发展“十四五”规划》；
- (12) 《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府〔2020〕71 号）；
- (13) 《揭阳市海洋功能区划（2015-2020 年）》（2018 年）；
- (14) 《揭阳市人民政府办公室关于印发揭阳市“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（揭府办〔2021〕25 号）。

1.1.2.3 标准规范

- (1) 《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- (2) 《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）；
- (3) 《海洋生物质量》（GB18421-2001）；
- (4) 《渔业水质标准》（GB11607-89）；
- (5) 《地表水环境质量标准》（GB3838）；
- (6) 《水污染物排放限值》（DB44/26-2001）；
- (7) 《污水综合排放标准》（GB8978-1996）；

- (8) 《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）；
- (9) 《污水海洋处置工程污染控制标准》（GB18486-2001）；
- (10) 《海洋监测规范》（GB 17378-2007）；
- (11) 《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）；
- (12) 《海洋生物质量监测技术规程》（国家海洋局，2002 年 4 月）；
- (13) 《海岸与河口潮流泥沙模拟技术规程》（JTJ/T233-98）；
- (14) 《海洋渔业资源调查规范》（SC/T 9404-2012）；
- (15) 《近岸海域环境监测规范》（HJ442-2008）；
- (16) 《近岸海域环境功能区划分技术规范》（HJ/T82-2001）；
- (17) 《陆源入海排污口及邻近海域生态环境评价指南》（HY/T086-2005）；
- (18) 《陆源入海排污口及邻近海域环境监测与评价技术规程（试行）》（海环字〔2015〕28 号）；
- (19) 《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）；
- (20) 《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T91-2002）；
- (21) 《水污染排放总量监测技术规范》（HJ/T92-2002）；
- (22) 《污水排海管道工程技术规范》（GB/T19570-2004）；
- (23) 《排污单位自行监测技术指南 总则》（HJ 819-2017）；
- (24) 《入河排污口管理技术导则》（SL 532-2011）；
- (25) 《入河排污口设置论证报告技术导则（征求意见稿）》；
- (26) 《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）。

1.1.2.4 项目资料

- (1) 《国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程初步设计》，中海油石化工程有限公司，2021 年 4 月；
- (2) 《粤东 LNG 项目接收站及码头工程竣工环境保护验收调查报告》，北京中咨华宇环保技术有限公司，2017 年 11 月；
- (3)《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告(送审稿)》，北京中咨华宇环保技术有限公司，2022 年 1 月；
- (4) 建设单位提供的其它材料。

1.2 论证原则

入海排水口设置论证遵循以下原则：

(1) 符合国家有关水污染防治、水资源保护法律法规和相关政策的要求和规定，严格执行国家海洋生态环境保护、海洋生物及渔业资源保护的有关法规。

(2) 符合国家和行业有关技术标准与规范、规程。截至报告编制时间，生态环境部仍未出台入海排污口管理规定和入海排污口备案实施细则。本报告参照《入河排污口管理技术导则》《入河排污口设置论证报告技术导则(征求意见稿)》，结合《广东省海洋功能区划（2011~2020年）》对排水口附近海域的环境保护要求，论证入海排水口设置的可行性和合理性。

(3) 符合所在海域的相关区划、规划；

(4) 符合近岸海域环境功能区划的管理要求。

1.3 论证范围

由于目前无关于入海排污口设置的相关技术规范发布，本报告根据排污量、海域敏感程度，参照《入河排污口管理技术导则》《入河排污口设置论证报告技术导则（征求意见稿）》的有关要求进行论证。根据《入河排污口设置论证报告技术导则（征求意见稿）》，论证范围原则上以受入河排污口设置直接影响的主要水域、相关区域和其影响范围内的第三方取、用水户为论证范围。论证工作的基础单元为水功能区，未划分水功能区的水域，入河排污口排污影响范围内的水域都为论证范围。

本项目冷排水排入前詹港口航运区，属于非敏感区，且排放的水主要为冷排水。根据数模计算结果，参照《入河排污口管理技术导则》《入河排污口设置论证报告技术导则（征求意见稿）》《海域使用论证技术导则》《海洋工程环境影响评价技术导则》，本次论证在海洋功能区划的基础上考虑将入海排水口设置可能产生的影响范围作为论证范围。根据数模计算结果，结合周边用海情况，最终确定本项目排水口设置的论证范围为以排水口为起点南北向各外扩 5km 的海域，论证面积约 50km²。

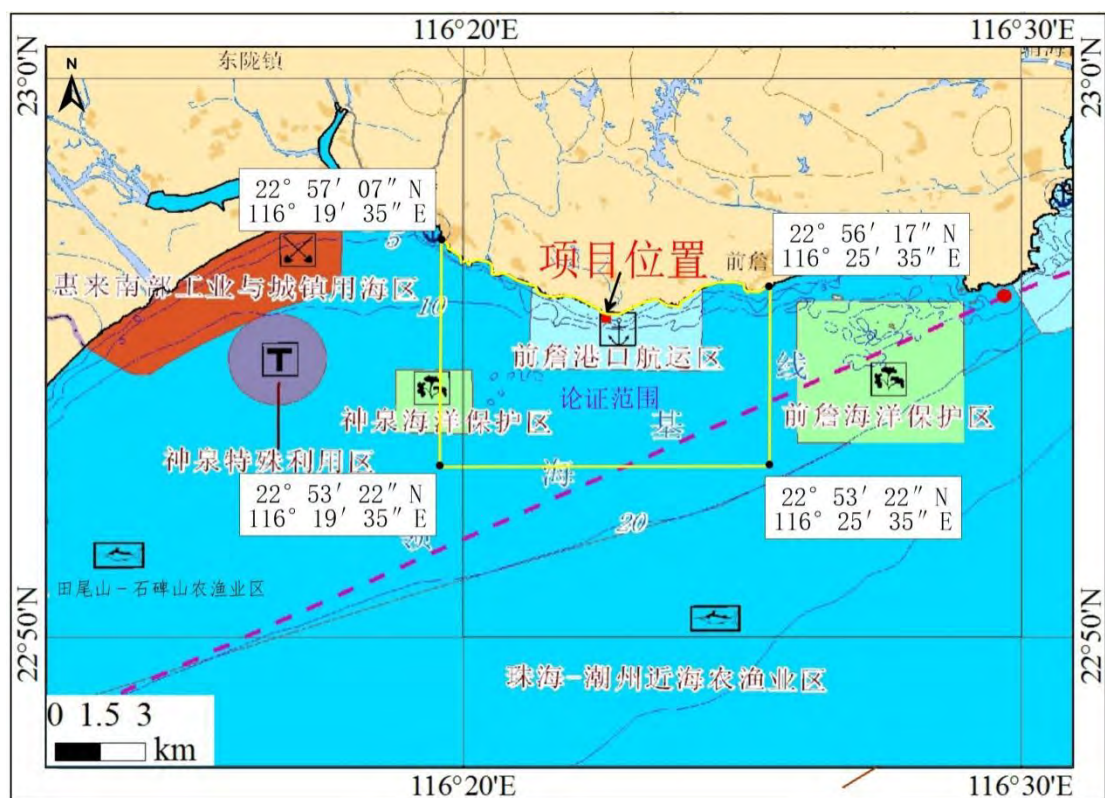


图 1.3-1 项目论证范围示意图

1.4 论证工作程序

本论证报告通过现场查勘、调查和收集项目基本情况及附近海域环境基本资料，充分考虑入海排水口附近海域水质现状及目标保护要求，分析入海排水口的可行性和合理性，采用数学模型模拟的方法，预测入海排水污口的设置对近岸海域水质和所在海洋功能区、水功能区的影响，分析排水口位置、类型和排放方式与所在海域相关区划、规划的符合性，论证入海排水口设置的合理性，并提出保护措施和结论建议。

1.5 论证的主要内容

根据技术导则，结合本项目的实际情况，本报告包括如下主要内容：

- (1) 建设项目基本情况；
- (2) 拟建入海排水口所在区域概况；
- (3) 拟建入海排水口设置方案；
- (4) 入海排水口设置对环境的影响分析；
- (5) 入海排水口设置与相关法规、标准、相关区划、规划的符合性；

- (6) 入海排水口设置合理性分析；
- (7) 结论和建议。

2 粤东 LNG 项目概况及排水口情况

2.1 粤东 LNG 项目基本情况

2.1.1 粤东 LNG 项目建设情况

粤东 LNG 项目位于广东省揭阳市、汕头市和潮州市，项目由码头工程、接收站工程和输气管道工程三部分组成。码头和接收站均位于揭阳市惠来县神泉镇以东约 8km、前詹镇以西约 5km 的卢园、沟疏村附近沿海。其中，码头工程包括 1 个 8~26.7 万 m^3 LNG 船泊位、1 个 1000 吨级重件码头以及相应的配套设施；接收站工程包括 LNG 卸船、储存、气化/外输、火炬、自动控制系统等，配套建设 3 座 16 万 m^3 LNG 储罐，年接转能力 200 万吨。项目接收站及码头工程于 2013 年 5 月开工建设，2017 年 4 月 25 日接卸首船 LNG 进入试生产阶段，2018 年 1 月通过竣工环境保护验收。接收站及码头总平面布置图见图 2.1.1-1，接收站及码头现场布设情况见图 2.1.1-2。

输气管道途经揭阳市、汕头市和潮州市，总长 177km，包括一条干线两条支线其中干线长 148 公里，支线长 29 公里；沿线共设 9 座场站，首站 1 座（与接收站合建）、分输清管站 1 座、清管站 2 座、分输站 2 座、末站 3 座，全线设截断阀室 5 座，设计年输气量 32.8 亿 m^3 。目前实际建设管线 115km，6 座站场（揭阳首站、惠来清管分输站、潮南清管站、西胪清管站、登岗分输站（原揭东分输站）、浮洋分输站）、3 座阀室（司马浦阀室、铜孟阀室、关埠阀室）、揭阳首站至浮洋分输站输气管线主线工程，尚有浮洋分输站至莲华末站输气管线主线段、普宁支线、潮阳支线、3 座末站（莲华末站、普宁末站、潮阳末站）、2 座阀室（浮洋阀室、磷溪阀室）尚未建成。已建接收站高压外输系统已于 2022 年 1 月 22 日通过竣工环境保护验收。

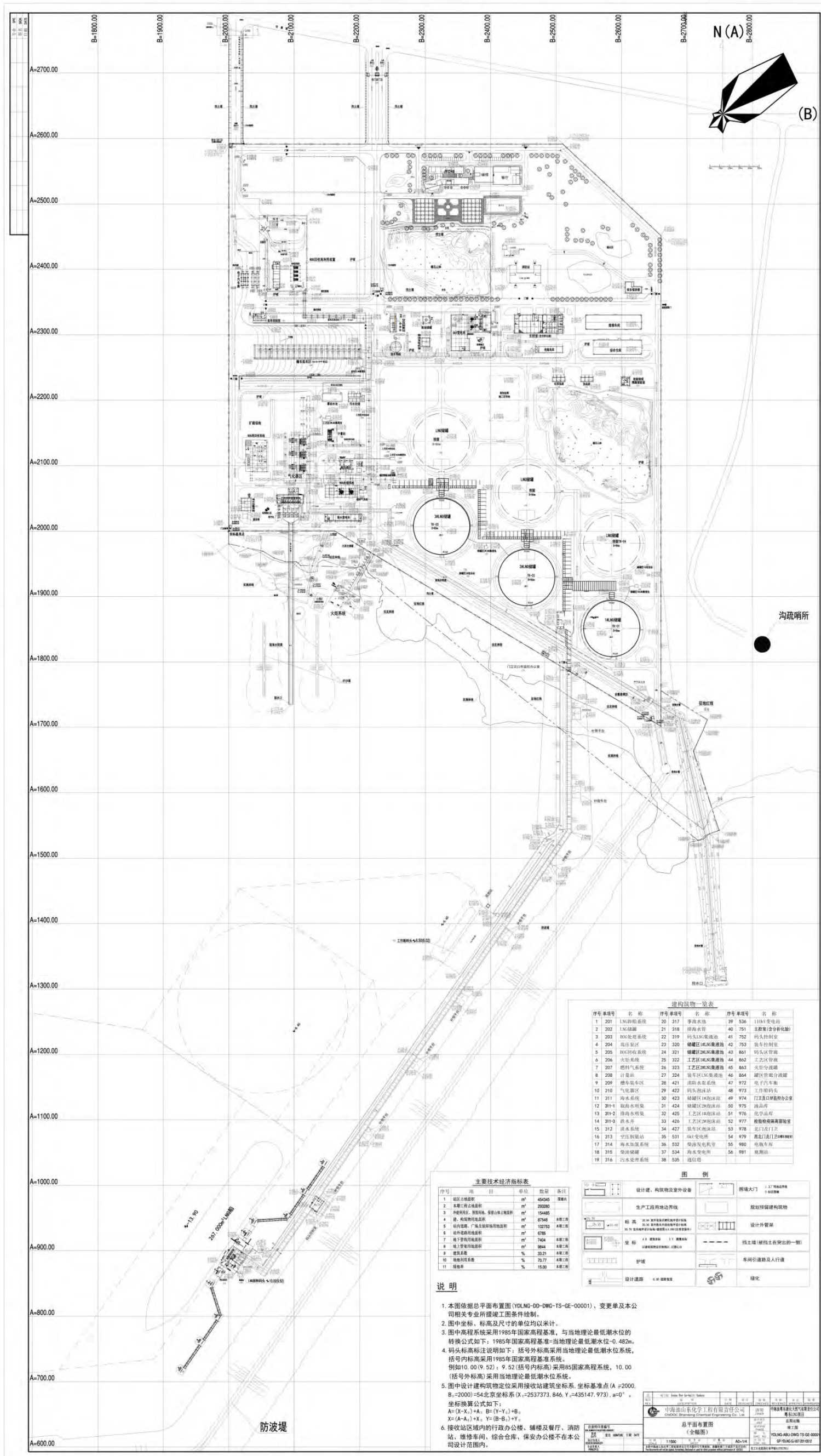


图 2.1.1-1 接收站及码头总平面布置图



图 2.1.1-2 接收站和码头布局图

2.1.2 建设过程及相关审批情况

2007年6月，建设单位开始粤东LNG项目码头工程的预可研工作，2009年，经过对揭阳、汕头、潮州三者站址的比选，最终确定揭阳市为LNG项目站址；2010年9月，中国科学院南海海洋研究所完成《粤东LNG项目工程海域使用论证报告（报批稿）》，同年11月通过国家海洋局预审（附件1），12月广东省住房和城乡建设厅核发《建设项目选址意见书》（附件2和附件3）。2011年1月，环境影响报告书获环境保护部批复（附件4）；2012年11月，因方案细化和变动，建设单位提出了申请用海预审意见延期的请示，同年11月~12月，揭阳市海洋与渔业局、广东省海洋与渔业局、国家海洋局分别给出了项目用海预审意见有关问题的复函（附件5至附件7）。2013年2月，项目获国家发展改革委核准批复（附件8）；2013年5月，《粤东液化天然气项目一期工程配套码头工程初步设计（报批稿）》获交通运输部批复（附件9）；2013年6月，中交第四航务工程勘察设计院有限公司编制完成了码头工程施工图设计说明书。2014年4月，原国家海洋局南海海洋工程勘察与环境研究院编制完成《粤东液化天然气项目一期工程海域使用调整补充说明（报批稿）》，同年5月27日，建设单位取得国家海洋局登记颁发的海域使用权证书（附件10）。排水口用海已取得海域使用权证。

粤东LNG项目码头工程及接收站（部分报告书中项目名称为“粤东LNG项目一期工程配套码头工程”）于2013年5月开工建设，于2016年3月完工，由

广东省交通运输工程质量监督站进行质量监督并出具了交工验收质量鉴定报告，由中海油粤东液化天然气有限责任公司组织完成了交工验收。2017 年 4 月接卸首船 LNG 进入试生产阶段，2018 年 1 月通过竣工环境保护验收，2018 年 1 月 10 日取得“港口工程竣工验收证书”（附件 11）。

粤东 LNG 项目一期工程配套管线 2018 年 6 月开工建设，2021 年 3 月输气管线工程主线建设完成并投入生产。目前实际建设管线 115km，6 座站场（揭阳首站、惠来清管分输站、潮南清管站、西胪清管站、登岗分输站（原揭东分输站）、浮洋分输站）、3 座阀室（司马浦阀室、铜孟阀室、关埠阀室）、揭阳首站至浮洋分输站输气管线主线工程，尚有浮洋分输站至莲华末站输气管线主线段、普宁支线、潮阳支线、3 座末站（莲华末站、普宁末站、潮阳末站）、2 座阀室（浮洋阀室、磷溪阀室）尚未建成。已建接收站高压外输系统已于 2022 年 1 月 22 日通过竣工环境保护验收（附件 12）。

2.1.3 环评批文要求及竣工环境保护验收情况

（1）环评批文要求

2009 年 9 月，中海石油气电集团有限责任公司委托中海石油环保服务（天津）有限公司承担该项目的环境影响评价工作并编制了《粤东 LNG 项目环境影响报告书》（2010.11）。2011 年 1 月 21 日，粤东 LNG 项目取得原中华人民共和国环境保护部下发的《关于粤东 LNG 项目环境影响报告书的批复》（环审〔2011〕24 号）。

根据《关于粤东 LNG 项目环境影响报告书的批复》（环审〔2011〕24 号），该批复中与入海排水口相关的要求：按照“清污分流、雨污分流”的原则设计、建设接收站给排水系统。……对冷排水排放口位置和排放方式进行优化比选，并结合揭阳港惠来沿海港南区规划开展冷能的综合利用工作，最大限度减少冷排水对底栖生物生长造成影响。工程按要求按照余氯在线监测系统，防止和减缓余氯对海域生态系统的影响。

（2）竣工环境保护验收

1) 接收站及码头工程竣工环境保护验收

粤东 LNG 项目接收站及码头工程于 2013 年 5 月开工建设，2017 年 4 月 25 日接卸首船 LNG 进入试生产阶段，其中取排水口于 2013 年 11 月开工建设，2015

年 6 建成，2015 年 12 月 30 日完成交工验收工作及手续。粤东 LNG 项目接收站及码头工程建设单位已于 2018 年 1 月委托北京中咨华宇环保技术有限公司编制了《粤东 LNG 项目接收站及码头工程竣工环境保护验收调查报告》，并完成竣工环保验收备案工作。

根据北京中咨华宇环保技术有限公司 2017 年 11 月编制的《粤东 LNG 项目接收站及码头工程竣工环境保护验收调查报告》，为了解决在管道建成之前当地能源供需矛盾，工程新增 9 台 LNG 槽车装车橇和 BOG 回收利用装置（CNG 装置），同时为了处理生产运营过程中产生的大量 BOG 闪蒸气，促进节能减排，新增 BOG（LNG 蒸发气）回收再液化系统。

①BOG 回收利用装置（CNG 装置）

BOG 回收利用装置（CNG 装置）主要由 4 台压缩机、调压计量系统和控制系统组成。总建筑面积 920 m²，其中，CNG 压缩机厂房建筑面积 360 m²，加气岛建筑面积为 190 m²，站房建筑面积为 370 m²。

②BOG（LNG 蒸发气）回收再液化系统

BOG（LNG 蒸发气）回收再液化系统主要由 1 个 2.26m³ 的 BOG 气缓冲罐、2 台 7496Nm³/h 的原料气压缩机（1 用 1 备）、1 台液化冷箱、1 个 5.6m³ 冷剂配制罐、2 台 24760Nm³/h 的冷剂压缩机（1 用 1 备）、1 个 5.56m³ 的乙烯储罐、1 个 5.6m³ 的丙烷储罐、1 个 5.6m³ 的异戊烷储罐、1 个 5.6m³ 的冷剂储罐、2 座理量为 250m³/h 的凉水塔、2 台循环水泵（1 用 1 备）和 4 台喷淋水泵组成。

由于工程实际运行过程中无管网无外输工况，故接收站站内海水汽化器、高压泵等汽化外输装置不具备启用条件，均未投入使用，因此不存在冷凝海水排海情况，也不涉及在线余氯监测活动。本次验收内容为接收站和码头工程，接收站内已建成的部分设施，如海水汽化器和高压泵不纳入本次验收范围，后期随输气管线工程一并验收。

2) 配套管线竣工环保验收

北京中咨华宇环保技术有限公司 2022 年 1 月编制的《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》于 2022 年 1 月 22 日通过竣工环境保护验收。

根据《粤东 LNG 项目一期工程配套管线竣工环境保护验收意见》，粤东 LNG 项目一期工程配套管线揭阳首站至浮洋分输站管段（以下简称“第一阶段”）起于揭阳市惠来县前詹镇揭阳首站，止于潮州市浮洋镇朱厝村浮洋分输站，经过揭阳市、潮州市、汕头市 3 个地级市的 6 个区县。本次验收的输气管线的环评阶段总长 108km，实际建设管线 115km，管道输送介质为天然气。管道全线采用沟埋方式敷设，选用三层 PE 防腐，沿线共设置工艺站场 6 座，阀室 3 座。2018 年 6 月开工建设，2021 年 3 月输气管线工程主线建设完成并投入生产。设计压力 9.2MPa。“第一阶段”主要建设内容包括 6 座站场（揭阳首站、惠来清管分输站、潮南清管站、西胪清管站、登岗分输站（原揭东分输站）、浮洋分输站）、3 座阀室（司马浦阀室、铜孟阀室、关埠阀室）、揭阳首站至浮洋分输站输气管线主体工程。本次验收范围为：“第一阶段”的建设内容及接收站工程中未验收的高压外输系统（含汽化器、高压泵、再冷凝器、工艺海水、计量等系统）。目前尚有浮洋分输站至莲华末站输气管线主线段、普宁支线、潮阳支线、3 座末站（莲华末站、普宁末站、潮阳末站）、2 座阀室（浮洋阀室、磷溪阀室）尚未建成，不在本次验收范围内，纳入第二阶段验收。

粤东 LNG 项目一期工程配套管线环评阶段估算总投资 251734 万元，环保投资 12844.16 万元，占总投资 5.1%；“第一阶段”实际总投资 184700 万元，环保投资 8654 万元，占总投资 4.69%。

“第一阶段”于 2018 年 6 月开工建设，2021 年 3 月正式通气。工程从施工到建成阶段，未收到环境投诉和违法处罚记录。

根据《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告(送审稿)》，海洋环保措施为：①冷排水 本工程接收站内设置 3 套高压泵（2 用 1 备），3 套 ORV 系统（海水汽化器，2 用 1 备），配备冷排水系统，冷排水直接排入海洋。②余氯 安装余氯在线监测仪，确保排水口余氯浓度不大于 0.2mg/L，减少余氯对海洋生态环境的影响。

根据《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告(送审稿)》，验收污染物排放标准为：①国内海域冷排水排放温差及水中余氯浓度还没有相应的标准，本次验收参考 2002 年通过国家环境保护总局审批的《广东 LNG 接收站和输气干线项目一期工程环境影响评价报告书》中采纳的标准，排放口冷排水温差标准为 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。②本项目余氯排放浓度参考世界银行 1998 年 7 月实施

的《污染防治手册》中对热电站废水污染物排放限制的规定，当 24h 最多只排水 1 次，排放时间达 2h 时，总余氯的最大允许排放浓度为 2mg/l，24h 连续排放的最大允许排放浓度为 0.2mg/l。根据本工程排水特征，本项目排水中余氯的最大浓度限制为 0.2mg/l。

根据《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告(送审稿)》，项目在海水处理系统（含高压泵、再冷凝器、海水汽化器、冷排水）配备有海水温度在线监测仪和余氯在线监测仪，2022 年 1 月 1 日~1 月 20 日在线监测数据显示如下表：

表 2.1.3-1 温度、余氯在线监测数据（温度：℃）

监测日期	入口温度	出口温度	温差	余氯	监测日期	入口温度	出口温度	温差	余氯
1 月 1 日	15.9	13.2	2.7	0.00	1 月 11 日	15.7	13.1	2.6	0.00
1 月 2 日	15.8	13.1	2.7	0.00	1 月 12 日	15.6	13.0	2.6	0.00
1 月 3 日	15.7	14.5	1.2	0.00	1 月 13 日	15.4	12.4	3	0.00
1 月 4 日	15.6	14.7	0.9	0.00	1 月 14 日	15.5	12.8	2.7	0.00
1 月 5 日	15.7	14.4	1.3	0.00	1 月 15 日	15.3	12.4	2.9	0.00
1 月 6 日	15.8	14.6	1.2	0.00	1 月 16 日	15.3	12.5	2.8	0.00
1 月 7 日	15.7	14.3	1.4	0.00	1 月 17 日	15.3	12.6	2.7	0.00
1 月 8 日	15.6	14.3	1.3	0.00	1 月 18 日	15.4	12.5	2.9	0.00
1 月 9 日	15.7	14.3	1.4	0.00	1 月 19 日	15.3	12.7	2.6	0.00
1 月 10 日	15.8	13.7	2.1	0.00	1 月 20 日	15.3	12.5	2.8	0.00

通过监测冷排水排放口余氯浓度可知，冷排水余氯浓度为 0，小于 0.2mg/L。冷排水温差最大 3℃，满足环评限制（温差控制再 5℃以内）要求。说明该项目试运行期，冷排水温度及余氯可稳定满足环评要求。

根据现场核查，项目共设 1 个入海排水口，为冷排水排水口。本项目 2013 年开工建设，根据北京中咨华宇环保技术有限公司 2022 年 1 月编制的《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》，粤东 LNG 项目在海水处理系统（含高压泵、再冷凝器、海水汽化器、冷排水）配备有海水温度

在线监测仪和余氯在线监测仪，在线监测结果显示入口和出口水温最大温差 3℃，冷排水排放口余氯浓度小于 0.2mg/L。该入海排水口已取得海域使用权证。



照片 2.1.3-1 余氯在线监测仪

2.1.4 用海权证情况

中国科学院南海海洋研究所完成《粤东 LNG 项目工程海域使用论证报告(报批稿)》，同年 11 月通过国家海洋局预审（附件 1），12 月广东省住房和城乡建设厅核发《建设项目选址意见书》（附件 2 和附件 3）。2012 年 11 月，因方案细化和变动，建设单位提出了申请用海预审意见延期的请示，同年 11 月~12 月，揭阳市海洋与渔业局、广东省海洋与渔业局、国家海洋局分别给出了项目用海预审意见有关问题的复函（附件 5 至附件 7）。2014 年 4 月，原国家海洋局南

海海洋工程勘察与环境研究院编制完成《粤东液化天然气项目一期工程海域使用调整补充说明（报批稿）》，同年 5 月 27 日，建设单位取得国家海洋局登记颁发的海域使用权证书（10）。

根据海域使用权证书，粤东液化天然气项目一期工程引堤、码头引桥、防波堤、港池、拦砂堤及火炬平台、取水口、海底管道、排水口、冷排水等均已取得海域使用权证。排水口确权海域使用面积为 2.4457 公顷，冷排水确权海域使用面积为 1.3325 公顷。

2.1.5 应急预案备案

建设单位已编制《国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司突发环境事件应急预案》《国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司突发环境事件风险评估报告》，通过了 2021 年 7 月 30 日在揭阳市组织召开了《国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司突发环境事件应急预案》《国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司突发环境事件风险评估报告》专家评审会并完成备案手续。

2.2 粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程

粤东 LNG 公司已建设了 3 座 16 万立方米 LNG 储罐及配套的卸料、储存、转运气化、天然气外输等设施，19 台槽车装车撬，最大槽车液态外输能力达 190 万吨/年。1 座 15 万吨级 LNG 接卸码头（3-26.7 万方）、1 座 3000 吨级工作船码头，以及一条起于粤东 LNG 惠来首站、止于汕头莲华末站、全长 177 公里（干线 148 公里，支线 29 公里）的配套输气管线（划转由广东省管网公司经营），通过广东省网与西气东输二线、西气东输三线相连，实现“南气北上”。管线设计输量 53 亿方/年。

为满足潜在市场需求，根据《关于粤东 LNG 外输能力扩建工程前期方案有关事宜的批复》液气管理【2021】72 号，粤东 LNG 将分三步实施建设。第一步：粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程：主要设备包括：在粤东 LNG 接收站预留用地建设 4 台高压泵，3 台 ORV，3 台海水泵，2 台高压压缩机及其配套设施。2021 年年底投运 1~2 台高压泵，剩余工程 2022 年完工。气化能力达到 3600 万方/天。第二步：粤东 LNG 储气工程：在粤东 LNG 接收站现有预留用地内建设 3 座 22 万方储罐及配套设施，2024 年建成。第三步：粤东 LNG

二期工程：规划新建 1 座 LNG 专用泊位、新建 4 座 22 万方储罐，新增气化能力 3000 万方/天。

根据中海油石化工程有限公司 2021 年 8 月编制的《国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程初步设计》，粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程为实施第一步，在粤东 LNG 扩建预留用地和接口，计划新增 4 台高压泵、3 台海水泵、4 路计量撬、3 套 ORV、2 台高压压缩机及相应配套设施，使接收站气化外输能力达到 3600 万方/天。

本接收站已建成工程：建设规模为 200×10^4 t/a，最大处理能力 504×10^4 t/a，已于 2017 年投产。外输能力扩建工程建成后，接收站总规模 240×10^4 t/a，最大处理能力 600×10^4 t/a，保供期间气化外输能力达到 3600 万标方/天。

2.2.1 接收站设施

(1) 接收站现有设施

粤东 LNG 接收站现有装置主要包括 3 台 LNG 卸料臂、1 台返气臂的 1 座可停泊 8-26.6 万方 LNG 运输船接卸码头、3 座 16 万方的 LNG 储罐、12 台低压 LNG 泵、2 台低压 BOG 压缩机、1 台再冷凝器、19 槽车装车撬、3 台 LNG 高压泵、3 台 ORV 气化器、1 个高架火炬系统等工艺设施及相关的配套措施。

已有 LNG 接收站气化系统安装三台海水开架式气化器（二用一备，单台能力 180t/h）及三台工艺海水泵（二用一备，单台能力 $6800\text{m}^3/\text{h}$ ）。现有工艺海水系统排放量为 $13600\text{m}^3/\text{h}$ （ $2 \times 6800\text{m}^3/\text{h}$ ）。

(2) 新建设施

粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程是在现有接收站的基础上进行气化外输能力的扩建，对粤东 LNG 接收站现有的供水、供电、气化外输管道能力、消防等相关的配套及辅助设施进行研究，根据需要增加相关的配套及辅助设施，实现外输量 3600 万标方/天。拟增加的主要设备如下：

外输能力扩建工程新增 4 台高压 LNG 泵（流量为 180t/h）、3 台 ORV 气化器（流量为 240t/h）、1 台 BOG 低压压缩机（流量为 10t/h），2 台 BOG 高压压缩机（流量为 10t/h）、3 台海水泵（ $8600\text{m}^3/\text{h}$ ）以及 1 套 4 路计量撬（ $280000\text{Nm}^3/\text{h}$ ），1 座 6KV 变电站，1 座危废暂存间，现有空压制氮站扩建，

1 套海水生物杀生剂加药装置等。以上新增设施，均为在现有装置预留位置进行建设。

考虑到外输市场能力的达到 3600 万标方/天，外输能力扩建工程的气化设施需要增加 4 台高压泵、3 台 ORV 及 3 台海水泵等气化设施及配套。在此种模式下高压泵需有 1 台备用，为与高压泵相匹配，在现有预留位置仅能布置 3 台 ORV 和 3 台海水泵的情况下，提高新上三台 ORV 气化处理能力，由现有装置的 180t/h，提高至 240t/h。相应新增海水泵能力与之配套，单台海水泵能力为 8600m³/h。整体做到“N+1”备用原则。

本项目公用工程、辅助工程依托现有接收站设施，可满足需要。本项目在原有接收站的基础上，将原先预留位置的高压 LNG 泵、ORV 气化器及计量撬等工艺设施进行设计和建设，BOG 高压压缩机厂房利旧原有的再液化装置，BOG 低压压缩机仅设计不具体实施，新增设备作为原有设施的备用和补充，以满足下游市场的需要。

工艺海水泵西南侧有一处海水加氯间，在取水口处布置有海水过滤装置。海水二级过滤后进入海水池，通过工艺海水泵加压、加氯输送至海水管网系统。海水最后通过接收站海水排水系统排进大海。外输能力扩建工程不新增新取水区。外输能力扩建工程新增 3 台海水泵。

冷能综合利用区位置靠近工艺区。该区将建设空分系统，利用 LNG 冷量制成液氧、液氮等产品外销。其它冷能利用项目也在规划中。外输能力扩建工程不新增，仅配合冷能装置区做好预留。

外输能力扩建工程建成后工艺海水系统排放量将增加 25600(3×8600)m³/h，即外输能力扩建工程建成后工艺海水系统排放量为 39200m³/h。

2.2.2 接收站工艺流程

2.2.2.1 工艺技术方案及特点

目前 LNG 接收站技术已相当成熟，LNG 接收站设计将充分考虑工艺技术的先进性和可靠性，确保长期稳定、安全可靠的向下游供气。

(1) 蒸发气 (BOG) 处理方式

按照 LNG 接收站对蒸发气（BOG）的处理方式不同，接收站气化工艺分为两种：直接输出工艺和再冷凝工艺。两种工艺并无本质上的区别，仅在蒸发气体（BOG）的处理上有所不同。

粤东 LNG 已建装置采用再冷凝工艺，再冷凝的工艺采用两种处理工艺。一种工艺将蒸发气压缩到一定压力后，与 LNG 储罐罐内低压泵送出的 LNG 在 BOG 再冷凝器中吸收，由于 LNG 加压后处于过冷状态，可以使蒸发气被 LNG 吸收，再冷凝后的 BOG 与 LNG 的混合物与罐内低压泵送出的 LNG 经高压 LNG 输送泵加压送到开架式气化器气化后外输。另一种工艺针对在零外输条件下（无外输管道情况下），接收站运行将产生 BOG，设有 3t/h 的 BOG 再液化装置，采用氮气膨胀制冷液化 BOG，即利用压缩机将接收站产生的 BOG 压缩后与制冷撬直接换热而液化，之后返回到储罐中。

外输能力建成后，在最小外输工况下 BOG 产生量大幅增加，现有的再液化装置的处理能力不能够满足 BOG 的处理，针对最小外输的工况需要将已建的再液化装置拆除，在已建的再液化厂房新上 2 台 BOG 高压压缩机，提高最小外输工况下 BOG 的处理能力。外输能力建成后 BOG 处理工艺采用直接输出工艺和再液化的工艺。

（2）卸船工艺

接收站卸船工艺系统采用一根 42”液相总管（100%能力）、一根 28”气相平衡总管线和一根 6”的 LNG 保冷循环管线的设计。无卸船时，通过 LNG 保冷循环管线以小流量循环来保持卸船总管处于低温状态。该设计已有长时间安全、可靠运行的记录。外输能力扩建工程仅新增 LNG 高压外输相关设备及配套设施，不涉及卸船工艺改造。

（3）LNG 储罐

已有项目 3 座 LNG 储罐选用了安全、可靠的全容式混凝土顶储罐（FCCR），每座储罐内有 4 台罐内低压泵，3 开 1 备。全容式混凝土顶储罐的最大操作压力比金属顶储罐高。在卸船操作时，可利用罐内蒸发气自身压力将气体直接返回到 LNG 运输船上，而无需设置返回气风机进行加压。外输能力扩建工程仅新增 LNG 高压外输相关设备及配套设施，不涉及 LNG 储罐建造。

(4) 气化器

LNG 接收站常用的气化器有：海水开架式气化器、浸没燃烧式气化器、管壳式气化器和中介介质气化器等。已有项目充分考虑了项目所在地区的海水水质及水温等条件，选用海水开架式气化器。外输能力扩建工程新增 3 台 ORV 气化器及配套 3 台海水泵。

2.2.2.2 工艺流程

粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程的工艺流程图见图 2.2-1。

(1) 工艺流程及控制

接收站的工艺主要流程及控制原理如下：

1) BOG 处理系统

① 蒸发气压缩处理

蒸发气的产生主要是由于外界能量的输入造成，如泵运转、外界热量的导入、大气压的变化、环境的影响及 LNG 注入储罐时造成罐内 LNG 体积的变化等。LNG 接收站在卸船操作时蒸发气的产生量是无卸船操作时的数倍。

根据工艺设计原则，BOG 压缩机的处理能力是通过计算接收站最苛刻工况下产生蒸发气最大量来确定的。本项目选取的极端工况为：最小气体外输+LNG 船卸料+槽车装车。本项目采用再冷凝工艺来处理接收站的蒸发气体，因此在已有设置了两台相同能力的 BOG 压缩机 TS-BOGC-0301A/B（单台能力为 10t/h）用于再冷凝工艺。

该压缩机主要用于再冷凝工艺，将接收站内产生的蒸发气压缩后送至 BOG 再冷凝器吸收为 LNG。BOG 压缩机采用低温往复式压缩机，可通过逐级调节来实现流量控制，其压缩能力等级（0/50%/100%）根据储罐的压力来调节。

BOG 压缩机的控制根据实际操作情况确定，可自动，也可手动。在自动操作模式下，LNG 储罐压力通过绝压控制器控制，该控制器可根据储罐操作压力自动选择压缩机的运行负荷等级。在手动操作模式下，由操作人员根据储罐的操作压力确定压缩机的运行负荷等级。

② BOG 再冷凝器

BOG 再冷凝器 (TS-PV-0303) 主要有三个功能：一是吸收蒸发气，二是作为高压 LNG 输送泵的入口缓冲罐，三是 BOG 再冷凝器内部的液位高度可满足高压 LNG 输送泵入口汽蚀余量要求。

BOG 再冷凝器筒体材质为不锈钢，由上下两部分组成。上部为填料塔，蒸发气与 LNG 从顶部进料并混合换热后，蒸发气被吸收液化成 LNG；下部可作为高压 LNG 输送泵的缓冲罐。

BOG 再冷凝器上部还设有压力保护及补气装置。当容器内压力超压时，BOG 再冷凝器可通过容器顶部设置的安全阀将多余的蒸发气排往火炬；当容器内压力较低时，可通过外输管线与 BOG 再冷凝器连接的补气管线对其进行补气增压。BOG 再冷凝器上还设有高、低液位报警保护装置。

2) LNG 输送及气化系统

①高压 LNG 输送泵

正常情况下，LNG 从 BOG 再冷凝器直接进入高压 LNG 输送泵 (TS-P-0402A~G)，加压后输送至开架式气化器。高压 LNG 输送泵为电动多级液下泵，泵安装于泵筒内，泵筒相当于泵的外壳，通过进出口法兰与外部管道连接（包括电气、仪表的连接）。

高压 LNG 输送泵是输送系统中的重要设备，必须设置备用泵，其启动台数根据接收站的外输气量来确定。高压 LNG 输送泵外输流量可通过泵出口管线及开架式气化器入口的流量调节阀进行控制，也可根据外输天然气总管的压力变化自动控制，以保证外输天然气总管中的压力稳定。

在高压 LNG 输送泵出口管路上设有最小流量回流管线，以保证泵的安全运行。

②开架式气化器

LNG 在开架式气化器(TS-VP-0402A~F)中被加热气化，天然气经计量后通过管线送往外输天然气干线。气化后的天然气温度不低于 0°C。

本项目采用的是海水开架式气化器，气化器的操作台数与外输气量有关。在气化器入口管线上设有流量调节阀，可控制高压 LNG 输送泵外输流量及气化器出口气体的温度。

为了保证接收站操作的简单性及灵活性，工艺海水泵配备数量与气化器相同，一台工艺海水泵的能力可满足一台开架式气化器最大 LNG 流量的换热要求。新增工艺海水泵单台能力为 8600m³/h，为避免工艺海水泵检修时影响开架式气化器的正常操作，一台工艺海水泵需备用。

为满足气化器对海水水质的要求，在工艺海水泵前设有过滤、加药装置。海水经过滤、加药、工艺海水泵加压，通过海水供水总管输送至开架式气化器与高压 LNG 进行热交换后，再排往大海。海水进出气化器的温差不超过 5℃。

3) 天然气外输及计量系统

已有项目天然气外输压力约 9.0MPa(G)，经分析计量后进入输气干线。外输能力扩建工程新增 1 套相同规模的计量装置，与已有并联共同完成计量任务，新增计量撬接入已有计量撬的预留阀门。

4) 槽车装车系统

槽车装车站已有建设有 19 个装车撬（16 开 3 备），不新增。

各槽车装车撬均设有 LNG 槽车装车臂与 LNG 槽车装车回气臂，可同时进行装车作业，装车时置换出来的蒸发气靠压差返回蒸发气总管。槽车装车系统设有 LNG 循环管线，用于维持非装车作业时装车总管处于低温状态，避免开始装运时产生过多的 BOG 气体进入槽车降低装车速率。

槽车装车站还设有称重地衡，用于槽车装车计量。

5) 安全泄压系统

低温管道安全阀放空和 LNG 设备放空通过放空管线直接回到储罐，放空总管与 LNG 储罐气相空间相接，该空间提供了一个缓冲空间，保持放空管线的压力稳定。

为防止空气进入火炬及蒸发器总管，在火炬总管尾端连续通以低流量氮气来维持系统微正压。

LNG 储罐上压力安全阀放空直接排到大气中，排放点应位于安全处。

在正常操作工况下，没有气体排放至火炬系统。

6) LNG 排放系统

LNG 排净系统的废液用氮气加压，通过 LNG 排净总管返回至储罐；其他工艺设施的低温循环液体通过排净总管回到 LNG 储罐。

7) 公用工程系统

根据生产需要，外输能力扩建工程需要新增空压制氮系统、消防系统及 110KV 外电系统；其余的生活用水及生产用水、燃料气及柴油系统等依托原有装置。

(2) 外输能力扩建工程工艺描述

外输能力扩建工程包括 BOG 处理系统、LNG 高压输送系统、计量站及 LNG 槽车装车系统等相关设施。针对上述工艺系统进行工艺阐述。

1) BOG 处理系统

外输能力扩建工程采用直接输出法和再冷凝法两种工艺相结合的方法来接收站的 BOG。直接输出法是将系统产生的 BOG 通过 BOG 低压压缩机和 BOG 高压压缩机串联压缩外输至下游管网；再冷凝法是指先将 BOG 通过低压 BOG 压缩机压缩，然后再送至再冷凝器进行冷凝操作，冷凝后的 LNG 通过再次加压和气化后外输至下游管网。

依据 BOG 计算报告，外输能力扩建工程新增 2 台 BOG 高压压缩机 (TS-BOGC-0302A/B) 对系统内产生的 BOG 气体进行压缩，储气工程新增 1 台 BOG 低压压缩机 (TS-BOGC-0301C)。新增 BOG 高压压缩机入口接至已有的 BOG 压缩机出口总管的预留接口，BOG 压缩机出口单独接至计量撬新增的单独计量管路，具体位置详见管道及仪表流程图。本次为保持设计完整性对 BOG 低压压缩机进行设计。

低压 BOG 压缩机的能力通过逐级调节来实现流量控制，其压缩能力 (0/25/50/75/100%) 通过储罐的压力来调节。低压 BOG 压缩机的入口气体温度高于 -100°C 或压缩机在较低的负荷下运行时，通过输送适量 LNG 对气体进行降温；高压 BOG 压缩机的级间换热通过配套复合蒸发冷却器来实现。

蒸发气压缩机的控制既可自动，也可手动。自动操作模式下，储罐压力通过总的绝压控制系统来进行控制，并且该控制系统可自动选择压缩机的运行负荷等级 (0/25/50/75/100%)；手动操作模式下，操作人员可根据储罐的压力检测情况选择蒸发气压缩机的运行负荷等级。如果蒸发气的流量超过压缩机处理负荷，超出部分气体将通过储罐和蒸发气总管上的压力控制阀将气体排放至火炬系统。

考虑到接收站运行时存在不进行气化外输的工况，此时再冷凝器不运行，非卸船期间产生的全部蒸发气需用 BOG 高压压缩机加压进行外输，卸船期间通过降低卸船速率来防止蒸发气排火炬。BOG 高压压缩机采用往复式压缩机，压缩机设置压力控制的回流旁路，该回路用于防止入口压力过低及匹配 BOG 低压压缩机流量。由于在这种控制模式下能效比较低，所以正常操作时不采用。

BOG 高压压缩机的流量控制在手动模式下运行，操作工可以根据压缩机的负荷情况，手动选择 BOG 高压压缩机的负荷。在运行 BOG 高压压缩机前，需先将再冷凝器系统与 BOG 低压压缩机相关的联锁和流量控制信号屏蔽，再确认再冷凝器相连管线上的切断阀和控制阀处于关闭状态后，才能启动 BOG 低压压缩机与 BOG 高压压缩机，确保蒸发气处理流程为接外输。

新增的高压压缩机和已建 BOG 低压压缩机的运行模式，在正常外输和有卸船工况下，开 2 台 BOG 压缩机直接压缩后送至再冷凝器处理，在正常外输和无卸船工况下，开 1 台 BOG 压缩机直接压缩后送至再冷凝器处理，在零外输工况下，开 1 台 BOG 低压压缩机和 1 台高压压缩机直接增压后输至管网。

2) LNG 高压输送系统

从再冷凝器出来的 LNG 通过高压 LNG 泵加压后输送至 ORV 气化器。高压 LNG 泵潜液式电动多级泵，泵与电动机整体安装于泵筒内，泵筒相当于泵的外壳，通过进出口法兰与外部管道连接（包括电气、仪表的连接）。其出口总管按最大外输量进行设计。

依据计算，外输能力扩建工程新增 4 台高压泵和 3 台 ORV，新增设备接至已有的预留接口，具体位置详见管道及仪表流程图。高压泵入口 28"总管考虑预留接口，其余的接口不考虑预留。建成后共有 7 台高压泵（TS-P-0402A~G）和 6 台 ORV（TS-VP-0402A~F），可以满足供气 3600 万标方/天的气化外输能力。

新增 4 台高压泵与已建 3 台高压泵并联使用，已建高压泵区与本装置的预留接口处的阀门均设置为常开，同时在高压泵低压 LNG 入口预留 14"的阀门，用于在大量外输工况下低压 LNG 的补液。

3) 计量站

计量站的作用是对外输气体操作状况进行监控,并精确地记录输出气体的数量。在天然气外输之前,新增一套满足贸易计量的成套包,且在进入计量成套包前安装在线气相色谱仪间断地检测输出气体的组成、热值、Wobbe 指数、比重和密度,同时备用手工取样装置。

新增的 1 套 4 路计量站(含 4 路 12"外输 NG 计量管路)及 1 条 6"的高压压缩机计量管路,4 路计量管线接入已有计量站的总管根部阀门处,就地取样设施与已有计量装置共用。

新增的计量撬与已建的计量撬并联使用,NG 从整个计量撬的两侧接入,为保证计量的完整准确性,依据现场情况需要将已建计量撬的入口自动分析取样移至计量撬出口总管。同时已建撬装预留阀门设置为常开状态。

2.2.2.3 设备备用原则

根据 LNG 接收站常年 24 小时持续不断运行供气的要求,接收站内的设备配置及备用一方面应避免设备检修对接收站运营外输造成影响,另一方面应综合考虑接收站的安全性、可靠性和经济性。

公用工程系统的备用原则是不影响工艺系统的正常操作,其中对接收站的可靠性没有影响的部分如生产生活水系统等不需要备用;但可能对接收输出有影响的,如仪表空气、氮气等系统需要备用。

(1) 高压 LNG 输送泵

罐内低压泵、高压 LNG 输送泵是外输系统中的重要设备,必须设置备用泵,设置备用泵的原则是 N+1。

已有工程共安装 12 台罐内低压泵(单台能力为 160t/h),9 用 3 备。每个储罐安装 4 台罐内低压泵,3 用 1 备。

已有工程共安装 3 台高压泵(单台能力为 180t/h),二用一备。外输能力扩建工程新增 4 台高压泵(单台能力 180t/h),总能力达到六用一备。

(2) BOG 再凝器

BOG 再凝器属压力容器,应定期检修。在工艺系统设计中考虑了设置 BOG 再凝器旁路系统,保证 BOG 再凝器检修时不影响接收站的正常外输。

BOG 再凝器检修期间的蒸发气送火炬燃烧处理。因此,接收站已设一台 20t/h BOG 再凝器。外输能力扩建工程不需要增加。

(3) 开架式气化器/工艺海水泵

已有项目采用的是开架式气化器，气化器的维修间隔与海水水质有关，在海水固体悬浮物含量小于 10ppm 的情况下，其镀层维修间隔为七至八年，维修时间为四个月左右，因此为保证气化器的维修不影响接收站外输，应备用气化器。现有装置为了保证接收站操作的简单性及灵活性，工艺海水泵配备数量与气化器相同，同时考虑备用工艺海水泵。已有 LNG 接收站气化系统安装三台海水开架式气化器（二用一备，单台能力 180t/h）及三台工艺海水泵（二用一备，单台能力 6800m³/h）。

考虑到外输市场能力的达到 3600 万标方/天，外输能力扩建工程的气化设施需要增加 4 台高压泵、3 台 ORV 及 3 台海水泵等气化设施及配套。在此种模式下高压泵需有 1 台备用，为与高压泵相匹配，在现有预留位置仅能布置 3 台 ORV 和 3 台海水泵的情况下，提高新上三台 ORV 气化处理能力，由现有装置的 180t/h，提高至 240t/h。相应新增海水泵能力与之配套，单台海水泵能力为 8600m³/h。整体做到“N+1”备用原则。

(4) BOG 压缩机

已有项目采用再冷凝工艺来处理接收站的蒸发气体。根据接收站蒸发气产生量以及物料平衡计算结果，只有当接收站在“最小外输+卸船+槽车装车”工况时，蒸发气产生量最大，此时需要二台压缩机同时运行；在不卸船的情况下，仅需要一台压缩机即可以满足要求。因此设置了二台相同能力的 BOG 压缩机（单台能力为 10000kg/h）用于再冷凝工艺。

外输能力扩建工程采用再冷凝工艺及直接加压外输工艺来处理接收站的蒸发气体。外输能力扩建工程不增加储罐，仅增加气化设施 BOG 增加较小，在“零外输+卸船+槽车装车”工况时，蒸发气产生量最大为 19.25t/h，此时需要二台压缩机同时运行；在不卸船的情况下，仅需要一台压缩机即可以满足要求。远期储气工程增加 3 台储罐后设施，在“零外输+卸船+槽车装车”工况时，蒸发气产生量最大为 25.76t/h，此时需要增加第三台 BOG 低压压缩机，三台同时增加满足要求。考虑到外输能力扩建工程建成后零外输的工况，设置 2 台 BOG 高压压缩机（10t/h），远期储气工程建成后在最小外输量下，BOG 再冷凝器也可以处理完 BOG 量。

BOG 压缩机的维修应安排在不卸料期间进行,当一台 BOG 压缩机维修时,另一台 BOG 压缩机仍可维持非卸船期间的正常操作,无须设置备用。

(5) 火炬系统

火炬系统用于处理蒸发气总管超压排放的气体,以及当下游长输管道需检修时,管道中残留的高压气体。

正常操作时,所有压力泄放气体均排火炬,火炬前设火炬分液罐。火炬检修应选择在储罐压力较低的时候进行。检修期间,低压放空气体皆排入到 BOG 总管,当 BOG 总管发生超压时,可通过 LNG 储罐上安装的安全阀排至大气。因此火炬不设备用。火炬主处理能力为 90 t/h (火炬最大处理能力为 108t/h),依据火炬能力计算报告,目前的火炬能够外输能力扩建工程的泄放量的要求,无需对现有火炬进行改造。

(6) 气体计量系统

计量系统主要由计量管路、超声波流量计、温度与压力变送器、自动取样装置、在线气相色谱分析仪、流量计算机及相应的阀门等组成。为保证计量系统某一计量回路检修或标定期间整个接收站的外输量计量,计量回路均应采用 N+1 原则进行备用。

已有计量系统配备四条计量回路(三用一备),外输能力扩建工程新增 4 路计量撬,不设置备用。

已建计量系统配备四条计量回路(三用一备),外输能力扩建工程新增 5 路计量撬,其中 4 路计量撬(三用一备)为 NG 计量,1 路为高压压缩机外单独输计量。

2.2.2.4 海水排水系统

主要用于收集经 ORV 排放的工艺海水,海水经 ORV 换热后温差不超过 5 度,通过重力流排到 LNG 接收站东南侧的现有海底海水排水管和排水口,现有工艺海水系统处理量 13600m³/h,外输能力扩建工程排水量增加 25800m³/h,粤东 LNG 外输能力扩建工程冷海水亦将排入现有海水排水管,排水管采用两根内径 2.0m 钢管向外海排水,现有排水管和排水口满足外输能力扩建工程海水排放要求。

2.2.2.5 工艺三废排放

接收站的工艺三废排放在本项目中力争较经济地做到对环境无损害。外输能力扩建工程实施后，项目总体排放情况见接收站排放一览表。

表 2.2-1 接收站排放一览表

序号	“三废”来源及名称	现有装置排放量	外输能力扩建工程新增排放量	处理后污染物组份	排放规律	排放方式及地点	备注
1	火炬烟气	57t/h	23t/h	以N ₂ 、CO ₂ 、O ₂ 及H ₂ O为主,含微量的NO _x	间断	在70m高处排入大气	新增
2	火炬常明灯	485m ³ /h	—	以N ₂ 、CO ₂ 、O ₂ 及H ₂ O为主,含微量的NO _x	连续	在70m高处排入大气	不新增
3	冷海水排放	13600m ³ /h	25800m ³ /h			排海	ORV5开1备
4	生活污水	14.5m ³ /d	0.5m ³ /d	NH ₃ -N: ≤10mg/L COD: ≤90mg/L BOD5: ≤0mg/L SS: ≤60mg/L	间断	经生活污水处理系统处理后回用	新增
5	设备维修含油废水	5m ³ /d	—	石油类: ≤10mg/L	间断	经隔油处理设施处理后排入生活污水处理系统	不新增
6	生活垃圾	0.16t/d	—		间断	环卫部门统一处理	不新增
7	食堂烟气	48.6Nm ³ /h	—		间断	经15米高排气筒排放	不新增
8	事故柴油发电机						仅用非正常停电时

