

证书编号：国环评证甲字第 1812 号

大万山岛波浪能示范工程 海洋环境影响报告书

上海勘测设计研究院有限公司

上海市逸仙路 388 号

2018 年 04 月

1 总论

1.1 评价任务的由来与评价目的

1.1.1 评价任务的由来

伴随着经济的高速发展,常规能源的过量消耗导致了非可再生能源日渐枯竭,同时全球也面临着严重污染问题。开发新能源、降低碳排放、走环境友好型的能源供应路线已在全球达成共识。伴随着科技的发展,人们把目光投向资源和能源均十分丰富的海洋。海洋波浪能为典型的清洁无污染可再生能源,其能流密度大、分布范围广、易于大规模利用等优点带来的商业价值受到世界沿海各国,尤其是英国、挪威、日本、丹麦、葡萄牙、爱尔兰、澳大利亚等国家的重视。目前国外已有一些大型的波浪能装置问世,其技术已基本成熟。

根据调查和利用波浪观测资料计算统计,我国沿岸波浪能资源理论平均功率为 1285.22 万 kW,这些资源在沿岸的分布很不均匀。以台湾省沿岸为最多,为 429 万 kW,占全国总量的三分之一。其次是浙江、广东、福建,山东沿岸也较多,在 160~205 万 kW 之间,总计约为 706 万 kW,约占全国总量的 55%,其它省市沿岸则很少,仅在 56~143 万 kW 之间。广西沿岸最少,仅 8.1 万 kW。

珠海大万山岛是我国海洋能资源最丰富的海域之一。整个岛屿受到东北、东、东南、南、西南各方向的浪,而大万山岛南侧是各方向的波浪均可抵达的区域,全年均具有很好的海浪。在我国第一次海洋能资源调查中,万山群岛便被列入波浪能丰富海域。国家海洋局第二海洋研究所等单位根据万山海洋观测站提供的波浪数据以及海军航保部提供的波浪数据均证明,万山群岛附近海域年均波高达到 1m 以上。波浪能流密度不低于年均 5kW/m,全年有效波高 1.5m~2.5m 间的累计时间不小于 2000h。可见大万山岛南侧波浪能资源丰富,四季分布均匀,海底平整,流速较低,与海岛其他用户的用海并无冲突,适合作为波浪能发电系统示范工程。

国家海洋局本着“强化示范、优化技术、注重创新、培育产业”的原则,重点支持海洋能示范工程建设,建成具有公共测试泊位百千瓦级波浪能发电装置示

范电站。形成示范工程业主单位全力建设波浪能发电场的电力送出工程和锚泊工程，波浪能装置研发单位全力研发海洋能装置的全新格局，各单位优势互补，分工明确，为海洋波浪能产业化奠定技术基础。

海洋可再生能源专项资金支持波浪能装置研究始于 2010 年，目前，我国的波浪能开发已呈现从单台装置向多台装置的波浪能发电场发展的趋势，进行送电上岸，送电上网的关键时期，建成波浪能示范工程进一步推动波浪能装置的研究。

为响应国家海洋局培育开发波浪能产业的号召，落实科学发展观，建设资源节约型社会，探索和开发清洁能源，为我国的波浪能发电和送出技术提供科研和技术积累，为后续波浪能开发提供示范，南方电网综合能源有限公司拟在大万山岛南侧海域实施大万山岛波浪能示范工程项目。

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》、《中华人民共和国环境影响评价法》、《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》和《建设项目环境保护管理条例》等的规定，凡新建、改建、扩建对环境有影响的工程项目必须进行环境影响评价，编制环境影响报告书，以阐明项目所在地环境质量现状及工程项目施工期和运行期的环境影响。为此，中国南方电网综合能源有限公司（以下简称建设单位）委托上海勘测设计研究院有限公司（以下简称我院）承担本项目环境影响报告评价工作。

我院接受委托后与本项目设计单位中交第四航务工程勘察设计院有限公司积极协作，将环评工作与项目方案设计工作紧密结合，将对环境的考虑充分融入到方案设计中。对工程设计报告中提出的各装机容量和布置方案的环境可行性、合理性进行了分析比较，并将环境因素纳入工程设计方案。根据该工程规模方案，在全面了解本工程的建设性质、规模以及区域海域环境质量现状的基础上，对项目环境影响开展了预测评价，于 2018 年 2 月编制形成报告书送审稿。2018 年 3 月 1 日国家海洋局咨询中心在北京主持召开了“报告书”评审会，会后我院根据评审意见对报告进行了修改完善，形成报批稿。

本评价包括项目施工期及运行期的环境影响评价，本工程设计运行期 25 年，退役期环境影响应在拆除施工前另行编制环境影响报告。

1.1.2 评价目的

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

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

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

(4) 提出本工程环境管理的要求和建议，实现环境、经济和社会效益的高度统一以及社会经济可持续发展的目标，同时为建设单位实施环境保护措施和环境管理部门监督管理提供依据。

1.2 编制依据

1.2.1 法律、法规依据

《中华人民共和国环境保护法》，2014.4 修订，2015.1 实行；

《中华人民共和国海洋环境保护法》，2016.11；

《中华人民共和国海域使用管理法》，2001.10.27；

《中华人民共和国海岛保护法》，2009.12；

《中华人民共和国环境影响评价法》，2016.7；

《中华人民共和国水污染防治法》，2018.1；

《中华人民共和国噪声污染防治法》，1996.10；

《中华人民共和国大气污染防治法》，2016.1；

《中华人民共和国固体废物污染防治法》，2016.11；

《中华人民共和国可再生能源法》，2006.1；

《中华人民共和国渔业法》，2013.12；

《中华人民共和国野生动物保护法》，2009.8；

《中华人民共和国清洁生产促进法》，2003.1.1；

《中华人民共和国海上交通安全法》，1984.1；

- 《海洋工程环境影响评价管理规定》，2017；
- 《中华人民共和国海洋倾废管理条例》，2017.3；
- 《中华人民共和国防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，国务院令 第 475 号，2006.11；
- 《中华人民共和国防治海岸工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2017.3；
- 《中华人民共和国防治陆源污染物污染损害海洋环境管理条例》，1990；
- 《防治船舶污染海洋环境管理条例》，2016.2；
- 《防治海洋工程建设项目污染损害海洋环境管理条例》，2006.9；
- 《中华人民共和国船舶污染海洋环境应急防备和应急处置管理规定》，交通运输部令，2011 年第 4 号；
- 《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》，交通运输部令，2011.2；
- 《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》，交通部，2007.5；
- 《建设项目环境保护管理条例》，国务院第 682 号，2017.7；
- 《中华人民共和国自然保护区条例》，2017.10；
- 《海洋自然保护区管理办法》，1995.1；
- 《中华人民共和国水产资源繁殖保护条例》，1979.2；
- 《关于环境保护若干问题的决定》，国发[1996]31 号，1996；
- 《全国生态环境保护纲要》，2000.12；
- 《近岸海域环境功能区管理办法》，国家环保总局，[1999]8 号；
- 《水产种质资源保护区管理办法》（征求意见稿），2010.9；
- 《关于推行清洁生产的若干意见》，国家环保总局环控[1998]0232 号；
- 《海洋功能区划管理规定》，国海发[2007]18 号；
- 《无居民海岛保护与利用管理规定》，国海发〔2003〕10 号，2003；
- 《国家重点保护野生动物名录》，国务院，1988.12；
- 《海底电缆管道保护规定》，2004.3；
- 《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。

1.2.2 地方法规

- 《广东省环境保护条例》，广东省人大 2015.1；
- 《广东省建设项目环境保护管理条例》，2012.7；
- 《广东省海域使用管理条例》，2007.3；
- 《广东省湿地保护条例》2006.6；
- 《广东省渔业管理条例》2003.7；
- 《广东省珠江三角洲水质保护条例》，1999.1；
- 《广东省固体废物污染环境防治条例》，2012.7；
- 《广东省实施<中华人民共和国海洋环境保护法>办法》，2009.3；
- 《广东省人工鱼礁管理规定》 2004.11.1；
- 《珠海市环境保护条例》，2008.11；
- 《珠海市湿地保护管理条例》；
- 《珠海市湿地红树林资源保护管理办法》。

1.2.3 规划与区划

- 《全国海洋功能区划（2011~2020年）》，2012.4；
- 《全国海洋经济发展“十三五”规划》，2017.5；
- 《国家能源局能源发展“十三五”规划》，2016；
- 《可再生能源发展“十三五”规划》，2016；
- 《海洋可再生能源发展“十三五”规划》，2017.1；
- 《全国沿海船舶航路总体规划》，2011.10；
- 《全国海岛保护工作“十三五”规划》，2016；
- 《广东省海洋功能区划（2011—2020年）》，2012；
- 《广东省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》，2016；
- 《广东省能源发展“十三五”规划》，2016；
- 《广东省海洋经济发展“十三五”规划》，2017.6；
- 《广东省环境保护规划纲要》，2006；
- 《广东省海洋生态红线》（2016-2020）；

《广东省海洋生态环境保护规划》（2017-2020）；
《广东省海洋主体功能区规划》；
《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》；
《广东省海岛保护规划》（2011-2020）；
《广东省能源发展“十三五”规划》；
《珠江三角洲环境保护规划纲要（2004~2020年）》，2004；
《珠海市海洋环境保护规划（2013—2020年）》，2013.10；
《珠海市海洋经济发展“十三五”规划（2016-2020年）》；
《珠海市地表水环境功能区划修编》，2009.5；
《珠海市声环境质量标准适用区域划分》，2011.11；
《珠海市环境空气质量功能区划分》，2011.11；
《珠海市高污染燃料禁燃区划》，2012.2；
《珠海市生态文明建设规划（2010-2020年）》，2012.11。

1.2.4 中国加入的有关国际公约

《国际防止废物和其它物质倾倒入海洋公约》，联合国；
《经1978年议定书修正的1973年国际防止船舶污染海洋公约（MARPOL 73/78）》（V2011年修正），国际海事组织；
《生物多样性公约》，1992.6.5，签订于里约热内卢。

1.2.5 技术依据

1.2.5.1 规程规范

《海洋工程环境影响评价技术导则》（GB/T19485-2014）；
《环境影响评价技术导则总纲》，（HJ2.1-2016）；
《环境影响评价技术导则大气环境》，（HJ2.2-2008）；
《环境影响评价技术导则地面水环境》，（HJ/T2.3-93）；
《环境影响评价技术导则声环境》，（HJ2.4-2009）；
《环境影响评价技术导则生态影响》，（HJ19-2011）；
《建设项目环境风险评价技术导则》，（HJ/T69-2004）；

- 《船舶污染海洋环境风险评价技术规范》（试行）；
- 《疏浚物海洋倾倒分类和评价程序》；
- 《辐射环境保护管理导则电磁环境影响评价方法与标准》，（HJ/T10.3-1996）；
- 《海水水质标准》（GB3097-1998）；
- 《渔业水质标准》（GB11607-89）；
- 《海洋沉积物质量标准》（GB18668-2002）；
- 《海洋生物质量标准》（GB18421-2001）；
- 《环境空气质量标准》（GB3095-2012）；
- 《声环境质量标准》（GB3096-2008）；
- 《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》（HJ/T24-1998）；
- 《高压交流架空送电线无线电干扰限值》（GB15707-1995）；
- 《电磁辐射防护规定》（GB8702-1988）；
- 《船舶污染物排放标准》（GB3552-2018）；
- 《大气污染物综合排放标准》（GB16297-96）；
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）；
- 《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008）；
- 《海洋监测规范》（GB 17378.1~7-2007）；
- 《近岸海域环境监测规范》（HJ 442-2008）；
- 《海洋调查规范》（GB/T 12763-2007）；
- 《海洋调查规范第 8 部分：海洋地质地球物理调查》（GB/T 12763.8-2007）；
- 《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》（海洋出版社，1986）（底质评价标准）；
- 《关于加强海洋工程建设项目环境影响评价公示工作的通知》，2013.2。

1.2.5.2 建设项目相关文件

- 《委托书》，南方电网综合能源有限公司，2016.3；
- 《大万山岛波浪能示范工程项目可行性研究报告》，中交第四航务工程勘察设计院有限公司，2016年4月；

《大万山岛波浪能示范工程浪流潮观测年度报告(测试区)》，华南理工大学，2015年6月；

《大万山岛波浪能示范工程浪流潮观测年度报告(示范区)》，中国科学院南海海洋研究所，2015年6月；

《大万山岛波浪能示范工程地球物理勘探报告(工程可行性研究阶段)》，中交第四航务工程勘察设计院有限公司，中交第四航务工程勘察设计院有限公司，2014年5月；

《大万山岛波浪能示范工程海底地形测量与物探工程测量技术报告》，中交第四航务工程勘察设计院有限公司，2014年5月；

《大万山岛波浪能示范工程锚泊系统与电缆路由设计宽体浮式波浪能装置系泊系统设计报告》，中国科学院广州能源研究所，2015年11月；

《大万山岛波浪能示范工程锚泊系统与电缆路由设计细长体浮式波浪能装置系泊系统设计报告》，中国科学院广州能源研究所，2015年11月；

《大万山岛波浪能示范工程海底地形地貌测量技术报告》，国家海洋局南海调查技术中心，2017年7月；

《大万山岛波浪能示范工程海域使用论证报告书》(报批稿)，国家海洋局南海调查技术中心，2017年11月。

1.3 评价技术路线

1.3.1 评价等级

1.3.1.1 海洋环境评价

本工程由波浪能发电装置和海底电缆组成，拟安装9台100kW波浪能发电装置，海底电缆长约4791m，工程所在海域环境敏感。根据《海洋工程环境影响评价技术导则》评价等级判定标准，本工程水文动力环境、水质环境、沉积物环境和海洋生态评价等级均为2级。

本工程示范区6个泊位占用海域面积约240000m²；测试区3个泊位占用海域面积约1153950m²，合计占海面积为1393950m²，不改变岸线、滩涂和海床自然形状，产生的冲刷影响轻微，因此海洋地形地貌与冲淤环境评价等级为3级。

本工程海底电缆为交流输电，最高电压等级为 10kV，升压站采用户内式，周围无敏感目标，因此电磁辐射评价等级为三级。

本工程运行期内不产生废气，仅施工期内会产生船舶废气和施工扬尘，因此确定大气环境评价等级为三级。

本项目主体工程位于海上以及大万山岛，项目建设前后基本无声环境敏感目标受到影响，因此确定声环境评价等级为三级。

1.3.1.2 环境风险

参照《建设项目环境风险评价技术导则》，本项目施工期及运行期均存在船舶事故溢油风险，燃油泄漏风险，涉及可燃、易燃危险性物质，考虑到波浪能发电装置本身不携带大量燃油，工程附近海域无航道，发生船舶碰撞的几率较低，溢油风险评价等级为二级。

表 1.3-1 项目评价等级汇总

序号	评价内容	评价等级
1	水文动力环境	2
2	水质环境	2
3	沉积物环境	2
4	海洋生态	2
5	海洋地形地貌与冲淤环境	3
6	电磁辐射	3
7	大气环境	3
8	声环境	3
9	溢油风险	2

1.3.2 评价范围

1.3.2.1 海域

(1) 水文动力与海洋水质

根据海洋工程环评导则，本项目水文动力环境评价范围为一个潮周期内水质点可能达到的最大水平距离的两倍，海洋水质评价范围则为规划实施可能造成的悬浮扩散与污染影响范围。考虑本工程海域潮流特性及可能的海洋水质环境影响范围，确定水文动力与海洋水质评价范围为场址及海底电缆所在位置向外延伸 10km 所包含的海域，评价范围面积为 400km²。

(2) 生态环境

根据生态环境评价导则，生态环境评价范围应依据评价项目对生态因子的影响方式、影响程度和生态因子之间的相互影响和相互依存关系确定。考虑本工程生态环境不利影响主要来自施工期悬浮扩散等，因此海洋生态评价范围同海洋水质评价范围。

(3) 电磁辐射与水下噪声

电磁辐射评价范围为升压站站界外及电缆两侧各外扩 40m 范围。

本工程通过液压装置推动发电机发电，运行期不产生明显噪声，声环境影响范围有限。

综上确定本工程海域评价范围为场址周围、电缆所在向外延伸 10km 所包含的海域。工程海域评价范围见图 1.3-1，评价范围角点坐标见表 1.3-2。

表 1.3-2 评价范围角点经纬度坐标

边界点	纬度	经度
A	22°01'57.12"N	113°36'22.63"E
B	22°01'19.94"N	113°48'26.13"E
C	21°49'36.53"N	113°47'41.00"E
D	21°50'15.06"N	113°35'38.05"E



图 1.3-1 海域环境影响评价范围示意图

1.3.2.2 陆域

环境空气、声环境和电磁辐射影响评价范围为：大万山岛陆上电缆沿线周围 200m 区域内、工程征地周围 200m 区域内，以及其它可能受到影响的环境敏感点（区）；电磁辐射评价范围为电缆埋设路径两侧各 200m 范围。

生态环境影响评价范围为：电缆管线中心线两侧各 500m 内范围，施工便道、施工场地等施工临时用地涉及范围。

1.3.2.3 环境风险

风险评价范围确定为波浪发电机组及海缆路由占用海域周围 30km 范围内海域。溢油环境风险评价范围，将根据溢油风险对万山群岛自然保护区等影响情况，延伸至上述敏感区处。

1.3.3 环境质量标准

1.3.3.1 海洋功能区划与海域环境质量标准

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》，本工程主体位于万山群岛旅游休闲娱乐区和万山群岛保留区，综合考虑两个功能区的环保要求，海水水质执行《海水水质标准》二类标准；沉积物执行《海洋沉积物质量标准》第一类标准；双壳类海洋生物质量执行《海洋生物质量标准》第一类标准，非双壳类海洋生物体内污染物质（除石油烃外）含量评价标准采用《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。相应标准限值见表 1.3-3~表 1.3-7。

表 1.3-3 海水水质标准 单位：mg/L（pH 除外）

污染物名称	标准类别			
	一类	二类	三类	四类
pH	7.8~8.5	7.8~8.5	6.8~8.8	6.8~8.8
DO	>6	>5	>4	>3
COD	≤2	≤3	≤4	≤5
BOD ₅	≤1	≤3	≤4	≤5
非离子氨（以 N 计）	≤0.020			
无机氮（以 N 计）	≤0.2	≤0.3	≤0.4	≤0.5
活性磷酸盐（以 P 计）	≤0.015	≤0.030	≤0.030	≤0.045
SS（人为增加量）	≤10	≤10	≤100	≤150

石油类	≤0.05	≤0.05	≤0.30	≤0.50
铜	≤0.005	≤0.010	≤0.050	
铅	≤0.001	≤0.005	≤0.010	≤0.050
锌	≤0.020	≤0.050	≤0.10	≤0.50
镉	≤0.001	≤0.005	≤0.010	
汞	≤0.00005	≤0.0002		≤0.0005
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

表 1.3-4 渔业水质标准单位：mg/L（pH 除外）

编号	项目	标准值
1	pH 值	海水 7.0~8.5
2	DO	连续 24h 中，16h 以上必须大于 5，其余任何时候不得低于 3
3	BOD ₅	≤5，冰封期≤3
4	汞	≤0.0005
5	镉	≤0.005
6	铜	≤0.01
7	锌	≤0.1
8	石油类	≤0.05
9	硫化物	≤0.2

表 1.3-5 海洋沉积物质量标准单位：mg/L（pH 除外）

项目	标准值		
	一类	二类	三类
汞 (10 ⁻⁶)	0.2	0.5	1.0
镉 (10 ⁻⁶)	0.50	1.50	5.00
铅 (10 ⁻⁶)	60.0	130.0	250.0
铜 (10 ⁻⁶)	35.0	100.0	200.0
锌 (10 ⁻⁶)	150.0	300.0	600.0
铬 (10 ⁻⁶)	80.0	150.0	270.0
砷 (10 ⁻⁶)	20.0	65.0	93.0
硫化物 (10 ⁻⁶)	300.0	500.0	600.0
石油类 (10 ⁻⁶)	500.0	1000.0	1500.0
有机碳 (10 ⁻²)	2.0	3.0	4.0

表 1.3-6 海洋生物质量标准（双壳类）

项目	标准值		
	一类	二类	三类
汞 (mg/kg) ≤	0.05	0.10	0.30
镉 (mg/kg) ≤	0.2	2.0	5.0
铅 (mg/kg) ≤	0.1	2.0	6.0
铜 (mg/kg) ≤	10	25	50(牡蛎 100)
锌 (mg/kg) ≤	20	50	100(牡蛎 500)
铬 (mg/kg) ≤	0.5	2.0	6.0
砷 (mg/kg) ≤	1.0	5.0	8.0
石油类 (mg/kg) ≤	15	50	80

表 1.3-7 鱼类、甲壳类海洋生物质量评价标准（鲜重： $\times 10^{-6}$ ）

生物类别	总汞	Cu	Pb	Cd	Zn	As	Cr	石油烃	附注
甲壳类	0.2	100	2	2	150	8.0	1.5	20	石油烃执行《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册），其余指标执行《全国海岸和海域资源综合调查简明规程》
鱼类	0.3	20	2	0.6	40	5.0	1.5	20	

1.3.3.2 空气环境

根据《珠海市环境空气质量功能区划分》，本工程大万山岛，环境空气执行《环境空气质量标准》（GB3095-2012）二级标准。环境空气质量标准值见表 1.3-8。

表 1.3-8 环境空气质量标准单位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （标准状态）

序号	项目	平均时间	浓度限值	
			一级	二级
1	SO ₂	年平均	20	60
		24 小时平均	50	150
		1 小时平均	150	500
2	NO ₂	年平均	40	40
		24 小时平均	80	80
		1 小时平均	200	200
3	TSP	年平均	80	200
		24 小时平均	120	300
4	PM ₁₀	年平均	40	70
		24 小时平均	50	150
5	PM _{2.5}	年平均	15	35
		24 小时平均	35	75

1.3.3.3 声环境

根据《珠海市<声环境质量标准>适用区域划分（修编）》，本工程海上部分和陆上储能升压站、测控站区域涉及区域均执行《声环境质量标准》（GB3096-2008）2 类标准。

表 1.3-9 声环境质量标准单位：等效声级 Leq[dB(A)]

类别	昼间	夜间
2	60	50

1.3.4 污染物排放标准

1.3.4.1 污水

(1) 陆上施工污水、生活污水回用标准执行《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002)。

(2) 船舶污水执行《船舶污染物排放标准》(GB3552-2018)。

污水排放标准详见表 1.3-10 和表 1.3-11, 回用水标准见表 1.3-12。

表 1.3-10 广东省水污染物排放标准单位: mg/L

序号	污染物	一级标准	二级标准	三级标准
1	pH	6~9	6~9	6~9
2	色度	50	80	—
3	悬浮物	70	100	400
4	五日生化需氧量	20	30	300
5	化学需氧量	100	130	500
6	石油类	5	10	30

表 1.3-11 船舶污染物排放要求

污染物种类	排放区域	排放浓度 (mg/L) 或规定	备注
污压载水、洗舱水、泵舱舱底水	距最近陆地 50 海里以上海域	航行途中, 瞬间油量排放率不超过 30 升/海里	73/78 防污公约
	距最近陆地 50 海里以内海域	禁排	
机舱所处的舱底含油污水	排放口铅封处理, 定期交海事部门指定的处理单位处理		铅封管理规定
船舶生活污水	距最近陆地 3 海里以内	生化需氧量不大于 50 悬浮物不大于 150 大肠菌群不大于 2500 个/L	船舶污染物排放标准
	距最近陆地 3~12 海里	使用设备打碎固形物和消毒后排放 船速不低于 4 节, 且生活污水排放速率不超过相应船速下的最大允许排放速率	
船舶垃圾	距最近陆地 3 海里以内	应收集并排入接收设施	
	距最近陆地 3~12 海里	粉碎或磨碎至直径不大于 25 毫米后方可排放	

表 1.3-12 污水回用标准

项目及执行标准	污染指标	单位	限值
《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002)	pH	无量纲	6~9
	浊度	NTU	20
	五日生化需氧量	mg/L	15
	氨氮		20
	溶解氧		1.0

1.3.4.2 大气

大万山岛执行《大气污染物综合排放标准 GB16297-96》二级标准。见表 1.3-13。

**表 1.3-13 新污染源大气污染物排放限值单位：mg/m³
(无组织排放监控浓度限值)**

项目	SO ₂	NO _x	TSP
监控点	周界外浓度最高点	周界外浓度最高点	周界外浓度最高点
浓度	0.4	0.12	1.0

1.3.4.3 噪声

施工期执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)。见表 1.3-14。运行期升压站参照执行《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB12348-2008) 2 类标准。见表 1.3-15。

表 1.3-14 建筑施工场界噪声限值 (Leq) 单位：dB (A)

噪声排放限值	昼间	70
	夜间	55

表 1.3-15 工业企业场界噪声限值 (Leq) 单位：dB (A)

类别	昼间	夜间
2	60	50

1.3.4.4 固废

船舶固废执行《船舶污染物排放标准》(GB3552-2018)，见表 1.3-11。

1.3.4.5 电磁辐射

(1) 电磁场

参照《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T24-1998) 的推荐值，以 4kv/m 作为工频电场的评价标准；以 0.1mT 作为磁感应强度的评价标准。

(2) 无线电干扰

根据《高压交流架空送电线无线电干扰限值》(GB15707-1995) 要求，输电线距边相导线投影 20m 距离处、测试频率为 0.5MHz 的晴天条件下，无线电干扰值不大于 55dB(μV/m)；变电所外距围墙 20m 处、测试频率为 0.5MHz 的晴天条件下，无线电干扰值不大于 55dB(μV/m)。

1.3.5 评价方法

- (1) 海域水质、沉积物现状采用单因子标准指数法进行评价；
- (2) 海域生态现状采用多样性指数法进行评价；
- (3) 海域流场计算、污染物扩散采用数学模型预测法。

1.3.6 评价时段

本工程环境影响评价包括施工期、运行期 2 个时段。

1.3.7 评价内容

该项目建设类型属于海洋能源开发利用、输送设施及网络工程中的海上波浪发电工程，依据《海洋工程环境影响评价技术导则》判断评价内容，见表 1.3-16。

表 1.3-16 海洋工程建设项目各单项环境影响评价内容

建设项目类型	海洋环境影响评价内容					
	海水水质环境	海洋沉积物环境	海洋生态环境	地形地貌与冲淤环境	海洋水文动力环境	环境风险
海上波浪电站	★	★	★	★	★	★
注：★为必选环境影响评价内容，☆为依据建设项目具体情况可选环境影响评价内容。						

1.3.8 评价重点

结合本工程特性和环境特征以及工程环境影响因子识别和筛选，确定本环评工作重点为：

- (1) 施工期环境影响评价：波浪能发电装置及海底电缆施工对海域水质、沉积物、生态环境、渔业资源的影响评价。
- (2) 运行期环境影响评价：波浪能发电装置及海底电缆对海洋开发活动的影响分析。
- (3) 环境风险评价：施工期船舶碰撞溢油及运行期设备液压油泄露对海洋水质、海洋生态的风险影响评价。
- (4) 环保对策措施：工程布置及施工方案优化，海洋水质、沉积物、生态环境（渔业资源）保护及修复补偿措施拟定。
- (5) 场址比选分析以及相关规划、管理要求的相符性分析。

1.3.9 评价工作程序

本工程环境影响评价工作程序见图 1.3-2。

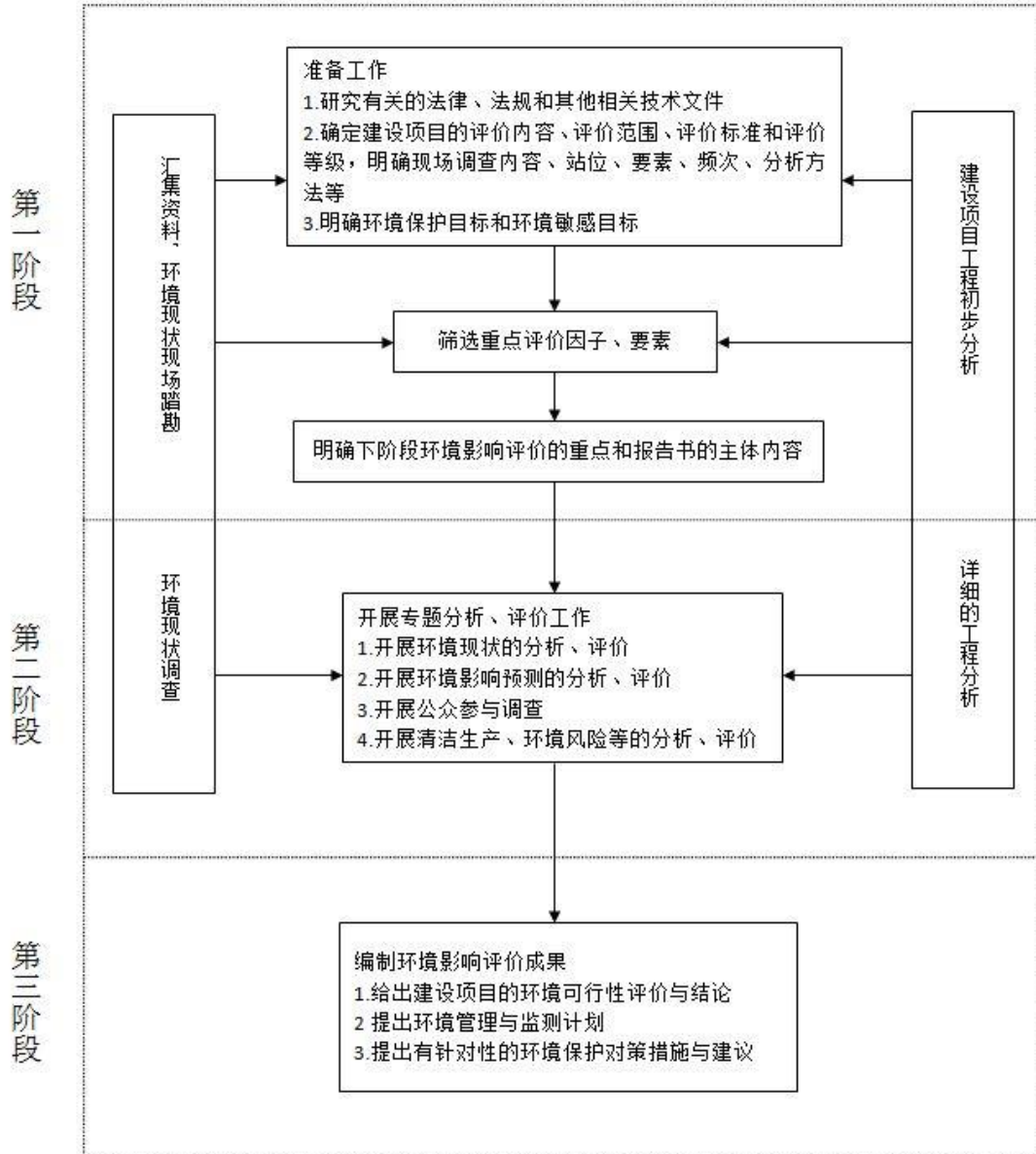


图 1.3-2 本工程环境影响评价工作程序框图

1.4 环境保护目标

1.4.1 功能区保护目标

(1) 生态环境

工程区域海洋生态环境（包括渔业资源）不因本工程建设而发生明显恶化；水生生物群落结构等不因本工程建设而发生明显变化，保护生态岸线。

(2) 水环境

项目实施后工程海域水质保持现有类别，不因工程建设而变劣。

(3) 海洋沉积物

项目实施后工程海域沉积物质量保持现有类别，不因工程建设而变劣。

(4) 大气环境

项目实施后涉及的空气二类区，应注重保持其旅游休闲娱乐区功能。

(5) 声环境

大万山岛执行声环境功能 2 类区，整体声环境不因工程建设而变劣。

1.4.2 敏感点保护目标

本项目建设涉及的环境敏感点见表 1.4-1、图 1.4-1 及附图 6。

表 1.4-1 工程区域附近海洋环境敏感目标

序号	敏感目标		位置关系	概况	敏感要素
	类型	名称			
1	旅游休闲娱乐区	万山群岛旅游休闲娱乐区	电缆路由穿越	东至 114°19'26" 西至 113°40'10" 南至 21°55'00" 北至 22°07'22"	海洋水质、沉积物、生态环境；渔业生产、军事设施
2	保留区	万山群岛保留区	波浪能发电装置位于保留区	东至 114°30'37" 西至 113°30'37" 南至 21°30'40" 北至 22°10'59"	海洋水质、沉积物、生态环境
3	港口航运区	大万山岛港口航运区	北侧 1.15km	东至 113°44'00" 西至 113°41'05" 南至 21°56'17" 北至 21°58'27"	海洋水质、沉积物、生态环境
4		万山港万山口岸装卸作业锚地	北侧 1.5km	大小万山岛之间海域	地形冲淤环境
5		大万山岛客运码头	北侧 1.4km	大万山岛西侧万山湾内	地形冲淤环境
6		大万山岛游艇停泊区	北侧 1.4km	大万山岛西侧万山湾内	地形冲淤环境
7	渔港	万山渔港	北侧 1.4km	大万山岛西侧万山湾内	地形冲淤环境
8	保护区	万山群岛自然保护区	紧邻	大万山岛	海洋水质、沉积物、生态环境



图 1.4-1 敏感目标分布图

2 工程概况

2.1 项目概况与地理位置

2.1.1 项目概况

(1) 项目名称：大万山岛波浪能示范工程。

(2) 项目规模：本工程包括示范区、测试区和岸基。示范区拟建 6 个波浪能发电示范泊位，测试区拟建 3 个波浪能发电测试泊位，共 9 个泊位，每个泊位最大送出功率为 100kW。本工程以 1 回 10kV 电缆线路接入大万山岛 10kV 架空线，电缆型号为 YJV22-8.7/15KV-3X95。示范区 6 个泊位的电缆必需先在汇流站并联，然后统一输送到变电站。汇流站到登陆点的 10kV 主电缆长度为 1.5km，其他场内连接电缆总长度合计 4791m。

(3) 项目投资：1.5 亿元。

2.1.2 建设地理位置

珠海市位于广东省南部，珠江口西岸。大万山岛位于珠江口外最南端，岛长 3750m，宽 3500m，最窄 2450m，面积 8.066km²。岛上山势挺拔，地形起伏大，有 5 座山峰，大万顶主峰是万山岛最高的山峰，海拔 432.5m(1956 年黄海高程系)。

大万山岛波浪能示范工程位于大万山岛西南 1.4km 处，距离西北珠海市市区最近距离约为 36km。

工程地理位置及布置见图 2.1-1，平面布置见图 2.1-2。



图 2.1-1 项目区域位置图

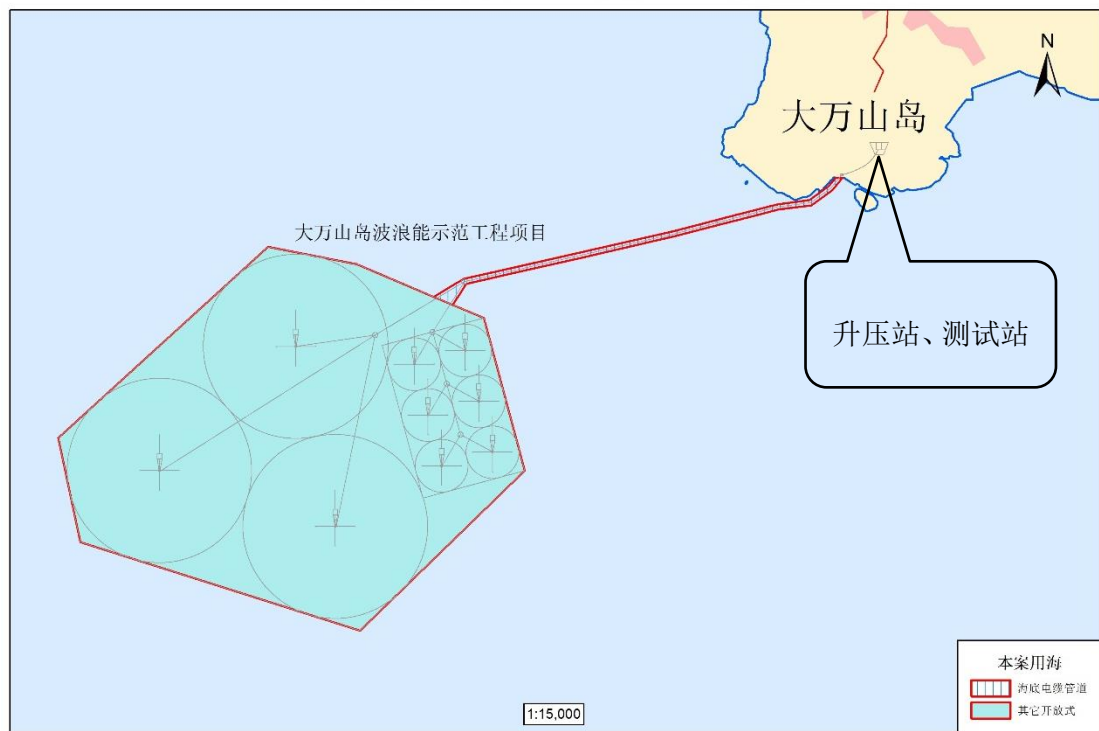


图 2.1-2 项目平面布置图

2.2 建设方案概述

2.2.1 工艺说明

本工程主要由海上波浪能发电装置、10kV 电气接线、10kV 升压变电站、10kV 送出海缆、陆上集控中心以及海岛联网光电复合海缆等组成。

波浪能发电装置振荡浮子类装置利用波浪的运动推动浮子与锚系主体之间产生相对运动，驱动机械系统或液压系统，再通过发电设备发电。在能量转换过程中，波浪能被转化为液压系统的液压能。

本工程测试泊位安装 6 个波浪能发电示范泊位，3 个波浪能发电测试泊位，共 9 个泊位，每个泊位最大送出功率可达 100kW。每个泊位提供系泊接口和电力送出接口，可同时满足交流送出和直流送出不同类型波浪能装置。本工程以 1 回 10kV 电缆线路接入大万山岛 10kV 架空线，电缆型号为 YJV22-8.7/15KV-3X95。示范区 6 个泊位的电缆必需先在汇流站并联，然后统一输送到变电站。汇流站到登陆点的 10kV 主电缆长度为 1.5km，其他场内连接电缆总长度合计 4791km。项目工艺见图 2.2-1。

根据设计方案，本项目发电装置锚链系统由三根具有高弹性能力的系泊系统组成。前面的两根系泊线与装置中纵剖面成 45° 夹角，后面一根为 0° 夹角（图 2.2-3）。每根系泊线由 6 个部分组成：海底锚链、重块锚链 1、重块锚链 2、高弹性索、浮筒以及上部锚链。重块锚链 1 均匀分布着 2t 的重块，重块锚链 2 是为了抵抗浮筒产生的拉力，锚链上分布的重块为 8.5t。

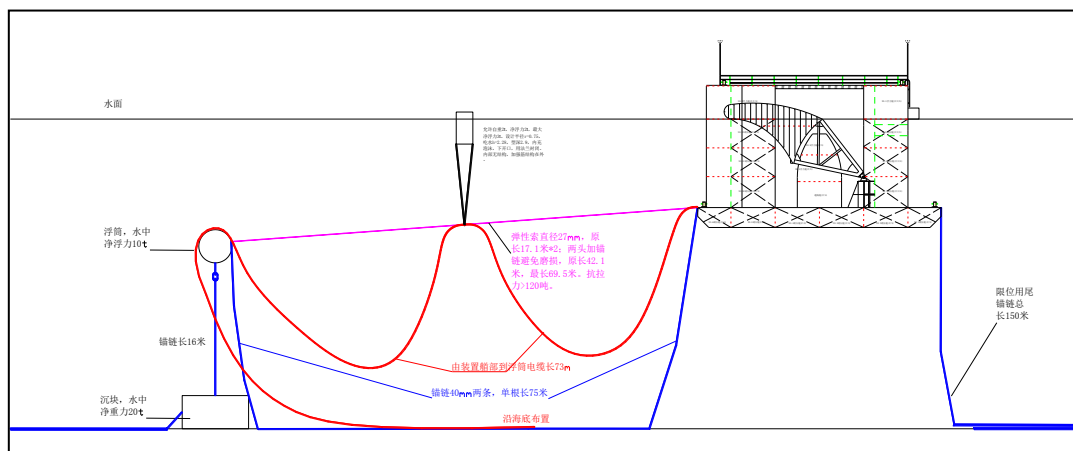


图 2.2-1 波浪能发电装置示意图

拟选的波浪能发电装置的基本结构为半潜式结构，四个波浪能吸收浮体分成

两排安装在两侧。波浪能发电装置长 36m，宽 24m，高 16m，工作状态时吃水深度 11m。它是漂浮式半潜结构，其活动性由其锚链系统决定，在波浪和流方向不变时，该装置基本不动。只有在波浪和流方向改变时，一般波况在 50m 范围内，大浪下也不会超出 100m 范围内移动。

详见系泊系统布置图 2.2-2 和图 2.2-3。波浪能发电装置示意图见图 2.2-4。

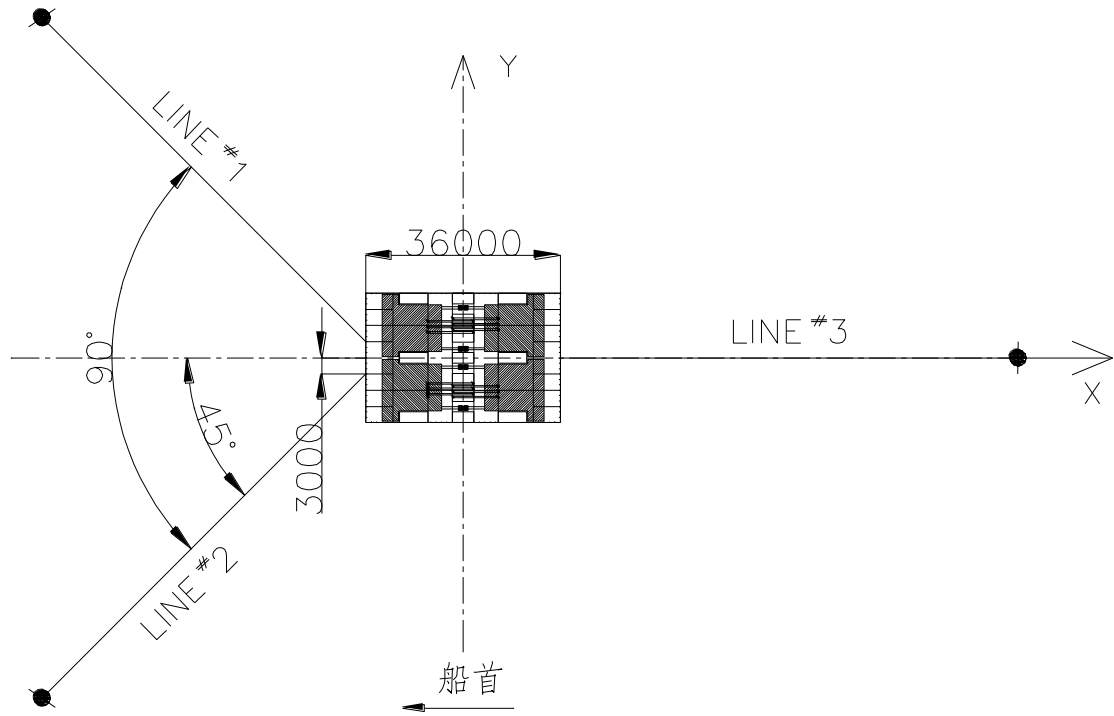


图 2.2-2 系泊系统布置形式

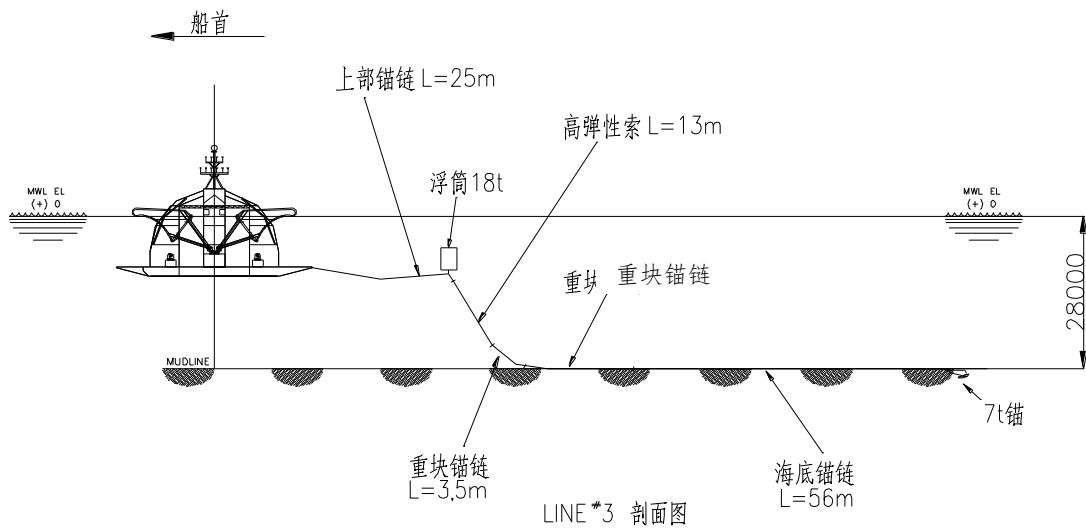


图 2.2-3 (1) 系泊系统剖面构型图

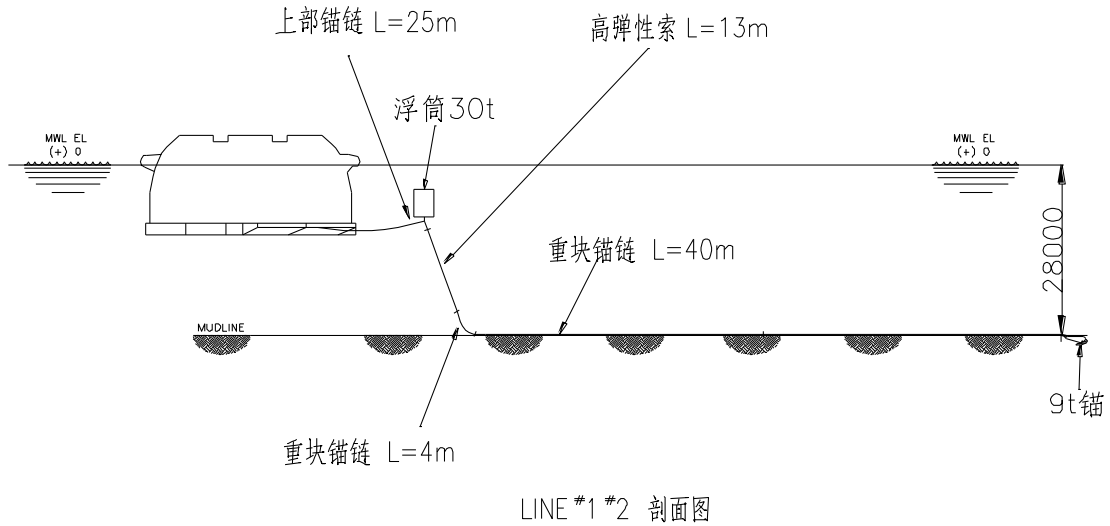


图 2.2-3 (2) 系泊系统剖面构型图

宽体波浪能发电装置（如“万山号”）的锚泊系统由两个首锚和一个尾锚共三个锚系组成。每个锚系由普通锚链、浮筒、弹性索、分布式重块和锚等组成，其中分布式重块也是锚链。首锚的分布式重块锚链外径 92mm，分两段，分别长 40m 和 4m；尾锚分布式重块锚链外径 92mm，分三段，分别长 56m，长 24m 和 3.5m。其中 56m 锚链没有分布重块。首部和尾部锚链总长约 230.5m，分布式重块所占据海底总长度约为 115m，但宽度非常有限。

由于装置所在区域海况水深为 28m，属超浅水海域。装置本身在自存工况下的排水量很大，为 4027t，而风暴海况有义波高为 9.07m，系泊覆盖半径小于 100m，因此常规系泊系统方式很难在此超浅水区域进行有效系泊。为了满足的设计要求，最终选择由三根 D26 高弹性索组成的系泊系统。SUPFLEX 公司生产的高弹性索是一种具有超高弹性的人工合成缆绳，每组缆绳由多根较细的弹性索组成，根据模型水池试验校准分析对系泊系统进行了修正，首部高弹性索数量为 280 根，尾部为 180 根。系统参数详见表 2.2-1，弹性索结构如图 2.2-4。

系泊系统布置形式如图 2.2-5 所示。前面的两根系泊线与装置中纵剖面成 45 度夹角，后面一根为 0 度夹角。系泊线#1、系泊线#2 采用 9t 的 Stevpris Mk5 型拖曳锚。系泊线#3 采用 5t 的 Stevpris Mk5 型拖曳锚。每根系泊线由 6 个分量组成一海底锚链、重块锚链 1、重块锚链 2、高弹性索、浮筒以及上部锚链。重块锚链 1 均匀分布着 2t 的重块，重块锚链 2 是为了抵抗浮筒产生的拉力，锚链上分布的重块为 8.5t。



图 2.2-4 SUPFLEX 公司生产的高弹性索示意图

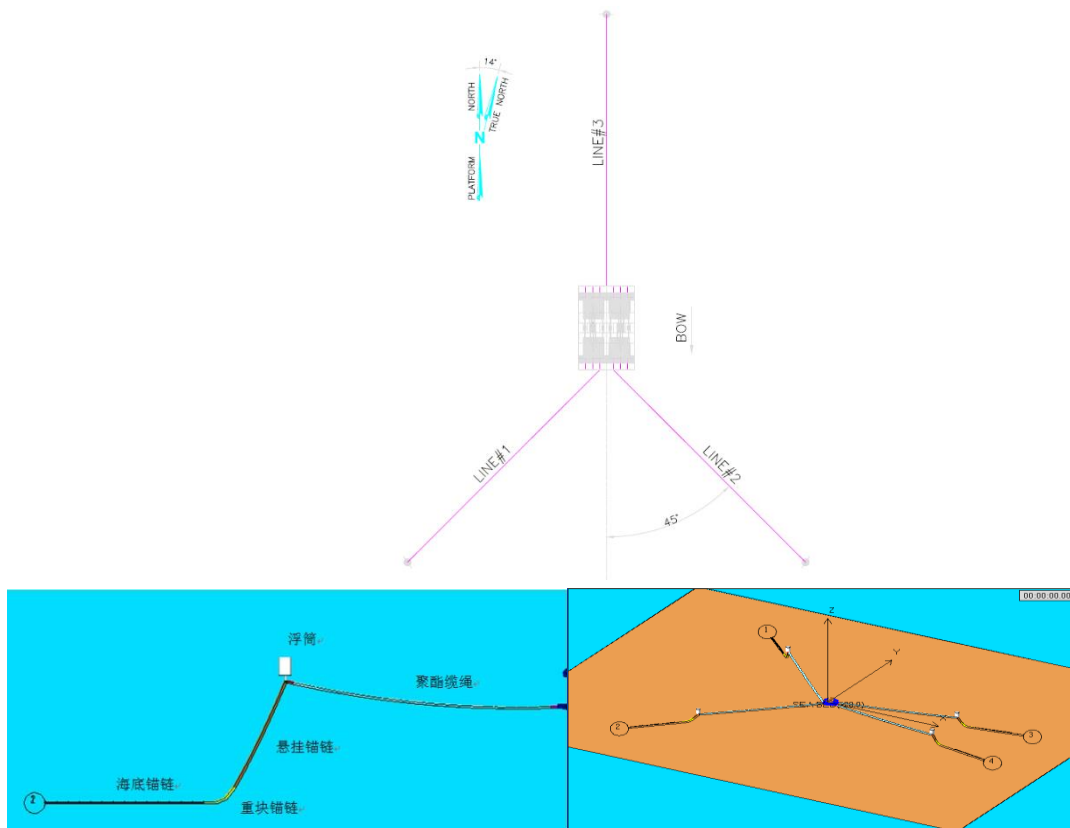


图 2.2-5 系泊系统布置形式

表 2.2-1 锚泊系统参数表

	分段	外径	腐蚀后的 破断力***	分段长	湿重	轴向刚度 EA	初始破断力
	单位	[mm]	[ton]	[m]	[kg/m]	[N]	[ton]
首部锚链 系泊线#1、 系泊线#2	海底锚链 R3*	92	498	40	147.5	7.681E08	705
	重块锚链 1 R3	92	498	40	1325	7.681E08	705
	重块锚链 2 R3	92	498	4	7573	7.681E08	705
	高弹性索 280 根	1000	-	13.0	24.5	变化	343
	浮筒	-	-	-	净浮力 30 吨	-	-
	上部锚链 R3**	92	498	25	147.5	7.681E08	705
尾部锚链 系泊线#3	海底锚链 R3*	92	498	56	147.5	7.681E08	705
	重块锚链 1 R3	92	498	24	1325	7.681E08	705
	重块锚链 2 R3	92	498	3.5	6520	7.681E08	705
	高弹性索 180 根	800	-	13.0	15.3	变化	220
	浮筒	-	-	-	净浮力 18 吨	-	-
	上部锚链 R3**	92	498	25	147.5	7.681E08	705

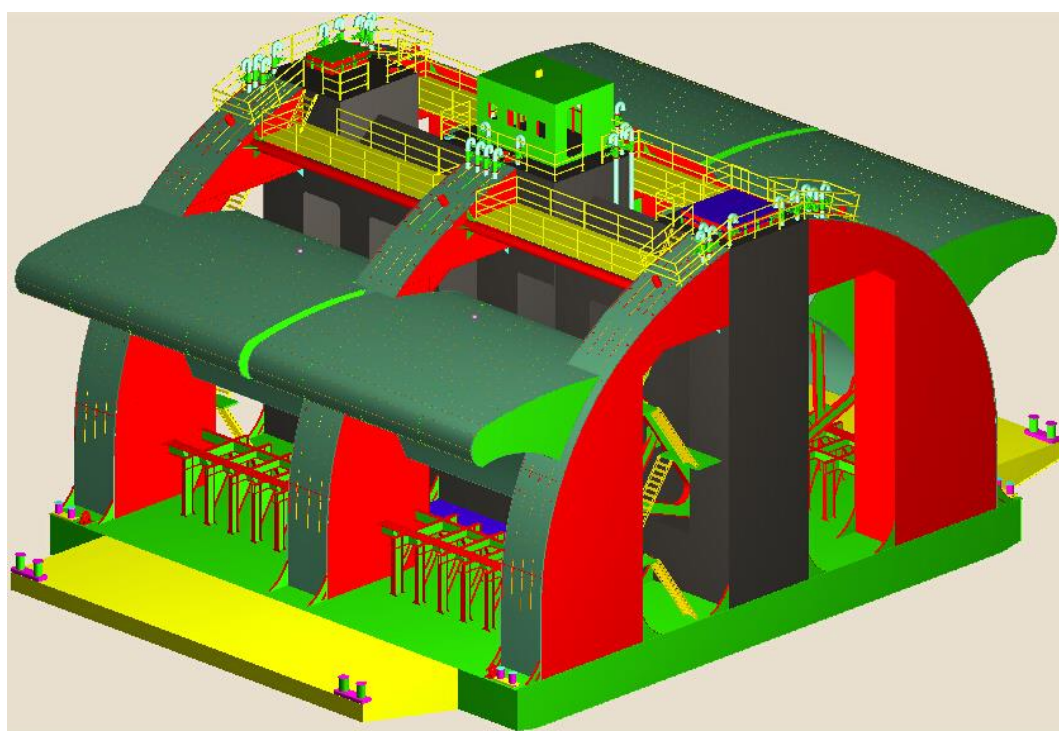


图 2.2-6 波浪能发电装置示意图

根据锚链系统自身尺度，参考规范“Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures”（API RP 2SK）研究波浪能发电装置的现场布放过程，考虑到两条拖轮与发电装置之间的距离、护航拖轮的锚系长度以及拖轮的

自身长度等因素，估计单个测试泊位的锚链漂浮长度不超过 350m，因此本项目选取单个泊位的用海面积为直径 700m 的圆形范围，具体布局形式如图 2.2-7 所示。单个示范泊位的锚链漂浮长度不超过 100m，用海面积为直径不超过 200m 的圆形范围。

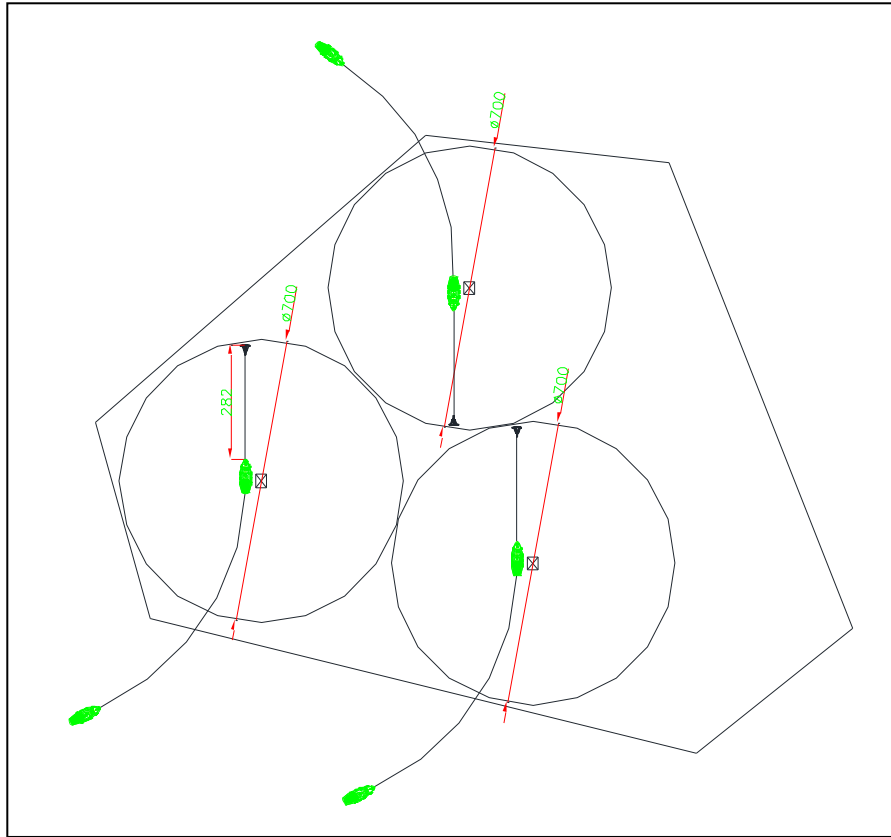


图 2.2-7 波浪能测试区三个泊位的布局示意图

2.2.2 工程等别与标准

本工程的主要建筑物为 10KV 升压站、波浪发电综合测试站；构筑物为锚泊系统基础。建筑物上部均采用钢筋混凝土框架结构，锚泊基础采用预制混凝土沉块，混凝土强度等级 C30。主要建(构)筑物的等级详见表 2.2-2。

表 2.2-2 配套建筑物工程等别与标准表

名称	建筑结构安全等级	抗震设防类别	抗震设防烈度	
			地震作用	抗震措施
锚泊系统	二	丙类	7 度	7 度
10KV 升压站	二	丙类	7 度	7 度
综合测试站	二	丙类	7 度	7 度

2.2.3 机组选型

2.2.3.1 发电装置比选

本工程位于珠海市万山岛西南角，装置投放点水深大约 28m，海底地形平坦，泥沙材质，易于投放波浪能装置锚泊系统。根据近几年在万山岛的工作经验，万山岛一年四季均有较大的能量密度，冬季吹北至东北风，浪高 1.5m 以上的时间约占 60% 以上；夏季吹西南风，浪高 1.5m 以上的时间约占 50% 以上，波浪资源较为丰富，且投放点波浪较为规则，具备投放大型波浪能装置的条件。表 2.2-3 给出了各种波浪能发电装置优缺点的对比，根据优先效率兼顾可靠性的原则，优先选取鸭式、鹰式以及越浪类等能量捕获效率较高的波能装置，考虑到装置的可靠性以及加工、运输、投放、维修的便利性，鹰式波能装置在现有各类波浪能装置中优势突出，是现阶段波浪能开发利用的最好选择。

表 2.2-3 现有装置的优缺点对比

分类	装置	优点	缺点
振荡浮子类	点吸收式	结构简单，加工难度小	1、造波和透射现象严重，效率较低； 2、迎波宽度有限，不易大型化。
	鸭式波能装置	捕获效率高	1、可靠性较差； 2、加工精度要求高，增加制作成本； 3、装置重量过大，增加运输、投放和维修的施工难度； 4、锚系和系留等费用昂贵。
	筏式波能装置	1、有较好的整体性，抗浪性能较好； 2、采用液压方式传递能量，具有较好的能量传递效率； 3、采用了能量缓冲器，发电稳定性较好； 4、装置可自动对浪，因此锚泊系统简单。	装置的迎波宽度与其长度相比非常小，其吸波能力与同等长度横浪布置的装置相比弱很多，转换效率不高，只适合在波浪能资源较丰富的地区使用。
	摆式波能装置	1、装置机构简单，降低了制造成本； 2、装置大部分结构处于海面以下，大浪工况下摆板结构被压入水下，降低了被风暴破坏的几率，可靠性较高。	1、装置摆板前面吸波后面造波，接收到的相当一部分能量被送回大海，转换效率低； 2、装置固定于海底，施工难度大，施工费用较高； 3、装置受潮位影响大，不同潮位摆板吃水深度不同，影响其做功能力； 4、装置固定，不能自动对浪向，当来浪方向非垂直于摆板时，其转换效率将大大降低。 5、不易维护。当出现故障时需要拆除回厂维修，重新安装。
	鹰式波能装置	1、装置吸波体外形是从鸭式优化而来，具有“有前面，无后面”的特性，转换效率高； 2、装置吸波体质量小，在波浪作用下反应敏捷，可保持较好的随浪性； 3、装置采用液压方式传递能量，具有较高的二、三级能量转换效率； 4、吸波体与半潜船创造性的结合在一起，大大降低了装置运输、投放以及维修的成本和施工难度； 1、装置大部分潜在水中，增加装置的稳定性，同时提高抗台风能力，延长工作寿命； 2、采用漂浮式结构，适用面广，有利于批量生产，降低系统造价； 3、装置采用多点系泊形式锚泊于海洋之中，锚系系统简单，同时该种系泊方式有利于装置自动对浪，保证装置在各种来波方向下的高性能。	装置结构还可进一步优化，使波浪能装置的设计趋于功能合理、易于应用、成本低廉，为未来批量生产打下基础。

分类	装置	优点	缺点
越浪类	Wave Dragon	1、通过收缩波道有效地聚集波浪能，提高了系统俘获波浪能的能力； 2、将波浪能转换为势能、再利用水轮机发电，避免波浪对发电系统的冲击，提高了系统对波浪的适应性和可靠性； 3、采用改变干舷的方法有效地调节高位水库的入口高度，使系统在各种浪况下均有较高的效率，保障了装置在小浪况下的正常工作； 1、采用越浪技术释放过多能量，提高系统对大浪的耐受力，使系统在大浪时保持满负荷发电； 2、采用漂浮式结构，适用面广，有利于批量生产，降低系统造价。	1、波龙装置靠导浪浮体提高了俘获波浪能的能力，同时也导致了大浪时承受波浪力过大的问题。 2、波龙装置在海面摇动时会导致效率降低，为了保持装置的稳定，波龙技术采用的方法是加大波龙装置的尺度，减小其在一般的浪况下的运动。但这样一来，导致波龙装置在大浪时运动更加剧烈，锚泊系统的受力更大，更容易断裂； 3、尺寸过大，建造成本过高，同时运输、投放以及维修难度较大。
水柱振荡类		3、转动机构不与海水接触，防腐性能好； 4、安全可靠，维护方便。	1、二级能量转换效率较低； 2、漂浮式振荡水柱装置很难做大。

2.2.3.2 波浪发电系统效率计算

根据模型试验结果，在有效波高 2m 时，100kW 鹰式装置在随机波下平均发电效率达到 15%。

2.2.3.3 波浪能装置接收能量计算

根据 2013 年 4 月-2014 年 4 月在工程的测试区进行的周年观测资料，大万山岛的波浪能年均功率为 5kW/m，每米迎波宽度下波浪能装置发电量为 $15\% \times 5 = 0.75\text{kW/m}$ 。

每台波浪能装置迎波宽度为 20m，年工作时间为 5500h。

每台波浪能装置年发电量 = $0.75\text{kW/m} \times 20\text{m} \times 5500\text{h} = 82500\text{kWh}$ ，则 100kW 波浪能装置折合年有效小时数 = $82500\text{kWh} / 100\text{kW} = 825$ 小时。

波浪能机组布置见附图 3。

2.2.4 电气设备

2.2.4.1 电气一次

本工程测试泊位安装 3 台单机容量为 100kW 的波浪能发电机组，示范工程安装 6 台单机容量为 100kW 的波浪能发电机组，总装机容量 900KW，本工程主变容量为 1000KVA。

本工程以 1 回 10kV 电缆线路接入万山岛 10kV 架空线，电缆型号为 YJV22-8.7/15KV-3X95，电缆线路长度约为 4791m。最终的接入系统方案按接入系统报告及审查意见进行。

由于波浪能发电技术还不够成熟，故需要采取稳健、可靠的技术方案实现并

网发电，具体技术路线是：

①波浪能发电装置输出端接整流装置，整流输出端接 1000V 直流母线。直流母线经海底电缆接到位于岸上额定电压为 1000V 的蓄电池储能装置，按照理想情况下波浪能发电装置最大出力考虑，蓄电池储能装置按新建 1200kWh 考虑。

②蓄电池交流侧输出接 1250kW 逆变器，经升压变升压至 10kV，经过陆上电缆接至大万山岛原储能装置 10kV 交流母线侧，陆上电缆长度约为 1.2km，电缆截面考虑为 $3 \times 50\text{mm}^2$ 。

③原大万山岛储能装置仍按建造容量 2000kWh 考虑。

④各波浪能装置发出的交流电进行整流，输入 1000V 直流母线，当波浪能装置发电机的直流电压超过 1000V 时，便开始向直流母线输电。直流母线接逆变器和蓄电池。当用户正在用电，逆变器将首先将直流母线的直流电转换成交流电，为用户供电；当直流母线的直流电不足时，蓄电池将补充不足的电能部分给逆变器，为用户供电。

⑤当处于并网运行模式下，蓄电池充满且岛内正常供电时，波浪能发电装置所发电力可由岸上负载释放；而波浪能发电装置处于间歇阶段或者故障时，且蓄电池处于未充满状态时，电网可向蓄电池充电。

⑥一旦岸上电网出现故障，可断开逆变器，关断电网电源。此时蓄电池仍作为负载，不影响波浪能装置运行。一旦某些（包括全部）波浪能装置出现故障，或海底电缆出现故障，则直流母线中的二极管可以防止蓄电池的电力释放到大海里。一旦海底电缆断裂或漏电，波浪能装置将自动切断向电缆的输电，而由装置内部的电阻耗电，以免出现装置空载运行造成机械损坏。

2.2.4.2 电气二次

本波浪发电场由南方电网万山微网进行调度管理，升压站管理模式为“无人值班，少人值守”。由于本工程位于海岛，属于湿热带气候，盐雾腐蚀较大，夏季台风较多，不适宜采用敞开设备户外方案。工程 10kV 高压设备选用常用的 KYN 型中置式金属封闭式开关柜，开关选用真空断路器。根据目前波浪发电控制技术的发展现状，本波浪发电场控制系统分为两个部分，即波浪发电装置测控系统和 10kV 升压站计算机监控系统，两套系统均布置在 10kV 升压站控制室，控制功能各自独立。

波浪发电机组正常采用岸上集中测试监控方式，测试系统设备布置在 10kV 升压站中控室内，通过海洋能发电综合测试系统，对测试泊位和示范泊位所有海洋能发电机组进行集中远方测试、监视和控制。

2.2.5 陆上建筑物

本工程陆上主要建筑物为 10KV 升压站和综合测试站，面积约 600m²。各建筑物基本情况见表 2.2-4，升压站和综合测试站平面布置见图 2.2-8。

表 2.2-4 建筑物基本情况表

建筑物名称	房间组成	层数	宽×长×高(m)
10KV 升压站	二次设备室	一层	18×25.8×4.5
	并网控制室		
	低压配电室		
	中压配电室		
	蓄电池室		
综合测试站	测试设备室	一层	18×25.8×3.5
	测试控制室		
	低压配电室		
	中压配电室		
	厕所		

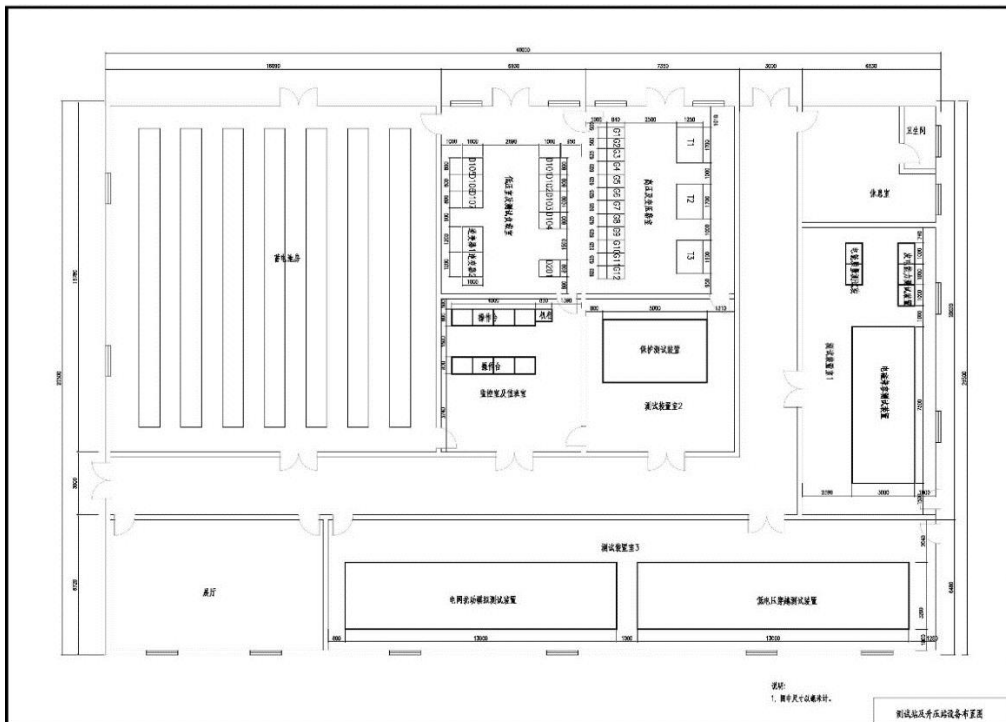


图 2.2-8 测试站、升压站平面布置图

2.3 项目占用海岸线、滩涂、海域、无居民海岛和土地状况

2.3.1 海域占用

本项目需要占用海域和少量陆地面积，本项目用海总面积 173.3674 公顷，其中其他开放式用海面积 169.8781 公顷，海底电缆管道用海面积 3.4893 公顷。本项目占用陆地面积不大。经过和当地政府和驻军协调，所需岸区站址和用地可以满足需要。

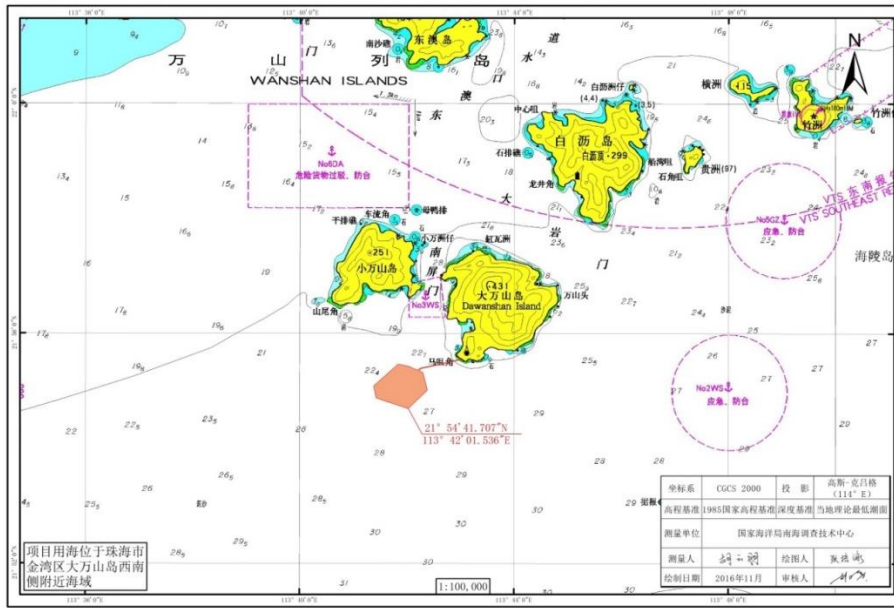


图 2.3-1 大万山波浪能示范工程宗海置图

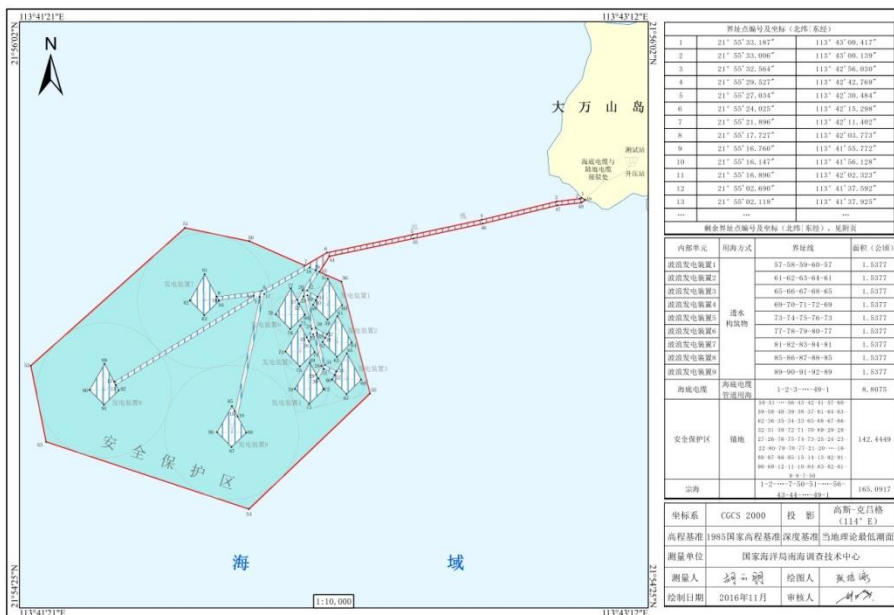


图 2.3-2 大万山波浪能示范工程宗海界址图

2.3.2 海岸线和滩涂占用

本项目位于大万山岛附近海域，海底电缆登陆时将占用部分海岛自然岸线资源，全部为基岩岸线，占用岸线总长度约为 25.77m，海底电缆登陆时将采用穿钢管悬空架设的方式，并按照规定设立显著标志，禁止打桩、抛锚、挖砂等，是对海岛及其岸线资源的有序利用，能充分发挥此处岸线的有利作用，也能禁止其他破坏行为破坏此处基岩。

2.4 工程施工

2.4.1 施工条件

2.4.1.1 施工条件

拟建的万山波浪能发电站场址位于广东省珠海市大万山岛西南侧，距市区 20 海里。岸上土建工程站址为丘陵山地地貌，地表为砂砾覆盖层，由于地势狭隘，坡度较大，施工时需要较大的开挖填平，才能形成良好的施工场地。主要建筑物材料来源充足，钢筋水泥可从珠海市购进，通过船舶或者汽车运至施工现场。沙石料可就地获取。施工电源由附近部队营房接引或者采用自备柴油发电机组发电。施工用水可从附近部队营房接引，施工条件较好。

2.4.1.2 施工交通运输

本项目位置紧靠大万山岛，岛上有公路和轮渡码头，汽车可以通过汽车轮渡码头直达珠海市区，交通比较方便，陆上变电站和测控站附近有部队营房，有公路直达。大万山岛现有汽车轮渡码头、客运码头和货运码头，有定期客船和汽车渡船往返万山岛和珠海市，人员和设备物资可以通过客船和汽车渡船到达万山岛。

2.4.2 施工布置

依据波浪能电站建设、施工要求、当地实际情况及施工环保要求，本阶段初步编制一个基本的施工组织方案。

(1) 先进行临时生活设施建设，后进行生产设施建设首先解决施工人员的办公、吃、住问题，先建设办公、生活设施，以满足管理需要，提高工作效率。

(2) 10KV 升压站和电缆敷设工程先期开工建设，根据测试站、升压站场地的布置，先进行道路及电缆沟、预埋电缆管隐蔽工程的施工，合理的顺序可以避免在施工中的反复，提高工程效率。

(3) 其他工程项目的施工：在保证上述两项的施工组织原则下，其他工程如仓库、临时设施、测试站、升压站基础处理、混凝土基础、海缆登陆井等可同步进行，平行建设，其分部分项可以流水作业，以加快施工进度，保证工期。

2.4.3 施工方法

2.4.3.1 升压站施工

本工程在万山岛布置一座海岛升压站，升压站基础施工地基开挖深度约为 2m。开挖出地基地面后先洒少量水、夯实、找平，垫 3:7 灰土 20cm 夯实。在其上进行混凝土施工，施工需架设模板、绑扎钢筋并浇筑混凝土，混凝土在施工中经常测量，以保证整体阵列的水平、间距精度。施工结束后混凝土表面必须立即遮盖并洒水养护，防止表面出现开裂。回填土要求压实，填至与地面水平。一般情况尽量避免冬季施工。确需冬季施工时，一定要采取严格保温措施。施工过程中，待混凝土强度达到 28 天龄期以上方可进行安装。

升压站施工工艺见图 2.4-1。

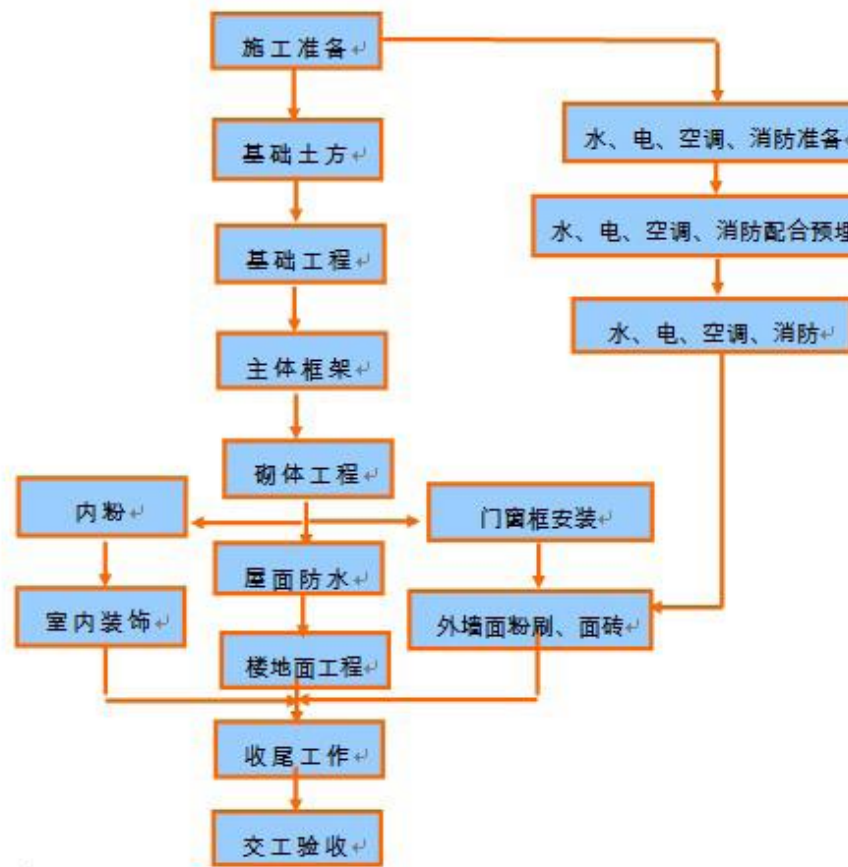


图 2.4-1 升压站建筑施工工序

2.4.3.2 波浪发电装置安装

投放前的工作：

- (1) 如果锚泊系统已经施工完毕，将波浪能装置直接拖拽到锚泊系统附近。
- (2) 如果锚泊系统尚未投放，则在避浪区域，将锚泊系统和波浪能装置连接好，再拉到投放点。
- (3) 如有海底电缆，将海底电缆预先安装完毕，将接口用浮子浮于海面。

波浪能吸收浮体和相关转换设备安装在半潜船上，该半潜船一体多用，装置投放、回收和维修时为拖行载体和维修平台，工作时船体下潜到设定深度成为稳定装置的水下浮体。波浪能发电装置投放采用半潜驳为主、浮吊为辅的方式，快速投放和回收波能装置。环境条件满足以波高（ H_s ）： $<1.5\text{m}$ ，风速 $<10\text{m/s}$ ，流速 $<1\text{knots}$ 。

主要施工工序如图 2.4-2 所示。



图 2.4-2 施工工序图

详细操作步骤如下：

- (1) 重任 1501 定位在 WEC 设计位置。(H14111-WEC-OI-DW-009)
- (2) 德惠轮拖 WEC 至作业区域。
- (3) 将 WEC 停靠在驳船一侧，靠近船尾。德惠轮停靠在另一侧。
- (4) 用系泊缆绳将 WEC 与驳船绑定。
- (5) 放出小船或用绳索系住回收缆绳（长 50m，如图 2.4-3），拉回 WEC，穿过导览孔将回收缆绳与 WEC 下甲板上的系缆桩连接。一个接一个重复操作(注意：驳船定位锚链可能与回收缆绳发生干涉，回收缆绳应从定位锚链下放穿过)。缆绳环长度需大于导览孔与系缆桩之间距离，破断力>40t。(H14111-WEC-OI-DW-010)

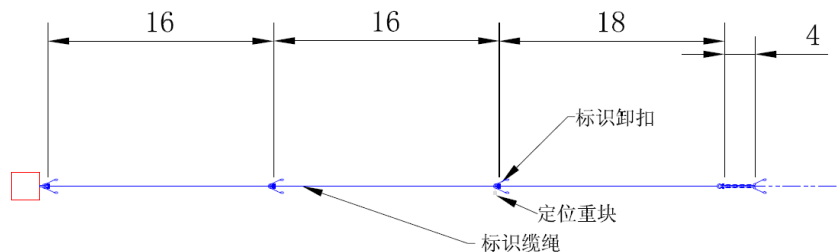


图 2.4-3 回收缆绳工艺示意图

- (6) 用驳船甲板上的起重机向上提升回收缆绳 16m，将缆绳环挂在 WEC 下

甲板的系缆桩上，如图 2.4-4。按照下面次序依次进行提拉：

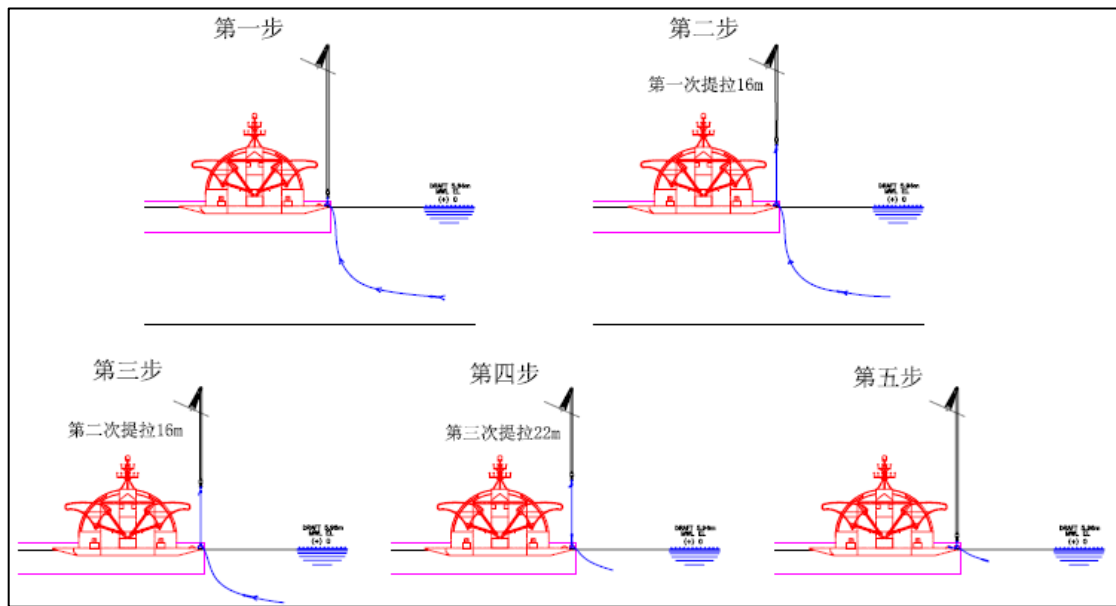


图 2.4-4 缆绳提挂工艺示意图

(7) 按照次序要求分别提拉三根回收缆绳 16m，并将缆绳环挂在 WEC 下甲板的系缆桩上。

(8) 提拉回收缆绳 22m，并将与锚链相连的缆绳环挂在 WEC 下甲板的系缆桩上。

(9) 锚链末端与 WEC 甲板上的板眼用卸扣连接。

(10) 向上提拉缆绳环直至锚链张力由起重机吊索承担，解除系缆桩上的缆绳环，下放起重机吊索，并解除连接。

按次序要求重复执行 (8) - (10) 步。

发电装置现场照片见图 2.4-5。



图 2.4-5 本项目波浪能发电试验装置

2.4.3.3 锚泊系统施工

由于项目实施海域水深只有 28m，因此锚泊系统的施工方案比较简单，采用 100t 的浮吊先将锚投放到指定位置，然后从运输船舶上逐步将锚链、分布式重块、弹性索和浮筒投入海中，最后将普通锚链连接到装置，便完成锚泊系统施工；再将波浪能装置直接拖拽到锚泊系统附近，连接好，将海底电缆预先安装完毕，将接口用浮子浮于海面。

在系泊系统安装操作前，有必要等待窗口期，在作业区域天气预报预测至少有 3 天的好天气。环境条件可以满足以下要求：

有义波高（Hs）： <1.5m

风速： 10m/s

流速： 1knots

锚和锚链的安装主要步骤如下：

- (1) 码头装船。
- (2) 浮式发电装置在广州港与重任 1501 绑定。（H14111-WEC-OI-DW-001）
- (3) 德惠轮拖重任 1501 及发电装置至作业海域。（H14111-WEC-OI-DW-

002)

(4)浮式发电装置与重任 1501 解脱，德惠轮拖浮式发电装置至大万山岛码头停靠。(H14111-WEC-OI-DW-003)

(5)起锚艇配合驳船抛锚定位。DGPS 放置于船尾中心，利用 DGPS 将驳船抛锚点精确定位在锚点安装位置(H14111-WEC-OI-DW-004)。由于拖曳锚估计拖曳长度为 7-9m，重新设置锚点位置。

(6)安装准备工作。确保锚和锚链的连接、锚链与其附件的连接，确保锚链没有扭转，履带起重机就位，履带起重机通过临时钢丝绳与拖曳锚连接，顶部锚链与驳船甲板首部系缆桩相连(缆绳长度略小于甲板长度，保证锚链不会落入水中)。

(7)履带起重机 SCC1800 通过临时钢丝绳及锚链下放拖曳锚至海底，潜水员潜水，解除临时钢丝绳液压卸扣。(H14111-WEC-OI-DW-005)

注：如果由于甲板与重块之间的摩擦力导致锚不能下放至海底，可用 SCC1000 协助将重块锚链向船尾方向拖拽，使锚下放至海底。



图 2.4-6 锚链示意图

(8)履带起重机 SCC1800 起吊重块锚链，履带起重机 SCC1000 起吊系泊浮筒。浮筒起吊高度略高于重块起吊高度，并保证高弹性索与驳船甲板没有接触。驳船沿系泊链铺设方向直线移动。起重机与驳船沿相反方向同步移动。

注意：初始张力应较小，以免使得拖曳锚产生提升力。

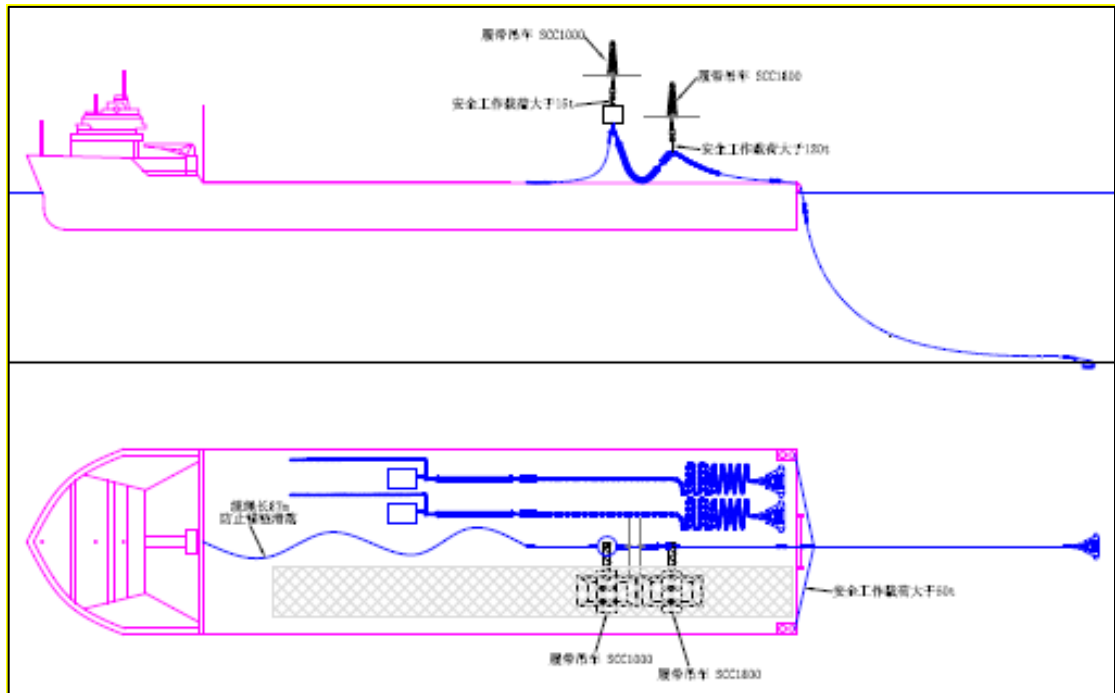


图 2.4-7 投浮筒、弹性索和重块

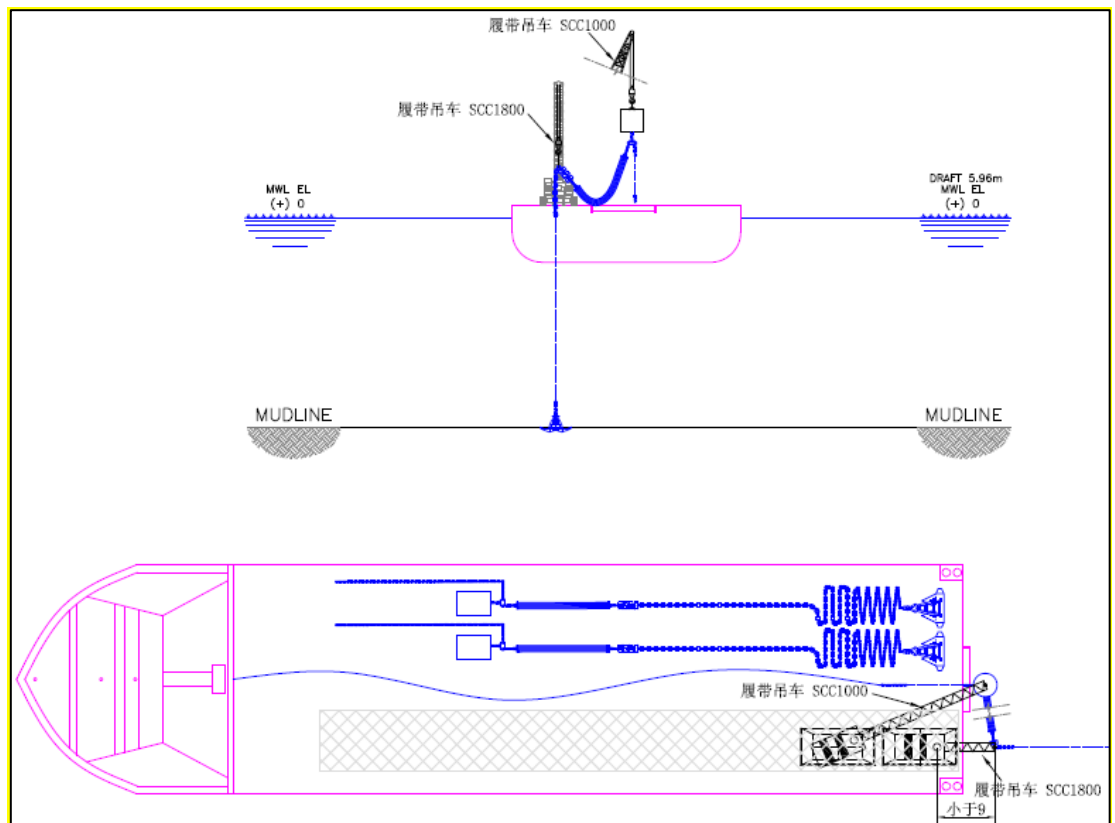


图 2.4-8 浮筒、弹性索和重块入海施工图

(9)当驳船远离锚泊点 40m 时，停止移动并进行锚链预拉，预拉力为 10t。
(H14111-WEC-OI-DW-006)。预拉前，将驳船尾部两侧系缆桩与锚链用缆绳进行连接，缆绳提供拉力。10t 预拉力由驳船定位锚链绞盘提供。如果绞盘不能提供 10t 拉力，可由拖轮在前方拖拽驳船，并放松尾部定位锚。如果锚泊系统通过预拉测试，继续向前铺设锚链。如果没通过，须将整个铺设失败的系泊链及拖曳锚重新回收，然后按照前面要求重新铺设锚及锚链。

