



MCC 中冶京诚

亚洲快链（ALC）海缆项目 S6 段 环境影响报告书 （全文公示稿）

北京京诚嘉宇环境科技有限公司

二〇二六年一月



目 录

1	概述	1
1.1	项目由来	1
1.2	建设项目特点	3
1.3	评价工作过程	4
1.4	关注的主要环境问题	5
1.5	环境影响评价主要结论	5
2	总则	7
2.1	编制依据	7
2.2	环境影响识别与评价因子筛选	12
2.3	评价等级、评价范围、评价时段	14
2.4	环境功能区划	18
2.5	评价标准	23
2.6	环境保护目标和环境敏感目标	26
3	工程概况	30
3.1	项目基本信息	30
3.2	预选路由方案比选	30
3.3	平面布置方案	38
3.4	施工方案	39
3.5	主要工程材料	44
3.6	海缆保护方案	45
3.7	施工船舶与设备	45
3.8	项目时间进度	51
4	工程分析	52
4.1	施工阶段污染及生态环境影响分析	52
4.2	运营阶段污染及生态影响分析	59
5	区域环境概况	60
5.1	路由区海洋水文气象	60
5.2	路由区工程地质条件	71

5.3	路由区海底腐蚀性环境	84
5.4	路由区海洋开发活动	85
5.5	区域重要海洋生态区概况	92
6	海洋环境质量现状调查与评价	96
6.1	调查概况	96
6.2	水文动力环境现状调查与评价	96
6.3	地形地貌与冲淤环境现状调查与评价	116
6.4	海水水质现状调查及评价	122
6.5	海洋沉积物现状调查与评价	132
6.6	海洋生态现状调查与评价	135
6.7	渔业资源现状调查及评价	144
6.8	海洋生物体质量	153
7	环境影响预测分析与评价	156
7.1	水文动力及冲淤环境影响预测与评价	156
7.2	水质环境影响预测与评价	170
7.3	海洋沉积物环境影响预测与评价	176
7.4	海洋生态环境影响分析与评价	177
7.5	对南海中部农渔业区的影响分析	183
8	环境风险分析与评价	185
8.1	风险识别	185
8.2	事故概率与源项分析	188
8.3	施工船舶溢油事故后果分析	192
8.4	风险防范与应急措施	206
9	环境保护对策措施	219
9.1	降低悬浮物影响的措施	219
9.2	水污染防治措施	219
9.3	固废污染物治理措施	220
9.4	大气污染防治措施	220
9.5	生态影响防治措施	221
9.6	污染防治对策及监管措施一览表	223
10	环境保护的技术经济合理性	226

10.1	环保投资估算.....	226
10.2	环境损益分析.....	226
10.3	社会效益分析.....	228
11	工程环境可行性分析	229
11.1	与国家产业政策的符合性	229
11.2	与主体功能区规划符合性	229
11.3	与海洋功能区划的符合性	230
11.4	与《“十四五”海洋生态环境保护规划》的符合性.....	231
11.5	与《“十四五”信息通信行业发展规划》符合性	232
11.6	与国土空间规划的符合性分析	232
11.7	与《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》符合性分析.....	233
11.8	与其他相关规划的符合性分析	234
12	环境管理	237
12.1	环境管理体系.....	237
12.2	环境管理机构.....	238
13	环境影响评价结论.....	241
13.1	工程分析结论.....	241
13.2	环境现状调查结论.....	241
13.3	环境影响评价结论.....	243
13.4	环境保护措施结论.....	244
13.5	环境风险评价结论.....	244
13.6	建设项目环境可行性结论	245
14	附图一	246

1 概述

1.1 项目由来

2020 年 10 月 29 日，党的十九届五中全会审议通过《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》，提出了要加快构建“以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进”的新发展格局，并明确要求“推动共建‘一带一路’高质量发展”。粤港澳大湾区背靠祖国大陆，对外辐射东南亚地区，是服务“双循环”战略的重要节点，是“一带一路”建设的重要支撑。香港和新加坡均是高度繁荣的国际港和国际大都市，根据“TeleGeography”数据，2021 年新加坡和香港在全球国际互联网交换中心排名分别为第 5 名和第 6 名。东南亚地区在全球经济发展热度领先，是中企活跃程度最高的地区，中国电信在该地区业务发展迅猛。中国电信参与连接中国香港、中国海南、新加坡等国家和地区的国际海缆建设，是践行粤港澳大湾区战略和“一带一路”倡议、落实国家相关部门关于数字经济对外投资合作工作部署的重要举措，同时也是企业自身业务发展的要求。

亚洲快链（ALC）海缆项目（以下简称“ALC 海缆项目”）是大型中继海缆系统，由中国电信、DITO（菲律宾）、Globe（菲律宾）、Singtel（新加坡）、UNN（文莱）、Viettel（越南）、VNPT（越南）、FPT（越南）和 TM（马来西亚）等共同投资建设。该项目主干段北起中国香港春坎角，南至新加坡樟宜，国内分支段连接海南省陵水县，另有国际分支段分别连接东南亚菲律宾、文莱、越南和马来西亚等国，中国电信作为国内投资方代表负责办理中国管辖水域相关许可的申报工作。

2023 年，为推进国家数字经济战略的实施，根据项目前期工作安排，投资方决定先行建设工程主线及部分分支，包括中国海南分支以及菲律宾、文莱分支。中国电信随即委托北京京诚嘉宇环境科技有限公司（以下简称“我公司”）开展了 ALC 海缆项目的环境影响评估工作，并于 2023 年 9 月取得了生态环境部《关于亚洲快链（ALC）国际通信海底光缆项目环境影响报告书的批复》（环审〔2023〕96 号）。批复工程建设内容包括：工程干线（S1.1、S1.2、S1.3、S1.4、S1.5、S1.6、S1.7）、海南支线（S3）、菲律宾卢纳支线（S4）、菲律宾巴望支线（S5）和文莱支线（S7）位于中国管辖水域的区段。目前，批复建设内容已完成全部施工。

S6 段为 ALC 海缆项目的越南支线，路由自 ALC 海缆项目主干段分支器（BU5）连接至越南岬港，配置 4 对光纤。S6 段位于中国南海管辖海域内的部分（以下简称

“本项目”）与已批复的 ALC 海缆项目区段位置关系详见图 1.1-1。

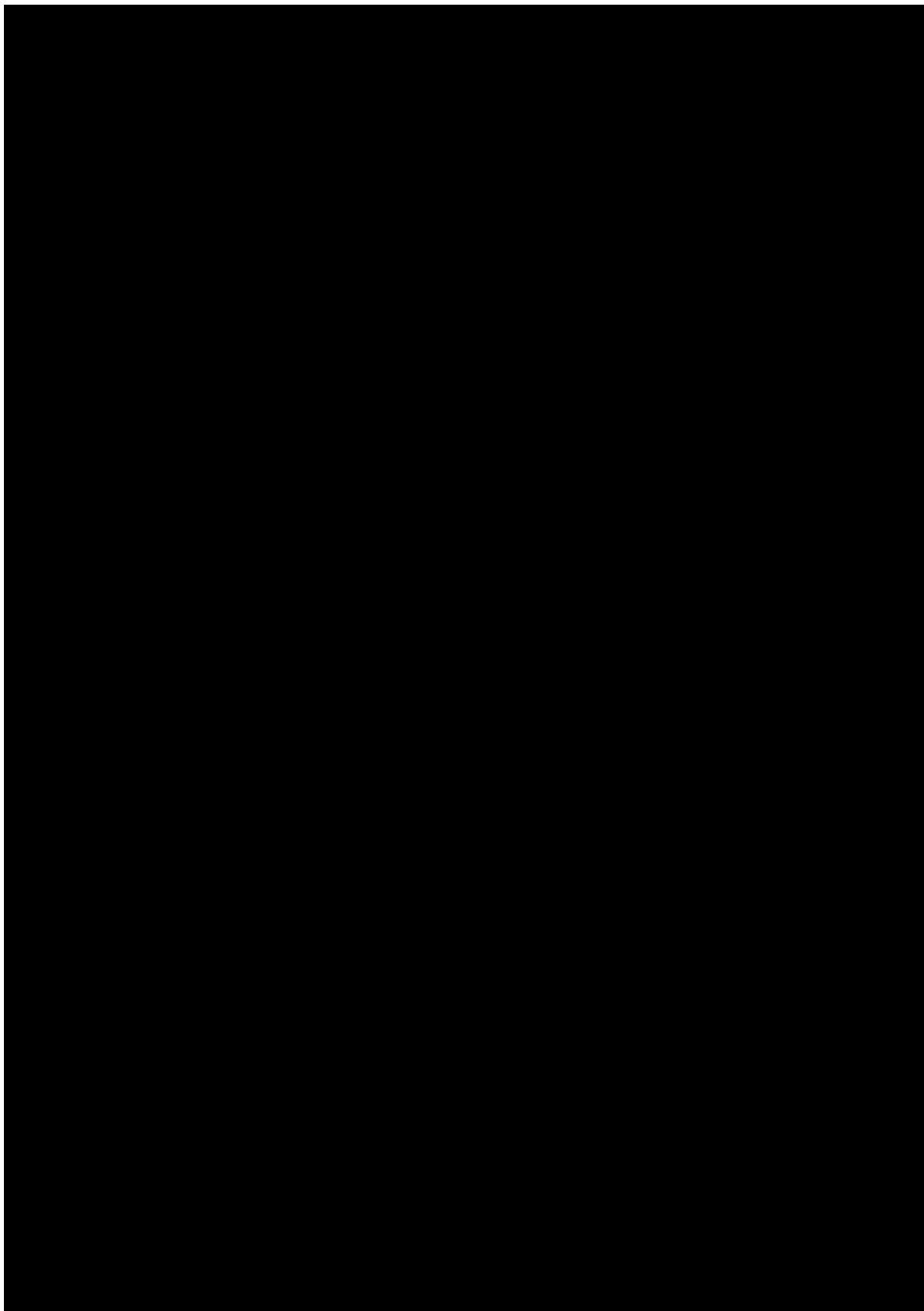


图 1.1-1 本项目路由与已批复建设内容的位置关系图

受中国电信委托，我公司承担了本项目环境影响评价工作。本次环境影响评价

对象仅限于 S6 段位于中国南海管辖的区段，该段路由总长度为 638.18km。

根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 版），本项目类别属于“五十四、海洋工程—152 海底隧道、管道、电（光）缆工程”，工程挖沟埋设海底光缆 198.82 公里，属于“挖沟埋设单条管道长度 20 公里及以上的海上和海底电（光）缆工程”，应编制环境影响报告书。

本报告中涉及的中国海域界线系根据《中华人民共和国领海及毗连区法》《中华人民共和国政府关于中华人民共和国领海基线的声明》和我国最新出版的海图，报告中所用坐标系统均为 CGCS2000 国家大地坐标系。

1.2 建设项目特点

根据光缆穿越海域特点，路由自 BU5 分支点向西北至水深大于 1000m 水深的海域选用轻型加保护（LWP）海缆，1000m 以浅选用单层铠装（SA）海缆。光缆采用防腐设计，设计使用寿命 25 年。

本项目光缆施工包括扫海清障、光缆铺设和铺后检查及补救。扫海清障由船体拖动扫海锚具，针对光缆路由区水深 1000m 以浅水域路由中心线两侧各 0.5m 的范围，清除海床表面障碍物。光缆铺设施工根据路由海域水深条件确定，其中小鱼 1000m 水深段采用铺缆船埋设犁埋设，大于 1000m 水深段由铺缆船表面敷设。光缆全部铺设完成后，利用水下机器人进行最终检查，对未达设计埋深的光缆采取补救措施。

本项目投资约为 10368 万元，环保投资为 580.21 万元，计划施工天数共 45 天。

通过对项目工程方案、施工工艺、环境影响、路由区环境特征、投资效益等方面的综合分析，本项目总体特征有以下几方面：

1、工程总体投资较大，效益高，具有重要的战略意义。目前全球 75% 的国家通过海底光缆进行国际间信号传输，世界上 95% 以上的通信数据通过海底光缆传输技术。海底光缆作为主要的国际间信息传输的手段，具有较强的抗干扰能力、稳定性和安全性高，一般寿命都能达到 25 年左右。建设后可长期承担于跨洋通讯数据传输任务。本项目的建设是践行粤港澳大湾区战略和“一带一路”倡议、落实国家相关部门关于数字经济对外投资合作工作部署的重要举措，具有深远的战略意义。

2、工程体量较大，空间跨度较大，线路较长，穿越区域以农渔业水域为主，与

光缆项目具备兼容性。光缆路由穿越我国南海中部农渔业区水域，工程与所穿越的环境功能区主导功能具有可兼容性。

3、光缆线路远离海南省大陆岸线和海岛岸线，不涉及海南省本岛及近岸生态环境分区管控单元及生态保护红线，同时光缆路由与西沙、南沙珊瑚礁分布区以及水产种质资源保护区等生态敏感区域保持了较远的距离。正常施工过程中，不会对这些区域产生不利影响。

4、项目建设实施产生的环境影响主要发生在施工期，光缆服务期内正常情况下无污染物排放。施工期不同施工阶段、不同水深海域所采用的施工工艺不同，环境影响程度不同。主要环境影响是埋设光缆作业导致的悬浮沙以及施工过程中作业船舶污染物的排放对线路周边水质、水生态的影响，影响时段相对短，影响范围水平方向局限在路由区周边，纵向主要在海缆铺设的底层水域。

5、施工环境影响要素和影响途径相对简单，能够通过采取有针对性的污染防治措施和生态保护措施来缓解项目建设带来的环境不利影响。施工为水上作业，施工期主要通过船舶活动（埋缆作业、废水排放、废气排放等）对外环境产生影响。通过规范作业，提高施工质量，并加强施工船舶污染防治设备设施的检查、维护，控制污染物的达标排放管理，能够缓解项目建设带来的不利影响。

6、施工水域位于南海海域航线经由区域，南海海域航线与本项目光缆路由交越，同时工程海域海况条件相对较差，工程施工期间存在一定的船舶碰撞事故风险。施工海域离岸远，一旦发生溢油风险事故，应急响应力量的投入有一定的滞后，需采取全面的应急风险防范措施，并制定相关应急预案，控制环境风险。

7、项目由专业单位承建，采用专业的铺缆船，搭载精密设备仪器，施工装备先进，施工技术水平高，能够确保精细化施工要求。环境影响可控，建立的环境管理体系和环境监管机制可靠，有保障，能够确保环境保护要求落实到位。

1.3 评价工作过程

2025年4月，受中国电信委托，我公司承担了本项目的环境影响评价工作。接受建设单位评价任务后，我公司组织相关人员成立了项目组，按照《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）要求，按三个工作阶段开展了本项目环境影响评估工作。

在评估工作的第一阶段，首先对项目有关设计文件和相关法规、标准、国际公

约进行了深入研究，并开展了初步工程分析，环境影响识别及因子的初步筛选工作。按照《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）确定了本项目环境影响评价的工作等级、范围和评价重点。通过调查了解，识别了项目周边环境保护目标，并在收集历史调查资料的基础上，根据评价工作要求，结合光缆桌面路由方案，制定了现状调查资料收集工作方案。

在评估工作的第二阶段，基于项目推荐光缆路由，项目组进行了详细的工程分析，对项目产生的环境影响的范围和程度进行预测。

在评估工作的第三阶段，项目组根据环境影响预测结果形成了针对本项目的环境保护对策措施、环境经济损益分析。针对项目环境影响特征提出了建立环境管理体系等要求，并从环境保护角度给出了项目建设可行的结论，编制完成了《亚洲快链（ALC）海缆项目 S6 段环境影响报告书》（送审稿）。

1.4 关注的主要环境问题

根据环境保护相关要求，结合本项目建设实施的环境影响特征，本次环境影响评估重点关注的环境问题包括：

- （1）项目与相关产业政策、主体功能区规划、环境功能区划、环境保护规划的符合性分析，项目与生态环境分区管控、生态保护红线管理要求的符合性分析；
- （2）光缆施工引起的悬浮沙对海水水质和海洋生态环境的影响评价；
- （3）光缆施工对周边环境敏感目标的影响分析；
- （4）提出切实可行的环境保护措施和生态补偿措施；
- （5）针对可能发生的溢油事故开展环境风险评价，提出防范和应急措施要求。

1.5 环境影响评价主要结论

本项目的建设对推进实施“一带一路”倡议以及“海洋强国”、“网络强国”具有重要的战略意义。

项目实施符合《全国海洋主体功能区规划》、《全国海洋功能区划》的相关规划要求。项目建设对海南省本岛及近岸海域、三沙海域不存在制约影响。

项目实施环境影响主要发生在施工期，根据环境影响分析结果，光缆埋设悬浮沙对海水水质和海洋生态环境影响较小。针对施工阶段可能发现的潜在的环境风险事故，建设单位应采取风险防范和事故应急措施，编制应急计划，配备应急物资。

在落实各项环境保护措施、生态保护措施和风险防范与应急措施，加强施工期环境监理工作的基础上，项目建设从环境保护角度是可行的。

2 总则

2.1 编制依据

2.1.1 国家法律法规和国际公约

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

（2）《中华人民共和国海洋环境保护法》，2023 年 10 月 24 日第十四届全国人民代表大会常务委员会第六次会议第二次修订，2024 年 1 月 1 日起施行；

（3）《中华人民共和国环境影响评价法》，2018 年 12 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议修正施行；

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

（5）《中华人民共和国水污染防治法》，2017 年 6 月 27 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议修正，2018 年 1 月 1 日起施行；

（6）《中华人民共和国大气污染防治法》，2018 年 10 月 26 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第六次会议修改施行；

（7）《中华人民共和国噪声污染防治法》，2021 年 12 月 24 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第三十二次会议通过，2022 年 6 月 5 日起施行；

（8）《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2020 年 4 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第十七次会议第二次修订，2020 年 9 月 1 日起施行；

（9）《中华人民共和国渔业法》，2013 年 12 月 28 日第十二届全国人民代表大会常务委员会第六次会议修正施行；

（10）《中华人民共和国海上交通安全法》，2021 年 4 月 29 日第十三届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议修订，2021 年 9 月 1 日起施行；

（11）《中华人民共和国海岛保护法》，2009 年 12 月 26 日第十一届全国人民代表大会常务委员会第十二次会议通过，2010 年 3 月 1 日施行；

（12）《中华人民共和国清洁生产促进法》，2012 年 2 月 29 日第十一届全国人民代表大会常务委员会第二十五次会议修订，2012 年 7 月 1 日起施行；

（13）《中华人民共和国野生动物保护法》，2022 年 12 月 30 日修订，2023 年 5 月

1 日起施行；

（14）《中华人民共和国突发事件应对法》，2007 年 8 月 30 日第十届全国人民代表大会常务委员会第二十九次会议通过；

（15）《建设项目环境保护管理条例》，2017 年 7 月 16 日国务院令第 682 号国务院修订，2017 年 10 月 1 日起施行；

（16）《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2018 年 3 月 19 日国务院令第 698 号修改施行；

（17）《中华人民共和国防治船舶污染海洋环境管理条例》，2018 年 3 月 19 日国务院令第 698 号修改施行；

（18）《中华人民共和国船舶和海上设施检验条例》，1993 年 2 月 14 日国务院令第 109 号发布，2019 年 3 月 2 日修订；

（19）《中华人民共和国自然保护区条例》，2017 年 10 月 7 日国务院令 687 号修改施行；

（20）《中华人民共和国水生野生动物保护实施条例》，2013 年 12 月 7 日修订；

（21）《铺设海底电缆管道管理规定》，1989 年 2 月 11 日国务院第 27 号令，1989 年 3 月 1 日起施行；

（22）《经 1978 年议定书修订的 1973 年国际防止船舶造成污染公约》及其修正案，国际海事组织。

2.1.2 部门规章及规范性文件

（1）《建设项目环境影响评价分类管理名录》，2020 年 11 月 30 日生态环境部令 16 号，2021 年 1 月 1 日起施行；

（2）《环境影响评价公众参与办法》，2018 年 7 月 16 日生态环境部令第 4 号，2019 年 1 月 1 日起施行；

（3）《海底电缆管道保护规定》，2004 年 1 月 9 日国土资源部第 24 号令，2004 年 3 月 1 日起施行；

（4）《铺设海底电缆管道管理规定实施办法》，1992 年 8 月 26 日国家海洋局令第 3 号公布施行；

（5）《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境污染防治管理规定》交通运输部 2017 年第 15 号令修改，2017 年 5 月 23 日施行；

（6）《中华人民共和国水上水下作业和活动通航安全管理规定》，交通运输部 2021 年第 24 号令，2021 年 9 月 1 日起施行；

（7）《中华人民共和国船舶污染海洋环境应急防备和应急处置管理规定》交通运输部 2019 年第 40 号令修订，2019 年 11 月 28 日施行；

（8）《交通运输突发事件应急管理规定》，交通运输部 2011 年第 9 号令，2012 年 1 月 1 日起施行；

（9）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，国家发展改革委令第 7 号，2024 年 2 月 1 日起施行；

（10）《关于划定并严守生态保护红线的若干意见》（厅字〔2017〕2 号），2017 年 2 月 7 日印发；

（11）《关于在国土空间规划中统筹划定落实三条控制线的指导意见》（中办发〔2019〕48 号），2019 年 10 月 25 日印发；

（12）《国务院关于印发中国水生生物资源养护行动纲要的通知》（国发〔2006〕9 号），2006 年 2 月 14 日印发；

（13）《自然资源部生态环境部国家林业和草原局关于加强生态保护红线管理的通知（试行）》，（自然资发〔2022〕142 号），2022 年 8 月 16 日印发；

（14）《关于进一步加强环境影响评价管理防范环境风险的通知》（环发〔2012〕77 号），2012 年 7 月 3 日发布；

（15）《关于切实加强风险防范严格环境影响评价管理的通知》（环发〔2012〕98 号），2012 年 8 月 7 日发布；

（16）《关于进一步加强水生生物资源保护 严格环境影响评价管理的通知》（环发〔2013〕86 号），2013 年 8 月 5 日发布；

（17）《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评〔2016〕150 号），2016 年 10 月 26 日发布；

（18）《关于印发船舶大气污染物排放控制区实施方案的通知》（交海发〔2018〕168 号），2018 年 11 月 30 日发布；

（19）《中国海洋渔业水域图（第一批）》（农业部 2002 年第 189 号公告），2002 年 2 月发布；

（20）《农业农村部办公厅关于进一步明确涉渔工程水生生物资源保护和补偿有关事项的通知》（农办渔〔2018〕50 号），2018 年 6 月 29 日发布；

（21）《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》（农渔发〔2022〕1号），2022年1月13日发布；

（22）《农业农村部关于加强水生生物资源养护的指导意见》（农渔发〔2022〕23号），2022年11月22日发布；

（23）关于发布《国际航行海船法定检验技术规则》（2019年修改通报）的公告，中华人民共和国海事局2019年第15号公告，2019年9月1日起实施；

（24）关于发布《2020年全球船用燃油限硫令实施方案》的公告，中华人民共和国海事局2019年第20号公告，2019年10月25日发布；

（25）《海南省国土空间规划（2021-2035年）》，国务院，2023年9月。

2.1.3 地方法规与规范性文件

（1）《海南省环境保护条例》，2017年7月21日海南省第五届人民代表大会常务委员会第三十一次会议修正，2018年1月1日起施行；

（2）《海南省海洋环境保护规定》，2017年11月30日海南省第五届人民代表大会常务委员会第三十三次会议修正施行；

（3）《海南省水污染防治条例》，2017年11月30日海南省第五届人民代表大会常务委员会第三十三次会议通过，2018年1月1日起施行；

（4）《海南省大气污染防治条例》，2018年12月26日海南省第六届人民代表大会常务委员会第八次会议通过，2019年3月1日施行；

（5）《海南省生态保护红线管理规定》，2022年5月31日海南省第六届人民代表大会常务委员会第三十六次会议修正施行；

（6）《海南经济特区海岸带保护与开发管理规定》，2019年12月31日海南省第六届人民代表大会常务委员会第十六次会议修改，2020年2月1日起施行；

（7）《海南省珊瑚礁和砗磲保护规定》，2016年11月30日海南省第五届人民代表大会常务委员会第二十四次会议通过，2017年1月1日起施行；

（8）《关于印发海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则的通知》（琼府〔2022〕22号），2022年6月10日发布实施；

（9）《海南省大气污染防治行动计划实施细则》（琼府〔2014〕7号），2014年2月17日印发；

（10）《海南省水污染防治行动计划实施方案》（琼府〔2015〕111号），2015年

12 月 21 日印发；

（11）《海南省人民政府办公厅关于加强海南省海岸带和近岸海域污染防治的指导意见》（琼府办〔2017〕168 号），2017 年 10 月 31 日发布；

（12）《关于印发海南省生态保护红线准入管理目录(修订)的通知》（琼府办〔2023〕4 号），2023 年 1 月 16 日印发；

（13）印发《海南省“三线一单”生态环境分区管控的实施意见》的通知（琼办发〔2021〕7 号），2021 年 2 月 10 日印发；

（14）关于发布《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》的函（琼环函〔2024〕167 号），2024 年 8 月 5 日印发；

（15）《海南自由贸易港生态环境分区管控规定》（海南省人民代表大会常务委员会公告第 80 号），2025 年 9 月 1 日起施行。

2.1.4 功能区划与相关规划

（1）《全国海洋主体功能区规划》（国发〔2015〕42 号批复），2015 年 8 月 1 日国务院印发；

（2）《全国海洋功能区划（2011-2020 年）》（国函〔2012〕13 号批复），2012 年 4 月 25 日国家海洋局印发；

（3）《海南省海洋功能区划（2011-2020）》（国函〔2012〕181 号批复）；

（4）《“十四五”海洋生态环境保护规划》（环海洋〔2022〕4 号），2022 年 1 月 7 日印发；

（5）《海南省“十四五”海洋生态环境保护规划》（琼环海字〔2021〕4 号），2021 年 12 月 31 日印发；

（6）《“十四五”信息通信行业发展规划》（工信部规〔2021〕164 号），2021 年 11 月 1 日印发。

2.1.5 技术导则、规范与相关标准

（1）《建设项目环境影响评价技术导则 总纲》（HJ2.1-2016）；

（2）《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）；；

（3）《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）；

（4）《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021）；

- (5)《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ 169-2018）；
- (6)《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T1143-2017）；
- (7)《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）；
- (8)《船舶污染海洋环境风险评价技术规范（试行）》（海船舶〔2011〕588 号）；
- (9)《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（2002 年 4 月）；
- (10)《突发环境事件应急监测技术规范》（HJ 589-2021）；
- (11)《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）；
- (12)《海洋监测规范》（GB17378-2007）；
- (13)《海水水质标准》（GB3097-1997）；
- (14)《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）；
- (15)《海洋生物质量》（GB18421-2001）；
- (16)《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）。

2.1.6 工程及相关专题资料

- (1)《亚洲快链（ALC）海缆项目 S6 段预选路由选择依据说明材料》（送审稿），华海通信技术有限公司，2025 年 8 月；
- (2)《海缆项目海洋环境现状调查报告》，自然资源部南海调查中心，2024 年 5 月；
- (3)建设单位提供的其他工程资料。

2.2 环境影响识别与评价因子筛选

2.2.1 环境影响要素识别

光缆建设过程可以分为施工阶段、运营阶段和废弃阶段三个阶段。本次环境影响评价主要对施工阶段和运营阶段进行分析评价。

海底光缆施工工艺相对成熟，路由清障及敷缆作业搅起的海底泥沙导致悬浮物浓度增高，施工船舶排放船舶污染物，均会对周围海域水质、沉积物产生一定的环境影响，扰动海洋生态环境。水上施工船舶柴油机废气还会对海上环境空气造成小范围、短时影响。

运营阶段光缆埋设在海床下或敷设在海床表面，正常运行情况下对海水水质、生态环境无不利影响，对海洋地形地貌与冲淤环境基本也无影响。但光缆发生断裂

等事故进行修复时需将海缆暴露后起吊至工程船维修，环境影响主要是破损段局部海床冲切引起的悬浮沙影响，影响特征同施工期海缆铺设影响。

此外，施工过程中作业船舶可能发生船舶碰撞溢油风险事故，一旦发生溢油事故将对海洋环境造成严重影响。

通过对项目建设运行过程与环境的相互作用途径和发展过程的分析，进行环境影响要素识别分析，具体见表 2.2-1。

表 2.2-1 本项目环境影响因素识别表

环境影响要素 工程内容		海水水质	沉积物	海洋生态	地形地貌与冲淤	大气环境
施工期	扫海清障	-2S	-1S	-2S	/	-1S
	光缆铺设	-2S	-1S	-2S	-1S	-1S
运行期	光缆运行	/	/	/	/	/
	光缆修复	-2S	-1S	-2S	-1S	-1S
环境风险		-3S	/	-3S	/	/

注：表中“+”表示有利影响；“-”表示不利影响。

“1”表示轻微影响；“2”表示中等影响；“3”表示重大影响。

“L”表示长期影响；“S”表示短期影响。“/”表示无相互作用。

2.2.2 评价因子筛选

根据本项目的环境影响要素识别、工程建设特点，本次对项目建设引起的环境中等影响、重大影响进行定量预测+定性分析，据此确定本项目各环境要素现状评价因子和预测因子如下。

（1）环境质量现状评价因子

海水水质：pH、悬浮物、化学需氧量（COD）、溶解氧（DO）、石油类、无机氮（DIN）、活性磷酸盐（PO₄-P）、铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、总铬（Cr）、砷（As）、汞（Hg）、硫化物。

海洋沉积物：石油类、汞（Hg）、铜（Cu）、铅（Pb）、镉（Cd）、锌（Zn）、铬（Cr）、砷（As）。

海洋生态：叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物、游泳生物、底栖生物、鱼卵仔鱼、游泳生物。

生物质量：铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、砷（As）、总汞（Hg）和石油烃。

（2）环境影响预测因子

海水水质：施工阶段铺设光缆搅起的悬浮物（SS）的扩散范围。

海洋生态：光缆铺设施工对底栖生物、渔业资源的影响，光缆铺设搅起的悬浮物造成的海洋生物资源的损失量。

环境风险：施工可能发生的船舶溢油的影响范围。

2.3 评价等级、评价范围、评价时段

2.3.1 评价等级

（1）海洋生态环境

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025），建设项目海洋生态环境影响评价工作等级根据海洋生态环境影响类型和影响程度确定。

本项目建设内容为海底光缆，根据导则附录 B，项目影响类型为“挖沟埋设管缆”，本项目光缆埋设段长 198.82km，据此确定本项目海洋生态环境评价等级为 1 级。

表 2.3-1 建设项目海洋生态环境影响评价等级判定表（节选）

影响类型	评价等级		
	1	2	3
挖沟埋设管缆总长度 L（km）c	$L \geq 100$	$60 \leq L < 100$	$L < 60$
c：挖沟埋设管缆总长度以挖沟累积长度计。			

（2）大气环境

根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018），大气环境影响评价工作等级根据项目污染源正常排放的主要废气污染物的最大浓度占标率确定。

本项目仅施工期铺缆作业船和运营期光缆修复作业船航行时会产生柴油机废气，对海上环境空气造成小范围、短时影响。光缆建成后无废气排放，故本次不对大气评价确定评价工作等级，仅对施工期大气环境影响进行简要分析。

（3）声环境

根据《环境影响评价技术导则 声环境》（HJ2.4-2021），声环境影响评价工作等级划分依据包括 a）建设项目所在区域的声环境功能区类别；b）建设项目建设前后所在区域的声环境质量变化程度；c）受建设项目影响人口的数量。

本项目施工期作业船舶在海上航行，船舶通航时将产生机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声，考虑到施工区未划定声环境功能区，且周边无声环境敏感人居目标分布，光缆铺设完成后区域声环境质量无变化，因此本次不对声环境影响评价确定评价

工作等级，仅对施工期声环境影响进行简要分析。

（4）海洋生态环境风险

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018），环境风险评价工作等级划分为一级、二级、三级。确定环境风险评价工作等级时首先根据项目涉及的物质及工艺系统危险性和所在地的环境敏感性确定环境风险潜势，再确定评价工作等级。

1）风险潜势判断

建设项目环境风险潜势划分为 I、II、III、IV/IV⁺级。根据建设项目涉及的物质和工艺系统的危险性及其所在地的环境敏感程度，结合事故情形下环境影响途径，对建设项目潜在环境危害程度进行概化分析，再确定环境风险潜势。

①危险物质及工艺系统危险性分级

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018），危险物质及工艺系统危险性分级时，应根据危险物质数量与临界量比值（Q）和行业及生产工艺（M），按照表 2.3-2 确定危险物质及工艺系统危险性等级（P）。

本项目危险物质主要为作业船燃料油，参考《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 G，油类物质临界量均为 100t。本项目主施工船采用“福海”号或其他同类功能施工船。“福海”号总吨位为 6303t，总可载油量约 1700m³（约合 1480 t），潜在施工船“蓝色领航者”号总吨位为 8500t，总可载油量约 1876 m³（1632 t），由此计算危险物质数量与临界量比值 Q 为 14.80（或 16.32）。

根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）附表 C.1，本项目属于其他行业，以 M4 表示。

表 2.3-2 危险物质及工艺系统危险性等级判断（P）

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

由表 2.3-2 判断，本项目危险物质及工艺系统危险性等级为 P4。

②环境敏感程度分级

环境敏感程度（E）分级时，依据事故情况下危险物质泄漏可能影响生态敏感区的情况，分为三种类型，E1 为环境高度敏感区，E2 为环境中度敏感区，E3 为环境低

度敏感区。

表 2.3-3 环境敏感程度分级

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

本项目作业船燃料油一旦泄露，危险物质即进入海水水质分类一类区域，参考《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 G，属于环境高度敏感区，环境敏感程度分级为 E1。

③环境风险潜势

由前述可知，本项目环境敏感程度分级为 E1，危险物质及工艺系统危险性分级为 P4，根据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018），判断本项目环境风险潜势为 III 级。

表 2.3-4 建设项目环境风险潜势划分

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

2) 风险评价工作等级

依据《建设项目环境风险评价技术导则》（HJ169-2018）表 1 确定环境风险评价工作等级。具体见表 2.3-5。

表 2.3-5 建设项目环境风险评价等级划分

环境风险潜势	IV、IV+	III	II	I
评价工作等级	一	二	三	简单分析 a

备注：a 是相对于详细评价工作内容而言，在描述危险物质、环境影响途径、环境危害后果、风险防范措施等方面给出定性的说明，见附录 A。

根据前述分析，本项目风险潜势为 III 级，由上表确定本项目环境风险评价工作等级确定为二级。

2.3.2 评价范围

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025），海洋生态环境影响评价范围应覆盖建设项目整体实施后可能对海洋生态环境造成影响的范围。根据评价等级、工程特点、生态敏感区分布情况确定评价范围。其中，管缆、航道类项目穿越非生态敏感区时，以线路中心线向两侧和两端外延 1km 为参考评价范围。穿越一般敏感区时，以线路穿越段中心线向两侧和两端外延 2km 为参考评价范围；穿越重要敏感区时，以线路穿越段中心线向两侧和两端外延 3km 为参考评价范围；实际确定评价范围时，应结合生态敏感区主要保护对象的分布、物种生态习性、项目的穿越方式等适当扩展。

本项目建设内容为海底光缆，评价等级为 1 级，光缆路由穿越了我国南海中部农渔业区水域，不属于生态敏感区。项目采用埋设犁开槽埋设+表面敷设方式铺设光缆，根据同类项目经验，海底光缆铺设导致的悬浮物增量对水质影响超一类海水水质距离光缆路由最远不超过 2km，且短时间内可恢复。此外，项目所穿越的农渔业区范围较广，受悬浮沙影响的鱼类能够暂时游至周边海域进行躲避。故本次评价范围确定为：以线路穿越段中心线向两侧外延 2km 作为评价范围，见图 2.3-1。

（2）环境风险评价范围

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025），海洋生态环境风险评价范围根据评价等级合理确定，一般不小于相应评价等级的生态环境影响评价范围。一、二级评价项目的评价范围分别根据危险物质 72 h、48 h 扩散范围确定，并可根据海域特征、生态敏感区分布情况等做适当调整。

本项目海洋生态环境风险评价等级为二级，风险事故类主要是船舶航行的碰撞风险，考虑到项目海域通航情况及周边生态敏感区分布情况，本次船舶溢油事故风险评价范围按项目施工期发生水上溢油事故可能影响到的空间范围确定，具体为以溢油事故可能多发点为源点，在海上通过典型情景模拟统计法模拟 72h 内溢油可能到达的边界，以及最不利水文气象条件下溢油可能影响到主要海洋生态环境风险敏感保护目标所在海域。

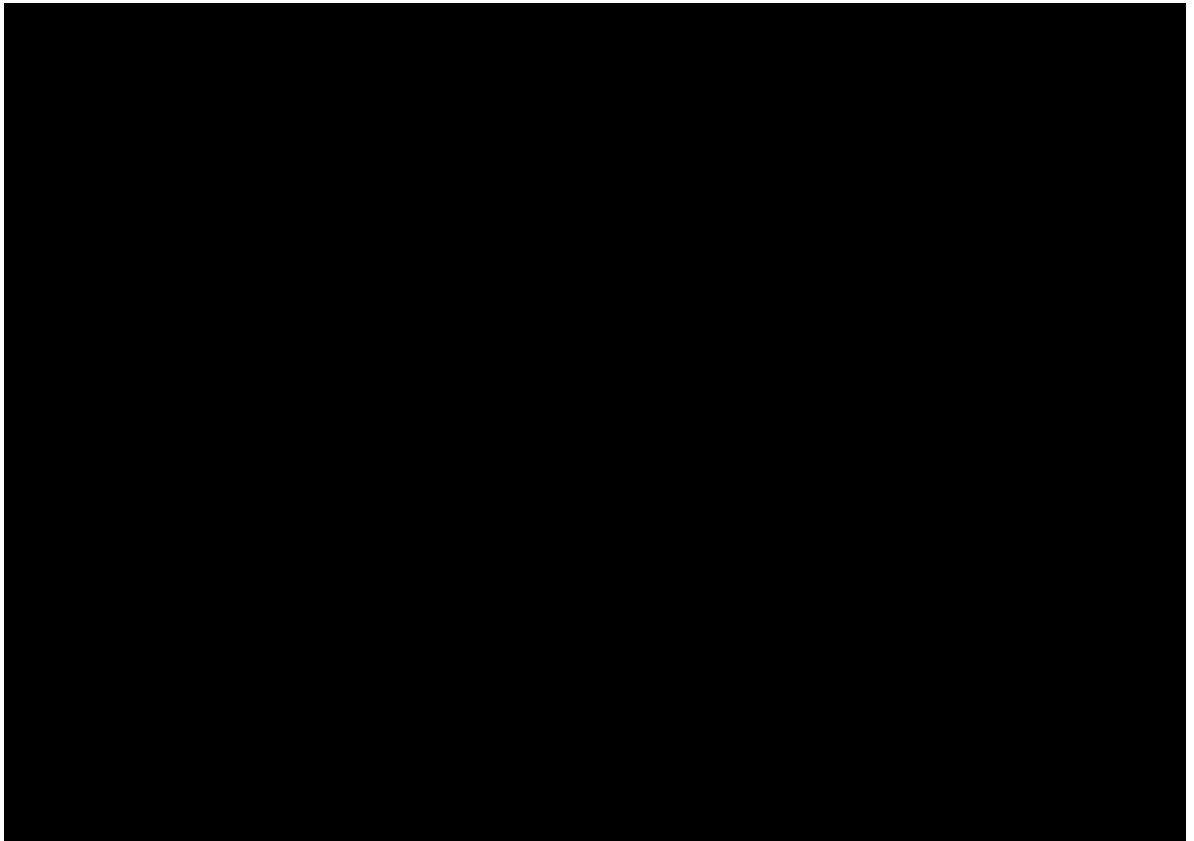


图 2.3-1 评价范围图

2.3.3 评价时段

本项目光缆路由总长 638.18km，均位于领海外缘线以外的其他海域范围，根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）表 2，其他海域原则上选取任何一季即可满足要求。

本次考虑项目所在区域环境特征和项目实施影响对象，选取春季作为评价时段。

2.4 环境功能区划

本项目光缆路由段位于原《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》区划范围内，不在《海南省近岸海域环境功能区划》区划范围内。

根据原《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》及光缆路由走向，本项目路由穿越了“南海中部农渔业区”、“琼东南盆地矿产与能源区”。邻近海域的海洋功能区有“西沙岛礁农渔业区”、“西沙群岛海洋保护区”、“西沙群岛农渔业区”、“南沙群岛海洋保护区”、“南沙岛礁农渔业区”、“中建南盆地矿产与能源区”。

本项目路由所在及邻近海域的海洋功能区位置关系见图 2.4-1，登记表见表 2.4-2。

表 2.4-1 本项目路由与《海南省海洋功能区划》相对位置关系

序号	代码	海洋功能区名称	功能区类型	相对位置
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

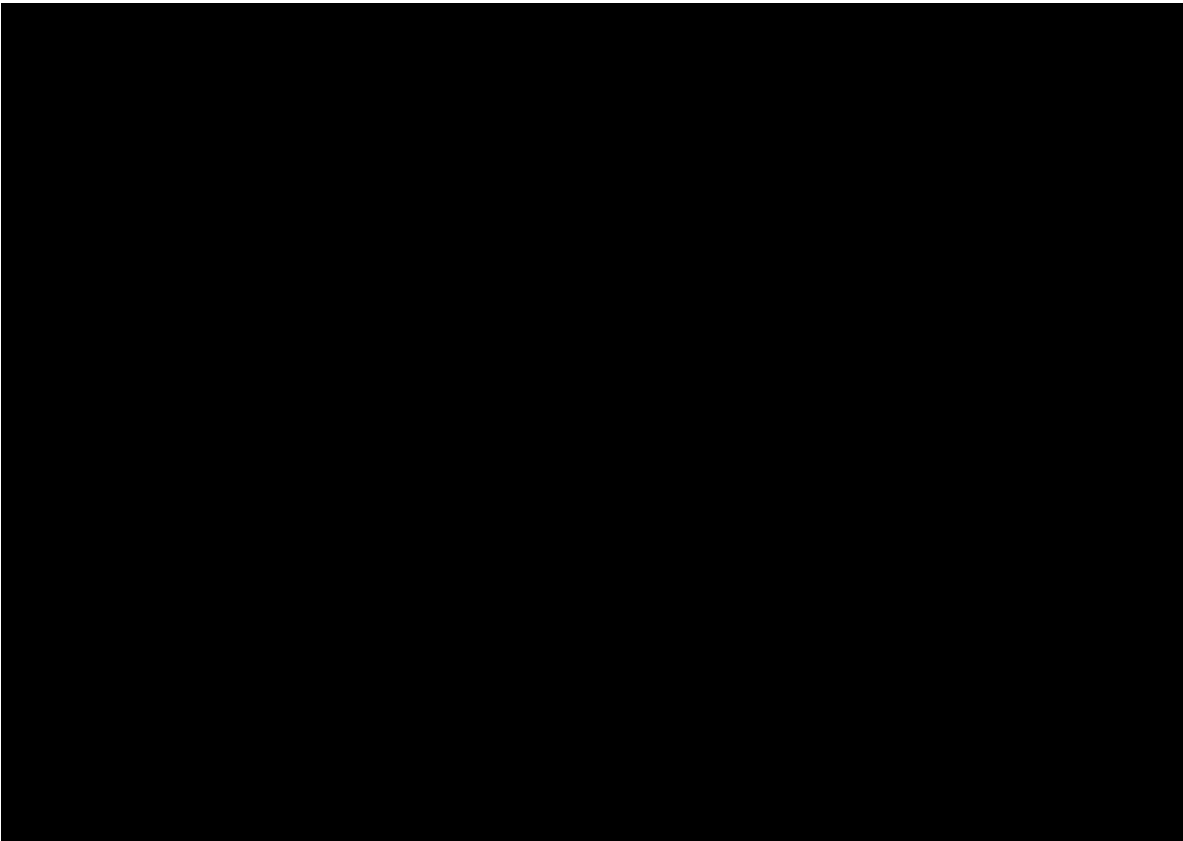


图 2.4-1 本项目与海洋功能区划位置关系图

海域使用管理要求

[illegible]

代 码	功 能 区 名 称	地 理 范 围	功 能 区 类 型	海域使用管理要求			海洋环境保护要求	
				用途管制	用海方式	海域整治	重点保护目标	环境保护要求
■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■

代 码	功 能 区 名 称	地 理 范 围	功 能 区 类 型	海域使用管理要求			海洋环境保护要求	
				用途管制	用海方式	海域整治	重点保护目标	环境保护要求

2.5 评价标准

2.5.1 环境质量标准

本项目光缆路由不在《海南省近岸海域环境功能区划》范围内，海洋环境现状调查中各评价因子质量标准参照原《海南省海洋功能区划》执行，具体如下：

（1）海水水质

项目周边海域涉及的功能区类型包括农渔业区、矿产与能源区。其中农渔业区执行《海水水质标准》（GB3097-1997）一类标准，矿产与能源区海水水质执行维持现状。

具体标准值见表 2.5-1。

表 2.5-1 海水水质标准 单位：mg/L

项目	第一类	第二类	第三类	第四类
SS	人为增加的量≤10		人为增加的量≤100	人为增加的量≤150
pH（无量纲）	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（以 N 计）≤	0.20	0.30	0.40	0.50
活性磷酸盐（以 P 计）≤	0.015	0.030	0.030	0.045
汞≤	0.00005	0.0002	0.0002	0.0005
镉≤	0.001	0.005	0.01	0.01
铅≤	0.001	0.005	0.010	0.050
铜≤	0.005	0.010	0.050	0.050
锌≤	0.020	0.050	0.10	0.50
砷≤	0.020	0.030	0.050	
总铬≤	0.05	0.10	0.20	0.50
硫化物（以 S 计）≤	0.02	0.05	0.10	0.25
石油类	0.05		0.3	0.5

（2）海洋沉积物

农渔业区执行《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）一类标准，矿产与能源区海洋沉积物质量执行维持现状。

具体标准值见表 2.5-2。

表 2.5-2 海洋沉积物质量标准

项目	第一类	第二类	第三类
汞（ $\times 10^{-6}$ ）≤	0.20	0.50	1.00
镉（ $\times 10^{-6}$ ）≤	0.50	1.50	5.00
铅（ $\times 10^{-6}$ ）≤	60.0	130.0	250.0

项目	第一类	第二类	第三类
锌（ $\times 10^{-6}$ ） \leq	150.0	350.0	600.0
铜（ $\times 10^{-6}$ ） \leq	35.0	100.0	200.0
铬（ $\times 10^{-6}$ ） \leq	80.0	150.0	270.0
砷（ $\times 10^{-6}$ ） \leq	20.0	65.0	93.0
石油类（ $\times 10^{-6}$ ） \leq	500.0	1000.0	1500.0

（3）生物质量

贝类生物（双壳类）：农渔业区海洋贝类（双壳类）生物质量执行《海洋生物质量》（GB18421-2001）一类标准，矿产与能源区海洋贝类（双壳类）生物质量执行维持现状。

非双壳类：其他海洋生物（包括软体动物、甲壳动物和定居性鱼类）体内的重金属、石油烃评价标准参考《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中海洋生物质量参考值。

具体标准值见表 2.5-3、表 2.5-3。

表 2.5-3 海洋贝类生物质量标准值（鲜重）单位：mg/kg

项目	第一类	第二类	第三类
总汞 \leq	0.05	0.10	0.30
镉 \leq	0.2	2.0	5.0
铅 \leq	0.1	2.0	6.0
铬 \leq	0.5	2.0	6.0
砷 \leq	1.0	5.0	8.0
铜 \leq	10	25	50（牡蛎 100）
锌 \leq	20	50	100（牡蛎 500）
石油烃 \leq	15	50	80

表 2.5-4 其他海洋生物质量参考值（鲜重）单位：mg/kg

生物类别 评价因子	软体动物（非双壳贝类）	甲壳类	鱼类
总汞	0.3	0.2	0.3
镉	5.5	2.0	0.6
锌	250	150	40
铅	10	2	2
铜	100	100	20
砷	1	1	1
石油烃	20	20	20

2.5.2 污染物排放标准

（1）废水污染物

海上作业施工期废水主要有施工船舶机舱油污水和船舶作业人员生活污水。废

水排放执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）相关要求，具体见表 2.5-5。

（2）固体废物

海上作业施工期固体废物主要有塑料废弃物、废弃食用油、生活废弃物和食品废弃物。固体废弃物排放执行《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）相关要求，具体见表 2.5-5。

表 2.5-5 船舶废水、固体废物排放控制要求

污染物	水域类别	船舶类别	排放控制要求	
机器处所油污水	沿海	400 总吨及以上船舶	油污水处理装置出水口石油类限值为 15mg/L（排放应在船舶航行中进行）或收集并排入接收设施。	
		400 总吨以下非渔业船舶		
船舶生活污水	距最近陆地 3 海里以内海域	400 总吨及以上的船舶，以及 400 总吨以下且经核定许可载运 15 人及以上的船舶	不得直接排入环境水体	利用船载收集装置收集，排入接收设施；
				利用船载生活污水处理装置处理： 2012 年 1 月 1 日以前安装（含更换）生活污水处理装置的船舶，生活污水处理装置出水口污染物排放执行 BOD ₅ ≤50mg/L，SS≤150mg/L，耐热大肠菌群数≤2500 个/L； 2012 年 1 月 1 日及以后安装（含更换）生活污水处理装置的船舶，生活污水处理装置出水口执行 BOD ₅ ≤25mg/L，SS≤35mg/L，耐热大肠菌群数≤1000 个/L，COD _{Cr} ≤125mg/L，pH6～8.5，总氯（总余氯）<0.5 mg/L
	3 海里<与最近陆地间距离≤12 海里的海域		同时满足：（1）使用设备打碎固形物和消毒后排放； （2）船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。	
	与最近陆地间距离>12 海里的海域		船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率。	
塑料废弃物、废弃食用油、生活废弃物	在任何海域，应收集并排入接收设施			
食品废弃物	在距最近陆地 3 海里以内（含）的海域，应收集并排入接收设施；在距最近陆地 3 海里至 12 海里（含）的海域，粉碎或磨碎至直径不大于 25 毫米后方可排放；在距最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。			

（3）废气污染物

施工船舶产生的废气污染物主要为硫氧化物、氮氧化物和颗粒物。

船舶废气应满足《2020 年全球船用燃油限硫令实施方案》相关要求。此外光缆路由不在《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发〔2018〕168 号）规定的排放控制区之内，但光缆物资补给及污染物上岸处理时将进入规定的排放控制区之内，故船舶废气污染物排放还应满足《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发〔2018〕168 号）相关要求，具体如下：

1) 硫氧化物和颗粒物排放控制要求：

国际航行船舶进入我国管辖水域应当使用硫含量不超过 0.50% m/m 的燃油或采用替代措施，进入我国船舶大气污染物排放控制区海南水域的，应当使用硫含量不超过 0.10% m/m 的燃油或采用替代措施。

2) 氮氧化物排放控制要求：

2011 年 1 月 1 日及以后建造或进行船用柴油发动机重大改装的国际航行船舶，所使用的单台船用柴油发动机输出功率超过 130kW 的，应满足《国际防止船舶造成污染公约》第二阶段 NO_x 排放限值要求。

2.6 环境保护目标和环境敏感目标

2.6.1 环境保护目标

本项目海洋生态环境评价范围内光缆穿越海洋功能区为南海中部农渔业区、琼东南盆地矿产与能源区。根据海洋环境保护要求，确定本工程具体环境保护目标如下：

（1）控制施工期海水水质的影响范围和影响程度，确保工程实施后光缆所在海域海水水质、沉积物和海洋生态环境质量仍满足所在环境功能区划的要求，且不影响周边海洋保护区环境质量；

（2）控制工程建设施工对工程周边海域海洋生态环境的影响，确保采取措施后能够缓解工程对渔业资源造成的生物资源损失，以确保不影响所在农渔业区主导功能发挥；

（3）控制施工船舶废气排放，保护工程海域环境空气质量。

（4）控制光缆铺设对附近水域通航安全的影响，防止船舶碰撞溢油对海洋水质水生态环境造成污染。

2.6.2 环境敏感目标

经识别，该项目环境影响评价范围内无环境敏感目标。

海洋生态环境风险评价范围内风险关注点见表 2.6-1 及见图 2.6-1。

表 2.6-1 本项目环境风险关注点一览表

序号	类别	名称	位置关系		保护对象	来源
			方位	相距		
1	海洋生态环境风险关注点	██████████ ██████████	██	1	████████████████████ ██████████	████████████████████ ██████████
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████	
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	████████████████████ ██████████ ██████████ ██████████
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	████████████████████ ██████████ ██████████ ██████████
■		██████████ ██████████	██	██	████████████████████ ██████████	

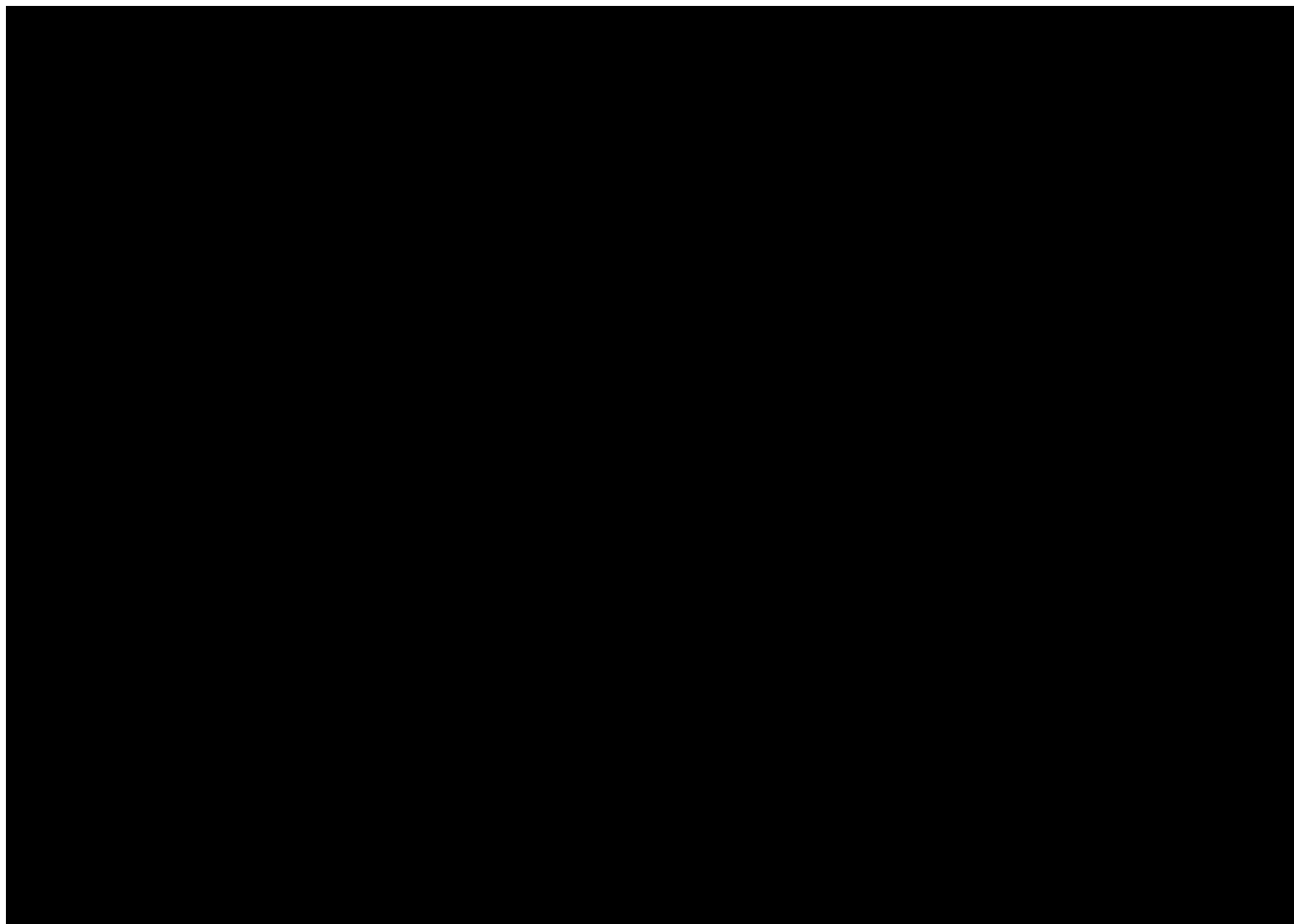


图 2.6-1 本项目周边海洋生态环境风险关注点分布图

3 工程概况

3.1 项目基本信息

项目名称：亚洲快链（ALC）海缆项目 S6 段

项目性质：新建

投资者：亚洲快链（ALC）海缆项目联盟，包含中国电信、Viettel、VNPT、FPT 等成员

工程总承包商：华海通信技术有限公司

设计使用寿命：25 年

项目规模：[REDACTED]

本次评价涉及的海域范围限于我国管辖的南海海域，评价范围内海缆路由总长 638.18km。

3.2 预选路由方案比选

3.2.1 预选路由原则与方案

3.2.1.1 预选路由原则

海底光缆工程选址是建设中的重要环节，是后续所有工作的基础，应遵循选择相对安全可靠、经济合理、节约用海、便于施工和维护的海底光缆路由的总原则。

本项目在我国南海水域的选址除考虑工程总承包商在超长距离光纤传输系统的设计时对路由长度、分支器（BU）位置以及中继器（RPT）布局上的总体要求外，结合我国海域的特点，根据国际众多海缆施工实践和《海底光缆工程技术规范》，初选路由的选择上主要遵循下述原则：

（1）选择海底平坦或起伏小的海域，尽可能避开礁石、陡坎、深槽、海沟等地形变化剧烈的区段；

（2）选择细粒海底底质且类型变化小的海域，避开裸露基岩、人为的和自然的各类障碍物，避开海床冲淤强烈的地段；

（3）尽可能避开海底滑坡、浊流、活动断裂等灾害地质因素及地震强震与地震活动多发区；

- （4）尽可能避开底层渔捞作业频繁的海域，特别是帆张网、底拖网作业密集区；
- （5）尽可能避开港口码头、锚地，如确需要穿越航道应尽可能垂直穿越；
- （6）尽可能避开海底油气和固体矿藏开采区、自然保护区、军事用海区等；
- （7）尽可能不穿越已建海底光缆、海底输电电缆和海底管道，确需交越时交角应不小于 45° ，与已有海底光缆中继器（RPT）、光缆分支器（BU）的间距不小于 3 倍水深；
- （8）当与已建海底光缆、海底输电电缆和海底管道近乎平行延伸时，相互间距不小于 3 倍水深，以免海底光缆于勘察、铺设施工或维修时损坏已建海底管线；
- （9）尽量避开历史海缆故障多发区域；
- （10）符合海洋功能区划，与其他海洋规划及开发活动兼容，与相关利益者可协调。

根据《海底光缆工程设计规范》（GB/T51154-2015），海底光缆路由设计时“宜与航道垂直交越；宜避免与海底光缆、电缆、管道交越，确需交越时交角不宜小于 60° ”。另外交越点距离已有海底光缆的分支器（BU）和中继器（RPT）的距离不应小于 3 倍水深。

本项目总体的路由选划优先考虑已有国际海缆的布局，为遵从集约用海原则，便于海缆维护管理，尽量不开辟新的国际海缆路由线路，路由在设计时与已有国际海缆尽可能多采用平行走向。

3.2.1.2 预选路由方案

本项目系统路由预选根据国际光缆设计原则，充分考虑海域自然环境、社会条件、海洋开发活动尤其是已建海底光缆管道等因素。

总体上，本项目预选路由方案由 BU5 沿近似垂直等深线方向穿越南海西部陆架、陆坡并在南海西部陆架和中国南海海域管辖界线相交。在遵循光缆路由预选原则基础上，设计出路由初步方案，包括方案一、方案二。两方案路由大体一致，区别在于路由在岭南斜坡走向不同。见图 3.2-1 所示。



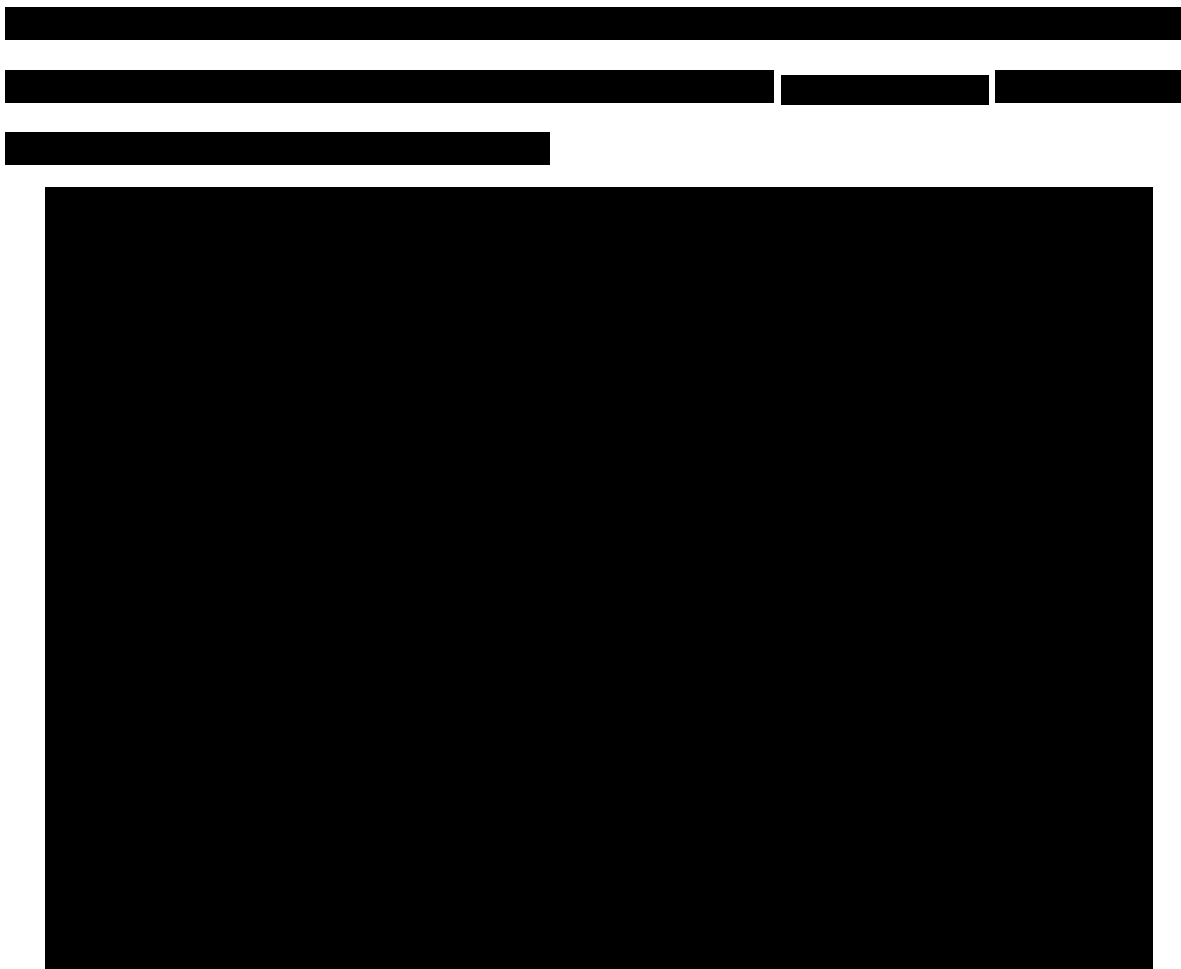


图 3.2-1 本项目路由比选方案示意图

3.2.2 预选路由区综合评价

3.2.2.1 路由区地质地貌环境

（1）地质地貌环境： [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

（2）沉积物类型： [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

（3）灾害地质条件：

3.2.2.2 路由区水文气象环境

本项目所在海域年平均气温为 27.9℃，年最高气温达 36.0℃。年降雨量为 1161.6mm，10 月月平均降水量最大，月平均降水日数为 18.0d。

本项目所在海域轻雾日为 27.8d，大雾日、重雾日小于 1d。轻雾日主要出现在 7 月~10 月和 12 月，月出现天数大于 3d。

本项目所在海域累年平均风速 4.3m/s，3 月、5 月的月平均风速最低，均为 3.4m/s。最大风速为 17.7m/s，极大风速为 29.6m/s。常风向为 ENE，次常风向为 NE。热带气旋多发生在 6 月~11 月，9 月份发生次数最多，10 月次之，1 月、12 月发生次数为 1 次，2 月和 3 月发生次数均为 0。

路由区潮汐类型属于不正规全日潮，为弱潮海区，平均潮差为 75cm，最大潮差为 192cm。理论最大可能潮流流速在 42.4~70.4cm/s 之间变化。

该海域表层水温全年平均值为 28.1℃，历年最高温度为 34.1℃，出现在 6 月，而最低温度为 22.5℃，出现在 1 月。盐度较高，全年平均值为 33.1，历年最高盐度为 34.4，出现在 10 月，而最低盐度为 28.5，出现在 3 月。

3.2.2.3 路由区海洋开发活动

（1）海洋功能区划及规划：本项目位于中国南海海域，属于海底工程用海中的海底管线用海，项目建设不改变各海洋功能区的海域自然属性，能够与《全国海洋主体功能区划》对路由穿越海域主导功能兼容，符合“一带一路”《中国国际光缆互联互通白皮书》等规划。

（2）渔业活动：路由区穿越了部分传统的渔业捕捞区，路由经过西沙西部渔场和南沙西北部渔场，常见捕捞方式有拖网、刺钓、延绳钓、手钓，拖网在浅水区对海缆威胁影响较大。在施工期，开挖形成的悬浮物对渔业资源造成一定损失，需与

相关管理部门做好协调工作；营运期间，由于海缆保护区范围占用捕捞海域范围有限，对渔业生产影响较小。

（3）海上交通安全：本路由避开了中沙及南沙锚地，以及航行船舶最为密集的定线制交汇区和通航航道；路由与塞得港—广州、科伦坡—广州 2 条航线有交越。本项目建成后对港口航运无影响。

（4）海底管线：预选路由方案一、方案二皆与已建或拟建海底光（电）缆分别交越 20 次、21 次。交越点全部位于本项目光缆敷设段。

（5）海底矿产资源：预选路由方案一、方案二均穿越了中建南矿产资源沉积盆地和琼东南矿产资源沉积盆地，穿越区域无海上油气田开发设施。

（6）海洋自然保护区：预选路由方案避开了海洋保护区，对保护区无影响。

3.2.3 路由比选结果

从项目路由适宜性（海底光缆制造及施工条件、路由区自然条件等）、路由环境合理性（海洋开发状况、相关规划符合性、对环境保护目标的影响、集约用海等）2 个方面对预选路由进行综合比选。详见表 3.2-1。

路由方案适宜性方面，预选路由海域腐蚀性环境、水文环境条件比较适宜施工，大部分路由位于海盆内，地形平坦，平均水深较深，易于海缆施工和维护。路由方案均避开了南海北部、西北部陆坡多数海丘、海山区，但方案二穿越的黏土质粉砂等砂质沉积物类型路由长度较长，在海缆的安全性方面略差于方案一。

路由方案环境合理性方面，方案一、方案二路由长度相差不大，且路由走向差异主要是在深水光缆敷设段，光缆铺设对海洋环境影响一致；因两方案主要是在南海深海盆路由走向存在差异，西沙群岛、南沙群岛附近海域两方案一致，各预选路由方案距离岛礁周边环境敏感目标的距离相同；方案一、方案二均大角度穿越航线，穿越航线情况一致，潜在环境风险一致；方案一可与已建海缆 SEA-ME-WE 3 形成集中送出廊道，能够更好地避免海域资源的浪费，符合集约节约用海原则；路由区无海底管道，在与海缆交越方面，预选路由方案一与已建海底光缆交越 20 次，预选路由方案二与已建海底光缆交越 21 次，均位于 1000m 水深以深光缆敷设段，环境影响基本一致。此外，预选路由方案均避开了锚地，且不涉及倾废区、旅游区、深海养殖区等，预选路由均穿越矿产资源开发区，但穿越区域均无开发设施。

通过上述条件评价可知，预选路由海域腐蚀性环境、水文气象环境条件基本一

致。两预选路由距离周边海洋保护区距离一致，与已建光缆交越数量及交越施工环境影响基本相同，穿越航道潜在船舶事故环境风险一致。同时，两方案穿越海域均不涉及倾废、旅游、养殖等开发活动。但预选方案一可与已建海缆形成集中送出廊道，能够更好地实现集约用海；同时方案二穿越的黏土质粉砂等砂质沉积物类型路由长度较长，因砂质沉积物一般比较松散，无胶结，在海洋水体动力作用下易形成海底沙波、沙丘等地质体，不断地移动，对海缆的安全产生不利影响，不利于海缆运营安全，由此导致的修复作业及环境影响方面略差于方案一。

综合比较来看，本项目中国南海段路由方案一适宜性及环境合理性方面更优，因此作为本项目推荐路由。

表 3.2-1 本项目路由方案适宜性比选

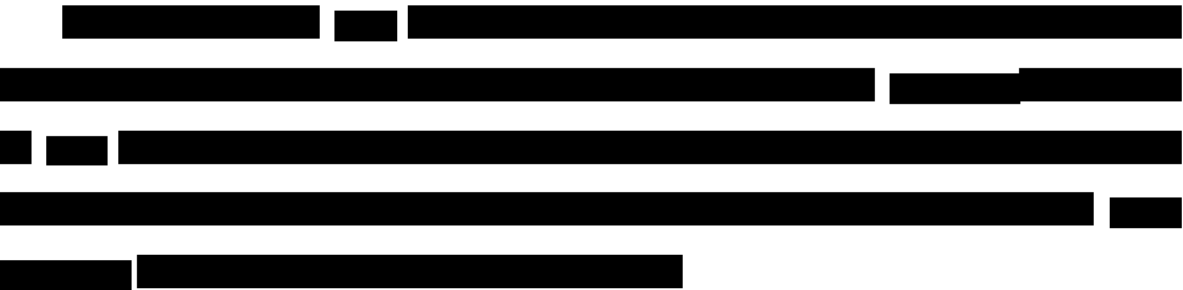
类别	方案一	方案二	路由比较
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED]		[REDACTED]

表 3.2-2 本项目路由方案海域生态环境合理性比选

类 目	方 案 一	方 案 二	路 由 比 较
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]		[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]

3.3 平面布置方案

3.3.1路由总平面走向



3.3.2与海底光缆/管道交越情况

预选路由距离南海海域海上油气田开发区块较远，未与海底管道发生交越。

据已有国际海缆资料，本项目路由在中国南海海域范围内与已建（拟建）的海缆系统交越点共 20 个，（其中与在用海缆交越点 11 个，与拟建海缆交越点 2 个，与废弃海缆交越点 7 个），全部位于本项目水深 1000m 以深的光缆敷设段。

各交越点坐标信息见表 3.3-1 和如图 3.3-1 所示。

表 3.3-1 本项目推荐路由方案在中国南海海域内与光缆交越情况

序号	经度	纬度	名称	状态
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

序号	经度	纬度	名称	状态



图 3.3-1 本项目路由方案与南海路由区已建、拟建海底光缆交越情况

3.4 施工方案

3.4.1 施工总体布局

海缆施工被世界各国公认属于复杂困难的工程，本项目跨越海区范围较大，海域水下地形多样，根据各段路由具体情况，本工程施工总体布局安排见表 3.4-1 及图 3.4-1。

表 3.4-1 本项目施工布局安排				
工程路由	水深情况	路由长度 (km)	施工方式	设计埋深

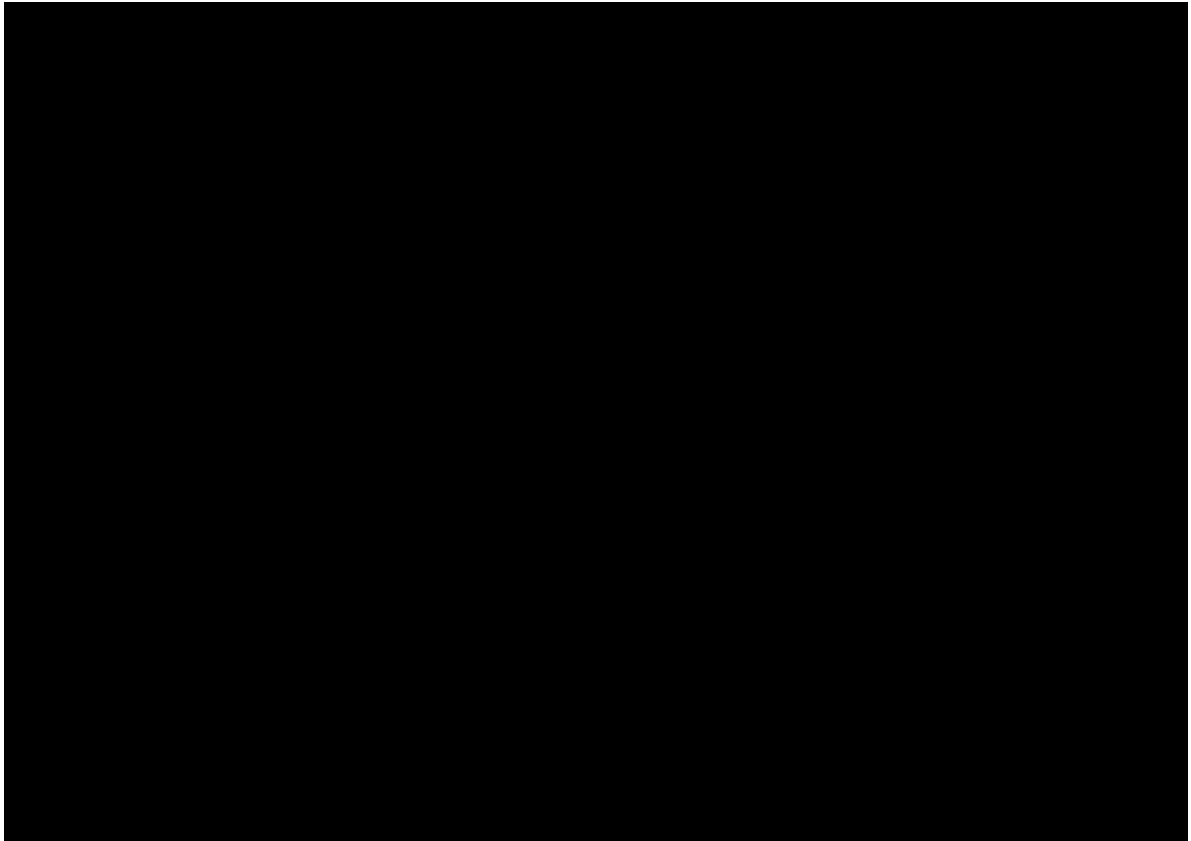


图 3.4-1 本项目施工布局图

3.4.2 总体施工顺序

针对本工程，总体施工顺序如下：

施工开始前，首先进行光缆埋设段扫海作业。扫海作业范围为光缆埋设作业范围（水深小于 1000m 埋设段）。

扫海完成后，主施工船带缆航行至 BU5，打捞 BU5 预留的海缆缆端，在船上进行海光缆接头熔接，之后沿着设计路由向中国南海海域管辖边界进行光缆施工作业。在水深小于 1000m 的区域使用埋设犁进行犁埋施工。铺设完成后，对于针对因不利的地质条件、水下设备故障等因素导致主敷设施工中未能达到埋设目标深度的地方，将由水下机器人（ROV）进行后冲埋作业。