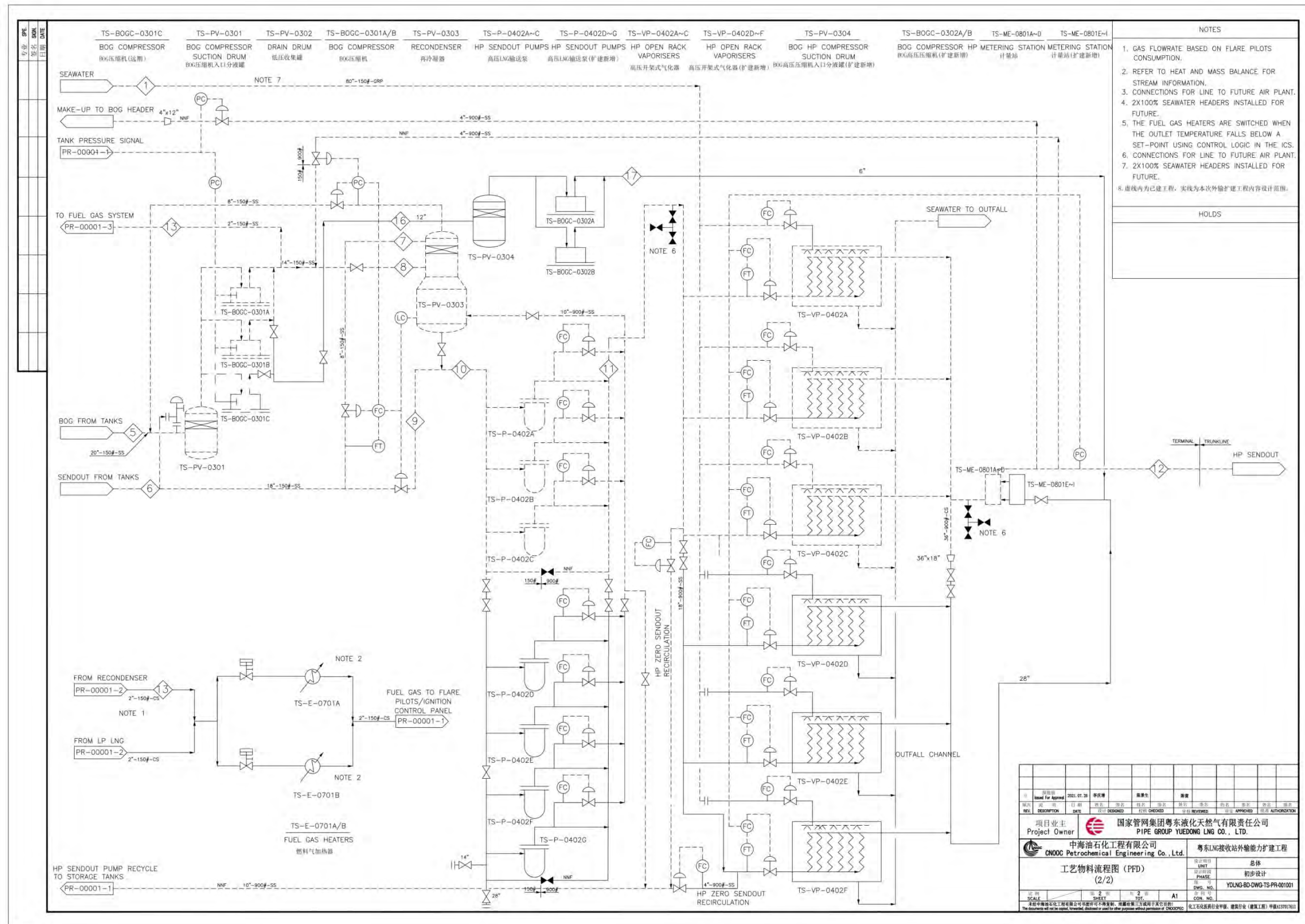


图 2.2-1b 粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程的工艺流程图

2.3 粤东 LNG 冷能利用方案

(1) LNG冷能发电方案

粤东 LNG 接收站具有稳定的外输基荷气量,为保证稳定的外输压力和流量,推荐采用低温朗肯循环冷能发电法,冷媒循环工质采用丙烷。

LNG 设计流量为 180t/h,最大膨胀发电功率为 4300kW,可供站内使用。建议冷能发电项目与 LNG 接收站同步建设并附属于接收站运行。建议接收站内设置,供站内用电使用。

(2) 空分冷能利用方案

在 LNG 冷能空分的工艺单元中,空气过滤及压缩、纯化、氧氮氩精馏、低温液体贮存装车系统与常规空分相同。空气经过压缩纯化后送入空气分离单元,原料空气在主换热器中与低压氮气和循环氮气换热被冷却后进入下塔参与精馏,经过精馏系统的精馏获得液氧、液氮、液氩产品。液体产品送入贮存及装车系统,供用户使用。

LNG 冷能空分装置设计规模 614.5t/d,液氧产量 300t/d,液氮产量 300t/d,液氩产量 14.5t/d。

粤东 LNG 附近的工业园区有较大面积土地可供利用,依托神泉国家级示范性渔港建设冷量物流中心十万吨级冷库和食品加工板块,可冷藏保鲜各类禽畜肉类、水产类、果蔬等农副产品及鲍鱼加工。由于冷链物流仓库目前处于规划当中,初步估算天惠冷链物流中心的冷能需求量为 9.2MW。利用扩建工程完工后富余的 110t/h 的 LNG 冷能,通过建立换冷站将中间媒介(乙二醇水溶液及氟利昂 R23)进行换冷,输送至冷库使用,实现 LNG 冷能梯级利用。

在不采取冷能利用方案的情况下,粤东 LNG 接收站现有装置冷海水排放量为 13600m³/h,拟建的外输能力扩建工程新增冷海水排放量 25800m³/h,扩建工程完成后,冷海水排放量增加至 39400m³/h。如采用上述冷能利用方案,冷排水量降会大大减小。保守期间,本报告均按未采用冷能利用方案的排放量考虑。

2.4 排水口基本情况

2.4.1.排水口基本信息

项目名称：粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口

建设单位：国家管网集团粤东液化天然气有限责任公司

建设性质：已建

建设地点：广东省揭阳市惠来县神泉镇以东约 8km、前詹镇以西约 5km 的卢园、沟疏村附近沿海，见图 2.4.1-1。

排水口设计排海量：粤东 LNG 接收站现有装置冷海水排放量为 13600m³/h，拟建的外输能力扩建工程新增冷海水排放量 25800m³/h，扩建工程完成后，冷海水排放量增加至 39400m³/h。

入海排水口位置：入海排水口经纬度坐标为 116°22'32.58"E、22°55'38.47"N。

排放方式：连续性排放

入海方式：管线

排入的近岸海域环境功能区名称和水质目标：前詹至卢园综合功能区，水质目标为《海水水质标准》（GB3097-1997）第三类。

排入的海洋功能区名称和保护要求：排入的海洋功能区为“前詹港口航运区”，其海洋环境保护管理要求为“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”。

是否取得海域使用权证：排水口已取得海域使用权证。



图 2.4.1-1 排水口位置示意图

2.4.2 冷排水产生、排海过程

海水取水区布置在接收站西南角，该区布置了工艺海水泵、海水消防泵。海水使用后，通过暗管，经海水口排入大海。海水取水区布置位置方案为：西南面取水，东南面排水。

(1) 冷排水工艺海水给水系统

粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程冷排水工艺海水系统主要供接收站气化器换热用水，工艺海水取自海洋，海水从接收站岸边的取水口进入，由安装在取水口上部的立式泵抽取送至 LNG 换热系统。

现有项目工艺海水用量约为 $13600\text{m}^3/\text{h}$ ，扩建后工艺海水用量约为 $25800\text{m}^3/\text{h}$ ，扩建后工艺海水总用量约为 $39400\text{m}^3/\text{h}$ 。现有工程已建成海水池，已有 3 台海水泵、1 台耙式过滤器和 3 台带式过滤器（2 用 1 备）组成，海水泵流量 $6800\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 35m，预留扩建项目水泵安装位置、预留管道接口。

根据工艺需要，本次扩建增加 3 台海水泵，单台 $Q=8200\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=35\text{m}$ 。满足海水用量需求。现有项目已建海水电解制氯设备一套，本次扩建不新增海水电解制氯设备，增设海水杀生加药 1 套装置，满足海水流量需求。

扩建完成后，共计 6 台海水泵，5 开 1 备。现有工程设置 2 条 80”海水管道

为汽化器输送海水，并为扩建项目预留管道接口。每台海水泵及 ORV 分别接至两根海水总管，并设有阀门隔断，全运行时，两根母管分别输送 3 台泵水量供 3 台 ORV。

为净化工艺海水中可能损害汽化器等设备的生物，扩建工程采用投加海水生物杀生剂方案。

(2) 冷排水工艺海水排放系统

本系统是由开架式气化器（ORV）排出的冷排水，海水经气化器加热 LNG 后温度降低，但其水质未受到污染，为了控制水温变化对排放区域内的海洋生态环境的影响，海水气化器的出水温度与当地海水的温度差需控制在 5°C 以内。在气化器进、出水口处均设有温度监控系统，实时监控排放冷海水的温度，一旦温差大于控制值，控制中心即会收到报警，监控人员会及时进行故障清除，并通过海水管道上的流量调节阀来控制海水流量满足气化热负荷要求，同时控制海水温降不超 5°C。

现有工程工艺海水排放量为 13600m³/h，扩建后工艺海水排放量为 25800m³/h。

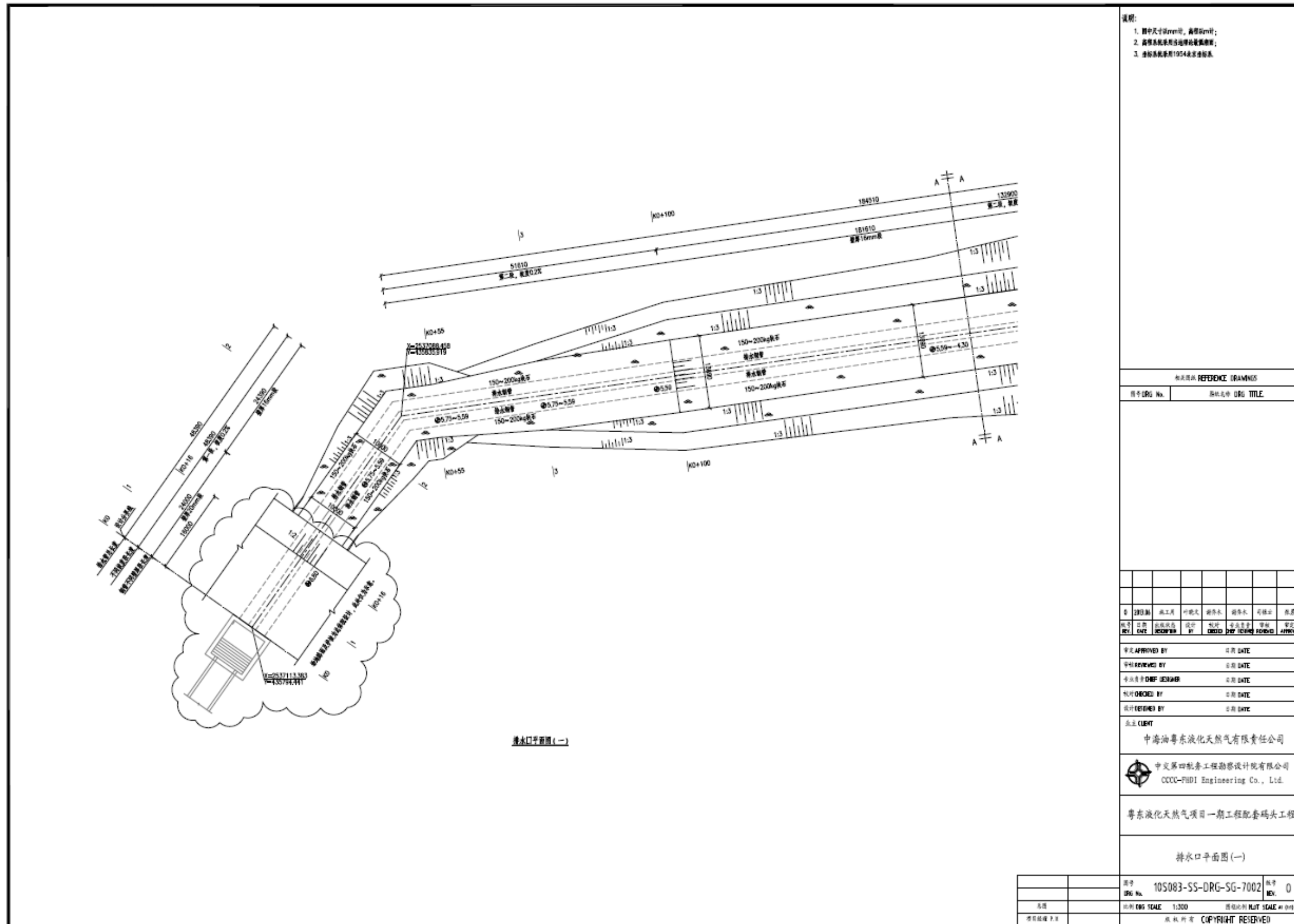
2.4.3 排水管网及排水口情况

根据原国家海洋局南海海洋工程勘察与环境研究院 2014 年 4 月编制的《粤东液化天然气项目一期工程海域使用调整补充说明（报批版）》，排水口总长 452.97m，排水管起始点位于集水井处，采用两根内径 2.0m 钢管向外海排水。为了尽量减少挖泥，沿着地形分别设置四段不同坡度：第一段坡度为 0.2%，长度为 100m；第二段坡度为 3.5%，长度为 282.9m；第三段坡度为 2% 长度为 60.4m；第四段为排水头部段，长度为 9.67m。排水管支撑于开挖之后回填中粗砂基础上，并采用 150~200kg 块石进行护面。排水钢管头部采用哈夫固定于混凝土块体上。排水口位于当地理论最低潮面下 2.47m，排水口平面布置图见图 2.4.3-1，纵剖面图见图 2.4.3-2，断面图见图 2.4.3-3。

排水口位于广东省揭阳市惠来县神泉镇以东约 8km、前詹镇以西约 5km 的卢园、沟疏村附近沿海，离岸约 140m 排放，排水口位于当地理论最低潮面下 2.47m，位于海域低潮线以下。

排水口工程于 2013 年 11 开工建设，2015 年 6 建成，2015 年 12 月 30 日完成交工验收工作及手续。

根据现场核查，项目共设 1 个入海排水口，为冷排水排水口。根据北京中咨华宇环保技术有限公司 2022 年 1 月编制的《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》，粤东 LNG 项目在海水处理系统（含高压泵、再冷凝器、海水汽化器、冷排水）配备有海水温度在线监测仪和余氯在线监测仪，在线监测结果显示入口和出口水温最大温差 3℃，冷排水排放口余氯浓度小于 0.2mg/L。该入海排水口已取得海域使用权证。



说明:
 1. 图中尺寸均以mm计, 高程以m计;
 2. 高程系均采用当地理论高程系统;
 3. 坐标系均采用1954年北京坐标系。

相关图例 REFERENCE DRAWINGS	
图号 DRG No.	图名 DRG TITLE

设计	校核	审核	批准	日期
设计	校核	审核	批准	日期

审批 APPROVED BY	日期 DATE
审核 REVIEWED BY	日期 DATE
专业负责人 DWF DESIGNER	日期 DATE
校核 CHECKED BY	日期 DATE
设计 DESIGNER BY	日期 DATE

业主 CLIENT
 中海油粤东液化天然气有限责任公司
 中文第四航务工程勘察设计院有限公司
 CCCC-PHDI Engineering Co., Ltd.

粤东液化天然气项目一期工程配套码头工程

排水口平面布置图 (一)

图号 DRG No.	10S083-SS-DRG-SG-7002	图号 REV.	0
比例 DRG SCALE	1:300	原图比例 NAT SCALE	1:100
版权所有 COPYRIGHT RESERVED			

图 2.4.3-1a 排水口平面布置图

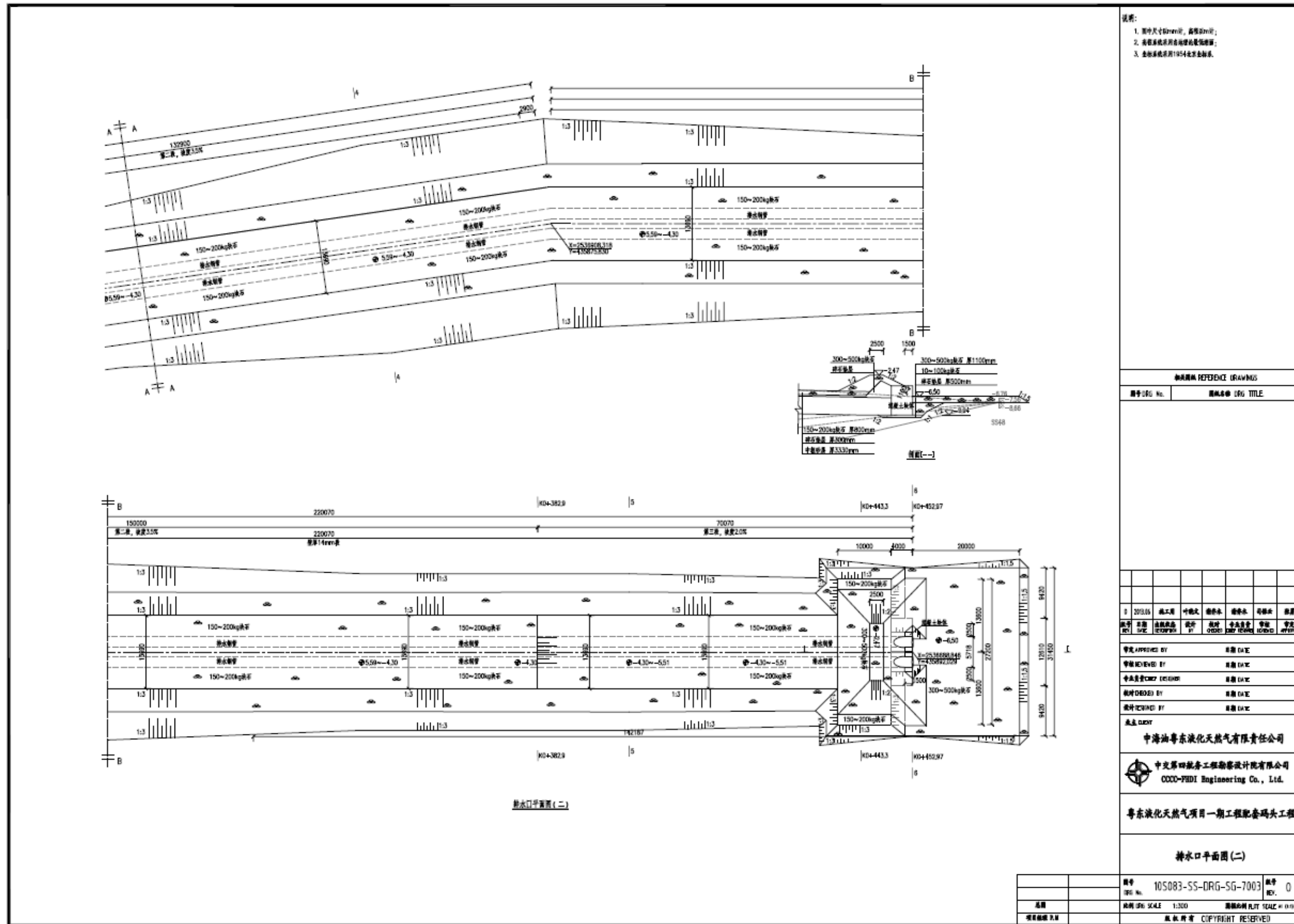


图 2.4.3-1b 排水口平面布置图

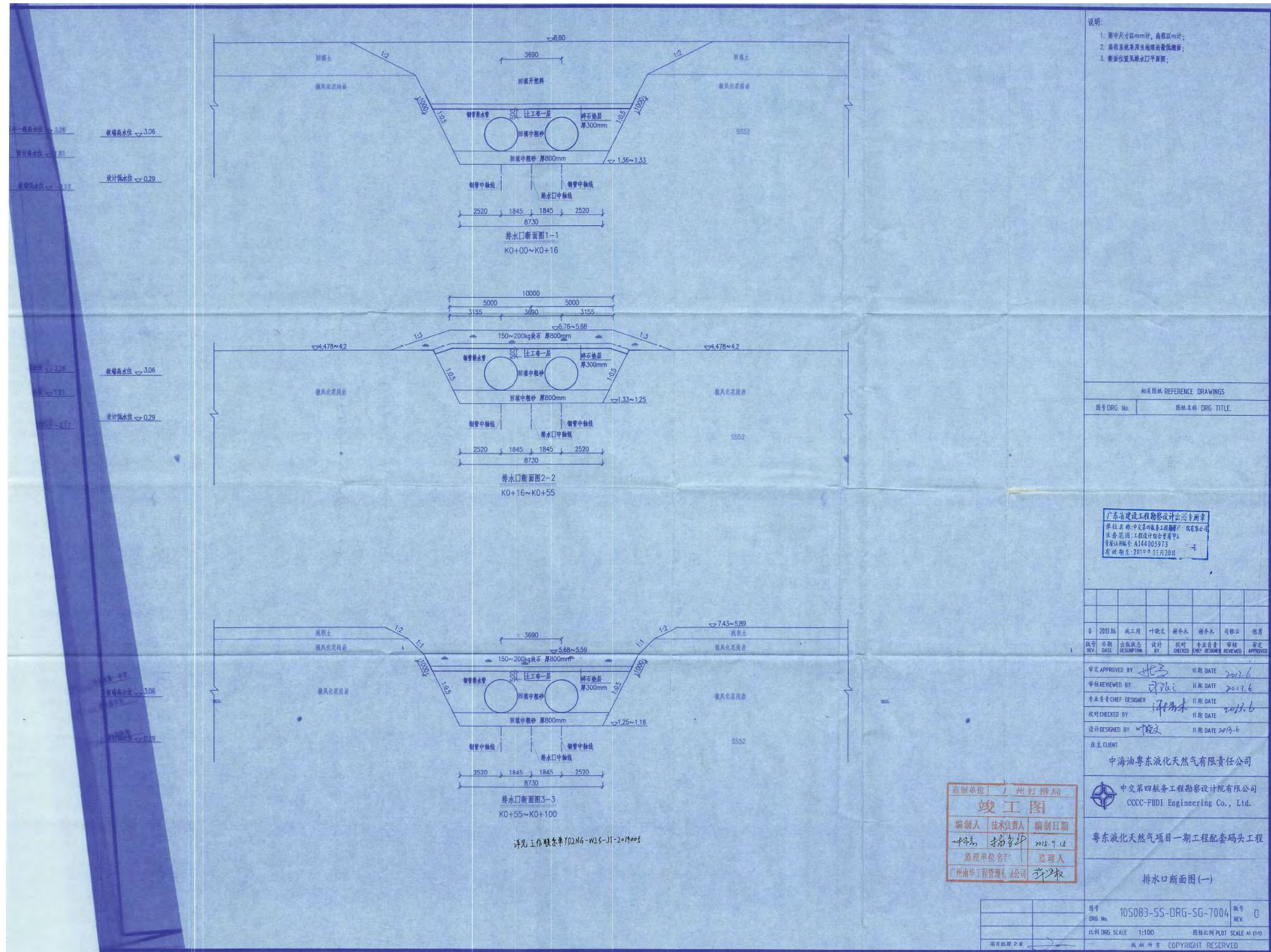


图 2.4.3-3a 排水口断面图

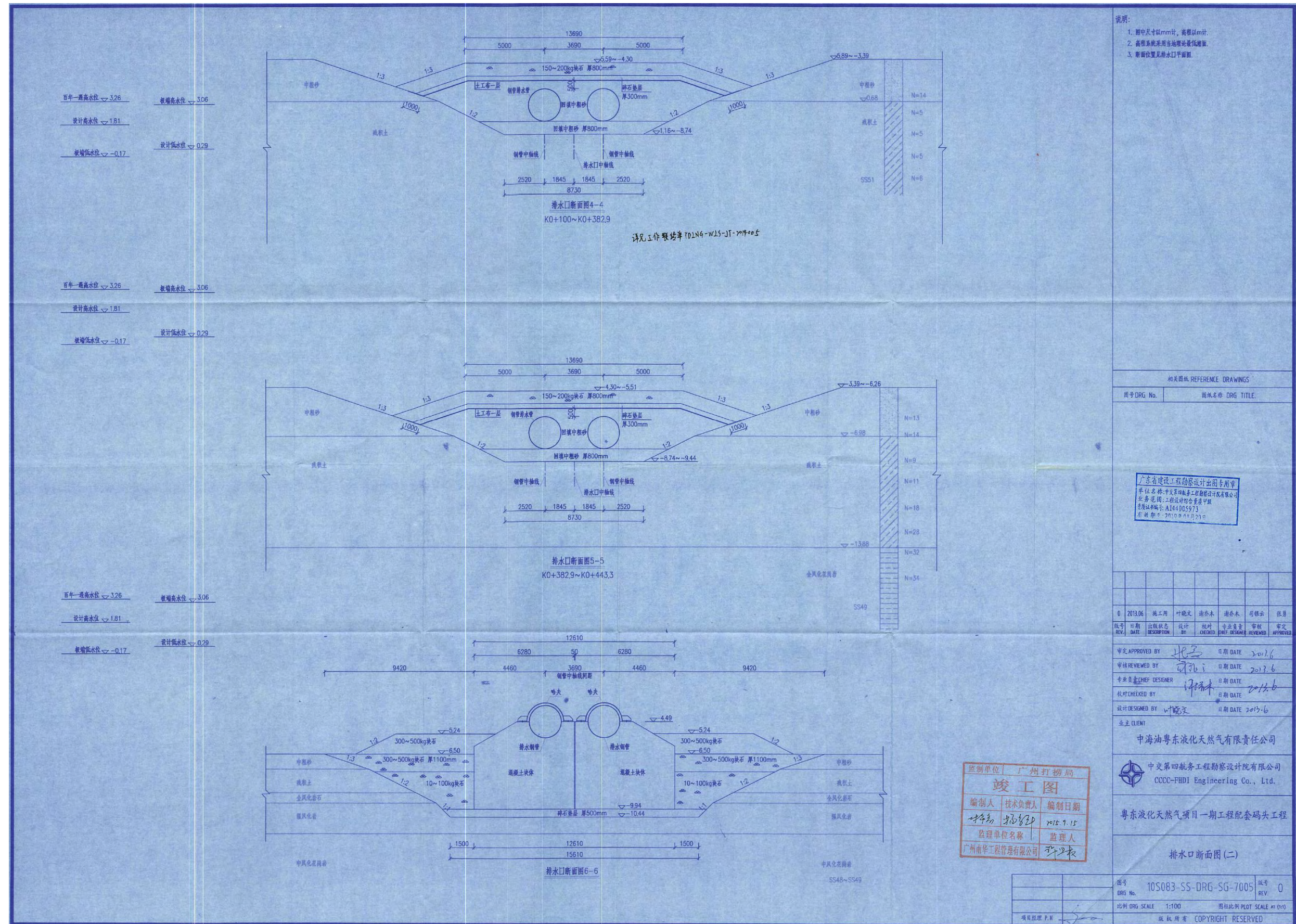


图 2.4.3-3b 排水口断面图

3 论证范围内近岸海域环境功能区情况

3.1 近岸海域保护水质管理目标与要求

3.1.1 广东省海洋功能区划环境保护管理要求

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，项目位于“前詹港口航运区”，项目周边有神泉海洋保护区、神泉特殊利用区、惠来南部工业与城镇用海区、前詹海洋保护区、田尾山-石碑山农渔业区和珠海-潮州近海农渔业区。各海洋功能区的环境保护要求见表 3.1-1。部分质量标准见表 3.1-2 至表 3.1-3。

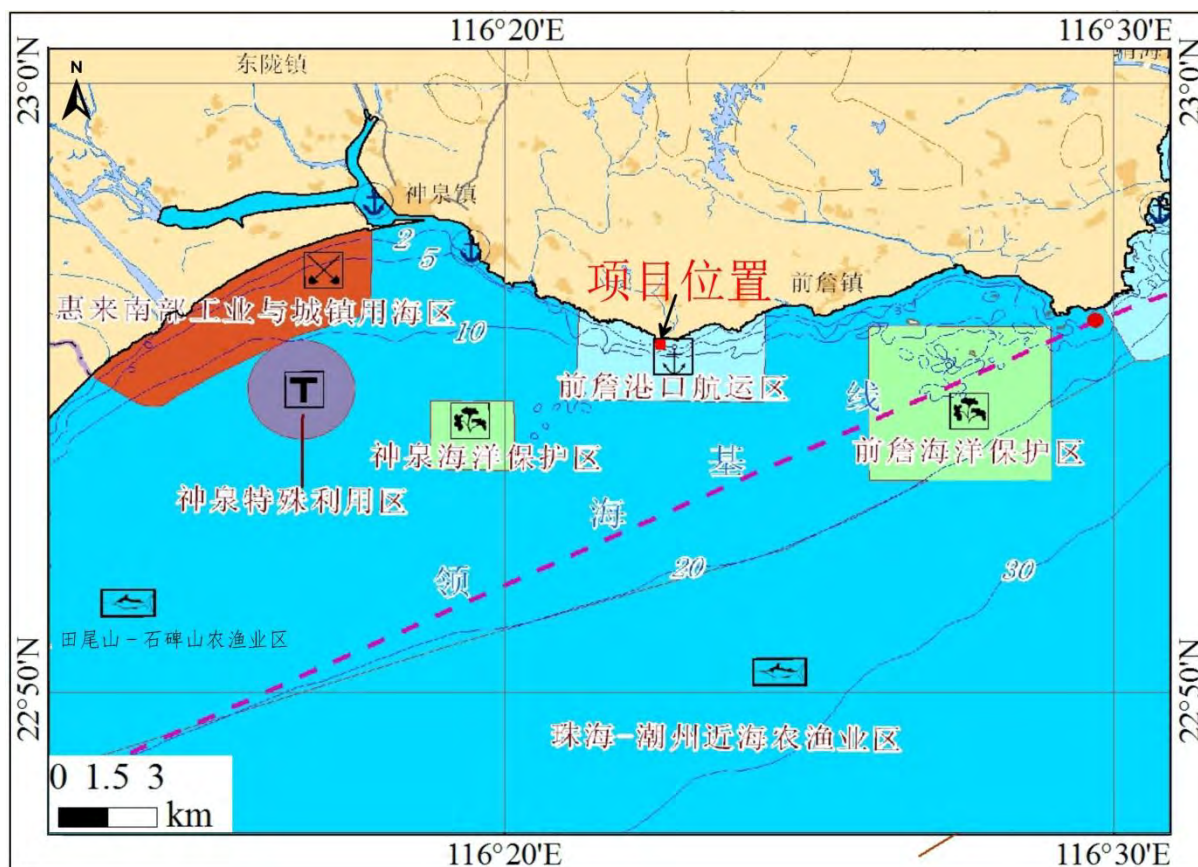


图 3.1-1 项目附近海域广东省海洋功能区划图

表 3.1-1 各海洋功能区的环境保护要求

功能区名称	海水水质要求	沉积物质量要求	海洋生物质量要求
前詹港口航运区	三类	二类	二类
田尾山-石碑山农渔业区	二类	一类	一类
神泉海洋保护区	一类	一类	一类
前詹海洋保护区	一类	一类	一类
珠海-潮州近海农渔业区	一类	一类	一类

表 3.1-2 海水水质标准（GB3097-1977）（mg/L，除 pH 外）

污染物名称	第一类	第二类	第三类	第四类
悬浮物	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	
溶解氧>	6	5	4	3
化学需氧量≤	2	3	4	5
无机氮≤	0.20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐≤	0.015	0.030		0.045
汞≤	0.00005	0.0002		0.0005
镉≤	0.001	0.005	0.010	
铅≤	0.001	0.005	0.010	0.050
总铬≤	0.05	0.10	0.20	0.50
砷≤	0.020	0.030	0.050	
铜≤	0.005	0.010	0.050	
锌≤	0.020	0.050	0.10	0.50
硒≤	0.010	0.020		0.050
镍≤	0.005	0.010	0.020	0.050
硫化物≤	0.02	0.05	0.10	0.25
石油类≤	0.05		0.30	0.50

注：第一类 适用于海洋渔业海域，海上自然保护区和珍稀濒危生物自然保护区；

第二类 适用于水产养殖区，海水浴场，人体直接接触海水的海上运动或娱乐区，以及与人类食用直接有关的工业用水区；

第三类 适用于一般工业用水区，滨海风景旅游区；

第四类 适用于海洋港口海域，海洋开发作业区。

表 3.1-3 海洋沉积物质量标准 (GB18668-2002) ($\times 10^{-6}$, 有机质为 $\times 10^{-2}$)

污染因子	汞	镉	铅	锌	铜	铬	砷	有机质	硫化物	石油类
一类标准 \leq	0.20	0.50	60.0	150.0	35.0	80.0	20.0	2.0	300.0	500.0
二类标准 \leq	0.50	1.50	130.0	350.0	100.0	150.0	65.0	3.0	500	1000.0
三类标准 \leq	1.00	5.00	250.0	600.0	200.0	270.0	93.0	4.0	600	1500.0

注：第一类 适用于海洋渔业海域，海水养殖区，海洋自然保护区，与人类食用直接有关的工业用水区；
 第二类 适用于一般工业用水区，滨海风景旅游区；
 第三类 适用于海洋港口海域和海洋开发作业区。

表 3.1.1-1 项目周边海域海洋功能区划分布状况

登记表中序号	海洋功能区名称	与项目的最近距离	使用现状
133	前詹港口航运区	项目位于该区内	港口航运区
130	田尾山-石碑山农渔业区	西南侧约1.5km	农渔业区
233	神泉海洋保护区	西南侧约4.3km	海洋保护区
234	前詹海洋保护区	东侧5.8km	海洋保护区
220	珠海-潮州近海农渔业区	南侧1.5km	农渔业区

3.1.2 近岸海域环境功能区划管理要求

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）以及《关于调整揭阳市近岸海域环境功能区划的复函》（粤办函〔2010〕473号），项目位于前詹至卢园综合功能区，该功能区范围为前詹至卢园，主要功能为“港口、一般工业用水”，海水水质目标为《海水水质标准》（GB3097-1997）第三类。

项目所在海域的近岸海域环境功能区分布见图1，项目占用及附近近岸海域功能区的主要功能及水质目标见表3.1.2-1所示。

表 3.1.2-1 项目及附近近岸海域环境功能区基本情况表

编号	功能区名称	范围	主要功能	水质目标
302A	资深至石碑山综合功能区	资深至石碑山	港口、一般工业用水	三
302B	石碑山至前詹二类功能区	石碑山至前詹	养殖、旅游	二
302C	前詹至卢园综合功能区	前詹至卢园	港口、一般工业用水	三

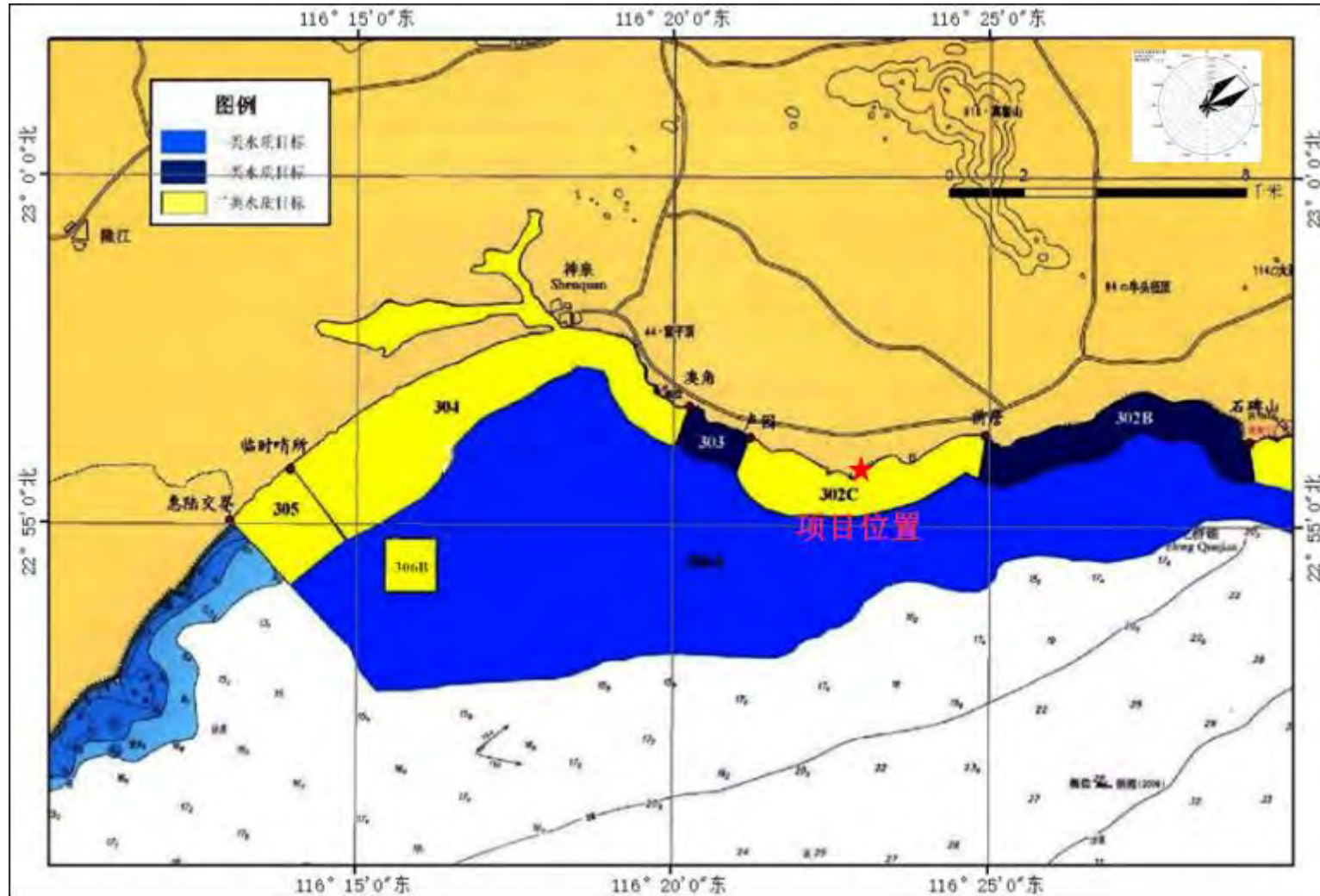


图 3.1.2-1 项目所在海域近岸海域功能区划图

3.2 近岸海域现有取排水状况

项目所在海域主导功能为港口航运区，结合最新遥感影像图和现场调查，项目附近有养殖取水口、排水口和粤东 LNG 取水口。

项目东、西侧均有养殖取、排水口，尤以东侧养殖取排水口更多，根据现场调查，主要为惠来县鹏业海水养殖专业合作社的养殖取、排水口，最近的取水口位于项目东北侧约 0.3km，项目附近养殖品种主要为鲍鱼。项目附近养殖取水口、排水口示意图见图 3.2-1，取、排水口现状见图 3.2-2~图 3.2-4。

根据建设单位介绍，本项目运行期间，未收到过周边养殖户的投诉。



图 3.2-1a 项目东侧养殖取、排水口示意图



图 3.2-1a 项目西侧养殖取、排水口、粤东 LNG 取水口示意图

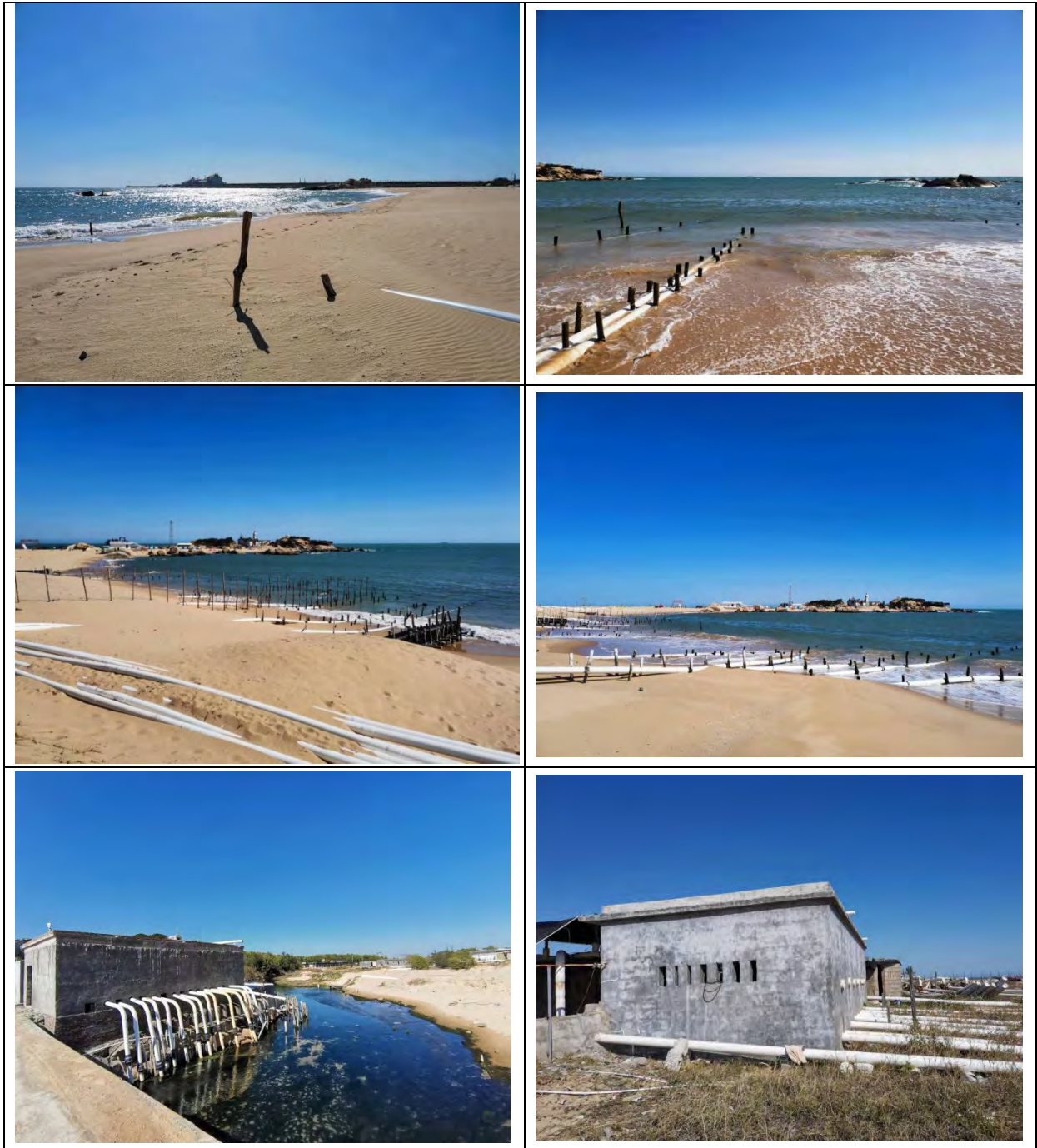


图 3.2-2 养殖取水管、取水口现场照片

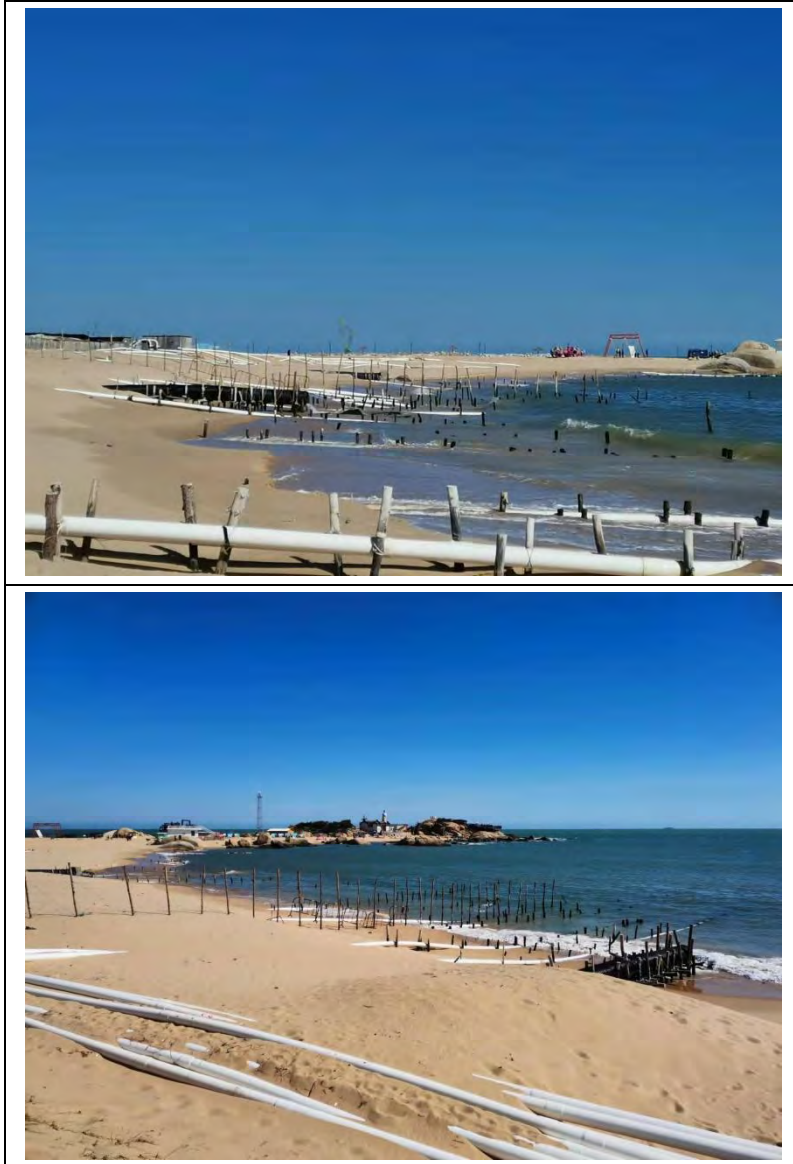


图 3.2-3 养殖取、排水口现场照片（黑管：排水管；白管：取水管）



图 3.2-4 养殖排水口现场照片

3.3 近岸海域环境质量现状

3.3.1 水文动力环境调查与评价分析

广州南科海洋工程中心于 2020 年 9 月 15 日 12 时~2020 年 9 月 16 日 13 时在项目附近海域进行了水文观测，共布设水文连续观测站 6 个，编号为 V3~V8，潮位站 2 个，分别为 T1、T2 站。水文观测站位分别见图 3.3-1 和表 3.3-1。

表 3.3-1 潮流、潮位观测站位坐标

站位	坐标点		观测项目
	经度	纬度	
V3	116°16.112'E	22°54.319'N	海流、泥沙、温盐
V4	116°17.696'E	22°55.929'N	海流、泥沙、温盐
V5	116°20.045'E	22°52.978'N	海流、泥沙、温盐
V6	116°24.313'E	22°54.294'N	海流、泥沙、温盐
V7	116°24.583'E	22°51.124'N	海流、泥沙、温盐
V8	116°30.072'E	22°54.739'N	海流、泥沙、温盐
T1	116°19'13"E	22°57'43"N	潮位
T2	116°30'38"E	22°57'52"N	潮位

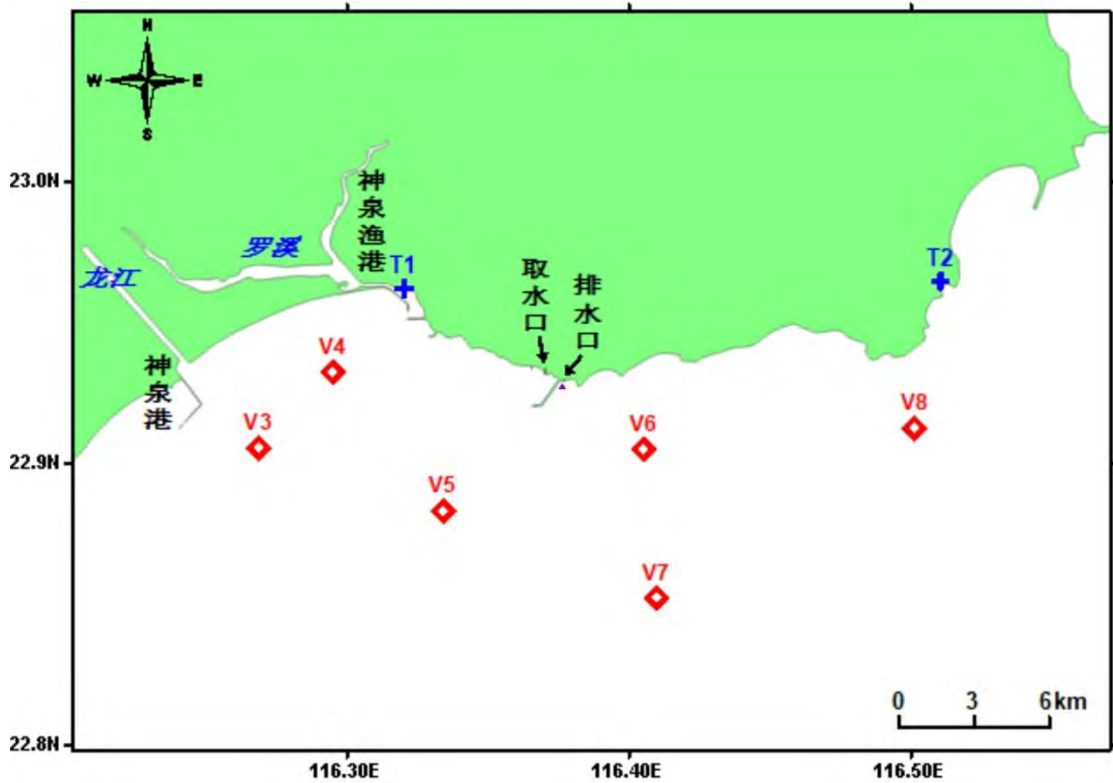


图 3.3-1 项目附近海域水文调查站位分布图（2020 年 9 月）

3.3.1.1 潮汐

(1) 基面关系

根据中交第四航务工程勘察设计院有限公司《粤东液化天然气项目一期工程配套码头工程初步设计（报批稿）》（2013年4月），高程系统采用理论最低潮面，项目所在海域基面关系如下图所示。

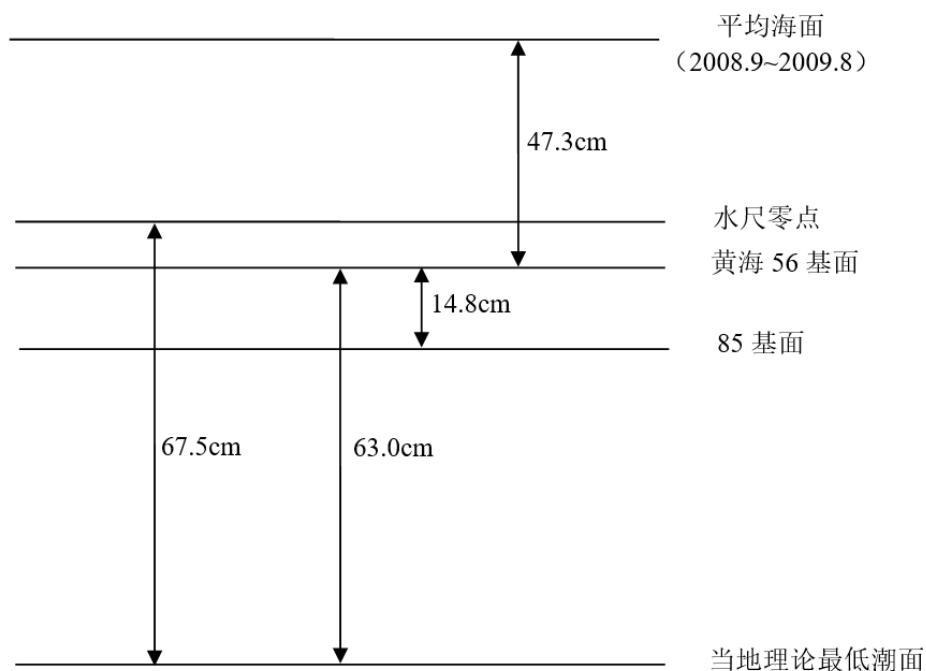


图 3.3.1-1 基面关系图

(2) 潮汐类型和调和常数

地球上的海水，受到月球和太阳的作用产生的一种规律性的上升下降运动称为潮汐。南海的潮汐主要是由太平洋潮波传入引起的协振潮。由引潮力产生的潮汐振动不大。

在大部分港口和海区， K_1 、 O_1 、 M_2 和 S_2 是四个振幅最大的主要分潮。这四个分潮的振幅值通常用来对潮汐运动形态进行分类。在我国，通常采用比值

$$F = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2}}$$

来进行海港潮汐类型的判别，其中 H 表示分潮的振幅。

当 $F < 0.5$ ，潮汐为正规半日潮港或规则半日潮港；

当 $0.5 \leq F < 2.0$ ，潮汐为不规则半日潮港或不规则半日潮混合潮港；

当 $2.0 \leq F \leq 4.0$ ，潮汐为不规则日潮港或不规则日潮混合潮港；

当 $F > 4.0$ ，潮汐为正规日潮港或规则日潮港。

由于潮位观测的潮位资料时间只有 27 小时左右，为了获得较准确的潮汐调和常数，我们采用引入差比数的最小二乘法对潮位进行调和与分析，分析之前潮位进行了气压订正。差比数取自邻近的长期验潮站汕尾站的调和常数。分析得出的主要分潮的调和常数参见表 3.3.1-1。

据此调和常数，我们分别计算了 T1 和 T2 的特征值 $F = \frac{H_{K1} + H_{O1}}{H_{M2}}$ ，

得出 F 值分别为 7.0 和 4.9，属于规则日潮。

表 3.3.1-1 主要分潮的调和常数（基于 26 小时）

测站 分潮	T1		T2	
	振幅 H (m)	迟角 g (°)	振幅 H (m)	迟角 g (°)
O ₁	0.246	126.6	0.234	126.7
K ₁	0.303	174.2	0.288	174.2
M ₂	0.079	55.3	0.107	124.5
s ₂	0.031	76.7	0.043	145.9
M ₄	0.143	88.3	0.140	65.5
Ms ₄	0.080	154.0	0.078	131.2
F	7.0		4.9	