(10) 预拉实验结束后，解除缆绳连接。

(11) 继续向前铺设锚链，直至甲板上重块锚链全部悬在空中。

(12) 旋转履带起重机使浮筒、弹性索、重块锚链全部伸出甲板尾部边缘。
SCC1800 作业半径必须小于 9m。

(13) 通过定位锚调整驳船，使得重块上的吊点与海底锚链共线（驳船向右舷方向移动约 7m）。

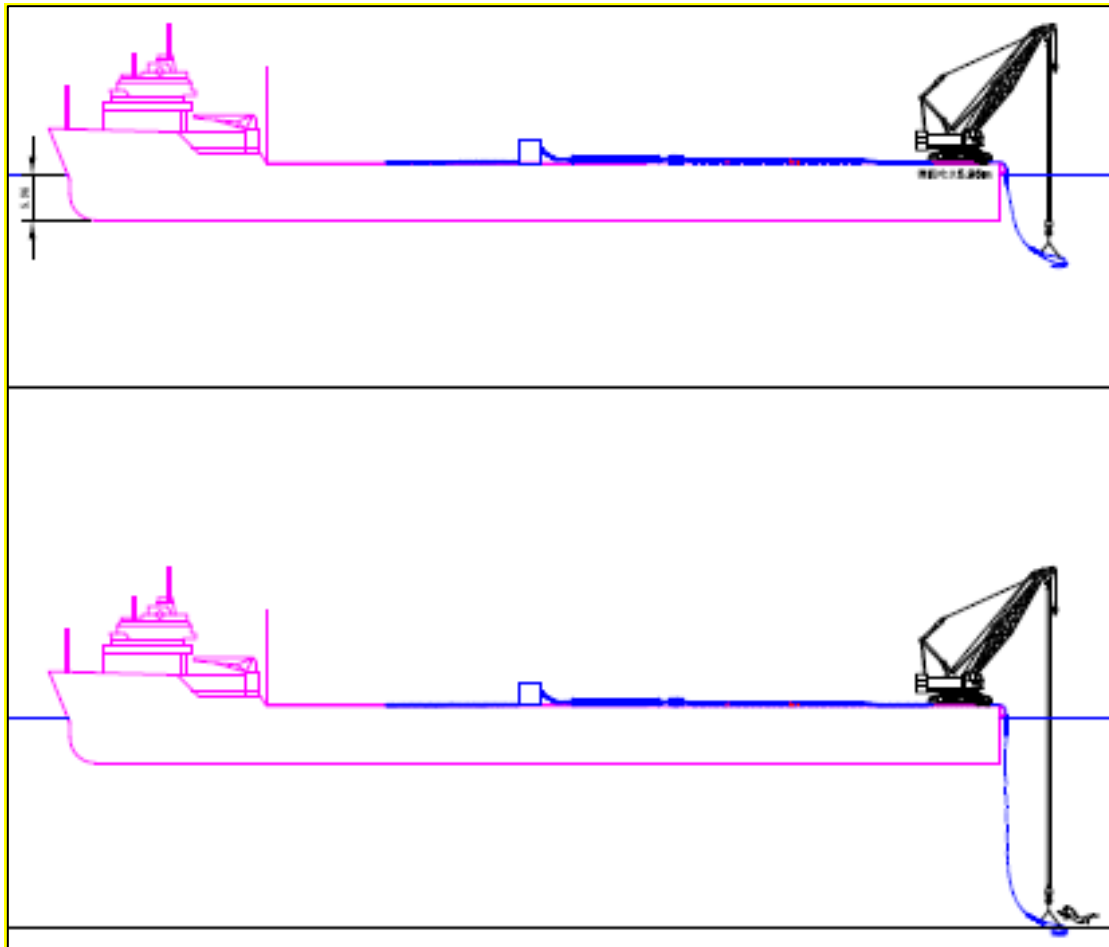


图 2.4-9 锚投放侧视图

(14) 两个吊机同时下放吊钩，同时向前移动驳船铺设锚链。(H14111-WEC-OI-DW-007)

(15) 当全部重块铺设完毕，潜水员下水，先解除海底重块吊钩，再解除浮筒吊钩。

(16) 起锚艇回收定位锚，将系泊系统系统顶部锚链移交德惠轮进行拉力试验，目的是使拖曳锚牢牢抓住海底。驳船在空白海域抛锚。

(17) 拉力试验：德惠轮安装一个 1300KN 测力仪，锚链与测力仪连接。拉力试验时，拖轮预拉张力为 777KN(No.3)及 1110KN(No.1/No.2)，误差±10%；预拉张力保持时间 30min。记录试验数据，最后逐步减少拖力，结束预拉试验。

(18) 预拉试验结束后，将锚链放入海底，并用回收缆绳（50m）及标识浮筒标记。(H14111-WEC-OI-DW-008)

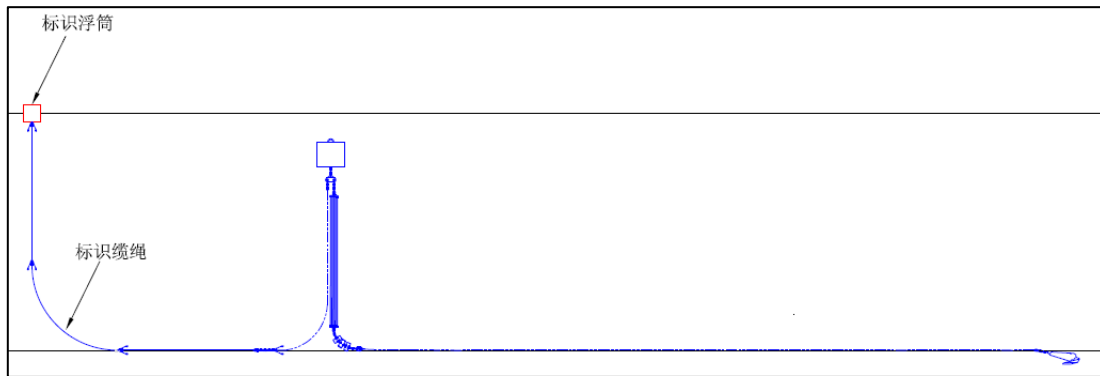


图 2.4-10 投放完毕，设立标识浮标

(19) 重任 1501 重新抛锚定位安装其他系泊线，重复步骤 (5) - (18)。

注：整个安装过程不允许有扭转产生。

由系泊分析计算结果可知，系泊线#1、系泊线#2 最大受力为 282.1t，因此所选择拖曳锚最大抓力应大于 $289.5 \times 1.5 = 434t$ 。系泊线#3 最大受力为 162t，因此所选择拖曳锚最大抓力应大于 $162 \times 1.5 = 243t$ 。根据已有的土壤数据：软土层深度 8~12m，其下是硬土层，再下是岩石。经验判断表层土壤为中间硬度土层 (medium clay)。因此系泊线#1、系泊线#2 可选择由 Vryhof 公司生产的重量为 9t 的 Stevpris Mk5 型拖曳锚。系泊线#3 可选择由 Vryhof 公司生产的重量为 5t 的 Stevpris Mk5 型拖曳锚。

锚投放完成后，要开展预拉试验。拖轮预拉张力为 777KN(No.3)及 1110KN(No.1/No.2)，误差±10%；预拉张力保持时间 30min。确至保锚锭沉降至海床中，沉降幅度约为 1m。拉力试验的预拉张力已经接近锚锭所受到最大受力的 50%，只有在极端海况下锚锭受力才会超过预拉张力。锚锭每移动 1 次，其抓将快速快速增长，越来越难于移动，直到完全不动因此，可以判断锚锭是基本不动的，稳定的。

2.4.3.4 海底电缆施工

(1) 安装前准备。将电缆所有需施加附件的位置做相应标记。将与基座相连的防弯器 A 穿入电缆，至相应标记位置，并与电缆一起缠绕在电缆卷筒上。

(2) 重任 1501 定位在电缆基座设计位置附近。(H14111-WEC-OI-DW-011)

(3) 将要施放的电缆卷筒放置于距尾部 8m 处。电缆端部穿过与 WEC 相连接的防弯器 B，用小船 A 沿驳船尾方向牵引电缆头。防弯器 B 挂漂浮浮筒。

(H14111-WEC-OI-DW-012)

(4) 小船 A 向前牵引电缆过程中同时在相应标记处安装电缆重块及浮筒。并在重块上系漂浮浮筒。

(5) 当电缆卷筒上的防弯器 A 将要脱离卷筒时，停止下放电缆。用履带吊 SCC1000 将电缆基座起吊至卷筒与驳船尾部之间，解除吊钩。

(6) 用履带吊 SCC1800 起吊防弯器 A 前面的电缆，吊点距离防弯器 A 顶端 5m 左右，并在吊点处采取电缆保护措施。吊高 1-2m，起吊同时使防弯器 A 与海底基座对接、组装。

注：防弯器与基座组装过程中需要吊车与人工实时观测电缆线型，防止电缆过度弯曲，弯曲半径大于需 0.5m。

(7) 用 SCC1000 将基座起吊至安装设计位置上方，吊装过程两个吊钩保持同步，并保证基座的方向。同步下放两个吊钩，当 SCC1800 吊钩下放至水面时，解脱吊钩。继续下放 SCC1000 吊钩直至基座置于海底，潜水员解除吊钩。

(8) 将另一艘小船 B 开至驳船船尾，将电缆卷筒转移至小船甲板，由小船向岸边进行海底电缆铺设(小船 B 尾部可加装一个半径大于 0.5m 的转盘作为电缆下放时的保护)。(H14111-WEC-OI-DW-012)

(9) 将驳船尾部靠近 WEC 一侧的定位锚收回。

(10) 小船 A 牵引电缆头至 WEC，将电缆牵引线从电缆孔穿过，向上提拉电缆直至防弯器 B 与电缆孔接触。解除防弯器 B 上的漂浮浮筒，将防弯器 B 与电缆孔处的法兰盘连接。(H14111-WEC-OI-DW-014)

(11) 解除重块上的漂浮浮筒。

(12) 重复步骤 (2) - (11) 完成所有 WEC 的电缆安装。

海底电缆埋设深度为 2m，冲沟宽度为 0.4m，施工工艺见图 2.4-11，施工机械见表 2.4-1。

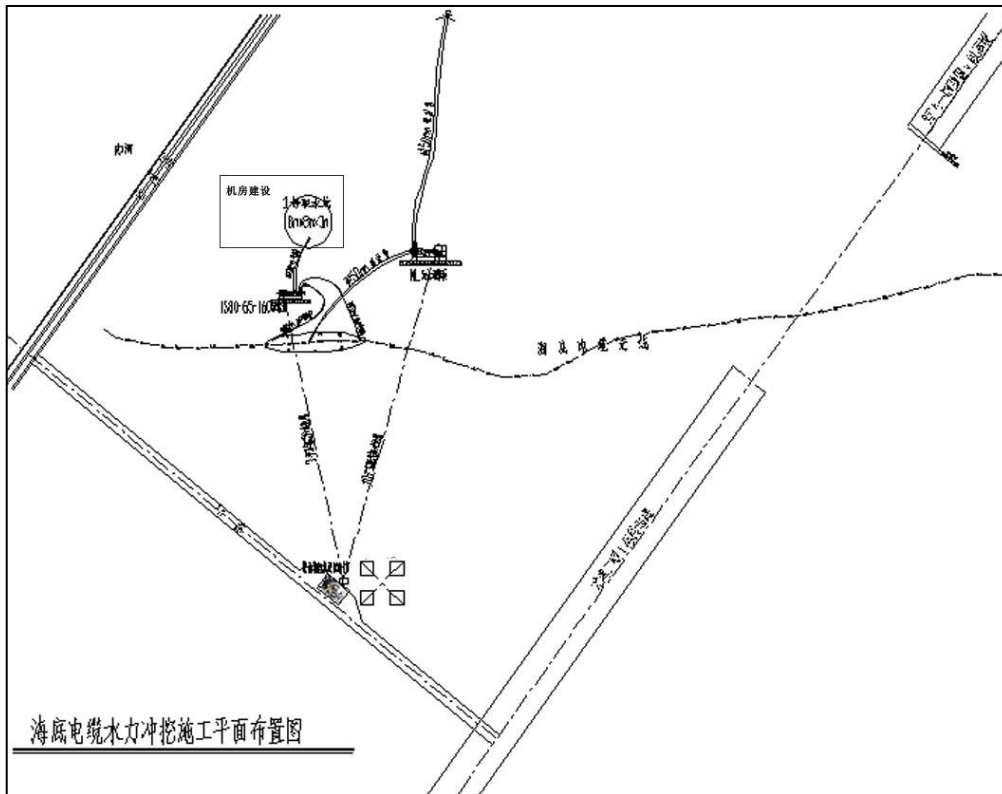


图 2.4-11 海底电缆埋设施工示意图

表 2.4-1 施工机械一览表

序号	设备名称	主要性能	数量	备注
1	电缆驳一	载重 1500t	1	施工船
2	水力埋设机	埋深 2m	1	附监测、控制系统
3	潜水装备	0—50m	3	
4	移动绞车	10t	2	电动、无级变速
5	卷扬机	5t	5	电动、慢速
6	卷扬机	1t	4	电动、快速
7	机动水泵	24HP 压力	2	
8	潜水泵	H=15m Q=25m ³	2	
9	桅杆式起重机	起重量 80t	1	
10	气割设备		2	
11	发电机	120KW	1	
12	发电机	40KW	1	
13	电焊机	500A	1	交流

14	电焊机	500A	1	直流
15	流速仪		1	
16	风速仪		1	
17	定位系统		1	
18	激光经纬仪	30m—5Km	1	附测距仪
19	回声测探仪	0—60m	1	便携式
20	单边带通讯机	15W	2	
21	甚高频电话	25W	4	
22	手持对讲机	3W	8	
23	数据采集仪		1	
24	微机	笔记本	2	带打印机

2.4.3.5 登陆段电缆施工

登陆段位置选择在通过现场勘查万山岛南侧和西侧岸线地形后，结合拟选陆上升压站位置，经比选，登陆点定于岛屿西南侧凹口处，此处基岩、块石段（海底电缆登陆接驳段）宽约 50m。登陆段较陡处采用穿管敷设，固定铜管时，先搭设脚手架，用冲击钻在岩石上打眼，将两排螺纹钢钎钉入，然后找准平面，将槽钢焊接在钢钎上，用包箍将钢管在槽钢上固定好。穿管敷设不宜太多，否则会造成对整条电缆的支撑点太少，电缆的某些部位受力太大，容易对电缆造成损伤。登陆段较平坦处采用电缆沟敷设，将沟道开凿好后，每隔 3m 埋设一根槽钢，槽钢两端嵌入沟道两侧，再涂抹水泥，使槽钢镶嵌在岩石中，然后在槽钢的下沿两端钉入小钢钎，对槽钢起到更好的支撑作用。在已敷设固定好的电缆上面铺盖 100mm 的细沙，坡度较缓处，盖水泥预制板，坡度较陡处，不能盖水泥预制板，用水泥沙浆混凝土 5mm 厚的砂浆层，使沟道与岩石体形成整体，局部大块岩石段可采用液压锤配合反铲挖掘机开凿。登陆点位置及其与机房位置关系见图 2.4-12。



图 2.4-12 海底电缆登陆点及与机房位置关系示意图

在登陆点到海缆与陆缆接驳站的沙滩上开挖一条宽 1m，深 2m 的电缆沟。无法开挖的区域，采用覆盖石笼或者抛石保护等方式。海缆登陆段施工选择在大潮低谷时进行，海缆通过牵引设备敷设到位后，在电缆沟里的海缆和电缆沟向海里延伸的海缆 50m，加装球墨铸铁套管，最后电缆沟回填沙石，登陆段海缆才算敷设完毕。

经现场查证，陆缆接驳站一端需经过一段岩石，可以采用镀锌钢管保护，钢管通过爆炸螺丝深钻和焊接，并加盖混泥土堆等，一直敷设到灌木层，然后改用混泥土电缆沟敷设到岸基机房。各分段施工方案如下：

①陡坡处敷设

在沟道两旁钉入钢钎，在钢钎上绑好安全绳，敷设电缆时，为了防止电缆下滑太快，在坡度较陡处绑上绳子，使电缆被工作人员牵制着平稳下移。

沟道开凿好后，每隔 3m 埋设一根槽钢，槽钢两端嵌入沟道两侧，再涂抹水泥，使槽钢镶嵌在岩石中，然后在槽钢的下沿两端钉入小钢钎。电缆敷设到位后，将电缆用包箍紧紧固定在槽钢上，使电缆不再下滑的趋势。

②悬崖处敷设电缆

电缆经过悬崖时，为防止山体岩石的滑坡、塌方，而砸伤电缆，要求电缆必须穿管敷设。固定铜管时，先搭设脚手架，用冲击钻在岩石上打眼，将两排螺纹钢钎钉入，然后找准平面，将槽钢焊接在钢钎上，用包箍将钢管在槽钢上固定好。

穿管敷设不宜太多，否则会造成对整条电缆的支撑点太少，电缆的某些部位受力太大，容易对电缆造成损伤。

③沟道回填

在已敷设固定好的电缆上面铺盖 100mm 的细沙，坡度较缓处，盖水泥预制板，坡度较陡处，不能盖水泥预制板，用水泥沙浆混凝土 5mm 厚的砂浆层，使沟道与岩石体形成个整体。回填土时，由于坡陡沙土容易滑落，每隔 5m 在沟道上砌一道挡土墙，阻止沙土的滑落。由于回填物大多为由砂石组成，在回填物中撒拌些干水泥，然后回填，夯实后，随雨水的渗入，水泥与回填物反应生成坚固的整体，最后在表面再回填 20cm 的细砂，有效的防止水土流失。

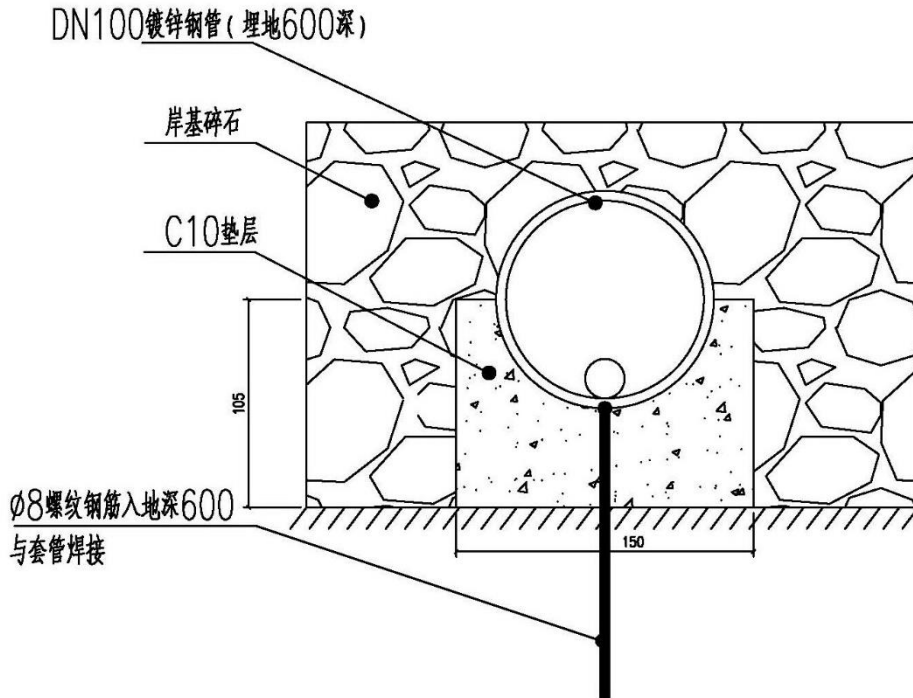


图 2.4-13 电缆登陆段沟槽断面示意图

2.4.3.6 拆除施工

本项目设计生产期为 25 年。生产期结束后，波浪发电装置退役后拟进行拆除，拆除范围包括但不限于波浪发电机组、电缆、10kV 升压变电站以及其他相关设施、器材、配件及设备。拆除工程的环境影响应在施工前另行编制环境影响报告书。

2.4.4 土石方平衡

项目土石方平衡见表 2.4-2，多余挖方用于升压站、测试站外围土地平整。

表 2.4-2 土石方平衡表

序号	项目	土方量 (m ³)	
		填方	挖方
1	场地平整	300	600
2	室内地坪填土和房屋及建筑物基础	1000	2000
3	土方损益	300	
4	合计	1600	2600

2.4.5 施工进度计划

本工程进度节点主要为样机制造、投放、电缆敷设，总工期为 12 个月，其中单个泊位海上作业时间 5 天，考虑天气因素，海上部分施工期为 2 个月。

3 工程分析

3.1 生产工艺过程分析

3.1.1 施工期

3.1.1.1 施工工序与产污分析

施工工序和产污环节见图 3.1-1。

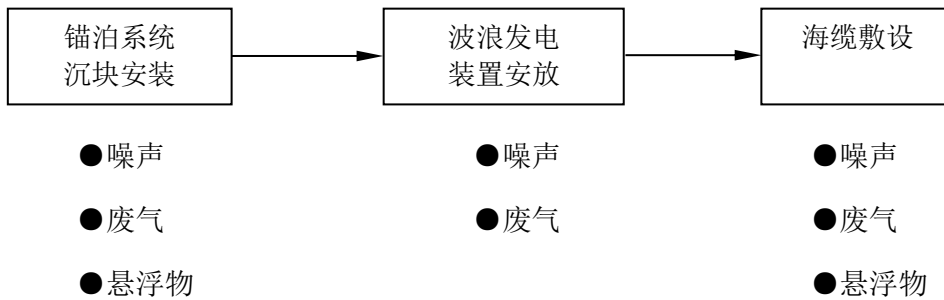


图 3.1 1 波浪能发电装置主要施工工序及产污环节

3.1.1.2 升压站施工

10kV 升压站施工工序和产污环节见图 3.1-2。

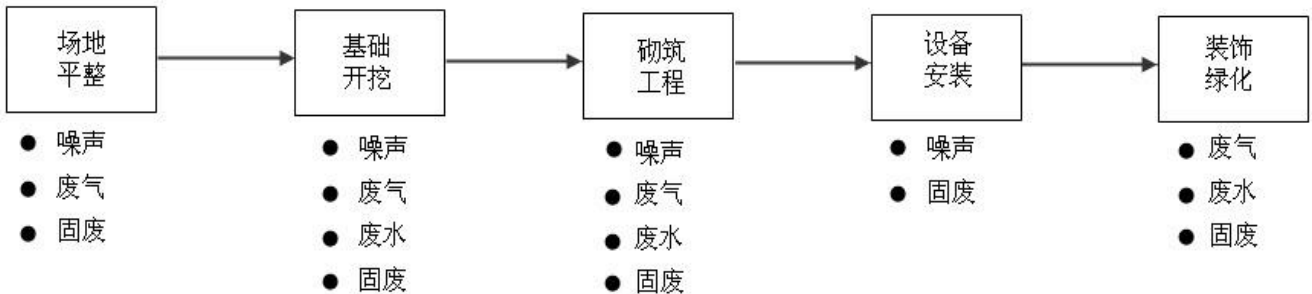


图 3.1-2 升压站主要施工工序及产污环节

3.1.2 运行期

运行工序和产污环节见图 3.1-3。

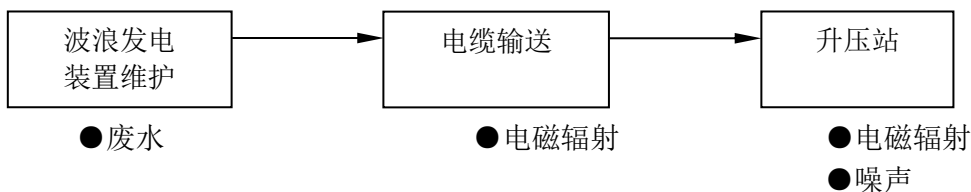


图 3.1-3 主要运行工序及产污环节

3.2 工程各阶段环境影响分析

3.2.1 施工期环境影响分析

3.2.1.1 对海域水质和沉积物影响

(1) 锚泊沉块下放

波浪能装置的锚泊系统中，沉块与锚的下放过程对海床面的影响产生的悬浮物，类似于抛石挤淤过程。

施工挤淤形成的悬浮物源强可按下式计算：

$$S_i = (1 - \theta_i) \cdot \rho_i \cdot \alpha_i \cdot P$$

S_i ——抛石挤淤的悬浮物源强（kg/次）；

θ_i ——淤泥天然含水率（取 65%）

ρ_i ——淤泥中悬浮物颗粒所占百分率（取 38.3%）；

α_i ——淤泥中颗粒物湿密度（kg/m³，取 1580）；

P ——单位时间挤淤量（m³/次）

锚泊基础采用预制混凝土沉块，沉块体积为1.3m³，抛石挤淤的悬浮物源强约275kg/次，为间歇瞬时源。

(2) 海底电缆敷设

电缆埋设采用射水式埋设犁，埋设深度按2.0m计，开沟宽度按0.4m计，则扰动截面面积为0.8m²，沉积物密度取1580kg/m³，起砂率5%，埋设速度为0.56m/s，则电缆埋设作业悬浮物产生速率为35.4kg/s。

(3) 施工污废水

① 船舶污废水

沉块下放、波浪发电装置和海缆敷设都需动用海上施工船舶进行作业，施工过程中各类施工船舶将产生一定的船舶污废水、船上人员生活污水及船舶油污水，若随意排放将对海水水质和生态环境产生一定的影响。

根据《港口工程环境保护设计规范》（JTS149-1-2007）船舶舱底油污水水量表，计算船舶油污水产生量见表 3.2-1，船舶油污水的含油浓度为2000mg/L~3000mg/L 不等，按平均值计算，根据施工组织计划，本工程施工期使用船舶共计 4 艘，船舶情况见表 3.2-1。本工程施工船舶油污水产生量为 1.4t/d，

产生总量为 84t，油类污染物产生量为 3.5kg/d，产生总量为 210kg。

表 3.2-1 船舶一览表

序号	部位	设备类型	单位	数量	生产能力/型号
1	锚泊系统施工	运载船	艘	1	2000t
2	波浪发电装置 安装	半潜驳	艘	1	
3		拖轮	艘	1	600 匹
4	海缆敷设	电缆驳	艘	1	1500t

表 3.2-2 船舶油污水产生量

船舶吨级 (t)	船舶数量 (艘)	舱底油污水产生量 (t/d·艘)	油污水产生总量 (t/d)
500	4	0.14	0.56
500~1000	4	0.21	0.84
合计			1.4

1980 年起，交通部所属单在港船舶进行三废回收，并在船上设含油污水分离装置，废水经处理后含油量小于 10ppm，航行船舶由回收船回收。无力处理船舶含油污水、生活污水的施工船舶，其污水也可通过回收船交海事部门指定的处置单位接收并处理，在落实上述措施后，船舶油污水对海域环境影响有限。

此外，施工期船舶作业人员生活污水产生量按海上作业人员 80 人，人均生活污水排放量 85L/人·d 计，则船舶作业人员生活污水排放量为 6.8m³/d，排放总量为 408m³，生活污水主要污染物浓度见表 3.2-3，则 COD_{cr}、BOD₅、和 SS 的排放量分别为 2.0kg/d、1.0kg/d 和 1.0kg/d，排放总量分别为 120kg、60kg 和 60kg。

表 3.2-3 生活污水主要污染物浓度

污染物名称	SS	COD _{cr}	BOD ₅	氨氮	动植物油
排放浓度 (mg/L)	150	300	150	25	30

②陆上施工废水

陆上施工废水主要包括各类机械维护冲洗废水、混凝土拌合废水等，主要集中在升压站施工基地。根据混凝土浇筑工程量计算，同时考虑施工机械、场地冲洗及其它不确定因素的影响，取变化系数 1.5，则升压站施工基地施工废水产生量约为 5m³/d。施工废水多偏碱性，主要含有悬浮物、石油类等污染物。参考有关资料，施工废水的 pH 值在 10 左右，SS 约 1000~6000mg/L，石油类约 15mg/L。

本项目施工高峰期陆上施工人数约 50 人，产生的生活污水为 5m³/d，生活污水主要污染物浓度见表 3.2-4。施工工作人员生活污水若不加收集处理直接排放

则可能对受纳水体环境造成不利影响。

表 3.2-4 陆上施工人员生活污水主要污染物排放量

污染物名称	SS	COD _{Cr}	BOD ₅	氨氮	动植物油
排放量 (kg/d)	0.75	1.5	0.75	0.125	0.15

升压站施工基地尚不具备纳管条件，考虑上述作业区施工作业量相对较小，施工废水产生量较小，因此应结合施工场地布置设置一个污废水收集和处理系统，处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》后回用于场地洒水降尘等。

3.2.1.2 对海洋生态和渔业资源影响

本工程施工期对海洋生态和渔业的影响主要体现在锚泊系统沉块安装和海底电缆敷设对底栖生物生境的影响和施工悬浮物对浮游生物和渔业资源的影响两个方面。

锚泊系统的沉块及锚系、海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖及潮间带生境造成直接破坏，进而引起底栖生物和潮间带生物量的损失。

综合考虑波浪能锚泊系统安装过程中，沉块与锚下放至海床面产生的悬浮物再沉降，本工程使用的沉块共两种，分别是 2t 和 8.5t 两种，结构见图 3.2-1 和 3.2-2。单个波浪能装置的沉块总占用海面积 77.39m²，见表 3.2-5，本工程共 9 台波浪能装置，工程合计造成底栖生物生境压占面积为 696.51m²。锚链设计按每年 0.8mm 的侵蚀，作用 20 年后，仍然可以满足使用要求。

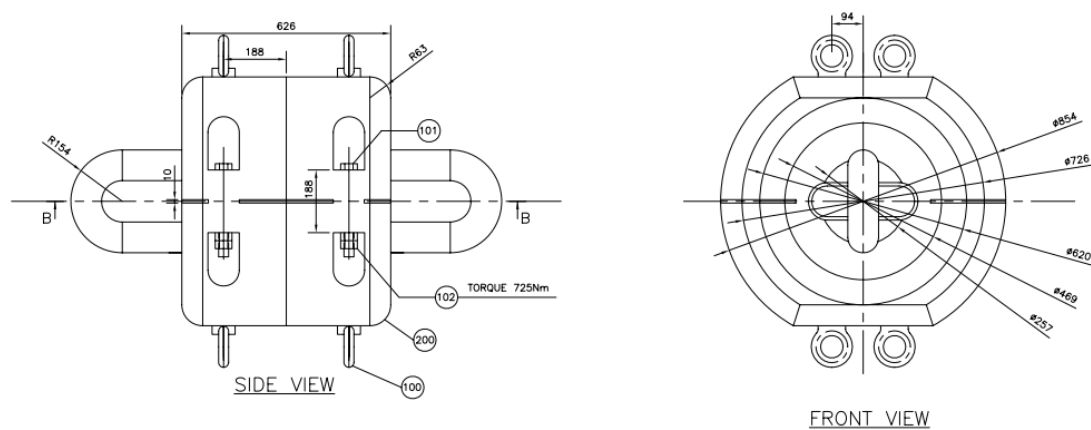


图 3.2-1 2T 分布式重块结构示意图

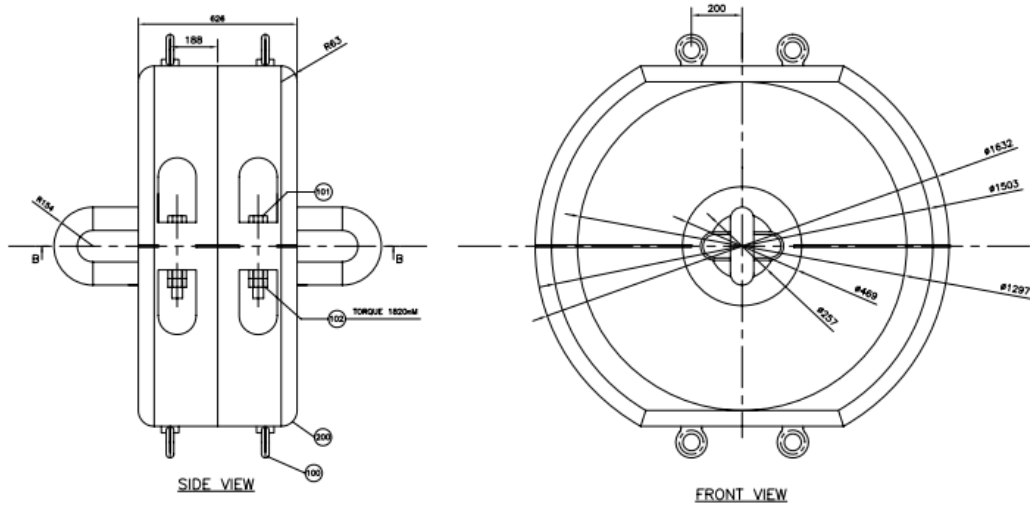


图 3.2-2 8.5T 分布式重块结构示意图

表 3.2-5 单台发电装置系泊系统沉块占用海域面积

	圆直径	厚度	投影面积	Line#1	Line#2	Line#3
2T沉块	854mm	626mm	0.5346 m ²	27个	27个	16个
8.5T沉块	1632mm	626mm	1.0216m ²	4个	4个	3个
占用海面积				29.72 m ²	29.72m ²	17.95 m ²
总占用海面积				77.39 m ²		

本工程海底电缆总长约 4791m。潮下带底质为泥，电缆采用埋设的方式，考虑潮下带单根电缆开挖过程中的悬浮物再沉降的边际效应，单根电缆开挖埋设的底栖生境破坏范围约为 5m，则海缆施工造成的底栖生境破坏面积约 23955m²。

本工程登陆段海缆需在潮间带区域开沟埋设，沟宽为 1m，考虑到施工过程中的不利影响，施工对潮间带生物生境的扰动宽度以 3m 计，长度为 100m，则本工程对潮间带生物生境的扰动面积约为 300m²。

本工程造成的底栖生境破坏面积汇总见表 3.2-6，施工期在该范围内的底栖将受到损害。

表 3.2-6 工程施工底栖生境影响范围

项目	影响面积 (m ²)
锚系压占底栖生物生境	696.51
海缆敷设破坏底栖生物生境	23955
登陆段潮间带生物生境	300
合计	24952

(2) 悬浮泥沙扩散影响

本工程海缆采用开沟直埋方式敷设，埋设深度为 2.0m。开沟埋设施工会使海底泥沙再悬浮，造成海缆路由沿线较大范围海域的含沙量暂时上升，进而降低海洋中浮游植物生产力，对海洋生态系统带来影响；同时悬浮泥沙的扩散影响会对鱼卵、仔稚鱼的生境产生影响，进而对鱼卵仔鱼资源量造成影响。

(3) 海域临时占用影响

施工期间，为保证施工作业及渔业生产船舶的安全将禁止渔船进入施工海域捕捞生产，由此导致作业渔场范围减少，同时受施工扰动影响，施工附近海域渔获率将有所降低，从而影响工程及周围海域捕捞产量。

3.2.1.3 对岛屿生态环境影响

工程陆上部分主要为升压站和输电电缆，施工期间，由于人类活动、交通运输工具、施工机械的机械运动产生的噪声、灯光等可能对万山岛的陆生植被及鸟类和其他陆生动物的栖息、觅食产生一定影响，使施工区域及周边区域植被等生物量损失。万山岛用地面积合计 600m²，将会对该区域的陆生植产生影响。施工结束后，可以通过补植、扩种人工林或乡土小乔木树种降低陆生植物损失。

3.2.1.4 固体废弃物影响

本工程位于岛上，陆上用地面积较小，仅为 600m²，土石方开挖量较小，多余土石方可用于场地平整，无弃方产生。

施工期间陆上施工人员的生活垃圾产生量约 0.05t/d，船舶作业人员生活垃圾产生量按平均每人每天产生 0.5kg 计算，产生量为 0.025t/d，则施工期施工人员生活垃圾总产生量为 0.075t/d。船舶生活垃圾靠岸后定点集中收集，陆上施工人员生活垃圾在施工区集中收集，收集后均由环卫部门定时清运。但若处置不当，会对工程区域的土壤和水环境造成污染，并影响环境卫生。

3.2.1.5 对环境空气影响

本工程施工期大气污染源主要为各类施工车辆、机械设备及施工供电柴油发电机等，各类机械设备均以柴油或汽油为燃料。施工机械和车辆运行会产生一定量废气，主要污染物质包括 NO_x、CO、SO₂ 等。

陆上升压站施工期间土方开挖、回填以及土方、物料装卸、堆放、运输等将

产生少量扬尘。此外在土方、物料运输过程中，由于沿路散落、风吹起尘及运输车辆车身轮胎携带的泥土风干后将对场区内和公路上产生扬尘，污染环境。

此外在海域施工区，施工船舶和机械在运行中也会排放一定量的废气，影响海上大气环境质量。

3.2.1.6 对区域海底管线影响

本工程波浪发电装置、锚固系统和海底电缆路由所在海域无海底管线，因此施工过程中施工船舶不会对周围海底缆线造成损坏影响。

3.2.1.7 对通航环境的影响

万山岛位于珠江口外侧水域，距北侧航道、水道分布密集的区域较远，本工程主体工程位于万山群岛旅游休闲娱乐区和万山群岛保留区，工程海域附近无航道分布，且本工程工程量较小，施工船舶数量较少，因此施工期对海域航运影响轻微。

3.2.2 运行期环境影响分析

波浪能发电的工艺流程是利用自然波浪能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程。在生产过程中不消耗燃料，不产生污染物。运行期间对环境的影响主要表现为以下几个方面：

3.2.2.1 对海域水文动力影响

本工程建成后，锚泊系统中的沉块和锚在一定程度上改变了局部海底地形，因此可能对工程海域附近潮流场尤其是沉块周围的流场产生一定影响，表现为海域局部流速、流向的变化。

3.2.2.2 对区域海域地形地貌与冲淤影响

本工程共需新建 9 套锚泊系统，在区域海域内呈斑点状分布，相互之间间距较大。由于底流在沉块周围产生涡流，将海底泥沙搅动悬浮带走，因此将在一定程度上改变局部海床自然性状，使该区域的冲淤情况发生一定改变。

3.2.2.3 对区域海域水质影响

(1) 油类污染物

项目运行无生产污水排放，但波浪能发电设备日常运行需定期使用润滑油机油等，运行期波浪能装置废弃油类污染物约 $9\text{m}^3/\text{a}$ ，部分油类属 WHC1 级，若处置不当可能造成的水质污染。

(2) 生产废水

升压站正常运行时不产生生产废水，当电气设备发生突发事故或检修时可能会有少量的漏油和油污水。以上污废水的主要污染物均为石油类。油污水产生量少，约 $10\text{kg}/\text{a}$ ，收集后带至珠海市送交具有相应资质单位处置。

(3) 生活污水

万山岛上无居民住宅，只有岛上军事区有生活污水处理设施。万山岛升压站采用无人值守方式运行，因此运行期无工作人员生活污水产生，不会对周围环境造成不利影响。

3.2.2.4 对海洋生态和渔业资源影响

本工程运行期对海洋生态和渔业的影响主要来自于以下两方面。

(1) 锚泊系统占压影响

根据锚泊系统结构方案，本工程波浪发电装置采用 3 点\4 点锚固结构，单台发电机装置压站底栖生境面积约 77.39m^2 ，本工程共 9 台波浪能装置，工程合计造成底栖生物生境压占面积为 696.51m^2 。在工程占海部分范围内的原有泥质型的底栖生物类群不可恢复。

(2) 对渔业生产的影响

本工程建成运行后，为保护海底电缆和波浪能装置的安全运行，该海域禁止底拖网、抛锚，同时由于锚固系统的分隔造成渔业捕捞面积缩小，在一定程度上降低了渔业捕捞量，从而引起经济收入下降，对渔民的生活产生一定影响。同时，由于波浪能发电装置的存在，特别是在迷雾天气，渔船与波浪能发电装置相撞的概率大大增加，对渔船和工程自身都存在一定的安全隐患。

3.2.2.5 对声环境影响

本工程运行期对声环境的影响主要来自于变压器。常规 110kV 变电站厂界外 1m 处的噪声值应小于 50dB，本工程电压等级仅为 10kV，且升压站周围没有居民点和其他声环境敏感目标，因此升压站对周围声环境不会产生明显影响。

波浪能发电装置主要依靠液压装置推动发电机发电，基本无明显噪声产生，目前国内外尚未有水下噪声源强实测数据，但从其发电原理判断，其源强明显小于通航船舶水下噪声源强，声环境影响轻微。

3.2.2.6 电磁辐射的影响

根据常规 110kV 变电站的环境电磁辐射监测结果，工频电场强度波动范围为 1.22~1.25V/m，工频磁感应强度波动范围为 0.0150~0.985 μ T，远远低于《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T24-1998)中推荐的工频电场 4V/m 和磁感应强度 0.1mT 的评价标准。对于 10kV 变压器，其工频电、磁场强度则更小于 110kV 辐射强度。

本工程输电电缆埋设于海底 2m 以下处，输电线路沿线基本无电磁波射线的不利影响。

3.2.2.7 固体废弃物影响

(1) 生产固废

运行期波浪发电装置日常维护产生少量废旧蓄电池、废油、含油锯末或棉纱等根据陆上同类工程类比情况，维护产生的废物量约为 10kg/a。产生的危废均由具备资质的专业处置单位运至岸上处理。变电设备运行产生的废旧蓄电池由生产厂商负责回收。根据设备厂家提供的资料，本工程发电装置采用的液压油为全封闭循环，不会泄露，一次加注终身免维护，也无需补充润滑油，因此固废产生量较小。

(2) 生活垃圾

本工程固体废弃物主要为管理人员的生活垃圾，生活垃圾排放量为 0.5kg/d，若随意排放也会对周边环境造成一定的不利影响。

3.2.2.8 对通航环境的影响

本工程主体部分与万山岛距离较近，且工程海域无航道和习惯航路分布，因此运行期不会对周围海域通航环境产生明显不利影响。

3.3 工程各阶段环境影响因子

根据以上分析，项目施工期和运行期环境影响因素及影响因子列表 3.3-1 和表 3.3-2。

表 3.3-1 施工期环境影响评价因子一览表

环境要素	影响原因	影响性质	影响范围	评价因子	评价程度	
自然环境	海洋水质	施工悬浮物、施工污废水等排放影响工程海域环境	可逆，较小	波浪发电机组及海底电缆沿线周边海域	悬浮物、COD、石油类	-3
	沉积物环境	施工污水排放及废弃物丢弃	可逆，较小		废弃物及其他、大肠菌群、病原体和石油类	-2
	海洋生态	悬浮物浓度增加，破坏浮游动植物、及底栖生物生境	部分不可逆，较大		浮游植物、浮游动物、底栖生物、渔业资源	-3
	陆生植被	工程施工可能对陆域植被产生一些影响	部分不可逆，较小	升压站及海缆登陆段沿线	植被面积、生物量、生物多样性	-1
	空气环境	施工产生的扬尘、施工机械和施工车辆排放的尾气等	可逆，较小	陆上、海上工程施工区域	TSP、PM ₁₀ 、NO ₂ 、CO、SO ₂	-1
	声环境	施工机械和运输车辆运行时将产生噪声	可逆，较小	陆上、海上工程施工区域	Leq (A)	-1
社会环境	航运	海上施工影响航运交通	可逆，较小	海上施工海域及设备运输航线	通行船只数量，航行安全	-1
	渔业生产	渔业资源受施工影响损失、业生产面积减小	部分不可逆，较大	波浪发电机组及海底电缆沿线周边海域	渔业生产面积、捕捞生产	-2
	环境卫生	施工人员生活垃圾	可逆，较小	陆上、海上工程施工区域	-	-1
	人群健康	施工人员进驻	可逆，较小		-	-1

注：+有利影响；-不利影响；/无影响；

- 1: 表示环境要素所受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析与预测；
- 2: 表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行影响分析；
- 3: 环境要素所受影响程度为较大或较为敏感，进行重点评价。

表 3.3-2 运行期环境影响评价因子一览表

环境要素	影响原因	影响性质	影响范围	评价因子	评价程度	
自然环境	海洋水文动力	对区域海洋水文动力环境造成一定影响	不可逆，较小	波浪能机组周围局部海域	潮汐、潮流	-2
	海洋地形地貌与冲淤环境	改变区域海域的地形地貌和冲淤情况	不可逆，较小	波浪能机组周围局部海域	冲淤深度	-1
	海洋生态	锚泊系统压占底栖生物生境	部分不可逆，较小	锚泊系统沉块周围海域	底栖生物量	-1
	声环境	升压站运转产生噪声	较小	升压站周围区域	Leq (A)	-1
	电磁辐射环境	海缆输电及电器设备运行将产生电磁辐射	较小	升压站及输电线路沿线	电、磁场强度	-1
	海洋水质、海洋生态	船舶碰撞溢油风险	中等	珠江口海域	油类	-3
社会环境	社会经济	促进地区社会经济发展	较小	珠海市	可持续能源利用	+1
	航运	对航运交通影响	较小	珠海港航道、锚地	通航安全	-1
	渔业生产	影响渔业捕捞	中等	征用海域	渔业生产面积、捕捞生产	-3
	环境卫生	管理人员生活垃圾和生活污水	较小	升压站	-	-1

注：+有利影响；-不利影响；/无影响；

- 1：表示环境要素所受影响程度为较小或轻微，进行简要的影响分析与预测；
- 2：表示环境要素所受综合影响程度为中等，进行影响分析；
- 3：环境要素所受影响程度为较大或较为敏感，进行重点评价。

4 区域自然环境和社会环境概况

4.1 自然环境概况

4.1.1 地质地貌

4.1.1.1 地形地貌

大万山岛位于珠江口外最南端，岛长 3750m，宽 3500m，最窄 2450m，面积 8.066km²。岛上山势挺拔，地形起伏大，有 5 座山峰，大万顶主峰是万山岛最高的山峰，海拔 432.5m(1956 年黄海高程系)。整个岛地势中间高，四周低，山峰间有小块平地。岛上杂草丛生，野藤蔓延，多年植树造林，林木覆盖率达 50~60%。岛岸曲折迂回，多为岩石陡岸和石质岸，南岸和西岸多为悬崖峭壁，高者达五、六十米；东岸及北岸巨石林立。

大万山岛为由花岗岩组成的侵蚀剥蚀丘陵，地形陡峻，边坡常常受冲沟切割和海浪的侵蚀，岸坡岩石裸露。大万山岛周围水域为水下三角洲，是三角洲的水下部分，发育于水下岸坡地带，表面坡度较为平缓，表层沉积物为含砂质的软泥。地势呈中部高、西部、南部和东部低，地形起伏变化较大，最大高差约 420m，山体坡度一般为 15~25°。三维地形表面见图 4.1-1。

中交四航设计院对拟选波浪发电测试区和示范区海域进行了勘察(详细勘察资料详见《大万山岛海底地形测量与物探工程测量技术报告》)，地质和物探勘察数据表明：测区中南部水域水深变化较缓，水深由南向北逐渐变浅。测区北部(近海岸)水深变化较大，且杂乱，水底凌乱分布很多暗礁石，另有几处明礁石。工程区域平均水深为 24m，最大水深为 28m

大万山岛南侧具有平坦的海底，距岸 80m 到 500m 范围内，水深均在 28m 左右，几乎无变化，海底有约 0~12.0m 深软土层，部分区域有少量礁石，表明该场址适合波浪发电装置锚泊和海底电缆敷设。

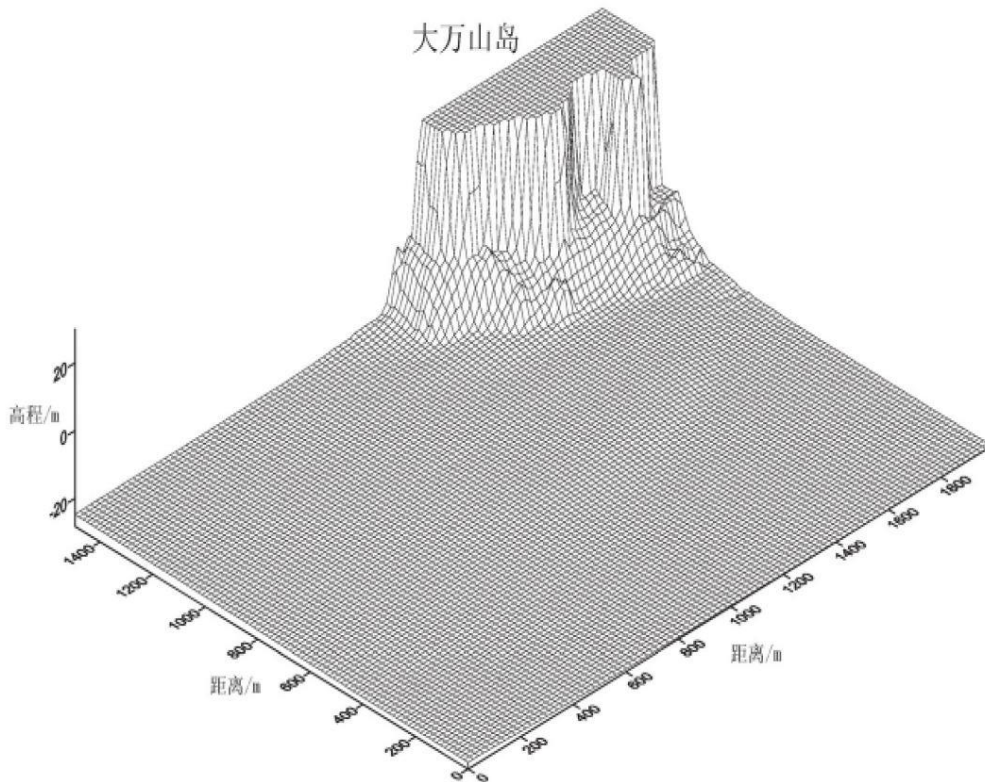


图 4.1-1 三维地形表面图

4.1.1.2 地质概况

本工程所处区域跨越华南褶皱系和南海构造带两个大地构造单元。从大地构造单元上划分，处于东江褶皱带内（见图 4.1-2），东江褶皱带位于四会-吴川断裂带以东。该区出露由震旦至第四纪各个时代地层，经历了早古生代地槽、晚古生代地台和中新生代地洼的大地构造发展阶段，形成褶皱基底、沉积盖层和上迭盆地三个构造层。

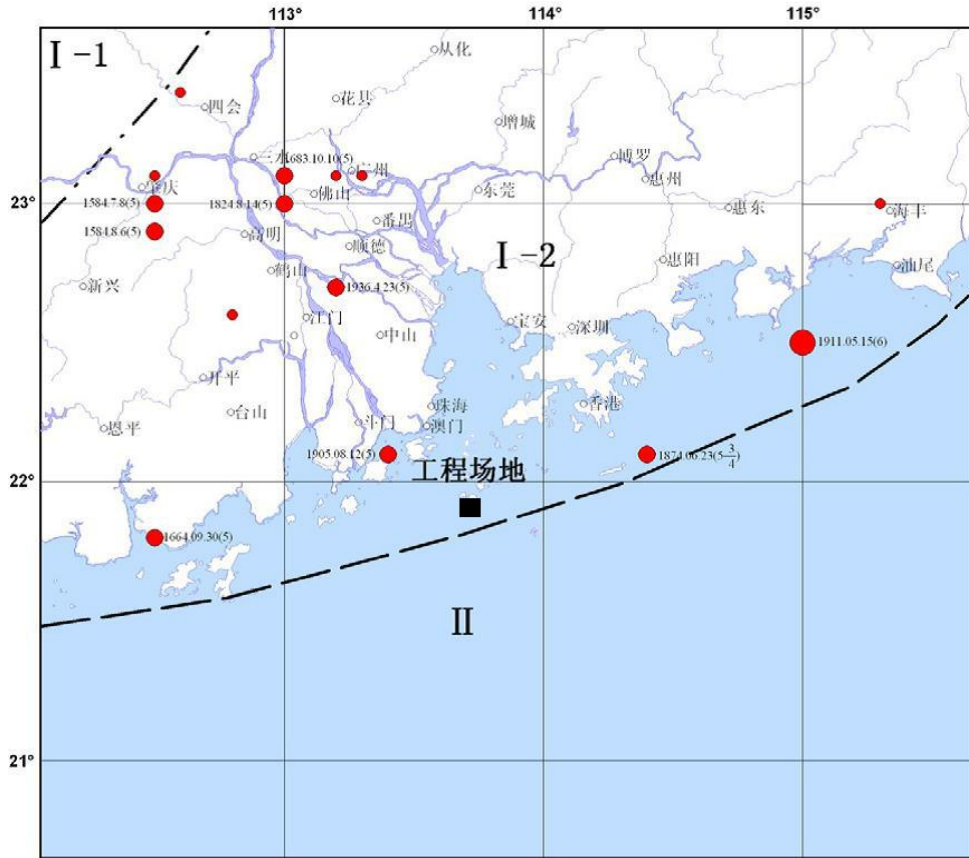


图 4.1-2 场区大地构造单元划分图

上图中，I 为华南褶皱系，I-1 为云开褶皱带，I-2 为东江褶皱带；II 为南海构造带。

4.1.1.3 工程地质

4.1.1.3.1 陆上岩土体工程地质分层

根据工程地质踏勘及野外调查结果，场址区上覆地层主要为第四系坡、残积层，沟谷和低洼处有第四系冲洪积层分布，近海边有人工填土；下伏基岩为晚侏罗世花岗岩。

根据岩土层的成因、类型、岩性及其物理力学特征，场址区岩土体可分为土类和岩类，现分述如下：

(一) 土类：

(1) 第四系人工填土层(Q4ml)色杂，以灰黄、土灰色为主，上部干、下部湿，松散，由粘性土和碎石、块石等组成，该层多见于近海边处。

(2) 第四系冲洪积层(Q4al+pl)

主要分布于评估区的沟谷或坡脚低洼处,有粗砾砂、卵石、粉质粘土等亚层。

各亚层分述如下:

a 粗砾砂:灰白、灰黄色,湿~饱和,松散~稍密,主要成分为石英,少量为长石,含粘性土,级配不良。局部过渡为细、中砂。

b 卵石:灰白、深灰色,湿~饱和,松散~稍密,母岩成分主要为花岗岩,块径一般2~20 cm,呈次圆状~次棱角状,局部过渡为滚石(直径>20 cm),含角砾、砂等,级配不良。

c 粉质粘土:灰黄色,以可塑状为主,局部软塑或硬塑状,含多量粗砂及石英角砾,粘性一般,干强度中等,韧性中等。

(3) 第四系坡积层(Q4dl)

粉质粘土:棕黄、土黄色,部分花斑状,含中粗砂颗粒,韧性一般,多呈稍湿,可塑~硬塑状态。该层多分布于丘坡表层,层面起伏随地形趋势而变化。

(4) 第四系残积层(Q4el)

砾质粘性土:棕黄、土黄色,花斑状,含粗、砾砂颗粒,韧性较差,可见原岩结构,手捏易散,遇水易软化,呈稍湿,硬塑状态。该层分布于全场地,水平方向连续性好,厚度变化较大。

(二) 岩类:

场地下伏基岩为晚侏罗世中粒斑状黑云母二长花岗岩,按风化程度可划分为全风化、强风化、中等风化和微风化四个风化等级,各风化基岩特征描述如下:

(1) 全风化花岗岩:褐黄、棕黄色夹灰白色,风化剧烈,岩质极软,原岩矿物除石英外已全部风化成粘土矿物,岩芯呈土状,遇水易软化。该层分布于场地大部分地段,水平方向连续性较好,层厚变化较大,层面起伏随地形趋势变化。

(2) 强风化花岗岩:棕黄、褐黄色,风化强烈,岩质软弱,原岩矿物除石英外均已风化成次生矿物,岩芯多呈土状,局部为半岩半土状,混中等风化岩块,土体手捏易散,遇水易崩解。该层全场基本都有分布,水平方向连续性较好,层厚变化大,层面起伏大。

(3) 中等风化花岗岩:灰白、灰黄色,矿物成分以长石、石英、黑云母为主,中粒斑状结构,块状构造,岩芯多呈短柱状,岩质较硬,锤击声稍脆,节理裂隙发育,节理面见铁锰质浸染、绿泥石化。该层在场址区广泛分布,层面起伏

变化大，层顶埋深一般 5~20m。

(4) 微风化花岗岩：灰白、肉红色，矿物成分以长石、石英、黑云母为主，中粒斑状结构，块状构造，岩芯多呈柱状，岩质坚硬，锤击声脆，节理裂隙稍发育，节理面见铁锰质浸染、绿泥石化。该层在场址区广泛分布，层面起伏变化大。

4.1.1.3.2 海上工程地质分层

中交第四航务工程勘察设计院有限公司承担大万山岛波浪能示范工程工程可行性研究阶段的水深测量及物探工作。由于锚系结构对地质条件不敏感，只进行工程区域的物探工作，而未开展钻孔取样。

(1) 地层分布

测区所在区域内地层主要有淤泥~淤泥质土、淤泥`淤泥混砂、粘土~粉质粘土、粉质粘土（混砂）、砂混淤泥、中砂~砾砂、中粗砂、中细砂、中砂~砾砂（混粘性土）、细砂（混粘性土）、中砂~粗砾砂、残积土、全风化花岗岩、强风化花岗岩、中风化花岗岩、微风化花岗岩等。根据技术要求，本次物探探测范围内的海底以下地层主要分为软土层、粘性土及砂层、基岩三个主要地层。表层沉积物为含砂质的软泥。

(2) 海底面

本次勘探测区海底较为平缓，仅测区北侧近岸区域地形变化较大，且该区域发现有多处礁石出露海底。测区海底面标高-8.5~-28.2m，最浅处位于测区北侧近岸区域，最深处位于测区东南侧区域。

(3) 软土层

软土层主要为流泥、淤泥、淤泥质土等，局部区域可能为粉质粘土及松散的砂层。本次探测的深度控制在-60m，软土层厚度是指标高-60m 以上部分的软土层的厚度。本次勘探测区软土层厚度在 0~12m 之间。

(4) 粘性土及砂层

粘性土及砂层主要为粉质粘土和砂互层等，局部可能为淤泥质土或残积土及风化花岗岩。

(5) 基岩

基岩主要为强风化花岗岩、中风化花岗岩及微风化花岗岩，局部区域可能为

坚硬的土层或致密的砂层。本次探测的深度控制在-60m，基岩面深度是指标高-60m 以上地层内探测到的基岩面的顶面标高。测区基岩面集中分布在测区东北侧区域，基岩面东北高西南低，岩面起伏较大，近岸区域有较多处礁石出露海底。测区基岩面分布情况详见图 4.1-3。路由区底质垂直分布情况见图 4.1-4。

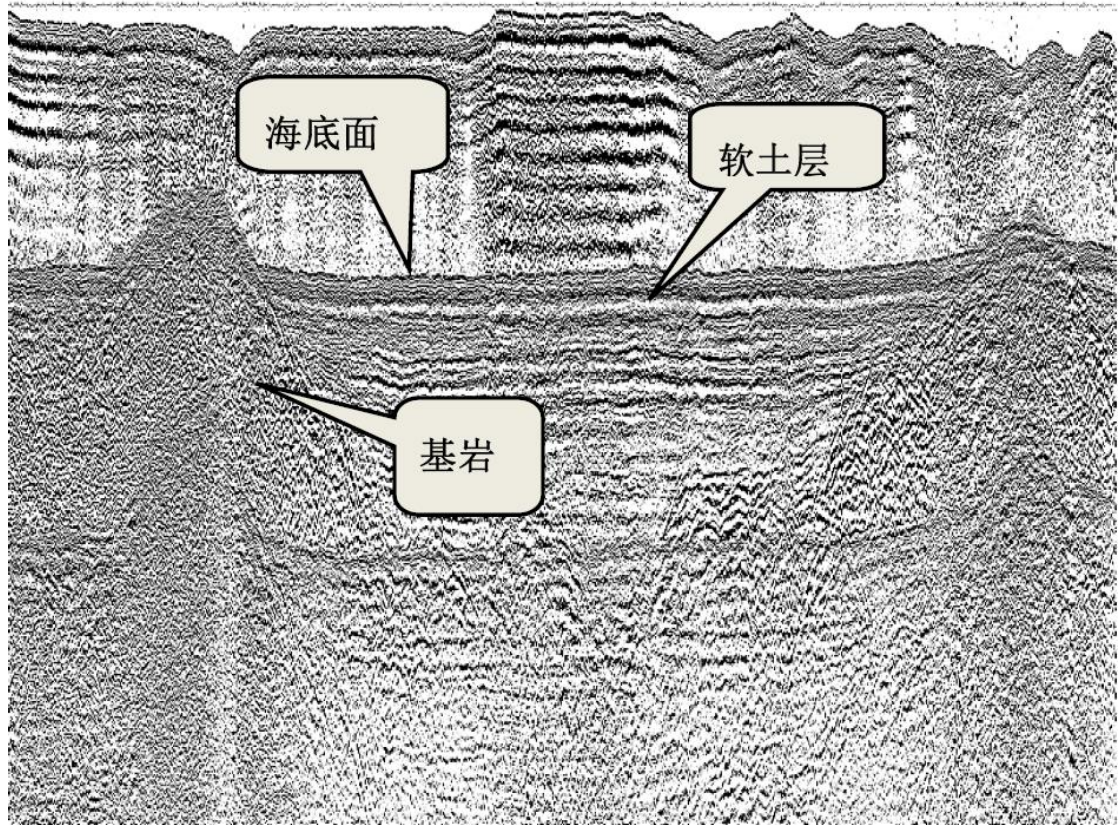


图 4.1-3 工程区海域地下地层介质分布示意图

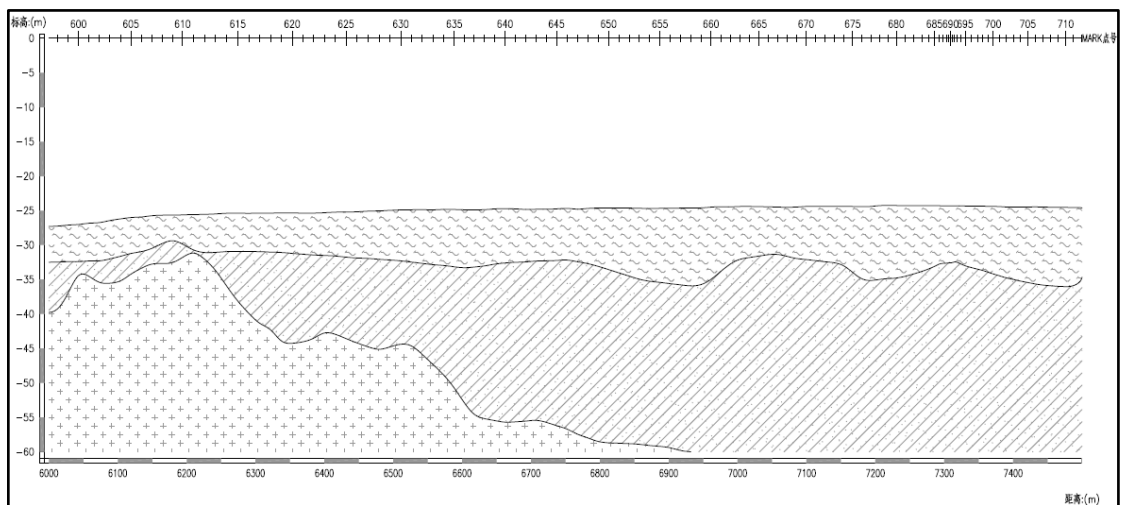


图 4.1-4 路由区底质垂直剖面图

4.1.1.3.3 场地和地基地震效应

(1) 场地类别、抗震地段划分

依据《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)结合附近工程经验,拟建工程场地建筑的场地类别为Ⅱ类。场址区属丘陵地貌和海岸堆积地貌,丘间发育冲沟洼地。填土呈松散状,属软弱土,冲洪积土、坡积土属中软土;残积土、全风化花岗岩属中硬土;强风化花岗岩属坚硬土;中等风化~微风化花岗岩属岩石;场区基岩风化差异显著,但厚薄不均,地基均匀性总体较差,综合地貌单元和场地土类型,场地挖方区属对建筑抗震有利地段,填方区属对建筑抗震一般地段。

(2) 饱和砂土、粉土液化初步判别

根据区域地质和邻近工程资料,场区 20m 深度范围内存在饱和、松散的砂土层,存在轻微~中等液化的可能。建议采取桩基、换填等方法消除液化影响或清除液化土层。

4.1.1.3.4 不良地质作用

场址区总体上自然环境保护较完整,人类工程活动破坏地质环境程度较弱,只在中部因修建道路和房屋进行削坡,导致土体及风化岩裸露。场址区山体自然边坡无失稳迹象,场址区未见已发地质灾害。

根据场址区的地质环境条件,结合建设工程类型、规模、施工方法等,预测工程建设可能引发和可能遭受的不良地质作用类型有地面沉降、砂土液化、人工边坡的崩塌、滑坡及花岗岩不均匀风化造成的岩面较大起伏等,除此之外,山坡上局部存在花岗岩球状风化形成的孤石,构成危岩,施工过程中应注意采取相应措施。

4.1.1.3.5 地下水

(1) 地下水类型及其特征

根据场地水文地质特征、地下水的形成和赋存条件、水力特征及水理性质,其地下水类型可划分为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两类。松散岩类孔隙水赋存于第四系土层中;基岩裂隙水赋存于基岩中,含水岩带主要为强风化~中等风化岩带节理裂隙。

(2) 松散岩类孔隙水

松散岩类孔隙水主要赋存于沟谷低洼处和近海边的第四系人工填土层和冲洪积层的孔隙中，地下水水位埋深一般 1.0~2.5 m，含水层厚度数米至十数米。

(3) 基岩裂隙水

基岩裂隙水属块状岩类裂隙水，含水层主要为强风化、中风化带，地下水赋存于基岩节理裂隙中，受岩层风化程度和裂隙发育程度控制，富水性不均，一般在沟谷低洼地段相对富聚。由于风化带的上部坡残积土层和全风化层均为透水层，所以基岩裂隙水具有潜水的特征，含水层厚度数米至数十米。地下水埋藏深度随地表升高而加深，一般埋深大于 5m。据 1:20 万江门幅区域水文地质调查报告及图件，该区含水层富水性弱，基岩裂隙水富水性贫乏，水量贫乏。

(4) 地下水的补给、径流及排泄条件

场址区潮湿多雨，大气降水渗入是地下水的主要补给来源。地下水以垂直渗入补给为主，补给途径短，水力坡度大，多为浅循环网状裂隙水，以下降泉和潜流等形式排泄于山谷，最终经冲沟排出进入南海。

地下水水位变化主要受大气降水补给的影响，在雨季降水充沛，潜水获得补给量较多，因而埋藏深度相对浅些，旱季则相反。近海边地段水位受降雨和潮汐的双重影响。

4.1.1.3.6 地基条件分析与评价

拟建工程场地与近场区断裂构造有一定的距离，且现代构造活动性较弱，区域地壳稳定性较好，拟建场地属于稳定性较好的场地。

场址丘间沟谷及地势低洼地段岩土工程条件一般，表层的填土层和冲洪积土层的物理力学性质较差，承载力较低，不宜直接作为建(构)筑物的基础持力层；残积土及各风化等级基岩力学强度较高，承载力特征值 f_{ak} 一般大于 180kPa，可作为建(构)筑物的基础持力层，对于地基承载力要求较高的建(构)筑物建议采用桩基，持力层的选择及桩端入土深度需设计验算后最终确定；丘陵地段表层主要为坡残积土层，且层厚较薄，部分地段基岩直接出露，岩土工程条件较好，可考虑采用天然地基。

4.1.1.3.7 不良地质作用

场址区总体上自然环境保护较完整，人类工程活动破坏地质环境程度较弱，

只在中部因修建道路和房屋进行削坡，导致土体及风化岩裸露。场址区山体自然边坡无失稳迹象，场址区未见已发地质灾害。

根据场址区的地质环境条件，结合建设工程类型、规模、施工方法等，预测工程建设可能引发和可能遭受的不良地质作用类型有地面沉降、砂土液化、人工边坡的崩塌、滑坡及花岗岩不均匀风化造成的岩面较大起伏等，除此之外，山坡上局部存在花岗岩球状风化形成的孤石，构成危岩，施工过程中应注意采取相应措施。

4.1.2 气候气象

4.1.2.1 气候条件

示范工程所在的珠海市位于广东省南部，春夏秋冬气候各异，春季是全年天气多变的季节，季内以偏东风为主，风向多变，气温变幅大；夏季，5月至6月是雨季的前汛期，珠海市高空处于西太平洋副热带高压脊的西北侧，长受高空低压槽的影响，多暴雨、骤雨等强对流天气，雨量增多。盛夏，从7月至9月中旬，为台风盛行期，受热带天气系统影响，每年在南海和西太平洋形成的热带气旋，有时会袭击和影响珠海市，并常因台风暴雨而成灾。7月至9月，是一年中相对酷热期，高空常受副热带高压的控制，多晴朗天气，温度高、日照多、蒸发大。秋季，干燥的冬季风逐渐替代了暖湿的夏季风（东南风），天气秋高气爽。初秋，还会受南海和西太平洋热带低压及台风的影响，而带来较大暴雨。10月下旬以后，台风影响已近尾声，后汛期雨季结束。11月上旬后，冷空气活动开始增强，气温逐渐下降，旱季开始，冬季历期约一个多月，盛行东北季风。

本工程位于万山群岛，属于东亚季风气候区。冬季吹来自北方大陆的东北季风，干燥寒冷；夏季吹来自南方海洋的东南季风和西南季风，温暖潮湿。不同季风的控制及其交替，形成了自然季节的变化。万山群岛位于珠江口正南方，濒临南海，后汛期常受热带风暴的影响，以台风雨为主，暴雨强度大。夏秋季的4~9月为热带风暴活动季节，尤以7~9月最为活跃，每年受台风影响平均3.1次，其中影响较大的，风力达八级以上即达到热带风暴等级的每年1.6次。

4.1.2.2 特征气象参数

(一) 气温

万山群岛年平均气温为 22.3℃，最高年平均气温为 23.9℃（1902 年），最低年平均温度 21.1℃；最热月 7 月平均气温为 28.4℃，最冷月 1 月平均气温为 14.8℃；极端最高气温为 38.9℃（1930 年 7 月 2 日、1930 年 7 月 6 日）；极端最低气温为 -1.8℃（1948 年 1 月 26 日）。

(二) 降水

万山群岛年平均降水量为 1871.1mm。年内各月降水量主要集中在 5-9 月，该时段总雨量分别占全年雨量的 86.5%；年最大降水量为 3041.4mm（1982 年）；月最大降水量为 968.0mm（1972 年 5 月）；日最大降水量为 612.6mm（1982 年 5 月 29 日）；一小时最大降水量为 125.1mm（1964 年 9 月 6 日）；日降水量 $\geq 10\text{mm}$ 降雨日数为 23.3d，日降水量 $\geq 25\text{mm}$ 降雨日数为 12.9d，日降水量 $\geq 50\text{mm}$ 降雨日数为 6.9d，暴雨天气主要出现在 5-9 月，以 6 月份出现暴雨天气最多。雨季为 4-9 月，旱季为 10 月至翌年 3 月，台季出现在 5-10 月。

(三) 风况

万山群岛各方位累年最大风速中以 ESE 向风速最大，为 44.0m/s；NNE 和 E 向风速次大，为 42.0m/s；NW 向风速最小，为 22.8m/s。横澜岛各方位累年平均风速中以 E 向平均风速最大，为 8.0m/s；NW 向平均风速最小，为 3.1m/s。横澜岛年盛行风向以东风为主，频率为 23.8%；其次为东北东风，频率为 15.8%。

累年年平均 ≥ 6 级风（最大风速 $\geq 10.8\text{m/s}$ ）大风日数为 140.9d，累年年平均 ≥ 7 级风（最大风速 $\geq 13.9\text{m/s}$ ）大风日数为 46.6d，累年年平均 ≥ 8 级风（最大风速 $\geq 17.2\text{m/s}$ ）大风日数为 9.4d。

(四) 湿度

万山群岛年平均相对湿度为 80%；最大月平均相对湿度为 87%，出现在 4 月；最小月平均相对湿度为 71%，出现在 11、12 月；最大年平均相对湿度为 85%（1953 年），最小年平均相对湿度为 76%（1971 年、2004 年）。

(五) 灾害性天气

影响工程区域的灾害性天气系统主要有热带气旋、暴雨以及强对流天气带来

的龙卷风、雷击和短时雷雨大风。其中，热带气旋强度强，频率高，灾害重，是影响该区域的最具威胁的自然灾害之一。据研究，该地区的致灾大风也几乎均由热带气旋天气系统造成。

①热带气旋

凡登陆、影响珠江三角洲及附近地区和南海北部活动的热带气旋，对本区均可造成较大影响，根据历史台风灾害分析，在广东中部的阳江～惠东沿海地区登陆的热带气旋，均可穿过或严重影响此处，故需要重点分析在此区域登陆的热带气旋。

在 1949 年至 2003 年 55 年间，在广东中部阳江～惠东一带沿海地区登陆的热带气旋有 100 个，年平均 1.82 个，达到台风量级的 48 个，其中达到台风量级的 48 个，年平均 1.82 个，其中有 13 个年份登陆的热带气旋个数达 3 个以上，最多的 1999 年有 6 个热带气旋在此区域登陆。正面袭击工程区并对工程区产生严重影响的热带气旋有 19 个。

登陆该区域的热带气旋一般集中在每年的 6～10 月份（约占 9 成），登陆时间最早的是 1999 年 5 月 2 日在惠东登陆的 9902 号台风，其次是 1961 年 5 月 19 日在香港登陆的 6103 号台风，登陆时间最迟的是 1974 年 12 月 2 日在台山登陆的 7427 号台风。

热带气旋带来的狂风、暴雨和风暴潮，破坏力巨大，可严重危及工程和生命财产的安全。1962 年 9 月 1 日 6213 号台风在香港登陆时，香港记录到最大阵风达 71.9m/s；1999 年 8 月 22 日在广东深圳登陆的 9908 号台风，给香港带来 616.5mm 的过程雨量。

②冰雹

本工程区位于低纬地区，冰雹较少见，即使下冰雹，因冰粒不大，也不会造成灾害。在过去 30 多年（1967 至 2003 年）香港仅有 32d 冰雹报告，主要发生在 2 至 4 月，所以此种灾害现象可以不被认为是主要研究对象。

③龙卷风

龙卷风是一种小尺度的强对流天气系统，常与飚线、低压、锋面、热带气旋等天气系统相伴出现。其范围小、持续时间短，但其破坏力很大。由于出现龙卷风的时间和空间随机性很强，所以，本报告将龙卷风调查、统计范围扩展到珠江

口河网地区。1951~2003 年间，工程附近区域共出现龙卷风 113 次，其中香港共记录到 32 次水龙卷或陆龙卷；珠海记录到 2 次龙卷风，澳门观测到水龙卷和漏斗云 28 次。

④雷暴

万山群岛年平均雷暴日数为 50.4d；全年中 92% 以上的雷暴出现在 4~9 月份，其中 8 月份雷暴日最多，为 10.2d；5、6、7 月雷暴日均超 8d。最少年雷暴日为 31d（1963 年），最多年雷暴日达 71d（1973 年），约为最少年的 2.3 倍。

4.1.3 波浪

大万山海洋站波浪观测为非连续观测站，断断续续采用目测、岸用测波仪、自计仪观测了一段时间，总体资料质量不高。1989 年 1 月-12 月，波高周期采用自计仪观测，白天波向用岸用测波仪观测，晚上波向无记录。

本次报告的波况分析暂时引用大万山海洋站和桂山岛海洋站的资料，并对已出版的水文气象月报逐一分析。

珠江口海区的波浪是华南近岸海区中的强浪区之一。常浪向为 SE，但波浪受季风影响，冬半年与夏半年的浪向有所不同，冬半年受偏北风影响，多偏北向浪；而夏半年则多偏南向浪，由于夏半年常受台风侵袭，故波浪亦最大，例如 1986 年大万山岛测得的最大台风波高为 11.9m；1979 年横栏岛测得台风波浪达 10.7m。在一般的常见台风影响下，珠江口可产生 3~5m 的大浪(H1/10)。

参照大万山岛测波站 1984-1986 年在 30m 水深处的实测波高，各向波高统计如表 4.1-1。

表 4.1-1 各向波高统计（单位：m）

波向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	NNW
平均波高	0.6	0.7	1.2	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9	0.6
最大波高	1.7	1.5	2.1	2.4	4.1	2.9	7.6	4.1	4.0	11.9	2.0	0.9

根据大万山海洋站 1991 年 10 月至 1992 年 9 月一周年完整的波浪观测资料和桂山岛海洋站 1992 年 4~6 月三个月的短期波浪观测资料的统计分析结果，本海区海浪以涌浪为主。常浪向为 SE，出现频率为 40.4%，次常浪向为 ESE，频率为 31.0%，全年出现在 ESE~S 向范围内的频率之和为 88.1%。强浪向为 SE。本海区波高(H1/10)大于等于 0.5m，小于 1.5m 的浪为常见浪，出现频率占各级总

频率为 75.8%。波高小于 0.5m 及大于 3.0m 的波浪出现频率较小。大万山站波玫瑰图如图 4.1-5。

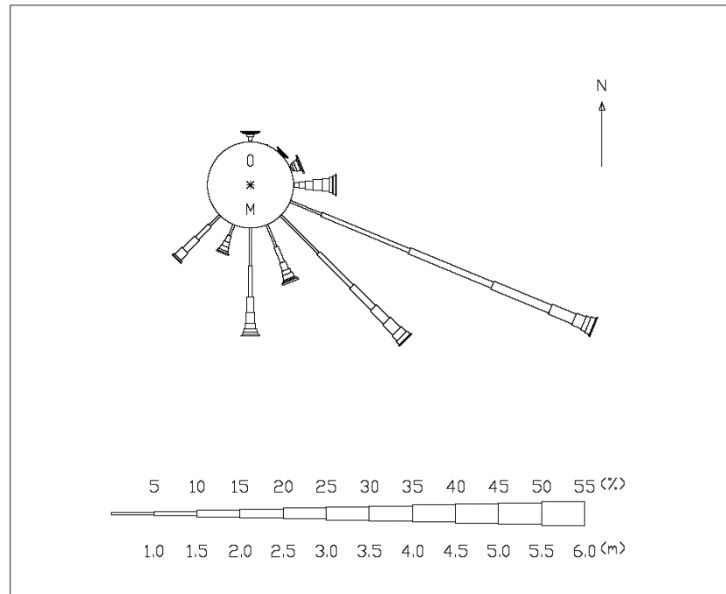


图 4.1-5 全年波级波向分布图（1989）

由于大万山海洋站的观测点设置在岛的南侧，无法获得冬季在东北季风作用下的小风区的风成浪，目前已委托华南理工大学和南海所进行相关的波浪要素的推算，根据外海波浪的推算，工程区域 50 年一遇波浪要素如下：

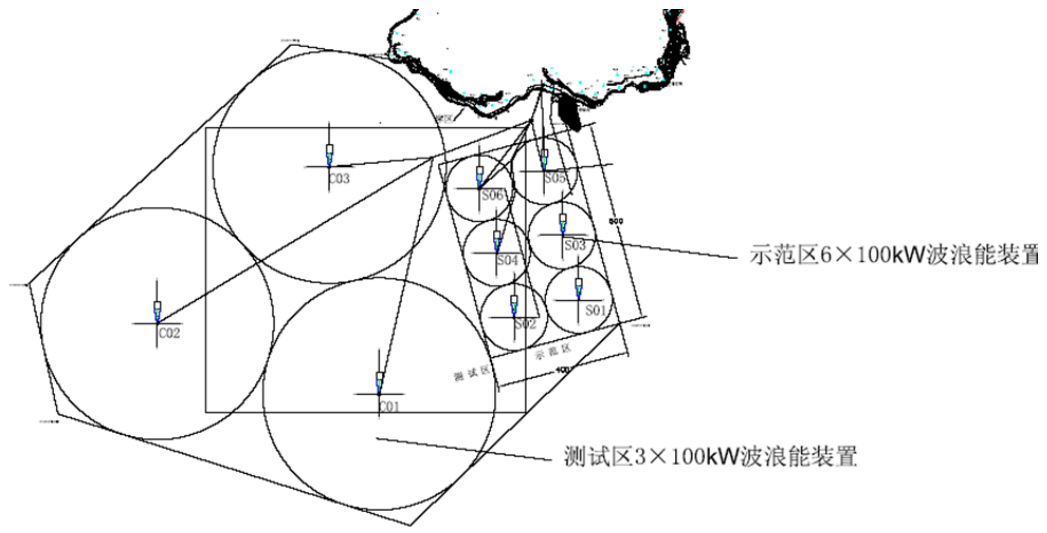


图 4.1-6 推算点布置图

表 4.1-2 50 年 1 遇高潮位下 ENE 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	5.96	5.08	4.87	4.12	2.62	9.0	118	96	31.0
C1	6.13	5.22	5.01	4.23	2.70	9.2	123	96	31.9
C2	5.69	4.85	4.65	3.93	2.50	9.0	116	102	30.5

表 4.1-3 50 年 1 遇高潮位下 E 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	7.80	6.69	6.41	5.46	3.51	10.1	140	112	31.0
C1	8.09	6.93	6.65	5.66	3.64	10.2	142	112	31.9
C2	7.68	6.58	6.31	5.37	3.45	10.2	141	117	30.5

表 4.1-4 50 年 1 遇高潮位下 ESE 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	10.70	9.25	8.90	7.64	4.97	11.0	159	126	31.0
C1	10.87	9.38	9.03	7.75	5.04	11.1	161	126	31.9
C2	10.53	9.10	8.76	7.51	4.89	11.1	159	129	30.5

表 4.1-5 50 年 1 遇高潮位下 SE 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	12.40	10.77	10.40	8.96	5.88	11.5	168	143	31.0
C1	12.39	10.75	10.37	8.93	5.85	11.5	170	142	31.9
C2	12.16	10.56	10.20	8.78	5.76	11.5	168	144	30.5

表 4.1-6 50 年 1 遇高潮位下 SSE 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	12.54	10.90	10.53	9.07	5.96	11.5	168	158	31.0
C1	12.44	10.79	10.41	8.96	5.87	11.4	169	158	31.9
C2	12.29	10.67	10.31	8.88	5.83	11.5	167	158	30.5

表 4.1-7 50 年 1 遇高潮位下 S 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	10.57	9.13	8.78	7.53	4.90	10.4	146	177	31.0
C1	10.44	9.01	8.66	7.42	4.82	10.4	147	176	31.9
C2	10.39	8.97	8.63	7.40	4.82	10.4	146	176	30.5

表 4.1-8 50 年 1 遇高潮位下 SSW 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	8.45	7.25	6.95	5.94	3.82	9.5	128	197	31.0
C1	8.39	7.19	6.90	5.88	3.78	9.5	128	196	31.9
C2	8.38	7.19	6.90	5.89	3.79	9.5	128	195	30.5

表 4.1-9 设计高潮位下 ENE 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	5.81	4.95	4.75	4.02	2.56	8.9	113	96	29.4
C1	5.98	5.10	4.89	4.14	2.64	9.1	118	97	30.3
C2	5.57	4.75	4.56	3.85	2.45	8.8	112	102	28.9

表 4.1-10 设计高潮位下 E 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	7.58	6.50	6.23	5.31	3.41	10.0	136	113	29.4
C1	7.85	6.73	6.45	5.50	3.54	10.1	140	112	30.3
C2	7.44	6.38	6.12	5.21	3.35	10.2	139	117	28.9

表 4.1-11 设计高潮位下 ESE 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	10.44	9.03	8.69	7.46	4.87	10.9	155	127	29.4
C1	10.59	9.15	8.81	7.57	4.93	11.0	157	126	30.3
C2	10.28	8.89	8.56	7.35	4.80	11.0	155	129	28.9

表 4.1-12 设计高潮位下 SE 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	12.11	10.53	10.18	8.78	5.77	11.4	164	144	29.4
C1	12.14	10.55	10.19	8.77	5.76	11.5	166	143	30.3
C2	11.91	10.36	10.01	8.63	5.68	11.5	164	144	28.9

表 4.1-13 设计高潮位下 SSE 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	12.34	10.74	10.38	8.95	5.90	11.4	163	159	29.4
C1	12.24	10.64	10.28	8.85	5.82	11.4	165	158	30.3
C2	12.09	10.51	10.17	8.77	5.77	11.4	162	159	28.9

表 4.1-14 设计高潮位下 S 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	10.37	8.96	8.63	7.41	4.83	10.4	144	177	29.4
C1	10.27	8.87	8.54	7.32	4.76	10.4	144	176	30.3
C2	10.22	8.84	8.51	7.31	4.76	10.4	143	176	28.9

表 4.1-15 设计高潮位下 SSW 向 50 年 1 遇工程代表点波要素

工程点	H1% (m)	H4% (m)	H5% (m)	H13% (m)	Hm (m)	T (s)	L (m)	DIR (IR)	水深 (m)
S2	8.32	7.15	6.85	5.86	3.78	9.5	126	197	29.4
C1	8.26	7.09	6.80	5.80	3.74	9.5	127	195	30.3
C2	8.26	7.10	6.81	5.82	3.75	9.6	126	194	28.9

珠海大万山岛是我国海洋能资源最丰富的海域之一。大万山岛全年的主要风力为秋冬春三季的东北季风和夏季的西南季风。大万山岛的北侧有白沥岛，西侧有小万山岛，东南侧 15km 有庙湾岛和北尖岛。就整个岛屿来看，受到东北、东、东南、南、西南各方向的浪，而大万山岛南侧是上述各浪向的波浪均可抵达的唯一一点，全年均具有最好的海浪，符合建造波浪能示范工程的条件。

大万山岛年最大潮差仅 2m，最大流速在 1.0m/s 以下，对波浪能装置浮态影响很小。

4.1.4 潮汐

4.1.4.1 基准面

根据邻近三灶岛、横琴岛及大万山三处长期或短期的潮位观测资料推算，各基准面关系如图 4.1-7 所示。

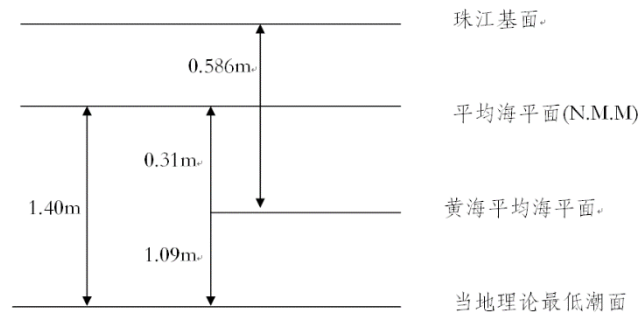


图 4.1-7 各基准面关系示意图

4.1.4.2 潮汐性质

本海域潮汐特性系数约为 1.5，属不规则半日混合潮型。在一个月内有半以上的日期一天有两次高潮和两次低潮，且相邻高潮不等现象较显著。大潮出现于朔、望之后 1~2 天；小潮出现于上、下弦之后 1~2 天。

本海域属弱潮区，潮差相对较小。风暴潮是本海区危害最大的潮汐现象。其风暴潮增水(50 年一遇)可达 2m 左右。

4.1.4.3 潮位特征值（以当地理论最低潮面起算，下同）

最高潮位	2.60m
最低潮位	0.02m

平均高潮位	2.03m
平均低潮位	0.78m
平均海平面	1.40m
平均潮差	1.25m
最大潮差	2.53m
平均涨潮历时	6h26min
平均落潮历时	6h05min

4.1.4.4 设计水位

设计高水位	2.75m
设计低水位	0.55m
极端高水位（重现期为 100 年的年极值高水位）:	4.00m
极端高水位（重现期为 50 年的年极值高水位）:	3.75m
极端低水位（重现期为 50 年的年极值低水位）:	-0.13m

4.1.5 潮流

根据在小万山群岛外侧、海图水深约 20m 处，3 个月（2008 年 7 月~2008 年 9 月）的波浪、潮位、水流的同步观测资料。涨潮的最大流速在 31~70cm/s；涨潮最大流速对应流向以 WNW~NNW 向为主。落潮的最大流速在 27~108cm/s；落潮最大流速对应流向以 E~SSE 为主。