在水深大于 1000m 的区域，直接将海缆敷设在海床表面，不进行埋设操作。

3.4.3 主要施工工艺

光缆埋设施工主要有以下 3 个步骤：①扫海作业；②光缆敷埋作业；③后冲埋作业。

3.4.3.1 扫海清障作业

在铺设操作开始前，应针对埋设段进行扫海作业。扫海作业时在海底路由中心线左右 0.5m 范围内摸清并扫除路由上有碍埋设作业的所有障碍物。

扫海常用由直径 12mm 的铁环构成的 10m 锚链连接长约 2m 的雷尼抓钩（RENNIES），再连接上长约 3m 的吉福德抓钩（GIFFORDS），拖着长滑动耙锚（Long Sliding Prong）或者 Flat Fish 锚具，沿埋设路由中心线按一定的速度（不大于 2.5km/h）执行，清除埋设段路由上的海床表层障碍物，以保证后续埋设作业的顺利进行。

若路由勘察过程中发现预选路由在埋设段与其他未知海缆发生交越，会精确定位交越的具体位置，施工船将在其他海缆或管线两侧各 500m 范围外回收和重新施放扫海锚具以保证其他管线的安全。

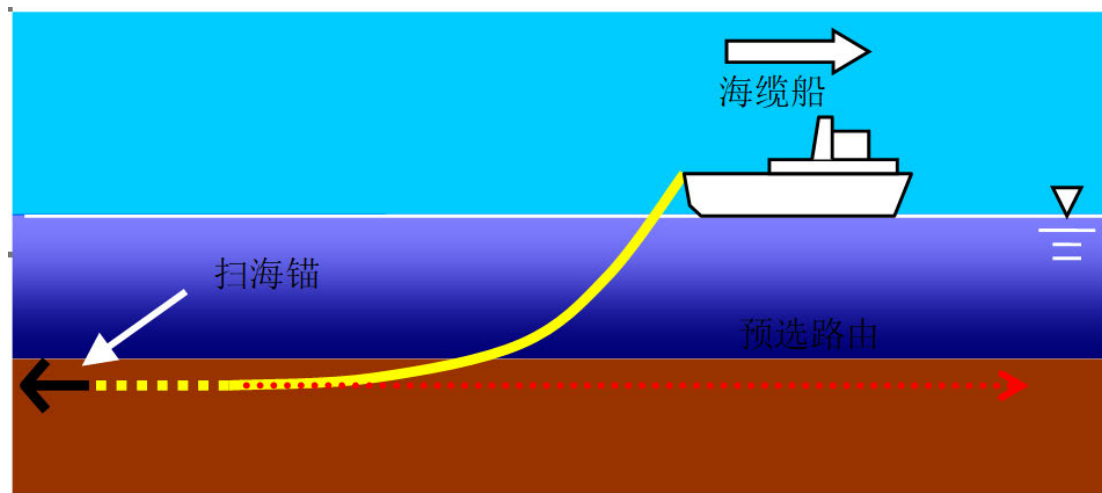


图 3.4-2 扫海清障示意图

3.4.3.2 光缆敷埋作业

根据水深情况光缆敷埋作业可分为埋设作业和表面敷设作业两种。

（1）埋设作业

施工船到达施工现场后，先进行打捞工作，将 BU5 的海缆头打捞上船，与船上的施工海缆进行接续。

施工船在甲板完成埋设犁装配和测试后，将海缆装入其海缆通道内。随后，埋设犁将由船尾的 A 形架按操作程序缓缓投入水中，在海床上就位。同时向前调整船位以保证入水的海缆保持较为合理的悬链线状态。当埋设犁完全调整至要求的埋设深度后，利用船配备的侧向推进器强大的动力，施工船开始向前移动同时埋设海

缆。在布缆机的牵引下，海缆逐渐由海缆舱经海缆滑道和入水口放出。放出的海缆长度应与船只的向前移动相协调，并维持一定的张力，以保证海缆沿路由按铺设计划正确的安装。

施工船拖动埋设犁开始移动时，通过船上的操纵室启动液压装置使埋设犁的犁刀切入海床。犁刀的宽度为 20cm，埋设沟的宽度约为 30cm 左右。

施工船在前进过程中，侧向推进器在动态定位 DP 系统控制下，根据差分卫星信号自动调整推力保持船位不偏离设计路由。同时埋设犁上的传感装置将信号通过传感信号缆传回控制室，显示在屏幕上以供作业人员及时做出相应调整。同时导航系统也将连续监测以保证海缆沿正确路由埋设。

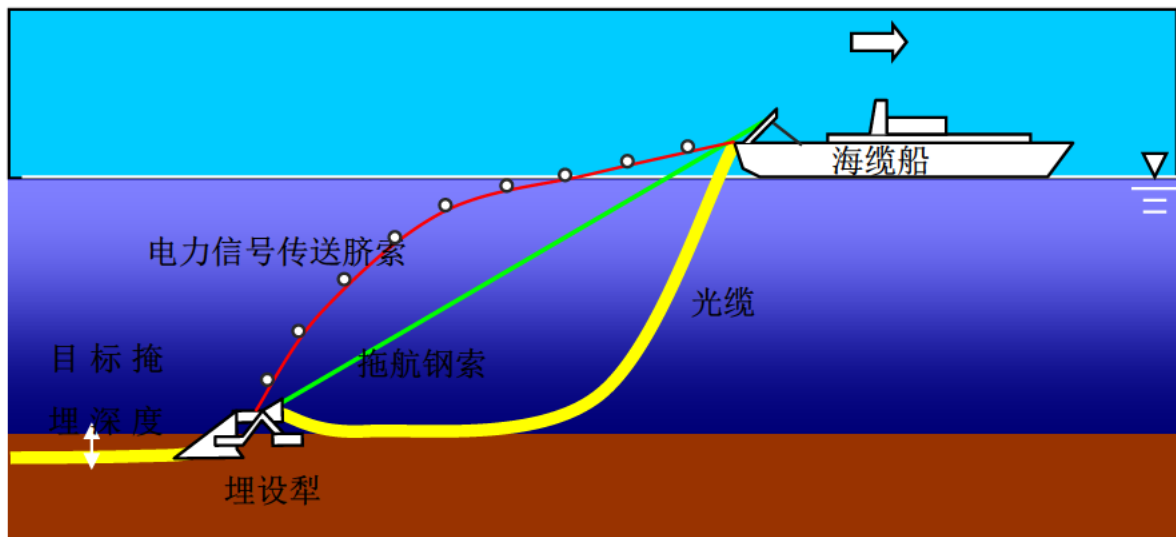


图 3.4-3 埋设犁铺设示意图

（2）表面敷设作业

在水深大于 1000m，外部威胁非常小的区域，海缆将直接敷设在海床表面，不需要埋设。

进行敷设操作前，需要仔细研究海缆路由勘察的数据，制定海缆松弛度的计划。依照计划，留有适当的海缆松弛度。

在海缆安装过程中，海缆施工工程师会通过实时计算来监测和控制海缆松弛度。作业时施工船将按照设定速度前行，同时海缆在布缆机的牵引下，由缆舱经滑道和入水口放出。在前进过程中，施工船在动态定位（DP）系统控制下，根据差分卫星信号自动调整艏向，保持船位不偏离施工路由。放出的海缆速度应与船只的向前移动速度相协调，以保证海缆按照设计的松弛度释放到海底。

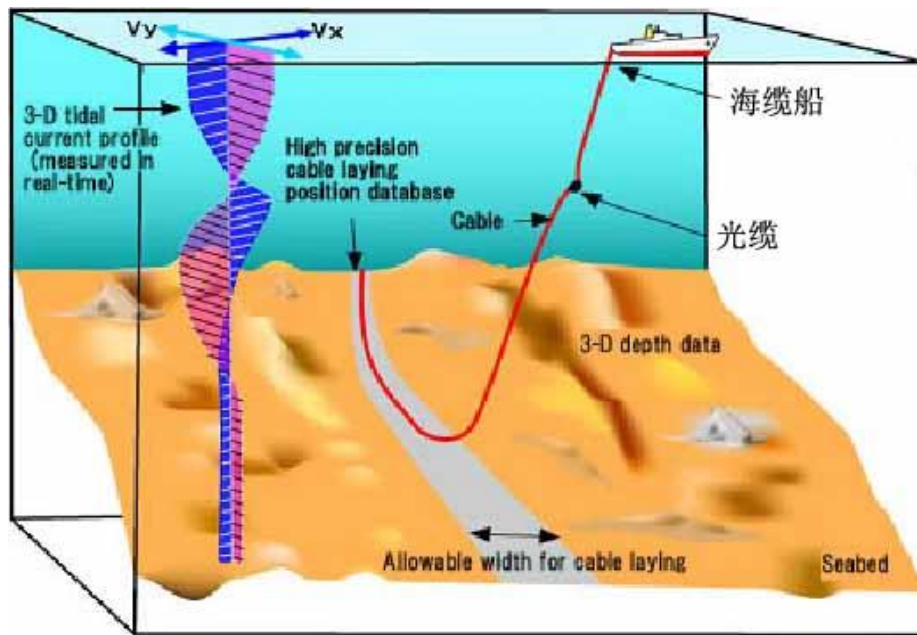


图 3.4-4 海缆敷设工作方法示意图

（3）海缆交越段施工作业

本项目光缆与路由区已知的在用、废弃光缆交越点全部位于水深大于 1000m 的敷设段。根据 ICPC（International Cable Protection Committee 国际海缆保护委员会）的海缆交越条约，经双方同意后新建海缆将选择合适的交越角度，直接敷设于已有海缆之上，海缆交越处不需要任何的保护措施。

3.4.3.3 ROV 后冲埋作业

针对因不利的地质条件、水下设备故障等因素导致光缆埋设未能达到目标深度的地方，将由水下机器人（ROV）进行后冲埋作业。

ROV 冲枪的宽度为 20cm，在水下冲埋海缆时，冲埋沟的宽度约为 30cm 左右。在完成最后的埋深检查后，操作员关闭 ROV 的水泵，缓慢地回收 ROV 到水平面，利用 A 形架将 ROV 回收至甲板。

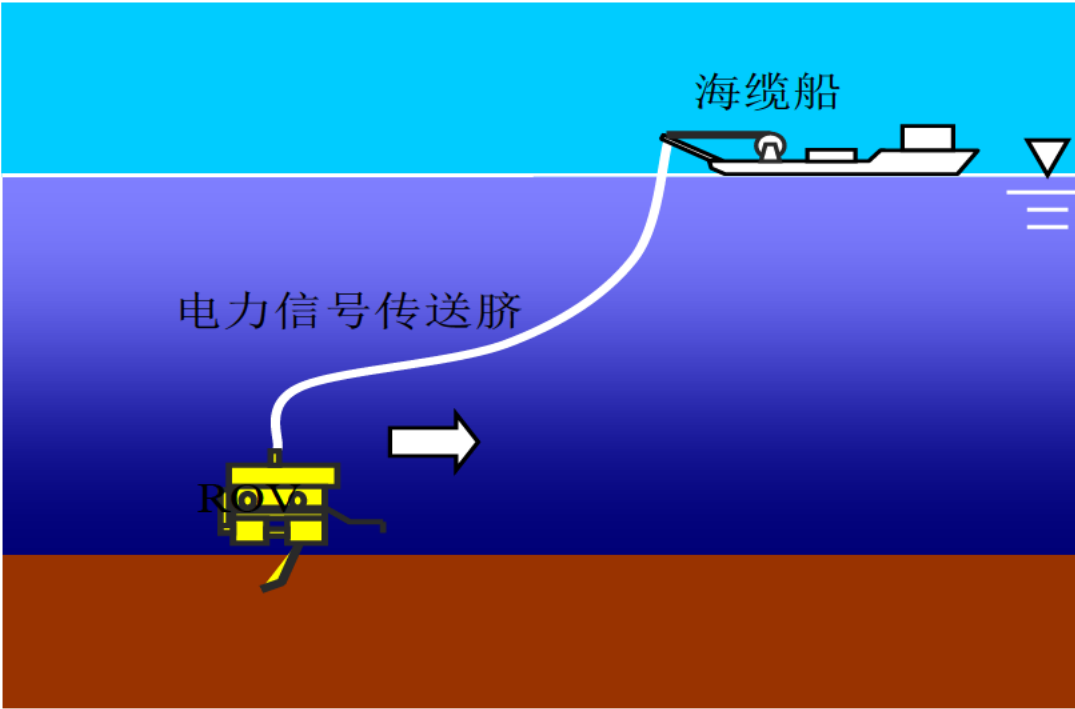


图 3.4-5 后冲埋作业示意图

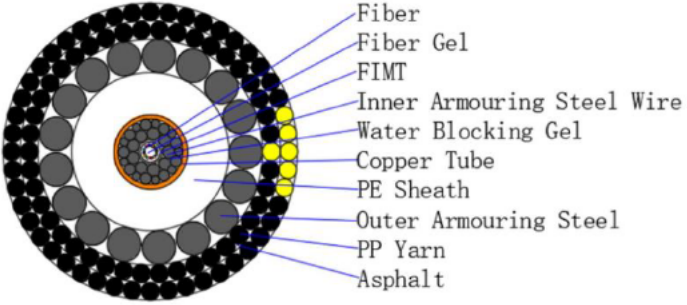
3.5 主要工程材料

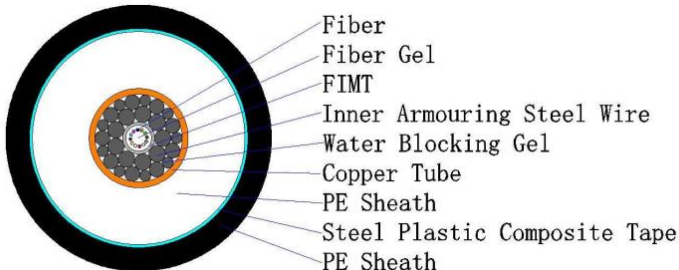
（1）光缆材料

本工程拟采用 HORC-1 系列 4 对芯海底光缆，根据光缆穿越的不同海域分别选用不同缆型。具体为：1500m 水深以浅范围，选用单层铠装（SA）海缆；大于 1500 m 水深范围，选用轻型加保护（LWP）海缆。

典型光缆参数及结构见表 3.5-1。

表 3.5-1 海底光缆参数及结构一览表

海缆类型及适用区域	结构形式
单层铠装（SA）海缆 直径 33±2mm (1500m 水深以浅范围)	

海缆类型及适用区域	结构形式
轻型加保护（LWP）海缆 直径 23±1mm (1500m 水深以深区域)	

3.6 海缆保护方案

本项目所使用的海缆考虑了对海水腐蚀的防护作用，避免海缆被腐蚀破坏后重金属溶出影响海水水质及沉积物。铠装海缆内层不锈钢光管单元能够容纳和保护光纤，其中填充纤膏可用来阻水和吸氢，不锈钢管能够防止海缆轴向氢渗入。铠装海缆的外层防腐层为金属钢线镀锌和沥青尼龙线，沥青尼龙线可抗常规浓度硫化氢的腐蚀，金属钢线镀锌可避免海缆接头处的金属线被腐蚀。海缆设计寿命为 25 年。

3.7 施工船舶与设备

3.7.1 扫海清障船舶与设备

扫海清障时由施工船船尾拖专业扫海工具进行扫海作业。

(1) 扫海清障船舶

本项目拟使用光缆铺设船舶进行扫海作业，采用“福海”号海缆船或其他同类型船舶（如“蓝色领航者”号海缆船）。船舶介绍详见 3.7.2。

(2) 专业扫海工具

扫海与清障专用锚具样图例如下图所示。



图 3.7-1 典型扫海锚设备

3.7.2光缆铺设船舶与设备

拟采用“福海”号海缆船或其他同类型船舶（如“蓝色领航者”号海缆船）。光缆埋设机械采用埋设犁。

（1）光缆铺设船舶

① “福海”号

“福海”号是针对海缆施工市场不断提高的定位和埋设要求而专门设计的施工船。自投入使用以来，“福海”号先后为亚太 2 号光缆、中美光缆路由改道、C2C 海底光缆网络和泰国 - 印尼 - 新加坡光缆等多个光缆系统提供了铺设和埋设服务。“福海”号施工船于 2000 年建造完成。居住舱室可容纳 68 人。



图 3.7-2“福海”号施工船

船舶性能参数见表 3.7-2。

表 3.7-1“福海”号船舶性能参数

船 舶 主 尺 度		
总长	105.8 m	
型宽	20.0 m	
设计吃水	9.1 m	
总吨位	6,303 t	
净吨位	1,891 t	
最大系柱拖力	110 t	
经济航速及燃料消耗	14 knot	
海缆总装载量	5700 t	
船 舶 设 备		
定位系统	类型	DYNPOS–AUTR(DP–II)
	控制系统	KongsbergK–Pos
		KongsbergC–Joy
	定位参照系统	JavadVeriposx2(DGPS)
		SetexDPS102

		HipAP	
		FanbeamMKLMK4.2	
		TautWireLTWMK-12	
	传感器	GyroSperryMK37x3	
		Anemometerx2	
		MRU(MRU-5x1,MRU-2x2)	
推进器	2x 主机总功率 7680 kw 直接驱动可变螺距螺旋桨		
侧向推进器	船首-1x1,000kw 可收缩全回转推进器；1x1,200kw 侧推器		
	船艉-2x1,200kw 侧推器		
发电机	2x3000 kw 轴带发电机		
	2x760 kw 辅助发电机		
	1x170 kw 应急发电机		
甲板设备	1x60tSWLA 字型门吊		
	1x60 t 埋设犁绞车		
	3x 伸缩克令吊	船首-2.5 t/20 m	
		船中-2.5 t/20 m	
		船艉-2.0 t/22 m	
	该船完全可配置并操纵一个标准埋设犁		
海缆施工设备			
接续和测试	具备可支持 UJ 和所有者海缆接续的空调环境。具备可容纳系统专用传输测试设备的可监控的空调环境。配备终端、供电、直流和光时域反射仪等设备		
海缆操作设备	1x20t20 对轮直线布缆机		
	1x25t4m 鼓轮布缆机		
	4 对轮 DOHB		
其他			
居住舱室	配备全装修的居住舱室,最多能容纳 68 人		
助航仪器	雷达(3cm), 雷达(10cm)		
	2xGPS,3x 电罗经		
	甚高频测向仪,航告接收器,气象传真		
通信设备	V-Sat+2FBB		
	GMDSSA1,A2,A3,SatcomC		
	中频/高频,便携式甚高频,航空用甚高频		

② “蓝色领航者”号

“蓝色领航者”号施工船是针对海缆施工市场不断提高的定位和埋设要求而专门设计、建造的一艘海缆船。除其卓越的定位能力外，“蓝色领航者”号一次海缆装载量可达 6900 t，并全面支持目前世界上最先进的埋设犁的操作。“蓝色领航者”号施工船已于 2023 年 9 月建造完成。居住舱室可容纳 80 人。



图 3.7-3“蓝色领航者”号施工船

船舶性能参数见表 3.7-2。

表 3.7-2“蓝色领航者”号船舶性能参数

船舶主尺度		
总长	131.4 m	
型宽	23.0 m	
型深	11.5 m	
总吨位	10,000t	
载重吨位	8,500t	
满载排水量	16,100t	
最大系柱拖力	102t	
经济航速	12knot	
海缆总装载量	6900t	
船舶设备		
定位系统	类型	DYNPOSAUTR(DP-II)
	控制系统	KongsbergK-Pos
		KongsbergC-Joy
	定位参照系统	JavadVeriposx2(DGPS)
		SetexDPS102
		HipAP
		FanbeamMKLMK4.2
		TautWireLTWMK-12
	传感器	GyroSperryMK37x3
		Anemometerx2
MRU(MRU-5x1,MRU-2x2)		
推进器	2x 主机总功率 8000kw 直接驱动可变螺距螺旋桨	
侧向推进器	船首-2x3,000kw 可收缩全回转推进器； 1x1,500kw 侧推器	
	船艏-2x1,500kw 侧推器	
发电机	2x1200kw 轴带发电机	
	1x375kw 应急发电机	
甲板设备	1x60tSWLA 字型门吊	
	1x60t 埋设犁绞车	
	3x 伸缩克令吊	船首-10t/30m
		船中-5t/25k
		船艏-2x2.0t/20k

船舶主尺度	
	该船完全可配置并操纵一个标准埋设犁
海缆施工设备	
接续和测试	具备可支持 UJ 和所有者海缆接续的空调环境。具备可容纳系统专用传输测试设备的可监控的空调环境。
海缆操作设备	1x21t21 对轮直线布缆机
	1x40t4m 鼓轮布缆机
	1x4t4 对轮 DOHB
其他	
居住舱室	配备全装修的居住舱室,最多能容纳 80 人
助航仪器	雷达(3cm)，雷达(10cm)
	2xGPS,3x 电罗经
	甚高频测向仪,航告接收器,气象传真
通信设备	V–Sat+2FBB
	GMDSSA1,A2,A3,SatcomC
	中频/高频,便携式甚高频，航空用甚高频
船籍	巴拿马

（2）光缆埋设机械

海缆铺设施工主要采用埋设犁。拟采用的 MD3 埋设犁是一种先进的水下海缆埋设工具，可以进行敷设同时埋设，埋设深度可达到 3.3 m，可以在不同的地质下准确地进行光缆的埋设。MD3 埋设犁主要特点：1) 该埋设犁有两种配置：2.2 m 标准犁刀；3.3 m 加长版埋设犁刀；2) 可以将海缆埋设到 1500 m 水深。



图 3.7-4 HP-1500 埋设犁

HP-1500 埋设犁主要参数见表 3.7-4。

表 3.7-3 埋设犁 MD3 主要参数一览表

最大工作水深	1500 m	
重量	22400 kg	23100 kg
长度	9.5 m	
高度	5.2 m	5.8 m
最大牵引力：	80 t （可达到 2.2 m 挖掘深度）	50 t （可达到 3.3 m 挖掘深度）
工具包	可达到 2.2 m 埋深的犁刀 2 台 265 kW 的的发动机泵浦在 12BAR 的功率下，冲开泥的能力是 800 m³	可达到 3.3 m 埋深的犁刀 2 台 265 kW 的的发动机泵浦在 12BAR 的功率下，冲开泥的能力是 800 m³

3.7.3后冲埋船舶与设备

（1）后冲埋船舶

本项目拟使用光缆铺设船舶进行后冲埋作业，采用“福海”号海缆船或其他同类型船舶（如“蓝色领航者”号海缆船）。船舶参数见 3.7.2 小节。

（2）后冲埋设备

后冲埋水下机器人拟采用“海狮 I”或具备相似性能的其他水下机器人。



图 3.7-5 “海狮 I” 水下机器人

水下机器人“海狮 I”的主要参数见表 3.7-4

表 3.7-4 “海狮 I” 主要参数

项目	自游式模式	履带式模式
长度	3.22m	3.22m
宽度	2.23m	2.94m
高度	2.51m	2.92m
空气中重量	5700kg	6550kg
速度	竖向 2.6 节，横向 2 节	竖向 1 节
作业水深	最深 2500m	
埋设深度	最深 1.5m	
埋设速度	100m/h	200m/h
埋设产品尺寸	最大直径 360mm	

3.8 项目时间进度

本项目所涉及的施工作业阶段主要有铺设前扫海作业、光缆铺设作业及光缆后冲埋作业，施工总天数控制在 28 天（不含潜在天气影响）。现阶段施工组织计划见表 3.8-1。

表 3.8-1 项目时间进度及人员安排

施工顺序	作业类型	施工船	施工时间（天）	预计工期
1	扫海		5	2026 年 9~10 月
2	埋设段		18	
3	敷设段		5	

4 工程分析

4.1 施工阶段污染及生态环境影响分析

4.1.1 施工期污染影响分析

施工期污染影响主要来自：1）扫海清障作业及光缆埋设作业产生的悬浮物；2）作业船舶产生的油污水、船舶作业人员生活污水、生活垃圾；3）路由扫海清障作业产生的海底垃圾、光缆铺设过程产生的废料；4）施工船舶和机械作业时产生的废气和噪声等，施工期产污环节见图 4.1-1。

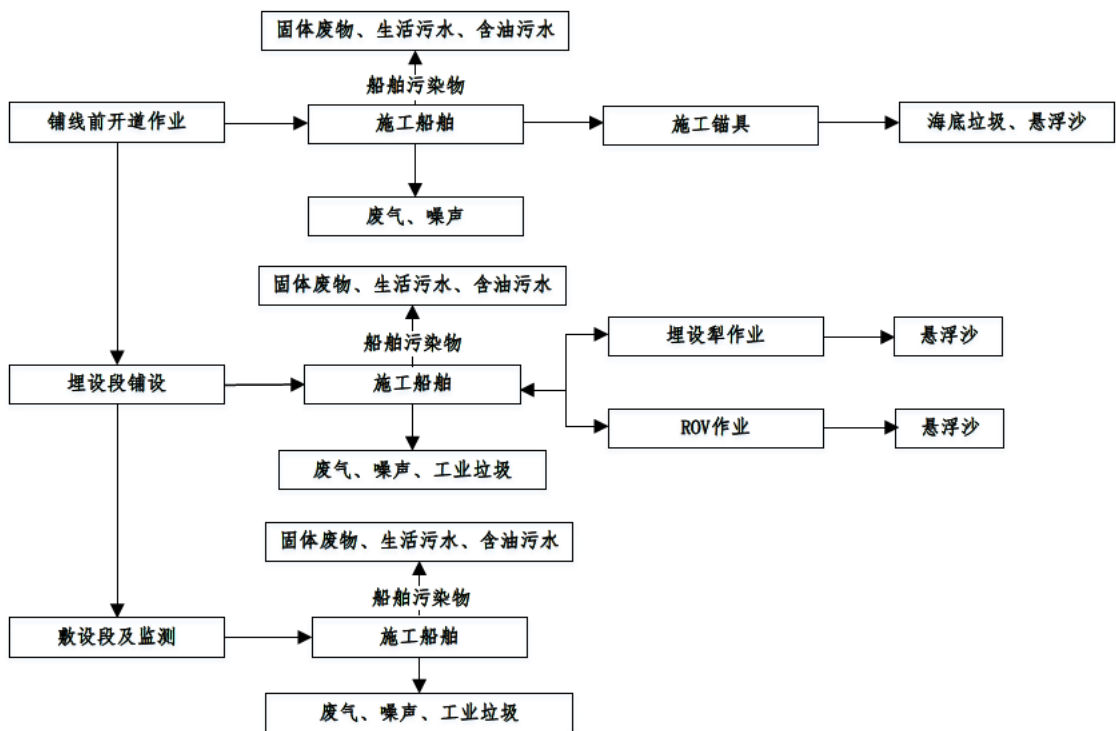


图 4.1-1 施工产污环节分析图

4.1.1.1 悬浮物

工程在进行埋设段路由的清障作业、光缆埋设作业冲埋作业阶段，将扰动海底泥沙和沉积物，产生悬浮物。

采用如下公式计算各作业阶段引起的悬浮沙增量：

$$Q=L\times A\times \gamma_s\times P$$

式中：Q（kg/s）为海底悬浮泥沙强度，kg/s；L为扰动进度，m/s；A为海缆缆槽横截面，m²；γs为泥沙干密度，kg/m³；P为悬浮泥沙所占挖沙量比例，无量纲。

（1）扫海清障过程参数选择及计算结果

扫海清障范围光缆埋设路由区（即 1000m 水深以浅区域）。

扰动横截面积：扫海作业时常使用锚链连接雷尼抓钩（RENNIES），再连接上吉福德抓钩（GIFFORDS），拖着长滑动耙锚（Long Sliding Prong）或者 Flat Fish 锚具。考虑扫海时锚体在海底被拖行时，将在设计路由线路两侧存在小幅度的摆动，故扫海扰动范围按路由两侧各 0.5m 计，锚爪扰动海床深度受锚链拖拽，与海床呈一定角度，故扰动海床深度取 0.2m 计，则扰动的横截面积为 0.2m²；

扰动进度：路由清障船航速控制在≤0.5m/s，按 0.5m/s 计；

沉积物的密度：项目路由光缆埋设段海域底质类型主要为钙质生物粉砂质粘土，沉积物干密度取经验值，具体见表 4.1-1。

起沙率：扫海过程起沙机理主要是扫海锚锚齿刮擦海床，扰动强度相对较低，取经验值 10%。

埋设段路由的清障作业计算结果见表 4.1-1。

表 4.1-1 扫海清障施工悬浮沙源强计算结果表

路由段	范围	施工速度	扰动面积	沉积物干容重	起沙率	产生速率	沉积物类型
		m/s	m ²	kg/m ³	%	kg/s	
埋设段	中国南海海域管辖界线（约 500m 水深）~1000m 水深	0.5	0.2	1500	10	15.0	钙质生物粉砂质粘土

（2）光缆埋设作业过程参数选择及计算结果

光缆埋设段施工造成的入海悬浮沙计算方法同前。各参数取值过程如下：

1）扰动横截面积、扰动进度

铺缆船埋设用于 1000m 以浅水深范围，作业时海缆施工船在布缆的同时，依靠其强大的牵引力拖曳埋设犁，使安装在埋设犁尾部的犁刀在海床上掘削出一条缆槽，然后将海缆埋入其中。埋设犁犁刀的宽度为 20cm，埋设沟的宽度约为 30cm 左右。埋设段设计埋深 1.5m，即开槽扰动面积 0.45m²。此外，埋设犁滑橇部分扰动面积也按单个滑橇底座宽 1m，深入海床 0.1m 计算，即埋设犁滑橇部分扰动面积为 0.2m²。埋设施工速度根据施工单位经验值，一般控制在 0.4~0.6km/h 左右，本次取 0.17m/s。

2）沉积物密度

各段沉积物密度参数确定过程同扫海清障作业阶段的参数选择。

3）起沙率

铺缆船埋设犁施工时仅在海底临时切割出一条缆槽，光缆立刻嵌入到缆槽中。

埋设犁经过该区域后，海底沉积物会将缆槽掩埋，作业对海床的扰动主要发生在犁刀切割破坏床体土壤结构过程。根据施工经验，该施工方法的扰动程度与近岸段常用的高压水枪冲埋法相比较小，起沙率相对较小。本次评价铺缆船埋设犁施工段起沙率根据沉积物类型确定，考虑本项目埋设段底质类型为钙质粉砂质粘土，光缆埋设起沙率取经验值 20%。

光缆埋设作业过程计算结果见表 4.1-2。

表 4.1-2 光缆埋设施工悬浮沙源强计算结果表

路由	范围	扰动器械	施工速度 m/s	扰动面积				沉积物干容重 kg/m³	起沙率	产生速率 kg/s
				扰动宽度 /m	扰动深度 /m	作业扰动面积/m²	器具自身扰动面积/m²			
埋设段	中国南海海域管辖界线（约 500m 水深）~1000m 水深	铺缆船埋设犁	0.17	0.3	1.5	0.45	0.2	1500	0.15	24.86

4.1.1.2 废水污染物

本项目施工废水污染物包括船舶油污水和船舶生活污水。

（1）船舶油污水

机舱含油污水的主要污染物为石油类，浓度约 2500ppm。参考《水运工程环境保护设计规范》（JTS149-2018），500t 级船舶机舱含油污水产生量为 0.14t/d·艘，500～1000t 级船舶机舱含油污水产生量为 0.14～0.27t/d·艘，1000～3000t 级船舶机舱含油污水产生量为 0.27～0.81t/d·艘，3000～7000t 级船舶机舱含油污水产生量为 0.81～1.96t/d·艘，7000～15000t 级船舶机舱含油污水产生量为 1.96～4.20t/d·艘。本项目施工船舶机舱含油污水产生负荷较小，产生量详见表 4.1-3。

表 4.1-3 施工期间施工船舶机舱含油污水产生量核算表

施工阶段		船名	施工天数（天）	产生负荷 m³/（天）	产生量（m³）
扫海阶段		福海	5	2.5	12.5
光缆铺设	埋设段	福海	18	2.5	45
	敷设段	福海	5	2.5	12.5
合计					70

本项目所使用的施工船舶为拟采用的“福海”号施工船均配备有油污水处理装置，船舶含油污水经处理满足相关规定后对排放进行严格控制，达到如下条件时，方可进行排放：a)船舶在航行中；b)通过船舶油污水处理装置，并达到水中含油量低于 15mg/L 之后才排放。

（2）船舶生活污水

船舶生活污水的主要污染物为 BOD₅、SS 和大肠菌群，污染物浓度约为 BOD₅：200mg/L、SS：250mg/L、大肠菌群 2.4×10^5 pcs/L。具体产生量详见表 4.1-4。

表 4.1-4 施工船舶生活污水产生量核算表

施工阶段	船名	施工人数 (人)	施工天数 (天)	产生负荷	产生量 (m ³)
				m ³ / (人·天)	
扫海阶段	福海	68	5	0.15	51
光缆 铺设	埋设段	福海	18	0.15	183.6
	敷设段	福海	5	0.15	51
合计					285.6

本项目拟采用的“福海”号施工船均配备有生活污水处理设施。根据《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）、73/78 防污公约的相应要求，扫海阶段及光缆铺缆施工阶段船舶生活污水的处理措施如下：

距最近陆地 3 海里以内（含）的海域：施工船舶的生活污水排入船载收集装置，经处理达到《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）标准要求后排放。

距最近陆地 3~12 海里的海域：生活污水使用设备打碎固形物和消毒后，在船速不低于 4 节且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率时方可排放。

距最近陆地 12 海里的以外的海域：各施工船舶在船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率时方可排放。

4.1.1.3 废气污染物

废气主要来自于作业船只船舶尾气，主要污染物为 NO_x、SO₂ 等，此类废气持续排放。

（1）船舶废气

① 船舶 SO₂ 源强

$$G_{SO_2} = 2 \times B_0 \times S_0 \times (1 - \eta)$$

式中：G_{SO₂}-SO₂ 排放量，kg；B₀-燃料量，kg，根据船舶设备说明书计算燃料消耗量，见表 4.1-5；S₀-油中硫含量，%：根据《船舶大气污染物排放控制区实施方案》要求，本项目不涉及沿海控制区海南水域，油中硫含量取 0.5%_{m/m}；η-脱硫效率，%：船舶无脱硫装置，脱硫效率取 0。

② 船舶 NO_x 源强

$$G_{\text{NOx}} = B_0 \times q$$

式中： G_{NOx} - NO_x 排放量，kg； B_0 -燃料量，kg，根据船舶设备说明书计算燃料消耗量，见表 4.1-5； q -燃烧 1t 柴油 NO_x 的产生系数，取 8.7kg NO_x 。

据此计算各施工船舶废气产生量见表 4.1-5。

表 4.1-5 施工船舶废气产生量核算表

施工阶段	船舶名称	燃料消耗量 (t/d)	工作天数(d)	燃料消耗总量 (t)	单位燃料产生量 (kg/t 燃料)		产生总产生量 (t)	
					NO_x	SO_2	NO_x	SO_2
扫海阶段	福海	26	5	130	8.7	10	1.13	1.3
埋设段	福海	26	18	468	8.7	10	4.07	4.68
敷设段	福海	26	5	130	8.7	10	1.13	1.3
合计							6.33	7.28

注：扫海阶段燃料消耗量根据扫海施工船舶航速与该类型船舶经济航速换算。

4.1.1.4 噪声污染物

施工时作业船舶在海上航行时将对工程周边海域产生较大的干扰噪声。船舶通航时噪声包括机械噪声、螺旋桨噪声和水动力噪声，其中机械噪声和螺旋桨噪声为主要噪声源。声源特性与船舶通航速度有关，表现为：低速运行时以船舶机械噪声为主，高速运行时以螺旋桨噪声为主。一般运输船舶噪声的均方根声压级平均值约为 130dB/re1 μPa ，航速较快、吨位较大、航行中仍在施工的船舶期峰值声压级可以达到 150dB/re1 μPa 以上。

4.1.1.5 固体废弃物

本项目施工固体废弃物主要来自船舶作业人员生活垃圾以及扫海和铺缆产生的废弃物。

(1) 船舶生活垃圾

船舶生活垃圾主要为食品废弃物、生活用品包装袋等，本项目各施工阶段船舶生活垃圾产生量详见表 4.1-6。

表 4.1-6 施工船舶生活垃圾产生量核算表

施工阶段	船名	施工人数 (人)	施工天数 (天)	产生负荷 kg/ (人·天)	产生量 (t)
扫海阶段	福海	68	5	1.0	0.34
埋设段	福海	68	18	1.0	1.22
敷设段	福海	68	5	1.0	0.34

合计	1.9
----	-----

对于食品废弃物，在满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）、73/78 防污公约的相应要求基础上，结合本项目施工特点，采取以下措施：a)在距最近陆地 3 海里以内（含）的海域，应收集并排入船载收集设施；b)在距最近陆地 12 海里以内的海域收集，不排海；c)在距离最近陆地 12 海里以外的海域直接排放。

除食品废弃物之外的其他固体垃圾全部保存在船上，船舶到达港口后交专业单位接收处置，并将情况记录在《船舶垃圾记录簿》上。

（2）扫海和铺缆垃圾

扫海清障固体废物主要为废弃缆线、绳索、插网、渔网等小型障碍物，按每公里 10kg 计算，路由清障作业共产生废弃物约 2.0t，随船携带，待船舶靠岸后外运处理。光缆铺设过程中产生的光缆废料主要为测试、封头等产生的海缆组成物资。扫海和铺缆垃圾分类存放在船上，待施工船返回港口后交具有垃圾处理单位进行回收利用或妥善处理。

4.1.1.6 施工期污染物排放统计

本项目施工期污染物排放情况统计见表 4.1-7。

表 4.1-7 施工期污染物排放汇总统计表

污染物种类	污染源	发生量	主要污染物	排放方式
悬浮沙	扫海清障	15.0kg/s	SS	自然排放
	铺缆船埋设	24.86kg/s		
污水	船舶生活污水	285.6m ³	BOD ₅ 、SS、大肠菌群	处理达到《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）后按规定排海。
	船舶含油污水	70m ³	石油类	
废气	船舶废气	NO _x : 6.33t	NO _x	采用低含硫燃油，尾气自然扩散
		SO ₂ : 7.28t	SO ₂	
噪声	施工船舶噪声	130~150 dB/re1μPa	噪声	自然衰减
固体废物	船舶生活垃圾	1.9t	食品残渣、包装袋	除食品废弃物之外，各类垃圾集中收集，随船携带，待船舶靠岸后交专业单位接收处理。食品废弃物按《船舶水污染物排放控制标准》（GB 3552-2018）要求收集，经处理后在规定海域排放。
	扫海垃圾	2.0t	弃缆线、绳索、插网、渔网等	
	铺缆垃圾	少量	封头等	

4.1.2 施工期生态影响分析

4.1.2.1 海洋生态环境影响分析

（1）对底栖生物的影响

埋设施工期内扫海锚具和埋设犁将对底栖生物群落的栖息环境产生破坏作用，埋设犁底座覆盖范围内底栖生物也将受到影响。此外，作业时导致的海床泥沙堆积在光缆路由两侧，扫海阶段泥沙堆积范围相对较小，忽略不计，光缆埋设阶段泥沙在两侧沉积范围以距缆沟中心线 0.5m 计。扫海、挖槽泥沙覆盖范围内的底栖生物将在短时间内因挖除、掩埋而受到损害。根据工程经验，施工结束一段时间后，泥沙将在海水运动作用下逐渐回填于缆槽，因此施工对底栖生物栖息环境的破坏作用属于短期的，可恢复的。

表 4.1-8 路由埋设段施工对底栖生物影响范围

施工阶段	扰动器械	路由长度 (km)	影响宽度 (m)	扰动面积 (10 ³ m ²)
扫海	扫海锚	198.82	1	198.82
埋设	铺缆船埋设犁埋设	198.82	3	596.46
小计				795.28

（3）对浮游生物、游泳生物的影响

悬浮物对浮游植物的影响主要为：由于悬浮物的含量增高，增大了水体的消光系数降低光线射深度，可减低海水的透光率，一方面影响浮游植物的光合作用，在一定程度上影响水体的浮游植物的生长与繁殖，降低了海洋初级生产力；另一方面，由于悬浮物快速下沉，部分浮游植物被携带而随之下沉，使水体中浮游植物遭受一定的损害。

悬浮物对浮游动物的影响主要表现在：一是对海水悬浮泥沙浓度的增加，可导致海水透明度和光照下降，将对浮游动物的繁殖和生长造成较大的影响，进而造成浮游动物的生物量降低；二是掀起的泥沙使海水中悬浮物含量的增高，悬浮物含量增多对浮游动物的存活和繁殖有明显的抑制作用，过量悬浮固体使其食物过滤系统和消化器官受到阻塞而导致死亡。

从施工悬浮沙影响来看，悬浮物在许多方面对鱼类产生不同的影响。首先悬浮微粒过多时将导致水体混浊度增大，不利于天然饵料的繁殖生长；其次悬浮物可以粘附在动物身体表面干扰动物的感觉功能，如悬浮物可以阻塞鱼类的鳃组织，造成呼吸困难。此外，船舶通航噪声对噪声敏感性鱼类生存活动也会产生不利影响，使

其游离施工区。

4.2 运营阶段污染及生态影响分析

本项目所采用的光缆进行了抗海水腐蚀的设计，在海水中不会溶出有害物质，运营期内光缆内的金属物质不会腐蚀溶解，对海洋沉积物基本不产生影响，海水腐蚀不会导致重金属污染周围海水水质和海底沉积物。

项目铺设的海底光缆外径很小，铺设后不会影响所在海域的水下地形，也不会改变工程海域潮流水文动力条件，施工造成的冲淤堆积也是暂时的、可逆的。

5 区域环境概况

5.1 路由区海洋水文气象

项目所在南海海域，地处热带北缘，属于热带海洋性季风气候，雨量充沛，气候温和，干湿季分明，日照充足，但常有热带气旋灾害性天气出现。

5.1.1 海洋气象

路由区的气温、气压、相对湿度、风速、降水、雾等气象资料采用西沙海洋站（16°50.0'N，112°20.0'E）2017 年 1 月~2022 年 12 月的观测资料进行统计。热带气旋采用中国台风网“CMA-STI 热带气旋最佳路径数据集”1949 年~2021 年的资料进行统计。

5.1.1.1 气温

路由区年平均气温为 27.9℃，年最高气温达 36.0℃，出现在 5 月，年最低气温为 18.3℃，出现在 1 月。3 月~11 月是路由区较热的月份，月平均气温均高于 26.0℃，6 月月平均气温最高，为 30.4℃；1 月是路由区最冷的月份，月平均气温为 24.7℃。气温的年较差，即最热月与最冷月平均气温的差值，为 5.7℃。

表 5.1-1 西沙站累年各月平均气温统计（单位：℃）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均气温	24.7	24.9	26.7	28.2	29.9	30.4	30.0	29.9	29.6	28.3	27.3	25.1	27.9
最高气温	30.3	34.7	32.4	33.7	36.0	35.4	35.6	34.7	35.3	34.1	31.2	30.5	36.0
最低气温	18.3	19.0	21.7	23.2	24.3	25.3	24.9	23.9	24.6	23.4	22.8	19.9	18.3

5.1.1.2 气压

路由区多年平均气压为 1009.6hPa，年最高气压为 1023.5hPa，出现在 2017 年 2 月 14 日，年最低气压为 987.2hPa，出现在 2017 年 9 月 14 日。月平均气压呈现冬季高、夏季低的特征。最低月平均气压为 1004.3hPa，出现在 7 月，最高月平均气压为 1014.7hPa，出现在 2 月。

表 5.1-2 西沙站累年各月平均气压统计（单位：hPa）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均	1014.3	1014.7	1012.0	1010.8	1007.9	1005.7	1004.3	1004.4	1007.0	1009.1	1011.5	1013.9	1009.6
最高	1022.5	1023.5	1018.2	1017.9	1014.8	1012.0	1011.6	1012.8	1015.8	1016.1	1017.8	1020.7	1023.5

最低	1007.5	1005.5	1003.6	1003.8	1001.3	995.3	992.6	993.5	987.2	993.0	998.1	1007.1	987.2
----	--------	--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------

5.1.1.3 相对湿度

路由区多年月平均相对湿度，最大为 82%，出现在 7 月、8 月和 11 月，最小为 78%，出现在 2 月，各月相对湿度变化不大。多年平均相对湿度为 80%，多年最低相对湿度为 46%，发生在 2018 年 2 月 9 日。

表 5.1-3 西沙站各月相对湿度（单位：%）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
月平均	79	78	80	78	81	81	82	82	80	80	82	80	80
最低	50	46	52	54	50	60	56	58	52	50	55	50	46

5.1.1.4 降水

本海域水汽来源充足，雨量充沛，年降雨量为 1161.6mm。路由区在海域的旱雨季明显，雨季为 5 月~11 月，雨季多年平均降水量为 1007.4mm，为全年降水量的 86.7%。日最高降水量为 157.1mm，出现在 2022 年 7 月 1 日。10 月月平均降水量为 241.7mm，月平均降水日数为 18.0d，其次为 9 月，月平均降水量为 152.5mm，月平均降水日数为 13.2d。3 月月平均降水量最少，为 16.5mm，平均月降水日数为 2.2d，年平均降水天数为 106.7d。

表 5.1-4 西沙站各月降水量（单位：mm）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
月均	22.5	17.5	16.5	54.6	122.2	62.1	187.6	118.2	152.5	241.7	123.1	43.1	1161.6
日最高	36.4	41.6	47.1	92.9	120.3	63.4	157.1	102.0	103.3	121.7	130.7	46.5	157.1
月平均降雨天数	7.0	4.2	2.2	3.8	6.5	6.0	9.7	11.3	13.2	18.0	11.3	13.5	106.7

5.1.1.5 风况

根据西沙海洋站风速风向资料统计分析得到路由区附近各月最多风向及频率、各月平均风速和最大风速、各向平均风速和最大风速及频率、各月及全年大风平均日数等。

本海域风存在明显的季节变化，1 月~4 月、10 月~12 月盛行风向为 ENE 和 NE，5 月~9 月盛行风向为 SSW 和 SW。路由区附近累年平均风速 4.3m/s，3 月、5 月的月平均风速最低，均为 3.4m/s，12 月月平均风速最大，为 5.9m/s。本海域的最大风速为 17.7m/s，极大风速为 29.6m/s，出现在 2019 年 7 月 13 日和 2017 年 9 月 14 日。

本海域的风向主要分布在 NE、ENE、E、S、SSW、SW 向，其中最多风向为

ENE，其出现频率为 16.8%，其次为 NE；最小频率为 WNW，其出现频率为 0.6%，次小为 W，出现频率为 0.9%。强风向为 SW，平均风速均为 6.2m/s，最大风速为 17.7m/s。

该海域大于等于 8 级风（瞬时风速 $\geq 17.2\text{m/s}$ ）的年均大风日数为 20.8d，一年四季均可出现大风，其中 12 月份最多，多年平均日数为 5.0d，10 月份次多，多年平均日数为 4.3d，5 月份多年平均日数为 0d；大于等于 6 级风（瞬时风速 $\geq 10.8\text{m/s}$ ）的年均大风日数为 166.4d。

表 5.1-5 各月风速、最多风向（单位：m/s）

各月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
常风向	ENE	ENE	E	E	SSW	SSW	SSW	SW	SSW	ENE	ENE	NE	ENE
频率	42.0	28.1	17.5	15.4	20.3	32.8	28.4	26.0	11.2	25.4	33.3	37.5	16.62
平均	4.8	4.3	3.4	3.5	3.4	4.9	4.6	4.6	3.1	4.7	4.9	5.9	4.3
最大	11.8	13.1	10.6	12.8	10.8	16.4	17.7	16.2	16.6	17.3	13.5	15.8	17.7
风向	16	356	40	56	222	303	218	299	144	267	347	205	218
极大	21.5	19.4	18.2	22.7	16.7	23.7	26.0	22.3	29.6	25.4	19.4	22.6	29.6
风向	28	13	42	77	284	321	250	287	132	301	354	52	132

表 5.1-6 海域各风向最大风速（m/s）与频率(%)

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
1 月	0.78	9.16	29.03	41.98	14.49	1.86	1.34	0.63	0.22	0.29	0	0	0	0.02	0.09	0.07	0.02
2 月	5.01	9.72	22	28.14	14.28	7.47	4.83	3.95	3.45	0.96	0.07	0	0.05	0	0	0.02	0.05
3 月	1.16	4.66	11.34	16.62	17.52	12.48	8.87	7.15	9.34	7.37	2.33	0.16	0.09	0.04	0.11	0.31	0.45
4 月	0.72	4.31	10.05	13.15	15.37	12.13	9.56	9.49	9.84	10.44	3.61	0.42	0.02	0.21	0.37	0.28	0.05
5 月	0.77	2.21	2.39	4.19	7.22	7.77	7.31	14.74	16.99	20.26	13.73	0.81	0.38	0.18	0.41	0.27	0.38
6 月	0.69	0.21	0.19	0.56	0.81	0.6	1.25	4.86	28.42	32.79	21.03	3.29	2.06	1.02	1.46	0.65	0.12
7 月	1.64	1.25	1.28	1.19	2.26	3.32	4.48	7.46	11.56	28.38	22.04	3.88	3.38	2.06	3.61	1.95	0.27
8 月	2.24	1.43	1.41	2.31	2.84	2.78	2.46	5.11	14.49	25.07	25.96	5.26	1.86	1.28	2.17	2.58	0.74
9 月	6.92	7.01	8.4	8.24	7.11	7.31	6.76	6.92	6.62	11.23	8.59	2.82	2.52	1.85	3.66	2.78	1.25
10 月	6.47	10.62	17.85	25.34	18.3	6.47	4.01	2.31	1.93	2.22	0.63	0.34	0.29	0.25	1.21	1.61	0.16
11 月	2.59	13.22	31.09	32.57	11.53	4	1.88	0.39	0.37	0.14	0.14	0.19	0.16	0.09	0.44	1.11	0.09
12 月	2.98	23.24	38.52	28.29	5.83	0.16	0.04	0.11	0.04	0.16	0	0.02	0.02	0	0.4	0.16	0
年	2.6	7.2	14.4	16.8	9.8	5.5	4.4	5.3	8.6	11.7	8.2	1.4	0.9	0.6	1.2	1	0.3
平均	5.1	5.6	5.2	4.4	3.4	2.7	2.7	3.1	3.9	4.5	6.2	4.5	3.5	3.9	4.2	4.1	—
最大	15.6	15.4	13.3	15.5	13.7	14.7	16.6	15.5	15.8	16.1	17.7	16.9	17.3	16.4	17.2	15.8	—

表 5.1-7 各月及全年大风日数统计

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
≥ 6 级风天数 (d)	18.7	12.3	4.8	6.3	8.5	16.2	14.8	16.0	7.2	19.3	17.2	25.0	166.4

≥8 级风天数 (d)	0.8	0.5	0.2	0.7	0.0	1.2	2.3	1.8	2.2	4.3	1.8	5.0	20.8
----------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

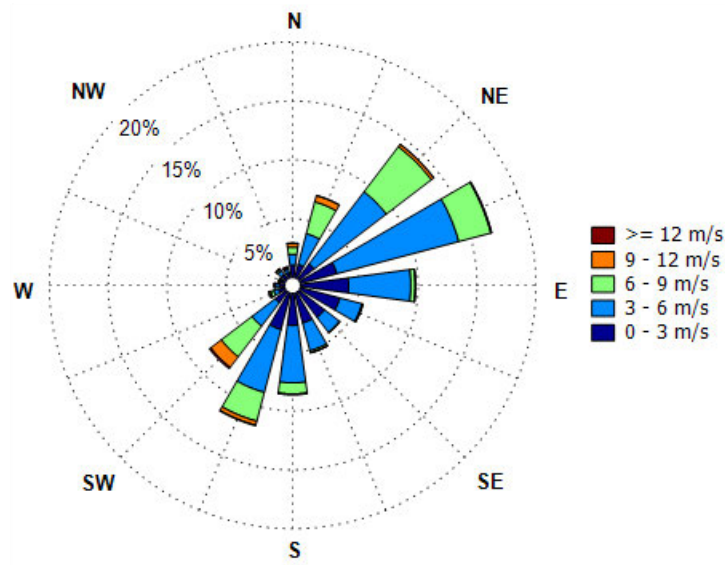


图 5.1-1 西沙海洋站风玫瑰图

5.1.1.6 雾

通过统计西沙海洋站 2017 年~2022 年每日三次的能见度观测数据，可知，路由区轻雾日（能见度在 1km~10km）为 27.8d，大雾日（能见度在 0.3km~1km）为 0.5d，重雾日（能见度在 <0.3km）为 0.2d。轻雾日主要出现在 7 月~10 月和 12 月，月出现天数大于 3d，大雾日出现在 7 月和 10 月。

能见度级数说明：

- 1 级：能见度在 20km—30km
- 2 级：能见度在 10km—20km
- 3 级：能见度在 1km—10km（轻雾）
- 4 级：能见度在 0.3km—1km（大雾）
- 5 级：能见度<0.3km（重雾）。

表 5.1-8 西沙站各月能见度统计表（天）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
5 级（重雾）	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2
4 级（大雾）	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.5
3 级（轻雾）	0.2	1.7	0.7	0.7	1.5	1.2	3.7	4.2	3.3	5.7	1.7	3.5	27.8
2 级	18.2	13.7	15.2	10.0	10.3	14.0	11.3	13.2	11.2	15.7	19.2	23.8	175.7
1 级	12.7	12.8	15.2	19.3	19.2	14.8	15.8	13.7	15.5	9.2	9.2	3.7	161.0

5 级（重雾）	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2
---------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

5.1.1.7 热带气旋

西沙所在海区是西北太平洋和南海台风、热带风暴活动和登陆的主要地区之一，因此主要的气象灾害是热带气旋引起的极端大风。热带气旋是破坏性颇为严重的灾害性天气系统，位居当今危害全球的十大自然灾害之首。影响本路由区域的热带气旋产生的源地有两个：一是菲律宾以东洋面，一是南海本地。据历史资料统计，来自菲律宾以东洋面的热带气旋占总数的 56%，南海本地生成的占 44%。热带气旋资料的统计均按国际规定划分为：

- 热带低压：风力 6~7 级（风速 10.8~17.1m/s）；
- 热带风暴：风力 8~9 级（风速 17.2~24.4m/s）；
- 强热带风暴：风力 10~11 级（风速 24.5~32.6m/s）；
- 台风：风力 12 级~13 级（风速 32.7m/s~41.4 m/s）；
- 强台风：风力 14~15 级（风速 41.5 m/s~50.9 m/s）；
- 超强台风：风力 ≥16 级（风速 ≥51.0 m/s）。

本报告的统计范围为 15° 30' N~18° 00' N，111° 30' E~113° 30' E 南海地区。根据中国台风网“CMA—STI 热带气旋最佳路径数据集”最新数据，统计了 1949 年至 2020 年影响光缆路由海区的热带气旋，统计结果见表 5.1-9。73 年间，共有 218 个热带气旋影响本海域，年平均为 3 个，其中热带低压 76 个，热带风暴 32 个，强热带风暴 43 个，台风 42 个，强台风 20 个，超强台风 5 个。热带气旋多发生在 6 月~11 月，该时间内的发生次数占总数的 94%以上，9 月份发生次数最多，为 57 次，10 月次之，为 42 次，1 月、12 月发生次数为 1 次，2 月和 3 月发生次数均为 0。

表 5.1-9 南海地区热带气旋各月统计表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
热带低压	0	0	0	0	6	7	13	15	23	9	3	0	76
热带风暴	0	0	0	1	0	2	5	6	9	5	4	0	32
强热带风暴	0	0	0	0	0	4	6	4	13	10	6	0	43
台风	1	0	0	1	2	5	7	5	7	12	2	0	42
强台风	0	0	0	1	0	2	3	0	5	5	3	1	20
超强台风	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	0	5
合计	1	0	0	3	8	20	36	32	57	42	18	1	218

5.1.2 海洋水文

路由区的潮位、波浪采用西沙海洋站 2017 年 1 月~2022 年 12 月的潮位、波浪数

据进行分析；表层水温和盐度数据采用西沙海洋站 2020 年 1 月～2022 年 12 月的表层水温和盐度数据进行分析。海流特征采用路由附近站位 2020 年 6 月 26 日 18 时～7 月 14 日 15 时在进行的海流观测进行分析。

5.1.2.1 潮汐

根据西沙海洋站 2017 年 1 月～2022 年 12 月连续的逐时潮位观测资料（基面为 2017 年～2022 年的平均海平面）对本海域的潮汐特征进行统计分析，统计结果见表 5.1-10。

本路由区潮汐系数为 3.4，属于不正规全日潮。本海域平均潮位为 0cm，理论最低潮面在多年平均海平面以下 92cm，理论最高潮面在多年平均海平面以上 94cm，其中 7 月和 8 月月平均潮位最高，均为 10cm，1 月和 2 月月平均潮位最低，均为 -11cm；年平均高潮位为 38cm，7 月月平均高潮位最高，为 56cm；年平均低潮位为 -37cm，1 月月平均低潮位最低，为 -52cm；多年最高潮位为 110cm，多年最低潮位为 -114cm；多年平均潮差为 75cm，其中 6 月月平均潮差最大，为 91cm，3 月月平均潮差最小，为 61cm；历年最大潮差为 192cm，发生在 2022 年 12 月 25 日。平均涨潮历时为 12.55h，平均落潮历时为 8.52h。

表 5.1-10 潮汐统计特征（单位：cm）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
平均潮位	-11	-11	-9	-5	7	8	10	10	7	4	-3	-9	0
最高潮位	84	71	59	74	89	97	110	95	78	89	91	78	110
最低潮位	-90	-93	-98	-77	-73	-92	-80	-78	-77	-68	-84	-114	-114
平均高潮位	34	26	22	28	45	54	56	49	40	37	34	36	38
平均低潮位	-52	-44	-38	-37	-31	-37	-33	-25	-25	-30	-40	-51	-37
平均潮差	86	69	61	65	75	91	89	74	65	67	74	87	75
最大潮差	174	158	132	138	161	189	189	173	147	154	175	192	192
平均涨潮历时	14.27	12.43	11.26	11.50	12.64	13.75	13.75	12.51	11.38	11.37	12.69	13.82	12.55
平均落潮历时	9.70	8.74	7.58	7.63	8.42	9.33	9.31	8.46	7.60	7.75	8.76	9.62	8.52

5.1.2.2 波浪

波浪采用西沙海洋站 2017 年 1 月—2022 年 12 月实测资料进行分析。各月及全年波浪统计特征统计结果见表 5.1-11 和图 5.1-2。

（1）波浪类型

统计结果显示，西沙海域主要受风浪影响，风浪频率为 93.4%，涌浪频率为 0.1%，

混合浪频率为 6.5%。

（2）波高与波周期特征

本路由区年平均 $H_{1/10}$ 为 1.0m，多年最大波高为 5.8m，平均波高冬季高于春夏季，1 月月平均 $H_{1/10}$ 最大，为 1.5m，5 月月平均 $H_{1/10}$ 最小，为 0.6m。历年最大波高为 5.8m，发生在 2022 年 9 月 27 日。年平均周期 $T_{1/10}$ 为 4.1s。

表 5.1-11a 西沙海洋站波浪统计特征（单位：m）

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
Hmax 月最大	4.8	5.5	4.8	4.8	3.5	5.1	4.7	7.4	4.4	8.1	7.5	5.6	8.1
对应周期 (s)	8.5	7.5	6.7	6.7	5.7	5.7	7	9	8.2	8.5	8.7	8.5	8.5
对应波向 (°)	69	77	63	74	230	164	53	79	94	67	80	57	67
$H_{1/10}$ 月最大	4.4	4	3.7	3.7	2.7	3.8	3.9	6.7	3.3	6.4	5.4	4.4	6.7
$H_{1/10}$ 月平均	1.9	2.2	1.6	1.8	1	1.3	1.2	1.5	1.3	3.7	3	2.6	1.9
$H_{1/3}$ 月最大	3.5	3.2	3	3.1	2.2	3.1	3.2	4.8	2.8	4.9	4.4	3.4	4.9
$H_{1/3}$ 月平均	1.6	1.8	1.3	1.4	0.8	1.1	1	1.2	1	3	2.4	2.1	1.6
H_{AVE} 月最大	2.3	2.1	2	2	1.5	2.1	2.2	3.6	1.9	3.3	2.9	2.3	3.6
H_{AVE} 月平均	1	1.2	0.9	0.9	0.5	0.7	0.7	0.8	0.7	2	1.6	1.4	1
T_z 月平均 (s)	5.8	6.1	5.6	5.8	5.3	5.2	5.1	5.9	5.7	6.7	6.6	6.4	5.8

（3）波向表征波动传播方向，以全年资料分 16 个方位进行波向统计。公式为 $P=i/N \times 100\%$ 。其中 P 为每一方向波浪出现频率；i 为每一方向波浪出现次数，N 为统计资料总次数。对各个方向 $H_{1/10}$ 平均值和最大值进行统计。本海域全年波向主要集中在 NNE、NE 和 ENE 三个方向，分布频率分别为 8.4%、38.4%和 9.3%；该海域全年常浪向为 NE 向，次常浪向为 ENE 向；强浪向为 E 向。

表 5.1-11b 西沙海洋站各月各向波浪出现频率（单位：%）及最大波高、平均波高统计（单位：m）

方向 月份	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1	4.8	10.6	51.3	18.2	9.7	1.8	1.7	0.3	0.2	0.2	0	0	0	0	0.8	0.5
2	4.5	6.1	47.4	13.9	12.2	4.7	3.9	2	2.6	0.6	0.1	0	0.1	0.1	1.3	0.4
3	7	10.7	39.3	11.5	8.9	4.1	3.9	1.6	4.6	2.5	2.8	0	0.2	0.2	1	1.7
4	7.4	8.5	40.8	9.1	4.3	1.4	4.2	3.7	6.2	7.5	2.2	0.3	0.2	0.4	1.5	2.2
5	7.7	10.9	23	5.8	3.3	2.1	5.6	3.1	8.2	8.5	8.2	1	0.5	1.6	6.9	3.4
6	9.4	15.9	14.8	6.9	2.9	0.6	2.6	1.7	11	10.6	11.6	2.8	0.6	1.1	3.2	4.2
7	8.8	12.2	15.1	10.4	6	1.5	2.6	1.5	6.2	8	9.4	2.8	2.2	2.9	5.1	5.1
8	9	8.6	29.1	9.8	3.2	0.6	1.7	0.7	7.6	2.2	7.2	2.3	1.2	3.9	6.6	6.3
9	7.2	6	30.9	7.5	4.2	3.9	8	1.6	4.2	2.2	7.4	2.2	2.1	2.7	6	4
10	6.3	2.5	43.1	6.8	9	3.2	7.2	1.1	3.5	1.3	6.2	1.6	0.5	1.1	6	0.7

方向 月份	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
11	2.6	1.4	66.1	8.3	7.9	1.8	3.6	0.2	0.3	0.3	2.4	1	0.3	1.1	2.3	0.2
12	3.1	5.6	76.5	8.9	2.5	1.2	0.7	0	0.9	0	0	0	0	0	0.6	0
全年	6.7	8.4	38.4	9.5	5.9	2.2	3.8	1.5	4.9	3.9	5.2	1.3	0.7	1.4	3.7	2.6
最大 H _{max}	4.2	4.3	4.5	4.2	5.8	2.4	5.7	4.6	4.7	3	5.7	2.8	3.7	3.1	4.6	4.5
平均 H _{1/10}	1.1	1	1.1	1	0.9	0.7	0.8	0.7	0.9	0.9	1	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8

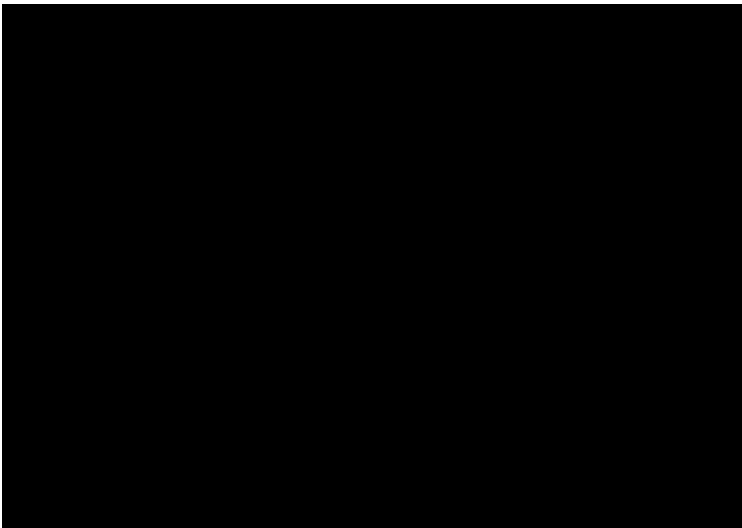


图 5.1-2 西沙海洋站波浪玫瑰图

5.1.2.3 海流

本节从实测海流、潮流和余流等三个方面分析本海域基本特征和变化规律。P1 站（430 个时次）观测时间段为 2020 年 6 月 26 日 18 时～7 月 14 日 15 时，观测层次为 8～38m 共计 16 层数据（2 米 1 层）。

（1）实测海流

实测海流矢量图中各时刻的垂线平均流速取所有观测层次的矢量平均，图 5.1-3 为 P1 定点海流观测得到的 8m、14m、20m、26m、32m、38m 和垂线平均流速的海流变化过程，图 5.1-4 为该站各层流速玫瑰图，表 5.1-12 统计各层最大流速以及平均流速。

观测期间的 P1 站各层最大流速在 45.6cm/s~89.3cm/s 之间变化，各层之间相差不大，上层大于下层；各层最大流速为 89.3cm/s，对应流向为 182°，出现在 10m 层；各层平均流速在 17.5~30.0cm/s 之间变化，平均也是 10m 层流速最大，为 30.0cm/s，随着水深增加平均流速减小，表层约为底层的 1.7 倍。P1 站观测期间海流中以 S、SSW、NNE 和 NE 四个方向的海流出现频率最多，这四个方向海流总共的出现频率为

40~65%；在 8m 层中出现的频率分别为 13.02%、9.30%、8.37%和 9.30%，在 20m 层中出现的频率分别为 15.58%、12.79%、10.47%和 6.98%，在 38m 层中出现的频率分别为 23.49%、22.43%、11.86%和 6.98%。



图 5.1-3 P1 站观测期间海流矢量过程图

表 5.1-12 P1 站海流流速、流向统计表单位：流速 cm/s；流向°

站位	要素	8m		10m		12m		14m		16m	
		流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
P1	最大	82.5	181	89.3	182	82.8	193	83.1	195	82.3	193
	平均	29.9		30		29.8		29.4		29.2	
站位	要素	18m		20m		22m		24m		26m	
		流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
P1	最大	82.9	184	81.6	220	74.7	185	72.7	195	68.6	227
	平均	29		28.8		28.3		28.1		27.3	
站位	要素	28m		30m		32m		34m		36m	
		流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
P1	最大	69	205	64.2	208	58.6	198	55.6	198	57.3	196
	平均	26		24.7		22.9		21.4		19.3	
站位	要素	38m		垂线平均							
		流速	流向	流速	流向						
P1	最大	45.6	190	67.1	207						
	平均	17.5		25.3							

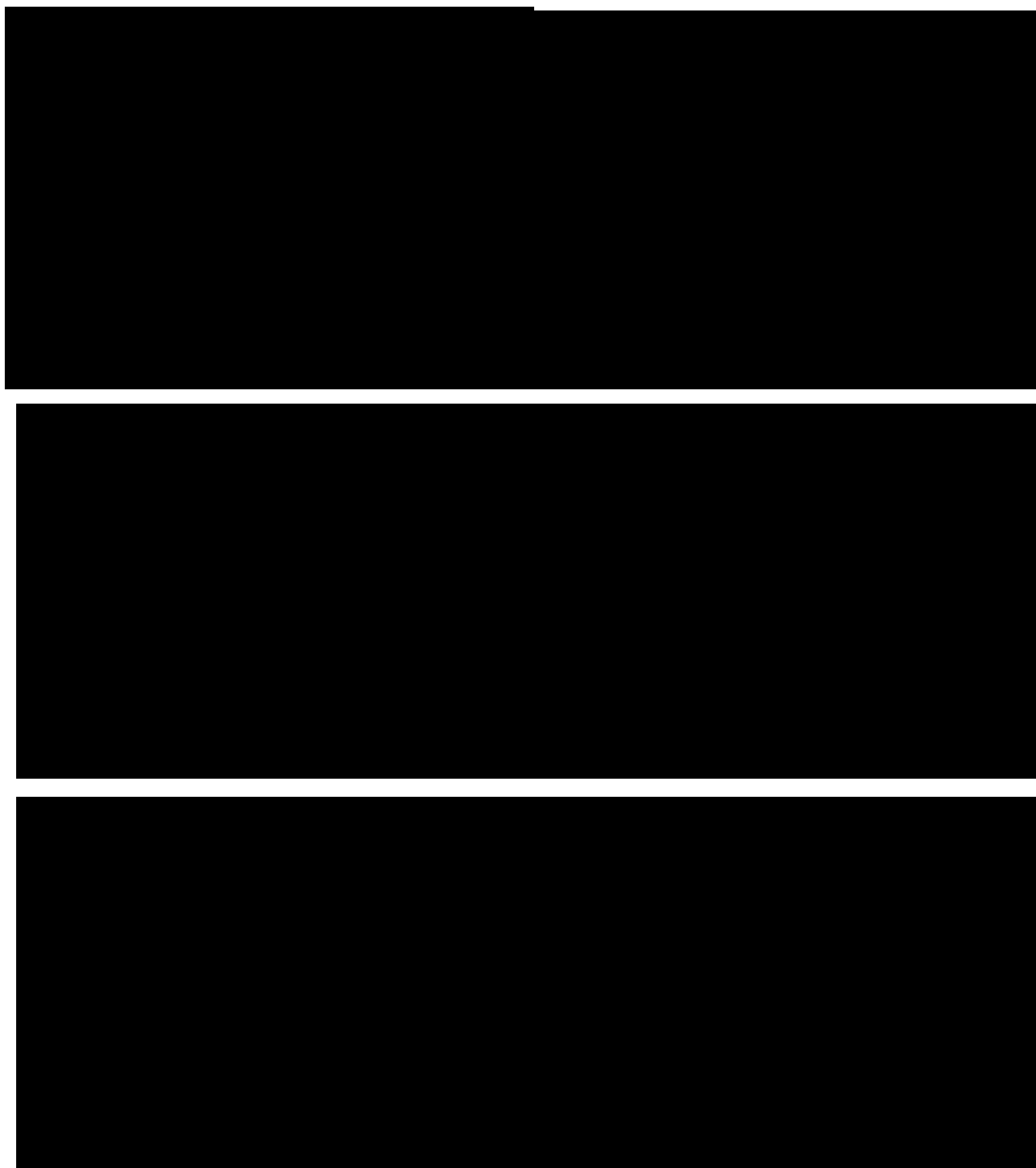


图 5.1-4 P1 站观测期间各层流速与流向联合分布玫瑰图

（2）潮流性质

根据《海洋调查规范》，潮流性质的划分采用潮流性质系数 $F=(W_{O1}+W_{K1})/W_{M2}$ 作为判别标准：

当 $F \leq 0.5$ 为正规半日潮

$0.5 < F \leq 2.0$ 为不正规半日潮

$2.0 < F \leq 4.0$ 为不正规全日潮

$F > 4.0$ 为正规全日潮

式中 W 为分潮流椭圆长半轴，其中 W_{O1} 为主要太阴日分潮流 $O1$ 的最大流速， W_{K1} 为主要太阴太阳合成日分潮流 $K1$ 的最大流速， W_{M2} 为主要太阴半日分潮流 $M2$

的最大流速。P1 站 F 值范围在 7.94~16.59 之间变化，随着水深增加潮流性质系数减少后增加；所有层次的 F 值均大于 4，该测站潮流类型表层为正规全日潮流。

表 5.1-13 P1 站海流流速、流向统计表单位：流速 cm/s；流向°

层次	8m	10m	12m	14m	16m	18m	20m	22m
P1	15.68	16.59	15.75	16.06	14.95	13.73	17.4	14.62
层次	24m	26m	28m	30m	32m	34m	36m	38m
P1	13.14	10.54	8.93	7.94	8.2	9.28	10.29	12.84

（3）余流

余流通常指实测海流中扣除周期性的潮流后的剩余部分，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，岸线和地形对它也有一定影响。由于本次观测获取的是连续资料，为将天文潮流和低频海流从实测海流中分离出来，采用如下方法：先将实测海流分解成东、北分量，再对各分量进行滤波，滤掉南海的近惯性振荡周期和潮流从而得到余流。

由图 5.1-5 和表 5.1-14 可知，P1 站观测期间各层的余流在 1.1~35.0cm/s 之间变化，流向呈现由 NW 向 SW 转变的过程；最大余流流速为 35.0cm/s，其流向为 199°，出现在 8m 层。同一时刻各层的余流相差不大，随着水深增加，而流速减小。

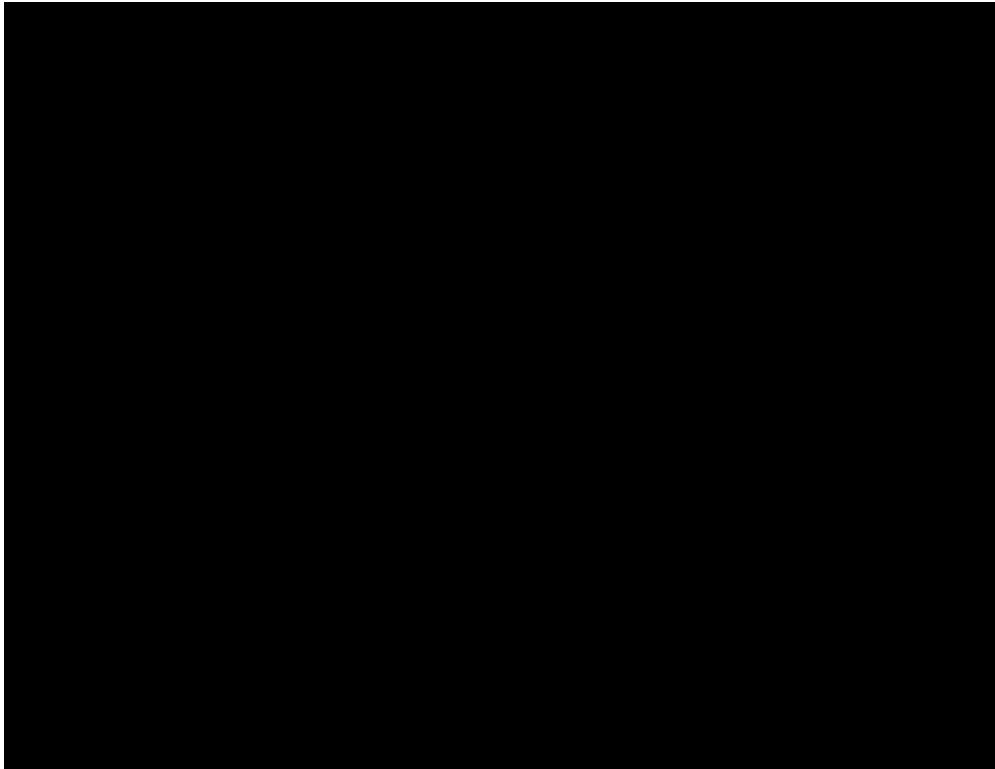


图 5.1-5 P1 站观测期间 8m、14m、20m、26m、32m、38m 层余流分布图

表 5.1-14 各站层逐月余流（流速：cm/s，流向：°）

站位	要素	8m 表层	14m	20m	26m	32m	38m	垂线平均
----	----	-------	-----	-----	-----	-----	-----	------