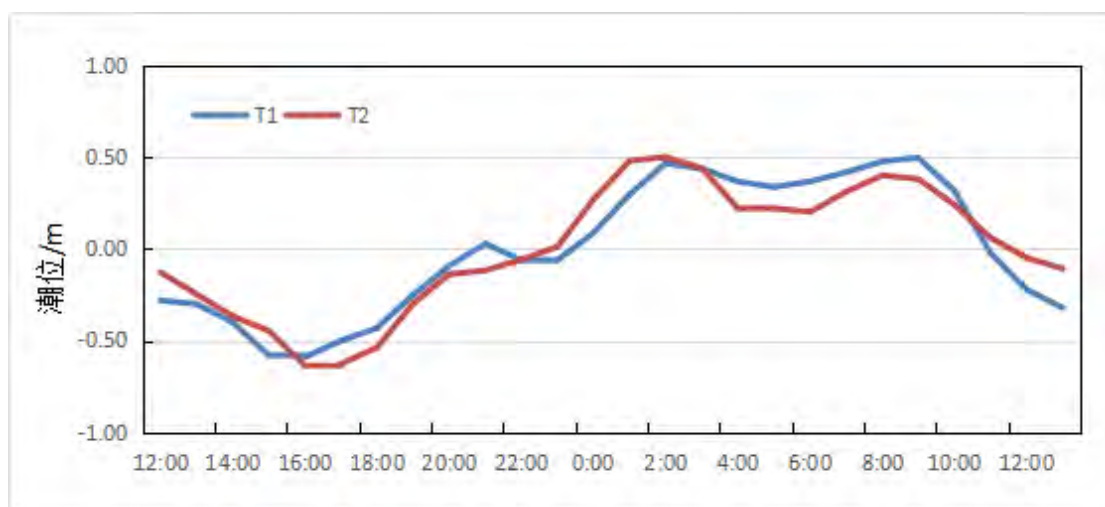


图 3.3.1-2 揭阳附近海域的 T1 和 T2 潮位过程曲线

(3) 潮汐特征值

虽然观测时间较短，涨落潮历时的统计值还不够稳定，但由于统计的资料为典型大潮期，所以涨落潮历时之间的关系仍有其参考意义。在此次观测期间，涨潮历时与落潮历时相当。

(4) 历史观测资料潮汐类型和调和常数

根据中海油能源发展股份有限公司北京分公司(2010.04)编制的《粤东 LNG 一体化项目冬季全潮水文和悬浮物、水质观测分析报告》中的调查结果，该公司于 2009 年 12 月 29 日 18:00 时至 2010 年 1 月 10 日 14:00 时在项目附近的沟疏(116°22.492'E, 22°55.793'N)进行了潮位观测，潮位观测结果表明，沟疏站的主要日分潮振幅与主要半日分潮振幅的比值 F 值是 4.4，大于 4.0，说明本海域为正规全日潮性质，全日分潮占主导地位。

此外，根据原国家海洋局南海工程勘察中心于 2013 年 7 月和 2014 年 1 月对揭阳海域进行的水文观测结果，根据主要日分潮振幅与主要半日分潮振幅的比值来划分潮汐类型，揭阳潮位观测站属于全日潮类型。

已有观测结果与本次水文观测结果一致，因此推断，上述潮汐属于本海区海洋水文特征。

3.3.1.2 潮流分析

(1) 实测潮流分析

实测海流的涨落潮流统计结果见表 3.3.1-2, 实测海流逐时矢量图见图 3.3.1-3 (潮位曲线数据取自 T1 站)，实测海流平面分布玫瑰图见图 3.3.1-4。根据上述图表分析如下：

由图 3.3.1-3、图 3.3.1-4 可见，调查期间各测站实测海流以潮流为主，涨潮流流向西南，落潮流流向东北。各测站表、中、底流速比较一致。

根据涨落潮的统计结果(表 3.3.1-2)，揭阳附近海域各测站涨、落潮流流速较小，其中涨潮流流速平均值在 7.2~48.5 cm/s 之间，落潮流流速平均值在 9.4~31.9cm/s 之间。最大涨潮流流速的平均值为 48.5 cm/s，方向为 244.0°，出现在 V8 站的表层；最大落潮流的平均值为 31.9 cm/s，方向为 68.5°，出现在 V8 站中层。

由表 3.3.1-2 还可看出，实测涨潮流的最大流速，其表、中、底层的流速值依次为 82.9 cm/s、65.8 cm/s、50.7cm/s，流向分别为 246.7°、243.0°、253.5°，分别出现在 V8 站、V8 站和 V7 站；实测落潮流的最大流速，其表、中、底层的流速值依次为 51.3 cm/s、56.7cm/s、32.1 cm/s，流向分别为 62.4°、73.5°、96.3°，分别出现在 V8 站、V8 站和 V7 站。

总体而言，大部分站层涨潮流速平均值略大于落潮流速平均值，涨、落潮历时互有长短。

表 3.3.1-2 揭阳附近海域各测站涨潮流、落潮流统计表

站位	测层	涨潮流 (小时、cm/s、°)					落潮流 (小时、cm/s、°)				
		T	V_{mean}	D_{mean}	V_{max}	D_{max}	T	V_{mean}	D_{mean}	V_{max}	D_{max}
V3	表层	14	14.9	274.2	23.9	253.2	12	12.3	54.0	23.7	67.7
	中层	12	12.8	258.4	23.3	255.2	14	14.4	50.2	27.1	68.0
	底层	12	9.5	245.8	18.8	252.0	14	10.8	67.3	19.0	65.3
V4	表层	17	14.2	251.2	23.1	246.1	9	9.4	144.3	15.4	176.8
	中层	7	7.2	275.1	10.4	317.7	19	13.8	86.6	25.4	53.9
	底层	6	7.4	267.6	9.2	288.5	20	12.3	82.1	25.5	86.0
V5	表层	17	22.9	288.7	41.8	267.3	9	19.0	56.4	30.3	73.2
	中层	14	17.3	267.3	36.7	267.9	12	17.4	77.8	31.8	97.7
	底层	13	8.6	259.2	17.7	265.1	13	11.0	87.6	18.6	100.9
V6	表层	14	28.0	261.6	44.3	257.8	12	22.9	77.9	30.8	69.2
	中层	14	23.6	260.0	38.1	259.9	12	25.4	85.0	35.3	85.0
	底层	13	20.4	263.1	34.3	260.0	13	21.2	89.5	28.9	98.4
V7	表层	20	30.4	286.9	54.3	254.8	6	27.7	48.1	31.0	61.1
	中层	20	27.4	284.1	60.9	263.0	6	25.2	79.3	32.2	83.6
	底层	13	31.3	254.4	50.7	253.5	13	18.4	88.6	32.1	96.3
V8	表层	14	48.5	244.0	82.9	246.7	12	28.6	74.8	51.3	62.4
	中层	13	36.8	245.6	65.8	243.0	13	31.9	68.5	56.7	73.5
	底层	12	14.2	245.6	24.5	257.2	14	17.2	66.0	31.7	65.9

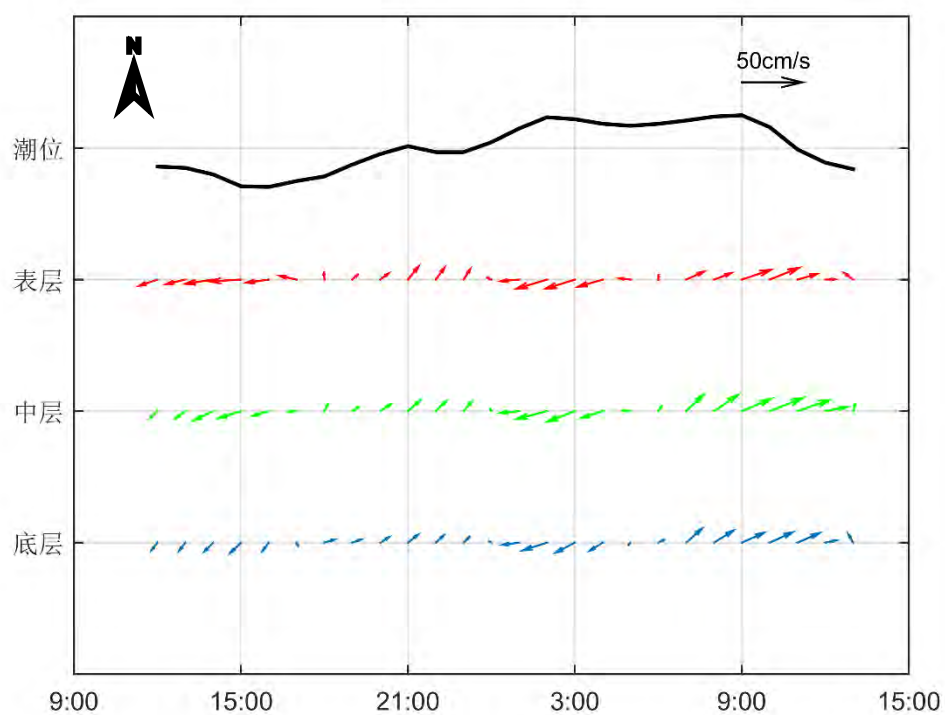


图 3.3.1-3a 揭阳附近海域 V3 站实测海流矢量图

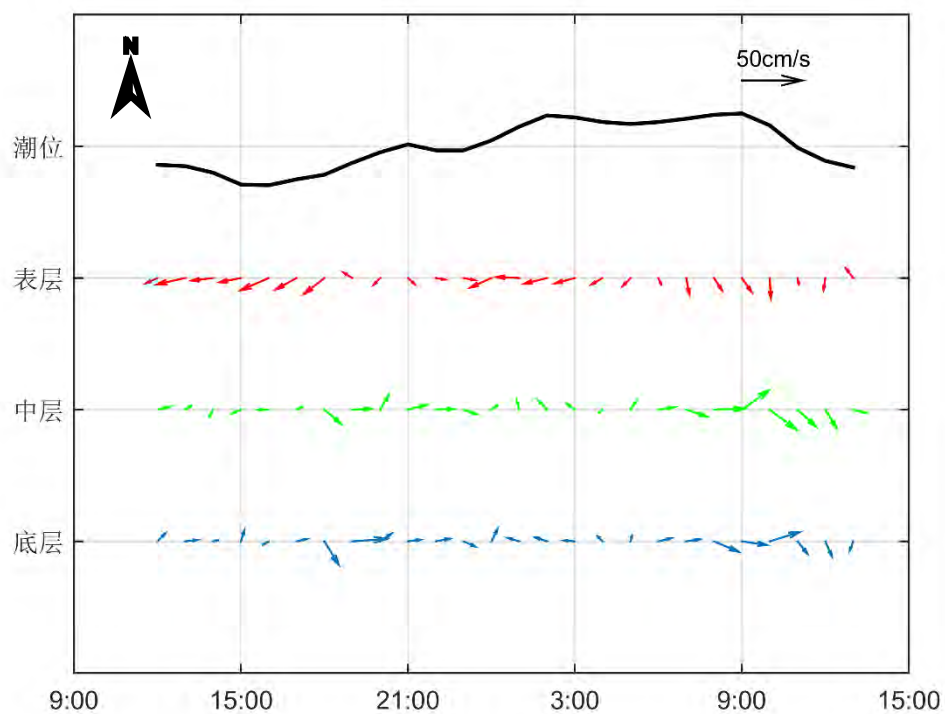


图 3.3.1-3b 揭阳附近海域 V4 站实测海流矢量图

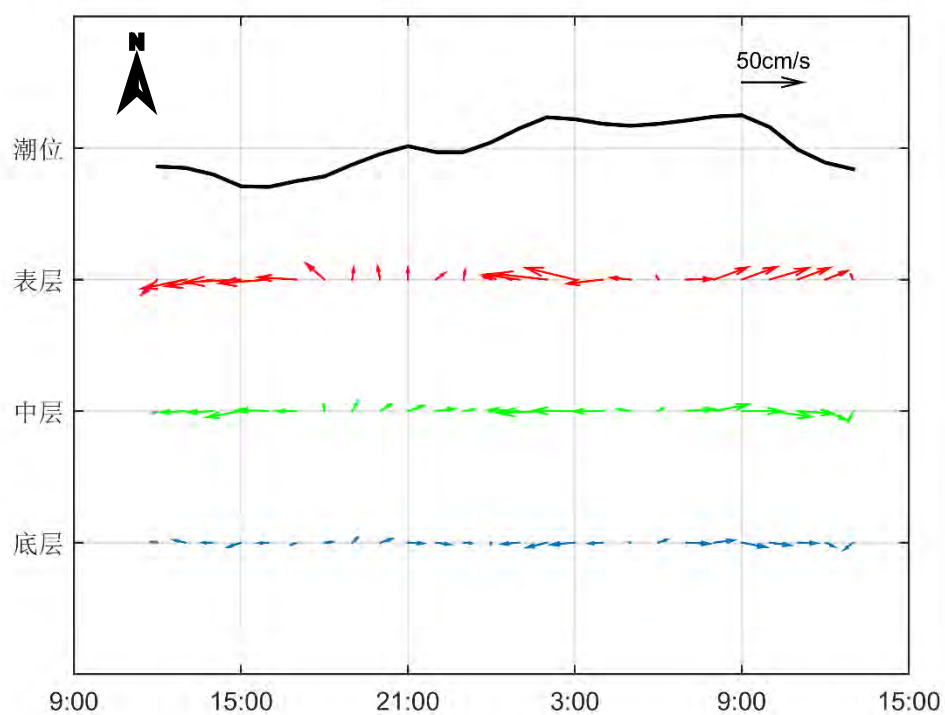


图 3.3.1-3c 揭阳附近海域 V5 站实测海流矢量图

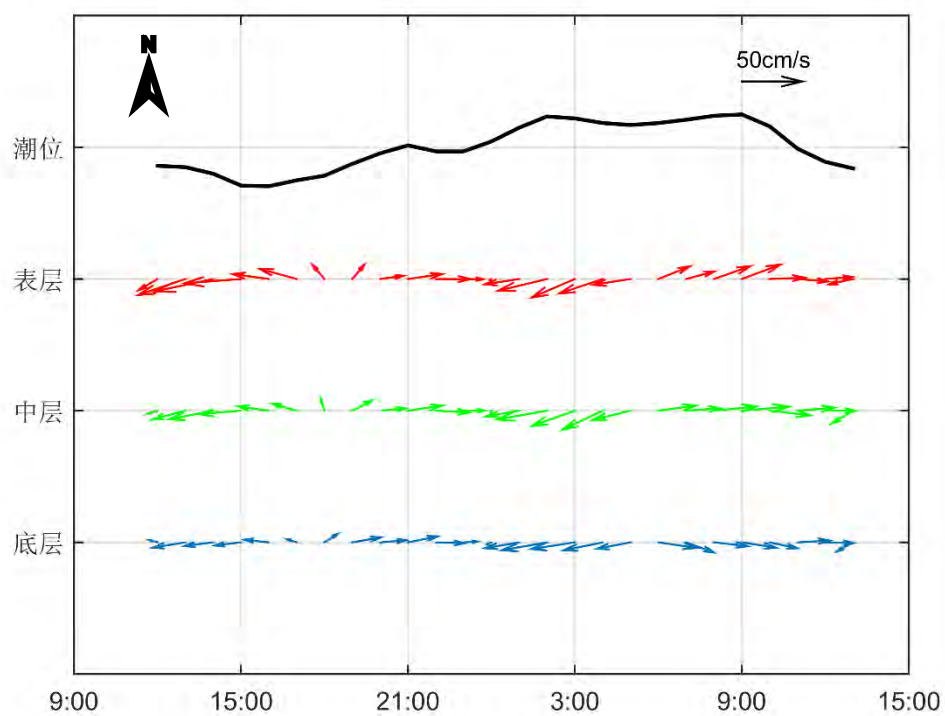


图 3.3.1-3d 揭阳附近海域 V6 站实测海流矢量图

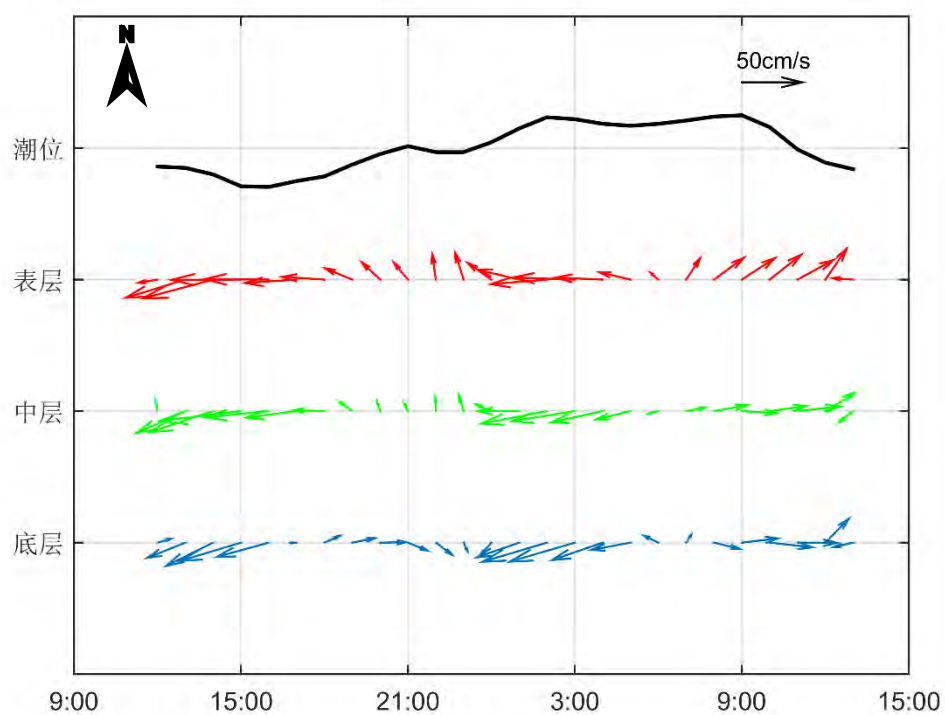


图 3.3.1-3e 揭阳附近海域 V7 站实测海流矢量图

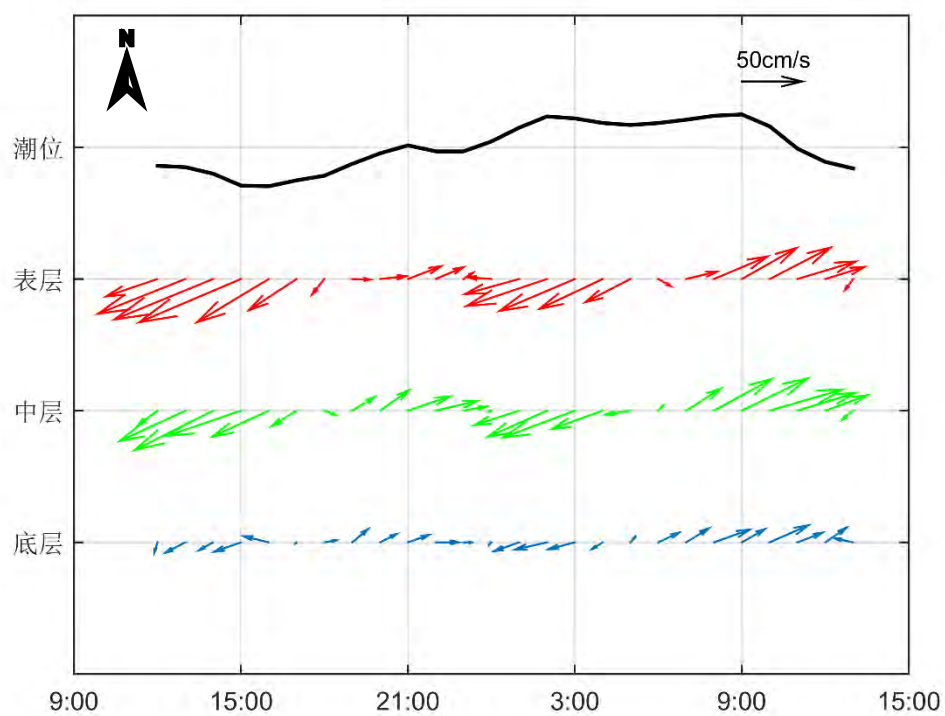


图 3.3.1-3f 揭阳附近海域 V8 站实测海流矢量图

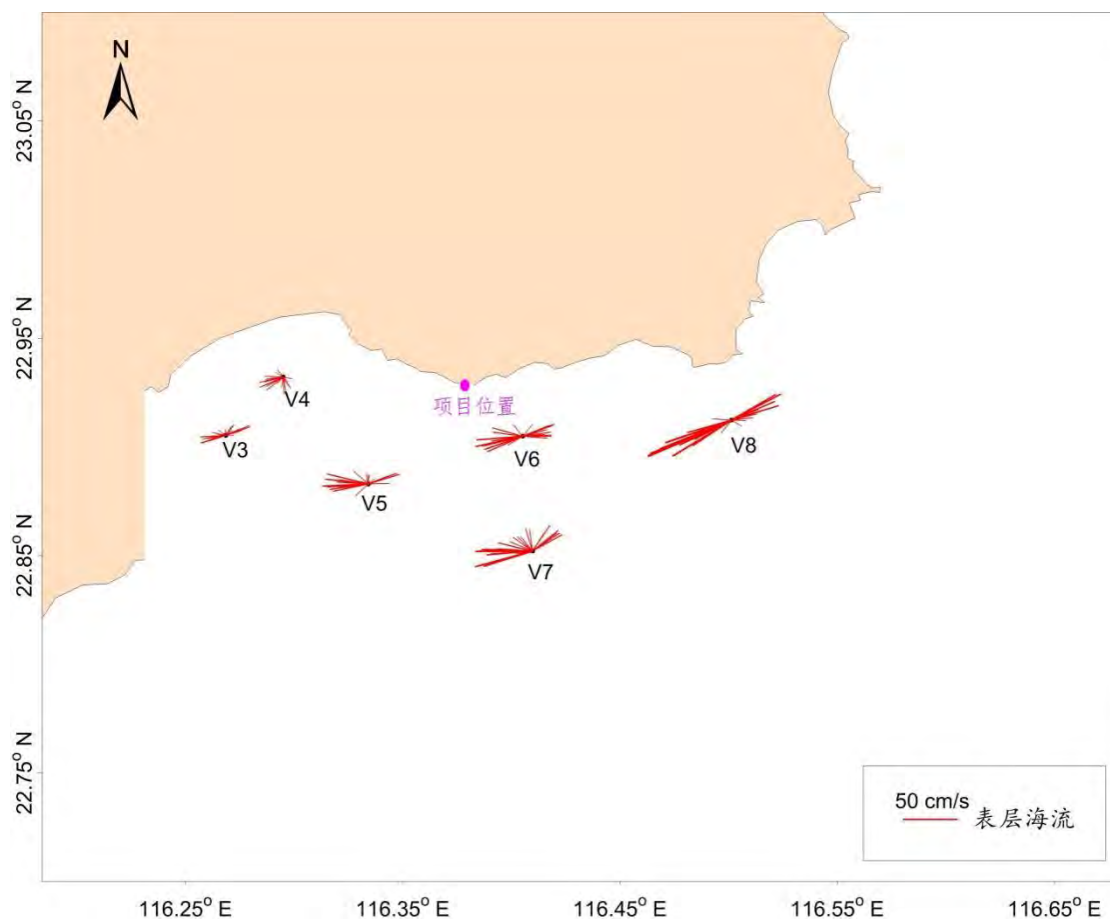


图 3.3.1-4a 揭阳附近海域实测海流玫瑰图（表层）

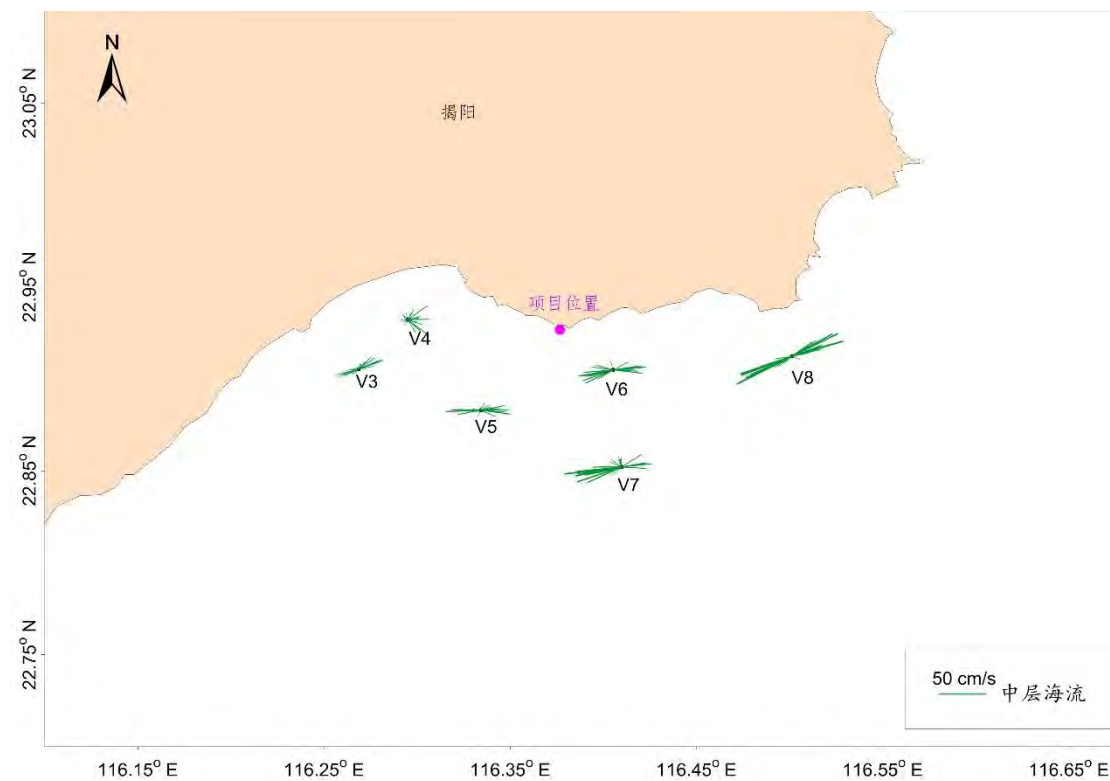


图 3.3.1-4b 揭阳附近海域实测海流玫瑰图（中层）



图 3.3.1-4c 揭阳附近海域实测海流玫瑰图（底层）

(2) 潮流分析

根据《海洋调查规范》，选用“引入差比关系的准调和分析方法”对各站层海流观测资料进行分析计算，得出观测期间各站层的余流和 O_1 （主要太阴全日分潮）、 K_1 （太阴太阳合成全日分潮）、 M_2 （主要太阴半日分潮）、 S_2 （主要太阳半日分潮）、 M_4 （ M_2 分潮的倍潮）和 MS_4 （ M_2 和 S_2 的复合分潮）等 6 个主要分潮流的调和常数以及它们的椭圆要素等潮流特征值。

在我国通常采用主要分潮流的椭圆长半轴之比 F 作为划分潮流性质的依据，表 3.3.1-3 列出了 10 个测站各层表征潮流性质的特征值 $F[F=(W_{O1}+W_{K1})/W_{M2}]$ ，式中 W 为分潮流椭圆长半轴。从表 3.3.1-3 可见，揭阳附近海域各站层 F 值范围为 0.2~0.8，潮流性质主要以规则半日潮流为主，少部分站位表现为不规则半日潮流；因此，揭阳附近的潮流性质属于以规则半日潮流为主的混合潮流。

表 3.3.1-4 给出了调查海域各站层主要分潮流的椭圆要素值。从表中可以看出，在上述六个主要分潮流中 M_2 分潮流椭圆长半轴（即最大流速）最大， S_2 分潮流次之，其次为 M_4 分潮。 M_2 分潮最大主要反映了半日潮流的特征。各站层中 M_2 分潮流长半轴（最大流速）的最大值为 46.50 cm/s，方向为 66.7°，出现在 V8

站表层，最小值为 8.55cm/s。方向为 100.6°，出现在 V4 站底层。揭阳附近海域潮流流向以西南-东北向为主。

表 3.3.1-3 揭阳附近海域各测流站潮流性质的特征值 F

站位	测层	特征值 F	潮型
V3	表层	0.3	规则半日潮流
	中层	0.5	不规则半日潮流
	底层	0.4	规则半日潮流
V4	表层	0.7	不规则半日潮流
	中层	0.6	不规则半日潮流
	底层	0.6	不规则半日潮流
V5	表层	0.6	不规则半日潮流
	中层	0.5	不规则半日潮流
	底层	0.3	规则半日潮流
V6	表层	0.3	规则半日潮流
	中层	0.3	规则半日潮流
	底层	0.2	规则半日潮流
V7	表层	0.8	不规则半日潮流
	中层	0.6	不规则半日潮流
	底层	0.3	规则半日潮流
V8	表层	0.3	规则半日潮流
	中层	0.3	规则半日潮流
	底层	0.4	规则半日潮流

表 3.3.1-4 揭阳附近海域各站主要分潮流及椭圆率 (单位: cm/s, °)

站位	测层	O ₁					K ₁					M ₂				
		长半轴	长轴向	短半轴	短轴向	椭圆率	长半轴	长轴向	短半轴	短轴向	椭圆率	长半轴	长轴向	短半轴	短轴向	椭圆率
V3	表层	2.38	100.3	0.08	10.3	0	2.93	280.3	0.1	190.3	0	16.04	71.6	0.39	161.6	0
	中层	3.49	259.5	0.5	349.5	-0.1	4.3	259.5	0.61	349.5	-0.1	16.01	65.8	0.71	155.8	0
	底层	2.23	261.5	0.84	351.5	-0.4	2.75	261.5	1.04	351.5	-0.4	11.87	59.9	0.88	329.9	0.1
V4	表层	2.58	110.8	0.84	200.8	-0.3	3.18	290.8	1.04	20.8	-0.3	8.78	99.5	1.82	9.5	0.2
	中层	2.59	321.5	1.21	411.5	-0.5	3.18	321.5	1.49	51.5	-0.5	9.09	95.3	0.83	185.3	-0.1
	底层	2.22	303.1	0.11	213.1	0	2.74	303.1	0.13	213.1	0	8.55	100.6	0.18	190.6	0
V5	表层	6.24	93.8	1.15	183.8	-0.2	7.68	273.8	1.41	3.8	-0.2	23.35	80.2	0.7	170.2	0
	中层	4.54	285.1	0.38	15.1	-0.1	5.6	285.1	0.47	15.1	-0.1	21.02	86	2.17	176	-0.1
	底层	1.61	279.6	0.13	189.6	0.1	1.98	279.6	0.16	189.6	0.1	11.64	86.4	0.93	176.4	-0.1
V6	表层	3.65	104.5	0.23	14.5	0.1	4.5	284.5	0.28	194.5	0.1	29.02	78.3	4.32	168.3	-0.1
	中层	3.38	117.6	0.89	27.6	0.3	4.16	297.6	1.09	207.6	0.3	28.12	81.1	2.5	171.1	-0.1
	底层	2.12	157.4	1.85	67.4	0.9	2.62	337.4	2.28	247.4	0.9	23.72	86.2	0.32	176.2	0
V7	表层	8.86	82.7	2.19	172.7	-0.2	10.91	262.7	2.7	352.7	-0.2	26.06	69.4	0.09	339.4	0
	中层	7.88	279.2	0.93	9.2	-0.1	9.71	279.2	1.15	9.2	-0.1	28.53	74.9	0.4	344.9	0

	底层	4.06	245.1	0.75	335.1	-0.2	5.01	245.1	0.92	335.1	-0.2	28.97	79.3	2.13	169.3	-0.1
V8	表层	7.21	60	0.93	150	-0.1	8.88	240	1.14	330	-0.1	46.5	66.7	3.38	336.7	0.1
	中层	5.22	57.2	0.83	147.2	-0.2	6.42	237.2	1.03	327.2	-0.2	42.86	67.3	1.79	157.3	0
	底层	3.01	239.9	0.32	149.9	0.1	3.71	239.9	0.39	149.9	0.1	17.85	70	1.13	160	-0.1
站位	测层	S ₂					M ₄					MS ₄				
		长半轴	长轴向	短半轴	短轴向	椭圆率	长半轴	长轴向	短半轴	短轴向	椭圆率	长半轴	长轴向	短半轴	短轴向	椭圆率
V3	表层	6.39	71.6	0.16	161.6	0	3.48	238.3	0.16	328.3	0	1.95	238.3	0.09	328.3	0
	中层	6.38	65.8	0.28	155.8	0	4.89	240.7	1.34	150.7	0.3	2.74	240.7	0.75	150.7	0.3
	底层	4.73	59.9	0.35	329.9	0.1	3.47	250.1	1.96	160.1	0.6	1.95	250.1	1.1	160.1	0.6
V4	表层	3.5	99.5	0.72	9.5	0.2	3.71	300.9	0.74	210.9	0.2	2.08	300.9	0.41	210.9	0.2
	中层	3.62	95.3	0.33	185.3	-0.1	5.76	354	2.97	264	0.5	3.23	354	1.66	264	0.5
	底层	3.41	100.6	0.07	190.6	0	3.14	1.9	0.93	271.9	0.3	1.76	181.9	0.52	451.9	0.3
V5	表层	9.31	80.2	0.28	170.2	0	6.91	274.7	0.11	4.7	0	3.87	274.7	0.06	4.7	0
	中层	8.38	86	0.87	176	-0.1	5.35	282.1	0.99	192.1	0.2	3	282.1	0.55	192.1	0.2
	底层	4.64	86.4	0.37	176.4	-0.1	2.72	274.9	0.74	184.9	0.3	1.53	274.9	0.41	184.9	0.3
V6	表层	11.57	78.3	1.72	168.3	-0.1	7.92	244.6	2.12	154.6	0.3	4.44	244.6	1.19	154.6	0.3

	中层	11.21	81.1	1	171.1	-0.1	6.96	246.3	1.51	156.3	0.2	3.9	246.3	0.85	156.3	0.2
	底层	9.45	86.2	0.13	176.2	0	7.57	260.7	0.91	350.7	-0.1	4.24	260.7	0.51	350.7	-0.1
V7	表层	10.39	69.4	0.04	339.4	0	9.11	238.6	1.8	328.6	-0.2	5.11	238.6	1.01	328.6	-0.2
	中层	11.37	74.9	0.16	344.9	0	9.98	240.7	0.96	330.7	-0.1	5.6	240.7	0.54	330.7	-0.1
	底层	11.55	79.3	0.85	169.3	-0.1	10.85	223.9	1.49	133.9	0.1	6.08	43.9	0.84	313.9	0.1
V8	表层	18.53	66.7	1.35	336.7	0.1	12.14	262.8	0.43	172.8	0	6.8	262.8	0.24	172.8	0
	中层	17.09	67.3	0.71	157.3	0	11.33	256.4	1.62	166.4	0.1	6.35	256.4	0.91	166.4	0.1
	底层	7.12	70	0.45	160	-0.1	6.22	250.6	0.52	160.6	0.1	3.49	250.6	0.29	160.6	0.1

(3) 可能最大流速和水质点可能最大运移距离

根据《海港水文规范》(JTS145-2)规定,可利用分潮流椭圆要素计算全潮观测期间各站层的潮流可能最大流速和水质点可能最大运移距离。

潮流和风海流为主的近岸海区,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。潮流的可能最大流速可按下列规定计算。

1)对规则半日潮流海区可按式计算:

$$\vec{V}_{\max} = 1.295\vec{W}_{M_2} + 1.245\vec{W}_{S_2} + \vec{W}_{K_1} + \vec{W}_{Q_1} + \vec{W}_{M_4} + \vec{W}_{ME_4} \quad (3.3-1)$$

2)对规则全日潮流海区可按式计算

$$\vec{V}_{\max} = \vec{W}_{M_2} + \vec{W}_{S_2} + 1.600\vec{W}_{K_1} + 1.450\vec{W}_{Q_1} \quad (3.3-2)$$

式中 \vec{V}_{\max} ——潮流的可能最大流速 (流速: cm/s, 流向: °)

\vec{W}_{M_2} ——主太阴半日分潮流的椭圆长半轴矢量 (流速 : cm/s, 流向: °)

\vec{W}_{S_2} ——主太阳半日分潮流的椭圆长半轴矢量 (流速: cm/s, 流向: °)

\vec{W}_{K_1} ——太阴太阳赤纬日分潮流的椭圆长半轴矢量 (流速: cm/s, 流向: °)

\vec{W}_{Q_1} ——主太阴日分潮流的椭圆长半轴矢量 (流速: cm/s, 流向: °)

\vec{W}_{M_4} ——太阴四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量 (流速: cm/s, 流向: °)

\vec{W}_{ME_4} ——太阴—太阳四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量 (流速: cm/s, 流向: °)

3)对于不规则半日潮流海区和不规则全日潮流海区,采用式(3.3-1)和式(3.3-2)中的大值。

潮流水质点的可能最大运移距离可按下述方法计算:

1)规则半日潮流海区按下式计算:

$$\vec{L}_{\max} = 184.3\vec{W}_{M_2} + 171.2\vec{W}_{S_2} + 274.3\vec{W}_{K_1} + 295.9\vec{W}_{Q_1} + 71.2\vec{W}_{M_4} + 69.9\vec{W}_{ME_4} \quad (3.3-3)$$

2)规则全日潮流海区按下式计算:

$$\vec{L}_{\max} = 142.3\vec{W}_{M_2} + 137.5\vec{W}_{S_2} + 438.9\vec{W}_{K_1} + 429.1\vec{W}_{Q_1} \quad (3.3-4)$$

式中 \vec{L}_{\max} ——潮流水质点的可能最大运移距离 (距离: m, 方向: °)

\vec{W}_{M_2} ——主太阴半日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

\vec{W}_{S_2} ——主太阳半日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

\vec{W}_{K_1} ——太阴太阳赤纬日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

\vec{W}_{Q_1} ——主太阴日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

\vec{W}_{M_4} ——太阴四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

\vec{W}_{M_4} ——太阴—太阳四分之一日分潮流的椭圆长半轴矢量（流速：cm/s，流向：°）

3) 对于不规则半日潮流海区和不规则全日潮流海区，采用式 (3.3-3) 和式 (3.3-4) 中的大值。

根据各站层的潮流性质（表 3.3.1-3），按式 (3.3-1) -式 (3.3-4) 及相关规定，计算了各层潮流可能最大流速和水质点可能最大运移距离，计算结果列入表 3.3.1-5 中，由表 3.3.1-5 可见，揭阳附近潮流可能最大流速为 63.6cm/s，出现在 V8 站表层，各站层可能最大流速介于 11.0-63.6 cm/s 之间，各站潮流的可能最大流速方向以西南-东北向为主。水质点可能最大运移距离为 10.2km(V8 站表层)，各站层可能最大运移距离介于 1.1-10.2km 之间，方向与相应站层潮流可能最大流速的方向一致。

表 3.3.1-5 调查海区各站层潮流可能最大流速及水质点可能最大运移距离

站位	测层	可能最大流速		可能最大运移距离	
		流速 (cm/s)	方向 (度)	距离 (km)	方向 (度)
V3	表层	23.0	74.1	3.6	72.2
	中层	13.6	60.9	1.4	46.4
	底层	11.7	46.0	1.4	35.7
V4	表层	11.0	98.1	1.7	93.9
	中层	16.7	44.4	2.1	35.2
	底层	11.0	83.3	1.1	63.4
V5	表层	30.1	74.4	4.9	77.3
	中层	20.8	70.3	2.3	57.3
	底层	13.2	80.1	1.7	76.9
V6	表层	39.3	82.0	6.3	79.6
	中层	39.3	84.5	6.2	82.1
	底层	30.6	87.4	5.1	86.2
V7	表层	32.0	67.5	5.2	70.5
	中层	20.3	65.2	3.4	321.8
	底层	39.5	86.6	4.6	89.7
V8	表层	63.6	62.1	10.2	64.8
	中层	58.2	64.8	9.4	66.3
	底层	15.7	73.9	2.0	79.6

注：表中方向只为其一，±180°为另一方向

3.3.1.3 余流分析

余流通常指实测海流中扣除了周期性的潮流后的剩余部分，一般取周日海流观测资料中消去潮流后的平均值，它是风海流、密度流、潮汐余流等的综合反映，是由热盐效应和风等因素引起，岸线和地形对它有显著影响。下面根据本海域调查的 25 小时海流实测资料，结合海面风场，分析调查海区的余流特征。

表 3.3.1-6 为大潮期间各测站的余流，图 3.3.1-4 是各站余流分布图。从图表中可知，揭阳附近各站余流大小量值介于 1.1 cm/s~18.3 cm/s 之间，最大余流出

现在 V7 站表层，大小为 18.3 cm/s，方向为 292.5°；最小余流出现在 V1 站底层，大小为 1.1 cm/s，方向为 206.5°。

就整个海域而言，调查期间，余流较小，余流方向紊乱（图 3.3.1-5）。

表 3.3.1-6 揭阳附近海域各站大潮余流(单位: cm/s, °)

站位	测层	流速	流向
V3	表层	3.6	303.8
	中层	2.7	18.1
	底层	1.6	62.5
V4	表层	8.5	230.3
	中层	7.0	88.5
	底层	6.3	87.7
V5	表层	9.2	294.1
	中层	1.6	288.2
	底层	1.4	114.9
V6	表层	4.3	269.2
	中层	1.3	198.6
	底层	1.7	169.2
V7	表层	18.3	292.5
	中层	14.1	268.7
	底层	8.2	236.3
V8	表层	13.3	241.1
	中层	2.8	243.1
	底层	3.2	51.0

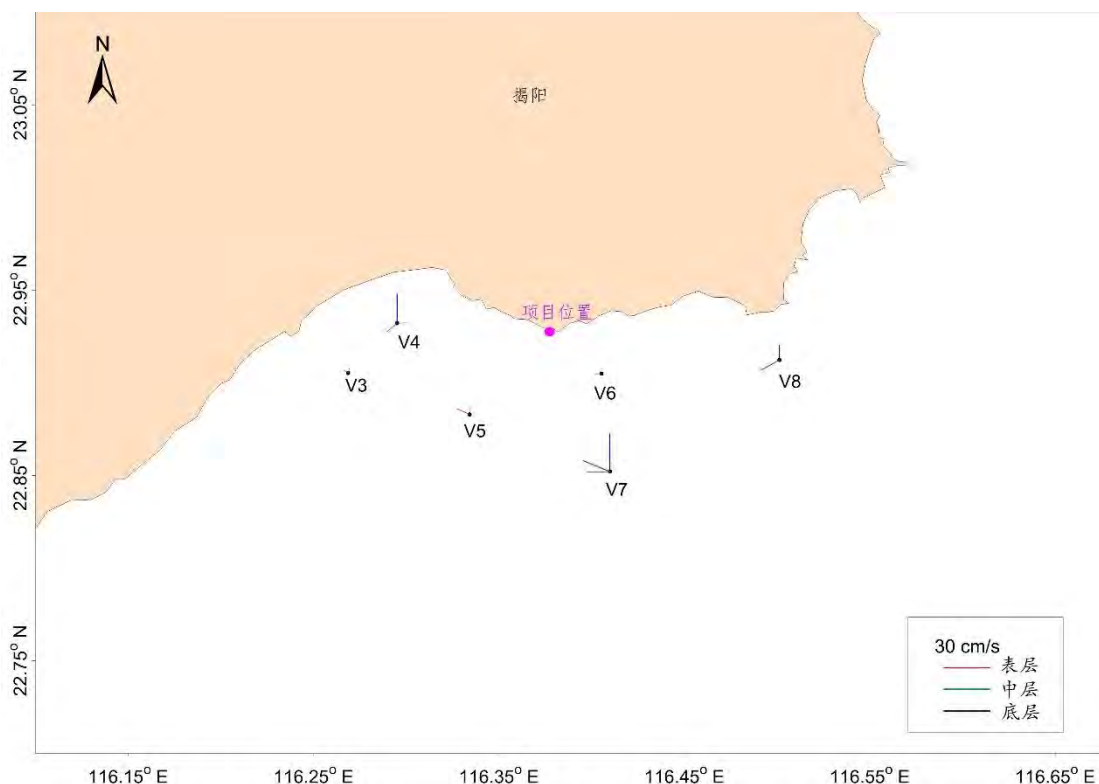


图 3.3.1-5 各站余流分布图

3.3.1.4 历史潮流观测结果

根据中海油能源发展股份有限公司北京分公司（2010.04）编制的《粤东 LNG 一体化项目冬季全朝水文和悬浮物、水质观测分析报告》中的调查结果，该公司于 2010 年 1 月 1 日 10 时至 1 月 2 日 12 时（大潮期）、2010 年 1 月 4 日 09 时至 1 月 5 日 1030 时（中潮期）、2010 年 1 月 8 日 1000 时至 1 月 9 日 1200 时（小潮期）在项目附近海域进行的 6 个潮流观测站位观测结果表明，潮流性质系数 F 值均小于 0.5，表明本海区的潮流以规则半日潮流为主。

此外，根据原国家海洋局南海工程勘察中心于 2013 年 7 月和 2014 年 1 月对揭阳海域进行的水文观测结果，揭阳海域各站海流亦呈现较为明显的半日潮流特征，即一个周日观测周期内，海流有两涨两落的过程。

上述观测结果与本次水文观测结果一致，因此推断，上述潮流呈半日潮流为主的特征属于本海区海洋水文特征。

3.3.2 海水水环境质量调查与评价

本报告引用深圳中检联检测有限公司 2021 年 8 月编制的《2020-2021 年度粤东 LNG 接收站运行期（海域）环境监测调查报告（2021 年夏季）》，采用 2021

年 7 月在项目附近的揭阳海域进行的海洋环境与资源现状调查数据。现状调查期间在粤东 LNG 项目附近海域布设水质监测站位 10 个，沉积物监测站位 5 个，生物体残毒监测站位 9 个，海洋生态监测站位 7 个，潮间带断面 2 个。

调查站位布置图详见图 3.3.2-1，调查站位及内容位置详见表 3.3.2-1。

表 3.3.2-1 粤东 LNG 项目附近海域海洋环境监测站位分布及监测内容

站位	经度 (E)	纬度 (N)	监测内容
H1	116°20'35"	22°55'42"	海水水质、海洋沉积物、生物体残毒、海洋生态
H2	116°19'47"	22°54'37"	海水水质
H3	116°19'12"	22°53'08"	海水水质
H4	116°22'24"	22°55'50"	海水水质、海洋沉积物、生物体残毒、海洋生态
H5	116°22'27"	22°55'29"	海水水质、生物体残毒、海洋生态
H6	116°22'02"	22°55'15"	海水水质、海洋沉积物、生物体残毒、海洋生态
H7	116°21'32"	22°54'30"	海水水质、海洋沉积物、生物体残毒、海洋生态
H8	116°21'18"	22°52'40"	海水水质
H9	116°24'09"	22°55'23"	海水水质、海洋沉积物、生物体残毒、海洋生态
H10	116°23'15"	22°54'08"	海水水质、生物体残毒、海洋生态
C1	116°26'34"	22°56'30"	潮间带生物、生物体残毒
C2	116°22'48"	22°55'46"	潮间带生物、生物体残毒

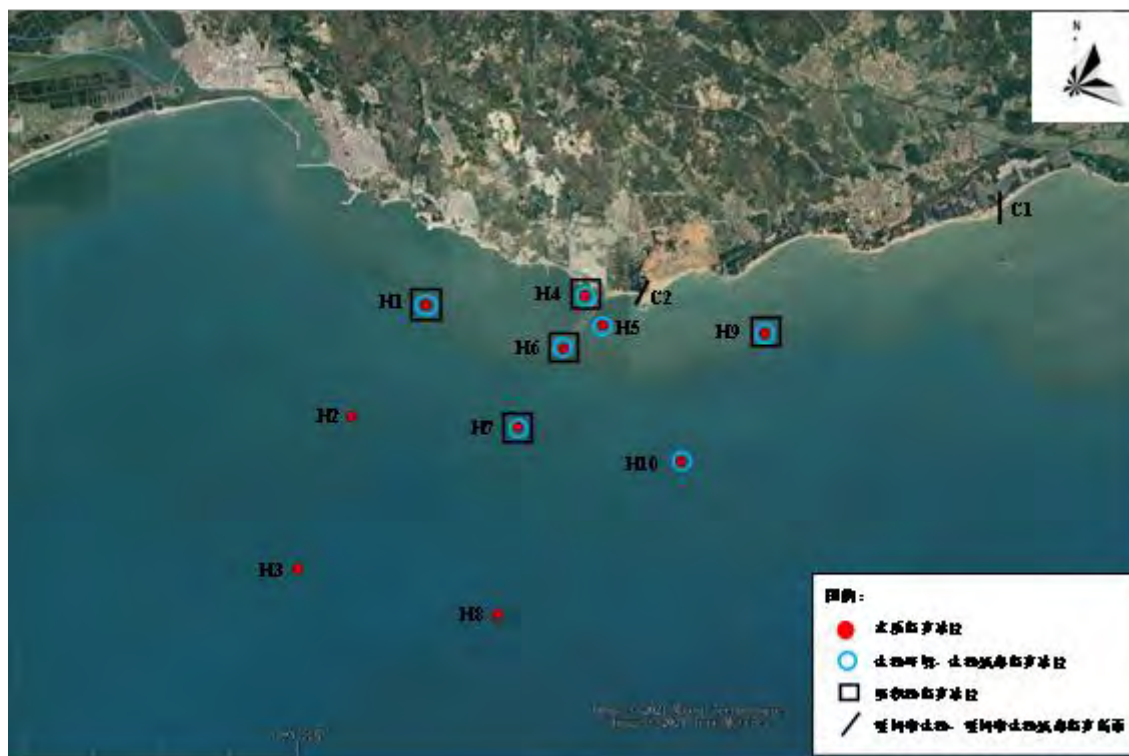


图 3.3.2-1 2021 年 7 月项目附近海域海洋环境现状调查站位布置图（水质、沉积物、海洋生态）

3.3.2.1 监测时间与监测项目

（1）监测频次

2021 年 7 月 24 日~26 日对项目附近海域进行 1 次水质、沉积物、生物质量、生态及渔业资源现状调查。

（2）调查项目

本次调查项目包括水温、pH、悬浮物、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、氨、硝酸盐、亚硝酸盐、活性磷酸盐、铅、总铬和油类共 13 项指标。

（3）采样和分析方法

按照相关规定程序和操作要求进行样品的分装、预处理、编号记录、贮存和运输。

样品的分析按照《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）和《海洋监测规范》（GB17378-2007）进行，超出的项目参照其他行业标准测试，各项目的分析方法如表 3.3.2-2。

表 3.3.2-2 样品分析方法一览表

序号	项 目	分析方法	方法依据	方法检出限
1	水温	表层水温法	GB17378.4-2007 第 25.1 条	0.1°C
2	pH	pH 计法	GB17378.4-2007 第 26 条	——
3	悬浮物	重量法	GB 17378.4-2007 第 27 条	0.1 mg/L
4	溶解氧	碘量法	GB 17378.4-2007 第 31 条	0.01 mg/L
5	化学需氧量	碱性高锰酸钾法	GB 17378.4-2007 第 32 条	0.01 mg/L
6	生化需氧量	五日培养法	GB 17378.4-2007 第 33.1 条	0.10 mg/L
7	氨	次溴酸盐氧化法	GB 17378.4-2007 第 36.2 条	0.001 mg/L
8	硝酸盐	锌镉还原法	GB/T 12763.4-2007 第 11 条	0.001 mg/L
9	亚硝酸盐	萘乙二胺分光光度法	GB 17378.4-2007 第 37 条	0.001 mg/L
10	活性磷酸盐	磷钼蓝分光光度法	GB 17378.4-2007 第 39.1 条	0.001 mg/L
11	铅	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.4-2007 第 7.1 条	0.03 µg/L
12	总铬	无火焰原子吸收分光光度法	GB 17378.4-2007 第 10.1 条	0.4 µg/L
13	油类	紫外分光光度法	GB 17378.4-2007 第 13.2 条	3.5 µg/L

3.3.2.2 评价方法和标准

(1) 评价方法

按照单项评价标准指数法进行水质现状评价。单项水质参数 i 在第 j 点的标准指数计算公式如下：

采用标准指数法。单项水质评价因子（参数） i 在第 j 点的标准指数：

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

式中， $S_{i,j}$ 为单项水质在 j 点的实测浓度；

$C_{i,o}$ 为该项水质的标准值。

溶解氧的标准指数为：

$$S_{DO} = (DO_f - DO_j) / (DO_f - DO_s) \quad DO_j \geq DO_s$$

$$S_{DO} = 10 - 9 DO_j / DO_s \quad DO_j < DO_s$$

式中： DO_f 为某水温、气压条件下的饱和溶解氧浓度（mg/L），其中
 $DO_f = 468 / (31.6 + T)$;

DO_j 为溶解氧实测值（mg/L）；

DO_s 为溶解氧评价标准限值（mg/L）。

海水中 pH 的标准指数为：

$$S_{pH.j} = (7 - pH_j) / (7 - PH_{LL}) \quad \text{当 } pH_j \leq 7$$

$$S_{pH.j} = (pH_j - 7) / (PH_{UL} - 7) \quad \text{当 } pH_j > 7$$

式中： pH_j —监测值；

PH_{LL} —水质标准中规定的 pH 值的下限；

PH_{UL} —水质标准中规定的 pH 值的上限。

水质参数的污染指数 > 1 ，表明该水质超过了规定的水质评价标准，已经不能满足使用功能的要求。

（2）评价标准

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，项目调查站位所在的海洋功能区包括前詹港口航运区、神泉海洋保护区和珠海-潮州近海农渔业区，各调查站位在海洋功能区划的分布如图 3.3.2-2 所示，评价标准见表 3.3.2-3。