4.1.6 泥沙

工程海域自然环境良好。工程区附近泥沙来源有限，多次现场实测资料、泥沙来源及水深变化对比分析表明，年平均含沙量仅在 0.08~0.10kg/m³ 之间，海域含沙量基本不随涨、落潮流的变化而变化，其结果可维持在一个定值状态，平均含沙量低、其变化量也非常小。底质泥沙以粘土质粉沙为主，泥沙中值粒径主要介于 0.010mm~0.030mm 之间，明显细于磨刀门河口区和伶仃洋西滩区。

4.1.7 水温

对 1974~1992 年大万山站表层温度多年连续观测资料统计，月平均最高表层水温出现在夏季(7~9 月)，最低水温出现在冬季(1~2 月)，水温年较差大。

表 4.1-16 大万山站多年的月平均表层温度

资料年限	多年平均	多年各月平均											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1974—1992	23.5	17.3	16.6	18.0	21.3	25.5	28.0	28.8	28.8	28.8	26.5	23.2	19.7

据大万山海洋站多年表层水温资料统计,水温年变化呈单峰型,月平均最高水温出现在夏季(7月),为 29.0℃,7~9月水温较高,月平均值均在 28.0℃以上,表层水温最高值为 32.1℃。12月至翌年3月水温较低,通常小于 20.0℃,月平均最低水温出现在2月,为 16.6℃,表层水温最低值为 13.4℃。春季(3月)开始升温,3~5月增温较快,为 3.3~4.2℃/月。秋季(9月)开始降温,10—12月降温较快,为 3.3~3.5℃/月。表层水温年较差为 12.4℃。

大万山站 19年(1974~1992年)平均为 23.5℃,年平均最高水温出现在 1987年,距平值为+0.6℃,年平均最低水温出现在 1984,距平值为-0.5℃。

4.1.8 盐度

1974—1992年大万山站表层盐度进行统计,广东各海区岛群盐度年变化主要与枯、洪期径流作用有关,变化过程呈双峰型。

珠江口海区盐度变化过程与珠江径流量年变化密切相关。枯水期(10~3月)径流量小,盐度较高;洪水期(4~9月份)径流量大,盐度较低。峰值出现在 1~3月份和 10~12月份。从表 4.1-17 看出,大万山站多年的月平均最高表层盐度出现在 3月份,盐度值为 32.94‰,多年的月平均最低表层盐度出现在径流量最大的 7月份,盐度值只有 22.69‰,次峰值出现在 11月份,为 32.93‰。一年中,盐度从 4月份开始逐月下降,降至 7月份最低。8月份盐度开始回升,到 11月份出现高值,12~1月份盐度又略有下降,2月份缓慢增高,到 3月份盐度达最高值,盐度年较差为 10.25‰。

表 4.1-17 大万山站多年的月平均表层盐度

资料年限	多年平均	多年各月平均											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1974—1992	29.85	32.52	32.69	32.94	29.43	23.58	23.58	22.69	25.55	28.54	32.57	32.93	32.62

珠江口海区（大万山）多年平均盐度为 29.85，年平均最高盐度出现在 1980 年，距平值为+1.26，年平均最低盐度出现在 1974 年，距平值为-1.24。

4.2 社会环境概况

4.2.1 珠海市社会经济概况

珠海座落在珠江三角洲的南部前缘，珠江口西岸，在北纬 21°48'至 22°27'与东经 113°03'至 114°19'之间，全市海陆总面积 7650km²，其中陆地面积 1630km²，海域面积 6020km²，大小岛屿 146 个，海岸线 690km。

珠海市地处中国最发达经济区域，位置独特、优越，东隔珠江口与香港、深圳相望，与香港相距仅 36 海里；南濒南海，与澳门陆路相连；西与江门的台山、新会、台山为邻、北与中山接壤，距省会广州市仅 140km，是联系内地与海外，尤其是香港、澳门的一个重要进出口岸。珠海现有人口 115 万人。

2016 年全市实现地区生产总值(GDP)2226.37 亿元，同 2015 年同比增长 8.5%。其中，第一产业增加值 48.21 亿元，比 2015 年增长 1.4%，对 GDP 增长的贡献率为 0.4%；第二产业增加值 1059.77 亿元，比 2015 年增长 5.8%，对 GDP 增长的贡献率为 33.6%；第三产业增加值 1118.39 亿元，比 2015 年增长 11.7%，对 GDP 增长的贡献率为 66.0%。三次产业的比例为 2.2：47.6：50.2。在服务业中，现代服务业增加值 661.66 亿元，比 2015 年增长 12.6%，占 GDP 的 29.7%。在第三产业中，批发和零售业增长 8.3%，住宿和餐饮业增长 4.2%，金融业增长 12.4%，房地产业增长 16.4%。民营经济增加值 776.72 亿元，比 2015 年增长 12.3%，占 GDP 的 34.9%。2016 年，珠海市人均 GDP 达 13.45 万元，按平均汇率折算为 2.02 万美元。

4.2.2 万山海洋开发试验区概况

珠海万山海洋开发试验区的前身是珠海万山管理区。1988 年，珠海市委、市政府为实施“东西两翼发展战略”设立了万山管理区，1998 年，广东省政府为实施全省“海洋综合开发战略”，在万山管理区基础上批准设立珠海万山海洋开发试验区，试验区是全省第一个地方性海洋综合开发试验区，下辖桂山镇、担杆镇、万山镇 3 个建制镇 7 个行政村。

万山区拥有大小岛屿 106 个，主要岛屿有桂山岛、东澳岛、大万山岛、小万山岛、白沥岛、黄茅岛、外伶仃岛、担杆岛等，海岛陆地总面积 80 多 km²，岛岸线总长 289km，蕴含着十分独特、优越的海洋海岛资源：一是优良港湾众多，水域宽阔，自然水深在 10~30m 之间，具有得天独厚的建设深水大港的条件；二是具有地文景观、水域风光、遗址遗迹、海洋生物等多姿多彩的海洋海岛旅游资源。

根据第五次人口普查，全镇总人口为 2015 人。全区地区生产总值 4.06 亿元，增长 13.5%；完成全社会固定资产投资 3.93 亿元，增长 61%；渔业产值 2.56 亿元，增长 25.3%；海岛旅游人数 32.86 万人次，增长 18.9%；海岛旅游综合收入 1.36 亿元，增长 17%；社会消费品零售总额 7328 万元，增长 19%；引进内资注册资金 14.24 亿元，增长 29.7%；实际利用外商直接投资 694 万美元，增长 8.27%；外贸进出口 5.51 亿美元，下降 44.5%；财政公共预算收入 2.69 亿元，增长 30.3%；渔民人均纯收入 14149 元，增长 10.6%。

4.3 环境质量概况

4.3.1 环境空气质量

根据《珠海市环境质量公报（2015 年）》，2015 年珠海城市空气质量达标率为 90.0%，较 2014 年提升 1.6 个百分点。其中 186 天空气质量级别为优，占 51.8%；137 天的空气质量级别为良，占 38.2%；33 天空气质量级别为轻度污染，占 9.2%；3 天空气质量级别为中度污染，占 0.8%。

(1) SO₂

市区二氧化硫日均浓度值范围在 0.002~0.030mg/m³ 之间，年日均值为 0.009mg/m³，比上年下降 18.2%。

(2) NO

市区二氧化氮日均浓度值范围在 0.003~0.095mg/m³ 之间，年日均值为 0.029mg/m³，比上年下降 12.1%。

(3) PM₁₀

市区可吸入颗粒物日均浓度值范围在 0.012~0.149mg/m³ 之间，年日均值为 0.029mg/m³，比上年下降 3.8%。

(4) PM_{2.5}

市区细颗粒物日均浓度值范围在 0.006~0.120mg/m³ 之间，年日均值为 0.031mg/m³，比上年上升 2.9%。

(5) 城市降水

降水 pH 值范围在 4.10~6.97 之间，pH 值年平均值为 5.56；酸雨发生率为 24.1%，比上年下降了 20.8 个百分点。

4.3.2 地表水环境质量

根据《珠海市环境质量公报（2015 年）》，珠海市地表水环境 2015 年总体处于较好水平。饮用水源水质与 2014 年持平，从大镜山水库、竹仙洞水库、杨寮水库、平岗抽站、广昌抽站、黄杨河泵站、乾务水库、竹银水库和竹洲头泵站九大取水点的监测数据统计，2015 年的饮用水源水质达标率为 100%。按“广东省环境保护责任考核”的要求，2015 年近岸海域水环境功能区设置了 4 个监测点，4 个测点污染物平均浓度值符合国家海水水质标准。其余测点海水水质保持稳定。

4.3.3 声环境质量

根据《珠海市环境质量公报（2015 年）》，2015 年珠海市市区区域环境噪声昼间平均等效声级为 55.3dB(A)，区域道路交通噪声等效声级平均值为 67.2dB(A)。

功能区噪声达标方面，2015 年 0、1、2、3、4 类环境噪声功能区昼、夜平均等效声级保持稳定。声源构成以生活噪声源为主。

4.3.4 海洋环境质量

根据《2015 年珠海市海洋环境质量公报》，海域环境质量状况方面，2015 年珠海海域海水质量基本保持稳定，远岸海域水质总体较好，受陆源污染影响较大的河口和近岸海域水质较差，主要污染物仍为无机氮，其次为活性磷酸盐；沉积物质量总体一般。纳入监测的 5 个入海排污口全年监测结果达标的次数占监测总次数的 40%，比上年有所下降，超标污染物是化学需氧量、总磷和五日生化需氧量；重点入海排污口邻近海域生态环境质量差。全年全市共监测 3 个增养殖区，其中桂山网箱养殖区环境状况较好，一般能满足增养殖区功能的要求，斗门白蕉新环村养殖区和金湾红旗镇大林社区养殖区环境状况及格，个别时段不能满足功能区环境质量要求；横琴新区国家级海洋生态文明示范区海洋环境状况总体较好。

4.3.5 污染物排放

(1) 废气排放

珠海市 2015 年工业企业废气排放量为 2045.61 亿 m³, 比 2014 年增加 20.79%; 工业企业烟(粉)尘排放量 10446.31t, 比 2014 年减少 19.47%; 工业二氧化硫排放量 20779.22t, 比 2014 年增加 0.48%。

(2) 废水排放

珠海市 2015 年工业废水排放量为 5546.5 万 t, 比 2014 年增加 12.37%,; 工业废水中化学需氧量排放量为 5245.52t, 比 2014 年减少 14.53%。

(3) 固体废物

珠海市 2015 年工业企业固体废物产生量 305 万 t, 比 2014 年增加 3.34%, 综合利用量 278.67 万 t, 综合利用率为 91.37%, 其中危险废物产生量 12.55 万 t, 综合利用量 2.65 万 t, 处置量 9.9 万 t, 利用处置率 100%。

4.3.6 生态环境概况

万山群岛地处热带北缘, 深受季风热带海洋气候的孕育, 植被组成丰富, 植被类型多样且富热带性, 但是长期受到人类经济活动干扰和砍伐, 形成各类次生植被类型, 包括自然林、灌丛、灌草丛、草丛和各种人工植被, 并组成线状分布格局。次生灌丛、灌草丛和草丛等类型分布面积较大, 是海岛现状植被的主要类型。当前这些类型在人为经济活动干扰减少的情况下, 处在恢复和发展阶段, 即从草丛-灌草丛-灌丛向森林逐步过渡。

大万山岛植被分布的坡向性十分明显, 东南向坡的光热足, 但常风作用大, 并受海浪影响, 土壤侵蚀重, 基岩裸露较多, 环境较干热, 次生植被类型一般以旱生性或中生性的灌草丛或草丛为主, 且植株较矮小, 甚至有些地段呈匍匐或垫状; 而西北向坡的生境条件相反, 加上水湿条件好, 故植被类型则以灌丛林或中生性的灌草丛分布占优势, 植被覆盖度也较大, 其中尤以沟谷地段, 常有小片状的次生自然林分布。

万山群岛植被主要由次生植被构成, 含有灌丛、灌草丛、稀树灌草丛和草丛, 是森林破坏后演化形成的, 分布最广的是亚热带灌木草坡。在土壤条件较好的地带, 乔灌木生长较茂密, 一些岛上阴坡沟谷长着许多乔木、大型藤本和板根植物,

形成热带雨林风光。在桂山、担杆、东澳、大蜘洲等岛上，还有较大面积的次生天然林以及台湾相思 (*Acacia confusa*) 林。根据海岛植被资源的调查资料和实地登岛采集的大量植物标本调查记录统计，万山群岛共有维管植物 176 科、547 属、972 种 (含栽培 84 种)，约占广东省维管植物总数 (7055 种) 的 13.8%。其中蕨类植物 21 科 27 属 35 种，裸子植物 6 科 8 属 11 种，被子植物 139 科 510 属 926 种。属于国家重点野生保护植物的有蚌壳蕨科的金毛狗 (*Cibotium barometz*)，水蕨科的水蕨 (*Ceratopteristhalictroides*)，乌毛蕨科的苏铁蕨 (*Brainea insignis*)，樟科的油丹 (*Alseodaphne hainanensis*)、樟树 (*Cinnamomum camphora*)、润楠 (*Machilus nanmu*)，金缕梅科的半枫荷 (*Semiliquidambar cathayensis*)，瑞香科的白木香 (*Aquilaria sinensis*)，苏木科的格木 (*Erythrophleum fordii*)，夹竹桃科的蛇根木 (*Rauwolfiaserpentina*)，马鞭草科的海南石梓 (*Gmelina hainanensis*) 等 11 种，保护级别均为 II 级。另有白桂木、白木香、格木、巴戟天等 4 种广东省珍稀濒危植物。

4.3.7 渔业资源概况

珠江入海段，河川排入大量的营养物质，且气候、水温适宜，咸淡水交汇，有利浮游生物的繁殖，有效高的海洋初级生产力。万山群岛海域水深 30~60 m，具有捕捞价值的鱼类多达 200 多种，此外还有 68 种贝类、61 种虾蟹，以及 18 种具有经济价值的藻类和珊瑚等珍稀海底生物，有经济鱼类 200 多种，是历史上著名的广东六大渔场之一。而庙湾、万山、桂山又是全国重点渔港，雄厚的渔业经济，为万山区海岛旅游与海洋生产相结合奠定了基础。

万山在东澳、万山的渔村，历史都较为悠久，从事传统渔业的居民较为集中，不但形成质朴的渔村风情，而且也留下了古代渔业、现代渔业的足迹。大万山、小万山、东澳、桂山等岛近岸水域，适宜牡蛎、鲈鱼等生长。目前养殖面积海岛 1700 多 hm^2 ，是省内牡蛎生产基地之一。桂山、大万山、外伶仃等岛，不少海湾避风条件较好，是网箱养殖的较好条件，现有网箱养鱼 1400 多箱，养殖的名贵鱼，销售港澳市场。就经济结构而言，离陆远的万山、外伶仃、桂山等岛屿，属岛丘类型，岛上平原极少，向来渔业十分突出，在大农业中渔业常占九成半以上。

4.4 海洋功能区划与海域开发利用与保护概况

4.4.1 海洋功能区划

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020年）》，本工程主要位于万山群岛海域，该海域的主要功能为旅游娱乐、港口航运、农渔业。

本工程波浪能发电装置属于万山群岛保留区，工程海底电缆穿越万山群岛旅游休闲娱乐区。海域海洋功能区划见附图7。

4.4.2 海域开发现状

本项目位于珠海市大万山岛以南海域，通过遥感影像和现场踏勘了解项目所在区附近海域的开发利用现状。

本项目为大万山岛波浪能示范工程，是国内首个波浪能发电装置研发测试区和示范区。工程周边海域开发利用情况主要有大万山岛客运码头区、万山渔港、大万山岛游艇停泊区、万山港万山口岸装卸作业锚地、黄茅岛倾倒区、东澳岛和万山岛危险货物过驳锚地、现存三台试验装置以及桂山风电东澳岛-大万山岛海底电缆，具体见图4.4-1和表4.4-1。

电缆登陆点现状为基岩和石滩，未开发利用。

（1）大万山岛客运码头区

大万山岛客运码头区位于大万山岛西侧万山湾内，由万山镇人民政府建设，距离本工程最近约700m，有500t级客运船泊位一座，泊位长度50m，宽度6m，泊位与海岛岸线用引桥连接，引桥长约27m，码头顶高程+3.0m，港池底标高-4.3m。客运船舶一般从香洲港客运站出发，每天来回两班。

（2）万山渔港

万山渔港位于大万山岛西侧万山湾内，距离本工程最近约1100m，由区经济发展局（海洋和科技局、统计局）管理。

（3）大万山岛游艇停泊区

大万山岛游艇停泊区位于大万山岛西侧万山湾内，距离本工程最近约930m，项目正在建设。

（4）万山港万山口岸装卸作业锚地

万山港万山口岸装卸作业锚地，即万山口岸第二作业锚地（区），编号3WS，位于大万山岛和小万山岛之间的海域，距离本工程最近约1200m。锚地设计深度-6.4m至-17.6m不等，底质为泥沙，功能为过驳、候泊、防台。

(5) 黄茅岛倾倒区

黄茅岛倾倒区位于小万山岛西北部海域，距离本工程最近约 5300m，为国务院批准的正式倾倒区，主要接纳出海航道及港池维护下疏浚废弃物。

(6) 东澳岛和万山岛危险货物过驳锚地

东澳岛和万山岛危险货物过驳锚地位于小万山岛北部海域，距离本工程约 5000m，长 2.8 海里，宽 1.8 海里，设计深度为-15.4m，底质为泥，功能主要为油类、液化气和化工品船的过驳及防台。

(7) 东澳岛-大万山岛海底电缆

珠海桂山海上风电场示范项目东澳岛-大万山岛海底电缆位于大万山岛北部，与本工程最近约 3100m，为珠海桂山海上风电场连接东澳岛和大万山岛的 35kv 海底电缆。

(8) 亚欧光缆澳门至支路单元 6 段

亚欧光缆澳门至支路单元 6 段位于本工程的南侧，最近约 5.8km，为中国电信集团公司建设的登陆于澳门的光缆，见图 4.4-2。

(9) 番禺/惠州天然气开发项目海底输油管道

番禺/惠州天然气开发项目位于本工程的南侧，最近约 7.9km，为中海石油（中国）有限公司建设的海底输油管道，见图 4.4-2。

表 4.4-1 项目所在海域开发利用现状

序号	名称	与本项目相对最近位置	说明
1	大万山岛客运码头区	北约 700m	客运码头
2	万山渔港	北约 1100m	渔港
3	大万山岛游艇停泊区	北约 930m	游艇码头
4	万山港万山口岸装卸作业锚地	北约 1500m	公益设施
5	黄茅岛倾倒区	西北约 5300m	公益设施
6	东澳岛和万山岛危险货物过驳锚地	北约 5000m	公益设施
7	珠海桂山海上风电场示范项目东澳岛-大万山岛海底电缆	北约 3100m	海底电缆
8	亚欧光缆澳门至支路单元 6 段	南侧，约 5.8km	海底光缆
9	番禺/惠州天然气开发项目输油管道	南侧，约 7.9km	海底输油管道

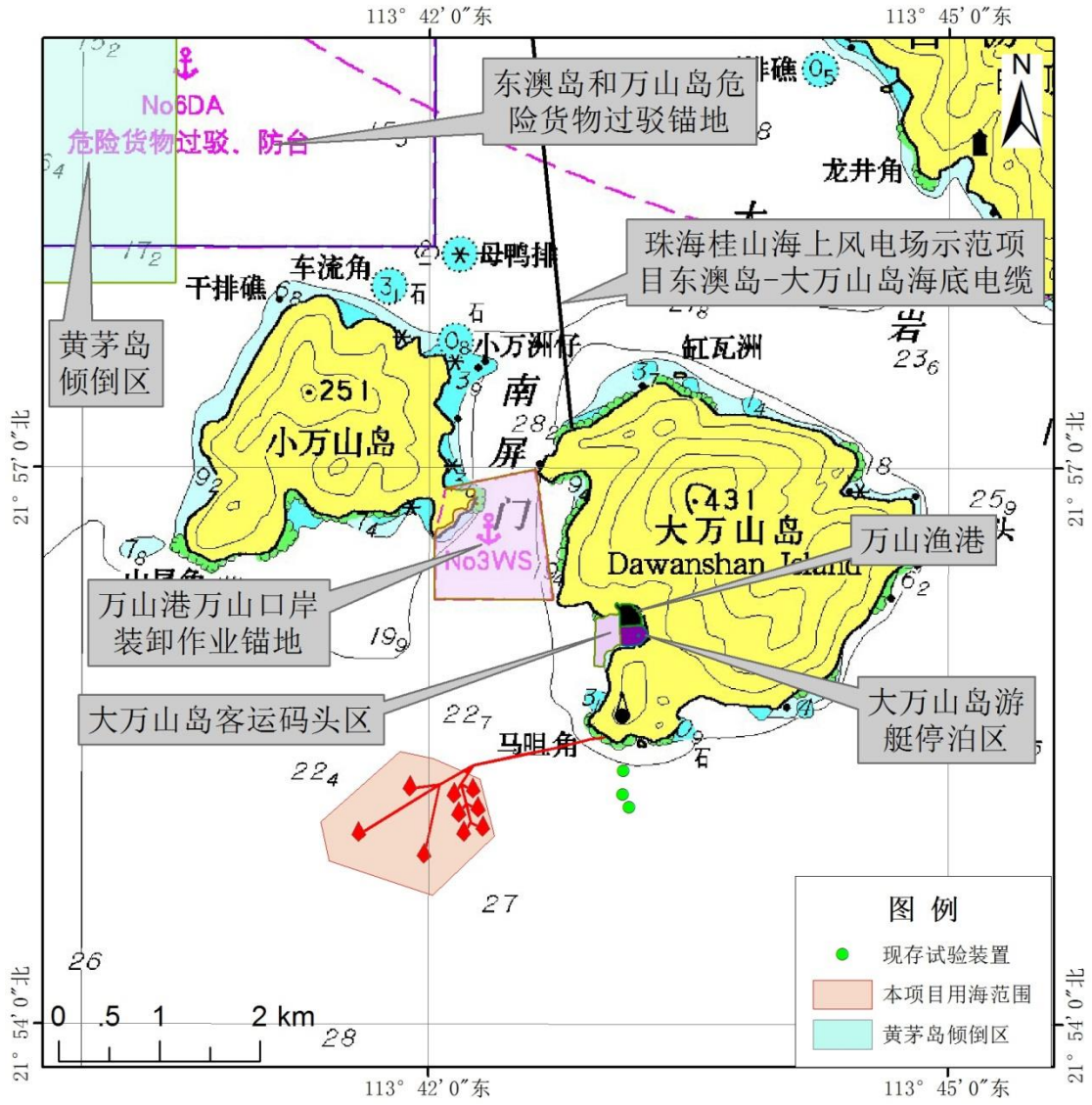


图 4.4-1 项目所在海域开发利用现状图

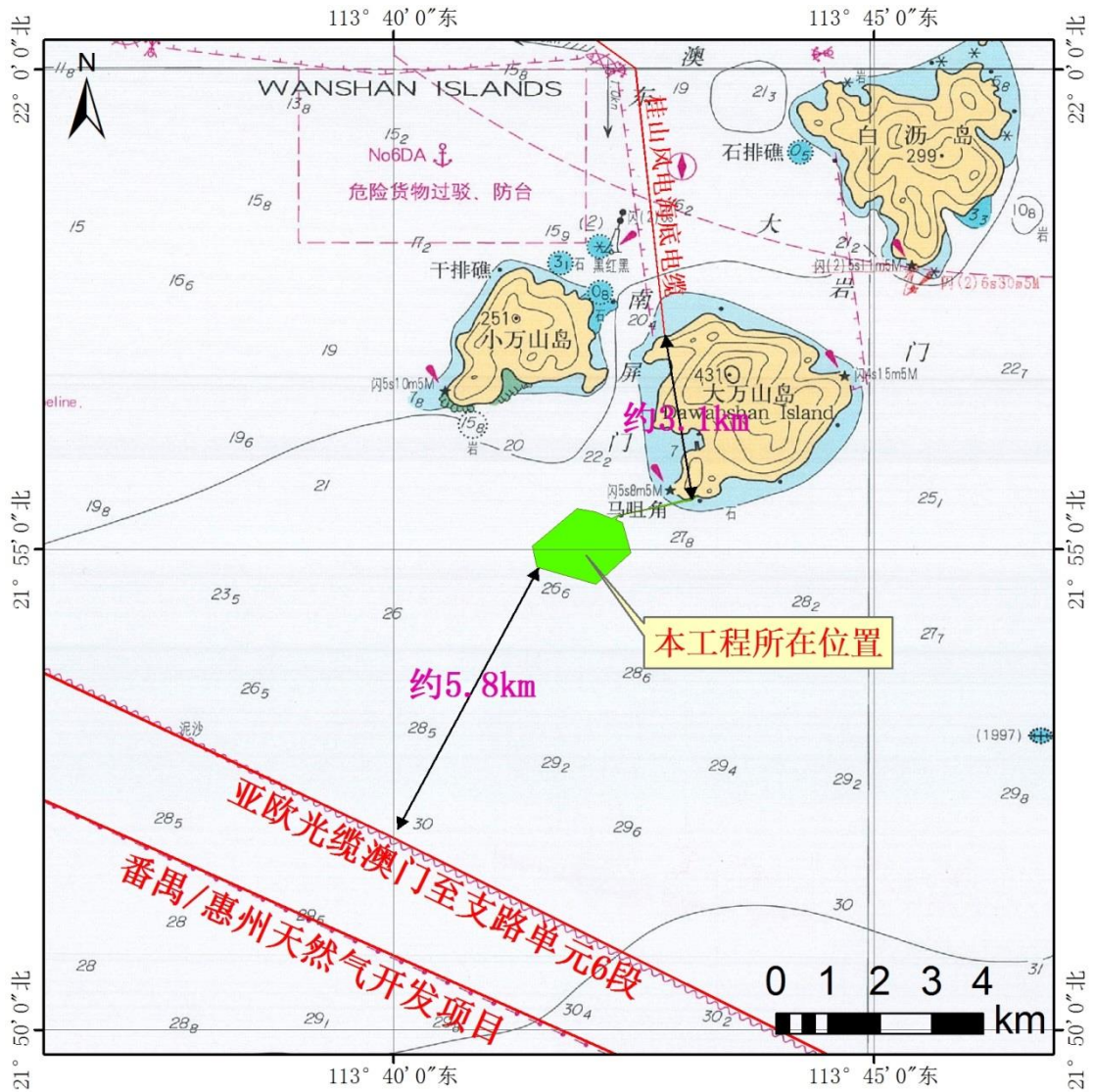


图 4.4-2 项目所在海域开发利用现状图

4.4.2.1 渔业生产

(1) 人工鱼礁

工程所在海域人工鱼礁众多，主要有大碌细碌人工鱼礁区、三牙排人工鱼礁区、东澳人工鱼礁区、竹排-横洲人工鱼礁区等。

根据《珠海市万山人工鱼礁建设规划》，珠海市将在万山东澳、竹洲-横洲、外伶仃、担杆岛、小万山入庙湾等海域建设 6 座人工鱼礁（图 4.4-3）。目前，东澳、外伶仃、竹洲-横洲、庙湾、小万山等海域人工鱼礁已动工或基本完成，除东澳人工鱼礁区离本项目较近外，其余 4 座人工鱼礁离本项目均较远。



图 4.4-3 海域人工鱼礁分布图

(2) 海水增殖殖

珠江口海区属于河口湾区域，既有珠江径流带来的丰富的营养物质，水质肥沃，浮游生物种类繁多，饵料丰富，是鱼类聚集和进游索饵的良好场所，又受外海高温高盐海水的影响，盐度适中，既适于狭盐海洋生物栖息生长，又适合高盐及广盐种类的栖息生物，本海区适宜鱼、虾、贝、蟹、藻类繁殖生长。

4.4.2.2 海洋倾废

黄茅岛倾废区位于黄茅岛以南四点联线内海域，用海面积 1910.8hm²，管理要求为周围海域不宜开发、加强倾废物的处理、减少对周围海域的污染。

4.4.2.3 旅游开发

珠海市海洋旅游资源丰富，特色明显，众多的海岛与美丽的海湾、沙滩形成别具风格的亚热带风光的海上旅游资源。

4.4.3 登陆点周边环境现状

大万山岛位于珠海市香洲东南部 39km，珠江口外最南端。大万山岛东西长 3.35km，南北最宽 3.88km，地势总体中间高，四周低。丘陵起伏，山顶部较缓，

山脚较陡，有 5 座山峰，主峰大万顶海拔 432.5m，位于岛北部中央。全岛基本出露燕山第三期侵入花岗岩，中小型岩基、中粒、中粒斑状二长花岗岩，中—细粒斑状黑云母花岗岩。岛岸曲折陡峻，多为岩基陡岸和石质岸。南、西两岸多悬崖峭壁；东、北岸巨石林立，浪涌较大。大万山岛岸线类型为基岩岸线和砂质岸线，岸线总长 14.4661km。岛屿基本被曲折的基岩岸线所包围，基岩岸线长 14.0897km；仅在岛屿的南部分布有一小段平直的砂质岸线，岸线长 0.3764km。

4.4.4 万山群岛自然保护区概况

珠海万山群岛市级自然保护区（下文简称“保护区”）于 2000 年市人民政府批准建立（珠府办函[2000]56 号）的市级自然保护区，位于珠江入海口的珠海万山海洋开发试验区，包括东澳岛、白沥岛、大万山岛、小万山岛 4 个岛屿，面积为 2207hm²，四至坐标为东经 113°40'31"~113°46'24"，北纬 21°55'33"~22°1'58"。保护区属海洋海岸类型自然保护区，主要保护对象为海岛生态系统和生物多样性。

4.4.5 珠海万山海洋开发试验区概况

根据“珠海市万山区管委会公众网”介绍，珠海万山海洋开发试验区的前身是珠海万山管理区。1988 年，珠海市委、市政府为实施“东西两翼发展战略”设立了万山管理区，1998 年，广东省政府为实施全省“海洋综合开发战略”，在万山管理区基础上批准设立珠海万山海洋开发试验区，成为广东第一个地方性海洋综合开发试验区，下辖桂山镇、担杆镇、万山镇 3 个建制镇 7 个行政村。常住人口 4513 人，户籍人口 2927 人。

（一）地理位置特殊。万山区地处珠江入海口，东邻香港，西接澳门，所辖海域面积 3200km²，中心区域为珠江口国际锚地，有大西、大濠等 6 条国际著名水道纵横期间，是珠江三角洲乃至华南腹地出入南海，通向世界的咽喉要道。担杆镇平洲岛是国家领海基点所在地之一。万山区自古以来是军事战略要地，海岛驻有部队以及海关、边检、检验检疫、海事等口岸联检单位，2003 年开通的万山口岸是国家一类客货运口岸。

（二）资源优势独特。万山区拥有大小岛屿 106 个，主要岛屿有桂山岛、东澳岛、大万山岛、小万山岛、白沥岛、黄茅岛、外伶仃岛、担杆岛等，海岛土地面积 80 多 km²。海岛岸线总长 289 公里，蕴含着十分独特、优越的海洋海岛资

源：一是优良港湾众多，水域宽阔，自然水深在 10m~30m 之间，具有得天独厚的建设深水大港的条件；二是具有地文景观、水域风光、遗址遗迹、海洋生物等多姿多彩的海洋海岛旅游资源，“桂山舰登陆点”是珠海市爱国主义教育基地，万山镇、庙湾村、桂海村分别被省旅游局评为“广东省旅游特色镇”和“广东省旅游特色村”，外伶仃岛被省旅游局评为“我最喜爱的滨海旅游景区”和“AAA 国家级旅游景区”，东澳岛“丽岛银滩”被评为珠海十景之一；三是渔业资源丰富，区域内万山渔场是全国著名渔场之一，有经济价值的鱼类达 200 多种、贝类 68 种、虾蟹 61 种、海藻 18 种，区内现设有国家级中华白海豚保护区、省级猕猴保护区、市级珊瑚保护区和国际游艇垂钓区。

（三）民生持续改善。万山区城乡居民养老保险参保率达到 100%。目前，全区有两所小学、三所幼儿园，30 多名教职员工，学生近 250 人。有三所卫生院和两个医务中心，30 多名医务工作者。不断加强与市区优质教育、医疗资源合作，提升海岛教育医疗公共服务水平。社会平安建设走在全市前列，创建“无毒区”和“无邪教示范区”。打造“微.网格”海岛社会服务特色品牌，设立海岛检察官日，将检察工作延伸到海岛基层。

（四）历史文化悠久。万山群岛早在新石器时代就有了人类活动的足迹。区内现存有东晋时期的棋盘，清朝初年的铙城、烽火台、海关遗址及摩崖石刻等市级重点保护文物；南宋末年著名抗元英雄文天祥就在万山区这片海域吟出了“人生自古谁无死，留取丹心照汗青”的千古绝唱；解放初期中国人民解放军在桂山岛附近海面进行了“万山海战”，得到共和国领袖毛泽东的表彰。

（五）发展态势良好。近年来，万山区坚持高端规划、生态优先、特色发展，致力打造世界一流、中国最好的海岛休闲旅游目的地，初步走出一条具有海岛特色的科学发展之路。“十二五”期间，各项主要经济指标稳步增长，GDP、渔业产值、固定资产投资、实际利用外资、公共预算收入年均分别增长 15.3%、17.4%、20.38%、66.58%和 12.03%，创建区以来最好成绩。

5 环境质量现状调查与评价

5.1 水文动力环境现状调查与评价

为了解工程海域各海洋水文要素的时空分布特征和水文泥沙运动规律,为水文动力现状评价及海洋环境影响预测提供基础资料,建设单位委托华南理工大学在工程海域(测试区及示范区)先后开展了1年的水文观测,为2014年4月25日~2015年4月24日,测验内容包括潮位、流速、流向等,分别选取示范区和测试区的边界点作为2个海洋动力环境观测点,选取万山岛南侧靠海的山顶处设立风速观测点。测试区波浪、海流和潮位观测点位于万山波能测试区海域,经纬度为 $21^{\circ}55'11.46''\text{N}$, $113^{\circ}42'29.4''\text{E}$,该处水深约26m。示范区波浪、海流和潮位观测点位于万山波能示范区海域,经纬度为 $21^{\circ}55'13.26''\text{N}$, $113^{\circ}43'12.42''\text{E}$,该处水深约30m。测站布置见图5.1-1。

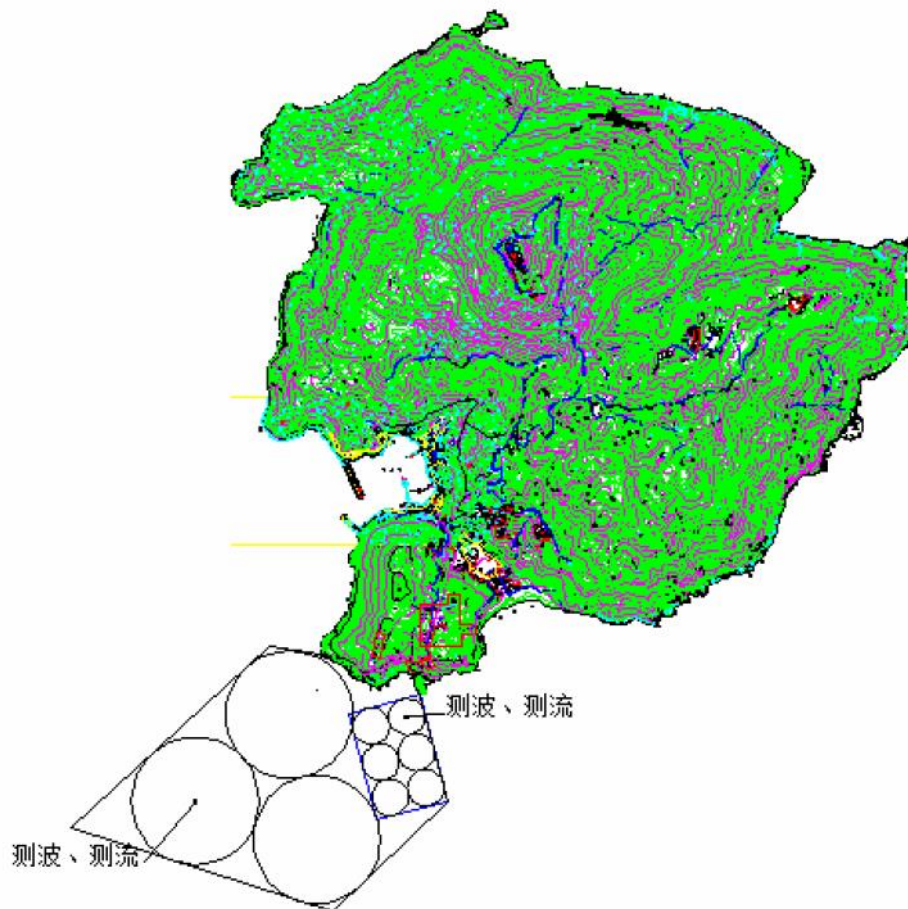


图 5.1-1 水文动力测站位置示意图

5.1.1 潮汐水流条件

5.1.1.1 总体潮汐海流特征

(1) 潮汐

工程所处海域为珠江河口的伶仃洋水域，处于珠海市大万山岛西南部海域。该海域的潮汐特性系数约为 1.5，属不规则半日混合潮型。在一个月内有半以上的日期一天有两次高潮和两次低潮，且相邻高潮不等现象较显著。大潮出现于朔、望之后 1~2 天；小潮出现于上、下弦之后 1~2 天。

本海域属弱潮区，潮差相对较小。风暴潮是本海区危害最大的潮汐现象。其风暴潮增水(50 年一遇)可达 2m 左右。

根据《大万山岛波浪能示范工程海洋动力观测年度报告》2014~2015 年间月最高、最低水位统计可知，月最高潮位出现在 9 月份，为 3.35m，最低潮位为-0.23m，出现在 7 月份，多年平均海平面为 1.55m。1 月至 4 月平均海平面小幅度下降，之后缓慢升高，6、7 月份略有下降，至 8 月份较快上升，10 月出现全年最高值，之后又逐渐下降。这与整个南海区多年海平面的季节变化趋势一致。

(2) 潮流

珠江口海域的潮流属不规则半日潮流，日不等现象显著，潮流以往复流为主，外海主流呈南北向。大面积潮流流向基本上是南海潮波在涨潮时向珠江口推进，即以偏北向流为主，遇到岛屿及近岸地区流向变化较大；落潮时以偏南潮流为主，同样在岛屿及近岸地区流向变化较大。

根据《大万山岛波浪能示范工程浪流潮观测年度报告》(2014 年 4 月 25 日~2015 年 4 月 24 日)，从开展的 10 个水层一年的整点实测海流资料中，每月逐层取一个大潮、小潮周日海流实测资料进行统计，得到月、季和全年大潮、小潮涨潮、落潮的平均流速及其对应流向，大潮涨潮平均流速在秋、冬季大于春、夏季，落潮的平均流速在秋季最弱。涨潮的平均流速在 8.8~106cm/s 之间，对应流向为偏西北向。落潮的平均流速在 1~137cm/s 之间，对应流向为偏南向。

小潮涨潮的平均流速在冬季最大，落潮的平均流速在夏、秋季较大，涨潮的平均流速在 2.8~93cm/s 之间，对应流向为偏西北向。落潮的平均流速在 3.3~103cm/s 之间，对应流向为偏东南向。

5.1.1.2 实测潮汐特性

(1) 基面关系

根据邻近三灶岛、横琴岛及大万山三处长期或短期的潮位观测资料推算，各基准面关系见图 5.1-2。

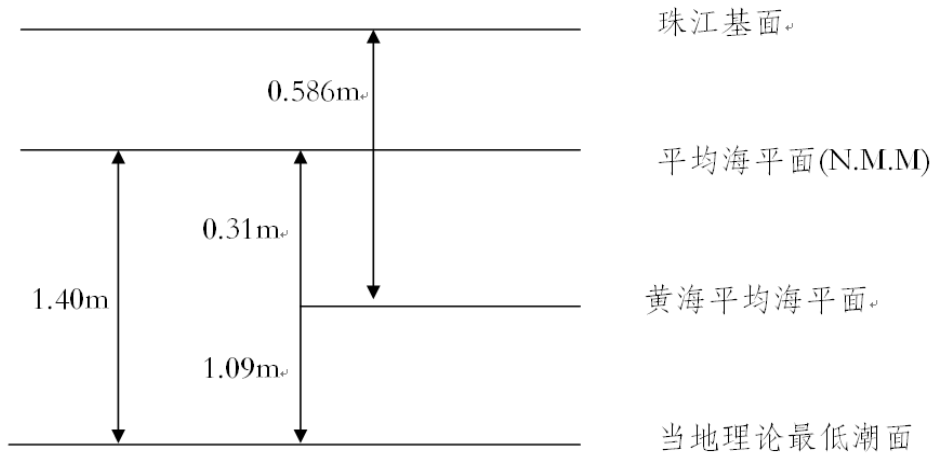


图 5.1-2 各基准面关系关系图

(2) 调和分析

测试区和示范区的半日分潮和日分潮显著，测试区的 M2、S2、K1、O1 分潮振幅分别为 39.37cm、18.31cm、36.03cm、28.92cm，示范区的 M2、S2、K1、O1 分潮振幅分别为 39.17cm、18.13cm、36.11cm、28.91cm，潮汐的年波动较明显。调和分析计算的均方差分别为 13.55cm 和 19.73cm，本海区含有一定的非天文潮的成分。

测试区和示范区的潮汐性质的比值分别为 $F=1.65$ 和 $F=1.66$ ，说明本海区的潮汐属不规则半日潮。表 5.1-1 为大万山岛示范区和测试区观测点潮汐调和常数。

半日和日分潮显著，潮汐的年波动较明显。潮汐性质的比值 $F=1.65$ ，潮汐属不规则半日潮。因此发电场海域的潮汐属非正规半日潮类型。

表 5.1-1 大万山海域潮汐调和常数

分潮符号	振幅(cm)	迟角(°)	分潮符号	振幅(cm)	迟角(°)	分潮符号	振幅(cm)	迟角(°)	分潮符号	振幅(cm)	迟角(°)
SA	25.795	266.4	PSI1	0.589	266.4	NU2	1.925	302.0	2SNU2	0.315	207.8
SSA	9.464	46.6	FI1	0.719	300.4	OP2	9.000	43.0	NO3	0.315	349.6
MSM	2.272	215.7	THETA1	0.533	275.4	GAMMA2	8.172	156.0	MO3	0.679	17.4
MM	3.410	150.8	J1	1.743	340.7	MA2	2.308	85.0	M3	1.426	336.9
MSF	2.348	98.9	2PO1	0.233	184.7	M2	39.269	271.8	NK3	0.500	337.9
MF	3.501	148.1	SO1	0.580	211.7	MB2	0.987	122.9	SO3	0.759	29.9
2OK1	3.151	187.0	OO1	0.694	62.8	DELTA2	1.166	191.7	MK3	1.552	40.9
2Q1	2.350	135.2	KQ1	0.123	241.2	LABDA2	0.946	271.0	SP3	0.400	100.9
SIGMA1	1.145	207.2	2NS2	0.276	211.1	L2	3.768	347.8	2MQ3	0.242	291.4
Q1	6.377	228.7	OQ2	0.812	83.7	L2B	5.138	282.2	SK3	0.899	115.2
RO1	1.177	263.8	MNS2	0.122	278.7	2SK2	0.592	231.2	K3	0.537	126.1
O1	28.915	252.1	MNUS2	0.463	122.4	T2	0.952	274.9	2MNS4	0.153	88.5
MP1	0.723	323.4	O2	3.388	199.5	S2	18.221	302.9	MN4	1.125	347.5
M1	1.410	296.7	2N2	2.238	154.5	R2	0.494	196.7	MNU4	0.410	315.2
CHI1	0.149	313.0	MU2	2.568	215.4	K2	5.294	303.4	M4	2.981	5.9
PI1	0.482	251.7	SNK2	0.824	154.5	MSN2	0.526	78.4	SN4	0.106	339.3
P1	12.097	295.2	NA2	1.030	105.7	KJ2	0.417	54.3	MS4	1.850	74.3
S1	1.113	233.7	N2	9.557	253.6	2SM2	0.402	169.2	MK4	0.845	56.2
K1	36.070	300.8	NB2	1.000	327.0	SKM2	0.433	260.7	M6	0.505	195.4

5.1.1.3 海流

示范区观测站位点月、季和全年各层涨潮的最大流速在 36~171cm/s，上层最大流速大于底层；涨潮最大流速对应流向以偏西向为主。多数水层冬夏季涨潮最大流速大于春秋季节。落潮的最大流速在 28~168cm/s，中间水层最大流速大于近表、底层；落潮最大流速对应流向以偏东向为主。多数水层冬夏季落潮最大流速大于春秋季节。示范区涨潮的平均流速在冬季最大，夏季最小，在 6~76cm/s 之间，对应流向为偏西向。示范区落潮的平均流速在 2~59cm/s 之间，对应流向为偏东向。各层实测流向出现在 W、E 方位的频率显著，从全年频率分布看，W 方位的频率在 20~30%，WSW 方位的频率在 9.5~28.5%，E 方位的频率在 4~14.5%，其余方位的频率在 10% 以下。

测试区涨潮的最大流速在 40~167cm/s，上层最大流速大于底层；涨潮最大流速对应流向以偏西向为主。多数水层冬夏季涨潮最大流速大于春秋季节。落潮的最大流速在 36~157cm/s，中间水层最大流速大于近表、底层；落潮最大流速对应流向以偏东南向为主。多数水层冬夏季落潮最大流速大于春秋季节。涨潮的平均流速在冬季最大，夏季最小，在 7~66cm/s 之间，对应流向为偏西北向。落潮的平均流速在 7~59cm/s 之间，对应流向为偏东南向。除表层外各层实测流向出现在 WNW、SE 方位的频率显著，从全年频率分布看，WNW 方位的频率在 12.2~16.7%，SE 方位的频率在 5.3~11.5%，E 方位的频率在 4~14.5%，其余方位的频率在 10% 以下。表层流在 W 放向占优，频率可达 22.2%。

实测流速统计见表 5.1-2~5.1-5，实测海流矢量图见图 5.1-3~5.1-6，潮流玫瑰图见图 5.1-7~5.1-15。

表 5.1-2 各层涨潮流最大流速及对应流向

时间	1.3m		4.3m		7.3m		10.3m		13.3m		16.3m		19.3m		22.3m		25.3m		28.3m		
	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向
2015年5月	299	48	302	51	273	56	309	52	317	54	274	52	270	60	290	74	248	100	NaN	NaN	
6月	299	45	285	52	290	61	280	60	281	62	283	63	273	68	281	99	189	140	NaN	NaN	
7月	299	41	303	58	298	53	326	47	268	56	289	64	268	80	273	105	279	136	NaN	NaN	
8月	309	45	290	52	284	53	289	51	287	53	281	56	293	68	284	80	274	142	NaN	NaN	
9月	161	60	140	63	276	76	280	91	272	111	271	116	267	123	267	124	262	150	NaN	NaN	
10月	276	58	273	72	277	78	275	77	271	68	280	69	294	74	273	72	195	148	NaN	NaN	
11月	279	50	278	61	284	57	286	66	288	67	280	64	289	66	285	70	276	115	NaN	NaN	
12月	284	62	283	70	280	76	286	69	271	81	279	81	273	77	278	81	193	95	NaN	NaN	
2015年1月	283	51	292	52	287	55	283	63	291	57	281	60	287	68	267	74	271	97	NaN	NaN	
2月	279	54	292	52	273	60	285	66	279	64	275	70	279	77	274	77	259	131	NaN	NaN	
3月	282	66	283	62	276	70	274	78	274	77	283	76	283	80	266	77	276	147	NaN	NaN	
4月	289	40	285	52	290	59	288	60	292	64	299	66	284	88	276	88	272	167	NaN	NaN	
春季	282	66	283	62	276	70	274	78	274	77	283	76	284	88	276	88	272	167	NaN	NaN	
夏季	299	45	303	58	290	61	280	60	281	62	289	64	268	80	273	105	274	142	NaN	NaN	
秋季	161	60	273	72	277	78	280	91	272	111	271	116	267	123	267	124	262	150	NaN	NaN	
冬季	284	62	283	70	280	76	286	69	271	81	279	81	273	77	278	81	259	131	NaN	NaN	
全年	282	66	273	72	277	78	280	91	272	111	271	116	267	123	267	124	272	167	NaN	NaN	

表 5.1-3 各层落潮流最大流速及对应流向

时间	1.3m		4.3m		7.3m		10.3m		13.3m		16.3m		19.3m		22.3m		25.3m		28.3m	
	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速
2014年5月	173	43	120	40	189	47	188	49	194	55	189	54	173	54	159	77	262	98	NaN	NaN
6月	163	40	144	48	187	63	179	55	172	59	178	73	182	76	180	98	182	139	NaN	NaN
7月	175	43	137	47	124	51	125	51	121	65	114	84	96.9	95	270	94	102	154	NaN	NaN
8月	133	39	148	43	130	47	131	49	128	56	127	68	127	64	115	63	111	147	NaN	NaN
9月	178	52	140	52	178	54	161	51	181	58	251	58	257	70	260	81	179	144	NaN	NaN
10月	194	43	200	53	157	50	146	48	195	48	145	50	154	50	271	53	199	132	NaN	NaN
11月	215	50	210	54	214	57	217	60	222	63	211	54	196	59	210	57	172	114	NaN	NaN
12月	208	57	219	59	209	57	207	68	171	55	186	65	187	64	199	64	239	108	NaN	NaN
2015年1月	197	49	207	47	188	50	206	50	195	60	199	54	204	54	179	55	190	125	NaN	NaN
2月	257	41	217	44	204	48	177	47	191	54	259	52	194	64	204	64	207	114	NaN	NaN
3月	174	45	175	47	180	49	184	51	179	56	181	59	198	57	197	61	191	130	NaN	NaN
4月	150	36	153	45	282	52	276	55	189	51	255	56	278	67	278	76	271	157	NaN	NaN
春季	174	45	175	47	282	52	276	55	179	56	181	59	278	67	278	76	271	157	NaN	NaN
夏季	175	43	144	48	187	63	179	55	121	65	114	84	96.9	95	180	98	102	154	NaN	NaN
秋季	178	52	210	54	214	57	217	60	222	63	251	58	257	70	260	81	195	148	NaN	NaN
冬季	208	57	219	59	209	57	207	68	195	60	186	65	187	64	199	64	190	125	NaN	NaN
全年	208	57	219	59	187	63	207	68	121	65	114	84	96.9	95	180	98	271	157	NaN	NaN

表 5.1-4 各层涨潮流平均流速及对应流向

时间	1.3m		4.3m		7.3m		10.3m		13.3m		16.3m		19.3m		22.3m		25.3m		28.3m	
	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速
2015年5月	330	7.1	321	8	315	9	303	10	300	12	296	13	293	17	260	11	260	42	NaN	NaN
6月	316	8.6	310	9	309	10	306	11	315	10	312	8.9	301	11	265	16	348	35	NaN	NaN
7月	328	8.4	332	10	322	10	331	8.3	5.78	7.4	357	6.3	297	9.3	285	20	329	32	NaN	NaN
8月	326	7	327	8	315	9	317	8.3	323	8.3	341	8.5	328	7.3	298	13	352	17	NaN	NaN
9月	316	7.9	307	12	299	14	303	13	307	12	304	13	296	15	289	21	273	29	NaN	NaN
10月	303	11	304	14	300	16	296	18	295	18	294	21	289	22	285	22	259	53	NaN	NaN
11月	291	18	291	20	291	22	289	23	286	22	285	23	282	24	280	25	244	50	NaN	NaN
12月	286	21	286	24	285	26	284	28	282	28	279	28	279	29	278	29	226	50	NaN	NaN
2015年1月	291	14	290	18	290	21	287	23	285	24	282	25	280	27	277	28	240	46	NaN	NaN
2月	299	14	296	18	293	21	290	23	287	26	284	27	281	30	277	32	258	64	NaN	NaN
3月	296	13	295	15	293	18	290	20	287	21	284	22	281	24	278	27	261	66	NaN	NaN
4月	323	8.3	321	10	314	12	306	14	305	14	307	14	297	16	283	19	262	41	NaN	NaN
春季	305	11	304	13	301	15	296	17	293	17	292	18	287	20	280	23	262	54	NaN	NaN
夏季	324	7.9	323	9	315	9	318	8.9	333	7.8	336	7.4	308	8.8	283	16	340	27	NaN	NaN
秋季	300	12	299	15	296	17	295	18	294	17	292	18	288	20	285	22	256	43	NaN	NaN
冬季	291	16	290	20	289	22	287	25	284	26	282	27	280	29	277	30	242	52	NaN	NaN
全年	303	11	302	13	298	15	295	16	295	16	293	17	288	19	280	22	262	38	NaN	NaN

表 5.1-5 各层落潮流平均流速及对应流向

时间	1.3m		4.3m		7.3m		10.3m		13.3m		16.3m		19.3m		22.3m		25.3m		28.3m	
	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速	向	速
2014年5月	127	14	132	16	133	16	138	16	142	15	144	15	163	11	141	12	258	27	NaN	NaN
6月	136	11	141	14	141	14	136	14	134	14	139	13	152	11	177	11	13.6	22	NaN	NaN
7月	127	11	126	14	129	15	125	16	120	17	124	16	137	14	169	7.7	5.45	12	NaN	NaN
8月	129	12	131	15	132	16	128	16	123	15	118	15	121	14	154	9.2	91.6	10	NaN	NaN
9月	145	11	153	12	146	12	141	11	140	10	154	10	177	10	201	10	228	24	NaN	NaN
10月	151	7.1	162	9	164	10	172	10	178	11	186	12	192	14	197	17	230	56	NaN	NaN
11月	194	9.3	192	11	192	12	190	12	193	13	192	14	195	15	197	17	226	55	NaN	NaN
12月	200	11	204	12	203	13	205	14	203	13	204	15	205	16	205	17	206	57	NaN	NaN
2015年1月	186	9.8	191	11	191	12	194	13	194	14	195	15	196	15	198	17	224	49	NaN	NaN
2月	189	7.2	190	9	191	11	192	12	193	13	194	15	196	17	200	19	234	57	NaN	NaN
3月	169	8.4	174	11	175	12	178	14	182	15	186	17	191	18	200	19	243	59	NaN	NaN
4月	133	11	139	14	140	14	141	13	142	13	138	13	154	12	176	13	241	33	NaN	NaN
春季	150	9.1	156	12	159	12	162	13	165	13	168	13	179	14	192	16	242	47	NaN	NaN
夏季	130	11	132	14	133	15	130	15	125	15	126	15	136	13	167	9.3	34.9	10	NaN	NaN
秋季	163	8.5	168	11	168	11	170	11	173	11	179	12	189	13	198	15	228	45	NaN	NaN
冬季	193	9.3	196	11	196	12	197	13	197	13	198	15	199	16	201	18	221	53	NaN	NaN
全年	154	9.2	157	11	158	12	160	12	161	12	165	12	176	13	189	13	231	34	NaN	NaN

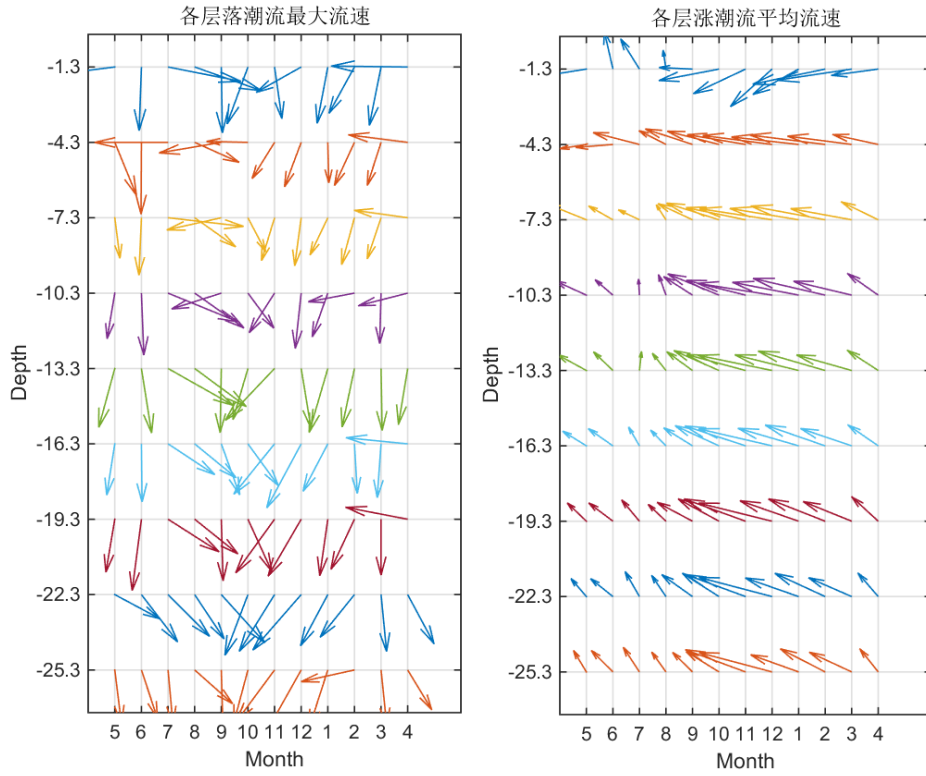


图 5.1-3 各层落潮流最大、平均流速

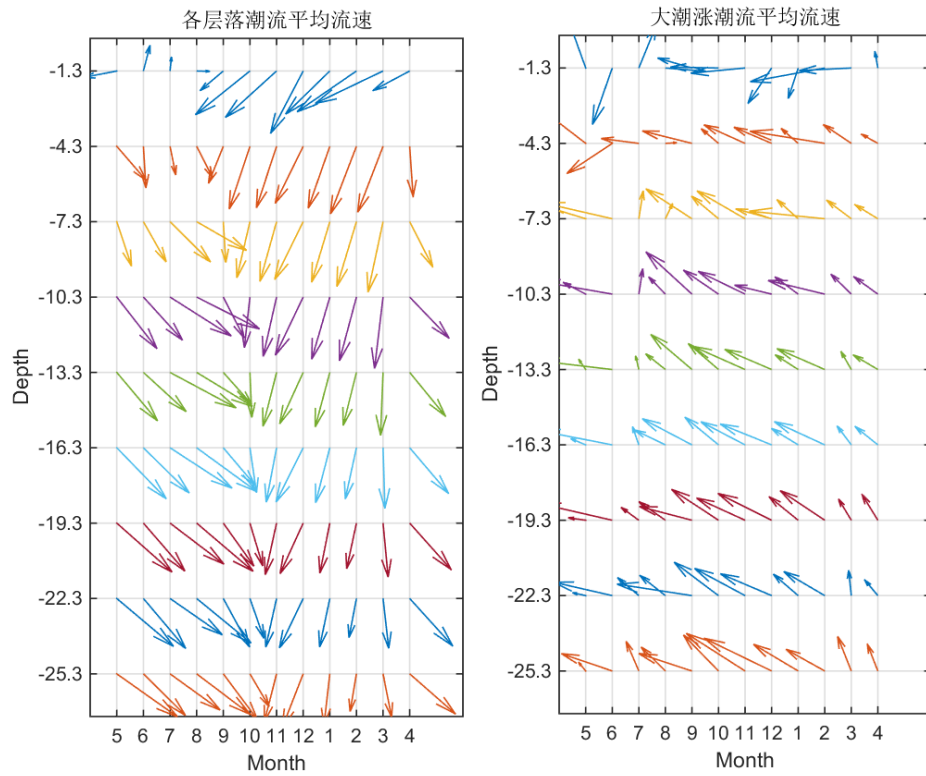


图 5.1-4 大潮涨潮、落潮流平均流速

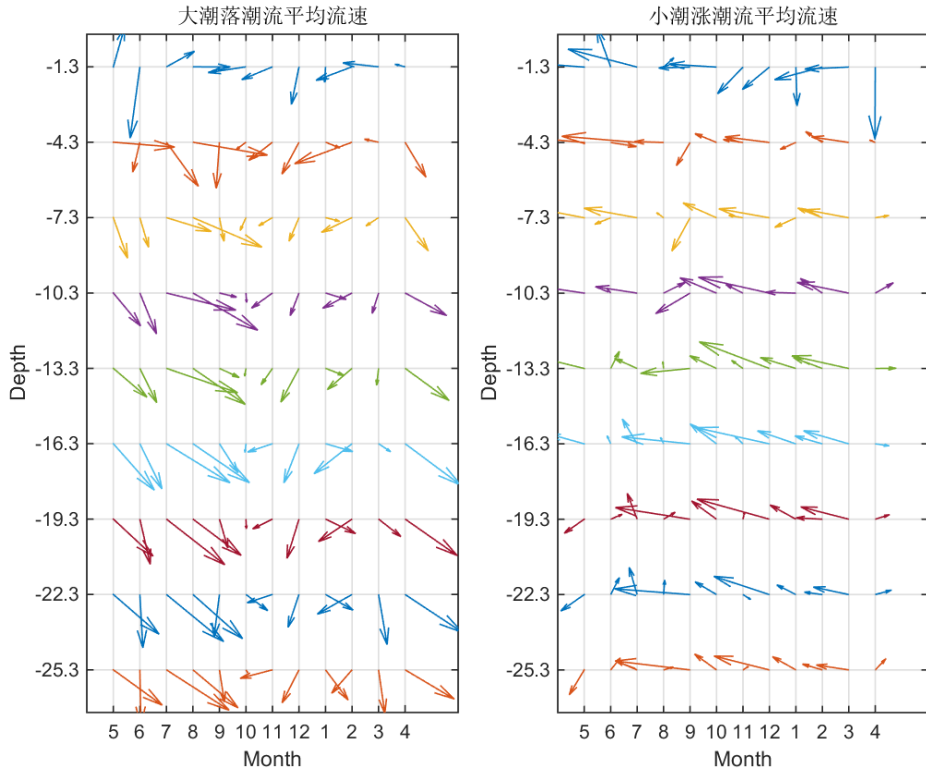


图 5.1-5 小潮涨潮、落潮流平均流速

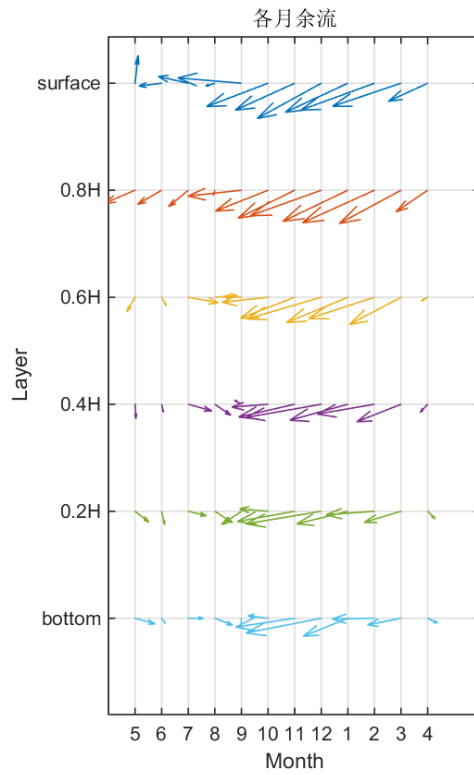


图 5.1-6 各月余流

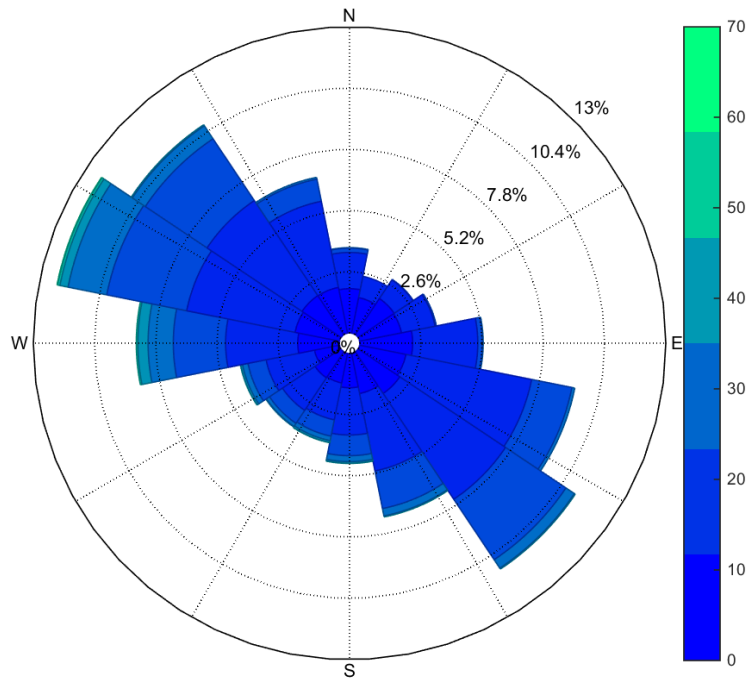


图 5.1-7 01 层潮流玫瑰图

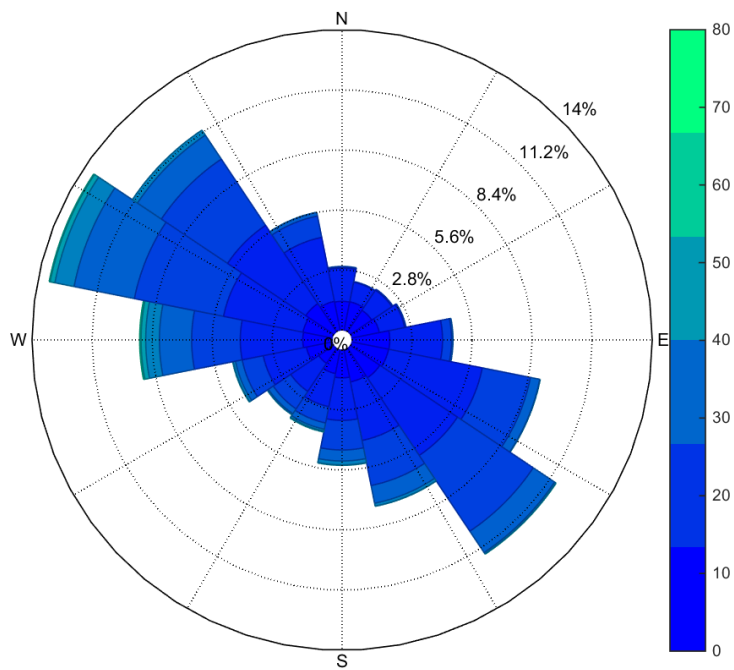


图 5.1-8 02 层潮流玫瑰图

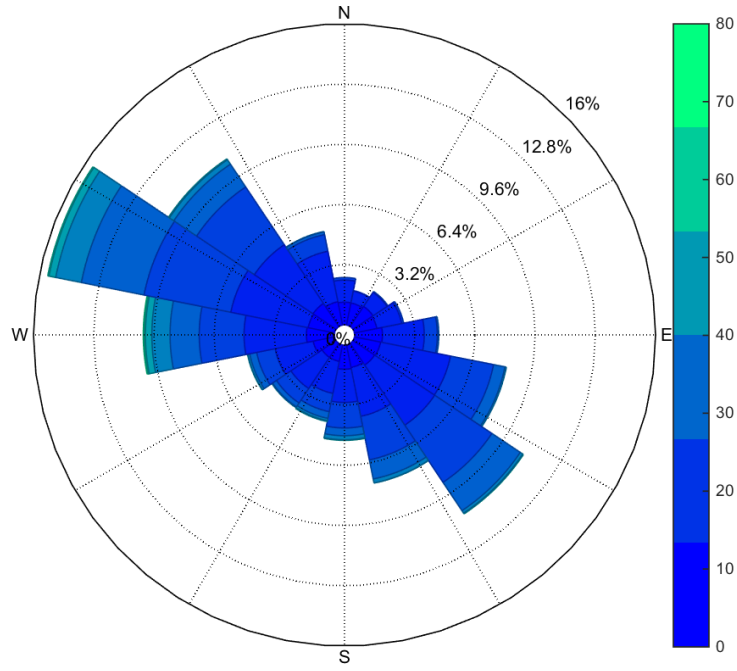


图 5.1-9 03 层潮流玫瑰图

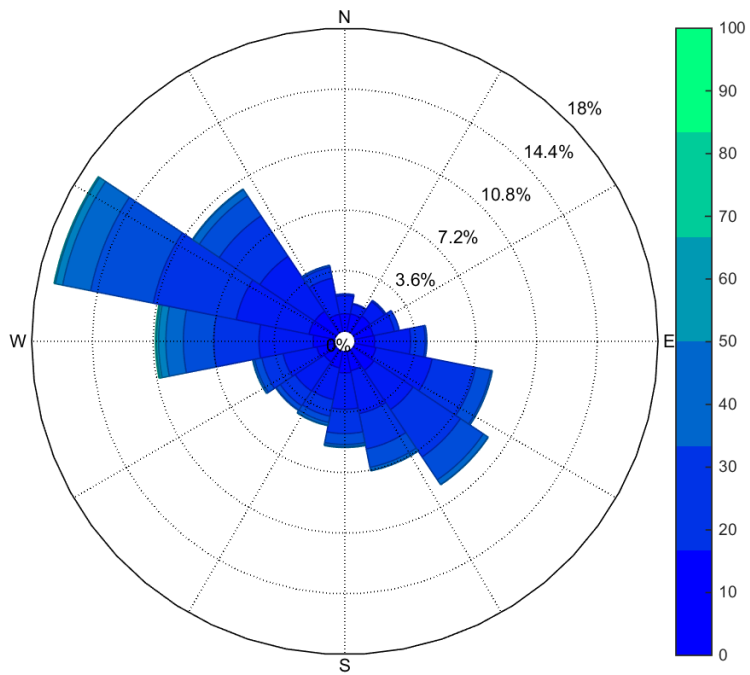


图 5.1-10 04 层潮流玫瑰图

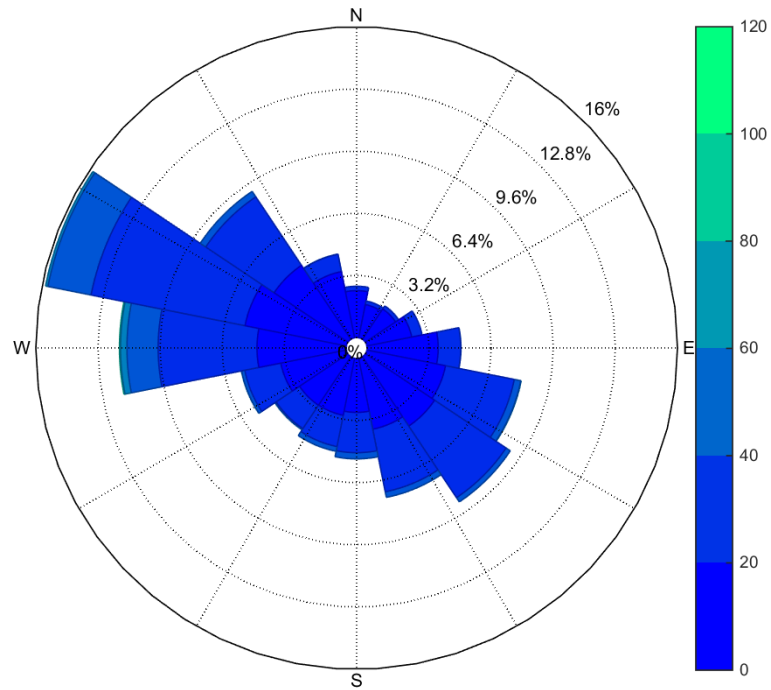


图 5.1-11 05 层潮流玫瑰图

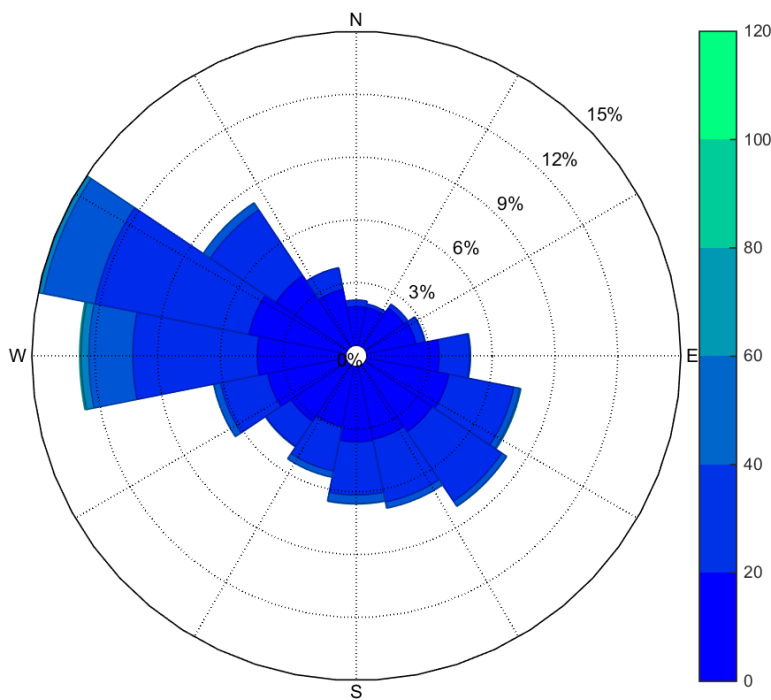


图 5.1-12 06 层潮流玫瑰图

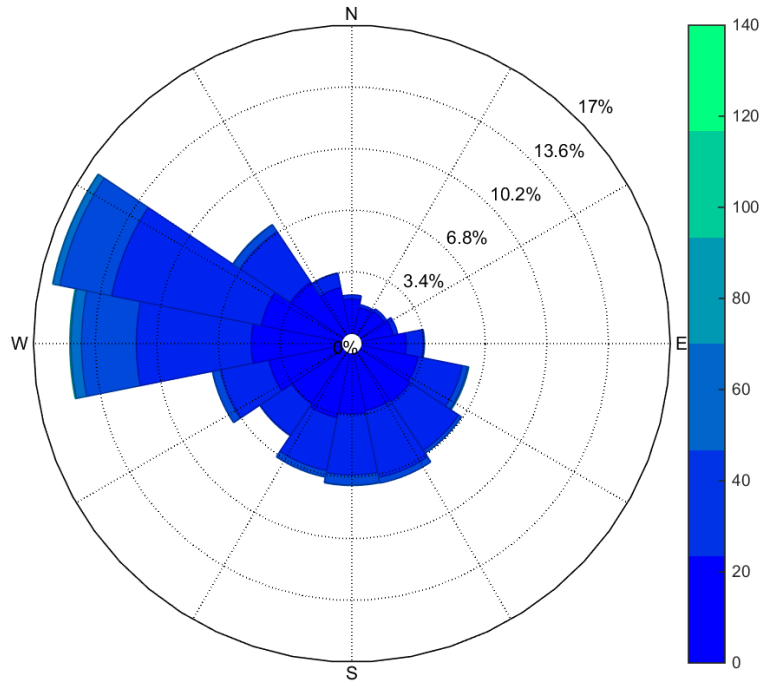


图 5.1-13 07 层潮流玫瑰图

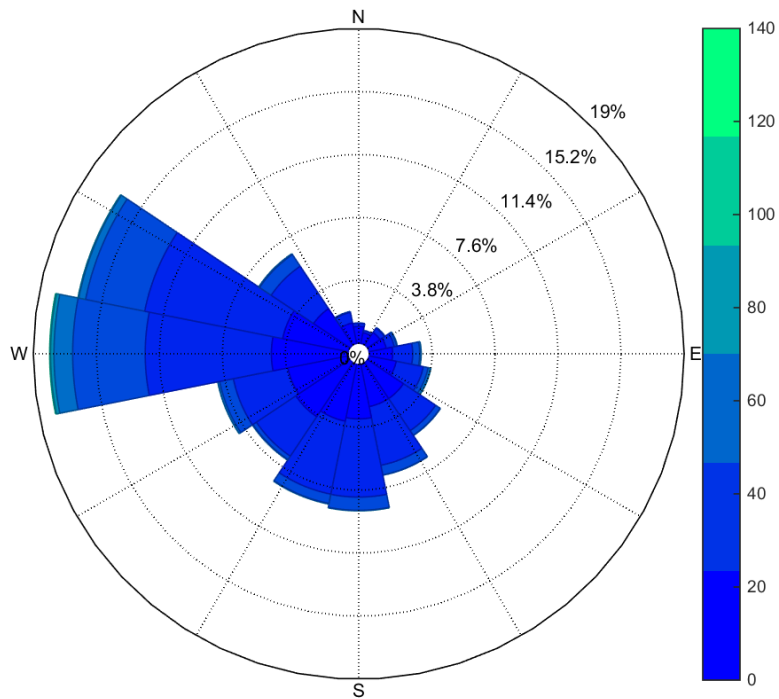


图 5.1-14 08 层潮流玫瑰图

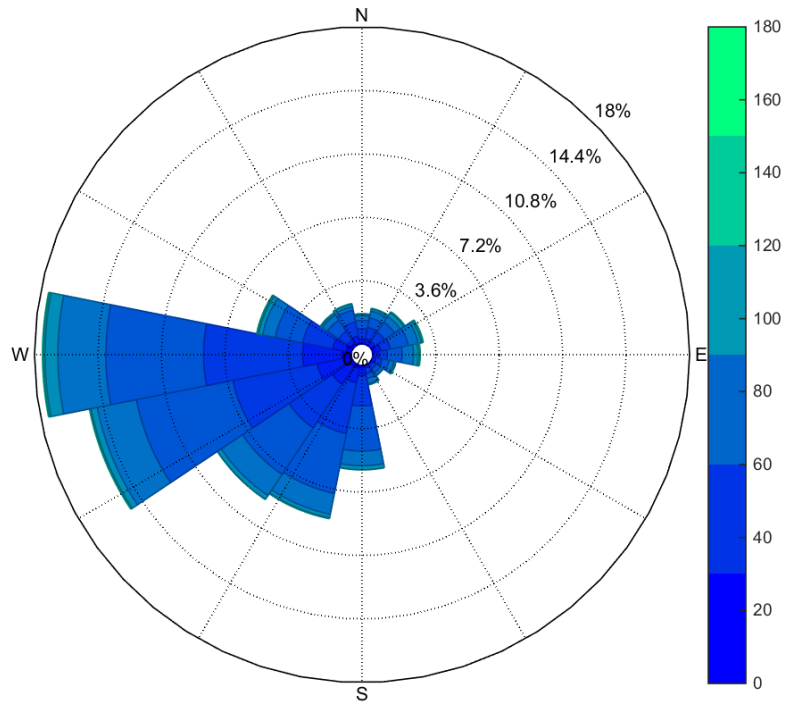


图 5.1-15 09 层潮流玫瑰图

5.1.1.5 海浪

(1) 波高

本观测年中，示范区年平均最大波高 H_m 达到 1.42m，月平均最大波高达到 1.42m 以上的有 2014 年 5~8 月、12 月，月平均最大波高的最大值为 1.69m，出现在 2014 年 7 月份。示范区测点年平均十分之一大波波高 $H_{1/10}$ 达到 1.09m，而月平均十分之一大波波高达到 1.09m 以上的有 2014 年 5~8 月、12 月，月平均十分之一大波波高的最大值为 1.30m，出现在 2014 年 7 月份。示范区测点年平均有效波高 H_s 达到 0.87m，而月平均有效波高达到 0.87m 以上的有 2014 年 5~8 月、12 月和 2015 年 1 月，月平均有效波高的最大值为 1.04m，出现在 2014 年 7 月。示范区测点年平均波高 H_z 达到 0.57m，而月平均波高达到 0.57m 以上的有 2014 年 5~8 月、12 月和 2015 年 1 月，月平均波高的最大值为 0.67m，出现在 2014 年 7 月。观测年中，示范区年最大波高 $H_m=10.75m$ ，年最大十分之一大波波高 $H_{1/10}=8.62m$ ，年最大有效波高 $H_s=7.06m$ ，年最大平均波高 $H_z=4.76m$ ，均出现在 2014 年 9 月份。

本观测年中，测试区年平均最大波高 H_m 达到 1.38m，月平均最大波高达到 1.38m

以上的有 2014 年 5~8 月、12 月和 2015 年 1 月，月平均最大波高的最大值为 1.62m，出现在 2014 年 12 月份。测试区测点年平均十分之一大波波高 $H_{1/10}$ 达到 1.06m，而月平均十分之一大波波高达到 1.06m 以上的有 2014 年 5~8 月、12 月和 2015 年 1 月，月平均十分之一大波波高的最大值为 1.25m，出现在 2014 年 12 月。测试区测点年平均有效波高 H_s 达到 0.86m，而月平均有效波高达到 0.86m 以上的有 2014 年 5~8 月、12 月和 2015 年 1 月，月平均有效波高的最大值为 1.01m，出现在 2014 年 12 月。测试区测点年平均波高 H_z 达到 0.56m，而月平均波高达到 0.56m 以上的有 2014 年 5~8 月、12 月和 2015 年 1 月，月平均波高的最大值为 0.65m，出现在 2014 年 7 月和 12 月。观测年中，测试区年最大波高 $H_m=11.04m$ ，年最大十分之一大波波高 $H_{1/10}=8.37m$ ，年最大有效波高 $H_s=6.56m$ ，年最大平均波高 $H_z=4.00m$ ，均出现在 2014 年 9 月份。

(2) 周期

本观测年中，示范区年最大波高对应的周期是 9.73s，浪向为 SE，出现在 2014 年 9 月 15 日 23 时，该过程中工程海区临时气象站测到的最大瞬时风速是 23.4m/s，风向是 NE。示范区波浪玫瑰图见图 5.1-16。

本观测年中，测试区年最大波高对应的周期是 15.07s，浪向为 SE，出现在 2014 年 9 月 16 日 05 时，该过程中工程海区临时气象站测到的最大瞬时风速是 23.4m/s，风向是 ENE。测试区波浪玫瑰图见图 5.1-17。

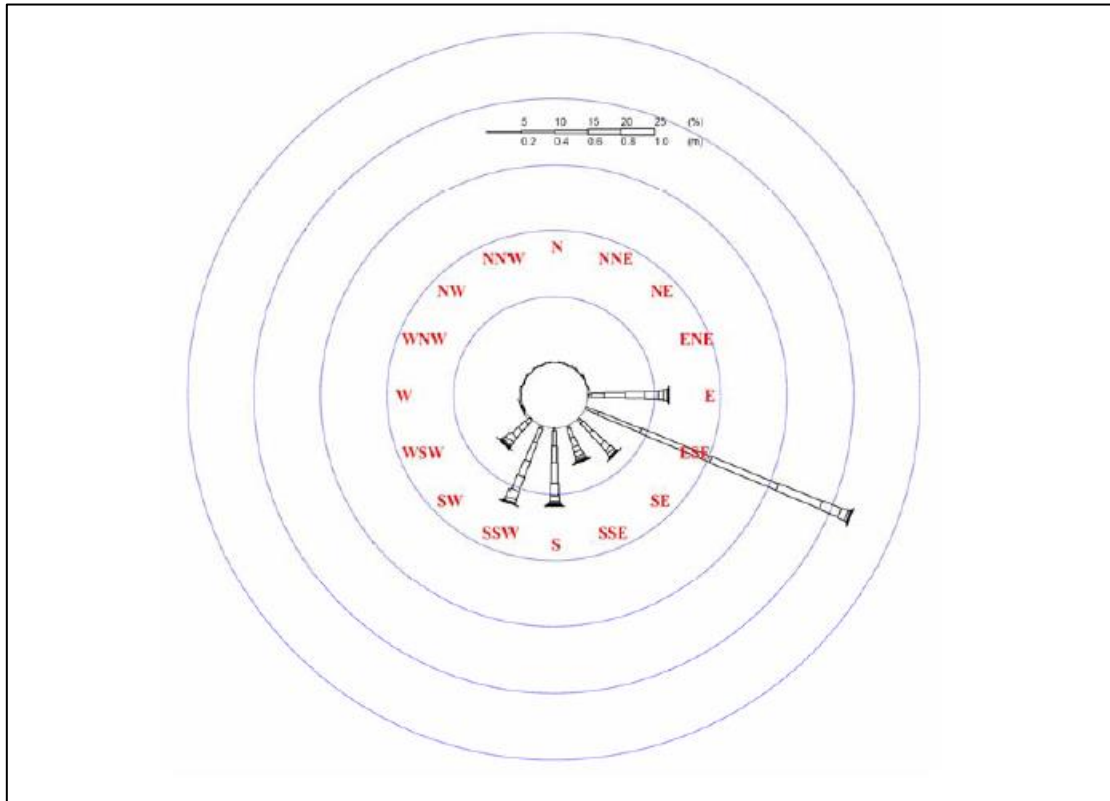


图 5.1-16 示范区 Hs 波浪玫瑰图 (2014-2015)

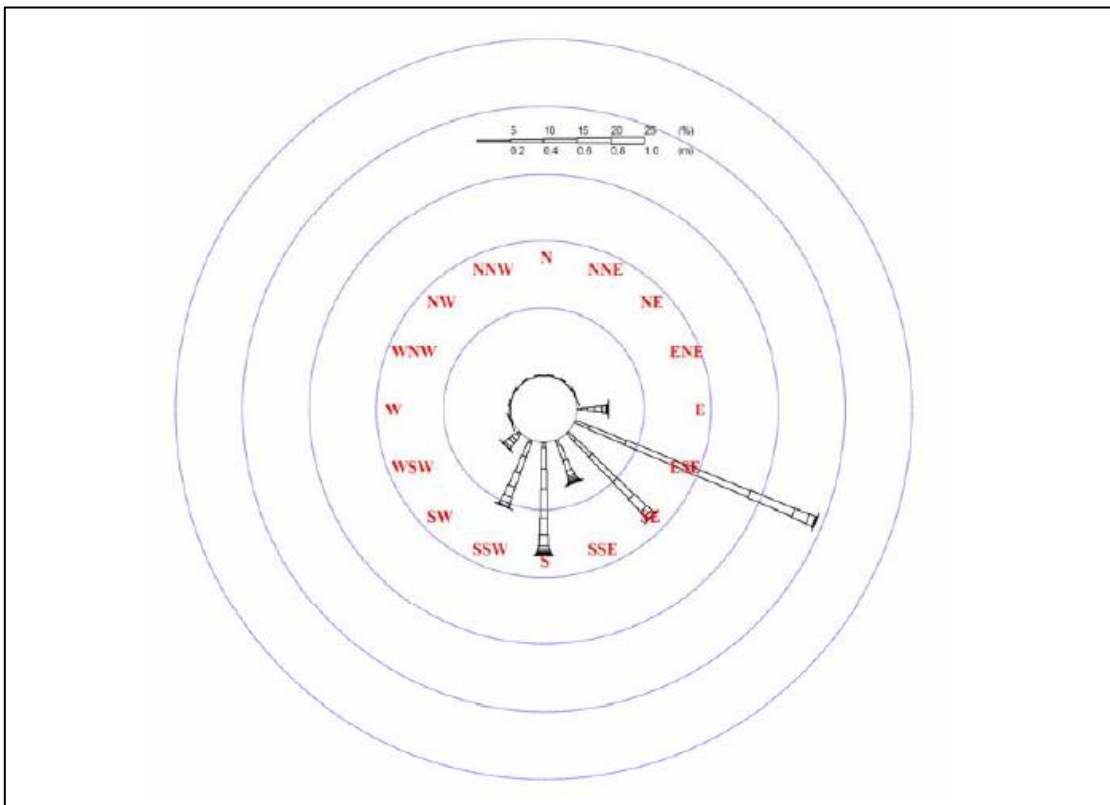


图 5.1-17 测试区 Hs 波浪玫瑰图 (2014-2015)

5.1.1.5 余流

余流是从实测海流中剔除天体引力所致的潮流之外的非周期流动，它主要受地形、径流、密度流和风等因素所制约。工程海域典型季风条件下余流流速流向见图 5.1-18。

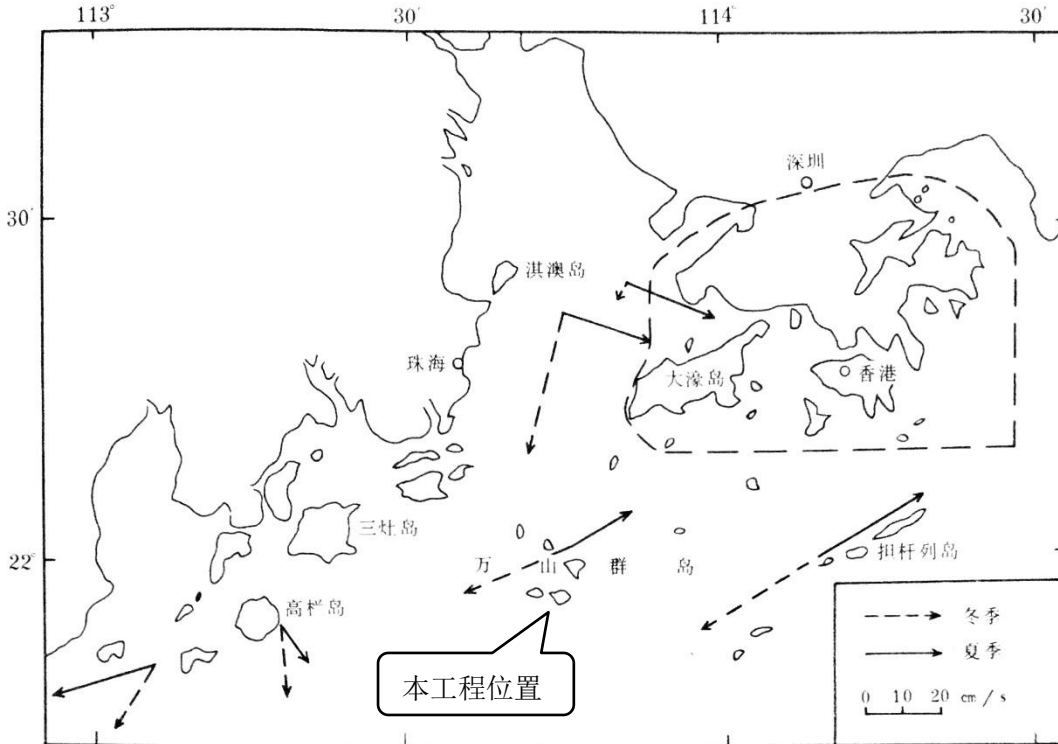


图 5.1-18 工程海域典型季风条件下余流流速流向示意图

根据本工程浪流潮年度观测报告（2014年4月25日~2015年4月24日），利用观测点6个(表层、0.2H、0.4H、0.6H、0.8H和底层)水层一年整点观测的海流资料进行了潮流调和分析，从中得到各层月季和年的平均余流。工程海域余流分布态势是在冬季最强，春季最弱。底层余流速度在冬季可达到8.87cm/s，春末夏初最小只有0.17cm/s左右。冬季表层余流可达20cm/s，夏季最弱为5.8cm/s。表层余流呈西南向，底层余流季节变化显著，冬季为西向流，夏季为东南向流。

5.2 地形地貌现状调查与评价

5.2.1 海底地形调查

为了解工程海域水下地形地貌，国家海洋局南海调查技术中心于 2017 年 7 月在工程海域开展了海底地形调查，根据多波束进行的海底地形调查结果（图 5.2-1、图 5.2-2），调查区内大万山岛近岸区域，离岛约 150m 区域，这个区域水深变化较大，等深线密集，水深由 7m 急剧变化至 20m。