		流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
P1	最大	35	199	34.4	198	32.5	196	26.6	194	23.7	182	19.6	179	28.4	193
	最小	3.5	71	3	84	2	75	1.1	130	2.8	163	2	235	2.5	263
	平均	6.2	181	7.4	197	8.3	211	8.1	213	185	275	7.9	179	7.5	196

5.1.2.4 水温和盐度

根据西沙海洋站 2020 年 1 月~2022 年 12 月的逐时海表温度数据进行统计分析，结果如表 4.2-7 所示。路由区位于热带，表层海水温度较高，季节变化幅度较小，全年平均值为 28.1℃，观测期间的最高温度为 34.1℃，出现在 6 月，而最低温度为 22.5℃，出现在 1 月。

表 5.1-15 西沙海洋站 2020—2022 年各月表层海水温度

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
最高温度 (℃)	27.4	27.4	30.2	30.8	32.4	34.1	33.3	32.5	32.6	31.6	29.3	28.6	34.1
最低温度 (℃)	22.5	23.6	24.6	26.3	27.3	28.7	28.4	27.6	27.5	26.3	25.3	23.6	22.5
平均温度 (℃)	24.8	24.8	26.7	28.1	29.8	31.3	30.3	30.1	30.2	28.3	27.1	25.3	28.1

根据西沙海洋站 2020 年 1 月~2022 年 12 月的逐时海表盐度数据进行统计分析，结果如表 4.2-8 所示。路由区表层盐度较高，季节差异较小。全年平均值为 33.1，观测期间的最高盐度为 34.4，出现在 10 月，而最低盐度为 28.5，出现在 3 月。

表 5.1-16 西沙海洋站 2020—2022 年各月表层海水盐度

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
最高盐度	34.1	34.0	33.9	33.8	34.1	34.1	34.0	34.4	34.3	34.4	33.7	33.3	34.4
最低盐度	31.0	30.6	28.5	32.2	31.1	29.0	31.0	30.9	30.3	30.2	31.3	29.8	28.5
平均盐度	32.9	33.2	32.7	33.4	33.4	32.5	33.6	33.6	33.5	33.0	32.9	32.4	33.1

5.2 路由区工程地质条件

5.2.1 地质构造及构造裂隙

5.2.1.1 区域地质背景

项目路由位于中国南海西南部，研究区域大致为中国南海（109°E-114°E, 12°N-16.5°N）之间的范围，位于西沙群岛以南和南沙群岛西北之间的海域，

南海位于欧亚板块、印-澳板块和太平洋板块的交接部位，其大地构造受到三大板块相对运动的制约。由于板块间作用的方式不同，南海周缘呈现出不同的构造特征。南海北部陆缘为华南陆块的延伸部分，发育一系列阶梯状拆离断层和不同规模

的隆、坳构造带，为拉张型被动边缘；南部北侧与南海北部为共轭大陆边缘，而南侧是碰撞边缘，受古南海俯冲碰撞的影响发育一系列叠瓦状构造，属挤压型边缘；西部受印支地块南东向构造挤出的影响，发育走滑边缘；南海东部发育马尼拉海沟。

南海及其周围地区的地质构造极其复杂，其西侧的中南半岛和北侧的华南大陆以金沙江-红河断裂带为界，分属于特提斯构造域和华夏构造域，南海的西北侧为燕山期陆缘活化带，东侧的岛弧为具有海西期残块、燕山期基底的喜马拉雅期的断褶系。

南海边缘海北面和西面是华南陆块和印支陆块，东面和南面是台湾-菲律宾、加里曼丹等一系列的海沟岛弧断褶带。南海海底地形分大陆架、大陆坡和深海盆，这三部分呈马蹄形缺口朝东展布。

南海的地壳类型齐全，有大陆型地壳、过渡型地壳、大洋型地壳。其陆壳围限洋壳，而陆壳又残留于洋壳之中。这种繁杂镶嵌的地壳分布反映了南海形成演化的多期性和复杂性。

大陆成因基底（陆壳基底）在南海占有很大面积，不仅延伸到大陆架和大陆坡区，还包括大型水下高地和岛屿的地区。南海北部陆缘大部分基底由早古生代至中生代强烈变形的地层组成。东侧吕宋岛基底由始新世蛇绿岩套和变质岩组成。南海深海盆的刚性基底（洋壳基底）主要出露于海底深海盆及山脉区，由类似于大洋扩张中心玄武岩的岩石组成。南部陆缘发现晚侏罗世-早白垩世的滨海-浅海相含煤碎屑岩或半深海相页岩、晚三叠-早侏罗世三角洲-浅海相砂泥岩和中三叠世深海相硅质页岩等 3 套地层。

南海沉积盖层广泛发育，新生代的沉积序列从早第三纪以来表现为一个巨大的海侵序列，下第三系中、下部为陆相沉积，上部中、上新统为海陆交互相，中新统以上为海相沉积，表现为从陆到海的演化序列。盖层的分布、厚度和走向等受基底构造的控制，盖层厚度自大陆架区向中央海盆逐渐减薄，在下大陆坡区的厚度极不稳定。

大陆架上分布着大陆岛，例如中国的台湾岛和海南岛、越南的广东群岛和昆仑岛、马来西亚的潮满岛、印度尼西亚的廖内群岛、纳土纳群岛。这些岛屿由与邻近大陆相同的前第四纪岩浆岩、变质岩和沉积岩所构成。大陆架上少数岛礁、大陆坡和深海盆上的全部岛屿，是由第四纪-晚第三纪的珊瑚礁及其上的灰沙岛所构成，个别为第四纪火山（西沙群岛高尖石岛）。南海诸岛的珊瑚礁大部分兀立于东沙台阶、

西沙-中沙台阶和南沙台阶所组成的大陆坡海底高原上。

5.2.1.2 地质构造区划

本项目海缆路由在南海主要穿越了南海地块 1 个一级构造单元。根据南海的地形地貌、地壳类型和沉积、构造及地球物理特征，可划分为多个二级构造单元。其中路由穿过中央海盆洋壳区、中沙—西沙微地块等，具体见图 5.2-1。

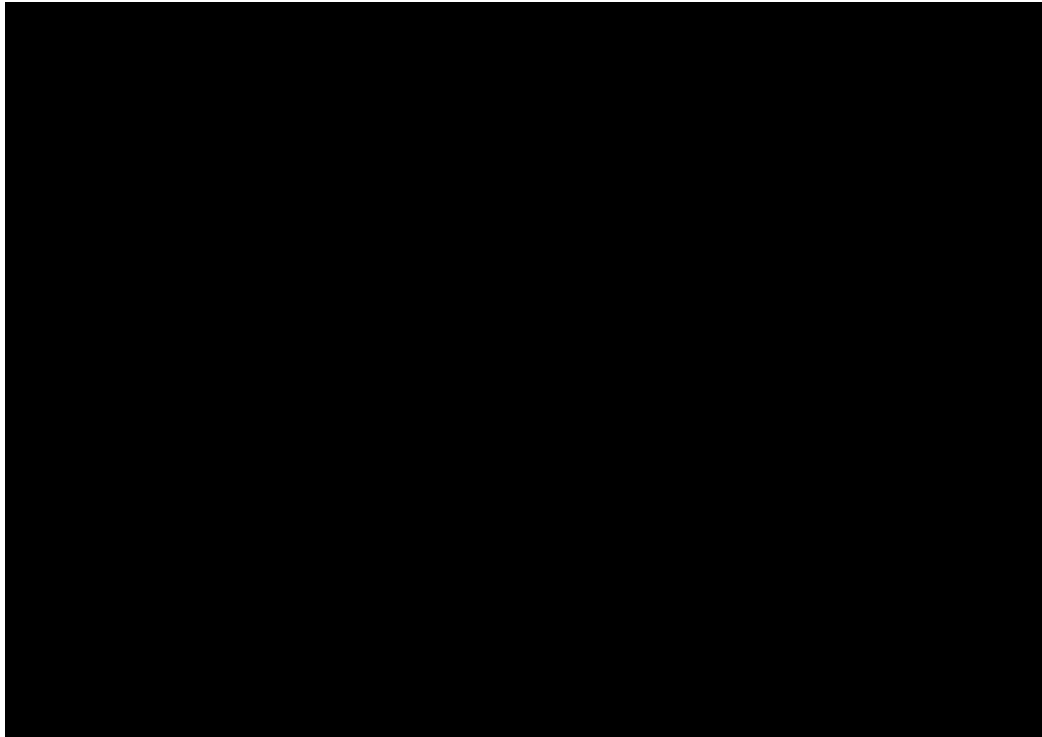


图 5.2-1 预选路由所在区南海大地构造格架图

5.2.1.3 构造断裂

南海断裂十分发育，从形成演化的角度来看，南海北部边缘的拉张，南部边缘的挤压，再加上变形体的物性、厚薄、作用力大小、方向及时间长短以及形变速度和所处构造部位不同，从而导致形成不同方向、不同级别和不同类型的断裂构造。按断裂展布方向大致可分为 NE 向、NW 向、近 EW 向和近 SN 向 4 组（图 5.2-3）。

NE 向断裂是南海地区的最主要断裂、分布广泛，以张性断裂为主，在东南边缘有少部分为压性断裂。NE 断裂发育较早，是控制南海构造格局和地形轮廓的主要断裂。

NW 向断裂也很发育，相对 NE 向断裂来说形成时间较晚，多数切割了 NE 向断裂。一般为剪切性质。

近 EW 向断裂主要分布于南海中央海盆和南海北部，以张性为主。这些断裂与晚

渐新世至早中新世南海海盆的第二次大规模扩张有关。

近 SN 向断裂主要分布在南海东西两侧，中央海盆也有分布。

此外，按断裂切割深度，则可分为岩石圈断裂、地壳断裂、基底断裂和盖层断裂；从断裂的力学性质来说，有张性断裂、剪性断裂、压性断裂、张剪性断裂和压剪性断裂。

在 4 个方向的断裂中，可能与路由交越的断裂主要有中央海盆西缘断裂、越东滨外断裂等岩石圈断裂。

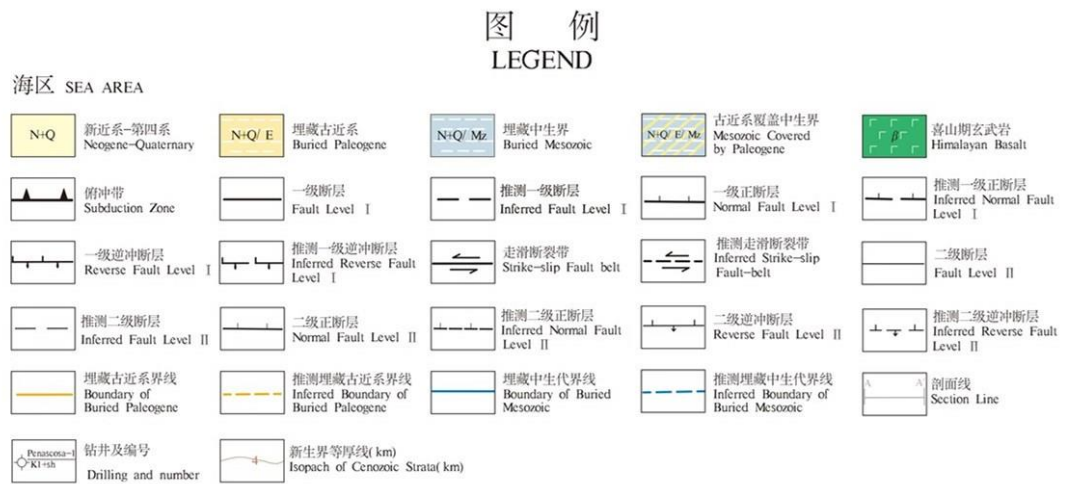
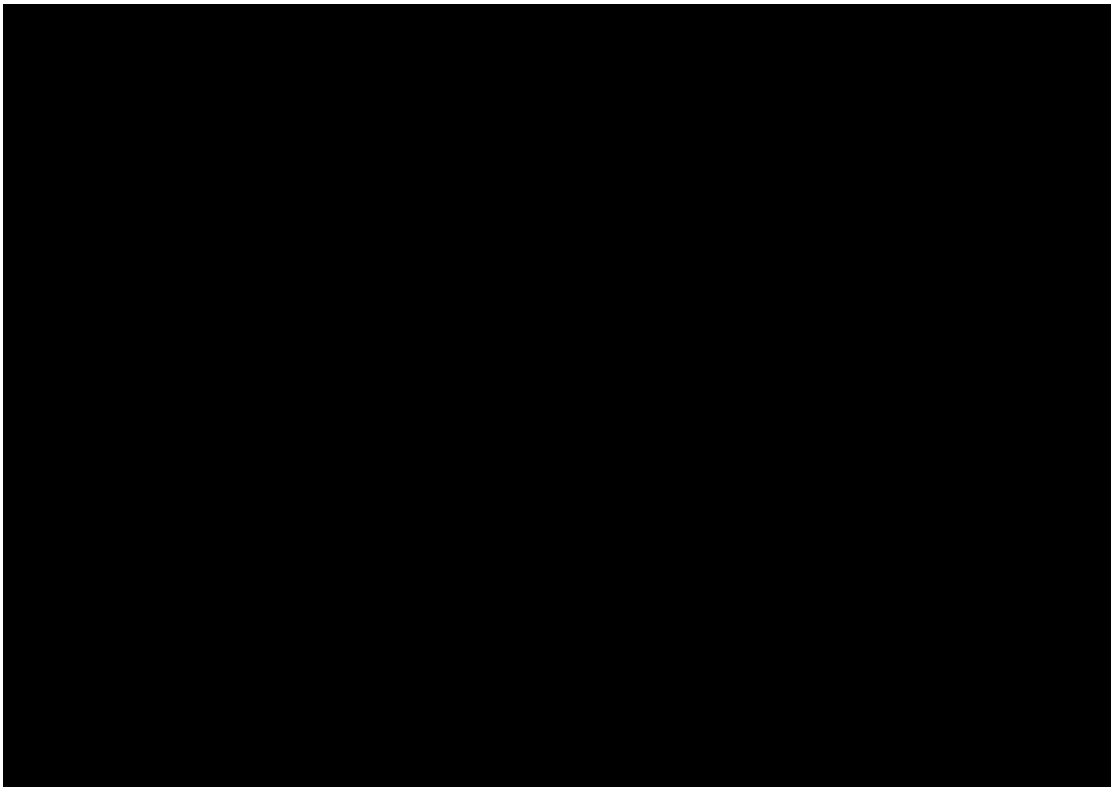


图 5.2-2 本项目预选路由区域构造简图

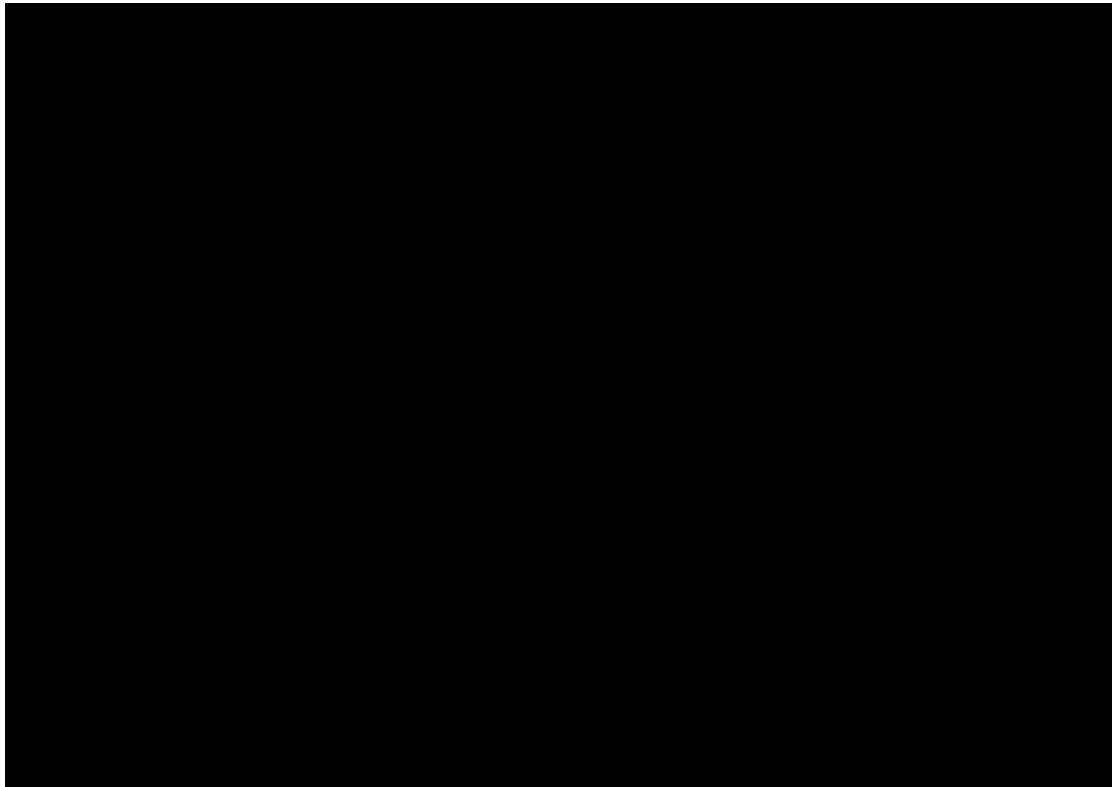


图 5.2-3 本项目预选路由区域构造断裂简图

5.2.2 海底灾害地质因素

5.2.2.1 南海灾害地质分区

南海灾害地质环境复杂，类型繁多，可归纳为如下特点：

1) 南海位处西太平洋活动大陆边缘，特别是它的东部靠近西太平洋火山地震带，新构造活动十分强烈。一些地震活动可直接引起地质灾害，或间接地引发滑塌，沙土液化，海啸等灾害。这是灾害地质内动力因素复杂性的重要原因。

2) 南海陆架区由于第四纪气候性海平面升降幅度超过 100m，普遍造成陆架地貌的新老叠置，埋藏古河道、埋藏礁岩、凸凹地等不利地质因素存在，使浅层灾害地质体复杂化。

3) 南海处于东亚季风和热带气旋活动区，气象水文条件十分复杂，很多水动力条件导致底质的不稳定性，是地质灾害发生的重要诱因。

在刘守全分类的基础上，把南海分 4 个灾害地质区：即海岸带灾害地质区、大陆架灾害地质区、大陆（岛）坡灾害地质区、海盆灾害地质区。然后再根据灾害地质发育的次一级特征，划分若干亚区。

（1）海岸带灾害地质区主要灾害地质类型有海岸侵蚀、海水入侵，其次还有可

以同时影响海底和陆地的地震和活动断层等。华南沿岸也是热带气旋和台风登陆最频繁地区，仅 1949~1988 年就达 158 个，平均每年 4 个。台风入境将引起风暴潮，引起强烈的海岸侵蚀。大陆架灾害地质区是灾害地质环境最为复杂，陆地入海河流携带大量物质堆积在近岸和内陆架地区，海洋水文气象状况对海底影响很大，地貌动力塑造过程十分活跃。大陆架主要灾害地质类型有，水下三角洲，各种活动沙体（沙坡、潮流沙脊等）冲刷槽，埋藏古河道，浅层气等。

（2）大陆架灾害地质区灾害地质类型多，成灾机制复杂，诱发因子多。根据各海区地质环境的差异，还可进一步划分若干亚区，其主要灾害地质类型也有所差异，从大陆架横向来讲，内陆架、外陆架灾害地质特征也存在明显差异。本次，我们划分三个亚区：即北部陆架灾害地质亚区、琼桂陆架灾害地质亚区和南部陆架灾害地质亚区。

（3）大陆坡（岛坡）灾害地质区，是大陆壳和大洋壳之间过渡地带，构造活动强烈，地形坡度大，起伏大。该区主要灾害地质类型是滑坡、浊流、活动断层、地震，其次是海底峡谷、陡坎、海山、生物礁等。该区可以分为 3 个亚区：北部陆坡灾害地质亚区、西部与南部陆坡灾害地质亚区、东部岛坡灾害地质亚区。北部亚区主要灾害地质类型是滑坡、浊流、其活动频度和强度都较大。西部和南部陆坡亚区包括中南半岛东部陆坡和中沙、西沙、南沙海台，地形崎岖，主要灾害地质类型有活动断层、浊流及海山礁体等障碍性因素。东部岛坡灾害地质亚区包括台湾、吕宋之间海脊、海槽体系、西吕宋海槽与马尼拉海沟体系，该区地形陡峭，又处于西太平洋俯冲带，主要灾害地质类型有滑坡，地震，火山和浊流，潜在危险性大，对海底光缆有较大威胁。

（4）海盆灾害地质区分布着深海平原，地形平坦，平原上耸立两列海山，西南部线状海山呈 NE 向排列，是南海第一扩张轴的遗迹，海盆中央海山呈 EW 排列，是第二次扩张轴遗迹，在海盆边缘分布着一些深海扇。

路由海域所在灾害区位置如图 5.2-4。由图可知，本项目预选路由所经过的灾害地质区主要为西南海盆灾害地质亚区和北部陆坡灾害地质亚区。

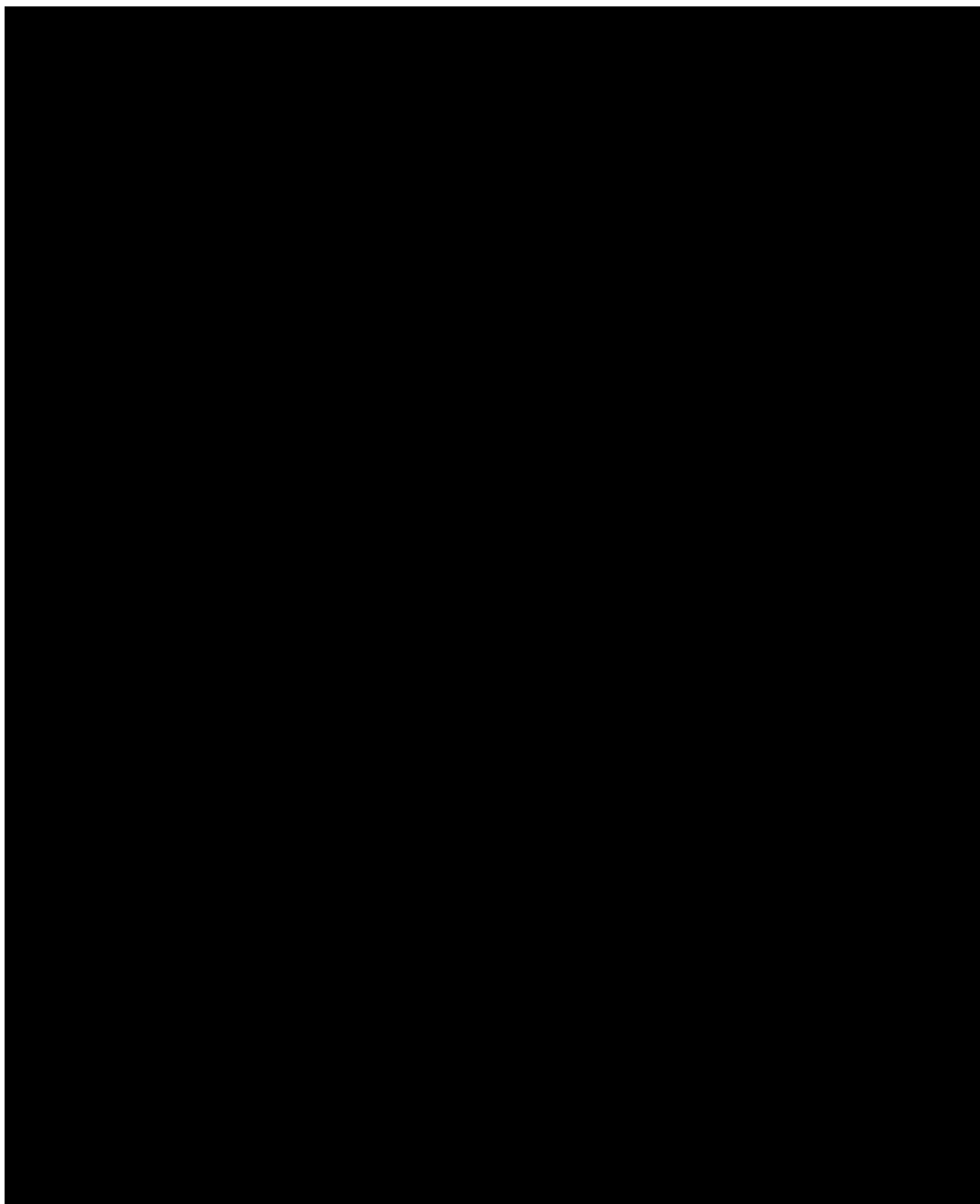


图 5.2-4 路由所在南海的灾害地质分区图

5.2.2.2 南海灾害地质类型

南海地区发育影响海缆安全的海底灾害地质因素主要有：埋藏古河道、海山、海丘、滑坡、浊流、海底峡谷、浊流扇、陡坡、陡坎、沙波、沙丘、凹凸地、浅层气等。这些灾害地质因素在路由区内发育广泛，直接对海缆的施工、维护及运行造成困难和危害。

1) 埋藏古河道

埋藏古河道是出现最多的灾害性地质因素，古河道本区十分发育，具有多层性、

多期性，主要分布于大陆架灾害地质区。埋藏古河道发育，规模大，分布广，古河道的上游属于顺直微弯型河道，下游多属于弯曲型和分叉河道。河道宽 2000m~3000m，潜伏于海床下 5m~20m，下切深度 7m~12m。深槽、浅滩交替出现，两侧边滩犬牙交错。

古河道沉积的上下界面为不整合接触，曾经历暴露风化或海水浸泡，物质结构疏松，在外力作用下，容易引起层间滑动，稳定性差。古河道的沉积物、填充物以粗碎屑砂砾石为主，孔隙度大，有较强的渗透性，在地层中形成长期的侵蚀、冲刷，在上覆荷载下容易形成局部塌陷，造成基底的不稳定性。埋藏古河道沉积与其围岩岩性有较大差异，造成承载力不均匀，因对工程设施有一定的潜在性危险，古河道已对早期油气勘探平台造成过事故，如东海钻井桩腿的下沉，莺歌海钻井的倾斜等。

2) 凹凸地和浅层气

南海浅层气主要分布于陆架区。浅层气沿地层之孔隙向上运移，溢出海底，进入水体，在海底形成凹凸地（麻坑群）。沉积物中含浅层气，随着含气量的增加而引起膨胀，破坏土的原有骨架结构，减慢了沉积物在自重作用下的固结过程，从而增加了土的压缩性，降低了土的抗剪强度。气体的积聚增添了沉积物发生崩塌、砂土液化的可能性。

预选路由海域浅层具有分布范围小、埋藏浅的特点，埋藏深度约 20m，浅层气分布面积大小不一，最大的可达 680km²，最小仅 4.92km²。陆坡区未发现浅层气，可能因陆坡区浅层沉积物中陆源碎屑物质较少，缺乏生气物质，未能产生足够的气体。

3) 断裂带、断层

断裂带、断层在南海区域内广泛发育，本项目穿过断裂带多条，部分为大型的基底断裂、地壳断裂或岩石圈断裂，相对而言，内陆架、陆架边缘和上部陆坡区时地震活动较为强烈的地方。在南海北部陆架、陆坡区，历史资料较为详实，据资料记载区内发现第四纪以来有过活动的大小断层 240 多条，断层约有 94%形成于第四纪以前，第四纪以来仍有活动；其中 80%为浅层和中层断层；有的由深层断层上延出露于海底；有的断层属第四纪沉积不均匀压实作用所形成。这些断层延伸方向有 NEE，近 EW 和 NWW，以 NWW 向占主导，这与区域背景有关，受东沙运动影响明显。断层特别是活动断层是潜在的地质灾害因素，在工程上具有危害性。

4) 滑坡

刘锡清等（2005）发现在南海北部和南部陆坡都有大量滑坡发育，其中北部 $113^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 之间，水深 150m~300m 的陆坡外缘和上陆坡出现一个几乎连续的，长达 600km 的滑坡带，由 10 几个大型滑坡组成，单个滑坡一般长几十公里，最长 75km，短的约 10km，宽 1km~5km，滑坡层厚 10m~20m，最厚达 50m，有明显的滑坡壁、滑塌谷、台坎、鼓丘。滑坡壁高达 10m~37m，坡角 $15^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 。近期，在南海北部白云凹陷发现了大型海底滑坡，该滑坡位于南海北部陆缘，跨越陆架边缘、陆坡和深海平原，水深急剧变化，峡谷纵横，水道复杂，海底地形崎岖。以 1350m 等深线为界，可分为南北两部分，1350m 水深线以北地区，水体较浅，地形较缓，海底坡度一般在 2° 左右，从西向东发育 3 个近南北向的海底沟横，深度较大；1350m 以南地区水体较深，地形较陡，海底坡度最大可达 14.5° ，逐渐进入深海平原。

5) 浊流、浊积扇

浊流是一种高密度流，一般沿海底峡谷流动，海底峡谷就成为浊流通道。海底浊流出峡谷后，往往堆积成浊流扇。在大陆架上具有一定坡度的泥质沉积区及大型三角洲前缘也有浊流形成。浊流是在重力作用下顺海底斜坡向下运动，冲刷和冲击能力极强，对海底电缆的安全构成潜在的威胁。此外，浊流扇是一种沉积结构不均的堆积体，粗细混杂，分选差，易发生顺坡蠕动，也可能造成海底电缆的断裂。在南海北部陆坡，发育一系列海底峡谷，在大陆坡坡脚的峡谷尾间，发育大型浊积扇，面积达数万平方千米，一些海底峡谷源头坡面上多发育滑坡，为浊流发育创造有利条件。在南海南部陆坡也发育大量海底峡谷，都可能是浊流的有利通道。

6) 海底槽谷

在珠江口外古三角洲外缘，发育海底槽谷 49 条之多，大多呈 NW-SE 方向，少数其他方向，长度可达 30km~40km，深 1m~3m。南海南部陆架同样发育海底槽谷众多，大多呈 SW-NE 方向，少数其他方向。这些海底槽谷多与古三角洲放射状河道有关，后来经侵蚀作用改造。

7) 陡坡和陡坎

陡坎和陡坡是海底地形坡度急剧变化的陡峭地段，是任何海上工程设施都应避让的灾害地质类型之一。台湾浅滩南缘发育侵蚀陡坎，分布在水深 40m~100m 之间，陡坎高差 10m~25m，坡度 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。南海东北部一些海底峡谷上部的侵蚀陡坎，高差可达 10m~60m，坡度在 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之间。滑坡成因的陡坎，在珠江口陆架外缘比较多。

在路由研究海域主要位于陆架外缘-坡折带，抑或分布在海底峡谷两侧陡壁。水深分布范围在 200m~800m，平均宽度 8km，高差达 600m。琼东南陡坡坡度平均为 4°，最大可达 20°，分布长度约 300m，陡坡带呈 NEE 向延伸，与水深线方向基本一致。且其上叠置大量侵蚀和滑坡所形成陡坎。

8) 海底峡谷

主要发育在大陆坡和岛坡上，横断面一般成 V 字型，地形复杂，不利于海底光缆敷设。海底峡谷的发育，一般受构造断裂控制，且容易诱发崩塌、滑坡，产生大量碎屑物质，形成浊流。南海的海底峡谷在台湾浅滩以南大陆坡上十分发育，东沙群岛与台湾—吕宋西海岭之间也比较发育。在珠江口南部陆坡区发育北西向的大型海底峡谷，顶端水深约 400m 左右，下端与水深 3600m 的深海盆地相接，全长约 250km。

9) 海山、海丘

海山、海丘在南海深海盆地及大陆坡区广泛发育，海山高出海底的相对高度大于 1000m，海丘高出海底相对高度小于 1000m。因海山、海丘在较为平缓的海底面上凸起，一般由坚硬的基岩或珊瑚礁盘构成，对光缆的敷设和维护不利。

10) 基岩

南海的基岩出露区主要分布于近岸、陆坡和深海盆地的海山链区，其上地形起伏不定，质地坚硬，对光缆的铺设和维护均不利。

5.2.3 地震与火山

5.2.3.1 地震活动性

地震是近代和现代构造运动的重要表现，具有强大的破坏力，以地震的强度和频度作为评价地震活动性的主要标志。2006 年 12 月 26 日，台湾南部海域发生里氏 7.2 级的恒春地震导致中美光缆、亚太 2 号光缆、环球光缆、亚欧 3 号光缆、C2C 光缆、东亚光缆等数条国际性海底光缆断裂，造成了不可估计的损失。

海域大地震的主要震害之一是海啸，它的影响范围远远大于同震级的大陆地震，具有极强的破坏。尽管迄今为止，尚未见到南海及其周缘大地震诱发海啸并造成破坏的记载，仍不能丧失警惕。因为从动态过程考虑，大地震正在不断地改变着海底地形，一旦地形突变为适合海啸发生时，首先受害的是南海东北部沿岸，因为南海东北部陆架坡度一般较陡，不利于波能在运动过程中逐渐耗散，至少与我国的黄海、

东海陆架相比如此。

5.2.3.1.1 地震区划

地震区（带）的划分，应同时考虑地震活动和地质构造两方面的因素。根据历史地震和现今强震空间分布的特征，结合区域地质构造的实际情况，将南海及其周围划分为两大地震活动区—板缘地震活动区和板内地震活动区，再细分为若干地震活动区，具体见图 5.2-5。

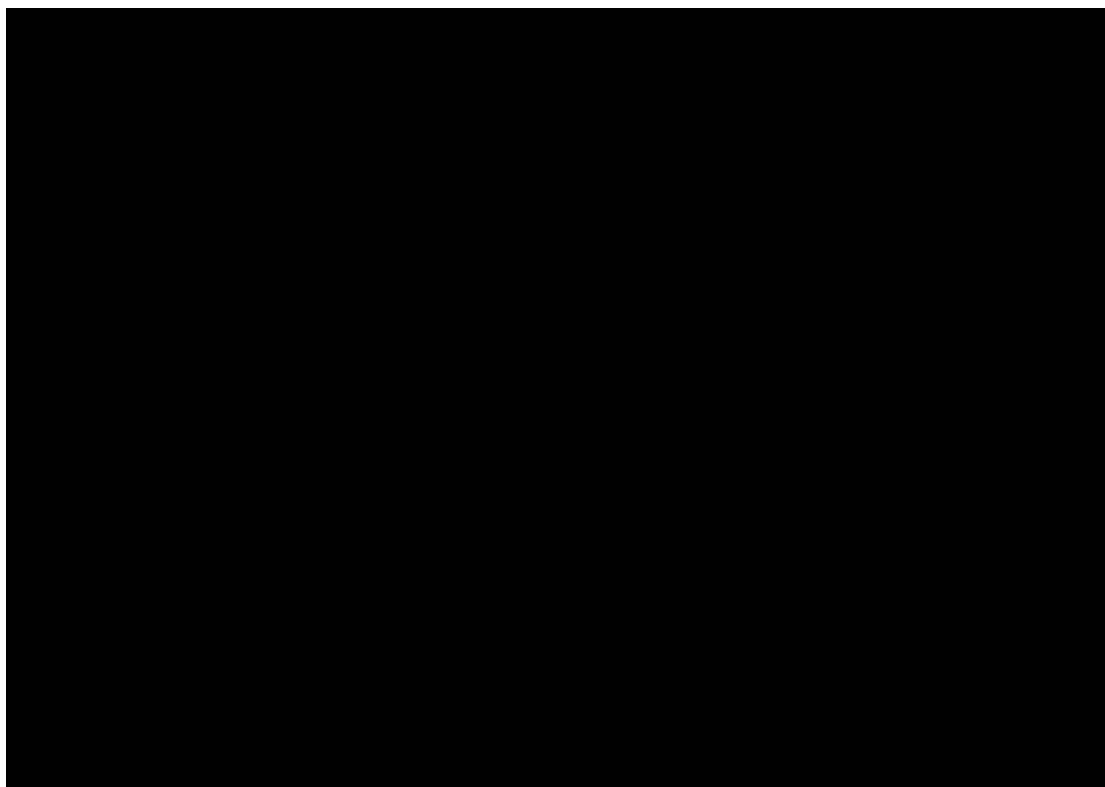


图 5.2-5 南海地震区（带）划示意图

板缘地震活动区基本上沿板块边界呈狭长带状分布，其范围大体相当于南海东缘和南缘的海沟岛弧断褶系。其特点是：强度大、频度高、震源深度达，机制复杂。根据板缘构造作用的差别和地震“信息密度不同”，划分为 4 个地震带：

- （1）台湾海峡地震带；
- （2）巴士海峡-菲律宾地震带；
- （3）苏禄海-加里曼丹地震带；
- （4）苏门答腊地震带。

与板缘地震活动区相比，板内地震活动区的特点是：强度小，频度低，震源浅，震中分布的随机性大，亦即强震和中强震与地质构造的关系，不如板缘地震带明显。

根据历史地震（包括破坏性地震和有感地震）的密集程度，划分为：

- （1）台湾西部地震带；
- （2）泉州-汕头地震带；
- （3）莲花山地震构造带；
- （4）河源-邵武地震构造带；
- （5）从化-阳江地震构造带；
- （6）吴川-四会地震构造带；
- （7）桂东南地震构造带；
- （8）华南滨海地震带；
- （9）东沙-海南地震带；
- （10）深海盆地震带；
- （11）西沙-南沙地震带。

预选路由主要经过深海盆地地震带，即深海盆及西沙-南沙地震带，此两个地震带包括大部分南海海域，在构造分区上占有西部陆坡断阶带、中央海盆断扩区、南沙海槽挤压地堑带，东缘有 NNE 向马尼拉海沟断裂带，周缘断块差异运动显著，构造虽然复杂，地震活动却相对平静。

5.2.3.1.2 震中平面分布特点

南海及其邻区，在新生代有其独特的演化史和地震活动特点，据美国地质局调查局的资料不完全统计：位于东经 $105^{\circ} \sim 121^{\circ}$ ，北纬 $2^{\circ} \sim 24^{\circ}$ 之间的南海及周边地区，自 1973 年至 2010 年 3 月间，发生地震达 3257 次之多。其中超过 4.5 级以上的地震 1607 次，超过 6 级以上的地震有 57 次。根据中国国家地震台网，自 1970 年 1 月 1 日至今 2020 年 11 月 29 日发生在南海及周边地区的地震分布如图 5.2-6 所示。本项目路由区地震活动相对平静，1973 年以来没有发生过 6 级以上的地震，距离本项目最近的地震区域位于 BU 点东北侧 116km 处，1982 年发生过 5 级地震。



图 5.2-6 南海地震震中分布示意图

5.2.3.2 火山活动性

火山是由地球深处的岩浆等高温物质穿过地壳裂缝，喷发出地面而形成的锥型山体，分为活火山、死火山。活火山即人类历史记载中经常或周期性喷发的火山；死火山即人类历史记载中没有喷发过的火山。地球上有 2 个最大的火山活动带：环太平洋火山带和地中海火山带。世界上共有 850 多座活火山（陆地上有 700 多座、海底有 100 多座），其中 3/4 分布在环太平洋火山地震带，成为地球佩戴的“火环”。1883 年 8 月 27 日印度尼西亚巽他海峡中的喀拉喀托火山爆发，引发人类有史以来最大的海啸，掀起高达三四十米的狂浪，吞没这一海域全部船只，爪哇岛、苏门答腊岛沿岸的房屋、车辆、人畜全部被卷入波涛汹涌的大海。仅印度尼西亚就有 3.6 万人在这次海啸中丧生，经济损失无法估量。据世界火山计划的全新世火山数据库，南海的火山活动主要集中于板块边缘的台湾岛及菲律宾群岛附近。

本项目路由经过的大部分海域没有火山分布，仅在南海西南部接近越南附近路由西北侧有火山活动，见图 5.2-7。

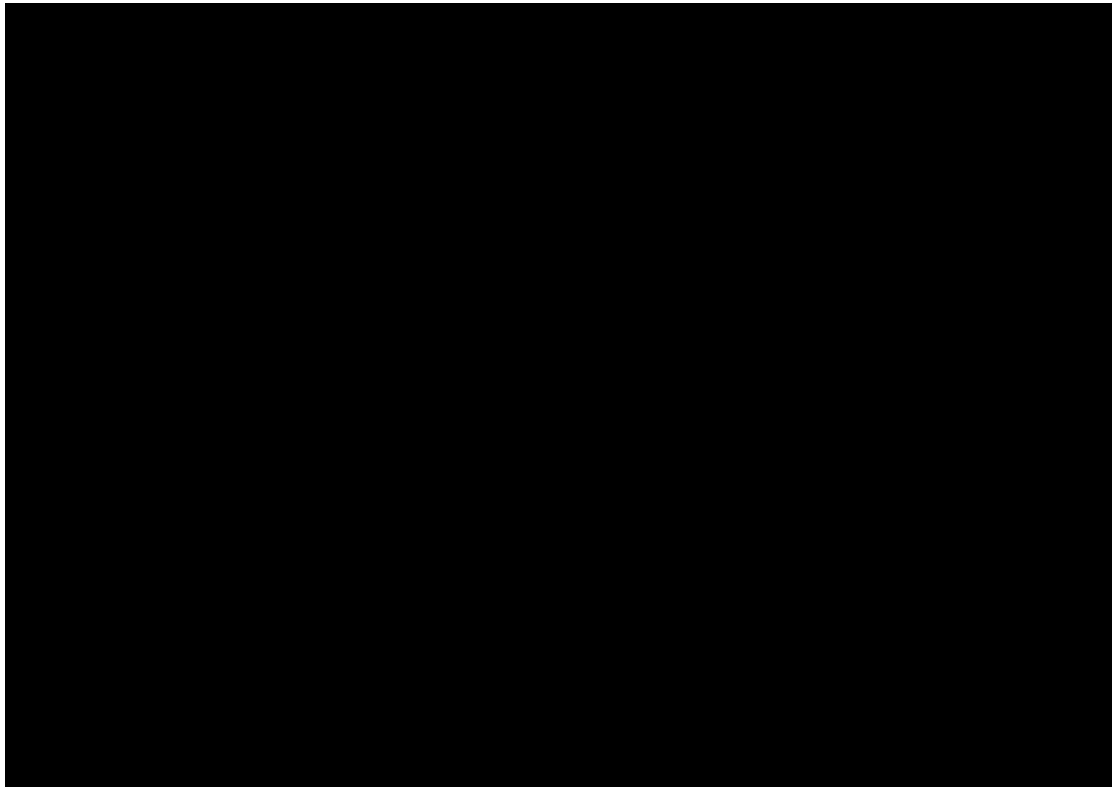


图 5.2-7 南海周边火山分布图

5.2.4 海底障碍物

海底障碍物是危害海底光缆安全的重要因素，是光缆路由预选、勘察时必须避让的海底物体。海底障碍物分为自然因素障碍物和人为因素障碍物两类。自然因素障碍物主要为海底礁石。人为因素障碍物包括残骸（碎屑/垃圾）、沉船、钢管、集装箱等。路由在南海深海盆及南海西部大陆坡海域未见明显障碍物。

5.3 路由区海底腐蚀性环境

从腐蚀的角度，海洋环境被划分为 5 个腐蚀区带，即海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区、全浸区、海底泥土（海底沉积物）区。光缆埋设或放置在海底，腐蚀的主要发生区是在全浸区和海底泥土（海底沉积物）区，并且主要可能发生的是海水腐蚀、污损生物腐蚀和海底沉积物腐蚀。

本项目预选取路由区经过南海西部大陆坡、深海盆地。路由区沉积物既有陆源碎屑沉积，又有大洋性沉积的深海沉积，具有从浅海向大洋型过渡的边缘海沉积环境特征。路由区沉积物腐蚀环境要素的调查成果至目前报道甚少，主要利用《中国近海及邻近海域海洋环境》进行分析。

南海海域硫化物含量很低，低值区分布在陆坡区、台湾浅滩西南侧区域以及深海盆地地区。含量小于 12.0 mg/kg，高值区分布在巴拉望岛西北方，含量大于 36.0mg/kg。大陆架硫化物含量为 12.0mg/kg~30.0mg/kg，平均含量为 17.5mg/kg，大陆坡含量最小，小于 12.0mg/kg，平均值为 10.8mg/kg，深海盆又略有增高，平均值为 14.2mg/kg。硫化物含量分布的基本趋势为大陆架大于深海盆地，而深海盆地又大于大陆坡。由于沉积物中硫化物是在还原条件下硫酸盐被厌氧细菌还原的产物，因此，沉积物的氧化还原特性对硫化物含量与分布影响很大。南海沉积物与其他深海一样，处于氧化状态，因此南海沉积物中硫化物含量较低。

南海海域有机质含量介于 0.16%~2.41%之间，平均值 1.09%，区域变化较小。有机质含量小于 0.6%的低值区分布在台湾浅滩西南侧、海南岛东南侧至神狐暗沙、一统暗沙之间的 500m 水深以浅陆架区及其他陆架 200m 水深以浅区域。有机质含量大于 1.30%的高值区主要分布在西部陆坡区以及深海盆地北部。其他区域的有机质含量介于 0.6%~1.3%之间。总体分布趋势为：大陆架含量低，平均 0.54%，由大陆架向陆坡方向呈明显上升趋势，大陆坡的平均值约为 1.18%，深海盆地的平均值约为 1.14%。

本项目路由区水深在 300m~3000m 的陆坡区，有机质含量稍高，约在 0.95~1.3%之间；大于 3000m 水深至深海盆地地区，有机质含量在 1.3% 左右。本光缆路由内有机质含量基本在正常范围。

5.4 路由区海洋开发活动

5.4.1 渔业活动

5.4.1.1 路由区经过的渔场和渔区

渔场数据来源于“国家农业科学数据共享中心——渔业科学数据分中心”网站。根据以上数据，本项目路由方案从北至南，穿越了西沙西部渔场和南沙西北部渔场。如图 5.4-1 所示。

（1）南沙西北部渔场

南沙西北部渔场位于 10° 00' N~15° 00' N、114° 30' E 以西海域，水深 450m~4420m，底质为淤泥、深海软泥。主要捕捞对象为竹荚鱼、鲷鱼、蓝圆鲹、黄鳍马面鲀、深水金线鱼、鱿鱼等。东部和 14° 00' N 以北海域是金枪鱼延绳钓作业渔场，东南部各岛礁海域是底层延绳钓和手钓作业渔场。

（2）西沙西部渔场

该渔场海域内浅滩、沙洲及岛礁众多，海底地形复杂，饵料生物资源较为丰富，是南海金枪鱼延绳钓的主要渔场之一，主要捕捞对象为蛇鲭、金线鱼、乌贼、大黄鱼、枪乌贼、带鱼、红笛鲷、海鳗、银鲳、黄鳍金枪鱼等，常见的作业方式渔场北部为金枪鱼延绳钓，岛礁水域为手钓和底层延绳钓。

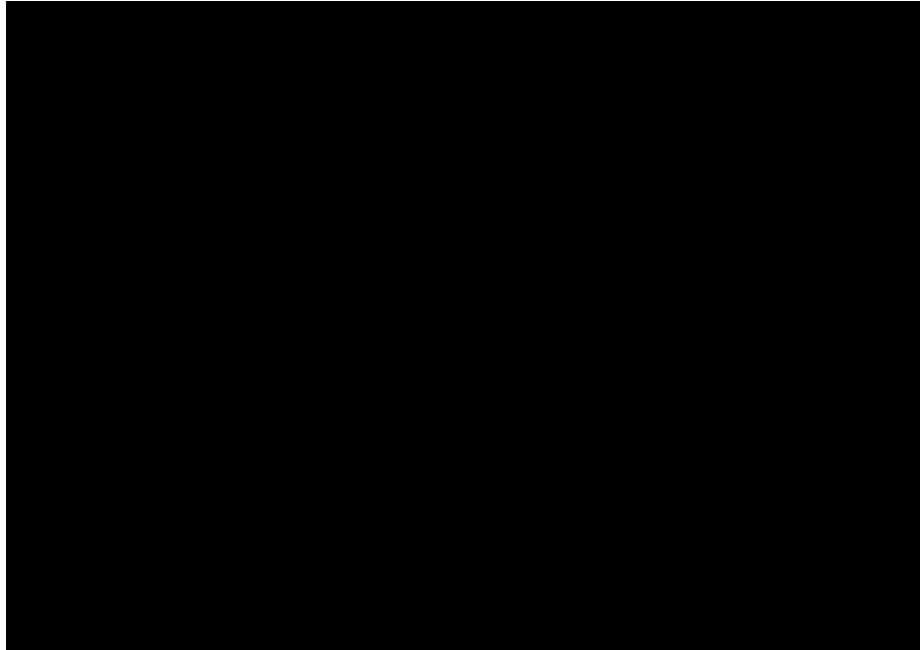


图 5.4-1 本项目路由区渔场分布

5.4.1.2 路由区海洋捕捞方式

南海渔捞活动主要集中在南海毗邻大陆架海域，渔业作业类型主要有拖网、围网、刺网、张网、钓具等，并以拖网类捕获量为最高。

①底拖

南海的拖网作业主要在 200m 水深以浅，因此，在海底光缆的使用期内，底拖作业进入南海海盆深水区可能性很小，对于水深大于 200m 的浅埋海底光缆来说，来自于拖网作业的危险较小。

②大型围网捕鱼

大型围网由 2 艘~3 艘机动船一起进行作业。开始时，三船成三角形分散，灯光船把水上、水下灯光全部打开诱鱼，当鱼群被诱集后，由围网船放网把鱼群和灯光全部围起来。然后，灯光船将灯熄灭驶到围网外，最后开始收网。围网船放、收网时，渔船及舢板分别在围网的附近，围网长约 800~1000m，有的长达 1200m。

单船围网作业多为左舷放网，船首方向选择的基本原则是：当放网结束后，使

围网船左舷受风右舷受流。放网时一般用慢或中速，很少用快速。捕鱼作业时，起放网约需 1h，灯光诱鱼约需 3h。

③灯光罩网捕鱼

该作业方式是通过诱鱼灯将具有趋光特性的鱼群，引向渔船，当大量的鱼群逐渐靠近渔船的时候，船上渔民将灯光逐步减少到只剩下几盏将鱼群引诱集中到船底下方，这时候渔民将一张 80m×40m 的渔网从水面放下，将鱼群包裹起来，然后收拢渔网将鱼捞到船上。

5.4.1.3 重要经济生物三场一通道

根据农业农村部公告第 189 号《中国海洋渔业水域图》（第一批）南海区渔业水域图（第一批），本项目路由不涉及重要经济生物三场一通道。

5.4.2 海上交通

5.4.2.1 主要港口

本项目路由区域不涉及港口分布。

5.4.2.2 路由区主要航线

南海拥有世界上最为繁忙的国际海上通道，这些狭窄的海上通道将亚洲东北部和西太平洋与印度洋和中东连接起来。每年有超过 41,000 艘船只通过南海，全世界每年商船队中，有过半的吨位是和南海航线分不开的。日本、韩国和台湾的进口石油经过南海转运，而发展中国家逐年增长的石油消耗量也预示着南海的海上通道将会更加繁忙。

在南海航线上忙碌着的运输船主要是油轮、集装箱运输船和货轮，其运转枢纽包括新加坡、香港、台湾和日本，运输船穿过马六甲海峡，或者从新加坡离港，向东北方向航行可达日本、香港、台湾或者太平洋。航路穿过了本项目光缆路由区。

由于大型船只锚链长 320m 而南海海盆的水深常常大于此值，因此，对于南海海盆中的海底光缆来说，不存在抛锚危险。

南海海域主要航线有新加坡—马尼拉、新加坡—广州、新加坡—澳门、新加坡—湛江、科伦坡—广州、达累斯萨拉姆—广州、塞得港—广州、都拉斯—广州、科纳克里—广州、格丁尼亚—广州、磅逊—广州、香港—马尼拉、胡志明市—马尼拉、香港—新加坡、马尼拉—高雄、澳门—高雄等。由图 5.4-2 可见，本项目路由在南海

路由区与塞得港—广州、科伦坡—广州 2 条航线有交越。

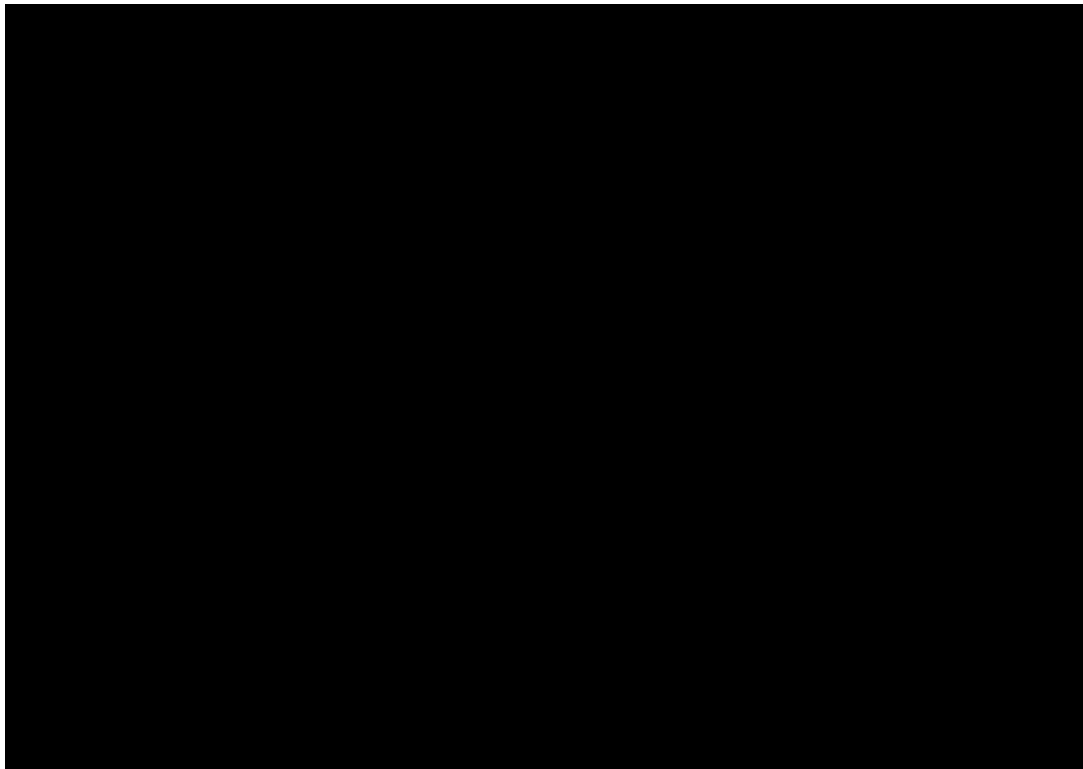


图 5.4-2 南海主要航线分布图

5.4.2.3 锚地

船舶抛锚是现代海缆遭受损害的一个重要原因，大部分海缆故障是由于渔船和商船的抛锚引起的，海缆的铺设要尽量避开锚地。本项目光缆路由在南海海域避开了锚地。

5.4.3 海底光（电）缆

5.4.3.1 已建海缆简述

南海海域目前已建有多条国际海底通讯光（电）缆及管道，在中国广东、中国海南、中国台湾、吕宋岛、加里曼丹岛、马来半岛、中南半岛之间穿插交错，构成网状。其中，香港作为国际重要而繁忙的信息港，已建有多条通往世界其他国家和地区的国际海底通讯光缆，这些已建海缆基本在六个登陆站登陆，当中两个位于大屿山塘福，两个位于九龙将军澳，其余两个分别位于香港岛深水湾及舂坎角。这些已建海缆当中有许多已经弃用。据不完全统计，从上个世纪 60 年代至今，进出香港并穿越中国南海海域的国际光缆系统超过数十个，并且仍在继续增加。这些海缆一部分折向偏东方向经台湾岛南面海峡后转向台湾、上海、韩国、日本，一部分转向

东南或偏南方向到达菲律宾、马来西亚、新加坡和越南等地。

5.4.3.2 已建/拟建光缆

据搜集资料，中国海军在西南沙群岛之间铺设有通信光缆系统，本项目路由方案穿越南海深海盆区域或与已建军缆穿越。本项目已就预选路由方案征得军方同意，在勘察和施工工作开展前将充分与军方协调，避免项目作业对军事活动的影响。本项目在南海中国海域内路由主要与以下已建的海底光缆交越，见表 5.4-1。据已有国际海缆资料，本项目预选路由在中国南海海域范围内与已建（拟建）的海缆系统交越点分别为 20 个，其交越点坐标信息详见表 3.3-1。

表 5.4-1 在南海中国海域内交越的在用光缆情况

序号	光缆项目名称	概况	建设年份
■	██████████ ██████████	████████████████████ ████████████████████	██████ ██████
■	██████████ ██████████	████████████████████	██████ ██████
■	██████████ ██████████	████████████████████ ████████████████████	██████ ██████
■	██████████ ██████████	████████████████████ ████████████████████	██████ ██████
■	██████████	████████████████████	██████ ██████
■	██████████ ██████████	████████████████████	██████ ██████
■	██████████ ██████████	████████████████████ ████████████████████	██████ ██████
■	██████████	████████████████████ ████████████████████	██████ ██████
■	██████ ██████████	████████████████████	██████ ██████
■	██████████ ██████████	████████████████████ ████████████████████	██████ ██████
■	██████████ ██████████	████████████████████ ████████████████████	██████ ██████

5.4.3.3 海底光缆故障史及原因分析

根据收集资料显示，渔业活动和锚泊作业是对海缆安全最大的威胁，故障主要发生在 100m 水深以浅的海域，少数几起发生 100m~150m 水深的海域。

根据搜集到的海缆故障信息，在中国南海海域 2017 年 1 月~2018 年 6 月海缆故障共发生 33 次，海缆故障情况十分严重，其中 50m 水深以浅 16 次，50~200m 水深 14 次，大于 200m 水深 3 次，可以看出海缆故障主要集中在 200m 水深以浅海域。故障原因主要是各类船舶抛锚、拖锚、底拖捕捞等。

综上所述，本项目主要位于 200m 水深以深，渔业活动和锚泊作业对海缆安全的威胁较小。

表 5.4-2 2017 年-2018 年 6 月中国南海海域国际海底光缆故障信息统计

序号	故障光缆	故障时间	地点		故障水深（m）
			纬度° N	经度° E	
1	C2C	20170503	6.855	108.35	93
2	C2C	20170730	21.81	119.8683	2663
3	C2C	20171211	22.07516	114.4039	39
4	EAC	20170322	22.07667	116.5033	80
5	EAC	20170329	21.795	117.4683	307
6	EAC	20170110	22.01088	117.0452	56
7	EAC2	20170306	21.44833	114.4933	75
8	EAC2	20170316	20.15833	114.7	177
9	EAC2	20180215	22.14833	114.3967	30
10	AAG	20170907	22.13688	114.4309	34
11	SMW3	20171121	22.16412	114.5117	30
12	C2C	20171127	22.14907	117.065	75
13	SMW3	20180218	21.47087	114.9665	87
14	SMW3	20171205	21.7639	114.1485	56
15	SMW3	20170611	22.32	117.5517	51
16	SMW3	20170408	22.98667	116.8233	29
17	SMW3	20171015	22.19583	116.9823	66
18	SMW3	20180201	22.386	116.9333	44
19	SMW3	20170908	22.20488	114.5638	31
20	SMW3	20171121	22.16457	114.5117	30
21	AAE1	20180605	21.32117	115.8082	130
22	亚美	20170615	22.14193	114.4723	30
23	亚美	20170908	22.17515	114.5502	33
24	亚美	20171018	21.5234	114.5181	74
25	亚美	20170401	22.17515	114.5502	33
26	亚美	20180113	23.1459	116.6715	11
27	亚美	20180121	21.77818	114.666	59
28	亚太二号	20180115	23.1459	116.6715	11
29	APG	20180327	22.22768	115.2445	53
30	ASE	20170327	21.31057	116.0839	258
31	ASE	20170905	22.24048	114.6528	29
32	TAN1A	20170430	22.17667	114.5033	31
33	TAN1A	20170922	22.14833	114.5017	30

5.4.4 已建管道

项目路由在评价范围内与现有已建海底管道无交越。

5.4.5 海底矿产资源开发活动

南海海域分布着许多新生代沉积盆地，从北到南有台西南盆地、珠江口盆地、笔架南盆地、礼乐盆地、南薇西盆地、北康盆地、南沙海槽盆地、曾母盆地、文莱—沙巴盆地等大中型新生代沉积盆地。这些盆地往往发育油气资源。由图 5.4-3 可见，本项目推荐路由经过了琼东南盆地、建南盆地。

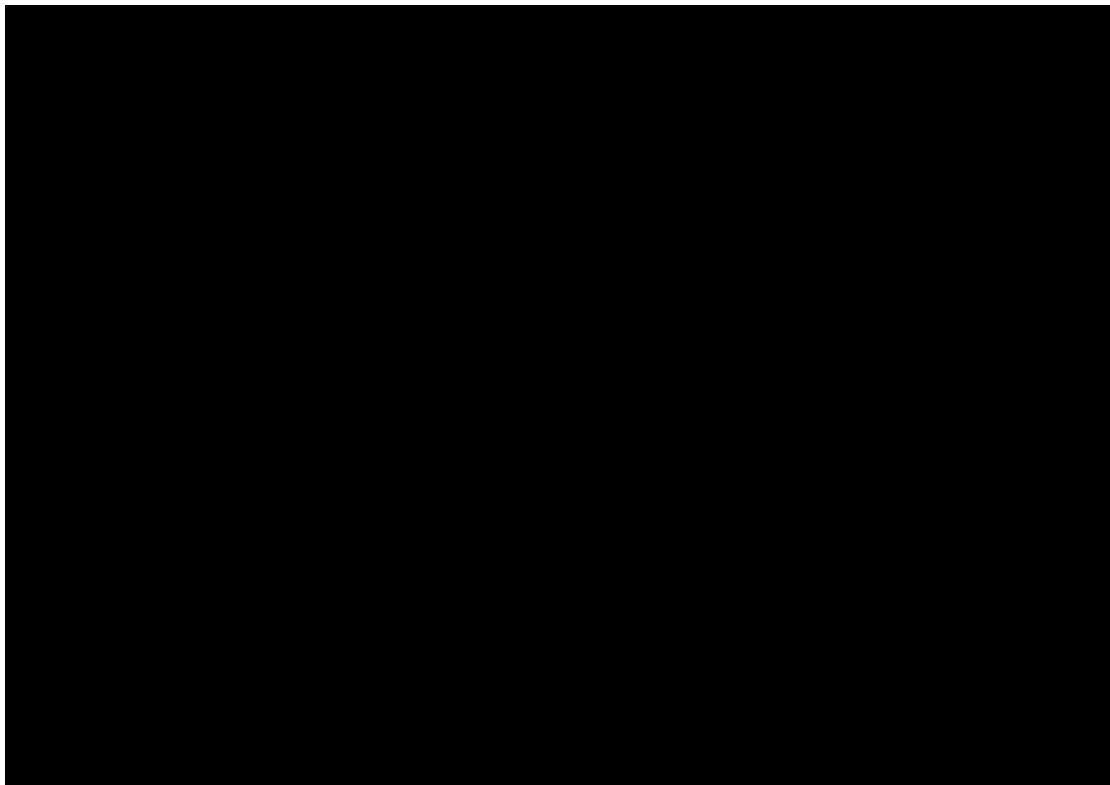


图 5.4-3 南海新生代盆地分布图

5.4.6 倾废区

本项目中国南海海域路由方案避开了倾废区、采矿区、挖沙区。

5.4.7 海上风电场

本项目中国南海海域路由离岸较远，避开了海上风电场区。

5.4.8 水利工程

本项目中国南海海域路由区内无海堤、码头港池、围海、填海等工程用海活动。

5.5 区域重要海洋生态区概况

5.5.1 海洋保护区

5.5.1.1 南沙群岛海洋保护区

南沙群岛海洋保护区位于南沙群岛海域，海洋保护区面积 12269235.11 公顷，主导用海类型为海洋保护区用海，促进特殊用海、渔业用海、旅游娱乐用海、科研和油气开采用海；保障特殊用海，维护我国领海主权和海洋权益。用海方式严格限制改变海域自然属性，根据发展需要，经严格论证，允许岛礁附近海域适度围填，稳固岛礁形态，增加岛礁陆域面积，建设国防、旅游、渔业、科研以及油气开采基础设施。海洋整治为修复海岛岸线形态和珊瑚礁生态系统。重点保护目标包含三沙群岛热带海洋动物保护区，保护南沙群岛珊瑚礁和渔业资源。环境保护要求为执行一类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

5.5.1.2 西沙群岛海洋保护区

西沙群岛海洋保护区位于西沙群岛海域，包括七连屿、永兴岛、东岛、银屿、晋卿岛、甘泉岛、金银岛等岛礁。海洋保护区面积为 589713.93 公顷，主导用海类型为海洋保护区用海，可兼顾旅游娱乐用海、渔业用海、特殊用海和油气开采用海，建设国家海洋公园；保障特殊用海，维护我国领海主权和海洋权益；西沙群岛旅游开发开放后，应严格限制游客数量，制定旅游产品销售管理制度；注意海底管线的保护，涉海工程建设需征求相关部门意见。用海方式为严格限制改变海域自然属性，根据发展需要，经严格论证，允许岛礁附近海域适度围填，稳固岛礁形态，增加岛礁陆域面积，建设旅游、渔业、科研以及油气开采基础设施。海域整治目标为修复海岛岸线形态和珊瑚礁生态系统。海域保护要求为包含三沙群岛热带海洋动物保护区，保护西沙群岛珊瑚礁和渔业资源，保护白鲳鸟及其生境；执行一类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

5.5.1.3 中沙群岛海洋保护区

中沙群岛海域保护区位于中沙群岛海域，包括黄岩岛海域。主导用海类型为海洋保护区用海，可兼顾旅游娱乐用海、渔业用海、科研用海、特殊用海和油气开采用海；保障特殊用海，维护我国领海主权和海洋权益。严格限制改变海域自然属性，根据发展需要，经严格论证，允许岛礁附近海域适度围填，稳固岛礁形态，增加岛

礁陆域面积，建设国防、旅游、渔业、科研以及油气开采基础设施。修复海岛岸线形态和珊瑚礁生态系统。包含三沙群岛热带海洋动物保护区，保护中沙群岛珊瑚礁和渔业资源。执行一类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

5.5.2 农渔业海域

5.5.2.1 南海中部农渔业区

南海中部农渔业区位于西沙、中沙群岛及其周边（18° N~12° N）的海域。该农渔业区主导用海类型为捕捞用海，可兼顾旅游娱乐用海和开放式养殖用海。用海需严格限制改变海域自然属性。海域整治目标为本着保护性开发的原则，禁止渔业资源过度捕捞。海洋保护目标为保护海域自然生态环境；保护渔业资源。海洋保护要求为执行一类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

5.5.2.2 西沙群岛农渔业区

西沙群岛农渔业区，位于西沙群岛近海海域。该农渔业区面积为 2241824.11 公顷，主导用海类型为捕捞用海，可兼顾开放式养殖用海、旅游娱乐用海和保护区用海；注意海底管线的保护，涉海工程建设需征求相关部门意见。用海方式为严格限制改变海域自然属性。本着保护性开发的原则，禁止渔业资源过度捕捞。重点保护目标为保护海域自然生态环境；保护珊瑚礁和渔业资源；保护海底管线。环境保护要求为执行一类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

5.5.2.3 西沙岛礁农渔业区

西沙岛礁海南农渔业区，位于西沙群岛北礁、七连屿、东岛、滨湄滩、银屿、晋卿岛、甘泉岛、金银岛、华光礁、玉琢礁、浪花礁、盘石屿等泻湖岛礁海域。该渔业区面积为 412341.85 公顷，主导用海类型为渔业用海，主要为增殖放流用海和渔业基础设施建设用海，可兼顾旅游娱乐用海和保护区用海；注意海底管线的保护，涉海工程建设需征求相关部门意见。用海方式需严格限制改变海域自然属性，根据开发需要，可对岛礁进行基础设施建设与适度围填。海域整治目标为合理规划增殖规模、密度和结构，防治渔业资源过度开发。保护目标为保护海域自然生态环境；保护珊瑚礁和渔业资源；保护海底管线。保护要求为执行二类水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

5.5.2.4 南沙岛礁农渔业区

南沙岛礁农渔业区位于南沙群岛海域。该农渔业区面积为 1777713.52 公顷，主导用海类型为渔业用海，主要为增殖放流用海和渔业基础设施建设用海，可兼顾旅游娱乐用海和保护区用海。用海方式需严格限制改变海域自然属性，根据开发需要，可对岛礁进行基础设施建设及适度围填。海域整治目标为合理规划增养殖规模、密度和结构，防止渔业资源过度开发。海洋保护目标为保护海域自然生态环境，保护珊瑚礁和渔业资源。海洋保护要求为执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

5.5.2.5 中沙岛礁农渔业区

中沙岛礁农渔业区位于中沙群岛海域，包括黄岩岛海域。合理规划增养殖规模、密度和结构，防止渔业资源过度开发。严格限制改变海域自然属性，根据开发需要，可进行基础设施建设及适度围填。主导用海类型为渔业用海，主要为增殖放流用海和渔业基础设施建设用海，可兼顾旅游娱乐用海和保护区用海。保护海域自然生态环境，保护珊瑚礁和渔业资源。执行二类海水水质标准，一类海洋沉积物质量标准，一类海洋生物质量标准。

5.5.3 水产资源保护区

5.5.3.1 西沙东岛海域国家级水产种质资源保护区

由国家级水产种质资源保护区第二批公布。西沙东岛海域国家级水产种质资源保护区总面积 30870 公顷，其中核心区面积为 11113 公顷，实验区面积 19757 公顷，核心区特别保护期为全年。保护区位于海南省西沙群岛海域中东岛周围的礁盘区，核心区位于东岛以外，是由 4 个拐点顺序连线围成的海域，拐点坐标分别为：

- 1) 112° 42' E, 16° 42' N;
- 2) 112° 45' E, 16° 42' N;
- 3) 112° 42' E, 16° 39' N;
- 4) 112° 45' E, 16° 39' N。

实验区是由核心区向外围延伸，4 个拐点顺序连线围成的海域，拐点坐标分别为：

- 1) 112°41'E , 16°43'N;
- 2) 112°46'E, 16°43'N;
- 3) 112°41'E , 16°38'N;

4) 112°46'E, 16°38'N。

主要保护对象是石斑鱼类、鲨鱼类、龙虾类、海参类、海胆类、马蹄螺、篱凤螺、砗磲、冠螺、红珊瑚、鹦鹉螺等热带海珍品种。

5.5.3.2 西沙群岛永乐环礁海域国家级水产种质资源保护区

由国家级水产种质资源保护区第四批公布。西沙群岛永乐环礁海域国家级水产种质资源保护区总面积 59269 公顷，其中核心区为 39512 公顷，实验区面积 19757 公顷。特别保护期为每年的 3 月 1 日至 6 月 30 日。保护区位于海南省西沙群岛海域，由 5 个拐点顺次连线围成，拐点坐标分别为：

1) 111°28'15.23"E, 16°28'19.13"N;

2) 111°42'13.37"E, 16°38'35.57"N;

3) 111°49'30.19"E, 16°31'00.12"N;

4) 111°45'23.71"E, 16°24'58.62"N;

5) 111°28'15.23"E, 16°24'49.19"N。

核心区为保护区内 300m 等深线以浅海域，实验区为保护区内除核心区外的其他海域。主要保护对象包括鮨科、石鲈科、笛鲷科和裸颊鲷科等礁栖性鱼类。

5.5.3.3 海南省省级水产资源保护区

1993 年 5 月 31 日海南省第一届人民代表大会常务委员会第二次会议通过《海南省实施〈中华人民共和国渔业法〉办法》，建立省级西沙群岛水产资源保护区，2008 年 7 月 31 日海南省第四届人民代表大会常务委员会第四次会议通过关于修改《海南省实施〈中华人民共和国渔业法〉办法》的决定自 2008 年 8 月 1 日起施行，西沙群岛水产资源保护区在下列 5 个基点联结成闭合线以内的海域：

1) 111°15'E, 17°30'N;

2) 113°15'E, 17°00'N;

3) 112°45'E, 15°45'N;

4) 111°30'E, 15°30'N;

5) 110°45'E, 15°30'N。

该保护区为省级保护区，由海南省负责建设和管理，此后，有部分海域升级成为西沙东岛海域国家级水产种质资源保护区和西沙群岛永乐环礁海域国家级水产种质资源保护区。

6 海洋环境质量现状调查与评价

6.1 调查概况

本项目海洋生态环境评价等级为一级。按照《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）要求，本次开展了水动力、地形地貌、水质、沉积物、海洋生态（含生物生态、渔业资源、生物质量）现状调查工作。由于光缆路由离岸远，未穿越沿岸和近岸海域，路由区水深在约 400m~4300m 之间，海洋环境现状调查难度大。本次海洋环境现状调查以收集历史资料方式为主进行。具体见表 6.1-1。

表 6.1-1 本项目海洋环境调查情况表

《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》要求				本项目现状调查数据情况				
项目			站位数量	数据有 限 期	收集 数据	现场 调查	调查时间	站位数量
水文动力			潮流≥6 个 潮位≥2 个	10 年	✓		2017.3	潮流：6 个 潮位：2 个
水质			≥8	5 年	✓	✓	2021.10 2024.3	（2+10）个
沉积物			不少于水质站 位的 50%	10 年	✓	✓	2020.4 2024.3	（5+1）个
海洋生态	生物生态	叶绿素 a 和初级生 产力、浮 游植物、 浮游动物	不少于水质站 位的 60%	5 年		✓	2024.3	10 个
		底栖生物			✓		2022.4	8 个
	渔业资源	鱼卵仔鱼				✓	2024.3	10 个
		游泳动物			✓		2022.4	12 个
	生物质量		不少于 5 个样 品			✓	2023.4	9 个

注：1.本项目评价范围不涉及海岸（岛岸），无需开展潮间带生物调查。

6.2 水文动力环境现状调查与评价

6.2.1 调查时间与调查站位

国家海洋局南海调查技术中心于 2017 年 3 月~4 月在宣德群岛和永乐群岛附近海域布设了 6 个海流观测站位和 2 个临时潮位站，进行了一个大、小潮的潮流和潮位观测。