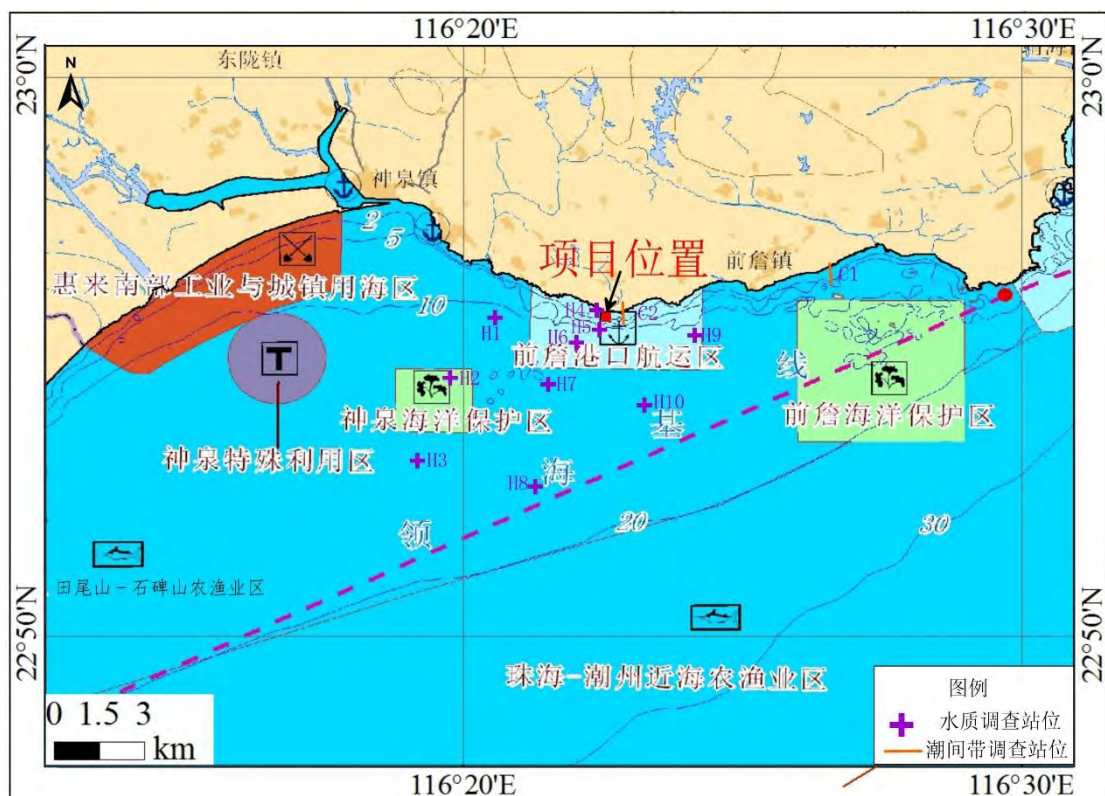


图 3.3.2-2 现状调查站位在海洋功能区划的分布图

表 3.3.2-3 调查范围水质执行标准

功能区名称	调查站位	海水水质标准要求	沉积物标准要求
前詹港口航运区	4、5、6、9	执行第三类标准	执行第二类标准
神泉海洋保护区、珠海-潮州近海农渔业区	1、2、3、7、8、10	执行第一类标准	执行第一类标准

3.3.2.3 监测结果及现状评价

2021 年 7 月海水水质调查结果见表 3.3.2-4。

采用单项指数法对现状监测结果进行标准指数计算。2021 年 7 月海水水质调查站位水质监测因子质量指数见表 3.3.2-5。

2021 年 7 月海水水质调查结果表明，pH、溶解氧、化学需氧量、铅、总铬满足《海水水质标准》（GB3097-1997）各评价标准的要求，无机氮、活性磷酸

盐、生化需氧量和石油类出现超标现象，超标率分别为 36.84%、10.53%、5.74% 和 20%。

化学需氧量在 H1、H2、H7 和 H10 站超标，均超第一类海水水质标准；无机氮在 H3、H7 站出现超第一类海水水质标准现象；活性磷酸盐在 H2 站表层出现超第一类海水水质标准现象；石油类在 H1、H2 站出现超第一类海水水质标准超标，上述超标因子除石油类外均符合《海水水质标准》（GB3097-1997）第二类水质标准要求，石油类符合《海水水质标准》（GB3097-1997）第三类水质标准要求。

从 2021 年 7 月水质调查结果来看，距本项目附近的 H4、H5、H6、H9 调查站位均符合《海水水质标准》（GB3097-1997）第三类海水水质标准要求，符合前詹港口航运区的海水水质要求,说明项目所在海域水质达标。神泉海洋保护区、珠海-潮州近海农渔业区不符合海水水质要求。

根据《2020 广东省生态环境状况公报》，“2020 年全省近岸海域水质年均优良(一二类)面积比例为 89.5%，一类、二类、三类、四类和劣四类海水水质面积比例分别为 72.5%、17.0%、2.6%、2.2%、5.7%。劣四类水质主要分布在珠江口汕头港湛江港等河口海湾，主要超标因子为无机氮和活性磷酸盐。

表 3.3.2-4 水质现状监测结果

站位	层次	水温	pH	悬浮物	溶解氧	化学 需氧量	生化 需氧量	氨	硝酸盐	亚硝酸盐	无机氮	活性 磷酸盐	铅	总铬	油类
		°C	无量纲	mg/L										µg/L	
H1	表层	24.7	8.23	12.8	6.90	1.45	1.05	0.084	0.081	ND	0.165	0.005	0.38	0.4	64.2
	底层	24.1	8.25	15.3	6.85	1.62	1.14	0.067	0.046	ND	0.113	0.009	0.45	1.2	
H2	表层	25.1	8.21	17.2	6.91	1.48	1.04	0.086	0.086	0.001	0.173	0.029	0.31	ND	61.0
	底层	24.9	8.24	15.8	6.82	1.45	1.02	0.063	0.058	ND	0.121	0.003	0.29	ND	
H3	表层	26.3	8.17	6.8	6.87	1.01	0.73	0.035	0.074	ND	0.109	0.008	0.21	ND	20.2
	底层	25.9	8.19	4.1	6.78	1.21	0.84	0.122	0.149	0.002	0.273	0.005	0.28	0.4	
H4	表层	24.3	8.22	16.5	6.92	1.63	1.16	0.046	0.151	0.001	0.198	0.005	0.29	0.8	19.7
H5	表层	25.2	8.24	16.0	6.85	1.40	1.01	0.060	0.054	ND	0.114	0.008	0.26	0.4	25.9
	底层	25.1	8.23	19.0	6.81	1.29	0.92	0.105	0.091	0.001	0.197	0.001	0.41	ND	
H6	表层	24.9	8.20	18.6	6.92	1.37	0.99	0.051	0.080	0.001	0.132	0.004	0.26	0.6	24.8
	底层	24.3	8.21	12.4	6.84	1.56	1.11	0.069	0.107	0.001	0.177	0.029	0.29	0.8	

续上表:

站位	层次	水温	pH	悬浮物	溶解氧	化学需氧量	生化需氧量	氨	硝酸盐	亚硝酸盐	无机氮	活性磷酸盐	铅	总铬	油类
		°C	无量纲	mg/L										µg/L	
H7	表层	25.6	8.19	16.6	6.90	1.75	1.26	0.117	0.179	0.001	0.297	0.005	0.23	1.0	19.5
	底层	24.7	8.22	12.1	6.82	1.70	1.22	0.064	0.055	0.001	0.120	0.004	0.33	0.7	
H8	表层	25.8	8.18	7.0	6.89	1.37	0.99	0.038	0.026	ND	0.064	ND	0.40	ND	23.0
	底层	25.1	8.19	6.6	6.76	1.17	0.81	0.023	0.079	ND	0.102	0.002	0.26	0.6	
H9	表层	25.7	8.23	14.3	6.83	1.37	1.01	0.058	0.053	ND	0.111	0.004	0.25	0.4	39.9
	底层	24.9	8.25	17.5	6.79	1.41	1.01	0.053	0.073	0.001	0.127	0.005	0.39	ND	
H10	表层	26.2	8.21	19.3	6.88	1.31	0.92	0.043	0.051	0.003	0.097	0.008	0.47	ND	32.5
	底层	26.1	8.25	15.6	6.92	1.54	1.13	0.042	0.038	0.001	0.081	0.004	0.38	0.5	
最大值		26.3	8.25	19.3	6.92	1.75	1.26	0.122	0.179	0.003	0.297	0.029	0.47	1.2	64.2
最小值		24.1	8.17	4.1	6.76	1.01	0.73	0.023	0.026	ND	0.064	ND	0.21	ND	19.5
平均值		25.2	8.22	13.9	6.86	1.43	1.02	0.065	0.081	0.001	0.146	0.007	0.32	0.5	33.1

注：“ND”表示检测结果低于方法检出限，未检出。

表 3.3.2-5 海水水质质量指数

站位	层次	pH	溶解氧	化学需氧量	生化需氧量	无机氮	活性磷酸盐	铅	总铬	石油类	执行水质标准	
H1	表层	0.82	0.87	0.73	1.05	0.83	0.33	0.38	0.01	1.28	第一类	
	底层	0.83	0.88	0.81	1.14	0.57	0.6	0.45	0.02			
H2	表层	0.81	0.87	0.74	1.04	0.87	1.93	0.31	-	1.22		
	底层	0.83	0.88	0.73	1.02	0.61	0.2	0.29	-			
H3	表层	0.78	0.87	0.51	0.73	0.55	0.53	0.21	-	0.4		
	底层	0.79	0.88	0.61	0.84	1.37	0.33	0.28	0.01			
H4	表层	0.61	0.33	0.41	0.29	0.50	0.17	0.03	0.00	0.07		第三类
H5	表层	0.62	0.33	0.35	0.25	0.29	0.27	0.03	0.00	0.09		
	底层	0.62	0.34	0.32	0.23	0.49	0.03	0.04	-			
H6	表层	0.60	0.32	0.34	0.25	0.33	0.13	0.03	0.00	0.08		
	底层	0.61	0.35	0.39	0.28	0.44	0.97	0.03	0.00			
H7	表层	0.79	0.87	0.88	1.26	1.49	0.33	0.23	0.02	0.39		
	底层	0.81	0.88	0.85	1.22	0.60	0.27	0.33	0.01			
H8	表层	0.79	0.87	0.69	0.99	0.32	-	0.40	-	0.46		
	底层	0.79	0.89	0.59	0.81	0.51	0.13	0.26	0.01			
H9	表层	0.62	0.32	0.34	0.25	0.28	0.13	0.03	0.00	0.13	第三类	
	底层	0.63	0.35	0.35	0.25	0.32	0.17	0.04	-			
H10	表层	0.81	0.87	0.66	0.92	0.48	0.53	0.47	-	0.65	第一类	
	底层	0.83	0.87	0.77	1.13	0.40	0.27	0.38	0.01			
超标率 (%)		0	0	0	36.84	10.53	5.47	0	0	20		

表 3.3.2-6 超标海水水质因子符合的海水水质标准质量指数

站位	层次	生化需氧量	无机氮	活性磷酸盐	石油类
H1	表层	0.35			0.21
	底层	0.38			
H2	表层	0.35		0.97	0.20
	底层	0.34			
H3	底层		0.91		
H7	表层	0.42	0.99		
H10	底层	0.38			
水质标准		第二类	第二类	第二类	第三类

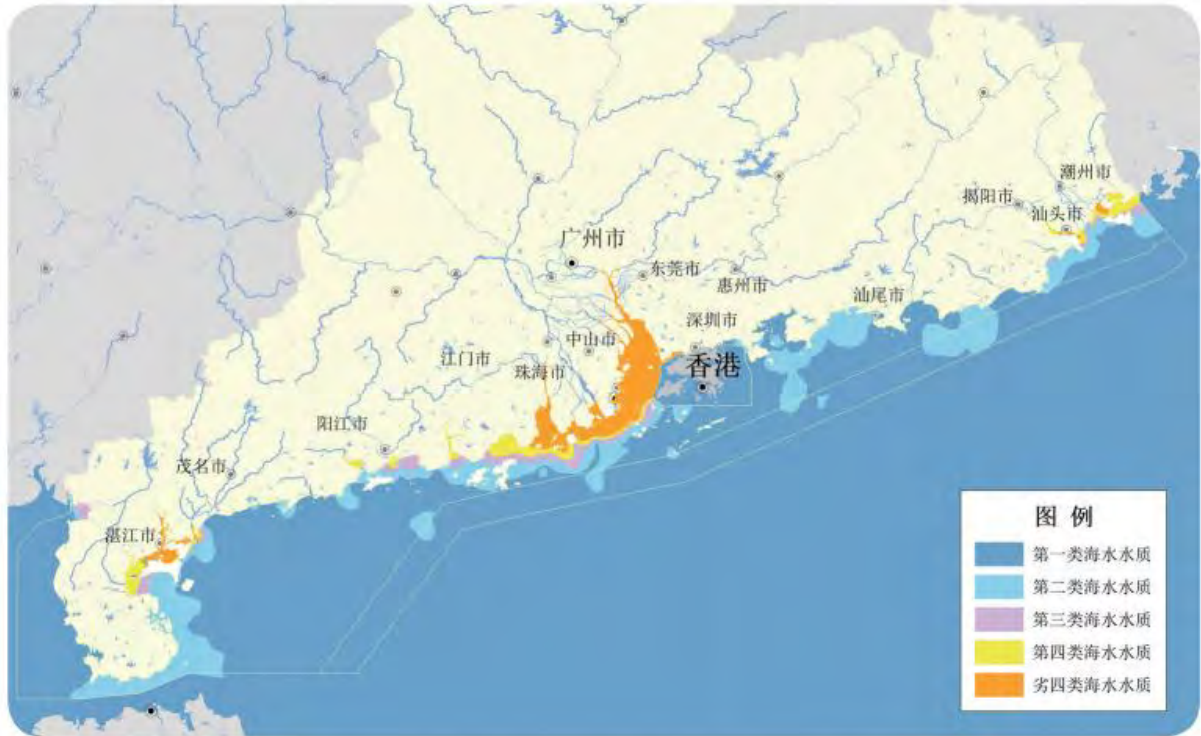


图 3.3.2-3 2020 年广东省近岸海域水质状况示意图

3.3.3 海洋沉积物环境质量调查与评价

3.3.3.1 调查项目

(1) 调查内容

调查内容包括铜、铅、锌、镉、铬、总汞、砷、石油类、硫化物和有机碳共 10 项指标。

(2) 采样方法

根据《海洋监测规范》(GB 17378.3-2007) 中的要求, 进行沉积物样品的采集、保存与运输。

(3) 分析方法

样品的分析按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.8-2007) 和《海洋监测规范》(GB 17378.5-2007) 进行, 超出的项目参照其他行业标准, 各项目的分析方法如表 3.3.3-1。

表 3.3.3-1 样品采集、分析方法一览表

序号	项目	分析方法	方法依据	方法检出限
1	铜 (Cu)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.2-2013 第 6 条	0.008 μg/g
2	铅 (Pb)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.2-2013 第 6 条	0.070 μg/g
3	锌 (Zn)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.2-2013 第 6 条	0.160 μg/g
4	镉 (Cd)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.2-2013 第 6 条	0.015 μg/g
5	铬 (Cr)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.2-2013 第 6 条	0.070 μg/g
6	总汞 (Ag)	原子荧光法	GB 17378.5-2007 第 5.1 条	0.002 μg/g
7	砷 (As)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.2-2013 第 6 条	0.180 μg/g
8	石油类	紫外分光光度法	GB 17378.5-2007 第 13.2 条	3.0×10 ⁻⁶
9	硫化物	亚甲基蓝分光光度法	GB 17378.5-2007 第 17.1 条	0.3×10 ⁻⁶
10	有机碳	重铬酸钾氧化-还原容量法	GB 17378.5-2007 第 18.1 条	—

3.3.3.2 评价方法和标准

(1) 评价方法

采用标准指数法, 对现状监测结果进行标准指数计算。

(2) 评价标准

调查海域海洋沉积物执行标准要求如表 3.3.3-2, 执行标准参照《海洋沉积物质量》(GB18668-2002)。调查站位与海洋功能区划叠加图见图 3.3.2-2。

表 3.3.2-2 调查海域海洋沉积物执行标准

功能区名称	调查站位	沉积物标准要求
前詹港口航运区	4、6、9	执行第二类标准
神泉海洋保护区、珠海-潮州近海农渔业区	1、7	执行第一类标准

3.3.3.3 海洋沉积物质量监测结果

2021 年 7 月海洋沉积物调查结果见表 3.3.3-3。

表 3.3.3-3 2021 年 7 月海洋沉积物现状监测结果

站位	铜	铅	锌	镉	铬	总汞	砷	石油类	硫化物	有机碳
	μg/g							×10 ⁻⁶	×10 ⁻²	
H1	18.9	52.6	112	0.212	22.4	0.035	11.0	920	309	1.03
H4	27.5	63.9	139	0.217	32.9	0.058	14.4	850	273	1.18
H6	22.7	57.6	117	0.189	25.8	0.070	12.9	830	220	1.03
H7	24.8	62.6	130	0.247	25.2	0.066	13.4	810	361	1.06
H9	26.0	61.0	127	0.178	28.4	0.069	13.7	870	344	1.11
最大值	27.5	63.9	139	0.247	32.9	0.070	14.4	920	361	1.18
最小值	18.9	52.6	112	0.178	22.4	0.035	11.0	810	220	1.03
平均值	24.0	59.5	125	0.209	26.9	0.060	13.1	856	301	1.08

3.3.3.4 海洋沉积物质量评价

海洋沉积物监测因子质量指数见表 3.3.3-4。

沉积物调查结果表明：调查海域海洋沉积物中铜、锌、镉、铬、总汞、砷和有机碳全部符合海洋沉积物质量标准，铅、石油类和硫化物出现超标现象，超标率分别为 20、40%/40%，超标站位均出现在执行第一类海洋沉积物质量标准的 H1 和 H7

站，执行第二类海洋沉积物质量标准的 H4、H6、H9 站所有监测因子均符合海洋沉积物质量标准要求。说明项目所在海域满足沉积物目标要求。

表 3.3.3-4 2021 年 7 月海洋沉积物质量指数

站位	铜	铅	锌	镉	铬	总汞	砷	石油类	硫化物	有机碳
H1	0.54	0.88	0.75	0.42	0.28	0.18	0.55	1.84	1.03	0.52
H4	0.28	0.49	0.40	0.14	0.22	0.12	0.22	0.85	0.55	0.39
H6	0.23	0.44	0.33	0.13	0.17	0.14	0.20	0.83	0.44	0.34
H7	0.71	1.04	0.87	0.49	0.32	0.33	0.67	1.62	1.20	0.53
H9	0.26	0.47	0.36	0.12	0.19	0.14	0.21	0.87	0.69	0.37
超标率(%)	0	20	0	0	0	0	0	40	40	0

3.3.4 海洋生态环境质量现状评价

本报告引用深圳中检联检测有限公司 2021 年 8 月编制的《2020-2021 年度粤东 LNG 接收站运行期（海域）环境监测调查报告（2021 年夏季）》。2021 年 7 月 24 日~26 日深圳中检联检测有限公司在项目附近布设海洋生态监测站位 7 个，调查内容包括叶绿素 a 及初级生产力、浮游植物、浮游动物、鱼卵仔鱼、底栖生物和 2 个断面的潮间带生物调查。

样品的采集和分析均按《海洋监测规范》（GB 17378-2007）和《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）中规定的方法进行。具体站位见表 3.3.2-1 和图 3.3.2-1。

表 3.3.4-1 监测项目分析方法

序号	项 目	分析方法	方法依据	方法检出限	
1	海洋生态	叶绿素-a 及 初级生产力	分光光度法 黑白瓶测氧法	GB 17378.7-2007 第 8 条 《水和废水监测分析方法》 (第四版增补版) 国家环境 保护总局 (2002 年) 5.1.5.2	——
2		浮游植物 (网样)	镜检计数法	GB 17378.7-2007 第 5 条	——
3		浮游动物 (网样)	镜检计数法	GB 17378.7-2007 第 5 条	——
4		鱼卵仔鱼	镜检计数法	GB/T 12763.6-2007 第 9 条	——
5		底栖生物	镜检计数法	GB 17378.7-2007 第 6 条	——
6		潮间带生物	镜检计数法	GB 17378.7-2007 第 7 条	——

3.3.4.1 评价方法

各调查项目的采样和分析均按《海洋调查规范—海洋生物调查》(GB12763.6-2007)和《海洋监测规范》(GB17378-2007)中规定的方法进行。

(1) 初级生产力

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

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

P ——初级生产力 ($\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2\text{d}$);

C_a ——表层叶绿素 a 含量 (mg/m^3);

Q ——同化系数 ($\text{mg}\cdot\text{C}/(\text{mgChl-a}\cdot\text{h})$),根据南海水产研究所以往调查结果,这里取 3.7;

L ——真光层的深度 (m),取透明度的 3.05 倍;

t ——白昼时间 (h),根据以往调查结果,本文取 12 小时。

(2) 优势度

优势度 (Y) 应用以下公式计算:

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

式中: n_i 为第 i 种的个体数;

f_i 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。

(3) 多样性指数

Shannon-Wiener 指数计算公式为：

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

式中： H' 一 种类多样性指数；

S —样品中的种类总数；

P_i —第 i 种的个体数与总个体数的比值。

(4) 均匀度

Pielou 均匀度公式为：

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

式中： J —均匀度；

H' 一 种类多样性指数；

S —样品中的种类总数。

(5) 相对重要指数

IRI 计算公式为：

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

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 —某一种类的出现的断面数占调查总断面数的百分比。

海洋生态环境质量调查结果见下面各小节内容。

3.3.4.2 叶绿素 a 和初级生产力

调查海域表层海水叶绿素 a 的含量介于 4.01~7.22 mg/m³ 之间，平均含量为 5.70 mg/m³，各调查站之间海水叶绿素 a 的含量差异较大，其中 H9 号站叶绿素 a 含量最高，为 7.22 mg/m³，H4 号站最低，为 4.01 mg/m³。底层海水叶绿素 a 的含量介于 4.12~7.09 mg/m³ 之间，平均含量为 5.77 mg/m³。其中 H6 号站叶绿素 a 含量最高，为 7.09 mg/m³，H4 号站最低，为 4.12 mg/m³，差异较大；详见表 3.3.4-2。

调查海域各监测站海洋初级生产力水平介于 271.52~831.07 $\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2\text{d}$ 之间, 平均值为 581.23 $\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2\text{d}$ (表 3.3.4-1)。其中 H9 号站初级生产力水平最高, 为 831.07 $\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2\text{d}$, H4 号站最低, 为 271.52 $\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2\text{d}$ 。

表 3.3.4-2 叶绿素 a 和初级生产力监测结果

监测站位	叶绿素 a 含量 (mg/m^3)		初级生产力 ($\text{mg}\cdot\text{C}/\text{m}^2\text{d}$)
	表层	底层	
H1	5.61	6.47	455.82
H4	4.01	4.12	271.52
H5	6.01	5.55	610.41
H6	7.14	7.09	725.17
H7	4.02	5.27	381.07
H9	7.22	7.00	831.07
H10	5.86	4.92	793.56
平均值	5.70	5.77	581.23

3.3.4.3 浮游植物

浮游植物采集网样, 用浅水III型网由底至表层垂直拖网, 采集浮游植物样品。浮游植物样品的处理、分析鉴定及数据处理等按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)的要求进行。

(1) 种类组成

本次监测, 共鉴定记录浮游植物 3 门 4 纲 11 目 15 科 37 属 85 种, 其中硅藻门 69 种, 占总种数的 81.18%; 甲藻门 15 种, 占总种数的 17.65%; 蓝藻门 1 种, 占总种数的 1.18%。硅藻的种类占优势, 甲藻次之, 浮游植物种类名录见附录I(图 3.3.4-1)。

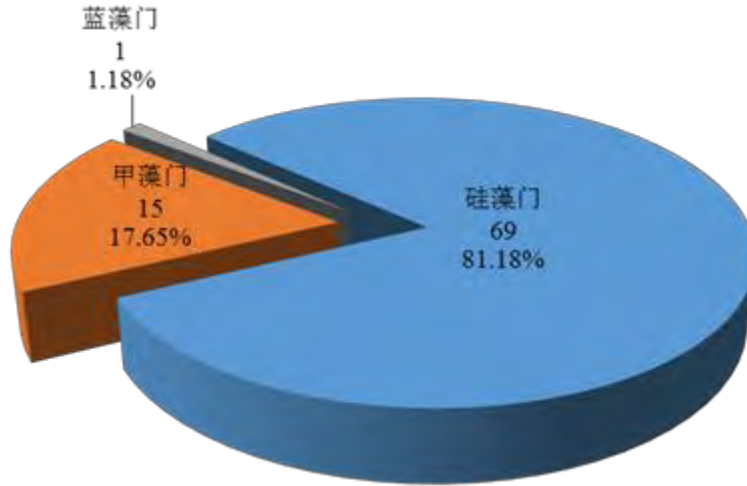


图 3.3.4-1 调查海域浮游植物种类组成图

调查海域 7 个站位浮游植物的种数分布较均匀（图 3.3.4-2），其中最高是 H5 号站，为 53 种，最低是 H4 号站，为 40 种。各测站硅藻种类占优势，甲藻次之。

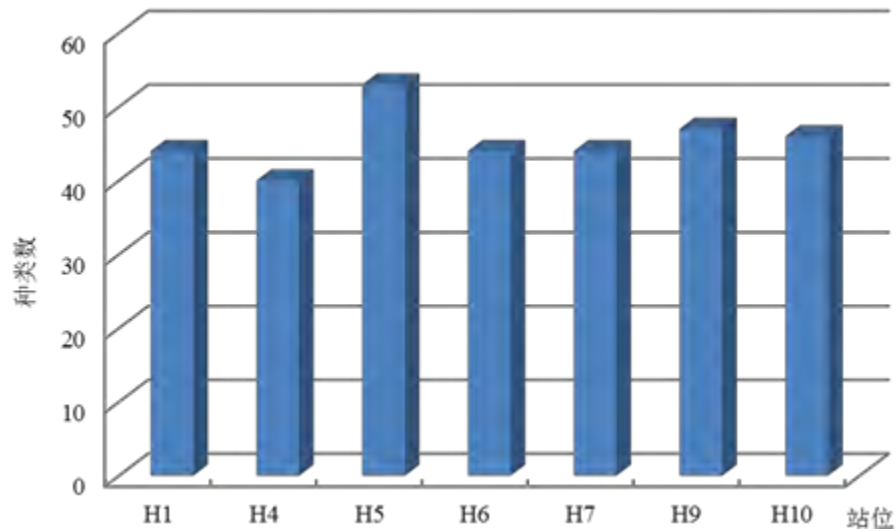


图 3.3.4-2 调查海域各测站浮游植物种类分布图

（2）数量分布

1) 细胞总数量分布

调查海域各测站浮游植物细胞总数量平均值为 $58.45 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$ ，各测站之间相差较大，变化范围为 $(26.89 \sim 127.19) \times 10^4 \text{ cells/m}^3$ ，其中 H5 号站细胞总数量最

高, 为 $127.19 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$, H4 号站浮游植物细胞总数量最低, 为 $26.89 \times 10^4 \text{ cells/m}^3$ (图 3.3.4-3)。

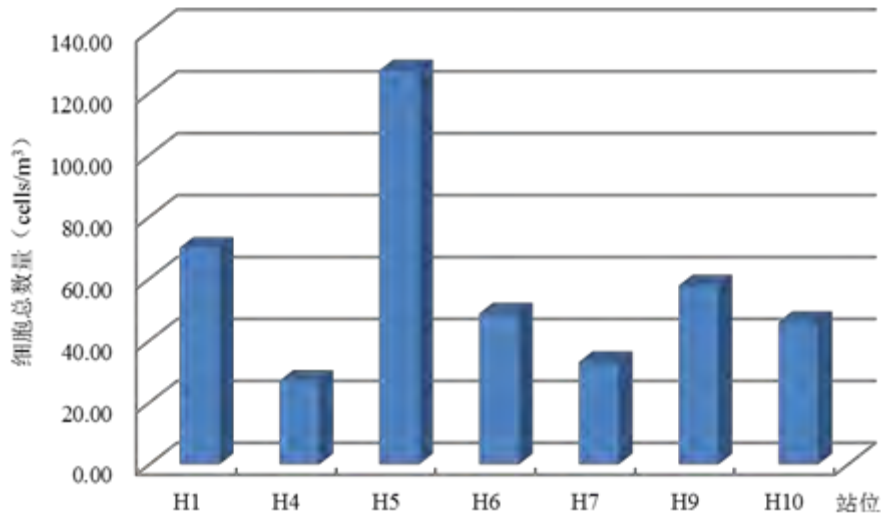


图 3.3.4-3 调查海域各测站浮游植物细胞总数量分布图 (单位: $\times 10^4 \text{ cells/m}^3$)

2) 优势种及其优势度

根据区域优势种的定义, 调查海域浮游植物优势种为中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)、菱形海线藻 (*Thalassionema nitzschioides*)、尖刺菱形藻 (*Nitzschia pungens*) 和窄隙角毛藻 (*Chaetoceros affinis*) 等共 9 种, 其优势度分别为 0.355、0.120、0.118 和 0.107 等。调查海域浮游植物优势种属及所占比例见下表。

表 3.3.4-3 调查海域浮游植物优势种属及所占比例

序号	优势种	优势度	占总丰度百分比 (%)	出现频次
1	中肋骨条藻	0.355	35.48	7
2	菱形海线藻	0.120	12.02	7
3	尖刺菱形藻	0.118	11.78	7
4	窄隙角毛藻	0.107	10.70	7
5	旋链角毛藻	0.077	7.71	7
6	洛氏角毛藻	0.040	4.02	7
7	翼根管藻纤细变型	0.026	2.65	7
8	丹麦细柱藻	0.026	2.60	7
9	笔尖形根管藻粗径变种	0.025	2.51	7

(3) 种类多样性指数、均匀度和丰富度

调查海域大潮期浮游植物多样性指数 (H') 变化范围为 2.083~3.379, 平均值为 2.999; 均匀度 (J) 变化范围为 0.377~0.619, 平均值为 0.546; 丰富度指数 (D) 变化范围为 3.371~3.878, 平均值为 3.603 (表 3.3.4-4)。总体来看, 该海域在监测期间, 浮游植物多样性指数平均值处于中等水平, 受环境影响较一般, 群落结构较为稳定。

表 3.3.4-4 浮游植物多样性指数 (H')、均匀度 (J) 和丰富度指数 (D)

站 位	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (D)
H1	3.379	0.619	3.371
H4	3.154	0.593	3.554
H5	3.107	0.542	3.878
H6	2.977	0.545	3.519
H7	3.276	0.600	3.620
H9	3.015	0.543	3.662
H10	2.083	0.377	3.614
范 围	2.083~3.379	0.377~0.619	3.371~3.878
平均值	2.999	0.546	3.603

3.3.4.4 浮游动物

采用浅水I型浮游生物网进行由底至表层垂直拖网, 采集浮游动物样品, 并按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)的要求进行样品处理、分析鉴定及数据计算分析。浅水I型浮游生物网采集的样品用于浮游动物种类组成、个体密度以及生物量的分析计算。

(1) 种类组成及分布

本次监测共鉴定出浮游动物 45 种和浮游幼体类 10 种。桡足类种类最多, 有 24 种, 占总种类数的 43.64%; 浮游幼体类有 10 种, 占总种类数的 18.18%; 刺胞动物有 9 种, 占总种类数的 16.36%; 十足类有 3 种, 占总种类数的 5.45%; 毛颚类、被囊类、枝角类和介形类各有 2 种, 各占总种类数的 3.64%; 栉板动物有 1 种, 占总种类数的 1.82% (图 3.3.4-4), 种名录见附录II。

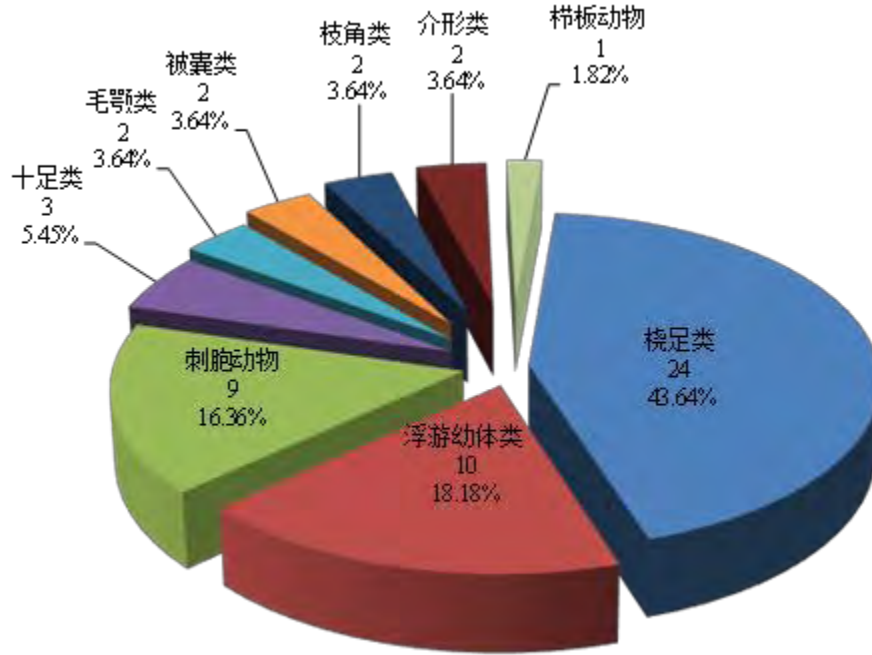


图 3.3.4-4 调查海域浮游动物种类组成图

各测站浮游动物种类数（包括阶段性浮游幼虫及鱼卵仔稚鱼）在 22~36 种之间，其中 H5 号站种类数最少，为 22 种；H4 号站种类数最多为 36 种（图 3.3.4-5）。

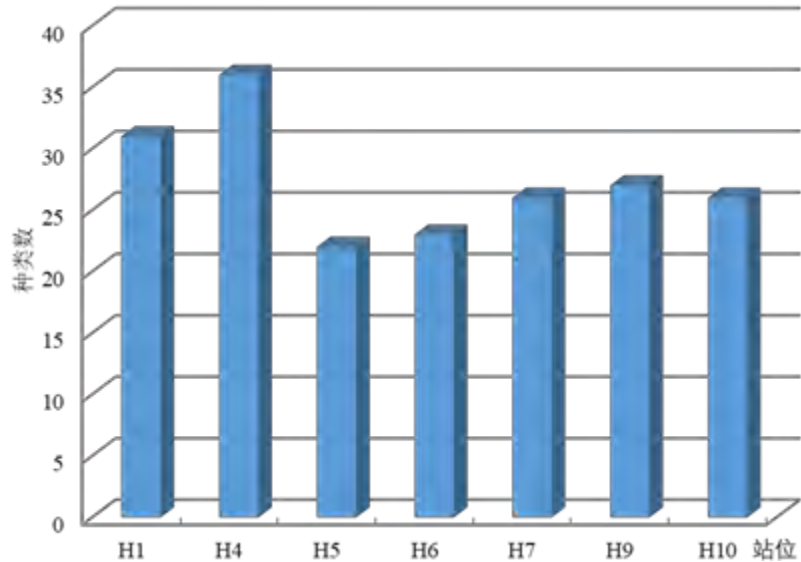


图 3.3.4-5 调查海域各测站浮游动物种类数分布图

(2) 数量分布

1) 总个体密度的分布

监测期间，各测站浮游动物的丰度介于 41.4~300.0 ind/m³ 之间，平均丰度 141.0 ind/m³。浮游动物的丰度呈不均匀的斑块状分布，调查海域 H4 号站浮游动物密度最高，为 300.0 ind/m³，H10 号站浮游动物密度最低，为 41.4 ind/m³（图 3.3.4-6）。

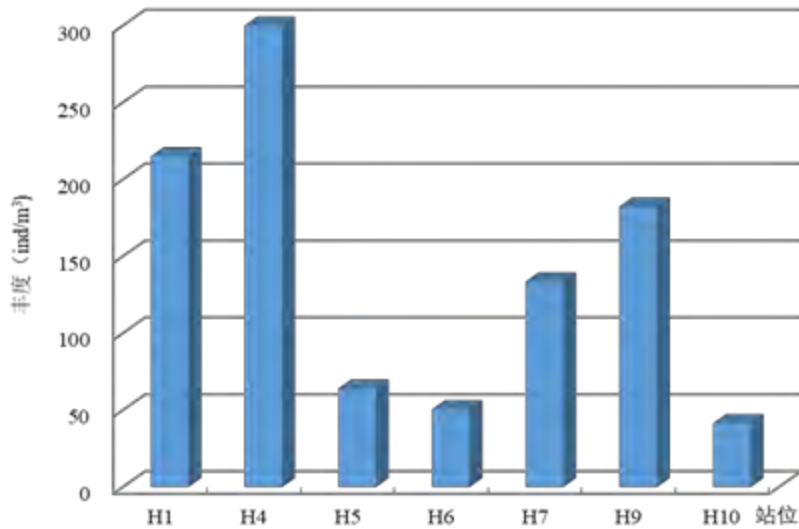


图 3.3.4-6 调查海域浮游动物各测站个体密度的分布图（单位：ind/m³）

2) 总生物量（湿重）的分布

监测期间，各测站浮游动物生物量（湿重）变化范围为 11.54~38.83 mg/m³，平均值 23.32 mg/m³。各测站浮游动物生物量分布较不均匀，变化幅度较大，最大值出现在 H1 号站，为 38.83 mg/m³，最小值出现在 H4 号站，为 11.54 mg/m³（图 3.3.4-7）。

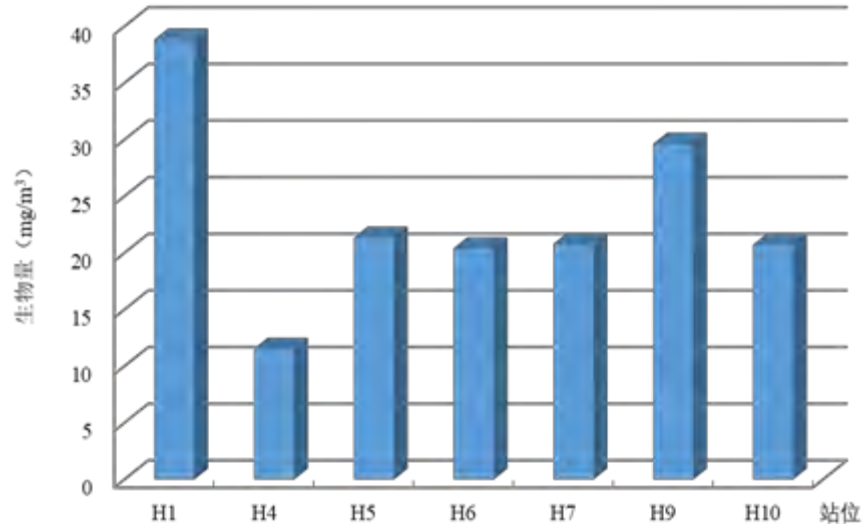


图 3.3.4-7 调查海域浮游动物各测站总生物量的分布图（单位： mg/m^3 ）

（3）优势种及其优势度

浮游动物优势种的判定方法和标准与浮游植物相同。调查海域浮游动物的优势种为汉森莹虾 (*Lucifer hansenii*)、鸟喙尖头蚤 (*Penilia avirostris*) 和莹虾幼体 (Lucifer Larva) 等 12 种，其优势度分别为 0.201、0.194 和 0.094 等。其中汉森莹虾的优势度最大。各测站优势种属及所占比例见表 3.3.4-5。

表 3.3.4-5 调查海域浮游动物优势种及所占比例

序号	优势种	优势度	占总丰度百分比 (%)	出现频次
1	汉森莹虾	0.201	20.06	7
2	鸟喙尖头蚤	0.194	19.36	7
3	莹虾幼体	0.094	9.44	7
4	短角长腹剑水蚤	0.062	6.20	7
5	长尾类幼虫	0.056	5.55	7
6	强额拟哲水蚤	0.051	5.12	7
7	肥胖箭虫	0.045	4.52	7
8	多刺纺锤水蚤	0.034	3.45	7
9	鱼卵	0.032	3.24	7
10	肥胖三角蚤	0.029	3.39	6
11	百陶箭虫	0.024	2.44	7
12	蔓足类无节幼虫	0.024	2.79	6

(4) 种类多样性指数、均匀度和丰富度

本次监测浮游动物多样性指数 (H') 范围为 1.322~3.878, 平均值为 3.142; 均匀度指数 (J) 范围为 0.281~0.817 之间, 平均值为 0.660; 丰富度指数 (D) 范围为 3.016~4.066 之间, 平均值为 3.401 (表 3.3.4-6)。总体来看, 调查海域浮游动物的多样性指数平均值处于较好水平, 群落结构处于较稳定的状态。

表 3.3.4-6 调查海域浮游动物多样性指数 (H')、均匀度 (J) 和丰富度指数 (D)

站位	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (D)
H1	3.720	0.751	3.413
H4	3.878	0.750	4.066
H5	2.929	0.657	3.128
H6	3.694	0.817	3.319
H7	3.323	0.707	3.035
H9	3.129	0.658	3.016
H10	1.322	0.281	3.832
范围	1.322~3.878	0.281~0.817	3.016~4.066
平均值	3.142	0.660	3.401

3.3.4.5 底栖生物

根据要求,在调查海域进行 7 个测站的底栖生物监测,使用采泥面积为 0.10 m^2 的采泥器,每站采集 3 次有效样品,经淘洗,用网目孔径为 0.5 mm 的套筛分选出标本,套筛内残渣固定保存带回实验室,在解剖镜下分选出标本。样品的处理、分析鉴定及数据处理均按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)的要求进行。

(1) 种类组成和种群结构

本次监测共鉴定出底栖生物 1 大门类 6 种,详见附录 IV (潮下带底栖生物名录)。环节动物 6 种,占总种类数的 100.00%,各类群的种类百分比组成详见图 3.3.4-8。

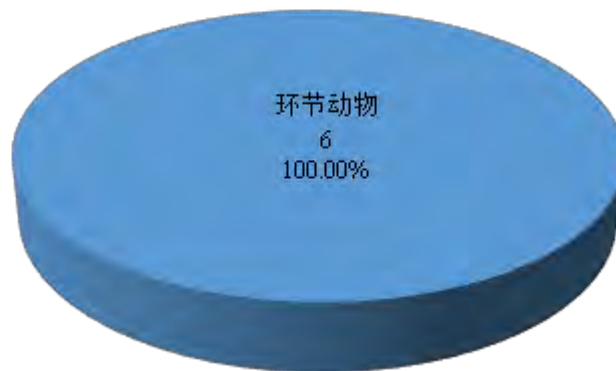


图 3.3.4-8 调查海域底栖生物种类组成

大潮期调查海域 7 个测站中, H5、H10 站采集到的底栖生物种类数最多,有 4 种; H6 站最少,未采集到底栖生物。各测站底栖生物种类分布图详见图 3.3.4-9。

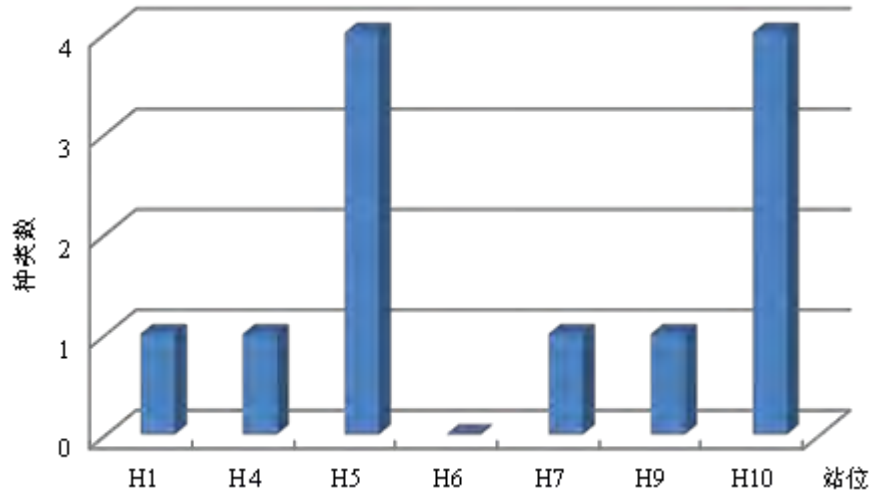


图 3.3.4-9 调查海域各测站底栖生物种类分布图

(2) 栖息密度和生物量

底栖生物的栖息密度在调查海域的 7 个测站中分布较不均匀，底栖生物栖息密度变化范围为 0.0~16.7 ind/m²，平均栖息密度为 6.2 ind/m²，栖息密度最高的站位为 H5 站，为 16.7 ind/m²；栖息密度最低的站位为 H6 站，为 0.0 ind/m²；详见表 3.3.4-7 和图 3.3.4-10。

表 3.3.4-7 各监测站底栖生物的栖息密度组成和分布

站号	栖息密度 (ind/m ²)	
	环节动物	合计
H1	3.3	3.3
H4	3.3	3.3
H5	16.7	16.7
H6	0.0	0.0
H7	3.3	3.3
H9	3.3	3.3
H10	13.3	13.3
平均	6.2	6.2

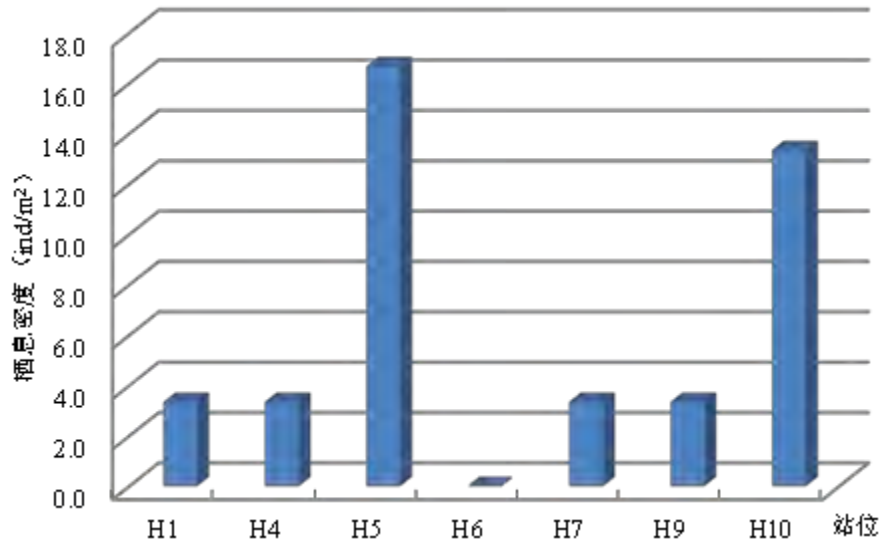


图 3.3.4-10 各监测站底栖生物的栖息密度分布图

底栖生物的生物量在调查海域的 7 个测站中分布较不均匀，生物量变化范围为 0.00~0.30 g/m²，平均生物量为 0.13 g/m²。生物量最高的站位为 H4 站，为 0.30 g/m²；最低值出现在 H6 站，为 0.00 g/m²；详见表 3.3.4-8 和图 3.3.4-11。

表 3.3.4-8 底栖生物的生物量组成和分布

站号	生物量 (g/m ²)	
	环节动物	合计
H1	0.07	0.07
H4	0.30	0.30
H5	0.27	0.27
H6	0.00	0.00
H7	0.07	0.07
H9	0.03	0.03
H10	0.17	0.17
平均	0.13	0.13

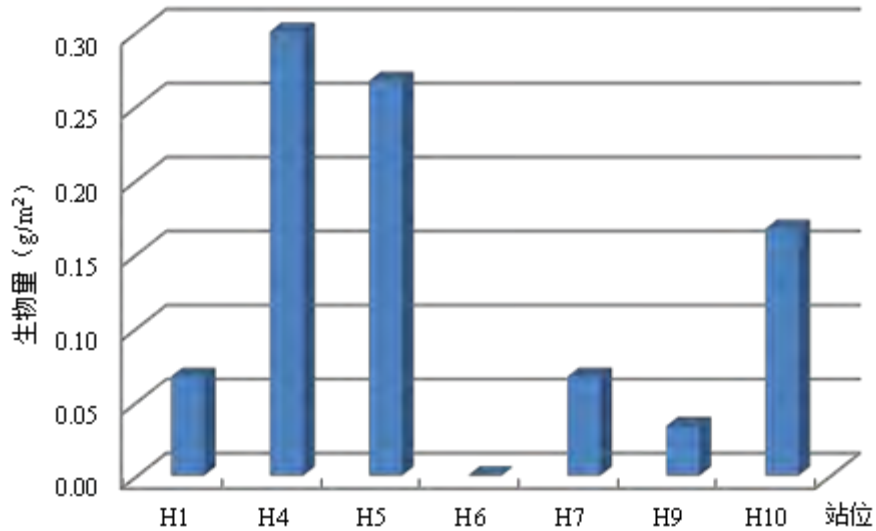


图 3.3.4-11 调查海域底栖生物的生物量分布图

监测海区出现的底栖生物多数为栖息在沉积物中的小个体无脊椎动物，底栖生物各类群按平均栖息密度组成从大到小的顺序排列为：环节动物（100.00%），按平均生物量组成从大到小的顺序排列为：环节动物（100.00%）。

(3) 优势种及其优势度

底栖生物优势种的优势度（海区）的计算方法与浮游植物相同，优势度（海区） $Y \geq 0.02$ 的为优势种。经统计，监测海区底栖生物的优势种（以栖息密度计）有 3 种，为背蚓虫（*Notomastus latericeus*）、奇异稚齿虫（*Paraprionospio pinnata*）和双形拟单指虫（*Cossurella dimorpha*），它们的优势度（海区）分别为 0.220、0.099 和 0.044。各测站优势种属及所占比例见表 3.3.4-9。

表 3.3.4-9 调查海域底栖生物优势种

序号	优势种	优势度	密度 (ind/m ²)	出现频次
1	背蚓虫	0.220	16.7	4
2	奇异稚齿虫	0.099	10.0	3
3	双形拟单指虫	0.044	6.7	2

(4) 种类多样性指数、均匀度和丰富度

根据各监测站底栖生物的栖息密度计算调查海域的底栖生物群落的种类多样性指数 H' 、均匀度指数 J 和丰富度指数 D ，其计算方法与浮游植物的相同；各站位的计算结果见表 3.3.4-10，其中 H1、H4、H6、H7 和 H9 站由于未采集到或只采集到一种底栖生物无法计算三类指数。

底栖生物群落的种类多样性指数的变化范围为 1.922~2.000，平均为 0.560；均匀度指数的变化范围为 0.961~1.000，平均为 0.280；丰富度指数的变化范围为 1.292~1.500，平均为 0.399。调查海区底栖生物的种类多样性处于低水平，说明调查海区底栖生物群落种类多样性差，受环境变化的影响较大，群落结构稳定性差。

表 3.3.4-10 底栖生物种类多样性指数、均匀度和丰富度

站号	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (D)
H1	/	/	/
H4	/	/	/
H5	1.922	0.961	1.292
H6	/	/	/
H7	/	/	/
H9	/	/	/
H10	2.000	1.000	1.500
范围	1.922~2.000	0.961~1.000	1.292~1.500
平均	0.560	0.280	0.399

注：“/”表示该指数无法计算。

3.3.4.6 潮间带生物

根据要求,调查海域潮间带生物调查共布设 2 条断面,每条断面设置高、中、低潮区,其中中潮区设置 3 个站位。定性样品在断面所在沙滩及附近岩石岸进行采集,定量样品使用面积为 0.0625 m^2 的样方进行采集,每站采集 4 次有效样品。经淘洗,用网目孔径为 0.5 mm 的套筛分选出标本,套筛内残渣固定保存带回实验室,在解剖镜下分选出标本。样品的处理、分析鉴定及数据处理均按照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)的要求进行。

(1) 生物种类组成

本次调查的 2 条潮间带生物调查断面共鉴定出生物 2 大门类 10 种(包含定性样品),详见附录 V(潮间带底栖生物名录)。其中,软体动物的种类数最多,有 6 种,占总种类数的 60.00%;节肢动物 4 种,占总种类数 40.00%。潮间带生物各类群的种类百分比组成详见图 3.3.4-12。

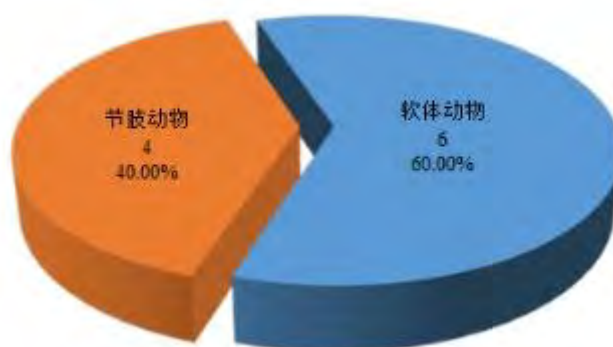


图 3.3.4-12 潮间带生物种类组成

在定量样品中,C1 低潮区的种类数最多,有 6 种;C2 中潮区的种类数最少,为 3 种。各测站潮间带生物种类分布图详见图 3.3.4-13。

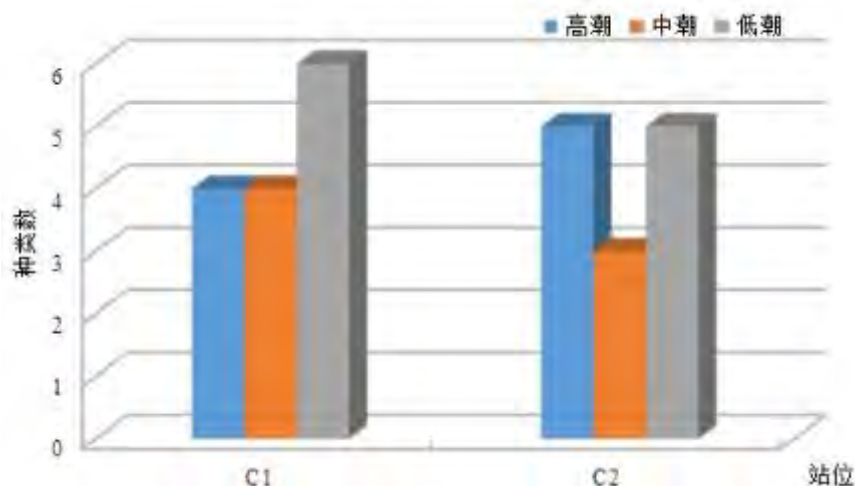


图 3.3.4-13 各测站潮间带生物种类分布图

(2) 栖息密度和生物量

2 条潮间带生物调查断面底质均为沙质，潮间带生物定量样品的栖息密度在调查海域分布较均匀，平均栖息密度呈现的趋势为：C1>C2（详见表 3.3.4-11 和图 3.3.4-14）。调查海域潮间带生物的栖息密度变化范围 17.3~40.0 ind/m²，平均栖息密度为 24.4 ind/m²，栖息密度最高的站点是 C1 低潮区，为 40.0 ind/m²；最低的站点是 C1 中潮区和 C2 中潮区，为 17.3 ind/m²。

潮间带生物定量样品的生物量在调查海域分布较不均匀，平均生物量呈现的趋势为：C1>C2（详见表 3.3.4-11 和图 3.3.4-15），调查海域潮间带生物的生物量变化范围为 56.67~121.92 g/m²，平均生物量为 83.22 g/m²，生物量最高的站点是 C1 高潮区，为 121.92 g/m²；最低的站点是 C2 中潮区，为 56.67 g/m²。

表 3.3.4-11 潮间带生物栖息密度和生物量垂直分布状况

断面号	C1			C2			平均
	高潮区	中潮区	低潮区	高潮区	中潮区	低潮区	
栖息密度 (ind/m ²)	24.0	17.3	40.0	28.0	17.3	20.0	24.4
生物量 (g/m ²)	121.92	73.65	92.44	90.72	56.67	63.92	83.22