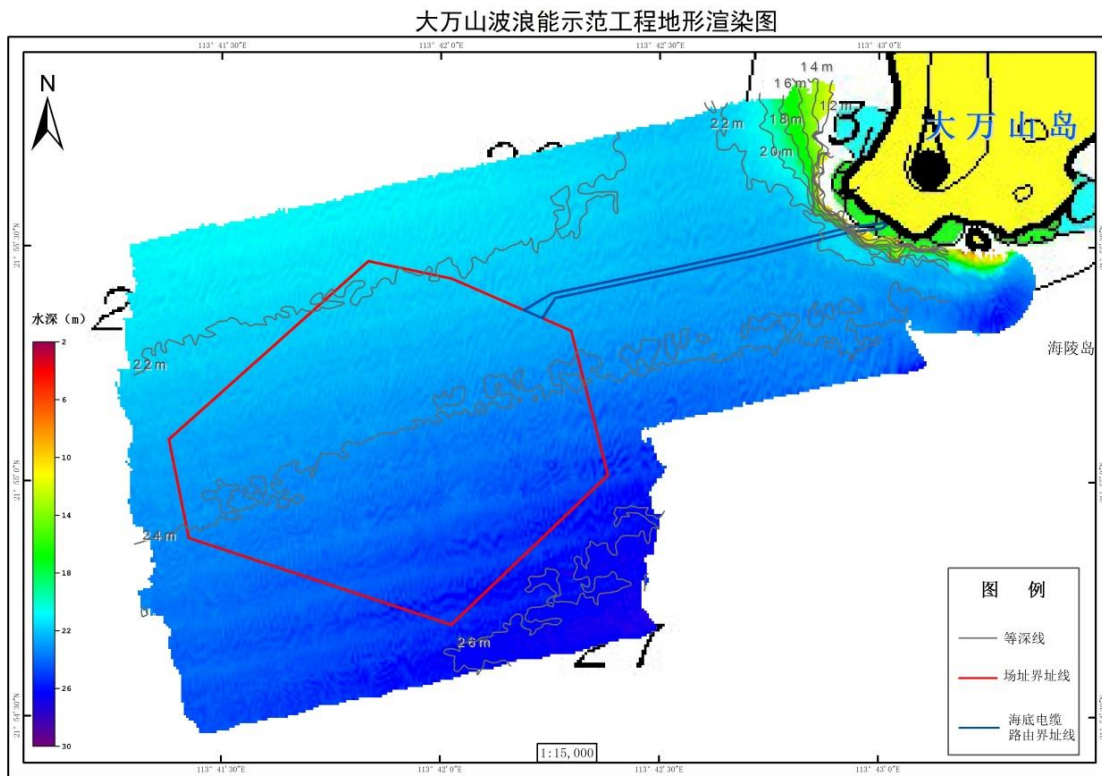


图 5.2-1 大万山波浪能示范工程地形渲染图

调查区域的其他区域整体地势较为平坦，整体趋势呈现为西北部向东南部倾斜，水深由西北部约 20m 逐渐变化至东南部 27m，其中，场址区域海底地形比较平坦，趋势是西北向东南倾斜，水深 22m 逐步向 26m 过度。电缆路由区域海底地形比较平坦，趋势是西北向东南倾斜，水深 22m 逐步向 24m 过度。

大万山岛波浪能示范工程三维地形渲染图

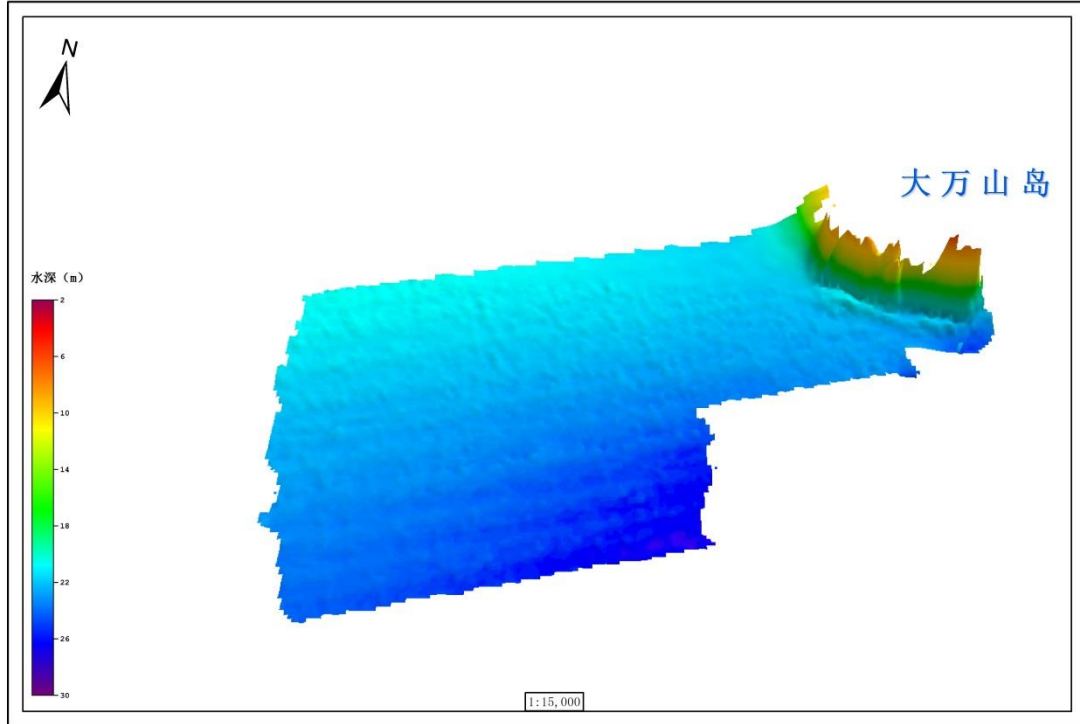


图 5.2-2 大万山波浪能示范工程海底三维地形渲染图

5.2.2 海底地貌调查

根据侧扫声呐进行的海底调查结果，调查区域内偶见零星分布些锚钩划痕（图 5.2-3）。通过资料回放分析，该海底表面地势平坦，无明显人工地貌体和其他障碍物。

岸坡附近坡度陡峭（图 5.2-3），大万山岛周围水域为水下三角洲，是三角洲的水下部分，发育于水下岸坡地带，表面坡度较为平缓，表层沉积物为含砂质的软泥。

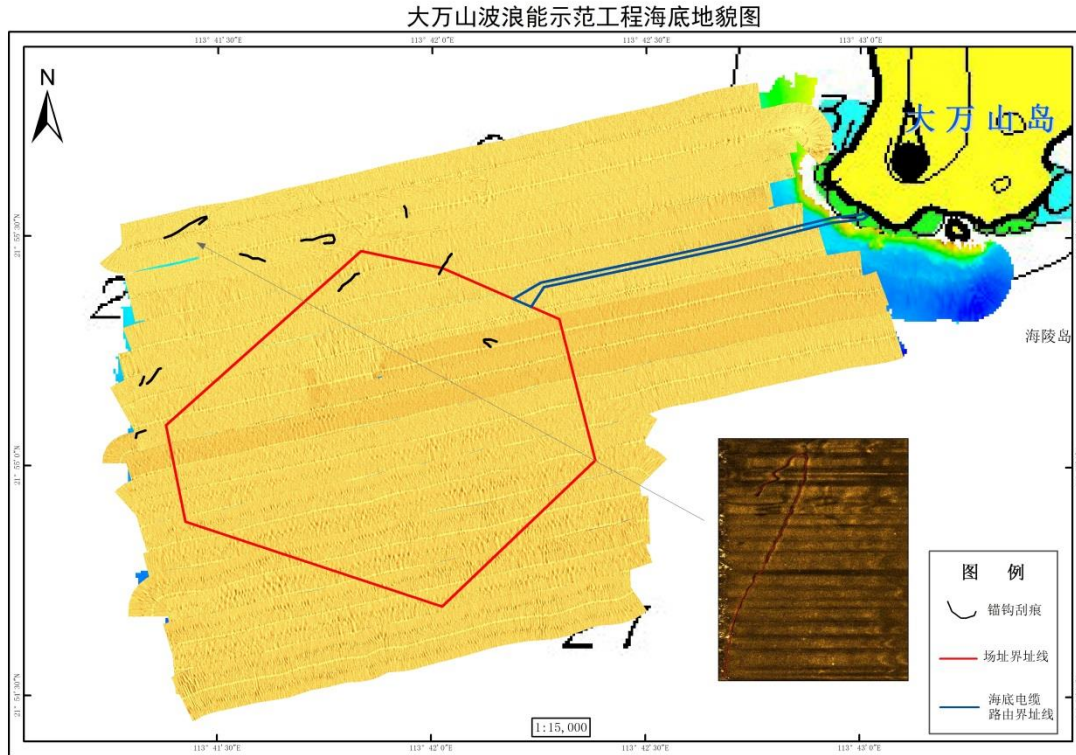


图 5.2-3 大万山波浪能示范工程海底地貌图

5.2.3 海域冲淤趋势分析

根据《珠海桂山海上风电新技术示范项目泥沙输运与冲刷专题分析报告》，利用 1976 年、1986 年和 2005 年的多幅历史海图资料，定性与定量分析工程区域的海床冲淤变化特征，图 5.2-4 和图 5.2-5 分别给出工程区域各个时期的岸线及等深线变化分布图。

由图 5.2-4 可知，1976 年至 1986 年期间，变化比较明显的是澳门附近海域，呈淤积状态，主要源自人工和自然两方面的原因，淤积较明显。大、小横琴岛之间的中心沟在 1976 年有 1m 以上的水深，到 1986 年已全部被堵死变成中心湖，原先的 2 个小岛合并成了 1 个大岛，即横琴岛。凼仔岛与路环岛之间的凼仔水道 1976 年水深在 1m 以上，到 1986 年全部淤积成小于 1m 的浅滩，凼仔岛与路环岛被浅滩连接起来，但大潮时高潮时仍有水相隔离，尚未成陆。澳门水道亦淤积变浅，1976 年小横琴北面有一条 2m 的深槽一直连接到凼仔水道，但到 1986 年全部消失变成 1m 以浅。环澳门半岛，1976 年有一条 2m 的深槽从澳门内港一直通向外海，但到 1986 年，澳门内港至外海 2m 的深槽基本消失，2m 深槽仅距澳凼大桥 1000m 左右的外海出现，2m 的深槽向外海前进

了 4000m 左右。北面澳门半岛的浅滩也向海淤进了 200m~600m。

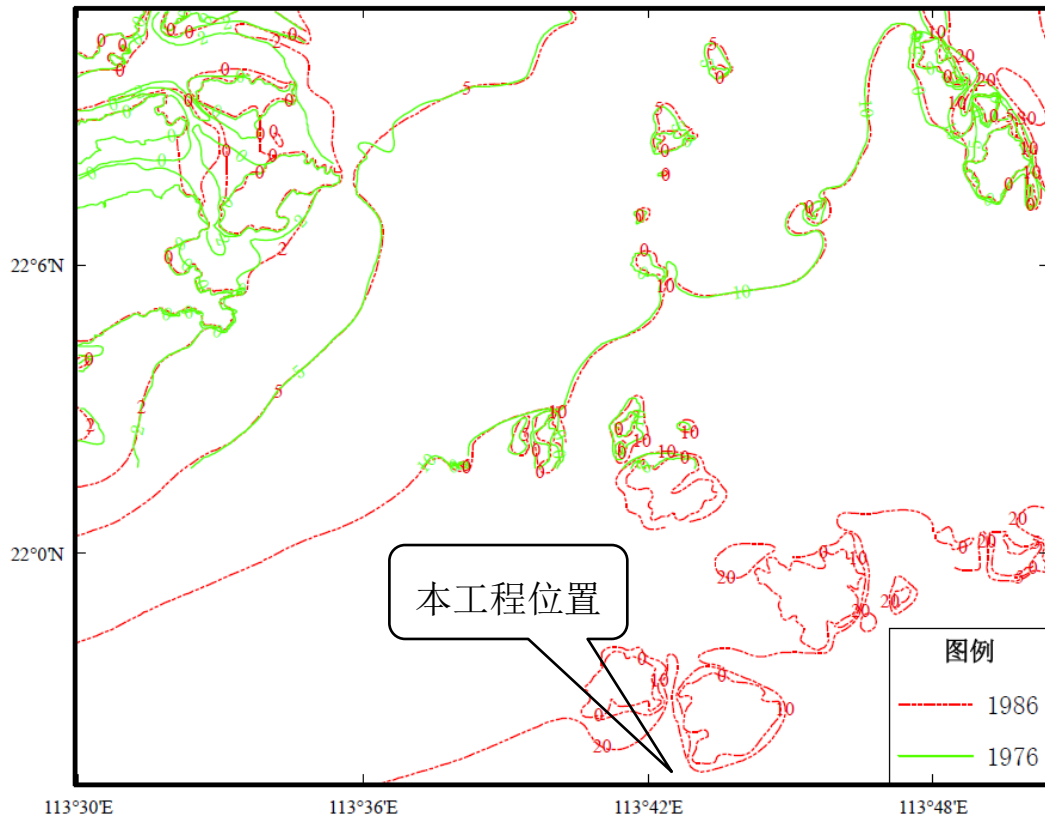


图 5.2-4 1976 年至 1986 年岸线及等深线变化分布图

由图 5.2-5 可知，1986 年至 2005 年期间，变化较明显的是研究区的西北部 10m 以浅的海域，海床总体呈现向外海淤积前进为主，局部海床出现冲刷。横琴岛北面马骝洲水道变化最明显，1986 年两侧海岸最窄处都超过 2250m，由于水道南北两侧海岸均向海推进，原来的大、小马骝洲岛跟北面陆地连接起来，岛屿消失，浅滩和岛屿全部变成陆地，马骝洲水道整体变窄，最宽处也不超过 500m。马骝洲水道北面海岸线向海推进最大达 1500m，南侧海岸向海推进亦达 900m 以上。澳门水道继续淤浅，1986 年在澳凼大桥和友谊大桥之间的 2m 深槽，继续向外海退缩，后退幅度超过 1500m。澳门半岛海岸线亦向海推进，推进幅度最大超过 700m。凼仔岛与路环岛之间浅滩到 2005 年已填筑成陆，两岛合并成一个大岛，即凼路岛。凼路岛东侧，1986 年 2m 等深线紧贴岸边，但由于澳门机场的建设，直接填海成陆，2m 等深线消失。5m 等深线，北面约 3700m 长的等深线成冲刷状态，等深线向陆方向前进了 800m 左右；南面等深线成淤积状态，等深线向海后退最大达 2700m，位于澳门机场以东。10m 等深线主要向海退缩，海退呈现淤积状态，其中大头洲东南侧等深线变化最大，向东南侧后退超过 2500m。

1986年至2005年期间，桂山岛附近岸线和等深线亦变化较明显，由于人工填筑，原来的桂山岛、中心洲、牛头岛连接在一起，合并大桂山岛，岸线和周边等深线变化剧烈。研究区东南面的万山群岛及20m等深线变化不明显，处于相对稳定的状态。

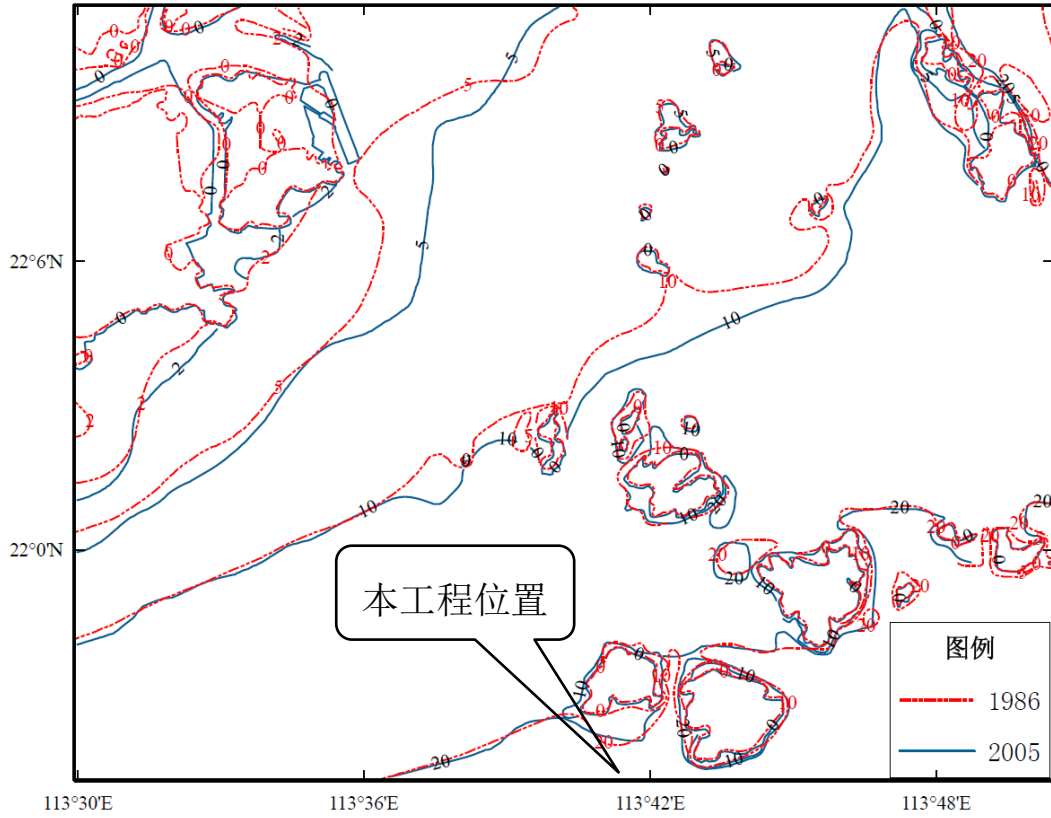


图 5.2-5 1986 年至 2005 年岸线及等深线变化分布图

5.3 海洋水质、沉积物环境现状监测与评价

5.3.1 环境质量现状调查

为了较全面地了解本评价海域及电缆路由海域环境质量现状，建设单位委托国家海洋局南海调查技术中心于工程附近海域开展了一期春季的海洋水质、沉积物及生态环境现状监测。

5.3.1.1 站位布设和调查时间

国家海洋局南海调查技术中心于 2016 年 4 月开展一期春季调查，设置水质调查站位 12 个，沉积物调查站位 7 个，调查断面方向大体上应与主潮流方向或海岸线垂直，调查点位布置覆盖整体评价范围，同时重点关注场址所在海域。调查站位图和站位表见图 5.3-1 和表 5.3-1。

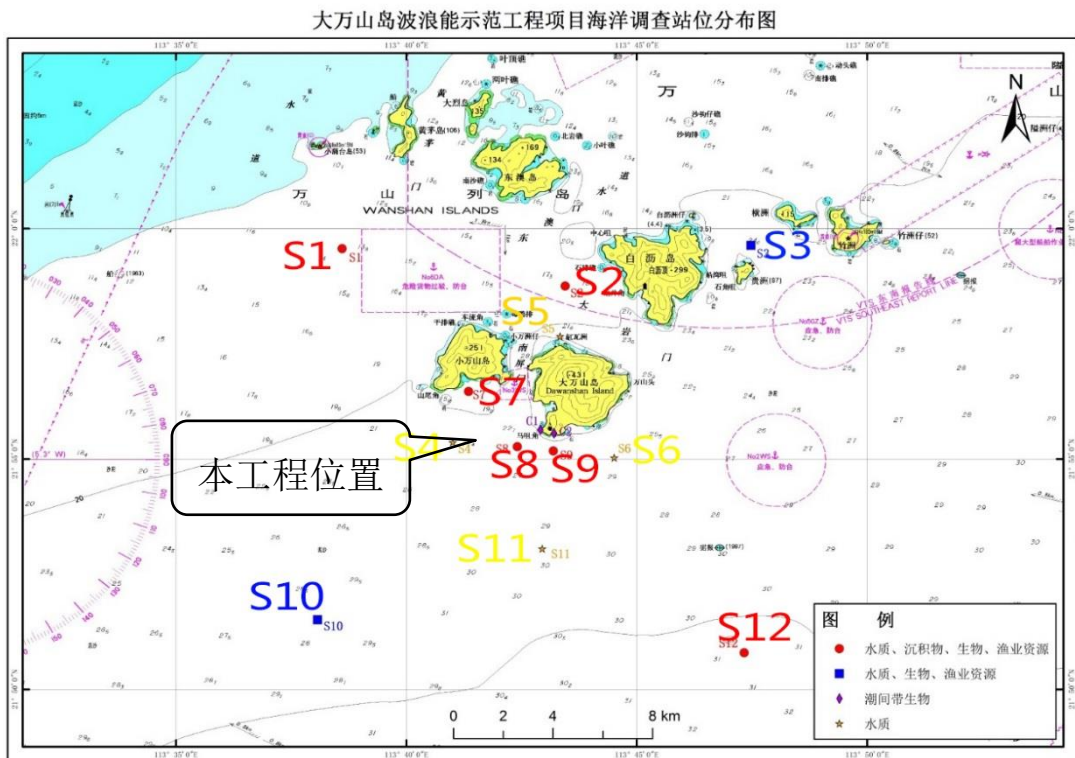


图 5.3-1 2016 年 4 月春季调查站位图

表 5.3-1 2016 年 4 月春季调查站位表

站号	东经	北纬	监测项目
S1	113°38'37.93"	22°0'32.02"	水质、沉积物、生物、渔业资源
S2	113°43'26.79"	22°58'45.29"	水质、沉积物、生物、渔业资源
S3	113°48'13.88"	21°59'47.03"	水质、生物、渔业资源
S4	113°41'0.52"	21°55'21.78"	水质
S5	113°43'20.32"	21°57'39.38"	水质
S6	113°44'30.76"	21°55'1.63"	水质
S7	113°41'21.12"	21°56'28.18"	水质、沉积物、生物、渔业资源
S8	113°42'22.47"	21°55'16.18"	水质、沉积物、生物、渔业资源
S9	113°43'14.79"	21°55'10.14"	水质、沉积物、生物、渔业资源
S10	113°37'38.49"	21°51'30.81"	水质、生物、渔业资源
S11	113°42'56.93"	21°53'3.26"	水质
S12	113°47'19.93"	21°50'47.83"	水质、沉积物、生物、渔业资源
c1	113°42'54.53"	21°55'38.04"	潮间带
c2	113°43'12.32"	21°55'33.76"	潮间带

5.3.1.2 调查项目与分析方法

海水水质共调查 24 项，包括：水深、水温（分层）、pH、溶解氧（DO）、盐度、生化需氧量（BOD₅）、化学耗氧量（COD_{Mn}）、总悬浮物（SS）、硝酸盐氮（NO₃-N）、氨氮（NH₄-N）、亚硝酸盐氮（NO₂-N）、活性磷酸盐（PO₄-P）、石油类、总铬、总汞、砷、铜、铅、锌、镉、硫化物、氰化物、氟化物、挥发性酚。采样和分析方法按《海洋调查规范》（GB/T12763-2007）和《海洋监测规范》（GB17378-2007）进行，见表 5.3-2。

海水沉积物调查 14 项，包括粒度、pH、氧化还原电位（Eh）、泥温、石油类、硫化物、汞、铜、铅、镉、锌、总铬、砷、有机碳。

沉积物样品的采取和分析方法按《海洋监测规范》（GB17378—2007）和《海洋调查规范》（GB/T12763—2007）的要求进行，见表 5.3-3。

表 5.3-2 海水水质项目分析方法一览表

序号	监测项目	样品采集、预处理及保存方法	样品测定方法	检出限
一	水文项目			
1	水深	现场测定	重锤	-
2	水温	现场测定	颠倒式温度计法	-
3	盐度	现场测定	盐度计法	-
二	水化学项目			
4	pH	现场测定	pH 计电测法	-
5	溶解氧(DO)	加 1mL MnCl ₂ 和 1mL KI-NaOH 溶液固定，现场测定	碘量滴定法	5.3μmol/L

大万山岛波浪能示范工程环境影响报告书

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
6	化学需氧量(COD _{Mn})		现场测定	碱性高锰酸钾法	-
7	生化需氧量 (BOD ₅)		250~300mL 磨口玻璃瓶, 6h 内开始分析或 4℃或 4℃以下保存, 不得超过 24h	五日培养法	-
8	总悬浮物		0.45 μm, φ60mm 微孔滤膜现场过滤	重量法	-
9	营养盐	亚硝酸盐 (NO ₂ -N)	现场用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤、现场测定或过滤后-20℃冷冻保存	重氮-偶氮法	0.02μmol/L
10		硝酸盐 (NO ₃ -N)		锌镉还原法或铜镉还原法	0.05μmol/L
11		氨盐 (NH ₄ -N)		次溴酸钠氧化法	0.03μmol/L
12		活性磷酸盐 (PO ₄ -P)		抗坏血酸还原磷钼蓝法	0.02μmol/L
13	石油类		正己烷萃取	紫外分光光度法	3.5μg/L
14	挥发性酚		加 H ₃ PO ₄ 至 pH<4, 每升水样加 2 g 硫酸铜(CuSO ₄ ·5H ₂ O)	4-氨基安替比林分光光度法	1.1ug/L-
15	氰化物		加 NaOH 至 pH12~13	吡啶-巴比土酸分光光度法	0.5ug/L
16	氟化物		聚乙烯瓶避光保存	离子选择电极法	0.05mg/L
17	硫化物		每升水样加 1 mL 乙酸锌溶液 (50 g/L)	亚甲基蓝分光光度法	0.2ug/L
18	重金属	总汞 (Hg)	加 H ₂ SO ₄ 至 pH<2	原子荧光分光光度法	0.001μg/L
19		镉 (Cd)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.01μg/L
20		铅 (Pb)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.03μg/L
21		铜 (Cu)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.2μg/L
22		总铬 (Cr)	加 H ₂ SO ₄ 至 pH<2 低温冷藏	无火焰原子吸收分光光度法	0.4μg/L
23		砷 (As)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 H ₂ SO ₄ 至 pH<2 低温冷藏	原子荧光分光光度法	0.5μg/L
24		锌 (Zn)	用 0.45μm, φ60mm 微孔滤膜过滤加 HNO ₃ 至 pH<2 低温冷藏	火焰原子吸收分光光度法	3.1μg/L

表 5.3-3 沉积物项目分析方法一览表

序号	监测项目	保存方法	样品测定方法	检出限
1	硫化物	1ml 乙酸锌固定	亚甲基蓝分光光度法	0.3mg/kg
2	汞 (Hg)	聚乙烯袋装, 冷冻避光保存	原子荧光分光光度法	
3	铜 (Cu)		无火焰原子吸收分光光度法	2.0 mg/kg
4	铅 (Pb)			3.0 mg/kg
5	镉 (Cd)			0.04mg/kg
6	锌 (Zn)		火焰原子吸收分光光度法	6.0 mg/kg
7	油类		荧光分光光度法	
8	有机碳		重铬酸钾氧化-还原容量法	0.1%
9	总铬 (Cr)		无火焰原子吸收分光光度法	2.0 mg/kg
10	砷		原子荧光分光光度法	0.06 mg/kg
11	pH		现场测定	pH 计法
12	粒度	聚乙烯袋装, 常温保存	激光粒度法	-
13	泥温	现场测定	温度计法	-
14	Eh	现场测定	Eh 计法	-

海洋生态调查项目为：叶绿素 a、初级生产力、浮游植物、浮游动物（含鱼卵、仔鱼）、底栖生物定性（定性 2 个站位）和定量调查（种类组成、个体数量、生物量及栖息密度）、潮间带生物定性或定量调查（种类组成、个体数量、生物量及栖息密度）和游泳生物等的种类和数量。

预处理、保存及监测分析方法按照《海洋调查规范》（GB/T12763.6-2007）、《海洋监测规范》（GB17378—2007）和《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）进行。海洋生物质量测定项目包括铜（Cu）、铅（Pb）、锌（Zn）、镉（Cd）、汞（Hg）和石油烃（TPHs），各项的测定方法参照海洋化学调查技术规程（国家海洋局 908 专项办公室编，2006），具体见表 5.3-4。

表 5.3-4 海洋生物质量各检测项目的测定方法与检出限

检测参数	分析方法	检验方法标准	检出限(mg/kg)
Cu	无火焰原子吸收分光光度法	海洋化学调查技术规程	0.20
Pb	无火焰原子吸收分光光度法	海洋化学调查技术规程	0.20
Zn	火焰原子吸收分光光度法	海洋化学调查技术规程	0.20
Cd	无火焰原子吸收分光光度法	海洋化学调查技术规程	0.10
Cr	无火焰原子吸收分光光度法	海洋化学调查技术规程	0.20
As	原子荧光分光光度法	海洋化学调查技术规程	0.05

检测参数	分析方法	检验方法标准	检出限(mg/kg)
Hg	原子荧光光度法	海洋化学调查技术规程	0.01
TPHs	荧光分光光度法	海洋化学调查技术规程	0.02

5.3.1.3 采样方法

海水水质调查所用调查船只进入预定站位，使用 DGPS 进行定位，测量水深，根据水深采集水样，其中水深小于或等于 10m 按表、底层取样，水深大于 10m 按表、中、底三层取样，其中表层为距表面 0.5m、中层为 0.6h、底层为离底 1.0m，并进行分装、预处理、编号记录、保存。该海区海图水深约 20m~30m，因此水质采样均按每站表、中、底三层取样进行样品瓶和试剂的准备。

沉积物调查用 0.1m² 的抓泥斗采表层（0~10cm）沉积物

海洋生物调查用 5% 中性甲醛溶液固定样品。

5.3.1.4 调查结果

（1）水质调查结果

2016 年 4 月调查共 12 个站位，涨潮期和落潮期各调查要素统计见表 5.3-5~5.3-6。

2016 年 4 月涨潮期各水质要素的分布特征如下：

● 水深

涨潮期各站水深为 14.0m~32.0m，平均水深 24.9m。S1 站的水深最小，S12 站的水深最大。

● 水温

各站水温为 18.8℃~22.3℃，平均水温为 19.8℃。

● pH

各站 pH 的变化范围为 8.12~8.33，平均 pH 为 8.23。最低 pH 出现在 S7 号站的底层，最高 pH 出现在 S2、S11 号站的表层。

● 盐度

各站盐度的变化范围为 27.018~33.035，平均盐度为 31.022。最低盐度出现在 S1 号站的表层，最高盐度出现在 S5 号站的底层。

● 溶解氧（DO）

各站 DO 的变化范围为 5.98mg/L~11.97mg/L，平均 DO 为 8.21mg/L。最低 DO 出现在 S5 号站的底层，最高 DO 出现在 S11 号站的表层。

- 化学需氧量 (COD_{Mn})

各站 COD_{Mn} 的变化范围为 0.06mg/L~0.90mg/L, 平均 COD_{Mn} 为 0.51mg/L。最低 COD_{Mn} 出现在 S8 号站底层, 最高 COD_{Mn} 出现在 S7 站表层。

- 悬浮物

各站悬浮物的变化范围是 1.9 mg/L ~16.9 mg/L, 平均为 8.40mg/L。最低悬浮物含量出现在 S3 号站的表层, 最高悬浮物含量出现在 S7 号站的底层。

- 石油类

各站石油类的变化范围为 0.006mg/L~0.057 mg/L, 平均石油类含量为 0.021mg/L。最低石油类出现在 S12 号站表层, 最高石油类出现在 S1 号站的表层。

- 无机氮

各站无机氮的变化范围为 0.03mg/L~0.33mg/L, 平均无机氮为 0.12mg/L。最低无机氮出现在 S3 号站表层, 最高无机氮出现在 S12 号站的表层和中层。

- 活性磷酸盐

各站活性磷酸盐的变化范围为未检出 ~0.0069mg/L, 各层水样活性磷酸盐浓度均较低。

- 铜

各站铜含量的变化范围为 1.1μg/L~17.5μg/L, 平均铜含量为 3.2μg/L。最低铜含量出现在 S6 号站的中层, 最高铜含量出现在 S10 底层。

- 铅

各站铅含量的变化范围为 0.09μg/L~2.06μg/L, 平均铅含量为 0.5μg/L。最低铅含量出现在 S8 号站底层, 最高铅含量出现在 S10 号站的中层。

- 锌

各站锌含量的变化范围为 3.4~10.9μg/L, 平均锌含量为 6.2μg/L。最低锌浓度出现在 S3 号站的表层, 最高锌含量出现在 S13 号站的底层。

- 镉

各站镉含量的变化范围为 0.01μg/L ~0.33μg/L, 平均镉含量为 0.04μg/L。最低镉含量出现在 S5 号站的底层、S6 号站的中层、S8 号站的中层、S9 号站的表层和中层、S12 号站的中层, 最高镉含量出现在 S7 号站的表层。

- 砷

各站砷含量的变化范围为未检出~0.8 $\mu\text{g/L}$ ，平均砷含量为 0.7 $\mu\text{g/L}$ ，最高砷浓度出现在 S4 号站的底层、S5 号站的底层、S7 号站的中层和底层。

- 总铬

各站总铬含量的变化范围为未检出 ~2.7 $\mu\text{g/L}$ ，平均总铬含量为 0.9 $\mu\text{g/L}$ ，检出率为 36.1%。最高总铬含量出现在 S6 号站的底层。

- 总汞

各站总汞含量的变化范围为 0.010 $\mu\text{g/L}$ ~0.160 $\mu\text{g/L}$ ，平均总汞含量为 0.044 $\mu\text{g/L}$ 。最低总汞含量出现在 S12 号站的底层，最高总汞含量出现在 S9 号站的底层。

- 挥发酚

各站挥发酚含量的变化范围为 1.5 $\mu\text{g/L}$ ~2.3 $\mu\text{g/L}$ ，平均挥发酚含量为 1.8 $\mu\text{g/L}$ 。最低值出现在 S3 号站的中层、S4 号站的表层、S5 号站的中层、S6 号站的底层、S8 号站的中层和底层、S11 号站的表层。最高挥发酚浓度出现在 S1 号站表层。

- 生化需氧量（BOD₅）

各站 BOD₅ 含量的变化范围为 0.3mg/L~0.9mg/L，平均含量为 0.5mg/L。最低值出现在 S2 号站的中层、S4 号站的表层和 S11 号站的表层。最高挥发酚浓度出现在 S9、S10 号站表层。

- 氟化物

各站氟化物含量的变化范围为 0.66mg/L ~0.84mg/L，平均含量为 0.76mg/L。最低值出现在 S5 号站的表层。最高浓度出现在 S3 号站的中层。

- 氰化物

各站氰化物均未检出。

- 硫化物

2016 年 4 月调查，各站硫化物含量的变化范围为 0.2mg/L ~0.9mg/L，平均含量为 0.5mg/L。最低值出现在 S1 号站的中层和底层、S2 号站的表层和 S8 号站的中层。最高浓度出现在 S10 号站的表层和 S12 号站的表层、中层。

（3）沉积物质量调查结果

2016 年 4 月沉积物质量调查结果特征值统计见表 5.3-9。2016 年 4 月数据统计结果如下：

- 泥温

泥温的变化范围是 19.5℃~21.3℃，平均为 20.4℃。

- pH

pH 的变化范围是 7.805~8.107，平均为 9.742。pH 最小出现在 S1 号站，最大出现在 S10 号站。

- Eh

Eh 的变化范围是未检出~124mv，平均为 75.3mv。Eh 未检出站出现在 S10 号站，最大出现在 S2 号站。

- 有机碳

有机碳的变化范围是 $(0.5\sim 1.2) \times 10^{-2}$ ，平均为 0.9×10^{-2} 。有机碳最小出现在 S2 和 S12 号站，最大出现在 S9 号站。

- 硫化物

硫化物的变化范围是 $(\text{未检出}\sim 46) \times 10^{-6}$ ，平均为 16.89×10^{-6} 。硫化物未检出站出现在 S2 号站，最大出现在 S9 号站。

- 石油类

本次调查海域，石油类的变化范围是 $(12.8\sim 58) \times 10^{-6}$ ，平均为 33×10^{-6} 。石油类最小值出现在 S12 号站，最大值出现在 S9 号站。

- 铜

铜的变化范围是 $(12.0\sim 28.0) \times 10^{-6}$ ，平均为 17.4×10^{-6} 。铜最小出现在 S2 号站，最大出现在 S1 号站。

- 铅

铅的变化范围是 $(31.0\sim 43.0) \times 10^{-6}$ ，平均为 36.1×10^{-6} 。铅最小出现在 S10 号站，最大出现在 S8 号站。

- 锌

锌的变化范围是 $(75.0\sim 114.0) \times 10^{-6}$ ，平均为 100.4×10^{-6} 。锌最小出现在 S2 号站，最大出现在 S9 号站。

- 镉

镉的变化范围是 $0.05\sim 0.14 \times 10^{-6}$ ，平均为 0.07×10^{-6} 。镉最小出现在 S2、S7 号站，最大出现在 S1 号站。

- 总汞

总汞的变化范围是 $(0.062\sim 0.160) \times 10^{-6}$ ，平均为 0.087×10^{-6} 。总汞最小出现在 S7 号站，最大出现在 S1 号站。

● 砷

砷的变化范围是 $(7.6\sim 15) \times 10^{-6}$ ，平均为 9.6×10^{-6} 。砷最小出现在 S2 号站，最大出现在 S1 号站。

● 铬

铬的变化范围是 $(40.1\sim 78.0) \times 10^{-6}$ ，平均为 61.7×10^{-6} 。铬最小出现在 S2 号站，最大出现在 S8 号站。

表 5.3-5 2016 年 4 月涨潮期海水水质调查结果

项目		最小值	最大值	平均值	检出率
石油类	(mg/L)	0	0.1	0	100%
溶解氧		5.98	11.97	8.21	100%
悬浮物		1.9	16.9	8.4	100%
无机氮		0.03	0.33	0.12	100%
磷酸盐		-	0.0069	0.0019	64%
COD		0.06	0.9	0.51	100%
BOD ₅		0.3	0.9	0.5	100%
氟化物		0.7	0.83	0.76	100%
铅		(μg/L)	0.09	2.06	0.5
铜	1.1		17.5	3.2	100%
镉	0.01		0.33	0.04	100%
锌	3.4		10.9	6.2	100%
砷	-		0.8	0.7	75%
铬	-		0.8	0.6	36%
汞	0.01		0.16	0.049	100%
氰化物	-		-	-	0%
硫化物	0.2		0.9	0.6	100%
挥发酚	1.5		2.3	1.8	100%

表 5.3-6 2016 年 4 月落潮期海水水质调查结果

站号		最小值	最大值	平均值	检出率
石油类	(mg/L)	0.005	0.234	0.041	100%
溶解氧		6.67	9.57	8.05	100%
悬浮物		3.2	17.3	8.1	100%
无机氮		0.04	0.41	0.13	100%
磷酸盐		0.0002	0.0035	0.0009	47%
COD		0.28	1.25	0.65	100%
BOD ₅		0.3	0.8	0.5	100%
氟化物		0.69	0.78	0.74	100%
铅	(μg/L)	0.01	1.6	0.39	100%

铜		1.1	5.6	2.3	100%
镉		0.01	0.07	0.03	100%
锌		3.6	10.5	6.6	100%
砷		-	1.4	0.73	64%
铬		-	1.2	0.71	58%
汞		0.004	0.15	0.045	100%
氰化物		-	-	-	0%
硫化物		0.2	0.7	0.4	100%
挥发酚		1.3	2.1	1.73	100%

表 5.3-7 2016 年 4 月沉积物化学调查结果统计表

项目		最小值	最大值	平均值
泥温	℃	19.5	21.3	20.4
Eh	mv	29	124	75
pH		7.805	8.107	7.942
有机碳	%	0.5	1.2	0.9
石油类	mg/kg	12.8	58.0	33.0
硫化物		0.5	46.0	16.8
总铅		31	43	36
总镉		0.05	0.14	0.07
总锌		75	114	100
总铜		12	28	17
总砷		7.6	15.0	9.6
总汞		0.062	0.160	0.087
总铬		40.1	78.0	61.7

表 5.3-8 2016 年 4 月沉积物粒度分析结果统计表

站位	粒组质量百分数 (%)			沉积物类型
	砂	粉砂	黏土	
S1	11.02	66.83	22.15	粘土质粉砂
S2	41.03	41.34	17.64	砂质粉砂
S7	17.36	60.81	21.84	粘土质粉砂
S8	4.52	69.27	26.21	粘土质粉砂
S9	5.97	69.73	24.31	粘土质粉砂
S10	14.37	62.77	22.86	粘土质粉砂
S12	8.36	70.62	21.01	粘土质粉砂
S12 内检样	8.30	70.75	20.94	粘土质粉砂

5.3.2 海洋水质及沉积物现状评价

5.3.2.1 评价标准

根据《广东省海洋功能区划（2011-2020 年）》评价海域海水水质执行《海水水质标准》二类标准；沉积物执行《海洋沉积物质量标准》第一类标准；双壳类海洋生物质量执行《海洋生物质量标准》第一类标准，非双壳类海洋生物体内污染物质（除石油烃外）

含量评价标准采用《全国海岸和海涂资源综合调查简明规程》中规定的生物质量标准，石油烃含量的评价标准采用《第二次全国海洋污染基线调查技术规程》（第二分册）中规定的生物质量标准。

5.3.2.2 评价方法

采用环境质量单因子评价标准指数法进行海域水质的现状评价，如果评价因子的标准指数值 >1 ，则表明该因子超过了相应的水质评价标准，已经不能满足相应功能区的使用要求。反之，则表明该因子能符合功能区的使用要求。

单项水质评价因子 i 在第 j 取样点的标准指数：

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

式中： $C_{i,j}$ —水质评价因子 i 在第 j 取样点的实测浓度值， mg/L ；

C_{si} —水质评价因子 i 的评价标准， mg/L 。

DO 的标准指数为：

$$S_{DO,j} = |DO_f - DO_j| / (DO_f - DO_s) \quad \text{当 } DO_j \geq DO_s \text{ 时；}$$

$$S_{DO,j} = 10 - 9DO_j / DO_s \quad \text{当 } DO_j < DO_s \text{ 时；}$$

$$DO_f = 468 / (31.6 + T)$$

式中： $S_{DO,j}$ ：饱和溶解氧在第 j 取样点的标准指数；

DO_f ：饱和溶解氧浓度， mg/L ；

DO_j ： j 取样点水样溶解氧的实测浓度值， mg/L ；

DO_s ：溶解氧的评价标准， mg/L ；

T ：水温， $^{\circ}\text{C}$ 。

pH 的标准指数为：

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

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

式中： $S_{pH,j}$ ：pH 在第 j 取样点的标准指数；

pH_j ： j 取样点水样 pH 实测值；

pH_{sd} ：评价标准规定的下限值；

pH_{su} ：评价标准规定的上限值。

沉积物质量评价也采用单因子标准指数法进行，具体评价方法与水质现状评价相

同。

5.3.2.3 水质现状评价

2016年4月水质各评价因子的标准指数计算结果列于表 5.3-9、5.3-10，达标评价结果见表 5.3-11、5.2-12。

2016年4月各水质要素的评价值分析如下。

2016年4月涨潮期水质中的活性磷酸盐、镉、锌、砷、铅、铜、汞、总铬、pH、COD、硫化物、挥发酚、BOD₅、溶解氧符合水质二类标准；石油类超标率 8.33%、无机氮超标率 2.78%。

2016年4月落潮期水质中的活性磷酸盐、镉、锌、砷、铅、铜、汞、总铬、pH、COD、硫化物、挥发酚、BOD₅、溶解氧符合水质二类标准；石油类超标率 16.67%、无机氮超标率 5.56%。

对超过二类标准的水质样品采用三类标准评价，因此类推共进行四类标准评价。评价结果见表 5.3-13，所有样品均水质评价均符合水质四类标准。

表 5.3-9 2016 年 4 月涨潮期水质一类标准评价结果

站号	溶解氧	石油类	无机氮	活性磷酸盐	铅	铜	镉	锌	砷	铬	汞	pH	COD	硫化物	挥发酚	BOD ₅
S1	0.94	1.14	1.77	0.04	0.18	0.48	0.02	0.43		0.02	1.7	0.49	0.29	0.02	0.46	0.5
	0.52		0.84	0.07	0.26	0.58	0.03	0.3		0.01	1.28	0.17	0.35	0.01	0.42	0.6
	0.75		0.8	0.02	0.93	0.53	0.04	0.36	0.04	0.01	0.9	0.03	0.35	0.01	0.36	0.6
S2	0.24	0.29	1.07	0.05	0.43	0.41	0.02	0.54		0.01	0.32	0.5	0.35	0.01	0.36	0.4
	0.66		0.65	0.11	0.39	0.54	0.04	0.38	0.03		0.26	0.13	0.14	0.03	0.44	0.3
	0.74		0.66	0.02	0.17	0.36	0.02	0.49	0.04	0.02	0.5	0.14	0.2	0.04	0.36	0.6
S3	0.23	0.32	0.77		0.41	0.44	0.03	0.17		0.01	0.42	0.31	0.27	0.03	0.36	0.5
	0.55		0.44		0.67	0.64	0.03	0.18	0.03		0.74	0.2	0.25	0.03	0.3	0.5
	0.68		0.7	0.14	0.67	0.31	0.02	0.35	0.03	0.03	1.08	0.05	0.24	0.03	0.36	0.4
S4	0.37	0.24	0.42		0.35	0.84	0.03	0.19			0.52	0.43	0.23	0.03	0.3	0.3
	0.17		0.39	0.04	0.3	0.5	0.04	0.27	0.04		0.74	0.2	0.26	0.03	0.38	0.3
	0.72		0.53	0.09	0.24	0.31	0.02	0.45	0.04		0.52	0.24	0.25	0.04	0.36	0.6
S5	0.39	0.36	1.17	0.02	0.55	0.36	0.03	0.22			0.24	0.46	0.36	0.04	0.36	0.5
	0.92		0.75	0.1	0.34	0.34	0.02	0.33	0.04	0.01	0.24	0.16	0.27	0.03	0.3	0.7
	1.01		0.86	0.27	0.11	0.86	0.01	0.52	0.04	0.05	0.44	0.04	0.27	0.02	0.36	0.4
S6	0.01	0.67	1.01		0.26	0.33	0.02	0.26			0.24	0.48	0.4	0.03	0.42	0.4
	0.74		0.45	0.16	0.34	0.23	0.01	0.35	0.04		0.26	0.06	0.27	0.03	0.36	0.4
	0.83		0.47	0.12	1.97	0.41	0.25	0.47	0.04		0.34	0.07	0.14	0.03	0.3	0.5
S7	0.39	0.87	0.59	0.46	0.3	0.52	0.33	0.23	0.03		1.74	0.41	0.45	0.03	0.36	0.6
	0.61		0.57	0.23	0.24	0.48	0.05	0.48	0.04	0.01	0.76	0.09	0.25	0.03	0.42	0.5
	0.71		0.41	0.39	0.64	0.6	0.05	0.44	0.04		0.82	0.09	0.25	0.03	0.42	0.5
S8	0.15	0.22	0.56	0	0.6	0.66	0.02	0.37			3.2	0.41	0.39	0.02	0.36	0.4
	0.77		0.38	0.12	0.18	0.26	0.01	0.41	0.03		2.8	0.14	0.19	0.01	0.3	0.4
	0.82		0.54	0.13	0.09	0.29	0.02	0.27	0.03		0.26	0.04	0.03	0.02	0.3	0.5
超标率 (%)		33.33	8.33	11.11	0	8.33	5.56	0	0	0	0	27.78	0	0	0	0

表 5.3-10 2016 年 4 月落潮期水质一类标准评价结果

站号	溶解氧	石油类	无机氮	活性磷酸盐	铅	铜	镉	锌	砷	铬	汞	pH	CO D	硫化物	挥发 酚	BOD 5
S1	0.04	0.43	2.18		0.37	0.23	0.02	0.46		0.01	0.90	0.50	0.63	0.02	0.30	0.5
	0.57		1.61	0.01	0.39	0.33	0.01	0.48			0.20	0.34	0.38	0.02	0.36	0.5
	0.67		1.47	0.01	0.17	0.23	0.01	0.44	0.03		0.48	0.22	0.43	0.02	0.34	0.5
S2	0.11	0.38	1.22	0.06	0.39	0.35	0.03	0.52		0.01	0.74	0.47	0.42	0.03	0.30	0.4
	0.38		0.92	0.02	0.04	0.30	0.05	0.43		0.02	0.36	0.39	0.49	0.02	0.36	0.3
	0.77		0.99	0.14	0.08	0.37	0.01	0.44	0.03	0.01	0.94	0.11	0.31	0.02	0.36	0.6
S3	0.24	4.68	0.84		0.37	0.28	0.02	0.20		0.01	0.64	0.41	0.35	0.02	0.42	0.5
	0.55		0.57	0.01	0.22	0.48	0.05	0.30	0.04	0.02	0.40	0.18	0.35	0.02	0.30	0.4
	0.68		0.57	0.04	0.01	0.62	0.07	0.19	0.05		0.36	0.14	0.24	0.02	0.36	0.4
S4	0.16	0.19	0.66		0.72	0.48	0.05	0.27	0.03	0.01	1.78	0.48	0.30	0.03	0.34	0.5
	0.32		0.60		1.52	0.62	0.07	0.35	0.03	0.02	1.14	0.41	0.20	0.02	0.36	0.4
	0.54		0.52	0.07	0.06	0.48	0.02	0.45	0.04	0.01	0.28	0.23	0.24	0.01	0.30	0.7
S5	0.12	2.47	1.06	0.01	0.72	0.48	0.02	0.23			0.38	0.50	0.28	0.02	0.36	0.4
	0.69		0.72	0.05	1.52	0.62	0.03	0.38		0.02	0.66	0.24	0.30	0.03	0.30	0.6
	0.78		0.77	0.23	0.06	0.25	0.01	0.50	0.03		0.26	0.14	0.32	0.03	0.38	0.6
S6	0.13	0.19	0.78		0.16	0.30	0.02	0.45	0.04	0.01	1.06	0.45	0.25	0.02	0.30	0.5
	0.65		0.71	0.09	0.17	0.37	0.01	0.28	0.03		0.56	0.27	0.14	0.03	0.36	0.4
	0.40		0.63		0.09	0.23	0.01	0.18			0.32	0.24	0.19	0.03	0.38	0.4
S7	0.16	0.45	0.59	0.04	1.60	1.12	0.07	0.48			2.80	0.44	0.35	0.04	0.36	0.4
	0.02		0.52		0.24	0.52	0.05	0.44			0.88	0.31	0.40	0.03	0.26	0.4
	0.07		0.49		0.31	0.66	0.04	0.25	0.03		0.40	0.29	0.28	0.03	0.36	0.5
S8	0.27	0.36	0.85	0.02	0.39	0.62	0.03	0.24			0.16	0.56	0.38	0.02	0.36	0.7
	0.44		0.65		0.04	0.25	0.02	0.36	0.03	0.01	0.08	0.24	0.32	0.01	0.36	0.6
	0.62		0.52	0.19	0.08	0.82	0.03	0.35	0.04		0.32	0.11	0.33	0.03	0.30	0.3
S9	0.03	0.19	0.58		0.37	0.71	0.02	0.44	0.07	0.01		0.43	0.23	0.02	0.30	0.3

大万山岛波浪能示范工程环境影响报告书

站号	溶解氧	石油类	无机氮	活性磷酸盐	铅	铜	镉	锌	砷	铬	汞	pH	CO D	硫化物	挥发 酚	BOD ₅
	0.51		0.55		0.35	0.24	0.05	0.26	0.03		0.84	0.21	0.26	0.02	0.36	0.5
	0.32		0.58		0.26	0.35	0.01	0.29	0.04	0.02	3.00	0.21	0.27	0.02	0.36	0.5
S10	0.15	0.24	1.10		0.37	0.64	0.03	0.19			0.50	0.39	0.35	0.03	0.42	0.8
	0.43		0.25		0.22	0.31	0.02	0.18	0.04	0.01	0.96	0.32	0.35	0.03	0.36	0.7
	0.40		0.38		0.01	0.28	0.02	0.22	0.04	0.02	0.70	0.29	0.34	0.03	0.36	0.4
S11	0.21	0.16	0.42		0.41	0.54	0.04	0.27		0.01	0.34	0.59	0.46	0.01	0.36	0.5
	0.21		0.24		0.67	0.36	0.02	0.26	0.04	0.02	0.48	0.32	0.27	0.02	0.36	0.5
	0.27		0.49	0.02	0.67	0.44	0.03	0.48	0.04	0.01	0.42	0.19	0.29	0.01	0.30	0.4
S12	0.25	0.09	0.25	0.01	0.43	0.58	0.03	0.19	0.04	0.01	0.70	0.21	0.59	0.03	0.30	0.5
	0.20		0.22		0.39	0.53	0.04	0.20	0.04	0.02	1.82	0.21	0.24	0.03	0.30	0.7
	0.28		0.26		0.17	0.41	0.02	0.18	0.04		1.16	0.23	0.23	0.02	0.42	0.5
超标率 (%)	0	16.67	16.67	0	8.33	2.78	0	0	0	0	19.44	0	0	0	0	0

表 5.3-11 2016 年 4 月涨潮时水质二类评价结果

站号	层次 (m)	溶解氧	石油类	无机氮	汞	pH
S1	0.5	-	1.14	1.18	0.43	0.49
	8.4	-	-	0.56	0.32	0.17
	13	-	-	0.53	-	0.03
S2	0.5	-	0.29	0.71	-	0.5
	10.8	-	-	0.43	-	0.13
	17	-	-	0.44	-	0.14
S3	0.5	-	0.32	-	-	0.31
	15	-	-	-	-	0.2
	24	-	-	-	0.27	0.05
S4	0.5	-	0.24	-	-	0.43
	16.4	-	-	-	-	0.2
	23	-	-	-	-	0.24
S5	0.5	-	0.36	0.78	-	0.46
	15	-	-	-	-	0.16
	24	0.77	-	-	-	0.04
S6	0.5	-	0.67	0.67	-	0.48
	16.2	-	-	-	-	0.06
	26	-	-	-	-	0.07
S7	0.5	-	0.87	-	0.44	0.41
	12.6	-	-	-	-	0.09
	20	-	-	-	-	0.09
S8	0.5	-	0.22	-	0.8	0.41
	15.6	-	-	-	0.7	0.14
	25	-	-	-	-	0.04
S9	0.5	-	0.36	-	-	0.39
	16.8	-	-	-	0.38	0.06
	27	-	-	-	0.8	0.13
S10	0.5	-	0.21	-	-	0.43
	17.4	-	-	-	-	0.41
	28	-	-	-	0.37	0.39
S11	0.5	0.75	0.16	-	0.6	0.51
	18	-	-	-	-	0.31
	29	-	-	-	-	0.12
S12	0.5	-	0.12	-	-	0.24
	19.2	-	-	-	-	0.21
	31	-	-	-	-	0.25
超标率 (%)		0	8.33	2.78	0	0

表 5.3-12 2016 年 4 月落潮时水质二类评价结果

站号	层次 (m)	石油类	无机氮	铅	铜	汞	pH
S1	0.5	0.43	1.45	-	-	-	0.50
	6.6	-	1.08	-	-	-	0.34
	10	-	0.98	-	-	-	0.22
S2	0.5	0.38	0.81	-	-	-	0.47
	9.6	-	-	-	-	-	0.39
	15	-	-	-	-	-	0.11
S3	0.5	4.68	-	-	-	-	0.41
	15	-	-	-	-	-	0.18
	24	-	-	-	-	-	0.14
S4	0.5	0.19	-	-	-	0.45	0.48
	15	-	-	0.30	-	0.29	0.41
	24	-	-	-	-	-	0.23
S5	0.5	2.47	0.71	-	-	-	0.50
	15.6	-	-	0.30	-	-	0.24
	25	-	-	-	-	-	0.14
S6	0.5	0.19	-	-	-	0.27	0.45
	16.8	-	-	-	-	-	0.27
	27	-	-	-	-	-	0.24
S7	0.5	0.45	-	0.32	0.56	0.70	0.44
	12	-	-	-	-	-	0.31
	19	-	-	-	-	-	0.29
S8	0.5	0.36	-	-	-	-	0.56
	15.6	-	-	-	-	-	0.24
	25	-	-	-	-	-	0.11
S9	0.5	0.19	-	-	-	-	0.43
	16.8	-	-	-	-	-	0.21
	27	-	-	-	-	0.75	0.21
S10	0.5	0.24	0.73	-	-	-	0.39
	18	-	-	-	-	-	0.32
	29	-	-	-	-	-	0.29
S11	0.5	0.16	-	-	-	-	0.59
	17.4	-	-	-	-	-	0.32
	28	-	-	-	-	-	0.19
S12	0.5	0.09	-	-	-	-	0.21
	19.2	-	-	-	-	0.46	0.21
	31	-	-	-	-	0.29	0.23
超标率 (%)		16.67	5.56	0	0	0	0

表 5.3-13 2016 年 4 月涨落潮时水质三、四类评价结果

涨潮						落潮					
站号	层次	石油类	无机氮		铜	站号	层次	石油类	无机氮		铜
	m	三类	三类	四类	三类		m	三类	三类	四类	三类
S1	0.5	0.19 (三类)	0.88 (三类)	-	-	S1	0.5	-	1.09	0.87 (四类)	-
	8.4	-	-	-	-		6.6	-	0.81 (三类)	-	-
	13	-	-	-	-		10	-	-	-	-
S2	0.5	-	-	-	-	S2	0.5	-	-	-	-
	10.8	-	-	-	-		9.6	-	-	-	-
	17	-	-	-	-		15	-	-	-	-
S3	0.5	-	-	-	-	S3	0.5	0.78 (三类)	-	-	-
	15	-	-	-	-		15	-	-	-	-
	24	-	-	-	-		24	-	-	-	-
S4	0.5	-	-	-	-	S4	0.5	-	-	-	-
	16.4	-	-	-	-		15	-	-	-	-
	23	-	-	-	-		24	-	-	-	-
S5	0.5	-	-	-	-	S5	0.5	0.41 (三类)	-	-	-
	15	-	-	-	-		15.6	-	-	-	-
	24	-	-	-	-		25	-	-	-	-
S6	0.5	-	-	-	-	S6	0.5	-	-	-	-
	16.2	-	-	-	-		16.8	-	-	-	-
	26	-	-	-	-		27	-	-	-	-
S7	0.5	-	-	-	-	S7	0.5	-	-	-	-
	12.6	-	-	-	-		12	-	-	-	-
	20	-	-	-	-		19	-	-	-	-
S8	0.5	-	-	-	-	S8	0.5	-	-	-	-
	15.6	-	-	-	-		15.6	-	-	-	-
	25	-	-	-	-		25	-	-	-	-
S9	0.5	-	-	-	-	S9	0.5	-	-	-	-
	16.8	-	-	-	-		16.8	-	-	-	-
	27	-	-	-	-		27	-	-	-	-
S10	0.5	-	-	-	-	S10	0.5	-	-	-	-
	17.4	-	-	-	0.30 (三类)		18	-	-	-	-
	28	-	-	-	0.35 (三类)		29	-	-	-	-
S11	0.5	-	-	-	-	S11	0.5	-	-	-	-
	18	-	-	-	-		17.4	-	-	-	-
	29	-	-	-	-		28	-	-	-	-
S12	0.5	-	-	-	-	S12	0.5	-	-	-	-
	19.2	-	-	-	-		19.2	-	-	-	-
	31	-	-	-	-		31	-	-	-	-
超标率 (%)		0	0		0	超标率 (%)			2.78	0	0

5.3.2.4 沉积物质量现状评价

2016年4月沉积物各评价因子的标准指数计算结果列于表5.3-14，对应达标评价结果见表5.3-15。

表 5.3-14 2016年4月沉积物化学调查结果标准指数评价表

站号	总汞	砷	铜	铅	锌	镉	总铬	石油类	有机碳	硫化物
S1	0.80	0.75	0.80	0.67	0.75	0.28	0.67	0.06	0.55	0.02
S2	0.39	0.38	0.34	0.53	0.50	0.10	0.50	0.09	0.25	-
S7	0.31	0.48	0.46	0.62	0.61	0.10	0.92	0.08	0.40	0.00
S8	0.36	0.48	0.60	0.72	0.75	0.12	0.98	0.05	0.55	0.15
S9	0.37	0.47	0.51	0.62	0.76	0.10	0.88	0.12	0.60	0.15
S10	0.47	0.40	0.40	0.52	0.61	-	0.83	0.04	0.50	0.00
S12	0.37	0.43	0.37	0.55	0.70	-	0.62	0.03	0.25	0.01
超标率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 5.3-15 2016年4月沉积物化学调查结果分类表

站号	有机碳	硫化物	石油类	铜	铅	锌	镉	总汞	砷	铬
S1	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
S2	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
S7	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
S8	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
S9	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
S10	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
S12	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I

2016年4月调查结果的评价显示，本次调查所有站位的沉积物有机碳、石油类、硫化物、铅、总镉、锌、铜、砷、总汞、总铬的含量均达到一类沉积物标准。符合各站点所在功能区的管理要求。

5.4 海域生态环境现状调查结果与评价

5.4.1 调查方案

5.4.1.1 调查点位布设

海洋生态与海域水质同步在 2016 年 4 月大潮期开展一期监测，调查点位布设见图 5.4-1 和表 5.4-1。同时收集工程区域 2017 年 9 月秋季海洋生态调查数据，调查点位布设见图 5.4-2 和表 5.4-2。

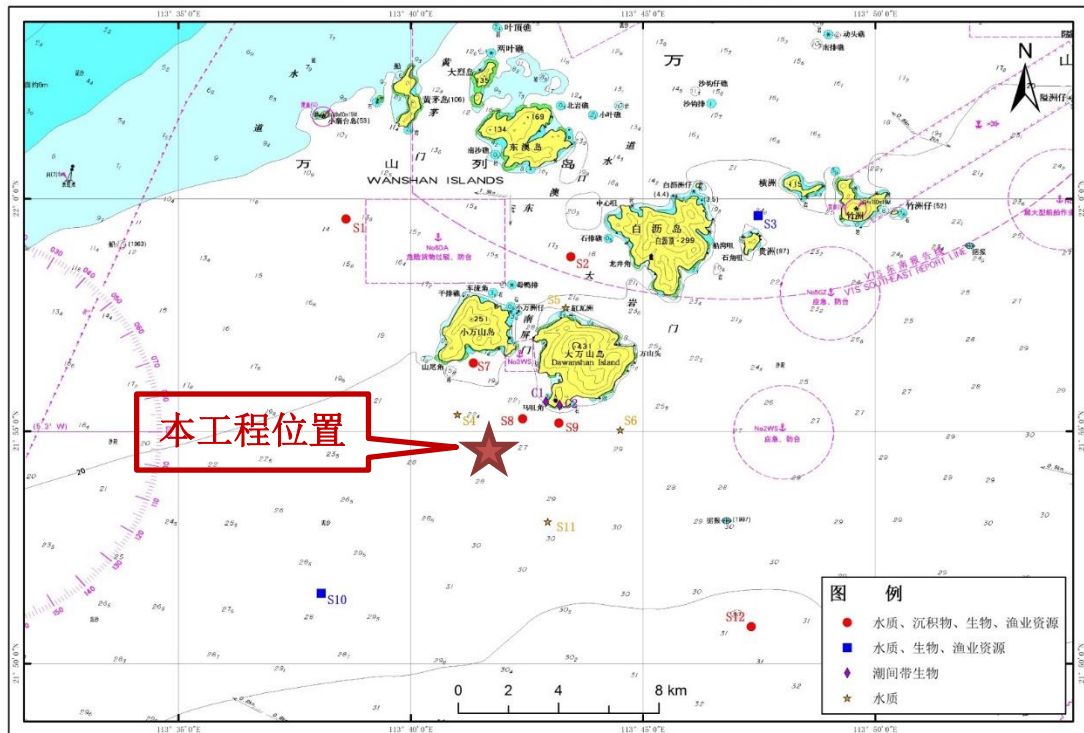


图 5.4-1 2016 年 4 月春季调查站位图



图 5.4-2 2017 年 9 月秋季调查站位图

表 5.4-1 2016 年 4 月春季调查站位表

站号	东经	北纬	监测项目
S1	113°38'37.93"	22°0'32.02"	海洋生态、渔业资源
S2	113°43'26.79"	22°58'45.29"	海洋生态、渔业资源
S3	113°48'13.88"	21°59'47.03"	海洋生态、渔业资源
S7	113°41'21.12"	21°56'28.18"	海洋生态、渔业资源
S8	113°42'22.47"	21°55'16.18"	海洋生态、渔业资源
S9	113°43'14.79"	21°55'10.14"	海洋生态、渔业资源
S10	113°37'38.49"	21°51'30.81"	海洋生态、渔业资源
S12	113°47'19.93"	21°50'47.83"	海洋生态、渔业资源
c1	113°42'54.53"	21°55'38.04"	潮间带
c2	113°43'12.32"	21°55'33.76"	潮间带

表 5.4-2 2017 年 9 月秋季调查站位表

监测站位	经度	纬度	调查内容
C1N060	113.556611	21.8675	底栖生物
C1N062	113.6250	21.8750	底栖生物
C1N063	113.591833	21.857361	底栖生物
C1N066	113.609167	21.833028	底栖生物
C1N070	113.561283	21.775678	底栖生物
C1N072	113.6250	21.7750	底栖生物

5.4.1.2 调查方法

(1) 叶绿素 a (Chl-a) 和初级生产力

用容积为 5L 的有机玻璃，采水器表层 0.5m 的水样，现场过滤，滤膜用保温壶冷藏，带回实验室测定；初级生产力采用叶绿素 a 法，按照 Cadee 和 Hegeman (1974) 提出的简化公式估算：

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

P ——初级生产力 (mg·C/m²·d)；

C_a ——表层叶绿素 a 含量 (mg/m³)；

Q ——同化系数 (mg·C/(mgChl-a·h))，根据以往调查结果，这里取 3.42；

L ——真光层的深度 (m)；

t ——白昼时间 (h)，根据以往调查结果，这里取 12.5。

(2) 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》(GB12763.6—2007) 中规定的方法进行。

利用浮游生物浅水Ⅲ型浮游生物网，网口面积 0.1m²，采用垂直拖网法，站位绳长为 10.0~30.0m。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)。

浮游植物优势度 (Y) 应用以下公式计算：

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

式中： n_i 为第 i 种的个体数； f_i 是该种在各站中出现的频率； N 为所有站每个种出现的总个体数。

采用 Shannon-Weaner 指数测定浮游植物的多样性指数，其计算公式为：

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

式中： H' ——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。

采用 Pielou 均匀度测定浮游植物的均匀度，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。

(3) 浮游动物

用浅水 I 型浮游生物网采样进行海底至水面的垂直采样，样品用中性甲醛溶液固定，加入量为样品体积的 5%，带回实验室鉴定和生物量及密度分析。浮游动物生物量的测定以湿法进行。即将胶质浮游动物(水母类、被套类)挑出后，吸去其余浮游动物的体表水分，然后用天平称重，并换算出每立方米水体中的生物量。分析种类组成、数量、分布，计算生物多样性指数和均匀度。

(4) 潮下带大型底栖生物

用“大洋 50 型”采泥器（开口面积为 0.05m²）采样，每站采 2 次；所采样品用 5% 的福尔马林溶液固定，带回实验室进行分类鉴定与计数。分析种类组成、数量、分布，计算生物多样性指数和均匀度。

(5) 潮间带生物

每个调查断面按高、高中、中、中低、低 5 个潮区设置取样站位，每个站分别采定量和定性样品各 2 份，样品用 5% 的福尔马林溶液固定，带回实验室进行分类鉴定与计数。分析种类组成、数量、分布，计算生物多样性指数和均匀度。

5.4.2 叶绿素 a

2016 年 4 月大万山附近海域调查叶绿素 a 及初级生产力结果如表 5.4-3 所示。本次调查海域，叶绿素 a 含量的变化范围在 1.05~2.46mg/m³ 之间，平均值为 1.82mg/m³。其中，以 S1 号站叶绿素 a 含量为最高（2.46mg/m³），S7 号站叶绿素 a 含量次之（2.16mg/m³），S3 号站叶绿素 a 含量为最低（1.05mg/m³）。初级生产力水平的变化范围为 116.38~227.55mg·C/m²·d，平均值为 185.48mg·C/m²·d。其中，

以 S10 号站海域初级生产力水平最高(227.55mg·C/m²·d)，S12 号站初级生产力水平次之(222.45mg·C/m²·d)，S3 号站初级生产力水平最低(116.38 mg·C/m²·d)。初级生产力分布状况与叶绿素 a 的平面分布情况有部分相似及差异，总体而言，本海域初级生产力水平属中等水平。

表 5.4-3 2016 年 4 月叶绿素 a 调查结果和初级生产力分析结果

调查站位	叶绿素 a (mg/m ³)	初级生产力 (mg·C/m ² ·d)
S1	2.46	181.44
S2	1.80	166.18
S3	1.05	116.38
S7	2.16	212.27
S8	1.59	176.65
S9	1.73	180.93
S10	1.85	227.55
S12	1.90	222.45
范围	1.05~2.46	116.38~227.55
均值	1.82	185.48

5.4.3 浮游植物

5.4.3.1 浮游植物密度和分布

2016 年 4 月调查监测结果显示，本次调查海域浮游植物密度分布范围在 $64.73 \times 10^4 \text{cells/m}^3 \sim 102.00 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ 之间，平均密度为 $85.71 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ ，数量以硅藻类占绝对优势，其密度为 $76.64 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ ，占总密度的 89.42%；其次为甲藻类，其密度为 $7.72 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ ，占总密度的 9.01%；居第三的为其他藻类(主要为蓝藻类、绿藻类、金藻类和黄藻类)，其密度为 $1.35 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ ，占总密度的 1.57%。

水平分布方面，各站位密度有一定的差异，最高密度出现在 S1 号站，其数量达 $102.00 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ ；其次为 S12 号站，其密度为 $94.40 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ ；最低则出现在 S3 号站，其密度为 $64.73 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ ，最高密度约为最低密度的 1.6 倍，其余调查站位的密度范围在 $80.46 \times 10^4 \text{cells/m}^3 \sim 93.38 \times 10^4 \text{cells/m}^3$ 之间。

表 5.4-4 2016 年 4 月工程海域浮游植物密度统计表单位: $\times 10^4$ cells/m³

站位	小计	硅藻	甲藻	其它
S1	102.00	92.00	8.40	1.60
S2	86.86	79.14	6.57	1.14
S3	64.73	57.45	6.36	0.91
S7	82.00	73.00	8.00	1.00
S8	81.83	74.50	6.17	1.17
S9	80.46	71.85	7.69	0.92
S10	93.38	80.92	10.31	2.15
S12	94.40	84.27	8.27	1.87
平均	85.71	76.64	7.72	1.35

5.4.3.2 浮游植物的种类组成

(1) 种类多样性

2016 年 4 月浮游植物调查经初步鉴定有硅藻、甲藻、蓝藻、绿藻、金藻和黄藻共 6 大门类 22 科 74 种。其中硅藻门的种类最多, 有 10 科 49 种, 占总种类数的 66.22%; 其次是甲藻门, 有 7 科 17 种, 占总种类数的 22.97%; 蓝藻类有 1 科 4 种, 占总种类数的 5.41%; 其它为绿藻类、金藻类和黄藻类, 共有 4 科 4 种, 占总种类数的 5.41%。最多主要是硅藻类的角毛藻属 *Chaetoceros*, 出现 9 种, 其次是甲藻类的角藻属 *Ceratium*, 出现 8 种, 而硅藻类的根管藻属 *Rhizosolenia*, 出现 7 种。

表 5.4-5 2016 年 4 月工程海域浮游植物种类分类统计

门类	科数	种类数(含个别未定种的属)	属或种类所占比例(%)
硅藻	10	49	66.22
甲藻	7	17	22.97
蓝藻	1	4	5.41
其他	4	4	5.41
合计	22	74	100.00

5.4.3.3 生物多样性及均匀度

2016 年 4 月调查海域站位样方内浮游植物平均出现种类数为 27 种, 种类多样性指数分布范围在 3.23~3.61 之间, 平均为 3.44; 分布也较为均匀, 最高出现在 S12 号站, 其次为 S8 号站, 最低则出现在 S7 号站; 种类均匀度的分布范围在 0.70~0.75 之间, 平均为 0.72。

表 5.4-6 2016 年 4 月工程海域浮游植物的多样性指数及均匀度

站位	总种数	采样水柱体积内藻类细胞数(cells)	多样性指数(H')	均匀度(J)
S1	25	255	3.27	0.70
S2	25	304	3.49	0.75
S3	24	356	3.25	0.71
S7	22	410	3.23	0.72
S8	30	491	3.58	0.73
S9	28	523	3.51	0.73
S10	31	607	3.57	0.72
S12	34	708	3.61	0.71
平均	27	457	3.44	0.72

5.4.3.4 优势种

以优势度(Y)大于 0.15 为判断标准, 2016 年 4 月调查海区浮游植物的优势种分布较为分散, 其中最大的优势种是中肋骨条藻, 本次调查分别在 6 个站位成为优势种, 占总站位数的 75.00%, 其优势度指数在 0.27~0.40 之间; 第 2 优势种是旋链角毛藻, 在 5 个站位成为优势种, 占总站位数的 62.50%, 其优势度指数在 0.19~0.24 之间。

表 5.4-7 2016 年 4 月浮游植物各站位主要优势种及优势度指数

站位	尖刺菱形藻	窄隙角毛藻	旋链角毛藻	爱氏角毛藻	中肋骨条藻
S1		0.33			0.28
S2	0.30		0.24		
S3			0.19		0.40
S7		0.33	0.21		
S8					0.32
S9			0.23		0.33
S10		0.19		0.16	0.30
S12	0.18		0.19		0.27

5.4.4 浮游动物

5.4.4.1 种类组成

2016 年 4 月调查的浮游动物经鉴定有 9 个生物类群, 共 34 种, 其中水母类 4 种, 翼足类 2 种, 介形类 2 种, 桡足类 14 种, 磷虾类 1 种, 樱虾类 2 种, 毛颚类 2 种, 海樽类 1 种, 浮游幼虫类 6 种。调查区位于大万山岛波浪能示范工程项目海域, 浮游动物以热带、暖温带种类占多数, 如桡足类的小拟哲水蚤、亚强

次真哲水蚤、驼背隆哲水蚤、微驼背隆哲水蚤、微刺哲水蚤、瘦尾胸刺水蚤、丹氏纺锤水蚤、小纺锤水蚤、樱虾类的日本毛虾和毛颚类的肥胖箭虫、强壮箭虫等。

5.4.4.2 浮游动物生物量、密度及分布

2016年4月调查结果显示，本水域各采样站浮游动物生物量属中等水平，分布不均匀，变化幅度为 $170.00\sim 297.50\text{mg/m}^3$ ，平均生物量为 231.13mg/m^3 。在密度分布方面，变化幅度为 $52.71\sim 291.00\text{ind/m}^3$ ，平均密度为 132.24ind/m^3 。在整个调查区中，生物量最高为 297.50mg/m^3 ，出现在S12号采样站，其次为 274.20mg/m^3 ，出现在S10号采样站，最低为 170.00mg/m^3 ，出现在S7号采样站，最高生物量是最低生物量的1.75倍；而最高密度为 291.00ind/m^3 ，出现在S1号采样站，其次为 241.43ind/m^3 ，出现在S2号采样站，最低密度为 52.71ind/m^3 ，出现在S8号采样站，最高密度是最低密度的5.52倍。

表 5.4-8 2016年4月工程海域浮游动物生物量及密度

站位	生物量 mg/m^3	密度 ind/m^3
S1	220.00	291.00
S2	245.33	241.43
S3	195.45	124.77
S7	170.00	100.50
S8	201.52	52.71
S9	245.00	85.38
S10	274.20	80.77
S12	297.50	81.33
平均值	231.13	132.24

5.4.4.3 浮游动物主要类群分布

2016年4月春季调查桡足类平均密度为 81.40ind/m^3 ，占浮游动物总个体数的61.80%，是本海域浮游动物的主要组成部分，成为主导本海域浮游动物数量的主要类群。其中主要分布于S1号采样站，密度为 172.50ind/m^3 ，其次是S2号采样站，密度为 146.43ind/m^3 ，其余6个采样站的密度在 $28.13\sim 85.91\text{ind/m}^3$ 的范围之间变化。浮游幼虫类：浮游幼虫类平均密度为 21.56ind/m^3 ，占浮游动物总个体数的16.47%。其中最为密集分布于S1号采样站，密度为 49.50ind/m^3 ，其次是S2号采样站，密度为 36.43ind/m^3 ，其余6个采样站的密度在 $9.62\sim 19.50\text{ind/m}^3$ 的范围之间变化。其他种类如水母类、翼足类、介形类、磷虾类、樱虾类、毛颚类和

海樽类等，它们大部分属沿岸和近岸区系的普通种，虽然出现的数量不多，但在调查的海域内分布也较为广泛。

5.4.4.4 生物多样性指数及均匀度

2016年4月调查水域站位的浮游动物平均出现种类为23种，各站平均出现个体数量为477个，种类多样性指数分布范围为3.69~4.26之间，平均为3.88，最高出现在S12号采样站，其次为S3号采样站，最低则出现在S1号采样站；种类均匀度的分布趋势与多样性指数相似，其分布范围在0.80~0.92之间，平均为0.87，最高出现在S1和S12号采样站，其次为S2号采样站，最低出现在S10号采样站。

表 5.4-9 2016年4月工程海域浮游动物多样性指数及均匀度

站位	总种数	总个体数	多样性指数 H'	均匀度 J
S1	16	582	3.69	0.92
S2	21	676	3.88	0.88
S3	32	549	4.10	0.82
S7	20	402	3.80	0.88
S8	22	253	3.77	0.84
S9	20	444	3.78	0.88
S10	26	420	3.75	0.80
S12	25	488	4.26	0.92
平均值	23	477	3.88	0.87

5.4.4.5 优势种及其分布

以优势度 ≥ 0.02 为判断标准，2016年4月调查水域在调查期间浮游动物的优势种是由桡足类小拟哲水蚤、小哲水蚤、驼背隆哲水蚤、浮游幼虫类的桡足类幼虫、微刺哲水蚤、瘦尾胸刺水蚤和丹氏纺锤水蚤所组成，其优势度指数在0.02~0.14之间。本调查海域的最大优势种是桡足类的小拟哲水蚤，主要分布在S2和S3号采样站，小哲水蚤主要分布在S1和S3号采样站，驼背隆哲水蚤主要分布在S1和S2号采样站，桡足类幼虫主要分布在S1号采样站，瘦尾胸刺水蚤主要分布在S2、S10和S12号采样站，丹氏纺锤水蚤主要分布在S1号采样站，微刺哲水蚤主要分布在S1和S7号采样站。

表 5.4-10 2016 年 4 月海域浮游动物优势种及优势度

优势种中文名称	拉丁文	优势度
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus (Claus)</i>	0.14
小哲水蚤	<i>Nannocalanus minor (Claus)</i>	0.08
驼背隆哲水蚤	<i>Paracalanus parvus (Claus)</i>	0.07
桡足类幼虫	<i>Copepoda larva</i>	0.08
瘦尾胸刺水蚤	<i>Centropages tenuiremis Thompson</i>	0.03
丹氏纺锤水蚤	<i>Acartia danae Giesbrecht</i>	0.02
微刺哲水蚤	<i>Canthocalanus pauper Giesbrecht</i>	0.04

5.4.5 底栖生物

5.4.5.1 底栖生物种类组成

2016 年 4 月的定量调查，共出现底栖生物 7 门 24 科 26 种（种类名录见附录）。其中环节动物 11 科 13 种，占种类总数的 50.00%；棘皮动物 4 科 4 种，占种类总数的 15.38%；节肢动物 3 科 3 种，占种类总数的 11.54%；软体动物和鱼类各 2 科 2 种，各占种类总数的 7.69%；纽形动物和半索动物各 1 科 1 种，各占种类总数的 3.85%。

2017 年 9 月的定量调查，共出现底栖生物 8 门 25 科 29 种（种类名录见附录）。其中环节动物 9 科 14 种，占种类总数的 48.28%；节肢动物 8 科 8 种，占种类总数的 27.59%；软体动物 2 科 2 种，占种类总数的 6.90%；扁形动物、棘皮动物、纽形动物、线虫动物和蠕虫动物门各 1 科 1 种各占种类总数的 3.45%。

5.4.5.2 底栖生物的优势种和优势度

2016 年 04 月在大万山岛波浪能示范工程项目海域底栖生物调查，出现的 26 种生物中，优势度在 0.02 以上的优势种有 6 种，分别为裸盲蟹、双齿围沙蚕、光滑倍棘蛇尾、膜质伪才女虫、中华内卷齿蚕、持真节虫，出现站位数和数量范围分别为 2 站~5 站和 4 个~10 个，优势度范围为 0.0200~0.0833 之间；其他 20 种生物出现站位数和数量范围分别为 1 站~2 站和 1 个~4 个，优势度均在 0.02 以下。在大万山岛波浪能示范工程项目海域底栖生物调查，出现的 26 种生物中，优势度在 0.02 以上的优势种有 6 种，分别为裸盲蟹、双齿围沙蚕、光滑倍棘蛇尾、膜质伪才女虫、中华内卷齿蚕、持真节虫，出现站位数和数量范围分别为 2 站~5

站和 4 个~10 个，优势度范围为 0.0200~0.0833 之间；其他 20 种生物出现站位数和数量范围分别为 1 站~2 站和 1 个~4 个，优势度均在 0.02 以下。

2017 年 9 月的定量调查中出现的 29 种生物中，优势度在 0.02 以上的优势种有 4 种，分别为纽虫未定种、沟纹拟盲蟹、纳加索沙蚕、异足倒颚蟹，出现站位数和数量范围分别为 2 站~6 站和 5 个~16 个，优势度范围为 0.030~0.160 之间；其他 25 种生物出现站位数和数量范围分别为 1 站~2 站和 1 个~12 个，优势度均在 0.02 以下。

5.4.5.3 生物量和数量分布

(1) 总平均生物量及栖息密度

2016 年 4 月调查，底栖生物的总平均生物量为 30.86g/m^2 ，平均栖息密度为 93.75ind/m^2 。生物量的组成以鱼类最高，生物量为 12.38g/m^2 ，占总生物量的 40.10%；其次为节肢动物和环节动物，占总生物量的 19.77% 和 18.27%；最低的为纽形动物，占总生物量的 0.53%。栖息密度的组成以环节动物最多，占总栖息密度的 53.33%，其次为节肢动物和棘皮动物，占总栖息密度的 21.33% 和 12.00%，其他 4 类生物的栖息密度相对较低，均未超过总栖息密度的 6.00%。

2017 年 9 月定量调查，底栖生物的总平均生物量为 26.47g/m^2 ，平均栖息密度为 111.11ind/m^2 。生物量的组成以蠕虫动物最高，生物量为 15.76g/m^2 ，占总生物量的 59.54%；其次为节肢动物，占总生物量的 16.31%；最低的为扁形动物，占总生物量的 0.04%。栖息密度的组成以节肢动物最多，占总栖息密度的 41.00%，其次为环节动物，占总栖息密度的 31.00%，最低的为软体动物和扁形动物，占总生物量的 2.00%。

5.4.5.4 生物多样性指数及均匀度

2016 年 4 月的定量调查结果显示，本海区采泥底栖生物多样性指数变化范围在 1.4466~3.0931 之间，平均为 2.3163；均匀度分布范围在 0.7233~0.9775 之间，整个海区均匀度指数的平均值为 0.9296。

2017 年 9 月的定量调查结果显示，底栖生物多样性指数变化范围在 1.84~3.46 之间，平均为 2.61；均匀度分布范围在 0.84~0.97 之间，整个海区均匀度指

数的平均值为 0.91。

表 5.4-11 2016 年 4 月工程海域底栖生物多样性指数及均匀度

站位	样方内种类数	样方内个体数	多样性指数(H')	均匀度(J)
S1	4	9	1.4466	0.7233
S2	11	17	3.3816	0.9775
S3	3	4	1.5000	0.9464
S7	5	10	2.1219	0.9139
S8	6	8	2.5000	0.9671
S9	5	6	2.2516	0.9697
S10	9	14	3.0931	0.9758
S12	5	7	2.2359	0.9630
平均	6.00	9.38	2.3163	0.9296

5.4.6 潮间带生物

2016 年 04 月 06 日，在大万山岛波浪能示范工程项目海域使用论证调查潮间带设立 2 个断面进行定量采样，断面分别命名为 C1、C2 号，在每个断面的高、中和低潮区进行了定量采样。

5.4.6.1 潮间带生物种类组成

2016 年 04 月潮间带生物的定量调查，共鉴定出潮间带生物 3 门 9 科 10 种。其中，软体动物 6 科 7 种，占种类总数的 70.00%；节肢动物 2 科 2 种，占种类总数的 20.00%；环节动物 1 科 1 种，占种类总数的 10.00%。

5.4.6.2 潮间带优势种和优势度

2016 年 04 月，2 个断面的潮间带生物定量调查，共出现 10 种生物。优势度在 0.02 以上的优势种有 5 种，为龟足、鳞笠藤壶、嫁蛾、鸟爪拟帽贝和粒结节滨螺，出现站位数和数量范围分别为 1 站~4 站和 23 个~106 个，优势度范围为 0.0245~0.2000；其他 5 种生物出现站位数和数量范围分别为 1 站~2 站和 2 个~11 个，优势度均小于 0.02。

5.4.6.3 潮间带平均生物量及栖息密度

2016 年 04 月的定量调查，潮间带生物平均生物量为 2160.11g/m²，平均栖息

密度为 731.48ind/m²。在潮间带生物生物量的百分组成中，节肢动物生物量占较大优势，为 2011.74g/m²，占总生物量的 93.13%；其次为软体动物，总生物量的 6.85%；环节动物生物量相对较低，占总生物量的 0.02%。栖息密度的类群组成方面，最高密度以节肢动物最高，为 480.56ind/m²，占总栖息密度的 65.70%；其次为软体动物，占总栖息密度的 33.16%；环节动物的栖息密度相对较低，未超过总栖息密度的 2.00%。

表 5.4-12 2016 年 4 月潮间带生物平均生物量及栖息密度

类别	软体动物	节肢动物	环节动物	总计
生物量(g/m ²)	147.91	2011.74	0.46	2160.11
生物量百分比	6.85	93.13	0.02	100.00
栖息密度(ind/m ²)	242.59	480.56	8.33	731.48
栖息密度百分比	33.16	65.70	1.14	100.00

5.4.6.4 各采样站生物量及栖息密度比较

2016 年 4 月调查 2 个断面定量采样样品中，生物量以 C1 断面的中潮区采样点为最高，其生物量为 6056.25g/m²；其次是 C2 断面的低潮区采样点，其生物量为 3820.00g/m²，以 C2 断面低潮区采样点最低，其生物量为 161.56g/m²，最高生物量是最低生物量的 37.49 倍；栖息密度以 C2 断面的高潮区最高，栖息密度为 1133.33ind/m²；其次是 C1 断面的中潮区采样点，栖息密度为 900.00ind/m²；以 C2 断面低潮区的栖息密度最低，栖息密度为 300.00ind/m²，最高栖息密度是最低栖息密度的 3.78 倍。

表 5.4-13 2016 年 4 月潮间带生物水平分布 (g/m²、ind/m²)

采样点	项目	软体动物	节肢动物	环节动物	总计
C1 高潮区	生物量	0.00	1466.75	0.00	1466.75
	栖息密度	0.00	850.00	0.00	850.00
C1 中潮区	生物量	17.75	6038.50	0.00	6056.25
	栖息密度	100.00	800.00	0.00	900.00
C1 低潮区	生物量	349.50	3467.75	2.75	3820.00
	栖息密度	400.00	400.00	50.00	850.00
C2 高潮区	生物量	56.67	596.78	0.00	653.44
	栖息密度	555.56	577.78	0.00	1133.33
C2 中潮区	生物量	302.00	500.67	0.00	802.67
	栖息密度	100.00	255.56	0.00	355.56
C2 低潮区	生物量	161.56	0.00	0.00	161.56
	栖息密度	300.00	0.00	0.00	300.00

5.4.6.5 调查断面和垂直分布比较

2016年4月调查断面中,生物量高低排序为C1断面>C3断面>C2断面;栖息密度高低排序也为C3断面>C1断面>C2断面。在垂直分布上,生物量和栖息密度高低排序均为低潮区>高潮区>中潮区。

表 5.4-14 2016年4月潮间带生物垂直分布 (g/m²、ind/m²)

项目	C1号断面	C2号断面	C3号断面	高潮区	中潮区	低潮区
生物量	3781.00	539.22	1060.10	3429.46	1990.78	3781.00
栖息密度	866.67	596.30	991.67	627.78	575.00	866.67

5.4.6.6 生物多样性指数和均匀度

2016年4月调查海区潮间带生物多样性多样性指数的变化范围较大,在0.3228~2.0497之间,平均值为1.1409;均匀度的变化范围为0.3228~0.9990,平均值为0.6837。

表 5.4-15 2016年4月潮间带生物多样性指数及均匀度

采样站号	样方内种类数	样方内个体数	多样性指数	均匀度
C1号高潮区	2	34	0.3228	0.3228
C1号中潮区	2	36	0.5033	0.5033
C1号低潮区	6	34	2.0497	0.7929
C2号高潮区	3	102	1.3724	0.8659
C2号中潮区	6	32	1.5981	0.6182
C2号低潮区	2	27	0.9990	0.9990
平均值	3.50	44.17	1.1409	0.6837

5.4.7 海洋生物质量评价

5.4.7.1 样品采集

2016年4月的调查,在潮下带S1、S2、S3、S7、S8、S9、S10、S12号站共计8个拖网站位采集7种鱼类、3种虾类和1种贝类生物样品共10个种类17个样品,所采种类分别为刀额新对虾 *metapenaeusensis*、半滑舌鳎 *Cynoglossus semilaevis* Gunther、海鳗 *muraenesox cinereus*、近缘新对虾 *Metapenaeus affinis*、毛蚶 *Scapharca subcrenata*、拟矛尾虾虎鱼 *Parachaeturichthys polynema*、皮氏叫姑鱼 *Johnius belangerii*、浅色黄姑鱼 *Nibea coibor*、鲷 *Platycephalus indicus*、长蛇鲻 *Saurida elongata*、周氏新对虾 *Metapenaeus joyneri*。样品经冷冻保存后带回

实验室进行分析测定。

5.4.7.2 监测结果

从 2016 年 4 月的调查监测结果看，在潮下带 S1、S2、S3、S7、S8、S9、S10、S12 号站共计 8 个拖网站位所采集的海洋生物体，Cu、Zn 和 TPHs 的检出率为 100%，As 的检出率为 82.35%，Hg 检出率为 29.41%，Cd 检出率为 23.53%，Cr 的检出率为 17.65%，Pb 检出率为 11.76%。