其中宣德群岛海域布设了 3 个海流观测站（H2 站、H3 站、H7 站）和 1 个临时潮位站（XS 站）。3 个海流观测站包括 1 个定点海流连续观测站和 2 个潜标海流观测站（原为 3 个潜标站，后因 H1 站未成功回收）；海流观测站观测时段为：小潮期：2017 年 3 月 16 日 15 时~2017 年 3 月 17 日 16 时；大潮期：2017 年 3 月 25 日 14 时~2017 年 3 月 26 日 15 时。临时潮位观测时段为：2017 年 3 月 15 日 0 时~2017 年 4 月 9 日 0 时。

永乐群岛海域布设了 3 个海流观测站（H4 站、H5 站、H6 站）和 1 个临时潮位站（JQD）。3 个海流观测站均为定点海流连续观测站。海流观测站观测时段为：小潮期：2017 年 3 月 15 日 7 时~2017 年 3 月 16 日 8 时；大潮期：2017 年 3 月 24 日 7 时~2017 年 3 月 25 日 8 时。临时潮位观测时段为：2017 年 3 月 15 日 0 时~2017 年 4 月 9 日 0 时。

站位坐标见表 6.2-1。

表 6.2-1 项目附近水文动力观测站位坐标

序号	站号	坐标		观测要素
		经度（E）	纬度（N）	潮流（流速、流向）
■	■	■	■	
■	■	■	■	
■	■	■	■	
■	■	■	■	
■	■	■	■	
■	■	■	■	
■	■	■	■	■

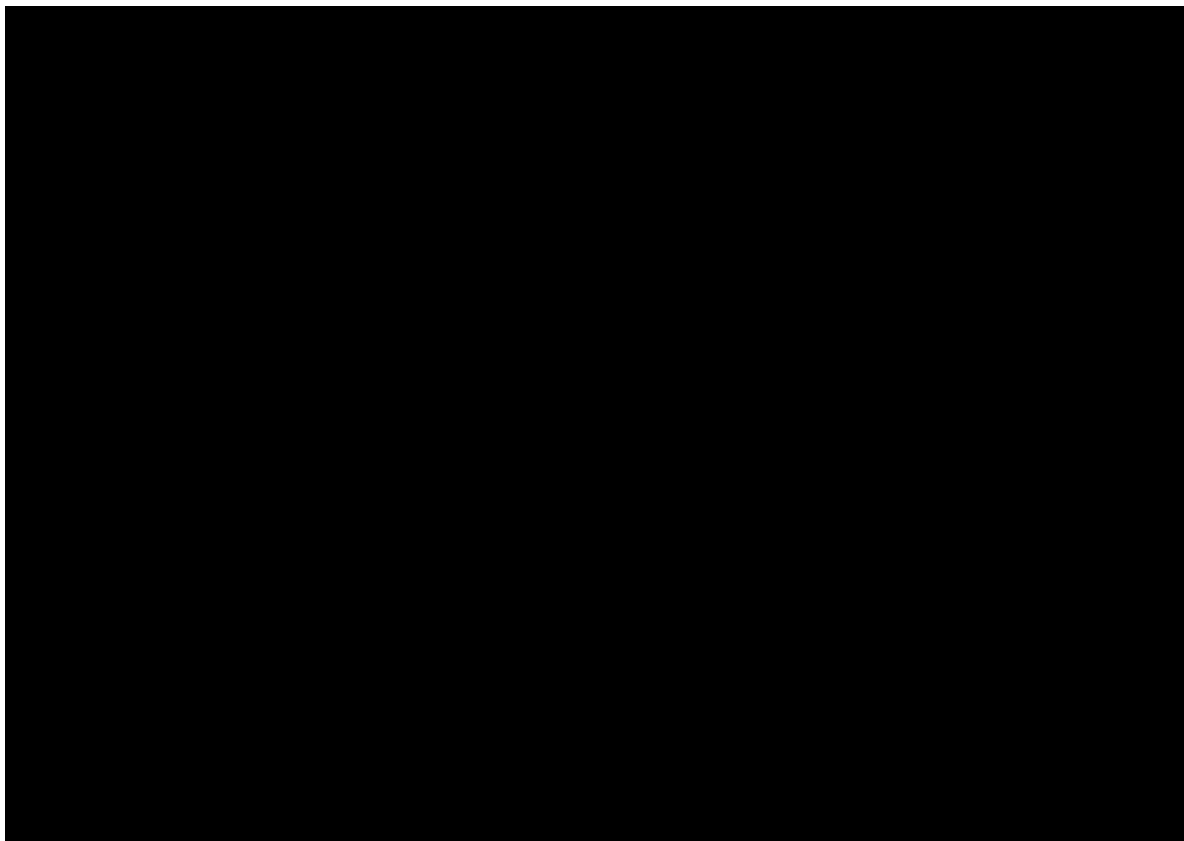


图 6.2-1 项目附近海域水动力测站分布图

6.2.2 水动力调查结果

6.2.2.1 潮汐

6.2.2.1.1 潮位过程线

根据 2017 年 3 月 15 日~4 月 9 日、在西沙和晋卿岛两个临时潮位站的潮位观测资料绘制出潮位过程曲线图，结果见图 6.2-2、图 6.2-3。由图可知：在大、中潮期间，一日之内出现一个高潮和一个低潮或只有一个高（低）潮，曲线规则；在小潮期间，一日之内多出现两个高潮和两个低潮，曲线不规则，且相邻两个高（低）潮潮高不等。

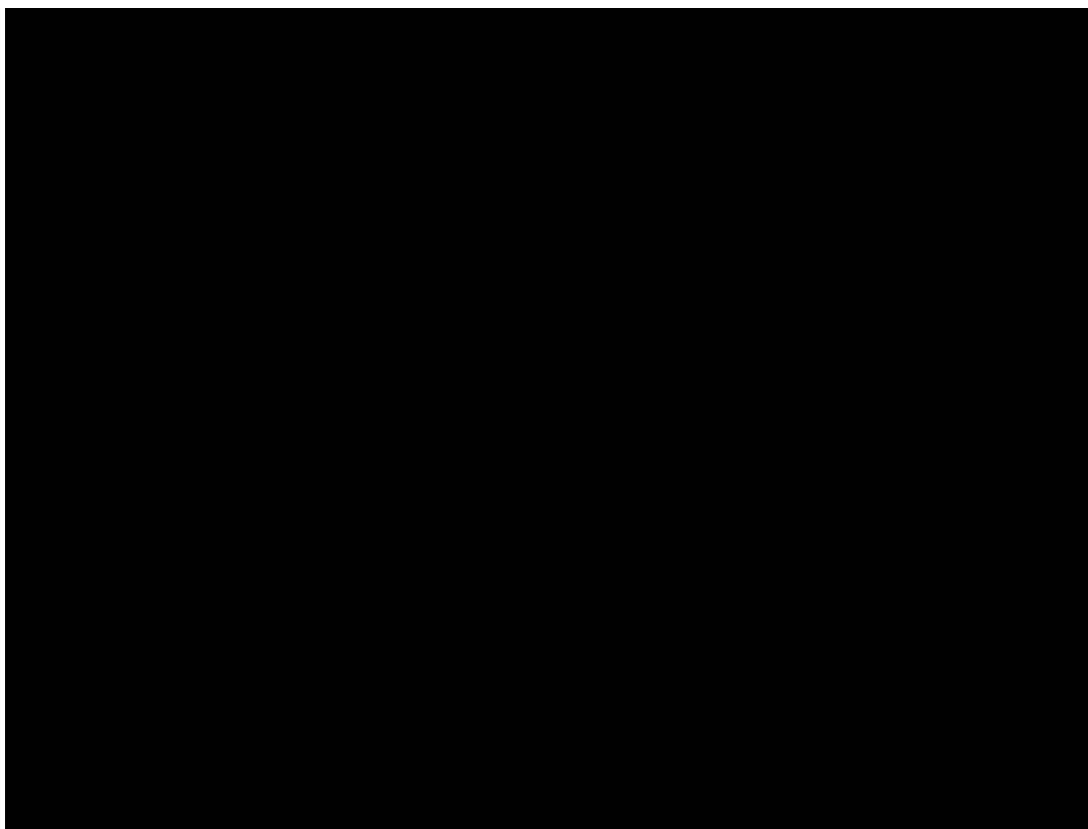


图 6.2-2 XS 站潮位过程曲线

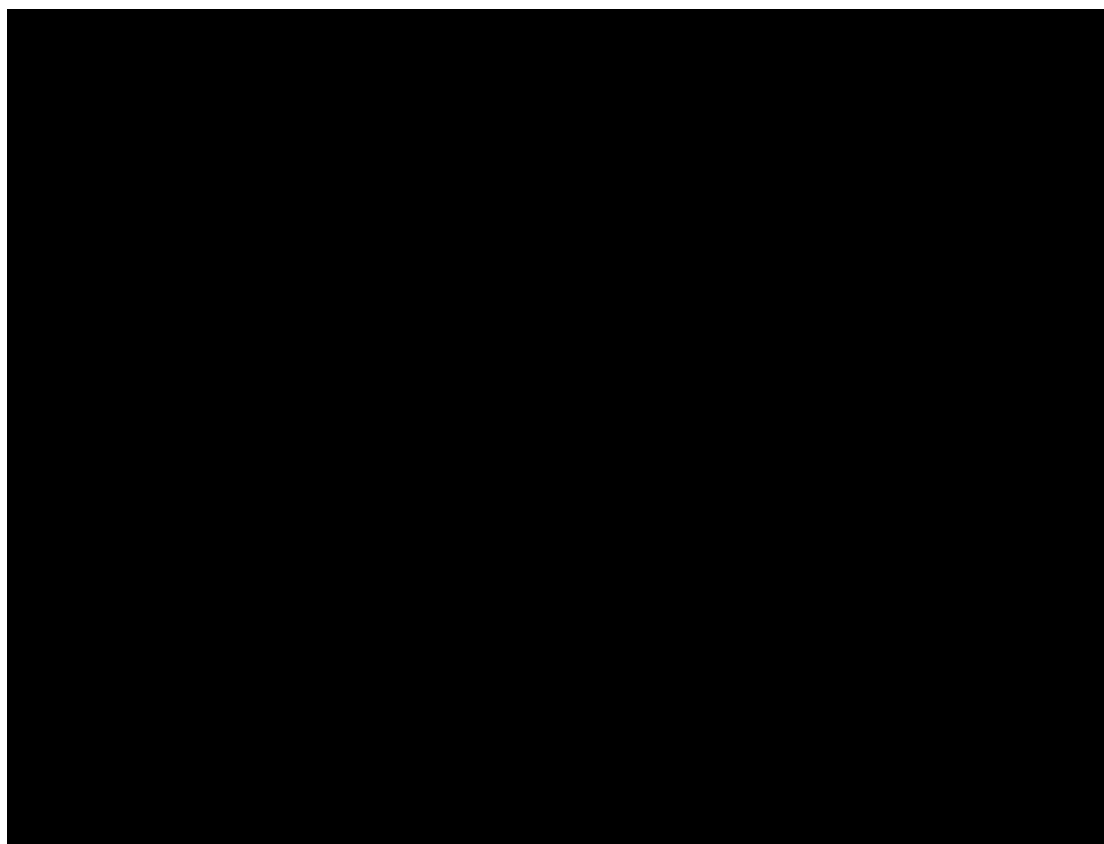


图 6.2-3 JQD 站潮位过程曲线

6.2.2.1.2 潮汐特征

（1）调和分析

潮汐调和常数市进行潮汐预报和潮汐特性分析的基本参数，它的准确性十分重要。根据实测的晋卿岛站临时潮位资料和收集的西沙海洋站 2011 年~2016 年的逐时潮位资料，采用最小二乘法原理计算，分别得到各站各分潮的调和常数，表 6.2-2 列出了各站其中的 6 个主要分潮的振幅（*H*）和迟角（*g*）。由表可知，测区 *S*₂、*M*₄、*MS*₄ 分潮的振幅较小，均在 10cm 以下，其潮位的变化

主要取决于 *O*₁、*K*₁、*M*₂ 分潮的变化。

表 6.2-2 主要分潮调和常数表

站名 \ 分潮		<i>O</i> ₁	<i>K</i> ₁	<i>M</i> ₂	<i>S</i> ₂	<i>M</i> ₄	<i>MS</i> ₄
XS 站	<i>H</i> (cm)	26.3	32.3	17.2	6.2	0.1	0.1
	<i>g</i> (°)	260.7	312.4	298.9	338.0	300.3	10.9
JQD 站	<i>H</i> (cm)	25.9	19.8	17.1	8.4	0.2	0.4
	<i>g</i> (°)	258.0	307.2	290.9	332.5	196.8	304.6

（2）潮汐性质

取主要日分潮振幅与主要半日分潮振幅的比值 $F = (H_{K_1} + H_{O_1})/H_{M_2}$ ，作为划分潮汐性质的判据。

- 当 $F < 0.5$ 为正规半日潮
- $0.5 \leq F < 2.0$ 为不正规半日潮
- $2.0 \leq F < 4.0$ 为不正规全日潮
- $F \geq 4.0$ 为正规全日潮

从调和常数计算得到，西沙海洋站的潮汐性质系数为 3.40，晋卿岛临时潮位站的潮汐性质系数为 2.68，说明本海区的潮汐类型为不正规全日潮，各分潮中以全日分潮占主导地位。

（3）潮汐特征值

根据实测潮位资料统计和潮汐调和分析计算，得到各潮位站的潮汐特征值，结果详见表表 6.2-3。

表 6.2-3 测区潮汐特征值统计表

测站 \ 特征值	XS 站	JQD 站
----------	------	-------

($H_{kl}+H_{Ol}$)/ H_{M2} 潮汐性质	3.40	2.68
潮汐类型	不正规全日潮	不正规全日潮
最高潮位(cm)	156	40
最高潮位出现时间	2012/1/25 22:50	2017/4/3 13:50
最低潮位(cm)	-111	-66
最低潮位出现时间	2012/9/16 10:16	2017/4/5 0:25
平均高潮位(cm)	40	22
平均低潮位(cm)	-39	-44
平均海面	0	-11
平均潮差(cm)	80	66
最大潮差(cm)	221	105
平均涨潮历时(h)	11.32	10.85
平均落潮历时(h)	7.60	7.26
理论最高潮面 (cm)	94	—
理论最低潮面(cm)	-92	—
资料时间	2011 年~2016 年	2017/3/15~2017/4/9
基准面	当地平均海平面	当地平均海平面

由上表可知，测区平均潮差在 0.66m~0.80m 之间，最大潮差为 1.05m~2.21m，故本海区属于弱潮海区。测区平均涨、落潮历时不相等，平均涨潮历时为 10.85h~11.32h，平均落潮历时为 7.26h~7.60h。涨、落潮历时相差的产生主要是浅海分潮高阶谐和项作用于原潮波的结果。测区理论最高、最低潮位分别为 94cm 和 -92cm（当地平均海平面），多年最高潮位为 156cm，出现于 2012 年 1 月 25 日，多年最低潮位为 -111cm，出现于 2012 年 9 月 16 日。

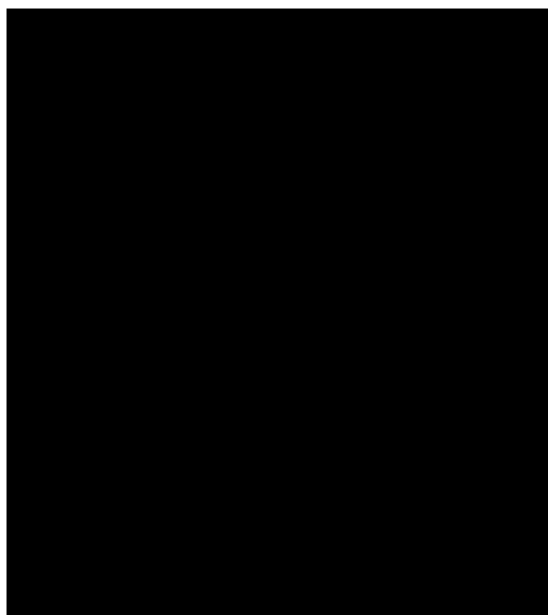
6.2.2.2 实测海流

（1）宣德群岛海域

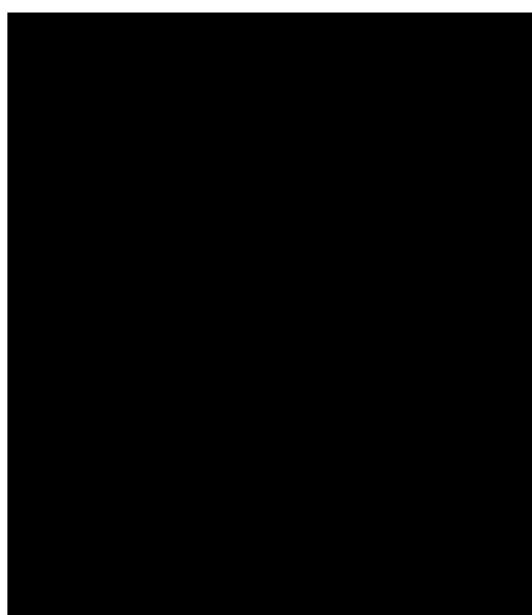
根据 2017 年 3 月 16 日~3 月 26 日全潮期间在测区开展的海流观测资料和潮位观测资料，绘成如图 6.2-4~图 6.2-6 的海流矢量玫瑰图、海流矢量时序图、流速流向过程线图、潮位过程线。由各图可知，测区海流具有如下特征：

- 1) 各站涨、落潮流没有固定的流路，涨潮流、落潮流方向规律性不明显。
- 2) 测区海流极大值一般发生在高、低潮位附近，极小值一般发生在中潮位附近，故潮波表现为前进波的特点。
- 3) 受地形和潮汐周日变化等影响，测区内海流亦随潮汐周日变化而不断波动，一个太阴日之内，流向在小潮期，特别是 0.6H 层和底层，有四次明显的反向变化，

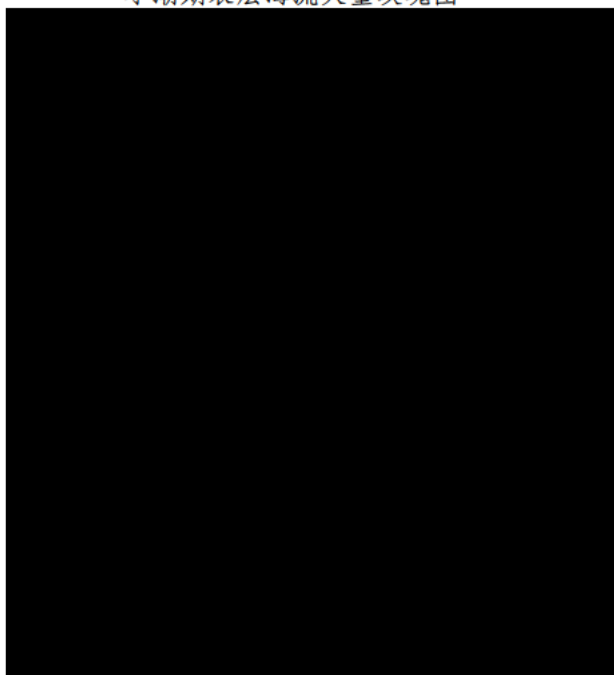
表现为半日潮流性质，在大潮期一般有两次反向，表现为全日潮流性质。



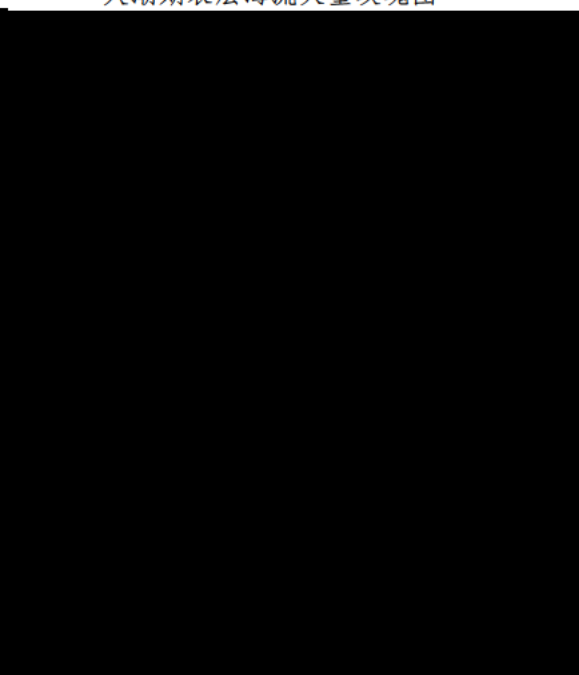
小潮期表层海流矢量玫瑰图



大潮期表层海流矢量玫瑰图



小潮期 0.6H 层海流矢量玫瑰图



大潮期 0.6H 层海流矢量玫瑰图



小潮期底层海流矢量玫瑰图

大潮期底层海流矢量玫瑰图

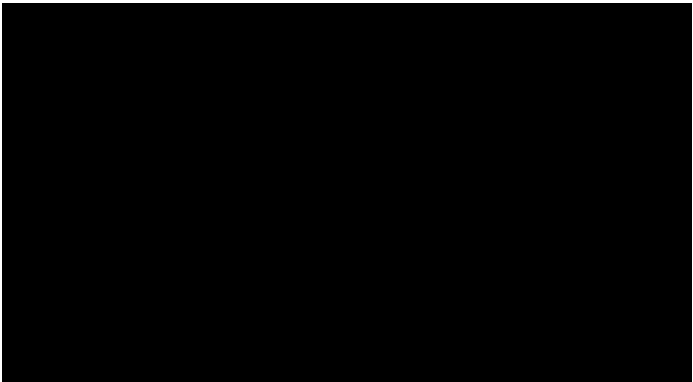
图 6.2-4 海流矢量玫瑰图



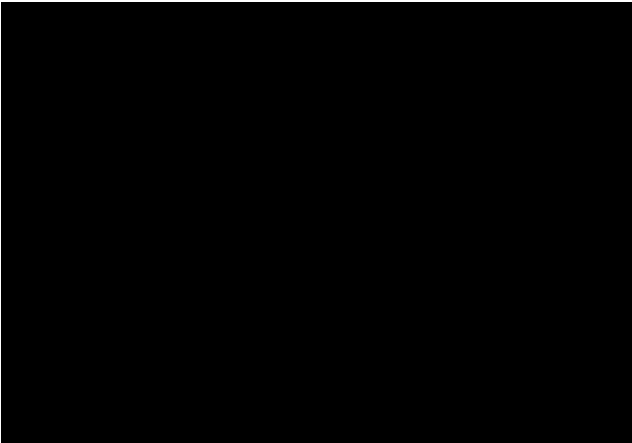
H2 站海流矢量时序图



H3 站海流矢量时序图



H7 站海流矢量时序图



H2 站流速流向过程线



H3 站流速流向过程线



H7 站流速流向过程线

图 6.2-5 小潮期各站海流矢量时序图及流速流向过程线

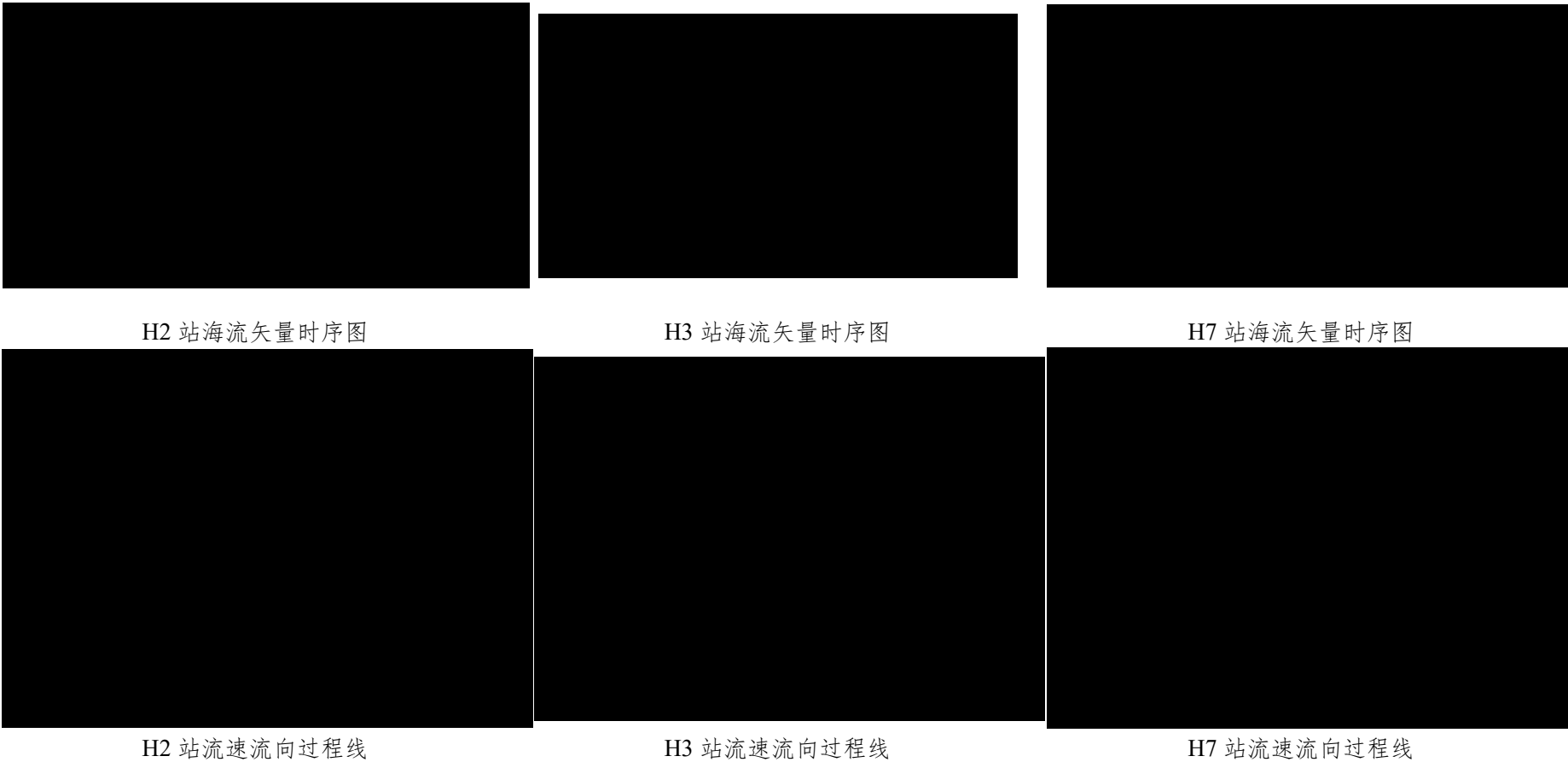


图 6.2-6 大潮期各站海流矢量时序图及流速流向过程线

表 6.2-4 和表 6.2-5 为实测小、大潮观测期间最大流速、流向统计表。由表可知，小潮观测期间，表层实测最大流速为 56cm/s，流向为 98°；中层实测最大流速为 85cm/s，流向为 91°；底层实测最大流速为 48cm/s，流向为 28°。大潮观测期间，表层实测最大流速为 49cm/s，流向为 351°；中层实测最大流速为 52cm/s，流向为 106°；底层实测最大流速为 44cm/s，流向为 354°。各站实测最大流速呈现出小潮期大于大潮期的特点，表明路由潮汐对海流影响较小。

表 6.2-4 小潮期最大流速（cm/s）、流向(°)统计

站位	表层		0.6H 层		底层		全站	
	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
H2	29	55	55	1	48	28	55	1
H3	17	295	24	23	30	207	30	207
H7	56	98	85	91	32	115	85	1

表 6.2-5 大潮期最大流速（cm/s）、流向(°)统计

站位	表层		0.6H 层		底层		全站	
	流速	流向	流速	流向	流速	流	流速	流向
H2	49	351	45	344	44	354	49	351
H3	28	266	30	326	28	195	30	326
H7	29	211	52	106	25	291	52	106

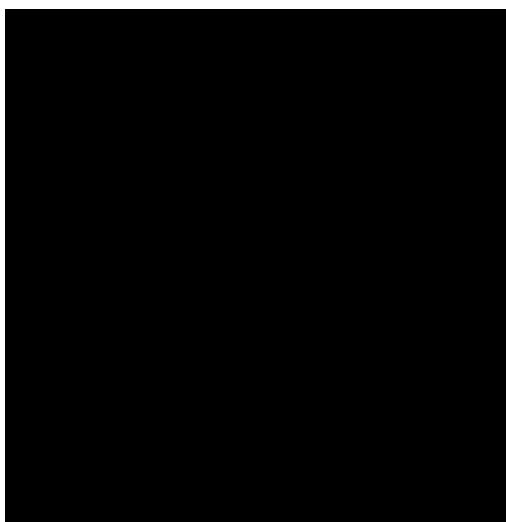
（2）永乐群岛海域

根据 2017 年 3 月 15 日~3 月 25 日全潮期间在测区开展的海流观测资料和潮位观测资料，绘成如图 6.2-7~图 6.2-9 的海流矢量玫瑰图、海流矢量时序图、流速流向过程线图、潮位过程线。由各图可知，测区海流具有如下特征：

（1）测区各站涨、落潮流流向差异较大。H6 站涨潮流多为西北向流，落潮流多为东南向流，流向相对较固定，H4 和 H5 站没有明显的涨落潮流流向，但以西北向流和东北向流居多。

（2）测区海流极大值一般发生在高、低潮位附近，极小值一般发生在中潮位附近，故本路由海区潮波表现为前进波的特点。

（3）受地形和潮汐周日变化等影响，路由区海流亦随潮汐周日变化而不断波动，一个太阴日之内，流向在小潮期，特别是 0.6H 层和底层，有四次明显的反向变化，表现为半日潮流性质，在大潮期规律性不明显。



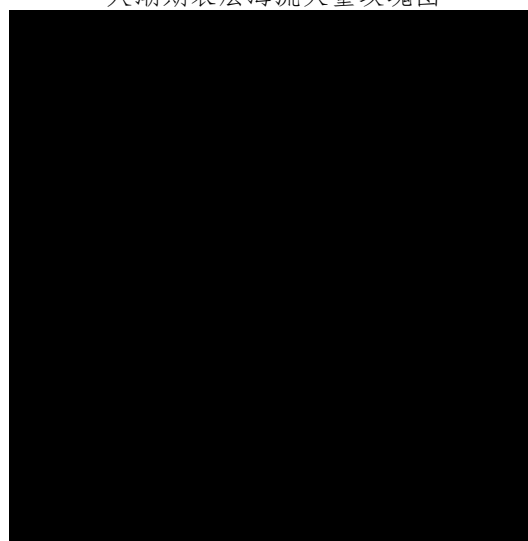
小潮期表层海流矢量玫瑰图



大潮期表层海流矢量玫瑰图



小潮期 0.6H 层海流矢量玫瑰图



大潮期 0.6H 层海流矢量玫瑰图

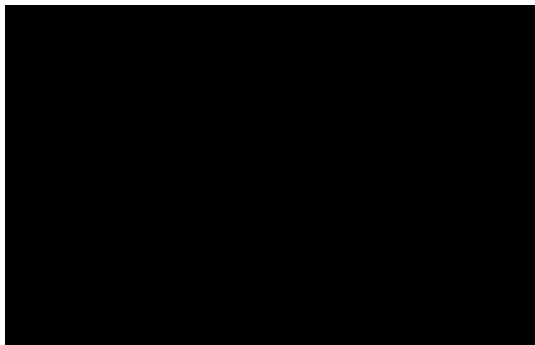


小潮期底层海流矢量玫瑰图

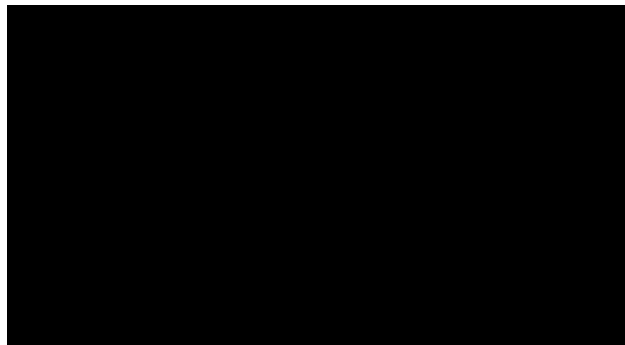


大潮期底层海流矢量玫瑰图

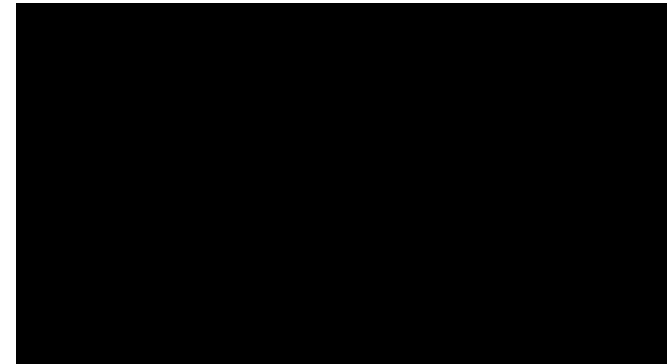
图 6.2-7 海流矢量玫瑰图



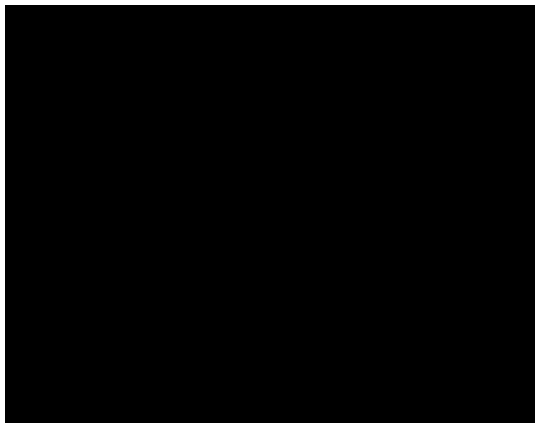
小潮期 H4 站海流矢量时序图



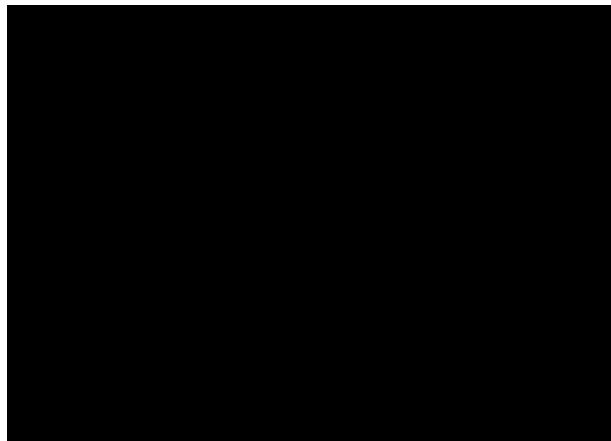
小潮期 H5 站海流矢量时序图



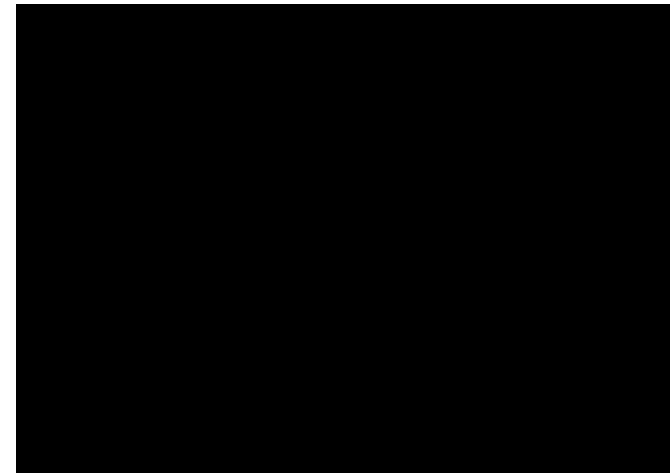
小潮期 H6 站海流矢量时序图



小潮期 H4 站流速流向过程线

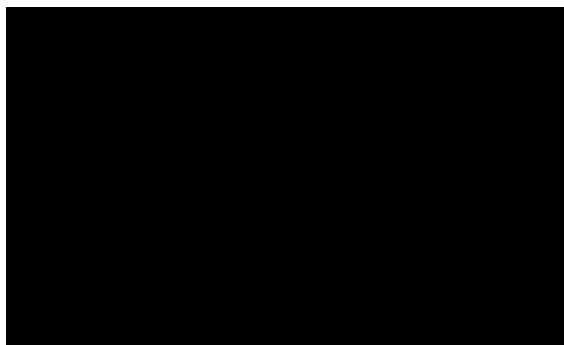


小潮期 H5 站流速流向过程线

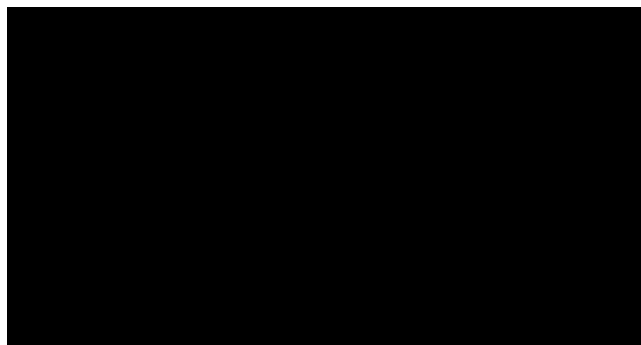


小潮期 H6 站流速流向过程线

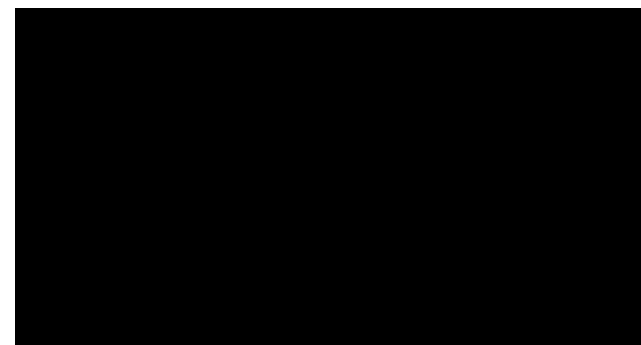
图 6.2-8 小潮期各站海流矢量时序图及流速流向过程线



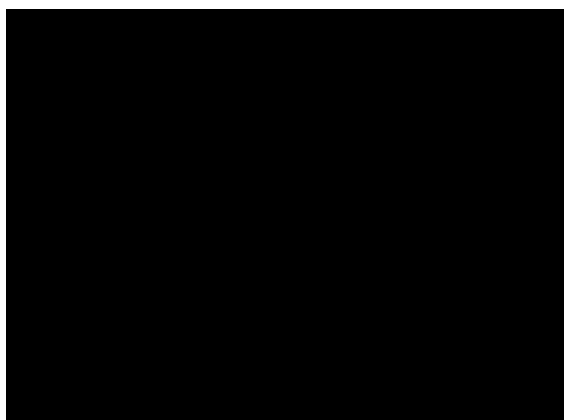
大潮期 H4 站海流矢量时序图



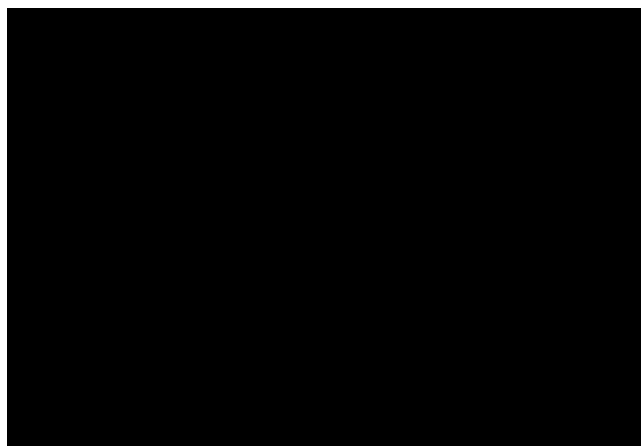
大潮期 H5 站海流矢量时序图



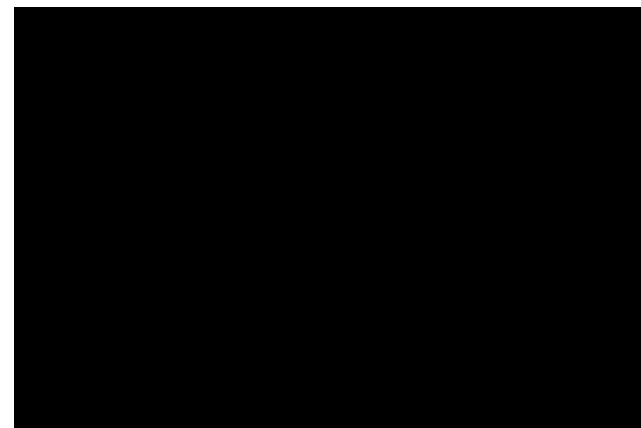
大潮期 H6 站海流矢量时序图



大潮期 H4 站流速流向过程线



大潮期 H5 站流速流向过程线



大潮期 H6 站流速流向过程线

图 6.2-9 大潮期各站海流矢量时序图及流速流向过程线

表 6.2-6 和表 6.2-7 为实测小、大潮观测期间最大流速、流向统计表。由表可知，小潮观测期间，表层实测最大流速为 55cm/s，流向为 340°；0.6H 层实测最大流速为 50cm/s，流向为 332°；底层实测最大流速为 37cm/s，流向为 357°。大潮观测期间，表层实测最大流速为 46cm/s，流向为 322°；0.6H 层实测最大流速为 55cm/s，流向为 41°；底层实测最大流速为 24cm/s，流向为 334°。各站实测最大流速，H4 站小潮期大于大潮期，H5 站和 H6 站小潮期小于大潮期。

表 6.2-6 小潮期最大流速（cm/s）、流向(°)统计

站位	表层		0.6H 层		底层		全站	
	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
H4	48	315	38	329	37	357	48	315
H5	33	321	32	323	29	149	33	321
H6	55	340	50	332	31	330	55	340

表 6.2-7 大潮期最大流速（cm/s）、流向(°)统计

站位	表层		0.6H 层		底层		全站	
	流速	流向	流速	流向	流速	流向	流速	流向
H4	38	33	55	41	23	2	55	41
H5	28	274	25	13	21	73	28	274
H6	46	322	46	342	24	334	46	322

6.2.2.3 潮流性质

根据《海洋调查规范》，潮流性质的划分采用潮流性质系数 $F=(W_{O1}+W_{K1})/W_{M2}$ 作为判别标准：

当 $F \leq 0.5$ 为正规半日潮

$0.5 < F \leq 2.0$ 为不正规半日潮

$2.0 < F \leq 4.0$ 为不正规全日潮

$F > 4.0$ 为正规全日潮

式中 W 为分潮流椭圆长半轴，其中 W_{O1} 为主要太阴日分潮流 $O1$ 的最大流速， W_{K1} 为主要太阴太阳合成日分潮流 $K1$ 的最大流速， W_{M2} 为主要太阴半日分潮流 $M2$ 的最大流速。根据《海洋调查规范》，选用“引入差比关系的准调和分析方法”，对海流观测资料进行分析计算，得出观测期间的余流和 $O1$ （主要太阴全日分潮）、 $K1$ （太阴太阳合成全日分潮）、 $M2$ （主要太阴半日分潮）、 $S2$ （主要太阳半日分潮）、 $M4$ （浅水分潮）和 $MS4$ （浅水四分之一分潮）等 6 个主要分潮流的调和常数以及椭

圆要素等潮流特征值。

通过准调和分析，计算各站层的潮流性质系数 F 值。

（1）宣德群岛海域

表 6.2-8 是根据实测海流资料计算的各站、层的潮流性质系数 F，由表可知，测区的潮流性质系数 F 在 1.98~6.30 之间，故测区潮流存在不规则半日潮流、不规则全日潮流和规则的全日潮流三种类型，其中 H2 站为规则的全日潮流，H2 站表、0.6H 层为不规则的全日潮流，底层为不规则的半日潮流，H7 站为不规则的全日潮流。

表 6.2-8 潮流性质系数 F 计算结果表

层次 站位	表层	0.6H	底层
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

（2）永乐群岛海域

表 6.2-9 是根据实测海流资料计算的各站、层的潮流性质系数 F，由表可知，路由区的潮流性质系数 F 在 0.36~2.99 之间，故路由区潮流存在规则半日潮流、不规则半日潮流、不规则全日潮流三种类型，但以不规则的半日潮流为主。

表 6.2-9 潮流性质系数 F 计算结果表

层次 站位	表层	0.6H	底层
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

见表 6.2-10。由表可知，除了 C1 站底层和 C6 站 0.2H 至底层的系数大于 2 且小于 4，潮流类型为不正规全日潮流外，其余各站各层的系数均大于 4，潮流类型为正规全日潮流。由此可见，调查海区潮流类型主要为正规全日潮流。

表 6.2-10 潮流性质系数

测站	表层	0.2H	0.4H	0.6H	0.8H	底层
C1	5.72	7.04	7.07	6.28	4.52	3.74
C2	7.06	8.8	7.09	7.31	7.12	6.89
C3	10.3	8.39	7.93	9.06	6.32	6.87
C4	8.5	6.19	6.41	7.45	6.55	4.19
C5	11.21	7.48	7.31	9.02	9.31	10.95
C6	4.17	2.8	3.17	3.53	3.7	3.57

6.2.2.4 潮流运动形式

根据实测资料进行准调和分析，计算出各站、层的潮流调和常数和椭圆要素，以 O_1 、 K_1 和 M_2 、 S_2 分潮分别代表日分潮流和半日分潮流。分析得到：

（1）宣德群岛海域测区的潮流运动形式日分潮流除 H3 站底层为旋转流之外，其它各站层的潮流运动形式均为往复流；半日分潮流除 H2 站 0.6H 层为旋转流之外，其它站层均为往复流。

（2）永乐群岛海域测区的潮流运动形式日分潮流 H4 站表层为旋转潮流、0.6H 层和底层为往复流；H5 站表层为往复流、0.6H 层和底层为旋转流，H6 站各层均为往复流；半日分潮流 H4 站表层为往复流、0.6H 层和底层为旋转流；H5 站表层为旋转流、0.6H 层和底层为往复流，H6 站各层均为往复流。

6.2.2.5 理论最大可能潮流

根据《海港水文规范》（JTJ-2013）的规定，对于正规半日潮流的海区，潮流的可能最大流速（又称理论最大可能潮流） V_{max} 取下列公式计算：

$$\bar{V}_{MAX} = 1.295\bar{W}_{M2} + 1.245\bar{W}_{S2} + \bar{W}_{K1} + \bar{W}_{O1} + \bar{W}_{M4} + \bar{W}_{MS4}$$

对于正规全日潮流的海区，潮流的可能最大流速 V_{max} 取下列公式计算：

$$\bar{V}_{MAX} = \bar{W}_{M2} + \bar{W}_{S2} + 1.600\bar{W}_{K1} + 1.450\bar{W}_{O1}$$

对于混合潮流的海区，潮流的可能最大流速 V_{max} 取上面两个公式计算的最大值。式中 W 为各分潮流的最大流矢量。

（1）宣德群岛海域

测区理论最大可能潮流流速计算结果列于表 6.2-11。

表 6.2-11 理论最大可能潮流

层次 站位	表层		0.6H		底层	
	流速(cm/s)	流向(°)	流速(cm/s)	流向(°)	流速(m/s)	流向(°)
H2	58	357	6	359	1	253
H3	8	54	39	117	33	43
H7	21	233	5	161	7	124

由计算结果可知，测区最大可能潮流流速具有如下特点：

1) 测区理论最大潮流方向较散乱，其中 H2 站主要为北向；理论最大潮流值在

1cm/s~58cm/s 之间，理论最大可能潮流总体较小，海流主要受背景流或余流决定。

2) 测区理论最大可能潮流最大值出现在 H2 站表层，为 58cm/s，流向为 357°。

3) 测区底层最大可能潮流最大值为 33cm/s，流向为 43°。

4) 测区主要受背景流（或称余流）影响，潮流较弱，由于实测海流除潮流之外，还叠加了余流，故计算的理论最大潮流往往比实测最大流速要小。

（2）永乐群岛海域

测区理论最大可能潮流流速计算结果列于表 6.2-12。

表 6.2-12 理论最大可能潮流

层次 站位	表层		0.6H		底层	
	流速(cm/s)	流向(°)	流速(cm/s)	流向(°)	流速(m/s)	流向(°)
H4	54	70	84	73	71	77
H5	158	92	167	84	149	83
H6	99	62	126	80	110	77

由计算结果可知，测区最大可能潮流流速具有如下特点：

1) 测区理论最大潮流方向为东北偏东向~东向；理论最大潮流值在 54cm/s~167cm/s 之间。

2) 测区理论最大可能潮流最大值出现在 H5 站的 0.6H 层，为 167cm/s，流向为 84°。

3) 测区底层最大可能潮流最大值为 126cm/s，方向为 80°。

6.2.2.6 余流

（1）宣德群岛海域

根据实测周日连续海流资料，计算出小、大潮各站、层的余流，并绘制成余流矢量图，见图 6.2-10~图 6.2-11。

由各图及计算数据可知，测区的余流具有如下特征：

1) 测区海流受潮汐影响较小，余流较大，特别是 H2 站和 H7 站的表、0.6H 层，余流均超过 10cm/s，最大余流达 24 cm/s，方向为 332°，出现于大潮期 H2 站的表层。

2) 余流值由表层至底层，呈现出减小的变化趋势。余流方向，H2 站为 W~N 向，H3 站为 W~NW 向，H7 站为 E~S 向。

3) 余流在平面上呈现出逆时针方向环流的特点。

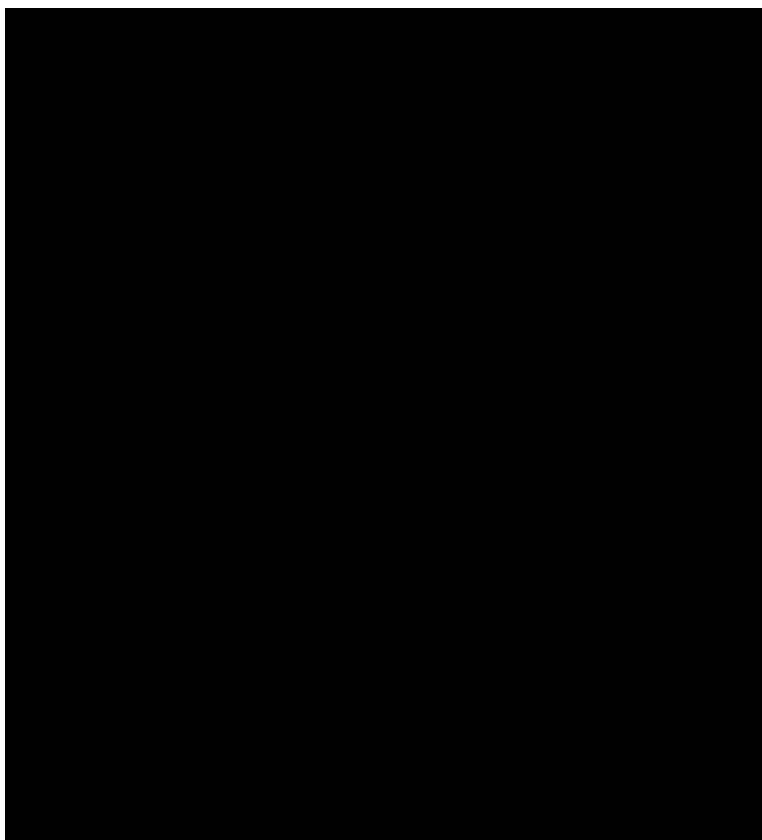


图 6.2-10 小潮期余流分布图

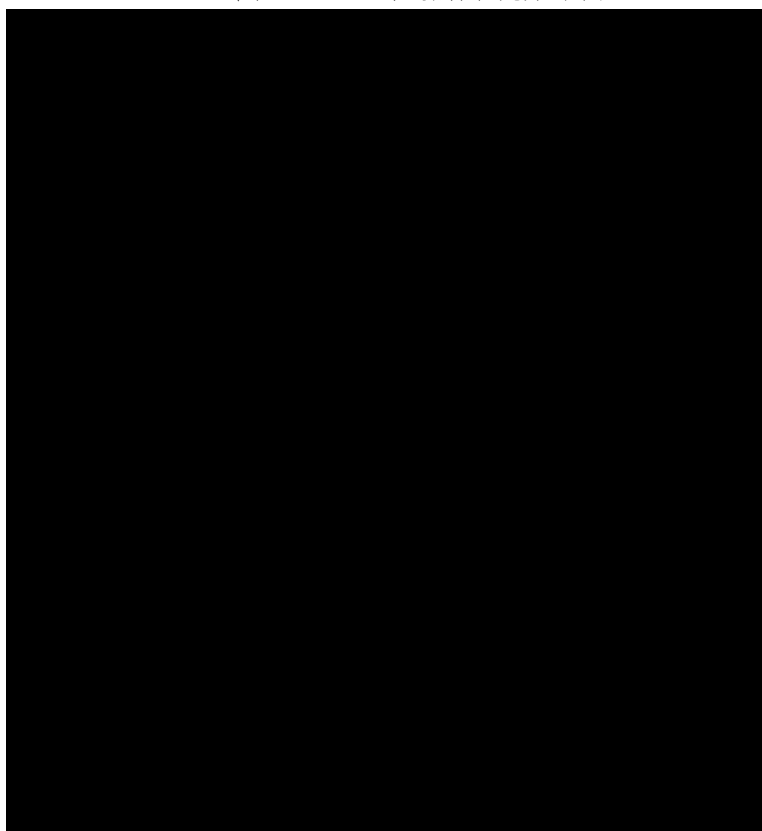


图 6.2-11 大潮期余流分布图

（2）永乐群岛海域

根据实测周日连续海流资料，计算出小、大潮各站、层的余流，并绘制成余流矢量图，见图 6.2-12～图 6.2-13。

由各图及计算数据可知，测区的余流具有如下特征：

1) 小潮期，测区 H4 站表层、0.6H 层，H5 站表层余流较大，超过 10cm/s，其它站、层余流较小，在 7cm/s 以下。计算各站、层余流最大值为 23 cm/s，位于 H4 站表层，方向为西北向。

2) 大潮期，测区的 H4 站表层、0.6H 层，H5 站、H6 站的表层余流较大，均在 10cm/s 以上，其它站、层余流较小，在 7cm/s 以下，计算各站、层的余流最大值为 25cm/s，位于 H4 站 0.6H 层，方向为东北向。



图 6.2-12 小潮期余流分布图



图 6.2-13 大潮期余流分布图

6.3 地形地貌与冲淤环境现状调查与评价

6.3.1 海底地形与地貌特征

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

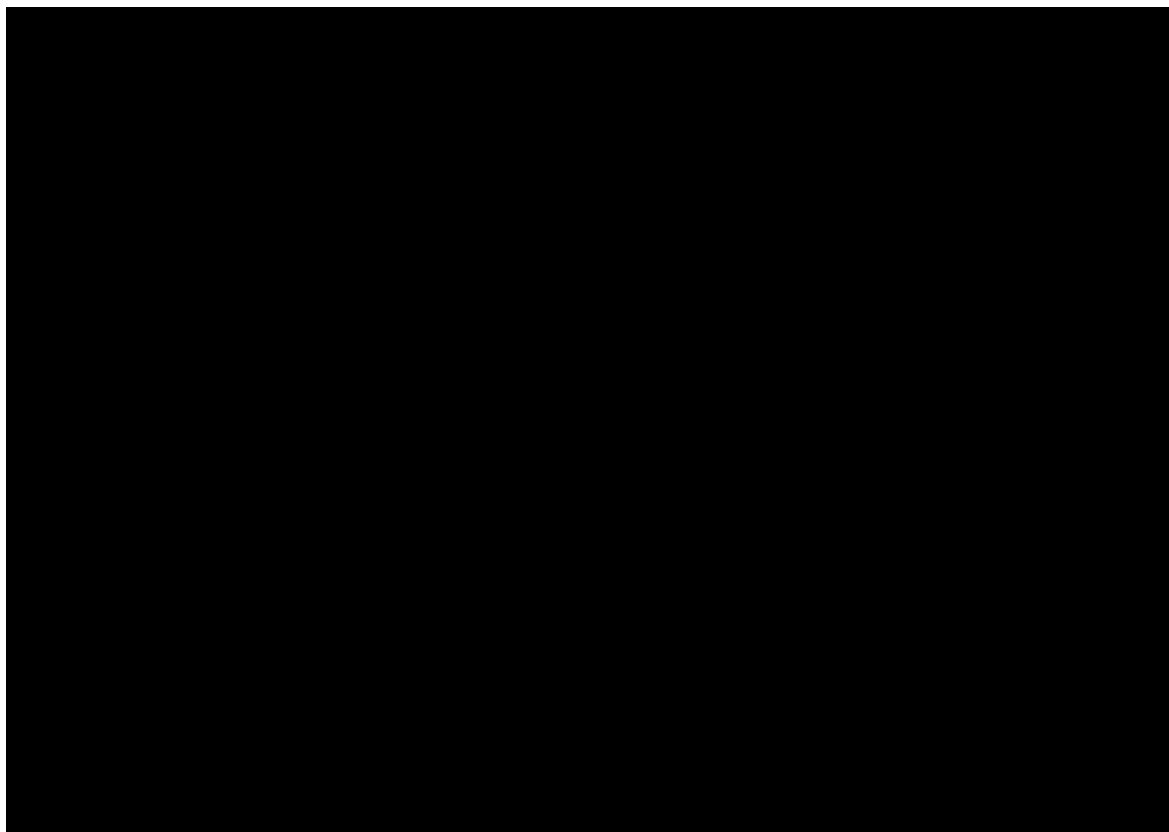


图 6.3-1 南海预选路由区三维水深地形图

（引自：广州海洋地质调查局南海地质地球物理图系）

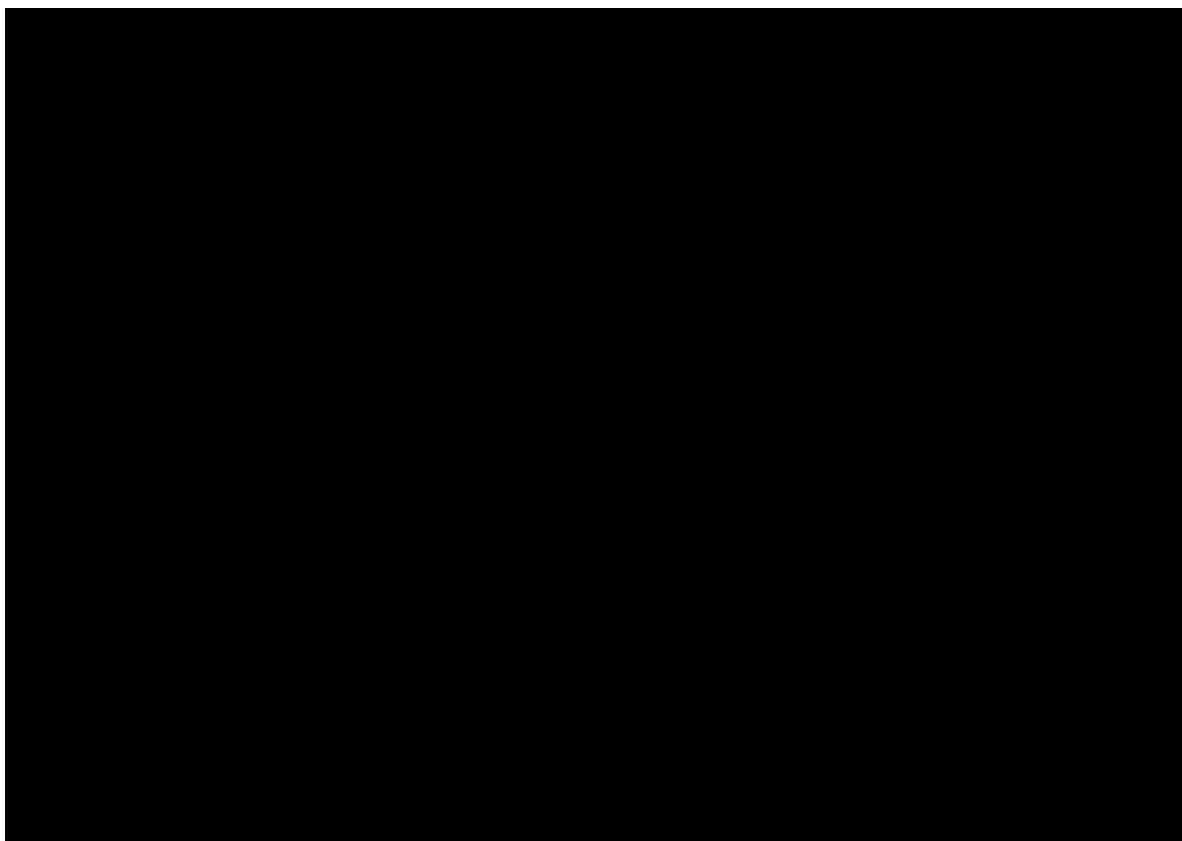


图 6.3-2 南海海底地貌分区图

（引自：广州海洋地质调查局南海地质地球物理图系）



图 6.3-3 南海海底地貌图图例（上图图例）

（引自：广州海洋地质调查局南海地质地球物理图系）

6.3.2海底底质特性

南海是东亚大陆最南的一个边缘海，其底质沉积物类型多样，多呈条带状展布，不同类型底质的界线常常与等深线走势相一致，底质类型之间多呈渐变关系。但也存在分布较为局限的底质，其与周围底质常常呈突变关系。

在沉积物粒度分类的基础上，根据底质的物质来源与沉积环境，可将南海海底表层沉积物划分为陆源碎屑沉积、陆源碎屑-生物源沉积、生物源沉积和深海沉积 4 大类。粒度分类时，采用尤登-温德华氏等比制值粒级标准，采用福克和沃德粒度参数公式计算粒度参数，采用谢帕德沉积物粒度三角图解法对沉积物命名，对于深海沉积物采用深海沉积物三角图解法命名分类。划分为同一类的底质沉积物，它们形成的物源、水动力和地形、地貌等条件却往往不尽相同，而且每一类底质内部的组成和含量亦有一定的变化。南海大陆架上广泛发育陆源碎屑沉积，大陆坡上则广泛分布陆源碎屑-生物源沉积，深海盆发育完整的深海沉积系列，在珊瑚礁分布的海域附近，则广泛发育生物源沉积。

陆源沉积广泛分布在大陆架和上陆坡上。南海北部陆架区表层沉积物由现代沉积、再造沉积、残留沉积和少量残余沉积组成。分布在 50m 以浅的内陆架上粘土质沉积（包括粘土质粉砂、粉砂质粘土），主要是由广东沿岸河流供给的现代沉积。在中、外陆架上，水深 50m—100m 的砂质沉积，是经过叠加和改造作用的残留沉积（再造沉积）。南海南部陆架，底质类型比较简单，沉积物展布具有明显继承性，或受现代微地貌制约。其地处热带，海洋生物繁盛，珊瑚礁和珊瑚滩均较发育，因而生物成因的沉积物较为丰富。

在南海的半深海—深海，生物碎屑的含量非常丰富，呈环带状分布，与水深有较好对应关系，呈钙质沉积—硅质沉积—深海粘土完整系列。钙质沉积分布在 200m~3000m 水深的整个大陆坡，呈环状展布。主要底质类型是钙质粘土、有孔虫粘土与粉砂。在钙质分布区内还有许多珊瑚礁发育区。硅质沉积主要分布在深海平原区。在大陆坡角和深海平原边缘有些含钙硅质沉积区。深海软泥主要出现在中央海盆深海平原中部。

预选路由穿越的沉积物类型主要有硅质软泥、含硅质黏土、含硅质钙质生物黏土质粉砂、含硅质钙质生物粉砂质黏土、钙质生物粉砂质黏土、钙质生物砂、钙质生物黏土质粉砂和黏土质粉砂。预选路由方案都跨越了深海沉积、陆源碎屑—生物沉积、陆源碎屑沉积等沉积区。

本项目区域主要为浅海与深海过渡的半深海区堆积，上陆坡区亲陆性强，下陆坡区近深海区亲海性强。其中上陆坡区主要位于中建南盆地（水深 50m—3800m），中建南盆地新生界地层发育齐全，地层厚度 500m—8500m，主要坳陷的沉积厚度均

超过 6500m，最大超过 8500m。沉积物以细颗粒为主，分布具有环带性。该区内沉积物具有高灵敏度、高压缩性、低抗剪强度的工程特性，利于海缆的敷设施工。

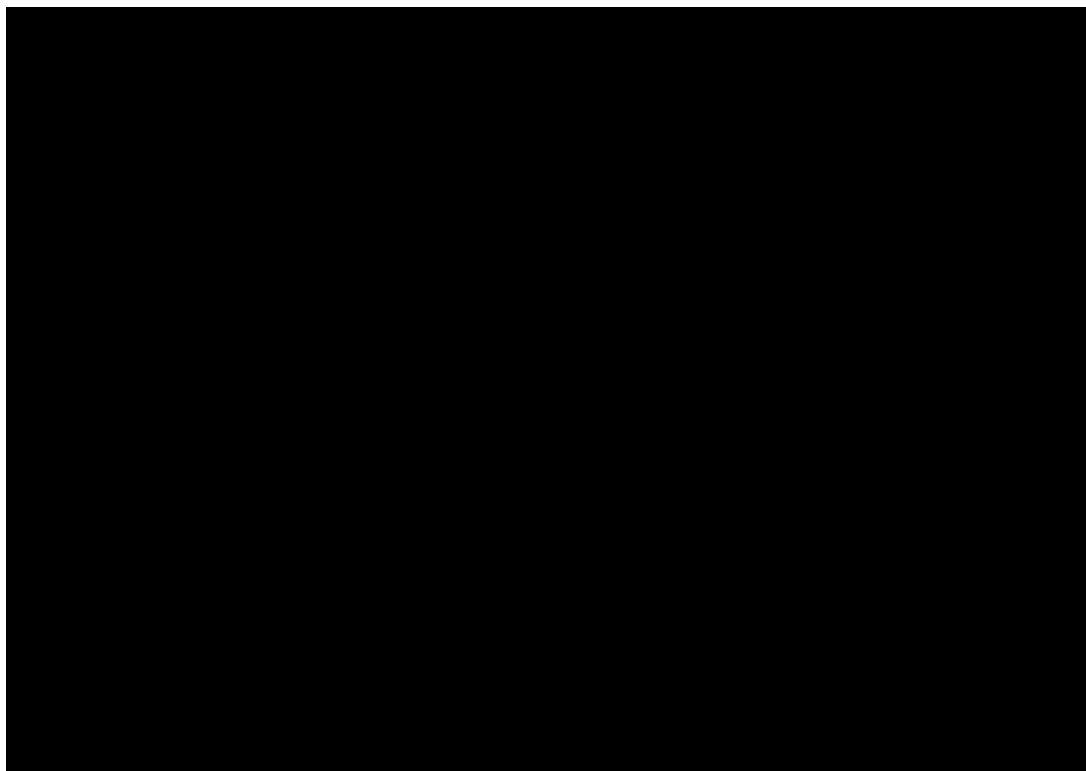


图 6.3-4 预选路由区及邻区表层沉积物分布图

（引自：广州海洋地质调查局南海地质地球物理图系）

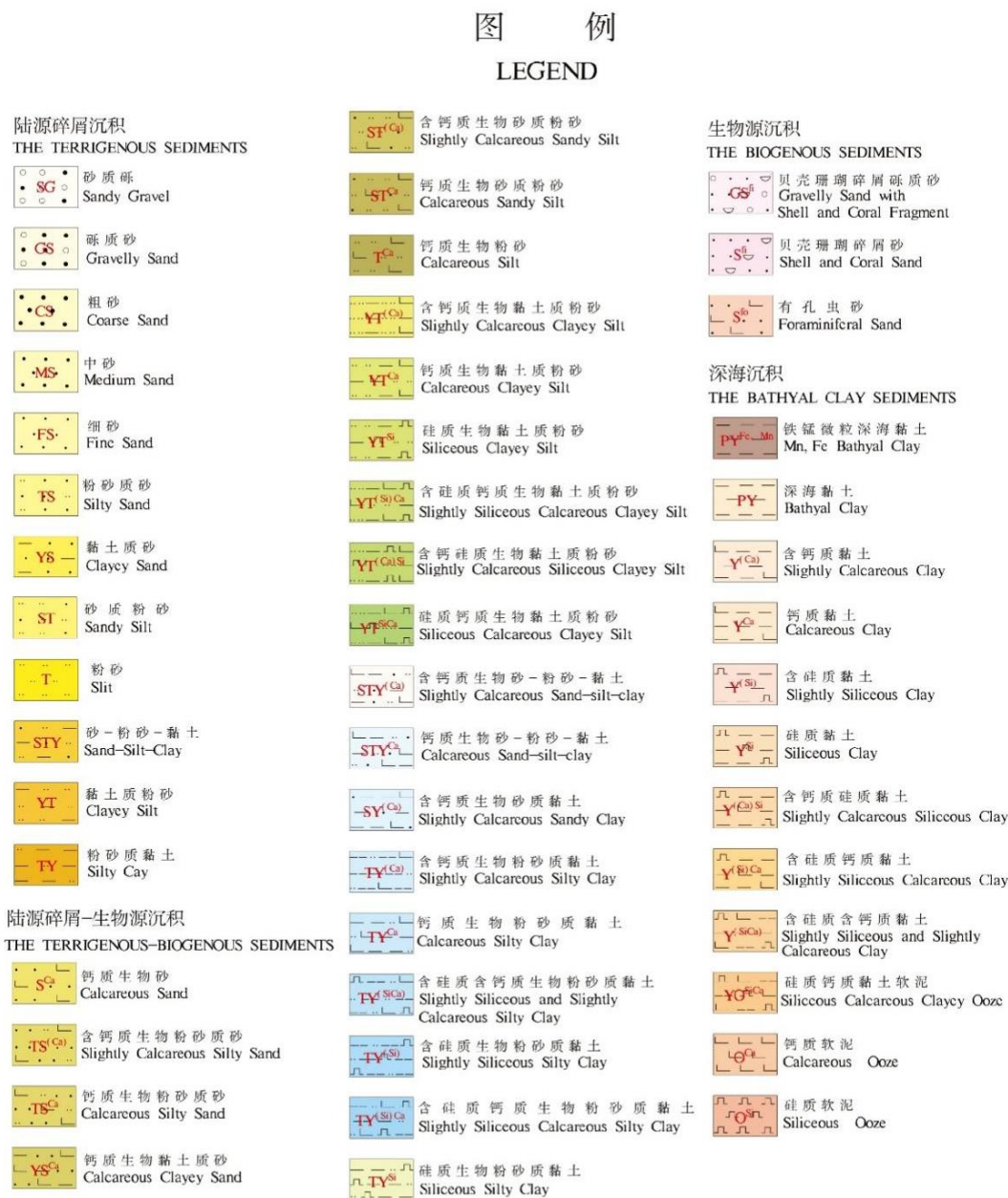


图 6.3-5 预选路由区及邻区表层沉积物分布图图例

(引自：广州海洋地质调查局南海地质地球物理图系)

6.3.3海床冲淤活动性

本项目海缆路由段水动力环境特征参考南海地质地球物理图系海底沉积物类型图（图 6.3-4）。可以看出水深在 400m~3000m 的路由段底质类型主要以粉砂和粘土为主，包括部分细砂以及粘土质粉砂，粉砂质粘土、钙质粘土质粉砂、含钙质粘土质粉砂；水深超过 3000m 的路由段底质类型主要为粘土，包括含钙质粘土、深海粘土、铁锰微粒深海粘土、钙质粘土、含钙质粘土、硅质钙质粘土软泥、硅质软泥、

含硅质钙质粘土，硅质粘土、含硅质含钙质粘土、含钙质硅质粘土。根据福克分类法的动力学意义可判断出相应路由测段的水动力环境特征较弱。因此可知，本项目路由段位于沉积水动力条件较弱的海区，有利于海缆的施工和维护。

6.4 海水水质现状调查及评价

6.4.1 调查时间与调查站位

国家海洋局南海调查技术中心于 2024 年 3 月在光缆埋设段附近海域进行调查，共布设 10 个站位进行海水水质、海洋生物（包括叶绿素 a 含量、初级生产力、浮游植物、浮游动物、鱼卵仔稚鱼）调查。

国家海洋局南海调查技术中心于 2021 年 10 月在本项目光缆敷设段附近海域进行了调查，本次选取距离最近的 2 个站位调查数据成果。各站位均进行海水水质、海洋生物（包括叶绿素 a 含量、初级生产力、浮游植物、浮游动物、鱼卵仔稚鱼）调查。

各站位调查内容见表 6.4-1，站位示意图见图 6.4-1。

表 6.4-1 海洋水质调查站位表

序号	来源	站号	经度	纬度	调查内容
■	■■■■■	■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■		■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■		■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■		■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■		■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■		■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■		■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■		■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■		■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■		■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■

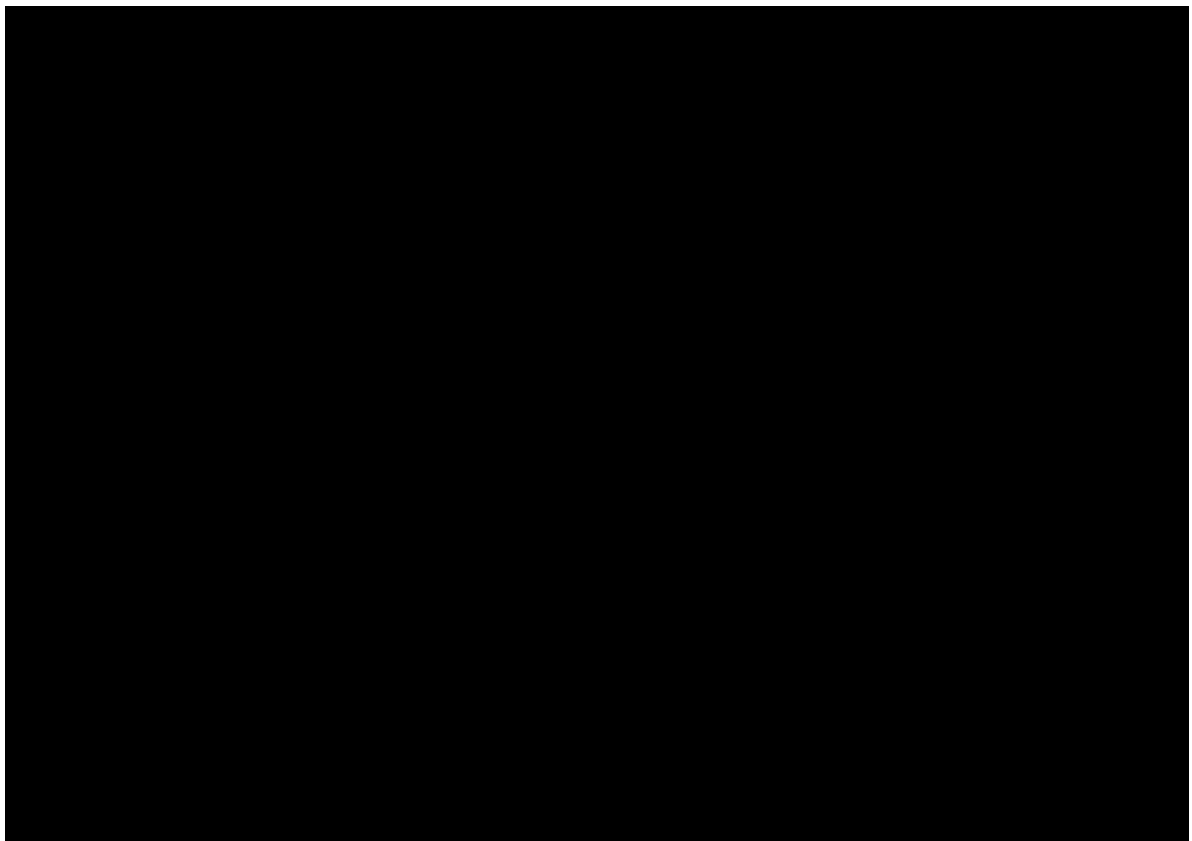


图 6.4-1 本项目海洋水质调查站位布设图

6.4.2 调查项目与调查分析方法

6.4.2.1 调查项目

海水水质调查项目包括：悬浮物、透明度、水温、盐度、pH 值、无机氮（包括硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐）、磷酸盐、油类、总汞、铜、铅、镉、锌、总铬、砷、化学需氧量（ COD_{Mn} ）、溶解氧（DO）共 18 项。