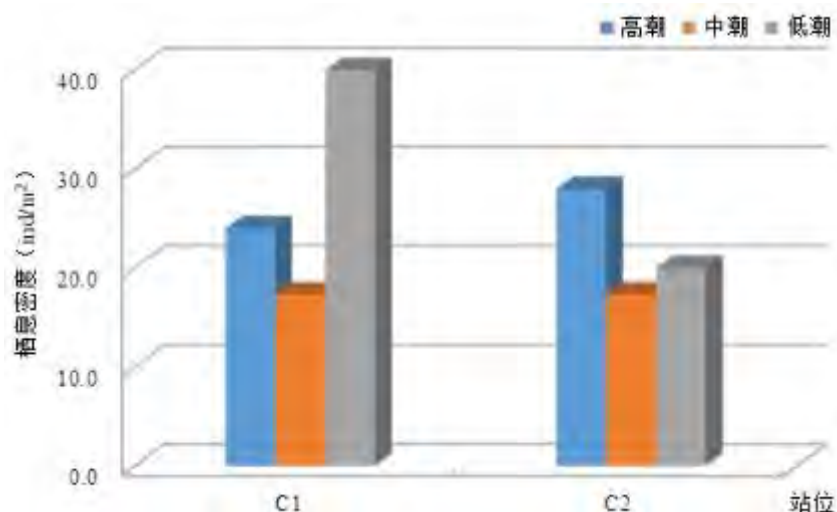


图 3.3.4-14 调查海域潮间带生物的栖息密度分布

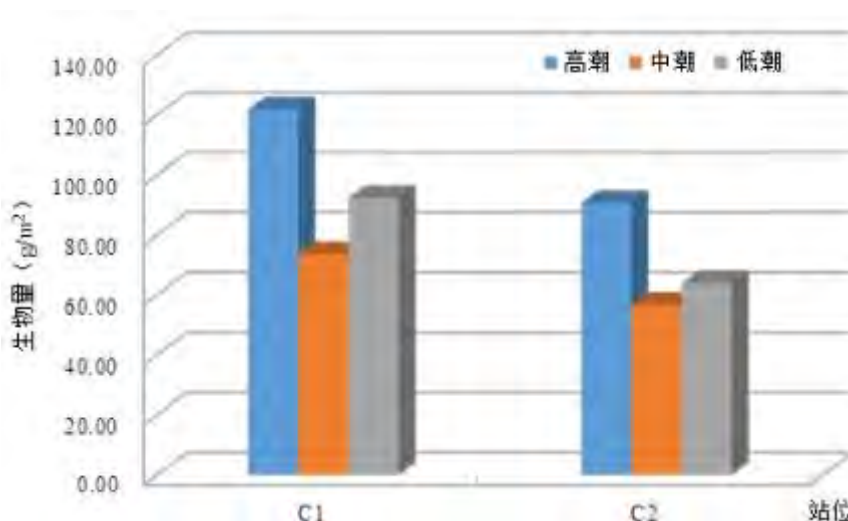


图 3.3.4-15 调查海域潮间带生物的生物量分布

(3) 种群结构分布及优势种

根据定量样品的分析结果，潮间带生物各主要类群的栖息密度和生物量详见表 3.3.4-12 和表 3.3.4-13。调查海域潮间带各主要类群生物按栖息密度和生物量的百分比组成大小排列均为：软体动物（91.82%）>节肢动物（8.18%），调查海域潮间带各主要类群生物按生物量的百分比组成大小排列均为：软体动物（99.98%）>节肢动物（0.02%）。

表 3.3.4-12 各断面潮间带生物的栖息密度

断面	栖息密度 (ind/m ²)	
	软体动物	节肢动物
C1	77.3	4.0
C2	57.3	8.0
合计	134.7	12.0

表 3.3.4-13 各断面潮间带生物的生物量

断面	生物量 (g/m ²)	
	软体动物	节肢动物
C1	287.97	0.04
C2	211.23	0.08
合计	499.20	0.12

潮间带生物优势种的优势度(海区)的计算方法与底栖生物相同,优势度(海区) ≥ 0.02 的为优势种。经统计,调查海区 2 条断面潮间带的生物优势种(以密度计)有 4 种,为凸壳肌蛤(*Musculus senhousi*)、波纹巴非蛤(*Meretrix meretrix*)、文蛤(*Meretrix meretrix*)和疣荔枝螺(*Thais clavigera*),优势度(海区)分别为 0.327、0.227、0.164 和 0.055。调查海域优势种属及所占比例见下表。

表 3.3.4-14 调查海域各测站潮间带生物优势种

序号	优势种	优势度	密度 (ind/m ²)	出现频次
1	凸壳肌蛤	0.327	48.0	6
2	波纹巴非蛤	0.227	33.3	6
3	文蛤	0.164	24.0	6
4	疣荔枝螺	0.055	16.0	3

(4) 种类多样性指数、均匀度和丰富度

根据定量样品分析,2 条断面潮间带生物群落的种类多样性指数 H' 、均匀度指数 J 和丰富度指数 D ,其计算方法与底栖生物的相同。各站位的计算结果见表 3.3.4-15。潮间带生物群落的种类多样性指数的变化范围为 1.526~2.446,平均为

2.025；均匀度指数的变化范围为 0.896~1.000，平均为 0.947；丰富度指数的变化范围为 0.486~1.723，平均为 1.171。从平均值看，调查海区潮间带生物群落的种类多样性处于中等水平，说明调查海区潮间带生物群落种类多样性一般，受环境变化的影响较小，群落结构稳定性较一般。

表 3.3.4-15 底栖生物种类多样性指数、均匀度和丰富度

站号	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (D)
C1 高潮区	1.792	0.896	1.161
C1 中潮区	1.826	0.913	0.729
C1 低潮区	2.446	0.946	1.505
C2 高潮区	2.236	0.963	1.425
C2 中潮区	1.526	0.963	0.486
C2 低潮区	2.322	1.000	1.723
范围	1.526~2.446	0.896~1.000	0.486~1.723
平均	2.025	0.947	1.171

3.3.4.7 鱼卵仔鱼

鱼卵和仔稚鱼的监测站位与浮游植物和浮游动物相同，现场监测分别采用水平拖网和垂直拖网两种方式进行采样，采集到的样品用甲醛溶液固定，带回实验室进行镜检分析、种类鉴定和个体数量计数。

(1) 种类组成

由于鱼卵和仔稚鱼形态鉴定的特殊性，部分样品只能鉴定到科、属级分类阶元。本次监测共鉴定出鱼卵和仔稚鱼 5 种，其中，鱼卵 5 种，仔稚鱼 3 种；详见附录 III：鱼卵和仔稚鱼名录。

1) 鱼卵

本次监测水平拖网出现 4 种鱼卵，分别为鱻科 (Sillaginidae)、鰻科 (Leiognathidae)、鯷科 (Engraulidae) 和舌鰻科 (Cynoglossidae)，其中鱻科数量最多，占水平拖网鱼卵总数 54.29%；垂直拖网共出现 4 种鱼卵，为鱻科、

鳎科、鯷科和鲷科（Sparidae），其中鳎科鱼卵数量最高，占垂直拖网鱼卵总数的 58.97%。

各调查站出现的鱼卵的总种类数范围为 1~4 种，其中 H9 号站鱼卵种类数最多为 4 种，H4 和 H6 号站最低，为 1 种。详见图 3.3.4-16。

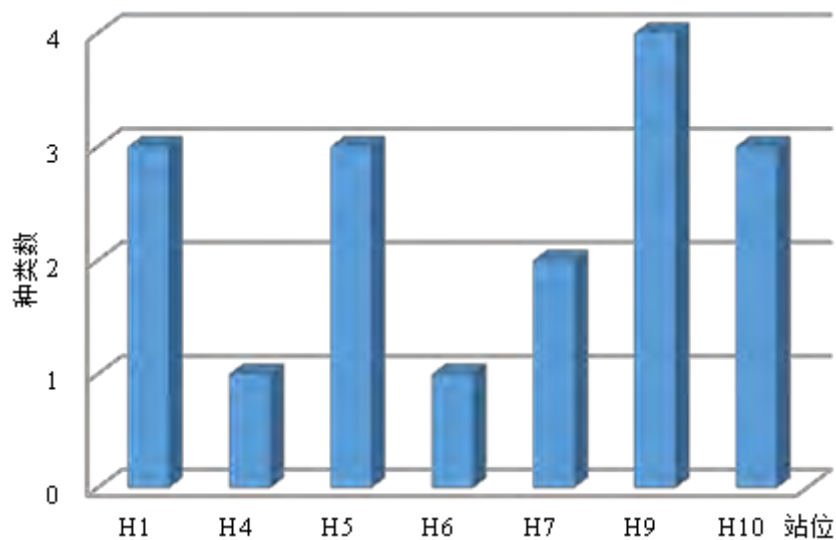


图 3.3.4-16 调查海域各测站鱼卵种类数分布图

2) 仔稚鱼

本次监测水平拖网中出现 3 种，为鳎科、鲷科和鯷科；其中鳎科仔鱼数量最多，占水平拖网仔鱼总数的 70.00%；垂直拖网出现 3 种仔鱼，为鳎科、鲷科和鯷科。其中鯷科科仔鱼数量最多，占垂直拖网仔鱼总数的 66.67%

各调查站出现的仔稚鱼的总种类数介于 0~3 种之间，其中 H1、H9 和 H10 号站仔稚鱼的总种类数最多，为 3 种；H4 和 H7 号站最少，未捕获。详见图 3.3.4-17。

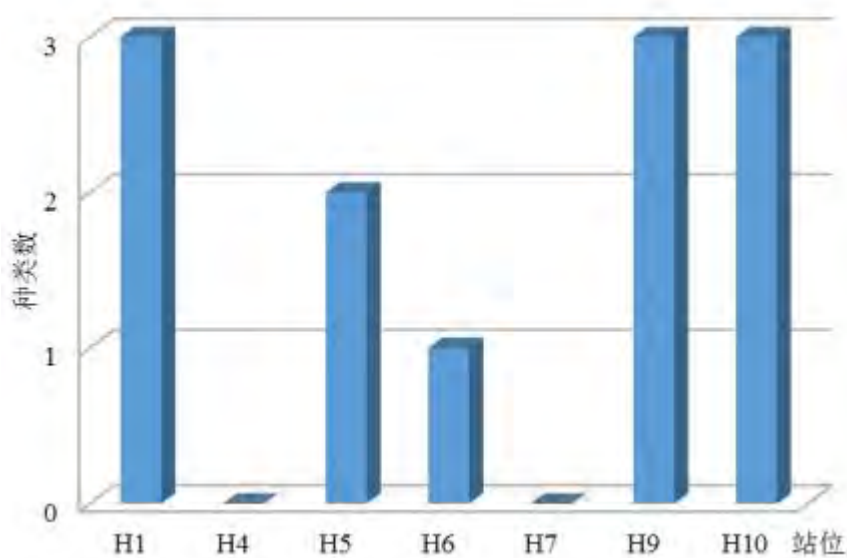


图 3.3.4-17 调查海域各测站仔稚鱼种类数分布图

(2) 数量分布

1) 鱼卵

本次监测鱼卵数量为 74 粒，其中水平拖网捕获 35 粒，平均网获量为 5.0 粒/网；垂直拖网捕获 39 粒，平均丰度为 2.83 粒/m³，详见表 3.3.4-16。

水平拖网各监测站鱼卵网获量在 1.0~12.0 粒/网之间，平均值为 5.0 粒/网，其中 H1 号站最高，为 12.0 粒/网，H4 和 H9 号站最低，为 1.0 粒/网。

垂直拖网各监测站鱼卵的丰度在 0.00~8.80 粒/m³ 之间，平均值为 2.83 粒/m³，其中 H9 号站丰度最高，为 8.80 粒/m³，H4 号站最低，未捕获。

2) 仔稚鱼

本次监测共捕获仔鱼数量为 22 尾，水平拖网捕获 10 尾，平均网获量为 1.4 尾/网；垂直拖网捕获 12 尾，平均丰度为 0.85 尾/m³，表 3.3.4-16。

水平拖网各调查站仔鱼网获量在 0.0~6.0 尾/网之间，平均值为 1.4 尾/网，其中 H1 号站最高，为 6.0 尾/网，H4、H5、H7 和 H9 号站最低，未捕获。

垂直拖网各调查站仔鱼的丰度在 0.00~2.31 尾/m³ 之间，平均值为 0.85 尾/m³，其中 H9 号站丰度最高，为 2.31 尾/m³，H4、H6 和 H7 号站最低，未捕获。

表 3.3.4-16 鱼卵和仔稚鱼数量分布

调查站位	鱼卵		仔稚鱼	
	水平拖网 (粒/网)	垂直拖网 (粒/m ³)	水平拖网 (尾/网)	垂直拖网 (尾/m ³)
H1	12.0	2.91	6.0	0.49
H4	1.0	-	-	-
H5	3.0	6.71	-	1.83
H6	2.0	0.51	2.0	-
H7	6.0	0.44	-	-
H9	1.0	8.80	-	2.31
H10	10.0	0.45	2.0	1.35
平均值	5.0	2.83	1.4	0.85

注：“-”表示该站未捕获。

(3) 主要种类

本次调查期间调查到的主要种类为鱧科。

鱧科为鲈形目的鱼类，代表物种有多鳞鱧、少鳞鱧等。本次调查中，鱼卵平均丰度为 1.67 粒/m³，仔鱼平均丰度为 0.15 尾/m³。鱼卵共捕获 42 粒，占鱼卵总数的 56.76%，水平拖网捕获 19 粒，出现在 H1、H4、H5、H6、H7 和 H10 号站。垂直拖网捕获 23 粒，出现在 H1、H5、H6、H7、H9 和 H10 号站。仔鱼共捕获 9 尾，占仔鱼总数的 40.91%，水平拖网捕获 7 尾，出现在 H1、H6 和 H10 号站。垂直拖网捕获 2 尾，出现在 H5 和 H9 号站。

3.3.4.8 小结

(1) 叶绿素 a 和初级生产力

调查海域表层海水叶绿素 a 的含量介于 4.01~7.22 mg/m³ 之间，平均含量为 5.70 mg/m³。底层叶绿素 a 的含量介于 4.12~7.09 mg/m³ 之间，平均含量为 5.77 mg/m³。初级生产力水平介于 271.52~831.07 mg·C/m²d 之间，平均值为 581.23 mg·C/m²d。综合分析显示，调查水域的叶绿素 a 和初级生产力分布较不均匀。

(2) 浮游植物

3 门 4 纲 11 目 15 科 37 属 85 种，其中硅藻门 69 种，甲藻门 15 种，蓝藻门 1 种。调查海域各测站浮游植物细胞密度总数介于 $(26.89\sim 127.19)\times 10^4$ cells/m³，平均细胞密度为 58.45×10^4 cells/m³。调查海域浮游植物优势种有 9 种，主要优势种为中肋骨条藻、菱形海线藻、尖刺菱形藻和窄隙角毛藻等。浮游植物的种类多样性指数平均值为 2.999，均匀度平均值为 0.546，丰富度指数平均值为 3.603。总体来看，调查海域浮游植物多样性指数平均值处于中等水平，受环境影响较一般，群落结构较为稳定。

(3) 浮游动物

调查海域共鉴定出浮游动物 45 种和浮游幼体类 10 种，其中桡足类的种类最多。浮游动物的平均丰度为 141.0 ind/m³，平均生物量为 23.32 mg/m³，丰度和生物量均呈不均匀的斑块状分布。调查海域浮游动物大多属暖水种，优势种有 12 种，分别为汉森莹虾、鸟喙尖头蚤和莹虾幼体等，其中汉森莹虾的优势度最高。浮游动物的种类多样性指数平均值为 3.142，均匀度指数平均值为 0.660，丰富度指数平均值为 3.401。浮游动物多样性指数平均值处于较好水平，群落结构处于较稳定的状态。

(4) 鱼卵仔鱼

调查海域共捕获鱼卵和仔稚鱼 5 种，其中鱼卵 5 种，仔稚鱼 3 种。各调查站出现的鱼卵的总种类数范围为 1~4 种，仔稚鱼在 0~3 种之间。水平拖网鱼卵的平均网获数量 5.0 粒/网，仔稚鱼平均网获数量为 1.4 尾/网；垂直拖网采样鱼卵平均丰度为 2.83 粒/m³，仔稚鱼平均丰度为 0.85 尾/m³。本次调查捕获鱼卵仔鱼数量较少，均以鱻科为主。

(5) 潮下带底栖生物

调查海域共发现底栖生物 1 大门类 6 种，均为环节动物。栖息密度平均为 6.2 ind/m²，生物量平均为 0.13 g/m²。底栖生物的优势种（以栖息密度计）为背蚓虫、奇异稚齿虫和双形拟单指虫，背蚓虫是该海区底栖生物的第一优势种（以栖息密度计）。调查海区底栖生物群落的种类多样性指数平均为 0.560，均匀度指数平均为 0.280，丰富度指数平均为 0.399。调查海区底栖生物的种类多样性处于低水平，说明调查海区底栖生物群落种类多样性差，受环境变化的影响较大，群落结构稳定性差。

(6) 潮间带生物

本次调查, 调查海域潮间带生物共鉴定 2 大门类 10 种 (包含定性样品), 以软体动物居多。2 条潮间带断面均为沙质, 经统计平均栖息密度为 24.4 ind/m^2 , 平均生物量 83.22 g/m^2 , 潮间带生物的优势种 (以栖息密度计) 有 4 种, 分别为凸壳肌蛤、波纹巴非蛤、文蛤和疣荔枝螺。调查海区潮间带生物群落的种类多样性指数平均值为 2.025, 均匀度指数平均值为 0.947, 丰富度指数平均值为 1.171。可见, 调查海区潮间带生物群落的种类多样性处于中等水平, 说明调查海区潮间带生物群落种类多样性一般, 受环境变化的影响较小, 群落结构稳定性较一般。

3.3.5 海洋生物质量调查结果与评价

3.3.5.1 海洋生物质量调查概况

(1) 调查项目

在上述 7 个底栖生物调查站位和 2 个潮间带生物调查断面的渔获物中选取当地常见的、有代表性的 9 个生物样品, 分析其体内铜、铅、锌、镉、总汞、砷和石油烃共 7 项指标。

(2) 分析方法

样品的预处理和分析方法遵照《海洋监测规范》(GB 17378.6-2007) 进行, 超出范围, 参照其他行业标准而行, 各项目的分析方法如表 3.3.5-1 所示。

表 3.3.5-1 样品采集、分析方法一览表

序号	项目	分析方法	方法依据	方法检出限	
1	生物 体 残 毒	铜 (Cu)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013 第 6 条	0.08 $\mu\text{g/g}$
2		铅 (Pb)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013 第 6 条	0.03 $\mu\text{g/g}$
3		锌 (Zn)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013 第 6 条	1.66 $\mu\text{g/g}$
4		镉 (Cd)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013 第 6 条	0.03 $\mu\text{g/g}$
5		总汞 (Hg)	原子荧光法	GB 17378.6-2007 第 5.1 条	0.002×10^{-6}
6		砷 (As)	电感耦合等离子体质谱法	HY/T 147.3-2013 第 6 条	0.10 $\mu\text{g/g}$
7		石油烃	荧光分光光度法	GB 17378.6-2007 第 13 条	0.2×10^{-6}

3.3.5.2 评价方法和标准

(1) 评价方法

采用标准指数法，对现状监测结果进行标准指数计算。

（2）评价标准

根据调查站位所在《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》中的海洋功能区，海洋生物中贝类质量标准分别执行《海洋生物质量》（GB18421-2001）第一类和第二类标准，其他鱼类、甲壳类、软体类等海洋生物质量评价标准采用《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》中的标准。海岸带生物调查标准中无石油烃限量规定，参考采用《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。具体标准见表 3.3.5-2、表 3.3.5-3。

表 3.3.5-2 海洋生物质量标准（GB18421—2001）（鲜重，mg/kg）

项目	第一类	第二类	第三类
感官要求	贝类的生长和活动正常，贝体不得沾粘油污等异物，贝肉的色泽、气味正常，无异色、异臭、异味		贝类能生存，贝肉不得有明显的异色、异臭、异味
粪大肠菌群（个/kg）≤	3000	5000	—
麻痹性贝毒≤	0.8		
总汞≤	0.05	0.10	0.30
镉≤	0.2	2.0	5.0
铅≤	0.1	2.0	6.0
镉≤	0.5	2.0	6.0
砷≤	1.0	5.0	8.0
铜≤	10	25	50（牡蛎 100）
锌≤	20	50	100（牡蛎 500）
石油烃≤	15	50	80

表 3.3.5-3 海岸带标准生物调查标准（湿重， $\times 10^{-6}$ ）

生物类别	铜≤	铅≤	镉≤	锌≤	总汞≤	石油烃≤
鱼类	20	2.0	0.6	40	0.3	20
甲壳类	100	2.0	2.0	150	0.2	20
软体类	100	10.0	5.5	250	0.3	20

注：来源《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》，其中石油烃采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）标准。

3.3.5.3 海洋生物质量调查结果

海洋生物质量调查结果见表 3.3.5-4。

表 3.3.5-4 海洋生物体质量调查结果

站 位	样品名称	铜	铅	锌	镉	总汞	砷	石油烃
		μg/g						
H1	背蚓虫	1.37	0.46	10.8	0.03	0.006	1.01	2.2
H4	背蚓虫	1.87	0.47	14.5	0.04	0.014	0.90	2.3
H5	刚鳃虫	2.03	1.96	17.0	0.05	0.009	1.08	18.2
H6	理蛤	2.58	12.6	20.5	0.06	0.007	1.13	17.4
H7	背蚓虫	3.53	10.9	23.0	0.05	0.011	1.33	2.2
H9	奇异稚齿 虫	1.66	2.03	14.8	0.13	0.006	0.63	7.4
H10	背蚓虫	1.64	2.85	15.0	0.10	0.005	1.00	2.2
C1	文蛤	2.38	0.48	19.9	0.13	0.011	0.77	9.1
C2	波纹巴非 蛤	2.51	0.15	14.5	0.09	0.005	0.78	19.3

海洋生物质量评价指数见表 3.3.5-5。

调查结果显示：铜、镉和汞共 3 项指标各站位样品均符合海洋生物体第一类质量标准；铅有 100% 的样品超过海洋生物体第一类质量标准，有 33.33% 的样品超过海洋生物体第二、第三类质量标准。锌有 33.33% 的样品超过海洋生物体第一类质量标准，但均符合海洋生物体第二类质量标准。砷有 33.33% 的样品超过海洋生物体第一类质量标准，但均符合海洋生物体第二类质量标准。石油烃有 66.67% 的样品超过海洋生物体第一类质量标准，但均符合海洋生物体第二类质量标准。

表 3.3.5-5 海洋生物体残毒评价指数 Pi 值

站位	样品名称	铜	铅			锌		镉	总汞	砷		石油烃	
		一类	一类	二类	三类	一类	二类	一类	一类	一类	二类	一类	二类
H1	背蚓虫	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
H4	背蚓虫	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
H5	刚鳃虫	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
H6	理蛤	0.26	126	6.30	2.10	1.03	0.41	0.30	0.14	1.13	0.23	1.16	0.35
H7	背蚓虫	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
H9	奇异稚齿虫	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
H10	背蚓虫	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
C1	文蛤	0.24	4.80	0.24	0.08	1.00	0.02	0.65	0.22	0.77	0.15	0.61	0.18
C2	波纹巴非蛤	0.25	1.50	0.08	0.03	0.73	0.01	0.45	0.10	0.78	0.16	1.29	0.39

注：“/”表示该类别无评价标准，不作评价

4 入海排水口设置对环境的影响分析

4.1 对水文动力环境的影响分析

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。项目所在海域位于近岸区，水深小于 10m，垂向混合作用较快，采用二维潮流动力模型即能反映项目所在海域潮流动力特征。采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。

4.1.1 潮流数值模型

4.1.1.1 控制方程

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (4.1-1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - R_b \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} u + fv + \tau_{sx} \quad (4.1-2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - R_b \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{H} v - fu + \tau_{sy} \quad (4.1-3)$$

式中： A_h 水平方向扩散系数， 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， $H = \eta + h$ 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， R_b 为海底摩擦系数， g 为重力加速度，

τ_{sx} ， τ_{sy} 为风对自由水面的剪切力在 X、Y 方向的分量；

$$\tau_{sx} = f_s \rho_a u_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}, \quad \tau_{sy} = f_s \rho_a v_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}$$

f_s 为风阻力系数； ρ_a 为空气密度， u_w 、 v_w 风速在 X、Y 方向的分量。

4.1.1.2 边界条件和初始条件

(1) 边界条件

在本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）和专用迟角（g）只与地点有关，称为潮汐调和常数。从理论上讲，分潮的数目很多，但大部分影响不大，一般以 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 、 Q_1 分潮最大，因此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，分潮的振幅和迟角根据历史调查资料计算的调和常数和有关文献提供，并根据部分水文观测站的实测潮位结果进行调整。

所谓闭边界条件即水陆交界条件，计算域与其它水域相通的开边界 Γ_1 上有：

$$\zeta(x, y, t) |_{\Gamma_1} = \zeta^*(x, y, t) \quad (4.1-4)$$

或

$$\left. \begin{aligned} u(x, y, t) |_{\Gamma_1} &= u^*(x, y, t) \\ v(x, y, t) |_{\Gamma_1} &= v^*(x, y, t) \end{aligned} \right\} \quad (4.1-5)$$

计算水域与陆地交界的固边界上有：

$$\vec{U} \cdot \vec{n} |_{\Gamma_2} = 0 \quad (4.1-6)$$

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（4.1-6）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。

（2）初始条件

$$\left. \begin{aligned} \zeta(x, y, t) |_{t=t_0} &= \zeta_0(x, y, t_0) \\ u(x, y, t) |_{t=t_0} &= u_0(x, y, t_0) \\ v(x, y, t) |_{t=t_0} &= v_0(x, y, t_0) \end{aligned} \right\} \quad (4.1-7)$$

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。

（3）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 $h \leq 0$ 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 $h \leq h_{\min}$ ，则认为格点干出。

4.1.1.3 计算区域与网格设计

从满足工程研究需要出发，选定计算域包括：西边界到至 $115^{\circ}48'$ 经度线，东边界至 $117^{\circ}0'$ 经度线，北至 $23^{\circ}15'$ 纬度线，南至 $22^{\circ}09'$ 纬度线。本模型采用三角形网格剖分计算域，三角形网格节点数为23712个，三角形个数为42675个，相邻网格节点最大间距为1600m，分布在外海开边界处；工程区域最小间距为8m，分布在工程区取水口和排水口附近；计算时间步长为10s，大范围模型网格剖分见图4.1.1-1，工程区域剖分网格见图4.1.1-2。

大范围计算区域水深由以下测图基面统一到平均海平面后确定：2016年1:1000000 福州至广州(图号10015)；2015年1:250000 碣石湾至珠江口(图号15300)；2010年1:100000 田尾角至大星山(图号15310)；2015年1:150000 石碑山角至遮浪角(图号80108，海事局发行)。所有水深数据都转化成当地平均海平面基面，项目附近区域的水深见图4.1.1-3。

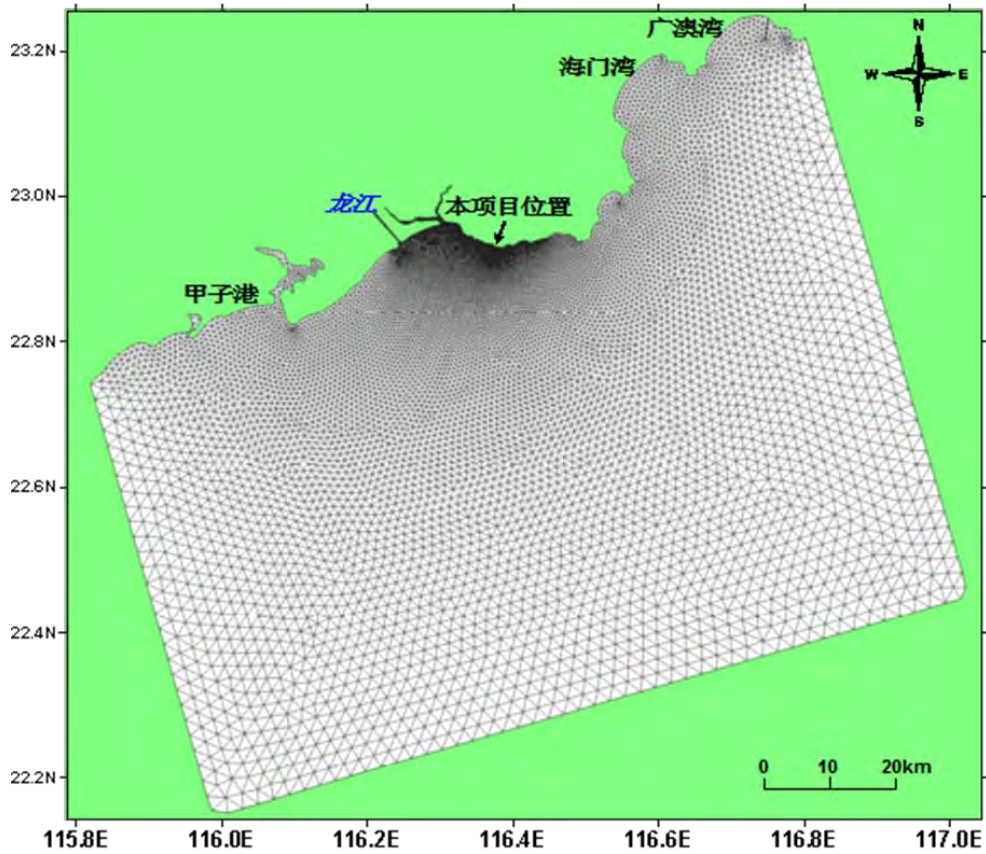


图 4.1.1-1 大范围模型计算网格

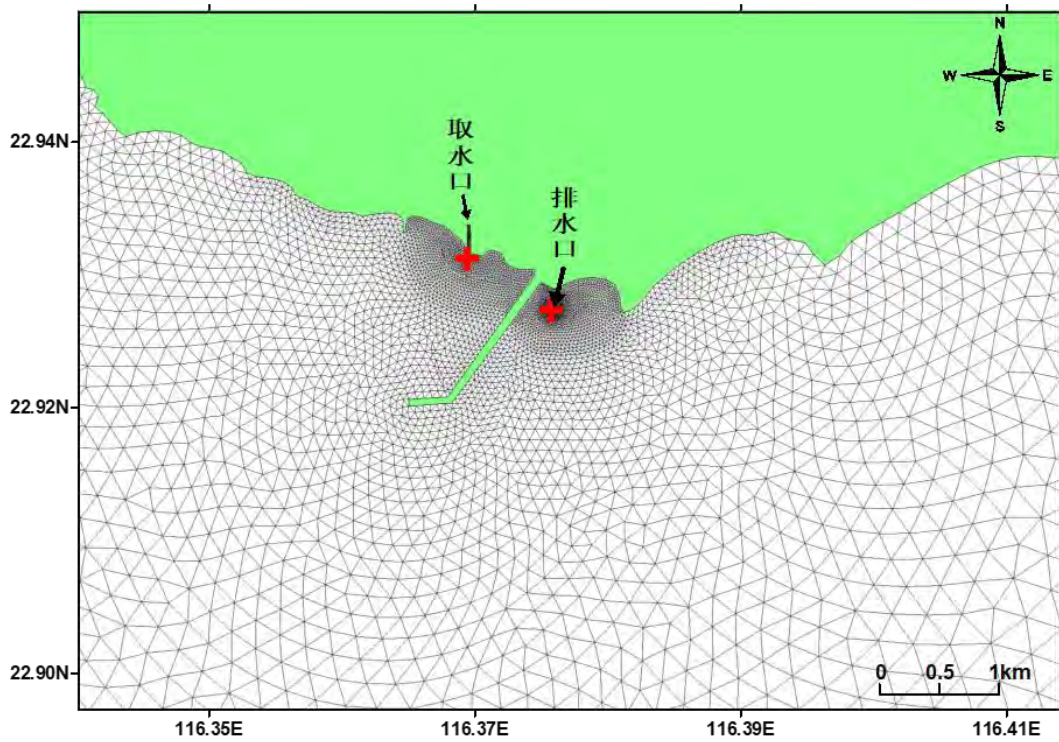


图 4.1.1-2 工程区域小范围网格剖分

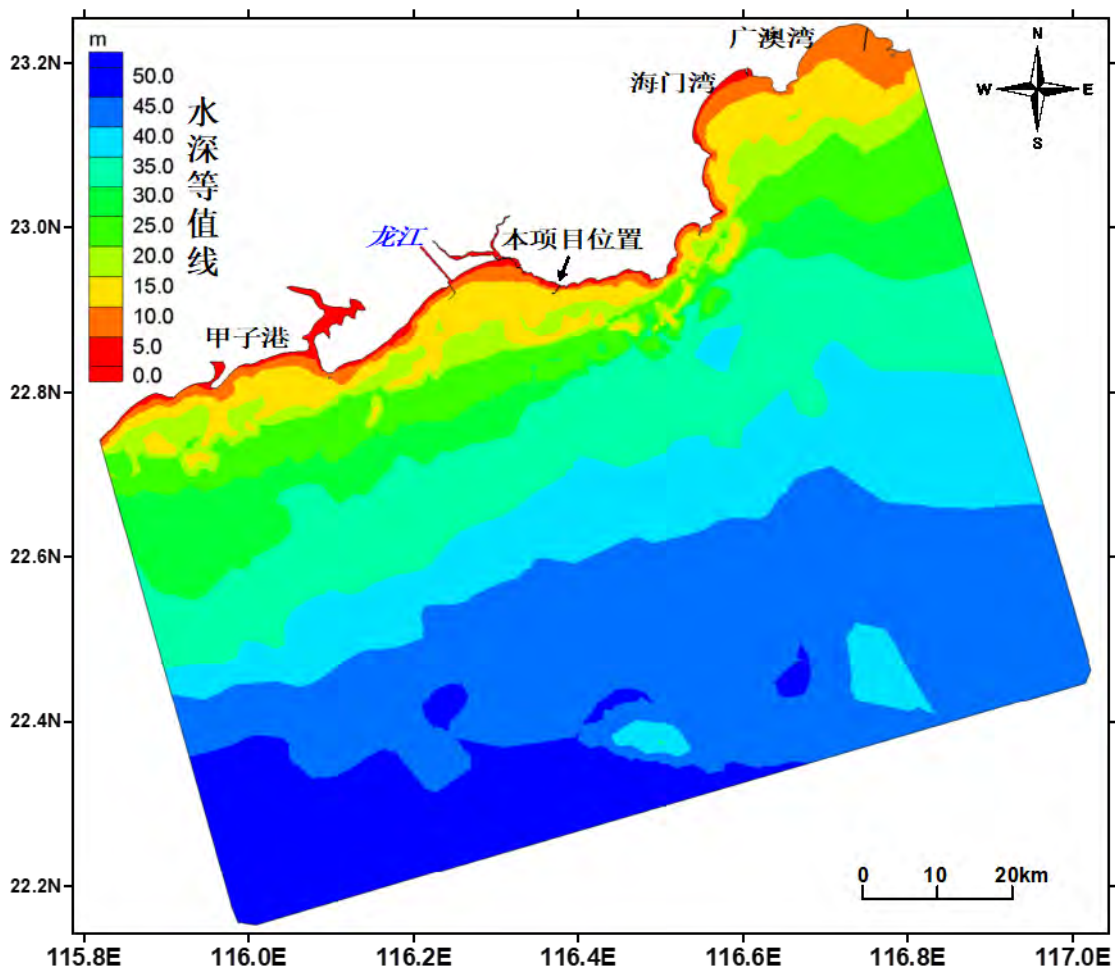


图 4.1.1-3 模型计算水深

4.1.2 模型验证

模型的验证有两部分，包括采用 2020 年 9 月 15 日~16 日在项目附近海域开展的 6 个潮流站点（V3、V4、V5、V6、V7、V8）和 2 个潮位站（T1、T2）的潮汐潮流观测成果与计算结果比较，调查站位见图 4.1.2-1，绘制潮位验证曲线图 4.1.2-2，流向、流速验证曲线图 4.1.2-3~图 4.1.2-8。实测流速流向为表、中、底三层，比较时采用垂向平均流速、流向资料。

从验证结果可以看出，模拟计算潮位与实测潮位的绝对平均误差为 7.2cm，模拟计算流速流向与实测值的趋势大体一致，流速、流向模拟以最大流速时拟合较好，转流时刻拟合相对较差。总体来说，模型对于工程水域具有重现能力，能够反映工程区域的水动力特征。

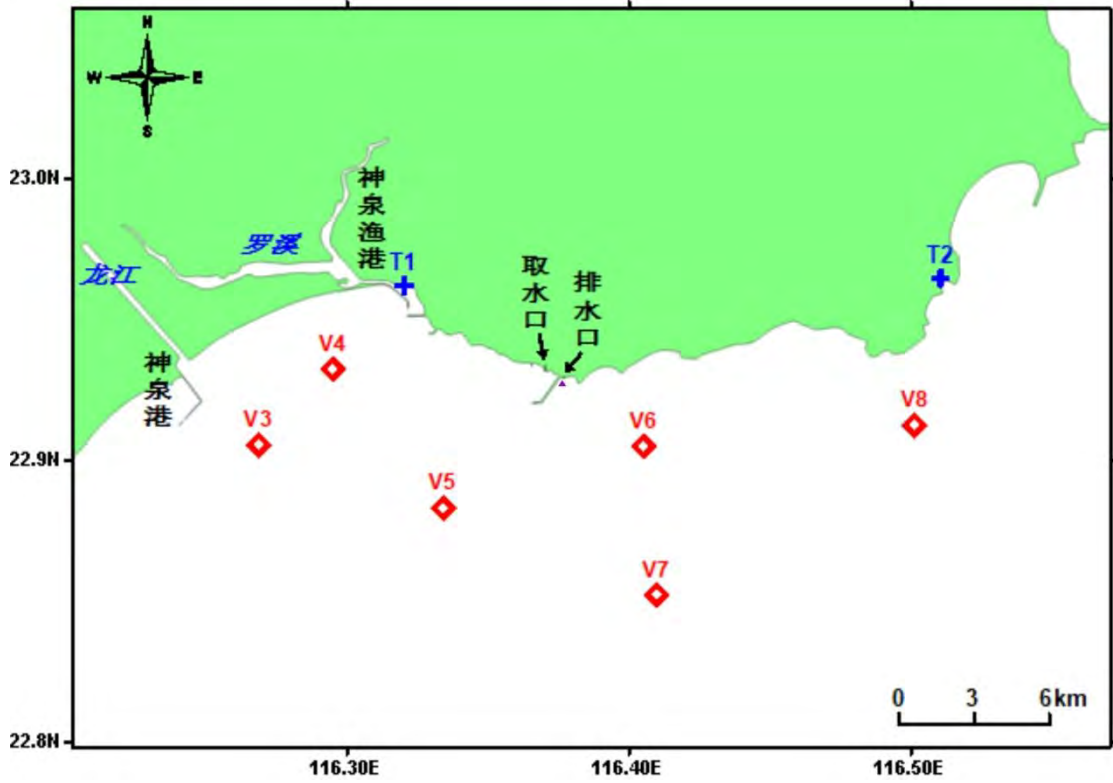


图 4.1.2-1 水文调查站位示意图

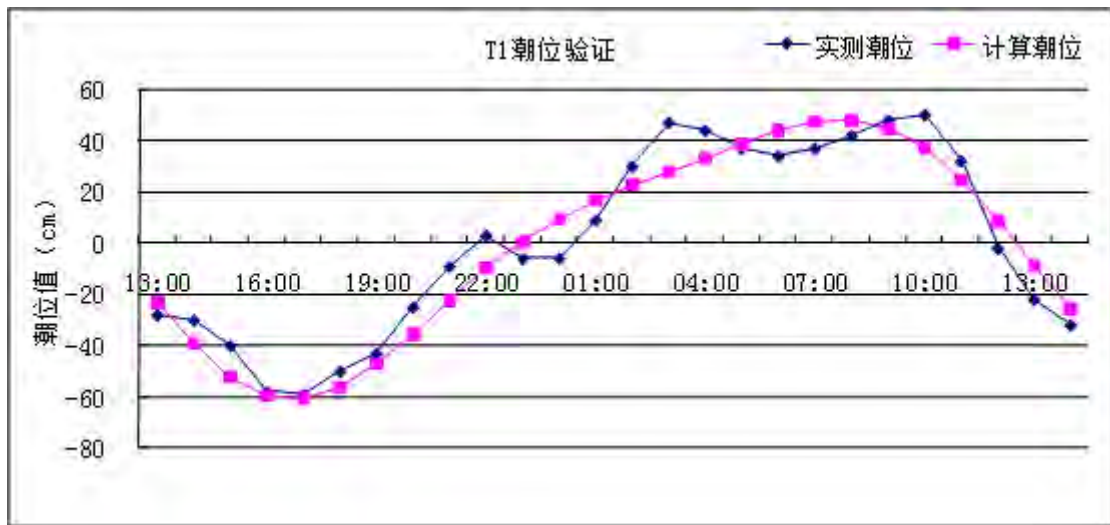


图 4.1.2-2a T1 站潮位验证曲线

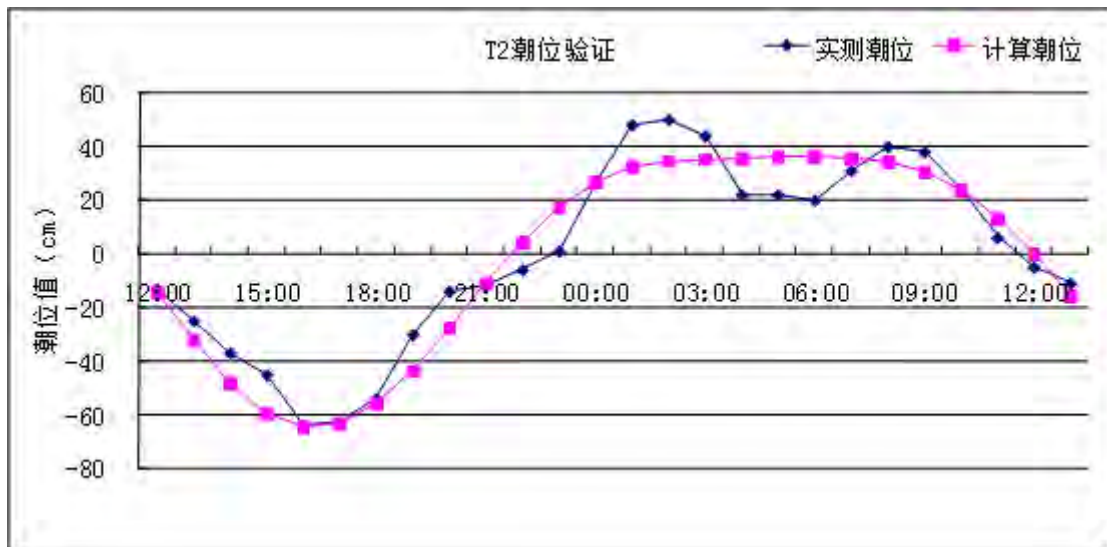


图 4.1.2-2b T2 站潮位验证曲线

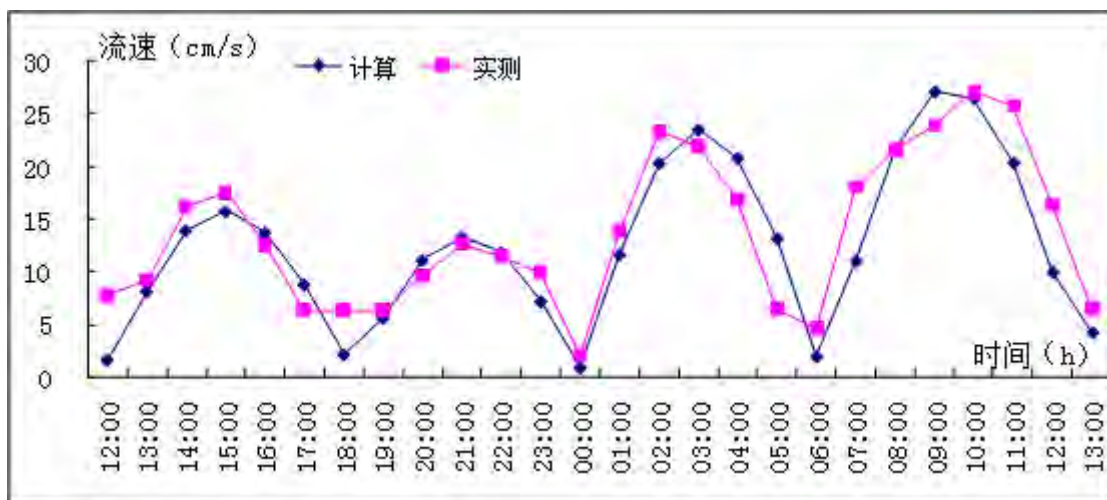
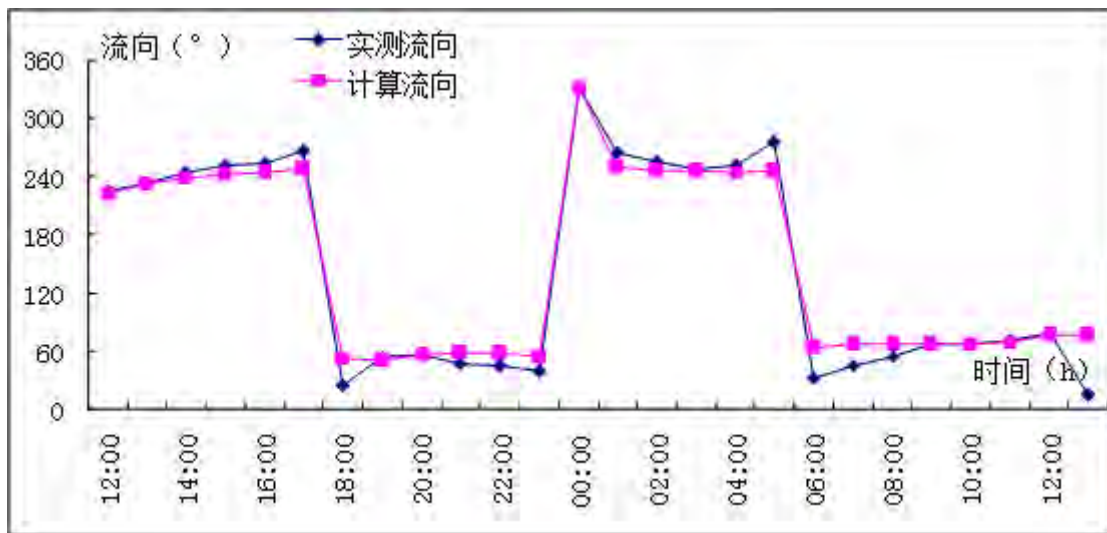


图 4.1.2-3 V3 站流速流向验证曲线 (2020 年 9 月 15 日~16 日)

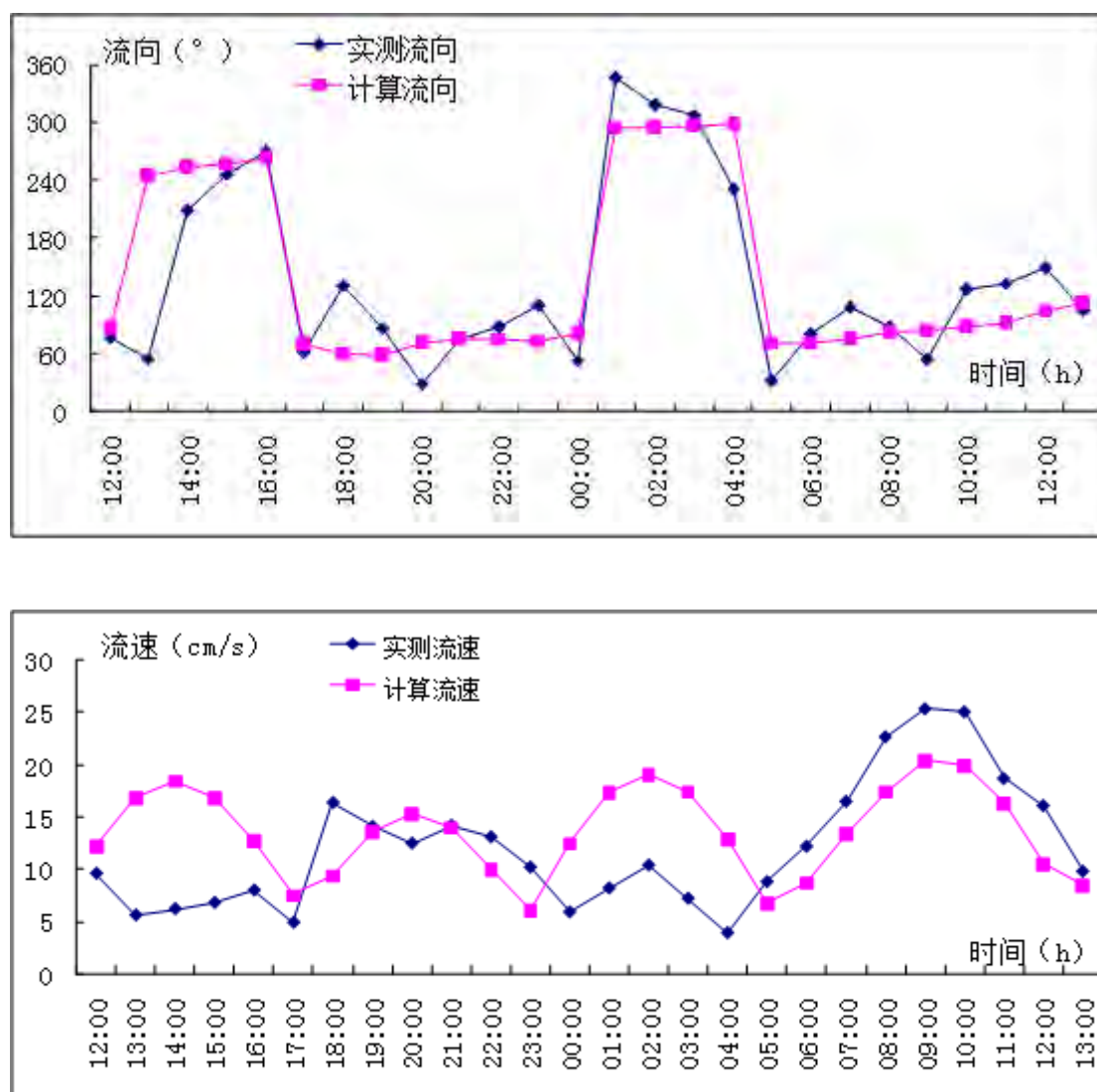


图 4.1.2-4 V4 站流速流向验证曲线 (2020 年 9 月 15 日~16 日)

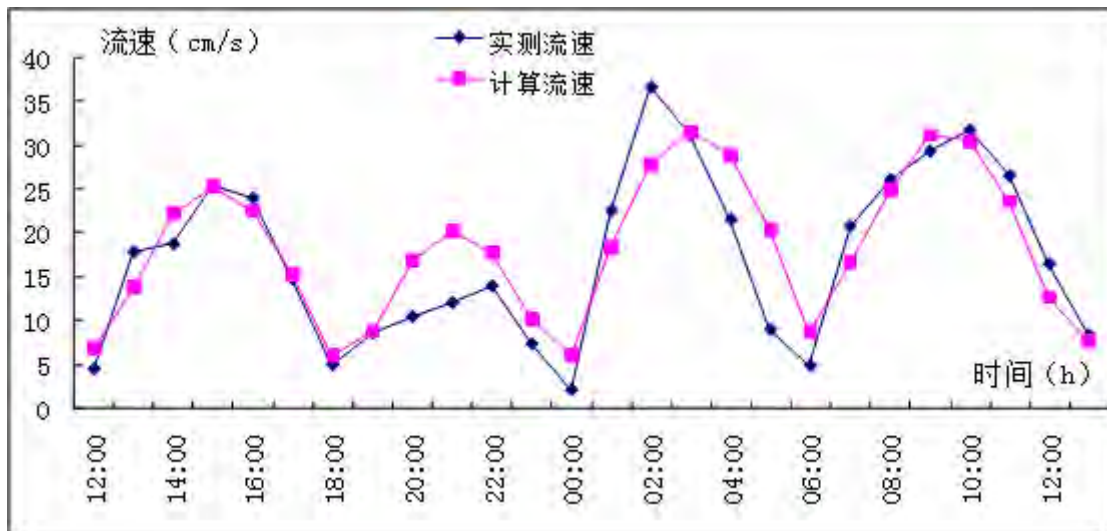
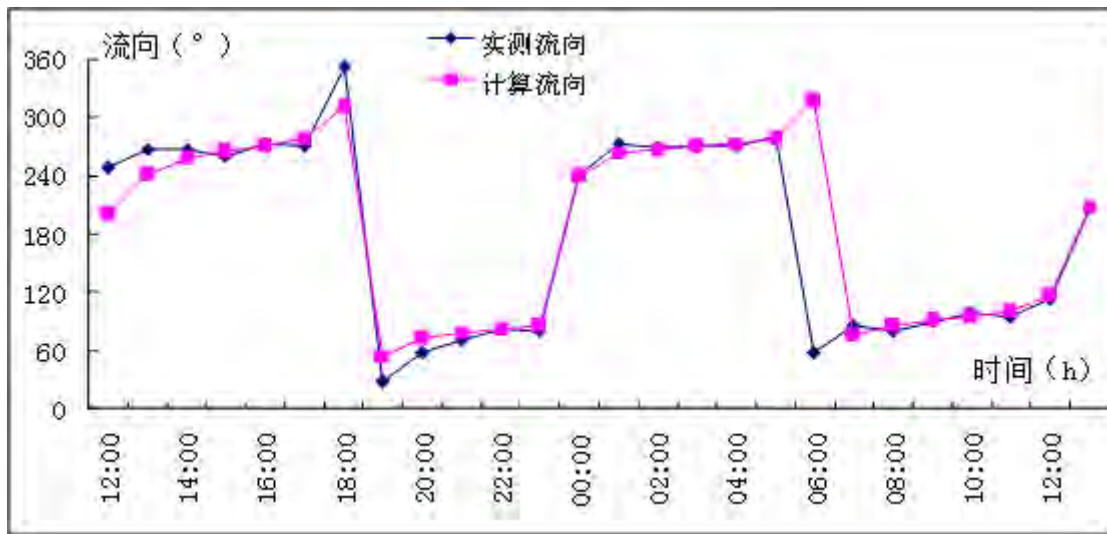
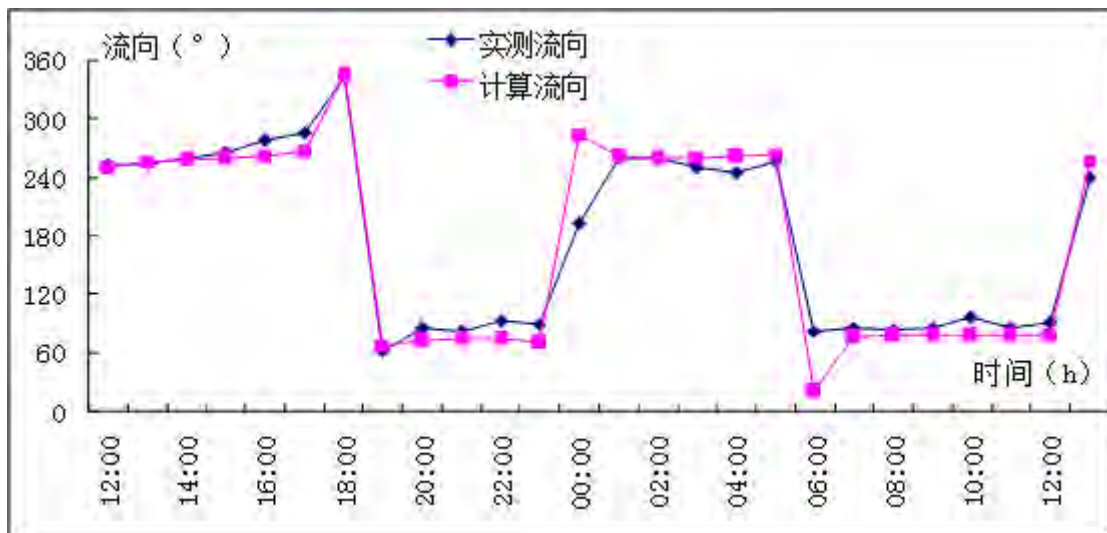