Z2 号站鱼类生物体 Pb、Cd、Cr、As 的检出率、虾类生物体 Pb、Cr、Hg 的检出率均为 0.0%、贝类生物体 Pb、S1 号站鱼类生物体 Pb、Cd、Cr、As 的检出率、虾类生物体 Pb、Cr、Hg 的检出率均为 0.0%；S2 号站鱼类生物体 Pb、Cd、Cr、As 的检出率、虾类生物体 Pb、Cd、Cr、Hg 的检出率均为 0.0%；S3 号站鱼类生物体 Pb、Cd、Cr、Hg 的检出率、虾类生物体 Pb、Cd、Cr、Hg 的检出率均为 0.0%；S7 号站鱼类生物体 Cd、Cr 的检出率、虾类生物体 Pb、Cd、Cr、Hg 的检出率均为 0.0%；S8 号站鱼类生物体 Pb、Cd、Cr 的检出率、虾类生物体 Pb、Hg 的检出率均为 0.0%、贝类生物体 Hg 的检出率为 0.0%；S9 号站鱼类生物体 Pb、Cd、Cr、As 的检出率、虾类生物体 Pb、Cr、Hg 的检出率均为 0.0%；S10 号站鱼类生物体 Pb、Cd、Cr、Hg 的检出率、虾类生物体 Pb、Cd、Cr、Hg 的检出率均为 0.0%；S12 号站鱼类生物体 Pb、Cd、Cr、Hg 的检出率、虾类生物体 Pb、Cd、Cr、Hg 的检出率均为 0.0%。

各站分别按鱼类、虾类、贝类样品检测值平均，Zn、Cr、Cd、As 含量从高到低依次是贝类、虾类、鱼类；仅 Pb、TPHs 含量从高到低依次是贝类、鱼类、虾类；Cu 含量从高到低依次是虾类、贝类、鱼类；Hg 含量从高到低依次是鱼类、虾类、贝类；总体上虾贝生物体污染物含量呈高于鱼类的现象。

表 5.4-16 2016 年 4 月潮下带海洋生物质量统计表单位：(mg/kg)

种类	站位	种类	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	TPHs
鱼类	S1	鲷	0.78	nd	6.80	nd	nd	0.02	nd	0.25
	S2	长蛇鲻	0.47	nd	8.00	nd	nd	0.01	nd	0.67
	S3	半滑舌鳎	2.20	nd	8.00	nd	nd	nd	0.18	1.44
	S12	半滑舌鳎	0.92	nd	5.60	nd	nd	nd	0.11	4.33
	S7	拟矛尾虾虎鱼	1.90	0.24	8.20	nd	nd	0.02	0.08	0.57
	S8	浅色黄姑鱼	0.99	nd	8.80	nd	nd	0.02	0.09	1.18
	S9	海鳗	0.71	nd	6.40	nd	nd	0.02	nd	3.24
	S10	皮氏叫姑鱼	1.20	nd	8.40	nd	nd	nd	0.19	0.68
虾类	S1	近缘新对虾	5.00	nd	9.80	0.01	nd	nd	0.14	0.91
	S2		4.70	nd	8.40	nd	nd	nd	0.15	0.86
	S3		7.30	nd	12.00	nd	nd	nd	0.08	1.47
	S7		2.90	nd	13.00	nd	nd	nd	0.18	0.92
	S10		4.80	nd	11.00	nd	nd	nd	0.13	1.46
	S8	周氏新对虾	5.70	nd	12.00	0.02	0.54	nd	0.14	1.41
	S9		5.80	nd	12.00	0.02	nd	nd	0.13	0.99
	S12		刀额新对虾	4.00	nd	11.00	nd	nd	nd	0.23
软体类	S8	毛蚶	2.50	0.45	23.00	1.80	0.32	nd	0.40	77.90
平均			3.05	0.04	10.14	0.11	0.05	0.01	0.13	5.85
检出率 (%)			100	11.76	100	23.53	17.65	29.41	82.35	100

注：低于检出限的残毒因子均用 nd 表示。

5.4.7.3 评价结果

2016 年 4 月调查，在潮下带 S1、S2、S3、S7、S8、S9、S10、S12 号站共计 8 个拖网站位所采集的海洋生物体的 Cu、Cr、Hg、As 的质量指数均小于 1，没有超标现象出现；Zn、Pb、TPHs 和 Cd 部分样品超标，超标率分别为 5.88%、5.88%、5.88%、5.88%。

表 5.4-17 2016 年 4 月潮下带海洋生物质量指数

种类	物种名	站位	Cu	Pb	Zn	Cd	Cr	Hg	As	TPHs
鱼类	鲷	S1	0.04	0.00	0.17	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01
	长蛇鲻	S2	0.02	0.00	0.20	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03
	半滑舌鳎	S3	0.11	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07
		S12	0.05	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.02	0.22
	拟矛尾虾虎鱼	S7	0.10	0.12	0.21	0.00	0.00	0.05	0.02	0.03
	浅色黄姑鱼	S8	0.05	0.00	0.22	0.00	0.00	0.08	0.02	0.06
	海鳗	S9	0.04	0.00	0.16	0.00	0.00	0.08	0.00	0.16
	皮氏叫姑鱼	S10	0.06	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03
虾类	近缘新对虾	S1	0.05	0.00	0.07	0.01	0.00	0.00	0.02	0.05
		S2	0.05	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04
		S3	0.07	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07
		S7	0.03	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05
		S10	0.05	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.02	0.07
	周氏新对虾	S8	0.06	0.00	0.08	0.01	0.36	0.00	0.02	0.07
		S9	0.06	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00	0.02	0.05
	刀额新对虾	S12	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06
	平均值			0.06	0.01	0.13	0.00	0.02	0.02	0.02
超标率 (%)			0	0	0	0	0	0	0	0

5.4.7.4 生物质量评价

2016 年 4 月调查, 在潮下带 S1、S2、S3、S7、S8、S9、S10、S12 号站共计 8 个拖网站位所采集的海洋生物体的 Cu、Cr、Hg、As 的质量指数均小于 1, 没有超标现象出现; Zn、Pb、TPHs 和 Cd 部分样品超标, 超标率分别为 5.88%、5.88%、5.88%、5.88%。超标样品主要为毛蚶, 说明调查海域可能存在轻微的 Zn、Pb、Cd 和 TPHs 污染。

5.5 海洋渔业资源（生产）现状调查与评价

5.5.1 调查方法

5.5.1.1 调查时间及调查站位

2016年04月04日~06日，在大万山岛波浪能示范工程项目海域进行了鱼卵仔鱼8个站位的采样，采样站编号分别为S1、S2、S3、S7、S8、S9、S10、S12号站位。

5.5.1.2 调查项目

大万山岛波浪能示范工程项目海域渔业资源调查种类包括鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类和头足类等的种类组成、生物量组成、数量分布、重要种类的分布及生物学特性，并进行渔业资源评估等。

5.5.1.3 采样和分析方法

渔业资源调查游泳生物的采样和分析均按《海洋监测规范》(GB17378—2007)和《海洋调查规范-海洋生物调查》(GB/T 12763.6—2007)中规定的方法进行。

(1) 调查采样

游泳生物调查使用的网具为单船底拖网。在各计划采样站拖网采样1次，调查船在到站前约1~2海里放网，向预定站位方向拖曳0.5小时，拖网时间的计算，从拖网曳纲停止投放和拖网着底，曳纲拉紧受力时起（为拖网开始时间）至停船起网绞车开始收曳纲时（为起网时间）止。每网次采样均分别测定和记录放网和起网时间、船位（经纬度）、平均拖速（节）和水深等参数。各网次采样的拖速按生产习惯拖速，尽量保持恒定，记取平均拖速。

本次调查在8个站位进行游泳生物调查。租用广东省珠海市“粤珠渔24449”拖网渔船进行，渔船主船长29.80m，型宽6.90m，型深2.60m。调查使用的网具为单船底拖网，网上纲25m，网全长33m，网衣网目尺寸50mm，网囊网目尺寸35mm。平均船速为1.5节，拖网时间0.5h，扫海面积约为0.0232 km²。

各站的渔获样品在现场进行分析和测定。渔获样品较少 (<20kg) 时, 将全部样品进行分析测定; 渔获物较多时, 先挑出大个体和稀有种类的样品, 其余小杂鱼样品随机取样, 再进行分析测定; 有幼鱼站位, 测量记录渔获样品后单独测量幼鱼尾数与幼鱼重量。各站的游泳生物渔获样品均鉴定到种。渔获样品的分析按站进行, 分别测定和记录各渔获种类的重量、尾数和体长范围、体重范围, 对各站次的主要经济种类进行生物学测定。

(3) 调查资料分析处理

a. 游泳生物数据处理与分析

游泳生物调查数据的处理与分析借助计算机进行。采样记录和样品分析数据经整理、核对和种名编码后采用 Excel 电子表格录入。录入数据在运用电子表格进行初步处理后使用计算机程序进行计算和分析。将渔获物分为鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类和头足类等生物类型进行分析。以各站次各种类的渔获数据为基础, 计算各站次、各种类的渔获组成、渔获率及渔业资源密度等参数。研究秋季游泳生物种类如鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类和头足类等的种类组成、生物量组成、数量分布、优势度、多样性指数、均匀度、经济种类的分布及生物学特性, 进行渔业资源评估; 分析产卵场、幼鱼育肥场、经济鱼类产卵场分布等。

游泳生物资源密度采用底拖网扫海面积法 (Shindo, 1973 转引自 Aoyama, 1973; Nguyen, 2005) 估算。计算公式为:

$$d = \frac{y}{vl} \cdot \frac{1}{(1-E)}$$

式中: d 为资源密度; y 为拖网渔获率; v 为平均拖速; l 为网口宽度 (取上纲的 0.67 倍); E 为逃逸率 (取 0.5)。

b. 游泳生物的优势度、多样性指数和均匀度

游泳生物种类的优势度 (Y) 用以下公式计算:

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

式中: n_i 为第 i 种的个体数; f_i 是该种在各站中出现的频率; N 为所有站每个种出现的总个体数。

采用 Shannon-Weaner 指数测定游泳生物的多样性指数，其计算公式为：

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

式中： H' 为种类多样性指数； S 为样品中的种类总数； P_i 为第 i 种的个体数与总个体数的比值。

采用 Pielou 均匀度测定游泳生物的均匀度，其公式为：

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

式中： J 为均匀度； H' 为种类多样性指数； S 为样品中的种类总数。

5.5.2 鱼卵仔鱼现状

5.5.2.1 种类组成

2016 年 4 月定量调查共采获鱼卵 721 枚、仔稚鱼 14 尾；经鉴定隶属于 1 门 12 科 20 种。采获的鱼卵和仔稚鱼属于沿岸浅海性种类，主要是鳀科、狗母鱼科、鲹科、带鱼科、马鲛科、长鲳科、石首鱼科、鲷科、鲷科、羊鱼科、鲷科、金线鱼科。

2016 年 4 月定量调查采获鱼卵 721 枚，分属 12 科 20 种，分别是鳀科赤鼻棱鳀 55 枚和康氏小公鱼 51 枚和鳀鱼 45 枚和青带小公鱼 15 枚、狗母鱼科多齿蛇鲻 60 枚和大头狗母鱼 45 枚和花斑蛇鲻 9 枚、鲹科丽叶鲹 55 枚和竹荚鱼 28 枚、带鱼科带鱼 sp.51 枚和带鱼 29 枚、马鲛科六指马鲛 62 枚、石首鱼科白姑鱼 35 枚和皮氏叫姑鱼 11 枚、鲷科前鳞骨鲷 42 枚、长鲳科刺鲳 42 枚、鲷科鲷鱼 35 枚、羊鱼科条尾绯鲤 33 枚、鲷科黑鲷 10 枚、金线鱼科金线鱼 8 枚。

2016 年 4 月定量调查采获仔稚鱼 14 尾，分属 2 科 2 种，分别为长鲳科刺鲳 7 尾、鲹科丽叶鲹 7 尾。

5.5.2.2 密度分布

(1) 鱼卵的密度分布

2016 年 4 月定量调查，整个调查海区鱼卵采获数量范围为 23 枚/网~156 枚/网，平均为 90.13 枚/网；密度变化范围为 186.29×10^{-3} 枚/ m^3 ~ 1263.50×10^{-3} 枚/ m^3 ，

最高出现在 S7 号站位，平均为 729.95×10^{-3} 枚/ m^3 ，其他参见表 5.5-1。

表 5.5-1 2016 年 4 月工程海域各采样站鱼卵的密度分布

站号	S1	S2	S3	S7	S8	S9	S10	S12	平均
数量(枚)	50	73	126	156	30	138	23	125	90.13
滤水量(m^3)	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47
密度($\times 10^{-3}$ 枚/ m^3)	404.97	591.25	1020.52	1263.50	242.98	1117.71	186.29	1012.42	729.95

(2) 仔稚鱼的密度分布

2016 年 4 月调查仔稚鱼的密度分布情况见表 5.5-2，整个调查海区仔稚鱼捕获数量范围为 0 尾/网~7 尾/网，平均为 1.75 尾/网；密度范围为 0.00×10^{-3} 尾/ m^3 ~ 56.70×10^{-3} 尾/ m^3 ，最高出现在 S9 号站位，平均为 14.17×10^{-3} 尾/ m^3 。

表 5.5-2 2016 年 4 月工程海域水平调查仔稚鱼的密度分布

站号	S1	S2	S3	S7	S8	S9	S10	S12	平均
数量(尾)	0	0	0	2	2	7	0	3	1.75
滤水量(m^3)	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47
密度($\times 10^{-3}$ 尾/ m^3)	0.00	0.00	0.00	16.20	16.20	56.70	0.00	24.30	14.17

(3) 鱼卵、仔稚鱼总密度分布

2016 年 4 月调查，鱼卵、仔稚鱼的总密度分布情况见表 5.5-3，整个调查海区鱼卵、仔稚鱼总捕获数量范围为 23 尾(枚)/网~158 尾(枚)/网，平均为 91.88 尾(枚)/网；密度范围为 186.29×10^{-3} 尾(枚)/ m^3 ~ 1279.70×10^{-3} 尾(枚)/ m^3 ，最高出现在 S7 站位，最低出现在 S10 站位，平均为 744.13×10^{-3} 尾(枚)/ m^3 。

表 5.5-3 2016 年 4 月工程海域鱼卵仔稚鱼总密度分布

站号	S1	S2	S3	S7	S8	S9	S10	S12	平均
数量(尾(枚))/网	50	73	126	158	32	145	23	128	91.88
滤水量(m^3)	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47	123.47
密度($\times 10^{-3}$ 尾(枚)/ m^3)	404.97	591.25	1020.52	1279.70	259.18	1174.41	186.29	1036.72	744.13

5.5.3 渔业资源种类组成

5.5.3.1 种类组成和分布

2016年4月春季，大万山岛波浪能示范工程项目海域游泳生物底层拖网采样，调查8站次，有效站次8站，共捕获渔业资源游泳生物种类13目33科48属65种，其中鱼类的种类最多，达43种、占总种数的66.15%，虾类8种、占总种数的12.31%，蟹类5种、占总种数的9.23%，虾蛄类3种、占总种数的4.62%，头足类4种、占总种数的6.15%。

表 5.5-4 2016 年 4 月春季海域渔获种类数

游泳生物类群	种	属	科	目
鱼类	43	38	27	9
虾类	8	4	1	1
蟹类	5	2	2	
虾蛄类	5	2	1	1
头足类	4	2	2	2
合计	65	48	33	13

2016年4月春季调查各站总渔获种数范围为19~29种，平均每站渔获23种，最低站次渔获种数出现在S8号站，最高站次渔获种数出现在S1号站。鱼类出现8站，出现站渔获种数范围为12~22种，各站平均每站渔获16种，最低站次渔获种数出现在S8号站，最高站次渔获种数出现在S7号站。虾类出现8站，出现站渔获种数范围为1~5种，各站平均每站渔获3种，最低站次渔获种数出现在S7、S10号站，最高站次渔获种数出现在S2、S9号站。蟹类出现7站，出现站渔获种数范围为1~2种，各站平均每站渔获1.3种，最低站次渔获种数出现在S3、S9、S12号站，最高站次渔获种数出现在S1、S2、S8、S10号站。

表 5.5-5 2016 年 4 月春季各站各类游泳生物渔获种数分布

站号	总渔获(种)	鱼类(种)	虾类(种)	蟹类(种)	虾蛄类(种)	头足类(种)
S1	29	20	4	2	3	0
S2	26	18	5	2	1	0
S3	21	13	4	1	1	2
S7	25	22	1	0	1	1
S8	19	12	4	2	0	1
S9	24	13	5	1	2	3
S10	19	14	1	2	1	1
S12	24	16	3	1	2	2
合计	65	43	8	5	5	4

5.5.3.2 多样性指数和均匀度

2016 年游泳生物的多样性指数分布范围在 1.463~3.524 之间, 平均为 2.827; 均匀度分布范围在 0.344~0.802 之间, 平均为 0.622。各调查站游泳生物的多样性指数和均匀度略有差异。

表 5.5-6 2016 年春季的游泳生物的多样性指数和均匀度

站号	总种数	多样性指数(H')	均匀度(J)
S1	29	3.440	0.708
S2	26	2.886	0.614
S3	21	3.524	0.802
S7	25	3.271	0.704
S8	19	2.997	0.706
S9	24	2.081	0.454
S10	19	1.463	0.344
S12	24	2.957	0.645
平均	23	2.827	0.622

5.5.3.3 优势种类和主要经济种类

2016 年春季大万山岛波浪能示范工程项目海域调查, 按渔获率大小顺序, 鱼类的优势种为赤鼻棱鯧、杜氏棱鯧、七丝鲚、康氏小公鱼、短吻鳐、红天竺鲷等, 虾类的优势种为刀额新对虾、近缘新对虾、周氏新对虾和亨氏仿对虾等, 蟹类的优势种为锐齿螯、锈斑螯和晶莹螯等, 虾蛄类的优势种为口虾蛄、棘突猛虾蛄和断脊口虾蛄等, 头足类的优势种为田乡枪乌贼和曼氏无针乌贼。

表 5.5-7 2016 年春季渔获样品优势种类和主要经济种类组成

序号	种名	出现次数	优势度	8 站平均渔获率		8 站平均尾数渔获率		体重 g/尾
				kg/h	%	ind/h	%	
1	赤鼻棱鯧	6	0.07197	3.544	12.801	516.4	20.683	5.6
2	锐齿蟳	5	0.04069	2.627	9.489	123.0	4.928	21.2
3	杜氏棱鯧	5	0.06310	2.157	7.789	207.1	8.294	10.4
4	七丝鲚	4	0.03365	2.127	7.683	126.0	5.048	16.8
5	刀额新对虾	2	0.03729	2.120	7.658	273.5	10.954	7.8
6	近缘新对虾	4	0.03444	1.872	6.762	127.0	5.085	14.7
7	康氏小公鱼	5	0.05238	1.602	5.786	157.7	6.318	10.3
8	短吻鳐	6	0.05042	1.368	4.940	147.0	5.889	9.6
9	红天竺鲷	1	0.00745	1.066	3.849	109.3	4.377	9.8
10	周氏新对虾	7	0.03016	0.859	3.102	94.3	3.775	8.6
11	鹿斑鳐	4	0.01960	0.839	3.030	231.0	9.252	3.6
12	田乡枪乌贼	3	0.00914	0.714	2.580	48.5	1.942	15.2
13	棘头梅童鱼	6	0.00987	0.689	2.488	26.0	1.039	25.6
14	银鲳	7	0.00528	0.657	2.373	15.1	0.604	40.0
15	六指马鲛	3	0.00274	0.625	2.255	25.5	1.021	24.5
16	口虾蛄	5	0.01884	0.566	2.043	55.7	2.231	10.1
17	裘氏小沙丁鱼	7	0.00724	0.516	1.862	22.5	0.901	22.6
18	亨氏仿对虾	5	0.01430	0.497	1.795	45.2	1.810	11.4
19	曼氏无针乌贼	2	0.00095	0.417	1.506	7.1	0.283	58.0
20	鳐	6	0.00313	0.398	1.437	8.3	0.333	47.7
21	刺鲳	8	0.01036	0.385	1.392	24.6	0.985	14.3
22	杜氏枪乌贼	4	0.00203	0.299	1.080	14.8	0.591	20.6
23	前鳞骨鲳	8	0.00317	0.271	0.979	7.9	0.317	30.3
24	短带鱼	1	0.00015	0.195	0.704	4.0	0.160	48.8
25	凤鲚	4	0.00116	0.181	0.655	9.5	0.381	18.6
26	棕斑腹刺鲀	1	0.00011	0.132	0.477	3.0	0.120	44.0
27	弓斑东方鲀	1	0.00023	0.099	0.358	3.4	0.137	29.0
28	须鳗鰕虎鱼	5	0.00333	0.099	0.356	10.0	0.402	9.7
29	带鱼	4	0.00015	0.074	0.268	1.4	0.055	53.1
30	银牙鱼或	2	0.00002	0.060	0.216	0.2	0.008	285.0
	其它种类合计	-	0.00498	0.633	2.287	51.8	2.076	-

5.5.4 渔获率分布

5.5.4.1 总渔获率分布

2016 年春季大万山岛波浪能示范工程项目海域渔业资源调查 8 站，总渔获量共 319.114kg、26833 尾，总平均渔获率为 27.688kg/h，总平均尾数渔获率为 1965.4ind/h。各类游泳生物的平均渔获率由高到低依次为鱼类、虾类、蟹类、头足类和虾蛄类。各类型游泳生物的平均尾数渔获率由高到低依次为鱼类、虾类、蟹类、头足类和虾蛄类。

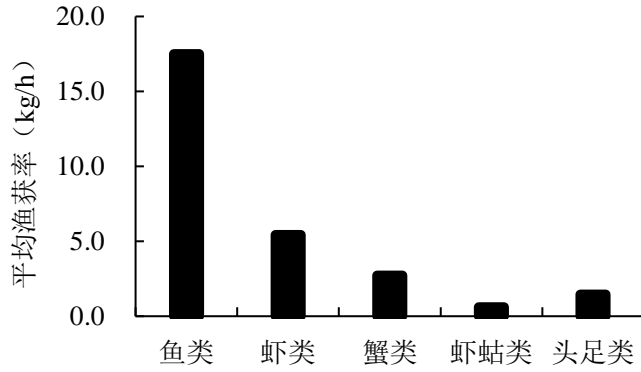


图 5.5-1 2016 年春季游泳生物平均渔获率

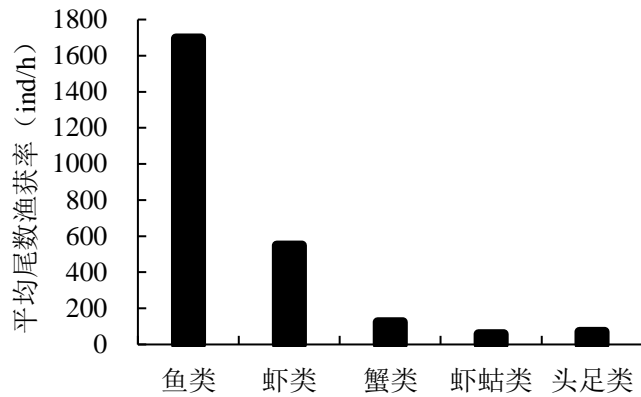


图 5.5-2 2016 年春季游泳生物平均尾数渔获率

表 5.5-8 2016 年春季渔业资源调查渔获率(kg/h)

调查站号	总渔获	鱼类	虾类	蟹类	虾蛄类	头足类
S1	7.559	4.431	2.408	0.697	0.023	0
S2	4.102	2.246	1.664	0.159	0.033	0
S3	135.437	69.426	34.754	18.579	4.372	8.306
S7	9.885	8.367	0.314	0	0.104	1.1
S8	10.029	7.008	1.203	1.638	0	0.18
S9	9.785	6.391	1.9	0.027	0.031	1.436
S10	38.304	36.736	0.76	0.516	0.1	0.192
S12	6.404	5.256	0.436	0.08	0.212	0.42
平均	27.688	17.483	5.430	2.712	0.609	1.454

表 5.5-9 2016 年春季渔业资源调查尾数渔获率(ind/h)

调查站号	总渔获	鱼类	虾类	蟹类	虾蛄类	头足类
S1	701.5	347.5	312.0	40.5	1.5	0.0
S2	497.0	188.0	301.0	5.0	3.0	0.0
S3	10600.9	5491.6	3415.3	874.3	437.2	382.5
S7	670.0	602.0	16.0	0.0	4.0	48.0
S8	704.0	474.0	145.0	65.0	0.0	20.0
S9	1518.0	1312.0	121.0	1.0	2.0	82.0
S10	4788.0	4720.0	52.0	8.0	4.0	4.0
S12	494.0	428.0	26.0	2.0	8.0	30.0
平均	2496.7	1695.4	548.5	124.5	57.5	70.8

5.5.4.2 各品种资源密度分布

2016 年春季调查, 单种平均渔获率最高为赤鼻棱鲉的 3.544g/h, 占总平均渔获率的 12.801%, 最低为油鲈、黑斑口虾蛄的 0.001kg/h, 占总平均渔获率的 0.003%; 单种平均尾数渔获率最高为赤鼻棱鲉的 516.4ind/h、占总平均尾数渔获率的 20.683%, 最低为尖尾鳎、娥眉条鳎、黑斑口虾蛄的 0.1ind/h, 占总平均尾数渔获率的 0.003%。

表 5.5-10 2016 年春季调查各品种资源密度

序号	种名	出现站数	8 站平均资源密度		8 站平均资源尾数密度		平均体重 g/ind
			kg/km ²	%	ind/km ²	%	
1	赤鼻棱鲉	6	3.544	12.801	516.4	20.683	5.6
2	锐齿鲟	5	2.627	9.489	123.0	4.928	21.2
3	杜氏棱鲉	5	2.157	7.789	207.1	8.294	10.4
4	七丝鲚	4	2.127	7.683	126.0	5.048	16.8
5	刀额新对虾	2	2.120	7.658	273.5	10.954	7.8
6	近缘新对虾	4	1.872	6.762	127.0	5.085	14.7
7	康氏小公鱼	5	1.602	5.786	157.7	6.318	10.3
8	短吻鳎	6	1.368	4.940	147.0	5.889	9.6
9	红天竺鲷	1	1.066	3.849	109.3	4.377	9.8
10	周氏新对虾	7	0.859	3.102	94.3	3.775	8.6
11	鹿斑鳎	4	0.839	3.030	231.0	9.252	3.6
12	田乡枪乌贼	3	0.714	2.580	48.5	1.942	15.2
13	棘头梅童鱼	6	0.689	2.488	26.0	1.039	25.6
14	银鲳	7	0.657	2.373	15.1	0.604	40.0
15	六指马鲛	3	0.625	2.255	25.5	1.021	24.5
16	口虾蛄	5	0.566	2.043	55.7	2.231	10.1
17	裘氏小沙丁鱼	7	0.516	1.862	22.5	0.901	22.6
18	亨氏仿对虾	5	0.497	1.795	45.2	1.810	11.4
19	曼氏无针乌贼	2	0.417	1.506	7.1	0.283	58.0

大万山岛波浪能示范工程环境影响报告书

序号	种名	出现站数	8站平均资源密度		8站平均资源尾数密度		平均体重 g/ind
			kg/km ²	%	ind/km ²	%	
20	鳓	6	0.398	1.437	8.3	0.333	47.7
21	刺鲳	8	0.385	1.392	24.6	0.985	14.3
22	杜氏枪乌贼	4	0.299	1.080	14.8	0.591	20.6
23	前鳞骨鲻	8	0.271	0.979	7.9	0.317	30.3
24	短带鱼	1	0.195	0.704	4.0	0.160	48.8
25	凤鲚	4	0.181	0.655	9.5	0.381	18.6
26	棕斑腹刺鲀	1	0.132	0.477	3.0	0.120	44.0
27	弓斑东方鲀	1	0.099	0.358	3.4	0.137	29.0
28	须鳎鰕虎鱼	5	0.099	0.356	10.0	0.402	9.7
29	带鱼	4	0.074	0.268	1.4	0.055	53.1
30	银牙鱼或	2	0.060	0.216	0.2	0.008	285.0
31	中华管鞭虾	4	0.051	0.185	7.3	0.292	7.1
32	锈斑蟳	1	0.050	0.181	0.5	0.020	100.0
33	丽叶鲰	2	0.047	0.168	1.3	0.050	37.2
34	二长棘鲷	1	0.045	0.163	20.0	0.801	2.3
35	鲷	1	0.042	0.152	0.5	0.020	84.0
36	皮氏叫姑鱼	3	0.042	0.150	2.5	0.100	15.5
37	棘突猛虾蛄	2	0.034	0.122	1.3	0.050	27.0
38	鳎蛄	2	0.030	0.109	0.3	0.013	95.3
39	眶棘双边鱼	3	0.027	0.098	4.6	0.185	5.8
40	黄斑蓝子鱼	2	0.026	0.093	0.5	0.020	48.3
41	圆吻海鲷	1	0.025	0.090	0.3	0.010	100.0
42	中国枪乌贼	1	0.024	0.087	0.5	0.020	48.0
43	晶莹蟳	3	0.019	0.068	0.3	0.013	67.7
44	孔鰕虎鱼	3	0.019	0.067	2.5	0.100	7.4
45	白姑鱼	1	0.015	0.054	0.3	0.010	59.5
46	鲷	1	0.014	0.049	3.4	0.137	4.0
47	日本蟳	1	0.012	0.045	0.5	0.020	24.8
48	哈氏仿对虾	3	0.012	0.044	0.9	0.035	11.5
49	龙头鱼	1	0.012	0.044	0.1	0.003	195.0
50	拟矛尾鰕虎鱼	2	0.012	0.044	1.3	0.050	10.3
51	花斑蛇鲻	1	0.010	0.037	0.3	0.010	41.0
52	墨吉对虾	1	0.010	0.036	0.3	0.010	40.0
53	斑鲷	2	0.009	0.034	0.2	0.008	57.0
54	黑尾前肛鰕	2	0.008	0.030	0.5	0.020	16.5
55	长毛对虾	1	0.008	0.028	0.3	0.010	31.0
56	截尾白姑鱼	1	0.006	0.023	0.1	0.005	51.0
57	长叉口虾蛄	1	0.005	0.019	0.3	0.010	21.0
58	红狼牙鰕虎鱼	1	0.004	0.016	0.6	0.025	7.0
59	断脊口虾蛄	2	0.004	0.014	0.2	0.008	20.0
60	聪明关公蟹	1	0.003	0.012	0.1	0.005	27.0
61	半滑舌鰕	1	0.003	0.011	0.1	0.005	24.0
62	尖尾鰕	1	0.001	0.005	0.1	0.003	21.0

序号	种名	出现站数	8站平均资源密度		8站平均资源尾数密度		平均体重 g/ind
			kg/km ²	%	ind/km ²	%	
63	娥眉条鳎	1	0.001	0.005	0.1	0.003	19.0
64	油鲷	1	0.001	0.003	0.1	0.005	7.0
65	黑斑口虾蛄	1	0.001	0.003	0.1	0.003	12.0

5.5.5 渔业资源密度分布

5.5.5.1 总资源密度分布

2016年春季大万山岛波浪能示范工程项目海域渔业资源调查总平均资源密度为 2496.675kg/km²，总平均资源尾数密度为 44937.1ind/km²。各类游泳生物的平均资源密度由高到低依次为鱼类、虾类、蟹类、头足类和虾蛄类；各类游泳生物的平均资源尾数密度由高到低依次为鱼类、虾类、蟹类、头足类和虾蛄类。

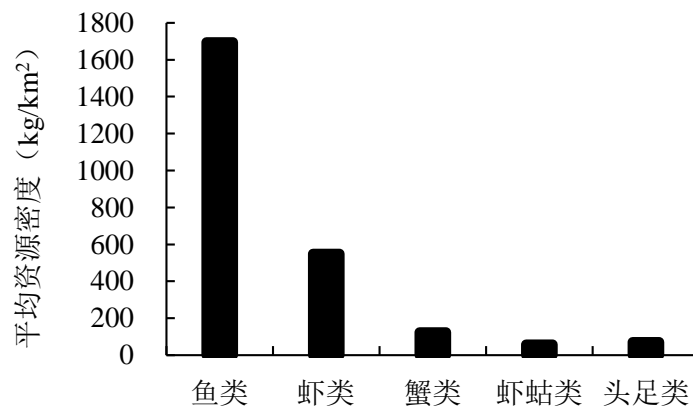


图 5.5-3 2016年春季游泳生物平均资源密度

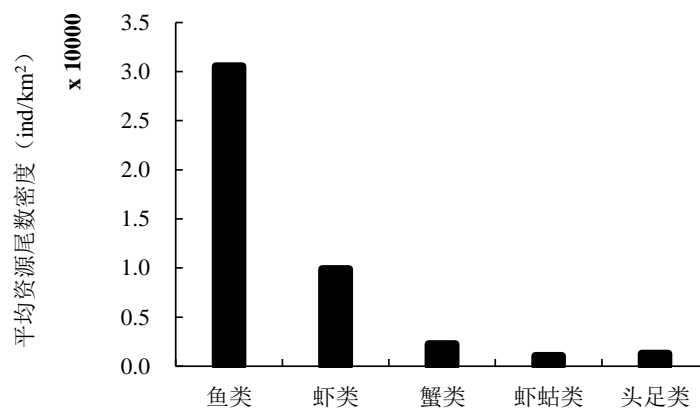


图 5.5-4 2016年春季游泳生物平均尾数密度

表 5.5-2 2016 年春季渔业资源调查资源密度(kg/km²)

调查站号	总渔获	鱼类	虾类	蟹类	虾蛄类	头足类
S1	701.50	347.50	312.00	40.50	1.50	0.00
S2	497.00	188.00	301.00	5.00	3.00	0.00
S3	10600.90	5491.60	3415.30	874.30	437.20	382.50
S7	670.00	602.00	16.00	0.00	4.00	48.00
S8	704.00	474.00	145.00	65.00	0.00	20.00
S9	1518.00	1312.00	121.00	1.00	2.00	82.00
S10	4788.00	4720.00	52.00	8.00	4.00	4.00
S12	494.00	428.00	26.00	2.00	8.00	30.00
平均	2496.68	1695.39	548.54	124.48	57.46	70.81

表 5.5-3 2016 年春季渔业资源调查资源密度(ind/ km²)

调查站号	总渔获	鱼类	虾类	蟹类	虾蛄类	头足类
S1	12626.0	6254.5	5615.6	728.9	27.0	0.0
S2	8945.5	3383.9	5417.6	90.0	54.0	0.0
S3	190804.4	98844.6	61470.5	15736.4	7868.2	6884.7
S7	12059.3	10835.4	288.0	0.0	72.0	863.9
S8	12671.2	8531.5	2609.8	1169.9	0.0	360.0
S9	27321.9	23614.2	2177.8	18.0	36.0	1475.9
S10	86177.3	84953.4	935.9	144.0	72.0	72.0
S12	8891.5	7703.5	468.0	36.0	144.0	540.0
平均	44937.1	30515.1	9872.9	2240.4	1034.2	1274.6

5.5.5.2 各品种资源密度分布

2016 年春季大万山岛波浪能示范工程项目海域调查, 单种平均资源密度最高为赤鼻棱鲉的 63.792kg/km², 占总平均资源密度的 12.801%, 最低为黑斑口虾蛄的 0.014kg/km², 占总平均渔获资源密度的 0.003%。单种平均资源尾数密度最高为赤鼻棱鲉的 9294.0ind/km², 占总平均资源尾数密度的 20.682%, 最低为龙头鱼、尖尾鳗、娥眉条鳗、黑斑口虾蛄的 1.1ind/km², 占总平均资源尾数密度的 0.003%。

表 5.5-13 2016 年春季调查各品种资源密度

序号	种名	出现站数	8 站平均资源密度		8 站平均资源尾数密度		平均体重 g/ind
			kg/km ²	%	ind/km ²	%	
1	赤鼻棱鲉	6	63.792	12.801	9294.0	20.682	5.6
2	锐齿鲟	5	47.290	9.489	2214.5	4.928	21.2
3	杜氏棱鲉	5	38.818	7.790	3726.8	8.293	10.4
4	七丝鲚	4	38.288	7.683	2268.5	5.048	16.8
5	刀额新对虾	2	38.161	7.658	4922.1	10.953	7.8

大万山岛波浪能示范工程环境影响报告书

序号	种名	出现站数	8站平均资源密度		8站平均资源尾数密度		平均体重 g/ind
			kg/km ²	%	ind/km ²	%	
6	近缘新对虾	4	33.701	6.763	2284.9	5.085	14.7
7	康氏小公鱼	5	28.836	5.786	2839.1	6.318	10.3
8	短吻鳐	6	24.619	4.940	2646.5	5.889	9.6
9	红天竺鲷	1	19.179	3.849	1967.1	4.377	9.8
10	周氏新对虾	7	15.461	3.102	1696.4	3.775	8.6
11	鹿斑鳐	4	15.101	3.030	4157.7	9.252	3.6
12	田乡枪乌贼	3	12.858	2.580	872.6	1.942	15.2
13	棘头梅童鱼	6	12.397	2.488	467.1	1.039	25.6
14	银鲳	7	11.828	2.374	271.4	0.604	40.0
15	六指马鲛	3	11.240	2.256	459.0	1.021	24.5
16	口虾蛄	5	10.181	2.043	1002.7	2.231	10.1
17	裘氏小沙丁鱼	7	9.278	1.862	405.0	0.901	22.6
18	亨氏仿对虾	5	8.946	1.795	813.5	1.810	11.4
19	曼氏无针乌贼	2	7.503	1.506	127.4	0.284	58.0
20	鳐	6	7.161	1.437	149.9	0.334	47.7
21	刺鲳	8	6.936	1.392	442.8	0.985	14.3
22	杜氏枪乌贼	4	5.382	1.080	265.5	0.591	20.6
23	前鳞骨鲳	8	4.880	0.979	142.5	0.317	30.3
24	短带鱼	1	3.510	0.704	72.0	0.160	48.8
25	凤鲚	4	3.262	0.655	171.0	0.381	18.6
26	棕斑腹刺鲀	1	2.376	0.477	54.0	0.120	44.0
27	弓斑东方鲀	1	1.783	0.358	61.5	0.137	29.0
28	须鳗鰕虎鱼	5	1.773	0.356	180.7	0.402	9.7
29	带鱼	4	1.337	0.268	24.8	0.055	53.1
30	银牙鱼或	2	1.074	0.216	3.4	0.008	285.0
31	中华管鞭虾	4	0.922	0.185	131.2	0.292	7.1
32	锈斑蟳	1	0.900	0.181	9.0	0.020	100.0
33	丽叶鲷	2	0.837	0.168	22.5	0.050	37.2
34	二长棘鲷	1	0.810	0.163	360.0	0.801	2.3
35	鳐	1	0.756	0.152	9.0	0.020	84.0
36	皮氏叫姑鱼	3	0.749	0.150	45.0	0.100	15.5
37	棘突猛虾蛄	2	0.608	0.122	22.5	0.050	27.0
38	鳗鲡	2	0.542	0.109	5.6	0.013	95.3
39	眶棘双边鱼	3	0.488	0.098	83.3	0.185	5.8
40	黄斑蓝子鱼	2	0.464	0.093	9.0	0.020	48.3
41	圆吻海鲷	1	0.450	0.090	4.5	0.010	100.0
42	中国枪乌贼	1	0.432	0.087	9.0	0.020	48.0
43	晶莹蟳	3	0.339	0.068	5.6	0.013	67.7
44	孔鰕虎鱼	3	0.335	0.067	45.0	0.100	7.4
45	白姑鱼	1	0.268	0.054	4.5	0.010	59.5
46	鲷	1	0.246	0.049	61.5	0.137	4.0
47	日本蟳	1	0.223	0.045	9.0	0.020	24.8
48	哈氏仿对虾	3	0.221	0.044	15.8	0.035	11.5

序号	种名	出现站数	8站平均资源密度		8站平均资源尾数密度		平均体重 g/ind
			kg/km ²	%	ind/km ²	%	
49	龙头鱼	1	0.219	0.044	1.1	0.003	195.0
50	拟矛尾鰕虎鱼	2	0.218	0.044	22.5	0.050	10.3
51	花斑蛇鲻	1	0.185	0.037	4.5	0.010	41.0
52	墨吉对虾	1	0.180	0.036	4.5	0.010	40.0
53	斑鲹	2	0.168	0.034	3.4	0.008	57.0
54	黑尾前肛鳗	2	0.149	0.030	9.0	0.020	16.5
55	长毛对虾	1	0.140	0.028	4.5	0.010	31.0
56	截尾白姑鱼	1	0.115	0.023	2.3	0.005	51.0
57	长叉口虾蛄	1	0.095	0.019	4.5	0.010	21.0
58	红狼牙鰕虎鱼	1	0.079	0.016	11.3	0.025	7.0
59	断脊口虾蛄	2	0.069	0.014	3.4	0.008	20.0
60	聪明关公蟹	1	0.061	0.012	2.3	0.005	27.0
61	半滑舌鳎	1	0.054	0.011	2.3	0.005	24.0
62	尖尾鳗	1	0.024	0.005	1.1	0.003	21.0
63	娥眉条鳎	1	0.021	0.004	1.1	0.003	19.0
64	油鲳	1	0.016	0.003	2.3	0.005	7.0
65	黑斑口虾蛄	1	0.014	0.003	1.1	0.003	12.0

5.5.6 渔场生产现状调查

5.5.6.1 渔业生产从业人口及基本情况

2012年，珠海市海洋渔业人口104184人中传统渔民26265人；海洋渔业专业从业人员55924人，其中，从事捕捞业55924人，从事养殖业4439人，其它从业人员1315人；兼业从业人员7210人；临时从业人员3578人。

表 5.5-14 珠海市海洋渔业人口与从业人员基本情况

年份	渔业人口（人）		专业从业人员（人）				兼业从业人员（人）	临时从业人员（人）
	小计	其中：传统渔民	小计	捕捞	养殖	其它		
2010	104427	26519	55969	4469	50175	1325	7343	3419
2011	104433	26520	55988	4467	50197	1324	7233	3532
2012	104184	26265	55924	4439	50170	1315	7210	3578

5.5.6.2 海洋捕捞生产现状

珠海市海洋捕捞作业方式主要有拖网、围网、刺网、钓业，其它作业方式还有笼捕和沿岸定置网等。

珠海市海洋捕捞生产渔场可以划分为三个类型，一类是近岸作业渔场，主要

是大量的小马力渔船以刺、钓等作业方式，以捕捞小杂鱼虾为主；第二类是 40~50m 水深至湾口作业渔场，主要是 170 马力左右的渔船以拖网、灯光围网等作业方式生产；第三类是珠江口外海渔场。目前，海洋捕捞主要集中在近岸海域，约占捕捞总量的 65%；40~50m 水深至外海作业渔场约占捕捞总量的 35%。

2012 年，珠海市渔船总数为 1634 艘，其中拖网船 63 艘、围网船 9 艘、刺网船 1316 艘、钓业船 55 艘、其它类型作业船 191 艘；海洋捕捞总产 11287t，其中鱼类 8626t、甲壳类 1588t、头足类 283t、贝类 568t、海藻 110t、其它 112t。

表 5.5-15 珠海市海洋捕捞生产基本情况

年份	渔船数(艘)						海洋捕捞主要种类及产量(t)						
	总船数	拖网	围网	刺网	钓业	其它	总产量	鱼类	甲壳类	头足类	贝类	海藻	其它
2010	2266	87	8	1634	63	474	11596	8764	1971	152	620	30	59
2011	2006	87	8	1384	63	464	11371	8765	1748	142	565	92	59
2012	1634	63	9	1316	55	191	11287	8626	1588	283	568	110	112

5.5.6.3 珠海市海水养殖生产现状

珠海市主要养殖方式有浅海养殖、滩涂养殖和其他养殖方式。浅海养殖主要有网箱养殖、浅海殖播、筏式、吊笼等，养殖的品种主要有名贵优质鱼类、扇贝、鲍鱼等；滩涂养殖品种主要是沿海的螺、贻贝、文蛤、蛏、青蟹养殖和牡蛎插养；陆基养殖主要是池塘养殖，养殖品种主要是对虾和石斑鱼、鲈鱼等海水经济鱼类。

2012 年，海水养殖总产量 28852t，其中鱼类产量 10680t、甲壳类产量 6120t、贝类产量 11862t、其它海藻、海胆等种类产量 190t。

表 5.5-16 珠海市海水养殖基本情况

年份	海水养殖面积(公顷)				海水养殖主要种类及产量(t)				
	总面积	浅海	滩涂	其他	总产量	鱼类	甲壳类	贝类	其它
2010	18885	5220	7850	5815	26812	8985	6942	10815	5
2011	18745	5279	8281	5185	27849	9990	6415	11253	181
2012	18360	6074	7555	4758	28852	10680	6120	11862	190

5.5.1 主要经济鱼类的产卵场和育肥场

珠海万山海洋开发试验区海域所在的珠江口咸淡水交界处多变的环境和辽阔的海域，环境复杂多变，水生生物种类多，鱼虾类区系的生态类型纷繁多样，分布有 200 多种经济鱼类，是多种经济虾类、蟹类、虾蛄类、头足类和多种优质贝类的栖息地和产卵繁育场所。

渔业资源结构复杂，以地方性种群为主，种类多、个体小、群体不大，幼鱼幼虾为主体，洄游不明显，部分近海种类通常作深浅往复越冬洄游。

工程海域是浅、近海和河口区多种经济鱼类的产卵场和幼体的产卵场、育肥场、索饵场、越冬场和洄游通道。

根据 2012 年秋季珠海桂山风电项目海域渔业资源底拖网调查中一些主要经济种类的生物学资料及以往的有关研究报告，对本调查海域主要经济鱼类的产卵场和幼鱼育肥场进行初步分析。

5.5.1.1 产卵场

据以往相关调查，珠江河口海域全年四季均有鱼类产卵，主要鱼类如凤鲚和棘头梅童鱼等的产卵期为春夏季、盛期为 3 和 5 月，秋季不是主要产卵期。2012 年 11 月渔业资源底拖网调查，主要经济种类成体大多已具有繁殖能力，没出现已成熟、即将产卵的亲体。调查水域主要经济鱼类的产卵期延续较长，周年均有鱼类产卵繁殖。

表 5.5-17 工程邻近海域主要经济鱼类产卵期

种名	产卵期(月份)	种名	产卵期(月份)
中华小沙丁鱼	3~6	多鳞鱻	3~4
龙头鱼	2~5	蓝圆鲹	10~翌年 7
黄鲫	2~4	竹荚鱼	10~翌年 4
长蛇鲻	1~5	白姑鱼	4~8
海鳗	3~5, 7~8	大黄鱼	3~8
青石斑鱼	5~7	日本金线鱼	3~8
带鱼	3~11	刺鲳	1~8

5.5.1.2 幼鱼育肥场

根据以往的调查,珠江河口浅海的大多数鱼类如凤鲚、棘头梅童鱼等主要在春夏季的丰水期间产卵,少数种类如银鲳等多在秋冬季的枯水期间产卵,因此,夏秋季进入河口区育肥的幼鱼种类和数量较多。该海域一直都有些咸淡水、海水经济鱼类的幼鱼进入本水域育肥,2012年秋季调查记录到幼鱼5种,幼鱼总渔获为2017尾、占该5种鱼类总尾数的57.300%,总尾数渔获率为252.3ind/h、占该5种鱼类总尾数渔获率的53.300%。

表 5.5-18 2012 年 11 月主要经济鱼类幼鱼及成鱼渔获情况统计

站号	出现幼鱼的主要经济鱼类	总渔获		幼鱼	
		渔获尾数(尾)	尾渔获率(ind/h)	渔获尾数(尾)	尾渔获率(ind/h)
A1	棘头梅童鱼	280.0	560.0	224.0	448.0
A3	棘头梅童鱼	976.0	2957.6	248.0	751.5
A4	棘头梅童鱼	360.0	720.0	320.0	640.0
A6	鹿斑鳐	224.0	448.0	56.0	112.0
A6	白姑鱼	12.0	24.0	8.0	16.0
A7	棘头梅童鱼	638.0	1276.0	604.0	1208.0
A8	棘头梅童鱼	72.0	144.0	40.0	80.0
A8	黄斑蓝子鱼	12.0	24.0	8.0	16.0
A9	棘头梅童鱼	56.0	112.0	36.0	72.0
A9	黄斑蓝子鱼	40.0	80.0	16.0	32.0
A10	棘头梅童鱼	176.0	352.0	140.0	280.0
A12	白姑鱼	31.0	62.0	25.0	50.0
A15	白姑鱼	18.0	36.0	26.0	52.0
A15	棘头梅童鱼	2.0	4.0	10.0	20.0
A16	杜氏叫姑鱼	4.0	8.0	2.0	4.0
A16	棘头梅童鱼	10.0	20.0	6.0	12.0
A20	白姑鱼	12.0	24.0	10.0	20.0
A22	棘头梅童鱼	176.0	352.0	170.0	340.0
A26	鹿斑鳐	344.0	688.0	48.0	96.0
A28	鹿斑鳐	78.0	156.0	20.0	40.0

根据2012年11月本次调查各站幼鱼总渔获情况,除A11和A14外,各站均是幼鱼育肥场,其中A3、A4、A7站是秋季本调查海域的主要幼鱼育肥场

5.6 中华白海豚及其他珍稀濒危动物资源

中华白海豚,属国家一级保护动物。中华白海豚(*Sousa chinensis* Osbeck 1765)是一种沿岸定居性的小型齿鲸类,属海洋哺乳动物,是世界上85种鲸类之一,国际上习惯称之为印度太平洋驼背豚(*Indo-Pacific humpback dolphin*)。

中华白海豚在动物分类学上属脊索动物门(Chordata),哺乳纲(Mammalia),

鲸目(Cetacea), 齿鲸亚目(Odontoceti), 海豚科(Delphinidae), 白海豚属(Sousa)。分布于西太平洋和印度洋东部的沿岸水域, 属暖水性种类。在印度尼西亚、加里曼丹、马来西亚、马六甲海峡、泰国湾、斯里兰卡及南海沿岸国家均有分布。在中国水域, 主要分布东南沿海的河口内湾, 北至福建省宁德市(Chen et al.2012), 南至北部湾的越南水域边界。

根据《珠海桂山海上风电场示范项目海洋生态评价专题报告》, 中华白海豚分布几乎遍及整个伶仃洋, 北至深圳宝安机场附近, 南至东澳岛北; 分布比较密集的区域有淇澳岛至内伶仃岛之间水域、内伶仃岛至牛头山之间靠近大屿山的伶仃洋西侧水域(保护区核心区)、青洲至三角岛之间等。

中华白海豚分布数量的波动估计与渔业资源有关, 伶仃洋在没有人为剧烈干扰的情况下(如大型填海建设), 也会因气候水文(如降水、气温等)自然因素, 渔业捕捞有丰产年和歉收年, 有的年份鱼类资源丰富会吸引海豚聚集在伶仃洋活动。因此, 伶仃洋中华白海豚的基本数量约在 900 头左右。

本工程距离白海豚主要活动范围较远。

5.7 幼鱼幼虾保护区及其他珍稀濒危水生动物

5.7.1 南海区幼鱼幼虾保护区

该保护区在《中国海洋渔业水域图(第一批)-南海区渔业水域图(第一批)》中介绍, 广东省沿岸由粤东的南澳岛至粤西的雷州半岛徐闻县外罗港沿海 20m 水深以内的海域保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日。

5.7.2 南海北部幼鱼繁育场保护区

《中国海洋渔业水域图(第一批)》(2002 年 4 月 29 日农业部 189 号公告)划有珠江口幼鱼幼虾保护区, 为珠江口沿海 20m 水深以内的海域, 保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日, 主要保护对象经济幼鱼幼虾。幼鱼幼虾保护区保护期内减少密网作业, 为经济鱼虾提供育肥场所。同时, 海域划有南海北部幼鱼繁育场保护区, 该保护区位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线、17 个基点连线

以内水域，保护期为 1~12 月，禁止捕捞幼鱼。

本工程处于珠江口幼鱼幼虾保护区之内，南海北部幼鱼繁育场保护区南部边界。

表 5.7-1 南海北部幼鱼繁育场保护区 17 个基点地理位置表

基点	东经	北纬	基点	东经	北纬
1	117° 40'	23° 10'	10	119° 00'	18° 00'
2	117° 25'	23° 00'	11	108° 30'	18° 20'
3	115° 10'	22° 05'	12	108° 20'	18° 45'
4	114° 50'	22° 05'	13	108° 20'	19° 20'
5	114° 00'	21° 30'	14	109° 00'	20° 00'
6	111° 20'	21° 00'	15	108° 50'	20° 50'
7	111° 35'	20° 00'	16	108° 30'	21° 00'
8	110° 40'	18° 30'	17	108° 30'	21° 31'
9	109° 50'	17° 50'			

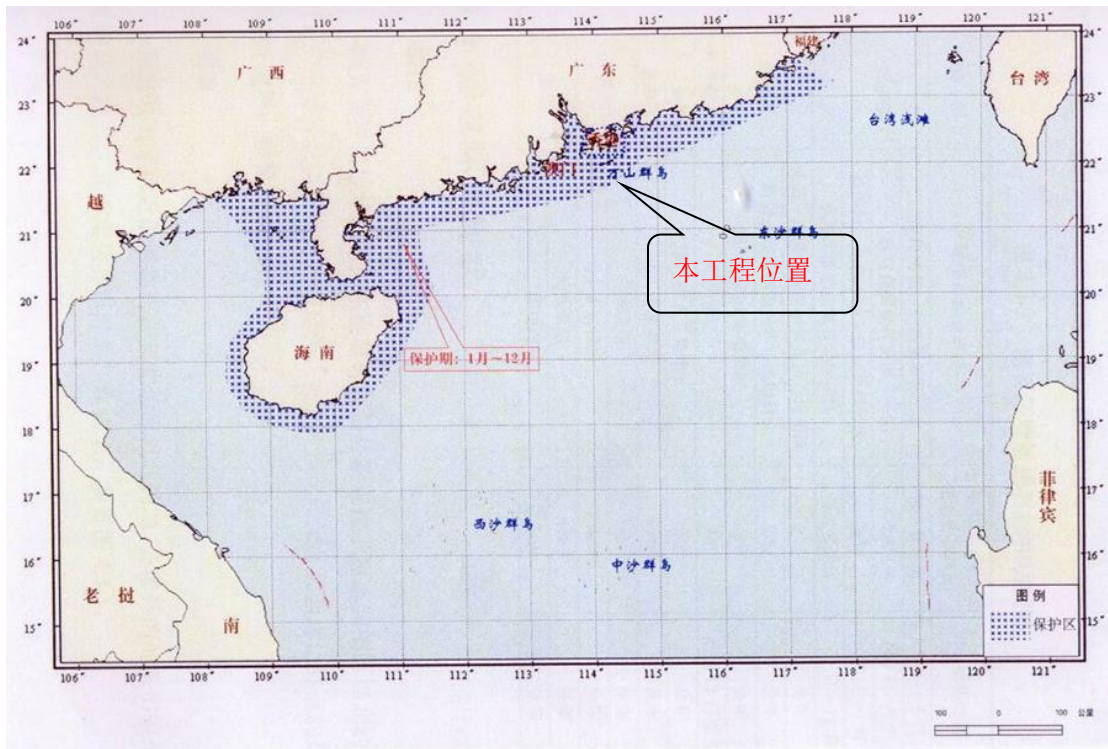


图 5.7-1 南海北部幼鱼繁育场保护区示意图

5.7.3 重要经济生物产卵场

根据农业部 189 号文公布的《中国海洋渔业水域图（第一批）-南海区渔业

水域图（第一批）》，本项目所在海域涉及到南海中上层鱼类产卵场和南海底层、近底层鱼类产卵场。

南海中上层鱼类产卵场主要包括蓝圆鲹、鲈鱼和竹筴鱼产卵场。本项目所在海域的各产卵场位置简述如下：

珠江口近海区蓝圆鲹产卵场：约为东经 $112^{\circ} 50' - 114^{\circ} 30'$ ，北纬 $21^{\circ} - 22^{\circ}$ ，水深为 60 米以内，产卵期 12-3 月。

珠江口近海区鲈鱼产卵场：位于东经 $113^{\circ} 15' - 116^{\circ} 20'$ ，北纬 $21^{\circ} - 22^{\circ} 25'$ ，水深 30—80 米，产卵期 1-3 月。

南海底层、近底层鱼类产卵场主要包括金线鱼、深水金线鱼、二长棘鲷、红笛鲷、绯鲤类、短尾鳍大眼鲷、长尾大眼鲷、脂眼鲱和黄鲷产卵场。

金线鱼南海北部产卵场：分布范围较广，由海南岛东岸一直延伸到汕尾附近（为东经 $111^{\circ} 45' - 115^{\circ} 45'$ ），水深为 25-107 米，主要是 40-80 米，产卵期 3-8 月。

珠江口绯鲤类近海产卵场位于东径 $112^{\circ}55'-115^{\circ}40'$ ，北纬 $21^{\circ}30'-22^{\circ}15'$ ，水深为 20-87m，产卵期 3-6 月。

万山列岛长尾大眼鲷产卵场约为东经 $113^{\circ}20'-115^{\circ}45'$ ，北纬 $20^{\circ}35'-22^{\circ}20'$ 。两产卵场水深为 26-80m。

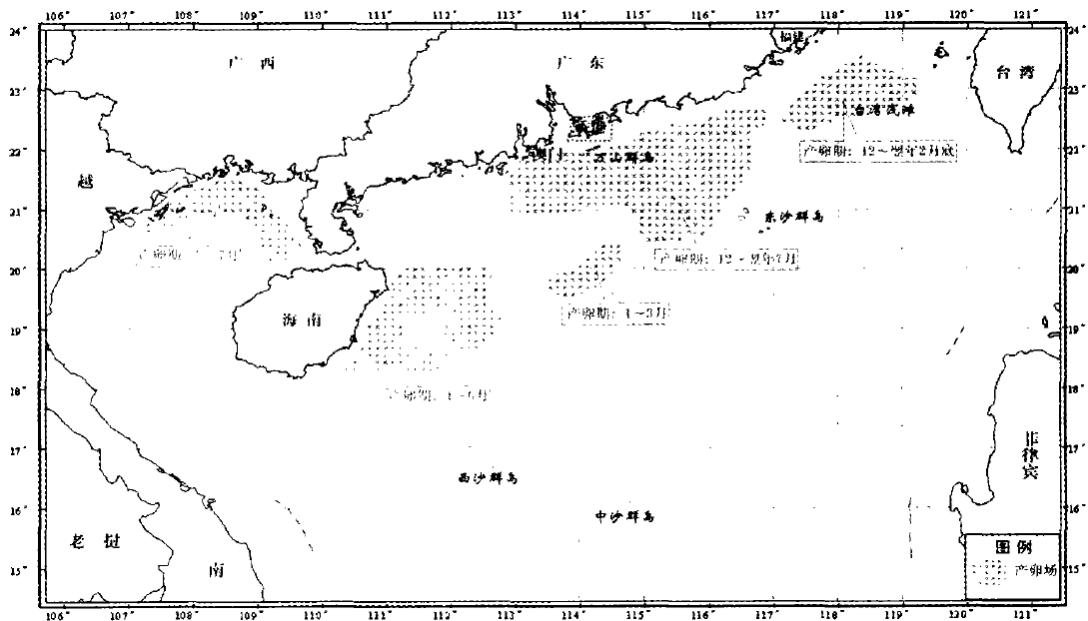


图 5.7-2 南海中上层鱼类产卵场示意图

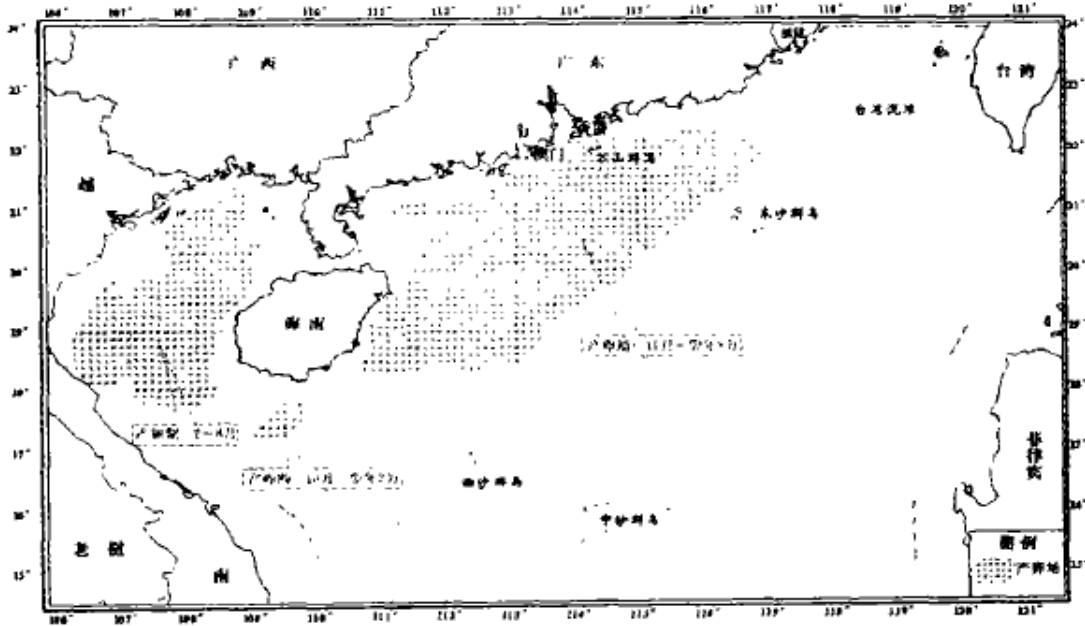


图 5.7-3 南海底层、近底层鱼类产卵场示意图

5.7.4 其他珍稀、濒危水生野生动物

已知在珠海附近海域及附近水域，国家和省级重点保护的水生野生动物除中华白海豚外还有中华鲟、黄唇鱼、江豚和鲟鱼等。

5.7.4.1 中华鲟

中华鲟在动物分类学上隶属于脊索动物门，硬骨鱼纲，鲟形目，鲟科、鲟属，拉丁文学名 *Acipenser sinensis* Gray，俗称鲟龙，为我国特有的大型溯河产卵的珍稀种类，一般平均体长为 2.1m，平均体重为 86kg，寿命可长达 40 岁，属国家一级保护动物，在我国沿海均有分布。本水域是历史上中华鲟的出现水域之一。近年珠江三角洲的中华鲟人工繁殖取得了突破性的进展，并可养成上市，但野生资源仍很稀少。本次春、秋季生态环境调查均未在海域发现中华鲟。

5.7.4.2 黄唇鱼

黄唇鱼在动物分类学上隶属于脊索动物门，硬骨鱼纲，鲈形目，石首鱼科，黄唇鱼属，拉丁文学名 *Bahaba flavolabiata* (Lin)，俗称白花，大沃，为我国特有

的珍稀种类，属国家二级保护动物，常在我国东海和南海出现。成鱼一般长1~1.5m，重15~30kg，鱼鳔为上等补品，价格昂贵，可供药用。珠海桂山海域附近水域是黄唇鱼的分布区之一。珠江口一带以崖门口—银洲湖和伶仃洋—虎门水域较常见。黄唇鱼的成鱼主要栖息在浅近海水域，常进入河口区捕食鱼虾蟹类，幼鱼多栖息于河口或江河下游，以虾类为主要饵料。本次春、秋季生态环境调查均未在海域发现黄唇鱼的成鱼和幼鱼。

5.7.4.3 江豚

江豚是国家二级保护野生动物，是珠江口一带的常见种，俗称江猪、海猪。江豚是水栖哺乳类动物，在动物分类学上隶属于脊索动物门，哺乳纲，鲸目，鼠海豚科，拉丁文学名 *Neophocaena phocaenoides* (Cuvier)。江豚属国家二级保护动物。江豚体长一般1.5m左右，大的近2m，头部钝圆，无吻突，无背鳍，全身灰色或咖啡色。是一种分布较广的小型豚类，在西太平洋沿岸海域和各大河口均有分布，长江中下游也经常有江豚活动。在珠江口附近活动的江豚，多为2~5头的小群体，喜欢聚集在咸淡水交汇水域。珠海桂山海域附近水域亦常出现江豚。本次春、秋季生态环境调查均未在海域发现江豚。

5.7.4.4 鲎鱼

鲎鱼在动物分类学上隶属于脊索动物门，硬骨鱼纲，鲱形目，鲱科，鲎属，拉丁文学名 *Macrura van Hasselt*，俗称三黎，是一种经济价值较高的溯河繁殖的鱼类，属省级保护动物，为广东省重点保护的鱼类之一。珠海桂山海域附近水域是鲎鱼分布区之一。鲎鱼成鱼平时生活在浅海和河口区，繁殖季节进入江河。产卵期为6~8月，已知的主要产卵场位于广西境内的桂平县东塔。本次春、秋季生态环境调查均未在海域发现鲎鱼的成鱼和幼鱼。

5.7.4.5 鲨

鲨隶属于节肢动物门、肢口纲、剑尾目、鲨科、鲨属，俗称三刺鲨、两公婆、海怪、马蹄蟹、鲨鱼、中国鲨、王蟹、六月鲨。鲨起源甚早，被称为活化石。最早的鲨化石见于奥陶纪（5.05亿~4.38亿年前），形态与现代鲨相似的鲨化石出

现于侏罗纪（2.08 亿~1.44 亿年前）。中国鲎在国内主要分布于广东、广西、福建沿海海域，国外分布于日本、菲律宾等地。南方鲎，分布于印度、越南、新加坡、印度尼西亚、马来西亚。圆尾鲎，分布于印度、孟加拉、泰国、印度尼西亚，中国广西钦州、北海、海南儋州、临高、澄迈、海口地区沿海也有分布。幼体鲎食物以单胞藻、轮虫、丰年虫幼体、桡足类为主，成体可以食虾和小鱼。食用后容易发生机体过敏和中毒性休克等，由于鲎具有的特殊生理毒理性质，一直以来极少被人们捕杀，但近些年来，因有些人还没有真正认识到吃鲎对身体健康的危害性，一些小商贩在其经济利益的驱动下，在进行盲目炒作和蓄意误导，致使这种古生物鲎资源遭到严重破坏。中国鲎与南方鲎为省重点保护动物，《中国物种红色名录》为濒危级别；圆尾鲎为省重点保护动物，《中国物种红色名录》为易危级别。珠海万山海洋开发试验区附近海域是鲎分布区之一。本次春、秋季生态环境调查均未在海域发现鲎。

5 7 4 6 陆生植物资源现状调查与评价

大万山岛是珠江口万山列岛中十分重要的岛屿，岛上拥有居民和驻军，因此人为活动亦十分频繁，但由于长期开展海岛绿化工作，该处的植被维护状况较好，全岛遍布天然灌丛，在大万山镇政府周边的区域分布着大面积的台湾相思+破布叶+假苹婆群落。项目区域远离人为居住的大万山镇，周边只有大面积连片的草海桐+鸭脚木+潺槁树群落，群落生长现状良好。项目建设对其影响程度较低。

台湾相思+破布叶+假苹婆群落在大万山岛有分布。群落外貌呈浅绿色。乔木层以台湾相思、破布叶、假苹婆占优，伴以香楠和亮叶猴耳环；灌木层以豺皮樟、潺槁树、托竹、紫玉盘、羊角拗为主；草本层有华山姜、九节、酒饼簕等；层间植物包括粉箕笃、薇甘菊、马交儿、菝葜、野葛、藤黄檀、青牛胆、龙须藤等，群落边缘尚有鼠刺、大叶算盘子、朱砂根、笔管榕、朴树等植物。整个群落为人工栽培而成的绿化防护林，由于地处低山坡地，水肥条件相对较好，植物群落郁闭度较高，植物种类繁多，是海岛绿化和植被恢复的理想模式。

天然植被海岛上主要的植被类型，现存的天然植被为灌草丛，是植被演替的

先锋阶段。

草海桐+鸭脚木+潺槁树群落外貌呈绿色，同样地处迎风坡地，乔木层缺失，灌木层十分繁茂，建群种包括草海桐、鸭脚木、潺槁树，伴生华南省藤、对叶榕、棕竹、海芒果、山黄麻、托竹、许树、笔管榕等灌木。草本层植物丰富，包括芒草、双花虻蜞菊、白子菜、乌菟莓、猫尾草、娃儿藤、夜花藤、粤蛇葡萄。

灌草丛是海岛上最具优势的植被类型，其种类组成对植被恢复具有十分重要的参考价值，是天然的生态模板。

6 环境影响预测与评价

6.1 水文动力环境影响预测与评价

本工程为国内首座规模化开发波浪能开发项目，工程实施对海域水动力、波浪、冲淤环境影响无先例可循。同时由于本工程所涉及的波浪能结构尺寸较小，水动力模拟方案较为困难。对此，拟采用数学模型方法，应用三角结构网格精确模拟大尺度海域中波浪能机组基础结构物细部，主要考虑：

- 1、预测工程建设前后的潮流场及海床冲淤环境变化；
- 2、预测海缆敷设产生的悬浮物扩散场；
- 3、预测溢油风险事故的油膜运动轨迹。

模型首先计算潮流、泥沙场，然后再对水质影响进行预测。考虑到潮滩随涨、落潮或淹没或露出，模型中采用了活动边界技术，以保证模型计算的精度和连续性。

6.1.1 数学模型

6.1.1.1 基本方程

三维水动力学模型垂向采用 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：

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

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

(3) 湍动能方程:

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

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

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

在 sigma 坐标系中，垂向流速为定义为：

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

水平扩散项定义为：

$$\begin{aligned} hF_u &\approx \frac{\partial}{\partial x} \left(2hA \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hA \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \\ hF_v &\approx \frac{\partial}{\partial x} \left(hA \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2hA \frac{\partial v}{\partial y} \right) \end{aligned}$$

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

其中, $\sigma = \frac{z - z_b}{h}$, η : 表面水位; $h + \eta + d$: 总水深; u , v 和 w 是 x , y 和 z 三个方向上的速度分量; $f = 2\Omega \sin \phi$: 科氏力参数; ρ : 密度; S : 点源排放量; A : 水平涡粘度系数。

(4) 边界条件

海面边界条件 $\sigma = 1$;

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

海底边界条件 $\sigma = 0$;

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

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。

(5) 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。总时间步长取 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 45~58m^{1/3}/s。由于本报告计算域较大, 因此在整个计算域中 m 不可能取同一数值, 根据验证情况进行局部调整。

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:

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

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

计算得到。

6.1.1.2 计算范围及网格设置

范围模型计算范围为 $113^{\circ}21.36' \sim 114^{\circ}12.05'E$ ； $21^{\circ}45' \sim 23^{\circ}5.70'N$ ，网格节点数 24730 个、三角单元数 45005 个，最小单元间隔 6.0m，见图 6.1-1。

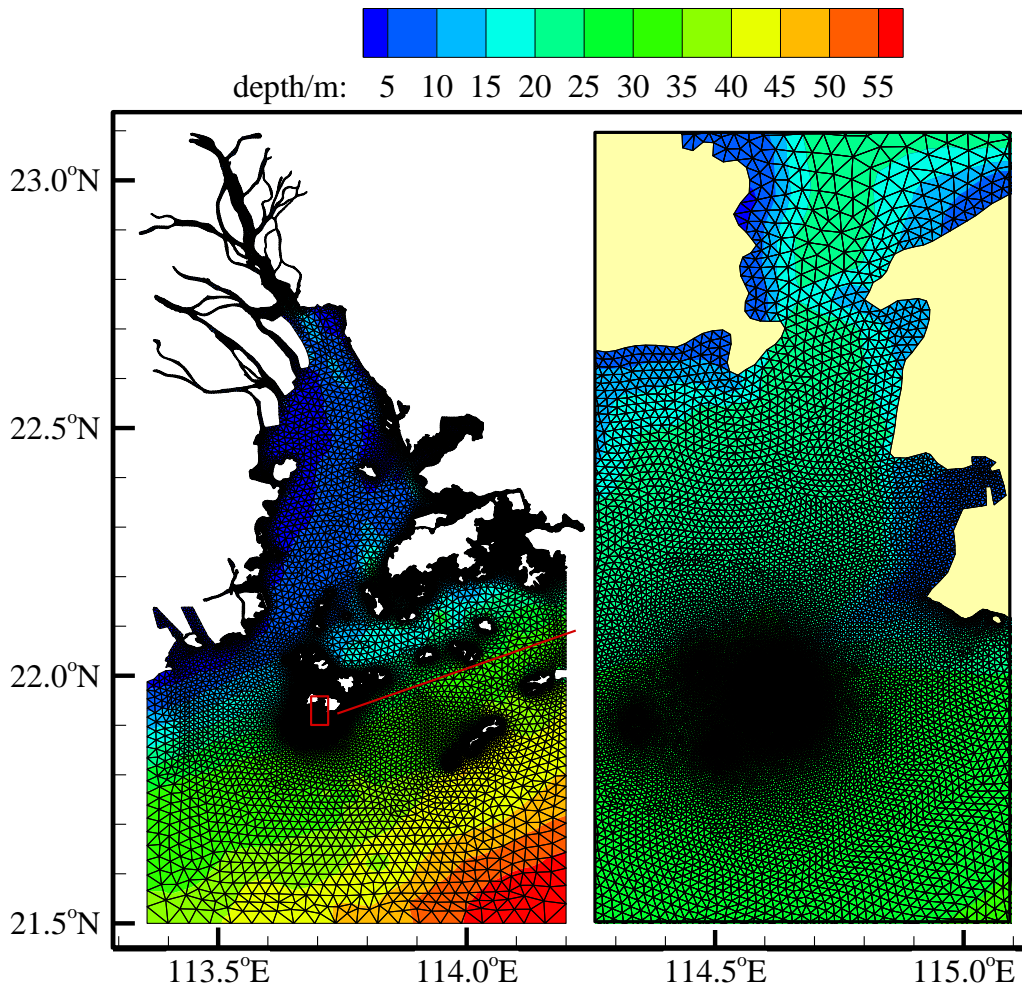


图 6.1-1 工程区水深及加密网格示意图

数值解法：采用非结构三角形网格和有限体积方法进行数值离散和求解。计算时将浅滩区作为干湿网格点进行处理。时间步长取 60 秒，海底粗糙度取 0.025。

边界条件：模型固边界法向速度等于零（垂直于岸边的流速为零），河流边界条件采用珠江各河口多年月平均径流量；模型中考虑了风的影响，海表边界条

件采用了月平均风速和风向。开边界采用全球潮汐模型计算的潮位，利用南海潮波模型提供的潮汐调和常数，以下式计算大模型水边界的强迫水位。该式不仅包括日周期潮流，也包括半日周期潮流。

模型计算中考虑了风的影响，外边界给定月平均风速，工程局区域采用2013年11月在本海域布设的测站S2和S5实测的同步风数据。

$$\begin{aligned} \zeta(t) = & H_{O1} \cos(\alpha_{O1}t - d_{O1}^0 - g_{O1}) + H_{M2} \cos(\alpha_{M2}t - d_{M2}^0 - g_{M2}) \\ & + H_{K1} \cos(\alpha_{K1}t - d_{K1}^0 - g_{K1}) + H_{S2} \cos(\alpha_{S2}t - d_{S2}^0 - g_{S2}) \\ & + H_{M4} \cos(\alpha_{M4}t - d_{M4}^0 - g_{M4}) + H_{MS4} \cos(\alpha_{MS4}t - d_{MS4}^0 - g_{MS4}) \end{aligned}$$

式中的 d^0 为实际测流日的天文变量。

珠江口及外海水深资料采用中华人民共和国海事局出版的海图：编号84203（2014），84001（2015），工程局局部水深采用中交四航院2014年4月实测水深。

初始条件：取流速和水位变化量为零。

模拟时间：现有实测资料包括2013年11月17日~18日在万山群岛海域布设的S1~S6共6个大潮水文观测站、2014年7月1日~16日工程海域附近N1（测试区）、N2（示范区）共2个海流观测站，见图4.1-2。模型计算分别选取2013年11月15日~30日；2014年7月1日~16日，覆盖一个完整全潮（大、中、小潮）时段。

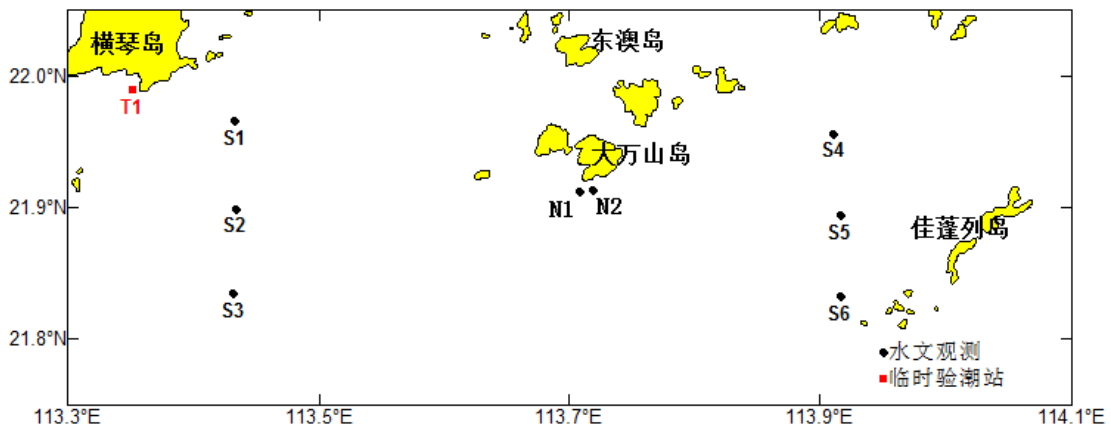


图 6.1-2 水文测点位置分布图

6.1.2 数学模型率定验证

图 6.1-3 为 T1 站潮位验证图，时间为 2013 年 11 月 15 日至 30 日；图 6.1-4~

图 6.1-5 分别为 S2、S5 站大潮潮位验证图、S1~S6 站流速、流向验证图，时间均为 2013 年 11 月 17 日 04 时至 18 日 06 时。

图 6.1-6、图 6.1-7 分别为 N1 与 N2 站潮位验证图、垂向平均流速与流向验证图，时间均为 2014 年 7 月 1 日至 16 日。

根据图中数据点走势线与实线的线型及峰谷位置比较来看，模型所模拟的各站潮位过程与天然情况比较吻合，各测点垂线平均流速的大小和转流过程与实测结果基本趋于一致，基本反映了研究海域的涨落潮时的潮汐特征及其流态变化。总体来说，模型验证结果满足规范规定的精度要求。

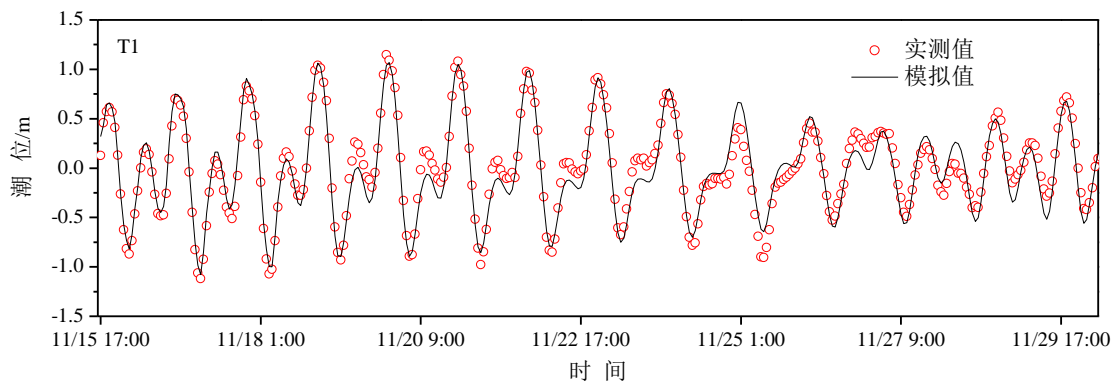


图 6.1-3 T1 站潮位验证图 (2013 年 11 月 15 日~30 日)

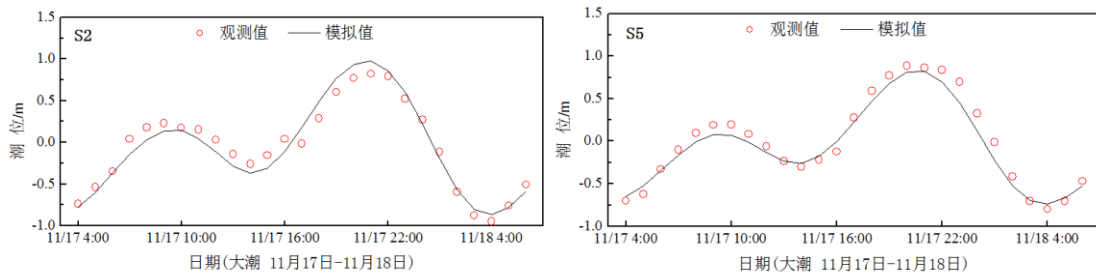


图 6.1-4 S2 与 S5 站大潮潮位验证图 (2013 年 11 月 17 日~18 日)

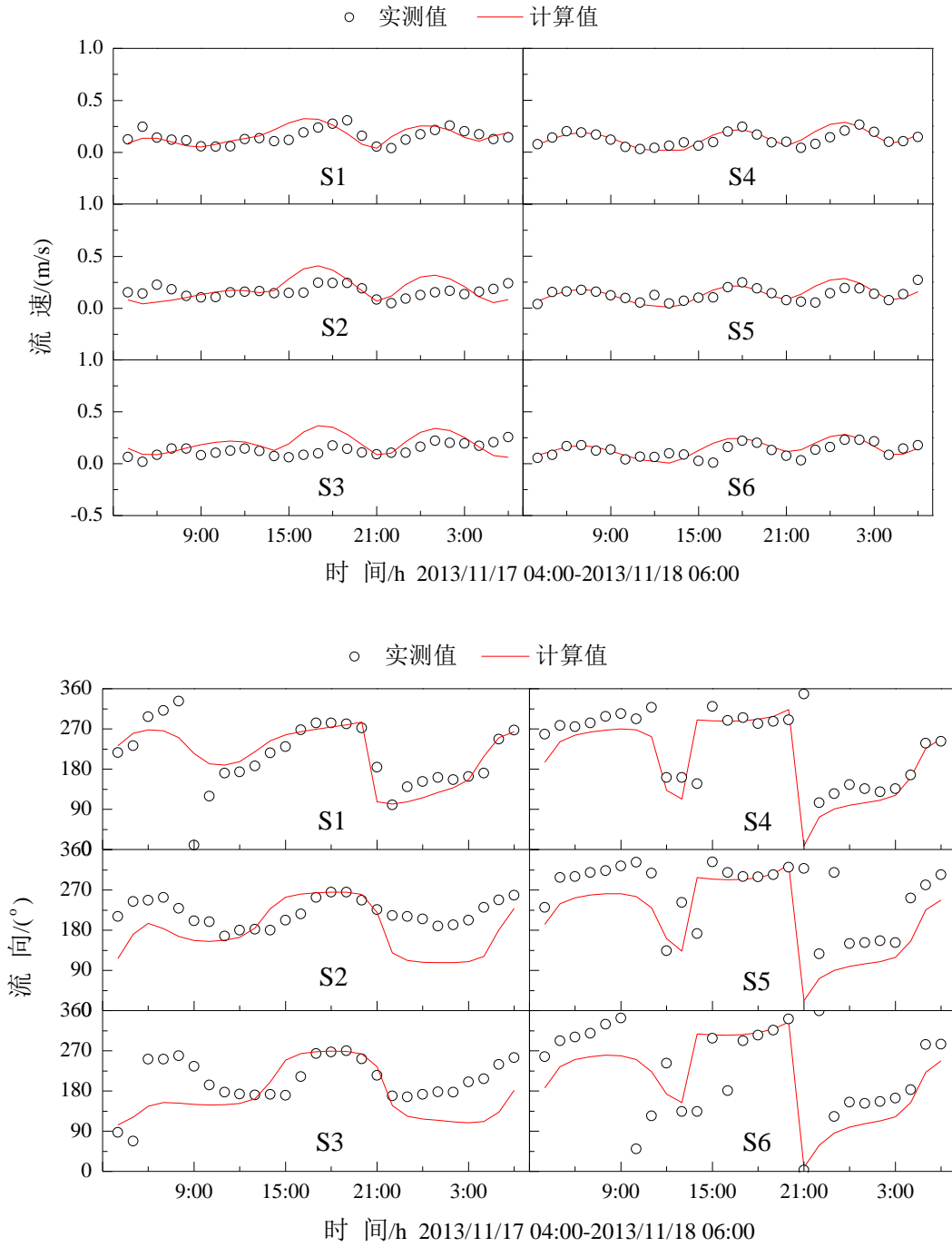


图 6.1-5 S1~S6 站大潮流速与流向验证图

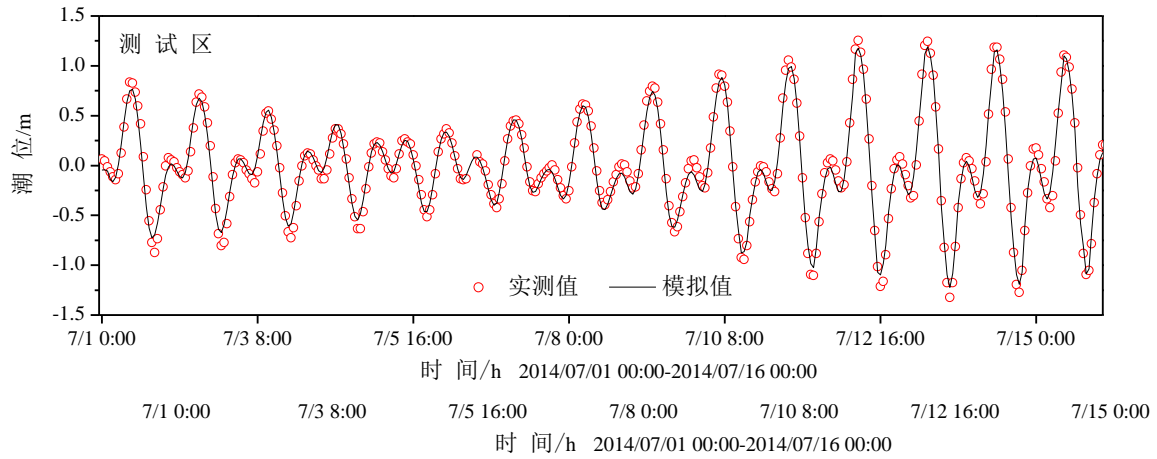


图 6.1-6 N1（测试区）与 N2（示范区）站潮位验证图

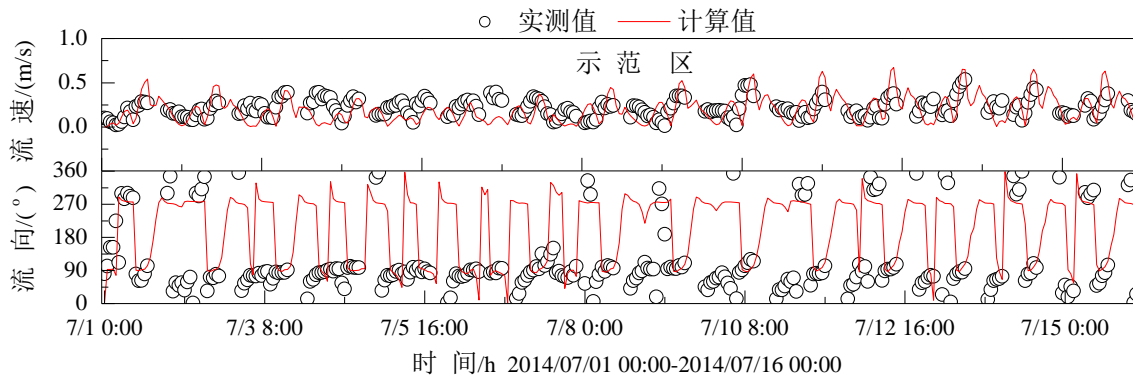


图 6.1-7N1（测试区）与 N2（示范区）站垂向平均流速与流向验证图

6.1.3 工程前后流场分析

流场分析时段选取2013年11月15日至30日。图6.1-8、图6.1-10为模型所复演的大范围海域涨、落急不同潮时的平面流态。涨潮时，涨潮流经万山群岛沿西北向流入珠江口，在横琴岛附近潮流一分为二，一部分涨潮流向北流入伶仃洋，由于河口的束流作用，这部分潮流的流速有所增大；另一部分涨潮流与西滩沿岸流一同流向西北，进入黄茅海域。落潮时正好相反。

从流态图中不难看出，珠江口主槽水流大于边滩水流；涨落潮流主流与出海航道的走向趋于一致。工程所在的万山群岛海区涨潮流为西北向、落潮为东南向。流速极值主要发生在万山群岛之间的狭窄水道之间，涨急最大流速接近0.53m/s，落急最大流速可达0.84m/s。落急流速略大于涨急流速。

本项目的波能采集装置虽然为透水式构筑物，但由于波能采集介质为振荡浮

子，浮子入水深度为15m，水中净浮力约为15t。重达34t的水底沉块通过5条锚链将其与浮子连接在一起，由海表至海底形成一个大型的阻水构筑物。在海流与波浪的推动作用下，浮子与锚系主体之间产生相对运动，驱动机械或液压系统通过发电设备发电。为了将复杂工程问题化简，模型计算时将这些漂浮在海中的波能采集装置及其圆弧型活动的泊位小区域视为不透水构筑物，计算工程前后流场的变化过程。波能采集装置位置见图6.1-9，其中西侧3个位于测试区、右侧6个位于示范区。

图6.1-9为工程前后流场涨急变化图、图6.1-11为工程前后流场落急变化图。为便于详细比较工程前后流速、流向变化情况，在工程附近共选取89个验证点进行流速验证，坐标点位置见表6.1-1、流速前后变化值见表6.1-2。

涨潮期：工程前工程海域涨潮流按顺时针方向绕大、小万山岛向西北流动，靠近海岛岸边流速随水深的变浅而逐渐减小，图6.1-9显示验证点的流速变化范围为0.15m/s~0.33m/s、流向主要变化范围为245°~303°。

工程后因波能水中构筑物的影响，涨潮流速及流向都发生了较大的变化。其中，示范区波能构筑物东西两侧垂直于涨潮流方向，水流运动受阻导致流速变小（表6.1-2中的验证点62、71），受东侧波能构筑物的影响，靠近大万山岛的涨潮流向略偏向东北（验证点43、46）；在束流影响下，构筑物东北侧（验证点20、23）、测试区与示范区之间（验证点38、61）以及构筑物南面（验证点80、94）的流速较工程前略有增大。

除此之外，工程后由于波能构筑物的影响，涨潮时测试区与示范区之间存在小的环流结构。图6.1-9局部细流场图显示，测试区内部存在小尺度的顺时针和逆时针环流，这些环流区域内的流速均小于工程前的流速，最大值不超过0.3m/s。

落潮期：工程前落潮流围绕大万山岛流向西南方向。与涨潮相似，靠近海岛岸边的流速因水深的变浅而逐渐减小，同时，由于大万山岛的阻流作用，其南面的流速也有所减小，流速较大值出现在大万山岛的东、西两侧。图6.1-11显示大万山岛东侧平均流速约为0.35m/s，西侧平均流速约为0.26m/s。