6.4.2.2 调查方法

所用观测船只进入预定站位，测量水深。根据现场水深决定采样层次如下：采样 5 层，在表层下 0.1-1m、10m、50m、100m、200m 处采样。

其中，石油类只采集表层样品。样品采集后进行分装、预处理、编号记录、保存。

6.4.2.3 分析方法

样品的分析首先按照《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）和《海洋监测规范》（GB17378-2007）进行，营养盐等项目参照《近岸海域环境监测技术规范 第三部分

北京京诚嘉宇环境科技有限公司

近岸海域水质》（HJ442.3-2020）等其他行业标准测试，各项的分析方法如下表所示。

表 6.4-2 水质测定项目分析方法一览表

序号	监测项目		样品采集、预处理及保存方法	样品测定方法	检出限
1	水温		现场测定	GB17378.4-2007/25.1 表层水温表法	/
2	盐度		实验室测定	GB 17378.4-2007/29.1 盐度计法	/
3	pH		现场测定	GB17378.4-2007/26 pH 计法	/
4	溶解氧(DO)		加 1 mL MnCl ₂ 和 1 mL KI-NaOH 溶液固定，现场测定	GB17378.4-2007/31 溶解氧-碘量法	5.3μmol/L
5	化学需氧量(COD _{Mn})		现场测定	GB17378.4-2007/32 化学需氧量-碱性高锰酸钾法	/
6	悬浮物		0.45 μm，φ60mm 微孔滤膜 现场过滤	GB17378.4-2007/27 悬浮物-重量法	/
7	油类		加 2ml (1+3) 硫酸固定， 避光保存，正己烷萃取	GB17378.4-2007/13.2 紫外分光光度法	3.5μg/L
8	营养盐	亚硝酸盐(NO ₂ -N)	现场用 0.45μm，φ60mm 微孔滤膜过滤、现场过滤后-20℃冷冻保存	HY/T147.1-2013/7.1 流动分析法	0.02μmol/L
9		硝酸盐(NO ₃ -N)		HY/T147.1-2013/8.1 流动分析法	0.05μmol/L
10		氨盐(NH ₄ -N)		HY/T147.1-2013/9.1 流动分析法	0.03μmol/L
11		磷酸盐(PO ₄ -P)		HY/T147.1-2013/10.1 流动分析法	0.02μmol/L
12	重金属	汞(Hg)	加 H ₂ SO ₄ 至 pH<2	GB17378.4-2007/5.1 原子荧光法	0.007μg/L
13		砷(As)	用 0.45μm，φ60mm 微孔滤膜过滤加 H ₂ SO ₄ 至 pH<2 低温冷藏	GB17378.4-2007/11.1 原子荧光法	0.5μg/L
14		镉(Cd)	用 0.45μm，φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	GB17378.4-2007/8.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.01μg/L
15		铅(Pb)	用 0.45μm，φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	GB17378.4-2007/7.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.03μg/L
16		铜(Cu)	用 0.45μm，φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	GB17378.4-2007/6.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.2μg/L
17		锌(Zn)	用 0.45μm，φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	GB17378.4-2007/9.1 火焰原子吸收分光光度法	3.1μg/L
18		总铬(Cr)	用 0.45μm，φ47mm 微孔滤膜过滤加 H ₂ SO ₄ 至 pH<2 低温冷藏	GB17378.4-2007/10.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.4μg/L

6.4.3 水质调查结果

2024 年 3 月现场调查各站位水质环境调查结果见表 6.4-3。

2021 年 10 月历史调查各站位水质环境调查结果见表 6.4-4。

表 6.4-3 2024 年 3 月航次调查海域水质项目数据表

站位	水深	层次	温度	盐度	pH	溶解氧	石油类	COD _{Mn}	悬浮物	亚硝酸盐	氨盐	硝酸盐	磷酸盐	汞	砷	铅	镉	铜	锌	总铬
	(m)	(m)	(℃)	/	/	mg/L				μmol/L				μg/L						
S16	880	0.5	27.6	34.108	8.185	6.52	0.0097	0.47	1.48	0.42	0.51	1.31	0.1	ND	1.4	0.76	0.04	0.7	10	ND
		10	27.6	34.07	8.188	6.62		0.49	1.42	0.72	0.59	0.31	0.11	ND	1.5	/	0.03	/	/	ND
		50	25.3	34.321	8.139	6.52		0.45	1.72	0.29	0.55	0.17	0.09	ND	1.6	0.93	ND	1.8	13.3	ND
		100	21.2	34.526	8.046	4.74		0.44	1.05	0.04	1.56	6.8	0.16	ND	1.7	0.45	0.02	ND	7.9	ND
		200	14.9	34.538	8.039	4.76		0.4	1.68	0.08	1.09	22.6	0.24	ND	1.7	0.31	0.04	0.4	11.6	ND
S15	880	0.5	27.6	34.139	8.184	6.85	0.0126	0.52	1.36	0.1	0.54	1.17	0.09	ND	1.5	0.34	ND	0.6	7.3	ND
		10	27.7	34.105	8.176	6.56		0.42	0.66	0.08	0.7	0.12	0.1	ND	1.5	0.54	ND	1.6	9	ND
		50	25.3	34.41	8.121	6.24		0.37	1.64	0.03	0.83	/	0.13	ND	1.7	1.16	0.01	2.7	7.3	ND
		100	21.2	34.5	8.062	4.46		0.37	0.41	0.03	1.65	6.82	0.21	ND	1.8	0.25	ND	ND	4.2	ND
		200	15	34.506	8.045	4.68		0.21	1.12	0.06	0.97	13.54	0.19	ND	1.7	0.3	0.04	ND	5.1	ND
S14	1072	0.5	27.7	34.558	8.21	6.42	0.0114	0.56	0.86	0.08	0.54	1.12	0.1	ND	1.4	0.59	ND	0.4	3.7	ND
		10	27.7	33.558	8.201	6.64		0.53	1.82	0.15	0.65	15.33	0.11	ND	1.4	0.23	0.01	0.3	3.2	ND
		50	25.3	34.121	8.2	6.98		0.48	1.51	0.03	0.72	0.29	0.12	ND	1.3	0.18	ND	ND	4.7	ND
		100	21.3	34.29	8.218	7.05		0.34	2.08	0.04	0.42	9.31	0.09	ND	1.5	0.21	ND	ND	4.1	ND
		200	14.6	34.3	8.203	5.01		0.3	1.22	0.05	0.71	0.49	0.11	ND	1.6	0.16	0.02	0.3	6.4	ND
S11	740	0.5	27.8	33.92	8.193	6.54	0.0086	0.22	0.95	0.1	0.4	1.07	0.1	ND	1.5	0.27	ND	ND	4.5	ND
		10	27.6	33.95	8.193	6.59		0.32	0.05	0.09	0.57	1.16	0.09	ND	1.5	0.51	0.02	0.3	5.6	ND
		50	25.3	34.133	8.2	6.93		0.27	1.75	0.17	0.55	6.38	0.09	ND	1.5	0.31	0.02	0.4	7.1	ND
		100	21.2	34.256	8.219	6.74		0.27	2.09	0.03	0.41	/	0.08	ND	1.6	0.1	ND	ND	6.4	ND
		200	14.9	34.507	8.106	4.61		0.4	1.4	0.05	1.07	16.2	0.22	ND	1.7	0.3	0.03	0.2	4.2	ND
S10	360	0.5	27.9	33.854	8.201	6.44	0.0044	0.48	2.64	0.11	0.58	1.7	0.08	ND	1.5	0.41	ND	/	5.9	ND
		10	27.8	33.243	8.201	6.5		0.44	2.44	0.08	0.73	1.27	0.11	ND	1.5	0.17	ND	/	11.1	ND
		50	25.2	33.197	8.221	6.48		0.37	1.79	0.09	0.57	0.97	0.11	ND	1.5	0.07	ND	0.7	5.2	ND
		100	21.2	34.089	8.233	6.75		0.22	1.25	0.03	0.56	/	0.1	ND	1.6	0.1	ND	0.2	3.7	ND
		200	14.7	34.545	8.086	4.69		0.24	1.21	0.05	0.93	8.1	0.25	ND	1.8	0.25	0.03	ND	4.1	ND
S07	360	0.5	27.7	34.12	8.198	6.5	0.0133	0.52	1.94	0.15	0.69	2.66	0.09	ND	1.6	0.75	0.02	0.4	11.4	ND
		10	27.8	34.013	8.196	6.68		0.4	1.12	0.18	0.7	2.39	0.08	ND	1.6	0.26	ND	0.3	8.8	ND
		50	25.2	34.149	8.211	6.59		0.3	0.72	0.25	1.09	1.64	0.11	ND	1.6	0.31	0.02	0.9	7.5	ND
		100	21.3	34.411	8.165	5.63		0.39	1.65	0.13	0.56	5.65	0.2	ND	1.7	0.28	ND	0.2	6.2	ND
		200	14.6	34.503	8.086	4.57		0.34	1.69	0.1	0.71	23.52	0.56	ND	1.8	0.24	0.03	0.3	5.5	ND
S08	384	0.5	27.8	34.007	8.188	6.56	0.0114	0.52	1.84	0.1	0.87	2.36	0.1	ND	1.6	0.37	ND	ND	5.7	ND
		10	27.7	34.158	8.194	6.66		0.31	2.28	0.05	0.81	10.14	0.11	ND	1.6	0.25	ND	0.3	6.2	ND
		50	25.2	34.266	8.195	7.03		0.29	2.21	0.08	0.7	0.92	0.11	ND	1.7	0.11	ND	ND	6	ND
		100	21.2	34.215	8.247	6.96		0.36	1.32	0.06	0.5	1.48	0.09	ND	1.7	ND	ND	ND	10.3	ND
		200	14.6	34.507	8.213	4.72		0.32	1.48	0.12	0.55	22.21	0.36	ND	1.9	0.43	0.02	0.4	5.2	ND
S09	355	0.5	27.7	34.128	8.189	6.47	0.0113	0.29	1.36	0.1	0.54	8.84	0.09	0.011	1.6	0.31	ND	0.3	7	ND

站位	水深	层次	温度	盐度	pH	溶解氧	石油类	COD _{Mn}	悬浮物	亚硝酸盐	氨盐	硝酸盐	磷酸盐	汞	砷	铅	镉	铜	锌	总铬
	(m)	(m)	(℃)	/	/	mg/L				μmol/L				μg/L						
S13	610	10	27.7	34.065	8.197	6.48		0.27	0.59	0.1	0.69	3.83	0.08	ND	1.6	0.07	ND	1.4	7.4	ND
		50	25.2	34.177	8.192	7.14		0.32	1.96	0.14	0.85	1.81	0.07	ND	1.6	0.26	0.01	ND	5.1	ND
		100	21.3	34.359	8.204	6.4		0.37	1.6	0.15	0.6	3.22	0.17	ND	1.6	0.27	0.02	ND	3.3	ND
		200	14.6	34.555	8.115	4.93		0.31	1.78	0.09	0.67	20.8	0.43	ND	1.7	0.27	0.04	0.4	5.6	ND
		0.5	27.9	34.213	8.189	6.44	0.0135	0.37	1.58	0.1	1.63	17.98	0.13	ND	1.6	0.6	0.04	0.4	5.5	ND
		10	27.7	34.152	8.195	6.58		0.32	1.26	0.11	1.01	1.89	0.12	ND	1.6	0.54	0.05	0.5	10	ND
	741	50	25.3	34.293	8.173	6.76		0.29	1.55	0.16	0.5	2.04	0.09	ND	1.7	0.1	0.02	ND	7.1	ND
		100	21.3	34.534	8.178	4.73		0.31	1.45	0.29	0.8	18.11	0.48	ND	1.8	0.54	0.05	ND	5.6	ND
		200	14.6	34.579	8.061	4.45		0.25	0.98	0.09	0.76	26.7	0.43	ND	1.8	0.16	0.07	ND	5.8	ND
		0.5	27.8	34.067	8.195	6.22	0.0129	0.47	0.78	0.13	0.66	3.32	0.1	ND	1.6	0.27	0.03	0.31	6.59	ND
		10	27.8	33.948	8.194	6.53		0.36	2.08	0.22	0.81	3.16	0.11	ND	1.8	1.56	0.15	4.81	20.4	ND
		50	25.2	34.089	8.206	6.83		0.27	1.47	0.2	0.78	2.54	0.09	ND	1.7	0.53	0.05	0.3	5.41	ND
最小值	21.2	34.217	8.229	7		0.31	1.33	0.14	0.86	11.32	0.1	ND	1.7	0.33	0.04	0.59	5.8	ND		
	200	14.7	34.474	8.059	4.44		0.21	1.31	0.27	0.75	30.9	0.71	ND	1.9	1.59	0.24	0.32	8.07	ND	
	最大值		27.9	34.579	8.247	7.14	0.0135	0.56	2.64	0.72	1.65	30.9	0.71	0.01	1.89	1.59	0.24	4.8	20.4	0
平均值		23.3	34.199	8.171	6.11	0.0109	0.36	1.46	0.13	0.75	7.35	0.16	-	1.62	-	-	-	-	6.87	-
注：ND 为未检出，S16 站 10m 层铅、铜、锌，S10 站位表层及 10 层的铜测试值偏离正常值程度较大，怀疑为采样过程中污染，本报告中未提供该数据。																				

表 6.4-4 2021 年 10 月航次引用站位水质项目调查数据结果表

站位	水深	层次	水温	盐度	pH	DO	石油类	COD _{Mn}	悬浮物	亚硝酸盐	氨盐	硝酸盐	磷酸盐	汞	砷	铅	镉	铜	锌	总铬
	m	m	℃			mg/L	μg/L	mg/L						ug/L						
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

6.4.4 评价标准与评价方法

6.4.4.1 评价标准

根据《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》，各调查站位主要位于南海中部农渔业区、西沙群岛农渔业区，根据其所在环境功能区海洋环境保护要求，各调查站位水质评价执行一类标准。

6.4.4.2 评价方法

根据监测结果，采用单项指数法对水质现状进行评价。水质参数的标准指数 >1 ，表明该水质参数超过了规定的水质标准。其中，溶解氧、pH 评价方法公式采用《环境影响评价技术导则地表水环境》（HJ2.3-2018）。

①单项水质参数 i 在第 j 点的标准指数

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

式中： $S_{i,j}$ — i 污染物在 j 点的污染指数；

$C_{i,j}$ — i 污染物在 j 点的实测浓度，mg/L；

$C_{s,j}$ — i 污染物的评价标准，mg/L。

②DO 的标准指数为：

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

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

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

DO_f ——溶解氧在 j 点的实测统计代表值，mg/L；

DO_s ——溶解氧的水质评价标准限制，mg/L；

DO_f ——饱和溶解氧浓度，mg/L，对于河流， $DO_f=468/(31.6+T)$ ，对于盐度比较高的湖泊、水库及入海河口、近岸海域， $DO_f=(491-2.65S)/(33.5+T)$ ；

S ——实用盐度符号，量纲为 1；

T ——水温， $^{\circ}\text{C}$ 。

③对 pH 用下式计算：

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

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

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

pH_j ——pH 值在 j 点的实测统计代表值；

pH_{sd} ——评价标准中 pH 的下限值；

pH_{su} ——评价标准中 pH 的上限值。

6.4.5 评价结果

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409-2025）6.2.3条，海水水质现状评价中分层采样的点位采用多层数据的平均值进行评价（石油类因仅采集表层，仅对表层进行评价）。

采用各站位多层数据平均值计算标准指数，计算结果见表 6.4-5、表 6.4-6。考虑到本项目调查海域水深较深，将各采样层位评价结果一并列入表中。

（1）2024 年 3 月

由表 6.4-5 可见，所有站位多层数据平均值均符合一类海水水质标准。各分层水质样品中，pH、 COD_{Mn} 、石油类、汞、砷、镉、铬、硫化物、铜等均符合一类海水水质标准，部分层次溶解氧、无机氮、活性磷酸盐、铅、锌则有不同程度的超标。其中，溶解氧最大超标倍数 0.35 倍，样品超标率 28%；无机氮、活性磷酸盐最大超标倍数分别为 1.23 倍、0.46 倍，样品超标率分别为 24%、4%；铅、锌最大超标倍数分别为 0.59 倍、0.02 倍，样品超标率分别为 6%、2%，但无机氮、活性磷酸盐、铅、锌均能够符合第二类海水水质标准，调查海域水质环境总体较好。

（2）2021年10月

由表 6.4-6可见，各站位多层数据平均值中DO、锌超标，但能够符合第二类海水水质标准。各分层水质样品中，pH、 COD_{Mn} 、石油类、汞、砷、镉、铬、硫化物、铅等均符合一类海水水质标准，部分层次铜、锌则有不同程度的超标，最大超标倍数分别为0.66倍、1.18倍，按总计2个站位样品数量计算，铜、锌样品超标率分别为10%、30%。

表 6.4-5 2024 年 3 月现场调查水质评价结果

站位	层次（m）	pH	DO				石油类	COD _{Mn}	无机氮				磷酸盐	汞	砷	铅		镉	铜	锌		总铬
		一类	一类	二类	三类	一类	一类	一类	二类	三类	四类	一类	一类	一类	一类	二类	一类	一类	一类	二类	一类	
01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	4	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	5	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
02	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	4	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	5	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
03	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	4	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	5	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	4	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	5	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

[illegible]

5

站位	层次（m）	pH	DO				石油类	COD _{Mn}	无机氮				磷酸盐	汞	砷	铅		镉	铜	锌		总铬
		一类	一类	二类	三类	一类	一类	一类	一类	二类	三类	四类	一类	一类	一类	一类	二类	一类	一类	一类	二类	一类
	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

表 6.4-6 2021 年 10 月现场调查水质评价结果

站位	层次	pH	DO		石油类	COD _{Mn}	无机氮	磷酸盐	汞	砷	铅	镉	铜		锌		铬
			一类	二类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	一类	二类	一类	二类	一类
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

6.5 海洋沉积物现状调查与评价

6.5.1 调查时间与调查站位

本次沉积物质量现状调查引用国家海洋局南海调查技术中心于 2024 年 3 月在附近海域调查结果以及 2020 年 4 月在海南岛南部近岸海域调查成果。本次引用的 6 个站位调查内容见表 6.5-1，站位示意图见图 6.5-1。

表 6.5-1 海洋沉积物调查站位表

序号	来源	站号	经度	纬度	调查内容
■	■ ■	■	■	■	■
■	■ ■	■	■	■	■
■		■	■	■	■
■		■	■	■	■
■		■	■	■	■
■		■	■	■	■

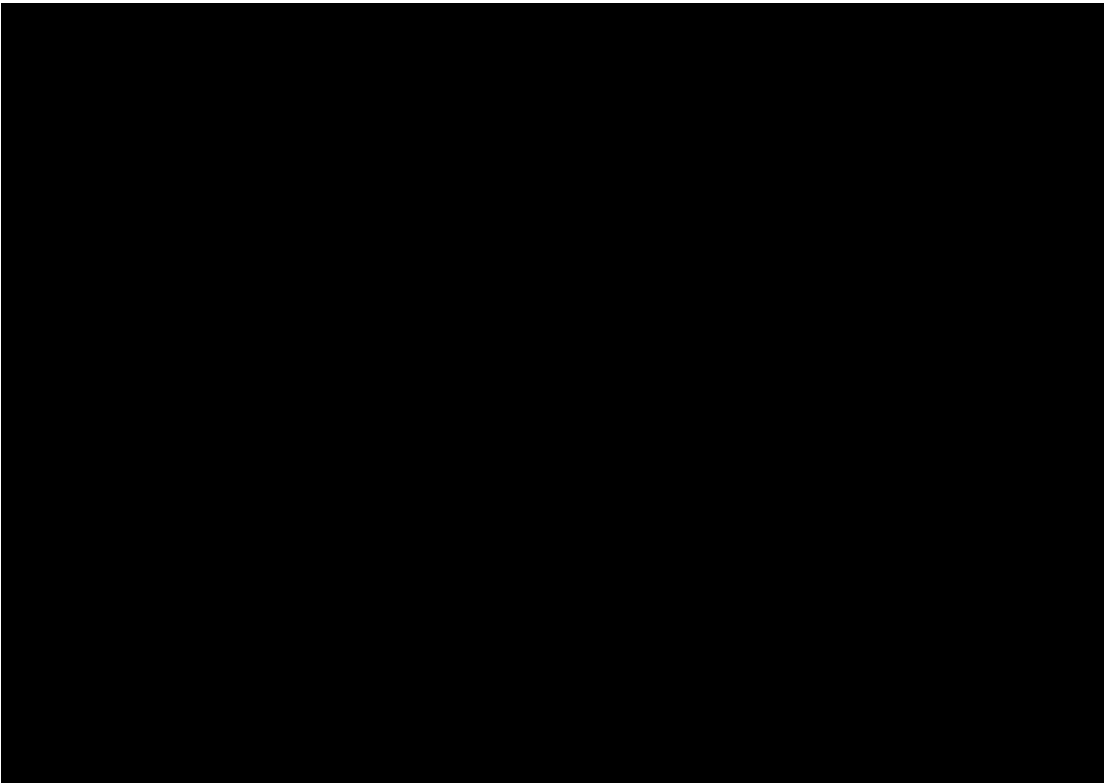


图 6.5-1 本项目海洋沉积物调查站位布设图

6.5.2 调查项目与调查分析方法

6.5.2.1 调查项目

海洋沉积物调查项目包括：石油类、总汞、铜、铅、锌、铬、镉、砷、沉积物有机碳、硫化物。

6.5.2.2 调查方法

调查船只到达预定站位后，用抓斗式采泥器采集沉积物，仅取表层样（0~10cm），进行分装与处理、保存。

6.5.2.3 分析方法

样品的分析按照《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）和《海洋监测规范》（GB17378-2007）进行，超出的项目参照其他行业标准。各项目的分析方法如下表所示。

表 6.5-2 沉积物分析方法一览表

序号	监测项目	样品保存方法	样品测定方法	检出限/10 ⁻⁶
1	铜（Cu）	阴暗处冷藏保存	GB17378.5-2007/6.1 火焰原子吸收分光光度法	2.0
2	镉（Cd）		GB17378.5-2007/8.1 无火焰原子吸收分光光度法	0.04
3	铅（Pb）		GB17378.5-2007/5.1 无火焰原子吸收分光光度法	1.0
4	砷（As）		GB17378.5-2007/11.1 原子荧光法	0.06
5	总汞（Hg）		GB17378.5-2007/5.1 原子荧光法	0.002
6	锌（Zn）		GB17378.5-2007/9 火焰原子吸收分光光度法	6.0
7	铬（Cr）		GB17378.5-2007/10.1 无火焰原子吸收分光光度法	2.0
8	硫化物		GB17378.5-2007/7.1 亚甲基蓝分光光度法	0.30
9	有机碳		GB17378.5-2007/18.1 重铬酸钾-氧化还原容量法	0.11
10	油类		GB17378.5-2007/13.2 紫外分光光度法	3.00

6.5.3 调查结果

2024 年 3 月各站位沉积物质量调查结果见表 6.5-3。

2020 年 4 月历史调查各站位沉积物质量调查结果见表 6.4-4。

表 6.5-3 2024 年 3 月航次调查海域沉积物环境项目数据表

站号	石油类	总汞	铜	铅	锌	镉	铬	砷	硫化物	有机碳
L1	10 ⁻⁶									%
	<3.00	0.023	< 2.0	< 1.0	18.8	0.07	24.1	1.42	<0.30	0.23

表 6.5-4 2020 年 4 月航次引用站位沉积物调查数据结果表

站号	石油类	总汞	铜	铅	锌	镉	铬	砷	硫化物
	10 ⁻⁶								
SS15	23.5	0.033	13.3	22.6	82.1	ND	44.3	11.12	16
SS19	13	0.029	11.2	20.2	81	ND	37.9	7.78	14.7
SS21	14.3	0.028	9	18.1	65	ND	31.5	7.09	7.2
SS24	7.5	0.028	8.8	16.4	88.1	ND	30	8.02	10.8
BY3	6.8	0.043	12.4	21.8	76.5	ND	35.3	8.65	6

6.5.4 评价标准与评价方法

6.5.4.1 评价标准

根据《海南省海洋功能区划（2011-2020 年）》，本次现状调查站位西沙群岛农渔业区，引用的历史调查站位全部位于海南岛近海农渔业区，根据其所在环境功能区海洋环境保护要求，各调查站位沉积物评价执行一类标准。

6.5.4.2 评价方法

沉积物评价采用单因子指数法，其指数计算方法如下：

$$Q_j = C_j / C_o$$

式中：C_j—评价因子实测值

C_o—评价因子实测值

Q_j—j 站评价因子的标准指数

6.5.5 评价结果

（1）2024 年 3 月

按照海洋沉积物质量一类标准评价，沉积物各项指标调查结果的质量指数如表 6.5-5 所示。由计算结果可知，该次现场调查沉积物样品各项监测参数均符合第一类沉积物标准。

表 6.5-5 表层沉积物标准指数表

站号	油类	总汞	铜	铅	锌	镉	铬	砷
L1	<0.01	0.12	<0.01	<0.01	0.13	0.13	0.30	0.07
超标率%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

（2）2020 年 4 月

按照海洋沉积物质量一类标准评价，沉积物各项指标调查结果的质量指数如表 6.5-6 所示。由计算结果可知，该次调查沉积物样品各项监测参数均符合第一类沉积

物标准。调查海区表层沉积物环境整体较好。

表 6.5-6 表层沉积物标准指数表

站号	石油类	总汞	铜	铅	锌	镉	铬	砷	硫化物
SS15	0.05	0.17	0.38	0.38	0.55	<0.01	0.55	0.56	0.05
SS19	0.03	0.15	0.32	0.34	0.54	<0.01	0.47	0.39	0.05
SS21	0.03	0.14	0.26	0.30	0.43	<0.01	0.39	0.35	0.02
SS24	0.02	0.14	0.25	0.27	0.59	<0.01	0.38	0.40	0.04
BY3	0.01	0.22	0.35	0.36	0.51	<0.01	0.44	0.43	0.02

6.6 海洋生态现状调查与评价

6.6.1 调查时间与调查站位

国家海洋局南海调查技术中心 2024 年 3 月调查中全部站位都有叶绿素 a 含量、初级生产力、浮游植物、浮游动物、鱼卵仔稚鱼调查在实际调查过程中，受调查海域水深、现场调查船舶限制，预设站位未成功获取到底栖生物、游泳生物样品完成。

国家海洋局南海环境监测中心于 2022 年 4 月在海南岛东南部海域进行了调查，本次引用该次调查中的 9 个站位的底栖生物调查数据成果。引用站位见表 6.6-1 和图 6.6-1 。

表 6.6-1 海洋生态调查站位表

序号	来源	站号	经度	纬度	调查内容
一、叶绿素 a 含量、初级生产力、浮游植物、浮游动物、鱼卵仔稚鱼					
1	[REDACTED]	1	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
2		2	[REDACTED]	[REDACTED]	
3		3	[REDACTED]	[REDACTED]	
4		4	[REDACTED]	[REDACTED]	
5		5	[REDACTED]	[REDACTED]	
6		6	[REDACTED]	[REDACTED]	
7		7	[REDACTED]	[REDACTED]	
8		8	[REDACTED]	[REDACTED]	
9		9	[REDACTED]	[REDACTED]	
10		10	[REDACTED]	[REDACTED]	
[REDACTED]					
11	[REDACTED]	11	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
12		12	[REDACTED]	[REDACTED]	
13		13	[REDACTED]	[REDACTED]	
14		14	[REDACTED]	[REDACTED]	
15		15	[REDACTED]	[REDACTED]	
16		16	[REDACTED]	[REDACTED]	
17		17	[REDACTED]	[REDACTED]	
18		18	[REDACTED]	[REDACTED]	
19		19	[REDACTED]	[REDACTED]	
20		20	[REDACTED]	[REDACTED]	

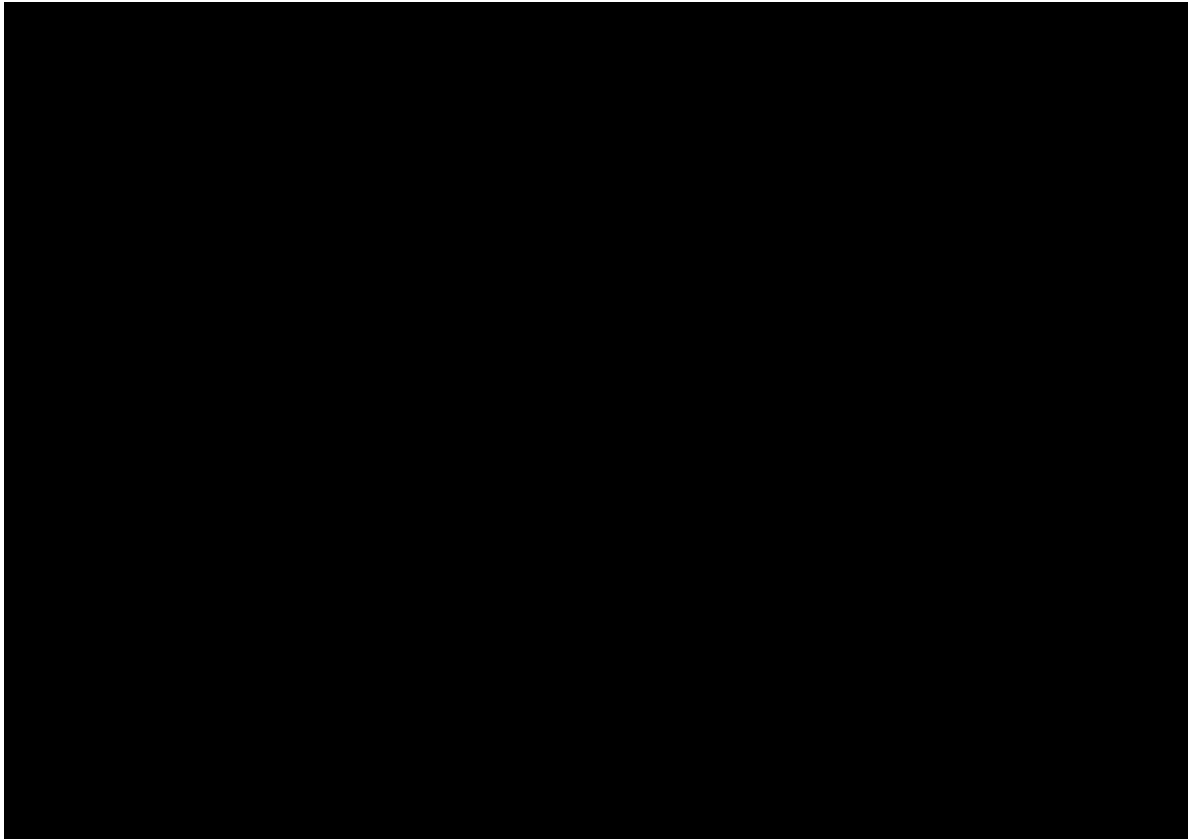


图 6.6-1 海洋生态调查站位分布图

6.6.2 调查项目与统计分析方法

6.6.2.1 调查项目

海洋生态调查项目包括：叶绿素 a 及初级生产力；浮游植物（种类、个体数量、分布、多样性指数和均匀度）；浮游动物（生物量、种类、数量、多样性和均匀度）；底栖生物（种类、分布、栖息密度、生物量、多样性指数和均匀度、群落特征）。

6.6.2.2 采样与分析方法

叶绿素 a：叶绿素 a 与水质调查同步进行，当 $25\text{m} \leq \text{水深} \leq 50\text{m}$ 时，取样 3 层，即表层下 0.1-1m、10m、底层上距海底 2m 处分别采样；当 $50\text{m} < \text{水深} \leq 200\text{m}$ 时，取样 4 层，在表层下 0.1-1m、10m、50m、底层上距海底 2m 处分别采样。现场过滤，滤膜冷藏，带回实验室分析测定。

浮游植物：浮游植物的采集和分析均按《海洋监测规范》（GB17378—2007）和《海洋调查规范—海洋生物调查》（GB/T12763.6—2007）中规定的方法进行。浮游植物样品用小型浮游生物网取样。水深小于 200m 时，自底层（距底 2m）至表层垂

直拖网取得，水深大于 200m 时，拖网取样只取 200m 以上。样品现场用福尔马林固定，带回实验室，进行种类鉴定和定量分析。定量计数用计数框，整片计数，取其平均密度，通过过滤的水柱，测算出每个调查站位浮游植物的密度，单位以每立方米多少个细胞数表示（cells/m³）。

浮游动物：浮游动物的采集和分析均按《海洋监测规范》（GB17378—2007）和《海洋调查规范—海洋生物调查》（GB/T12763.6—2007）中规定的方法进行。浮游动物样品用大型浮游生物网取样，样品用中性甲醛溶液固定，加入量为样品体积的 5%，带回实验室分析鉴定和计数。测定分析种类组成、数量、分布、优势度、多样性指数和均匀度。

底栖生物：底栖生物的采集和分析均按《海洋监测规范》（GB17378—2007）和《海洋调查规范—海洋生物调查》（GB/T12763.6—2007）中规定的方法进行。样品用中性甲醛溶液固定，加入量为样品体积的 5%，带回实验室分析鉴定和计数。测定分析种类组成、数量、分布、优势度、多样性指数和均匀度。

综上所述，海洋生物调查中样品的采集保存、运输均按照《海洋监测规范》（GB17378-2007）和《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）进行操作。预处理、保存及监测分析方法按照《海洋监测规范》（GB17378-2007）、《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）和《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）进行，见表 6.6-2。

表 6.6-2 海洋生态调查项目监测分析方法

序号	监测项目	样品预处理及保存方法	样品测定方法
1	叶绿素 a	0.45μm 滤膜过滤冷冻	分光光度法
2	浮游植物	加入占样品体积 5%的甲醛溶液固定	显微镜鉴定；浓缩计数法计数
3	浮游动物	加入占样品体积 5%的甲醛溶液固定	计数框计数；体视显微镜鉴定；湿重法测定生物量
4	底栖生物	加入占样品体积 5%的甲醛溶液固定	人工鉴定种类、计数、测定生物量和栖息密度

6.6.2.3 统计方法

（1）初级生产力

根据叶绿素 a 调查结果通过公式估算（Cadée, 1974）得到。

$$P=Ps \cdot E \cdot D / 2$$

式中：Ps——叶绿素 a 含量*同化系数（本调查中取值 3.12）；

E——真光层深度（m），取透明度*3；

D——为日照时间长度（本调查中取值 13）。

(2) 优势度

优势度（Y）应用以下公式计算：

$$Y = n_i / N \cdot f_i$$

式中：n_i——第 i 种的个体数；

f_i——该种在各站中出现的频率；

N——所有站每个种出现的总个体数。

(3) 多样性指数

采用 Shannon-Wiener 指数测定多样性指数，其计算公式为：

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

式中：H'——种类多样性指数；

S——样品中的种类总数

P_i——第 i 种的个体数与总个体数的比值。

(4) 均匀度指数

采用 Pielou 均匀度测定均匀度，其公式为：

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

式中：J——均匀度；

H'——种类多样性指数

S——样品中的种类总数

6.6.3 调查结果

6.6.3.1 叶绿素 a 和初级生产力

叶绿素 a 和初级生产力调查结果见表 6.6-3。春季调查各站叶绿素 a 含量变化范围为 0.01mg/m³~0.56mg/m³，平均值为 0.15mg/m³，不同站位、不同层次变化较大。初级生产力水平的变化范围为 188.87mg·C/m²·d ~335.63mg·C/m²·d，平均值为 272.95mg·C/m²·d。

表 6.6-3 叶绿素 a 和初级生产力调查结果

站位	叶绿素 a (mg/m ³)						透明度 (m)	初级生产力 mg·C/m ² ·d
	表层	10m	50m	100m	200m	平均		
██	██	██	██	██	██	██	█	██

门类 站位	蓝藻门	甲藻门	金藻门	硅藻门	裸藻门	总计
S12	74.46	0.79	0.00	47.43	0.09	122.76
S13	147.15	4.05	0.00	537.08	0.00	688.28
S14	61.13	1.28	0.00	50.55	0.00	112.95
S15	63.70	2.01	0.00	72.71	0.00	138.43
S16	32.55	0.83	0.00	10.95	0.00	44.33
最小值	32.55	0.79	0.00	10.95	0.00	44.33
最大值	235.50	7.75	0.15	537.08	0.09	688.28
平均值	125.82	3.29	0.03	112.41	0.01	241.55

（3）优势种及分布

按照优势度 $Y \geq 0.02$ 来确定本次调查浮游植物的优势种有 6 种（见表 6.6-5），分别是：铁氏束毛藻 *Trichodesmium thiebautii*、红海束毛藻 *Trichodesmium erythraeum*、细弱海链藻 *Thalassiosira subtilis*、紧挤角毛藻 *Chaetoceros coarctatus*、宽梯形藻 *Climacosphenia moniligera* 和长海毛藻 *Chaetoceros coarctatus*。其铁氏束毛藻的优势度最高，为 0.406，为暖水性种；其次是细弱海链藻，优势度为 0.193，为广布性物种；紧挤角毛藻的优势度为 0.078，为热带至亚热带外洋性种；红海束毛藻的优势度为 0.055，为热带性种；长海毛藻的优势度为 0.053，为热带性种；宽梯形藻的优势度为 0.022，为热带和亚热带外洋性种。

表 6.6-5 调查站位浮游植物优势种及栖息密度分布 ($\times 10^2 \text{cells/m}^3$)

优势种 站位	铁氏束毛藻	红海束毛藻	细弱海链藻	紧挤角毛藻	宽梯形藻	长海毛藻
S07	206.40	0.00	7.65	19.50	0.00	3.30
S08	54.38	0.00	3.00	15.50	9.25	5.38
S09	115.25	84.25	130.25	13.75	1.63	11.88
S10	183.45	0.00	3.60	3.45	2.25	0.75
S11	151.20	84.30	8.25	28.35	6.90	5.55
S12	16.80	57.66	6.21	11.99	0.00	8.49
S13	108.00	30.15	288.00	71.33	26.33	64.35
平均值	98.06	26.51	46.56	18.92	7.70	12.79
优势度 Y	0.406	0.055	0.193	0.078	0.022	0.053

（4）多样性水平

各调查站位浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 和 Pielou 均匀度指数

(J) 如表 6.6-6 所示。调查站位浮游植物的 Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 范围在 0.97~3.10 之间, 平均值为 2.30, 其中 S14 号站位多样性指数最高 (3.10), S13 号站位次之 (2.91), S10 号站位的多样性指数最低 (0.97)。整体来说, 调查站位多样性指数水平一般。

各调查站位浮游植物的 Pielou 均匀度指数 (J) 范围在 0.20~0.59 之间, 平均值为 0.47, 其中 S12 号站、S13 号站和 S14 号站位最高, 为 0.59, S15 号站位次之 (0.55), S10 号站位最低, 为 0.20。整体来说, 调查站位均匀度水平较低。

各调查站位浮游植物的丰富度指数 (d) 范围在 0.99~2.73 之间, 平均值为 1.96, 其中 S09 号站位最高, 为 2.73, S14 号站位次之 (2.67), S16 号站位最低 (0.99)。

表 6.6-6 各站位浮游植物的多样性水平

调查站位	种类数	多样性指数 (H')	均匀度指数 (J)	丰富度指数 (d)
S07	29	1.43	0.29	1.91
S08	31	2.58	0.52	2.25
S09	43	2.87	0.53	2.73
S10	28	0.97	0.20	1.88
S11	29	2.30	0.47	1.88
S12	26	2.76	0.59	1.84
S13	30	2.91	0.59	1.80
S14	37	3.10	0.59	2.67
S15	24	2.52	0.55	1.67
S16	13	1.53	0.41	0.99
最小值	13	0.97	0.20	0.99
最大值	43	3.10	0.59	2.73
平均值	--	2.30	0.47	1.96

6.6.3.3 浮游动物

(1) 种类组成

本次调查共记录浮游动物 9 个生物类群共 95 种。其中桡足类 47 种, 占总种数的 49.47%; 水母类和端足类各 10 种, 各占总种数的 10.53%; 浮游幼体 8 种, 占总种数的 8.42%; 介形类和毛颚类各 5 种, 各占总种数的 5.26%; 翼足类和被囊类各 4 种, 各占总种数的 4.21%; 十足类 2 种, 占总种数的 2.11%。

(2) 密度及生物量分布

本次调查中, 各站位的浮游动物密度在 5.82ind./m³~46.47ind./m³ 之间, 平均密度为 27.73ind./m³, 其中 S09 号站的浮游动物密度最高, 为 46.47ind./m³; S07 号站次之, 为 39.10ind./m³; S10 号站的密度最低, 为 5.82ind./m³。各站位的浮游动物生物量的变化范围在 2.510mg/m³~30.190mg/m³ 之间, 平均生物量为 17.928mg/m³, 最高值出现在

S13 号站 ($30.190\text{mg}/\text{m}^3$)，最低值出现在 S10 号站 ($2.510\text{mg}/\text{m}^3$)。

表 6.6-7 调查站位浮游动物密度和生物量

调查站位	密度 ($\text{ind.}/\text{m}^3$)	生物量 (mg/m^3)
S07	39.10	26.850
S08	33.69	20.420
S09	46.47	23.440
S10	5.82	2.510
S11	37.16	25.560
S12	9.95	3.180
S13	37.19	30.190
S14	26.35	21.830
S15	25.39	16.230
S16	16.19	9.070
最大值	46.47	30.190
最小值	5.82	2.510
平均值	27.73	17.928

(3) 优势种及其分布

优势度计算方法与浮游植物相同，计算各浮游动物的优势度（幼体类和鱼卵稚仔鱼不计），根据 $Y \geq 0.02$ 确定调查海域的优势种。本次调查海域浮游动物优势种有 13 种，为桡足类中达氏宇哲水蚤 *Cosmocalanus darwinii*、微刺哲水蚤 *Canthocalanus pauper*、瘦新哲水蚤 *Neocalanus gracilis*、异尾宽水蚤 *Temora discaudata*、精致真刺水蚤 *Euchaeta concinna*、截拟平头水蚤 *Paracandacia truncata*、丹氏厚壳水蚤 *Colecithrix danae*、狭额次真哲水蚤 *Subeucalanus subtenius* 和奇浆水蚤 *Copilia mirabilis*；毛颚类中的肥胖箭虫 *Sagitta enflata* 和百陶箭虫 *Sagitta bedoti*；水母类中的小拟多面水母 *Abylopsis eschscholtzi* 和爪室水母 *Chelophyes appendiculata*。其中优势度最大的为微刺哲水蚤 *Canthocalanus pauper* ($Y=0.097$)，为最优势种。

(5) 多样性水平

调查海域浮游动物 Shannon-Wiener 多样性指数 (H')、Pielou 均匀度指数 (J) 和丰富度 (d) 如表 6.6-8 所示。各调查站位的 Shannon-Wiener 多样性指数在 4.80~5.27 之间，平均值为 5.00，最高值出现在 S09 号站 (5.27)，最低值出现在 S07 号站 (4.80)；Pielou 均匀度指数变化范围在 0.81~0.89 之间，平均值为 0.83，最高值出现在 S12 号站 (0.89)，最低值出现在 S08 号站、S14 号站和 S15 号站 (均为 0.81)；丰富度 (d) 在 10.78~23.22 之间，平均值为 14.70，最高值出现在 S10 号站 (23.22)，最低值出现在 S07 号站 (10.78)。总体来说，调查站位的多样性指数和均匀度均处于较高水平。

表 6.6-8 调查海域浮游动物多样性水平

调查站号	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (d)
S07	58	4.80	0.82	10.78
S08	66	4.88	0.81	12.81

调查站号	种类数	多样性指数 (H')	均匀度 (J)	丰富度 (d)
S09	78	5.27	0.84	13.90
S10	60	4.94	0.84	23.22
S11	65	4.92	0.82	12.27
S12	59	5.25	0.89	17.50
S13	77	5.26	0.84	14.57
S14	62	4.84	0.81	12.92
S15	68	4.95	0.81	14.36
S16	60	4.92	0.83	14.69
最小值	58	4.80	0.81	10.78
最大值	78	5.27	0.89	23.22
平均值	—	5.00	0.83	14.70

6.6.3.4 底栖生物

(1) 种类组成

调查共鉴定出 7 大类 104 种底栖生物。其中节肢动物种类数最多，有 43 种，占总种类数的 41.3%；其次为软体动物，有 15 种，占 14.4%；环节动物有 14 种，占 13.5%；棘皮动物有 13 种，占 12.5%；脊索动物有 10 种，占 9.6%；腔肠动物有 8 种，占 7.7%；纽形动物有 1 种，占 1.0%。

(2) 生物量和栖息密度

底栖生物各站生物量和栖息密度见表 6.6-9。调查海域底栖生物栖息密度变化范围为 (0~15) 个/m²，平均栖息密度为 8.33 个/m²。底栖生物生物量变化范围为 (0~2.99) g/m²，平均生物量为 0.75g/m²。

表 6.6-9 底栖生物各站的栖息密度 (个/m²) 和生物量 (g/m²)

序号	站位	栖息密度 (个/m ²)	生物量 (g/m ²)
1	P3	10	0.48
2	P8	5	0.03
3	P13	15	0.09
4	P16	10	0.57
5	P18	0	2.99
6	P21	0	0
7	P23	5	0.15
8	P26	15	0.9
9	P28	15	1.54
最小值		0	0
最大值		15	2.99
平均值		8.33	0.75

(3) 优势种

本次调查底栖生物定性的优势种有 2 种，主要优势种为银光梭子蟹和黄鳍马面鲀，优势度分别为 0.044 和 0.037。海区定量样品无优势种。

（4）种类多样性指数、均匀度和丰富度

本次调查底栖生物多样性指数、均匀度和丰富度见表 6.6-10。

调查海区底栖生物种类多样性指数（ H' ）的变化范围为 2.32~4.81，平均值为 3.24；均匀度（ J ）的变化范围为 0.88~1.00，平均值为 0.96；丰富度（ d ）的变化范围为 1.67~5.94，平均值为 2.83。调查海区生物多样性较好；均匀度平均值较高，种类分布较均匀；丰富度变化较大，平均值中等。总的来说，调查海区底栖生物分布较均匀，生物群落结构较稳定。

表 6.6-10 底栖生物多样性指数、均匀度和丰富度

序号	站位	多样性指数（ H' ）	均匀度指数（ J ）	丰富度指数（ d ）
1	P3	4.81	0.92	5.94
2	P8	4.47	0.94	4.56
3	P13	3.86	0.88	3.18
4	P16	2.58	1.00	1.93
5	P18	2.5	0.97	1.67
6	P21	2.99	1.00	2.33
7	P23	2.84	0.95	2.11
8	P26	2.32	1.00	1.72
9	P28	2.75	0.98	2
最小值		2.32	0.88	1.67
最大值		4.81	1.00	5.94
平均值		3.24	0.96	2.83

6.7 渔业资源现状调查及评价

6.7.1 调查时间与调查站位

国家海洋局南海调查技术中心于 2024 年 3 月进行了鱼卵仔稚鱼调查，受调查海域水深、现场调查船舶限制，预设站位未成功获取到游泳生物样品。

国家海洋局南海环境监测中心于 2022 年 4 月在海南岛东南部海域进行了调查，共布设 12 个调查站位，本次引用该次调查全部站位游泳生物调查数据成果。见表 6.7-1。

表 6.7-1 渔业资源调查站位表

序号	来源	站号	经度	纬度	调查内容
一、鱼卵仔稚鱼					
■	■■■■	■	■■■■■■■■	■■■■■■■■	■■■■■■
■		■	■■■■■■■■	■■■■■■■■	
■		■	■■■■■■■■	■■■■■■■■	
■		■	■■■■■■■■	■■■■■■■■	

■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■					
■	■ ■ ■	■	■	■	■
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	
■		■	■	■	

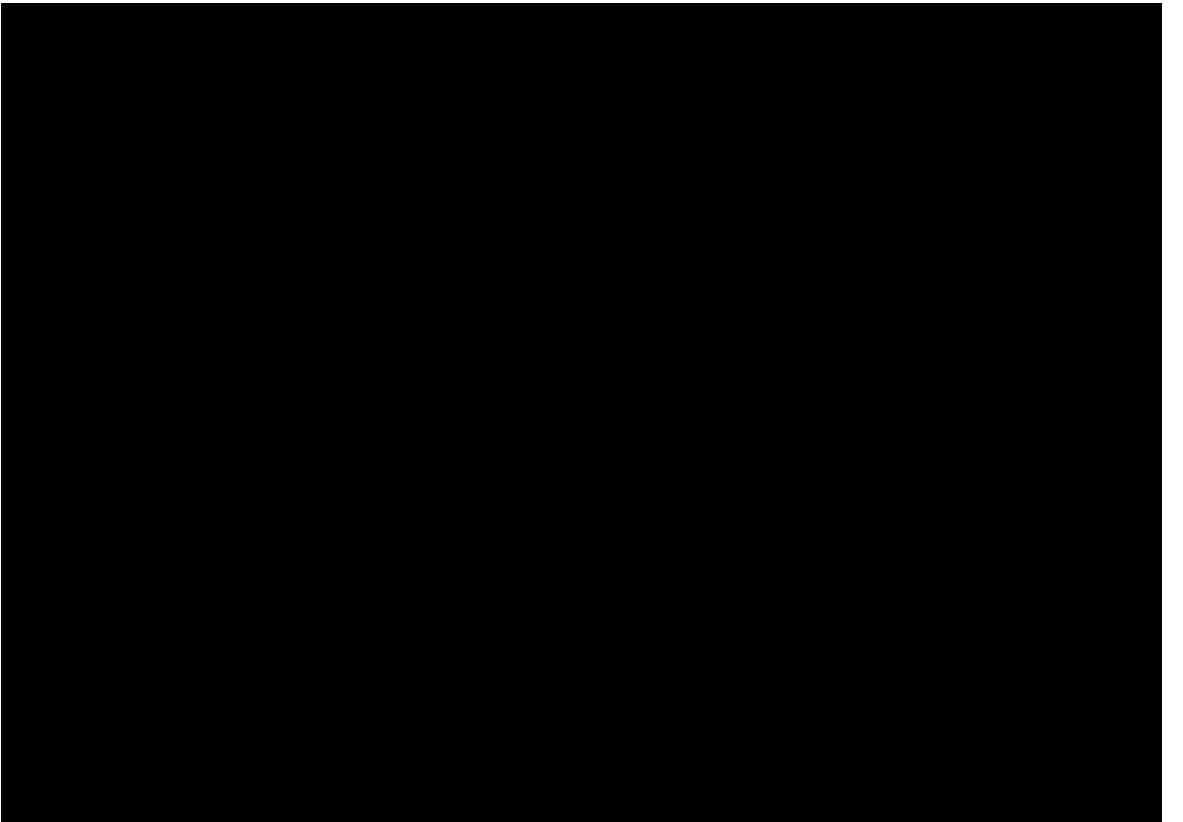


图 6.7-1 渔业资源 调查站位分布图

6.7.1 调查分析方法

渔业资源调查的采样和分析均按《海洋调查规范-海洋生物调查》（GB12763.6-2007）及中华人民共和国农业部 2008 年 3 月颁布的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》中规定的方法进行。

（1）鱼卵仔鱼

采用拖网法，根据水深情况网具采用大型浮游生物网，水平拖网于表层水平拖曳 10 分钟取得，拖速保持在 2 节左右。海上采得的浮游生物样品按体积 5%的量加入福尔马林溶液固定，带回实验室后将鱼卵仔鱼样品单独挑出，在解剖镜下计数和鉴定。

（2）游泳生物

调查以底拖网和灯光罩网共两种作业方式进行。拖网调查调查船为“桂防渔 21888”渔船，渔船吨位 300t，主机功率 441kW。采样网具为 404 型生产网具，上纲长度 37.7 m，网口周目数 404 目，网口网目尺寸 200 mm，网衣全长 60.5m，网囊目尺寸 39 mm。每个调查站位采样 1 次，每次拖网 1h，拖速 2.0-3.5kn，平均 2.78kn。

灯光罩网渔船为“桂钦渔 61089”，渔船吨位 493 t，总长 39.24 m，主机功率 352 kW。渔船船舷上方并排架设 456 盏金属卤化物集鱼灯，每盏 1.5 kW；灯光罩网臂架长度 40m，网具主尺度 100 m× 60 m；网口网目尺寸为 36 mm，网囊网目尺寸为 20mm。每天 19:00 左右开灯诱鱼，2h 后开始扣罩所诱集鱼类。

本项目调查与分析方法见表 6.7-2。

表 6.7-2 海洋渔业资源调查分析方法

序号	调查项目	样品采集及调查方法
1	鱼卵、仔鱼	在各测站用浅水I型浮游生物网和流量计采样。拖网持续 10min，拖速约为 2kn。
2	游泳生物	以底拖网和灯光罩网共两种作业方式进行。进行，底拖网每站进行一次拖网，每站拖曳 60min。进行渔获物分类统计生物量和生物学测量。

6.7.2 鱼卵仔鱼

6.7.2.1 种类组成

本次调查鱼类浮游生物水平和垂直采样调查共获得鱼卵 956ind.，仔稚鱼 390ind.。经鉴定共有 27 种，隶属于鳗鲡目、鲉形目、鲱形目、仙女鱼目、鹤鱵目、金眼鲷目、灯笼鱼目、鲈形目和鲽形目等 9 目 24 科。

水平拖网，鱼类浮游生物水平拖网调查共获得鱼卵 496ind.，仔稚鱼 305ind.。经鉴定共有 24 种，隶属于 9 目 22 科，其中鲈形目为 8 种，占总种数的 33.33%；鲱形目和鲽形目均有 4 种，各占总种数的 16.67%；鳗鲡目和仙女鱼目均有 2 种，各占总种

数的 8.33%；金眼鲷目、鹤鱵目、鲉形目和灯笼鱼目种类均为 1 种，各占总种数的 4.17%。水平拖网的鱼卵中发现鲈形目鲷科数量最多（311ind.），在本次调查鱼卵中具有数量上的绝对优势，其余种类发现鱼卵数量为（1~42）ind.。仔稚鱼中发现灯笼鱼目灯笼鱼科（258ind.）最多，此种在仔稚鱼中具有数量上的绝对优势，其余种类发现仔稚鱼数量为（1~13）ind.。

垂直拖网，鱼类浮游生物垂直拖网调查共获得鱼卵 460ind.，仔稚鱼 85ind.。经鉴定共有 23 种，隶属于 7 目 20 科，其中鲈形目为 10 种，占总种数的 43.48%；鲱形目为 5 种，占总种数的 21.74%；鲹形目为 3 种，占总种数的 13.04%；仙女鱼目为 2 种，占总种数的 8.70%；鳗鲡目、鹤鱵目和灯笼鱼目均为 1 种，各占总种数的 4.35%。垂直拖网鱼卵中鲱形目鳀属发现数量最多（263ind.），在本次调查鱼卵中具有数量上的绝对优势，其余种类发现鱼卵数量为（1~121）ind.。垂直拖网调查仔稚鱼中发现有仙女鱼目蜥蜴鱼科最多（41ind.），在本次调查仔稚鱼中具有数量上绝对的优势，其余种类发现仔稚鱼数量为（1~12）ind.。

6.7.2.2 数量分布

本次水平拖网鱼类浮游生物的空间分布情况如表 6.7-3 所示，鱼卵的数量分布范围在 6ind./net~98ind./net 之间，平均值为 49.60ind./net，其中在 S08 站位发现鱼卵数量最高（98ind./net），其次为 S11 站位（84ind./net），S12 号站鱼卵数量最低（6ind./net）。仔稚鱼的数量分布范围在 1ind./net~178ind./net 之间，平均数量为 30.50ind./net，S09 站位出现最高，数量为 178ind./net，其次为 S11 站位（82ind./net），S07、S08 和 S14 站位最低，均为 1ind./net。

表 6.7-3 鱼类浮游生物水平拖网密度及其分布

站位	鱼卵发育期	
	鱼卵（ind./net）	仔稚鱼（ind./net）
S07	78	1
S08	98	1
S09	33	178
S10	31	6
S11	84	82
S12	6	2
S13	26	27
S14	56	1
S15	45	5
S16	39	2
最大值	98	178
最小值	6	1
平均值	49.60	30.50

本次垂直拖网鱼类浮游生物的空间分布情况如表 6.7-4 所示，鱼卵的密度分布范

围在 0.060ind./m³~2.610ind./m³ 之间，平均值为 0.460ind./m³，其中在 S08 站位发现鱼卵密度最高（2.610ind./m³），其次为 S11 站位（0.480ind./m³），S12 站位密度最低（0.060ind./m³）；仔稚鱼的密度分布范围在 0.000ind./m³~0.210ind./m³ 之间，平均密度为 0.085ind./m³，S11 站位出现最高，密度为 0.210ind./m³，其次为 S08 站位（0.160ind./m³），S16 站位仔稚鱼密度最低，未发现仔稚鱼（0.000ind./m³）。

表 6.7-4 鱼类浮游生物垂直拖网密度及其分布

站位	鱼卵发育期	
	鱼卵（ind./m ³ ）	仔稚鱼（ind./m ³ ）
S07	0.210	0.070
S08	2.610	0.160
S09	0.100	0.060
S10	0.420	0.140
S11	0.480	0.210
S12	0.060	0.140
S13	0.080	0.030
S14	0.320	0.010
S15	0.230	0.030
S16	0.090	0.000
最大值	2.610	0.210
最小值	0.060	0.000
平均值	0.460	0.085

6.7.2.3 优势种组成

优势种以优势度（Y）≥0.02 为判断依据，经计算，水平拖网调查鱼卵中数量占优势的种为鳀属 *Engraulis sp.*、带鱼科 *Trichiuridae*、鲷科 *Sparidae*、天竺鲷科 *Apogonidae* 和石首鱼科 *Sciaenidae*，优势度分别为 0.031、0.043、0.630、0.043 和 0.026，其中最优势种为鲈形目鲷科；仔稚鱼中优势种为灯笼鱼科 *Myctophidae* 和魮蜥鱼科 *Paralepididae*，优势度分别为 0.255 和 0.021，其中最优势种为灯笼鱼目灯笼鱼科。

垂直拖网调查鱼卵中数量占优势的种为鳀属 *Engraulis sp.*、鲷科 *Sparidae*、天竺鲷科 *Apogonidae* 和魮科 *Carangidae*，优势度分别为 0.286、0.021、0.263 和 0.037，其中最优势种是鲱形目鳀属；仔稚鱼中优势种为鲱科 *Clupeidae*、鳀科 *Engraulidae*、灯笼鱼科 *Myctophidae*、魮蜥鱼科 *Paralepididae* 和鲷科 *Stromateidae*，优势度分别为 0.059、0.024、0.085、0.338 和 0.041，其中最优势种为仙女鱼目魮蜥鱼科。

6.7.2.4 小结

鱼卵、仔稚鱼是反映海域资源潜力和资源保持的重要指标，在海洋生态环境评估具有重要意义。本次鱼卵、仔稚鱼调查结果显示：经鉴定共有 27 种，隶属于鳀鲷目、鲷形目、鲱形目、仙女鱼目、鹤鱵目、金眼鲷目、灯笼鱼目、鲈形目和鲈形目

等 9 目 24 科。水平拖网获得鱼卵与仔稚鱼 24 种，调查站位鱼卵和仔稚鱼水平拖网的平均数量分别为 49.60ind./net 和 30.50ind./net，其中鱼卵最优势种为鲈形目鲷科，仔稚鱼最优势种为灯笼鱼目灯笼鱼科；垂直拖网获得鱼卵与仔稚鱼 23 种，调查站位鱼卵和仔稚鱼垂直拖网的平均密度分别为 0.460ind./m³和 0.085ind./m³，其中鱼卵最优势种为鲱形目鳀属，仔稚鱼最优势种为仙女鱼目鲈鱼科。

6.7.3 游泳生物
6.7.3.1 种类组成

游泳生物共捕获游泳生物种类 14 目 44 科 61 属 81 种，其中鱼类 62 种、占总种数的 76.54%，虾类 3 种、占总种数的 3.70%，蟹类 7 种、占总种数的 8.64%，虾蛄类 3 种、占总种数的 3.70%，头足类 6 种、占总种数的 7.41%。

6.7.3.2 总资源评估

渔业资源总重量资源密度在（12.68~6884.84）kg/km² 之间，平均值为 2244.42kg/km²；总资源密度在（939~439286）尾/km² 之间，平均值在 224838 尾/km²。

表 6.7-5 调查海域游泳生物资源状况

站位	重量资源密度（kg/km ² ）	尾数资源密度（尾/km ² ）
T1	3722.78	308067
T2	6884.84	439286
T3	2714.45	338740
T4	12.68	939
T5	1764.39	403142
T6	1020.62	109522
T8	1030.85	89164
T9	1869.56	212023
T10	1179.62	122657
最小值	12.68	939
最大值	6884.84	439286
平均值	2244.42	224838

6.7.3.3 鱼类资源

（1）种类组成

调查中底拖网和灯光罩网 2 种作业方式共捕获鱼类 111 种，隶属 15 目 55 科。评价区鱼类占鱼类总渔获量的 1%以上的种类共有 18 种，以发光鲷占绝对优势，分别占重量和尾数 84.3 %和 95.2%。经济鱼类有黄鳍马面鲀、条尾绯鲤、竹荚鱼、花斑蛇鲭和长体圆鲹等种类，合计占鱼类总渔获量的 53.7%，占鱼类总渔获尾数的 34.8%。

（2）优势种

本次调查游泳生物优势种有 8 种，为黄鳍马面鲀、发光鲷、半线天竺鲷、弓背鰐齿鱼、短鰧、短线腭竺鱼、条尾绯鲤和日本棘花鮨，*IRI* 为 7659、1998、958、879、256、227、179 和 111。

（3）渔获率

调查海域鱼类渔获率重量变化范围为（0.81~379.03）kg/h，平均为 127.31kg/h；渔获率尾数变化范围为（60~26033）尾/h，平均为 13300 尾/h。鱼类渔获总体分布见表 6.7-6。

表 6.7-6 调查海域鱼类渔获率分布

站位	重量渔获率 (kg/h)	尾数渔获率 (尾/h)
T1	227.64	16798
T2	379.03	25752
T3	145.46	20099
T4	0.81	60
T5	112.07	26033
T6	60.83	6411
T8	44.89	3935
T9	110.21	13027
T10	64.81	7586
最小值	0.81	60
最大值	379.03	26033
平均值	127.31	13300

（4）资源密度和资源量评估

鱼类资源重量密度范围为（12.57~5855.36）kg/km²，平均重量 1966.64kg/km²。尾数资源密度范围为（927~397815）尾/km²，平均 205461 尾/km²。各调查站的资源密度见表 6.7-7。

表 6.7-7 各调查站位鱼类资源密度

站位	重量资源密度(kg/km ²)			尾数资源密度(尾/km ²)		
	幼体	成体	总计	幼体	成体	总计
T1	1618.98	1897.69	3516.67	121129	138369	259498
T2	2591.76	3263.60	5855.36	181797	216018	397815
T3	932.81	1314.25	2247.06	141972	168521	310493
T4	3.96	8.61	12.57	428	499	927
T5	426.31	1304.93	1731.24	122780	279381	402161
T6	394.69	544.95	939.64	51976	47067	99043

T8	244.32	449.11	693.43	26539	34246	60785
T9	891.19	811.38	1702.57	102682	98556	201238
T10	295.25	705.96	1001.21	55802	61388	117190
最小值	3.96	8.61	12.57	428	499	927
最大值	2591.76	3263.60	5855.36	181797	216018	397815
平均值	822.14	1144.50	1966.64	89456	116005	205461

6.7.3.4 头足类资源

（1）种类组成

调查海域共获得头足类 11 种，隶属于 3 目 4 科。

（2）优势种

调查海域优势种为剑尖枪乌贼、短蛸、杜氏枪乌贼、太平洋褶柔鱼和中国枪乌贼，*IRI* 为 6118、2920、1238、779 和 688。

（3）渔获率分布

本次调查渔获头足类重量变化范围为（0.01~56.55）kg/h，平均为 12.70kg/h；渔获头足类数量变化范围为（1~1932）尾/h，平均为 520 尾/h。调查海域头足类总体渔获率如表 6.7-8。

表 6.7-8 调查海域头足类渔获分布

站位	重量渔获率 (kg/h)	尾数渔获率 (尾/h)
T1	7.29	407
T2	56.55	1932
T3	14.25	538
T4	0.01	1
T5	2.15	64
T6	1.81	77
T8	17.79	1365
T9	6.70	108
T10	7.72	192
最小值	0.01	1
最大值	56.55	1932
平均值	12.70	520

（4）资源密度和资源量评估

调查海域头足类重量密度范围为（0.11~873.52）kg/km²，平均重量 196.12kg/km²。尾数资源密度范围为（12~29839）尾/km²，平均 8038 尾/km²。各调查站的资源密度见表 6.7-9。

表 6.7-9 各调查站位头足类资源密度

站位	重量资源密度(kg/km ²)	尾数资源密度(尾/km ²)
----	-----------------------------	----------------------------

	幼体	成体	总计	幼体	成体	总计
T1	26.53	86.06	112.59	1513	4774	6287
T2	474.16	399.36	873.52	13804	16035	29839
T3	110.39	109.75	220.14	3409	4902	8311
T4	0.01	0.10	0.11	3	9	12
T5	11.36	21.79	33.15	455	526	981
T6	3.36	24.58	27.94	243	953	1196
T8	42.46	232.43	274.89	4217	16866	21083
T9	14.95	88.54	103.49	242	1421	1663
T10	23.17	96.09	119.26	736	2230	2966
最小值	0.01	0.10	0.11	3	9	12
最大值	474.16	399.36	873.52	13804	16866	29839
平均值	78.49	117.63	196.12	2736	5302	8038

6.7.3.5 甲壳类资源

(1) 种类组成

调查海域渔获甲壳类 29 种（其名录详见附表 29），分隶 2 目 16 科。

(2) 优势种

调查海域甲壳类的优势种为拥剑梭子蟹、拟须虾、武士蟳、爱德华红虾、日本单肢虾、尖刺糙虾蛄、虾 sp 和九齿扇虾，IRI 为 2296、2261、1148、333、179、173、137 和 119。

(3) 渔获率分布

调查海域甲壳类渔获总体分布如表 6.2-11。调查海域甲壳类渔获重量变化范围为（0~16.01）kg/h，平均为 5.29kg/h。调查海域渔获甲壳类数量变化范围为（0~2445）尾/h，平均为 734 尾/h。

表 6.7-10 调查海域甲壳类渔获率分布

站位	重量(kg/h)	尾数(尾/h)
T1	2.28	292
T2	10.10	753
T3	16.01	1291
T4	0	0
T5	3.77	2445
T6	3.43	601
T8	4.05	472
T9	4.11	590
T10	3.83	162
最小值	0	0
最大值	16.01	2445
平均值	5.29	734

(4) 资源密度和资源量评估

调查海域甲壳类重量密度范围为（0~247.25）kg/km²，平均重量 81.66kg/km²。尾数资源密度范围为（0~37771）尾/km²，平均 11339 尾/km²。各调查站的资源密度

见表 6.7-11。

表 6.7-11 各调查站位甲壳类资源密度

站位	重量资源密度(kg/km²)			尾数资源密度(尾/km²)		
	幼体	成体	总计	幼体	成体	总计
T1	1.85	33.36	35.21	186	4325	4511
T2	28.93	127.03	155.96	2122	10394	11632
T3	30.98	216.27	247.25	3371	18157	19936
T4	0	0	0	0	0	0
T5	9.81	48.50	58.31	759	34683	37771
T6	1.51	51.53	53.04	390	8786	9283
T8	37.56	24.97	62.53	7095	1621	7296
T9	5.00	58.50	63.50	198	8398	9122
T10	6.77	52.38	59.15	640	2363	2501
最小值	0	0	0	0	0	0
最大值	37.56	216.27	247.25	7095	34683	37771
平均值	13.60	68.06	81.66	1640	9859	11339

6.8 海洋生物体质量

6.8.1 调查概况

本次海洋生物质量采用收集数据方式获取。收集资料来源于国家海洋局南海调查技术中心于 2023 年 4 月完成的调查成果。调查样品来源于西沙附近海域渔获物样品。从渔获物样品中挑取个体较大且优势度较高的鱼类、贝类和软体类，进行生物体质量检测。

6.8.2 调查项目与分析方法

生物体质量调查项目包括：铜、铅、锌、镉、砷、总汞、铬、石油烃含量。

分析方法参照《海洋监测规范 第 6 部分：生物体分析》（GB 17378.6-2007）中规定的方法，具体分析方法及各因子检出限如表 6.8-1。

表 6.8-1 海洋生物质量各检测项目的测定方法与检出限

序号	检测项目	检测方法	检出限	主要检测仪器
1	总汞	原子荧光法	0.0001mg/kg	原子荧光分光光度计 (海光 AFS-8520) I-006
2	砷	原子荧光法	0.003mg/kg	
3	铜	无火焰原子吸收分光光度法	0.1mg/kg	原子吸收分光光度计 (岛津 AA-6880) I-005
4	铅	无火焰原子吸收分光光度法	0.03mg/kg	
5	镉	无火焰原子吸收分光光度法	0.001mg/kg	
6	锌	火焰原子吸收分光光度法	0.2mg/kg	
7	铬	无火焰原子吸收分光光度法	0.04mg/kg	

8	石油烃	荧光分光光度法	0.2mg/kg	荧光分光光度计 (上海棱光 f96pro) I-007
---	-----	---------	----------	--------------------------------

6.8.3 调查结果

生物体质量检测结果见表 6.8-2，从检测结果看，9 份海洋生物体中，Hg、As、Cu、Zn、Cd、Pb、Cr 及石油烃检出率为 100%，Cu 检出率为 44.44%。

表 6.8-2 生物体质量检测结果（mg/kg）

序号	样品名称	样品类型	项 目 检 测 结 果							
			石油烃	总汞	砷	锌	镉	铅	铜	铬
1	红娇凤凰螺	贝类	15.73	0.011	0.7	7.1	0.357	0.04	3.8	0.27
2	粗瘤凤凰螺	贝类	18.36	0.044	0.4	6.4	0.358	0.10	3.2	0.11
3	斑点九棘鲈	鱼类	6.75	0.004	0.4	3.6	0.033	0.10	未检出	0.14
4	金带齿颌鲷	鱼类	7.77	0.010	0.3	3.9	0.021	0.09	未检出	0.07
5	多带鲱鲤	鱼类	9.72	0.004	0.3	3.9	0.031	0.09	0.4	0.12
6	绿唇鹦嘴鱼	鱼类	10.71	0.004	0.3	3.7	0.033	0.10	未检出	0.09
7	蜂巢石斑鱼	鱼类	7.91	0.004	0.5	5.4	0.035	0.09	未检出	0.07
8	蓝头绿鹦嘴鱼	鱼类	6.63	0.004	0.5	4.5	0.028	0.13	未检出	0.13
9	红蛸	软体类	17.37	0.002	0.5	16.4	0.030	0.04	2.8	0.09

6.8.4 评价标准与评价方法

（1）评价标准

贝类生物（双壳类）海洋生物体内污染物质含量评价标准采用《海洋生物质量》（GB18421-2001）中相应标准要求。

其他海洋生物（包括软体动物、甲壳动物和定居性鱼类）体内污染物质含量评价标准参考《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中海洋生物质量参考值。

（2）评价方法

生物体质量评价采用单项分标准指数法，计算公式与水质评价的一般污染物计算公式相同。

6.8.5 评价结果

生物体质量采用湿重结果进行评价，从生物体质量检测结果及其对应质量指数评价（表 6.8-3）可以看出，该调查海域除鱼类、贝类和软体类生物体中汞、砷、锌、铅、铜、铬等指标测值含量均符合相关评价标准，仅贝类生物体中石油烃、镉出现超标现象，最大超标倍数分别为 0.22 倍、0.79 倍，可能与西沙海域船舶活动较为频繁，且贝类生物易富集重金属有关。

表 6.8-3 海洋生物质量评价结果表

序号	样品名称	样品类型	石油烃	总汞	砷	锌	镉	铅	铜	铬
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91
92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

7 环境影响预测分析与评价

7.1 水文动力及冲淤环境影响预测与评价

7.1.1 评价海域海流模型

7.1.1.1 基本控制方程

本文采用三维水动力学模型进行数值模拟，垂向采用 σ 坐标，基本控制方程为：

(1) 连续方程：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x'} + \frac{\partial hv}{\partial y'} + \frac{\partial h\omega}{\partial \sigma} = hS$$

(2) 动量方程：

$$\begin{aligned} \frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x'} + \frac{\partial hvu}{\partial y'} + \frac{\partial h\omega u}{\partial \sigma} = f_v h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x'} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x'} - \\ \frac{hg}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + hF_u + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{v_v}{h} \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + hu_s S \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x'} + \frac{\partial hv^2}{\partial y'} + \frac{\partial h\omega v}{\partial \sigma} = -f_u h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y'} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y'} - \\ \frac{hg}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + hF_v + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{v_v}{h} \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + hv_s S \end{aligned}$$

(3) 湍动能方程：

$$\begin{aligned} \frac{\partial hk}{\partial t} + \frac{\partial huk}{\partial x'} + \frac{\partial hvk}{\partial y'} + \frac{\partial h\omega k}{\partial \sigma} = \\ hF_k + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial \sigma} \right) + h(P + B - \varepsilon) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h\varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial hu\varepsilon}{\partial x'} + \frac{\partial hv\varepsilon}{\partial y'} + \frac{\partial h\omega\varepsilon}{\partial \sigma} = \\ hF_\varepsilon + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma} \right) + h \frac{\varepsilon}{k} (c_{1\varepsilon} P + c_{3\varepsilon} B - c_{2\varepsilon} \varepsilon) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial huC}{\partial x'} + \frac{\partial hvC}{\partial y'} + \frac{\partial h\omega C}{\partial \sigma} = hF_c + \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{D_v}{h} \frac{\partial C}{\partial \sigma} \right) - hk_p C + hC_s'$$