图 4.1.2-5 V5 站流速流向验证曲线 (2020 年 9 月 15 日~16 日)



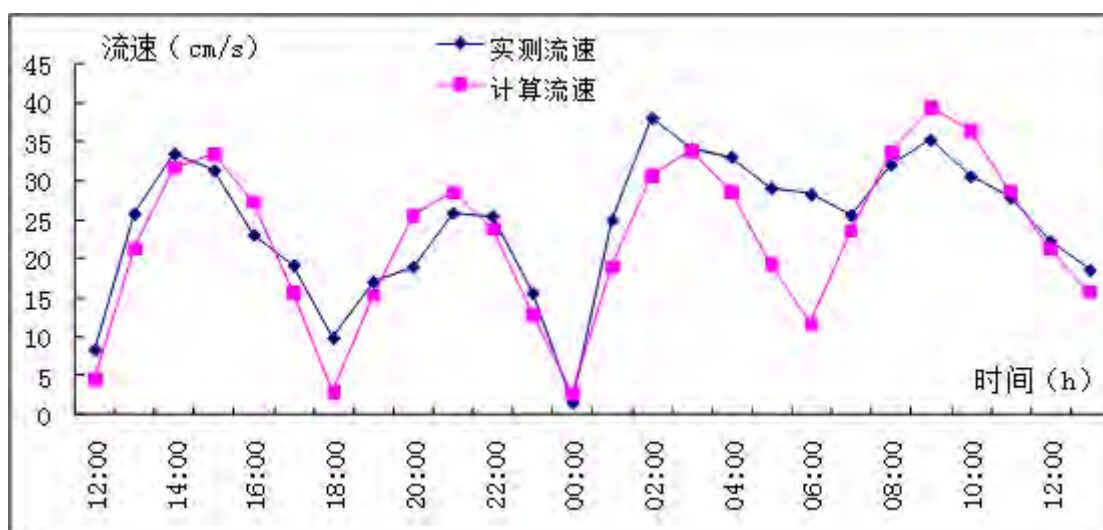


图 4.1.2-6 V6 站流速流向验证曲线 (2020 年 9 月 15 日~16 日)

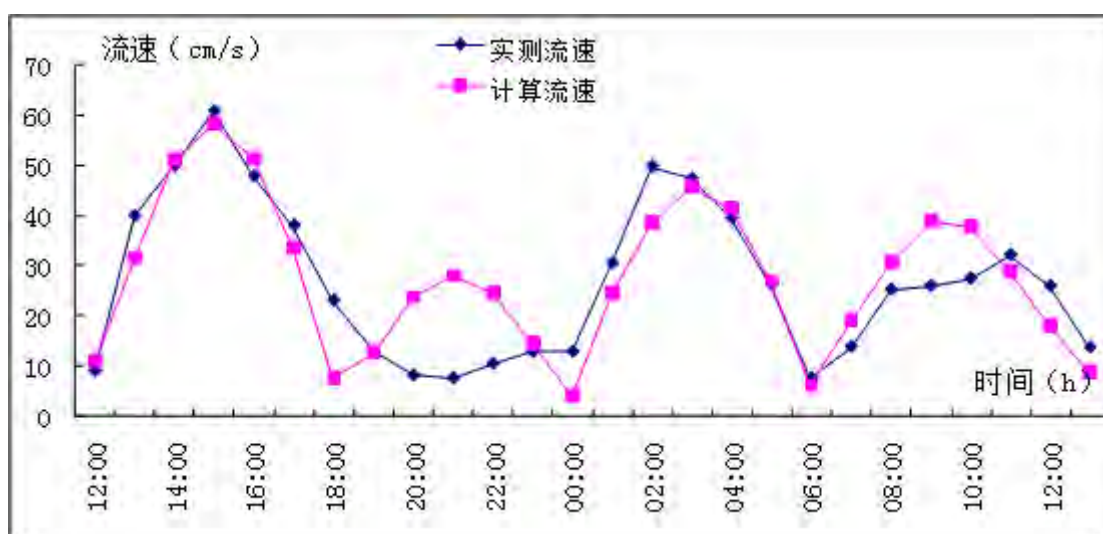
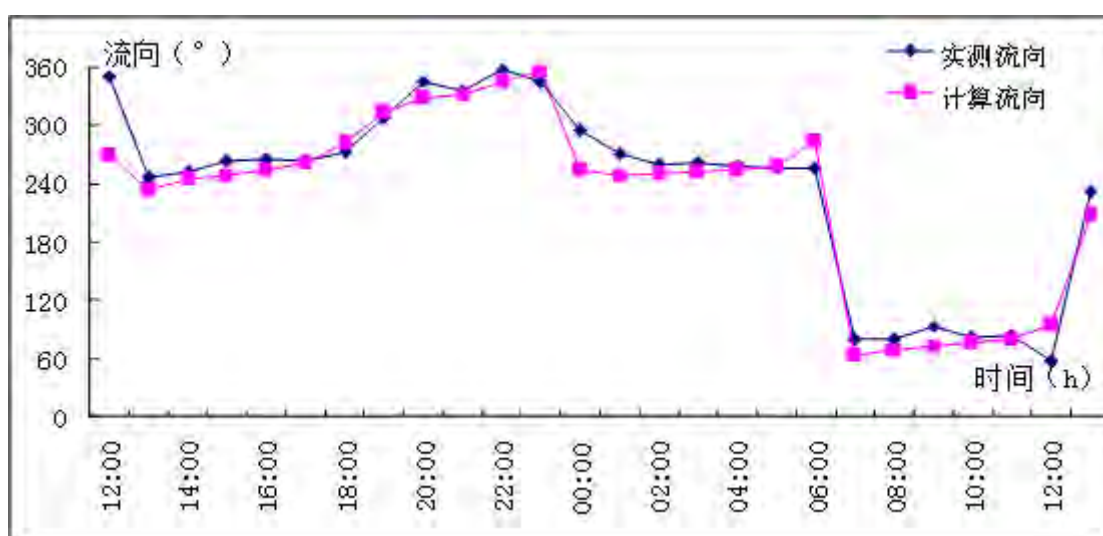


图 4.1.2-7 V7 站流速流向验证曲线 (2020 年 9 月 15 日~16 日)

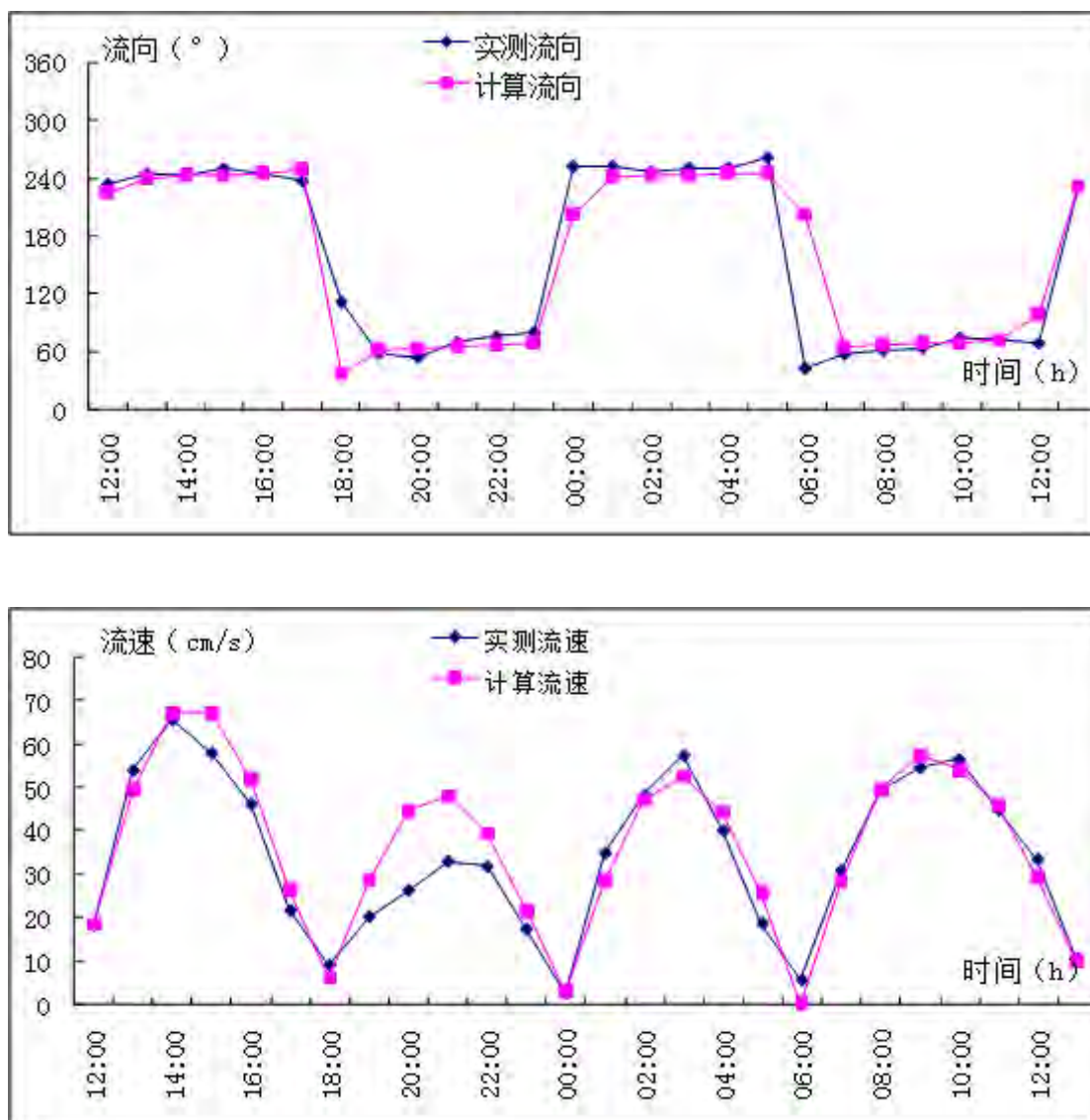


图 4.1.2-8 V8 站流速流向验证曲线 (2020 年 9 月 15 日~16 日)

4.1.3 水动力分析

为了分析项目所在区域的动力场变化情况，现绘出项目附近海区落急、涨急时刻的流场见图 4.1.3-1 至图 4.1.3-4。项目附近海域的潮流为不正规半日潮，在一个潮周期内有两次涨潮和两次落潮过程，受陆地边界的影响，落潮流流向基本为平行海岸线，即落潮流为西向东，涨潮流为由东向西上溯，在近岸区会受到局地岸线的影响而发生偏转。

由图 4.1.3-1 至图 4.1.3-4 可以看出，项目附近海域的潮差较小，潮流较弱，涨潮流最大只有 60cm/s 左右；落潮流最大可达到 65cm/s 左右，落潮流略大于涨潮流，流速最大的区域出现在防波堤的顶端，由于挑流作用而导致流速较大；而

防波堤的两侧，则由于受防波堤的阻挡，流速微弱，即本项目取水口和排水口所在的近岸海域，流速小，最大流速不超过 15cm/s。

大潮期最大流速在 60cm/s 左右，小潮期最大流速在 40cm/s 左右，取水口和排水口区域无论大小潮期流速都小于 15cm/s。

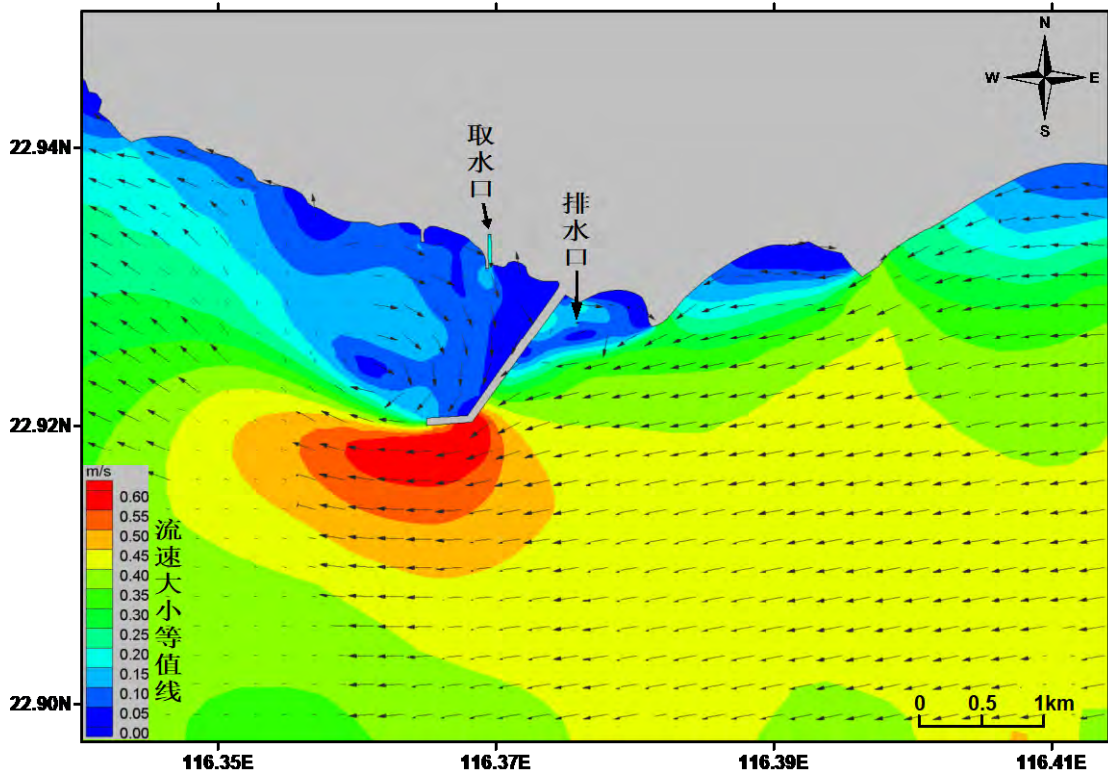


图 4.1.3-1 大潮期，项目附近海区涨急流场图

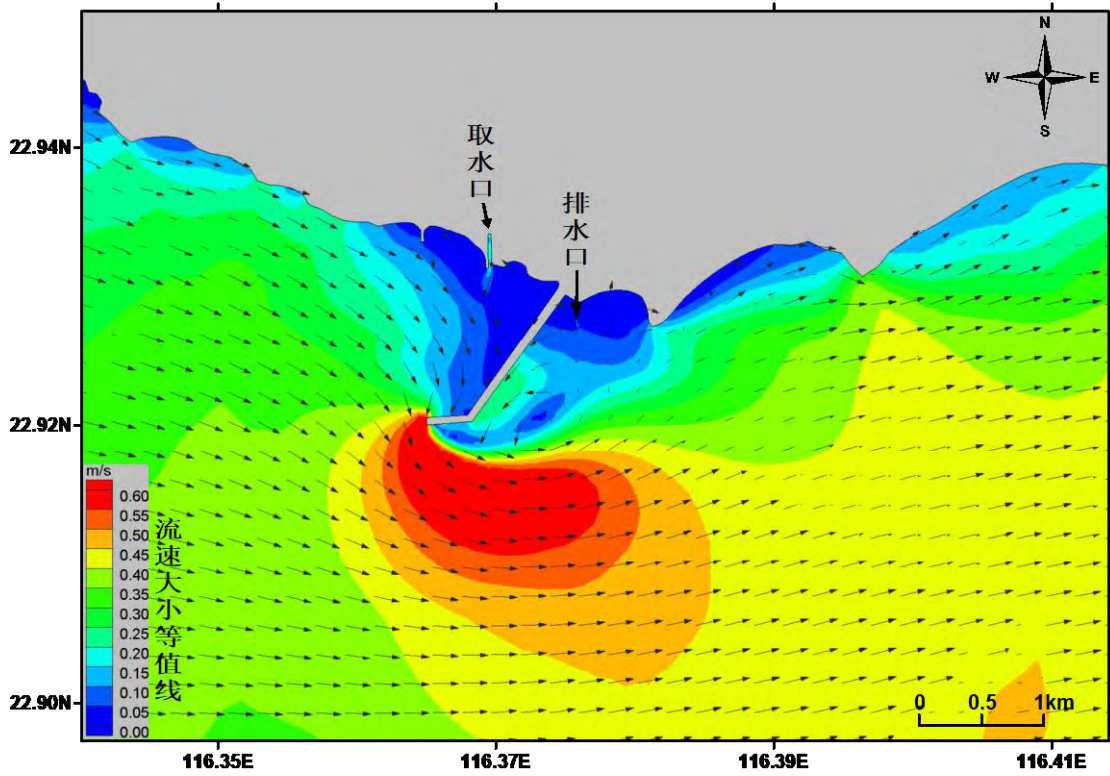


图 4.1.3-2 大潮期，项目附近海区落急流场图

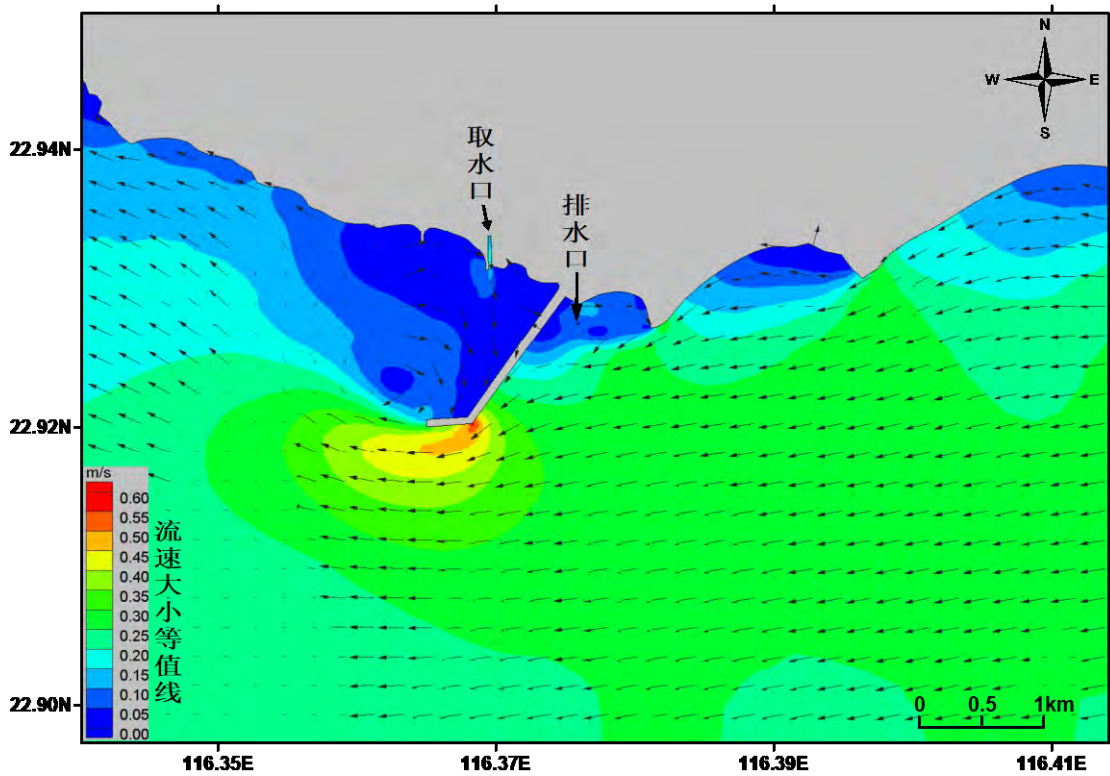


图 4.1.3-3 小潮期，项目附近海区涨急流场图

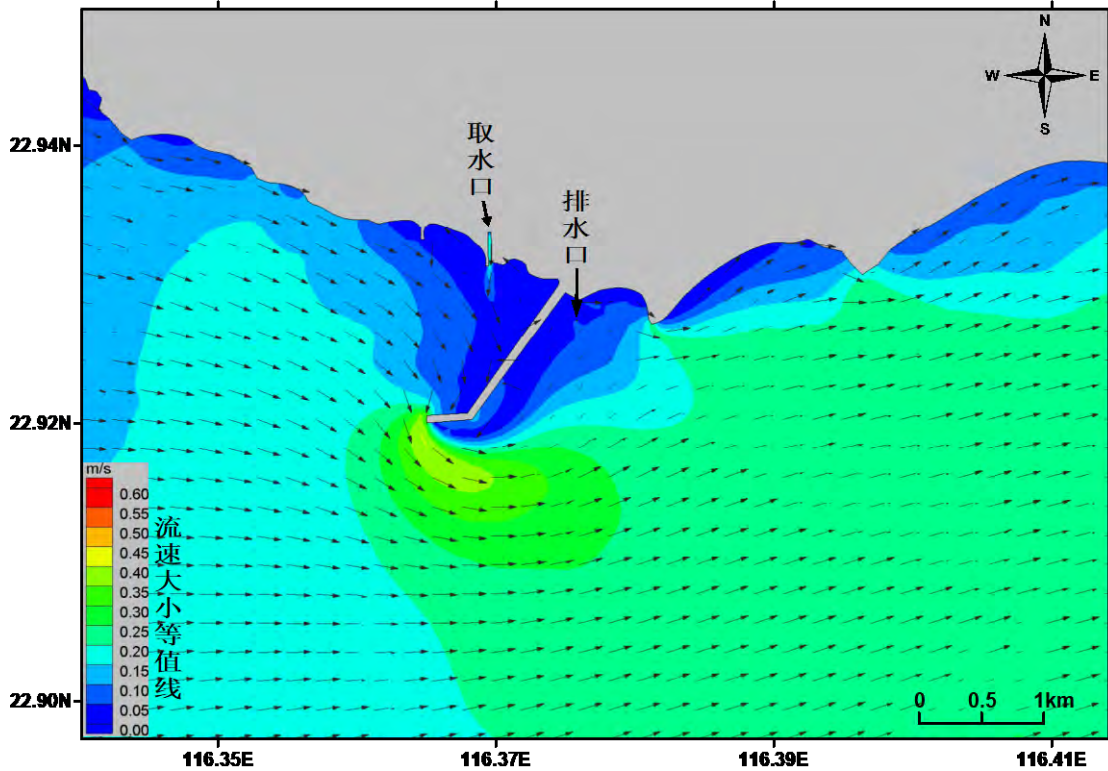


图 4.1.3-4 小潮期，项目附近海区落急流场图

4.2 项目冷排水对水环境的影响分析

4.2.1 冷排水模型的基本方程

项目所在海域位于近岸区，水深小于 10m，垂向混合作用较快，采用二维温度模型亦能反映项目区冷排水排放的特征。模型基本方程包括二维潮流模型和温度场模型方程。

连续方程和运动方程见（4.1-1）~（4.1-3）。

- 冷却水扩散方程为

温度对流扩散方程：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(HT)}{\partial t} + \frac{1}{C_\zeta C_\eta} \left[\frac{\partial}{\partial \zeta} (C_\eta H u T) + \frac{\partial}{\partial \eta} (C_\zeta H v T) \right] \\ & = \frac{1}{C_\zeta C_\eta} \left[\frac{\partial}{\partial \zeta} \left(HD_\zeta \frac{C_\eta}{C_\zeta} \frac{\partial T}{\partial \zeta} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(HD_\eta \frac{C_\zeta}{C_\eta} \frac{\partial T}{\partial \eta} \right) \right] - \frac{KsT}{\rho C_p} + qT_0 \end{aligned} \quad (4.2-1)$$

式中： T 为垂线平均温升值($^{\circ}\text{C}$)， H 为水深(m)， u 、 v 为 ζ 、 η 方向垂线平均流速(m/s)， D_{ζ} 、 D_{η} 为 ζ 、 η 方向的热扩散系数(m^2/s)， K_s 为水面综合散热系数($\text{Cal/s}\cdot\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$)， C_p 为水的比热($\text{Cal/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)， ρ 为水的密度(kg/m^3)， q 为热源的单位面积流量($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$)， T_0 为热源的温升($^{\circ}\text{C}$)。

$$\begin{aligned} D_{\zeta} &= D_L \frac{|u|}{\sqrt{u^2 + v^2}} + D_N \frac{|v|}{\sqrt{u^2 + v^2}} \\ D_{\eta} &= D_L \frac{|v|}{\sqrt{u^2 + v^2}} + D_N \frac{|u|}{\sqrt{u^2 + v^2}} \end{aligned} \quad (4.2-2)$$

DL: 纵向(沿水流方向)扩散系数;

DN: 横向(垂直水流方向)扩散系数。

4.2.2 定解条件

初始条件为:

$$\begin{aligned} u(t, x, y)|_{t=t_0} &= u_0(x, y) \\ v(t, x, y)|_{t=t_0} &= v_0(x, y) \\ \zeta(t, x, y)|_{t=t_0} &= \zeta_0(x, y) \\ \Delta T|_{t=0} &= 0 \end{aligned} \quad (4.2-3)$$

其中： u_0 、 v_0 、 ζ_0 、 ΔT 分别为初始流速潮位和温升值，通常取 u_0 、 v_0 、 ζ_0 为常数， t 表示某一时刻。

● 边界条件为

水流边界条件:

开边界 Γ_0 内: $u|_{\Gamma_0} = u(t, x, y)$

$$v|_{\Gamma_0} = v(t, x, y) \quad (4.2-4)$$

或者潮位边界条件: $\zeta|_{\Gamma_0} = \zeta(t, x, y)$ (4.2-5)

u 、 v 、 ζ 均为根据现场观测确定的已知量，分别可用流速过程线或潮位过程线确定。

在闭边界 Γ_c 上: $V_n = 0$

即法向流速为 0， n 为边界的外法向。

为了正确模拟河道和滨海浅滩在涨、落潮期间淹没及出露的不同状况，模型还采用动边界技术对计算水域进行模拟，将落潮期间出露的区域转化为滩地，同时形成新边界；反之将涨潮期间淹没的滩地转化成计算水域。

温度边界条件：

在开边界流出区域

$$\frac{\partial \Delta T H}{\partial T} + \frac{\partial u H \Delta T}{\partial x} + \frac{\partial v H \Delta T}{\partial y} = 0 \quad (4.2-6)$$

在闭边界，通常假定服从绝热条件， $\frac{\partial \Delta T}{\partial n} = 0$ ， \mathbf{n} 为边界的外法向。

4.2.3 计算参数

在冷却水数值计算中，影响温度扩散的因素主要是涡动扩散系数 D_x 、 D_y 以及水面综合散热系数 K_s 。

- 涡动扩散系数

涡动扩散系数是由于水流涡动造成的扩散，冷却水是一种热流，虽然热本身没有方向性，但它的扩散与水流的运动形式密切相关。按方向可分为沿水流方向和垂直水流方向的扩散系数 D_L 、 D_N ，根据相关研究成果，取 $D_L = 5 \text{m}^2/\text{s}$ ， $D_N = 5 \text{m}^2/\text{s}$ 。

- 水面综合散热系数

水面散热是热扩散的重要途径之一。按照热扩散的方式水面综合散热系数可表达为：

$$K_s = \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad \varphi = \varphi_{br} + \varphi_e + \varphi_c \quad (4.2-7)$$

其中 φ_{br} 为水面逆辐射热通量； φ_e 为水面与大气之间的紊动热交换； φ_c 为水面蒸发热通量； t 为水面温度。

对于 K_s 的选取尚没有完整的资料来确定，常用的办法是利用经验公式。目前比较常用的有 Gunneberg 公式，其考虑了风和海水的温度对热扩散的影响。

$$K_S = 2.27 * 10^{-7} (T_S + 273.15)^3 + (1.5 + 1.12U) * 10^{-3} * \left[(2501.7 - 2.366T_S) \frac{25509}{(T_S + 239.7)^2} * 10^{\frac{7.56T_S}{(T_S + 239.7)}} + 1621 \right] \quad (4.2-8)$$

T_S :水面温度； U :风速。

这些参数在珠江河口横门国电中山电厂温排水数模计算中进行了验证，验证结果表明模型计算参数取值合理，精度满足计算要求。

4.2.4 冷排水的计算工况

根据北京中咨华宇环保技术有限公司 2022 年 1 月编制的《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》，在两台海水泵运行，海水流量 13600m³/h，海水处理系统（含高压泵、再冷凝器、海水汽化器、冷排水）配备有海水温度在线监测仪，2022 年 1 月 1 日~1 月 20 日、1 月 26 日在线监测数据显示如下表：

表 4.2.4-1 温度在线监测数据（温度：°C）

监测日期	入口温度	出口温度	温差	监测日期	入口温度	出口温度	温差
1 月 1 日	15.9	13.2	2.7	1 月 11 日	15.7	13.1	2.6
1 月 2 日	15.8	13.1	2.7	1 月 12 日	15.6	13.0	2.6
1 月 3 日	15.7	14.5	1.2	1 月 13 日	15.4	12.4	3
1 月 4 日	15.6	14.7	0.9	1 月 14 日	15.5	12.8	2.7
1 月 5 日	15.7	14.4	1.3	1 月 15 日	15.3	12.4	2.9
1 月 6 日	15.8	14.6	1.2	1 月 16 日	15.3	12.5	2.8
1 月 7 日	15.7	14.3	1.4	1 月 17 日	15.3	12.6	2.7
1 月 8 日	15.6	14.3	1.3	1 月 18 日	15.4	12.5	2.9
1 月 9 日	15.7	14.3	1.4	1 月 19 日	15.3	12.7	2.6
1 月 10 日	15.8	13.7	2.1	1 月 20 日	15.3	12.5	2.8
				1 月 26 日	15.8	13.7	2.1

海水温度在线监测数据表明，现场冷排水温差最大为 2022 年 1 月 13 日，海水进水温度 15.4°C；海水排水温度 12.4°C，现场实测最大海水温差 3.0°C。海

水温差小于 5°C，满足环评限制（温差控制再 5°C 以内）要求。

根据海水温度在线监测数据，考虑 2022 年 1 月北京中咨华宇环保技术有限公司编制的《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告(送审稿)》“验收污染物排放标准为：国内海域冷排水排放温差及水中余氯浓度还没有相应的标准，本次验收参考 2002 年通过国家环境保护总局审批的《广东 LNG 接收站和输气干线项目一期工程环境影响评价报告书》中采纳的标准，排放口冷排水温差标准为 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 。”查阅相关资料，亦暂未发现国家和行业发布最新冷排水温降的污染排放控制标准。考虑最不利影响，本报告冷却水温降取 5°C。

现有工程海水排放量 13600m³/h，扩建工程完成后海水排放量增加 25800m³/h，即工程后海水流量增加至 39400m³/h。保守期间，本报告均按未采用冷能利用方案的排放量考虑。

根据项目的研究方案，设置工程前后 2 种冷排水方案进行计算。

(1)接收站现有排水量计算工况为：冷水排放量为 13600m³/h，温差取 5.0°C。

(2)接收站扩建工程后排水量计算工况为：冷水排放量为 39400m³/h，温差取 5.0°C。

4.2.5 冷排水计算结果分析

排水口水域的温度场分布，主要取决于排水口的位置、形式、出口流速、流量及接纳水域潮流流速、流态、本底温度等。随着潮流的变化，冷却水在排水口附近水域内形成的水温分布形态亦发生变化。

(1) 接收站现有排水量计算结果分析

接收站现有排水量计算的最大温差包络范围见图 4.2.4-1 和表 4.2.4-1。由温差的分布范围可知，温差对于防波堤的西侧影响很小，即冷排水受防波堤的阻挡，未能影响至取水口区域，其影响范围主要是防波堤的东侧近岸海域。

现状条件下，温差大于-1.0°C、-2.0°C、-3.0°C、-4.0°C的包络面积分别为 0.235km²、0.063km²、0.029km²、0.012km²。

(2) 接收站扩建工程后排水量计算结果分析

接收站扩建工程完成后，排水口冷排水排放量增加了 25800m³/h，即工程后海水流量增加至 39400m³/h。工程后的最大温差包络范围见图 4.2.4-2 和表 4.2.4-1。

工程后计算结果表明，温差对于防波堤的西侧影响较小，即冷排水受防波堤的阻挡，不会影响至取水口区域，其影响范围主要在防波堤的东侧和南侧近岸海域。

工程后温差大于 -1.0°C 、 -2.0°C 、 -3.0°C 、 -4.0°C 的包络面积分别为 0.572km^2 、 0.169km^2 、 0.069km^2 、 0.030km^2 。

工程前、后温差为 -1.0°C 、 -2.0°C 、 -3.0°C 、 -4.0°C 的最远影响距离见表 4.2.4-2。工程后温差大于 1.0°C 东、南、西、北方向的最远影响距离分别为 1.51km 、 0.91km 、 0.90km 、 0.20km 。

工程前、后计算结果表明，随着工程后冷排水量增加，最大温差影响面积和范围较工程前有所增加，受防波堤的阻挡作用，工程前、后温差的影响范围主要集中在排水口东侧，不会影响至取水口海域。工程后冷排水的超 1°C 最大影响范围也仅限于排放口两侧 0.572km^2 以内，对海水的影响范围是有限的和局部的。

我国海水水质标准仅规定一类、二类海水人为造成的海水温升夏季不超过当时当地 1°C ，其它季节 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ ；三类和四类海水人为造成的最大温升不超过当时当地 4°C ，海水水质标准中并未规定温降的标准，且本项目温差大于 1° 的范围已包含在冷排水海域使用权证范围内，因此不设置排污混合区。

表 4.2.4-1 工程后温差包络线特征值统计表

温差值	包络面积(km^2)	
	工程前	工程后
-1.0°C	0.235	0.572
-2.0°C	0.063	0.169
-3.0°C	0.029	0.069
-4.0°C	0.012	0.030

表 4.2.4-2 工程前后温差-1.0°C、-2.0°C、-3.0°C、-4.0°C最远影响距离统计表

温差值 (°C)	影响方向	工程前影响最大距离 (km)	工程后影响最大距离 (km)
-1.0	东	0.76	1.51
	南	0.39	0.91
	西	0.45	0.90
	北	0.14	0.20
-2.0	东	0.27	0.58
	南	0.19	0.45
	西	0.29	0.49
	北	0.13	0.18
-3.0	东	0.15	0.31
	南	0.11	0.30
	西	0.14	0.28
	北	0.08	0.12
-4.0	东	0.07	0.18
	南	0.07	0.19
	西	0.08	0.14
	北	0.05	0.05

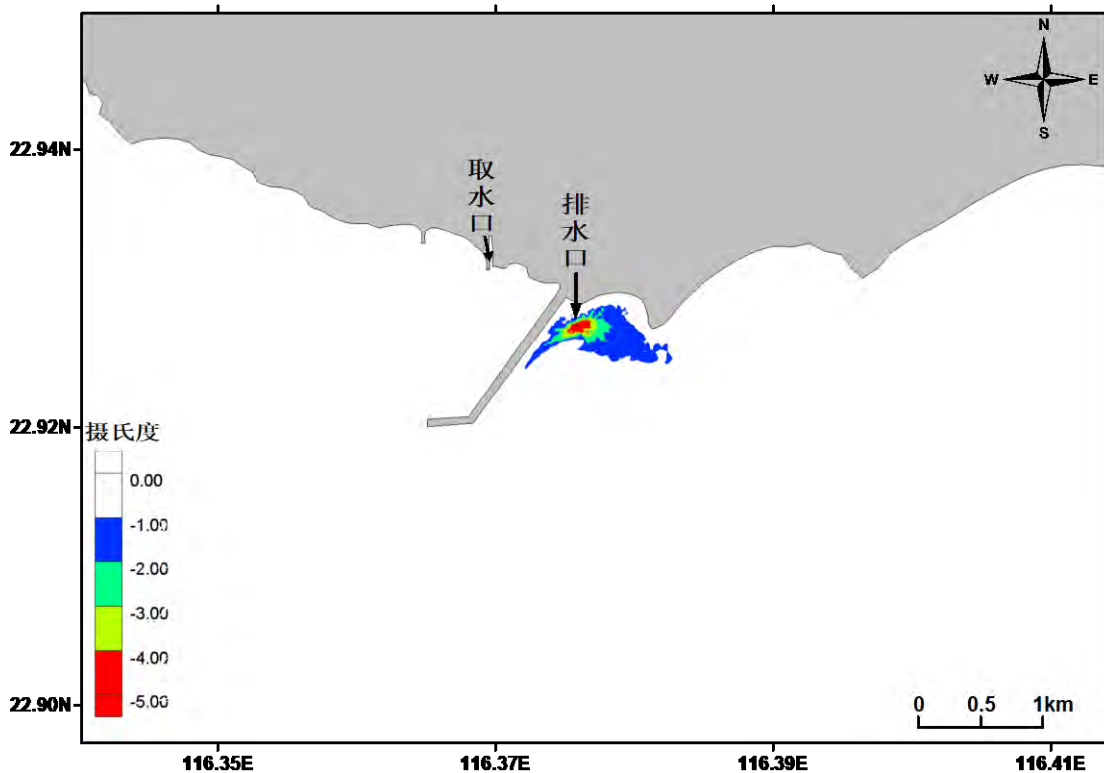


图 4.2.4-1 工程前，冷水排放计算 8 天后最大温差图

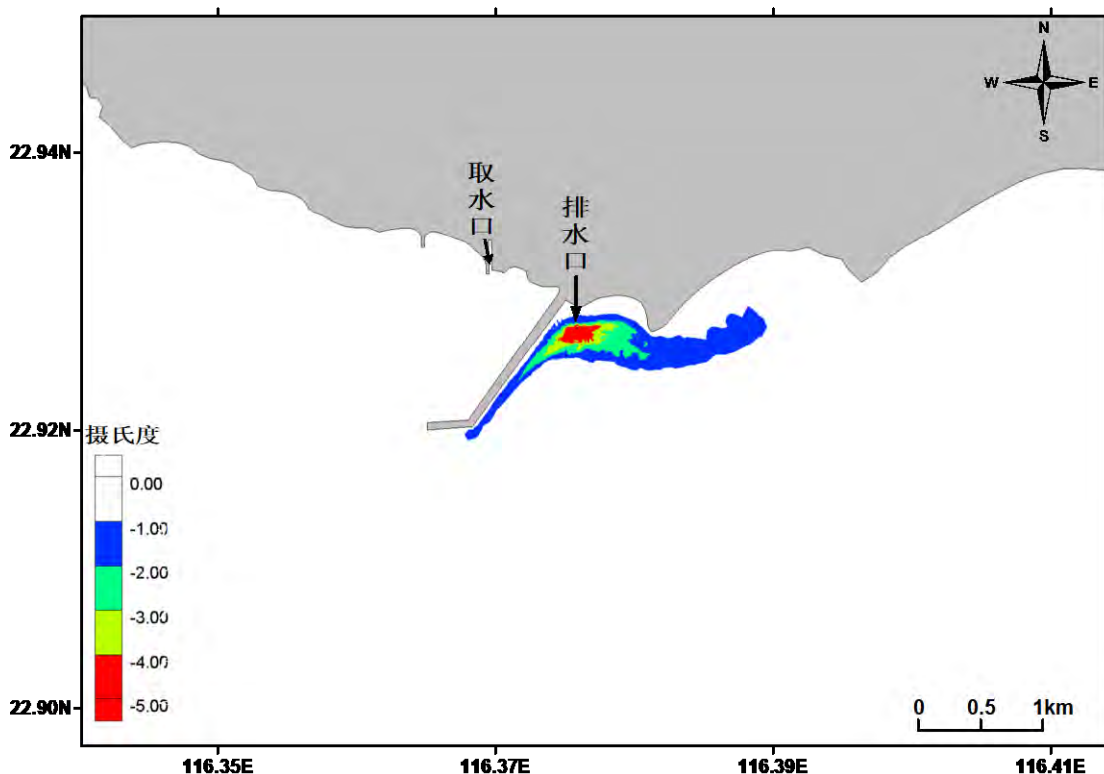


图 4.2.4-2 工程后，冷水排放计算 8 天后最大温差图

(3) 与原项目环评数模计算结果对比分析

《粤东 LNG 项目环境影响报告书》（中海石油环保服务（天津）有限公司，2010 年 11 月）中冷排水排水量取 $15600\text{m}^3/\text{h}$ ，排水口温差 3.449°C ，温降超 1°C 、超 2°C 和超 3°C 的海域面积分别为 0.0477 km^2 ， 0.0091 km^2 和 0.0017 km^2 ，温降面积无超 4°C 的海域。

本次模拟与原项目环评《粤东 LNG 项目环境影响报告书》（中海石油环保服务（天津）有限公司，2010 年 11 月）的温差排放相比，冷排水扩散范围增大，主要原因在于本次模拟中排水口温差为 5°C ，而原项目环评排水口温差为 3.449°C ，因此本次冷排水数模计算结果的温差扩散范围较原环评扩散范围大。

4.3 余氯对海水水质环境的影响分析

LNG 接收站工艺废水为连续产生的冷海水，为防止冷凝器附着生物形成绝热层，影响冷却效果甚至堵塞冷却系统，需定时向循环冷却水中加入一定量的物质，以清除管道中附着的生物。现有工程采用电解制氯系统，制取次氯酸钠溶液，从而致使冷却水中含有余氯。

余氯对水生生物毒性较大，主要是破坏水生生物从水中获取溶解氧的能力。Morgan(1978 年)总结了一些美国电站运行中所观察到的氯化处理后的影响，对浮游植物的影响比较明显。0.1~0.7mg/L 的氯，可使生产力下降 50~90%，余氯为 0.25~0.75mg/L 时，可造成 50%的浮游动物死亡，鱼的安全耐受限值为 0.3mg/L。当含有余氯的冷却水注入邻近水域，将会对受纳水体的生态环境造成影响。采用数值模拟方法对余氯的影响范围、程度进行预测。

4.3.1 冷排水中余氯数学模型

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(HCu)}{\partial x} + \frac{\partial(HCv)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x}(HD_x \frac{\partial C}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(HD_y \frac{\partial C}{\partial y}) = HS_e + HS_i \quad (4.3-1)$$

式中：C ——余氯浓度；

H ——水深；

u、v ——分别对应于 x、y 方向的深度平均流速；

D_x 、 D_y ——x、y 方向上的扩散系数；

S_e ——物理过程源汇项；

S_i ——内部化学反应源汇项。

目前余氯衰减机理还不非常明确，许多学者进行大量研究，提出了经验和半经验的氯衰减动力学模型。一般的将余氯衰减假设为一级反应，其模型如下：

$$\frac{dC}{dt} = -KC \quad (4.3-2)$$

式中：C ——余氯浓度；

K ——衰减系数。

$$\text{所以 } S_e + S_i = M - KC \quad (4.3-3)$$

其中 M 为污染源单位体积的排放速率。

边界条件：

$$\text{陆边界： } D_x \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (4.3-4)$$

$$\text{开边界： } C = 0 \quad \text{入流段}$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + v_x \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad \text{出流段} \quad (4.3-5)$$

初始条件: $t = 0$; $C = 0$

4.3.2 参数选取

(1) 余氯衰减系数的确定

为了确定余氯衰减系数，水科院曾于 1997 年在华能上海石洞二电厂现场进行了余氯衰减系数的实验，本次余氯计算采用的系数，参照、类比该实验结果。表 4.3.2-1 为自来水中余氯实验室内外衰减测定结果。

表 4.3.2-1 自来水中余氯实验室内外衰减测定值

序号	时间(h)	余氯(mg/L)		序号	时间(h)	余氯(mg/L)	
		实验室内	实验室外 (阳光下)			实验室内	实验室外 (阳光下)
1	0.0	0.37	0.37	13	6.0	0.29	0.11
2	0.5		0.30	14	7.0	0.28	0.10
3	1.0	0.35	0.29	15	8.0	0.27	0.10
4	1.5		0.24	16	9.0	0.26	0.09
5	2.0	0.33	0.20	17	10.0	0.25	0.09
6	2.5		0.18	18	22.0	0.17	0.04
7	3.0	0.32	0.16	19	23.0	0.16	0.03
8	3.5		0.15	20	25.0	0.15	0.02
9	4.0	0.31	0.14	21	27.0	0.14	0.02
10	4.5		0.13	22	29.0	0.13	0.00
11	5.0	0.30	0.12	23	48.0	0.08	
12	5.5		0.11	24	56.0	0.05	

室内实验水温为 20℃、室外实验水温为 25℃，pH 值为 7.6

从室内、外的实验结果比较可知，日照、温度对自来水中余氯的衰减有显著影响。在阳光下，余氯衰减速度大大加快，说明自来水中余氯的衰减主要是次氯酸及其盐的自身分解，次氯酸在光照、温度升高等条件下，易分解为 HCl 和 O₂，而使余氯消失。表 4.3.2-2 为不同条件下余氯衰减时间。

表 4.3.2-2 余氯衰减时间的比较

衰减所用时间	上海石洞二电厂	实验室外(阳光下)	实验室内
衰减 50%所用时间(h)	0.5	2.0	18.0
衰减 90%所用时间(h)	1.8	22.0	56.0

北京国电华北电力工程有限公司在进行黄骅电厂一期工程环境影响评价时，参照以上两组实验，确定余氯的半衰期为 1.5h，本次评价亦采用此值，取余氯的半衰期为 1.5h。

(2) 余氯源强的确定

根据 2022 年 1 月北京中咨华宇环保技术有限公司编制的《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》“验收污染物排放标准为：国内海域冷排水排放温差及水中余氯浓度还没有相应的标准，本次验收参考 2002 年通过国家环境保护总局审批的《广东 LNG 接收站和输气干线项目一期工程环境影响评价报告书》中采纳的标准，本项目余氯排放浓度参考世界银行 1998 年 7 月实施的《污染防治手册》中对热电站废水污染物排放限制的规定，当 24h 最多只排水 1 次，排放时间达 2h 时，总余氯的最大允许排放浓度为 2mg/l，24h 连续排放的最大允许排放浓度为 0.2mg/l。根据本工程排水特征，本项目排水中余氯的最大浓度限制为 0.2mg/l。”查阅相关资料，亦暂未发现国家和行业发布最新余氯含量的污染排放控制标准。进行预测时，从保守的角度出发，本报告余氯入海浓度取 0.2mg/L，LNG 气化海水现状排放量为 13600m³/h，扩建工程完成后海水流量增加 25800m³/h，即工程后海水流量增加至 39400m³/h。

(3) 余氯浓度预测计算方法

浓度计算的时间步长为 20s，在所有预测的潮周期 T（T 为 8 天，已包括大潮，中潮，小潮三个潮期）中，每隔 15 分钟输出一个计算结果，即每个网格点可获得 T*1440/15 个浓度数据。浓度增量指的是该网格点上所有 T*1440/15 个数据中的最高瞬时浓度，等值线分布图为各点最高浓度瞬时值的连线。

4.3.3 预测内容

预测内容分为 2 个工况进行排水口余氯浓度预测。

①接收站现有工程：排水量为 13600m³/h，余氯排放浓度取 0.2 mg/L。

②接收站扩建工程后：现有排水量加扩建工程排放总量 39400m³/h，余氯排放浓度取 0.2 mg/L。

保守期间，本报告均按未采用冷能利用方案的排放量考虑。

4.3.4 余氯影响预测

(1) 余氯影响预测结果

工程前余氯预测结果见图 4.3.4-1 和表 4.3.4-3，工程后余氯预测结果见图 4.3.4-2 和表 4.3.4-3。

表 4.3.4-1 余氯预测结果

余氯	现有工程	现有+增建工程
排水量(m ³ /s)	13600m ³ /s	39400m ³ /s
排放浓度(mg/L)	0.2	0.2
排水口最高浓度(mg/L)	0.173	0.182
超 0.01mg/L 面积(km ²)	0.348	0.665
超 0.02mg/L 面积(km ²)	0.170	0.318

表 4.3.4-2 余氯浓度大于 0.01 mg/L、0.02 mg/L 包络线的最远影响距离

余氯浓度	影响方向	现有排放量，影响最大距离 (km)	扩建后排放量，影响最大距离 (km)
>0.01mg/L	东	0.92	1.41
	西	0.73	1.29
	南	0.72	0.91
	北	0.16	0.16
>0.02mg/L	东	0.51	0.85
	西	0.42	0.65
	南	0.34	0.59
	北	0.15	0.13

由于目前水质标准中没有规定余氯的限值，本文根据已有的研究成果 0.02mg/L 为安全阈值，因此取 0.02mg/L 为评价限值。由计算结果可知，现有工

程排放口余氯最大浓度为 0.173mg/L，超 0.01mg/L 的包络线面积为 0.348km²，超 0.02mg/L 包络线的面积为 0.170km²；接收站外输能力扩建工程后（扩建工程叠加现有工程）排放口最大浓度为 0.182mg/L，超 0.01mg/L 的包络线面积为 0.665km²，超 0.02mg/L 包络线的面积为 0.318km²。

现有排放量条件下，余氯浓度大于 0.01mg/L 的增量值在排水口在东、西、南、北 4 个方向的最远扩散距离分别为 0.92 km、0.73 km、0.72 km、0.16 km；余氯浓度大于 0.02mg/L 的增量值在排水口的东、西、南、北 4 个方向的最远扩散距离分别为 0.51 km、0.42 km、0.34 km、0.15 km。

接收站外输能力扩建工程后（扩建工程叠加现有工程）废水排放量排放条件下，余氯浓度大于 0.01mg/L 的增量值在排水口的东、西、南、北 4 个方向的最远扩散距离分别为 1.41 km、1.29 km、0.91 km、0.16 km；余氯浓度大于 0.02mg/L 的增量值在排水口的东、西、南、北 4 个方向的最远扩散距离分别为 0.85 km、0.65 km、0.59 km、0.13 km。

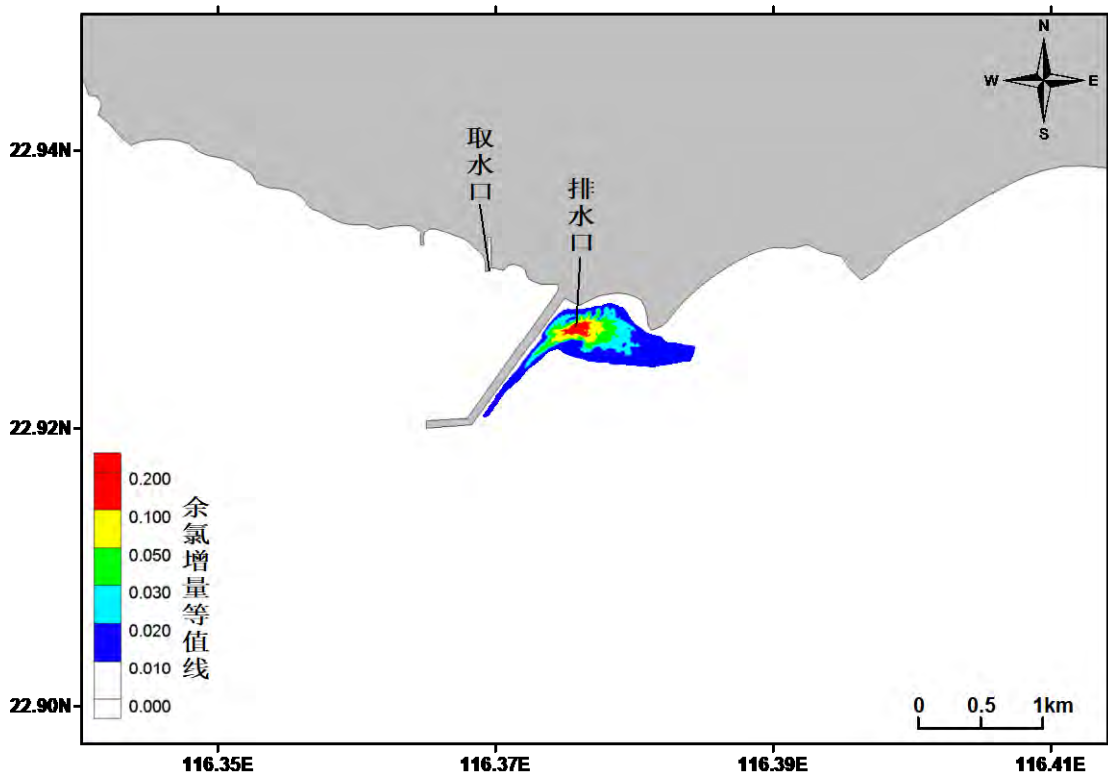


图 4.3.4-1 现有废水排放量情况下余氯浓度预测分布图

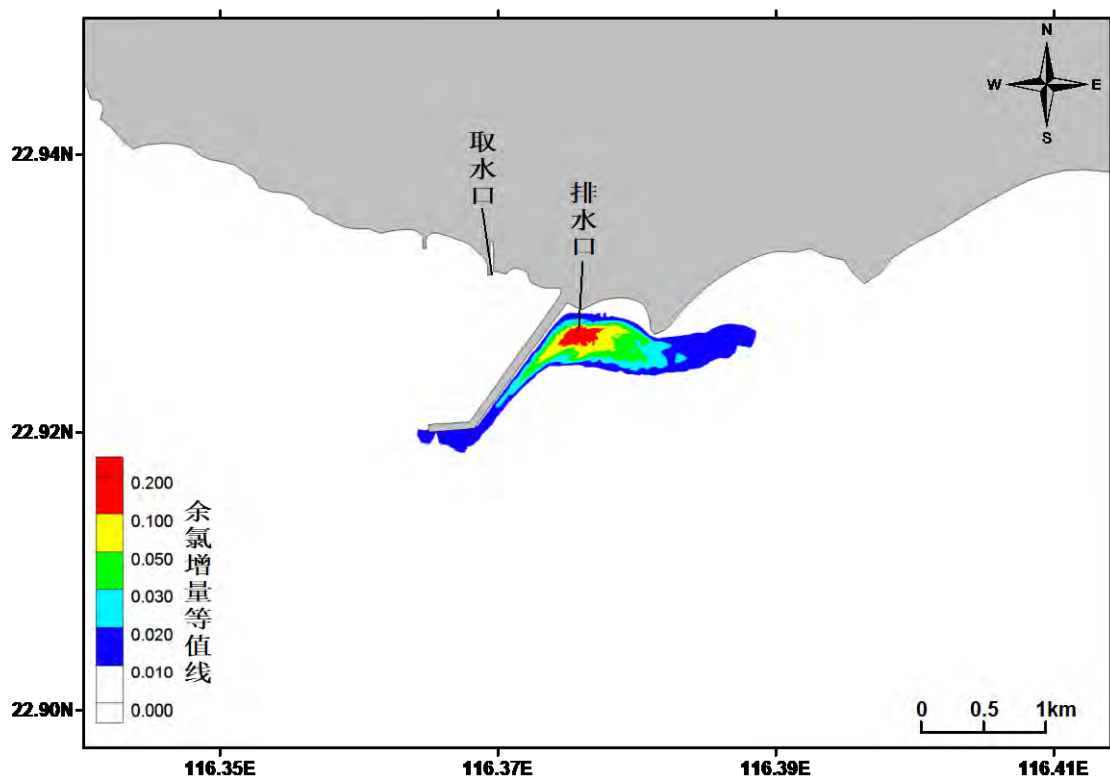


图 4.3.4-2 接收站外输能力扩建后废水排放量情况下余氯浓度预测分布图

(2) 与原项目环评数模计算结果对比分析

《粤东 LNG 项目环境影响报告书》(中海石油环保服务(天津)有限公司, 2010 年 11 月)中余氯预测中排水量取 $15600\text{m}^3/\text{h}$, 排放浓度 0.2mg/L , 超 0.02mg/L 包络线的面积为 0.156km^2 。与本次余氯数模计算中的接收站现有工程排水量 $13600\text{m}^3/\text{h}$ 余氯的扩散包络范围模拟结果相近。