落潮流态工程后与工程前相似，但示范区与试验区之间出现小的环流，且示范区东侧流向顺应调整为东向。总体上流速较工程前要略小约10%。

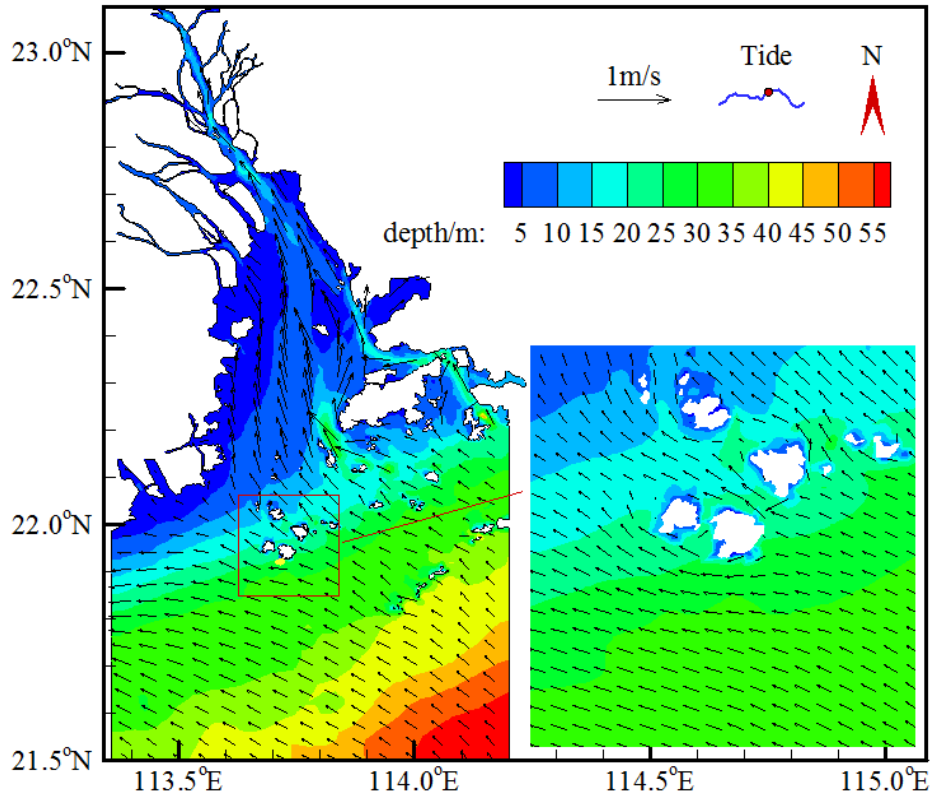


图 6.1-8 大范围涨急图 (2013.11.17 19:00)

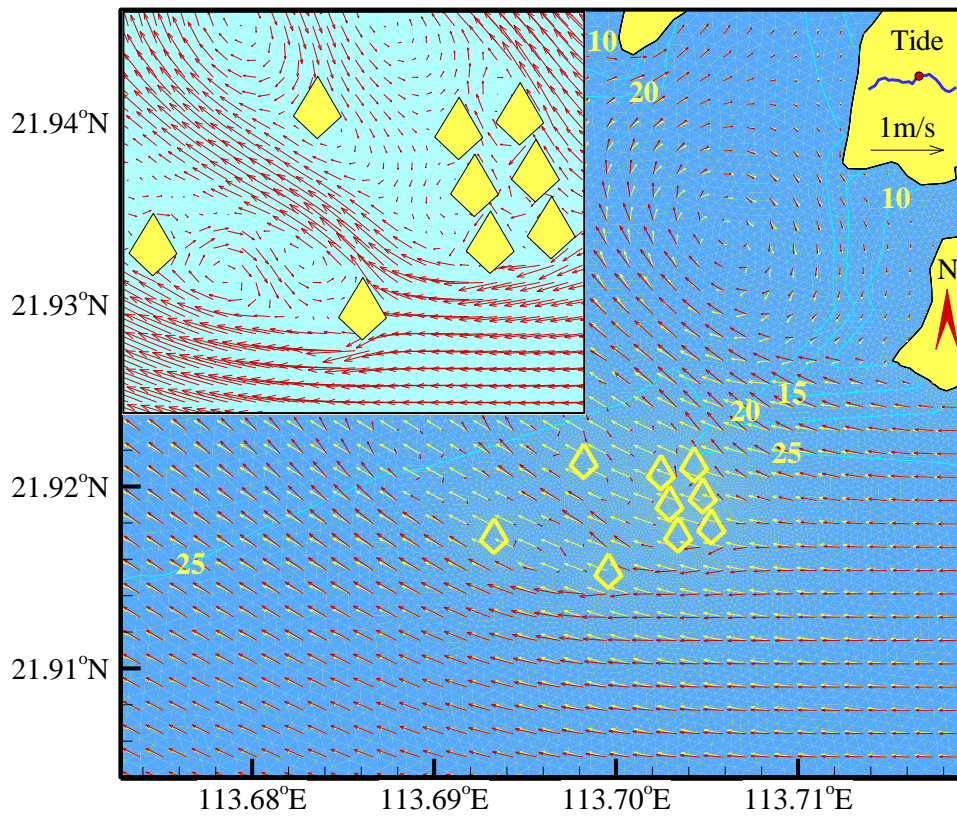


图 6.1-10 局部工程前后涨急图 (2013.11.17 19:00)

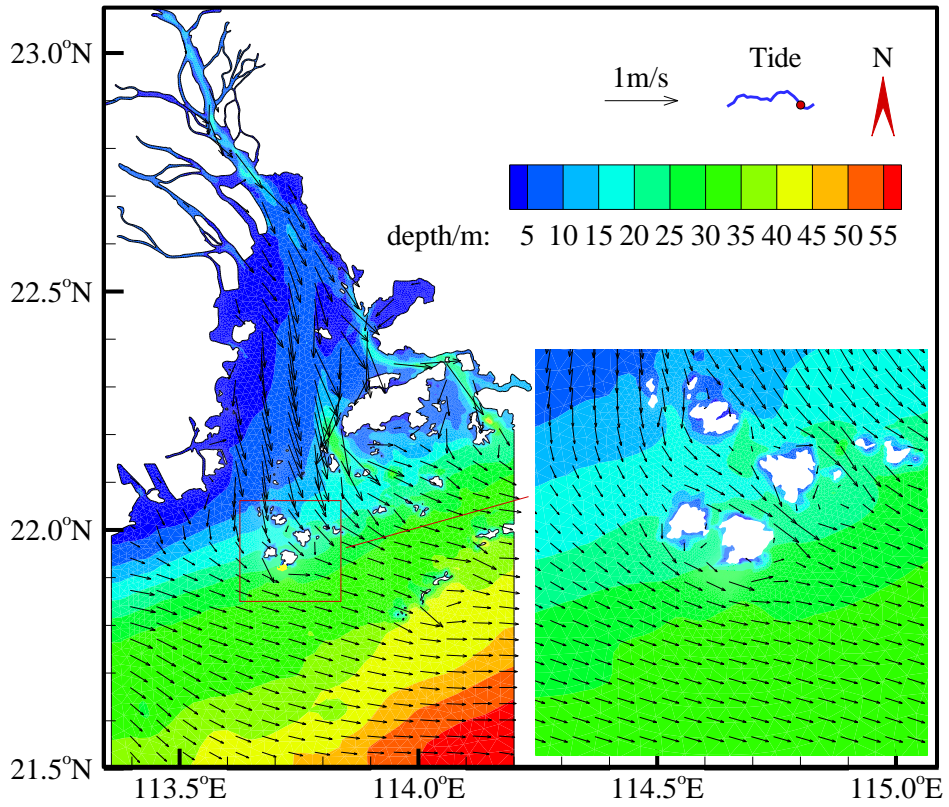


图 6.1-9 大范围落急图 (2013.11.18 02:00)

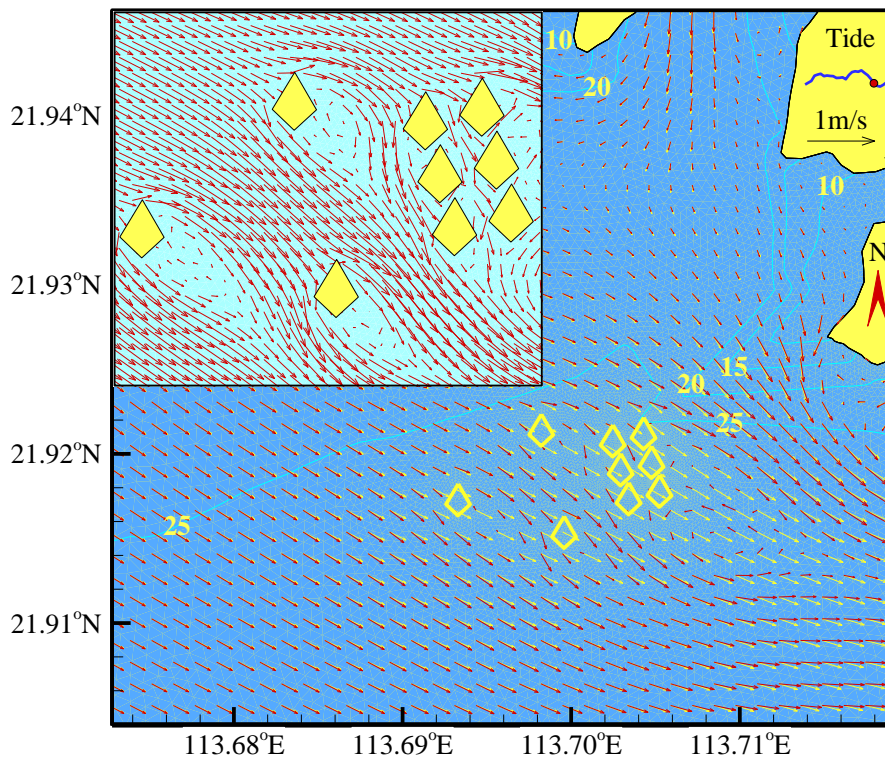


图 6.1-11 局部工程前后落急图 (2013.11.18 02:00)

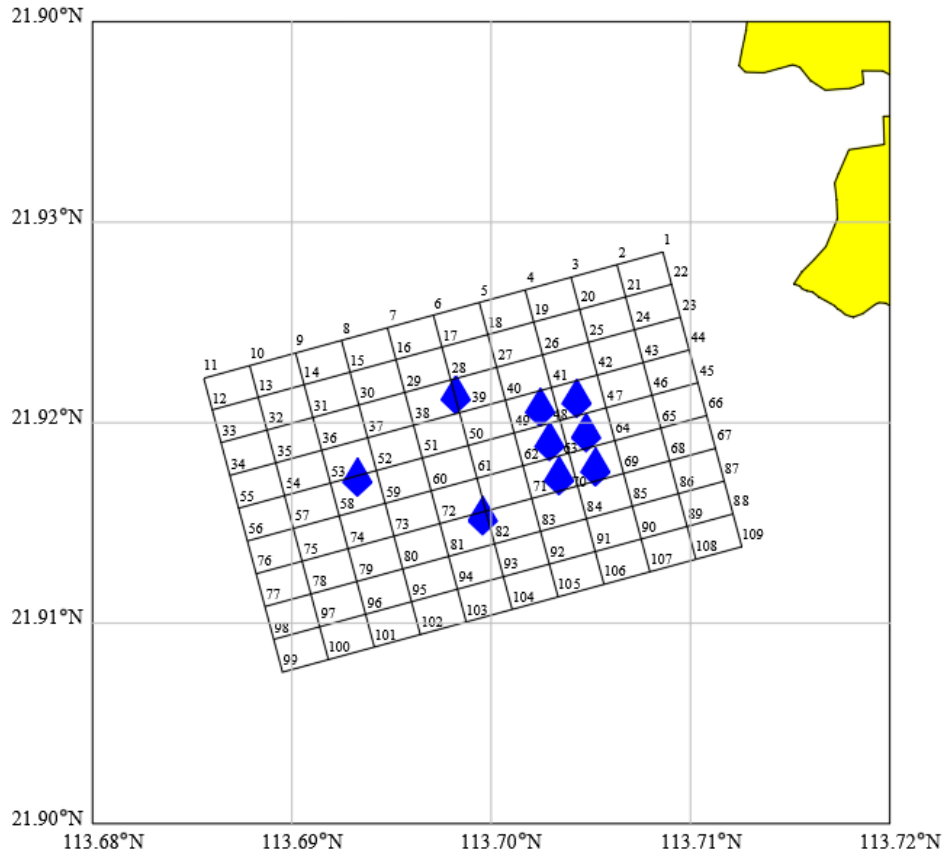


图 6.1-12 流速验证点编号

表 6.1-1 流速验证点坐标 (WGS1984)

编号	经度 E (°)	纬度 N (°)	编号	经度 E (°)	纬度 N (°)
1	113.70860	21.92850	56	113.68780	21.91410
2	113.70630	21.92790	57	113.69010	21.91470
3	113.70400	21.92730	58	113.69240	21.91540
4	113.70170	21.92660	59	113.69470	21.91600
5	113.69940	21.92600	60	113.69700	21.91660
6	113.69710	21.92540	61	113.69930	21.91720
7	113.69480	21.92470	62	113.70160	21.91790
8	113.69250	21.92410	63	113.70390	21.91850
9	113.69020	21.92350	64	113.70620	21.91910
10	113.68790	21.92290	65	113.70850	21.91970
11	113.68560	21.92220	66	113.71080	21.92040
12	113.68600	21.92060	67	113.71130	21.91870
13	113.68830	21.92130	68	113.70900	21.91810
14	113.69060	21.92190	69	113.70660	21.91750
15	113.69290	21.92250	70	113.70430	21.91680
16	113.69520	21.92310	71	113.70200	21.91620

大万山岛波浪能示范工程环境影响报告书

17	113.69750	21.92380	72	113.69740	21.91500
18	113.69980	21.92440	73	113.69510	21.91430
19	113.70210	21.92500	74	113.69280	21.91370
20	113.70440	21.92560	75	113.69050	21.91310
21	113.70670	21.92630	76	113.68820	21.91250
22	113.70910	21.92690	77	113.68870	21.91080
23	113.70950	21.92530	78	113.69100	21.91150
24	113.70720	21.92460	79	113.69330	21.91210
25	113.70490	21.92400	80	113.69560	21.91270
26	113.70260	21.92340	81	113.69790	21.91330
27	113.70030	21.92280	82	113.70020	21.91400
28	113.69800	21.92210	83	113.70250	21.91460
29	113.69570	21.92150	84	113.70480	21.91520
30	113.69340	21.92090	85	113.70710	21.91580
31	113.69110	21.92030	86	113.70940	21.91650
32	113.68880	21.91960	87	113.71170	21.91710
33	113.68640	21.91900	88	113.71210	21.91540
34	113.68690	21.91740	89	113.70980	21.91480
35	113.68920	21.91800	90	113.70750	21.91420
36	113.69150	21.91860	91	113.70520	21.91360
37	113.69380	21.91920	92	113.70290	21.91290
38	113.69610	21.91990	93	113.70060	21.91230
39	113.69840	21.92050	94	113.69830	21.91170
40	113.70070	21.92110	95	113.69600	21.91110
41	113.70300	21.92180	96	113.69370	21.91040
42	113.70530	21.92240	97	113.69140	21.90980
43	113.70760	21.92300	98	113.68910	21.90920
44	113.70990	21.92360	99	113.68950	21.90760
45	113.71040	21.92200	100	113.69180	21.90820
46	113.70810	21.92140	101	113.69410	21.90880
47	113.70580	21.92070	102	113.69640	21.90940
48	113.70350	21.92010	103	113.69870	21.91010
49	113.70120	21.91950	104	113.70110	21.91070
50	113.69890	21.91890	105	113.70340	21.91130
51	113.69650	21.91820	106	113.70570	21.91190
52	113.69420	21.91760	107	113.70800	21.91260
53	113.69190	21.91700	108	113.71030	21.91320
54	113.68960	21.91640	109	113.71260	21.91380
55	113.68730	21.91570			

表 6.1-2 工程前后涨急和落急的流速、流向变化情况

单位：流速 m/s；流向°

特征点	涨急						落急					
	工程前		工程后		流速	流向	工程前		工程后		流速	流向
	流速	流向	流速	流向	差值	差值	流速	流向	流速	流向	差值	差值
1	0.15	245	0.14	284	-0.01	39	0.17	150	0.17	145	0.00	-6
2	0.19	280	0.30	305	0.11	25	0.18	141	0.19	134	0.01	-7
3	0.30	301	0.33	312	0.04	10	0.19	133	0.19	125	0.01	-8
4	0.30	306	0.35	311	0.05	5	0.21	126	0.21	118	0.00	-8
5	0.28	307	0.15	296	-0.13	-12	0.22	121	0.21	114	-0.01	-7
6	0.27	307	0.18	155	-0.08	-152	0.24	118	0.22	112	-0.02	-6
7	0.26	305	0.12	78	-0.14	-227	0.26	117	0.23	114	-0.03	-2
8	0.26	304	0.20	348	-0.06	44	0.27	116	0.24	116	-0.03	0
9	0.26	303	0.02	200	-0.24	-104	0.28	117	0.25	118	-0.02	1
10	0.26	303	0.04	64	-0.22	-239	0.29	118	0.26	120	-0.02	2
11	0.26	302	0.21	335	-0.05	33	0.29	119	0.27	122	-0.02	3
12	0.27	301	0.28	323	0.01	22	0.28	119	0.26	122	-0.02	4
13	0.27	301	0.08	295	-0.19	-6	0.28	118	0.26	121	-0.03	3
14	0.26	302	0.05	226	-0.22	-76	0.28	117	0.25	119	-0.03	2
15	0.26	302	0.22	326	-0.05	24	0.27	117	0.24	118	-0.03	1
16	0.27	302	0.14	322	-0.13	20	0.26	117	0.22	117	-0.04	0
17	0.27	303	0.17	165	-0.10	-137	0.25	119	0.22	109	-0.03	-10
18	0.28	302	0.03	214	-0.26	-88	0.24	122	0.23	114	-0.01	-8
19	0.30	301	0.30	313	0.00	12	0.23	127	0.22	117	0.00	-9
20	0.31	296	0.33	313	0.02	17	0.21	133	0.23	123	0.01	-11
21	0.27	285	0.29	306	0.02	21	0.20	142	0.23	132	0.02	-9
22	0.17	259	0.24	290	0.08	31	0.21	152	0.22	144	0.01	-8
23	0.33	283	0.35	302	0.02	20	0.37	147	0.42	142	0.05	-5
24	0.32	287	0.31	310	-0.01	23	0.27	140	0.32	132	0.05	-9
25	0.30	294	0.32	318	0.02	24	0.24	133	0.27	118	0.02	-15
26	0.30	297	0.11	335	-0.18	37	0.24	127	0.22	115	-0.02	-12
27	0.28	299	0.06	126	-0.22	-173	0.25	122	0.25	119	0.00	-3
28	0.28	299	0.10	208	-0.18	-91	0.25	119	0.13	43	-0.12	-77
29	0.27	300	0.20	308	-0.07	9	0.26	118	0.21	126	-0.05	8
30	0.27	300	0.21	312	-0.06	12	0.27	117	0.24	119	-0.03	2
31	0.27	300	0.06	195	-0.21	-105	0.27	117	0.23	120	-0.04	3
32	0.27	300	0.16	302	-0.11	2	0.28	118	0.25	123	-0.03	5
33	0.27	300	0.32	314	0.05	15	0.28	119	0.26	123	-0.02	5
34	0.27	298	0.33	308	0.06	10	0.28	118	0.26	125	-0.02	7
35	0.27	298	0.29	306	0.01	8	0.27	118	0.24	126	-0.03	9

大万山岛波浪能示范工程环境影响报告书

特征点	涨急						落急					
	工程前		工程后		流速	流向	工程前		工程后		流速	流向
	流速	流向	流速	流向	差值	差值	流速	流向	流速	流向	差值	差值
36	0.27	298	0.06	133	-0.21	-166	0.27	117	0.20	123	-0.07	5
37	0.27	298	0.05	304	-0.22	6	0.27	117	0.27	115	0.00	-3
38	0.27	297	0.30	306	0.03	8	0.26	118	0.26	131	0.00	12
39	0.28	297	0.03	230	-0.25	-66	0.26	119	0.05	180	-0.21	61
40	0.28	296	0.06	136	-0.22	-160	0.26	122	0.19	157	-0.07	35
41	0.29	295	0.12	313	-0.17	18	0.26	126	0.20	123	-0.06	-3
42	0.33	294	0.32	324	-0.01	30	0.29	131	0.37	115	0.08	-16
43	0.33	289	0.29	310	-0.04	20	0.31	134	0.39	126	0.08	-8
44	0.31	284	0.28	299	-0.03	15	0.31	140	0.38	135	0.07	-5
45	0.31	281	0.25	292	-0.06	10	0.30	134	0.39	131	0.09	-3
46	0.32	285	0.23	302	-0.09	17	0.29	129	0.40	122	0.11	-7
47	0.30	289	0.19	325	-0.11	37	0.28	125	0.03	160	-0.25	34
48	0.29	291	0.11	322	-0.19	31	0.27	123	0.20	154	-0.07	31
49	0.28	293	0.05	197	-0.23	-96	0.27	121	0.24	168	-0.03	47
50	0.28	294	0.20	303	-0.08	8	0.27	119	0.26	131	0.00	12
51	0.28	295	0.16	286	-0.11	-10	0.27	118	0.30	132	0.03	14
52	0.27	296	0.05	111	-0.22	-185	0.27	117	0.10	123	-0.17	6
53	0.27	297	0.21	305	-0.07	9	0.27	117	0.24	148	-0.03	30
54	0.27	297	0.33	304	0.06	7	0.27	117	0.26	129	-0.02	12
55	0.27	297	0.33	305	0.06	8	0.27	118	0.26	125	-0.01	8
56	0.27	296	0.32	301	0.05	6	0.27	117	0.27	125	0.00	8
57	0.27	295	0.34	300	0.07	5	0.27	117	0.27	128	0.00	12
58	0.27	295	0.34	300	0.07	5	0.27	117	0.30	133	0.03	16
59	0.28	294	0.14	310	-0.13	16	0.27	117	0.06	280	-0.21	163
60	0.28	293	0.14	145	-0.14	-148	0.27	117	0.28	141	0.01	24
61	0.28	292	0.36	312	0.08	20	0.27	118	0.28	127	0.01	9
62	0.28	291	0.04	143	-0.25	-148	0.27	120	0.21	150	-0.06	30
63	0.29	289	0.10	330	-0.18	41	0.28	121	0.17	133	-0.11	11
64	0.30	286	0.12	309	-0.17	23	0.29	123	0.04	186	-0.25	63
65	0.30	284	0.19	291	-0.11	7	0.30	125	0.20	124	-0.10	-1
66	0.31	281	0.23	286	-0.07	5	0.31	130	0.42	130	0.10	0
67	0.29	280	0.22	279	-0.07	-1	0.32	125	0.35	133	0.03	7
68	0.29	282	0.19	279	-0.10	-4	0.30	123	0.04	239	-0.26	116
69	0.29	285	0.13	253	-0.16	-31	0.29	121	0.10	258	-0.20	137
70	0.28	287	0.13	276	-0.15	-11	0.28	119	0.18	176	-0.10	56
71	0.28	289	0.26	283	-0.02	-6	0.27	118	0.34	144	0.07	26
72	0.28	292	0.10	269	-0.18	-23	0.27	117	0.23	156	-0.04	39

大万山岛波浪能示范工程环境影响报告书

特征点	涨急						落急					
	工程前		工程后		流速	流向	工程前		工程后		流速	流向
	流速	流向	流速	流向	差值	差值	流速	流向	流速	流向	差值	差值
73	0.28	293	0.38	289	0.10	-4	0.27	116	0.25	123	-0.02	6
74	0.27	294	0.35	294	0.08	1	0.27	116	0.30	127	0.03	11
75	0.27	294	0.34	297	0.06	3	0.27	116	0.28	126	0.01	10
76	0.27	294	0.32	298	0.05	4	0.27	116	0.27	124	0.01	8
77	0.27	293	0.31	296	0.05	2	0.27	116	0.28	122	0.01	7
78	0.27	293	0.33	294	0.06	1	0.27	115	0.29	124	0.02	8
79	0.27	292	0.34	291	0.07	-2	0.27	115	0.30	125	0.03	9
80	0.28	291	0.36	285	0.08	-6	0.27	116	0.30	126	0.03	11
81	0.28	290	0.36	277	0.08	-13	0.27	116	0.20	139	-0.07	23
82	0.28	289	0.31	258	0.03	-31	0.27	116	0.05	213	-0.23	96
83	0.28	287	0.28	270	0.00	-17	0.28	117	0.37	140	0.09	23
84	0.28	285	0.27	263	-0.02	-23	0.28	118	0.16	147	-0.12	30
85	0.28	283	0.22	262	-0.07	-21	0.29	119	0.09	208	-0.20	89
86	0.28	281	0.21	272	-0.08	-9	0.31	120	0.23	295	-0.08	175
87	0.28	279	0.22	275	-0.06	-4	0.33	122	0.18	143	-0.14	21
88	0.28	279	0.23	272	-0.05	-6	0.32	118	0.11	302	-0.22	184
89	0.28	281	0.23	270	-0.05	-10	0.31	117	0.07	171	-0.24	54
90	0.28	282	0.24	267	-0.04	-15	0.29	117	0.17	127	-0.12	10
91	0.28	284	0.26	267	-0.02	-17	0.28	116	0.36	125	0.07	9
92	0.28	286	0.28	270	0.00	-16	0.28	116	0.18	132	-0.10	16
93	0.28	288	0.31	271	0.03	-17	0.27	115	0.30	122	0.02	7
94	0.28	289	0.33	277	0.06	-12	0.27	115	0.31	125	0.04	10
95	0.27	290	0.34	284	0.06	-6	0.27	115	0.31	124	0.04	9
96	0.27	291	0.33	288	0.06	-3	0.27	115	0.30	122	0.03	8
97	0.27	292	0.32	291	0.05	0	0.27	115	0.29	121	0.02	7
98	0.26	292	0.31	293	0.04	1	0.26	115	0.28	121	0.01	6
99	0.26	291	0.30	291	0.04	0	0.26	114	0.28	119	0.02	5
100	0.26	290	0.31	289	0.04	-1	0.26	114	0.29	119	0.02	6
101	0.27	290	0.32	286	0.05	-3	0.27	114	0.30	120	0.03	6
102	0.27	289	0.32	283	0.05	-6	0.27	114	0.31	120	0.05	6
103	0.27	288	0.32	278	0.04	-10	0.27	114	0.34	119	0.07	6
104	0.28	287	0.30	274	0.02	-13	0.27	114	0.32	116	0.04	2
105	0.28	285	0.28	272	0.00	-14	0.28	114	0.27	115	0.00	0
106	0.28	283	0.26	270	-0.01	-13	0.28	115	0.33	117	0.04	2
107	0.28	282	0.25	269	-0.03	-12	0.29	115	0.34	109	0.05	-6
108	0.28	280	0.24	270	-0.04	-9	0.31	115	0.21	81	-0.09	-34
109	0.27	278	0.23	271	-0.04	-7	0.32	115	0.09	58	-0.23	-57

6.2 地形地貌与冲淤环境影响预测与评价

6.2.1 工程海域的冲淤变化影响分析

工程所在海区位于大万山岛南侧。根据工程地质历史资料，大万山岛为由花岗岩组成的侵蚀剥蚀丘陵，地形陡峻，边坡常常受冲沟切割和海浪的侵蚀。周围水域为水下三角洲，发育于水下岸坡地带，表面坡度较为平缓，表层沉积物为含砂质的软泥。

2014年中交四航院在该海区进行了海底地形测量。调查报告内容显示：工程海区北部（近海岸）水深变化较大，水底凌乱分布很多暗礁石，另有几处明礁石；中南部水域水深变化较缓，水深由南向北逐渐变浅，最深水底高程为-28.2m。工程海区主要地层表层及中上部为近代海相淤泥、砂、粘性土及淤泥质土，见图6.2-1。



图 6.2-1 测区附近海岸

由于工程所在海区为深水区，波浪对海底床面泥沙的影响可忽略，因此海底床面泥沙运动主要源于海流对泥沙的起动影响。由前述水动力模拟分析结果，工程后涨、落急期间波能构筑物之间存在微小环流结构，局部海域出现流速增大区和减小区。根据模拟时段工程前后涨落潮流速对比，可以清楚地看出工程前后流

速的增大与减小的区域，海床泥沙冲淤变化也主要发生在这些流速变化的区域。其中，淤积区域主要发生在工程后流速减小区域，即试验区涨落潮方向的流速减小带以及示范区波能构筑物之间的海域；冲刷区域为工程后流速增大区域，即波能构筑物南侧以及示范区与大万山岛之间的潮汐通道。

总体说来，本海区水动力作用较强，海蚀现象明显，海岸泥沙运动近似于动态平衡，没有大规模的冲刷堆积现象。模型计算时将透水构筑物视为非透水构筑物进行计算，放大了工程前后流速变化的影响，实际上工程后局部水动力变化引起的冲刷或淤积区域相对于模型计算要略小一些。由于工程海区沿岸供砂有限，因而工程后水动力的变化对海底的冲淤影响也不会太大，经过一段时间调整后海床活动将恢复新的平衡。

6.2.2 锚泊沉块海床稳定性分析

在本项目波浪能装置的锚泊系统中，锚泊基础采用预制混凝土沉块，重量为8.5t。沉块为直径1.632m，厚度为0.626m的圆柱体。本海区表层沉积物为含砂质的软泥，假设沉块下沉时的挤淤量按沉块的100%体积考虑，则沉块埋入水深约0.626m。

根据量算，各个锚泊系统相邻沉块中心之间的间隔最小为210m，最大为710m。相对于沉块中心之间的距离沉块的尺寸较小，发生冲淤时主要在沉块四周，属于局部冲刷，因此可取单个沉块进行冲淤稳定性分析。因混凝土沉块的长度与宽度有限，因此不会像海底管道或海缆一样由于局部冲刷引起底部悬空；也与水中桥墩、桩基等立式建筑物不同，混凝土沉块顶部在水面以下且离海底较近，由于高度尺寸有限，因此最大冲刷深度不会超过其高度本身（即0.626m），当冲刷超过其自身高度时将发生泥沙回淤。由于缺乏水底沉块冲刷实测与实验数据，这里参考Rance（1980）对不同截面形状的直立柱体（圆形、六角形、方形）以及柱体侧棱和侧面对波、流几种不同放置情况的试验成果。实验结果表明直立柱体的冲刷坑均位于柱体侧方棱角处。图6.2-2给出了不同形状大直径柱体在波流共同作用下估计的最大冲刷深度与冲刷范围。可以大致估算混凝土沉块的最大冲刷深度为0.1m，最大冲刷范围在其侧面以外的1.224m范围内。

波流方向	形状	冲刷深度	冲刷范围
→	○	0.06D	0.75D
→	⬡	0.04D	1.00D
→	⬢	0.07D	1.00D
→	◇	0.18D	1.00D
→	□	0.13D	0.75D

图 6.2-2 直径与波长比大于 0.1 的障碍物周围的冲刷 (RANGE)

总体而言，当混凝土沉块发生冲刷时，水下姿态可能会发生改变，但混凝土沉块的作用主要是依靠重量来维系浮筒的稳定性，并且沉块由海底3个锚固定，限制了沉块的位移，因此即使发生姿态改变也不会对锚泊系统稳定性产生较大影响。

6.3 水质环境影响预测与评价

工程海区施工过程中产生的悬浮物主要包括：(1) 波浪能锚泊系统安装过程中，沉块与锚下放至海床面产生的悬浮物。(2) 海缆敷设清扫海床障碍物时产生的悬浮物。(3) 海缆敷设时冲埋作业产生的悬浮物。这些悬浮物使得项目周围海域的水环境变得浑浊，而悬浮泥沙中的污染物由于溶出作用使得水体中污染物含量有所增加，附近海域沉积物环境将发生改变，并且不可避免地对施工区附近区域的底栖生物和浮游生物的生存环境造成破坏和影响。运营期间由于波能仪器自动采集，无需人工海上作业干预，仪器运行期间对水体环境没有影响，故仅考虑施工期的对水质环境的影响。

6.3.1 悬浮泥沙扩散模型

(1) 计算方程

反映水体中悬移质输移的三维泥沙扩散方程表示如下：

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

c 为悬浮沙浓度， w_s 为泥沙沉速， v_{Tx} 、 v_{Ty} 、 v_{Tz} 为各向异性涡粘系数， σ_{Tx} 、 σ_{Ty} 、 σ_{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:

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

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

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

ρ 为海水密度, ε_k 为粘结力系数, 取 $2.56 \text{cm}^3/\text{s}^2$, δ 为薄膜水厚度, $\delta = 0.213 \times 10^{-4} \text{cm}$, 可由工程海域的 H 值、泥沙粒径和泥沙密度求得 u_c 。根据国家海洋局南海调查技术中心 2016 年 4 月在项目附近海域进行的沉积物调查结果, 本海区的底质类型为粉砂, 泥沙中值粒径取 0.012mm 。

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: $u_f = 12.76 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} gd}$, 可求得颗粒的扬动速度 u_f 。

悬浮物造成底床变形方程: $\gamma_0 \frac{\partial \eta_s}{\partial t} = \alpha \alpha (C - S_*)$

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。

(2) 定解条件

① 初始条件

$$C(x, y, z, t)|_{t=t_0} = C_0(x, y, z, t_0)$$

式中 $C_0(x, y, z, t_0)$ 为初始时刻 t_0 的已知值。

② 边界条件

计算水域与陆地交界的固边界 Γ_1 上有:

$$C(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = C^*(x, y, z, t) \quad (\text{当水流流入计算域时})$$

$$\frac{\partial(hC)}{\partial t} + \frac{\partial(hC)}{\partial x} + \frac{\partial(hC)}{\partial y} + \frac{\partial(hC)}{\partial z} = 0 \quad (\text{当水流流出计算域时})$$

计算水域与陆地交界的固边界 Γ_2 上有:

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0$$

式中, $C^*(x, y, z, t)$ 为已知值(实测或准实测或分析值), \mathbf{n} 为陆地边界的单位法向矢量, 该式的物理意义为泥沙沿固边界的法向通量为零。

6.3.2 施工方式及源强

工程施工期间悬浮物污染主要产生于:

(a) 波浪能装置的锚泊系统中, 沉块与锚的下放过程对海床面的影响产生的悬浮物, 类似于抛石挤淤过程。

施工挤淤形成的悬浮物源强可按下式计算:

$$S_l = (1 - \theta_l) \cdot \rho_l \cdot \alpha_l \cdot P$$

S_l —— 抛石挤淤的悬浮物源强 (kg/次);

θ_l —— 淤泥天然含水率 (%)

ρ_l —— 淤泥中颗粒物湿密度 (kg/m³);

α_i ——进入水中的泥沙几率

P ——单位时间挤淤量 ($m^3/次$)

锚泊基础采用预制混凝土沉块，沉块体积为 $1.3m^3$ ，抛石挤淤的悬浮物源强约 $275kg/次$ ，为间歇瞬时源。

表6.3-1为沉块点中心坐标位置，也是源强计算点。由于计算点较多，模型计算时仅考虑了源强在大潮涨急（2013.11.17 19:00）时段发生时的工况，发生在其它时段的工况则通过对比分析其影响范围。图6.3-1为施工期沉块与海缆源强点位置，表6.3-2为海缆施工源强点坐标。

表 6.3-1 源强计算点坐标 (WGS1984)

浮体中心序号	经度 E (°)	纬度 N (°)
F1	113.69823	21.92114
F2	113.70247	21.92051
F3	113.70430	21.92095
F4	113.70294	21.91880
F5	113.70477	21.91924
F6	113.70342	21.91710
F7	113.70525	21.91754
F8	113.69330	21.91703
F9	113.69959	21.91510

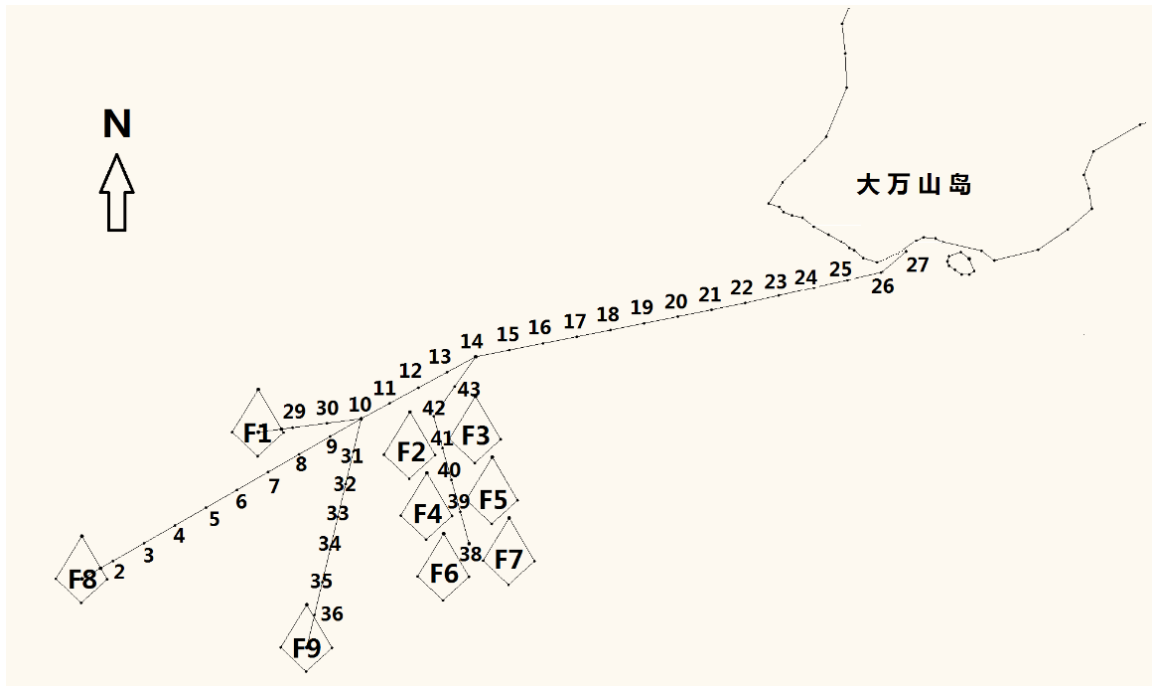


图 6.3-1 施工期沉块与海缆源强点位置示意图

(b) 海缆敷设前扫海作业产生的悬浮物。

根据海缆施工方案，海缆敷设前需进行扫海作业。清理设备的扫海使用的犁耙有效宽度为 3~6m。计算时按 6m 计，深度按 0.1m 计，则扰动的横截体积为 0.6 m³；取淤泥湿密度 1580 kg/m³，天然含水率 65%，起砂率 10%，清扫速度 0.5m/s 时，则清扫作业悬浮物产生速率为 16.6kg/s。

(c) 海缆敷设时冲埋作业产生的悬浮物

电缆埋设采用射水式埋设犁，埋设深度按 2.0m 计，开沟宽度按 0.4m 计，则扰动截面面积为 0.8m²，沉积物密度取 1580kg/m³，起砂率 5%，埋设速度为 0.56m/s，则电缆埋设作业悬浮物产生速率为 35.4kg/s。

由于海缆敷设时的扫海路线与冲埋路线相同，相对于冲埋作业，扫海作业速度较快，产生的悬浮物源强也较小，这里主要计算海缆敷设时冲埋作业产生的悬浮物影响。

根据量算，按最不利情况计算，每个网格点的产生的悬浮物持续时间取 10 分钟，取模型计算开始时间为冲埋作业开始时间计算模型时段内污染物的最大扩散面积。

表 6.3-2 海缆源强点坐标 (WGS1984)

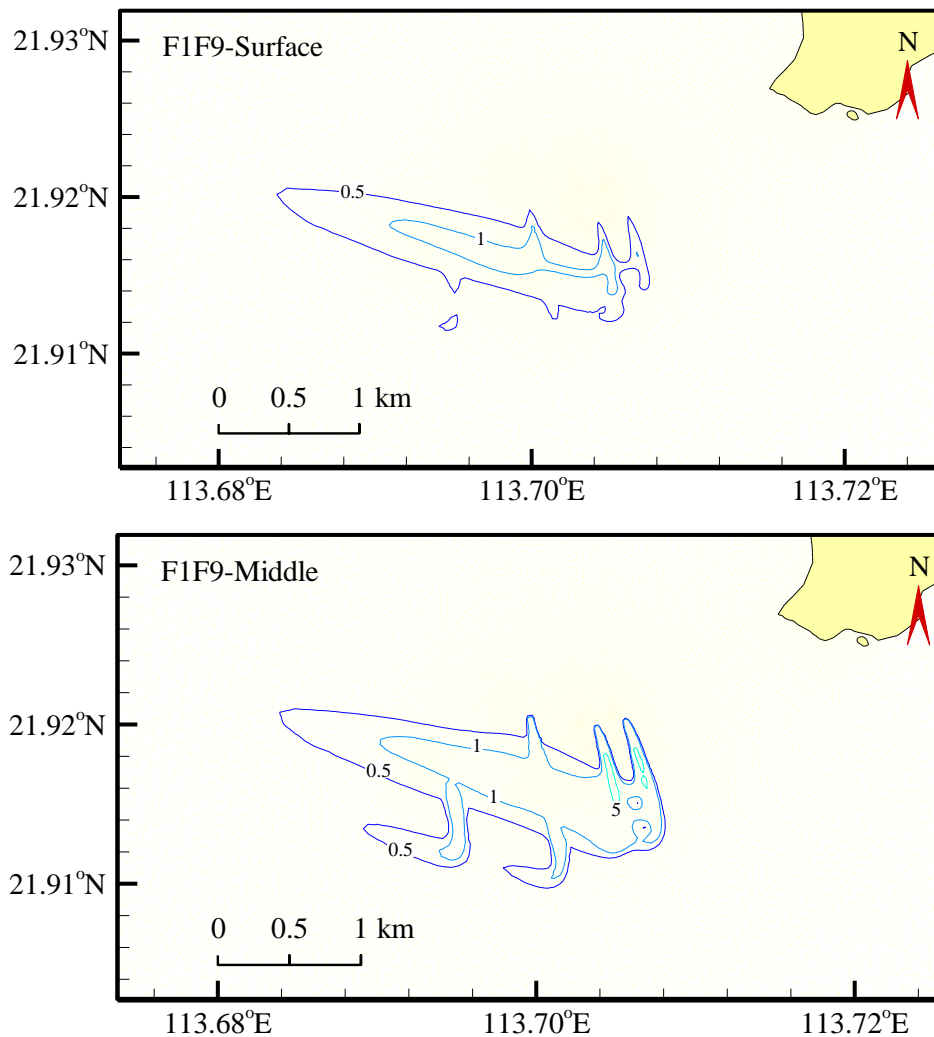
编号	经度 E (°)	纬度 N (°)	编号	经度 E (°)	纬度 N (°)	编号	经度 E (°)	纬度 N (°)
1-F8 溢油 A	113.6933	21.9170	16	113.7062	21.9236	31	113.7009	21.9206
2	113.6942	21.9175	17	113.7071	21.9238	32	113.7007	21.9197
3	113.6950	21.9180	18	113.7081	21.9240	33	113.7005	21.9188
4	113.6959	21.9185	19	113.7090	21.9242	34	113.7002	21.9179
5	113.6968	21.9190	20	113.7100	21.9244	35	113.7000	21.9169
6	113.6976	21.9195	21	113.7109	21.9246	36	113.6998	21.9160
7	113.6985	21.9200	22	113.7118	21.9248	37-F9	113.6996	21.9151
8	113.6994	21.9205	23	113.7128	21.9250	38-溢油 B	113.7041	21.9180
9	113.7002	21.9210	24	113.7137	21.9252	39	113.7039	21.9189
10	113.7011	21.9215	25	113.7146	21.9254	40	113.7036	21.9198
11	113.7019	21.9220	26	113.7156	21.9256	41	113.7034	21.9207
12	113.7027	21.9224	27	113.7167	21.9257	42	113.7031	21.9216
13	113.7035	21.9228	28-F1	113.6982	21.9211	43	113.7037	21.9224
14	113.7043	21.9233	29	113.6992	21.9213			
15	113.7053	21.9234	30	113.7001	21.9214			

6.3.3 预测结果与分析

(a) 波浪能锚泊系统的沉块与锚下放过程中产生的悬浮物

根据图 6.3-2，可以看出施工期间各沉块源强计算点的底层悬浮物最大扩散面积大于中层和表层，表层最小。其中，大于 1mg/L 的悬浮物底层、中层最大扩散面积分别不超过 0.13km²、0.07km²；大于 5mg/L 的悬浮物底层、中层最大扩散面积分别不超过 0.03km²、0.002km²；大于 10mg/L 的悬浮物仅出现在底层、最大扩散面积不超过 0.013km²。

离岸较近的 F1~F5 计算点底层悬浮物扩散面积较大，范围为 0.114km²~0.129km²，离岸较远的 F6~F9 计算点底层悬浮物扩散面积较小，范围为 0.081km²~0.095km²。



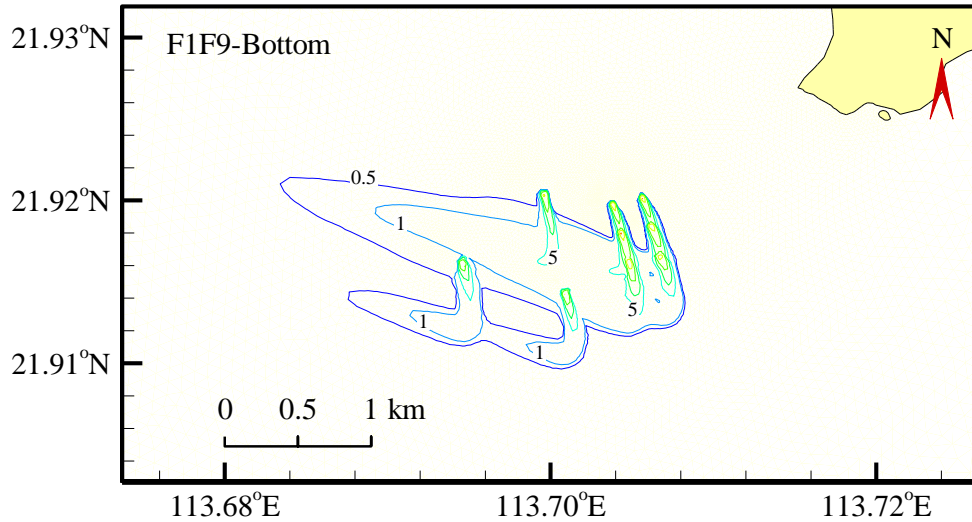


图 6.3-2 模拟时段施工期各沉块源强点表层、中层和底层总扩散面积

(b) 海缆冲埋时产生的悬浮物

图 6.3-3 为海缆冲埋时产生的悬浮物最大扩散面积，可以看出施工期间底层悬浮物最大扩散面积大于中层和表层，表层最小。底层、中层和表层大于 5mg/L 的最大悬浮物扩散面积分别为为 9.859km²、9.761km²、9.765km²；对应大于 10mg/L（超 I、II 类水质）的最大悬浮物扩散面积分别为 5.978km²、5.721 km²、4.421km²。

工程施工期锚泊系统的沉块与锚下放和海缆冲埋施工产生的悬浮物扩散叠加见图 6.3-4 和表 6.3-3。

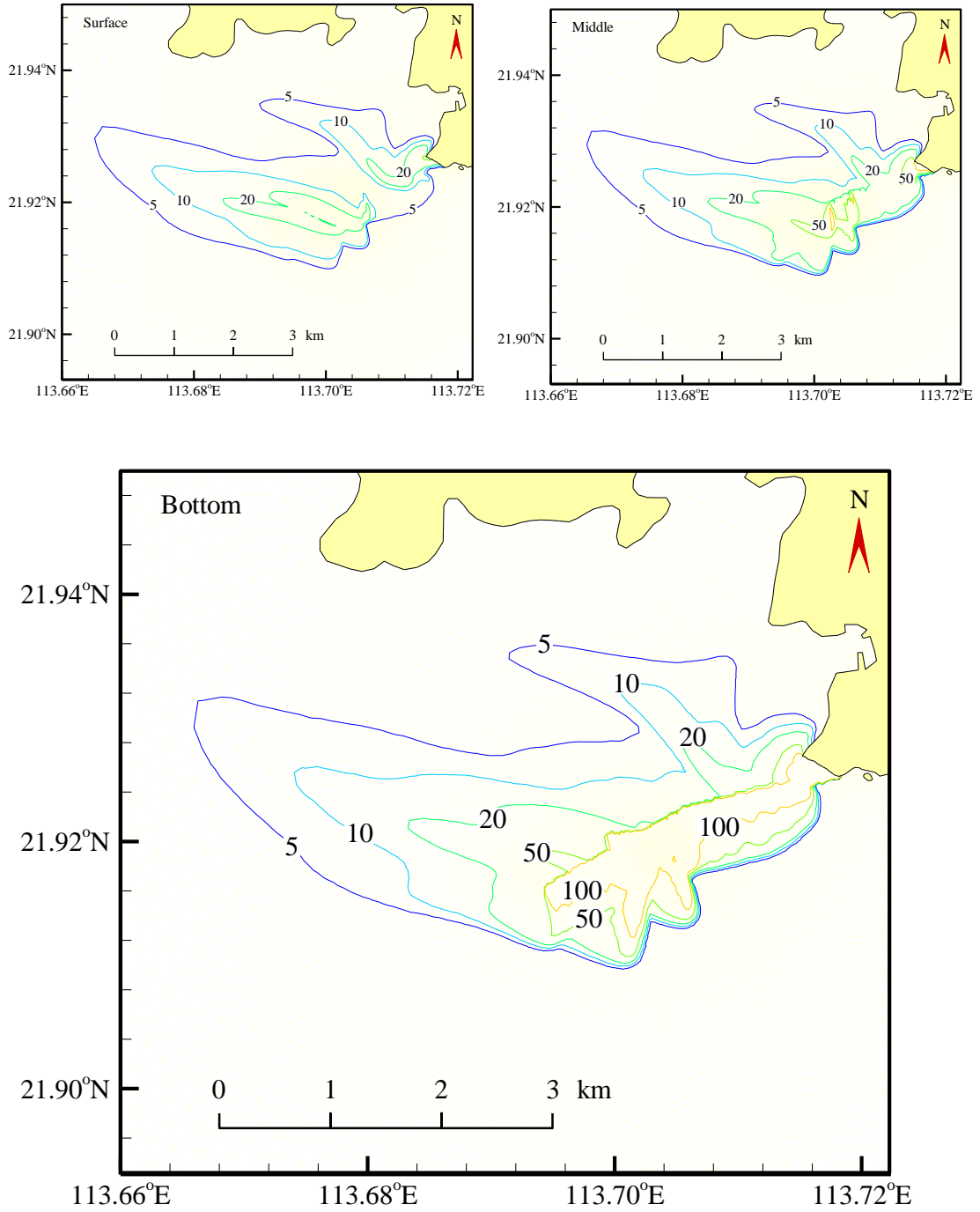


图 6.3-3 模拟时段施工期海缆源强点表、中、底层扩散面积

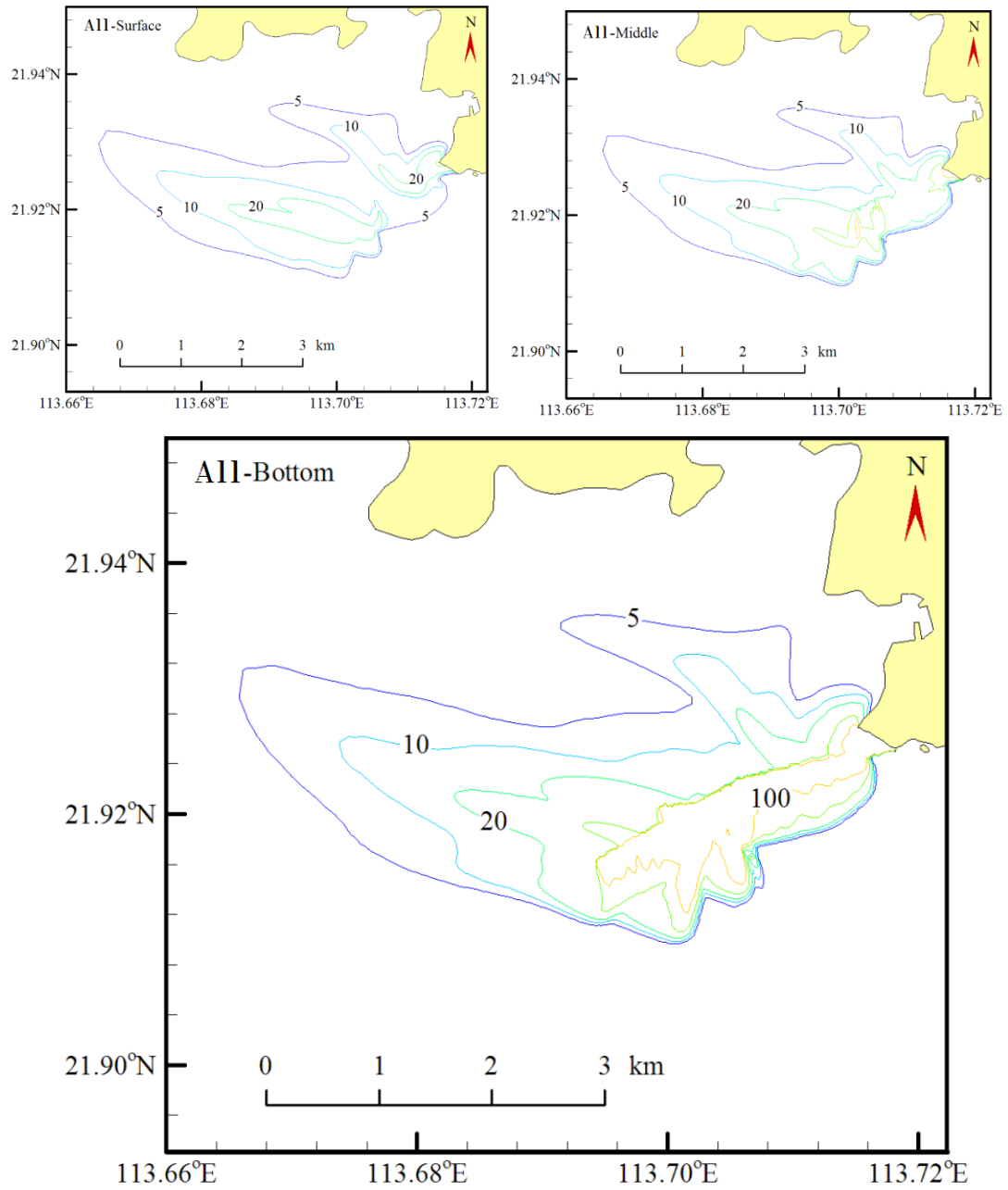


图 6.3-4 施工期海缆及各沉块源强点表、中、底层总扩散面积

表 6.3-3 各源强点最大悬沙浓度扩散面积 (km²)

工况		>1mg/L	>5mg/L	>10mg/L	>20mg/L	>50mg/L	>100mg/L	>150mg/L
F1	底层	0.114	0.019	0.011	0.004	0.001	0	0
	中层	0.061	0.002	0	0	0	0	0
	表层	0	0	0	0	0	0	0
F2	底层	0.125	0.027	0.013	0.005	0.001	0.001	0
	中层	0.066	0.001	0	0	0	0	0
	表层	0	0	0	0	0	0	0
F3	底层	0.129	0.026	0.012	0.006	0.001	0	0
	中层	0.062	0	0	0	0	0	0
	表层	0	0	0	0	0	0	0
F4	底层	0.118	0.025	0.011	0.004	0.001	0.001	0
	中层	0.052	0.001	0	0	0	0	0
	表层	0	0	0	0	0	0	0
F5	底层	0.117	0.022	0.011	0.005	0.001	0	0
	中层	0.048	0	0	0	0	0	0
	表层	0	0	0	0	0	0	0
F6	底层	0.095	0.016	0.007	0.002	0.001	0.001	0
	中层	0.038	0.002	0	0	0	0	0
	表层	0	0	0	0	0	0	0
F7	底层	0.094	0.018	0.008	0.002	0.001	0	0
	中层	0.037	0	0	0	0	0	0
	表层	0	0	0	0	0	0	0
F8	底层	0.082	0.017	0.007	0.003	0.001	0	0
	中层	0.033	0	0	0	0	0	0
	表层	0	0	0	0	0	0	0
F9	底层	0.081	0.015	0.006	0.003	0.001	0	0
	中层	0.031	0	0	0	0	0	0
	表层	0	0	0	0	0	0	0
海缆敷 设	底层	20.145	9.859	5.978	3.447	1.730	0.993	0.620
	中层	20.421	9.761	5.721	2.924	0.457	0.049	0
	表层	20.738	9.765	4.421	1.255	0.009	0	0
F1~F9 +海缆 敷 设	底层	20.284	9.937	6.036	3.493	1.756	1.019	0.634
	中层	20.554	9.804	5.804	2.989	0.484	0.050	0.000
	表层	20.774	9.850	4.518	1.316	0.009	0	0

(c) 施工期间产生的悬浮物对海洋生态环境的影响

根据 2012 年广东省海洋功能区划珠海市图件 (2012-2020), 工程所在海域规划为万山群岛旅游休闲娱乐区, 之外开阔的海域规划为保留区。由于波浪能锚

泊系统的沉块与锚布放位置以及海缆敷设时作业的路线位于大万山岛南侧的旅游休闲娱乐区西南海域,因此施工过程中将不可避免的对该海域的生态环境造成一定的影响,其中海缆冲埋作业对海洋生态环境的影响范围要更大一些。

总体说来,波浪能锚泊系统沉块与锚在下放过程中产生的悬浮物扩散面积较小,大于 5mg/L 的悬浮物最大扩散面积约为海缆敷设产生的悬浮物扩散面积 1/300,而海缆敷设施工期间产生大于 10mg/L 的最大悬浮物扩散面积接近 6km²,对工程海域海洋生态环境存在一定的影响。但由于工程海区的波浪动力作用较强,波浪产生的紊动与开挖过程中产生的悬浮物充分混合均匀,在工程局部范围内形成较高浓度的含沙水体。工程海域地表层所含的细颗粒泥沙(粘性土及淤泥质土),沉降时间大约需要 4~6h,短期内将对工程海域周围水体环境造成影响。但这种影响是暂时的,工程施工完成后高浓度含沙水体将逐渐沉降,水质将得到恢复。

6.4 海洋沉积物环境影响预测与分析

6.4.1 施工期沉积物环境影响分析

施工期由于施工船舶在工程海域集结和在岸滩区设置施工场地,施工活动将产生生产废水、生活污水和垃圾等,若管理不善,可能发生施工机械船舶废水、施工生产废水和生活污水等未经处理直接排海,或生活垃圾、废机油等直接弃入海中,将直接污染区域海水水质,进而影响区域海域沉积物质量,可能造成沉积物中酸碱度、有机污染物、大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。因此必须严格做好施工期监管、监理和监测的工作,保护沉积物环境。

6.4.2 运行期沉积物环境影响分析

本工程海上部分运行期基本无污染物产生。锚链设计按每年0.8mm的侵蚀量,作用20年后,仍然可以满足使用要求,锚链不考虑牺牲阳极防腐设计,因此运行期无锌释放,不会对附近海域沉积物环境产生污染影响,运行期对沉积物环境影响较小。

6.5 海洋生态和渔业资源环境影响预测与评价

6.5.1 施工期对海洋生态和渔业的影响预测与评价

6.5.1.1 对海洋生态的影响

(1) 锚泊系统沉块安装和海底电缆敷设对浮游生物的影响

锚泊系统沉块安装和海底电缆敷设施工会使海底泥沙再悬浮,造成海缆路由沿线较大范围海域的含沙量暂时上升,进而降低海洋中浮游植物生产力,对海洋生态系统带来影响;同时悬浮泥沙的扩散影响会对鱼卵、仔稚鱼的生境产生影响,进而对鱼卵仔鱼资源量造成影响。

锚泊系统沉块安装和海底电缆敷设会引起海底泥沙再悬浮,海底泥沙中有害物质也会再溶出,从而可能对周围水域的浮游生物产生不利影响。

根据南海海港疏浚泥悬浮物毒性试验表明,悬浮相对浮游甲壳类的致死效应明显,对卤虫无节幼体 96hLC50 为 71.6mg/L,对浮游桡足类 48hLC50 为 61.3mg/L。同时依据长江口疏浚泥浸出液和悬浮液对小球藻 (*C. saccharophila*) 和大型蚤 (*D. magna*) 的生长试验和急性毒性试验结果,疏浚泥浸出液和悬浮液对小球藻的 96h-EC50 值分别为 87% 和 99.5%,对大型蚤的 96h-LC50 值分别为 87.5% 和 50.1%;表明长江口疏浚泥浸出液和悬浮液对浮游植物和浮游动物生长有一定影响,其中悬浮液的毒性要大于浸出液,悬浮液对浮游动物的影响大于对浮游植物的影响,但总体表明长江口疏浚泥的毒性不大。

珠江口与长江口同属河口生境,参考长江口疏浚泥浸出液、悬浮液、悬沙对浮游植物、浮游动物的生长试验和急性毒性试验结果,对照本工程的锚泊系统施工、电缆敷设,可预测工程施工会对周围水域的水生生物产生不利影响,其影响的程度随管沟开挖引起底泥浸出液毒性及其悬浮液、悬沙浓度扩散范围而定。

根据渔业水质标准,第一、二类海水水质人为增加悬浮物浓度应 $\leq 10\text{mg/L}$,悬浮物浓度增量大于 10mg/L ,可能对鱼类生长造成影响。

(2) 锚泊系统沉块安装和电缆敷设对底栖生物的影响

底栖生物是水生生物生态系统的一种重要生态类型,锚泊系统沉块安装和

海底电缆敷设施工会对作业范围内的底栖及潮间带生境造成直接破坏,进而引起底栖生物和潮间带生物量的损失。根据 3.2.1.2 节分析,本工程造成底栖生境破坏面积共 24652m²,潮间带生物生境 300m²。

2016 年 4 月春季现状调查的底栖生物平均生物量为 30.86g/m²,2017 年 9 月秋季调查底栖生物平均生物量为 26.47g/m²,为考虑工程实施对底栖生物的最不利影响,以春季调查生物量作为计算依据;潮间带生物平均生物量为 2160.11g/m²,根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007)项目占用年限低于 3 年的,按 3 年补偿,底栖动物经济价值以每吨 1.0 万元计,由于锚泊系统对底栖生物生境压占为长期影响,纳入运营期损失估算,海缆敷设破坏导致底栖动物经济损失为 2.22 万元,登陆段施工导致潮间带生物经济损失为 1.95 万元,合计为 4.17 万元。

底栖生物具体影响面积、生物量损失及经济损失见表 6.5-1。

表 6.5-1 底栖生物的影响损失估算表

项目	破坏面积 (m ²)	底栖生物量 (g/m ²)	底栖生物直接损失量 (t)	经济损失 (万元)	影响年限	累计经济损失 (万元)
海缆敷设破坏	23955	30.86	0.74	0.74	3	2.22
登陆段破坏	300	2160.11	0.65	0.65	3	1.95
合计	24255					4.17

6.5.1.2 对渔业资源的影响

(1) 锚泊系统安装、电缆沟开挖悬浮物对渔业资源的影响

锚泊系统安装、电缆沟开挖对渔业资源的影响主要表现在对开挖区附近高浓度悬浮物水域中的海洋生物的仔幼体可能造成的伤害。

根据渔业水质标准,第一、二类海水水质人为增加悬浮物浓度应 $\leq 10\text{mg/L}$,悬浮物浓度增量大于 10mg/L,对成鱼影响较小,但可能对幼鱼生长造成影响,使该水域范围内鱼卵、仔鱼因高浓度的含沙量而发生死亡。

参照农业部颁布并于 2008 年 3 月 1 日起施行的《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007)中关于污染物对各类生物损失率的描述(表 6.5-2),依据本报告增量悬沙扩散面积计算的结果,悬沙扩散过程中浓度迅速衰减,因此高浓度面积大大低于低浓度面积,而且高浓度面积随着扩散以几何

级数递减。基于上述分析以及《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110-2007)中关于污染物对各类生物损失率的描述,本报告中悬浮泥沙扩散浓度为 10~50mg/L、50~100mg/L、>100mg/L 的影响水域中鱼卵仔鱼、幼鱼、幼虾和幼蟹的损失率分别取 1%、10%和 20%。

表 6.5-2 工程施工对渔业资源损失评估

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

注:

1. 污染物ⁱ的超标倍数 (B_i), 指超出《渔业水质标准》或超 II 类《海水水质标准》的倍数, 对标准中未列的污染物, 参考相关标准或按实际污染物种类的毒性试验数据确定; 当多种污染物同时存在, 以超标倍数最大的污染物为评价依据;
2. 损失率是指考虑污染物对生物繁殖、生长或造成死亡, 以及生物质量下降等影响因素的综合系数;
3. 本表列出的对各类生物损失率作为工程对海洋生物损害评估的参考值。工程产生各类污染物对海洋生物的损失率可按实际污染物种类, 毒性试验数据作相应调整。
4. 本表对 pH、溶解氧参数不适用。

2016 年 4 月春季调查的鱼卵平均密度为 0.73ind/m³、仔鱼平均密度为 0.74ind/m³, 工程海域平均水深约 25m。鱼、虾、蟹类平均尾数密度为 30.5 (10³ind./km²)、9.8 (10³ind./km²) 和 2.2 (10³ind./km²)。

根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007), 鱼卵折成鱼苗按 1%成活率计, 仔鱼折成鱼苗按 5%成活率计; 从幼体长成鱼虾蟹的成熟的个体均按 50%成活率计, 成鱼和成蟹按 100g/尾计, 成虾按 7g/尾计, 经济损失按 3 年计算, 则本项目施工期渔业资源直接经济损失总计为 54 万元, 具体见表 6.5-3。

同时, 上述渔业资源生物量损失随着施工的开始, 慢慢可以得到恢复, 因此施工对渔业资源的影响是暂时的、可逆的。

表 6.5-3 项目施工对渔业资源损失评估

	渔业资源	资源密度	损失率	损失量(尾)	折成鱼苗等存活率	折算成鱼苗等损失(尾)	折算成成鱼重量 (g/尾)	单价	经济损失(万元)
悬浮物扩散浓度为10~50mg/L (4.28km ²)	鱼卵	18.25ind./m ²	1%	781100	1%	7811		0.5 元/尾	0.39
	仔鱼	18.5ind./m ²		791800	5%	39590		0.5 元/尾	1.98
	幼鱼 (尾数)	30.5×10 ³ ind./km ²		1305.4	50%	652.7	100	5000 元/t	0.03
	幼蟹 (尾数)	2.2×10 ³ ind./km ²		94.16	50%	47.08	100	5000 元/t	0.00
	幼虾 (尾数)	9.8×10 ³ ind./km ²		419.44	50%	209.72	7	5000 元/t	0.00
	小计								
悬浮物扩散浓度为50~100mg/L (0.737km ²)	鱼卵	18.25ind./m ²	10%	1345025	1%	13450.25		0.5 元/尾	0.67
	仔鱼	18.5ind./m ²		1363450	5%	68172.5		0.5 元/尾	3.41
	幼鱼 (尾数)	30.5×10 ³ ind./km ²		2247.85	50%	1123.925	100	5000 元/t	0.06
	幼蟹 (尾数)	2.2×10 ³ ind./km ²		162.14	50%	81.07	100	5000 元/t	0.00
	幼虾 (尾数)	9.8×10 ³ ind./km ²		722.26	50%	361.13	7	5000 元/t	0.00
	小计								
悬浮物扩散浓度>100mg/L (1.019km ²)	鱼卵	9.2ind./m ²	20%	3719350	1%	37193.5		0.5 元/尾	1.86
	仔鱼	4.4ind./m ²		3770300	5%	188515		0.5 元/尾	9.43
	幼鱼 (尾数)	2.74×10 ³ ind./km ²		6215.9	50%	3107.95	100	5000 元/t	0.16
	幼蟹 (尾数)	0.31×10 ³ ind./km ²		448.36	50%	224.18	100	5000 元/t	0.01
	幼虾 (尾数)	0.94×10 ³ ind./km ²		1997.24	50%	998.62	7	5000 元/t	0.00
	小计								
合计									18.0
合计	3 年								54.0

(3) 海域生物资源损失汇总

根据前述计算,将本项目施工期及运行期对海域生物资源影响的经济价值进行汇总,约合计 58.6 万元,具体见表 6.5-4。

表 6.5-4 海域生物资源影响损失汇总表

时段	环境损失	影响因素	金额(万元)
施工期	底栖生物	海缆敷设破坏、登陆段破坏	4.17
	渔业资源	锚泊系统及电缆沟开挖悬浮物扩散影响	54.0
小计			58.17
运行期	底栖生物	锚泊系统压占	0.43
	小计		
总合计			58.6

6.5.1.3 渔业生产的影响

在施工期,由于工程施工阶段所涉及的区域较大,对在这一带渔业生产活动产生一定的影响。施工期间将禁止渔船进入施工海域捕捞生产,由此导致作业渔场范围减少;施工的扰动影响,使渔获率降低,最终影响捕捞产量。但作业船有限,且集中在锚泊施工点附近,施工作业对渔业资源捕捞活动的影响是有限的。如果施工活动安排在秋冬季节等非捕捞旺季的时段,施工作业对渔业生产的影响可以得到明显的减缓。

6.5.2 运行期对海洋生态和渔业的影响预测与评价

6.5.2.1 锚泊系统压占海洋生态影响

本工程运营期对海洋生态的影响主要是锚泊系统沉块压占的底栖生物的生境遭到永久的破坏,根据 3.3.1.2 节分析,本工程锚泊系统对底栖生境破坏面积为 696.51m²,该范围内的原有泥质型的底栖生物类群不可恢复。

2016 年 4 月春季现状调查的底栖生物平均生物量为 30.86g/m²。根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T9110-2007)项目占用年限 20 年以上的,按不低于 20 年补偿,底栖动物经济价值以每吨 1.0 万元计,计算永久占用海域造成经济损失为 0.43 万元。

表 6.5-5 永久压占底栖生物损失汇总表

破坏性质	项目名称	破坏面积 (m ²)	底栖生物量 (g/m ²)	底栖生物直接损失量 (t)	经济损失 (万元)	影响年限	累计经济损失 (万元)
永久压占	锚泊系统基础	696.51	30.86	0.0215	0.0215	20	0.43

6.5.2.2 对渔业资源及渔业生产的影响

单个波浪能发电装置用海面积以外缘线点再向外扩 50m 为半径的圆形区域计算；海底电缆用海面积按电缆外缘向两侧各外扩 10m 宽为界计算。在此范围内，不允许捕捞，挖泥等生产作业。由此可见，在本工程营运期时段，这一海域渔业捕捞将受到负面影响，难以进行大规模捕捞作业。

然而，珠江口万山群岛水域本身是鱼类的产卵场和索饵场。历史上曾经划为珠江口幼鱼幼虾保护区和南海北部幼鱼繁育场保护区，万山海域渔业资源主要是由幼体构成。幼体捕捞经济效益不高，却对渔业资源有较大的破坏。因此，产卵场和索饵场功能的发挥，需要通过休渔来保护，而不是捕捞。南海近海海域在 5 月 15 日-8 月 1 日禁渔，就是从保护产卵场和索饵场这一角度出发制定的措施。这一海域捕捞生产主要以定置网或流刺网作业为主，对渔业资源破坏极大。目前，经多次调查均未在工程水域发现定置网或流刺网作业，该水域主要功能是航行而不是捕捞。发电场锚泊系统的存在，增加了海底的粗糙度，造成紊流的出现，起到人工鱼礁的作用。虽然其建设理论上影响渔业资源修养生息，影响所在水域的捕捞作业，但从工程区域以航行为主、捕捞为辅，且从形成人工鱼礁的角度来看，一定程度上有利于鱼类的繁殖和生长，对渔业资源的影响不仅仅是负面影响，有可能产生正面效应。

工程建设不可避免对渔业捕捞产生影响。由于本工程规模较小，占有水面有限，这类影响若与有关利益相关方协商，并予以适当补偿，是可以接受的。

6.5.3 对海洋生态系统服务功能的影响分析

海上波浪能发电工程建设对海洋生态和渔业的影响最终体现在生态系统服务功能的破坏或丧失。海洋生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及

维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。工程建设所在海域的生态系统服务功能可划分为物种栖息地、捕捞生产、污染净化、旅游及科学研究等 5 个方面的主导功能。

(1) 物种栖息地

工程建设所在海域是多种野生水生动物栖息、繁殖、洄游场所。工程建设施工期会对该栖息地的野生水生动物栖息、繁殖、洄游会产生较大的干扰，对幼体造成一定程度的伤害，对成体造成回避。本工程施工会造成底栖生物栖息地占用，压占面积为 696.51m²。

(2) 捕捞生产

海洋生态系统通过初级生产与次级生产，合成与生产人类生存必需的有机质及产品。该海域作为捕捞水域具有提供海产品的功能，工程建设会占用该海域，使捕捞生产面积减小，渔获率下降，捕捞生产受到影响。同时，由于发电装置的存在，特别是在迷雾天气，渔船与波浪发电装置相撞的概率大大增加，对渔船和工程本身都存在一定的安全隐患。本项目用海总面积 173.3674 公顷，该面积范围内的渔业捕捞生产将受到影响。

(3) 污染物净化

海洋是一个巨大的净化器，对入海污染物具有一定的稀释、扩散、氧化、还原和降解的综合能力。工程建设施工期使海域悬浮泥沙增加，水体透光性下降，光合作用减弱，水体溶解氧含量下降，对污染物净化功能会产生一定影响。但在运行期，污染物净化功能不会改变。

(4) 旅游

本工程主体工程位于万山群岛旅游休闲娱乐区，工程的风景旅游特性明显，海上波浪能发电装置建成后，有利于形成海上新能源利用观光项目，对海洋能源开发具有较好的宣传和科普意义，将使这里的旅游功能得以进一步强化。

(5) 科学研究

河口海域作为一种独特的地理单元和生存环境，在科学研究中有着重要的地位。本项目建成后不会改变原有的科学研究功能。

6.5.4 对其他海域生态敏感目标影响分析

6.5.4.1 对万山群岛自然保护区的影响

2017年4月珠海市人民政府对万山群岛自然保护区进行了调整，将存在建制镇或在保护区建立之前已有规划定位的区域调出保护区，包括大万山岛全部和东澳岛以及小万山岛大部分区域，调整后大万山全岛均不属于万山群岛自然保护区。调整后的保护区距离本工程最近的实验区为小万山岛北部实验区，与本工程直线距离为5km。本工程对环境的影响主要发生在施工期，主要表现为施工期悬浮物对海水水质和海洋生态环境的短期影响，根据数模计算成果，悬浮物扩散范围主要集中在工程区域，最大扩散范围在1km左右，且位于大万山岛南侧；此外本工程升压站和登陆段电缆均位于大万山岛南侧，不属于自然保护区范围，因此工程建设对万山群岛自然保护区不产生直接影响。

6.5.4.2 对海域捕捞区、养殖区影响

本工程位于万山群岛保留区，工程附近海域无捕捞区和养殖区，工程范围外延约10km海域内，分布东澳岛增殖区（距本工程10km）。总体而言，本工程附近海域增养殖区较少，根据6.3节数模预测结果施工期悬浮物增量 $>10\text{mg/L}$ 的最大影响距离在1km以内，可见施工期对捕捞区和养殖区的影响极小。工程施工期对周边海域内零星分布的作业渔船可能会产生一定干扰，影响了渔民的捕鱼作业范围，对渔业经济产生短期的负面作用，建议合理安排施工期，施工时间避开海洋鱼类产卵和捕捞高峰期，并对渔民给与一定经济补偿。

6.5.4.3 对万山群岛旅游休闲娱乐区的影响

由于在设计阶段工程平面布置已经考虑到军事用海等因素，远离大万山岛布置，因此工程区域施工过程对万山群岛旅游休闲娱乐区影响较小。但海底电缆在施工过程中需穿越该功能区，电缆开沟埋设产生的悬浮物会对路由沿线水质产生短时不利影响。根据数模预测结果，路由段悬浮物增量在 $10\sim 50\text{mg/L}$ ，扩散距离约200m，因此电缆埋设施工对万山群岛旅游休闲娱乐区内的海水水质影响范围和程度均较小，且该影响是暂时的，待施工结束后，水体中悬浮物会逐渐沉降，

水质逐步恢复至施工前的水平，因此工程建设对该功能区影响较小。

6.5.4.4 对万山群岛保留区的影响

本工程主体部分即波浪能发电装置位于万山群岛保留区，对该功能区的影响主要体现在锚泊系统沉块安装和海底电缆埋设过程对海水水质的影响。根据 6.2 节数模预测结果，上述施工产生的悬浮物增量主要集中在 10~50mg/L 之间，扩散最远距离在 1km 左右，考虑到该影响是暂时的，待施工结束后，水体中悬浮物会逐渐沉降，水质逐步恢复至施工前的水平，不会对保留区内海水水质产生长期不利影响，符合海洋功能区划相应功能区海水水质、沉积物和生物质量维持现状的海洋环境保护要求，因此工程施工对该功能区影响较小，且是暂时的。

6.5.4.5 对港口航运区和渔港的影响

本工程主体工程位于大万山岛西南侧，在工程设计阶段已避开航运区、锚地等功能区，海缆登陆点距离大万山岛港口航运区、万山口岸装卸作业锚地、大万山岛客运码头、大万山岛游艇停泊区和万山渔港距离约 1.15~1.4km，工程采用的波浪能发电装置均为漂浮型式，建成后对所在海域的水文动力环境和地形冲淤环境影响轻微，因此对上述功能区基本没有影响。

6.5.4.6 对海域三场一通道影响

历史上，珠江口万山海域曾是相当一部分鱼类的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道。海上工程建设施工期会对该栖息地的野生水生动物栖息、繁殖、洄游会产生较大的干扰，对幼体造成一定程度的伤害，对成体造成回避。

工程建成运行后不排放污染物，不产生噪声影响，且本工程锚泊系统结构简单，不会阻碍鱼类洄游，因此对附近海域内的鱼类三场一通道的影响轻微。

6.5.4.7 对海域珍稀濒危及主要经济渔获物影响

工程建成运行后，为保护海底电缆和发电装置的安全运行，该海域禁止底拖网、抛锚，同时由于发电场造成渔业捕捞面积缩小，在一定程度上降低了渔业捕捞量，降低了主要经济渔获物捕捞量，从而引起经济收入下降，对渔民的生活产生一定影响。另一方面，工程运行后，形成实质上的禁捕区，对海域珍稀濒危及

主要经济将有良好的保护作用，又发挥一定的人工鱼礁功能，有利于保护幼鱼幼虾、保护珍稀濒危海洋生物、增殖渔业资源。

考虑到本工程规模较小，采用漂浮式机组型式，运行期几乎不产生运行噪声，且本工程选址阶段已经避开白海豚等珍稀濒危动物活动区域（场址距离白海豚活动范围南边界约 13km），因此工程对海洋生态环境和海域珍稀濒危海洋生物影响轻微。

6.6 其他环境影响预测与评价

6.6.1 电磁环境影响分析

6.6.1.1 10kV 升压站电磁辐射影响分析

本工程配备一台 10kV 干式变压器。本工程投运后，升压站内各电压等级的变配电设备将产生工频电场、工频磁场。其产生的工频电磁场场强大小与电压等级、主变容量、平面布置等密切相关。鉴于升压站变配电设备电磁场空间分布的复杂性，难以进行模拟计算，一般采用类比分析方法对升压站产生的工频电磁场强度及无线电干扰进行预测分析。

（1）可比性分析

本评价报告采用类比分析法对本工程 35kV 箱变的电磁环境影响进行预测、分析和评价。在选择类比变电站时，主要考虑主变容量、平面布置方式等因素，经调查，选择位于已投运的 35kV 新葭溪变电站作为类比对象，该工程海上风机箱变容量均为 3150kVA，远小于 35kV 新葭溪变电站主变容量，从最不利电磁环境影响角度考虑，以 35kV 新葭溪变电站来对本工程 35kV 箱变进行类比分析是可行的。若 35kV 新葭溪变电站电磁环境实测结果达到相关标准，则可说明，在没有外界干扰源的情况下，本工程 10kV 升压站投运后周围的工频电场强度、工频磁感应强度亦可达到相关标准。

（2）电磁环境类比监测结果

35kV 新葭溪变电站在监测期当天天气晴朗，3 台主变运行正常。35kV 新葭溪变电站电磁环境监测点位布置见图 6.5-1，工频电场强度、工频磁感应强度监

测结果见表 6.6-1。

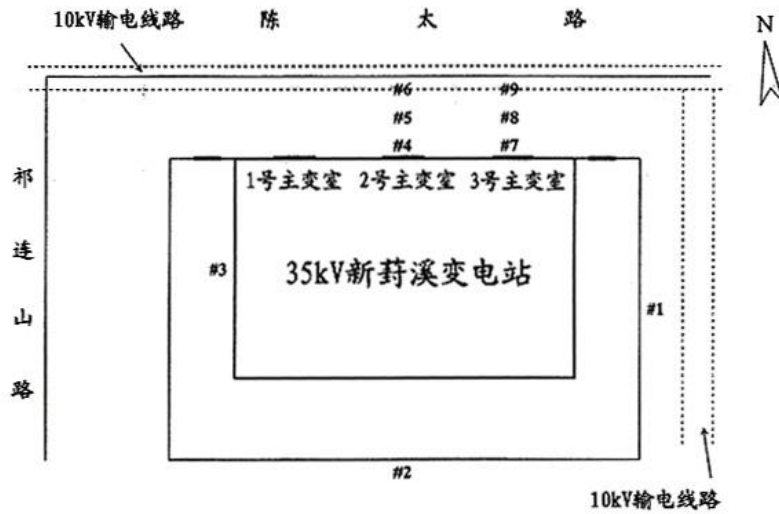


图 6.6-1 35kV 新葑溪变电站电磁环境监测点位布置图

表 6.6-1 35kV 新葑溪变电站电磁环境监测结果表

序号	测点位置	工频电场强度 (V/m)	工频磁感应强度 (nT)
#1	变电站东侧边界外 1m 处	16.02	32.0
#2	变电站南侧边界外 1m 处	1.93	24.4
#3	变电站西侧边界外 1m 处	1.24	73.5
#4	2号主变室设备门前 1m 处	1.85	186.1
#5	2号主变室设备门前 3m 处	5.38	76.0
#6	2号主变室设备门前 5m 处	8.28	43.8
#7	1号主变室设备门前 1m 处	1.55	34.58
#8	1号主变室设备门前 3m 处	4.48	32.14
#9	1号主变室设备门前 5m 处	5.48	34.31

注：#1、#6、#9 测点靠近 10kV 电线。

由表 6.6-1 可知，35kV 新葑溪变电站运行时四侧围墙外工频电场强度监测值在 1.24~16.02V/m 之间，工频磁感应强度监测值在 24.4~186.1nT 之间，其中变电站东侧围墙外 10kV 出线下的电场强度相对较大，为 16.02V/m，2 号主变室设备门前 1m 处的磁感应强度相对较大，为 186.1nT，均低于《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T 24-1998) 中推荐的工频电场 4kV/m 和磁感应强度 0.1mT 的评价标准。

(4) 本工程 10kV 箱变电磁影响预测分析

根据 35kV 新葑溪变电站电磁环境监测结果，结合本工程特点，可以预测：本工程 35kV 箱变投运后，在没有外界干扰源的情况下，厂界外的工频电场强度和工频磁感应强度均较小，且远小于《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T 24-1998)中推荐的工频电场 4kV/m 和磁感应强度 0.1mT 的评价标准要求；加之本工程 10kV 变压器远离环境敏感目标，因此其运行对周围电磁环境无明显影响。

6.6.2 大气环境影响分析

(1) 施工期大气环境影响

工程施工中由于土方的开挖、建材堆放和施工车辆的行驶，在作业面及其附近区域将产生粉尘和二次扬尘，造成局部区域的空气污染。施工粉尘和扬尘总量不大，工程区域周围无居民区、学校等环境敏感目标，且施工区域的地形条件有利于粉尘和扬尘的扩散，故不会对周围空气环境产生明显影响。

(2) 运行期大气环境影响

本工程万山岛 10kV 升压站设有备用柴油发电机，在应急情况下柴油发电机启动发电过程中会产生一定量的燃油废气。由于备用柴油发电机只在停电的应急情况下才使用，运行期使用时间数少，废气排放量较少，而且采用含硫量小于 0.2% 的轻质柴油作燃料，污染物排放量较少。燃油废气经配套的净化处理器处理后，通过预留排烟管引至高空排放，对周围环境影响较小。

6.6.3 退役期环境影响

本工程设计运行期 25 年，运行达到设计周期后，将对波浪能装置进行拆除工作，由于波浪能装置采用锚泊系统进行定位，拆除过程较为简单，对生态环境扰动较小，尽在短时期内造成局部海水悬浮物浓度升高，总体来说扰动范围小、扰动程度低，对周边海洋生态环境影响很小。本退役期环境影响应在拆除施工方案明确后另行编制环境影响报告。

7 环境事故风险评价

7.1 环境事故识别

本项目为波浪能示范工程，由波能装置、电气接线等部分组成，波浪能发电装置采用漂浮式型式，锚链固定。回顾国外海上波浪能项目建造、运行经验，并参考国内外相关资料，上述工程组成部分在建设期和运行期均存在发生突发环境事故的可能，主要为施工期施工船舶与过往船舶发生碰撞事故导致溢油风险；运行期波浪能发电装置与过往渔船发生碰撞导致渔船溢油风险；长时期冲刷造成电缆和海床之间形成淘空的风险和海底线缆突发事故风险、锚链断裂以及渔船拖网作业导致输电电缆断裂等。

7.2 溢油事故风险评价

7.2.1 风险因子及危险性识别

7.2.1.1 风险因子识别

根据 7.2 节分析，本工程所在海域通航船舶众多，施工期施工船舶往来于码头与作业海域势必穿越周边航道，从而带来施工船舶与固有通航船舶碰撞的风险，一旦发生船舶碰撞事故，可能造成船舶燃料油及油船煤油泄露的可能。此外，运行期，周围通航船舶也存在与波能装置碰撞而发生溢油事故的可能。此外，波浪能装置上存有少量液压油，发生事故也存在泄漏的可能。

7.2.1.2 危险性识别

(1) 燃料油性质

燃料油是由烃类组成的一种复杂液态混合物，同时还含有少量的氧、氮、硫等其他化合物。

主要特征如下：

- ①易燃性：大多数产品闪点低，且闪点与燃点相接近。
- ②易爆性：石油化工产品，特别是轻质石油产品，需点燃的温度和能量较低，

在一定的混合气体爆炸浓度范围内，很容易发生爆炸。

③易积聚静电荷：石油化工产品电导率一般都较低，即电阻率较高，为静电非导体，很容易积聚电荷，而且不易消散。

④易蒸发、易扩散、易流消性：主要成分烃类分子很容易蒸发、扩散；油气易沿地面流散，液体易沿地面或水面流消。

⑤易沸溢性：重质或含有水分的石油产品着火燃烧时，可能发生沸腾突溢。

⑥易受热膨胀性：石油产品受热后，温度升高体积膨胀，易造成容器和管件损坏；温度降低，体积收缩，容器内出现负压，会引起容器变形损坏。

⑦毒性：石油及其产品的毒性是溶解芳烃的函数。燃料油中的C10~C17芳烃比原油高很多，所以燃料油的毒性比原油大。

(2) 溢油在水体中的变化过程

油料溢入水体后，由于受到各种环境参数（如温度、盐度、光照、风、波浪、悬浮物、地理位置和油本身化学组成）的影响，会发生复杂的物理、化学和生物变化过程，如扩散、漂移、蒸发、分散、乳化、光化学氧化分解、沉积以及生物降解等。

①溢油扩散

油的扩散是在重力、粘度和表面张力联合作用下产生水平扩散。最初是重力起主要作用；当油膜厚度大大减少后，表面张力作用将超过重力作用，成为导致溢油扩散的主要因素；当溢油扩散在水面上形成薄膜后，进一步的扩散主要是靠海面的紊流作用。

②溢油漂移

由风和水流引起的油膜运动称为漂移。水流可以通过数学模型进行模拟，溢油现场风的数据难以随时获得，会给数值模拟带来一定困难。

③溢油蒸发

溢油中易挥发组分的蒸发能够导致溢油特性的变化。蒸发后留在水面上的油的密度和粘度都会增大。蒸发使水面溢油量的减少，还影响扩散和乳化作用。影响蒸发的因素主要有：油的组分、油膜厚度、环境温度、风速及海况等。

④溢油溶解

溶解是石油中的低分子烃向水体中分散的一个自然混合过程。溶解速率取决于油分子构成、扩散程度、水温、紊流以及分散程度。重燃料油的溶解能力较差。

⑤溢油乳化

许多油类易于吸收水而形成油包水乳化液，体积会增加 3~4 倍。这种乳状液通常很粘，不容易消散。油的乳化程度依赖于沥青质的含量，沥青质含量大于 0.5% 崩油，易形成稳定的乳状液；沥青质含量小于此值的油易于分散。油的乳化液在海洋环境中很难自然消失，如任其漂流，碰到固体物质或海滩就会粘附在上面，对环境的污染很难消除。

⑥溢油的生物降解

生物降解是海洋环境中的油得以净化的最根本途径。影响生物降解的因素主要有温度、含氧量及营养物质氮和磷的含量。生物降解速率相对较低，对于短期内消除水面溢油来说并不能起到大的作用，但对于被污染的海洋环境而言，即使需要几个月甚至几年能使其得以恢复，也是非常有意义的。

⑦氧化作用

石油的烃分子与氧作用不是分解为可溶性物质就是结合为持久性焦油。但是油的氧化速率相对较慢，特别是高粘度、厚层油或油包水乳化液的氧化很慢，相对于其它各种变化过程，油的氧化量是微不足道的。

⑧沉积

溢油在水体中经过蒸发、乳化等变化，其密度增加，在微咸水或淡水中下沉。浅水区和江河口处经常夹杂着大量的悬浮颗粒，会促使溢油沉降。

7.2.2 溢油风险类型识别

本工程涉及的溢油风险类型为施工期间发生的施工船舶与航行船舶的碰撞事故以及运营期间航行船舶碰撞波能装置事故。

7.2.3 源项分析

7.2.3.1 事故调查与分析

根据《中国海上搜救中心水上险情应急反应程序》对《船舶污染海洋环境风

险评价技术规范（试行）》和珠海市船舶污染事故应急预案对溢油事故等级的划分，溢油风险事故等级见表 7.2-1。

表 7.2-1 溢油风险事故等级

事故风险等级	较大	一般	较小
事故性质	溢油量>50t，或造成的直接经济损失超过 500 万元，或对环境造成较大影响	溢油量在 10~50t 之间，或造成的直接经济损失不足 500 万元，或对环境造成一般影响	溢油量<10t，或造成的直接经济损失不足 250 万元，或对环境造成影响不大