在 σ 坐标系中，垂向流速定义为：

$$\omega = \frac{1}{h} \left[w + u \frac{\partial d}{\partial x'} + v \frac{\partial d}{\partial y'} - \sigma \left(\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x'} + v \frac{\partial h}{\partial y'} \right) \right]$$

水平扩散项定义为：

$$hF_u \approx \frac{\partial}{\partial x} \left(2hA \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hA \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

$$hF_v \approx \frac{\partial}{\partial x} \left(hA \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2hA \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$

$$h(F_T, F_s, F_k, F_\varepsilon, F_c) \approx \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(hD_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right] (T, s, k, \varepsilon, C)$$

其中， $\sigma = \frac{z - z_b}{h}$ ， η 为表面水位； $h = \eta + d$ ，为总水深； u ， v 和 w 是 x ， y 和 z 三个方向上的速度分量； $f = 2\Omega \sin \phi$ ，为科氏力参数； ρ 为密度； s 为点源排放量； A 为水平涡粘度系数； \hat{P} ， \hat{E} 分别为降雨量与蒸发量。

7.1.1.2 边界条件

海面边界条件 $\sigma=1$ ：

$$\omega = 0, \quad \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = \frac{h}{\rho_0 V_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy})$$

海底边界条件 $\sigma=0$ ：

$$\omega = 0, \quad \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma}, \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) = \frac{h}{\rho_0 V_t} (\tau_{bx}, \tau_{by})$$

其中， (τ_{sx}, τ_{sy}) 、 (τ_{bx}, τ_{by}) 分别为表面风应力与底剪切力在 x ， y 方向的分量。

水界输入：

潮流开边界条件考虑了 M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1 和 K1 8 个主要分潮，模式开边界条件由已有的模式模拟结果提供并结合附近海区的实测资料进行反复调试、确定。水界输入条件如下：

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^6 D_i H_i \cos(\sigma_i t - d_i - g_i)$$

其中： ζ 为水边界的水位值； i 为八个主要分潮； σ_i 为 i 分潮角速度； H_i, g_i 是 i 分潮调和常数，由已有全球模型中查询获取，并内插到开边界各节点； D_i, d_i 是 i 分潮的天文变量。全球模型采用 Mike 软件自带的潮位预报工具，可提取边界上不同时间段内潮位数据。

7.1.1.3 模型参数

（1）时间步长

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

在该模型中最小时间步长取 0.01s，最大时间步长取 120s。

（2）涡粘系数

采用 Smagorinsky 常系数，取 $C_s=0.28$ 。

（3）海底摩阻

底床糙率通过曼宁系数进行控制，曼尼系数 m 取 $45 \sim 58 \text{m}^{1/3}/\text{s}$ 。

（4）水平涡动粘滞系数

采用考虑亚尺度网格效应的 Smagorinsky (1963) 公式计算水平涡粘系数，表达式如下：

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

式中： C_s 为常数， l 为特征混合长度，由 $S_{ij} = \frac{l}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$, ($i, j=1, 2$) 计算得到。

7.1.2 评价海域水动力模型

7.1.2.1 计算域及网格设置

本项目所建立计算海域为 A、B、C 三点连线与岸线所围海域，保证光缆模拟区

域的计算精度，将光缆周边海域进行多次加密，加密后最小网格间距为 20m。模拟区域根据光缆的覆盖区域和本研究区开边界处掌握的调和常数确定的。模式垂向采用 sigma 分层，共分为 10 层，为了更合理的模拟底层悬浮物，将底层分层较密。图 7.1-1 为计算域示意图，网格设置及水深地形如图 7.1-2 所示。

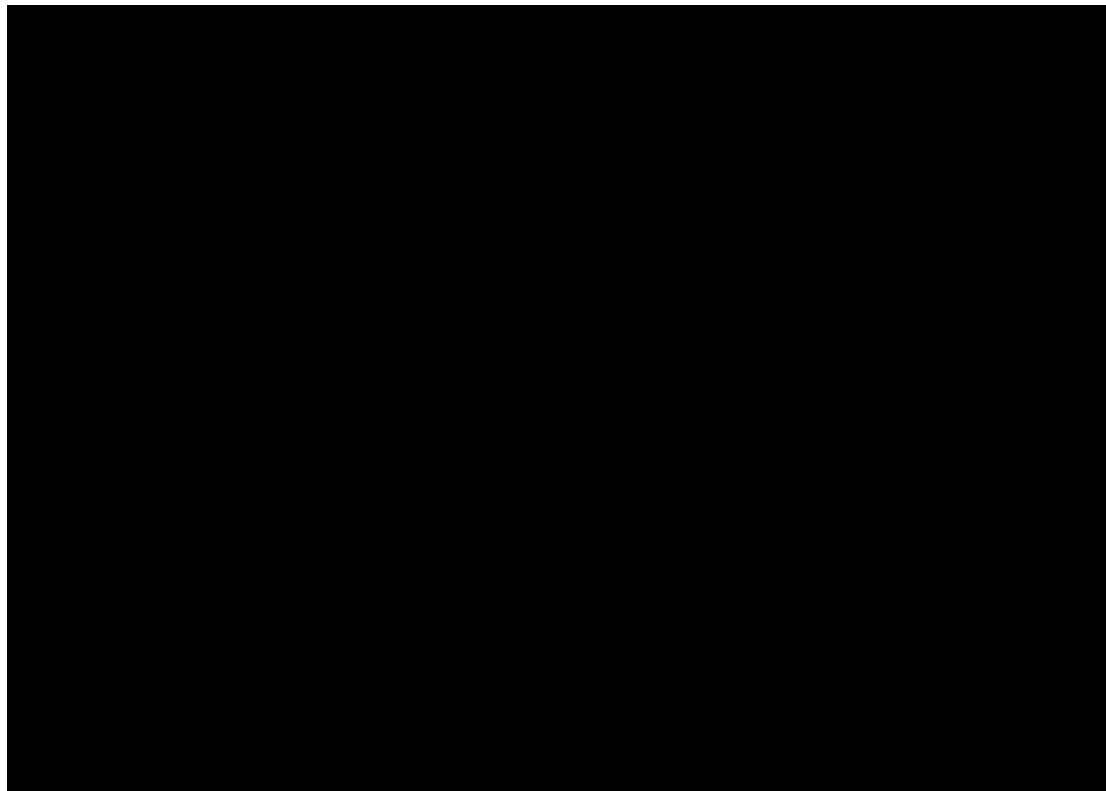


图 7.1-1 计算域示意图

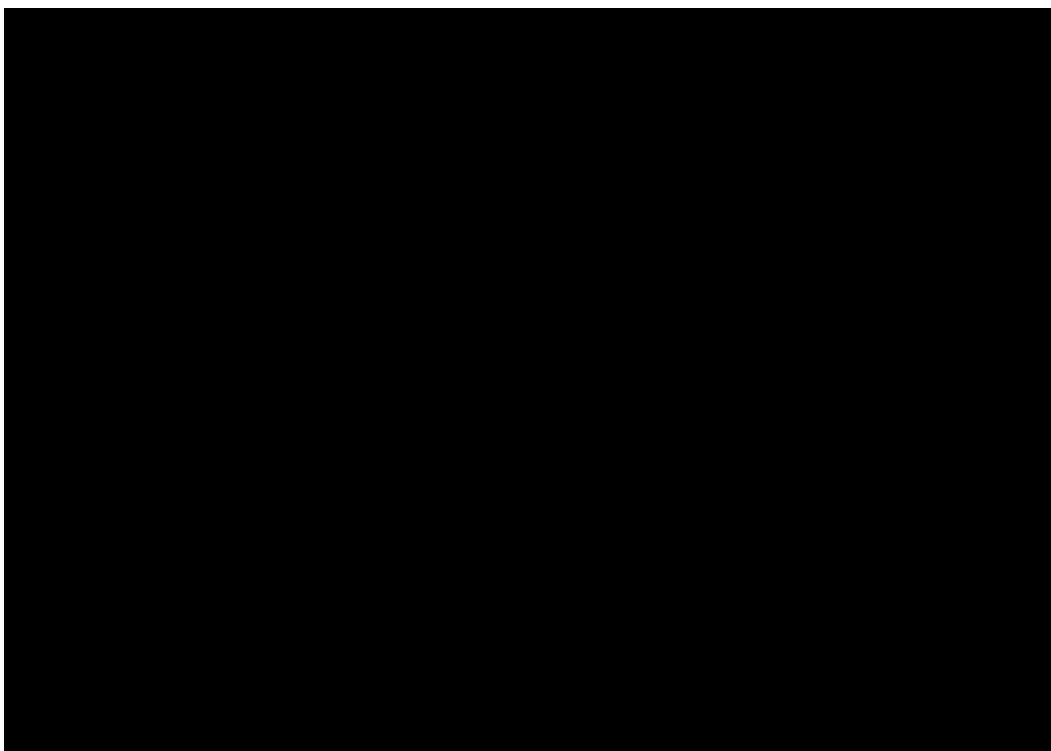


图 7.1-2 网格设置及地形图

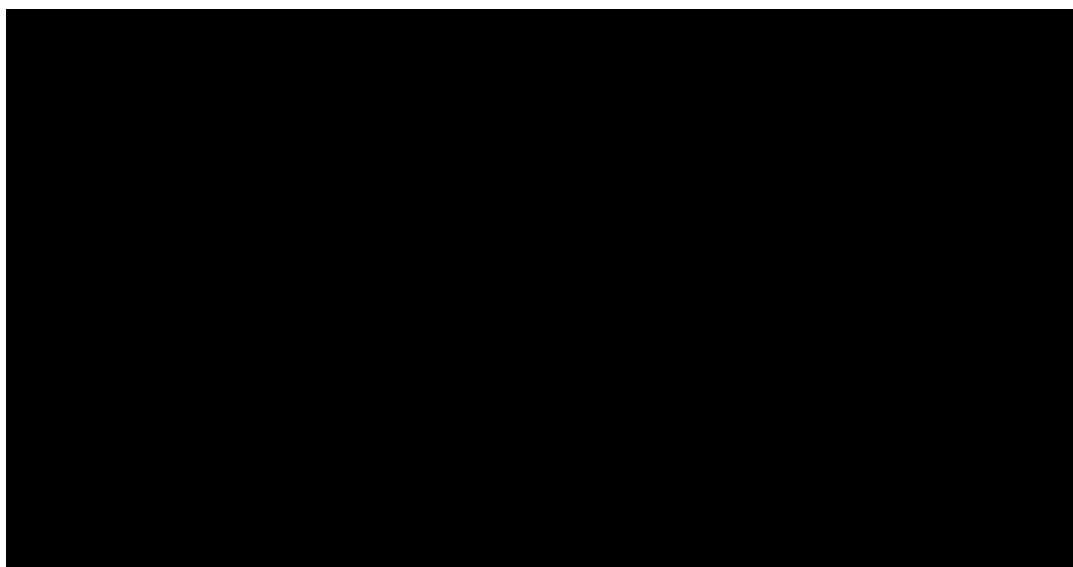


图 7.1-3 工程区网格加密图

7.1.2.2 潮流潮位验证

潮流验证资料来源于 2017 年 3 月 25 日 14 时~26 日 15 时 H2~H6 站实测潮流对模拟结果进行验证，潮位验证资料采用同期实测资料。各实测点坐标见表 7.1-1，各实测站位置示意图 7.1-4。图 7.1-5 为各站位潮流、潮位验证曲线。由于本海区的潮流动力较弱，并且测流当天风力较大，实际海流动力受到风应力、温盐斜压力等其他非潮流动力的影响，而本模型模拟的仅仅为纯潮流驱动力作用下的水动力场，这

与实际水动力场存在一定的差异。

从潮位验证和潮流流速流向的验证效果来看，潮位验证的平均绝对误差最大值为 2.6cm，不超过 10cm，见表 7.1-2。实测海流经过调和分析后减去余流的作用后进行误差分析，可以看出，涨落潮潮段平均流速都小于 3cm/s，相对误差基本都在 10% 以内。本海区为弱潮海区，实际海流除潮汐作用外，还容易受到风应力、波浪力和温盐等斜压力的作用，因此我们认为潮位的验证是第一位的，潮位的变化受斜压力的作用小，本次模拟潮位的验证效果较好，潮位振幅与位相的计算值与实测值也基本吻合。因此，我们认为本模型对于项目工程区及附近海区的水动力场具有再现功能，具有通常条件下的参考意义。因此建立的潮流模型是可行的，可以为污染物扩散提供背景场。

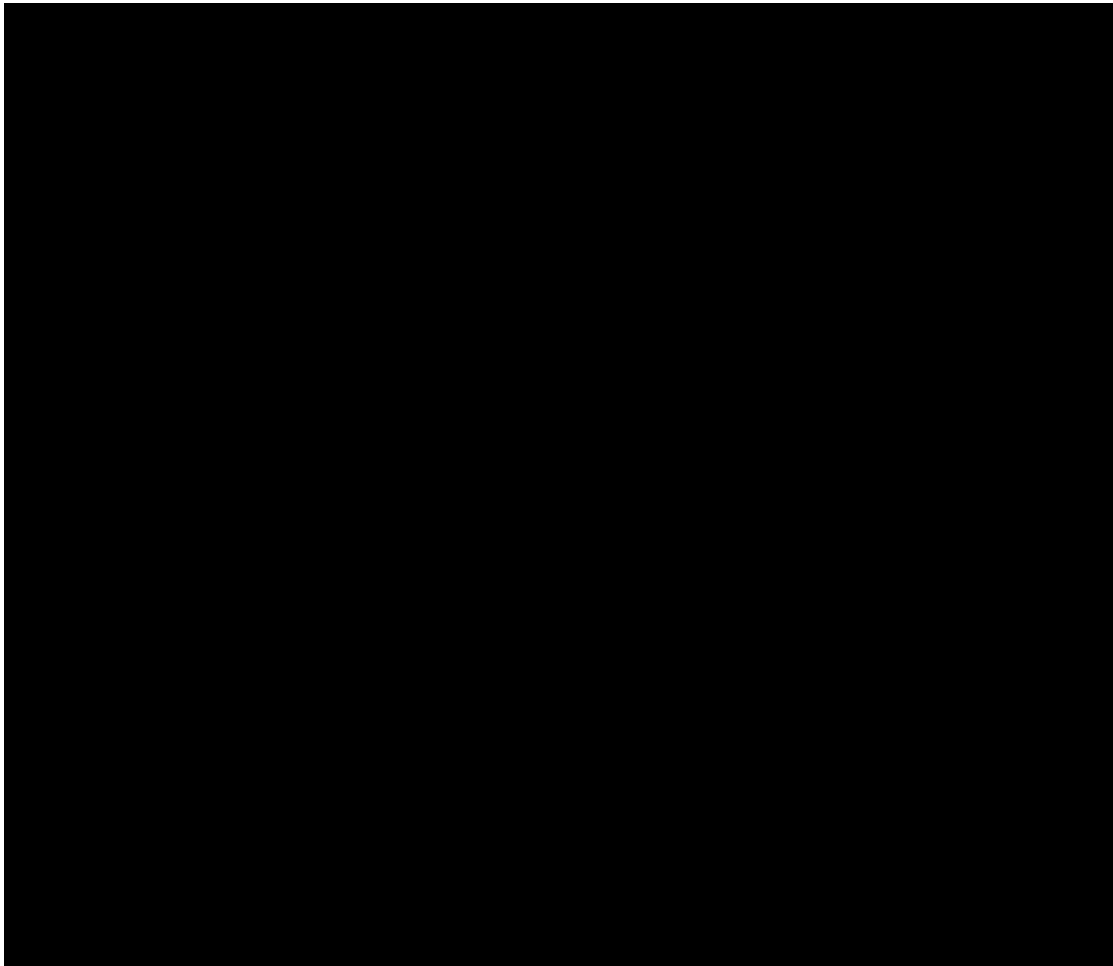


图 7.1-4 潮流潮位验证点

表 7.1-1 实测点坐标

点 位	经 度	纬 度	备 注
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■
■	■	■	■

H2 表层流速	H2 表层流向
H2 中层流速	H2 中层流向
H2 底层流速	H2 底层流向

H3 表层流速	H3 表层流向
H3 中层流速	H3 中层流向
H3 底层流速	H3 底层流向
H4 表层流速	H4 表层流向

H4 中层流速	H4 中层流向
H4 底层流速	H4 底层流向
H5 表层流速	H5 表层流向
H5 中层流速	H5 中层流向

H5 底层流速	H5 底层流向
H6 表层流速	H6 表层流向
H6 中层流速	H6 中层流向
H6 底层流速	H6 底层流向

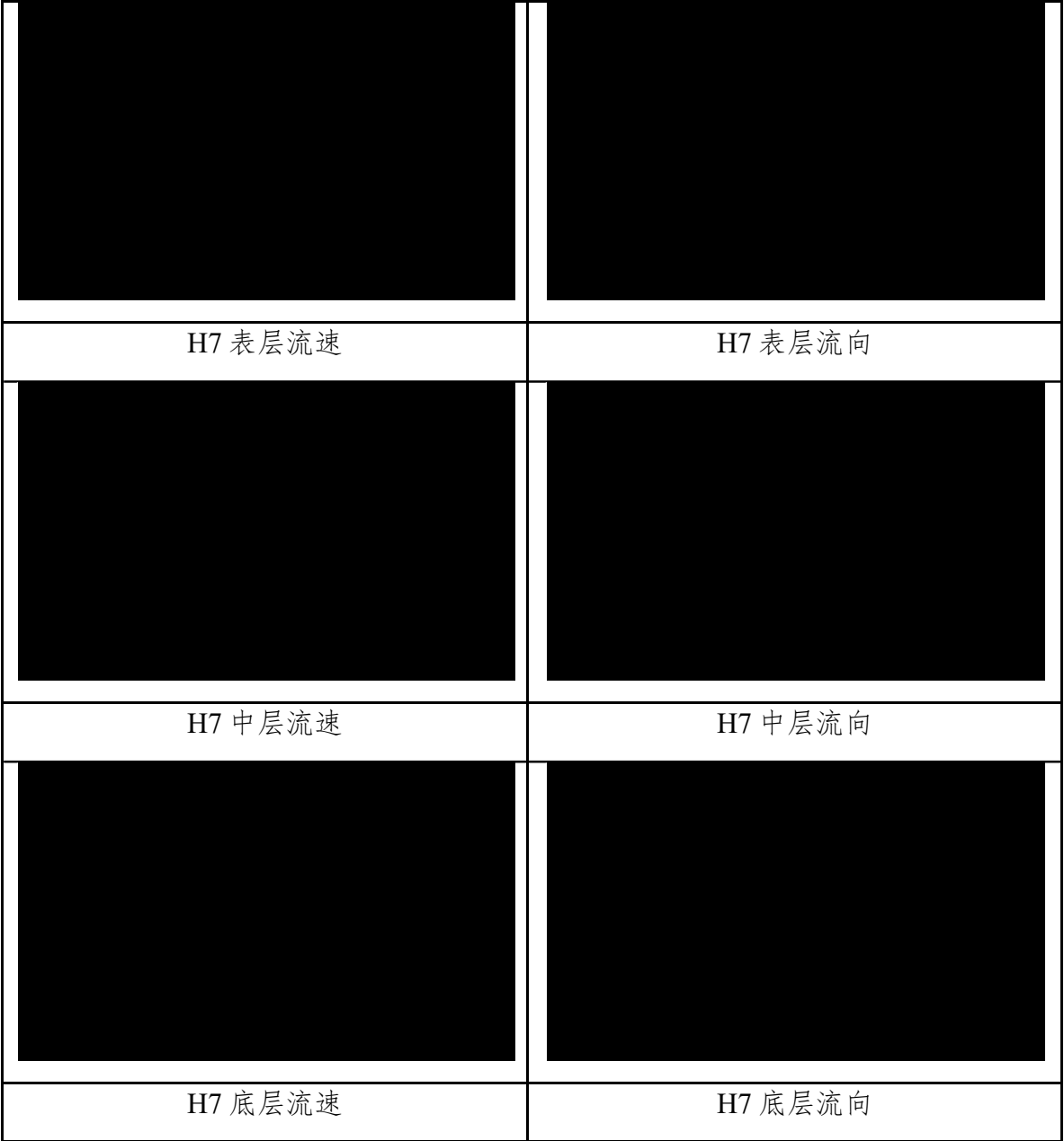


图 7.1-5 流速流向潮位验证曲线

表 7.1-2 潮位验证误差分析

站位	最高潮位值			最低潮位值		
	实测值（m）	计算值（m）	误差（m）	实测值（m）	计算值（m）	误差（m）
■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■

表 7.1-3 潮流验证误差分析

站位	层	涨落潮潮段平均流速			
		实测值（m/s）	计算值（m/s）	差值（m/s）	误差（%）
■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■
	■	■	■	■	■

7.1.2.3 流场计算结果

图 7.1-6~图 7.1-11 分别为大区域表层、中层、底层涨潮中间时与落潮中间时流场。涨潮中间时，光缆周边区域海流基本为 SE-NW 方向流动，表层流速一般在 10cm/s~30cm/s 之间。落潮中间时，海流为 NW-SE 方向流动，流速和涨潮过程流速相当。可以看出随着水深的增加，各层流速逐渐减小。

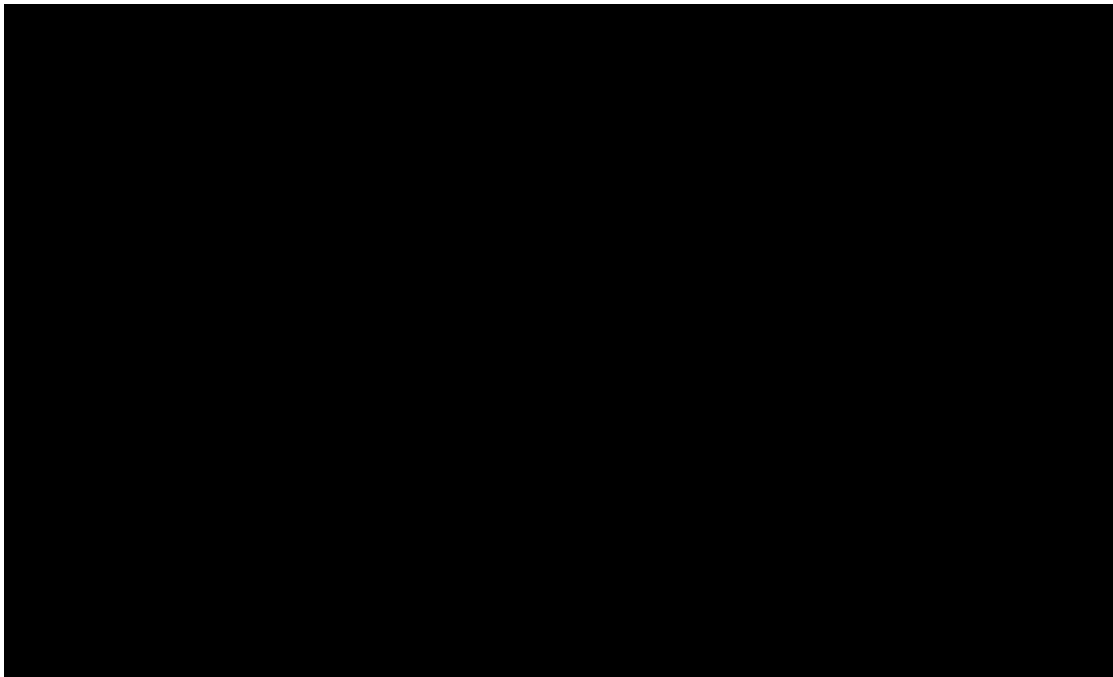


图 7.1-6 大区域涨潮中间时流场（表层）

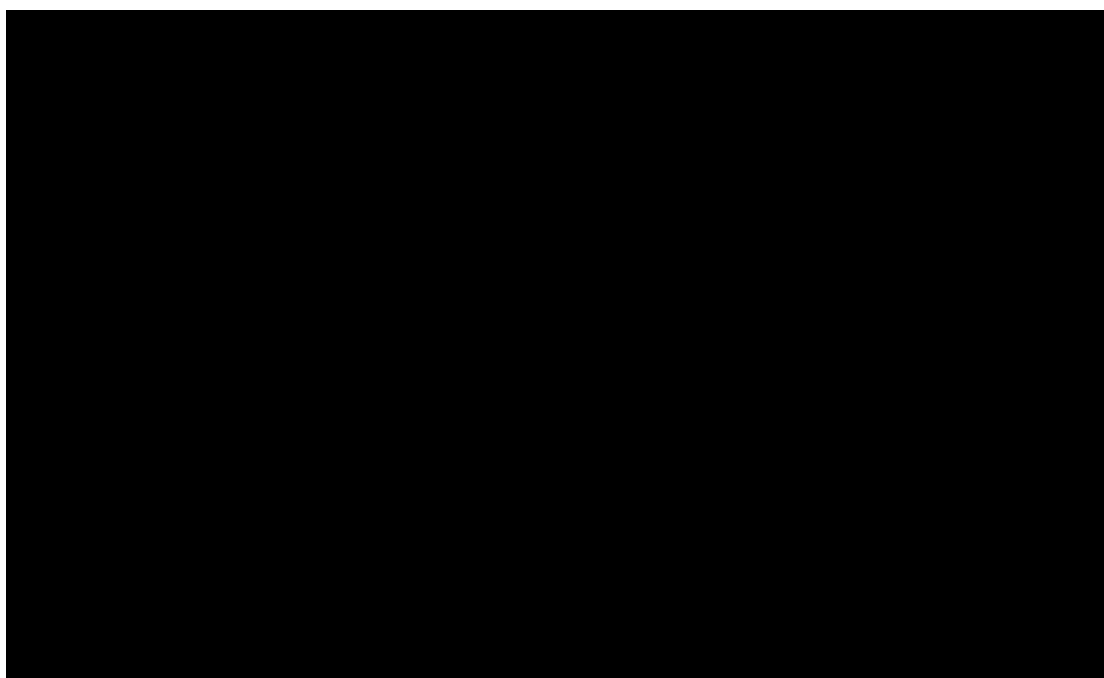


图 7.1-7 大区域涨潮中间时流场（中层）

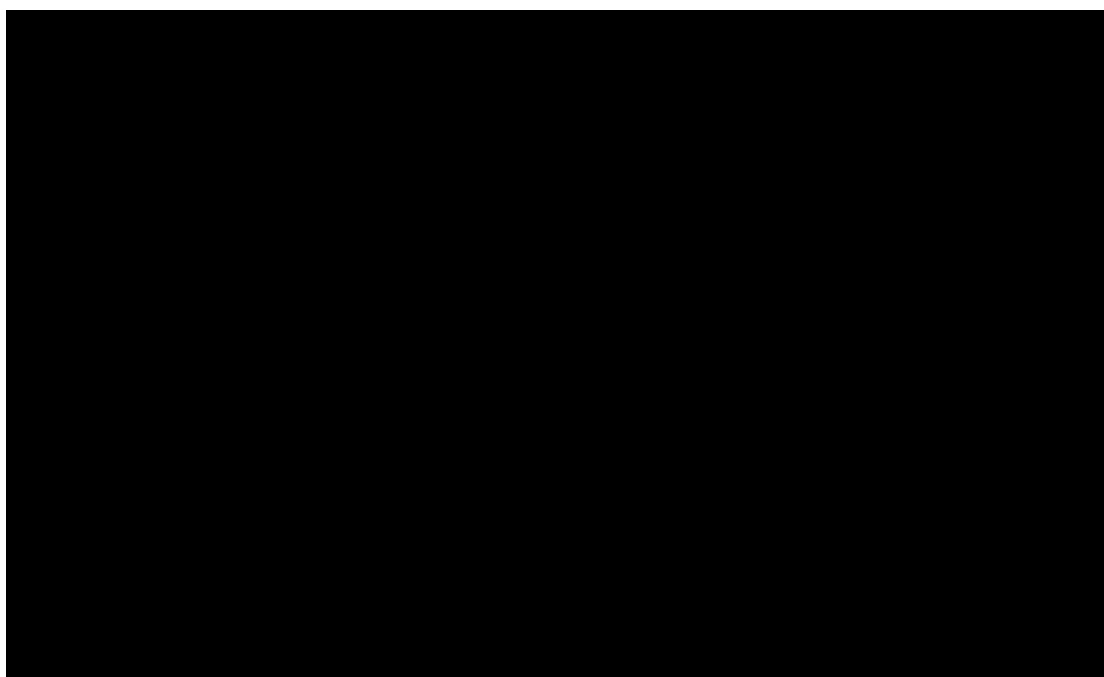


图 7.1-8 大区域涨潮中间时流场（底层）

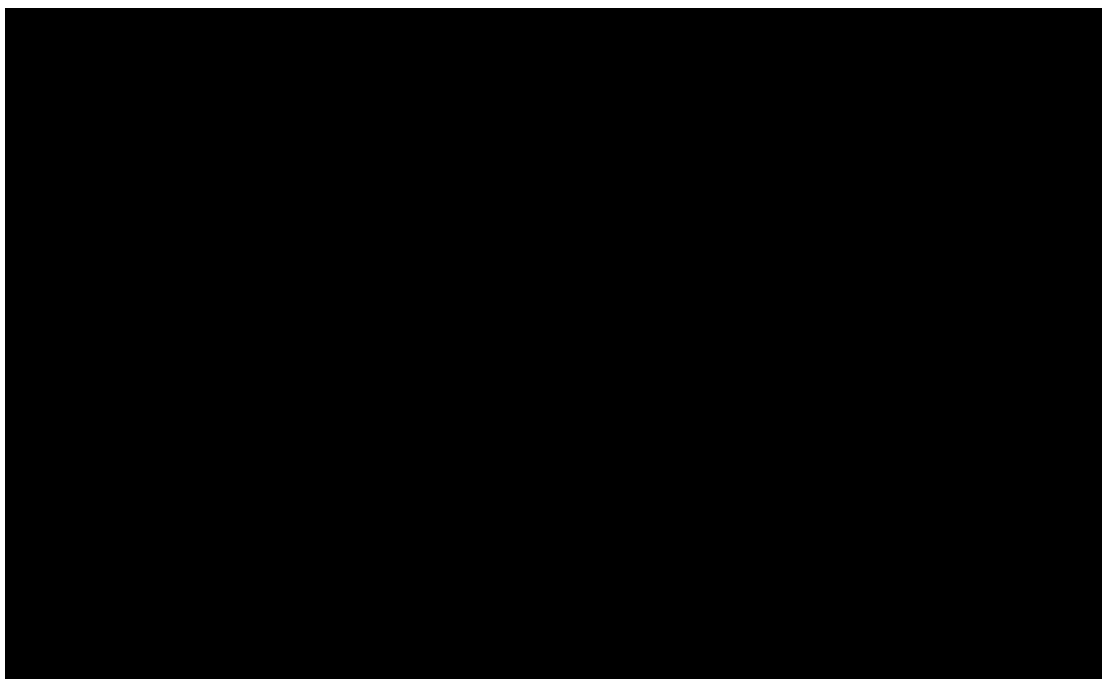


图 7.1-9 大区域西沙群岛落潮中间时流场（表层）

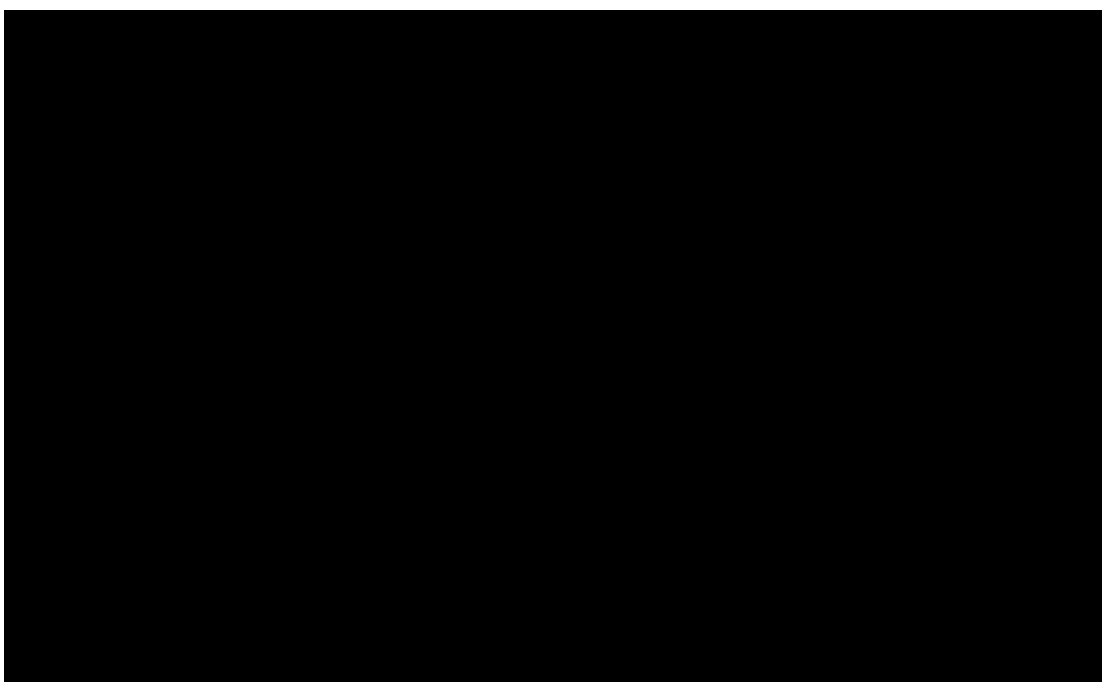


图 7.1-10 大区域西沙群岛落潮中间时流场（中层）

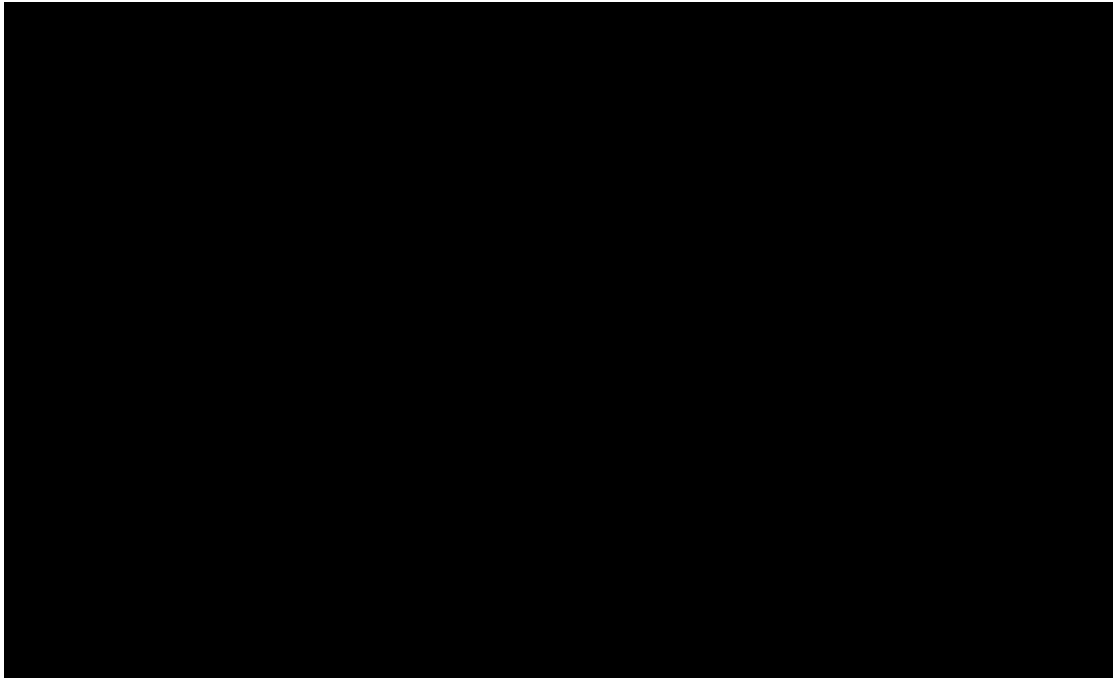


图 7.1-11 大区域落潮中间时流场（底层）

7.1.3 水文动力及地形地貌影响

从工程分析可知，本项目光缆最大直径为 35mm，目标埋设深度为 1.5m，所采用的埋设犁犁刀的扰动宽度为 0.3m，扰动宽度按照冲埋宽度的 100%计算，则扰动宽度为 0.3m，扰动截面积 0.45m^2 ；两侧底座宽度均为 1m，底座扰动宽度按照底座宽度的 100%计算，扰动深度按照 0.1m 计算，底座扰动宽度为 2m，扰动截面积 0.2m^2 。光缆埋设施工时，埋设犁仅在海底临时切割出一条缆槽，光缆立刻嵌入到缆槽中，埋设犁经过该区域后，在潮流作用下海底沉积物很快即会将缆槽掩埋，因此光缆埋设作业对水动力环境影响非常小，光缆铺设后流场基本无变化，对海洋地形地貌与冲淤环境影响非常小。

7.2 水质环境影响预测与评价

悬浮物入海后，在海洋水动力的作用下扩散、输运和沉降，形成悬浮物浓度场，对海域环境产生影响。通过预测求得悬浮物的浓度场后，即可依据《海水水质标准》（GB3097-1997），评价其对周围环境的影响程度。在水动力模式的基础上，开展悬浮物影响预测。

7.2.1 三维对流扩散方程

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial vc}{\partial y} + \frac{\partial wc}{\partial z} - \frac{\partial w_s c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v_{Tx}}{\sigma_{Tx}} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{v_{Ty}}{\sigma_{Ty}} \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{Tz}}{\sigma_{Tz}} \frac{\partial c}{\partial z} \right) + S$$

c 为悬浮物浓度， w_s 为泥沙沉速， v_{Tx}, v_{Ty}, v_{Tz} 为各向异性涡粘系数，海缆项目取值为 0.01， $\sigma_{Tx}, \sigma_{Ty}, \sigma_{Tz}$ 为湍流 Schmidt 数， S 为源汇项。其余各项同水动力控制方程。

$S = S_m + S_v$ ，其中 S_m 是悬浮物排入的源强，而 S_v 是悬浮物的海底垂直通量，表示由于沉降和再悬浮随机过程对源强的修正。

$$S_v = \alpha W (\beta S_* - \gamma C)$$

其中： $\beta = 1$ ，当 $u, v \geq u_c$ 时； $\beta = 0$ ，当 $u, v < u_c$ 时。

$\gamma = 1$ 当 $u, v \leq u_f$ 时； $\gamma = 0$ 当 $u, v > u_f$ 时。

α ：泥沙颗粒沉降几率，决定于湍流强度和悬浮质点粒径；

u_f ：扬动流速；

u_c ：起动流速；

S_* ：水流挟沙能力；

W ：悬浮颗粒的沉降速度，按下列公式求得：

$$W = \sqrt{(13.95 \frac{\eta}{d})^2 + 1.09 \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} g d} - 13.95 \frac{\eta}{d}$$

η 是海水分子运动粘性系数，取 $1.007 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ， d 是 d_{50} ，为沙粒中径。

u_c 和 u_f 分别是起动流速和扬动流速。据窦国仁公式

$$u_c = 2.72 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d + 0.19 \frac{\varepsilon_k + g \delta H}{d}}$$

ρ 为海水密度， ε_k 为粘结力系数， $\varepsilon_k = 2.56 \text{cm}^3/\text{s}^2$ ， δ 为薄膜水厚度， $\delta = 0.213 \times 10^{-4} \text{cm}$ ，据海缆项目海域的 H 值、泥沙粒径和泥沙密度求得 u_c 。

悬浮物的淤落条件，决定于水流速度和悬浮颗粒的扬动流速。利用扬动流速 u_f 的计算公式：

$$u_f = 12.76 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d}$$

可求的颗粒的扬动速度 u_f 。

悬浮物造成底床变形方程：

$$\gamma_0 \frac{\partial \eta_s}{\partial t} = \alpha \omega (C - S_*)$$

式中， η_s 为悬沙引起的海底床面冲淤厚度， γ_0 为悬沙干容重， S_* 为挟沙能力，分别由以下两式计算：

$$\gamma_0 = 1750 \alpha_{50}^{0.183}$$

$$S_* = \alpha_0 \frac{\rho_0 \rho_s}{\rho_s - \rho_0} \left(\frac{(\sqrt{u^2 + v^2})^3}{c^2 (h + \zeta) \omega} + \beta_0 \frac{H^2}{(h + \zeta) T \omega} \right)$$

d_{50} 为悬浮物中值粒径(mm)，本次计算悬浮物平均中值粒径取 0.018mm，因此， $\gamma_0 \approx 839 \text{ kg/m}^3$ 。 ρ_s 为泥沙容重， 2650 kg/m^3 ， ρ_0 为海水的容重， 1025 kg/m^3 ， $\alpha_0 = 0.016$ ， $\beta_0 = 4.65 \times 10^{-5} h^{-1.43}$ ， c 为 Chezy 系数， $c = h^{1/6} / n$ ， n 为 Maning 糙率系数，本文根据验证情况进行调整。

边界条件：

$$\text{固边界上, } \frac{\partial C}{\partial n} = 0$$

$$\text{开边界上, } \frac{\partial C}{\partial t} + V_n \frac{\partial C}{\partial n} = 0 \quad \text{出流段; } C(x, y, t) = 0 \quad \text{入流段。}$$

7.2.2 悬浮物浓度预测计算方法

根据水动力模拟预测结果，在悬浮物模拟过程中采用水动力的网格，即划分为自上而下 20 层，每层厚度为水深的 1/20。表层为第 1 层，中层为第 10 层，底部为第 20 层。

浓度计算的时间步长为 10s，在所有预测的潮周期 T （ T 为半个月，已包括大潮，中潮，小潮三个潮期）中，每个网格点可获得 $T/10$ 个浓度数据。浓度增量指的是该网格点上所有 $T/10$ 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。

7.2.3 悬浮物扩散预测

根据前述工程分析可知，本项目施工期光缆埋设作业引起的悬浮物源强相对较高，故本次重点对光缆埋设作业引起的悬浮沙进行定量预测分析。

7.2.3.1 悬浮物排放源强

源强设置如下表所示。悬浮物预测点设置见表 7.2-1。

表 7.2-1 悬浮物模拟源强设置

路由	范围	路由长度 (km)	源强 (kg/s)	预测点数量 (个)	预测点平均间距 (km/个)
■	■	■	■	■	■

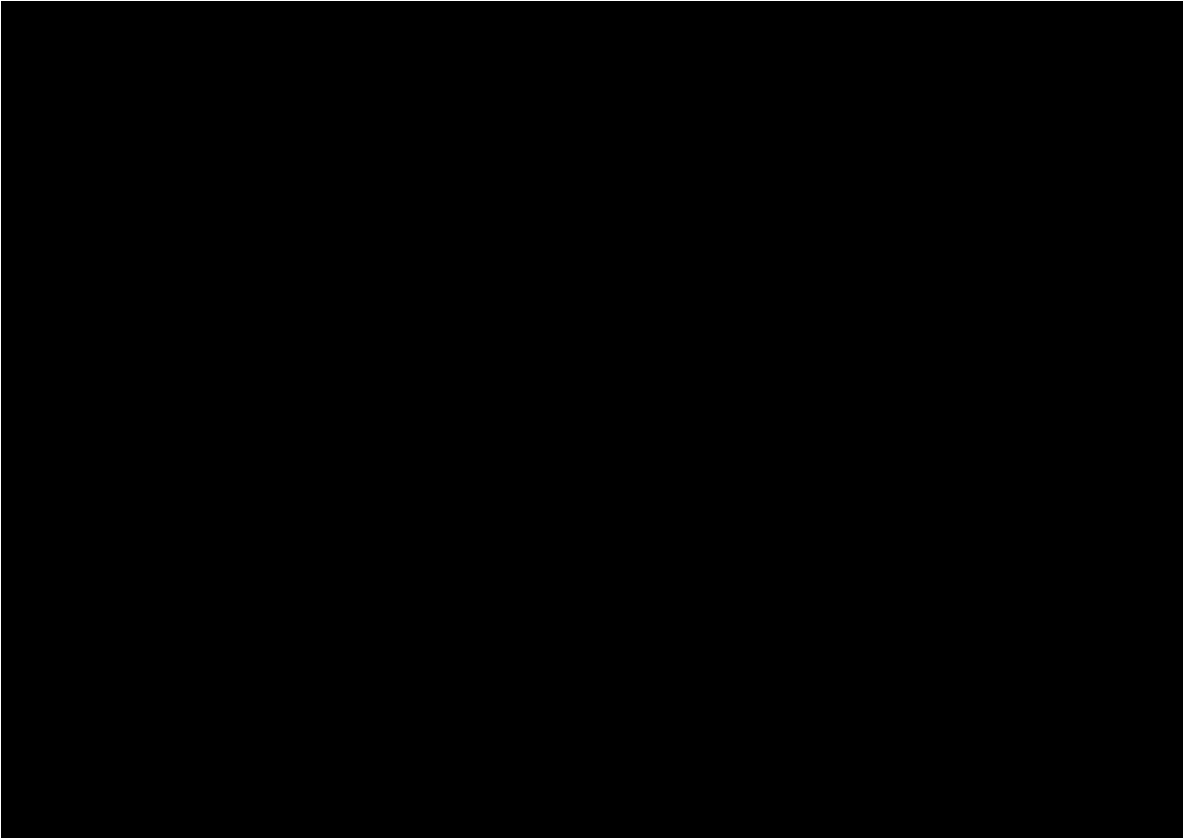


图 7.2-1 悬浮物计算源强点

7.2.3.2 悬浮物预测结果

从预测结果可以看出，光缆埋设产生的悬浮物主要集中于光缆两侧，对底层影响较大。同时由于光缆路由区水深较大，在施工过程中表层、中层不产生 10mg/L 的悬沙浓度。如图 7.2-2 为光缆埋设期间底层悬浮物最大可能增量包络图，表 7.2-2 为底层悬浮物超标面积统计结果。

底层悬浮物浓度超一（二）类水质标准面积为 161.1km²，超第三类水质标准面积为 17.8km²，超第四类水质标准面积为 9.7km²。超第一类水质海域距离光缆最大距离为 0.5km，施工结束 3.0h 后海水恢复第一类水质标准。底层悬浮物扩散范围见图 7.2-2。

表 7.2-2 项目海域悬浮沙不同超标倍数影响面积（km²）

	0<Bi<1	1<Bi≤4	4<Bi≤9	9≤Bi	合计
底层	79.5	40.2	23.6	17.8	161.1

为进一步分析悬浮物在海水底层的扩散情况，本次从数值模型中提取了悬浮物纵向扩散数据结果，并给出了距离海床 1/20 水深层位悬浮物最大可能增量包络线，见图 7.2-3。由图可见：

埋设段南段水深基本大于 500m 的路由区段，该段光缆埋设时，悬浮物在距离海床 1/20 水深处（即距离海底高度大于 50m）未产生超第一（二）类水质标准区域，悬浮物 10mg/L 纵向扩散范围仅局限在海床底层水域；

埋设段中段水深大部分在 400m~500m 的路由区段（约占埋设段长度的 1/3），水深相对较浅，距离海床 1/20 水深处（即距离海底高度 40m 到 50m），出现超一（二）类水质标准（10mg/L）水域，面积为 27.05km²；

埋设段北段水深基本大于 500m，距离海床 1/20 水深处（即距离海底高度大于 50m）也未产生超第一（二）类水质标准区域，悬浮物 10mg/L 纵向扩散范围同样局限在海床底层水域。

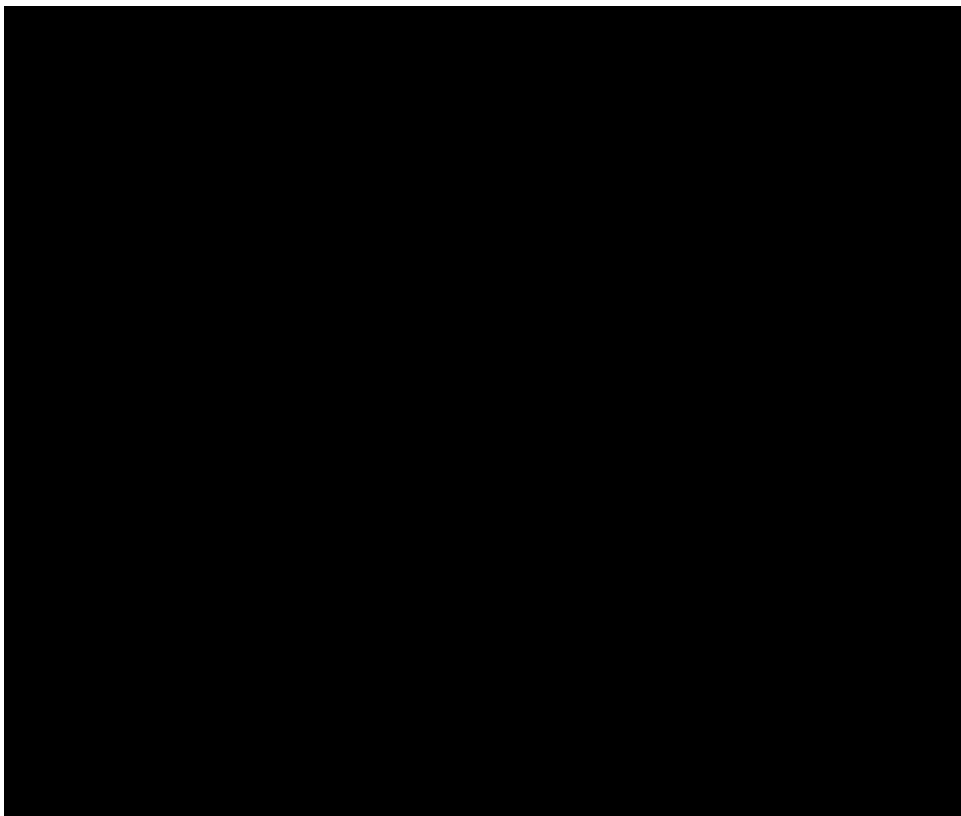


图 7.2-2 底层悬浮物扩散范围图

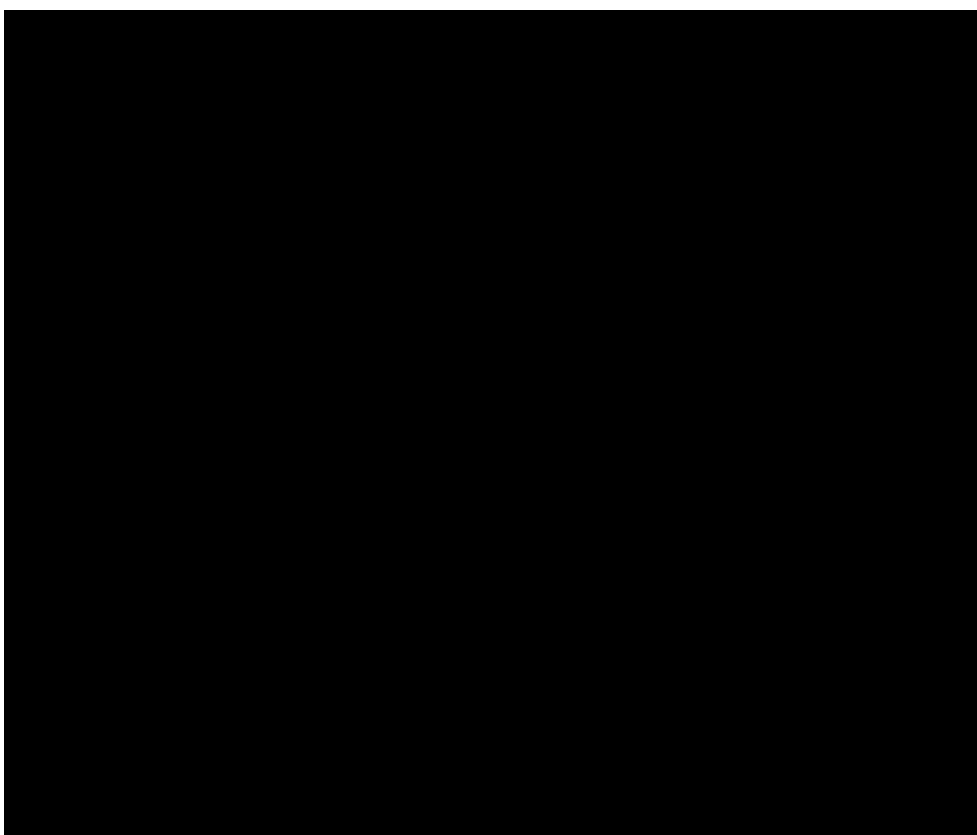


图 7.2-3 悬浮物扩散范围图（距离海床 1/20 层位，即第 19 层）

7.2.4 船舶排污对水环境影响分析

本项目船舶污水主要来自船舶施工期间船员的生活污水以及机舱油污水。施工船舶装有生活污水处理装置（包括经认可的生活污水处理装置、将生活污水进行打碎和消毒的经认可的装置）和滤油设备。施工前，作业人员将对施工船只生活污水防污染设施（包括排放管路、处理设施、打碎和消毒设施、集污舱柜、液位测量装置等）、机舱油污水处理设施（滤油设备、液位测量装置、报警装置等）进行例行检查，确保装置运行状况良好。施工过程中，机舱油污水经处理满足石油类 $\leq 15\text{ppm}$ 标准要求后排海。船舶生活污水经处理满足《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）要求后也在规定海域排放。本项目施工水域位于南海西北部海域，往来商船、渔船较多，光缆铺设施工期较短，船舶污水排放量不大，对施工海域水质的影响较小。

7.3 海洋沉积物环境影响预测与评价

7.3.1 施工期沉积物影响分析

施工期内扫海作业、光缆埋设作业所搅起来的海底沉积物被堆积在缆沟路由两侧，但施工结束后，海底沉积物在海水运动作用下将回填于缆沟，因此施工对底质的直接影响就是泥沙的冲起和覆盖。

扫海阶段扫海锚具对海床扰动相对较小，泥沙堆积范围按设计扫海范围计，埋缆施工泥沙堆积范围相对较大，约沉积在光缆路由两侧 0.5m 范围内。根据 4.1.2 章节计算，扫海作业过程沉积物影响范围约 $198.82 \times 10^3 \text{m}^2$ ，光缆埋设施工沉积物影响范围约 $596.46 \times 10^3 \text{m}^2$ 。由于扫海部分海域与光缆铺缆船埋设部分重叠，故施工对沉积物的总影响范围即光缆埋设施工沉积物影响范围约 $596.46 \times 10^3 \text{m}^2$ 。可见，施工过程中沉积物主要受光缆埋设过程影响，在埋设犁作用下产生位移、重组和松动，进而被堆积在缆沟两侧，使得路由两侧局部影响范围内沉积物受到一定程度的覆盖。但沉积物中没有混入其它外来污染物，且埋缆结束后，在潮流动力作用下被冲起的沉积物能够自然回填于缆沟，不会对沉积物环境产生明显影响。

7.3.2 运营期沉积物影响分析

光缆铺设完成后，服务期内海缆埋设或放置在海底，与海底沉积物直接接触，

腐蚀的主要发生区是在全浸区和海底泥土（海底沉积物）区，海水对金属具有腐蚀性，但光缆金属外层采取了防腐措施，在一定程度上减少了海水腐蚀。各种类型的光缆均考虑了对海水腐蚀的防护作用。其中，轻型光缆的外层防腐层物质主要为天然中密度聚乙烯和阻水填充物。中密度聚乙烯可抗常规浓度硫化氢的腐蚀；阻水填充物可防止里面金属钢线被腐蚀。铠装光缆的外层防腐层为金属钢线镀锌和沥青尼龙线。沥青尼龙线可抗常规浓度硫化氢的腐蚀，金属钢线镀锌可避免光缆接头处的金属线被腐蚀，能够避免光缆被腐蚀破坏后重金属溶出对海水水质及沉积物的影响。因此，光缆服务运营期对区域海洋沉积物环境无明显不利影响。

7.4 海洋生态环境影响分析与评价

7.4.1 对底栖生物的影响

海缆扫海、埋设和后冲埋作业会对其路由区周围底栖生物造成一定的影响，对底栖生物的影响主要是搅起和掩埋作用，一方面埋设犁会直接扰动路由区底栖生物，另外扰动底泥造成了泥沙悬浮，悬浮泥沙在重力作用下又会回落覆盖周边底栖生物生境，从而对活动能力较弱的底栖生物造成临时压占损害，使生物量减少，并影响沿光缆路由一带的海底生态环境。影响范围内施工对底栖生物栖息环境的破坏是短期的，可恢复的。施工结束后，随着时间的推移，光缆路由区的底栖生态会逐渐得到恢复。

7.4.2 对浮游生物的影响

对浮游生物来说，水体悬浮物浓度增加，降低水体透光率，造成水体浮游植物生产力下降。从食物链角度看，初级生产力下降，必将影响正常食物链的传递，最终导致水域可利用生物资源量下降。

对浮游植物来说，一般而言，悬浮物的浓度增加量 10 mg/L 以下时，水体中的浮游植物不会受到影响；当悬浮物的浓度增加量在 10~50mg/L 时，浮游植物将会受到轻微的影响；而当悬浮物浓度增加量在 50 mg/L 以上时，浮游植物会受到较大的影响，特别是中心区域，悬浮物含量较高，海水透光性极差，浮游植物生长将受显著抑制。但需指出的是，南海区浮游植物主要分布在水深小于 200m 的海域，并呈现由陆架、陆坡到深海区逐渐减少的趋势，这主要是受到海域水体光照条件、营养盐水平、温盐水平等影响。因此，可认为悬浮物对浮游植物的这种影响主要局限在表层水体。

对浮游动物来说，据有关资料，水中悬浮物质含量的增加，对浮游桡足类动物的存活和繁殖有明显的抑制作用。过量的悬浮物质会堵塞浮游桡足类动物的食物过滤系统和消化器官，尤其在悬浮物含量达到 300mg/L 以上时，这种危害特别明显。从工程海域海洋生态环境调查结果来看，工程海域浮游动物以桡足类种类出现最多，且海区浮游动物优势种中大部分为桡足类，施工悬沙浓度一旦过高，浮游动物生存环境将直接受到不利影响。但此处需指出，与浮游植物相似，南海海域浮游动物生态类群亦随水深不同而呈现出明显的差异，具体表现为随水深加大，浮游动物生态类群逐渐由广温广盐类群、高温低盐类群向高温高盐类群、低温高盐类群转变，而不同类群浮游生物在应对生存环境突变时的适应和调解能力也存在一定差异，因此施工悬浮沙也将对其产生不同程度的影响。

本项目光缆埋设段水深较大，埋设段中断水深有部分区段小于 500m，其他大部分路由区均大于 500m。从本次开展的施工悬浮沙扩散数值模拟结果来看，埋设犁作业引起的悬浮沙主要发生在底层，悬浮物 10mg/L 增量区未扩散至中层水体，因此，光缆埋设施工对作业海域浮游植物及以其为食料的浮游动物影响非常小。针对悬浮沙扩散区水深层位的浮游动物，主要以适应能力相对较强的生态类群为主，其对高浓度悬浮沙有一定的耐受能力，加之光缆埋设施工方式为线性施工，施工时沿设计路由埋设光缆，不会在某个点连续停留多天，故铺缆作业引起的悬沙影响范围仅局限在路由区周边，且数小时后随着悬沙落淤水质即可恢复至背景水平。因此，施工悬浮沙不会对深水区浮游动物造成长期不利影响，可以很快通过海洋生态的自身修复得以恢复。

7.4.3 对渔业资源的影响

水下施工产生的悬浮物将在一定范围内形成高浓度扩散场，大部分成鱼可以回避，但幼体由于运动能力较弱无法及时有效躲避高浓度悬浮物水体。若影响区域内各类游泳生物、鱼卵仔稚鱼无法及时逃离，则将在许多方面受到影响。首先悬浮微粒中含有大小不同的矿质颗粒，悬浮微粒过多时将导致水体混浊度增大，透明度降低，不利于天然饵料的繁殖生长；其次悬浮物可以粘附在动物身体表面干扰动物的感觉功能，有些粘附甚至可引起动物表皮组织的溃烂。通过动物呼吸，悬浮物可以阻塞鱼类的鳃组织，造成呼吸困难。某些滤食性动物，只有分辨颗粒大小的能力，只要粒径合适就可吸入体内，如果吸入的是泥沙，那么动物会因饥饿而死亡。

对于仔幼体来说，其对悬浮物浓度的忍受限度比成鱼低得多，根据有关研究资料，水体中 SS 浓度大于 100mg/L 时，水体浑浊度将比较高，透明度会明显降低，若高浓度持续时间较长，对幼鱼苗的生长将有明显的阻碍，甚至可能导致死亡。悬浮物对鱼卵的影响也很大，水体中若含有过量的悬浮固体，细微颗粒会粘附在鱼卵的表面，妨碍鱼卵呼吸，不利于鱼卵的孵化，从而影响鱼类繁殖。

本项目施工悬浮沙主要影响区域为光缆埋设段。从路由区经过的渔场情况来看，埋设段光缆路由主要经过西沙西部渔场，渔场内各种经济鱼类成体迁移能力均较强，能够通过快速移动应对悬沙激增，受影响群体主要是鱼类幼体，鱼类幼体因高浓度的含沙量可能发生部分死亡。此外，工程海域分布有游泳能力相对较差的底栖性鱼类，这些鱼类也会因来不及游离施工悬沙影响区从而出现一定比例的死亡。

针对施工引起的渔业资源损失，建设单位将采取增殖放流措施，以缓解施工对渔业资源造成的损害，恢复工程海域渔业资源，采取生态补偿措施后，可以将施工对渔业资源造成的不利影响控制在可接受范围内。

7.4.4 生物资源的损失量估算

前述分析可知，海缆项目对海洋生态环境产生的影响主要体现在光缆埋设段施工期搅起的悬浮物对周围海域生物资源造成一定的影响，本节通过定量计算生物资源损失，进一步分析评估项目施工对海洋生态环境的影响程度。

7.4.4.1 生物资源损失量评估公式

本次底栖生物资源损失量采用占用渔业水域的海洋生物资源量损害评估法，渔业资源损失量采用污染物扩散范围内的海洋生物资源损害评估法。

（1）占用渔业水域的海洋生物资源量损害评估法

根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007），占用渔业水域的海洋生物资源量损害评估法按如下公式计算：

$$W_i = D_i \times S_i \quad (\text{式一})$$

式中：W——底栖生物资源受损量，单位为 kg；

D——评估区域内底栖生物资源密度，单位 kg/m²；

S——底栖生物占用的水域面积，单位为 m²。

（2）污染物扩散范围内的海洋生物资源损害评估法

根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007），渔业资

源损害量采用污染物扩散范围内的海洋生物资源损害评估法。按如下公式计算：

$$M_i = W_i \times T \tag{式二}$$

$$W_i = \sum_{j=1}^n D_{ij} \times S_j \times K_{ij} \tag{式三}$$

式中： M_i ——第 i 种类生物资源累计损害量，单位为尾、个或千克（kg）；
 W_i ——第 i 种类生物资源一次性平均损失量，单位为尾或个或千克（kg）；
 T ——污染物浓度增量影响的持续周期数（以实际影响天数除以 15），单位为个。

D_{ij} ——某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源密度，单位为尾平方千米（尾/km²）、个平方千米（个/km²）或千克平方千米（kg/km²）；
 S_j ——某一污染物第 j 类浓度增量区面积，单位为平方千米（km²）；
 K_{ij} ——某一污染物第 j 类浓度增量区第 i 种类生物资源损失率，单位为百分之（%）；
 n ——某一污染物浓度增量分区总数。

生物资源基本参数根据现状调查结果取值，见表 7.4-1 所示。游泳生物、底栖生物资源密度参数根据本次收集的 2022.4 月海南省本岛东南部海域调查结果取值，即游泳生物资源密度为 33.217 kg/km²，底栖生物资源密度为 8.7 g/m²；鱼卵、仔鱼资源密度参数根据本次 2024 年 3 月现场调查结果取值，即鱼卵密度为 0.460 个/m³，仔稚鱼密度为 0.085 个/m³。

表 7.4-1 生物资源损失计算参数

调查时间	底栖生物	鱼卵密度	仔鱼密度	游泳生物密度
	(g/m ²)	(个/m ³)	(尾/ m ³)	(kg/km ²)
2022.4	0.75	/	/	2244.42
2024.3	/	0.460	0.085	/

7.4.4.2 底栖生物损失量估算

光缆路由扫海、光缆埋设和后冲埋作业对底栖生物的影响主要是搅起和掩埋作用，采用式一计算作业导致的底栖生物资源损失。工程施工影响特征参数如下：

底栖生物影响面积：考虑到扫海影响海域与光缆埋设影响海域部分存在重叠，故施工对底栖生物影响面积以光缆埋设施工对底栖生物的影响范围计。埋设施工影响宽度按 3m 计（其中埋设犁底座共 2m，犁刀切割槽及两侧泥沙沉积范围 1m），据此计算底栖生物受影响面积约 596.46×10³m²。此处需指出的是，扫海过程扰动海床深

度较小，且扰动范围小于光缆铺设影响宽度，故未重复计算扫海引起的底栖生物资源损失。

损失率：考虑到底栖生物主要是受光缆埋设搅起的沉积物的覆盖作用，故本次生物损失率按光缆路由区两侧受影响范围分别取值，在犁刀切割槽范围即光缆路由中心线两侧 0~0.15m 取 100%，光缆路由中心线两侧 0.15~0.5m 范围取 70%，埋设犁底座范围取 100%。

选取 7.4.4.1 章节中底栖生物资源密度，即 8.7g/m² 的参数，计算本次光缆埋设施工建设导致的底栖生物一次性损害量为 0.42t。

表 7.4-2 底栖生物资源损失量计算结果

施工区域	损害特征	平均生物量 D	占用海域面积 S	损失率(%)			损失量
		(g/m ²)	(10 ³ m ²)	埋设犁底座	0.15~0.5m	0~0.15m	(t)
埋设段	铺缆船埋设犁埋设	0.75	596.46	100%	70%	100%	0.42

7.4.4.3 渔业资源损失量估算

本小节仅对施工悬浮沙对渔业资源造成的损害进行定量估算。在工程施工悬浮物影响范围内，大部分成鱼可以回避，游泳能力相对较差的底栖鱼类会受到一定损害，此外幼体由于运动能力较弱无法及时有效躲避高浓度悬浮物水体，也会出现一定比例的死亡。采用式二、式三计算作业导致的渔业资源损失。工程施工影响特征参数如下：

污染物浓度增量分区总数：参照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007），分为 10~20 mg/L、20~50mg/L、50~100mg/L、>100mg/L 共 4 个悬浮沙增量浓度分区。

污染物浓度增量区面积：根据数模计算结果，统计工程海域埋设段光缆铺设引起的悬浮物增量值大于 100mg/L、50mg/L~100mg/L、20~50mg/L、10~20mg/L 的影响面积。根据本次开展的数值模型预测结果，施工过程中悬浮泥沙大于 10mg/L 区域仅在底层水域出现，且在 500m 水深以深的路由段悬浮物向上扩散动力有限，考虑到工程所在南海西北部深水区鱼卵多以浮性卵为主，游泳生物成体则在各层位都有各自适宜的生物类群。因此，本次鱼卵、仔稚鱼损失量计算在埋设段全段底层悬浮物超标面积基础上，按 500m 以浅路由长度占埋设段全段长度的比例相应折算，游泳生物取埋设段全段底层悬浮物超标面积，不再进行折算。渔业资源损失计算中悬浮

物超标面积取值情况见表 7.4-3。

表 7.4-3 悬浮超标面积统计表 (km²)

项目	埋设段全段超标面积	0<Bi<1	1<Bi<4	4<Bi<9	9<Bi
		79.50	40.20	23.60	17.80
鱼卵、仔稚鱼		26.5	13.4	7.9	5.9
游泳生物		79.50	40.20	23.60	17.80

备注：光缆路由埋设段 500m 以浅区段长度占埋设段全段占比约为 1/3。

污染物浓度增量区生物资源损失率：参照《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007) 中“污染物对各类生物损失率”，本报告中悬浮泥沙主要影响对象为游泳生物，故悬浮沙扩散浓度为 10~20 mg/L、20~50mg/L、50~100mg/L、>100mg/L 的影响水域游泳生物损失率分别取 1%、5%、15%、20%，鱼卵、仔鱼损失率分别取 5%、15%、30%、50%，见表 7.4-4。

污染物浓度增量影响的持续周期数：埋设犁犁刀切割海床后海缆随即沉入沟槽，悬沙影响持续时间小于 15d，因此影响周期取 1。

海域水深：鱼卵和仔稚鱼主要分布在表层和中层，故鱼卵和仔稚鱼损失计算时平均按 15 m 水深计算。

选取表 7.4-1 中渔业资源密度参数，计算本次光缆埋设施工建设导致的渔业资源一次性损害量。估算施工海域附近渔业资源损失量为游泳生物 2.22E+04kg，鱼卵 5.98×10⁷ 粒，仔鱼 1.10×10⁷ 尾受损（见表 7.4-4）。

表 7.4-4 施工附近海域悬浮物造成的渔业资源一次性损失量

悬浮物增量范围	渔业资源	资源密度		影响面积		损失率	损失量
10~20mg/L	鱼卵	0.460	粒/m ²	26.5	km ²	5%	9.14E+06
	仔鱼	0.085	尾/m ²	26.5		5%	1.69E+06
	游泳生物	2244.42	kg/km ²	79.5		1%	1.78E+03
20~50mg/L	鱼卵	0.460	粒/m ²	13.4	km ²	15%	1.39E+07
	仔鱼	0.085	尾/m ²	13.4		15%	2.56E+06
	游泳生物	2244.42	kg/km ²	40.2		5%	4.51E+03
50~100mg/L	鱼卵	0.460	粒/m ²	7.9	km ²	30%	1.63E+07
	仔鱼	0.085	尾/m ²	7.9		30%	3.01E+06
	游泳生物	2244.42	kg/km ²	23.6		15%	7.95E+03
>100mg/L	鱼卵	0.460	粒/m ²	5.9	km ²	50%	2.05E+07
	仔鱼	0.085	尾/m ²	5.9		50%	3.78E+06
	游泳生物	2244.42	kg/km ²	17.8		20%	7.99E+03

总计	鱼卵（粒）	5.98E+07
	仔鱼（尾）	1.10E+07
	游泳生物（kg）	2.22E+04

7.5 对南海中部农渔业区的影响分析

本项目光缆路由位于南海西北部，距岸较远，评价范围内环境敏感目标仅包括南海中部农渔业区。根据对路由区渔业捕捞及养殖情况的调查，路由区附近无养殖活动，光缆路由从北至南，穿越了西沙西部渔场和南沙西北部渔场，此两处渔场内捕捞区主要包括岛礁浅水捕捞区和金枪鱼延绳钓深水捕捞区。

本工程光缆路由与西沙海域岛礁区保持了相对较远的距离，对穿越渔场渔业生产活动的影响区域主要是深水渔业生产作业水域，具体包括以下两个方面：

第一，施工期间对深水渔业生产区水域的占用影响。在施工阶段，为了确保施工船舶以及渔船的安全，将禁止渔船进入施工海域进行捕捞生产作业。同时，鉴于金枪鱼延绳钓干绳长度通常介于 100 至 150 km 之间，为了避免捕捞活动与光缆产生交叉影响，工程沿线的捕捞作业也将在一定程度上受到限制，例如减少放线长度、调整捕捞作业区域等。但南海中部农渔业区水域面积十分广阔，施工期间对渔业水域的占用面积相对而言非常小，捕捞船可在周边海域进行生产作业。同时，施工活动的占用属于临时短期性质，一旦施工结束，路由沿线可以立即恢复捕捞作业。此外，根据海南省休渔要求，工程海域位于休渔海域，休渔期一般为每年 5 月至 8 月中旬，本项目拟于 9 月 10 月底由东南向西北推进施工，在浅海区影响渔船活动的时间很短，因此其对渔业生产的影响程度较小。

第二，光缆铺设作业活动所引起的悬浮沙对捕捞鱼类活动范围将产生扰动影响。此类影响主要局限于光缆埋设段。由于悬浮沙含量的急剧增加，鱼类会迅速向周边海域游离。但工程区水深较大，作业结束后悬浮物增量回落至 10mg/L 以下的时间相对较短，渔业资源将逐渐恢复至正常水平。因此，虽然施工会对鱼类活动范围造成短期的扰动，但不会改变渔场内渔业资源密度的分布格局，也不会导致捕捞产量的减少。

综上，本项目施工活动对所在农渔业区渔业生产活动的影响很小，施工结束后即可迅速恢复正常的捕捞作业活动。此外，为了有效缓解施工活动对渔业资源可能造成的损害，本项目还将积极采取增殖放流等生态补偿措施，这将对项目所在海域

渔业资源的养护发挥积极作用，促进当地渔业资源的可持续发展。

8 环境风险分析与评价

8.1 风险识别

8.1.1 环境风险事故类型

根据本项目施工海域环境特征及周边航路通航情况，综合近年来工程海域水上交通安全事故情况，确定本项目风险事故主要包括：操作性船舶碰撞事故以及其他海损性事故。

8.1.1.1 操作性风险事故识别

本项目为国际光缆建设工程，光缆路由涉及南海西部海域范围。工程施工期主要通过船舶进行海上作业，光缆运行期如发生断裂事故，也需通过船舶进行光缆的修复作业。

根据《中国航路指南》，光缆路由与塞得港—广州、科伦坡—广州 2 条航线有交越，且各有 1 次交越。

施工期间铺缆船作业活动势必会加大以上交越区域的船舶交通流量，如施工恰逢渔汛季节，还将有大量渔船在海上活动，进一步加重工程海域交通流复杂混乱程度，可能发生船舶安全事故进而引发溢油污染事故。

8.1.1.2 海损性风险事故识别

海损事故，是船舶在航行、停泊及修理期间所发生的事故，如碰撞、触礁、搁浅、触损、浪损、火灾、爆炸、进水、沉没、倾覆、船体断裂、主机故障、甲板机械损坏等。由于海损事故的不稳定性，一般无法避免，但是一些因素会影响事故发生的概率，如船舶吨位、船舶性能、作业时的天气海况条件，除船体自身因素外，其他因素包括水域条件、通信及导航设施状况等。如当船舶导助航设施失效时，船舶无法避让水下礁石区进而发生触礁事故，当船舶性能条件较差时，可能由于无法及时制动而发生碰撞、搁浅等事故。

本项目施工水域在广阔的南海海域，水上施工区在距岸较远的深水区，远离近岸水域船舶活动频繁地带，施工发生触礁、搁浅、触损的可能性较小。施工采用目前具备国际领先水平的专用铺缆船，船舶性能好，主机或其他机械发生故障的可能性不高。但项目施工期仍存在船舶导航失灵、突遇极端天气（大风、强浪等）导致