4.4 对水生态的影响分析

4.4.1 冷排水和余氯排放对海洋生态的影响分析

4.4.1.1 冷排水对海洋生态影响分析

冷海水排入海域后, 在水动力条件的作用下, 经过扩散稀释的散热过程, 冷海水水团的温度迅速升高, 与此同时, 排放口附近一定范围内的海洋环境水体水温则有不同程度的下降。

海水温度的改变将影响海洋生物的新陈代谢, 影响其呼吸、代谢速率, 生长、繁殖等功能。各种海洋生物都有一定的正常生长温度范围及最佳温度范围, 它们对温度的突然变化的忍受能力很有限, 且海洋生物对温度的耐受幅度比陆地或淡水生物小得多。大多数海洋生物的生命最适温度是接近最大耐受温度界限(温度

上限)；而在温度下限这一侧的耐受能力比在上限一侧大，也就是说，低温对生命的破坏作用在某些方面不如高温的大。

当环境水体水温下降超过海洋生物生长的适宜温度范围时，可能导致海洋生物生长受到抑制或死亡；如果环境水体温度下降在海洋生物生长的适温范围内，则基本不会影响海洋生物的生长和繁殖，在某些条件下，还可能促进海洋生物的生长和繁殖。环境水温越接近生物种最适水温，温降引起的种群丰度改变越小，越接近极限水温，则微小温降也可能造成较大的后果。因此，冬季冷效应对水生生物影响将比其他季节来得明显。

目前，国内外尚很少有温降对海洋生物影响的研究和报道。由于任何海洋生物都有一定的温度适应范围，从该意义上讲，温升对海洋生物的影响，可为预测温降对生物的影响提供借鉴。因此，本报告在分析温降对海洋生物的影响时，主要参照温升的影响。

①对浮游生物的影响

浮游生物不仅是某些鱼、虾、贝类的饵料生物，同时它的数量的多寡决定了海域初级生产力的大小，从而能影响渔业资源的潜存量。

根据国外有关的研究，水温升高大于 $6^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$ 时，在夏季仅引起浮游植物光合作用的活性减弱，这种现象并未破坏藻类的细胞，经过几个小时(不超过一昼夜)，浮游植物的光合作用就能恢复。对浮游动物而言，水体温升小于 3°C 时，多数情况下不会对其种群有不利影响。

②对鱼类的影响分析

鱼类在不同的发育阶段往往对温度条件有不同的要求，繁殖和发育时期的要求特别严格，许多海洋动物产卵对水温都有严格的要求。有的时候海洋动物能在某一海区生活，但由于不能满足繁殖和发育所要求的条件(包括适宜温度及持续的时间)，这些动物在这一海区就不能完成繁殖和发育，因而有所谓生殖区和不育区之别。

一方面，如果水温低于适温范围，将会抑制鱼类的新陈代谢和生长发育，如果超过其忍受限度，还将会导致死亡。另一方面，鱼类能感受到环境水温的微弱变化，对低于适温范围的低温水体，具有回避反应，这使许多鱼类进行远距离的

适温洄游，这种回避现象排除了冬季幼鱼和成鱼收到冷威胁的可能性。此外，水温的变化会影响鱼类的产卵，影响渔期的迟早、渔场的变动，影响渔获量。

在夏季，适当的温度降低，对鱼类的生存是有利的，而在冬季的温降，对鱼类的生长是不利的。在温降为 4°C~5°C 的区域，冬季渔获量将变低，而夏季则将有所恢复；在温降为 2°C~3°C 的区域，冬季将出现低渔获量，但夏、春季出现高渔获量；而温降低于 2°C 的区域的影响将不明显。

4.4.1.2 余氯排放对海洋生态的影响分析

冷海水中的残余氯对许多生物产生毒害作用，主要表现在两个方面：一是对被卷吸入气化系统的生物，氯化海水就是要达到防止其中的附着生物等在取排水管道系统内的附着生长的目的；二是在冷海水排入周围海域后对周围水体中生物的影响，这是氯化处理的负面作用。

残余氯对生物有害影响取决于多种因素，其中主要的是残余氯含量的高低、生物种类本身对余氯的敏感性或者说它抵抗余氯的毒害作用的能力、接触时间的长短和海水的温度，此外还有多种环境因素，如生物饵料的供应，pH 等也都起着重要作用。

冷却水从取水口到排海口的过程中，细菌在与 0.2mg/L~0.5mg/L 残余氯接触 5min~20min 后，其活性将很大程度的降低；浮游植物如骨条藻和角刺藻在 0.6 mg/L 和 0.4 mg/L 残余氯作用下经过 2min 和 24h，其生长率下降 50%；浮游动物中纺锤水蚤属在与 0.75 mg/L 残余氯接触 2min 后死亡 30%~70%。Saravance1998 年的研究表明，浮游植物经过核电站的含氯水处理后，种群个体数减少，光和作用和呼吸作用受到抑制。（李沫）余氯对浮游植物的影响，间接地影响了本海域的海洋初级生产力。

某些仔鱼对残余氯十分敏感，例如鲷鱼鱼苗在 0.3 mg/L 残余氯作用下仅 5min 即处于临界死亡状态，不过鳎鱼幼虫在 0.25 mg/L 残余氯作用下须经过 72h 才达到临界死亡状态，宽额虾受 0.24mg/L 氯作用时在 96h 内半数死亡。平鲷、黑鲷对余氯胁迫的敏感性远大于斑节对虾，这可能是因为余氯对水生动物的毒性机制主要是破坏动物从水中吸取溶解氧的能力。Cohen 等的研究发现余氯对鱼的鳃器官有损伤作用，本研究亦发现余氯对鲷鱼的耗氧率有明显的抑制作用，而对斑节对虾吸氧能力的损伤可能较小。

由于成鱼和虾对余氯的毒性有趋避能力，抵御能力也较强，因此不致受其影响。幼体对毒性的敏感性较大，趋避能力弱，必须考虑它们在电站余氯排放的羽流影响范围内所受的影响，尤其是贝类底栖动物受精卵或幼体，由于其基本无趋避能力，长时间处于一定余氯浓度的海水环境下，即使浓度较低，也可能会有有一定的影响。

4.4.2 附近海域水生态敏感区

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》的管理要求，排水口周边海域海洋环境保护目标为“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”。根据现场调查和资料收集情况，入海排水口所在位置不属于海洋自然保护区、重要渔业水域、海滨风景名胜区和需要特别保护的区域，入海排水口的生态敏感目标有：神泉海洋保护区、前詹海洋保护区、澳角娱乐旅游区、惠来县人工鱼礁重要渔业海域限制类红线区、神泉芦园湾重要滨海旅游区限制类红线区、前詹重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区、神泉珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区、前詹珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区、幼鱼幼虾保护区和幼鱼繁育场保护区。海洋生态敏感区的相对位置和最近距离见图 4.4.2-1 和表 4.4.2-1。

主要海洋生态敏感区概况：

（1）神泉海洋保护区

神泉海洋保护区位于本工程西南侧约 4.9km 处；根据《广东省海洋功能区划》（2011—2020），神泉海洋保护区序号为 233，代码为 B6-33，功能区类型为海洋保护区。范围为：116°18'47"E/22°54'46"N、116°20'12"E/22°54'46"N、116°18'48"E/22°53'36"N、116°20'12"E/22°53'37"N，总面积 513.7 公顷，保护对象为石斑、鲷科鱼类、鲍鱼、西施舌等海洋渔业资源。

海域使用管理要求：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。

海洋环境保护要求：1、保护人工鱼礁礁体及海域生态环境；2、加强保护区海洋生态环境监测；3、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。

（2）前詹海洋保护区

前詹海洋保护区位于本工程东侧约 3.9km 处；根据《广东省海洋功能区划》（2011—2020），神泉海洋保护区序号为 234，代码为 B6-34，功能区类型为海洋保护区，面积约 2394 公顷。原保护区建立于 2004 年，主要保护对象为海龟、鲎，范围为：116°26'00"E/22°55'59"N、116°29'00"E/22°56'00"N、116°26'00"E/22°54'26"N、116°29'00"E/22°55'35"N，面积为 934.6 公顷。海龟和鲎属广东省重点保护水生野生动物。

海域使用管理要求：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；3、禁止炸岛等破坏性活动。

海洋环境保护要求：1、保护龙虾、海龟、鲎及其生境，保护人工鱼礁礁体及礁盘生态系统；2、加强保护区海洋生态环境监测；3、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。

（3）澳角娱乐旅游区

澳角娱乐旅游区（现名惠来海滨度假村）位于本工程西北侧约 5.4km 处，位于惠来县神泉镇华家村至溪东村一带海滨，拥有长约 3000 米的海滨浴场柔沙绵绵，水清滩缓，空气清新，环境优雅，可观大海、看日出、赏明月、避酷暑，它风光旖旎、看海听浪，并具备完善的休闲服务设施，是惠来县乃至广东省内不可多得的海滨浴场。

（4）惠来县人工鱼礁重要渔业海域限制类红线区

惠来县人工鱼礁重要渔业海域限制类红线区位于本工程西南侧约 2.1km 处；根据《广东省海洋生态红线》（2017 年），惠来县人工鱼礁重要渔业海域限制类红线区类型为重要渔业海域，代码为 44-Xe28，管控类别为限制类，地理位置为 116°17'32.56"-116°21'47.13"E，22°52'0.28"-22°54'47.24"N，面积为 32.03km²，海岸线长度为 0km；生态保护目标为人工鱼礁和渔业资源。

管控措施：禁止围填海、截断洄游通道、水下爆破施工及其他可能会影响渔业资源育幼、索饵、产卵的开发活动，禁止破坏性捕捞方式，严格执行禁渔期、禁渔区制度以及渔具渔法规定，禁止倾废、排放有毒、有害物质，禁止新设排污口。

环境保护要求：严格执行海水水质标准和海洋沉积物质量要求，防治污染，改善现有海水环境质量状况。不改变或基本不改变原有水动力环境，保护海洋生态系统。合理控制养殖规模和密度，改善养殖结构，加强渔业资源的保护与修复。

(5) 神泉芦园湾重要滨海旅游区限制类红线区

神泉芦园湾重要滨海旅游区限制类红线区位于本工程西侧约 3.5km 处；根据《广东省海洋生态红线》（2017 年），神泉芦园湾重要滨海旅游区限制类红线区类型为重要滨海旅游区，代码为 44-Xj26，管控类别为限制类，地理位置为 116°20'1.38"-116°21'13.23"E，22°55'58.16"-22°56'44.05"N，面积为 1.19km²，海岸线长度为 6.25km；生态保护目标为砂质岸线及海域生态环境。

管控措施：禁止围填海，依据海域生态环境承载力，控制旅游区开发强度；实行海洋垃圾巡查清理制度，有效清理海洋垃圾；禁止从事可能改变和影响滨海旅游的开发建设活动，对受损海岸生态环境进行修复；严格保护砂质海岸与基岩海岸。

环境保护要求：生产废水、生活污水须达标排放；加强海域生态环境监测；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。

(6) 前詹重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区

前詹重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区位于本工程东侧约 1.5km 处；根据《广东省海洋生态红线》（2017 年），前詹重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区类型为重要砂质岸线及邻近海域，代码为 44-Xh23，管控类别为限制类，地理位置为 116°24'17.54"-116°26'30.13"E，22°55'45.02"-22°56'31.11"N；面积为 3.14km²，海岸线长度为 4.38km；生态保护目标为砂质岸线。

管控措施：禁止实施可能改变或影响沙滩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和围填海活动。在砂质海岸向海一侧禁止采挖海砂、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，加强海漂和海岸垃圾整治，加强沿海防护林建设和养护。

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。

(7) 神泉珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区

神泉珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区位于本工程西南侧约 4.9km 处；根据《广东省海洋生态红线》（2017 年），神泉珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区类型为珍稀濒危物种集中分布区，代码为 44-Xk06，管控类别为限制类，地理位置为 116°18'46.97"-116°20'10.75"E，22°53'38.36"-22°54'46.83"N，面积为 4.91km²，海岸线长度为 0km；生态保护目标为西施舌及海域生态环境。

管控措施：禁止实施对濒危物种有影响的开发建设活动。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。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：禁止新设污染物集中排放口，禁止倾倒废物或排放有毒、有害物质，海水水质、海洋生物质量、沉积物等维持现状，保持海洋水文动力维持原状。

（8）前詹珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区

前詹珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区位于本工程东侧约 1.1km 处；根据《广东省海洋生态红线》（2017 年），前詹珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区类型为珍稀濒危物种集中分布区，代码为 44-Xk07，管控类别为限制类，地理位置为 116°24'10.63"-116°32'18.22"E，22°46'55"-22°55'59.84"N，面积为 221.75km²，海岸线长度为 0km；生态保护目标为保护龙虾、海龟、鲨及其生境。

管控措施：禁止实施对濒危物种有影响的开发建设活动。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。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：禁止新设污染物集中排放口，禁止倾倒废物或排放有毒、有害物质，海水水质、海洋生物质量、沉积物等维持现状，保持海洋水文动力维持原状。

（9）幼鱼幼虾保护区

根据《中国海洋渔业水域图（第一批）》（农业部第 189 号公告）中的“图 4 南海国家级及省级保护区分布示意图”（见图 5.4.2-2），本项目位于南海区幼鱼幼虾保护区内，主要保护目标为幼鱼、幼虾等。南海区幼鱼幼虾保护区包括粤

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，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日。

(10) 幼鱼繁育场保护区

根据《中国海洋渔业水域图（第一批）》（农业部第 189 号公告）中的“图 6 南海北部幼鱼繁育场保护区示意图”（见图 5.4.2-3），本项目位于南海北部幼鱼繁育场保护区内，主要保护目标为幼鱼等，位于南海北部及北部湾沿岸 40 米等深线，保护期为 1-12 月。

表 4.4.2-1 海洋环境保护目标

序号	类型	名称	保护对象	相对位置	设立机构及设立时间	备注
1	海洋保护区	神泉海洋保护区	人工礁体及海域生态	西南侧, 约4.3km	广东省人民政府 2012年11月	广东省海洋功能区划 (2011—2020)
2		前詹海洋保护区	虾、海龟、鲎及海域生态	东侧, 约5.8km	广东省人民政府 2012年11月	广东省海洋功能区划 (2011—2020)
3	旅游度假区	澳角娱乐旅游区	水质	西北侧, 约4.4km	揭阳市人民政府 2010年	/
4	生态红线区	惠来县人工鱼礁重要渔业海域限制类红线区	生态系统	西南侧, 约2.1km	广东省人民政府 2017年9月	广东省海洋生态红线(2017年)
5		神泉芦园湾重要滨海旅游区限制类红线区	生态系统	西侧, 约2.5km	广东省人民政府 2017年9月	广东省海洋生态红线(2017年)
6		前詹重要砂质岸线及邻近海域限制类红线区	生态系统	东侧, 约2.9km	广东省人民政府 2017年9月	广东省海洋生态红线(2017年)
7		神泉珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区	生态系统	西南侧, 约4.3km	广东省人民政府 2017年9月	广东省海洋生态红线(2017年)
8		前詹珍稀濒危物种集中分布区限制类红线区	生态系统	东侧, 约2.9km	广东省人民政府 2017年9月	广东省海洋生态红线(2017年)
9	渔业资源	幼鱼幼虾保护区	水质	占用	中华人民共和国农业部 2002年2月8日	中国海洋渔业水域图(第一批) (农业部第189号公告)
10	养护	幼鱼繁育场保护区	水质	占用	中华人民共和国农业部 2002年2月8日	中国海洋渔业水域图(第一批) (农业部第189号公告)

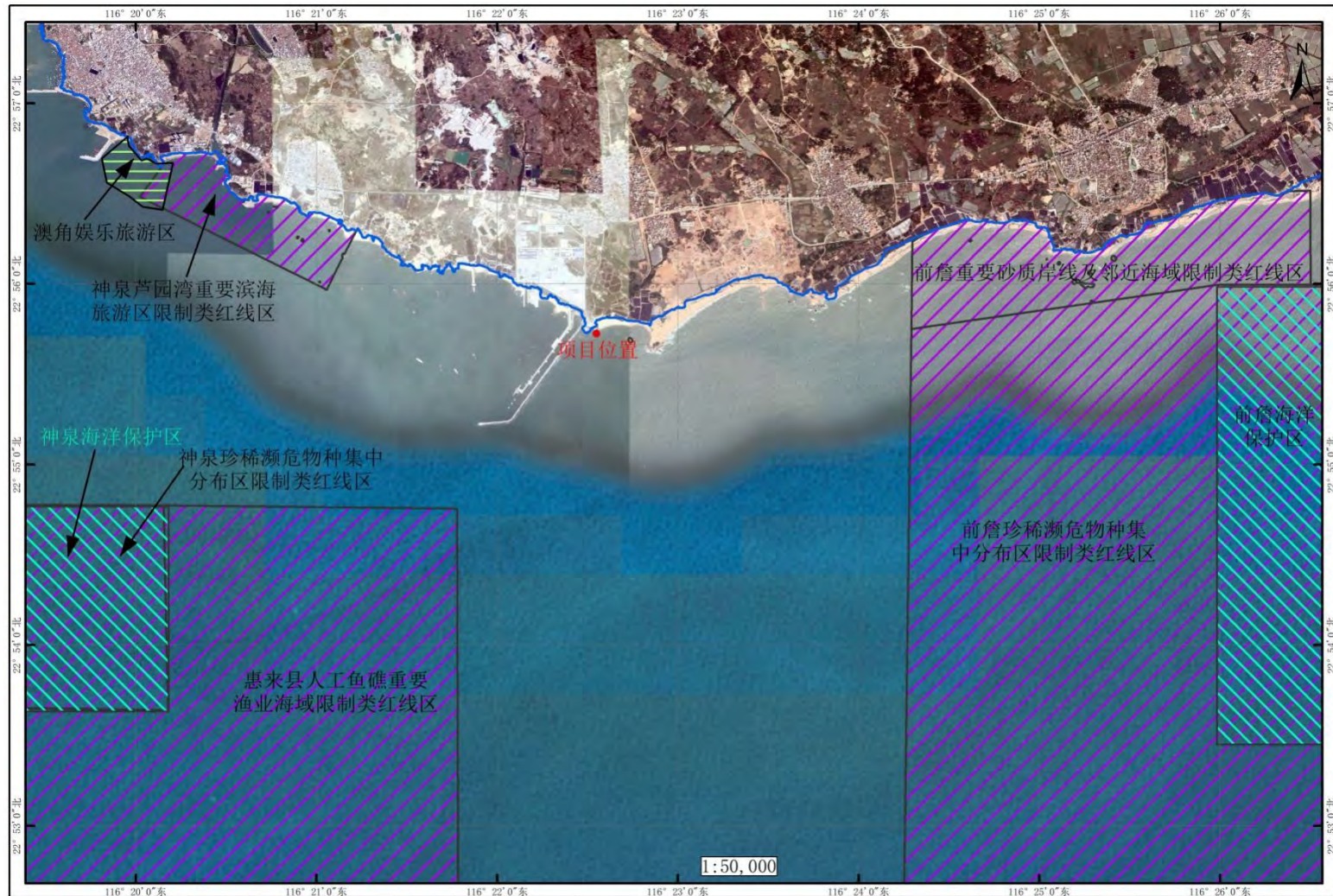


图 4.4.2-1 排水口所在海域敏感目标分布图

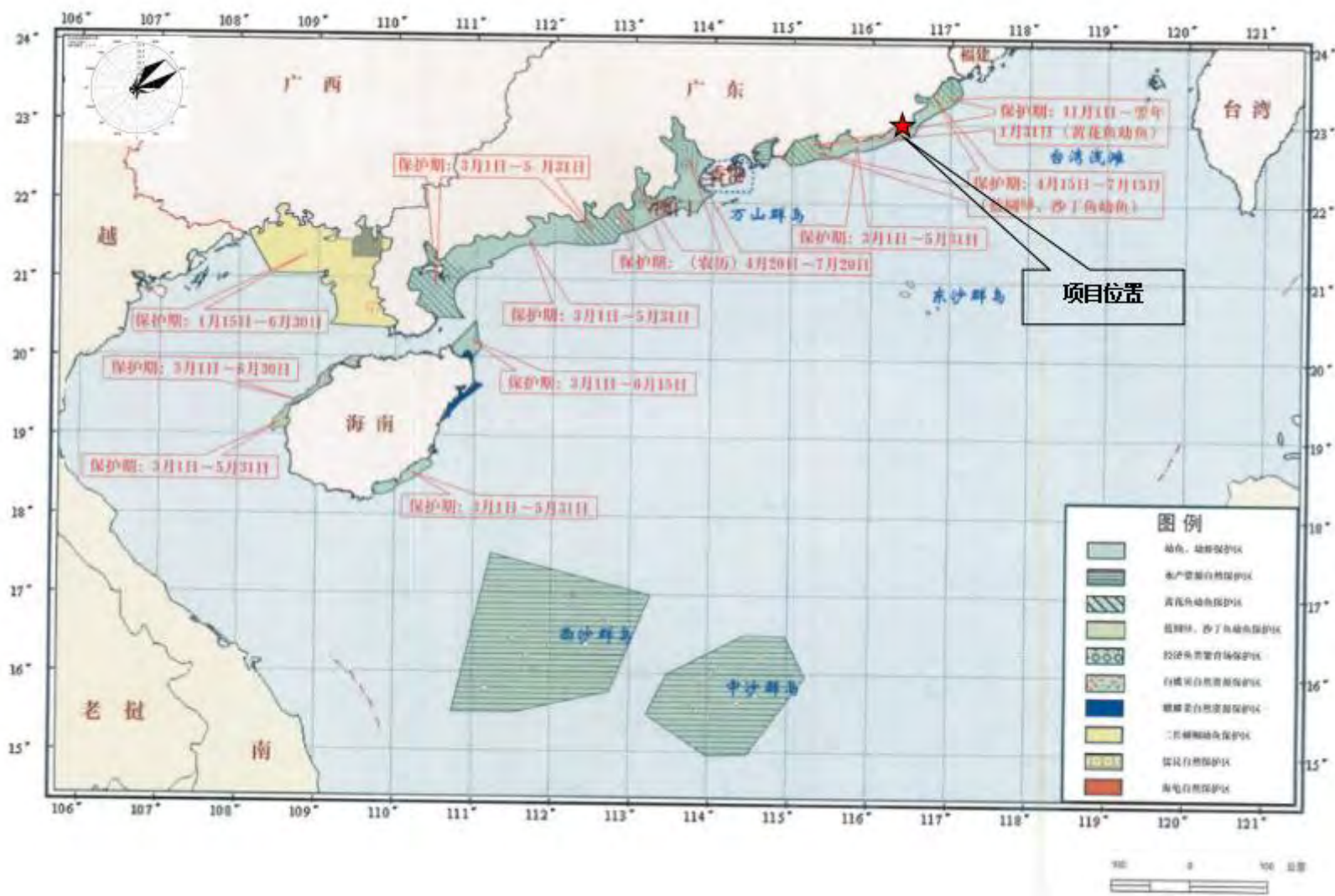


图 4.4.2-2 南海国家级及省级渔业品种保护区分布图

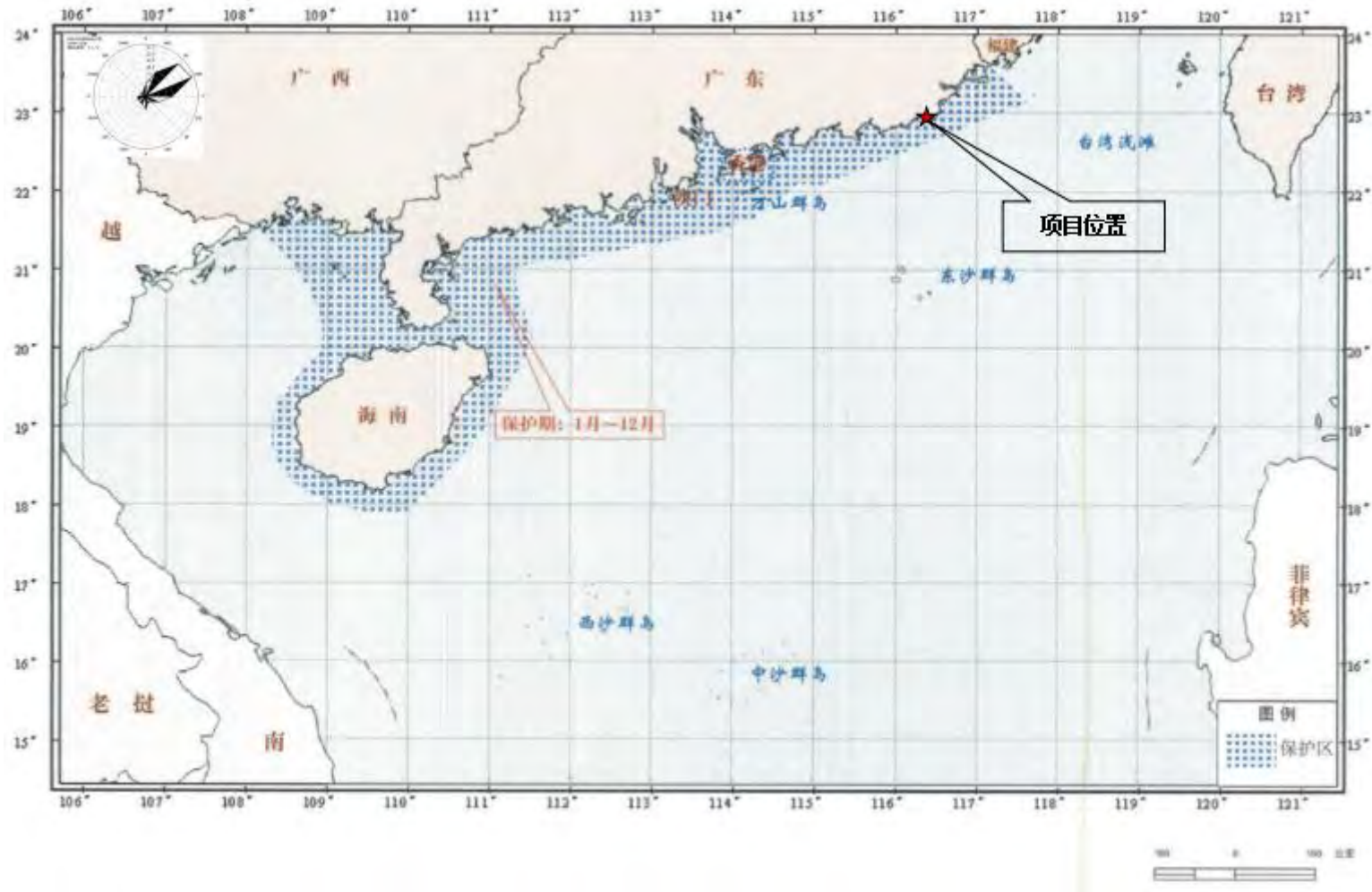


图 4.4.2-3 南海北部幼鱼繁育场保护区示意图

4.4.3 对水生态敏感区的影响分析

冷排水数模计算结果表明，接收站扩建工程后，排水口冷排水温差大于 1°C 的最远影响距离分别为：东向 1.51km，南向 0.91km，西向 0.90km，北向最远影响距离 0.20km，最大影响范围为 0.572 km²；余氯排放的数模预测结果表明，接收站扩建工程后，排水口余氯排放的超 0.01mg/L 的最大包络面积为 0.665km²，超 0.02mg/L 最大包络面积为 0.318km²，余氯浓度大于 0.01mg/L 的影响范围在东、西、南、北 4 个方向的最远影响距离分别为 1.41km、1.29km、0.91km、0.16km，余氯浓度大于 0.02mg/L 的影响范围在东、西、南、北 4 个方向的最远影响距离分别为 0.85km、0.65km、0.59km、0.13km。

除南海北部幼鱼幼虾保护区和幼鱼繁育场保护区外，其它海洋生态敏感区与本项目的距离均大于 2km，计算结果表明，温差大于 1°C 的最大包络范围不会影响到除南海北部幼鱼幼虾保护区和幼鱼繁育场保护区外的其他海洋生态敏感区，余氯浓度大于 0.01mg/L 的影响范围不会影响到除南海北部幼鱼幼虾保护区和幼鱼繁育场保护区外的其他海洋生态敏感区。

冷排水和余氯排放将会对南海北部幼鱼幼虾保护区和幼鱼繁育场保护区造成一定的影响，但仅局限于排水口附近，其影响是局部的。

本项目距离南海底层、近底层鱼类产卵场很远，由余氯，冷排水的预测结果可知，排水口排放的余氯和冷排水不会影响到鱼类的产卵场。

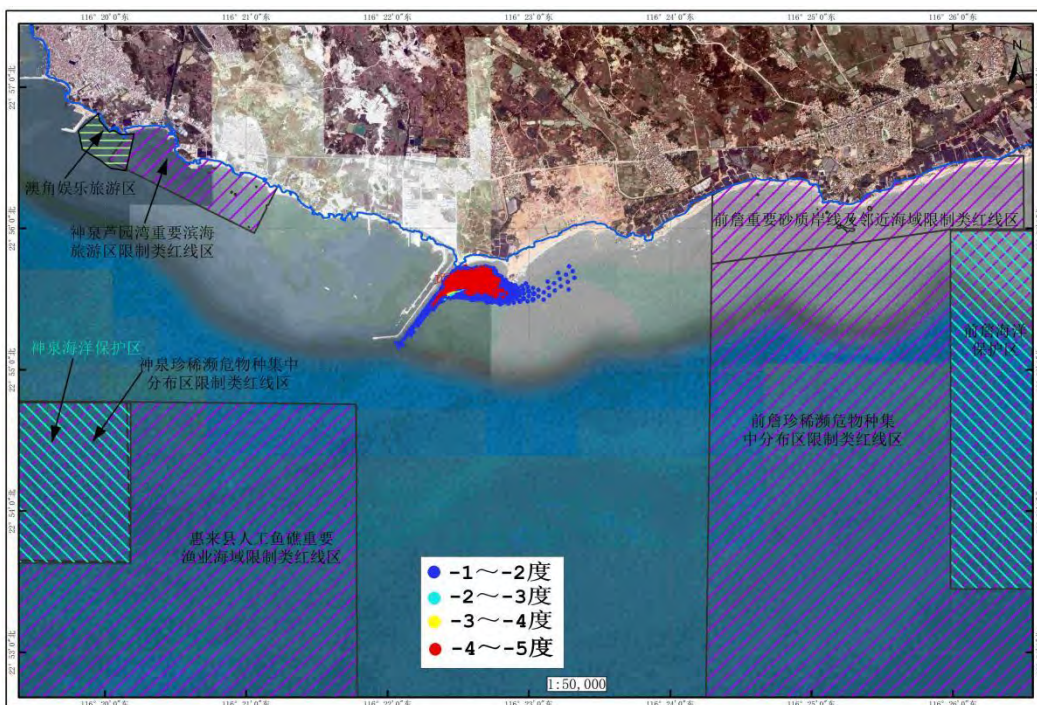


图 4.4.3-1 冷排水对海洋生态敏感区的影响示意图

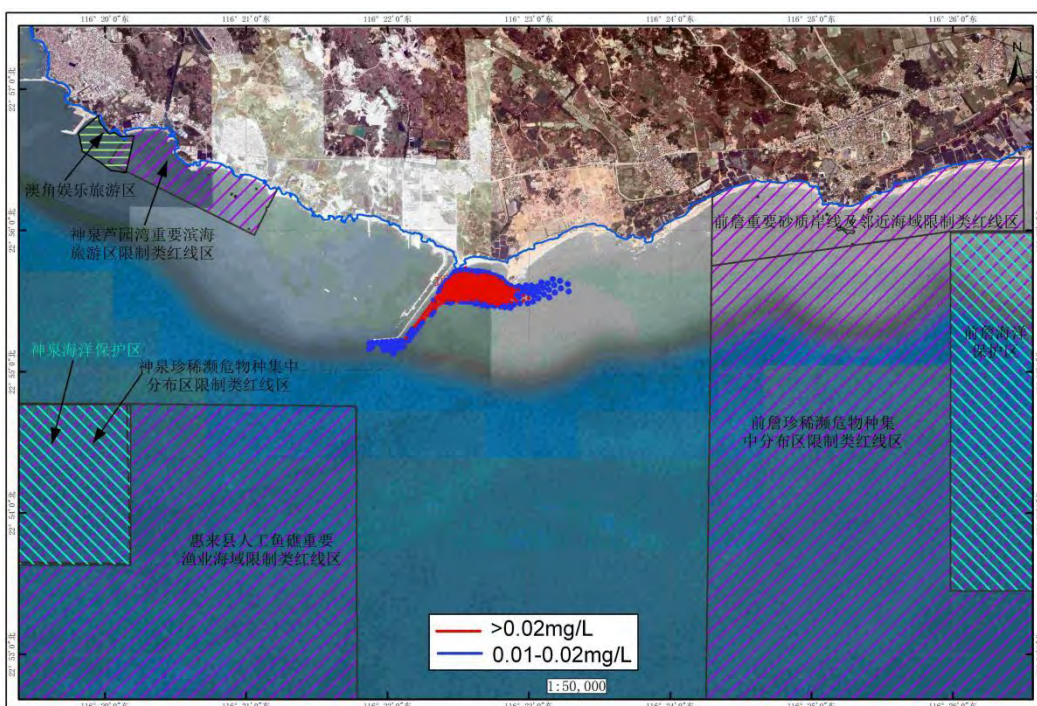


图 4.4.3-2 余氯对海洋生态敏感区的影响示意图

5 入海排水口设置合理性分析

5.1 入海排水口设置可行性分析

5.1.1 相关法规对入海排水口设置基本要求

根据《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017年11月修正版），“第三十条 入海排污口位置的选择，应当根据海洋功能区划、海水动力条件和有关规定，经科学论证后，报设区的市级以上人民政府环境保护行政主管部门备案。……在海洋自然保护区、重要渔业水域、海滨风景名胜区和需要特别保护的区域，不得新建排污口。在有条件的地区，应当将排污口深海设置，实行离岸排放。设置陆源污染物深海离岸排放排污口，应当根据海洋功能区划、海水动力条件和海底工程设施的有关情况确定，具体办法由国务院规定”。

根据《广东省实施〈中华人民共和国海洋环境保护法〉办法》，“第二十七条 入海排污口位置的选择，应当根据海洋功能区划、海洋环境保护规划、海水动力条件和有关规定，经科学论证后，报设区的市级以上人民政府环境保护行政主管部门备案。向海域排放陆源污染物的种类、数量和浓度等，必须严格执行国家或者省规定的标准和有关规定，同时应当遵守分解落实到本单位的主要污染物排海总量控制指标。”“第二十八条 禁止在海洋自然保护区、海洋特别保护区、重要渔业水域、盐场保护区、海滨风景名胜区、旅游度假区和其他需要特别保护的区域新建排污口。原有排污口排放的废水不符合周边海域水质环境质量要求的，由县级以上人民政府依法责令限期治理；经治理仍不符合要求的，依法责令其迁移或者关闭”。“第二十九条 ……向海域排放冷废水、热废水，必须采取有效措施达标排放，保证邻近渔业水域的水温符合国家海洋环境质量标准”。

粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口排入的海洋功能区为“前詹港口航运区”，前詹港口航运区海洋环境保护管理要求为“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”。不属于海洋自然保护区、重要渔业水域、海滨风景名胜区和其它需要特别保护的区域。

根据《防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》第十四条：“设置向海域排放废水设施的，应当合理利用海水自净能力，选择好排污口的位置。采用暗沟或者管道方式排放的，出水管口位置应当在低潮线以下。”粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口采用管道方式并且排放位置位于低潮线以下，已充分利用海水自净能力。该入海排水口已建成并验收投产，入海排水口的管口顶部位于项目海域历史最低潮线以下。

粤东液化天然气项目一期工程含入海排水口部分已建成并投产，其中接收站 2017 年 4 月试生产，2018 年 1 月正式运营，2020 年 8 月底接收站竣工验收；2017 年 12 月码头竣工验收；配套外输管线于 2021 年 3 月投产试运，5 月正式运行。根据北京中咨华宇环保技术有限公司《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告》（送审稿），项目配备的海水温度在线监测仪显示，冷排水入口温度和出口温度温差最大为 5°C，满足环评限制（温差控制再 5°C 以内）要求。数模计算结果表明，本项目向海域排放的冷废水，不会导致邻近渔业水域的水温降低超 0.5 摄氏度，能够保证邻近渔业水域的水温符合国家海洋环境质量标准。深圳中检联检测有限公司 2021 年 7 月调查的粤东 LNG 接收站运行期（海域）环境监测调查报告显示，项目所在海域水质符合该海域执行的海水环境质量海水质量标准（GB3097-1997）三类标准，沉积物符合第二类标准，生物质量符合第二类标准要求。本项目附近海洋生态系良好。

因此，排水口的设置符合《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017 年 11 月修正版）《防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》和《广东省实施〈中华人民共和国海洋环境保护法〉办法》对排水口出水管口位置的要求。

5.1.2 与相关规划的符合性分析

5.1.2.1 与海洋功能区划的符合性

(1) 与《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》的符合性

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，项目所在海域的海洋功能区划为“前詹港口航运区”，其海域使用管理要求为“1. 相适宜的海域使用类型为交通运输用海；2. 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；3. 工程建设期间采取有效措施降低对揭阳市神泉渔业市级自然保护区、前詹人工鱼礁区的影响；4. 加强用海动态监测和监管；5. 维持潮汐通道畅通，维护海上交通安全。”粤东液化天然气项目有利于为满足区域日益增长的天然气需要，保障粤东能源供应安全，为交通运输用海，冷排水口作为粤东液化天然气项目的一部分，为液化天然气的装卸、储存、气化外输，有利于保障粤电天然气项目的安全，其用海符合该功能区的海域使用管理要求。

其海洋环境保护管理要求为：1. 加强港区环境污染治理，生产废水、生活污水须达标排海；2. 加强海洋环境监测，建立完善的应急体系；3. 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。根据项目环评要求，项目冷排水温度差控制在 5°C 以内，余氯的含量控制在 0.2MG/L 之内。根据监测结果以及企业提供资料，本项目主要污染物温度差实际在 3°C 以内，余氯的含量控制在 0.2MG/L 之内。根据接收站扩建后数值模拟结果，排水口冷排水温差大于 1°C 的最远影响距离分别为：东向 1.51km，南向 0.91km，西向 0.90km，北向最远影响距离 0.20km，最大影响范围为 0.572 km²；余氯排放的超 0.01mg/L 的最大包络面积为 0.665km²，超 0.02mg/L 最大包络面积为 0.318km²，余氯浓度大于 0.01mg/L 的影响范围在东、西、南、北 4 个方向的最远影响距离分别为 1.41km、1.29km、0.91km、0.16km，余氯浓度大于 0.02mg/L 的影响范围在东、西、南、北 4 个方向的最远影响距离分别为 0.85km、0.65km、0.59km、0.13km。可见，

排水口冷排水导致的温降大于 1°C 和余氯排放的超 0.01mg/L 的最大包络范围均位于前詹港口航运区有限范围内（见图 5.1.2-2、图 5.1.2-3），在正常排放条件下，项目污染物排放对海域水质影响较小。可见，项目可以满足前詹港口航运区的环境保护管理要求。

此外，项目附近有主要有神泉海洋保护区、珠海-潮州近海农渔业区等，数值计算结果表明，排水口污水不会影响到上述 2 功能区。

综上，项目建设符合《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》。

（2）与《揭阳市海洋功能区划（2015-2020 年）》的符合性

根据《揭阳市海洋功能区划（2015-2020 年）》（2018 年），本项目所在海域属于前詹港口区（A2-26-1），详见图 5.1.2-3 所示。

根据监测结果以及企业提供资料，本项目主要污染物温度差实际在 3°C 以内，余氯的含量控制在 0.2mg/L 之内，根据项目论证时数值模拟结果，在正常排放条件下，项目污染物排放对海域水质影响较小。项目建设符合《《揭阳市海洋功能区划（2015-2020 年）》（2018 年）》。

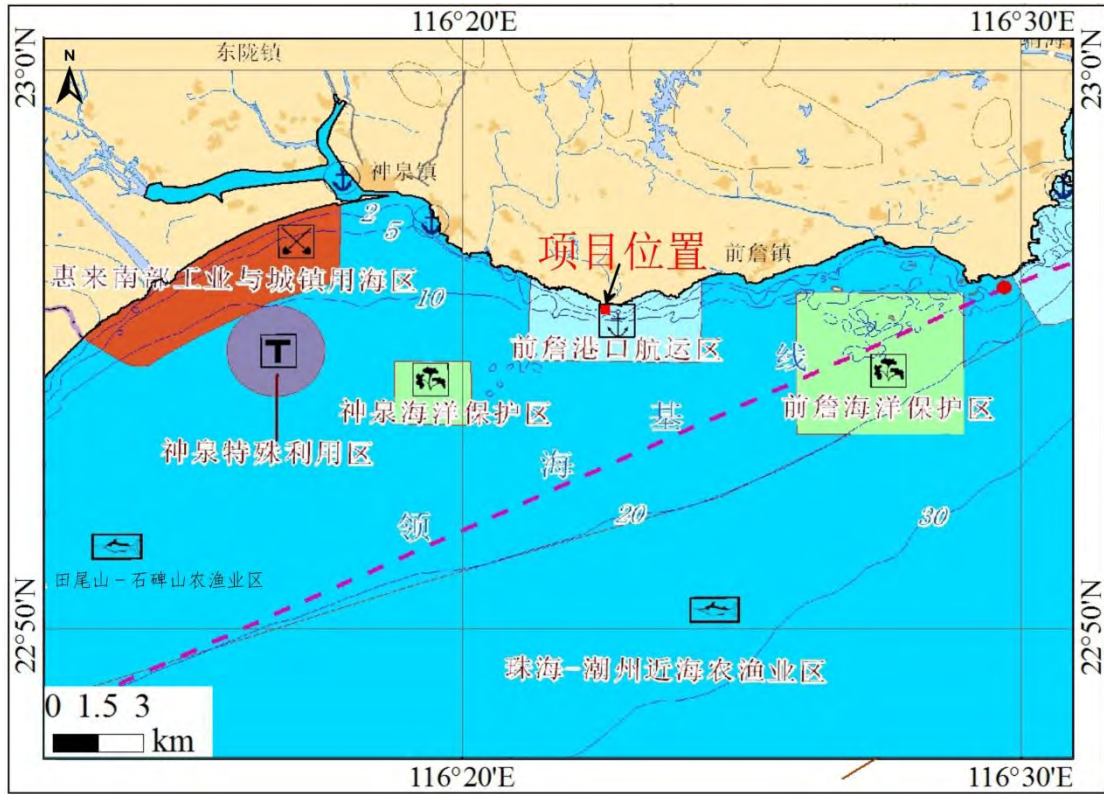


图 5.1.2-1 项目在广东省海洋功能区划位置示意图

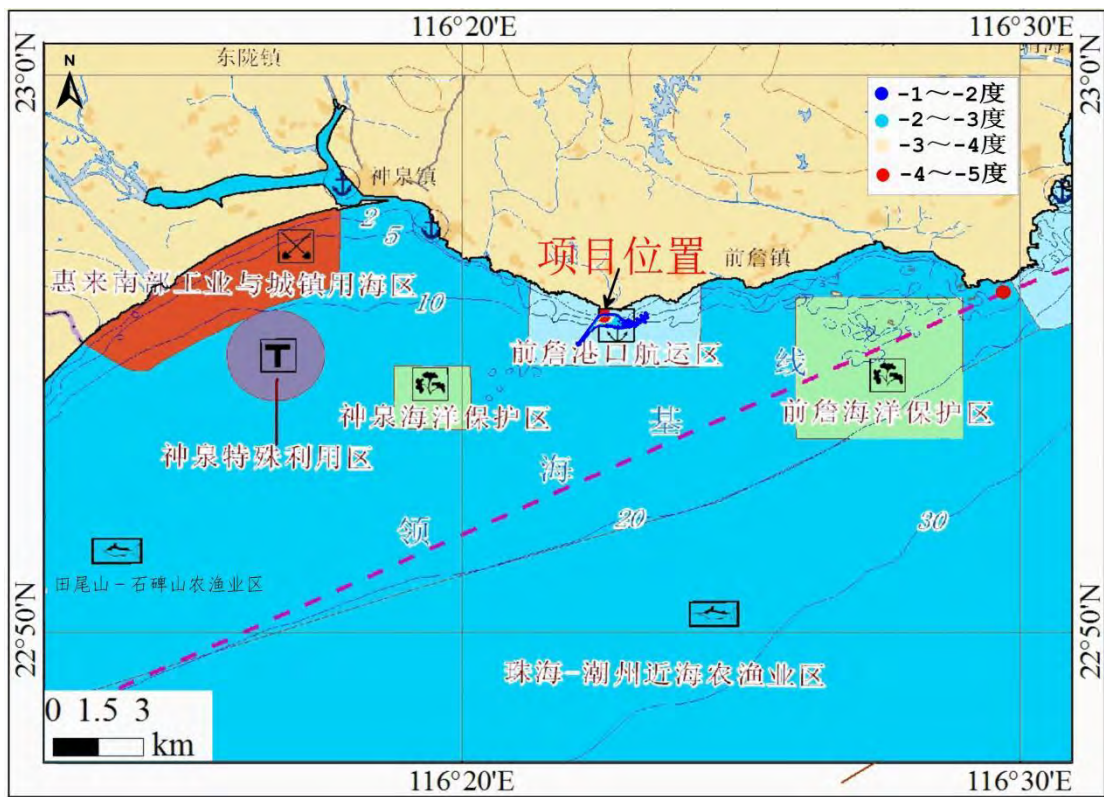


图 5.1.2-2 温差变化与广东省海洋功能区划叠加示意图

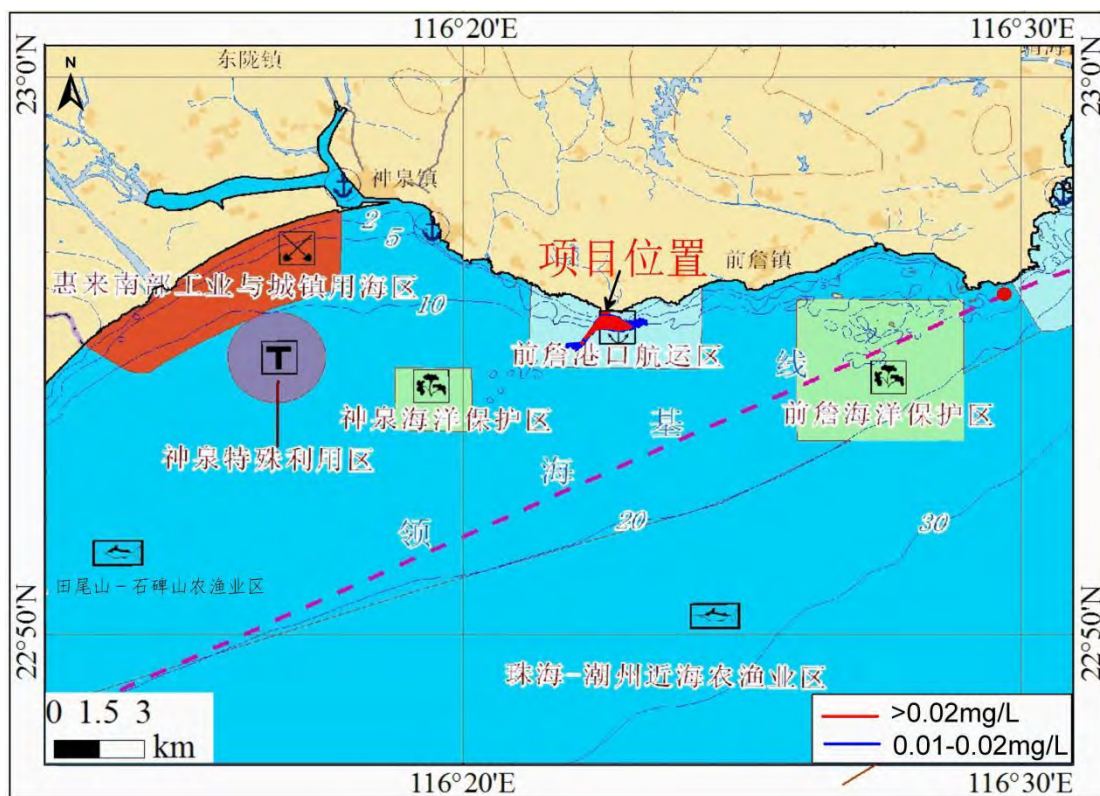


图 5.1.2-2b 余氯与广东省海洋功能区划叠加示意图

表 5.1.2-1 广东省海洋功能区登记表

序号	功能区名称	地理范围 (东经, 北纬)	面积(公顷)、 岸线长度(m)	管理要求	
				海域使用管理	海洋环境保护
1	前詹港口航运区	东至:116°24'17" 西至:116°21'10" 南至:22°54'45" 北至:22°56'18"	1196 7813	1. 相适宜的海域使用类型为交通运输用海; 2. 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; 3. 工程建设期间采取有效措施降低对揭阳市神泉渔业市级自然保护区、前詹人工鱼礁区的影响; 4. 加强用海动态监测和监管; 5. 维持潮汐通道畅通, 维护海上交通安全。	1. 加强港区环境污染治理, 生产废水、生活污水须达标排海; 2. 加强海洋环境监测, 建立完善的应急体系; 3. 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。
2	神泉海洋保护区	东至:116°20'11" 西至:116°18'47" 南至:22°53'38" 北至:22°54'46"	493	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. 保护人工鱼礁礁体及海域生态环境; 2. 加强保护区海洋生态环境监测; 3. 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。
	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"	1212845	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。

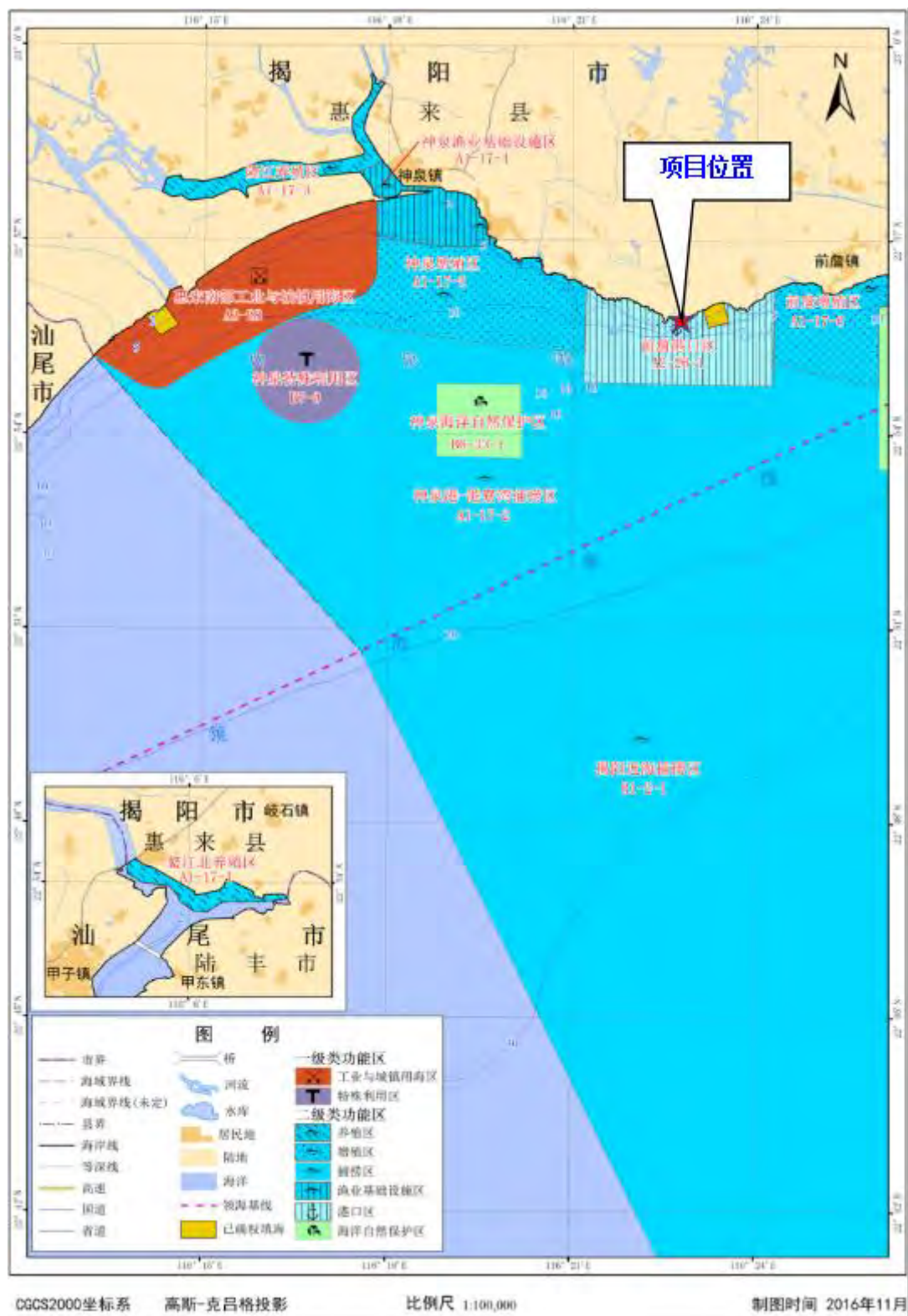


图 5.1.2-3 揭阳市海洋功能区划图

(来源:《揭阳市海洋功能区划(2015-2020年)》(2018年))