根据交通部海事部门有关统计资料，我国 1987 年~2002 年各类等级的溢油事故分档统计见表 7.2-2。

表 7.2-2 我国 1987 年~2002 年船舶、码头溢泊事故分档统计表

溢泊事故分档(t)	溢油次数	占总次数(%)	溢油量(t)	平均溢油量(t)	占总溢油量(%)
不足 10	1918	97	673	0.35	5
10-50	26	1	491	19	3
50 以上	41	2	13038	318	92
总计	1985	100	14202	(事故性) 202	100

由表 7.2-2 可见，我国 1987 年~2002 年间船舶、码头共发生大小溢泊事故 1985 起，共溢油 14202t。其中溢油不足 10t 的 1918 起，绝大部分是操作性事故，占总事故次数的 97%；溢油量 10~50t 的 26 起，占 1%；溢油量 50t 以上的大事故，占总事故次数 2%；按溢油量算，不足 10t 溢油事故共溢油量为 673t，平均 0.35t/次，占总溢油量的 5%；溢油 10~50t 事故共溢油量为 491t，平均 19t/起，占总溢油量的 3%；溢油 50t 以上的大事故共溢油量为 13038t，平均为 318t/起，占总溢油量的 92%。由此可见，绝大多数溢油事故溢油量相对较小，在 10t 以下。但尽管特别严重的溢油事故 (>50t) 仅占总事故数的 2%，但其溢油总量却占到总事故溢油量的 90%以上，重大溢油事故的风险及其危害不容忽视。

表 7.2-3 给出了 1973-2006 年我国特别严重船舶溢油事故 (>50t) 统计。

表 7.2-3 1973-2006 年我国重大船舶溢油事故档次表

溢油事故分档 (t)	溢油次数	占总次数 (%)	溢油量 (t)	平均溢油量 (t)	占总溢油量 (%)
50-100 (不含 100)	9	13	640	71	1.7
100-500 (不含 500)	43	62	10263	239	27.7
500-1000(不含 1000)	10	15	7263	726	19.6
1000 以上	7	10	18911	2701	51.0
总计	69	100	37077	537	100

从表 7.2-3 可见,1973~2006 年,我国沿海共发生大小船舶溢油事故 2635 起,其中溢油 50t 以上的重大船舶溢油事故共 69 起,总溢油量 37077t,其中,油轮占 62.7%,非油轮占 37.3%。平均每年发生 2 起,平均每起污染事故溢油量 537t。

从 1973~2006 年重大船舶溢油事故原因分析,由于碰撞、搁浅发生的事故所占比例最高,约占总数的 60%,这类事故一般是由于船上的导航设备缺陷,或是自然条件恶劣所致,其中也包含有人为操作失当或管理事务。此外,溢油事故发生的其他原因是由于操作差错,这主要是指装卸过程中因工作人员的失误造成溢油事故,比如作业前检查失误、没及时调舱、输油结束或发生事故时没有及时关泵。

7.2.3.2 重大事故案例分析

1999 年 3 月 24 日凌晨,在珠江口内伶仃岛与淇澳岛之间水域(东经 113°44',北纬 22°25'),装载 1032t 重油的“闽燃供 2”轮与空载的“东海 209”轮发生碰撞,“闽燃供 2”轮船体破裂,该轮所载约 150t 重油泄漏入海。

溢油事故发生后,在偏东风和涨落潮的共同影响下,从 3 月 25 日开始,漏油点以西海域大面积漂满黑褐色油带。26 日,油污扩散到淇澳岛沿岸海域,近岸水面出现宽 7~8m,厚近 2cm 的黑褐色油污。3 月 27 日,油污影响到珠海市区近岸海域。至 30 日,金星门、淇澳岛、唐家湾、银坑、香洲湾、九州港等水域布满油污;野狸岛、海滨浴场、珠海渔女、情侣路岸堤等水域均受油污影响呈黑褐色。污染岸线从金鼎至澳门以北。香洲区受污染的岸线约为 40km。淇澳岛受污染岸线约 17km,包括沙滩 5km,重油成片或扩散聚集,根据珠海市海洋局统计,受污染海域在北纬 22°29'~北纬 22°10'之间,东经 113°54'至珠海金鼎、唐家、香洲等岸线,受污染海域面积达 300km²。事故发生后相关部门迅速组织力量进行油污清理处置,直至 4 月 30 日清洁工作才告一段落。

根据事故发生后多次海水石油类指标监测结果,见表 7.2-4。从监测结果分析,事故发生对淇澳岛及香洲区近岸水域污染相当严重,石油类浓度一度高达 572.71mg/l,即使到 4 月 2 日,唐家、银坑等多地表层石油类浓度平均值仍达 1.16mg/l,为 II 类海水水质标准的 20 余倍。对沉积物环境的监测则显示,南芒湾、

大围湾、银坑等区域的表层沉积物也出现了严重超标，上述区域表层沉积物石油类最大含量达到 25320.0mg/kg，超标 24 倍，沉积物受石油类污染也十分明显。此外环境空气监测结果也显示，沿线区域的非甲烷总烃含量也出现明显升高。可见，溢油事故发生对海域环境质量的影响十分严重。

表 7.2-4 “324” 溢油事故海域水质石油类监测结果汇总

监测时段							
3月29日		4月2日		4月6日~10日		4月15、22、29日，5月20日	
监测位置	石油类浓度	监测位置	石油类浓度	监测位置	石油类浓度	监测位置	石油类浓度
淇澳码头(1)	572.71	唐家	0.30	南芒湾	0.57	南芒湾	0.24
淇澳码头(2)	145.99	银坑(1)	0.94	大围湾	0.52	大围湾	0.22
		银坑(2)	0.94	银坑	0.28	银坑	0.38
		香洲	3.34	珠海渔女	1.29	珠海渔女	0.40
		九州港(1)	0.69	海滨浴场	1.12	海滨浴场	0.40
		九州港(2)	0.73				
		平均值	1.16	平均值	0.76	平均值	0.33

从对周围海域环境敏感目标的影响来看，溢油事故造成海域 33 万亩水产养殖区产量受损，养殖品种沾染油污死亡或无法食用，直接经济损失达 4000 余万元。同时溢油事故使得珠江口多片红树林受到较严重影响，叶片沾油量最高达 7.54mg/cm²，并出现多处植株死亡。此外，溢油事故发生使得海滨浴场沙滩受油污影响沙滩厚度平均达 0.3m，受污染海沙约 3000m³，海滨浴场客流明显减少。

可见，溢油事故一旦发生对海域的自然、生态环境及渔业生产等海域开发活动都会带来巨大的不利影响。

7.2.3.3 溢油事故概率分析

交通部海事局曾统计分析溢油量大于 50t 的事故概率，以近 5 年我国沿海港口石油（原油和成品油）进、出量和同期发生溢油量 50 吨以上的重大污染事故次数，统计出平均每运输 6050 万吨石油可发生 1 次溢油 50t 以上的重大污染事故。又根据统计，1992 年~2002 年珠江口重大溢油事故发生情况见表 7.2-5。

由表可见，近年在珠江口海域大于 10t 的重大溢油事故时有发生，本项目建设可能在一定程度上提高了海域船舶碰撞溢油事故发生的可能。

表 7.2-5 1992~2002 年珠江口港口重大溢油事故发生情况汇总

年份	港口石油及石油制品吞吐量	溢油量 $\geq 10t$	
		溢油量 (t)	次数 (次)
1992	2203.0	70.3	2
1993	2400.5	180	3
1994	2450.0	120	4
1995	2550.5	200	5
1996	2561.9	120	2
1997	2530.8	334	3
1998	2438.2	19.7	1
1999	3006.0	589.7	2
2000	3237.2	123	2
2001	3782.3	400	1
2002	4200.0	700	3
合计	31360.6	2856.7	28

7.2.3.4 最大可信事故

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

根据万山群岛历史气象资料统计，万山群岛主导风向为 ESE（112.5°），其次为 NNE（22.5°），风速按《海港工程设计手册》中最大允许作业风速，取为 14m/s，事故溢油点位置取最有可能发生在船舶作业碰撞的波浪浮体最外侧，即图 6.2-1 中的 A（编号 1）、B（编号 38）两个点位置。

7.2.4 溢油事故影响预测

7.2.4.1 溢油事故模型建立

油膜质心的运动速度：

$$\vec{V} = \vec{V}_c + a\vec{W}$$

式中： \vec{V} 为油膜质心运动速度； \vec{V}_c 为潮流流速； \vec{W} 为海面上方 10m 处风速； a 为风因子，一般取为 0.01~0.05。

静止点源连续溢油的体积：

$$\text{溢油阶段 } (t \leq t_j), V(t) = \sum_{j=1}^n Q\Delta t [1 - K(t - j\Delta t)]$$

停止溢油后 ($t > t_j$), $V(t) = V_j [1 - K(t - t_j)]$

式中: Q 为油的流量; t_j 为溢油持续时间; K 为油体积衰减系数; j 为计算时间步长数; Δt 为时间步长; V_j 为 $t = t_j$ 时的油体积。

溢油的扩展: 油膜除随风和潮流共同作用而飘移外, 油膜还在溢油后不同阶段受重力、惯性力、粘性力和表面张力的不同作用而扩展, 油膜将扩展成椭圆状, 椭圆的长轴在潮流和风海流的合成方向上。其短轴 dn 和长轴 ds 分别为

$$dn = C_1 \nabla^{1/3} V^{1/3} t^{1/4}$$

$$ds = C_1 (\nabla V)^{1/3} t^{1/4} + C_2 W^{4/3} t^{3/4}$$

式中: ∇ 为 $(\rho_w - \rho_0) / \rho_0$; ρ_0 和 ρ_w 为油和海水的密度; W 为海面风速; t 为溢油经历时间; C_1 , C_2 为经验常数, 一般取 C_1 为 1.7, C_2 为 0.03。

当油膜面积或厚度达到一定值时, 油膜自身扩展结束, 溢油扩散进入油类蒸发与乳化过程, 此时溢油模拟依靠对每个油粒子的追踪实现。

油粒子蒸发: 溢油的蒸发率与温度、风速、光照和溢油的多少及溢油本身的性质有关。依据 Mackay 等人提出的油膜挥发公式:

$$\begin{cases} F_v = [\ln P_0 + \ln(CK_E t + 1/P_0)] / C \\ P_0 = \exp(10.6 - 10.6T_0/T_E) \\ K_E = 0.0025w_{10}^{0.78} AV_M / (RTV_0) \end{cases}$$

式中: F_v 为挥发系数、 P_0 为初始挥发气压、 K_E 为质量迁移系数、 t 为时间, T_0 为起始沸点 ($^{\circ}K$)、 T_E 为大气温度 ($^{\circ}K$)、 t 为时间, w_{10} 为海面上 10m 高处的风速、 A 为油膜面积、 V_M 为摩尔体积、主要根据油组分来确定, R 为气体常数, T 为油表面温度, 通常认为其与大气温度 T_E 相近, V_0 为溢油的初始体积。 C 、 T_0 在 $T_E = 283K$ 的值可由美国石油组织 API 提出的公式计算:

$$C = 1158.9API^{-1.1435}$$

$$T_0 = 542.6 - 30.275API + 1.565API^2 - 0.03439API^3 + 0.0002604API^4$$

式中, API 为美国石油协会采用的比重。

油粒子乳化: 乳化一般发生在溢油后数小时, 随着油膜的不断扩展, 油膜面

积逐渐增大，厚度不断减小，在风切应力、湍流、波浪等作用下，油膜被分散，此时乳化开始发生。一般可用含水率 Y_w 来表征乳化程度。

$$Y_w = \frac{1}{K_B} \left(1 - e^{-K_A K_B (1+V_w)^2 t} \right)$$

式中： Y_w 为乳化物的含水量（%）， $K_A = 4.5 \times 10^{-6}$ ， V_w 为风速， $K_B = 1/Y_w^F$ ，其中 Y_w^F 为最终含水量，一般取 0.8， t 为时间。

7.2.4.2 溢油源强及位置

由于溢油时间、地点、数量等众多不确定的随机因素，因此计算不可能将所有情况一一描述清楚。根据万山群岛历史气象资料统计，万山群岛主导风向为 ESE（112.5°），其次为 NNE（22.5°），风速按《海港工程设计手册》中最大允许作业风速，取为 14m/s，事故溢油点位置取最有可能发生在船舶作业碰撞的波浪浮体最外侧位置。

7.2.4.3 溢油计算工况

溢油发生时取在大潮涨急（2013.11.17 19:00）、落急（2013.11.18 02:00）这两个时刻；计算时段取 48 个小时；溢油量取 10m³、100m³。根据这些计算条件，一共有 16 种溢油工况组合，见表 7.2-6。

表 7.2-6 溢油计算条件组合

工况	溢油点	溢油量 m ³	风向	潮时
工况 1	A	10	ESE	落潮
工况 2				涨潮
工况 3		100	NNE	落潮
工况 4				涨潮
工况 5	B	10	ESE	落潮
工况 6				涨潮
工况 7		100	NNE	落潮
工况 8				涨潮

7.2.4.4 溢油计算结果

根据这些溢油工况组合,可预测不同时刻发生溢油时在潮流与不同风向作用下油膜漂移扩散情况。由于模型工况较多,本报告中只绘制和分析溢油量较大的,即 100 m^3 的 4 种溢油工况组合某时刻溢油漂移轨迹图,见图 7.2-1~图 7.2-4。表 7.2-7 为对应溢油量为 10m^3 、 100m^3 的事故风险组合计算结果。

根据图 7.2-1~图 7.2-5 及表 7.2-7,可以看出溢油漂移轨迹及扩散面积与溢油点位置、风速、风向及涨落潮时有关,其中:

(1) 溢油点 A、溢油点 B 在发生溢油后无论涨潮还是落潮, ESE 风向作用时,溢油均向西北移动经过若干小时后抵岸; NNE 风向作用时,溢油均向西南方向移动,最长经 48 小时后超出模型计算边界。

(2) 溢油点 A 涨潮或落潮时,在 ESE 风的作用下向西北漂移,24 小时抵达磨刀门保留区内,最终扩散面积分别为 36.5km^2 、 32.0km^2 。

(3) 溢油点 A 涨潮或落潮时,在 NNE 风的作用下向西南漂移,12 小时抵达湛江-珠海近海农渔业区内,48 小时后抵达模型边界,最终扩散面积分别为 118.5km^2 、 137.2km^2 。

(4) 由于溢油点 B 与溢油点 A 相隔不远,水动力环境相似,因此溢油点 B 的漂移轨迹及漂移时间与溢油点 A 接近。涨潮或落潮时,在 ESE 风的作用下最终扩散面积分别为 43.5km^2 、 32.7km^2 ,在 NNE 风的作用下最终扩散面积分别为 124.8km^2 、 146.3km^2 。

可以看出溢油点 B 的溢油面积略大于溢油点 A。

表 7.2-7 溢油事故风险组合、扩散时间与油膜扫海面积 (km²)

溢油点	溢油量 m ³	风向	潮时	1H	3H	6H	12H	24H	48H
A	10	ESE	落潮	0.04	0.4	3.9	14.1	29.1	/
			涨潮	0.15	0.9	2.0	12.5	35.9	/
		NNE	落潮	0.14	1.2	5.7	18.3	58.8	133.3
			涨潮	0.13	1.2	4.4	16.3	56.3	117.6
	100	ESE	落潮	0.04	0.4	4.0	14.2	32.0	/
			涨潮	0.17	1.0	2.1	13.2	36.5	/
		NNE	落潮	0.16	1.3	6.1	19.1	62.7	137.2
			涨潮	0.17	1.2	4.4	17.2	57.2	118.5
B	10	ESE	落潮	0.03	0.5	5.1	17.0	31.9	/
			涨潮	0.11	0.7	2.6	14.9	43.5	/
		NNE	落潮	0.12	1.1	5.1	20.0	61.6	142.8
			涨潮	0.10	0.8	3.4	15.5	63.3	126.3
	100	ESE	落潮	0.03	0.5	5.3	16.8	32.7	/
			涨潮	0.13	0.7	2.6	14.4	43.5	/
		NNE	落潮	0.14	1.2	5.4	20.1	61.6	146.3
			涨潮	0.12	0.9	3.7	15.1	61.8	124.8

注：“/”表示该时刻溢油已经抵达岸边，面积不再扩大。

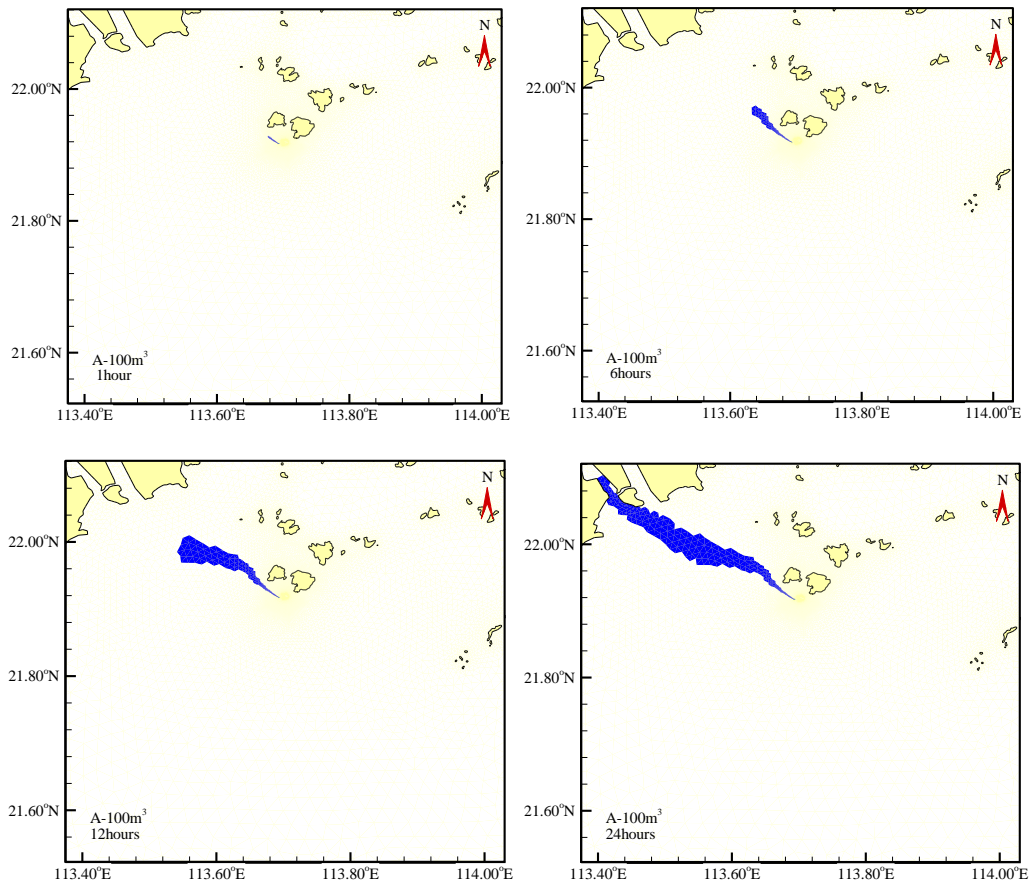


图 7.2-1 A 溢油点涨潮溢油漂移轨迹 (ESE 向风、溢油量 100)

m³)

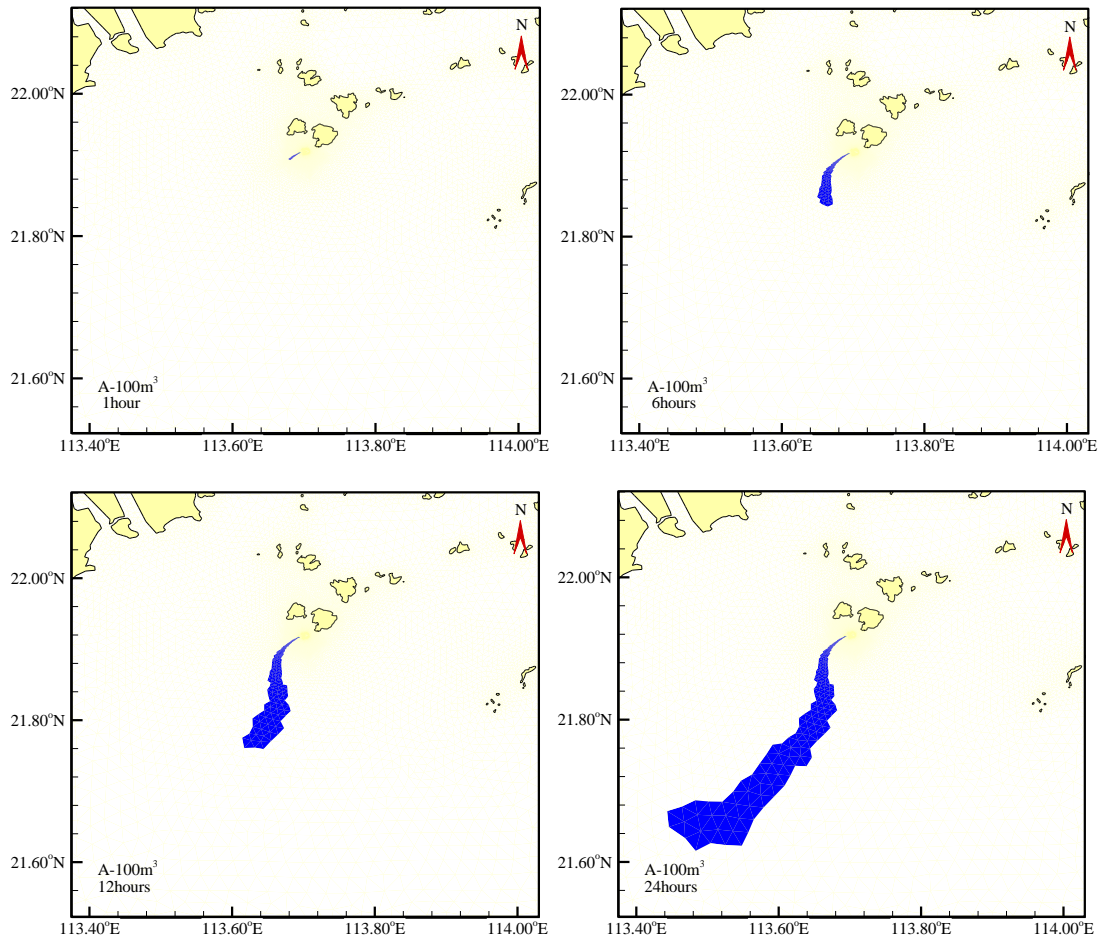


图 7.2-2 A 溢油点涨潮溢油漂移轨迹 (NNE 向风、溢油量 100

m³)

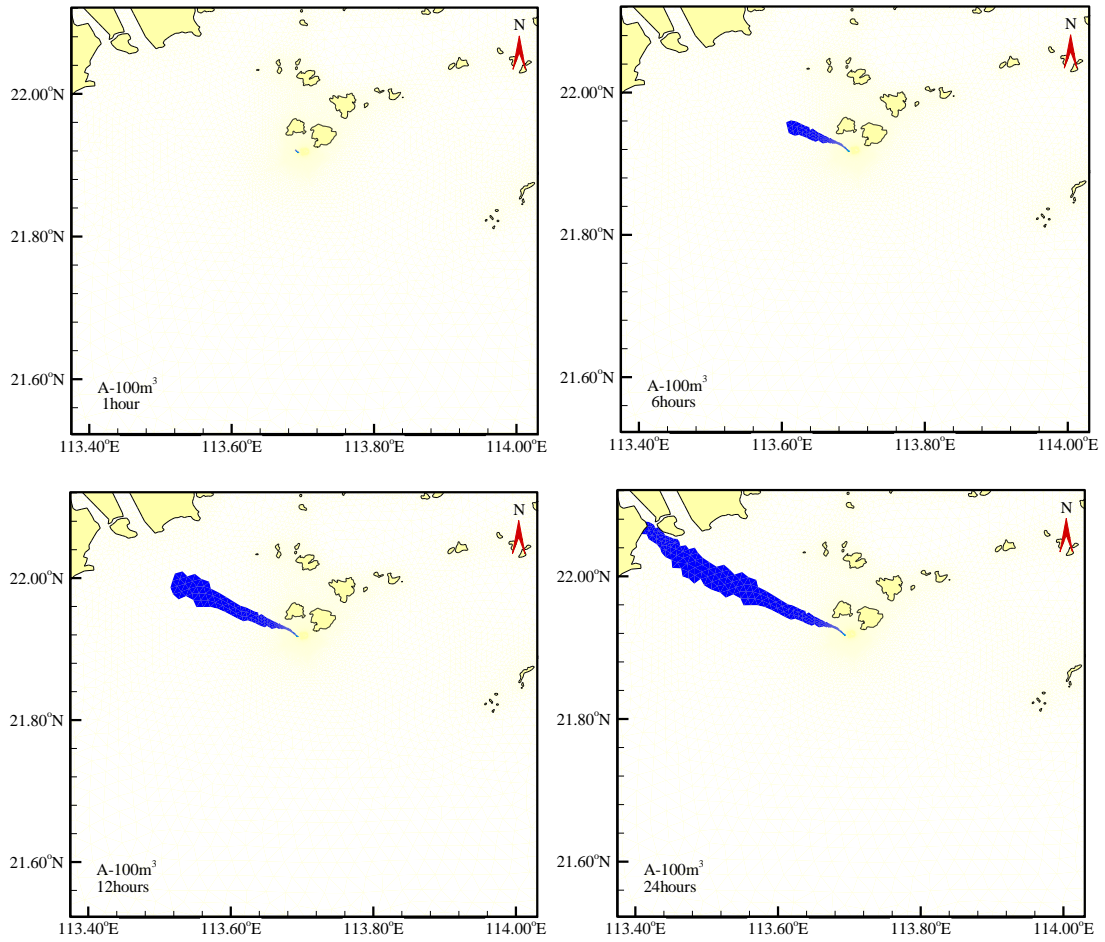


图 7.2-3 A 溢油点落潮溢油漂移轨迹 (ESE 向风、溢油量 100 m³)

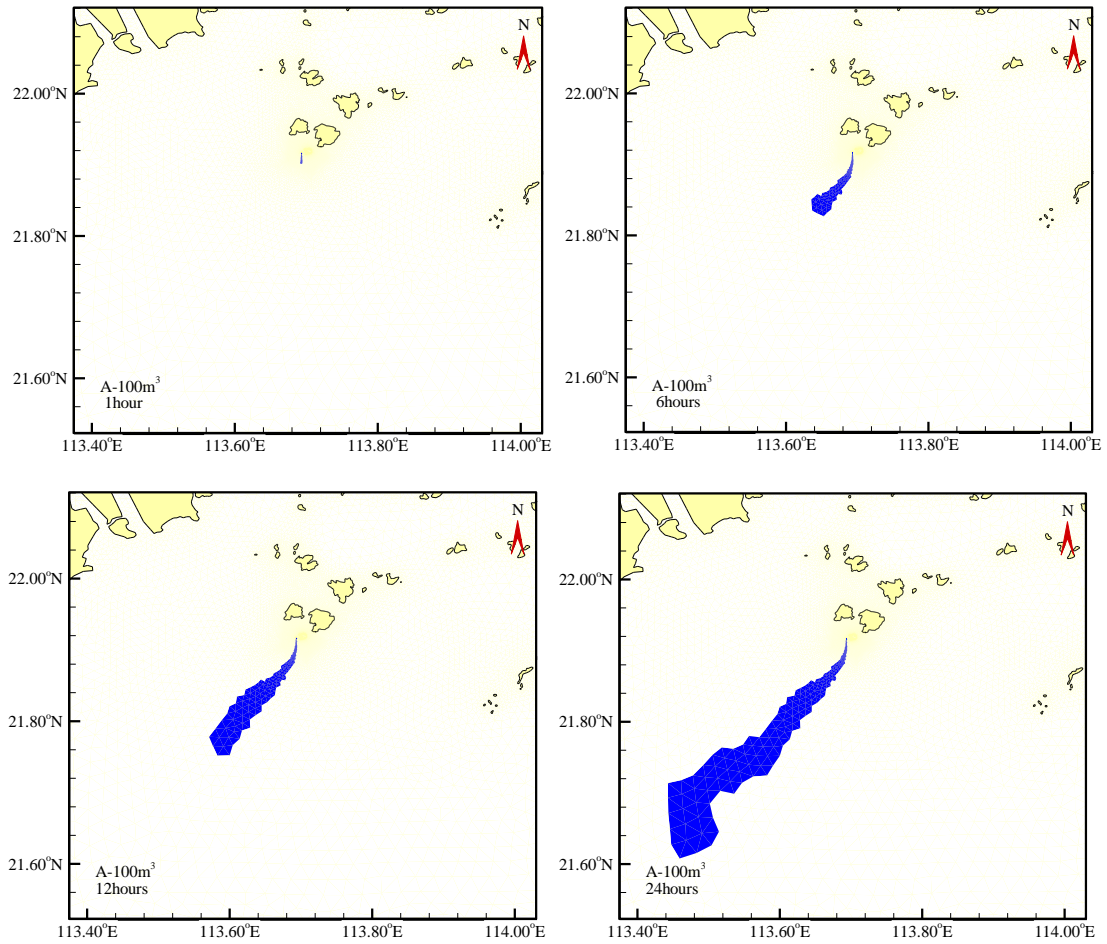


图 7.2-4 A 溢油点落潮溢油漂移轨迹 (NNE 向风、溢油量 100 m³)

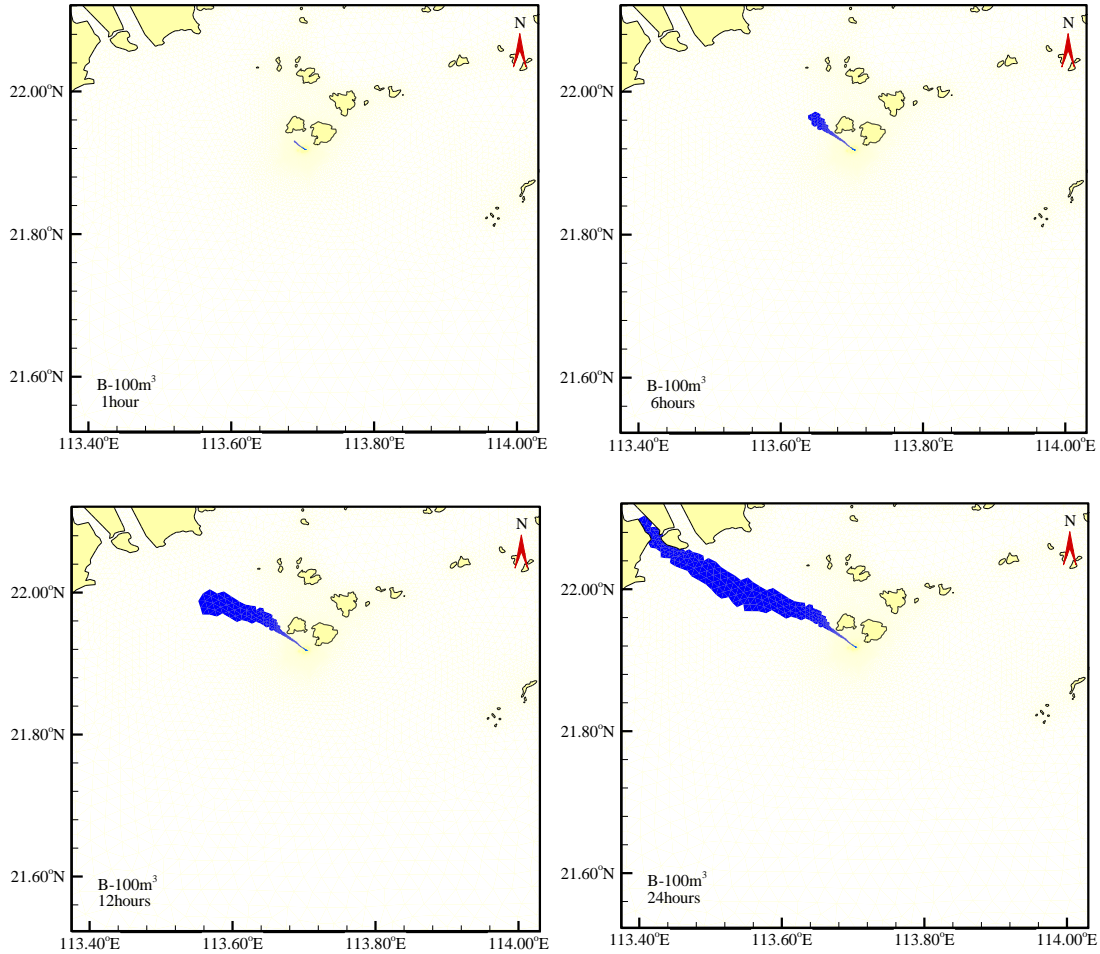


图 7.2-5 B 溢油点涨潮溢油漂移轨迹 (ESE 向风、溢油量 100 m³)

总体而言，溢油点位于万山群岛西南方向海域，在主导风向作用下，溢油方向为西北或西南，远离万山群岛旅游休闲娱乐区海域，因此发生溢油时不会对该海域的海岛旅游休闲及海洋生态环境造成较大的影响，但在 ESE 风作用下，溢油 24 小时将抵达磨刀门海域；在 NNE 风作用下，12 小时抵达敏感生态海域湛江-珠海近海农渔业区内。

在溢油事故中无论是溢油点、溢油量还是溢油时间均有很大的随机性和不确定性，一旦发生泄漏事故需以最短时间启动溢油应急预案，责任人应及时通知当地的应急反应机构—中山港口水域溢油应急指挥部（设在中山海事局内），同时采取如使用围油栏、吸油材料、撇油器等必要措施保护重要目标，限制油污的扩散，尽量减小该海区遭受溢油污染损害的程度。

7.2.5 溢油事故对海洋生态和渔业影响分析

船舶溢油事故发生后，将对海洋生物和渔业资源造成很大影响。

(1) 对浮游生物的影响

溢油事件发生后，油膜会破坏浮游植物细胞，损坏叶绿素及干扰气体交换，从而妨碍他们的光合作用。破坏程度取决于油类物质的类型，浓度及浮游植物的种类。根据国内外毒性实验结果，作为鱼、虾类饵料基础的浮游植物，对各种油类的耐受能力都很低。海洋浮游植物石油急性中毒致死浓度为 0.1~10mg/L，一般为 1mg/L。对于更敏感的种类，油浓度低于 0.1mg/L 时，也会妨碍细胞的分裂和生长的速率。

(2) 对浮游动物的影响

浮游动物石油急性中毒致死浓度范围一般为 0.1~15mg/L，Mironov 等曾将黑海某些挠足类、和枝角类暴露于 0.1ppm 的石油海水中，当天浮游动物全部死亡。当石油含量降至 0.05ppm，小型拟哲水蚤 *Paracalanus sp.* 的半致死时间为 4 天，而胸刺镖蚤 *CentroPages*、鸟缘尖头蚤和长腹剑水蚤 *Oithona* 的半致死天数依次为 3 天、2 天和 1 天。另外，Mironov 对不同浓度对挠足类幼体的影响实验表明，永久性（终生性）浮游动物幼体的敏感性大于阶段性（临时性）的底栖生物幼体，而它们各自的幼体的敏感性又大于成体。

(3) 对底栖生物的影响

底栖生物随种类的不同而产生对石油浓度适应的差异，多数底栖生物石油急性中毒致死浓度范围在 2.0~15mg/L，其幼体的致死浓度范围更小些。软体动物双壳类能吸收水中含量很低的石油，如：0.01ppm 的石油则可能使牡蛎呈明显的油味，严重的油味可持续达半年之久。受石油污染的牡蛎会引起因纤毛鳃上皮细胞麻痹而破坏其摄食机制并进而死亡。象海胆、寄居蟹、海盘车等底栖生物的耐油污性很差，即使海水中石油含量只有 0.01ppm，也可使其死亡。而千分之一浓度的乳化油即可使海胆在 1 小时内死亡。某些底栖甲壳类动物幼体（无节幼虫）当海水中石油浓度在 0.1~0.01ppm 时，对藤壶幼体和蟹幼体有明显的毒效。据吴彰宽报导，胜利原油对对虾 *Penaeus orientalis* 各发育阶段影响的最低浓度分别

是受精卵 56mg/L, 无节幼体 3.2mg/L、蚤状幼体 0.1mg/L, 糠虾幼体 1.8mg/L, 仔虾 5.6mg/L, 其中蚤状幼体为最敏感的阶段。胜利原油对对虾的幼体的 96h-LC50 为 11.1mg/L。

(4) 石油污染对鱼类的影响

国内外许多的研究均表明高浓度的石油会使鱼卵、仔幼鱼短时间内中毒死亡, 低浓度的长期亚急性毒性可干扰鱼类摄食和繁殖, 具毒性随石油组分的不同而有差异。根据东海水产研究所近年来对几种不同油类对鲮鱼仔鱼 *Mugilcaphalus* 的毒性试验结果表明, 阿拉伯也门麦端波原油、镇海炼油厂的混合废油、胜利原油和东海平湖原油对鲮鱼的 96h—LC50 值分别为 15.8mg/L, 1.64mg/L、6.5mg/L 和 2.88mg/L。陈民山等报导, 胜利原油对真鲷仔鱼 *Pagrassonius major* 和牙鲆仔鱼 *Paralichthy olovaceus* 的 96h—LC50 值分别为 1.0mg/L 和 1.6mg/L。20 号燃料油对黑鲷 *Spares macrocephaius* 的 96h-LC50 值为 2.34mg/L, 而对黑鲷的 20 天生长试验结果, 其最低影响浓度(LOEC)和无影响浓度分别为 0.096mg/L 和 0.032mg/L。

(5) 石油对水产动、植物的油臭影响

海洋中一旦发生油污染, 扩散的油分子会迅速随风及水的流动而扩散, 水产动、植物一旦与其接触, 即会在短时间内发生油臭, 从而影响食用价值。以 20 号燃料油为例, 当油浓度为 0.004mg/L 时, 5 天就能对对虾产生油味, 14 天和 21 天分别使文蛤和葛氏长臂虾产生异味。

综上所述, 溢油事故一旦发生将对海洋生态系统造成极大的影响。回顾溢油事故实际案例, 1999 年珠江口水域发生的“3.24 特大溢油事故”, 事故溢油量超过 500t, 事故发生当年事故海域的海洋生态系统变化显著, 直到事故第二年生态系统才开始逐步恢复, 次年的鱼类资源和捕捞量损失约 40%, 此后的 3、4 年渔业资源和捕捞量仍明显劣于事故前, 直到事故后事故后 7 年渔业资源方恢复到原有水平。可见溢油事故对海洋生态系统、渔业资源的影响是显著的、长期的。

7.2.6 溢油事故风险防范措施

7.2.6.1 施工期溢油风险事故防范措施

综上所述，本项目施工具有一定的溢油风险，为保证工程施工安全，防止油污事故发生，施工单位必须有水上施工经验，施工过程中需科学合理安排施工工序，周密考虑工程施工期间的安全措施，应主要包括：

(1) 工程施工期间需制订切实有效的安全管理措施和一旦发生空发性事故的应急预案。

(2) 施工作业开工前按规定向海事局有关部门申办妥水上水下施工作业手续，申请发布有关施工作业航行通告和航行警告。

(3) 当风力达到施工船舶的抗风等级前，施工船应停止施工作业，当气象预报风力超过施工船抗风等级前，应提前撤离施工现场，择地避风。

(4) 施工作业附近，应安排一艘拖轮停泊待命，以便随时出动进行应急抢救等救助工作。

(5) 由于工程施工时所占用的可通航水域面积很大，因此在施工作业期产，施工建设单位需向海事主管机关申请划定施工作业区，设置航行警戒标，配置现场警戒船。

(6) 认真落实施工船舶防污染措施，做好船舶垃圾、残油、含油污水等污染特、废弃物的接收和处置工作。施工船舶一旦发生污染水域事故，应尽力采取控制和消除污染的措施，同时向海事主管机关报告，接受调查处理。

7.2.6.2 运行期溢油风险事故防范措施

运行期本工程 9 台波浪能发电装置位于海上，工程选址虽已避开航道，但不排除小型渔船会从工程海域经过，如遇恶劣天气，可能发生碰撞事故。因此建议：

(1) 加强宣传教育，在附近渔村开展宣传，告知工程位置与特点，避免渔船航行经过工程海域。

(2) 在工程外侧发电装置上安装闪烁警告灯具，标示工程边界位置，避免不良天气下因视线不清导致的意外碰撞事故发生。

7.2.7 溢油事故的应急措施

根据国家环保局（90）环管字 057 号 8 文要求，通过对污染事故的风险评价，制定防止重大环境污染事故发生的工作计划，消除事故隐患的措施及突发性事故应急处理办法等，一旦出现重大事故，能有效的组织救援，及时控制污染、减少污染损失。

风险事故发生后，能否迅速而有效地作出应急反应，对于控制污染，减少污染损失以及消除污染等都起着关键性的作用。为使本工程施工和运行期对于一旦发生的溢油事故能快速作出反应，最大限度地减少事故污染对工程海域的灾害性损失。建立应付突发性事故的抢险指挥系统，组织制定一份可操作的风险应急行动计划，定期进行演习是非常必要的。此外，建设单位应委托有资质的单位编制应急预案。

7.2.7.1 应急指挥组织

项目公司成立船舶污染预防及事故应急指挥部（以下简称应急指挥部），下设运行监督办公室，负责工程日常运行安全监管及船舶污染事故上报、应急响应、支持保障和善后处理等工作。运行监督办公室设在项目公司中控室，应急指挥部应服从珠海海事局。

应急指挥部和运行监督办公室由建设单位负责组建，应急指挥部由公司负责人任总指挥，运行监督办公室 2~4 名职员组成。主要职责包括：

①运行监督办公室：运行监督办公室职责包括发电场安全运行监视，监视波能装置运行情况及周围海域来往船舶航行情况；发现或接报船舶污染事故后，及时向应急指挥中心报告。

②应急指挥中心：应急指挥中心职责包括发电场应急预案的修订、审核、发布、演练和总结；在应急处置过程中，根据事故响应等级，负责向相关部门报告，配合上级部门应急工作及事故调查处理工作。结合发电场所在海域特点，同珠海海事局、社会支持保障力量联合建立具有快速反应能力的船舶污染事故救援队伍，形成船舶污染事故应急救援的保障。

7.2.7.2 预警和报告

(1) 信息收集与预警

运行监督办公室应通过监视系统及时收集掌握在工程海域发生的船舶污染事故信息，发现或接报污染事故后立即向应急指挥中心报告，通知应急指挥部的成员到达事故现场。总指挥到达事故现场后，立即成立现场指挥部，总指挥根据现场情况预测可能造成的后果和污染危害程度、紧急程度、发展事态，判断环境污染事件危险性，将预警信息向珠海海事局水上安全指挥中心逐级上报，由上安全指挥中心确定预警等级。

预警信息包括突发事故的类别、起始时间、可能影响范围、警示事项、应采取的措施和发布机关。预警信息的发布、调整和接触可通过广播、电视、报刊、通信、信息网络、警报器、宣传车或组织人员逐户通知等方式进行，对老幼病残孕等特殊人群以及学校等特殊场所和警报盲区应当采取有针对性的公告方式。

特别重大或者重大突发事故发生后，要立即报告，通报有关地区和部门，应急处置过程中，要及时续报有关情况。

(2) 上报程序

运行监督办公室在中控室监视发现污染事故发生后应立即向应急指挥部报告，由应急指挥部向珠海海事局水上安全指挥分中心报告，最多不超过 5min。报告内容应包括：发现污染事故的时间、地点，船名，污染物品名，污染范围，当时海况等。同时应急指挥部通知项目周边的企业单位进行应急准备，调配其应急设施。

7.2.7.3 应急响应及行动

(1) 响应等级

响应等级以对公共安全、社会秩序和生态环境可能造成的危害与威胁程度作为优先考虑原则。参考《珠海市船舶污染事故应急预案》，海域发生船舶污染事故，其事故及相应应急响应等级分为三级：一般事故（Ⅲ级响应）、较大事故（Ⅱ级响应）、重大事故（Ⅰ级响应），依次分别用蓝色、黄色和红色表示。响应等级划分标准见表 7.2-8。发电场范围内船舶发生的污染事故，及时报搜救中心，由搜救中心办公室根据专家的意见，进行综合分析，确定应急等级。

表 7.2-8 事故及响应等级划分

事故（响应）等级	划分依据	
	溢油量	化学品泄漏
一般等级（Ⅲ级响应）	船舶溢油量 $\leq 10t$	-
较大等级（Ⅱ级响应）	$10t < \text{船舶溢油量} \leq 50t$	非危险化学品
重大等级（Ⅰ级响应）	$50t < \text{船舶溢油量}$	危险化学品

（2）应急响应启动

Ⅲ级应急由搜救中心办公室决定响应等级，由海事处处长/分管副处长组织实施应急处置，Ⅰ、Ⅱ级响应由搜救中心办公室根据《应急预案》调动的应急力量现场应急处置、组织协调。应急指挥部应根据搜救中心办公室的的应急处置指令，负责应急处置现场管理工作。

（3）应急响应与处置行动

一旦发生事故溢油，立即启动溢油应急预案，制止溢油蔓延，最大限度地减小海洋环境和资源的污染损失。

由应急指挥中心根据溢油量大小、油品污染危害的特性、事故发生的地理位置以及附近敏感区的情况，决定采取应急设备和人员的投入程度并制定具体的溢油控制和清污作业方案。建设单位的应急指挥部应服从上级应急指挥中心的指挥，并按照《中华人民共和国船舶污染海洋环境应急防备和应急处置管理规定》（交通运输部令 2011 年第 4 号）做好相关应急防备工作。

7.2.7.4 应急保障

广东海事局珠海船舶溢油应急设备库工程项目已于 2009 年由交通部正式批复建立投入使用，根据设计，该项目一次溢油综合清除控制能力达到 1000t。

同时，根据广东海事局统计，其辖区内主要溢油应急设备见表 7.2-9。

综上所述，目前珠海港在内的广东海事局管辖海域已配备了相当的溢油应急设备，但由于本项目的实施将在一定程度上增加海域船舶溢油事故发生的可能，因此需进一步提高海域溢油防范的能力。建议建设单位可联合珠海海事局等单位、企业共同构建溢油风险方法网络体系，在依托现有设施的基础上，进一步在工程海域配备围油栏、吸油毡、消油剂等防污器材，提高溢油风险防范能力。

表 7.2-9 广东海事局主要溢油处置

溢油应急设备	数量	型号参数
海标 32 清污船	1 艘	船总长 72.3m, 宽 11.8m
海特 151 专业清污船	1 艘	船总长 49.98m, 宽 9.4m
海洋石油 251 溢油回收船	1 艘	内置式收油机和溢油监测雷达系统, 船长 47.50m, 具有约 350m ³ 溢油规模的应急处置能力
穗港环保 5 号专业收油船	1 艘	配置侧挂式收油机 2 台, 轻型刷式收油机 1 台, 舱容为 260m ³ , 船上安装有溢油分散剂喷洒装置, 配置围油栏、吸油拖栏、吸油毡、溢油分散剂等防污材料
碧海 1 号浮油回收船	1 艘	配备 CFS50×2 型船用复合式浮油回收装置和油水分离装置, 设有两套 7.2m ³ /h 的溢油分散剂喷洒装置和固体漂浮垃圾收集装置, 配备总长度为 600m 的 1100 型充气式围油栏布放装置
WGV900R 快速应急围油栏	10 万 m	
海巡 31 巡航监管船	1 艘	
空巡直升机	1 架	

7.3 风暴潮风险分析

受长期泥沙冲刷的影响, 在海底电缆和海床之间有形成淘空的可能。考虑工程海域可能遭受风暴潮、热带气旋的影响, 风暴潮带、热带气旋来的强劲潮流和风能共同作用也可能造成海缆及系泊线的局部冲刷, 威胁系泊线稳定和海缆安全。为避免海缆掏空风险, 在施工过程中应避免在电缆和海床之间形成空间, 以防止海区内较为强劲的潮流和风量作用造成局部冲刷现象。对于基础局部冲刷的保护则应在基础承载设计中预留必要的冲刷余量, 并在运行期必要时采取基础抛石回填等措施。

为进一步避免海底线缆损坏影响项目运行稳定, 应遵守《中华人民共和国海上交通安全法》和《中华人民共和国水上水下活动通航安全管理规定》的有关规定, 敷设海底电缆施工作业, 在适当的位置设立昼夜醒目的标志, 并保证其完好、有效。在适当的区域如电缆登陆处、过航道段两侧预留一定长度电缆作为冗余, 以备电缆发生损坏能及时牵拉使用。电缆敷设完毕后, 向主管机关报送管线路由等相关资料, 并申请发布航行通(警)告。根据海底电缆保护规定要求禁止在海缆保护区范围内进行挖掘、采砂等作用。项目建成运行后应开展定期的巡查观测潮滩冲刷变化情况, 在风暴潮等恶劣气象条件过后加以必要的检查, 如发生局部冲刷及时进行回填保护。

8 清洁生产与环境保护对策措施

8.1 清洁生产分析

8.1.1 清洁能源的利用

清洁能源，也称非碳能源，它在生产时不生成 CO₂ 等对全球环境有潜在危害的物质。清洁能源的具体特征主要包括：资源量丰富、环境友好、技术经济可行等。狭义上的清洁能源主要指可再生能源，包括水能、太阳能、风能、地热能、海洋能等。将自然能源转换成清洁的能源载体，作为燃料和动力，是实现清洁能源的重要途径。

波浪能是清洁的可再生能源，波浪能发电对国家调整能源结构、缓解环境污染等方面均有积极的推动作用。表 8.1-1 对目前常见的几种发电能源的环境影响进行了比较。

表 8.1-1 电力工业环境影响

能源类别		风能	水能	地热	生物质	石油	核能	煤炭	备注
土地 占用	原始能源	0	5	2	4	3	5	5	对环境影响等级 0-极小或无影响 1-很小潜在影响 2-较少潜在影响 3-中等潜在影响 4-较多潜在影响 5-很大潜在影响
	加工运输	0	0	0	3	4	4	4	
	发电厂	3	3	3	3	3	3	4	
	废物处理	0	0	1	3	1	4	5	
水质	设备使用	0	0	1	3	3	3	3	
	泄漏及事故	0	0	3	0	4	1	5	
	现场外影响	0	0	0	1	3	4	4	
气体 排放	二氧化碳	0	0	1	4	4	4	0	
	酸性烟气	0	0	1	3	4	4	0	
	颗粒金属	0	0	1	3	2	4	0	
	放射物	0	0	1	0	1	2	5	
	非甲烷烃类	0	0	0	2	4	4	0	
生物影响		2	5	1	3	2	4	4	
废物发生		0	0	1	3	2	5	4	

从表 8.1-1 可见，比较传统的化石燃料如石油、煤炭等为原料的火电技术及水电和核电技术，波浪能发电技术具有污染物排放量少，环境风险低等优点。同时波浪能技术无需其他能源开采、钻探、加工和运输的经济成本和运行成本，有利于保护环境和推动可持续发展。

8.1.2 节约能源

本项目年上网电量约 443000kWh。根据中国电监会统计资料，2016 年，我国火电供电美好平均为 315g/kWh。据此计算，本项目运行期可节约火电燃煤资源消耗 139.55t/a。

8.1.3 污染物的减排

波浪能发电作为一种清洁能源，相比火电工业在运行过程中不会产生包含 SO₂、NO_x 和烟尘在内的有害气体；根据国家统计局、中国环境科学研究院统计和国家发改委能源研究所，目前国内燃煤发电主要大气污染物排放水平见表 8.1-2。

波浪能发电对 CO₂ 等温室气体减排水平，本报告参照联合国《Revision to the approved consolidated baseline methodology ACM0002 “Consolidated baseline methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources”》【经批准的可再生能源发电并网项目整合的基准线方法学（06 修正版）】中有关计算方法，风力发电温室气体排放视为 0 或碳中性，其排放基准线（Baseline）以本发电场并入的南方电网排放水平构建。根据国家发改委能源所能源环境中心公布的中国电力部门 CDM 项目基准线排放因子，南方区域近 3 年平均 OM 基准线为 0.8959tCO₂/MWh。

表 8.1-2 中国化石燃料燃烧大气污染物排放系数

大气污染物	排放系数 (t/tce)
SO ₂	0.0165
NO _x	0.0156
烟尘	0.0096

根据上述数据，在考虑火电行业 90%脱硫率，50%脱硝率和 99%除尘效率后，相比火力发电，本项目运行每年可减少排放二氧化硫 (SO₂) 0.23t/a，氮氧化物 (NO_x) 1.088t/a，烟尘 0.01t/a，减少排放温室效应气体二氧化碳 (CO₂) 396.89 t/a。

综上所述，本项目利用波浪能这一清洁能源进行发电，比较传统的火电技术，

本项目具有节约能源，降低污染物排放等明显的优点。符合《中华人民共和国清洁生产促进法》中“使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、从源头削减污染、减少或避免污染物的产生和排放、减轻或消除对人类健康和环境的危害”的清洁生产要求。

8.1.4 清洁生产水平分析

我国在波浪能发电产业处于起步研究阶段，目前国内尚无投入运营的波浪能发电站。本工程采用的鹰式 100kW 波浪能装置是目前国内经过试验验证较为可靠的发电装置，工程的建设具有较强的示范和科研作用。本评价重点考虑从项目波浪能装置选型的角度分析工程的清洁生产水平。

世界各国有众多研究性机构和企业对潮流发电机组进行研究应用，国内外潮流水轮机主要有以下几种型式：

(1) 水平轴水轮机，又称轴流式水轮机，与现代大型风力发电机组相似，水流方向与旋转轴平行，利用水流推动叶轮桨叶旋转发电。

(2) 垂直轴水轮机，又称横流式水轮机，水流方向与叶轮旋转轴垂直，分竖轴和横轴两种，其装置叶轮桨叶有直叶片（与旋转轴平行）和螺旋形叶片两种。

(3) 振荡式水翼潮流能装置，由水翼、振荡悬臂和液压发电装置组成，水翼受其两侧的潮流推动，并带动振荡悬臂摆动做功，通过振荡悬臂驱动液压发电装置发电。

(4) 套管叶轮装置，又称导流罩式潮流能水轮机，相当于在横轴或纵轴叶轮的外部增加一个文丘里管，这样可以起到导流、聚能的作用，使水流能量更加集中，获能效率更高。

各种类型的潮流发电机组大多数已通过了测试，部分已在潮流电站中得到应用，具有不同的适应性和优缺点，主要特点对比见表 8.1-3。

表 8.1-3 各种类型的波能装置特点比较表

分类	装置	优点	缺点
振荡浮子类	点吸收式	结构简单，加工难度小	造波和透射现象严重，效较低；迎波宽度有限，不易大型化。
	鸭式波能装置	捕获效率高	可靠性较差；加工精度要求高，增加制作成本；装置重量过大，增加运输、投放和维修的施工难度；锚系和系留等费用昂贵。
	筏式波能装置	有较好的整体性，抗浪性能较好；采用液压方式传递能量，具有较好的能量传递效率；采用了能量缓冲器，发电稳定性较好；装置可自动对浪，因此锚泊系统简单。	装置的迎波宽度与其长度相比非常小，其吸波能力与同等长度横浪布置的装置相比弱很多，转换效率不高，只适合在波浪能资源较丰富的地区使用。
	摆式波能装置	装置机构简单，降低了制造成本；装置大部分结构处于海面以下，大浪工况下摆板结构被压入水下，降低了被风暴破坏的几率，可靠性较高。	装置摆板前面吸波后面造波，接收到的相当一部分能量被送回大海，转换效率低；装置固定于海底，施工难度大，施工费用较高；装置受潮位影响大，不同潮位摆板吃水深度不同，影响其做功能力；装置固定，不能自动对浪向，当来浪方向非垂直于摆板时，其转换效率将大大降低。不易维护。当出现故障时需要拆除回厂维修，再重新安装。
	鹰式波能装置	装置吸波体外形是从鸭式优化而来，具有“有前面，无后面”的特性，转换效率高；装置吸波体质量小，在波浪作用下反应敏捷，可保持较好的随浪性；装置采用液压方式传递能量，具有较高的二、三级能量转换效率；吸波体与半潜船创造性的结合在一起，大大降低了装置运输、投放以及维修的成本和施工难度；装置大部分潜在水中，增加装置的稳定性，同时提高抗台风能力，延长工作寿命；采用漂浮式结构，适用面广，有利于批量生产，降低系统造价；装置采用多点系泊形式锚泊于海洋之中，锚系系统简单，同时该种系泊方式有利于装置自动对浪，保证装置在各种来波方向下的高性能。	装置结构还可进一步优化，使波浪能装置的设计趋于功能合理、易于应用、成本低廉，为未来批量生产打下基础。

越浪类	Wave Dragon	<p>通过收缩波道有效地聚集波浪能，提高了系统俘获波浪能的能力；将波浪能转换为势能、再利用水轮机发电，避免波浪对发电系统的冲击，提高了系统对波浪的适应性和可靠性；采用改变干舷的方法有效地调节高位水库的入口高度，使系统在各种浪况下均有较高的效率，保障了装置在小浪况下的正常工作；采用越浪技术释放过多能量，提高系统对大浪的耐受力，使系统在大浪时保持满负荷发电；采用漂浮式结构，适用面广，有利于批量生产，降低系统造价。</p>	<p>波龙装置靠导浪浮体提高了俘获波浪能的能力，同时也导致了大浪时承受波浪力过大的问题。波龙装置在海面摇动时会导致效率降低，为了保持装置的稳定，波龙技术采用的方法是加大波龙装置的尺度，减小其在一般的浪况下的运动。但这样一来，导致波龙装置在大浪时运动更加剧烈，锚泊系统的受力更大，更容易断裂；尺寸过大，建造成本过高，同时运输、投放以及维修难度较大。</p>
振荡水柱类		<p>转动机构不与海水接触，防腐性能好；安全可靠，维护方便。</p>	<p>二级能量转换效率较低；漂浮式振荡水柱装置很难做大。</p>

本工程发电装置投放安装采用锚泊系统固定，投放施工工艺成熟可靠，施工期环境影响轻微，运行期不排放污染物，施工和运行方案符合清洁生产要求。

根据优先效率兼顾可靠性的原则，优先选取鸭式、鹰式以及越浪类等能量捕获效率较高的波能装置，考虑到装置的可靠性以及加工、运输、投放、维修的便利性，鹰式波能装置在现有各类波浪能装置中优势突出，是现阶段波浪能开发利用的最好选择。因此，从本工程设备选型，工程的技术工艺和清洁生产符合清洁生产要求。

8.2 海域污染防治措施

8.2.1 施工期污染防治对策措施

8.2.1.1 海上水污染防治措施

(1) 对于本项目所采用的各类施工船舶，在水上作业时应遵照《沿海海域船舶排污设备铅封管理规定》以及交通部发布的《中华人民共和国船舶及其有关作业活动污染海洋环境防治管理规定》中对海上施工船舶的要求管理，即限制船舶油类污染物排放专项铅封行动要求，禁止直接向海域水体排放机舱所处的舱底含油污水、丢弃生活垃圾。

(2) 严格执行国家《船舶污染物排放标准》和 73/78 国际防止船舶污染海洋公约的相关规定，严禁所有施工船只的含油废水等在施工海域排放。本项目船只无压舱水排放，大型施工船舶设相应的防污设备和器材，并备油类记录簿，含油污水如实记录；设专用容器，回收施工残油、废油；根据珠海海事局《关于加强船舶污染物接收管理的通知》（粤珠海事〔2011〕107号）要求，对船舶油污水进行统一收集运至岸上，委托有资质的公司接收处置。

(3) 对海域施工期间，各类供给船、铺缆船和起重作业船等施工船舶上作业人员产生的生活污水，需统一收集运至岸上处理，并委托有资质的单位接收处置。

(4) 甲板冲洗水可直接排放入海。但甲板上偶尔出现的少量油（通常是润滑油）应用锯末或棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱等应收集后运回陆地。注意施工船舶等的清洁，及时维护和修理施工机械，施工机械若产生机油滴漏，应及时采取措施，用专用装置收集并妥善处理。建立溢油应急体系。船舶非正常排放油类、油性混合物等有害物质时，应立即采取措施，控制和消除污染，并向珠海海事局报告。

(5) 加强施工设备的管理与养护，杜绝石油类物质泄漏，减少海水受污染的可能性。

(6) 潮间带电缆沟槽开挖产生的岩石碎屑和砂石应在电缆入沟槽并垫铺细

沙后及时回填于沟槽内，防止砂石随潮流入海。登陆段海缆冲埋施工应尽量选择低潮位潮滩出露条件进行施工。

(7) 海缆埋设施工时应控制射水和开沟速度，降低悬浮物源强，合理选择施工海况，尽量选择海流速度较低的时段进行开沟作业，降低悬浮物扩散范围。

8.2.1.2 海上固体废物污染防治措施

(1) 施工垃圾和生活垃圾的处置

对于施工期船舶施工人员产生的生活垃圾，应设立定点生活垃圾收集装置，定期运至陆上，由当地环卫部门规定的垃圾场统一处置。

在滩涂区域施工时，应禁止任意向海洋中抛弃各类固体废弃物，同时应尽量避免各类固体废弃物散落进入海中。对施工场所的固体废弃物，由施工单位负责及时清理处置，尤其在施工结束撤离时，必须做好现场的清理和固体废弃物的处理处置工作，不得在地面遗留固体废弃物。

各施工单位加强对临时居住人员的教育和管理，不随地大小便，不随处随手乱扔垃圾，保证粪便和生活垃圾能集中处置。

(2) 扫海清障固体废弃物的处置

对于海缆施工前扫海清障打捞产生的固体废弃物，应在施工船舶上设置专门的收集装置，打捞出海后统一收集并运回陆上统一处理，禁止在海上随意弃置从而造成海洋环境的二次污染。

8.2.1.3 其他环境保护措施

(1) 《MARPOL 73/78 附则 VI --防止船舶造成空气污染规则》于 2005 年 7 月 1 日生效，本项目施工船舶大气污染物应按该附则规定实施。

(2) 施工船舶应采取有效措施控制主辅机噪声排放，包括：在发动机排气管安装弹簧吊架加以固定，在机舱路口上布置主、辅机消声器；合理设置消声器结构和机舱室结构，达到理想的消声量和隔声量，限制突发性高噪声，避免不必要的船舶汽笛声。

(3) 加强施工船只管理，避免施工区域船舶拥堵，加剧噪声和废气等污染物产生。

8.2.2 运行期污染防治对策措施

本项目为波浪能发电项目，生产过程中无废气、废水和灰渣等三废排放源，具有清洁生产特征。本工程海域的主要环境污染为波浪能装置水下噪声及电磁辐射对周围环境的影响，以及机电设备维护产生的少量废油。针对本工程运行期间可能产生环境影响，提出以下减缓和修复措施。

(1) 波浪装置降噪措施

波浪装置的水下噪声主要来自机械和结构噪声、水流动力噪声。机械噪声和结构噪声能够通过避免或减少撞击力、周期力和摩擦力，使齿轮和轴承保持良好的润滑条件等措施得以控制。为减小机械部件的振动，可在接近力源的地方切断振动传递的途径，如以弹性连接代替刚性连接；或采取高阻尼材料吸收机械部件的振动能，以降低振动噪声。

(2) 固体废弃物防治

对波能装置及相关设备进行维护时需用到一定数量、不同种类的润滑油。因此，在维护过程中应防止油类的跑、冒、漏、滴；废油储应存在专设的废油箱中，含油的连通软管和其他含油废物（揩布、废滤网）应统一存放在维修船上妥善保管。维护结束后，应将含油废物等一并送交具有工业固体废物（含废液）、危险化学品及危险废物处理资质的公司处理。波能装置维护产生的废蓄电池由厂家回收处理。

8.3 陆域污染防治措施

8.3.1 施工期环保措施

8.3.1.1 废水控制措施

(1) 施工废水控制措施

根据本工程各施工区条件不同，分别制定施工污废水处理要求。

对大万山岛登陆点施工区，同时定期外运较为困难，因此可设置一套成套生活污水处理设备。生活污水处理后达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920- 2002）标准后回用于场地、道路冲洗，绿化浇灌等，禁止排污大万山岛周围海域。如遇雨季，则委托有资质的单位运回陆上处理。

①处理工艺

根据本工程各施工区施工废水特点，各施工区废水处理均可采用具有基础投资少，运行成本低的常规混凝沉降处理。在各施工工段废水相对集中地附近设预沉池，沉淀去除易沉降的大颗粒泥沙，如有含油生产废水进入，则先经隔油处理，再与经预沉淀的含泥沙生产废水一并进行混凝沉淀处理。混合废水先进入初沉池，经沉淀后废水中的SS去除率可达到85%左右，再投加混凝剂，如有必要需投加助凝剂，混凝沉淀后去除废水中的较细的泥沙颗粒，SS去除率可达到90%以上。各沉淀池产生的污泥定期清理外运。施工废水处理工艺流程见图8.3-1。

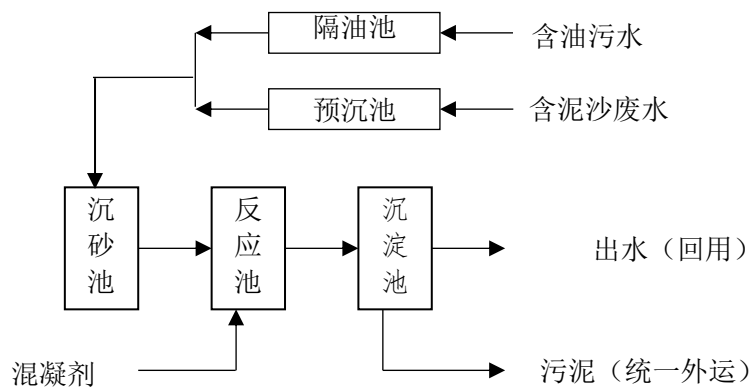


图 8.3-1 施工废水处理流程图

②回用措施

除了在工程施工期间对施工废水进行必要的处理外,还应采取施工废水经处理后就近进行重复利用,可用于道路冲洗、出入工区的车辆轮胎冲洗等。同时,工区内的清洗水也应排入排水明沟,统一处理后排放。

(2) 生活污水

本工程大陆作业区施工人员生活污水可利用区域现有污水收集处理设施统一收集后纳管排放;升压站及其他作业区生活污水则应统一收集后定期外运;食堂的含油废水必须经隔油池处理后与其他洗涤废水一并排至沉淀池,用于站区绿化浇灌或周围植被等,对周围环境影响不大。通过以上防治措施,施工期产生的生活污水不会对工区附近水体造成影响。

(3) 管理措施

①各施工区应建有排水明沟,施工泥浆废水通过专门修建的沉淀池沉淀后达标排放或进行重复利用,可用于道路冲洗、出入工区的车辆轮胎冲洗等。工区内的清洗水、雨水等也应排入排水明沟,统一处理后排放。

②为防止工区临时堆放的散料被雨水冲刷造成流失,散料堆场四周可用砖块砌出高 50cm 的挡墙。

③施工产生的泥浆或其他施工废水,未经沉淀不得排放,务必理顺排放通道,不能直接外排。

④加强对污水处理系统的管理,加强对沉淀污泥和隔油油脂的外运处理,不得随意丢弃。

⑤注意场地清洁,及时维护和修理施工机械,避免施工机械机油的跑冒滴漏,若出现滴漏,应及时采取措施,用专用装置收集并妥善处理。

⑥加强对施工人员的教育,贯彻文明施工的原则,严格按施工操作规范执行,避免和减少污染事故发生。

8.3.1.2 废气、扬尘控制措施

施工扬尘和废气是本项目施工期对陆域环境的主要不利影响因素之一。为减少项目施工期的环境空气影响,应采取以下措施,以符合《广东省珠江三角洲大

气污染防治办法》的有关规定。

(1) 在施工工区周围设立简易隔离围屏，将施工工区与外环境隔离，减少施工废气对外环境的不利影响，围屏高度一般为 2.5~3m，围屏可选用瓦楞或聚丙烯布材料。

(2) 施工单位应加强施工区的规划管理，建筑材料的堆场应定点定位，并采取适当的防尘措施。

(3) 施工场地定期洒水，防止土方表面浮尘产生，在大风日加大洒水量及洒水次数。对运输车辆行驶路面也应经常洒水和清扫，保持车辆出入的路面清洁、湿润，减少行车时产生大量扬尘。

(4) 加强施工管理，合理安排施工车辆行驶路线，应尽量避免居民集中区，控制施工车辆行驶速度，路经居民区集中区域应尽量减缓行驶车速。加强运输管理，坚持文明装卸。运输车辆卸完货后应清洗车厢，工作车辆及运输车辆在离开施工区时冲洗轮胎，检查装车质量。

(5) 加强对施工机械，运输车辆的维修保养。禁止不符合国家废气排放标准的机械和车辆进入工区，禁止以柴油为燃料的施工机械超负荷工作，减少烟度和颗粒物排放。

(6) 配合有关部门搞好施工期间周围道路的交通组织，避免因施工而造成交通堵塞，减少因此而产生的怠速废气排放。

(7) 粉尘、扬尘、燃油产生的污染物对人体健康有害，对受影响的施工人员应做好劳动保护，如佩戴防尘口罩、面罩。

(8) 加强对施工人员的环保教育，提高全体施工人员的环保意识，坚持文明施工、科学施工，减少施工期的大气污染。

8.3.1.3 声环境保护措施

施工噪声也是本项目施工期对陆域环境的主要影响因素之一，为减轻和控制相关不利影响，施工区应严格执行《建筑施工场界噪声排放标准》(GB12523-2011)对施工阶段的噪声要求。

(1) 避免在同一地点安排大量动力机械设备，以避免局部声级过高。

(2) 合理安排施工计划，除混凝土连续浇注、抢修外，严格禁止在夜间进行产生噪声污染的建筑施工作业，夜间 22:00~6:00 需施工，应向有关环保部门申报，获批准后方可进行。

(3) 施工单位应选用噪声低的施工机械，严格按照《建筑施工场界噪声排放标准》(GB12523-2011) 中的有关规定执行；选用符合《汽车加速行驶车外噪声限值及测量方法》(GB1495-2002) 标准的施工车辆，禁止不符合国家噪声排放标准的机械设备和运输车辆进入工区。

(4) 加强施工设备的维护保养，发生故障应及时维修，保持润滑，紧固各部件，减少运行震动噪声；改进施工机械，整体设备应安放稳固，并与地面保持良好接触，有条件的应使用减振机座。加强施工管理、文明施工，杜绝施工机械在运行过程中因维护不当而产生的其它噪声。

(5) 应合理安排施工车辆进出场地的行驶线路和时间，对工程车辆加强管理，禁止鸣号、注意限速行驶，文明驾驶以减小地区交通噪声。尽量减少 18:00~次日 6:00 运输量，应制定合理的行驶计划，并加强与附近居民的协商与沟通，避免施工期噪声扰民。

(6) 加强对施工人员的个人防护，对高噪声设备附近工作的施工人员，可采取配备、使用耳塞、耳机、防声头盔等防噪用具。

8.3.1.4 固废影响防治措施

(1) 土方开挖的表土应剥离单独存放，待施工结束后恢复表土覆盖，并做好水土保持工作。

(2) 对能利用的施工废弃材料应按照《广东省城市管理条例》由施工单位负责及时清理处置。施工废水处理系统产生的污泥也应及时外运处理

(3) 对施工场所的固体废弃物，由施工单位负责及时清理处置，尤其在施工结束撤离时，必须做好现场的清理和固体废弃物的处理处置工作，不得在地面遗留固体废弃物。

(4) 在滩涂区域施工时，应禁止任意向海洋中抛弃各类固体废弃物，同时应尽量避免各类固体废弃物散落进入海中。

(5) 加强施工工区生活垃圾的管理，分片、分类设置垃圾箱，避免生活垃圾混入施工弃土（渣），并定期予以清运，以防生活垃圾经雨水冲刷后，随地表径流带入附近河道。

(6) 各施工单位加强对临时居住人员的教育和管理，不随地大小便，不随处随手乱扔垃圾，保证粪便和生活垃圾能集中处置。

8.3.2 运行期环保措施

8.3.2.1 污废水防治措施

(1) 升压站油污水

升压站每年产生一定量的油污水，应对设备检修时产生的少量漏油和油污水进行准确记录并收集。根据油污水产生量，升压站配备 1 个 0.1m^3 的油污水收集桶能满足要求，统一收集的油污水应委托具有相应资质的单位进行外运处置，每半年清运一次。

除日常检修可能产生油污水外，在事故工况下升压站同样可能产生一定量的含油污水，根据本项目升压站规模，事故油污水产生量约 1m^3 ，对此应在升压站内设置事故油池用以事故油污水的收集，事故油池容积不小于 5m^3 ，所收集油污水应委托有相应资质的单位进行外运处置。

(2) 升压站生活污水

升压站应实行雨污分流，设置集雨管道和排污管道两套排水系统，排污管道根据污水性质应事先污污分流，单独设置生活污水管道和油污水管道。工作人员的生活污水日均排放量约 $0.8\text{m}^3/\text{d}$ ，考虑大万山岛不具备纳管条件，同时定期外运较为困难，因此可设置一套成套生活污水处理设备。生活污水处理后达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920-2002）标准后回用于场地、道路冲洗，绿化浇灌等，禁止排放污染大万山岛周围海域。如遇雨季，则委托有资质的单位运回陆上处理。

污水处理装置建议采用目前较为成熟的 A^2/O 处理技术，设备型号选用 WS-AO 型一体化处理装置，处理能力 $1\text{m}^3/\text{h}$ ，出水可以达到《城市污水再生利用城

市杂用水水质》(GB/T 18920-2002)中城市绿化杂用水标准要求。生活污水处理设备工艺流程见图 8.3-2。

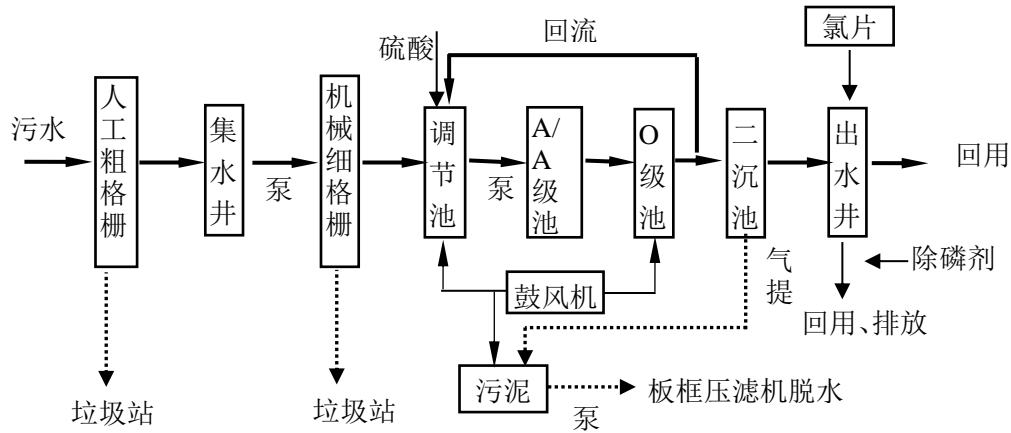


图 8.3-2 污水处理设备工艺流程图

污废水处理系统产生的沉淀污泥和隔油油脂应集中收集并与生活垃圾等一并委托有资质的企业外运处理。

8.3.2.2 电磁辐射防护措施

随着变电站运行时间的加长，高压设备、配件等也会逐渐老化、损坏和受到环境污染，都会使变电站的电磁场增强。为尽量减小变电所的磁场对环境的影响，提出以下防护措施：

(1) 宜在产生电磁辐射量较大的设备（如主变压器等）外设置电磁辐射防护罩等以减少电磁辐射对周围环境的影响。

(2) 做好变电站的维护保养工作，保证带电设备具有良好的接地，减少电力设备及其连接电路相互间接触不良而产生的火花放电；对电力线路的绝缘子和金属，要求绝缘子表面保持清洁和不积污，防止和避免间歇性放电。

8.3.2.3 声环境保护措施

运行期陆上噪声主要来自于升压站变压器等设备，应采取以下声环境保护措施：

(1) 合理规划升压站内建筑物、空间间距等，加强站区内的绿化，充分利用空闲场地种植植物或适当增加围墙的高度，以达到降噪的目的。在泵房附近，

建议种植高大乔木。

(2) 采用低噪声变压器，并将变压器及电抗器全封闭于吸音房间内。

(3) 升压站内的变压器及电抗器房间采用吸收低频强的吸音材料，尤其是针对 250Hz 的吸音材料。

8.3.2.4 环境空气保护措施

(1) 加强电气设备及线路维修、维护，降低备用柴油发电机运行次数，减少燃油废气排放量。

(2) 根据《珠海市高污染燃料禁燃区划》，本工程升压站所在大万山岛属高污染燃料禁燃区，因此升压站发电机燃烧柴油需选用含硫量小于 0.5%，灰份含量小于 0.01% 的轻质柴油作燃料以降低大气污染物排放浓度。

(3) 备用柴油发电机燃油废气需经发电机配套的水喷淋净化处理器处理后达到广东省《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001) 标准后通过预留排烟管引至升压站顶层高空排放，排气筒高度要求不低于 8m。

8.3.2.5 固体废物处置措施

(1) 妥善收集运行期工作人员产生的生活垃圾和污废水处理系统产生的沉淀污泥和隔油油脂，设置一定数量的移动式垃圾收集箱，生活垃圾及沉淀污泥等统一收集后由环卫部门清运处理。

根据地方环卫部门制定的万山海洋开发试验区垃圾收运方案，本项目运行期管理人员生活垃圾可纳入万山区垃圾收运系统进行处理，升压站工作人员生活垃圾经压缩打包后交由负责清运大万山岛市政垃圾的收运船运回珠海大陆市政公用垃圾房倾倒。

(2) 对于升压站设备在突发事故或机组检修时所产生的诸如油渣 (HW08)、油垢 (HW08)、废油 (HW08) 等 WHC3 深度水污染物质，以及油库内油品搬运过程中产生的跑冒滴漏，应进行收集，委托具有相应资质的单位统一回收处置。

根据建设单位初步协议，本项目运行期升压站运行产生的油渣、废油及废旧蓄电池等固体废物及危险废物将交由具有工业固体废物 (含废液)、危险化学品及危险废物处理资质的珠海市环保产业开发有限公司处理。

(3) 运行期波能装置维护产生的少量废油（通常是润滑油）应用锯末或棉纱吸净后冲洗，含油的棉纱等应收集后运回陆地，也应委托具有相应资质的单位统一回收处置、处理。

8.4 海洋生态保护措施

8.4.1 施工期生态保护措施

(1) 为减轻工程施工建设对海域底栖生物的影响，建议：

①优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间。

②严格限制工程施工区域和用海范围，在划定的施工作业海域范围，禁止非施工船舶驶入，避免任意扩大施工范围，以减小施工作业对底栖生物的影响范围。

③施工应避免恶劣天气，保障施工安全并避免悬浮物剧烈扩散。

(2) 为减轻工程施工建设对渔业资源和渔业生产的影响，建议：

①春、夏季（5~7月）是鱼类产卵高峰期，从减缓对渔业资源影响的角度出发，波能装置投放、电缆铺设应避免海洋鱼类产卵高峰期。同时波能装置投放前可采取预先驱赶装置周围的鱼类，为减缓后续正式系泊系统施工时产生的水下噪声和悬浮物对鱼类的影响。

②对施工海域设置明显警示标志，告知施工周期，明示禁止进行捕捞活动的范围、时间。

③施工期对附近水域开展生态环境及渔业资源跟踪监测，及时了解工程施工对生态环境及渔业资源的实际影响。

④施工期对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成捕捞生产净收入减少。因此，为减缓本工程实施对渔民的影响，建议建设单位与当地渔业主管部门协商，落实对捕捞渔民的补偿。

(3)为减轻登陆段对生态岸线的影响，建议电缆埋设后及时采取措施回填，采用本土海砂覆盖，并用当地自然砂石加固，尽量减小对自然岸线生态环境和景观的影响。

8.4.2 运行期生态保护措施

8.4.2.1 增殖放流措施

国内外长期从事渔业资源研究的专家研究证实,在渔业资源衰退或受损的情况下,除了降低捕捞强度和减少海洋环境污染及生境破坏之外,从根本上恢复渔业资源、改良资源结构、增加渔业生产,进行渔业资源的人工增殖放流是重要、快捷的有效措施。通过增殖放流,可以迅速弥补本项目施工和营运等因素对海洋渔业资源造成的损失。

(1) 增殖放流品种选择原则

本地原种或子一代的苗种或亲体;能大批量人工育苗;品质优良(属优质经济鱼、虾类、贝类);适应工程附近海域生态环境且生势良好;工程附近海域自然生态状况中曾经拥有的种类,确需放流其他苗种的,应当通过省级以上渔业行政主管部门组织的专家论证;鱼类品种以恋礁性鱼类、适合转产转业和发展游钓休闲渔业品种为主,或在资源结构中明显低于自然生态状况中的比例,资源衰退难以自然恢复;禁止使用外来种、杂交种、转基因种以及其他不符合生态要求的水生生物物种进行增殖放流。

(2) 增殖放流备选品种

据了解,当地适宜增殖放流的备选品种包括:鱼类为青石斑鱼、黑鲷、平鲷、黄姑鱼等;虾类为长毛对虾、日本对虾等;贝类为贻贝、扇贝等。

(3) 增殖放流苗种规格质量

鱼苗体长应在 5cm 以上;虾苗体长应在 2.5cm 以上;贝苗壳长应在 0.5cm 以上。放流苗种应当来自有资质的生产单位、检验机构认可。

(4) 增殖放流计划

在施工期间根据实际情况开始实施海洋生物增殖放流,增殖放流的期限为 5 年,每年 1 次。每年的增殖放流工作安排在南海区伏季休渔期间内的 5 月下旬至 7 月上旬,以避免高强度捕捞压力时间,提高增殖放流效果。

(5) 建设单位的生态补偿落实计划

建设单位应根据施工期和运行期的进度计划,制定具体可行的增殖放流和生

态补偿计划，由指定人员负责，分年度分批开展生态补偿年度计划并确保资金和人员的准备，确保海洋生态损害补偿有序落实。

(6) 增殖放流前后的管理

放流前后的现场管理主要由渔政管理部门承担。放流前清理放流区域的作业，并划出一定范围的临时保护区，放流后加强巡逻管理。

8.4.2.2 加强渔业资源和生态保护宣传

在进行海洋生物增殖放流时，举行仪式，以保护海域生态环境为主题，一方面加强社会环境保护教育，另一方面树立项目建设单位的环保形象。

8.5 陆生动植物资源保护措施建议

8.5.1 施工期影响对策

(1) 施工时尽量减少占地，减少开挖面积，减少植被破坏；应对施工机械及人员进行严格管理。

(2) 针对项目实施造成的陆域栖息地损失，施工结束后应尽快进行复植复绿，实现地表覆盖。在各登陆点建议选择生长迅速、适应力强、耐污染的种类进行恢复，潺槁树、春花、鸭脚木、野牡丹、芒草、类芦等是十分理想的植被恢复先锋种类，而且价格低廉，种苗来源十分方便，适于场址的复绿和覆盖。

8.5.2 运行期影响对策

针对工程建设导致导致海域栖息地丧失，通过在其他海域制定鱼类、甲壳类、贝类增殖放流计划。

表 8.5-1 环境保护对策措施、生态保护对策措施一览表

项目	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	预期效果	实施地点及投入使用时间	责任主体及运行机制
污水处理	生产废水处理	生产废水处理设施	20m ³ /d, 设置隔油池, 预沉池各 1 座, 加药及混凝沉淀设备 1 套	处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002) 建筑施工标准后回用	大万山岛施工基地, 与施工基地同步建设	施工单位建设、使用和管理
	施工人员生活污水	移动厕所	统一收集	外运, 不向环境排放	大万山岛施工基地, 进场时同步设置	
	升压站生活污水	生活污水收集处理装置	WS-AO 型一体化处理装置 1 座, 处理能力 1m ³ /h	处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002) 标准后回用	大万山岛升压站内, 与升压站同步建成	建设单位使用和管理, 可委托专业单位
	升压站油污水	油污水收集桶	设置 0.1m ³ 收集桶 1 个, 集中收集统一外运, 50kg/a	外运	基地内	建设单位使用和管理, 可委托专业单位
固体废弃物处置	生活垃圾处置	垃圾桶	根据需要在升压站施工基地设置生活垃圾筒	统一收集后委托环卫部门清运处理	升压站内和施工场地内, 与其建设同步	施工单位、建设单位建设、使用和管理
	波能装置维护垃圾	垃圾桶	波能装置维护废弃物垃圾箱 1 个	外送具有相应资质的单位进行处置	升压站内, 与升压站建设同步	建设单位建设、使用和管理
大气污染物处置	燃油废气处理装置	柴油发电机尾气水喷淋处置	烟气处理量 2.0m ³ /s、1 套	尾气处理达到广东省《大气污染物排放限值》(DB44/27-2001) (第二时段) 二级标准	升压站柴油备用发电机出口, 与升压站建设同步	建设单位建设、使用和管理
海洋生态保护	渔业资源补偿	采用增殖放流方法补偿	-	按照相关主管部门的要求, 按时完成增殖放流的品种、数量	工程影响海域, 施工完成后的 2 年内完成	建设单位落实, 可委托专业单位
海底线缆保护	海底线缆保护措施	施工期设置昼夜醒目标志	按照施工作业区需要设置	预防海底线缆突发事件	位于海底线缆区域的施工区	建设单位落实
	本项目海缆保护	加大港区海域海缆埋深	加大海缆埋深	防止船舶锚泊威胁海底电缆安全	路由穿越大万山岛港口航运区	建设单位、施工单位

8.6 总量控制分析

本工程属海上波浪能发电项目，运行期主要污染物包括管理人员产生的生活污水、生活垃圾和波能装置设备维护产生的废油等。主要污染物产生量见表 8.6-1。

表 8.6-1 运行期污染物汇总

编号	运行期污染物	排放量	排放去向
1	生活污水	0.8m ³ /d	统一收集处理达标后全部回用，不外排
2	生活垃圾	6.0kg/d	统一收集由环卫部门收运
3	升压站废蓄电池	-	由厂家回收处理
4	检修废油、油品搬运滴漏	少量，约 36kg/a	收集后统一委托处置
5	波能装置维护废油	少量，约 50kg/a	运回陆上，委托处置

由上表可见，工程运行期产生的污染物主要为设备检修产生的废油、废蓄电池以及管理人员生活污水和生活垃圾等，产生量均较小，且运行期建设、运行单位将委托相关有资质单位统一收集外运处置，不会增加海域污染负荷。因此项目建设可满足《国家海洋局关于进一步加强海洋工程建设项目和区域建设用海规划环境保护有关工作的通知》中项目零污染、增产不增污的要求。

9 环境经济损益分析

9.1 环保投资

本项目环保投资总额为 310 万元，环保投资组成见表 9.1-1。

表 9.1-1 环保投资总表单位：万元

序号	项目	费用
一	环境保护措施	59
1	渔业生产补偿	计入项目征地费用
2	海洋生物资源修复补偿	59
二	环境监测措施	31
1	施工期	21
(1)	施工期卫生防疫监测费	1
(2)	渔业资源调查	10
(3)	海洋水质、沉积物、生态环境监测	10
2	运行期	10
(1)	海洋水质、沉积物、生态环境监测	10
三	环境保护设备	40
1	运行期生活污水收集和处理装置	30
2	溢油风险防范设施配备	10
四	环境保护临时措施	70
1	施工生产、生活污水收集和处理	40
2	空气影响减免措施	5
3	噪声影响减免措施	5
4	固体废弃物处理	5
5	水土保持工程措施	5
6	其他临时工程	10
五	独立费用	90
1	工程环境管理费	10
2	工程环境监理费	10
3	科研勘察设计咨询费	10
4	环境影响评价、监测及相关费用	60
六	基本预备费	20
合计		310

9.2 经济效益

波浪能资源是国家规定的可再生能源，波能发电是新能源中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一。本项目为国内首座海上波浪

能发电场，工程设计年平均上网发电量约 44.3 万 kWh。项目的经济效益主要为发电收入。发电收入计算方法如下：

$$\text{发电收入} = \text{上网电量} \times \text{上网电价}$$

根据新出台的《中华人民共和国可再生能源法》，波浪能发电上网电价由国务院价格主管部门根据不同类型可再生能源发电的特点和不同地区的情况，按照有利于促进可再生能源开发利用和经济合理的原则确定，并根据可再生能源开发利用技术的发展适时调整。目前，本项目预可研时海上发电上网电价为 1.169 元/kWh，因此预计项目生产期内年均产生经济效益约 51.79 万元/a。

9.3 环境损益

9.3.1 环境收益

目前世界上的太阳能、风能、海洋能等作为可再生能源正处于飞速发展时期，但我国电力能源结构以火电为主，水电、核电、风电、太阳能、波浪能发电所占比重较少。为此，本报告对比燃煤发电技术评价本项目实施所具有的环境、社会效益。

9.3.1.1 节能效益

本项目年上网电量约 44.3 万 kWh。根据 8.1.2 节计算，本项目运行期可节约火电燃煤资源消耗 139.55t（标煤）/a，折合原煤约为 0.02 万 t/a。近年随着国家经济发展，工业化进程的推进，煤炭资源日益趋紧，价格一路走高，按照 2013 年至今五大电力集团签署中长期煤炭合同，电煤出矿价 630 元/t，本项目节能可产生效益约 12.6 万元/a。

9.3.1.2 污染物减排效益

根据本报告 8.1 节中的分析，波浪能发电作为一种清洁能源，相比火力发电，本项目运行每年可减少排放二氧化硫（SO₂）0.23t/a，氮氧化物（NO_x）1.088t/a，烟尘 0.01t/a，减少排放温室效应气体二氧化碳（CO₂）396.89 t/a。

本项目利用波浪能这一清洁能源进行发电，比较传统的火电技术，本项目具

有节约能源，降低污染物排放等明显的优点。符合《中华人民共和国清洁生产促进法》中“使用清洁的能源和原料、采用先进的工艺技术与设备、从源头削减污染、减少或避免污染物的产生和排放、减轻或消除对人类健康和环境的危害”的清洁生产要求。

9.3.2 环境损失

本项目实施造成的环境损失主要包括施工造成的底栖生物损失和渔业资源损失、渔业生产海域减少引起的经济损失。根据本报告评价结论，本项目环境损失见表 9.3-1。

表 9.3-1 环境损失汇总

时段	环境损失	影响因素	金额（万元）
施工期	底栖生物	锚泊系统临时压占、海缆敷设破坏、登陆段破坏	4.17
	渔业资源	锚泊系统及电缆沟开挖悬浮物扩散影响	54
小计			58.17
运行期	底栖生物	锚泊系统压占	0.43
小计			0.43
总合计			58.6

9.4 环境经济损益综合分析

根据上述计算，本项目具有明显的环境效益，体现在减少污染物和温室气体排放量，节约能源原材料消耗等，同时能促进海洋能发电这一清洁能源在我国的发展，具有一定社会效益。本项目在建设和运行过程中会造成生态渔业资源方面的环境损失，但其主要发生在施工期，且可通过补偿措施进行恢复。