船体沉没、倾覆，一旦发生诸如此类的海损性事故，船舶可能发生燃料油舱泄漏进而导致溢油污染事故。

综上，根据本项目涉及工艺环节，在类比同类工程事故风险的基础上，确定本项目环境风险事故类型为：船舶燃料油泄漏事故。

8.1.2 物质危险性识别

根据《建设项目环境风险评价技术导则》附录 B，船用燃料油是重点关注的危险物质，属可燃、易燃危险性物质。

国际标准化组织于 2010 年 6 月 15 日发布了《船用燃料油规格》（ISO 8217-2010，第 4 版），并于 2010 年 7 月 1 日正式实施。2016 年 7 月我国发布实施《船用燃料油》（GB17411-2015），将船用燃料油分为 D 组（馏分燃料）和 R 组（残渣燃料）。馏分燃料油根据密度和十六烷值等质量指标分为 DMX、DMA、DMZ、DMB 四种，按照硫含量可细分为 I、II、III 三个等级。根据质量和粘度分为 RMA、RMB、RMD、RME、RMG 和 RMK 六种，RMA 和 RMB 按照硫含量可细分为 I、II、III 三个等级，RMD、RME、RMG 和 RMK 按照硫含量可细分为 I 和 II 两个等级。其中，馏分燃料油适用于中、高速柴油机，主要为短途航行的中小船舶如客运班轮、作业船、滚装船主机以及船用发动机组等提供燃料；残渣燃料油适用低速柴油机，主要为油船、干散货船、集装箱等三大主力远洋船舶以及航行于沿海沿江的大型船舶的燃料。

本工程可能涉及船舶燃料油主要为 D 组（馏分燃料），属轻质燃油。

8.1.3 影响途径和危害识别

溢油发生后，大量的燃料油瞬间进入海洋环境，并迅速扩散在海面上形成一层厚厚的油层。受溢油影响的海域，油膜覆盖在海水表面，可溶性组分不断溶于水中，在风浪的冲击下，油膜不断破碎分散，并与水混合成为乳化油，增加了水中的石油浓度。油膜覆盖下，影响海-气之间的交换，致使溶解氧减小，致使其下面的大面积海域严重缺氧，同时光照减弱，从而影响水的物理化学和生物化学过程，进而影响浮游生物的生长，导致浮游生物、鱼虾缺氧而死。此外，海面上的溢油对潜水摄食鸟类的危害也是较为严重的。

（1）溢油对鸟类的影响

海面上的溢油对鸟类的危害最大，尤其是潜水摄食的鸟类。这些鸟类以海洋浮

游生物及鱼类为食，当接触到油膜后，它们的羽毛能浸吸油类，从而失去防水、保温能力。另一方面它们因不能觅食而用嘴整理自己的羽毛，摄取溢油，造成内脏的损伤，最终它们会因饥饿、寒冷、中毒而死亡。

（2）溢油对海洋浮游生物的影响

浮游生物是最容易受污染的海洋初级生物，一方面它们对油类的毒性特别敏感，即使在溢油浓度很低的情况下它们也会被污染；另一方面浮游生物与水体是连成一体，海面浮油会被浮游生物大量吸收，并且，它们又不可能像海洋动物那样避开污染区。另外，海面油膜对阳光的遮蔽作用影响着浮游植物的光合作用，会使其腐败变质。变质的浮游植物以及细胞中进入碳氢化合物的藻类都会危及以浮游生物为食的海洋生物的生存。一旦浮游生物受到污染，其他较高级的海洋生物也会由于可捕食物的污染而受到威胁。

（3）溢油对渔业的影响

成鱼有着非常敏感的器官，因此，它们一旦嗅到油味，会很快地游离溢油水域。而生活在该海域的幼鱼更容易受到溢油的污染。当毒性较大的油进入浅水湾时，不论是自然原因还是使用分散剂，都会对该水域的幼鱼造成多方面的危害。

（4）溢油对岸线的影响

浮油如果扩散到海岛岸线，将对岸线沙滩造成污染威胁，污染滨海旅游区、生态环境保护区等。如果油污清理不及时，还极易引起爆炸和火灾，导致严重后果。

（5）溢油对海洋环境的长期影响

溢油污染造成的长期影响也是不可忽视的。海面上的油膜会极大地降低海水与大气的氧气交换速度，进而降低海洋生产力，破坏海洋生态平衡。此外，燃料油中的芳香烃化合物极易进入和长时间停留在水体中，在海洋生物体内长期地累积，最终将通过食物链的传递进入人体，从而威胁人体健康。

综上，一旦发生溢油事故后未及时有效地处理，那么油膜扫过海域的海水水质、水生生物资源、鸟类、岸线都将受到严重影响。溢油处置不彻底还将对海洋生态系统甚至人体健康产生长期慢性不利影响。

8.2 事故概率与源项分析

8.2.1 风险事故统计

根据国际油轮船东防污染联合会（ITOPF）2022 年 1 月最新发布的溢油数据统计资料，1970~2021 年间，全球区域油轮溢油事故（>7t）发生次共计 1853 起，其中>700t 的漏油事故共计发生 467 起，7~700t 的漏油事故共计发生 1386 起。事故十年发生平均起数由上世纪 70 年代年均泄露次数约 79 起/年，下降至近十年年均泄露次数约 5 起/年，充分表明近半个世纪以来，油轮泄露油量>7t 的污染事故呈现明显下降趋势，详见表 8.2-1 和表 8.2-2 所示。

随着泄露事故频率的降低，漏油量也呈现大幅降低趋势，上世纪 70 年代至本世纪初 40 年间，泄露量减少了约 95%。从事故发生频率和泄漏量的关系来看，以十年作为统计单位，往往十年间 70%以上的泄漏总量来自少数大规模漏油事故。

从船舶泄漏事故原因统计结果来看，主要为碰撞、搁浅、船底泄漏、设备失效、火灾爆炸等。其中，7~700t 的漏油事故中船舶碰撞导致的泄露事故分别占到 26%，其次为搁浅造成的事故占比 20%；>700t 的漏油事故中船舶搁浅造成泄露事故占比 32%，其次为船舶碰撞导致的泄露事故占到 30%。详见表 8.2-2 和图 8.2-2。

表 8.2-1 1970-2021 年全球区域溢油事故（>7t）发生次数统计表

年份 泄漏量	1970~1979	1980~1989	1990~1999	2000~2009	2010~2019	2020~2021
7~700t	543	360	280	149	45	9
>700t	245	94	77	32	18	1
平均(起/年)	78.8	45.4	35.8	18.1	6.3	5

表 8.2-2 1970-2021 年全球区域溢油事故（>7t）原因占比表

年份 泄漏量	碰撞	搁浅	船底泄露	设备失灵	火灾/爆炸	其他	不明原因
7~700t	26%	20%	7%	15%	4%	13%	15%
>700t	30%	32%	13%	4%	11%	7%	3%

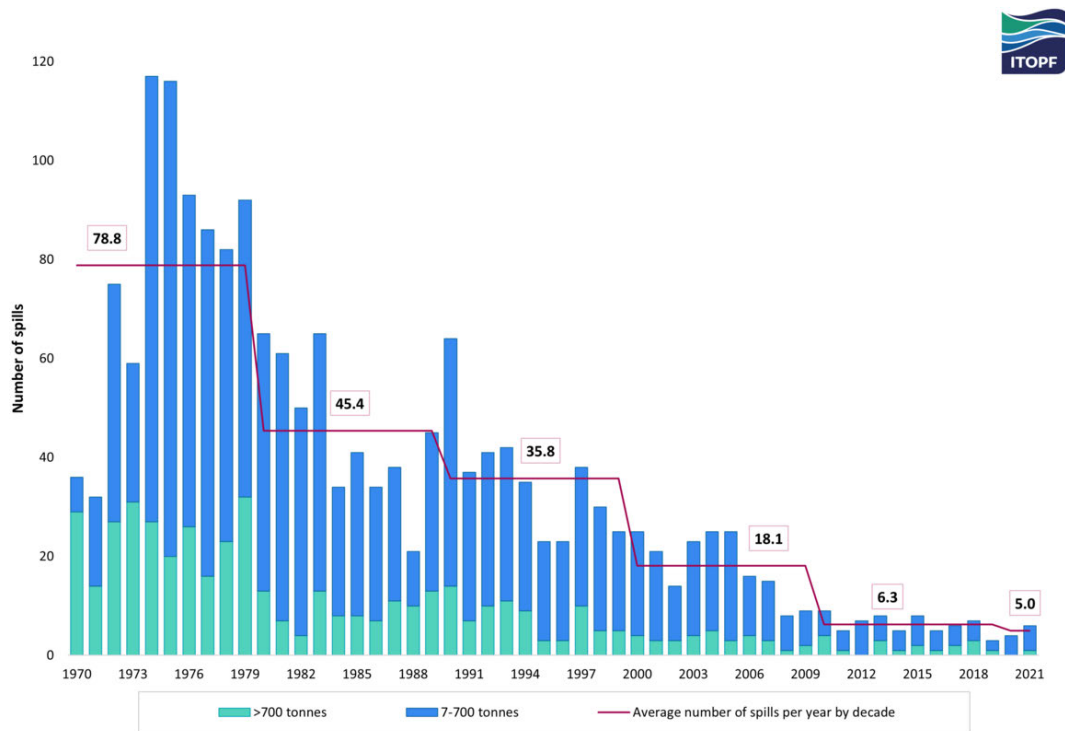


图 8.2-1 1970-2021 年全球区域溢油事故（>7t）发生次数各年次数图

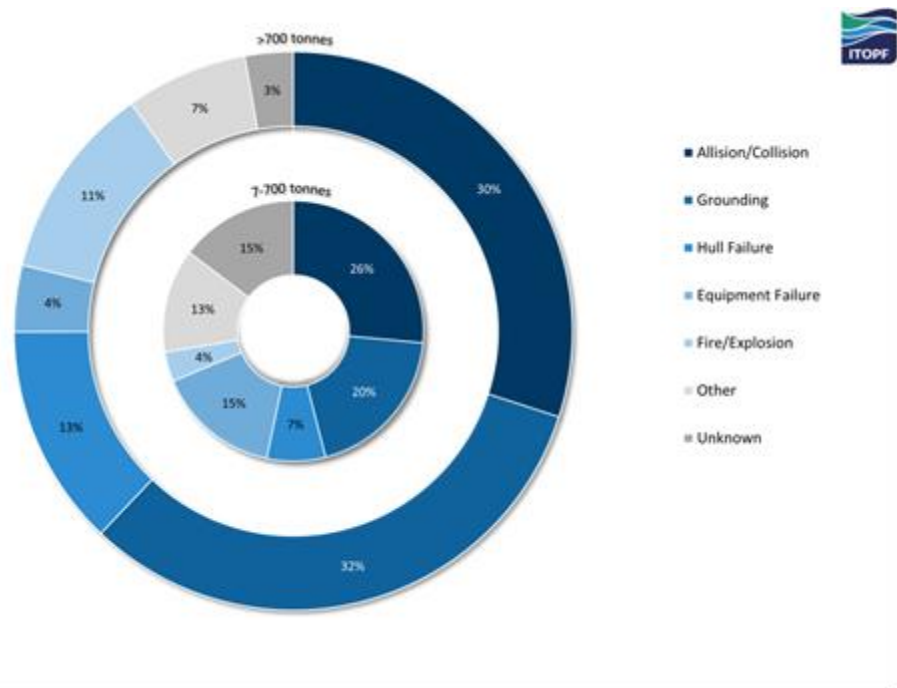


图 8.2-2 1970-2021 年全球区域溢油事故（>7t）原因占比图

8.2.2典型事故案例

（1）船舶碰撞事故案例

本次未收集到工程海域近年公开报道船舶碰撞溢油事故。

（2）海损性风险事故案例

本次收集西沙群岛海域附近 2013~2023 年已公开报道的典型海损性事故。从历年事故发生情况来看，工程海域海损安全事故类型包括以下几类：触礁、搁浅、浪损、主机故障等。典型事故如下：

1) 风浪、台风等导致的沉船事故

2013 年 9 月 29 日，4 艘广东江门台山籍渔船（粤台渔 61008 号、62108 号、62116 号、62150 号）、1 艘香港流动渔船（台沙 1698 号）在西沙岛海域因台风“蝴蝶”遇险，其中 3 艘沉没。此次事故为近年来最大的渔民海难事故。事发时，在西沙群岛附近避风的船舶共有 52 艘，其中海南省内 40 艘、省外 12 艘，大部分在琛航岛港池周边避风。但有 5 艘选择在珊瑚岛以南泻湖避风，这 5 艘正是遇险渔船。据了解，事发前渔业部门已向渔船通报了台风信息。但船员对台风的危险估计不足，虽然渔船已经下了锚，但是风力瞬间增大至 14 级，导致走锚沉船。

2022 年 6 月 14 日，香港仔饮食集团珍宝海鲜舫移离香港，计划前往东南亚维修。18 日下午，行驶至南海西沙群岛附近水域时，遇上风浪，船身入水开始倾侧。负责航程的拖船公司经过尝试救援后不果，该船最终于 19 日全面入水翻转。

2) 触礁、搁浅事故

2016 年 10 月 21 日，广东籍渔船“台沙 2979”在永兴岛防波堤附近触礁倾沉，倾斜坐沉在防波堤外。经交通运输部南海救助局“南海救 111”轮快速施救，无人员伤亡。

2018 年 2 月 15 日，韩国现代集团下的 6.5 万吨级马绍尔群岛籍“格罗春天”“Glovis Spring”号滚装船（船长 199 米，宽 35 米），运载 3432 辆奔驰轿车从新加坡前往香港途中，因操纵不当，误入我国西沙群岛西部的永乐环礁潟湖内，触礁搁浅。广州打捞局组建应急抢险队伍，联合南海救助局成功救助该轮，船上 23 名外籍船员同时获救。

2020 年 5 月 20 日，一艘琼籍渔船在西沙海域搁浅，并与礁石有碰撞，导致渔船甲板上浪，机舱进水，船体随风浪轻微倾斜，后经南海救助局通过施放救助艇进行了救助，无人员死亡。

3) 船舶机器设备故障导致的航行安全威胁事故

2018 年 6 月 13 日，在西沙海域七连屿以北五十海里有一艘香港籍油轮“新润洋”因主机失控导致无法推进且迅速向东漂移，随时可能发生船舶碰撞和触礁事故，急需救助。“南海救 117”轮接到救助指令后迅速备车前往事发海域紧急驰援，最终

“南海救 117”轮鏖战三天两夜成功将遇险油轮安全拖回。

2021 年 10 月 30 日，一艘名为“THUNDER”的干散货船舶，从印尼开往中国途经三沙市西沙海域时，于 19 日发生机器故障，处于漂航遇险状态，经南海救助局紧急救助最终遇险船于 30 日下午被拖抵汕尾指定位置，无人员伤亡。

8.2.3 风险事故概率

根据 2017 年 8 月由中国航海学会和上海海事大学共同发布的《南海航行状况研究报告》，南海水域宽广，主航路呈东北至西南走向。总体上分东线、中线和西线，其中中线是主要航路。研究指出，随着航海技术的快速发展和船舶大型化、高速化以及船员综合能力的提升，船舶预防灾害性天气的能力得到了充分保障，近十年该水域事故发生的概率极低。

本项目光缆路由主要穿越南海中线和西线主航路，施工期间，作业船舶大角度穿越航路，会造成海域通航环境的复杂性。其中，光缆路由穿越中线主航路海域水深较大，往来船舶以大型船舶为主，船舶安全性、适航性及船员素质相对较高，且光缆铺设施工采用定向走航式作业方式，施工船航速较快，穿越航路时间很短，故铺缆船与往来大型商船发生船舶碰撞事故概率相对较低。但在光缆路由穿越的西线航路海域，除往来大型商船外，还有大量渔船活动，如施工恰逢渔汛季节，将进一步加剧工程海域交通流混乱程度，且路由穿越西线航路，临近南海断续线，存在一定的不可控因素，理论上相对于南海中部深水作业区，该作业范围因船舶碰撞导致发生溢油污染事故的概率更大。

因本次未收集到工程海域公开报道或研究发现的船上溢油事故，同时未获取到工程海域往来通航船舶艘次数据，无法计算溢油事故概率。从工程所在海域近年水上交通安全情况来看，项目施工期发生船舶碰撞溢油的概率较低。

8.2.4 事故源强分析

根据风险识别，施工船舶碰撞后引发的溢油为本项目主要的风险事故类型，根据《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017），按照实际航行和作业船舶中载油量最大船型的 1 个货油边舱或燃料油边舱的容积确定可能最大水上溢油事故溢油量。本项目施工期间主施工船采用“福海”号或其他同类功能施工船。主施工船“福海”号总吨位为 6303t，总可载油量约 1700m³，燃料油最大油舱的单仓实际载油量约 160t 左右。潜在施工船“蓝色领航者”号总吨位为 8500t，总可载油量约 1876m

³，燃料油最大油舱的单仓实际载油量约为 220t。故本次评价最大可信事故为发生碰撞事故后 220t 燃油仓内的燃料油全部泄漏。

8.3 施工船舶溢油事故后果分析

8.3.1 预测模型

溢油在海洋水体中的运动主要表现为两种过程：在平流作用下的整体位移和在剪流、湍流作用下的扩散。溢油自身的表面扩散过程持续时间很短，而持续时间较长的运动形式主要表现为平流输运和湍流扩散。本报告采用“油粒子”方法来模拟溢油在海洋环境中的时空行为，用随机方法模拟扩散过程，用定性方法模拟平流过程。

（1）动力学过程

动力学过程包括平流过程和扩散过程，溢油在每一瞬时的三维空间位置和分布状态则是各种运动过程的综合作用结果。

① 漂移过程（平流运动）

漂移过程是油膜在外界动力场（如风应力，油水界面切应力等）驱动下的整体运动。海流的预测模式选择上述垂向积分的浅水方程组作为海流的控制方程。

② 扩展过程

扩展过程是油料溢出到海面上，受到惯性力、重力、粘性力和表面张力共同作用，使油与海水产生了不平衡的压力分布面向四周扩散，分为惯性—重力阶段、重力—粘性阶段和粘性—表面张力阶段。对实际溢油事件的观察发现，在溢油的最初数小时里，扩展过程占支配地位。

扩散速度分量可以通过用拉格朗日独立粒子（随机游动）算法来模拟粒子云团在水中扩散，在 Δt 时间内平均移动为：

$$S_{rmsL} = \sqrt{2 * D_L * \Delta t} \quad S_{rmsT} = \sqrt{2 * D_T * \Delta t} \quad (7.3-1)$$

式中： S_{rmsL} 和 S_{rmsT} 分别是纵向和横向方向上的距离的平均平方根， D_L 和 D_T 是水平扩散系数， Δt 为时间步长。

（2）非动力学过程

非动力学过程包括蒸发和乳化作用。

① 蒸发

蒸发是由于石油烃类从液态向气态的相变而造成的油膜与空气之间的物质交换。溢油的组份、表面积及其物理特征、风速、海气温度、海况以及太阳辐射的强度等都影响蒸发的速率。低烃类组份有较高的饱和蒸发压，因此有较高的蒸发速率，蒸发后溢油中的低沸点烃类迅速减少。

蒸发率随着溢油区域的厚度变化。

对于溢油厚的部分：

$$F = (1/C) [\ln P_0 + \ln (K_m A v t C / R T V + 1 / P_0)] \quad (\text{式 7.3-2})$$

式中： F —蒸发部分； V —溢出体积（ m^3 ）； R —空气常数； C —常数；

A —溢油面积（厚部分）（ m^2 ）； T —海表温度（ K ）； v —摩尔体积；

t —时间；

K_m —质量输运系数，与 $U^{0.78}$ 成比例， U 为风速；

$$P_0 = C_r \cdot \exp\left(1 - \frac{T_0}{T}\right), \quad C_r \text{ 为常数, } T_0 \text{ 为油的沸点 (K)}。$$

对于溢油薄的部分：

$$R_{eva} = C_{eva} (t / t_{\max}^c) \quad (\text{式 7.3-3})$$

式中： R_{eva} —蒸发率； C_{eva} —系数；

t_{\max}^c —蒸发的最大时间，决定于溢油的组份。

② 乳化作用

溢油在海水中乳化，形成毫米量级的乳化物（油包水颗粒）。海况能影响乳化的速度，但最终的乳化总量与海况无关，而仅取决于溢油中乳化剂的含量。形成的乳化物具有较高的密度和粘性，可以影响溢油的扩散过程。轻质的易挥发的油很少形成乳化物，重质燃料油或原油会形成相当大量的乳化物。当乳化颗粒与碎屑或生物残骸结合而重量增加时，将沉降到海底。

计算乳化物含水量的公式（Mackay 等 1980）为：

$$Y_w = \frac{1}{K_B} (1 - e^{-K_A K_B (1 + U_w) 2t}) \quad (\text{式 7.3-4})$$

式中： Y_w 为乳化物的含水量（%）； $K_A = 4.5 \times 10^{-6}$ ； U_w 为风速；

$K_B = \frac{1}{Y_w^F} \approx 1.25$ ； Y_w^F 是最终含水量； t 为时间。

◆ 密度变化

乳化对油密度的影响表示为：

$$\rho_e = (1 - Y_w)\rho_0 + Y_w\rho_w \quad (\text{式 7.3-5})$$

式中： ρ_e 为乳化后油的密度； ρ_0 为乳化前油的初始密度； ρ_w 为海水密度； Y_w 为乳化物含水量。

蒸发对油密度的影响表示为：

$$\rho = (0.6\rho_0 - 0.34)F + \rho_0 \quad (\text{式 7.3-6})$$

综合两者的影响，油的密度表达为：

$$\rho = (1 - Y_w)[(0.6\rho_0 - 0.34)F + \rho_0] + Y_w\rho_w \quad (\text{式 7.3-7})$$

◆ 粘性变化

溢油在风化过程中粘性会增加，主要是由于蒸发和乳化，此外粘性很大程度上与油面温度有关。

用 Hossain and Mackay 提出的方程在实际温度和水含量下计算油面粘性。

$$\eta = \eta^{oil} \exp \frac{2.5y_w}{1 - 0.654y_w} \quad (\text{式 7.3-8})$$

式中： η 为乳化后油的运动粘性系数；

η^{oil} 为乳化前油的运动粘性系数；

y_w 为乳化物含水量。

蒸发也可以引起粘性的增加，计算为：

$$\eta^{oil} = \eta_0^{oil} \exp(C_4 F_e) \quad (\text{式 7.3-9})$$

式中： C_4 为油中无量纲量[wt%]；

F_e 为油蒸发的部分。

乳化和蒸发两种影响结合起来运算如下，它是两种影响不同形式的总和：

$$\frac{d\eta^{oil}}{dt} = C_4 \eta_0^{oil} \frac{1}{V_{oil}^0} \frac{dV_e}{dt} + \frac{2.5\eta^{oil}}{(1 - y_w^{\max} y_w)^2} \frac{dy_w}{dt} \quad (\text{式 7.3-10})$$

(3) 模型参数设定

根据相关文献推荐值，模型中相关参数取值见表 8.3-1。

表 8.3-1 部分模型参数设置

参数	过程	系数过程取值
风漂移系数 c_w	对流	0.035
油的最大含水率 y_w^{\max}	乳化	0.85
油的最大含水率 (K1)	乳化	5×10^{-7}
释出系数 (K2)	乳化	1.2×10^{-5}
传质系数 K_{Si}	溶解	2.36×10^{-6}
蒸发系数 k	蒸发	0.029
油辐射率 l_{oil}	热量迁移	0.82
水辐射率 l_{water}	热量迁移	0.95
大气辐射率 l_{air}	热量迁移	0.82
漫射系数 (Albedo) α	热量迁移	0.1

模型中水平（横向和纵向）扩散系数 DL 和 DT 的取值非常重要，反映了油粒子在水体中的扩散强度和随机紊动强度，对模拟结果影响较大，而且不同的应用场合下取值范围很大，其中本次评价 DL 和 DT 取值为 $0.5m^2/s$ 。模型采用的是油粒子模型，其中的扩散系数概念与常规的对流扩散模型有所不同，体现在：1）油粒子只在水体表面运动；2）粒子不按水动力模型中设定的网格运移，而是按实际运移路径准确计算，扩散系数取值与模型网格布置方式和时间步长关系不大。

（4）溢油预测时长

根据《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ 1409—2025），同时参考《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017），选择 72h 作为溢油预测时长。

8.3.2 预测模式中有关参数的设定

（1）溢油位置

考虑到最大可信事故为施工期施工船舶与周边往来通航船舶相撞导致油舱破损而发生溢油事故，结合工程路由布置和周边船舶，尤其是渔船作业范围情况，从溢油事故发生的概率以及溢油点对敏感目标影响程度最大考虑，选择路由与南海西线航路交汇处 A 点（ $110^{\circ}45'5''E$ ， $15^{\circ}17'38''N$ ）。详见图 7.4-3。

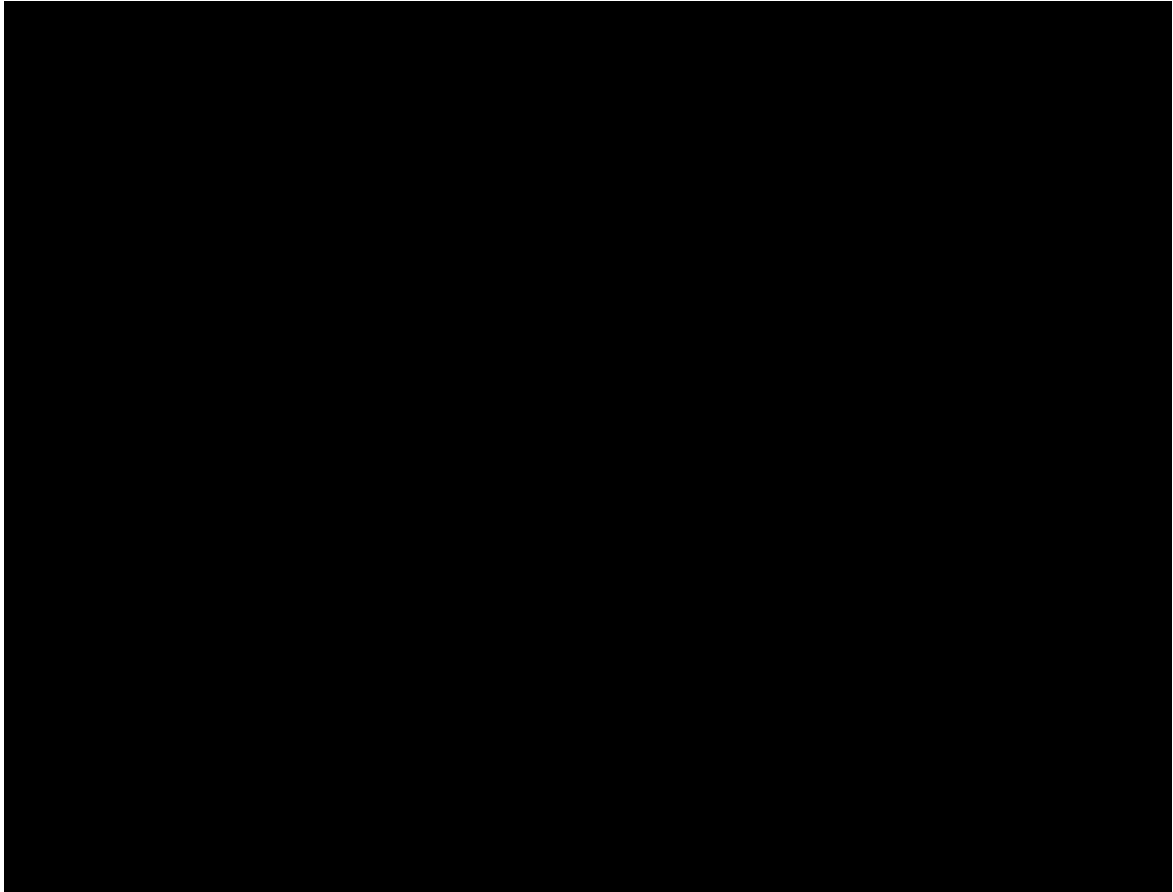


图 8.3-1 溢油点位置

（2）源强

根据本报告 8.2.4 节风险事故源强分析，本工程溢油事故风险预测中溢油源强按照施工期实际航行和作业船舶中载油量最大船型的 1 个燃料油边舱的容积确定。溢油量取 220t。溢油形式主要分为瞬时和连续溢油，一般而言，溢油量的 10%为瞬时溢油，90%为连续溢油。结合本工程实际情况，预测以燃料油作为油品的主要代表，考虑连续一小时溢油的情况，以大潮作为主要的潮流形式。

（3）溢油发生时刻

研究表明，短期内（<24h）不同特征潮对溢油后油膜的运动有影响，涨憩时刻溢油油膜往下游漂移的距离最长，落憩时刻溢油油膜对上游影响距离最大，但不同特征潮对溢油油膜面积基本无影响。研究区域属于非正规半日潮，本评价常规工况考虑溢油事故发生在高低潮时油膜随落潮流和涨潮流运动油膜输移的过程，不利工况根据溢油点与风险关注点的相对位置确定溢油发生时刻。

（4）风速取值

溢油期间，风作用不可忽略，因而计算工况需考虑风向、风速的影响。根据

《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT/T 1143-2017），溢油计算工况通常需考虑冬季主导风、夏季主导风以及不利风向，主导风向风速取年平均风速。本报告主要考虑海缆铺设施工期间的主导风向和不利风向（相对于敏感目标）两种情况。综合考虑风场、溢油时刻等影响因素，溢油预测最终设定的计算工况见表 1.2-1。

表 8.3-2 溢油点 A 计算工况

工况	事故点	溢油量(t)	风向	风速(m/s)	选择原因	溢油开始时刻潮流状况
1	A	220	ENE	4.8	冬季主导风向	涨潮
						落潮
2			SW	4.7	夏季主导风向	涨潮
						落潮
3			SW	13.8	不利风向	落潮
4			SSW		不利风向	落潮

8.3.3 溢油预测结果

（1）ENE 向平均风情况下

ENE 向平均风（4.8m/s）落潮发生溢油 72h，在风和潮流的共同作用下油膜主体向西南扩散，向西南向最远扩散距离为 29.2km，最大扫海面积 54.3km²。溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后直接对该敏感区造成影响，72h 内不会对其他风险关注点产生影响。溢油扩散范围和油粒子运动轨迹见图 7.3-17。

ENE 向平均风（4.8m/s）涨潮发生溢油 72h，在风和潮流的共同作用下油膜主体向西南扩散，在西南向最远扩散距离为 32.5km，最大扫海面积 58.1km²。溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内不会对其他风险关注点产生影响。溢油扩散范围和油粒子运动轨迹见图 7.3-18。

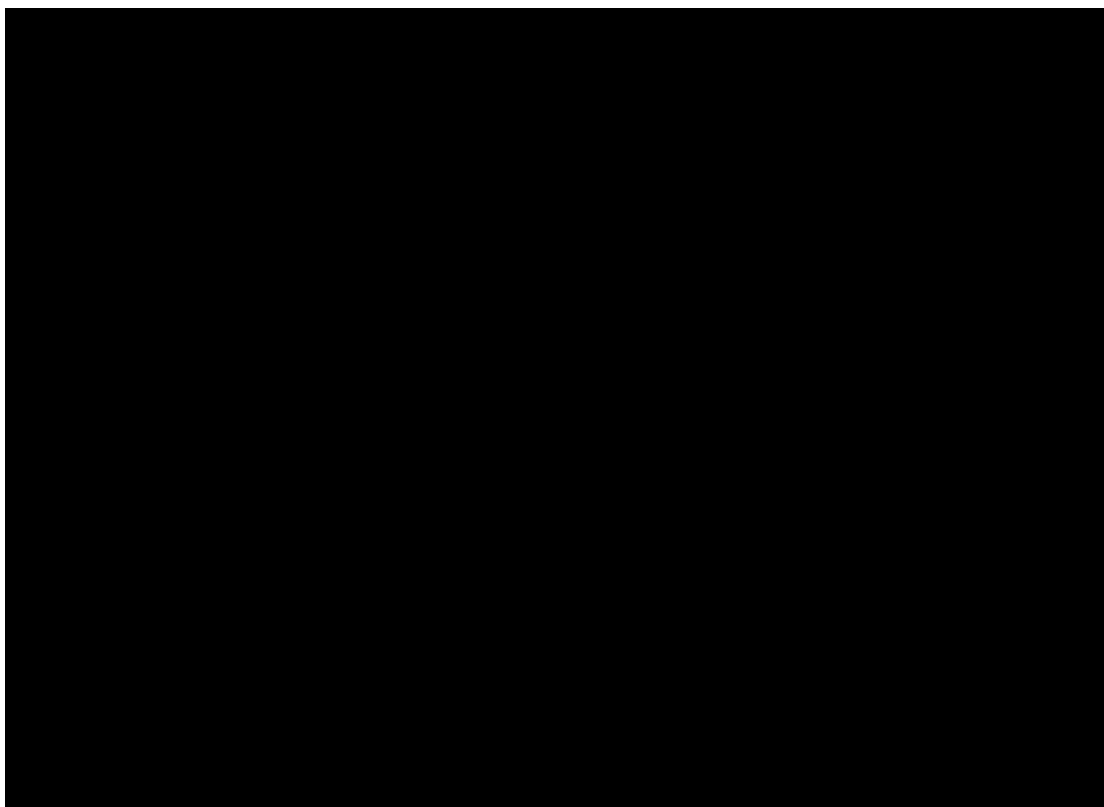


图 8.3-2 溢油 72h 油膜扩散范围图（ENE 向平均风，落潮）

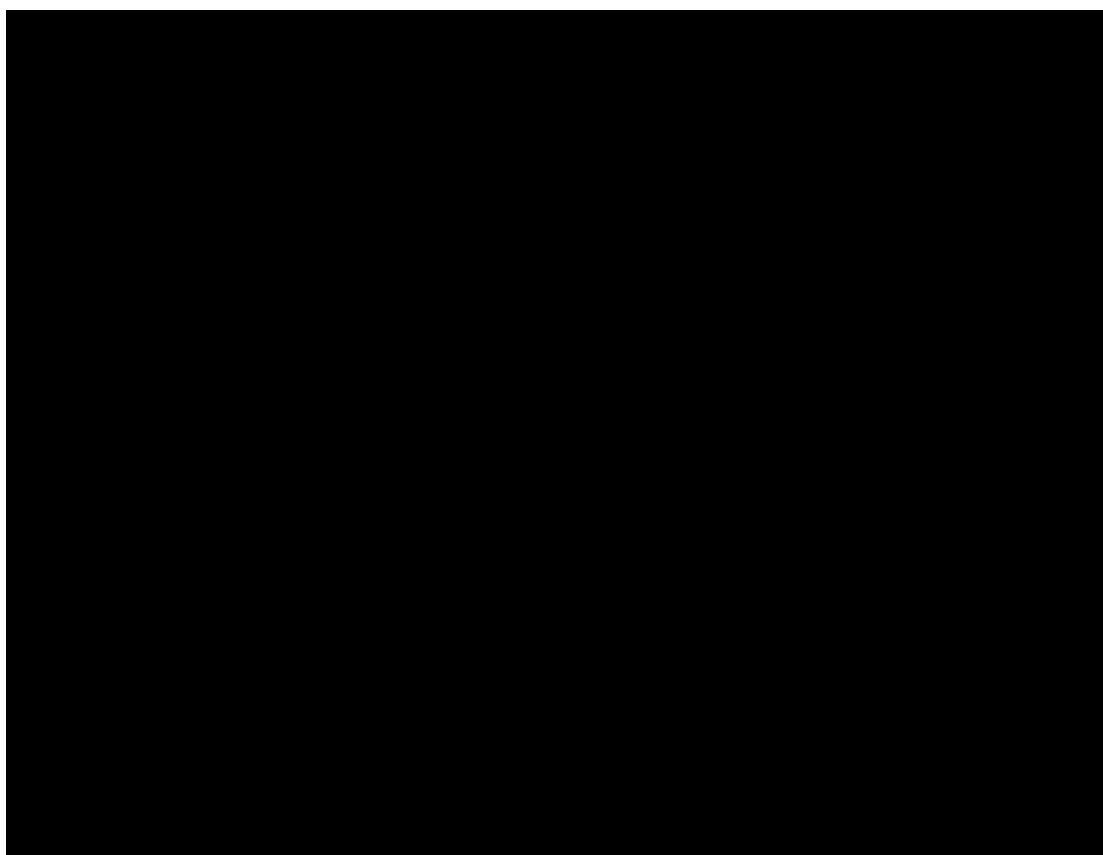


图 8.3-3 溢油 72h 油膜暴露时间（ENE 向平均风，落潮）

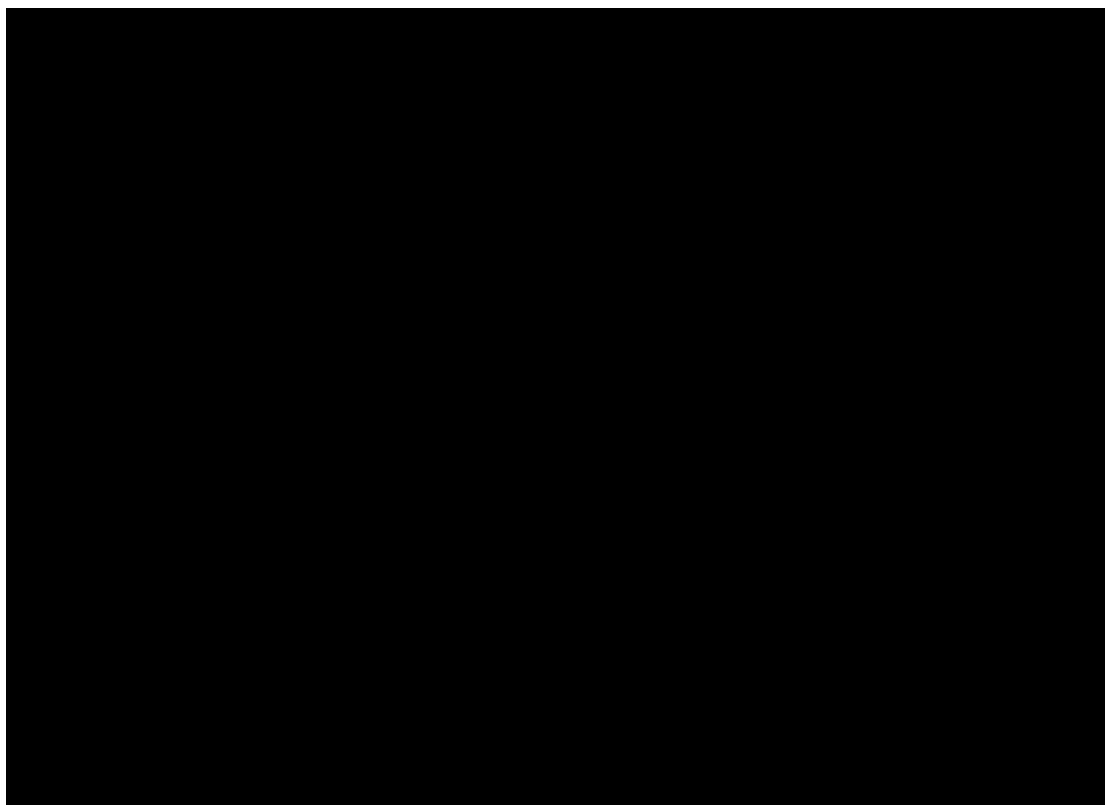


图 8.3-4 溢油 72h 油膜扩散范围图（ENE 向平均风，涨潮）

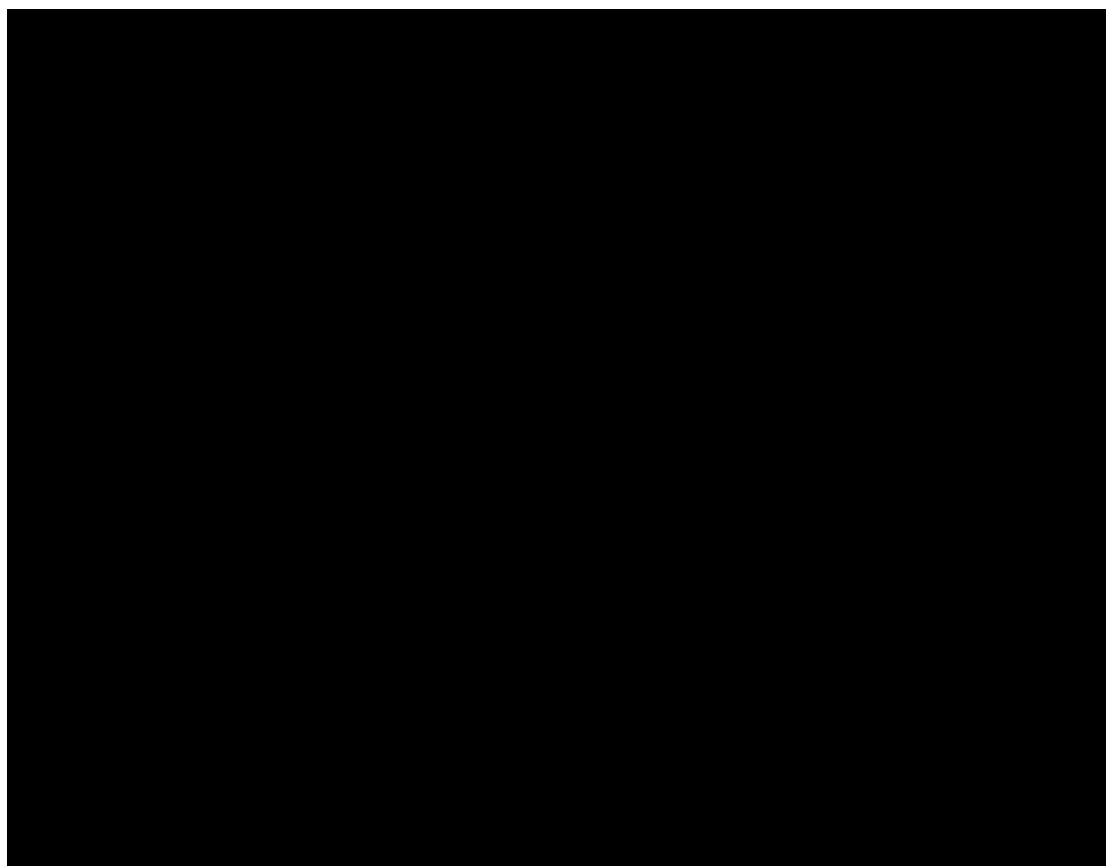


图 8.3-5 溢油 72h 油膜暴露时间（ENE 向平均风，涨潮）

（2）SW 向平均风情况下

SW 向平均风（4.7m/s）落潮发生溢油 72h，在风和潮流的共同作用下油膜主体向东北扩散，东北向最远扩散距离为 25.4km，最大扫海面积 50.3km²。溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内不会对其他风险关注点产生影响。溢油扩散范围和油粒子运动轨迹见图 7.3-19。

SW 向平均风（4.7m/s）涨潮发生溢油 72h，在风和潮流的共同作用下油膜主体向东北扩散，东北向最远扩散距离为 22.6km，最大扫海面积 41.9km²。溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内不会对其他风险关注点产生影响。溢油扩散范围和油粒子运动轨迹见图 7.3-20。

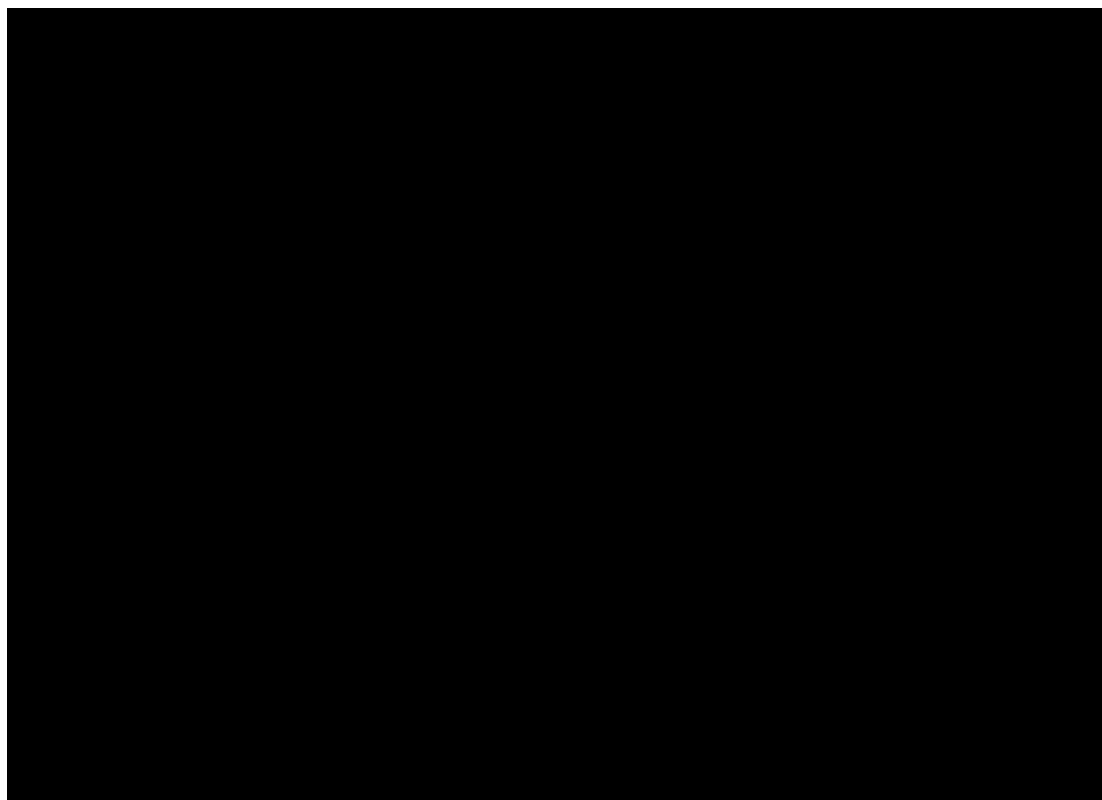


图 8.3-6 溢油 72h 油膜扩散范围图（SW 向平均风，落潮）

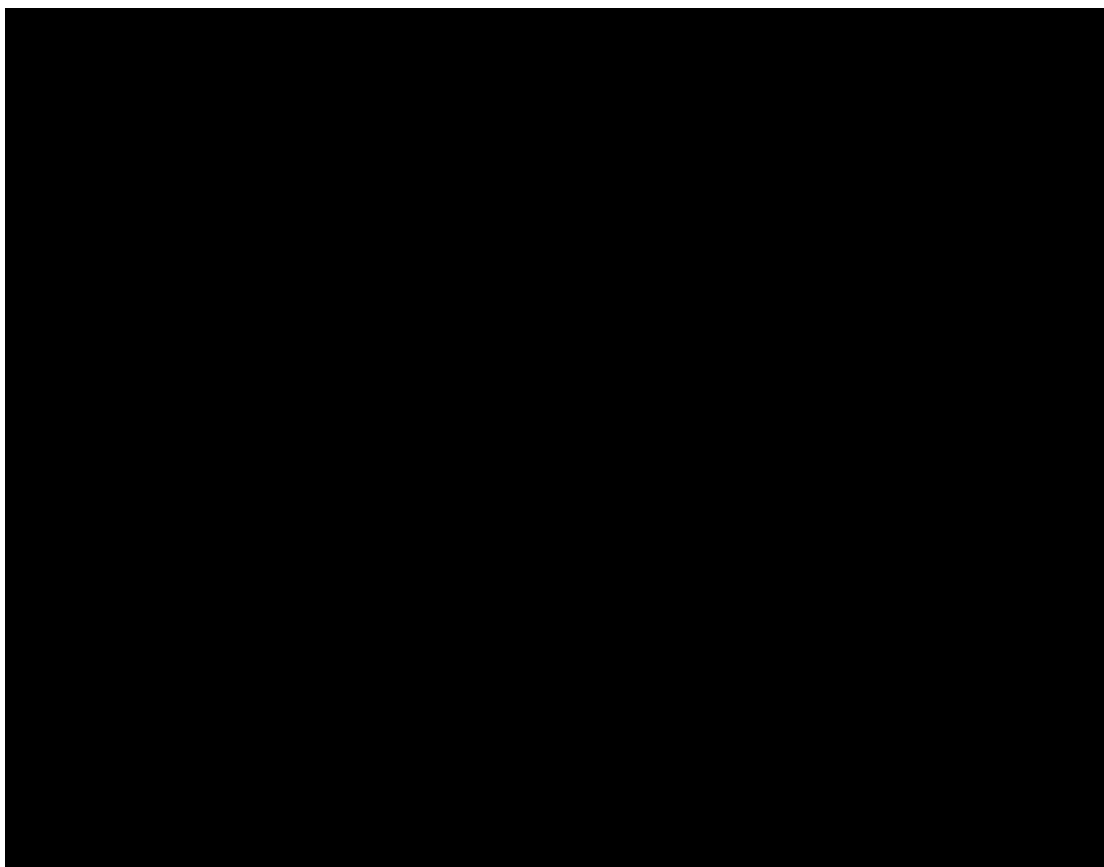


图 8.3-7 溢油 72h 油膜暴露时间（SW 向平均风，落潮）

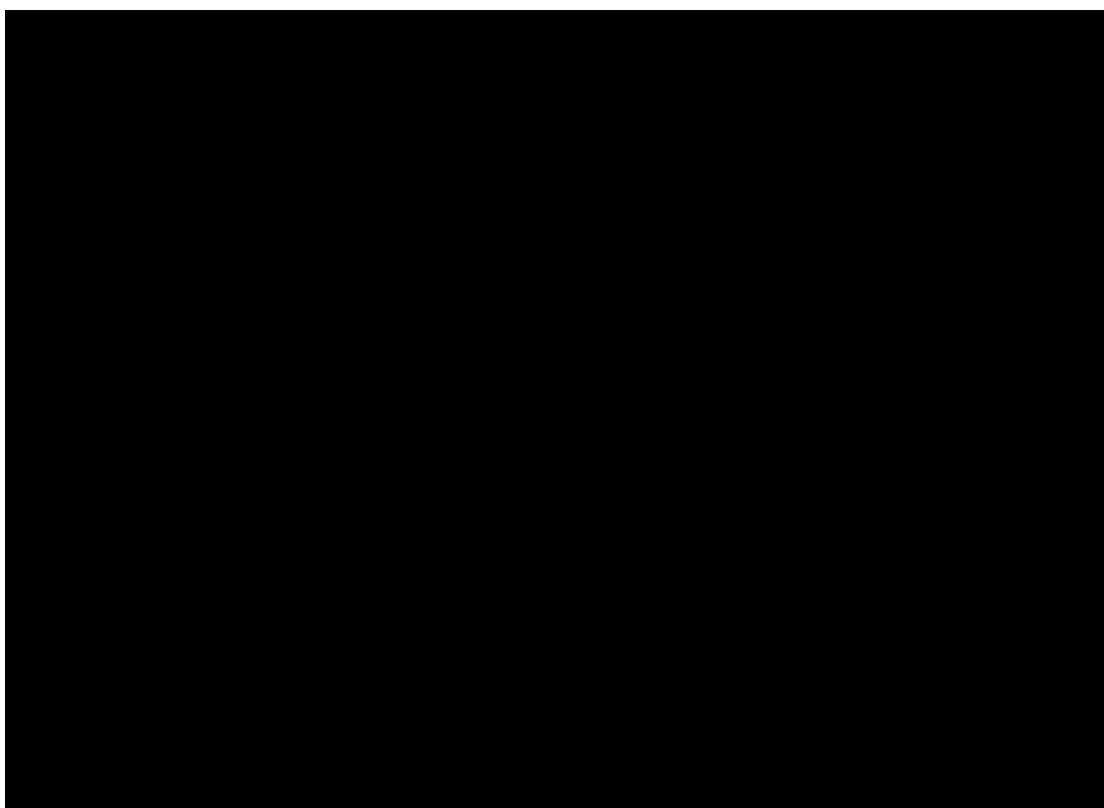


图 8.3-8 溢油 72h 油膜扩散范围图（SW 向平均风，涨潮）

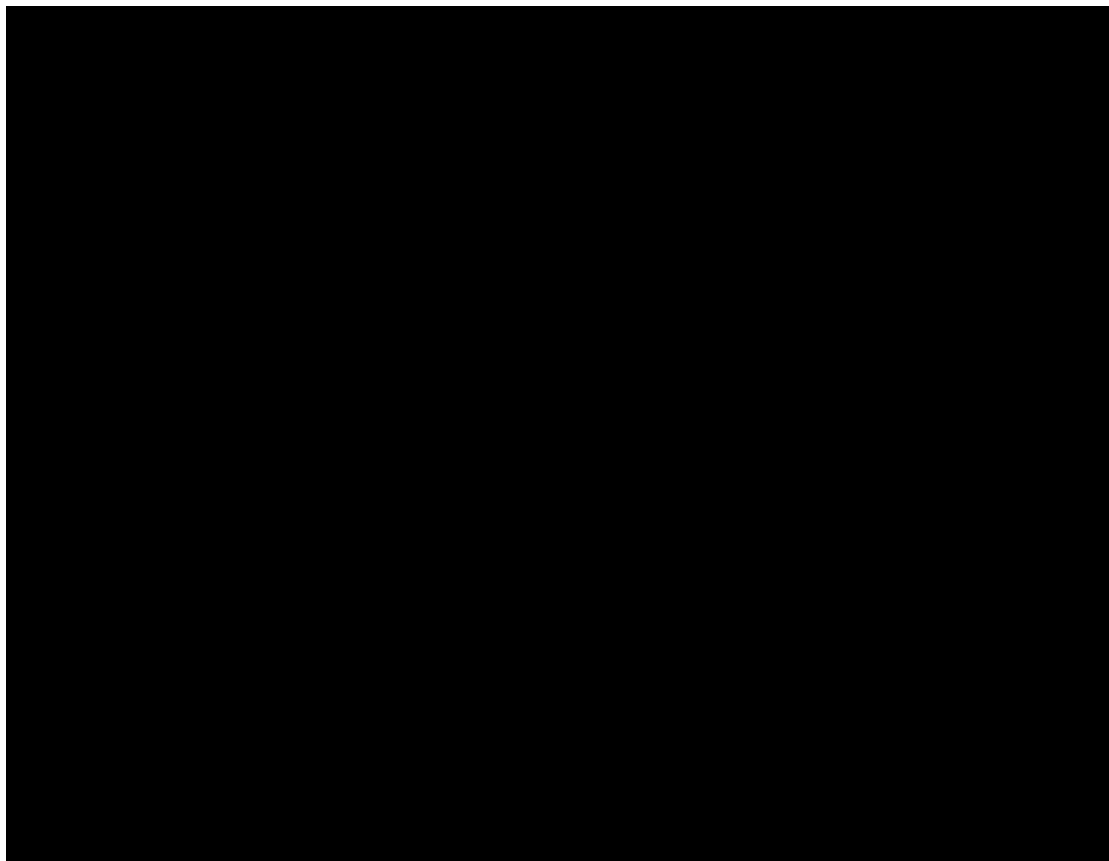


图 8.3-9 溢油 72h 油膜暴露时间（SW 向平均风，涨潮）

（3）SW 向不利风情况下

SW 向不利风（13.8m/s）落潮发生溢油 72h，在风和潮流的共同作用下油膜主体向东北扩散，向东北方向最远扩散距离为 75.3km，最大扫海面积 115.6km²。溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内未对其他风险关注点产生影响。溢油扩散范围和油粒子运动轨迹见图 7.3-22。

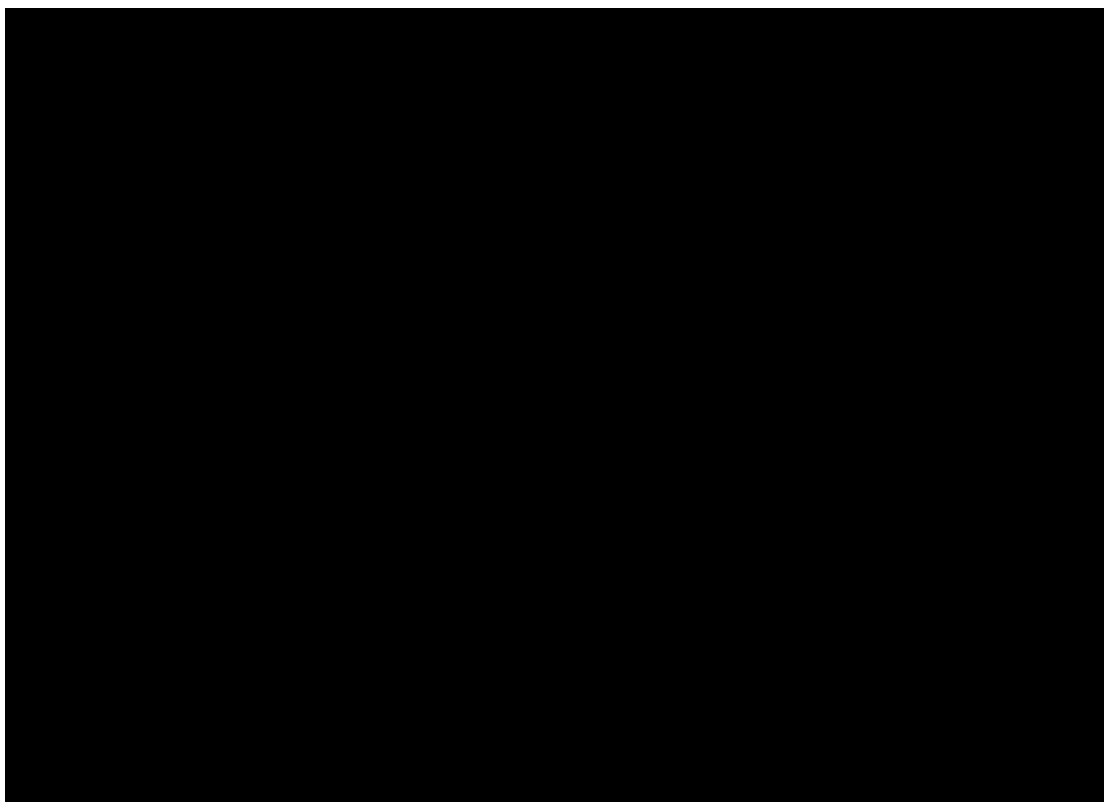


图 8.3-10 溢油 72h 油膜扩散范围图（SW 向不利风，落潮）

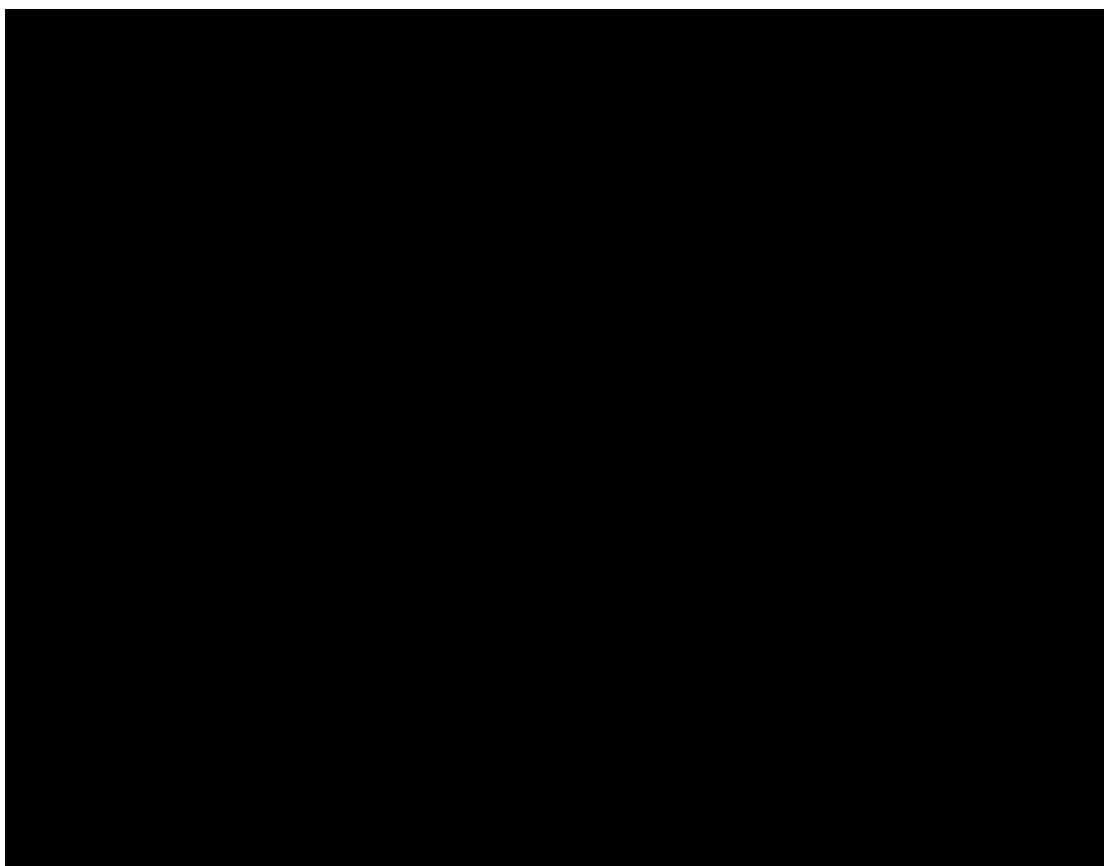


图 8.3-11 溢油 72h 油膜暴露时间（SW 向不利风，落潮）

（4）SSW 向不利风情况下

SSW 向不利风（13.8m/s）涨潮发生溢油 72h，在风和潮流的共同作用下油膜主体向东北扩散，向东北方向最远扩散距离为 78.2km，最大扫海面积 106.2km²。溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内未对其他风险关注点产生影响。溢油扩散范围和油粒子运动轨迹见图 7.3-21。

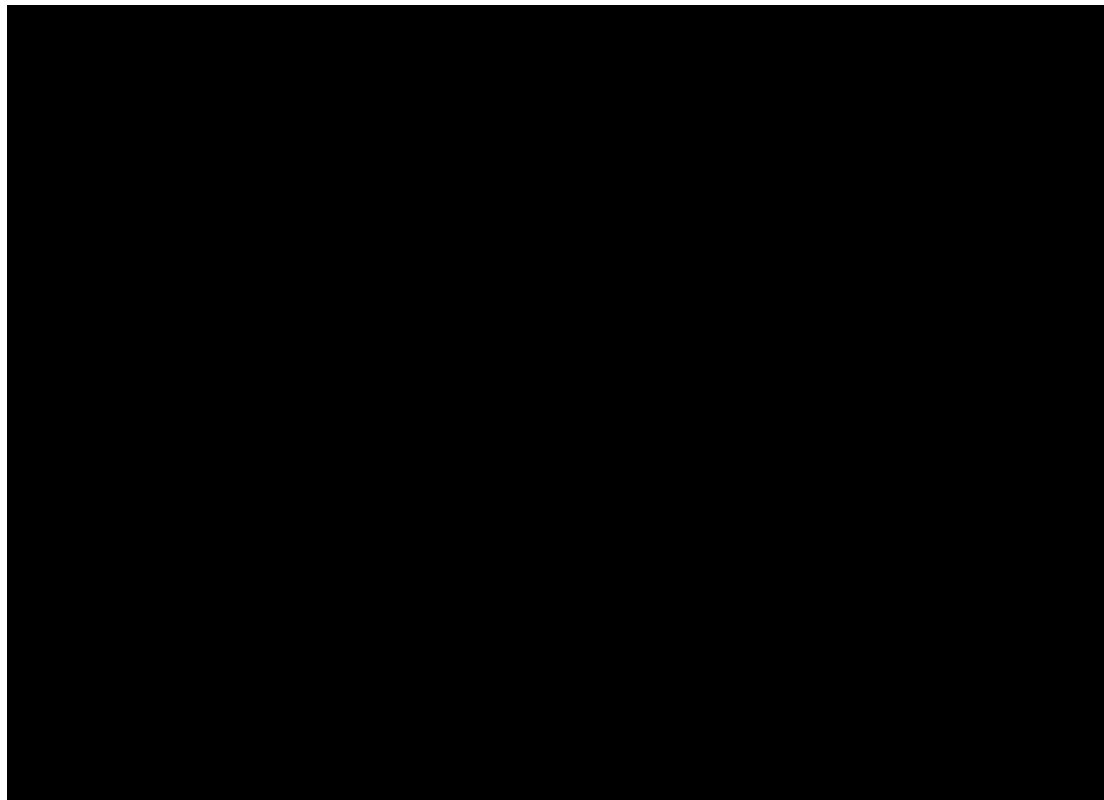


图 8.3-12 溢油 72h 油膜扩散范围图（SSW 向不利风，涨潮）

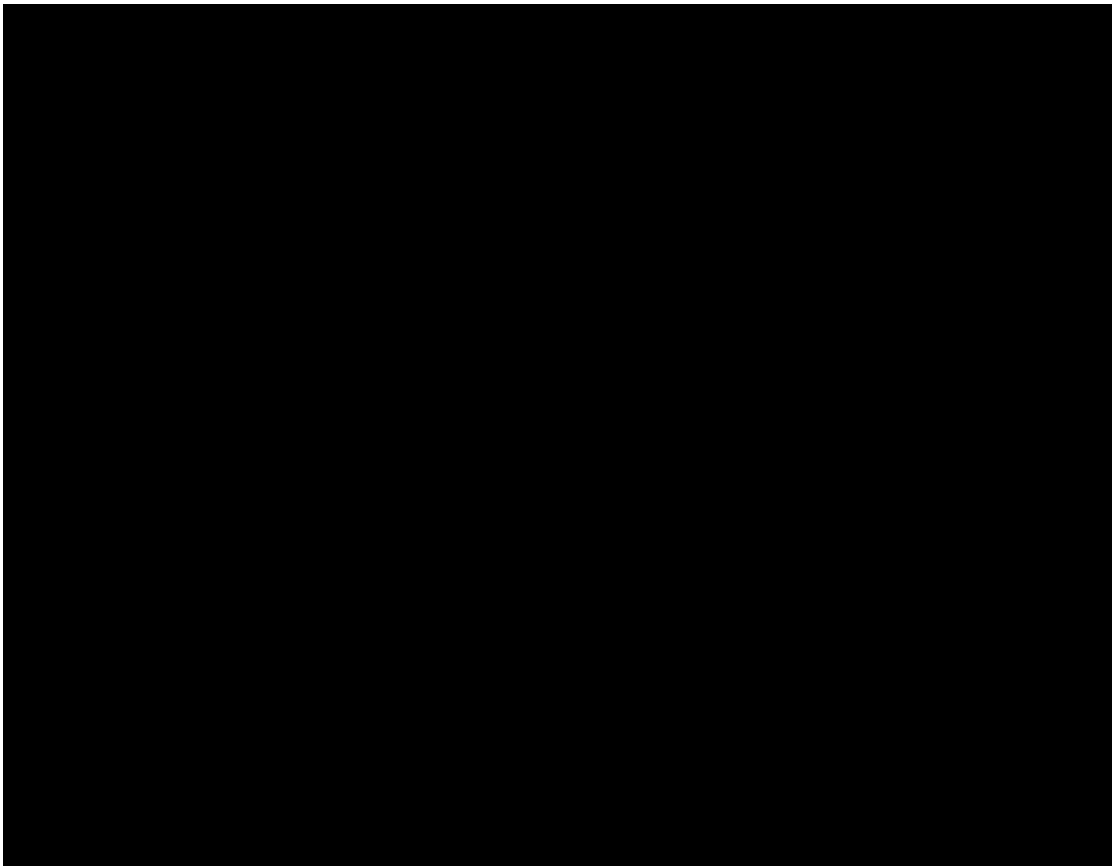


图 8.3-13 溢油 72h 油膜暴露时间（SSW 向不利风，涨潮）

表 8.3-5 不同风向、风速情况下溢油漂移距离（km）与扫海面积（km²）

风向	时刻	风速 (m/s)	漂移最大 距离 km	扫海面积 km ²	首次抵敏感区所需时间 h
ENE 向 平均风	落潮	4.8	29.2	54.3	溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内未对其他敏感区产生影响。
	涨潮	4.8	32.5	58.1	溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内未对其他敏感区产生影响。
SW 向平均 风	落潮	4.7	25.4	50.3	溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内未对其他敏感区产生影响。
	涨潮	4.7	22.6	41.9	溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内未对其他敏感区产生影响。
SW 向 不利风	落潮	13.8	75.3	115.6	溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内未对其他敏感区产生影响。

SSW 向 不利风	落潮	13.8	78.2	106.2	溢油点位于南海中部农渔业区，溢油后对该敏感区造成影响，72h 内未对其他敏感区产生影响。
--------------	----	------	------	-------	--

8.3.4 溢油对敏感目标的影响分析

无论油膜是否抵达岸边，都会对海洋环境以及渔业产生污染损害，而溢油一旦抵岸将造成岸线的严重污染。研究表明，一旦溢油到达敏感区域会对敏感区域造成很大损害，敏感区域生态环境将历经几到十几年才能恢复。

对于本项目船舶溢油事故而言，虽然施工海域距离周边西沙群岛海洋保护区、中沙群岛海洋保护区、南沙群岛海域保护区较远，溢油发生后 72h 内未对其产生影响。但施工海域本身即位于南海中部农渔业区内，一旦发生溢油事故而又没有任何应对措施，油污将即刻进入农渔业区，并在风和潮流的共同作用下快速向周边海域扩散，对该区域海洋生态环境造成一定的污染，危害农渔业区内渔业资源生存环境，降低捕捞产量。因此需要项目建设单位予以足够重视并采取必要措施确保在环境安全的前提下进行海上施工活动。

8.4 风险防范与应急措施

8.4.1 风险防范措施

针对本项目工程海域距岸远，海况条件复杂，风浪、台风、触礁等海损性事故时有发生，且路由大角度穿越南海主航路，同时路由区为西沙、南沙海域渔船习惯活动范围的特点，评价认为本光缆建设项目施工期应重点在船舶人员安全意识、专业技能以及船舶设施的运行维护等方面采取风险防范措施。

（1）施工前，事先向相关海区的区域主管机关申请发布海上航行警告、航行通告。海上航行警告、航行通告发布后，施工单位必须根据国家主管机关或者南海主管机关核准的时间和区域内进行活动；需要变更活动时间或者改换活动区域的，应当依照航行警告和航行通告管理规定，重新申请发布海上航行警告、航行通告。

（2）船舶应加强驾驶台资源管理，保障船舶值班及夜航命令的有效执行。值班驾驶员遇到复杂局面难以决断时，应及时召请船长。在电话通知无效时，应果断采取如广播呼叫等其他措施，条件允许时还可派值班水手、轮机值班员或其他船员去通知船长。

（3）值班驾驶员在航行过程中应正确地使用和参考 ARPA、AIS 等辅助设备，综

合参考 DCPA、TCPA 等信息，同时也应能意识到设备的误差、信息传递和反馈迟滞或其他预期不到的不利因素对碰撞危险评估造成的干扰，经常用视觉、听觉以及适合当时环境和情况下的一切有效的手段保持正规的瞭望，以便对局势和碰撞危险做出充分的估计，并加强 VHF 守听，及时维护 VHF 设备。

（4）作业船舶应遵守《中华人民共和国海船船员值班规则》的规定，严格落实值班制度，做好值班交接。接班驾驶员在接班前，应当对本船的推算船位或者实际船位进行核实，确认计划航线、航向和航速以及无人值班机舱控制装置的工作状况，并应当考虑值班期间可能遇到的任何航行危险。

（5）作业船舶管理人员需定期检查船舶状况，察看机械设备的磨损、漏油、漏水、漏气、漏电情况，查看监控设备、动力设备、锚泊设备是否正常运转，减少船舶自身存在的安全隐患，在故障排除之后第一时间进行调试，确保船舶设备的性能恢复正常，使船舶设备始终保持良好的工作状态，确保船舶能够安全地航行，减轻由于船舶设备老化损坏等因素所带来的潜在风险。

（6）船方应加强培训、考核和检查使得驾驶员须熟练掌握应用避碰规则。施工单位应加强对驾驶员熟练掌握应用避碰规则有关知识和技能的训练和考核，现场监管机构也应加强驾驶员相关知识和技能的检查，确保驾驶员能熟练掌握应用避碰规则。船舶应紧绷安全之弦，保持正规瞭望，采用安全航速航行，按照“早”、“大”、“宽”、“清”四字方针，及早采取避让行动，主动核实避让效果，合理利用车、舵协调避让，必要时应采取停车、倒车等制动措施减少碰撞事故损害。考虑到施工区水深较深，埋缆作业期间船舶水下埋设犁距离船舶有一定的距离，避碰时应将船舶和水下埋设犁作为整体考虑。过往船舶在避让本工程施工船舶时，也应当避让本工程埋设犁。

（7）加强船员的心理素质训练，提高船员的应变能力。作为船员，特别是驾驶员，应该有非常好的心理素质以避免重大海难的发生。因此，从普通人到船员都应该经历心理素质训练，以达到较好的心理素质，在紧急情况下保持清醒的头脑，提高应变能力。

（8）遇大风浪航行时，根据气象预报及时决定是否需避风。需避风时，前往安全海域避风，并提前备妥周边海域航行图，防止在浅滩区发生搁浅；无需避风时，仍有必要有计划地降低船速，保持严密、谨慎、连续观测，将船速降低实现稳定航行的最低速度。

（9）制定船舶应急反应计划。应急反应计划应明确船员的职责和关系，应急响应程序清楚，计划应包含船载设备移动和船舶横倾、机电失灵、船舶破损和船舶进水、灭火时积水处理、溢油处理等单项。施工前开展事故演练和安全警示技能培训，有条件的开展仿真模拟事故现场应急训练，使船员综合运用有关知识和技能，熟悉群体配合。

8.4.2 溢油应急措施

溢油事故发生后，根据溢出物的类型、规模、溢出物的种类、溢出物扩散的方向、周围海域、大气的环境，采用有针对性的溢油应急处置措施。针对海上的溢油应急情况可选择一些溢油控制方案，但必须考虑到所需设备、环境因素的影响，注意优先权的选择。针对本项目，考虑到项目区位于南海西北部开阔海域，一旦发生溢油事故，施工船需首先开展现场应急处置，多以投放吸附材料为主；其次依托周边可协调应急资源，选择适合开阔水域大面积清除溢油的方法，如围控和机械回收清除法。

此外，考虑到项目海域周边分布有西沙、南沙等珊瑚礁及水产种质资源保护区，生态环境极其敏感，发生溢油事故后，需对可能受到污染威胁的区域重点关注，当溢油事故点控制无效导致敏感区可能遭受溢油威胁时，应提前在生态区域外围，设置围油栏，防止漂移油膜进入保护区。

① 吸油毡吸油

吸油毡（也称吸油毛毡），有吸油倍数高、不松散、吸饱油后不变形、易打捞等特点，吸油毡经挤压后可回收重复使用，不会造成二次污染。

使用吸油毡时，操作人员可以在船上直接向水面抛洒。最好能将吸油毡直接投放在溢油上，尽量向溢油多的地方投放，以便吸收更多的溢油。投放吸油毡应适量，使吸油毡处于吸油饱和状态。吸油毡的吸油量达到饱和后，应尽快捞出水面，避免长时间停留在水中。使用吸油毡时，不能同时使用溢油分散剂，以免降低吸油毡的吸油能力。溢油事故发生后，应依据溢出油量、海况与气象、流速与流向，及时使用吸油毡，并在其他应急船舶到达后拖带网袋进行回收。