表 5.1.2-2 揭阳市海洋功能区登记表

功能区名称		前詹港口区		功能区位置图
功能区类型	港口区	功能区代码	A2-26-1	
所属一级类功能区名称	前詹港口航运区	一级类功能区代码	A2-26	
地理范围	东至：116°24'17" 西至：116°21'10" 南至：22°54'45" 北至：22°56'18"			
面积（公顷）	1196	岸线长度（米）	7813	
开发利用现状		1. 沟疏村附近沿岸陆域建有中海油 LNG 项目，正在建设中电投通用码头； 2. 沿岸尚分布有养殖池塘。		
海域管理要求	用途管制	相适宜的海域使用类型为交通运输用海		
	用海方式控制	1. 优化围填海平面布局，节约集约利用海域资源； 2. 鼓励以透水构筑物方式建设码头； 3. 保护砂质海岸，禁止在沙滩上建设永久性构筑物。		
	整治修复			
海洋环境保护要求	生态保护重点目标			
	环境保护	1. 加强港区环境污染治理，生产废水、生活污水须集中处理后达标排海； 2. 执行不低于第三类海水水质标准、第二类海洋沉积物质量标准和第二类海洋生物质量标准。		
其他管理要求		1. 维持航道畅通，维护海上交通安全； 2. 加强用海动态监测和监管； 3. 加强海洋环境监测和海洋环境风险防范，建立完善的应急体系； 4. 工程建设期间采取措施减少对神泉渔业市级自然保护区和前詹人工鱼礁区的影响。		
				功能区范围图

5.1.2.2 与近岸海域环境功能区划的符合性分析

(1) 与《广东省近岸广东省近岸海域环境功能区划》的符合性分析

根据《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）以及《关于调整揭阳市近岸海域环境功能区划的复函》（粤办函〔2010〕473号），本项目位于前詹至卢园综合功能区（302C）内。前詹至卢园综合功能区主要功能为港口、一般工业用水，执行三类水质标准。

项目所在海域的近岸海域环境功能区分布见图 5.1.2-4，项目占用及附近近岸海域功能区的主要功能及水质目标见表 5.1.2-2 所示。

根据监测结果以及企业提供资料，本项目实测主要污染物温度差控制在 3℃以内，余氯的含量控制在 0.2mg/L 之内，在正常排放条件下，项目污染物排放对海域水质影响较小。因此，项目与《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68号）以及《关于调整揭阳市近岸海域环境功能区划的复函》（粤办函〔2010〕473号）相符。

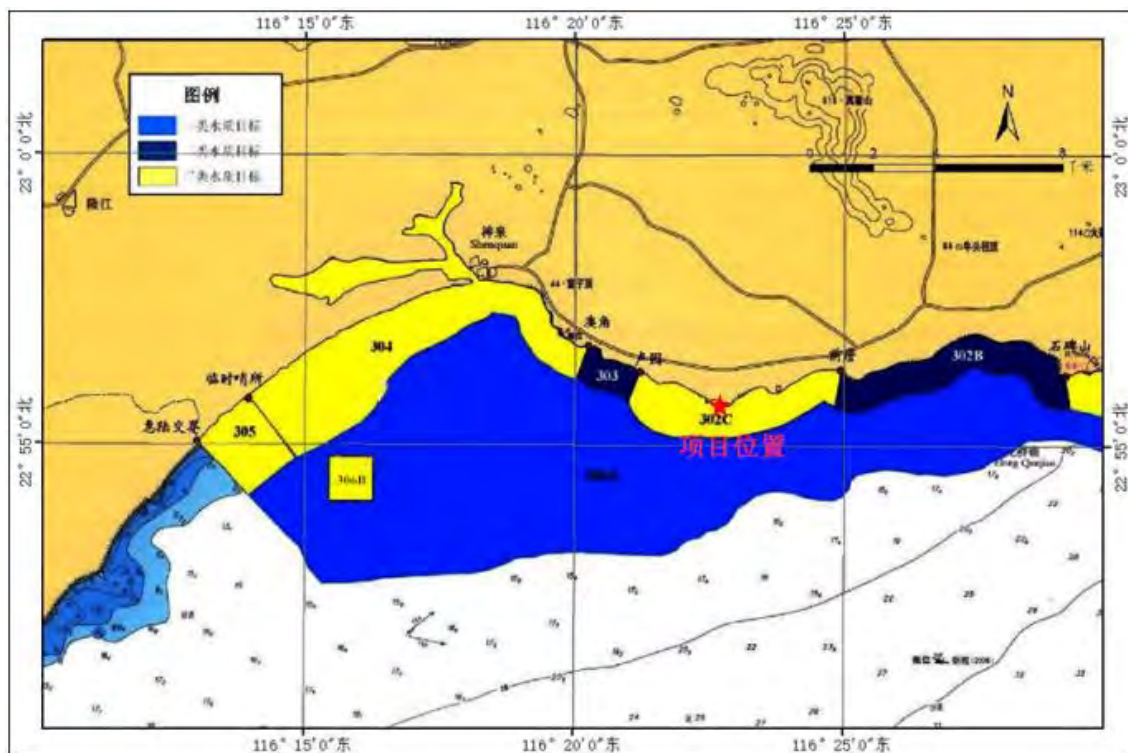


图 5.1.2-4 项目所在海域近岸海域功能区划图

(2) 与《揭阳市近岸海域环境功能区划》的符合性分析

根据《揭阳市近岸海域环境功能区划》（2010 年），本项目属于三类海水功能区（见下图），执行三类海水水质标准。

根据监测结果以及企业提供资料，本项目实测主要污染物温度差控制在 3°C 以内，余氯的含量控制在 0.2mg/L 之内，在正常排放条件下，项目污染物排放对海域水质影响较小。因此，项目与《揭阳市近岸海域环境功能区划》（2010 年）相符合。



图 5.1.2-5 揭阳市近岸海域环境功能区划图

5.1.2.3 与《广东省海洋生态红线》的符合性分析

2017 年 9 月，《广东省海洋生态红线》（粤海渔〔2017〕275 号）正式获得广东省人民政府批复，共划定了 13 类、268 个海洋生态红线区，确定了广东省大陆自然岸线保有率、海岛自然岸线保有率、近岸海域水质优良（一、二类）比例等控制指标。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。海洋生态红线是我省海洋生态安全的基本保障和底线，必须严守，不得突破。

根据《广东省海洋生态红线》（2017年），本项目没有位于海洋生态红线区内，周边最近的海洋生态红线区为惠来县人工鱼礁重要渔业海域限制类红线区，距离为2.1km，位于本项目西南侧。根据接收站扩建后数值模拟结果，排水口冷排水温差大于1°C的最远影响距离分别为：东向1.51km，南向0.91km，西向0.90km，北向最远影响距离0.20km，最大影响范围为0.572 km²；余氯排放的超0.01mg/L的最大包络面积为0.665km²，超0.02mg/L最大包络面积为0.318km²，余氯浓度大于0.01mg/L的影响范围在东、西、南、北4个方向的最远影响距离分别为1.41km、1.29km、0.91km、0.16km，余氯浓度大于0.02mg/L的影响范围在东、西、南、北4个方向的最远影响距离分别为0.85km、0.65km、0.59km、0.13km。排水口排放的冷排水导致的温差大于1°C和余氯浓度大于0.01mg/L的最大包络范围均不会影响到生态红线区。

项目所在位置不属于自然岸线保有岸线（图5.1.2-6和5.1.2-7）。可见，排水口选址符合《广东省海洋生态红线》。



图 5.1.2-6 广东省海洋生态红线区控制图



图 5.1.2-7 项目附近海域广东省海洋生态红线大陆自然岸线保有分布图

5.1.2.4 与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》的符合性分析

2017 年 10 月 27 日，广东省人民政府联合原国家海洋局发文《广东省人民政府国家海洋局关于印发广东省海岸带综合保护与利用总体规划的通知》（粤府函[2017]120 号文），《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》正式获得批准。

《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》，提出要“加强陆地海洋污染防治和环境监管。按照陆海统筹、河海兼顾的思路，切实强化污染源头控制，**系统推进海洋污染防治，加强海洋环境调查监测和监督考核**”。

严格控制污染物排海，要“**加强入海排污口管理**。组织开展沿海地区陆源污染源排查，清理取缔违法排污企业。全面推行排污许可，所有排污单位必须依法实现全面达标排放。**规范入海排污口设置**，全面清理非法或设置不合理的入海排污口，推进集中排放和生态排放。环境保护主管部门应定期向海洋、水利部门通报排污口许可信息，近岸海域排污口的设置应征得海洋主管部门同意。推进陆源污染集中排和生态排，鼓励处理后深远海排放。**围绕陆源入海污染源，推进海洋环境实时在线监控系统建设**”。

本排水口是粤东 LNG 项目的一部分，排水口已建成，为冷排水排放口，根据北京中咨华宇环保技术有限公司 2022 年 1 月编制的《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》，海水处理系统（含高压泵、再冷凝器、海水汽化器、冷排水）配备有海水温度在线监测仪和余氯在线监测仪，且根据监测结果，符合水质目标的要求。因此，符合《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》的要求。

5.1.2.5 与“三线一单”的符合性分析

（1）与《广东省“三线一单”生态环境分区管控方案》的符合性分析

为全面贯彻《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》，落实生态保护红线，环境质量底线、资源利用上线，广东省人民政府发布了《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（粤府[2020]71 号）（以下简称“三线一单”），确定了生态环境准入清单。“三线一单”的基本原则是：

生态优先，绿色发展。践行“绿水青山就是金山银山”理念，把保护生态环境摆在更加突出的位置，以资源环境承载力为先决条件，将生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线落实到区域空间，持续优化发展格局，促进经济社会绿色高质量发展。

分区施策，分类准入。强化空间引导和分区施策，推动珠三角优化发展、沿海经济带协调发展、北部生态发展区保护发展，构建与“一核一带一区”相适应的生态环境空间格局。针对不同环境管控单元特征，实行差异化环境准入。

统筹实施，动态管理。依据国家顶层设计，实行省为主体、地市落地、上下联动机制，构建共建共享、分级实施体系。结合经济社会发展和生态环境改善的新形势、新任务、新要求，定期评估、动态更新调整。

根据“三线一单”的要求，环境管控单元分为优先保护、重点管控和一般管控单元三类。全省共划定海域环境管控单元 471 个，其中优先保护单元 279 个，为海洋生态保护红线；重点管控单元 125 个，主要为用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源、矿产能源资源的海域和现状劣四类海水海域；一般管控单元 67 个，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

本项目位于“三线一单”中的“前詹港口航运区重点管控单元”，详见图 5.1.2-1。本排

水口仅有冷排水和余氯排放，无石油类和其他污染物排放，根据《粤东 LNG 项目一期工程配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》，余氯和冷排水温降均满足排放标准要求；且项目没有位于航海通道，对航运安全无影响；建设单位已于 2021 年制定了应急预案、风险评估报告并已完成备案。项目与前詹港口航运区重点管控单元的符合性分析见下表。

表 5.1.2-3 项目与省“三线一单”中前詹港口航运区重点管控单元的符合性一览表

HY44520020001	前詹港口航运区重点管控单元	广东省	揭阳市	管控单元分类	重点管控单元
管控维度	管控要求			符合性分析	
区域布局管控	1.维护航路和锚地海域功能，禁止在航海通道、海底建设影响船只航行安全的项目或设施，保障航运安全。2.在港区和规划港区内新建、改建、扩建港口设施和其他工程，不得影响港区功能，不得改变通航水域的水文、地质、地形、地貌。			本项目没有位于航海通道，不会影响船只航行安全；本项目作为粤东 LNG 的一部分，没有影响港区功能，不会改变通航水域的水文、地质、地形、地貌。符合。	
能源资源利用	1.节约集约用海，合理控制规模，优化空间布局，提高海域空间资源的整体使用效能。			本项目用海已取得海域使用权证，用海规模合理。符合。	
污染物排放管控	1.向海域排放陆源污染物，必须严格执行国家或者地方规定的标准和有关规定。			根据《粤东 LNG 项目一期工程配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》，冷排水温降和余氯排放均满足污染物排放标准要求和有关规定。符合。	
环境风险防控	1.制定和完善陆域环境风险源、海上溢油及危险化学品泄漏、海洋环境灾害等对近岸海域影响的应急预案，健全应急响应机制。2.装卸油类的港口、码头、装卸站和船舶必须编制溢油污染应急计划，并配备相应的溢油污染应急设备和器材。			建设单位已于 2021 年制定了应急预案、风险评估报告并已完成备案；本项目为冷排水入海排水口，无石油类污染物入海。符合。	

综上所述，本项目与广东省“三线一单”生态环境分区管控方案相符合。

(2) 与《揭阳市“三线一单”生态环境分区管控方案》的符合性分析

为全面贯彻落实《中共中央 国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》《广东省人民政府关于印发广东省“三线一单”生态环境分区管控方案的

通知》（粤府〔2020〕71号）要求，加强揭阳市生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线、生态环境准入清单（以下称“三线一单”）管理，实施生态环境分区管控，揭阳市人民政府办公室特制定《揭阳市“三线一单”生态环境分区管控方案》。

揭阳市环境管控单元分为优先保护、重点管控和一般管控单元三类。全市共划定海域环境管控单元 19 个，其中优先保护单元 8 个，均为海洋生态保护红线；重点管控单元 6 个，主要为用于拓展工业与城镇发展空间、开发利用港口航运资源的海域和现状劣四类海水海域；一般管控单元 5 个，为优先保护单元、重点管控单元以外的海域。

本项目位于《揭阳市“三线一单”生态环境分区管控方案》中的“前詹港口航运区重点管控单元”，见图 5.1.2-9，本项目与该管控单元的符合性分析见表 5.1.2-4。

可见，本项目与揭阳市“三线一单”生态环境分区管控方案相符合。

综上所述，本项目与省、市“三线一单”生态环境分区管控方案相符合。

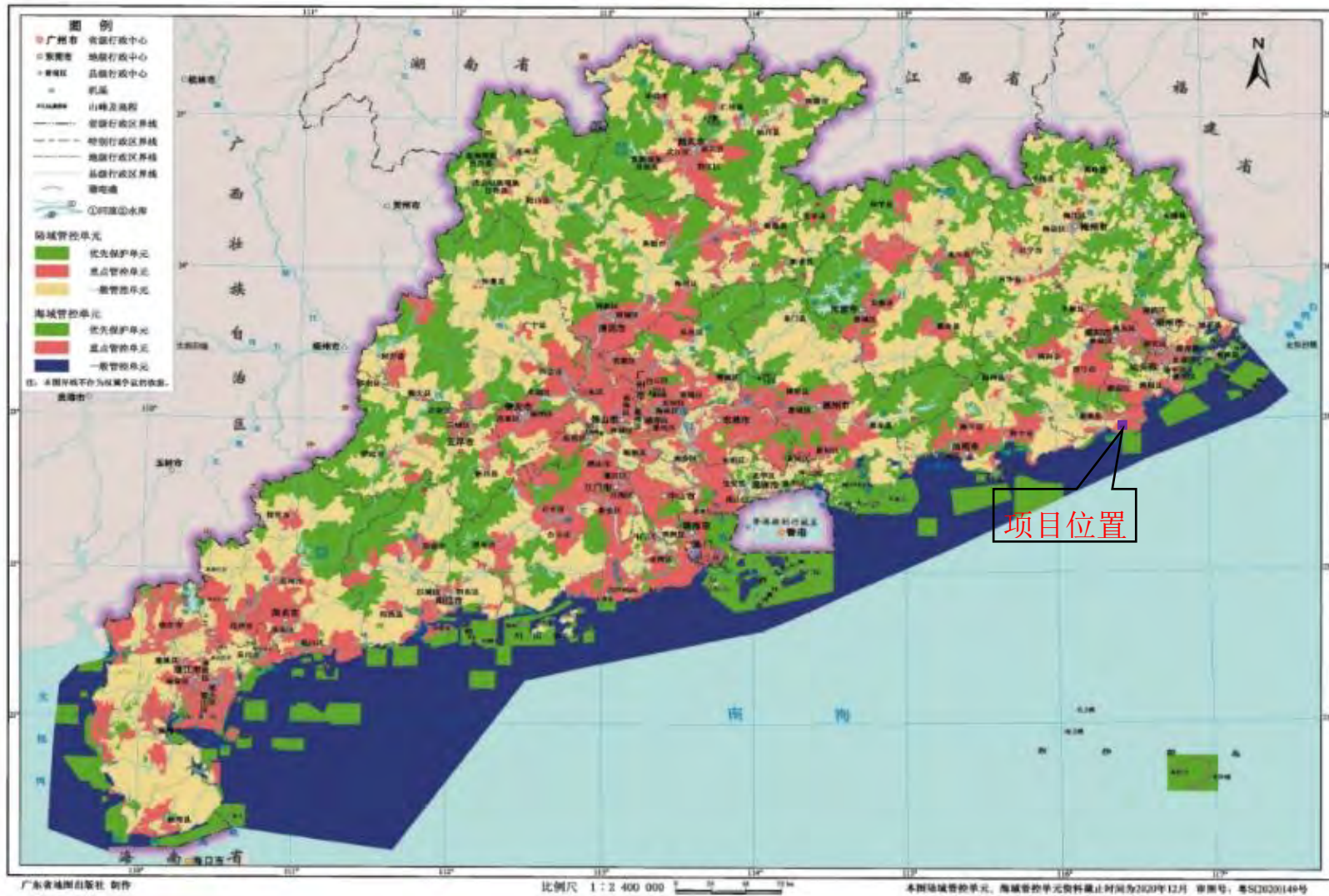


图 5.1.2-8 广东省环境管控单元图

表 5.1.2-4 项目与揭阳市“三线一单”中前詹港口航运区重点管控单元的符合性一览表

序号	环境管控单元编码	环境管控单元名称	行政区划		管控单元分类	区域布局管控	能源资源利用	污染物排放管控	环境风险防控
			省	市					
1	HY44520020001	前詹港口航运区重点管控单元	广东省	揭阳市	重点管控单元	1.维护航路和锚地海域功能，禁止在航海通道、海底建设影响船只航行安全的项目或设施，保障航运安全。 2.在港区和规划港区内新建、改建、扩建港口设施和其他工程，不得影响港区功能，不得改变通航水域的水文、地质、地形、地貌。	1.节约集约用海，合理控制规模，优化空间布局，提高海域空间资源的整体使用效能。	1.向海域排放陆源污染物，必须严格执行国家或者地方规定的标准和有关规定。	1.制定和完善陆域环境风险源、海上溢油及危险化学品泄漏、海洋环境灾害等对近岸海域影响的应急预案，健全应急响应机制。 2.装卸油类的港口、码头、装卸站和船舶必须编制溢油污染应急计划，并配备相应的溢油污染应急设备和器材。
符合性分析						本项目没有位于航海通道，不会影响船只航行安全；本项目作为粤东 LNG 的一部分，没有影响港区功能，不会改变通航水域的水文、地质、地形、地貌。符合。	本项目用海已取得海域使用权证，用海规模合理。符合。	根据《粤东 LNG 项目一期工程配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》，冷排水温降和余氯排放均满足污染物排放标准要求 and 有关规定。符合。	建设单位已于 2021 年制定了应急预案、风险评估报告并已备案；本项目为冷排水入海排水口，无石油类污染物入海。符合。

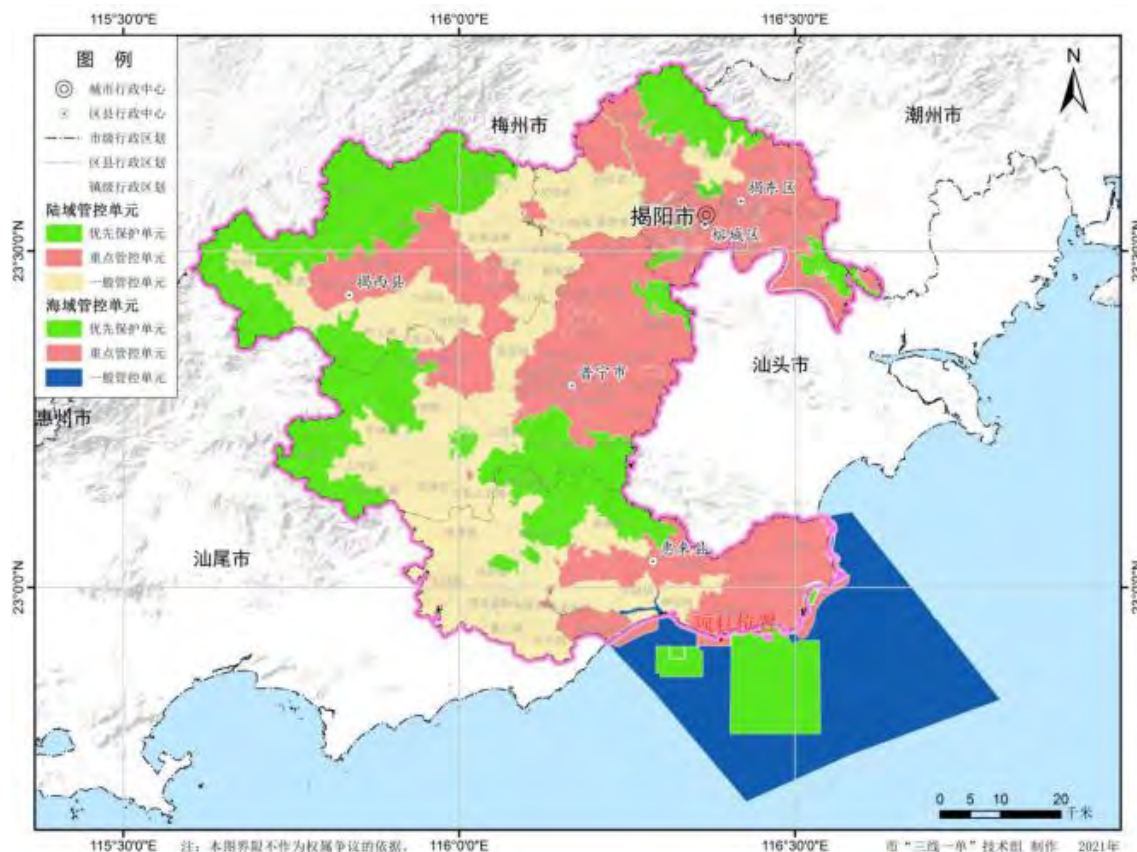


图 5.1.2-9 揭阳市环境管控单元图

5.2 对水生生态影响的合理性分析

除南海北部幼鱼幼虾保护区和幼鱼繁育场保护区外，其它海洋生态敏感区与本排水口的距离均大于 2km，根据接收站扩建后数值模拟结果，排水口冷排水温差大于 1℃的最远影响距离分别为：东向 1.51km，南向 0.91km，西向 0.90km，北向最远影响距离 0.20km，最大影响范围为 0.572 km²；余氯排放的超 0.01mg/L 的最大包络面积为 0.665km²，超 0.02mg/L 最大包络面积为 0.318km²，余氯浓度大于 0.01mg/L 的影响范围在东、西、南、北 4 个方向的最远影响距离分别为 1.41km、1.29km、0.91km、0.16km，余氯浓度大于 0.02mg/L 的影响范围在东、西、南、北 4 个方向的最远影响距离分别为 0.85km、0.65km、0.59km、0.13km。排水口排放的冷排水导致的温差大于 1℃和余氯浓度大于 0.01mg/L 的最远影响范围均不会影响到除南海北部幼鱼幼虾保护区和幼鱼繁育场保护区外的其他海洋敏感区。冷排水和余氯会对南海北部幼鱼幼虾保护区和幼鱼繁育场保护区造成一定的影响，但仅局限于排水口附近，其影响是局部的。

5.3 对第三者影响分析

粤东 LNG 接收站开架式汽化器冷凝海水排水口所在海域主导功能为港口航运区，执行第三类海水水质标准。本项目排水主要为冷排水，是由开架式气化器（ORV）加热气化排出的海水，为低温排水，其水质未受到污染，除余氯外，无其他污染物产生。项目附近海域有鲍鱼养殖取水口，距离本项目最近的取水口位于排水口东北侧约 0.3km。根据数模计算结果，接收站外输能力扩建工程后（扩建工程叠加现有工程），排水口冷排水温差大于 4°C 的最大包络面积为 0.030km²，主要集中在排水口附近的小范围海域，最远影响距离分别为：东向 0.18km，南向 0.19km，西向 0.14km，北向 0.05km，不会影响到养殖取水口；排水口冷排水温差大于 1°C 的最远影响距离分别为：东向 1.51km，南向 0.91km，西向 0.90km，北向最远影响距离 0.20km，最大影响范围为 0.572 km²；余氯超 0.02mg/L 包络线的面积为 0.318km²，余氯浓度大于 0.02mg/L 的增量值在排水口的东、西、南、北 4 个方向的最远扩散距离分别为 0.85 km、0.65 km、0.59 km、0.13 km。对鲍鱼养殖取水口的影响比较小。根据建设单位介绍，项目运行后，未收到过养殖户的投诉。

5.4 污水排放方式与排水口设置的合理性分析

本项目冷排水排水口。冷排水是由开架式气化器（ORV）加热气化排出的海水，为低温排水，其水质未受到污染，除余氯外，无其他污染物产生。为了控制水温变化对排放区域内的海洋生态环境的影响，海水气化器的出水温度与当地海水的温度差控制在 5°C 以内。生产过程中使用海水作蒸发装置的热源，直流海水只作热交换，其水质未受污染，只是其换热后温度低于当地海水温度 5°C 左右，项目采用电解制氯系统，用电解水生产次氯酸钠溶液用于海水加氯以杀死管道和设备内的附着微型生物，冷海水排水中余氯的含量控制在 0.2mg/L 之内。

《海水水质标准》（GB3097-1997）中未对温降做出规定，如果参考《海水水质标准》（GB3097-1997）中第三类海水水质对水温的规定“人为造成当地水温升不超过 4°C”，为了控制温度变化对附近海域生态环境产生较大的影响，海水汽化器出水温度与当地海水的温度差须控制在 5°C 以内，余氯含量控制在 0.2mg/L。为了防止水生物附着生长，接收站将在气化系统对被抽取的海水

进入系统以前，采取氯化处理，致使冷排水中含有余氯。氯化处理系统中加氯量是以控制冷排水出口水中余氯浓度 0.2mg/L 来决定的。水体中余氯包括游离态余氯（FRC）和化合态余氯（CRC）。化合态余氯为氯与海水中存在的氨或有机胺化合而成的氯胺，如 NH_2Cl 、 NHCl_2 和 NCl_3 。游离态余氯的毒性较强，项目冷排水主要影响项目排水口附近海域。根据数模对冷排水排放的预测结果：项目冷排水排放时，主要影响项目排水口附近海域，其中，温降为 1°C 的最大影响面积约为 0.572km^2 ，而温降为 2°C 的最大影响面积为 0.169km^2 ，在该范围内，对浮游生物的种类、数量、生物多样性可能会有一定影响，但工程附近海域比较开阔，其给本海域的初级生产力造成的影响较小。而当水温下降 2°C 时，鱼、虾类的种类及渔获量可能减少，浮游性的鱼卵、仔鱼的存活率可能会降低。本项目温差大于 2°C 的范围位于前詹港口航运区，不会影响到农渔业区和神泉海洋保护区等，但会对南海北部幼鱼幼虾保护区和幼鱼繁育场保护区造成一定的影响，但仅局限于排水口附近，其影响是局部的；排水口余氯排放的超 0.01mg/L 的最大包络面积为 0.665km^2 ，超 0.02mg/L 最大包络面积为 0.318km^2 ，余氯浓度大于 0.01mg/L 的影响范围在东、西、南、北 4 个方向的最远扩散距离分别为 1.41km 、 1.29km 、 0.91km 、 0.16km ，余氯浓度大于 0.02mg/L 的影响范围在东、西、南、北 4 个方向的最远扩散距离分别为 0.85km 、 0.65km 、 0.59km 、 0.13km ，项目冷排水中余氯对海洋生态环境影响较小。本项目冷排水排放对海洋生态影响较小。

本项目环评编制时截止至今，国内海域冷排水排放温差及水中余氯浓度还没有相应的标准，评价参考通过原国家环境保护总局审批的《粤东 LNG 项目环境影响报告书》中采纳的标准，排放口冷排水温差标准为 $\leq 5^\circ\text{C}$ ；余氯参考世界银行 1998 年 7 月实施的《污染防治手册》中对热电站废水污染物排放限制的规定，24h 连续排放的最大允许排放浓度为 0.2mg/l 。排放方式为暗渠排放，排水口设在接收站东南岸处。根据北京中咨华宇环保技术有限公司 2022 年 1 月编制的《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》，海水处理系统（含高压泵、再冷凝器、海水汽化器、冷排水）配备有海水温度在线监测仪和余氯在线监测仪，确保出水水质标准。《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》显示，实测取排水最大温差为 $3^\circ\text{C} < 5^\circ\text{C}$ ，余氯 $< 0.2\text{mg/l}$ 。

从入海排水口排放海域现状情况来看，2021 年本项目附近海域整体水质较好。本项目所在的前詹港口航运区监测点水质全部达标，均满足《海水水质标准》（GB3097-1997）三类海水水质标准，水质达标率为 100%。

冷排水均匀排至海域，在排水口西侧设置有防波堤，取水口位于防波堤西侧，防波堤有效阻挡了冷排水向西侧的扩散，冷排水不会对取水水温产生影响。本项目的排水口设置在朝海一侧，因势利导，选择合理。且入海排水口管口低于海域低潮线以下。

排水口对附近的鲍鱼养殖取水口影响较小，根据建设单位介绍，项目运行后，未收到过养殖户的投诉。

本入海排水口已于 2014 年 5 月 27 日取得海域使用权证，国海证 2014A44522400496（（见附件 10）），排水口确权海域使用面积 2.4457 公顷。入海排水口的环评已于 2011 年 1 月 20 日获得原环境保护部的批复（环审[2011]24 号）。

综上所述，本入海排水口的设置符合《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017 年 11 月修正版）《防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》《广东省实施〈中华人民共和国海洋环境保护法〉办法》《广东省海洋功能区划（2011~2020 年）》《揭阳市海洋功能区划（2015-2020 年）》（2018 年）《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68 号）《揭阳市近岸海域环境功能区划》（2010 年）《广东省海洋生态红线》《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》等海洋生态环境保护相关法律法规和规划的要求，项目对周边环境敏感区影响较小，对养殖取水口影响较小，未收到养殖户的投诉，排水口用海已取得海域使用权证，且排水口环评已获得原环境保护部的批复，排水口已运行，排放方式与排水口设置合法合理，入海排水口位置及设置是合理可行的。

6 水环境保护措施

6.1 排水口规范化措施

排水口的规范化措施包括：

(1) 设置排水口标志，标志设置显著醒目，标明主要污染物、管理责任人等信息。

(2) 完善排水口建档管理，将主要污染物种类、数量、浓度、排放去向及设施运行情况记录于档案。

(3) 本工程采用一体化污水处理设备，全自动运行，每天人工巡视一次，查看各项指标是否在正常以内。

6.2 环境保护措施

(1) 工艺海水泵整体做到“N+1”备用原则。

(2) 设置中心控制室（CCR），实现对储罐区、工艺区、海水区、装车区、公用工程装置的集中监视、控制、安全保护、联锁停车及现场仪表、调节阀等的维护、校验和故障诊断。CCR 内配置安装有一套大屏幕系统。

粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程新上 4 台高压泵和 3 台海水泵控制系统利旧 CCR 原控制柜，需在原机柜间预留位置新上 1 台 DCS 端子柜，GDS 需要新上控制柜 1 台，FDS 需要新上控制柜 1 台，新上电源柜 3 台，新上 2 台 VMS 机柜，新上 2 台激光云台控制系统机柜。新上 1 台 VMS 操作站和 1 台激光云台操作站。其他新上设施控制系统新上控制器、机柜及辅助柜。

(3) 在海水处理系统（含高压泵、再冷凝器、海水汽化器、冷排水）配备有海水温度在线监测仪和余氯在线监测仪。

(4) 建设单位已编制《中海油粤东液化天然气有限责任公司突发环境事件应急预案》，于 2020 年 7 月 17 日在揭阳市组织召开了《中海油粤东液化天然气有限责任公司突发环境事件应急预案》专家评审会并完成备案手续。

6.3 建立水环境监测与报告制度

粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水运行中，应根据国家的环境保护政策，将海洋环境的监测作为重要内容。为保护海洋环境，应加强海洋环境、生态环境和生物资源保护的宣传，加强海洋环境保护法及规定的宣贯，提高全员海洋环境保护的意识。粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水运行期应加强海水排水口水质与水量的监测，实时监控排水水量及水质，并按海洋环境保护法的要求定期向生态环境行政主管部门报告排水水质水量及污染物排放状况。

本项目为冷排水连续排放，其水质未受到污染，除余氯外，无其他污染物产生。根据《陆源入海排污口及邻近海域环境监测与评价技术规程（试行）》，“年向海域排放污水量 1 万吨（含 1 万吨）以上，能够采集有效水样，且不在重点监测范围内的陆源入海排污口实施一般监测”。因此，本项目的环境监测计划包括入海排水口环境监测。

（1）监测点位布设原则

陆源入海排水口的监测点位应布设在其入海口处，且应保证所采污水样品不与海水混合。污水海洋处置工程排放口的采样点位设置在陆上处理设施出水口。根据北京中咨华宇环保技术有限公司 2022 年 1 月编制的《粤东 LNG 项目一期工程配套管线竣工环保验收报告（送审稿）》，粤东 LNG 接收站在海水处理系统（含高压泵、再冷凝器、海水汽化器、冷排水）配备有海水温度在线监测仪和余氯在线监测仪。

（2）监测点位布设数量

在入海排水口的排水主流道的中心点附近布设 4 个采样点位。

（3）监测频率

在污水稳定排放情况下每半年（夏季、冬季）一次委托第三方有资质的检测机构进行取样检测，环保部门每季度进行一次监测。若连续三年未超标，在下一年度可适当降低监测频率；若再次出现超标，则恢复原有监测频率。

（4）监测内容

监测内容包括污水流量、水温和余氯。

7 结论和建议

7.1 论证

粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口位于广东省揭阳市惠来县神泉镇以东约 8km、前詹镇以西约 5km 的卢园、沟疏村附近沿海，入海排水口经纬度坐标为 116°22'32.58"E、22°55'38.47"N，是为粤东 LNG 接收站冷排水服务的排水口，该排水口排水口工程于 2013 年 11 月开工建设，2015 年 6 建成，2015 年 12 月 30 日完成交工验收工作及手续。能满足粤东 LNG 接收站外输能力扩建工程的需要。粤东 LNG 接收站现有装置冷海水排放量为 13600m³/h，拟建的外输能力扩建工程新增冷海水排放量 25800m³/h，扩建工程完成后，粤东 LNG 接收站开架式气化器冷凝海水入海排水口冷海水排放量增加至 39400m³/h，排放方式为连续性排放。

排水口已进行海域使用论证和环境影响评价工作。该排水口已取得海域使用权证。根据《粤东 LNG 项目一期工程项目配套管线竣工环保验收报告(送审稿)》，粤东 LNG 项目在海水处理系统（含高压泵、再冷凝器、海水汽化器、冷排水）配备有海水温度在线监测仪和余氯在线监测仪，在线监测结果显示入口和出口水温最大温差 3°C，冷排水排放口余氯浓度小于 0.2mg/L，已通过环保工程竣工验收。

排水口所在的近岸海域环境功能区和海洋功能区划水质目标均为《海水水质标准》（GB3097-1997）第三类，项目所在海域海水水质满足环境质量标准要求。

排水口对附近的鲍鱼养殖取水口影响较小，根据建设单位介绍，项目运行后，未收到过养殖户的投诉。

本入海排水口已于 2014 年 5 月 27 日取得海域使用权证，国海证 2014A44522400496（（见附件 10）），排水口确权海域使用面积 2.4457 公顷。入海排水口的环评已于 2011 年 1 月 20 日获得原环境保护部的批复（环审[2011]24 号）。

综上所述，入海排水口的设置符合《中华人民共和国海洋环境保护法》（2017 年 11 月修正版）《防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》《广东省实施<中华人民共和国海洋环境保护法>办法》《广东省海洋功能区划

（2011~2020 年）》《揭阳市海洋功能区划（2015-2020 年）》（2018 年）《广东省近岸海域环境功能区划》（粤府办〔1999〕68 号）《揭阳市近岸海域环境功能区划》（2010 年）《广东省海洋生态红线》《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》等海洋生态环境保护相关法律法规和规划的要求，项目对周边环境敏感区影响较小，对养殖取水口影响较小，未收到养殖户的投诉，排水口用海已取得海域使用权证，且排水口环评已获得原环境保护部的批复，排水口已运行，排放方式与排水口设置合法合理，入海排水口位置及设置是合理可行的。

7.2 建议

（1）加强工程运行监督管理，加强生产管理，防止跑、冒、滴、漏；确保冷排水处理系统正常运行，确保冷排水排放符合环境影响批复要求。

（2）排污口的设置应按环保部门的有关要求备案，并进行排水口的跟踪监测；

（3）加强排水口附近海域水温、余氯的监测。

附录I 浮游植物名录

硅藻门 Bacillariophyta

中心纲 Centricae

盒形藻目 Biddulphiales

盒形藻科 Biddulphiaceae

盒形藻属 *Biddulphia*

高盒形藻 *Biddulphia regia*

活动盒形藻 *Biddulphia mobiliensis*

中华盒形藻 *Biddulphia sinensis**

双尾藻属 *Ditylum*

布氏双尾藻 *Ditylum brightwellii**

弯角藻属 *Eucampia*

短角弯角藻 *Eucampia zodiacus**

长角弯角藻 *Eucampia cornuta*

半管藻属 *Hemiaulus*

膜质半管藻 *Hemiaulus membranacus*

中华半管藻 *Hemiaulus sinensis*

链鞘藻属 *Streptotheca*

螺旋链鞘藻 *Streptotheca thamesis*

石丝藻属 *Lithodesmium*

波状石丝藻 *Lithodesmium undulatum*

角毛藻科 Chaetoceraeae

角毛藻属 *Chaetoceros*

并基角毛藻 *Chaetoceros decipiens*

齿角毛藻 *Chaetoceros denticulatum*

卡氏角毛藻 *Chaetoceros castracanei*

洛氏角毛藻 *Chaetoceros lorenzianus**

拟弯角毛藻 *Chaetoceros pseudocrinitus*

旋链角毛藻 *Chaetoceros curvisetus**

异角角毛藻 *Chaetoceros diversus*

窄隙角毛藻 *Chaetoceros affinis**

圆筛藻目 *Coscinodiscales*

圆筛藻科 *Coscinodiscacea*

辐杆藻属 *Bacteriastrum*

变异辐杆藻 *Bacteriastrum varians*

透明辐杆藻 *Bacteriastrum hyalinum*

环毛藻属 *Corethron*

小环毛藻 *Corethron hystrix*

圆筛藻属 *Coscinodiscus*

辐射圆筛藻 *Coscinodiscus radiatus**

格氏圆筛藻 *Coscinodiscus granii**

具边线圆筛藻 *Coscinodiscus marginato-lineatus*

琼氏圆筛藻 *Coscinodiscus jonesianus**

威氏圆筛藻 *Coscinodiscus wailesii**

小环藻属 *Cyclotella*

梅尼小环藻 *Cyclotella meneghiniana*

条纹小环藻 *Cyclotella striata*

小环藻未定种 *Cyclotella* sp.

几内亚藻属 *Guinardia*

萎软几内亚藻 *Guinardia flaccida**

劳德藻属 *Lauderia*

北方劳德藻 *Lauderia borealis*

细柱藻属 *Leptocylindrus*

丹麦细柱藻 *Leptocylindrus danicus**

直链藻属 *Melosira*

具槽直链藻 *Melosira sulcata*

骨条藻属 *Skeletonema*

中肋骨条藻 *Skeletonema costatum**

冠盖藻属 *Stephanopyxis*

日本冠盖藻 *Stephanopyxis nipponica*

塔形冠盖藻 *Stephanopyxis turris*

掌状冠盖藻 *Stephanopyxis palmeriana**

海链藻属 *Thalassiosira*

细弱海链藻 *Thalassiosira subtilis**

角管藻属 *Cerataulina*

海洋角管藻 *Cerataulina pelagica*

双角角管藻 *Cerataulina bicornis*

眼纹藻科 Eupodiscaceae

半盘藻属 *Hemidiscus*

哈氏半盘藻 *Hemidiscus hardmannianus*

根管藻目 Rhizosoleniales

根管藻科 Rhizosoleniaceae

根管藻属 *Rhizosolenia*

笔尖形根管藻粗径变种 *Rhizosolenia styliformis var. latissima**

伯氏根管藻 *Rhizosolenia berganii*

粗根管藻 *Rhizosolenia robusta*

刚毛根管藻 *Rhizosolenia setigera**

厚刺根管藻 *Rhizosolenia crassispina*

距端根管藻 *Rhizosolenia calcar avis*

柔弱根管藻 *Rhizosolenia delicatula**

斯氏根管藻 *Rhizosolenia stolterfothii**

翼根管藻 *Rhizosolenia alata*

翼根管藻纤细变型 *Rhizosolenia alata f. gracillima**

翼根管藻印度变型 *Rhizosolenia alata f. indica**

透明根管藻 *Rhizosolenia hyalina*

羽纹纲 Pennatae

无壳缝目 Araphidiales

脆杆藻科 Fragilariaceae

海线藻属 *Thalassionema*

菱形海线藻 *Thalassionema nitzschioides**

海毛藻属 *Thalassiothrix*

佛氏海毛藻 *Thalassiothrix frauenfeldii**

等片藻目 Diatomales

等片藻科 Diatomaceae

星杆藻属 *Asterionella*

日本星杆藻 *Asterionella japonica*

舟形目 Naviculales

舟形科 Naviculaceae

双壁藻属 *Diploneis*

线形双壁藻 *Diploneis linearis*

布纹藻属 *Gyrosigma*

尖布纹藻 *Gyrosigma acuminatum*

舟形藻属 *Navicula*

舟形藻未定种 *Navicula* sp.

斜纹藻属 *Pleurosigma*

宽角斜纹藻 *Pleurosigma angulatum*

宽角斜纹藻方形变种 *Pleurosigma angulatum* var. *quadratum*

镰刀斜纹藻 *Pleurosigma falx*

柔弱斜纹藻 *Pleurosigma delicatulum*

舟形斜纹藻 *Pleurosigma naviculaceum*

龙骨藻属 *Tropidoneis*

大龙骨藻 *Tropidoneis maxima*

双菱藻目 Surirellales

菱形藻科 Nitzschiaceae

菱形藻属 *Nitzschia*

尖刺菱形藻 *Nitzschia pungens**

奇异菱形藻 *Nitzschia paradoxa**

弯菱形藻 *Nitzschia sigma*

双菱藻科 Surirellaceae

双菱藻属 *Surirella*

流水双菱藻 *Surirella fluminensis*

蓝藻门 Cyanophyta

蓝藻纲 Cyanophyceae

念珠藻目 Nostocales

念珠藻科 Nostocaceae

鱼腥藻属 *Anabaena*

鱼腥藻未定种 *Anabaena* sp.

甲藻门 Pyrrophyta

甲藻纲 Dinophyceae

多甲藻目 Peridinales

多甲藻科 Peridiniaceae

多甲藻属 *Peridinium*

叉分多甲藻 *Peridinium divergens**

海洋多甲藻 *Peridinium oceanicum**

鳍藻目 Dinophysiales

鳍藻科 Dinophysiaceae

鳍藻属 *Dinophysis*

具尾鳍藻 *Dinophysis caudata**

角藻科 Ceratiaceae

角藻属 *Ceratium*

叉角藻 *Ceratium furca**

粗刺角藻 *Ceratium candelabrum*

短角角藻 *Ceratium breve**

纺锤角藻 *Ceratium fusus**

奇长角藻 *Ceratium extensum*

三叉角藻 *Ceratium trichoceros**

三角角藻 *Ceratium tripos**

五角角藻 *Ceratium pentagonum*

圆胖角藻 *Ceratium paradoxides*

原甲藻属 *Prorocentrum*

反曲原甲藻 *Prorocentrum sigmoides**

海洋原甲藻 *Prorocentrum micans**

裸甲藻目 *Gymnodiniales*

夜光藻科 *Noctilucaeae*

夜光藻属 *Noctiluca*

夜光藻 *Noctiluca scintillans**

注：标“*”为赤潮藻。

附录II 浮游动物名录

浮游幼虫 Larvae

- 短尾类幼虫 *Brachyura Larva*
- 多毛类幼虫 *Polychaeta Larva*
- 蔓足类无节幼虫 *Cirripedia nauplius*
- 桡足类无节幼体 *Copepoda nauplius*
- 桡足幼体 *Copepodid*
- 蛇尾类长腕幼虫 *Ophiopluteus Larva*
- 异尾类幼虫 *Anomura Larva*
- 莹虾幼体 *Lucifer Larva*
- 鱼卵 *Fish Egg*
- 仔鱼 *Fish Larva*
- 长尾类幼虫 *Macrura Larva*

刺胞动物门 Cnidaria

- 水螅水母纲 *Hydroidomedusa*
 - 怪水母科 *Geryoniidae*
 - 四叶小舌水母 *Liriope tetraphylla*
 - 丝螅水母目 *Filifera*
 - 介螅水母科 *Hydractiniidae*
 - 介螅水母属 *Hydractiria*
 - 顶突介螅水母 *Hydractinia apicata*
 - 原帽水母科 *Protiaridae*
 - 拟海帽水母属 *Halitiara*
 - 裸球拟海帽水母 *Halitiara nudibulbus*
 - 吻螅水母目 *Proboscoida*
 - 钟螅水母科 *Campanulariidae*
 - 美螅水母属 *Clytia*
 - 兰吉美螅水母 *Clytia rangiroae*

双叉蕺枝螳水母 *Obelia dichotoma*

钟泳目 Calycophorae

双生水母科 Diphyidae

浅室水母属 *Lensia*

粗管浅室水母 *Lensia canopusi*

拟细浅室水母 *Lensia subtiloides*

细条浅室水母 *Lensia leloupi*

双生水母属 *Diphyes*

双生水母 *Diphyes chamissonis*

脊索动物门 Chordata

有尾纲 Appendiculata

住囊虫科 Oikopleuridae

住囊虫属 *Oikopleura*

异体住囊虫 *Oikopleura dioica*

海樽纲 Thaliacea

全肌目 Cyclomyaria

海樽科 Doliolidae

海樽属 *Dolioletta*

小齿海樽 *Dolioletta denticulatum*

节肢动物门 Arthropoda

甲壳纲 Crustacea

剑水蚤目 Cyclopoida

长腹剑水蚤科 Oithonidae

长腹剑水蚤属 *Oithona*

短角长腹剑水蚤 *Oithona brevicornis*

竖长腹剑水蚤 *Oithona rigida*

筒长腹剑水蚤 *Oithona simplex*

须长腹剑水蚤 *Oithona aruensis*

眼长腹剑水蚤 *Oithona oculata*

异长腹剑水蚤 *Oithona dissimilis*

猛水蚤目 Harpacticoida

谐猛水蚤科 Euterpinidae

谐猛水蚤属 *Euterpina*

尖额谐猛水蚤 *Euterpina acutifrons*

长猛水蚤科 Ectinosomatidae

小毛猛水蚤属 *Microsetella*

红小毛猛水蚤 *Microsetella rosea*

歧口水蚤目 Anthessiidae

大眼剑水蚤科 Corycaeidae

大眼剑水蚤属 *Corycaeus*

近缘大眼剑水蚤 *Corycaeus affinis*

十足目 Decapoda

樱虾科 Sergestidae

莹虾属 *Lucifer*

汉森莹虾 *Lucifer hanseni*

刷状莹虾 *Lucifer penicillifer*

正型莹虾 *Lucifer typus*

哲水蚤目 Calanoida

纺锤水蚤科 Acartiidae

纺锤水蚤属 *Acartia*

刺尾纺锤水蚤 *Acartia spinicauda*

多刺纺锤水蚤 *Acartia amboinensis*

太平洋纺锤水蚤 *Acartia pacifica*

角水蚤科 Pontellidae

唇角水蚤属 *Labidocera*

小唇角水蚤 *Labidocera minuta*

宽水蚤科 Temoridae

宽水蚤属 *Temora*

锥形宽水蚤 *Temora turbinata*

拟哲水蚤科 Paracalanidae

拟哲水蚤属 *Paracalanus*

强额拟哲水蚤 *Paracalanus crassirostris*

小拟哲水蚤 *Paracalanus parvus*

平头水蚤科 Candaciidae

平头水蚤属 *Candacia*

伯氏平头水蚤 *Candacia bradyi*

歪水蚤科 Tortanidae

歪水蚤属 *Tortanus*

瘦歪水蚤 *Tortanus gracilis*

胸刺水蚤科 Centropagidae

胸刺水蚤属 *Centropages*

瘦尾胸刺水蚤 *Centropages tenuiremis*

哲水蚤科 Calanidae

微刺哲水蚤 *Canthocalanus pauper*

真哲水蚤科 Eucalanidae

次真哲水蚤属 *Subeucalanus*

强次真哲水蚤 *Subeucalanus crassus*

亚强次真哲水蚤 *Subeucalanus subcrassus*

枝角目 Cladocera

仙达溞科 Sididae

尖头溞属 *Penilia*

鸟喙尖头溞 *Penilia avirostris*

圆囊溞科 Podonidae

三角溞属 *Evadne*

肥胖三角溞 *Evadne tergestina*

壮肢目 Mydocopa

海萤科 Cypridinidae

海莹属 *Cypridina*

尖尾海莹 *Cypridina acuminata*

弯曲海莹 *Cypridina sinuosa*

栉板动物门 Ctenophora

有触手纲 Tentacolata

球栉水母目 Cydippida

侧腕水母科 Pleurobrachidae

球型侧腕水母 *pleurobrachia globosa*

毛颚动物门 Chaetognatha

箭虫纲 Sagittoidea

无横膈肌目 Apheroglyphophora

箭虫科 Sagittidae

箭虫属 *Sagitta*

百陶箭虫 *Sagitta bedoti*

肥胖箭虫 *Sagitta enflata*

附录III 鱼卵仔鱼名录

- 脊索动物门 Chordata
 - 硬骨鱼纲 Osteichthyes
 - 鲱形目 Clupeiformes
 - 鳀科 Engraulidae
 - 鲈形目 Perciformes
 - 鱧科 Sillaginidae
 - 鲷科 Leiognathidae
 - 鲷科 Sparidae
 - 鲽形目 Pleuronectiformes
 - 舌鳎科 Cynoglossidae

附录 IV 潮下带底栖生物名录

环节动物门 Annelida

多毛纲 Polychaeta

单指虫目 Cossurida

单指虫科 Cossuridae

拟单指虫属 *Cossurella*

双形拟单指虫 *Cossurella dimorpha*

海稚虫目 Spionida

海稚虫科 Spionidae

奇异稚齿虫属 *Paraprionospio*

奇异稚齿虫 *Paraprionospio pinnata*

稚齿虫属 *Prionospio*

日本稚齿虫 *Prionospio japonica*

小头虫目 Capitellida

小头虫科 Capitellidae

背蚓虫属 *Notomastus*

背蚓虫 *Notomastus latericeus*

叶须虫目 Phyllodocida

齿吻沙蚕科 Nephtyidae

齿吻沙蚕属 *Nephtys*

寡鳃齿吻沙蚕 *Nephtys oligobranchia*

内卷齿蚕属 *Aglaophamus*

双鳃内卷齿蚕 *Aglaophamus dibranchis*

附录V 潮间带底栖生物名录

软体动物门 Mollusca

腹足纲 Gastropoda

新腹足目 Neogastropoda

骨螺科 Muricidae

荔枝螺属 *Thais*

疣荔枝螺 *Thais clavigera*

双壳纲 Bivalvia

帘蛤目 Veneroida

蛤蜊科 Mactridae

蛤蜊属 *Mactra*

中国蛤蜊 *Mactra chinensis*

帘蛤科 Veneridae

文蛤属 *Meretrix*

文蛤 *Meretrix meretrix**

巴非蛤属 *paphia*

波纹巴非蛤 *paphia undulata**

贻贝目 Mytiloida

贻贝科 Mytilidae

肌蛤属 *Musculus*

凸壳肌蛤 *Musculus senhousei**

贻贝属 *Perna*

翡翠贻贝 *Perna viridis*

节肢动物门 Arthropoda

甲壳纲 Crustacea

端足目 Amphipoda

双眼钩虾科 Ampeliscidae

沙钩虾属 *Byblis*

沙钩虾属 *Byblis* sp.

十足目 Decapoda

玉蟹科 Leucosiidae

拳蟹属 *Philyra*

拳蟹属 *Philyra* sp.*

相手蟹科 Sesarma

小相手蟹属 *Nanosesarma*

小相手蟹 *Nanosesarma minutumminutum*

围胸目 Thoracica

藤壶科 Balanidae

纹藤壶属 *Balanus*

纹藤壶 *Balanus amphitrite*

注：“*”为定量中出现的物种。