② 围控和机械回收

燃料油溢到水面后，在自身重力和风、流以及其他因素的作用下会迅速扩散和

漂移。因此，溢油应急反应的首要任务是尽快采取有效措施，控制溢油，阻止其进一步扩散和漂移，以减少水域污染范围，减轻污染损害程度。这种将溢油控制在较小范围并阻止其进一步扩散和漂移所采取的措施称为溢油围控。

围油栏对溢油的围控、导流和防范作用，要通过适当的布放形式来实现。在开阔水域布放围油栏，主要采用船拖带方式，如两船拖带之“J”型、两船拖带之“U”型等方式，具体还要根据实际情况而定。

a.两船拖带之“J”型

如图 8.4-1 所示，这种形式需要用两艘船。一艘作为主拖船，用于拖带围油栏较短的一端，同时存放所需的回收设备和回收作业人员；另一艘作为辅拖船，用于拖带围油栏较长的一端。围油栏的长度需要 200-400m。从主拖船至 J 形底部之间围油栏的长度为 20-40m，撇油器放置在 J 形的底部。围油栏要尽可能紧靠在主拖船的一侧（10-20m），以便于撇油器或其它回收设备的操作。

为了获得并保持理想的围油栏底部形状，可以通过拉动连接围油栏与船舶之间的绳索，对围油栏底部的形状进行适当的调整。

在进行两船拖带作业时，一般情况下，主拖船为指挥船，主拖船应根据溢油围扫情况及时、准确地向前面的拖船发出指令，拖船应注意随时与主拖船保持良好的通信联络，严格按照指令及时调整航向和航速，只有这样才能时刻保持良好的 J 型围扫形式，达到理想的溢油回收效果。

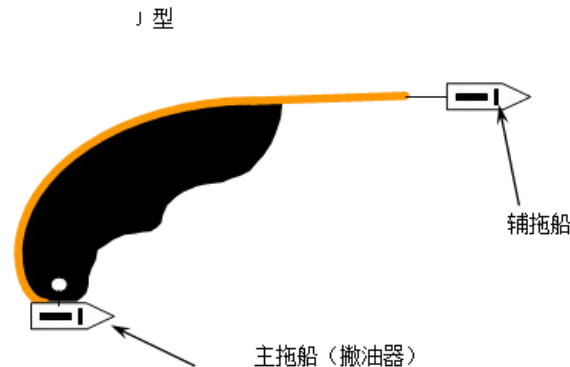


图 8.4-1 两船“J”型拖带

b.两船拖带之“U”型

如图 8.4-2 所示，U 形拖带由三艘船来完成。拖带时，前面两艘拖带船同时并进

的同时，第三艘船舶则应根据两艘拖船行进的速度，始终处于 U 形的底部外侧，利用撇油器对 U 形底部聚集的油膜进行回收作业。此种形式的围扫作业，回收量较大。

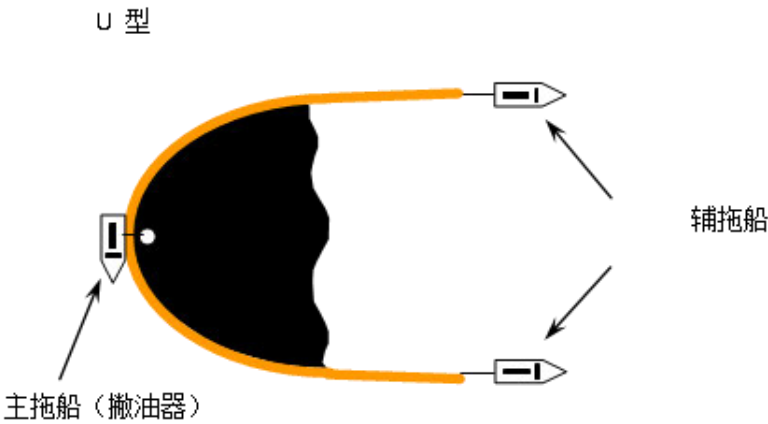


图 8.4-2 两船“U”型拖带

8.4.3 应急设备资源

8.4.3.1 可依托的应急资源

8.4.3.1.1 溢油事故应急资源

项目附近水域周边可依托的溢油应急资源主要为三沙海事局及三亚海事局应急设备资源以及周边油田开发区应急资源。见表 8.4-1、表 8.4-2。

表 8.4-1 三亚海事局溢油应急物资清单

序号	货物名称	型号规格	单位	数量
1	固体浮子式橡胶围油栏	WGJ1100	m	800
2	速布放围油栏	KSW100	m	200
3	吸油毡	PP-5	t	4.65
4	吸油拖栏	XTL-Y220	m	252
5	转盘式收油机	ZSY20	台	1
6	下行式收油机	DXS40	套	1
7	转盘式收油机	ZSJ10	套	1
8	转盘式收油机	ZSJ5	套	1
9	消油剂喷洒装置	PS80	套	1
10	消油剂喷洒装置	PS40	套	1
11	卷绕机	1000 型	套	1
12	绕机动力站	1000 型	台	1
13	拖头	1000 型	套	2
14	轻便储油罐	QG-V10	个	1
15	高温高压清洗机	BCH-1217B	台	1
16	防爆卸载泵	XZB100F	套	1
17	消油剂	20kg/桶	吨	0.18

表 8.4-2 工程海域周边油田开发区块应急资源设备清单

序号	溢油应急物资	数量	存放地点
1	充气式橡胶围油栏	400 米	主甲板溢油装备集装箱内
2	防爆动力站	2 套	主甲板溢油装备集装箱内
3	吸气机	1 套	主甲板溢油装备集装箱内
4	集装箱	4 个	主甲板柴油吊机北侧
5	撇油器	1 套	主甲板溢油装备集装箱内
6	喷洒装置	1 套	主甲板溢油装备集装箱内
7	手持喷枪	2 个	主甲板溢油装备集装箱内
8	储油囊	4 套	主甲板溢油装备集装箱内
9	吸油毛毡	2 箱	生产甲板南侧
10	消油剂	5 桶	生产甲板南侧
11	气动隔膜泵	2 台	主甲板溢油装备集装箱内

8.4.3.1.2 海损事故应急力量

交通运输部南海救助局是海上专业救助机构，主要担负中国南部海域及珠江口的救助工作。南海救助局总部设在广东省，下辖救助船队、南海第一救助飞行队、南海第二救助飞行队、救助保障中心和广州救助基地（应急救助队）、汕头救助基地、深圳救助基地、湛江救助基地（阳江海上救助站）、北海救助基地、海口救助基地、三亚救助基地、西沙救助基地、三沙海上救助中心等所属机构。

值班船舶分别安排在汕头海区、珠江口海区、湛江海区、琼州海峡海区、广西北北海海区、三亚海区和南海水域值班待命；在责任海区部署大型救助直升机 2 架，中型救助直升机 3 架，分别在珠海、三亚 2 个救助飞机值班站点值守。

三沙海上救助中心承担实施三沙周边海域应急救助和抢险工作，为区域内救助船舶、航空器实施救助任务提供支持和保障的重要职责。

西沙救助基地在永兴岛，装备一艘“南海救 111”救助船，是国内航速最快、装备最先进、救助功能最齐全的远洋专业救助船。此外，“南海救 115”、“南海救 118”、“南海救 113”、“南海救 116”等船舶也经常用于南海北部海域及深远海事故救援。

2024 年 1 月，“南海救 103”轮正式投入使用，该轮兼有水面遇险人员搜寻救助、深远海遇险船舶拖曳救助、海空立体搜寻救助支持、对外消防灭火、应急抢险救助、信息传输与应急指挥、溢油污染监测等七大功能，具备深远海综合搜救能力。

8.4.3.1 溢油应急资源可达性分析

根据本工程周边可依托的溢油应急资源的分布情况，对溢油应急资源进行可达性分析。估算工程海域周边溢油应急力量最快可于事故发生后 13.3~18.5h 达到事发地

参与应急。

从前述溢油事故扩散预测结果来看，溢油发生后，溢油会立即对南海中部农渔业区造成影响，72h 内不会对周边其他风险关注点产生影响。一旦溢油持续扩散，则可能会对西沙海域珊瑚礁、水产种质资源造成严重损害，区域生态环境可能需要历经几到十几年才能恢复。因此，虽然本项目光缆路由距离西沙、南海岛礁海域较远，但仍应对溢油应急高度重视，

溢油发生后应第一时间采取相应的应急措施进行干预。本工程施工船舶配备一定的溢油应急物资，事故发生后，可第一时间对溢油污染物进行控制，事故发生后 13.3~18.5h 周边应急力量可到达现场参与溢油处置工作，能够避免溢油向西沙岛礁海域的进一步扩散，可满足溢油应急需求。

表 8.4-3 溢油应急资源调用时间表

溢油点	应急资源所有者	海上距离/km	航行/h	动员/h	到达现场时间/h
A 点	三亚海事局	350	17.5	1.0	18.5
	陵水 17-2 气田	235	11.8	1.5	13.3

备注：到达时间 = 动员时间 + 水上航行时间（距离 ÷ 速度），船速按 11 节（约 20km/h）计。

8.4.3.1 本项目作业船舶自备应急设备

本项目施工作业船的主要功能是光缆建设，船上空间、设备配置主要以满足工程作业需求为主，作业船甲板和舱室大多被工程作业相关设备占据，布局紧凑，难以设计足够空间存放应对大规模溢油事故应急资源，同时也易造成资源闲置问题。目前，远海海域海上污染事故应急处置主要由国家海事部门负责统筹协调，溢油事故发生后，海事部门将启动相关预案，组织、协调和指挥应急处置工作。

为了应对小型船舶跑冒滴漏（如加油过程误操作导致油品泄露入海、液压系统故障导致液压油在甲板上泄露等）。本评价提出船舶自备少量应急物资，建议按满足处理 10t 规模溢油事故配置，其中溢油分散剂处理 8t，吸油毡和棉纱处理 2t。结合《船舶溢油应急能力评估导则》（JT/T 877—2013），需要配备具体应急物资数量计算如下：

①根据《船舶溢油应急能力评估导则》中溢油分散剂配备数量计算公式：

$$G = T \times 10^3 \times P_2 \times R$$

式中，G——需喷洒的溢油分散剂数量，单位为千克（kg）；T——总溢油量，单位为吨（t）；P2——为溢油分散剂处理溢油数量占总溢油量额百分比（%），取 20%；R——溢油分散剂与油的用量配比，表示每单位溢油需要使用的溢油分散剂的量。常规性分散剂取值为 0.3~1，浓缩型分散剂取值 0.1~0.2。

则计算中 T 为 10t，P2 为 20%，R 取最小值 0.1。根据上述公式，得出 G 为 200kg，按 JDF-2 消油剂规格 25kg/桶，配备 8 桶。

②施工船舶除储备有溢油处理剂外，还应储备吸油毡等吸附材料，根据《船舶溢油应急能力评估导则》中吸附材料吸附能力的计算公式：

$$I = T \times P_3 \div (J \times K \times \phi_1)$$

式中，I——吸收吸附材料数量，单位为吨（t）；T——总溢油量，单位为吨（t）；P3——吸收吸附回收量占总溢油量额百分比（%），吸油毡取 80%，棉纱取 5%；J——吸收吸附倍数；K——油保持率（%）； ϕ_1 ——吸收吸附加权系数，取 0.3。

根据《船用吸油毡》（JT/T560-2009），吸油毡吸附能力计算过程中各参数的值为：J 为 15，K 为 0.8， ϕ_1 为 0.3；根据上述公式，得出需要吸油毡约 220kg，故配置吸油毡（10kg/包）22 包。

对船舶跑冒滴漏立即查找泄漏污染源，关闭阀门，封堵甲板出水孔（缝），并投放吸油毡、棉纱等吸附材料，收集泄漏油污，并利用自备应急物资开展初期清污。施工船需按上述要求配置应急物质，包括吸油毡（10kg/包）22 包，溢油处理剂（JDF-2 消油剂，25kg/桶）8 桶。一旦溢油事故发生，施工船舶立即启动应急程序，并及时与海事局取得联系，对溢油进行清除，将溢油造成的损失降至最低。

8.4.4 溢油应急预案

8.4.4.1 区域溢油应急计划

根据《海南海事局船舶污染突发事件应急预案》（以下简称预案），预案适用于在海南海事局辖区水域内以及在该局辖区水域以外发生的危及或可能危及到该局辖区水域的船舶污染突发事件（以下简称突发事件）的应急处置。

预案包括总则、组织体系与职责、预防和预警机制、突发事件的分级与上报、应急响应与处置、后期处置、应急保障以及附则、附录共九个部分。

海南海事局辖区突发事件应急处置组织体系由应急指挥中心、应急办公室、分

支局和根据需要设立各类别的应急处置小组组成。根据突发事件的特点及其危害程度和事态发展态势，将海上突发事件分为特别重大、重大、较大、一般四级。

预案规定：根据突发事件分级标准，启动相应级别的应急响应。其中，较大、重大、特别重大等级突发事件由海南海事局承担应急处置工作；一般等级突发事件由分支局承担应急处置工作。需调用事发地专业清污单位、港口企业的清污资源的，由事发地分支局下发通知；需调用事发地以外专业清污单位、港口企业和分支局的清污资源的，由本预案应急办公室下发通知；需调用省外清污力量的，由应急办公室报请中国搜救中心或部海事局协调。

8.4.4.2 项目应急预案要求

8.4.4.2.1 应急预案纲要

油品泄漏将对海域环境产生严重的污染损害。事故发生后，能否迅速而有效的做出事故应急反应，对于控制污染、减少污染对生态环境造成的损失以及消除污染等都起着关键性的作用。因此，海缆项目应根据可能发生的风险事故类型制订应急预案，并报海事主管部门审批通过后开始施工。

海缆项目应建立相关应急反应部门的应急通讯联络机制，制订本单位对突发污染事故的应急反应对策。海缆项目突发事故应急预案纲要求见下表，供制订预案参考。

表 8.4-4 海缆项目应急预案纲要

序号	项目	内容及要求
1	总则	
2	应急计划区	作业区
3	应急组织	建立海缆项目的应急反应组织机构，包括建立单位内的应急反应领导小组，落实各级上级主管部门
4	预案分级响应条件	将污染事故分成一般、较大、重大、特大污染事故 一般污染事故自行处理，较大、重大、特大污染事故启动上级预案，接受上级应急反应部门的领导
5	报警、通讯联络方式	规定应急状态下的报警通讯方式、通知方式
6	应急救援保障	主要依靠海南沿海应急力量
7	紧急处置措施	制订应对各种突发情况的一般处置措施与程序
8	事故应急救援关闭程序与恢复措施	规定应急状态终止程序 规定事故现场善后处理，恢复措施 规定邻近区域解除事故警戒及善后恢复措施
9	应急培训计划	制订培训与演练计划
10	公众教育和信息	对邻近地区开展公众教育、培训和发布有关信息

11	附件	应急联络方式，包括本单位应急反应人员、专业应急救援队伍、敏感目标管理单位、上级应急主管部门等的有效联系方式 预案编制与更新等
----	----	---

建议建设单位参考本报告提出的应急预案纲要，制定污染事故应急预案，编制的应急预案应与主管海事的应急预案进行衔接，列入海事联系方式。当污染事故发生时，该公司有关人员应迅速将准确的事故信息上报三沙市海事局，并根据海事部门的指示，按照制定好的应急预案开展应急清污行动。当施工船舶的应急力量不足时，应请求海事部门统一调配周边应急力量，共同完成事故风险控制工作。

事故发生后，马上通知相关部门（环保部门、海事部门等），对于海域事故而言，优先保护附近的敏感目标。

8.4.4.2.2 应急指挥、救援机构职责和分工

成立污染事故应急救援“指挥领导小组”，小组由总指挥、现场指挥组成：下设应急救援队伍。当现场发生重大事故时，以指挥领导小组为领导核心，应急救援队伍为救援骨干，全面负责污染救援的组织指挥和救援控制。

应急救援队伍由现场值班主管、主办、领班、现场人员组成。

指挥领导小组的职责：（1）负责本单位“预案”的制订、修改；（2）组建应急救援专业队伍，并组织实施和演练；（3）检查督促做好重大事故的预防措施和应急救援的各项准备工作。

指挥部的职责：（1）发生事故时和事故处理完毕后，分别由指挥部发布和解除应急救援命令、信号；（2）组织指挥救援队伍实施救援行动；（3）及时向有关单位发出救援请求；（4）组织事故调查，总结应急救援工作经验教训。

应急救援队伍的职责：（1）各施工人员都负有事故应急救援的责任；（2）应急救援队伍是防泄漏污染应急救援的骨干力量，其任务主要是担负污染事故的现场救援以及尽最大努力防止污染扩散，将污染危害在最短时间里控制在最小范围内。

8.4.4.2.3 应急救援保障

海缆项目主要依托社会的应急设备，施工设置安全作业区，施工船舶配备吸油毡等必要的应急物资，并应具有溢油应急能力，与周边的清污公司和应急设备库保持联络机制。当发生溢油事故时，应按应急预案要求利用自备应急物资开展初期清污，并迅速将事故信息上报有关海事部门；如自身应急能力不足，应请求海事等部

门统一调配周边应急力量开展事故应急处置工作。

8.4.4.2.4 建立事故应急反应计划和应急反应措施

考虑到溢油对海域环境的严重污染损害，建立快速科学有效的海上污染防治和应急反应体系是非常必要的。事故发生后，能否迅速而有效地做出事故应急反应，对于控制污染、减少污染对生态环境造成的损失以及消除污染等都起着关键性的作用。为了将事故造成的损失降低到最低限度，制订和实施应急计划是唯一的选择。

（1）应急计划主要内容

- ①明确组织指挥机构；
- ②绘制该地区环境资源敏感图，确定重点优先保护区域；
- ③加强溢出物污染跟踪监测，建立科学的污染预报分析等应急决策支持系统，能够进行事故危害范围和程度的计算机动态模拟、评估与显示；
- ④了解周边清污设备器材储备，建立清污设备器材储备；
- ⑤加强清污人员训练；
- ⑥建立通畅有效的指挥通讯网络。

（2）事故应急反应措施

海缆项目事故应急反应措施应在以下几个方面做好工作：

- ①建立健全的应急反应的组织指挥系统
- ②配备应急反应设施和设备

了解海区的应急反应设施、设备配备情况，建立畅通的联络通道。

- ③应急防治队伍及演习

根据海缆项目的特点，为减少人员及日常开支，充分利用海事局系统应急防治力量。

- ④应急通讯联络

为确保海缆项目船舶突发性溢油污染事故的报告、报警和通报，以及应急反应各种信息能及时、准确、可靠地传输，必须建立通畅有效、快速灵敏的报警系统和指挥通讯网络，包括与海南海事局应急反应指挥系统联络。在应急反应过程中，能否及时对事故进行通报是决定整个应急反应过程和消除污染效果成败的关键。

- ⑤应急监视监测

事故的应急监视系统是通过监视手段，及时发现船舶溢油泄漏，迅速确定船舶

事故发生的位置、性质、规模等，为应急反应对策措施及方案的选定提供依据。

（3）污染事故控制现场应急措施

①严禁向海洋排放废油、残油等污染物。不得在施工区域清洗油舱和有污染物质的容器。

②作业期间施工船舶应防止溢油事故的发生。一旦发生漏油污染水域事故，应及时采取有效应急措施制止漏油，立即报告海事部门。同时及时采取措施，收集溢油，缩小溢油的污染范围。

③对漏油船舶立即查找泄漏污染源，关闭阀门，封堵甲板出水孔（缝），并投放吸油毡、棉胎、木屑等吸附材料，收集泄漏油污。

④迅速调集本项目其他作业船舶投入防污抢险，及时运送防污器材和救援队伍到达现场，在海事人员的组织下，进行协调作战，以最低限度地减少油污泄漏。并做好防火准备工作。

⑤对油污泄漏区域进行铺设围缆绳，投放吸油材料及消油剂，并及时回收泄漏的油污和已吸附的吸油材料，防止污染面积的扩展。

⑥因船舶碰撞引起的污染，则应迅速控制当事船舶污染源，必要时应将泄漏船舶拖至岸边围清，并派潜水员封关油箱管道阀门，进行善后处理。

（4）事故后的污染清除、生态风险控制及恢复措施

①污染评估

在进行溢油泄漏应急事故的生态风险防控与污染清除工作之前，首先对事故做出以下评估：

可能受到威胁的环境敏感区，易受损资源以及需要保护资源的优先次序；

本地区应急反应的人力、设备、器材是否能满足应急反应的需要。

②应急响应行动

根据对应急事故的评估，应急指挥部应立即做出事故防控的应急对策：

指挥机构在接到报警后，根据初步情况，对外通报、联系支援；

采取措施防止可能引发的火灾、爆炸事故，如果船舶发生了溢出事故，根据溢出位置和原因，采取堵漏、拖浅等措施控制泄漏；派遣船艇对溢出物周围海域实行警戒或交通管制，监视溢出物的扩散。

③污染清除及恢复措施

溢出事故清除作业是应急反应的直接现场作业，在现场指挥部的统一指挥下，

组织调动人力物力，投入清除作业。

清除作业实际发生在两种场合，一是海上清除作业，二是岸线清除作业，根据具体情况选择清除作业方法和使用的设备。

清除作业包括溢出物的围控、回收、分散、固化、沉降、焚烧和生物降解等处理方法。

清除设备器材主要有围油栏、围油栏铺设船、浮油回收船、撇油器、油拖网、吸油材料、溢油分散剂及其喷洒装置、固化剂、浮动油囊、油驳、铲车高压冲洗机等。

对于海上污染，通常采用机械围栏和回收、喷洒化学分散剂和现场焚烧为主要清除技术，吸附及其他处理技术为辅助清除技术。

对于岸线污染，主要采用人工清除、吸附回收和机械清除等物理清除方法，可采取收刮、高压水清洗，岸域沙土中污染渗入严重时应采用换土、换沙等方法，以恢复岸边滩涂的清洁和自然生态的美观。

8.4.4.2.5 建立与相关应急预案的应急联动机制

预案的编制过程应充分考虑与国家、区域和地方相关应急预案的衔接，重点是与海南省（三亚市、海口市）海事机构应急计划相衔接，建立区域应急联动机制。

9 环境保护对策措施

9.1 降低悬浮物影响的措施

海缆项目光缆埋设采用先进的埋设犁进行施工。埋设犁边开槽边铺设，在光缆施工船牵引和犁刀物理切割下，将海底泥沙犁开，形成海缆槽；装备上部有一导缆孔，用来引导光缆到缆槽底部，光缆立刻被嵌入该缆槽内。埋设犁经过该区域后，海底的沙子就会重新将缆槽掩埋，由潮流将缆槽自然填平。这种埋设方法对海底泥沙扰动小，相对同类项目的冲埋施工方法悬浮物产生量较小，有效地减少悬浮物污染物的产生量，减轻对海水水质及海洋生物生态、渔业资源等的影响。

光缆选择在海况较好的时期进行施工，最大限度地减少悬浮物对海洋环境的影响程度。

9.2 水污染防治措施

海缆项目施工期间的水污染物主要来自船舶生活污水及含油污水。按照《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）、73/78 防污公约的相应要求，提出污染防治措施如下。

（1）船舶生活污水处理措施

本项目拟使用的施工船舶为国际航行船舶。施工船舶已配备相应的生活污水处理设施，并持有《国际防止生活污水污染防治证书》。施工时，生活污水经船上配备的生活污水处理装置处理达标后在船舶行进中排放，具体排放控制措施如下：

a)距最近陆地 3 海里以内（含）的海域：施工船舶的生活污水利用船载生活污水处理装置处理，达到《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）5.2 规定要求后在航行中排放。

b)距最近陆地 3~12 海里的海域：生活污水使用设备打碎固形物和消毒后，在船速不低于 4 节且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率时方可排放。

c)距最近陆地 12 海里的以外的海域：各施工船舶在船速不低于 4 节，且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率时方可排放。

（2）船舶含油污水处理措施

本项目拟使用的施工船舶为国际航行船舶，已配备相应的含油污水处理设施，并持有《国际防止油污证书》。施工时，船舶油污水经船上配备的油水分离器处理，满足相关规定后对排放进行严格控制，达到如下条件的时候，才进行排放：

- a)船舶在航行中；
- b)通过船舶油污水处理装置，并达到水中含油量低于 15mg/L 之后才排放。

（3）水上作业船舶应建立污水排海台账，对施工船舶污水排海情况进行详细记录，记录需包括排放量、排放浓度、船速等在内的相关信息。如污水处理设置异常运行，也应详细记录发生时间、恢复正常运行时间、异常原因及维护修理过程。

9.3 固废污染物治理措施

（1）光缆路由区扫海清障打捞产生的固体废弃物主要为绳索、废旧海缆、海底渔网渔具等，随船携带待施工船返回码头后交由接收单位处理，禁止在海上随意弃置从而造成海洋环境的二次污染。

（2）光缆废料主要为测试、封头等产生的海缆组成物资，放置在船舶垃圾收集箱，并进行盘放，绑扎。待作业船返回码头后按停靠港垃圾处理规定，交由具有船舶垃圾污染物接收资质的单位进行转运或回收处理。

（3）对于施工期间作业船舶上产生的食品垃圾，距最近陆地 12 海里以内（含）的海域，将其收集并排入接收设施；在距离最近陆地 12 海里以外的海域可以排放。

9.4 大气污染防治措施

工程施工期间拟采用“福海”号或其他同类型施工船舶。施工船舶产生的废气污染物主要为硫氧化物、氮氧化物和颗粒物。按照 73/78 防污公约、《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发〔2018〕168 号）及《2020 年全球船用燃油限硫令实施方案》的相应要求，提出污染防治措施如下。

“福海”号为国际船舶，建造日期为 1999 年 12 月 10 日，未进行过船用柴油发动机重大改装。因此，NO_x 排放不作要求，SO_x 和颗粒物排放执行在中华人民共和国管辖水域应当使用硫含量不超过 0.50% m/m 的燃油，进入我国船舶大气污染物排放控制区海南水域的，应当使用硫含量不超过 0.10% m/m 的燃油。

9.5 生态影响防治措施

本项目所采取的优化选址选线、合理安排施工、有效的悬浮沙减缓措施、有针对性的环境管理措施以及生态补偿措施等均为有效的生态影响防治措施，主要体现在如下方面：

（1）优化选址选线

本项目南海段通过路由比选、优化选址选线，避开了西沙群岛海洋保护区、南沙群岛海洋保护区等保护区。

（2）合理安排施工

本项目穿越南海中部农渔业区，项目拟于 9 月开展海上作业，避开了工程海域休渔期（5 月~8 月中旬），可有效促进渔业资源的休养生息。

（3）悬浮沙影响缓解措施

优化施工组织方案，针对路由穿越南海中部农渔业区，应尽量降低施工强度，减小悬浮扩散范围，同时提高作业精度和施工质量，减小后期补救冲埋扰动作业量。同时，针对工程施工对渔业资源造成的损失影响，做好相关渔业资源修复补偿工作。

（4）生态补偿

根据损失量估算结果，本项目光缆铺设施工导致的渔业资源（包括鱼卵、仔稚鱼及游泳生物）损害赔偿额为 480.21 万元，建设单位应根据农业部《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007）的有关规定，对项目建设造成的生物资源的损失按照生态补偿原则予以补偿。多年的实践证明，渔业资源增殖放流是目前恢复水生生物资源量的重要和有效手段，通过对海域渔业资源增殖放流和生态环境保护，可以迅速弥补建设项目对海洋资源造成的损失。因此，建议本项目生态补偿款主要用于增殖放流以及增殖放流后效果评估及跟踪监测等，建议按生态损失额 432 万元（约 90%）进行增殖放流，48.21 万元（约 10%）进行增殖放流管理以及增殖放流后效果评估及跟踪监测。

1) 组织形式

根据农办渔〔2018〕50 号文件要求，建设单位是涉渔工程水生生物资源保护和补偿的主体，应制定具体的实施方案，并组织落实水生生物资源保护和补偿措施。中国电信作为本项目生态补偿工作实施主体，拟自行组织增殖放流工作。增殖放流工作应按照《水生生物增殖放流管理规定》（农业部第 20 号令）相关规定，提前 15

日向当地县级以上地方人民政府渔业行政主管部门报告增殖放流的种类、数量、规格、时间和地点等事项，接受监督检查。

2) 增殖放流品种选择

本项目光缆施工作业带距离三沙岛礁海域较远，施工活动损害渔业资源主要为琼南海域深水区活动鱼类。根据《农业农村部关于做好“十四五”水生生物增殖放流工作的指导意见》（农渔发〔2022〕1号），适宜增殖放流的品种包括：青石斑鱼、布氏鲷、紫红笛鲷、红笛鲷、斑节对虾、日本对虾、长毛对虾、墨吉对虾、绿海龟、克氏海马、大珠母贝、尖翅燕鱼、豹纹鳃棘鲈、红九棘鲷、法螺、波纹唇鱼等十六种。

依据上述意见，结合当地渔业部门近年放流物种选取，本项目增殖放流可选用紫红笛鲷、红笛鲷、斑节对虾、日本对虾、长毛对虾等，见表 9.5-1。具体增殖放流品种、场所和时间等还应结合增殖放流鱼类和其它生物种类的地理分布特征、饵料习性特征、环境适应特征、其他生物学特征、当地海洋环境特征以及苗种供应情况进行综合确定，并在本项目具体的增殖放流实施方案技术审查过程中，由当地渔业部门指导把关。

表 9.5-1 增殖放流方案

品种	规格	单价	数量	价格
	(cm)	(元/尾)	(万尾、万个)	(万元)
紫红笛鲷	≥5	1	141	141
红笛鲷	≥5	1	141	141
长毛对虾	≥1.2	0.03	5000	150
合计			5280	432

3) 增殖放流苗种来源

根据农业农村部关于做好增殖放流工作的有关要求，水生生物增殖放流经济物种苗种供应单位要满足七个方面的基本条件：一是种苗来源清晰，二是亲本数量充足，三是生产能力较强，四是质量严格管控，五是技术能力过硬，六是资质信誉较好，七是满足规划需要。

本项目增殖放流苗种应选择农业农村部或海南省农渔业部门公布的水生生物增殖放流苗种供应基地供应的苗种，并按规定实施水生生物检验检疫制度，保障放流苗种质量。

4) 增殖放流地点选择

增殖放流地点的选择直接关系到放流品种的存活率和生态补偿的后期效果，因

此，原则上要求增殖放流工作要在生物资源损害地进行。如由于建设项目的影
响造成原地补偿效果不佳或者暂时不适宜开展生态补偿工作，可选择在建设
项目临近的区域进行。同时，地点的选择还应有利于苗种运输，保证存活率。

根据增殖放流地点选择原则，结合《农业农村部办公厅关于进一步做好水生生物增殖放流工作的通知》（农办渔〔2024〕5 号）要求，本项目施工海域附近放流地点可选择在海南陵水附近开阔海域放流，以利于增殖放流工作开展。

5) 增殖放流时间

根据增殖放流品种的繁殖习性，结合往年当地苗种供应情况选择合适时间进行增殖放流苗种投放。计划于 5 月~8 月等适宜水生生物繁衍生息的重要季节实施增殖放流，并尽量安排在“国际生物多样性日”（5 月 22 日）、“全国放鱼日（6 月 6 日）”等以扩大社会影响，增强社会公众的水生生物资源保护意识。

6) 增殖放流后跟踪监测

通过对增殖放流区域及周边海域渔业资源跟踪监测，掌握增殖放流区域内增殖放流种类的生长状况和数量分布，并通过分析和研究上述资料，评估增殖放流的效果。

增殖放流后跟踪调查，分海上定点监测调查和社会调查。

3) 增殖放流效果分析与评估

基于调查监测结果，对增殖放流种类分别评估，以此得到增殖放流的综合效果，并结合本生态补偿修复的目标，从恢复或增加生物种群的数量，改善和优化水域的群落结构及其生态环境的角度进行综合评析。

9.6 污染防治对策及监管措施一览表

根据以上工程各阶段的污染防治措施分析，总结污染防治对策及监管措施一览表如表 9.6-1。建设单位和施工单位需按照表中要求，配合相关部门的监督和管理。

运营期如发生故障修复作业，各项污染防治措施参考光缆施工期污染防治措施的要求。

表 9.6-1 环境保护对策措施一览表

序号	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	处理效果要求
----	----------	------	-------	--------

1	船舶生活污水处理		污水处理设施	“福海”号	31.2m ³ 生活污水存储仓和“Aquamar Bio Union Type MSP 80”型号污水处理装置	按《船舶水污染物排放控制标准》（GB3552-2018）要求处理达标后排海。
				“蓝色领航者”号	“JETS-ecomotive TM”型号污水处理装置；配备 516 m ³ 的生活污水储存舱	
2	船舶含油污水处理		油水分离器	“福海”号	油水分离处理装置，配备报警和自动停止功能，处理效果可达 15mg/L；配备含油污水储存罐 32.10m ³	油水分离处理浓度小于 15mg/L 后，在航行中排海。
				“蓝色领航者”号	配备油水分离装置，配备报警和自动停止功能，处理效果达到石油类 ≤15mg/L；配备含油污水储存罐 42.7m ³	
3	船舶垃圾	食品废物	粉碎处理	各施工船舶配备粉碎机		在距离陆地 12 海里以内（含）的海域，收集排入接收装置；在距离最近陆地 12 海里以上方可投弃入海。
		其他垃圾	收集	各施工船舶配备垃圾收集容器		
4	大气污染		燃油品质	“福海”号		根据《船舶大气污染物排放控制区实施方案》（交海发〔2018〕168 号）、《2020 年全球船用燃油限硫令实施方案》（中华人民共和国海事局公告第 20 号）要求，使用相应品质燃油
				“蓝色领航者”号		
5	风险防控措施			制定应急预案，明确应急人员、职责、应急响应程序及应急处置流程。施工船配备吸油毡、溢油分散剂等必要的应急物资。		发生溢油首先利用自备物资开展初期清污，依托区域应急资源防范环境风险
6	生态环境	施工期避让	施工工期已尽量避开鱼类生长繁育期，施工过程中降低施工强度，减小悬浮扩散范围，同时提高作业精度和施工质量，减小后期补救冲埋扰动作业量。			减小海洋生态影响

		增殖放流	增殖放流 480.21 万元	海洋生态恢复
--	--	------	----------------	--------

10 环境保护的技术经济合理性

10.1 环保投资估算

根据海缆项目建设及运营特征，海缆项目的主要环境保护投资为施工期船舶污染物的处理及委托处理费用、渔业及生态补偿费用；运营期海缆发生损坏的后期维修作业船舶污染物的处理等费用。

海缆项目工程估算总环保投资为 580.21 万元，其中各分项环保投资预算见表 10.1-1。

表 10.1-1 海缆项目环保投资估算（单位：万元）

项目		费用	备注
施工期	污水处理费	5	船舶污水（未排海污水）交有资质单位处理费用、船舶污水处理设施维护费用
	固废处理费	10	船舶垃圾交有资质单位处理费用
	生态及渔业资源补偿费	480.21	
	溢油应急设备	50	船上配备溢油应急物资费用
运营期	项目环境管理费用	15	考虑运营期维修作业船舶环保投资
不可预见费		20	考虑未预见的环保投资及各项环保投资费率变化
合计		580.21	

10.2 环境损益分析

海缆项目建设对环境的影响主要是施工期悬浮物对海洋生物资源的影响。根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》，估算施工造成的生物资源损失经济价值。

（1）生物资源经济价值计算方法

根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T 9110-2007），各类生物资源经济价值计算方法如下：

1) 鱼卵、仔稚鱼经济价值计算

鱼卵、仔稚鱼经济价值采用下式计算：

$$M=W \times P \times E$$

式中， M 为鱼卵和仔稚鱼经济损失金额，单位为元； W 为鱼卵和仔稚鱼的损失量，

单位为个（尾）； P 为鱼卵和仔稚鱼折算为鱼苗的换算比例，鱼卵生长到商品鱼苗按 1%成活率计算，仔稚鱼生长到商品鱼苗按 5%成活率计算，单位为百分比（%）； E 为鱼苗的商品价格，按当地主要鱼苗种的平均价格计算，单位为元/尾。

2) 游泳生物/底栖生物经济价值计算

游泳生物/底栖生物经济价值采用下式计算：

$$M=W \times E$$

式中： M 为游泳生物资源/底栖生物的经济损失额，单位为元；

W 为游泳生物资源/底栖生物的损失量，单位为 kg；

E 为游泳生物资源/底栖生物资源的商品价格，单位为元/kg。

（2）生物资源价格核定方法

参考 2024 年 10 月广东省农业农村厅发布的《广东省涉渔工程渔业资源损失生物价格核算技术指南》（以下简称《指南》），生物资源商品价格核定采用基准数据法，即根据现状调查和专家评估的价格为定价基准数据，最终由基准价格乘以居民消费价格指数（CPI）得出其生态补偿标准核定价格，采用以下公式计算：

$$P_{i+1} = P_i \times (1 + CPI_J)$$

式中， P_i 为指南发布后渔业资源第 i 年价格（评估报告评审年份），

当 $i=0$ 时价格为渔业资源基准价格（指南发布年份），鱼苗 1.0 元/尾、游泳动物 20 元/kg、底栖生物 15 元/kg；

CPI_J 为指南发布后 J 年的价格指数，以国家统计局年度统计数据确定的价格指数为参考依据。

考虑本项目评审时间自《指南》发布后未满一年，且自 2024 年 10 月~2025 年 10 月各月 CPI 变化较小，故本次取渔业资源价格取基准价格，即取鱼苗 1.0 元/尾、游泳动物 20 元/kg、底栖生物 15 元/kg。

（3）海洋生物资源补偿经济价值汇总

1) 渔业资源经济损失

根据本报告 7.4.4 章节资源量损失估算结果，海缆埋设作业期间搅起的悬浮物污染造成的渔业资源（游泳生物、鱼卵和仔稚鱼）一次性损失量为：游泳生物 $2.22E+04\text{kg}$ ，鱼卵 5.98×10^7 粒，仔鱼 1.10×10^7 尾受损。根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007），一次性生物资源的损害补偿为一次性损失额的 3 倍，一次性生物资源的损害补偿为一次性损失额的 3 倍，则游泳生物的经济补

偿共为 133.39 万元，鱼卵的经济补偿共为 179.30 万元；仔稚鱼的经济补偿共为 165.65 万元。

2) 底栖生物资源经济损失

根据本报告 7.4.4 章节资源量损失估算结果，项目扰动底栖生物面积为 $596.46 \times 10^3 \text{m}^2$ ，海缆铺设造成底栖生物直接损失量为 0.42t，属一次性损害，施工完成后经过一段时间可恢复，因此补偿费按损失额的 3 倍计算，估算底栖生物资源生态损失额为 1.87 万元。

(4) 海洋生物资源补偿经济价值汇总

海缆项目对海洋渔业生物资源的影响造成经济损失共 480.21 万元，详见表 10.2-1。

表 10.2-1 生物资源经济损失补偿评估结果

渔业资源类别	生物资源损失量	补偿 年限	单价	成活率 (%)	补偿金额 (万元)
鱼卵（粒）	5.98E+07	3	1（元/粒）	1	179.30
仔鱼（尾）	1.10E+07	3	1（元/尾）	5	165.65
游泳生物（kg）	2.22E+04	3	20（元/kg）	100	133.39
底栖生物（t）	0.42	3	1.5（万元/t）	100	1.87
合计					480.21

10.3 社会效益分析

海底光缆作为主要的国际间信息传输的手段，具有较强的抗干扰能力，稳定性和安全性高，一般寿命都能达到 25 年左右。建设后可长期承担跨洋通讯数据传输任务。同卫星通信相比，海缆系统具有超大容量和较高可靠性的优点；同陆缆系统相比，海缆系统虽然建设和维修成本较高，但无需穿越各国领土，其建设运营模式相对成熟；另外海缆系统不像陆缆受限于光放站机房间的距离，可按需设计最优光放间距，实现上万公里的跨洋直达。目前，我国与周边 14 个陆地接壤国家中的 12 个通过陆地光缆已实现了跨境连接，但同世界上主要国家都是通过海底光缆系统进行通信。

本项目作为 ALC 海缆项目的分支，将连接越南，光缆建成后将进一步提升珠三角地区、粤港澳地区通信业务能力，从而拓展我国国际互联网业务的发展，对海上丝绸之路建设有推动作用，同时也能够助力“一带一路”战略的实施。项目建设实施所带来的社会效益及间接的经济效益十分明显。

11 工程环境可行性分析

本项目位于南海中部海域，项目建设区域不在《海南省国土空间规划区划（2021-2035 年）》、《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》规划范围内。光缆路由远离海南省本岛及近岸海域，不涉及海南省生态环境分区管控单元及生态保护红线。

本章重点对项目建设实施与国家层面相关产业政策、主体功能区划、海洋功能区划、环境保护规划及行业发展规划等进行符合性分析。

11.1 与国家产业政策的符合性

本项目是大容量中继海缆系统，海缆系统设计数据传输速率可达 20Tb/s/纤对，属于国家《产业结构调整指导名录（2024 年本）》中的鼓励类，第二十八条信息产业中第 1 款：100GB/s 及以上光同步传输系统建设，项目用海符合《产业结构调整指导名录（2024 年本）》。

11.2 与主体功能区规划符合性

2015 年 8 月，国务院印发《全国海洋主体功能区规划》（国发〔2015〕42 号），规划范围为我国海洋内水和领海主体功能区、专属经济区和大陆架及其他管辖海域（不包括港澳台地区）。规划将我国海洋主体功能区分为内水和领海主体功能区、专属经济区和大陆架及其他管辖海域主体功能区两大部分。

海洋主体功能区按开发内容可分为产业与城镇建设、农渔业生产、生态环境服务三种功能。依据主体功能，将海洋空间划分为以下四类区域：优化开发区域、重点开发区域、限制开发区域和禁止开发区域。

本项目路由位于规划的南海西部大陆架、陆坡及其他管辖海域主体功能区。根据规划，大陆架、陆坡及其他管辖海域划分为重点开发区域和限制开发区域。

1) 重点开发区域。包括资源勘探开发区、重点边远岛礁及其周边海域。该区域的开发原则是，加快推进资源勘探与评估，加强深海开采技术研发和成套装备能力建设；以海洋科研调查、绿色养殖、生态旅游等开发活动为先导，有序适度推进边远岛礁开发。

资源勘探开发区。选择油气资源开采前景较好的海域，稳妥开展勘探、开采工

作。加快开发研制深海及远程开采储运成套装备。加强天然气水合物等矿产资源调查评价、勘探开发科研工作。

重点边远岛礁及周边海域。加快码头、通信、可再生能源、海水淡化、雨水集聚、污水处理等设施建设。开展深海、绿色、高效养殖，建立海洋渔业综合保障基地。根据岛礁自然特点，开辟特色旅游路线，发展生态旅游、探险旅游、休闲渔业等旅游业态。加强海洋科学实验、气象观测、灾害预警预报等活动，建设观测、导航等设施。

2) 限制开发区域。包括除重点开发区域以外的其他海域。该区域的开发原则是，适度开展渔业捕捞，保护海洋生态环境。

在黄海、东海专属经济区和大陆架海域加快恢复渔业资源。在南海海域适度发展捕捞业，鼓励和支持我国渔民在传统渔区的生产活动。加强对经济鱼类产卵场、索饵场、越冬场和洄游区域的保护，加强西沙群岛水产种质资源保护区管理。适时建立各类保护区，维护海洋生物多样性和生态系统完整性。

符合性分析：本项目路由穿越了限制开发区域中的农渔业区和重点开发区域中的资源勘探开发区。但本项目海缆未直接穿越资源勘探开发设施，距离周边海上现有油气田最近距离约 235km，不影响资源勘探开发区主导功能发挥。光缆路由穿越了南海中部农渔业区，施工造成的悬沙主要在海缆路由区两侧局部范围扩散，对渔业生产影响范围很小。施工时通过严格控制作业相关参数，能够控制悬浮沙扩散范围，将施工对鱼类的不利影响控制在较低水平，从而落实限制开发区域“加强对经济鱼类产卵场、索饵场、越冬场和洄游区域的保护，加强西沙群岛水产种质资源保护区管理”的要求。

综上，本项目光缆穿越了限制开发区域的农渔业区和重点开发区域中的资源勘探开发区，但不影响重点开发区域油气勘探开采作业，与资源勘探开发区主体功能定位能够兼容。光缆铺设施工时，通过控制悬浮沙扩散范围，能够落实限制开发区域海洋生态环境的保护要求。

11.3 与海洋功能区划的符合性

2012 年 3 月，国务院批准《全国海洋功能区划（2011-2020 年）》（以下简称《区划》），《区划》范围为我国的内水、领海、毗连区、专属经济区、大陆架以及管辖的其他海域。《区划》将我国管辖海域划分为渤海、黄海、东海、南海和台湾以东海域

共 5 大海区，29 个重点海域。本项目光缆路由位于南海中部海域，该海域是我国重要的传统渔业资源利用区，珊瑚礁、海草床生态系统发育。区域重点加强渔业资源利用和养护、油气资源的勘探开发，加强水产种质资源保护区建设，开展海岛旅游、交通、渔业等基础设施建设，开发建设永兴岛-七连屿珊瑚礁旅游区，合理开发海岛旅游资源，加强海岛、珊瑚礁、海草床等生态系统保护，建设西沙群岛珊瑚礁自然保护区。

符合性分析：本项目光缆路由选线已避开了海岛和珊瑚礁、海草床等特殊生态系统，距离油气资源开发设施也较远，施工过程中悬浮沙影响程度很小，能够落实项目所在海域“加强渔业资源利用和养护，加强水产种质资源保护区建设，保护重要海洋生态系统和海域生态环境”的要求。另外，工程建设过程引起的悬浮泥沙的扩散是短暂且可逆的，不会对周边海域的水质环境和渔业资源生存活动造成长期不利影响，能够落实《区划》对项目所在海域提出的海洋环境保护相关要求。光缆建成后，主要占用底床空间，不会改变工程附近的海域的自然属性，不影响所在海域的主导功能的发挥，与《全国海洋功能区划（2011-2020 年）》所确定的主导功能定位能够实现兼容。

11.4 与《“十四五”海洋生态环境保护规划》的符合性

2022 年 1 月，生态环境部、发展改革委、自然资源部、交通运输部、农业农村部、中国海警局联合印发《“十四五”海洋生态环境保护规划》（以下简称《规划》），对“十四五”期间海洋生态环境保护工作做出了统筹谋划和具体部署。

《规划》从五个方面部署了相关重点工作：一是强化精准治污，持续改善近岸海域环境质量；二是保护修复并举，提升海洋生态系统质量和稳定性；三是有效应对海洋突发环境事件和生态灾害；四是坚持综合治理，推进美丽海湾建设和长效监管；五是协同推进海洋应对气候变化能力，提升海洋适应气候变化的韧性。

本项目建设内容为海底光缆，项目建设实施后，光缆埋设在海床下或敷设在海床表面，光缆运营不涉及排污，也没有潜在环境风险。

考虑海上线性工程对环境的影响特征，本项目实施过程中对海洋生态环境的保护重点在几方面落实：一是光缆路由选线；二是光缆铺设作业过程污染物的排放控制和环境风险事故的防控；三是项目实施后对作业造成的生物资源损失进行生态补偿。

本项目光缆路由选线避让了海洋生态保护红线区，海洋自然保护区等生态敏感区域。项目施工期仍会不可避免地海洋环境存在短期的不利影响，通过严格实施污染物的排放控制措施能够维持海洋环境质量，施工结束后通过采取生态补偿措施进一步缓解施工对海洋生物资源造成的损失。针对水上施工可能发生的环境风险，施工期间将采取全面的风险防范措施，制定应急预案并与相关风险应急预案相衔接，保证风险事故影响的可控性。

总体来看，项目建设实施能够落实《“十四五”海洋生态环境保护规划》提出的相关要求。

11.5 与《“十四五”信息通信行业发展规划》符合性

2022年7月，工信部印发《“十四五”信息通信行业发展规划》（以下简称《发展规划》）。《发展规划》提出，加快国际海缆建设，增设国际海缆登陆站，进一步丰富“一带一路”等方向海缆资源，完善海缆路由备份，支持企业参加国际海缆建设项目，国际海缆布局进一步优化，海缆通达能力大幅提升。

本项目作为 ALC 海缆项目的越南支线，设计光缆采用高规格光纤布线。光缆建成有利于满足亚洲地区对网络带宽和高速连接日益增长的需求，进一步提高我国与东南亚国家之间通信基础设施水平，促进互联互通，对构建通达亚太地区的信息网络，助力沿线国家数字经济蓬勃发展有重要意义。综上，项目建设符合《“十四五”信息通信行业发展规划》。

11.6 与国土空间规划的符合性分析

11.6.1 与《全国国土空间规划纲要（2021-2035）》符合性分析

全国国土空间规划纲要（2021-2035年），以第三次全国国土调查成果为底数，在资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价基础上，统筹考虑各地资源环境禀赋和经济社会发展实际，统筹发展和安全，以水而定，量水而行，优化国土空间开发保护格局，合理确定全国和各省（区、市）耕地保有量、永久基本农田、建设用地规模、生态保护红线面积、用水总量等空间管控指标。

自然资源部会同有关部门，结合《全国国土空间规划纲要（2021-2035年）》编制，完成了全国生态保护红线划定，纳入国土空间规划“一张图”并上图入库，作为项目用地用海审批依据。

本项目属于必须且无法避让、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施建设，项目用海符合《广东省国土空间规划（2021-2035 年）》中关于海域使用管理的要求。符合“三区三线”划定成果，项目申请用海范围不涉及永久基本农田。为此，项目建设符合《全国国土空间规划纲要（2021-2035 年）》要求。

11.6.2 与《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》符合性分析

本项目不涉及《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》及海南省有关地市的国土空间规划等规划范围。



图 11.6-1 海南省国土空间规划海洋空间功能布局图

11.7 与《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》符合性分析

本项目与最近的海洋空间分区距离 22.5km，因此项目施工不涉及《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》规划范围。

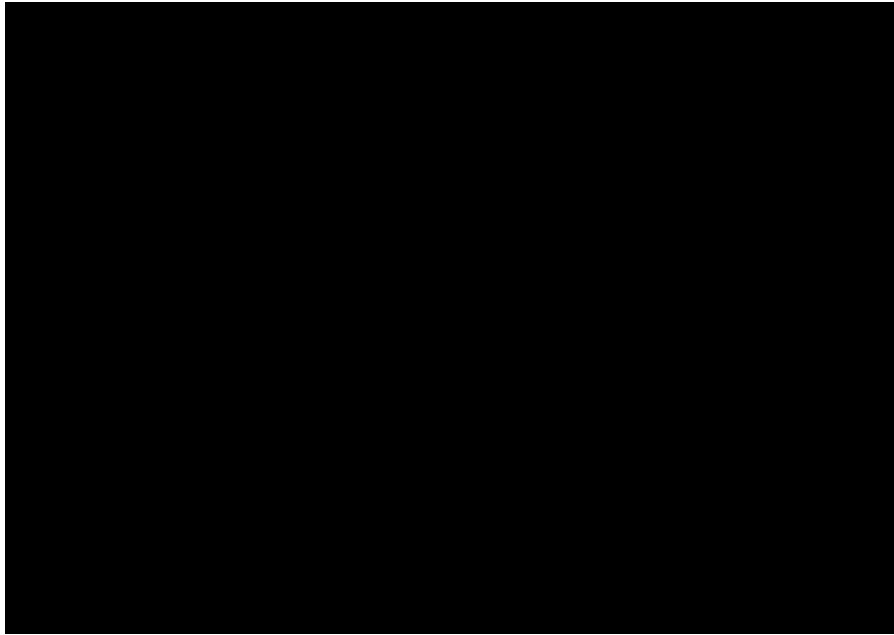


图 11.7-1 海南省海岸带及海洋空间规划分布示意图

11.8 与其他相关规划的符合性分析

11.8.1 与“一带一路”规划符合性分析

“一带一路”是“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”的简称。国家发展改革委、外交部、商务部联合发布《推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动》提出：利用长三角、珠三角、海峡西岸、环渤海等经济区开放程度高、经济实力强、辐射带动作用大的优势，加快推进中国（上海）自由贸易试验区建设，支持福建建设 21 世纪海上丝绸之路核心区。充分发挥深圳前海、广州南沙、珠海横琴、福建平潭等开放合作区作用，深化与港澳台合作，打造粤港澳大湾区。

本项目作为 ALC 海缆项目的分支路由，建成后将大力提升珠三角地区、粤港澳大湾区通信业务能力，对海上丝绸之路建设有推动作用，故本项目与“一带一路”相关规划相符。

11.8.2 与《海南经济特区海岸带保护与利用管理实施细则》符合性分析

本项目不涉及海南省登陆点。

11.8.3 与《中国国际光缆互联互通白皮书》符合性分析

根据《中国国际光缆互联互通白皮书》第四章中国国际光缆发展建议第二条“优化登陆站布局，合作打造海缆网络支点”：目前中国大陆有青岛、上海崇明、上

海南汇、汕头四个国际海缆登陆站。为进一步优化中国海缆登陆站布局，建议今后要做好以下工作：一是做好新增海缆登陆站规划。从长远看，中国现有海缆登陆站不能满足国际互联网业务发展需要，建议提前对沿海可行的海缆登陆站站址资源进行论证，形成海缆登陆站站址储备，预留国际海缆路由通道。

本项目作为 ALC 海缆项目的分支，ALC 海缆项目海南段登陆点在中国大陆海南省陵水县，项目前期已完成海缆登陆站站址规划和论证；东南亚一海南一香港（SEA-H2X）海缆项目也在该点登陆，在海南陵水海域形成一条可行的国际海缆路由通道。此外，本项目将连接越南，进一步拓展了国际互联网业务的发展，满足“双循环”战略及“一带一路”建设的需求。

综上，本项目建设与《中国国际光缆互联互通白皮书》相符合。

11.8.4 与《海南省信息基础设施建设“十四五”规划（2021-2025 年）》符合性分析

《海南省信息基础设施建设“十四五”规划（2021-2025 年）》提出：加快推进已规划海缆登陆站建设。匹配海南一香港海缆工程建设，同步建成文昌海缆登陆站及配套机房，部署大容量 OTN 系统，联接至中国移动海口区域性国际通信业务出入口局。推进海南省第二个国际海缆登陆站的选址和勘察工作，承接亚太方向的新建海缆登陆，预留未来国际海缆路由通道，满足中远期更多国际海缆的登陆配套。进一步研究陵水等地作为国际海缆登陆站的满足条件，配套保障选址用地、用电引入，同步规划第二登陆站至海口、三亚等地的国际海缆陆上延伸段光缆。鼓励基础电信企业共享海缆登陆站资源，便捷多个企业各自登陆海缆电路的引出。

ALC 海缆项目海南段登陆点在海南省陵水县，与规划中“进一步研究陵水等地作为国际海缆登陆站的满足条件”相契合，同时 ALC 海缆项目在海南陵水海域开展路由选择时，已预留一条可行的国际海缆路由通道，可满足中远期更多国际海缆的登陆配套要求。本项目作为 ALC 海缆项目的分支，项目建成后可进一步提升陵水县建设国际海缆登陆站的配套保障能力。综上，本项目海缆建设与《海南省信息基础设施建设“十四五”规划（2021-2025 年）》相符合。

11.8.5 与《海南自由贸易港鼓励类产业目录（2024 年本）》符合性分析

本项目建设内容为海底通讯光缆，建成后可进一步提高我国海缆通信基础设施水平，促进互联互通，属于《海南自由贸易港鼓励类产业目录（2024 年本）》中的海南自由贸易港新增鼓励类产业“第七条：99.海底光缆建设及养护”，项目用海符合

《海南自由贸易港鼓励类产业目录（2024 年本）》。

综上所述，本项目建设与国际海底光缆相关产业政策相符合。

12 环境管理

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》、《建设项目环境保护管理条例》等有关法律法规要求，本项目建设过程中有必要建立相应的环境保护管理机构，制定环境保护管理制度。

环境管理是工程管理的重要组成部分，其目的是通过采用技术、经济、法律、行政、教育等多种手段，有效地预防和控制生态破坏和环境污染，强化保护环境、协调项目建设和经济发展。

光缆项目对环境的影响主要发生在施工期。就本项目的特点而言，光缆施工期的环境影响范围、影响程度都比较小。其为短期临时性影响，随着施工工程的结束，这种影响也会随之消失，但若疏于环境管理，仍会对工程区环境产生不利影响。因此，本项目施工过程中需做好环境管理工作，建立环境管理机构，明确环境管理机构职责，使项目产生的环境影响降到最低程度。

根据我国相关环境管理工作要求，同时结合光缆项目特征，本项目环境管理内容重点包括：落实各项环境污染防治措施和生态保护措施；汇总上报环境管理信息、监督检查环境管理工作。此外，建议在工程监理中纳入环境监理。

12.1 环境管理体系

本项目环境管理体系包括建设方内部及相关方环境管理体系及国家生态环境相关职能部门之间的管理体系。

项目建设方内部及相关方环境管理工作由中国电信总负责，相关的环境管理机构包括：项目施工单位的环境管理机构、施工期环境监理机构。主管部门环境管理机构包括国家及海南省相应监督机构。

项目环境管理体系见图 12.1-1。

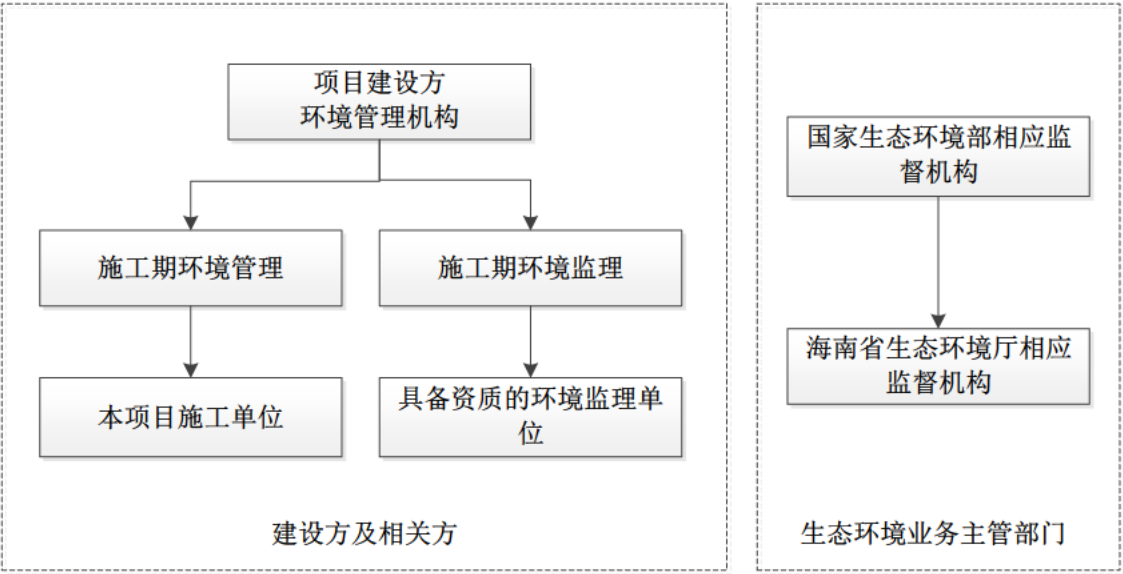


图 12.1-1 本项目环境管理体系图

12.2 环境管理机构

12.2.1 建设单位环境管理机构

本项目的环境保护工作由建设方代表——中国电信负责，建设单位应设立内部环境保护管理机构，主要由光缆建设单位主要负责人组成，专人负责环境保护工作，实行岗位责任制，负责光缆建设全程的全部环境管理工作。

建设单位环境管理机构的主要职责包括：

- （1）负责与主管部门的信息沟通。与环境主管部门保持密切联系，及时了解国家、地方与本工程项目有关的环境保护法律、法规和其它要求，汇总相关环境管理信息定期向环境保护主管部门上报，配合主管部门对项目施工实施的监督、管理和指导工作。
- （2）加强建设项目的环境管理。根据本报告及环境影响评价报告批复要求制定相应的污染防治和生态保护措施，并将需落实的环保措施列入与施工单位签署的合同中。
- （3）制定项目环境保护管理规章制度，明确机构内部各岗位具体职责、考核细则及奖惩办法，明确施工方、环境监理及环境监测单位信息上报内容及要求；
- （4）组织开展环境监理。聘请有资质的施工监理机构对施工单位环境保护措施落实情况进行跟踪监理，及时发现和处理项目建设期需整改的环境问题。
- （5）组织实施环境监测。聘请有资质的环境监测机构开展施工期跟踪监测，并根据监测结果进行跟踪评价，并在必要时组织实施施工方案调整工作。

（6）加强环境风险管理。针对项目特点组织制定施工期环境风险事故应急计划，建立环境风险管理与应急体系，并将环境风险防范与应急要求传达到施工单位、监测单位等相关方，确保建设单位环境管理机构内所有成员及相关单位熟悉环境风险事故应急计划全部内容。突发环境风险事故时，根据事故环境影响程度制定实施切实可行的解决方案，并根据污染事故报告制度向主管部门汇报，或按照相关主管部门调度指挥要求开展应急工作。

（7）负责工程环境保护投资的落实。根据本报告及环境影响评价报告批复要求落实各项污染防治投资及生态补偿款项，确保环保投资不移作他用。

（8）建立本项目环境管理工作电子档案，汇总项目环境保护工作成果、文件、报表，保留纸质版原始资料并归档留存。

12.2.2 施工单位环境管理机构

本工程施工总承包商为华海通信技术有限公司，施工单位应设立内部环境保护管理机构，由施工单位主要负责人、专业技术人员组成，负责落实建设单位提出的环境保护管理要求，保证施工期环保设施的正常运行，确保各项环境保护措施得到切实有效的实施。

施工单位环境管理机构的主要职责包括：

（1）负责与建设单位环境管理机构对接，定期向建设单位环境管理机构负责人汇报与本项目施工有关的污染因素、存在问题、采取的污染控制对策、实施情况等。

（2）根据建设单位提出的环境保护措施要求，编制详细的施工期环境保护措施落实计划，明确各施工工序的环境保护措施重点及要求、落实责任机构（人）等，并将环境保护措施落实计划以书面形式发放给相关作业人员，确保相关人员知晓有关环境管理岗位职责。

（3）根据建设单位环境管理制度要求，制定施工单位内部环境保护管理规章制度，主要包括环境保护工作规章制度、环保设施运行、检查、维护和保养规定；环境监测及上报制度等，并进行监督和落实。

（4）施工前组织对作业人员开展环境教育和宣传工作，提高各级施工管理人员和具体施工人员的环境保护意识，加强员工对环境污染防治的责任心。

（5）施工过程中负责管理污染治理设施，定期对环境保护设施进行维护和保养，确保环境保护设施的正常运行，防止污染事故的发生。

（6）建立本项目施工过程环境管理工作台账，详细记录各项环境保护措施的落实情况，包括船舶污废水排放区域、排放浓度、排放量等，船舶垃圾上岸接收地点、接收单位、接收量等，对污染防治设施进行维护保养的，台账中应包括保养设备名称、保养具体时间、保养内容、发现问题、处理方案等，并保留原始台账资料。

（7）组织制定施工风险事故应急计划，针对可能发生的各类风险事故，明确具体的防范措施要求和污染事故上报流程、应急处置方法措施，并将环境风险防范与应急要求传达到全体作业人员，确保所有施工承包商（包括分包商）熟悉环境风险事故应急计划全部内容。

12.2.3 环境监理单位

工程施工期建议实施环境监理制度，以便对各项环保措施的实施进度、质量及实施效果等进行监督控制，及时处理和解决可能出现的环境污染和生态破坏事件，降低施工对工程海域环境的影响。

环境监理工作由建设单位聘请有资质的施工监理单位承担，主要职责包括：

（1）依照国家环境保护法律、法规及标准要求，以本项目环境影响评价文件及批复要求、工程环境保护设计资料及施工合同中环境保护相关条款为依据，审查施工承包商采取的施工工艺和采用的设备清单是否满足相关要求。根据实际情况，就承包商提出的施工组织设计、施工技术方案和施工进度计划提出环保方面的改进意见，以保证方案满足环保要求。

（2）监督、检查施工承包商对污染防治措施和生态保护措施的实施进度、质量及效果。重点监督检查施工船舶相关环保文书持有情况、船舶含油废水及船舶生活污水收集和处理系统的安装配备情况、运行情况，以及船舶垃圾的收集、处置情况。

（3）对在监理过程中发现的环境问题，及时与业主和施工单位沟通，并以书面形式通知施工单位进行限期处理改进，并监督监理整改情况。

（4）按照监理制编制监理报告，定期向建设单位汇报监理工作情况。

13 环境影响评价结论

13.1 工程分析结论

本次评估对象为 ALC 海缆项目 S6 段，建设内容为海底光缆，海缆自东南向西北方向穿越中国管辖南海海域，评价涉及的海缆总长度为 638.18km。

项目施工内容主要包括扫海清障作业、光缆铺设作业和后冲埋作业。扫海清障由船体拖动扫海锚具，在埋设段路由中心线两侧各 0.5 米范围内清除海床表面障碍物。光缆铺设施工阶段，1000m 水深以浅采用铺缆船埋设犁埋设，大于 1000m 水深由铺缆船表面敷设。光缆全部埋设完成后，利用水下机器人进行最终检查，对未达设计埋深的光缆采取补救埋设措施。

项目施工过程中产生的主要污染物分别为悬浮物、施工期船舶生活污水、机舱含油污水、船舶生活垃圾、光缆边角废料、施工船舶废气等。其中，扫海阶段悬浮沙产生率为 15.0kg/s，光缆埋设阶段悬浮沙产生率为 24.86kg/s；船舶机舱含油污水产生总量约为 70m³，船舶生活污水产生总量约为 285.6m³，生活垃圾产生总量约为 1.9t；此外，施工船舶废气产生量 NO_x：6.33t，SO₂：7.28t。

项目光缆原材料采用了防腐蚀设计，光缆铺设完成后运行期间基本不涉及污染物排放，对所在海域的水质、沉积物、海洋生态基本不产生影响。

13.2 环境现状调查结论

13.2.1 海洋水文动力和地形地貌冲淤环境

（1）海洋水文动力环境

根据南海调查技术中心于 2020 年 1 月在海南三亚南部附近海域设置的水文动力调查站位实测结果，调查海区潮流类型主要为正规全日潮流。各层观测期间的潮流以往复流或旋转流为主。从海流的流态来看，调查海域各站海流呈现出略带旋转的往复流特征，流向以 WNW-ESE 为主导。从表层到底层，海流形态较为相似。各站层实测海流主要呈现正规全日潮流特征。

光缆路由先后穿越南海北部陆架和陆坡后进入深海盆地，其中陆架水深变化平缓，主要为侵蚀—堆积平原；陆坡水深变化较大，地貌变化复杂，为堆积型陆坡斜坡，发育较多海山；深海盆地地形平坦。

路由从 BU5（水深约 4300m）出发向西北延伸至我国南海海域管辖界线（水深约 200m），从黄玉海丘和长龙海山链之间的平坦海域穿过，随后以近似垂直的角度与已建海缆交越并到达春风海山附近，最后并行已建海缆 SEA-ME-WE 3 向西北延伸至我国南海海域管辖界线；穿越的海底地貌主要有深海平原、陆坡陡坡、陆坡海谷、陆坡海山、陆坡斜坡和陆坡阶地等。

13.2.2 海水水质环境

根据本次 2024 年 3 月光缆埋设段附近海域开展的海洋水质现状调查结果，调查海域所有站位各水质评价因子多层数据平均值均符合一类海水水质标准。各分层水质样品中，pH、COD_{Mn}、石油类、汞、砷、镉、铬、硫化物、铜等均能够符合一类海水水质标准，部分层次 DO、无机氮、活性磷酸盐、铅、锌出现超标，但无机氮、活性磷酸盐、铅、锌均能够符合第二类海水水质标准，DO 能够符合第三类海水水质标准，调查海域水质环境总体较好。

根据本次收集到的 2021 年 10 月光缆敷设段海域海水水质调查结果，调查海域各站位各水质评价因子多层数据平均值中 DO、锌超标，但能够符合第二类海水水质标准。各分层水质样品中，pH、COD_{Mn}、石油类、汞、砷、镉、铬、硫化物、铅等均符合一类海水水质标准，部分层次 DO、铜、锌出现超标，但超标倍数较小，其中铜、锌能够符合第二类海水水质标准，DO 能够符合第三类海水水质标准，调查海域水质环境总体较好。

13.2.3 海洋沉积物环境

本次 2024 年 3 月光缆埋设段附近海域沉积物现状调查期间未成功获取到沉积物样品，从现场增设的 1 个沉积物调查站位调查结果来看，各项评价因子均符合第一类沉积物质量标准。

此外，本次收集到 2020 年 4 月三亚远岸海域沉积物调查结果，调查海域项评价因子均符合第一类沉积物质量标准。

总体来说，项目所在的南海西北部海域的沉积物质量状况良好。

13.2.4 海洋生态环境

根据本次 2024 年 3 月光缆埋设段附近海域开展的海洋生态现状调查结果，调查海域叶绿素 a 平均含量为 0.15mg/m³；初级生产力平均含量为 272.95mg·C/(m²·d)；鉴

定浮游植物 85 种，平均密度为 $241.55 \times 10^2 \text{ cells/m}^3$ ；鉴定浮游动物计 95 种，平均生物量为 17.928 mg/m^3 ；调查共采集到鱼卵 956 粒，仔稚鱼 390 尾，鱼卵平均密度为 0.46 粒/m^3 ，仔稚鱼平均密度为 0.085 尾/m^3 。

根据本次引用的收集到 2022 年 4 月海南岛东南海域底栖生物和游泳生物调查结果，调查海域鉴定底栖生物 104 种，平均生物量为 0.75 g/m^2 ；游泳生物调查总平均资源密度为 2244.42 kg/km^2 ，总平均资源尾数密度为 224838 尾/km^2 。

13.3 环境影响评价结论

13.3.1 水动力影响分析结论

本项目光缆最大直径为 40mm，光缆埋设时埋设深度为 1.5m，埋设犁犁刀扰动宽度为 0.3m，两侧底座扰动宽度约为 2.0m，扰动深度约 0.1m。埋设犁施工过程中仅在海底临时切割出一条缆槽，光缆立刻嵌入到缆槽中，施工一段时间后，在潮流作用下海底沉积物会将缆槽自然掩埋。本项目施工对光缆路由区水动力环境无影响，光缆铺设后流场基本无变化，对海洋地形地貌与冲淤环境影响很小。

13.3.2 水质影响评价结论

本工程施工对水质影响主要为光缆埋设阶段产生的入海悬浮沙。采用三维潮流泥沙输运扩散模型预测结果显示：光缆埋设产生的悬浮物主要集中于光缆两侧，同时由于光缆路由区水深较大，在施工过程中表层、中层不产生 10 mg/L 的悬沙浓度，悬浮沙影响主要集中在底层。

底层悬浮物浓度超一（二）类水质标准面积为 161.1 km^2 ，超第三类水质标准面积为 54.7 km^2 ，超第四类水质标准面积为 17.8 km^2 。超第一类水质海域距离光缆最大距离为 0.5km，施工结束 3.0h 后海水恢复第一类水质标准。

此外，施工期间船舶生活污水、含油污水、船舶垃圾等均按照管理要求排放或运回港口处理；光缆本身采取了防腐措施，不会对海水产生长期不利影响。

13.3.3 沉积物影响分析结论

（1）施工期对沉积物的影响

施工期内扫海作业、光缆埋设作业所搅起来的海底沉积物被堆积在缆槽两侧，施工对底质的直接影响就是泥沙的冲起和覆盖。经计算，施工对沉积物的总影响范围即光缆埋设施工沉积物影响范围约 $596.46 \times 10^3 \text{ m}^2$ 。施工结束后，海底沉积物在海

水运动作用下将回填于缆槽，对路由区沉积物环境影响很小。

（2）运营期对沉积物的影响

本项目光缆进行了抗海水腐蚀的防腐设计，在海水中不会溶出有害物质，对海洋沉积物基本不产生溶出有害物质的影响。

13.3.4 生态环境影响分析结论

施工阶段对海洋生态环境的影响主要是施工产生的悬浮物对栖息在深水区的游泳生物、鱼卵（以沉性卵为主）和仔稚鱼等产生的不良影响所导致的生物资源损失。此外，光缆铺设前扫海、光缆埋设施工临时侵占底栖生物生境也将造成资源损害。

估算施工造成的底栖生物损失量 0.42t，渔业资源损失量为游泳生物 329.01kg，鱼卵 5.98×10^7 粒，仔鱼 1.10×10^7 尾。

13.4 环境保护措施结论

本项目的污染物排放主要来自施工期光缆埋设作业产生的悬浮物、船舶施工作业人员的生活污水、生活垃圾，扫海清障作业产生的海底垃圾，光缆铺设过程产生的光缆废料，施工船舶产生的机舱含油污水等。

施工期拟通过选择在海况较好、潮流缓慢的时期进行施工，最大限度的减少悬浮物对海洋环境的影响程度。同时，拟采用的专业铺缆船均配置了污染物处理设施，包括生活污水处理设施、油水分离器、食品粉碎机、垃圾收集容器等，施工时各类污染物将按照相关管理规定处理达标后按要求排放，或收集存储运回港口委托有资质单位处理，能够确保污染防治措施的有效落实。

本项目采取的优化选址选线、合理安排施工、有效的悬浮沙减缓措施、有针对性的环境管理措施以及生态补偿措施等均为有效的生态影响防治措施。

13.5 环境风险评价结论

本工程风险事故类型主要是船舶燃料油泄漏事故，工程海域穿越的南海海域主要航路往来船舶以大型化、现代化船舶为主，船舶碰撞导致溢油风险概率较低，光缆埋设段海域附近有大量渔船活动，发生溢油污染事故的概率相对大。

本项目光缆路由位于南海中部农渔业区，溢油一旦发生，油类污染物将即刻进入农渔业水域。根据溢油数值模拟结果，在选定的典型情境下，溢油事故发生后，如在不采取任何应对措施情况下，油膜在风和潮流的共同作用下将向周边海域进一步扩散。由于本项目所在海域距离大陆及海岛岸线均较远，周边应急资源主要是地

方海事部门应急资源以及周边油气田开发者自备应急物资。为防范溢油事故影响进一步加剧，本次评价要求建设单位积极落实风险防范和应急措施，并随船携带一定的自备应急物资，同时针对可能发生的风险事故，编制应急预案，明确应急组织机构和职责，并做好与相关上层预案的衔接，则溢油风险总体可控。

13.6 建设项目环境可行性结论

本项目的建设对推进实施“一带一路”倡议以及“海洋强国”、“网络强国”具有重要的战略意义。

项目为国家产业政策鼓励类，项目实施符合《全国海洋主体功能区规划》、《全国海洋功能区划》、以及相关环保规划、行业规划要求；项目远离海南省本岛及近岸海域，不涉及海南省生态环境分区管控单元及生态保护红线，不存在重大环境制约因素。

根据环境影响分析结果，项目环境影响主要发生在施工期，光缆埋设悬浮沙对海水水质和海洋生态环境影响较小。针对施工阶段可能发现的潜在的环境风险事故，建设单位应采取风险防范和事故应急措施，配备应急物资，编制应急计划。在落实各项环境保护措施、生态保护措施和风险防范与应急措施，加强施工期环境监理工作的基础上，项目建设从环境保护角度是可行的。