10 海洋工程的环境可行性

10.1 相关政策、法规、规划、区划符合性分析

10.1.1 与《全国海岛保护工作“十三五”规划》的相符性分析

“十三五”期间海岛保护工作的总体目标是：海岛生态文明建设取得新成效，海岛对地区社会经济发展贡献率进一步提高，符合生态文明要求的海岛治理体系基本形成。具体目标如下：海岛生态保护开创新局面。形成分类分级海岛保护制度，10%的海岛纳入国家海岛保护名录；完成生态红线划定；新建10个国家级涉岛保护区，构建依托海岛的生态廊道；实施50个生态岛礁工程；发布海岛生态指数。海岛开发利用水平跨上新台阶。培育一批宜居宜游海岛，探索形成旅游、渔业与工业等海岛生态化开发利用模式，海岛对经济社会的贡献率提高；创建100个和美海岛；发布海岛发展指数。领海基点所在海岛的保护进一步增强。完成51个领海基点保护范围的选划。海岛综合管理取得新进展。基本构建海岛保护的约束与引导制度体系，完成15项标准规范的制修订；海岛生态监视监测能力大幅提升，国家和地方分工协作的监视监测工作机制基本形成；提高海岛生态系统的科学认知水平；增强国际合作与交流水平。

本项目位于大万山岛西南侧海域，波浪能资源较丰富。本项目发电装置及输电管线用海范围已避开军事用海区，项目建设对海岛生态环境及周边海域环境没有明显影响，因此，本项目建设用海符合《全国海岛保护工作“十三五”规划》的目标要求。

10.1.2 与《全国海洋主体功能区规划》的相符性分析

根据规划，优化开发区域包括渤海湾、长江口及其两翼、珠江口及其两翼、北部湾、海峡西部以及辽东半岛、山东半岛、苏北、海南岛附近海域。

该区域的发展方向与开发原则是，优化近岸海域空间布局，合理调整海域开发规模和时序，控制开发强度，严格实施围填海总量控制制度；推动海洋传统产业技术改造和优化升级，大力发展海洋高技术产业，积极发展现代海洋服务业，

推动海洋产业结构向高端、高效、高附加值转变；推进海洋经济绿色发展，提高产业准入门槛，积极开发利用海洋可再生能源，增强海洋碳汇功能；严格控制陆源污染物排放，加强重点河口海湾污染整治和生态修复，规范入海排污口设置；有效保护自然岸线和典型海洋生态系统，提高海洋生态服务功能。

产业政策。严格控制高耗能、高污染项目建设，避免低水平重复建设，促进临海产业合理布局。鼓励引导社会资本合理开发海洋资源。科学发展海水养殖，推广海水生态健康养殖模式，鼓励有条件的企业拓展离岸养殖和集约化养殖，支持远洋渔业发展。支持深远海油气资源勘探开发，加强深水核心技术装备研发及配套能力建设。支持海水淡化和综合利用、海洋药物与生物制品、海洋工程装备制造、海洋可再生能源等产业发展。积极培育海洋主题公园、海岛旅游等新兴旅游业态，重点发展休闲渔业、海上运动休闲旅游等项目。

本项目位于珠海市大万山岛南侧，该片海域是我国海洋能资源最丰富的海域之一。本项目是国内首个波浪能发电装置研发测试区和示范区，能促进能源结构调整，促进海岛的开发利用与保护，并带动海洋产业的发展、转型和升级，以及提高海洋资源开发能力。从产业发展上看，符合《全国海洋主体功能区规划》的要求。

10.1.3 与《国家能源局能源发展“十三五”规划》的相符性分析

“十三五”时期，我国能源消费增长换挡减速，保供压力明显缓解，供需相对宽松，能源发展进入新阶段。问题和挑战并存，主要问题包括：传统能源产能结构性过剩问题突出，煤炭产能过剩，供求关系严重失衡；可再生能源发展面临多重瓶颈，可再生能源全额保障性收购政策尚未得到有效落实，电力系统调峰能力不足，调度运行和调峰成本补偿机制不健全，难以适应可再生能源大规模并网消纳的要求，部分地区弃风、弃水、弃光问题严重；能源系统整体效率较低：电力、热力、燃气等不同供能系统集成互补、梯级利用程度不高，风电和太阳能发电主要集中在西北部地区，长距离大规模外送需配套大量煤电用以调峰，输送清洁能源比例偏低，系统利用效率不高。

未来将更加注重能源结构调整，加快双重更替，推进能源绿色低碳发展。超

前谋划水电、核电发展，适度加大开工规模，稳步推进风电、太阳能等可再生能源发展，为实现 2030 年非化石能源发展目标奠定基础。

推进非化石能源可持续发展。坚持集中开发与分散利用并举，调整优化开发布局，全面协调推进风电开发，推动太阳能多元化利用，因地制宜发展生物质能、地热能、海洋能等新能源，提高可再生能源发展质量和在全社会总发电量中的比重。

本示范项目拟利用海洋能资源，符合国家可持续发展政策和国家新能源发展政策方针，对地方经济快速发展将起到积极作用。因此，本项目的建设符合《国家能源局能源发展十三五规划》。

表 10.1-1 “十三五”时期能源发展主要目标

类别	指标	单位	2015 年	2020 年	年均增长	属性
能源消费总量与效率	一次能源消费总量	亿吨标准煤	36.2	40	2.0%	预期性
	非化石能源消费比重	%	12	15	(3)	约束性
	全社会用电量	万亿千瓦时	5.69	6.8-7.2	3.6-4.8%	预期性
	单位国内生产总值能耗降低	%	-	-	(15)	约束性
	煤电供电标准煤耗	克/千瓦时	318	<310		约束性
	电网综合线损率	%	6.64	<6.5		预期性
能源生产与供应	国内一次能源生产能力	亿吨标准煤	36.2	40	2%	预期性
	煤炭消费总量	亿吨	39.6	41	0.7%	预期性
	能源消费总量	亿吨标准煤	43	<50	<3%	预期性
	电力装机容量	亿千瓦	15.3	20	5.5%	预期性
	太阳能发电	万千瓦	86	2100	89.5%	预期性

10.1.4 与《可再生能源发展“十三五”规划》的相符性分析

随着国际社会对保障能源安全、保护生态环境、应对气候变化等问题日益重视，加快开发利用可再生能源已成为世界各国的普遍共识和一致行动，国际可再生能源发展呈现出以下几个趋势：一是可再生能源已成为全球能源转型及实现应对气候变化目标的重大战略举措。二是可再生能源已在一些国家发挥重要替代作用。三是可再生能源的经济性已得到显著提升。四是可再生能源已成为全球具有战略性的新兴产业。我国在“十二五”期间，在可再生能源发展利用方面也做了

大量工作，主要体现在一是可再生能源在推动能源结构调整方面的作用不断增强。二是可再生能源技术装备水平显著提升。三是可再生能源发展支持政策体系逐步完善。“十三五”的发展目标是实现 2020、2030 年非化石能源占一次能源消费比重分别达到 15%、20% 的能源发展战略目标，进一步促进可再生能源开发利用，加快对化石能源的替代进程，改善可再生能源经济性。

推进海洋能发电技术示范应用结合我国海洋能资源分布及地方区位优势，妥善协调海岸和海岛资源开发利用方案，因地制宜开展海洋能开发利用，使我国海洋能技术和产业迈向国际领先水平。完善海洋能开发利用公共支撑服务平台建设，初步建成山东、浙江、广东、海南等四大重点区域的海洋能示范基地。加强海洋能综合利用技术研发，重点支持百千瓦级波浪能、兆瓦级潮流能示范工程建设，开展小型化、模块化海洋能的能源供给系统研发，争取突破高效转换、高效储能、高可靠设计等瓶颈，形成若干个具备推广应用价值的海洋能综合利用装备产品。开展海岛（礁）海洋能独立电力系统示范工程建设；在浙江、福建等地区启动万千瓦级潮汐能电站建设，为规模化开发海洋能资源奠定基础。

本项目作为海洋能开发建设示范项目，符合《可再生能源发展“十三五”规划》的相关发展目标和要求。

10.1.5 与《广东省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》的相符性分析

根据《广东省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》，十三五期间全省要建设现代能源体系，转变能源发展方式，调整优化能源结构和布局，推动能源科技进步和技术创新，提高能源效率，创新能源发展体制机制，建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系。到 2020 年，非化石能源占能源消费比重达到 25%，省内电源装机容量达到约 1.3 亿千瓦，天然气主干管道通达全省 21 个地级以上市。推进能源可持续发展，以核电、天然气、风电、太阳能等为重点，大力发展绿色低碳能源。加快可再生能源利用，有序开发陆上风能资源，加快开发海上风能资源，大力发展太阳能光伏发电，因地制宜推进生物质能、地热能等其他新能源利用，建设新能源示范城市、示范园区和绿色能源示范县。

因此，本项目建设符合《广东省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》的相应目标要求。

10.1.6 与《广东省海洋生态红线》（2016-2020年）的相符性分析

《广东省海洋生态红线》将全省共划 13 种类型的海洋生态红线区 268 个，总面积 18163.98km²，占全省管辖海域总选划面积（64699km²）的 28.07%。其中，禁止类红线区 47 个，总面积 2425.05km²，占总选划海域面积的 3.75%；限制类红线区 221 个，总面积 15738.93km²，占总选划海域面积的 24.32%。禁止类红线区和限制类红线区分别占广东省海洋生态总面积的 13.35%和 86.65%。各类型海洋生态红线区数量如下：

（一）海洋保护区生态红线共 68 个，其中海洋保护区禁止类红线区 42 个，海洋保护区限制类红线 26 个，总面积 4341.19 km²；

（二）重要河口生态系统红线区 24 个，总面积 824.31 km²；

（三）重要滨海湿地红线区 12 个，总面积 140.03 km²；

（四）重要渔业海域红线区 34 个，总面积 8256.98 km²；

（五）特别保护海岛红线区 12 个，其中海岛禁止类红线区 5 个，海岛限制类红线区 7 个，总面积 1323.68 km²；

（六）自然景观与历史文化遗迹红线区 12 个，总面积 22.30 km²；

（七）珍稀濒危物种集中分布区 8 个，总面积 1742.67 km²；

（八）重要滨海旅游区红线 32 个，总面积 418.92 km²；

（九）重要砂质岸线及邻近海域红区 34 个，总面积 439.32 km²；

（十）沙源保护海域红线区 4 个，总面积 206.30 km²；

（十一）红树林线区 23 个，总面积 269.16 km²；

（十二）海草床红线区 3 个，总面积 59.16 km²；

（十三）珊瑚礁生态红线区 2 个，总面积 119.96 km²。

根据《广东省海洋生态红线》（登记表），本工程位于香洲，万山海洋开发试验区，与该功能区位置关系见图 10.1-1，输电电缆部分位于万山群岛重要滨海旅游区限制类红线区，属重要滨海旅游区。相应的生态保护目标为珊瑚礁、海洋生态系统；管控措施为禁止围填海，依据海域生态环境承载力，控制旅游区开发强

度。禁止从事可能改变和影响滨海旅游的开发建设活动。严格保护砂质海岸与基岩海岸。环境保护要求为生产废水、生活污水须达标排放；加强海域生态环境监测；执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

本工程主体部分位于万山群岛重要渔业海域限制类红线区，见图 10.1-2，属重要渔业海域，该区域的管控措施要求为：禁止围填海，周边海域不得设置排污口、工业排水口或其他污染源。禁止设置海洋倾倒区，禁止开采海砂，不得设置明显改变水动力环境的构筑物。维持海域自然属性，严格保护万山群岛海域渔业资源。开展人工鱼礁、增殖放流活动，保护和恢复水产资源。环境保护要求为：严格执行海水水质标准和海洋沉积物质量要求，防治污染。不改变或基本不改变原有水动力环境，保护海洋生态系统，保护生物洄游区、索饵场的完整性。合理控制养殖规模和密度，改善养殖结构，加强渔业资源的保护与修复。

根据大万山岛附近海域的风资料、周边地形，结合风浪生成及传播规律，根据现有的资料表明，大万山岛南侧大部分海岸地势陡峭；距岸 20m 以外，地势平缓，水深从 20m 起渐次变深；距岸 80m 到 500m 范围内，水深均在 28m 左右，变化小。根据当地海洋部门提供的资料，岛南侧并无航线，偶尔有小艇在附近下网。良好、均匀的波浪，开阔平整的海底，非航区、非渔区、无用海冲突，这些都说明该海域南侧符合海洋波浪能示范工程选址条件。

初次选址见 10.1-1。

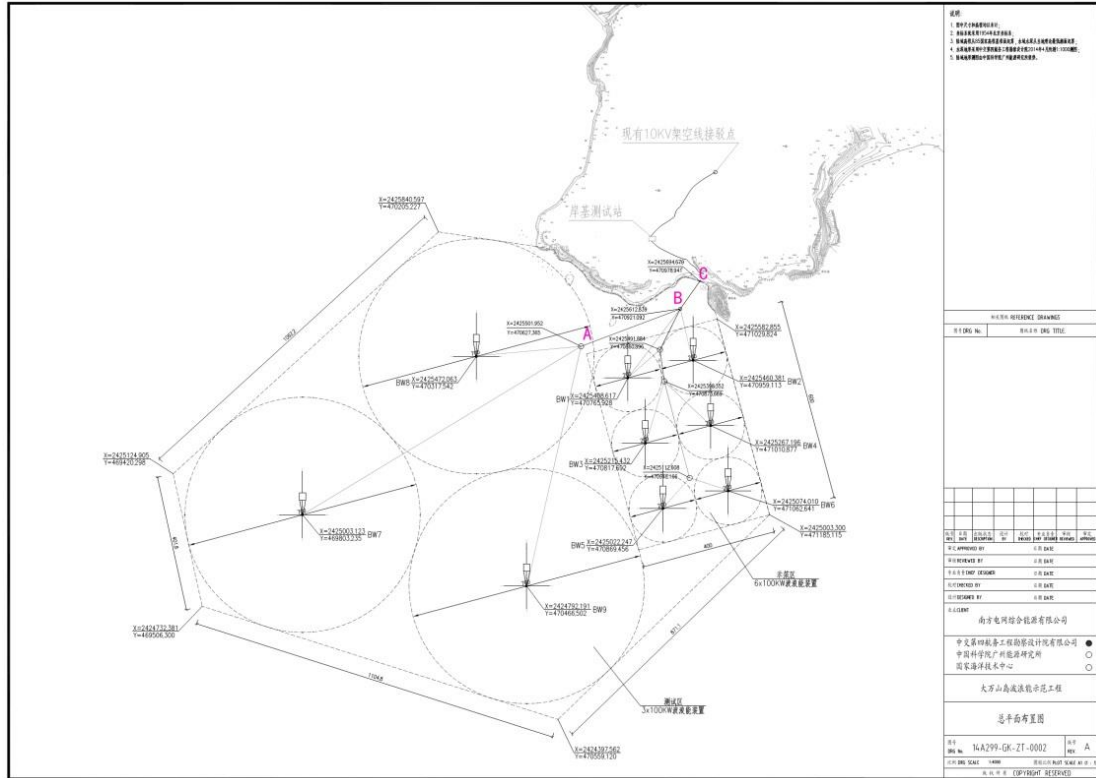


图 10.1-1 初步方案平面布置图

2016年3月南方电网综合能源有限公司就初次选址向珠海警备区征求用海选址意见；2016年10月珠海警备区复函因上述选址靠近海防团炮击区，不同意上述选址，要求选址西移。珠海警备区的函件见附件2。

初次选址被军方否决后，中科院广州能源研究所、华南理工大学、南方电网综合能源有限公司等几家单位基于波浪资源，备选了2个场址进行了波浪资源、投资额的比选。

(1) 方案一（相比第一次选址，整体向西平移 1450 米）

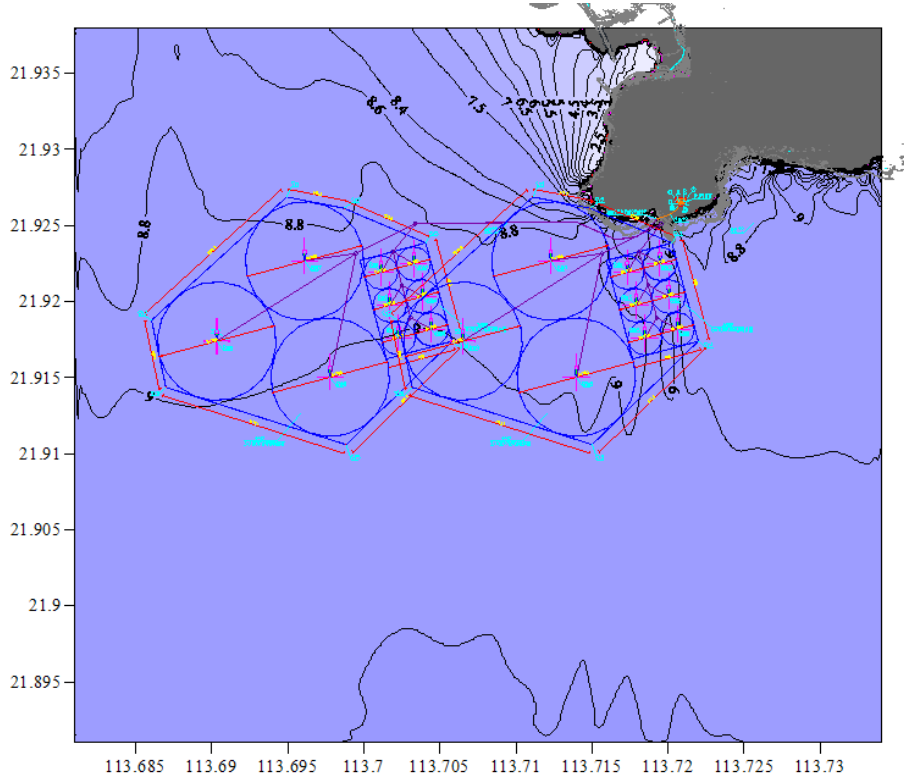


图 10.1-2 SSE 向 50 年一遇的有效波高

50 年一遇的极端波高最大波向来自 SSE，把二个方案布置叠加在该波向分布，见图 10.1-2。与原方案相比，方案一各泊位最大有效波高小于 9.1m，与原方案各泊位最大有效波高接近。从工程位置 E 向、ESE 向 2 年一遇的有效波高分布，E 向波高方案一比原方案减小 10%，ESE 向波高方案一比原方案减小 4%。SE—SSW 二个方案相差更小。因此方案一比原方案波浪能资源小，特别是 E 向波能减小 20%。

(2) 方案二（相比第一次选址，整体向西平移 1450 米，向南平移 500 米）

50 年一遇的极端波高最大波向来自 SSE，把二个方案布置叠加在该波向分布，见图 10.1-3，与原方案相比，方案二各泊位最大有效波高小于 9.2m，与原方案各泊位最大有效波高接近。方案二极端波高比方案一略大 0.1m。

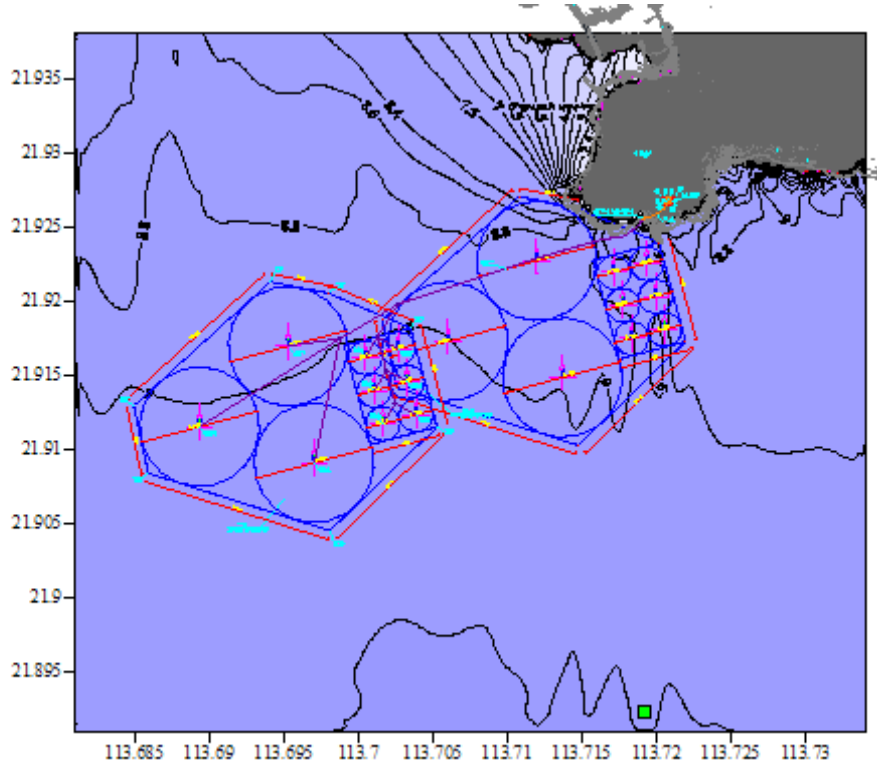


图 10.1-3 SSE 向 50 年一遇的有效波高

从工程位置 E 向、ESE 向 2 年一遇的有效波高分布可见，E 向波高方案二比原方案略增大（约 3%），ESE 向波高方案二比原方案略增大（约 4%）。SE—SSW 向波高二个方案相差很小，方案二比原方案波浪能资源略有增大。考虑到场址外移会增加送出电缆的长度，导致工程造价升高的同时造成外送电能衰减，因此将场址进一步外移以避开生态红线区会造成工程造价增加，同时发电装置发电外送经济性变差，综合考虑选择方案二作为推荐方案。

本工程建设主体部分位于海上，为漂浮式，采用锚泊系统固定，对海底环境干扰较小，输电电缆采用开沟埋设，对海底沉积物会造成短时扰动，但施工后随着沉积物的回淤，上述影响也逐渐消失。整个施工阶段无围填海施工，不改变和影响滨海旅游开发，运行期无污染物排入海，不设置改变水动力环境的构筑物，不改变海域自然属性，因此本工程建设与《广东省海洋生态红线》是相符的。

表 10.1-2 路由附近海域广东省海洋生态红线区登记表

序号	市级	县级	代码	管控类别	类型	名称	地理位置 (四至坐标)	面积 (km ²)	海岸线长度 (km)	生态保护 目标	管控措施
136	珠海	香 州、 万山 海洋 开发 试验 区	44-Xj16	限制类	重要滨海旅游区	万山群岛重要滨海旅游区限制类红线区	113°40'10.11"- 114°3'26.8"E; 21°55'0.53"- 22°7'22.83"N	78.47	0	珊瑚礁、海洋生态系统	管控措施：禁止围填海、依据海域生态环境承载力，控制旅游区开发强度。禁止从事可能改变和影响滨海旅游区的开发建设活动。严格保护砂质海岸和基岩海岸。 环境保护要求包括：生产废水、生活污水须达标排放；加强海域生态环境监测；执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。
137	珠海	香 州、 万山 海洋 开发 试验 区	44-Xe21	限制类	重要渔业海域	万山群岛重要渔业海域限制类红线区	113°37'38.44"- 114°30'16.8"E; 21°44'47.77"- 22°11'0.07"N	2091.95	0	鱼类海域	管控措施：禁止围填海，周边海域不得设置排污口、工业排水口或其他污染源。禁止设置海洋倾倒地、禁止开采海砂，不得设置明显改变水动力环境的构筑物。维持海域自然属性，严格保护万山群岛海域渔业资源。开展人工鱼礁、增殖放流活动，保护和恢复水产资源。环境保护要求：严格执行海水水质标准和海洋沉积物质量要求，防治污染。不改变或基本不改变原有水动力环境，保护海洋生态系统，保护生物洄游区、索饵场的完整性。合理控制养殖规模和密度，改善养殖结构，加强渔业资源的保护与修复。

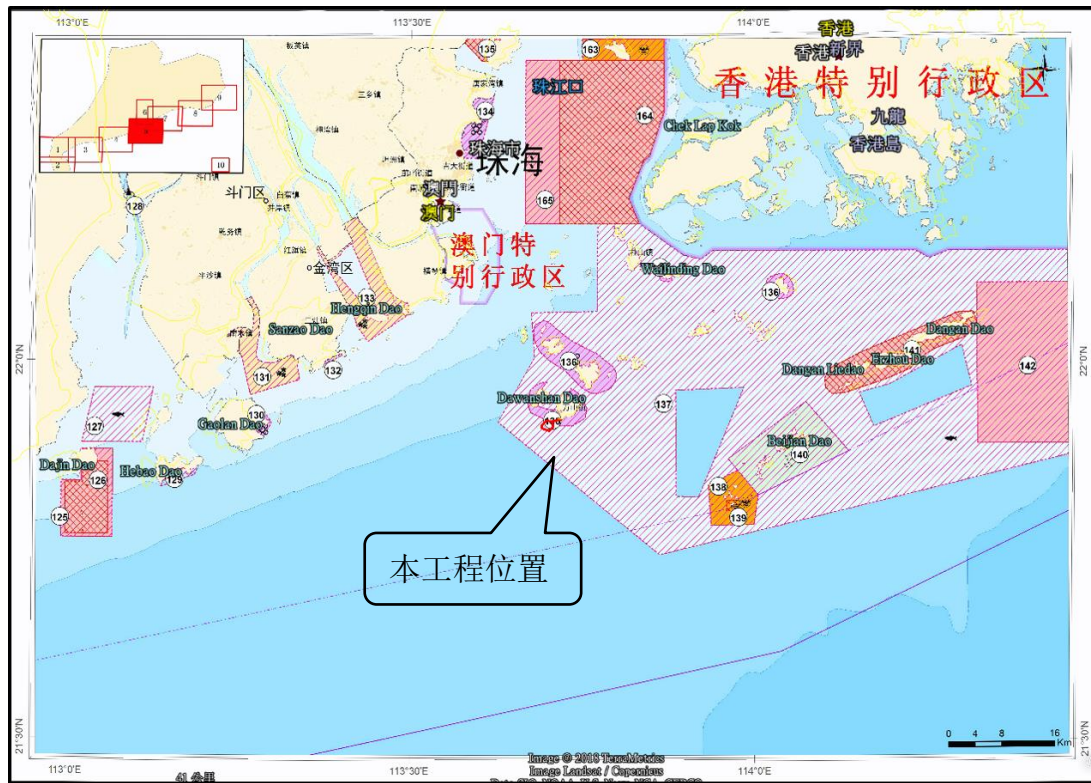


图 10.1-4 本工程与广东省海洋生态红线位置关系示意图

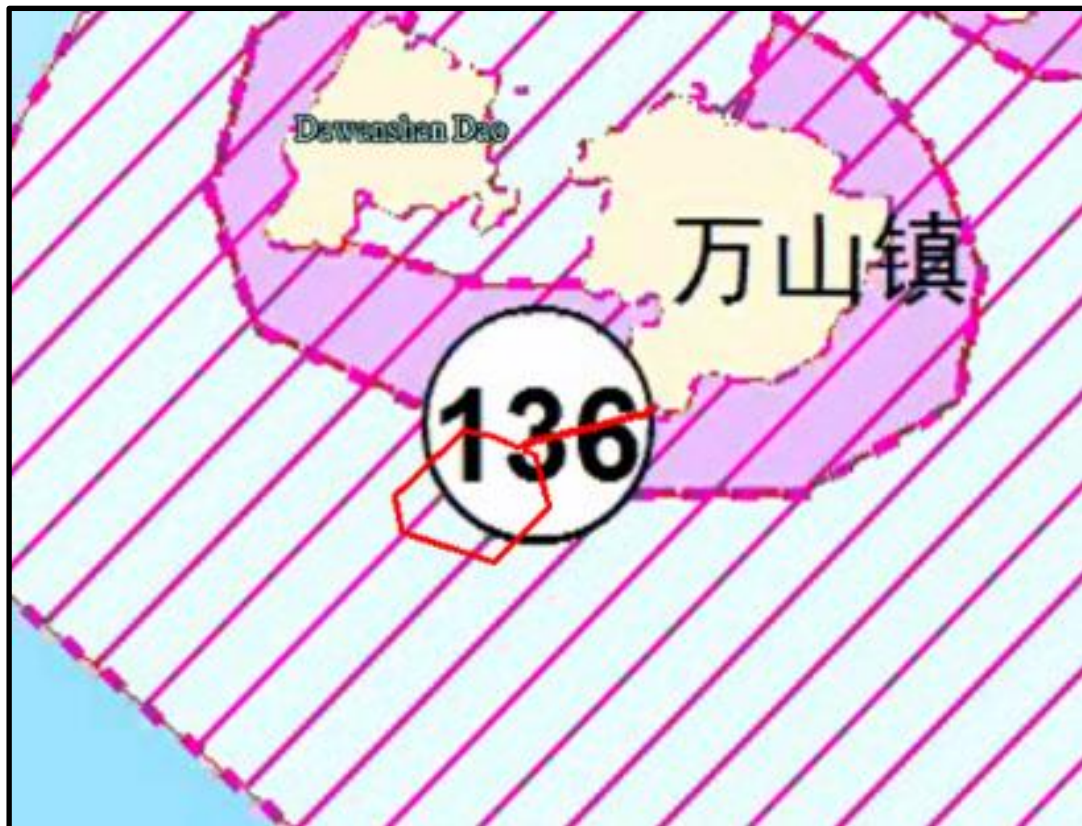


图 10.1-5 本工程与广东省海洋生态红线位置关系示意图（局部）

此外，根据《广东省海洋生态红线》第四十四条 自然岸线管控措施中关于海岛自然岸线相应管控措施具体如下：

1、以国家规定的红线指标为标准，维持岸线自然属性导向，限制实施可能改变海岛自然岸线（滩）生态功能的开发建设活动，严禁占用岸线进行围填海，禁止非法侵占岸线和采挖海砂；

2、对于有居民海岛，原则上不得占用原有自然岸线，确需使用的，应对开发利用可行性进行科学论证，维持拟使用岸线的自然状态，或采取“占多少恢复多少”的原则，选择已利用岸段开展整治修复工程，保障同样长度的已利用岸线恢复成自然状态；

3、对于无居民海岛，已划定的保有自然岸线原则不得占用，如确实因国防安全或国家和省重大项目建设需要的，应对开发利用可行性进行科学论证，维持拟使用岸线的自然状态，或采取“占多少恢复多少”的原则；

4、根据生态红线控制指标要求，项目用岛不得破坏现有自然砂质岸线，对于项目需占用海岛自然砂质岸线的，应维持拟使用砂质岸线的自然状态，活采取“占多少恢复多少”的原则。

根据施工方案，本工程登陆段采用开凿电缆沟方式上岛，电缆埋设完毕后采用细沙覆盖并上覆水泥砂浆混凝土固定。施工方案不进行围填海作业，也不进行海砂采挖作业，电缆登陆后即进行砂石回填及混凝土覆盖，不改变岸线的自然属性，影响较小，因此本工程的建设与《广东省海洋生态红线》是相符的。

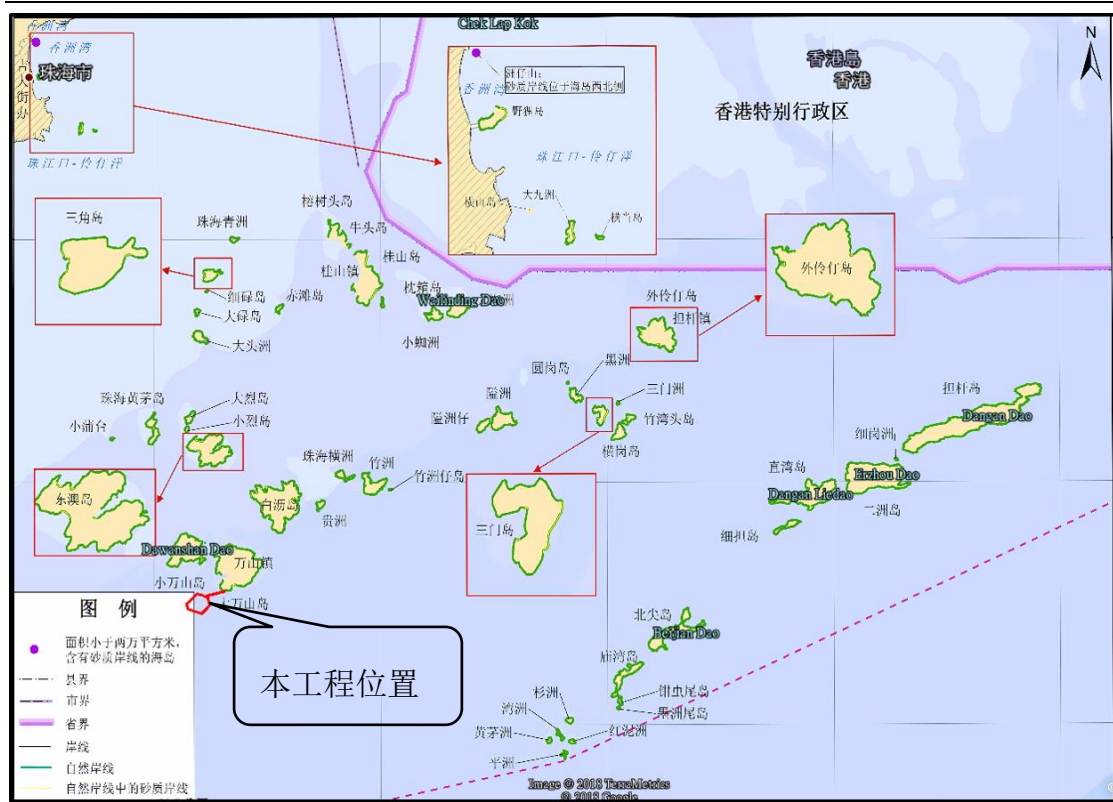


图 10.1-6 本工程与万山群岛海岛自然岸线关系示意图



图 10.1-7 本工程与万山群岛海岛自然岸线关系示意图（局部）

10.1.7 与《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020年）》的相符性分析

根据《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020年）》，广东省实施海洋生态保护红线。划定全省海洋生态保护红线，全面实施海洋生态红线制度，制定海洋生态红线监督管理办法，到2020年，海洋生态红线区面积占全省管理海域总面积的比例不低于28%，大陆自然岸线保有率不低于35%；制定海洋生态红线管控措施，定期发布海洋生态红线保护状况信息；建立监控体系和评价考核制度，对沿海市县海洋生态红线保护成效进行评价考核；保护和提升海洋生态系统功能，提高优质海洋生态产品供给能力。

加强海岸带综合保护与利用，坚持海陆统筹、实施基于生态系统的海岸带综合管理，优化海岸带生产、生活、生态空间架构，强化海岸线分类分段管控，严守自然岸线保有率，筑牢生态安全屏障。基于广东海岸带自然资源禀赋、生态环境容量、产业基础和发展潜力，以海岸线为轴，构建“一线管控、两域对接，三生协调、生态优先，多规融合、湾区发展”的海岸带保护与利用总体格局，逐步实现海陆统筹，打造广东宜居、宜业、宜游的黄金海岸带。

进一步加强围填海管理。贯彻落实《围填海管控办法》，严格落实围填海管控制度。启动海域资源基础调查，实行围填海总量约束性管理。开展海洋功能区划实施情况评估，科学布局围填海，禁止限制类、淘汰类项目和产能严重过剩行业新增产能项目用海，限制高耗能、高污染、高排放产业项目用海，制定建设项目用海控制标准。严格控制沿岸平推、截湾取直、连岛工程等方式的围填海，鼓励采用离岸离岛、透水构筑物、浮式平台等用海方式，保护海岸地形地貌的原始性和多样性。建立围填海后评估制度，试点生态用海典型示范。开展常态化围填海执法检查，对未完成围填海管控目标、严重破坏海洋生态环境的区域，暂停受理和审批该区域新增围填海项目。

本工程建设主体部分位于海上，为漂浮式，采用锚泊系统固定，对海底环境干扰较小，输电电缆采用开沟埋设，对海底沉积物会造成短时扰动，但施工后随着沉积物的回淤，上述影响也逐渐消失，登陆段海缆施工方式简单，电缆埋设后

采用当地砂石回填，对岸线生态环境和景观影响较小。整个施工阶段无围填海施工，不改变和影响滨海旅游开发，运行期无污染物排放入海，不设置改变水动力环境的构筑物，不改变海域自然属性，因此工程建设与《广东省海洋生态环境保护规划（2017-2020年）》是相符的。

10.1.8 与《广东省海洋主体功能区规划》的相符性分析

《广东省海洋主体功能区规划》本着陆海统筹、尊重自然、优化结构和集约开发的基本原则牢固树立和贯彻落实新发展理念，合理确定不同海域主体功能，调整开发内容，创新开发方式，规范开发秩序，提高开发效率，构建陆海统筹协调、可持续发展的海洋国土空间格局，为建设广东海洋经济强省、全面推进海洋生态文明建设奠定坚实基础。

规划提出要着力培育海洋战略性新兴产业。培育壮大海洋战略性新兴产业，提升海洋产业核心竞争力，大力发展海洋生物制药与海洋生物技术、海洋生物资源、海水综合利用、海洋可再生能源、海洋新材料、海洋现代信息服务等海洋战略性新兴产业。加快广州、深圳、珠海、江门、中山等海洋生物医药产业发展，推进广州国家生物产业基地、广州国际生物岛、深圳国家生物产业基地、中山国家健康产业基地等海洋生物医药产业基地建设。加快广州、东莞、深圳等城市海洋现代信息服务业产业发展。大力建设深圳、珠海等海水淡化与综合利用产业，推动珠海等地波浪能示范项目和波浪能试验场建设。推进深圳、东莞、惠州等城市海洋新材料等产业发展。支持中国（汕头）华侨经济文化合作试验区相关产业发展。着力实施科技兴海战略。依托珠三角地区人才优势，实施重大海洋科技攻关，加快海洋生物制药与海洋生物技术、海洋生物资源、海水淡化和综合利用、海洋可再生能源、海洋新材料、海洋现代信息服务的成果转化，在海洋开发密集区建立一批海洋科技成果高效转化示范区。

本工程为波浪能发电项目，具有良好的示范作用，可为我国的波浪能发电技术产学研提供良好的示范平台，对国内波浪能发电行业及发电技术的提高均有着积极的作用，同时本工程的建设符合规划提出的大力发展海洋可再生能源这一发展方向，因此本工程符合《广东省海洋主体功能区规划》。

10.1.9 与《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》的相符性分析

《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》提出要布局生产空间，打造集约高效的黄金海岸带。生产空间主要承载支撑经济发展的功能，是集聚临海工业和创新产业的主要平台，一般指资源环境承载能力较高、发展潜力较大、城镇化和人口集聚度较高的重要区域。

其中规划在第三部分发展重点中提出：生产空间合理安排国家重大项目用地用海需求，统筹海洋与陆地产业发展，在沿海地区布局重大项目、建设临海产业，应注重合理分工和产业链合作，形成陆海产业互相支撑、良性互动的格局，至2020年建成10个超500亿元产业集群。发挥海岸带空间优势，推进发展高端装备制造及临海工业；发挥海洋通道优势，发展海洋交通与港口物流业；发挥海洋生物、海水资源及可再生能源优势，发展海洋新兴产业；实施传统产业绿色高效发展，提升钢铁、电力等行业能效，推动农渔业创新发展。加大沿海大型工程海洋灾害风险排查和防治力度，控制工业污染物排放。

本工程为波浪能发电项目，具有良好的示范作用，可为我国的波浪能发电技术产学研提供良好的示范平台，对国内波浪能发电行业及发电技术的提高均有着积极的作用，同时本工程的建设符合规划提出的大力发展海洋可再生能源这一发展方向，因此本工程符合发挥海洋生物、海水资源及可再生能源优势，发展海洋新兴产业这一重点发展方向，因此本工程符合《广东省海岸带综合保护与利用总体规划》。

10.1.10 与《广东省海岛保护规划（2011-2020年）报批稿》的相符性分析

根据《广东省海岛保护规划（2011-2020年）报批稿》，万山群岛区海岛保护的主要方向是领海基点保护、珍稀物种保护、生态保护，适度发展现代海洋渔业、中高端海洋海岛旅游、港口中转仓储、可再生能源利用……经科学论证，适时合理利用大万山岛等海岛深水岸线资源，建设万山深水港。在大万山岛等海岛开展

集风能、太阳能、波浪能发电等为一体的海岛独立电力系统应用示范，开展海上风能开发利用技术研究与应用，推进海上风电和海水综合利用产业规模化发展。

本项目位于大万山岛附近海域，海底电缆登陆时将占用部分海岛自然岸线资源。项目的建设有利于促进海岛的开发利用与保护。①波浪能的利用可以对我国海岛的开发提供动力，有利于海防建设、海岛开发、海洋国土的保护。②波浪能发电可直接利用海岛上丰富的海洋能资源，免除能源运输成本，降低电价。③波浪能的利用可以对我国海岛能源问题的解决提供有益的经验。④可再生能源可以有效保护海岛环境。因此，项目选择与《广东省海岛保护规划（2011—2020年）（报批稿）》相符合。

10.1.11 与《广东省能源发展“十三五”规划》的相符性分析

根据《广东省能源发展“十三五”规划》，“十三五”期间重点布局建设电力生产、原油加工、能源接收和储运、能源装备产业四大基地，进一步完善电网、天然气主干管网、成品油主干管网三大能源输送网络，打造沿海清洁能源带，形成“四基三网一带”的能源发展格局。打造沿海清洁能源带发展布局为：推进沿海核电建设，大力发展海上风电，加快建设沿海 LNG 接收储运设施，打造形成以核电、风电、天然气为主的沿海清洁能源产业带。主要任务包括积极开发利用可再生能源：

——可再生能源示范应用。在可再生能源资源丰富和具备多元化利用条件的地区，开展微电网示范工程。开展近零碳排放示范行动，建设近零碳排放示范项目和示范产业园区等。

——加快发展智能电网。推进广州中新知识城、深圳前海新区、珠海万山群岛、珠海横琴新区智能电网示范项目建设，积极推广分布式供能、微电网及储能等新技术应用。

本项目作为珠海万山群岛微电网示范项目的重要组成，其建设符合《广东省能源发展“十三五”规划》。

10.1.12 与《广东省海洋经济发展“十三五”规划》的相符性分析

为实现建设海洋经济强省的目标,着力提高海洋经济核心竞争力和综合实力,调整优化海洋经济结构,提升海洋传统优势产业,培育发展海洋战略性新兴产业,加强海洋生态环境修复与保护,促进海洋经济全面协调可持续发展,努力把广东建成提升全国海洋经济国际竞争力的核心区和全国海洋生态文明建设的示范区。广东省组织编制了《广东省海洋经济发展“十三五”规划》。

在培育发展海洋战略性新兴产业方面,规划明确提出加强海洋新能源产业的目标,要求开展海洋能资源详查工作,制订海洋能开发规划,确定优先开发区域。加强海上风电、波浪能、潮汐和潮流能发电等海洋能关键技术的研究应用。在万山群岛等条件适宜的海岛和滨海地区,建设海洋可再生能源开发利用技术实验基地和示范工程。同时在海岛开发保护方面,规划提出万山群岛以滨海旅游、海洋渔业和深水港口、仓储物流为开发重点,推进万山海洋综合开发试验区建设。

本项目作为波浪能发电工程其建设对加强珠海市海洋新能源产业发展具有积极的推动作用,同时海岛联网工程的配套实施也能为万山岛的社会经济发展提供必要的保障,能从能源供给上保障海洋综合开发实验区建设,因此项目建设符合广东省海洋经济发展规划的要求。

10.1.13 与《广东省海洋功能区划(2011-2020年)》的相符性分析

2012年11月,国务院以国函[2012]182号批复了《广东省海洋功能区划(2011-2020年)》。区划按照科学分析、准确定位、综合平衡、合理分区的原则将广东管理海域划分为14个管理区域,本工程位于其中的万山群岛及周边海域。该管理区海域包括担杆列岛、佳蓬列岛、万山列岛、外伶仃岛、桂山岛及周边海域,海域面积4803km²。区划主要功能为旅游娱乐、港口航运、农渔业。推进万山群岛休闲度假区建设,发展高端海洋旅游业、现代渔业、港口运输业和海上仓储,开发海上风电等海洋可再生能源。围填海主要分布在桂山岛、三角岛、黄茅岛周边

海域。加强无居民海岛保护和受损海岛的整治修复；保障国防安全；完善海岛防护林带建设；重点保护珊瑚礁、上升流生态系统和佳蓬列岛领海基点。由此可见，本项目作为波浪能发电项目，其建设符合区划在万山群岛及周边海域开发海洋可再生能源的定位目标。

具体对照近海功能区，本项目波浪能机组位于万山群岛保留区，同时工程海底电缆还穿越万山群岛旅游休闲娱乐区，相关功能区范围及管理要求见表 10.1-3。海域海洋功能区划见图 10.1-8 和附图 7。

对照海洋功能区划要求可见，本波浪能发电项目主体位于万山群岛保留区内，该海域管理要求为“1.加强管理，严禁随意开发；2.严禁显著改变海域自然属性；3.通过严格论证，合理安排相关开发；4.维护海上交通安全，优先保障军事用海需求”。本工程建设符合区划在万山群岛及周边海域开发海上风电等海洋可再生能源的定位目标，进行开发海上波浪能可再生能源；不会改变海域的自然属性，并进行海域使用论证；尽管在施工期内会短时增加施工船舶，但通过协调管理，不会对海上交通产生重要影响，同时该项目选址也经过相关军事部门认可。因此该项目满足海域管理要求。

对于海域海洋环境保护要求，“1.保护万山群岛海域生态环境；2.加强对海岛污染物及船舶排污、海洋工程和海洋倾废的监控；3.海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量等维持现状。”本项目建设除施工期外基本不产生并排放污废水，项目在运行中对海域生态环境的影响总体也在可控范围内，不会造成海域生态功能的丧失和退化；施工期的船舶排污会受到控制，不进行海洋倾废；项目在运行期间海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量等不会受到恶化。因此总体上满足海域环境保护的要求。

对于海缆路由穿越的万山群岛旅游休闲娱乐区，对照海洋功能区划要求可见其海域使用管理为：1.相适宜的海域使用类型为旅游娱乐用海；2.保障东澳渔港、外伶仃渔港、万山渔港及深水网箱养殖的用海需求；3.适当保障矿产与能源开发、港口航运用海需求；4.禁止炸岛等破坏性活动，加强受损海岛的整治修复；5.依据生态环境的承载力，合理控制旅游开发强度；6.优先保障军事用海需求，加强军事设施保护。海洋环境保护要求为：1.保护本区内各海岛及周边海域生态环境；

2.保护大万山岛浮石湾侵蚀海岸地貌；3.生产废水、生活污水须达标排海；4.执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

海缆铺设除了会在施工期造成短期、可逆的海水水质及海洋生态环境不利影响外，无炸岛、损害海岛、破坏生态环境承载力的施工行为，对万山群岛的旅游开发活动无不良影响，与军事用海单位也已取得一致意见，运行期不排放生产废水和生活污水，可满足功能区海洋环境保护要求。

因此，总体评价认为，本项目在万山群岛及周边海域，项目符合海洋功能区划中此海域开发海洋可再生能源的定位目标，也符合该海域管理要求和环境保护的要求。

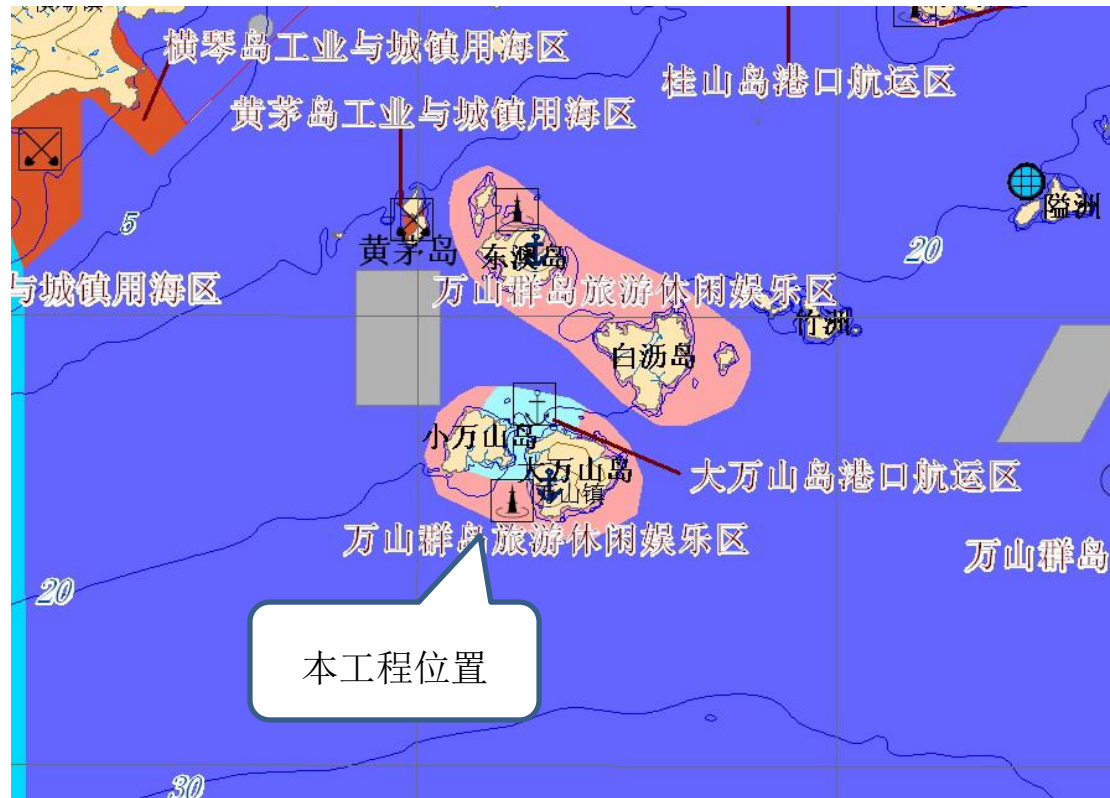


图 10.1-8 本工程与海洋功能区划位置关系

表 10.1-3 工程涉及海域功能区划一览表

序号	代码	功能区名称	地区	地理位置	功能区类型	面积 (hm ²) 岸段长度 (m)	管理要求	
							海域使用管理	海洋环境保护
205	B8-2	万山群岛保留区	珠海市	东至 114°30'37" 西至 113°30'37" 南至 21°30'40" 北至 22°10'59"	保留区	499200	<ol style="list-style-type: none"> 1.加强管理，严禁随意开发； 2.严禁显著改变海域自然属性； 3.通过严格论证，合理安排相关开发活动； 4.维护海上交通安全，优先保障军事用海需求。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.保护万山群岛海域生态环境； 2.加强对海岛污染物及船舶排污、海洋工程和海洋倾废的监控； 3.海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量等维持现状
213	B5-11	万山群岛旅休闲娱乐区	珠海市	东至 114°19'26" 西至 113°40'10" 南至 21°55'00" 北至 22°07'22"	旅游休闲娱乐区	15383	<ol style="list-style-type: none"> 1.相适宜的海域使用类型为旅游娱乐用海； 2.保障东澳渔港、外伶仃渔港、万山渔港及深水网箱养殖的用海需求； 3.适当保障矿产与能源开发、港口航运用海需求； 4.禁止炸岛等破坏性活动，加强受损海岛的整治修复； 5.依据生态环境的承载力，合理控制旅游开发强度； 6.优先保障军事用海需求，加强军事设施保护。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.保护本区内各海岛及周边海域生态环境； 2.保护大万山岛浮石湾侵蚀海岸地貌； 3.生产废水、生活污水须达标排海； 4.执行海水水质二类标准、海洋沉积物质量一类标准和海洋生物质量一类标准。

10.1.14 与《珠海市海洋环境保护规划（2013-2020年）》的相符性分析

为切实保护海洋环境，有效防治海洋污染，维护海洋生态系统健康，促进生态文明新特区建设，推动实现“蓝色珠海、科学崛起”战略目标，珠海市海洋农渔和水务局于2013年10月发布了《珠海市海洋环境保护规划(2013—2020年)》。该规划以建设海洋生态文明示范区为契机，以污染防治和整治修复为重点，以创新海洋环境管理制度为驱动力，强化海洋环境监管能力，推动区域海洋环境共治协作，努力改善海洋环境质量，促进环境效益、经济效益与社会效益相统一，为珠海率先建设资源节约型、环境友好型社会提供坚实的海洋环境支撑。本项目的建设将为大万山岛旅游等特色产业发展提供电力保障，因此本项目的建设符合《珠海市海洋环境保护规划（2013—2020年）》。

10.1.15 与《珠海港总体规划》（2010）的相符性分析

珠海港总体规划中提出，珠海港将形成以高栏港区为主、万山港区为辅、其他港区为补充，大中小泊位相互配合、专业化泊位与通用泊位相互补充、公用码头与企业专用码头相互协调的“一港七区”布局。其中，万山港区以大宗散货转运为主，并为海岛物资运输和旅游客运服务。规划原则指出，规划既要适应区域经济总体发展需要，并与区域性城镇体系规划、综合交通规划等相关规划相互衔接，又要注重保护港区周围的生态环境。

万山波浪能发电项目的建设能够统筹解决各主要海岛的电力供应问题，促进其海岛旅游业和经济发展，满足人民生活需求。同时能够为珠海市提供有力的电力供应，为珠海市产业发展及珠海港功能的发挥提供基础条件。本工程不涉及《珠海港总体规划》中划定的港区和集疏运通道，与规划最近的港区为东北侧的万山港区，相距约26km，本工程建设不会影响珠海港各港区及集疏运通道的运行，本工程与《珠海港总体规划》位置关系见图10.1-9。因此，本项目建设与《珠海港总体规划（修订）》（2010）具有符合性。



图 10.1-9 本工程与珠海港各港区位置关系示意图

10.1.16 与《珠海市海洋经济发展“十三五”规划（2016-2020年）》的相符性分析

根据《珠海市海洋经济发展“十三五”规划（2016-2020年）》，“十三五”时期，珠海市配合国家开发南海油气资源，吸引国家重点油气企业和管理总部落户，发展南海油气业配套服务。积极争取国内外海洋石油勘探开采企业及其延伸产业企业选择我市为陆域基地和工商注册地，使珠海市成为珠江口乃至整个南海石油天然气开发的重要陆上服务基地。以南海天然气陆上终端、LNG 接收站、天然气发电及热电联产项目为依托，重点发展天然气、液化石油气相关产业的清洁能源产业集群。按照循环经济的理念，建设临海能源供应基地，发展风能等滨海能源利用项目，探索利用海洋能、潮汐能的新途径。推进启动“大万山岛波浪能海岛独立电力系统示范基地”项目建设。打造清洁能源工程项目，包括：万山海岛新能源智能微电网示范项目，桂山海上风电场，金湾海上风电场，万山海上风电

场，佳蓬海上风电场，担杆海上风电场，黄茅岛 LNG 接收站，直湾岛 LNG 接收站，中海油珠海天然气热电冷联产项目二期扩建工程，中电投横琴天然气热电冷联产项目二期扩建工程，钰海天然气热电联产机组。

本项目已列入珠海市海洋经济“十三五”发展规划实施清洁能源工程项目，因此，本项目建设符合《珠海市海洋经济发展“十三五”规划（2016-2020年）》。

综上所述，本项目的建设符合《全国海岛保护工作“十三五”规划》、《国家能源局能源发展“十三五”规划》、《可再生能源发展“十三五”规划》、《广东省能源发展“十三五”规划》、《广东省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《珠海市海洋经济发展“十三五”规划（2016-2020年）》的相关目标要求。

10.2 工程方案环境合理性分析

10.2.1 工程选址合理性

本项目选址时已充分考虑自然环境、地理位置、周边规划、区划等。具体考虑因素如下：

（1）珠海大万山岛是我国海洋能资源最丰富的海域之一。大万山岛全年的主要风力为秋冬春三季的东北季风和夏季的西南季风。大万山岛北侧有白沥岛，西侧有小万山岛，东南侧 15 公里有庙湾岛和北尖岛。整个岛屿受到东北、东、东南、南、西南各方向的浪，而大万山岛南侧则是各方向的波浪均可抵达的唯一一点，全年均具有最好的海浪，符合建造波浪能示范工程的条件。

（2）勘察数据表明，大万山岛南侧具有平坦的海底。距岸 80m 到 500m 范围内，水深均在 28m 左右，变化极小。海底有约 0~12.0m 深软土，再下面是岩石。场址适合波浪发电装置锚泊和海底电缆敷设。

（3）大万山岛南侧无航线，平时只有少量渔船经过，偶尔有小艇在附近海域下网。拟选测试区和示范区海域具有良好均匀的波浪，开阔平整的海底，非航区、非渔区、无用海冲突，符合海洋波浪能测试区和示范区条件。

（4）场址与近场区断裂构造的安全距离符合相关规程规范的要求，且现代构造活动性较弱，区域地壳稳定性较好，拟建场地属于稳定性较好的场地，场地

适宜建设本工程。

(5) 本项目施工期间的悬浮物扩散范围基本上可以控制在工程范围内，不会对海域生态环境造成大的影响。

(6) 项目建设对周边海洋开发活动没有明显影响。

(7) 根据广东省海洋功能区划，项目位于万山群岛旅游休闲娱乐区和万山群岛保留区，项目建设仅施工期影响所在功能区的水质环境，影响范围在项目附近 3km 以内，不会对功能区的主导功能产生明显影响。因此，本项目用海符合《广东省海洋功能区划（2011-2020）》的管理要求。

(8) 项目建设符合《全国海岛保护工作“十三五”规划》、《国家能源局能源发展“十三五”规划》、《可再生能源发展“十三五”规划》、《广东省能源发展“十三五”规划》、《广东省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《珠海市海洋经济发展“十三五”规划（2016-2020年）》的相关目标要求。

(9) 选址已避开万山群岛自然保护区，距离保护区最近实验区约 5km。工程场址位于白海豚活动范围南边界约 13km。

根据工程可行性研究报告，海上波浪能装置紧贴大万山岛南端海岸布置，工程总平面布置图见图 10.2-1。

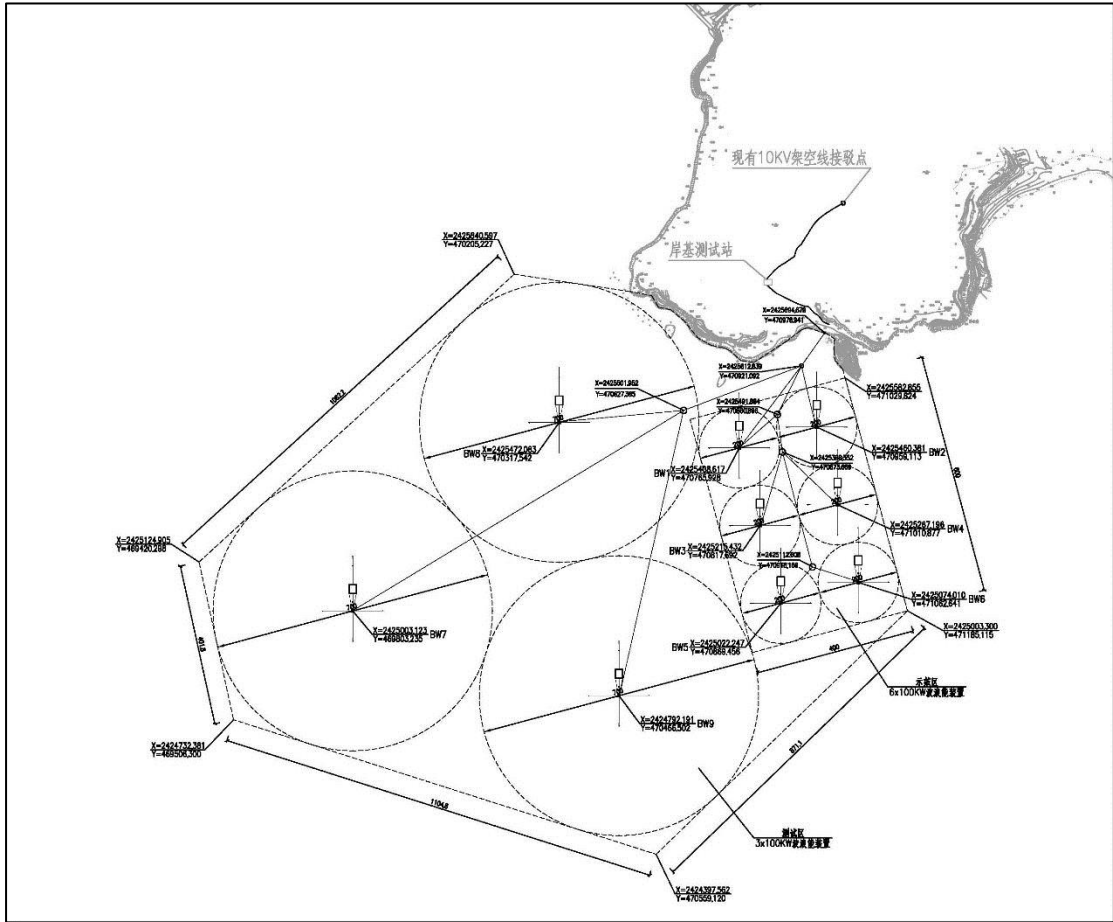


图 10.2-1 工程总平面布置图

由于大万山岛南侧具有军事设施，本工程报告编制过程中，广东省珠海警备区司令部对本工程建设位置提出调整建议，要求场址区需向西调整至东经 $113^{\circ}42'40''$ 以西。为保证部队正常军事演习用海和本工程自身安全运行，设计单位对场址进行了调整，整体向西侧移动约 1.3km，最近的波浪能发电装置位于东经 $113^{\circ}42'25''$ 以西，满足广东省珠海警备区司令部对本工程场址要求，调整后工程位置与广东省珠海警备区司令部要求位置关系见图 10.2-2。目前选址位置已征得所在部队的同意，详见附件 2。

综上所述，本项目选址是合理的。

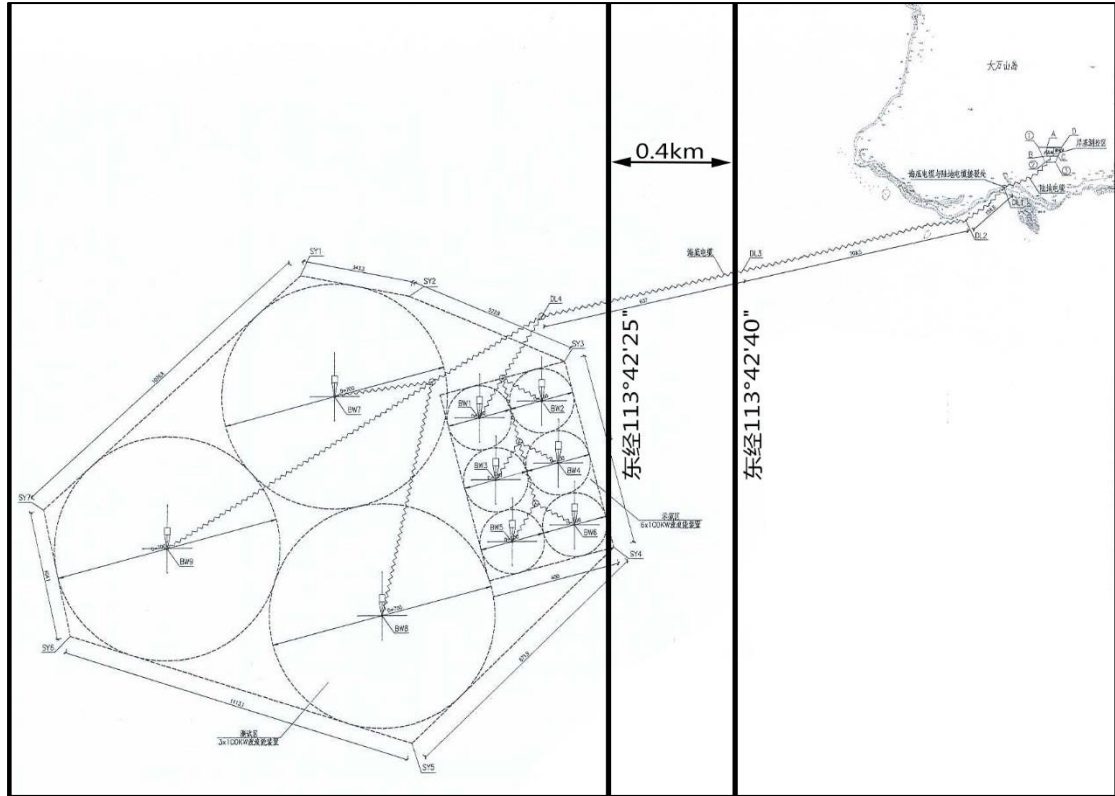


图 10.2-2 调整后工程总平面布置图及与部队要求关系图

10.2.2 机型选择合理性

从 1986 年起，大万山岛海域便开始了波浪能发电研建活动。中国科学院广州能源研究所在 1986 年至 1996 年期间，在大万山岛南侧开始建造 3kW 岸式振荡水柱波浪能装置和 20kW 岸式振荡水柱波浪能装置建造，并开展了大量的实海况运行试验。从 2007 年起，又开展了 100kW 漂浮式鸭式、10kW 漂浮式鹰式以及 10kW 和 20kW 漂浮式点吸收直线电机等波浪能装置的研发。表 2.2-3 给出各种装置优缺点的对比，根据优先效率兼顾可靠性的原则，优先选取鸭式、鹰式以及越浪类等能量捕获效率较高的波能装置，考虑到装置的可靠性以及加工、运输、投放、维修的便利性，鹰式波能装置在现有各类波浪能装置中优势突出，是现阶段波浪能开发利用的最好选择。

鹰式波能装置迎波面 24m，长 36m，高 16m，设计工作浮态吃水 11m，净重 1000 吨。采用双向四鹰头设计，能够全向吸收波浪能，多点系泊。装置自带简易

锚泊系统采用四角锚定方式，最大抛锚半径为 150m。

根据模型试验结果，在有效波高 2m 时，100kW 鹰式装置在随机波下平均发电效率达到 15%。本项目的锚泊系统拟采用由 3 个锚、1 个沉块、1 个浮筒、1 副弹性索或其他蓄能系统组成的蓄能型系泊系统。其中，3 个锚限制沉块的位移；浮筒在沉块上方 15m，两者之间用锚链连接，使得系泊点固定在水下 13m 处，降低系泊链受力，并为电缆路由提供保障条件。

本项目用海方式包括透水构筑物用海（发电装置）、锚地用海（锚泊系统、安全防护范围）以及电缆管道用海。依据《海籍调查规范》的相关规定和本项目装置的使用功能、设计型式和实际效果界定的上述用海方式是合理的，可行的，对海域的基本功能和环境的影响都较小。

10.2.3 平面布置合理性

项目设计阶段对平面布置做了几种方案的比选，综合考虑了水文动力情况、冲淤情况，海域开发利用现状等，目前的平面布置可以使各发电装置最大限度接收来自东、南向主浪；并且将测试区布置在左侧、示范区布置在右侧，可以减少示范区因输电电缆长度导致能量损失，提高使用效率；另外，受海底地形、海岛岸线、岛上接收站位置和军事活动区限制，电缆走向和长度是经多次优化的最终方案。综上所述，项目平面布置已是最优化方案，是合理、可行的。

10.2.4 施工方案合理性分析

根据现场踏勘，本工程主体部分位于海上，海缆登陆点为基岩海岸，坡度较为陡峭；升压站所在位置现状为天然植被覆盖，且岛上地势起伏，无现成施工场地，因此本阶段拟采取以下施工布置方案：

- （1）先进行临时生活设施建设，后进行生产设施建设
- （2）10KV 升压站和电缆敷设工程先期开工建设

根据测试站、升压站场地的布置，先进行道路及电缆沟、预埋电缆管隐蔽工程的施工，合理的顺序可以避免在施工中的反复，提高工程效率。

- （3）其他工程项目的施工

在保证上述两项的施工组织原则下，其他工程如仓库、临时设施、测试站、升压站基础处理、混凝土基础、海缆登陆井等项目可以同步进行，平行建设，其分部分项可以流水作业，以加快施工进度，保证工期。

可见该施工方案可立足岛上现有条件，因地制宜开展施工，可有效缩短工期，减少施工对海域环境的影响，具有一定的环境合理性。

本工程主体部分为波浪能发电装置和输电电缆，均位于海上。固定波浪能发电装置的锚泊系统由沉块、浮筒、弹性索和锚等部件组成，可减小对底栖生物生境的压占，降低对海底生态环境的扰动；输电电缆采用常规埋设方式敷设，除施工期开沟埋设作业产生短时悬浮物扩散外，对海水水质和生态环境不产生长期影响；电缆登陆后采用细沙覆盖和混凝土盖板固定，可采用岸滩自然岩石和砂石进行覆盖，以降低对岸线生态和景观的影响，因此本工程施工方案较为合理。

11 环境管理与监测计划

11.1 环境管理计划

11.1.1 施工期环境管理

本项目环境管理工作由建设单位、监理单位和施工单位共同承担。

建设单位具体负责和落实从工程施工开始至结束的一系列环境保护管理工作。对施工期工区内的环境保护工作进行检查、落实，协调各有关部门之间的环保工作，并配合地方环保部门共同作好工区的环境保护监督和检查工作。

环境监理单位承担环境保护监理工作，按照国家对建设项目环境保护管理要求，依据环境影响报告书、环境保护设计文件和合同、标书中的有关内容对施工过程中的环境保护工作进行监理，制定具体监理方案，确保落实各项保护措施、实施进度和质量。工程环境保护监理贯穿于项目施工全过程。

海底线缆和锚系施工在施工期产生一定量的悬浮物、生活污水和含油污水废水、废弃泥浆及其它施工垃圾等，对环境产生一定程度的不利影响，施工单位应严格按照环境保护有关条例规定开展施工活动。主要包括：

(1) 根据工程设计文件中有关环保内容，落实工程的环保措施和各项经费，合理安排施工时间、方式，确保将工程建设对渔业资源的影响减到最小；确保施工期间施工废水和生活污水经处理后达标后排放；合理安排施工方式、时间，确保施工场界噪声达标；保持场地整洁，保证施工机械和车辆废气排放符合国家有关规定；做好施工人员卫生防疫工作。

(2) 委托有资质单位按照有关监测技术规范进行环境监测，定期提供监测数据和分析报告。

(3) 锚系施工和海底电缆挖槽作业应避开中华白海豚等海洋动物繁殖高峰期进行。

11.1.2 施工期环境监理

委托有资质单位开展施工期环境监测工作，重点关注以下内容：

- (1) 施工期船舶油污水、生活污水、生活垃圾等污染物收集、处理和排放工作。
- (2) 海缆埋设施工时选择良好海况，控制施工进度，并注意航行安全。
- (3) 登陆段开沟埋设完成后及时进行管沟回填并用本地块石、砂石覆盖，恢复岸滩原貌，降低对岸线的影响。

11.1.3 运行期环境管理

运行期间，环境管理职能由大万山岛波浪能示范工程运营方承担，安排专职人员对波浪能示范工程运行期环境保护工作统一管理、并配合地方海洋、环保和海事部门共同做好工程运行期环境管理，包括海洋渔业资源的监督和检查工作。项目生产期结束后，做好项目拆除施工的环境保护工作，对拆除造成的环境影响进行必要的修复措施，确保波能装置拆除不会对海域利用造成影响。

11.2 环保验收清单

根据本项目建设与运行的环境影响及污染物排放特征，该工程竣工后，环保验收的主要内容列于表 11.2-1，供海洋环保部门竣工验收时参考。

表 11.2-1 环境保护三同时验收一览表

项目内容	环境要素	验收主要内容	参考要求或执行标准
工程区	1.海洋水质	施工期施工营地设置临时厕所； 运营期升压站设置污水收集设施；	施工期施工废水处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920- 2002）建筑施工标准后回用。
	2.海洋生态保护	落实本报告中的各项海洋生态环境保护措施；落实海洋生态及渔业资源、渔业生产补偿；	
升压站	1.电磁防护	选用带有金属罩壳的电气设备；各电压等级的配电装置 GIS 设备采用封闭式母线，对裸露电气设备采取设置安全遮拦或金属栅网等屏蔽措施	满足《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》（HJ/T24-1998）和《高压交流架空送电线无线电干扰限值》（GB15707-1995）中的相关限值要求
	2.声环境保护	选用低噪声变压器，噪声小于 70dB；主变压器与底座之间衬隔振垫，室内墙体敷设外壳为铝合金的吸音板	《工业企业厂界环境噪声排放标准》（GB12348-2008） 1 类标准
	3 生活污水处理	设置 WS-AO 型一体化处理装置，处理能力 1m ³ /h	出水可以达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》（GB/T 18920- 2002）中城市绿化杂用水标准要求
	4 生活垃圾收集处置	设置生活垃圾收集系统，压缩后叫市政垃圾收运船外运	
环境风险 事故预防	1.应急预案	将本工程应急体系纳入珠海海事局应急体系中	
	2.事故应急设施	设置不小于 5m ³ 的升压站事故油池	确保升压站事故含油污水不外排
	3.事故处理	有利于环境污染的恢复，将环境影响降低到最小	
环境管理	1.环境管理情况	设专职人员对波浪能示范工程环境保护工作统一管理	
	2.环境监测计划执行情况	实施报告制定的海洋生态和环境监测计划	

11.3 环境监测计划

本项目施工期和运营期应委托具有相关资质的单位对工程区域海洋环境、生态环境进行监测并提交有效的跟踪监测计量认证分析测试报告。

11.3.1 水生生物、渔业环境调查

为了解和掌握工程施工海域水生生态、渔业资源的现状；分析、验证和复核本工程对海域生态、渔业资源影响的评价结果；及时反映工程对周围海域生态、渔业资源状况的影响；预测可能的不良趋势，及时提出合理化建议和对策、措施；最终达到保护工程周围海域生物多样性和渔业资源的目的。对项目施工期生态、渔业进行跟踪监测。

11.3.1.1 范围及站点布设

水生生物、渔业现状监测范围及站点布设参照环评海洋生态及渔业资源现状监测，在工程区域设水生生物站位 6 个，潮间带断面 2 条，渔业资源站位 6 个。

监测点位见图 11.3-1。

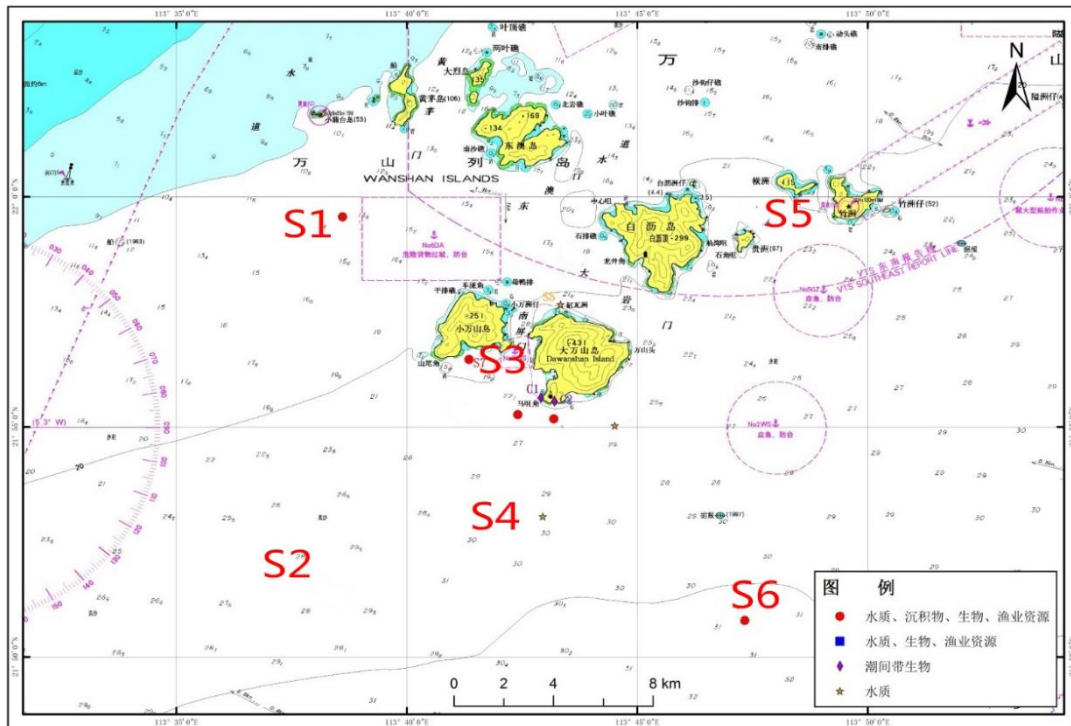


图 11.3-1 跟踪监测站位布置图

11.3.1.2 监测内容

(1) 水生生物监测要素：

叶绿素 a、浮游植物、浮游动物和底栖生物。

(2) 渔业资源监测要素

调查鱼卵、仔鱼种类组成、数量分布；渔获物种类组成；渔获物生物学特征；优势种分布；渔获量分布和现存相对资源密度。

11.3.1.3 监测频率和时间

施工期进行 1 次，工程运行后一年内的春（5 月）、秋（10 月）两季各进行 1 次。

11.3.2 海水水质、沉积物环境监测

为了解项目施工期悬浮物的污染状况，系泊系统施工及电缆沟开挖对海洋水质环境的影响，监测施工过程中悬浮物影响程度和范围，评价施工期水质是否满足海水水质标准，为施工期环境管理提供依据，对项目施工期水环境质量进行跟踪监测。

11.3.2.1 范围及站点布设

海水水质环境监测范围及站点布设参考本次评价水质调查范围及站点布置确定。

11.3.2.2 监测内容

水质：pH、悬浮物、油类、化学需氧量、溶解氧、无机氮、活性磷酸盐、叶绿素-a。

沉积物：pH、锌、铜、油类、含水率。

11.3.2.3 监测频率和时间

施工期水环境、沉积物环境监测进行 1 期，与渔业生态监测同步进行，运营开始后的一周年内的春（5 月）、秋（10 月）两季各实施 1 期。

11.3.3 水下噪声监测

为具体了解本项目波能装置水下噪声影响，在波浪能示范工程营运期开展水下噪声监测。

11.3.3.1 监测时间及布点

在运行初期开展水下噪声监测，监测时间可与水质监测同步。在距离波浪发电场单个波能装置约 100m 处监测水下辐射噪声。同时应在距离工程厂区外部界限 3-4km 处进行水下背景噪声的综合测量。

11.3.3.2 监测要素

噪声频带有效声压级 (dB re 1 μ Pa)；噪声声压谱（密度）级；分析水下噪声时-频特性。

11.3.4 电磁辐射

在升压站运行一年内，每半年在升压站厂界四周进行电磁辐射监测，监测项目包括工频电场、工频磁场和无线电干扰。

12 工程生态用海方案分析

12.1 生态用海分析

12.1.1 工程选址选线

根据大万山岛附近海域的风资料、周边地形，结合风浪生成及传播规律，根据现有的资料表明，大万山岛南侧大部分海岸地势陡峭；距岸 20m 以外，地势平缓，水深从 20m 起渐次变深；距岸 80m 到 500m 范围内，水深均在 28m 左右，变化小。根据当地海洋部门提供的资料，岛南侧并无航线，偶尔有小艇在附近下网。良好、均匀的波浪，开阔平整的海底，非航区、非渔区、无用海冲突，这些都说明该海域南侧符合海洋波浪能示范工程选址条件。初次选址见 12.1-1。

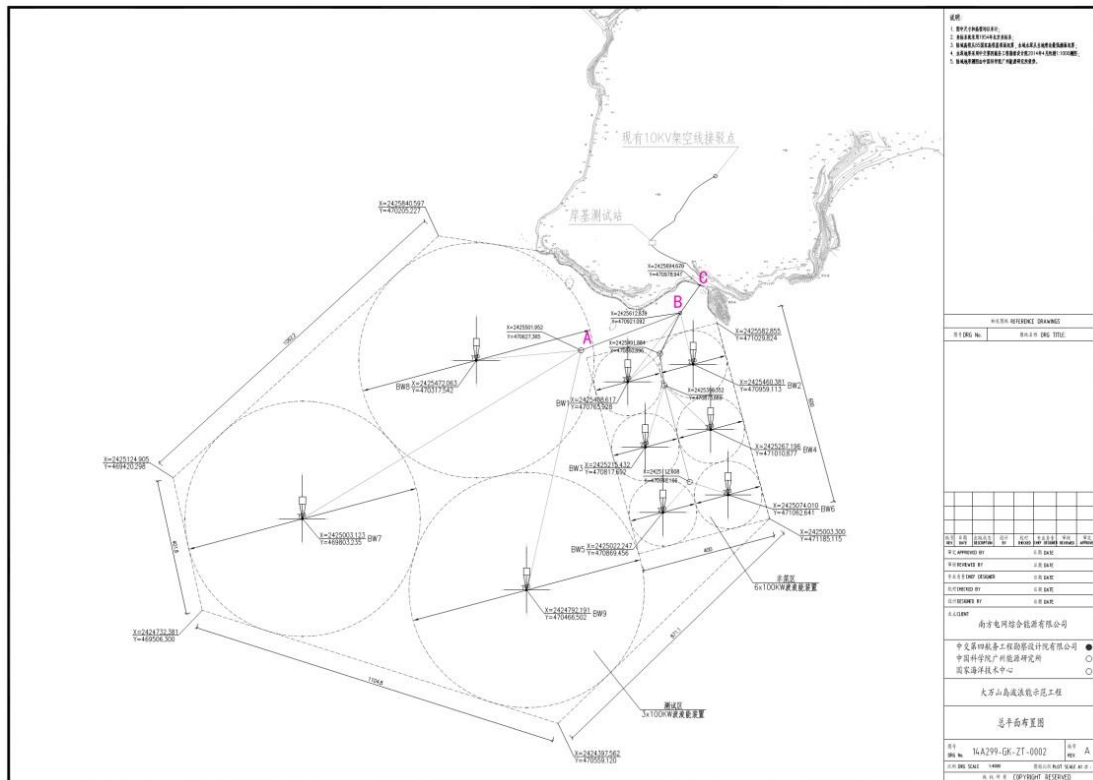


图 12.1-1 初步方案平面布置图

2016年3月南方电网综合能源有限公司就初次选址向珠海警备区征求用海选址意见；2016年10月珠海警备区复函因上述选址靠近海防团炮击区，不同意上述选址，要求选址西移。珠海警备区的函件见附件2。

中科院广州能源研究所、华南理工大学、南方电网综合能源有限公司等单位基于波浪资源，对 2 个备选场址进行了波浪资源、投资额的比选。

(1) 方案一（相比第一次选址，整体向西平移 1450 米）

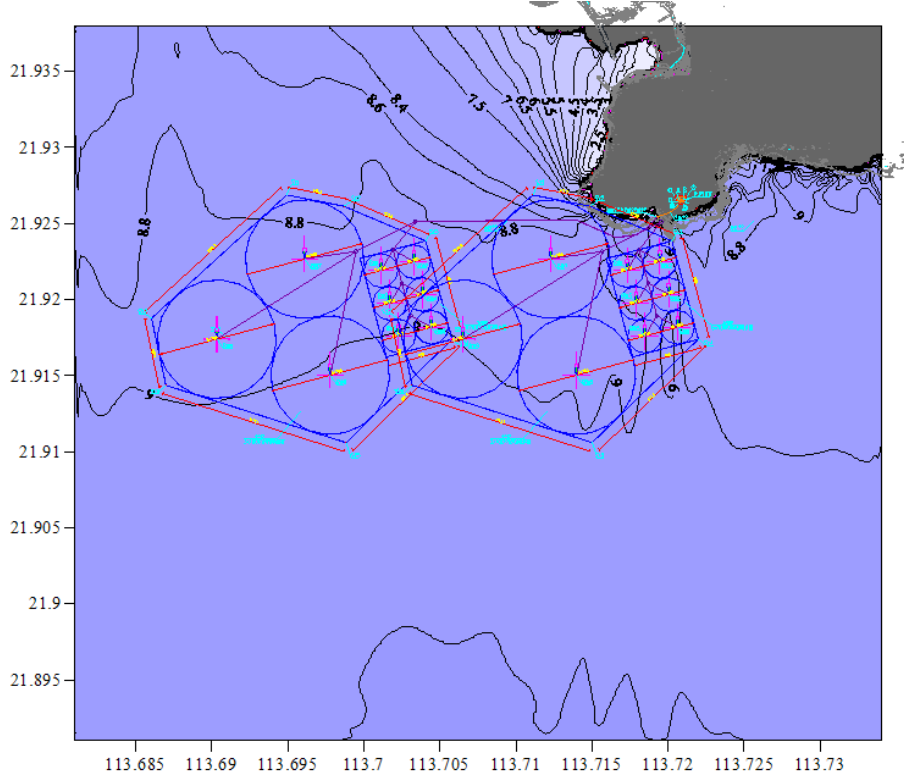


图 12.1-2 SSE 向 50 年一遇的有效波高

50 年一遇的极端波高最大波向来自 SSE，把二个方案布置叠加在该波向分布，见图 12.1-2。与原方案相比，方案一各泊位最大有效波高小于 9.1m，与原方案各泊位最大有效波高接近。从工程位置 E 向、ESE 向 2 年一遇的有效波高分布，E 向波高方案一比原方案减小 10%，ESE 向波高方案一比原方案减小 4%。SE—SSW 二个方案相差更小。因此方案一比原方案波浪能资源小，特别是 E 向波能减小 20%。

(2) 方案二（相比第一次选址，整体向西平移 1450 米，向南平移 500 米）

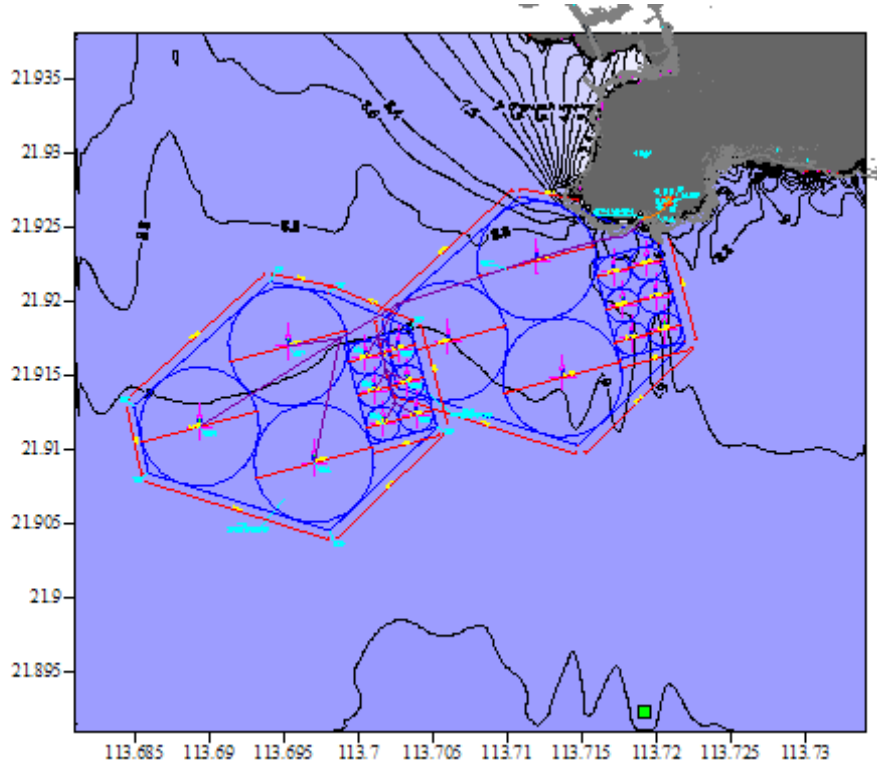


图 12.1-3 SSE 向 50 年一遇的有效波高

从工程位置 E 向、ESE 向 2 年一遇的有效波高分布可见，E 向波高方案二比原方案略增大（约 3%），ESE 向波高方案二比原方案略增大（约 4%）。SE—SSW 向波高二个方案相差很小，方案二比原方案波浪能资源略有增大。考虑到场址外移会增加送出电缆的长度，导致工程造价升高的同时造成外送电能衰减，因此将场址进一步外移以避开生态红线区会造成工程造价增加，同时发电装置发电外送经济性变差，综合考虑选择方案二作为推荐方案。

综上所述，推荐方案综合考虑了区域海域开发利用、工程波浪能资源和送出海缆长度与效率等因素的，选址较为合理。

12.1.2 工程施工方案

本工程主体部分为波浪能发电装置和输电电缆，均位于海上。固定波浪能发电装置的锚泊系统由沉块、浮筒、弹性索和锚等部件组成，可减小对底栖生物生境的压占，降低对海底生态环境的扰动；输电电缆采用常规埋设方式敷设，除施工期开沟埋设作业产生短时悬浮物扩散外，对海水水质和生态环境不产生长久影

响；电缆登陆后采用细沙覆盖和混凝土盖板固定，可采用岸滩自然岩石和砂石进行覆盖，以降低对岸线生态和景观的影响，因此本工程施工方案较为合理。

12.2 岸线占用与恢复

本工程对自然岸线的占用极少，仅在电缆登陆段需开沟埋设，实际开沟宽度 $<0.5\text{m}$ 。在电缆埋设后即进行回填，并采用当地自然石块和砂石进行覆盖，可恢复岸滩的原有属性，不会对岸线造成破坏性影响。

12.3 污染排放与控制

工程运行期产生的污染物主要为设备检修产生的废油、废蓄电池以及管理人员生活污水和生活垃圾等，产生量均较小，且运行期建设、运行单位将委托相关有资质单位统一收集外运处置，不会增加海域污染负荷。因此项目建设可满足《国家海洋局关于进一步加强海洋工程建设项目和区域建设用海规划环境保护有关工作的通知》中项目零污染、增产不增污的要求。

12.4 生态修复与补偿

根据工程建设方案，工程将永久占用一定面积的底栖生境，且工程建设过程中，产生的悬浮物影响也会减弱浮游植物光合作用能力，在一定程度上影响水域的初级生产力，导致海域中浮游动植物数量的减少，以及造成生态资源的损失。

为减少海域开发建设对海洋生态和资源的综合影响，本工程拟实施以增殖放流为主的生态修复措施。从已有的人工增殖放流的成功经验来看，在本工程海域附近有选择地实施人工增殖的生态恢复措施无论在技术上还是资金投入上均是可行的。具体放流时间及放流品种应按照当地渔政与水产部门的增殖放流年度计划开展。在采取生态修复补偿措施后，工程建设对海域生态环境影响不大。

12.5 跟踪监测及监测能力建设

为了解工程建设对工程海域海洋水质、沉积物和海洋生态环境的影响，监测施工过程中悬浮物影响程度和范围，为施工期和今后长期环境监管提供依据，本工程拟对工程施工期及运行期进行跟踪监测，并根据跟踪监测的结果进一步采取相应的保护措施。跟踪监测的内容主要包括水环境质量、海洋生态环境监测、渔业资源调查、冲淤观测、陆域施工环境、鸟类栖息地及迁徙路线等内容。在工程建设及运行期间，建设单位应委托有相应资质的监测单位，按照本报告相关要求，开展上述跟踪监测工作，并编制跟踪监测报告。

12.5.1 海洋生态跟踪监测计划

12.5.1.1 范围及站点布设

水生生物、渔业现状监测范围及站点布设参照环评海洋生态及渔业资源现状监测，在工程区域设水生生物站位 6 个，潮间带断面 2 条，渔业资源站位 6 个。

监测点位见图 11.3-1。

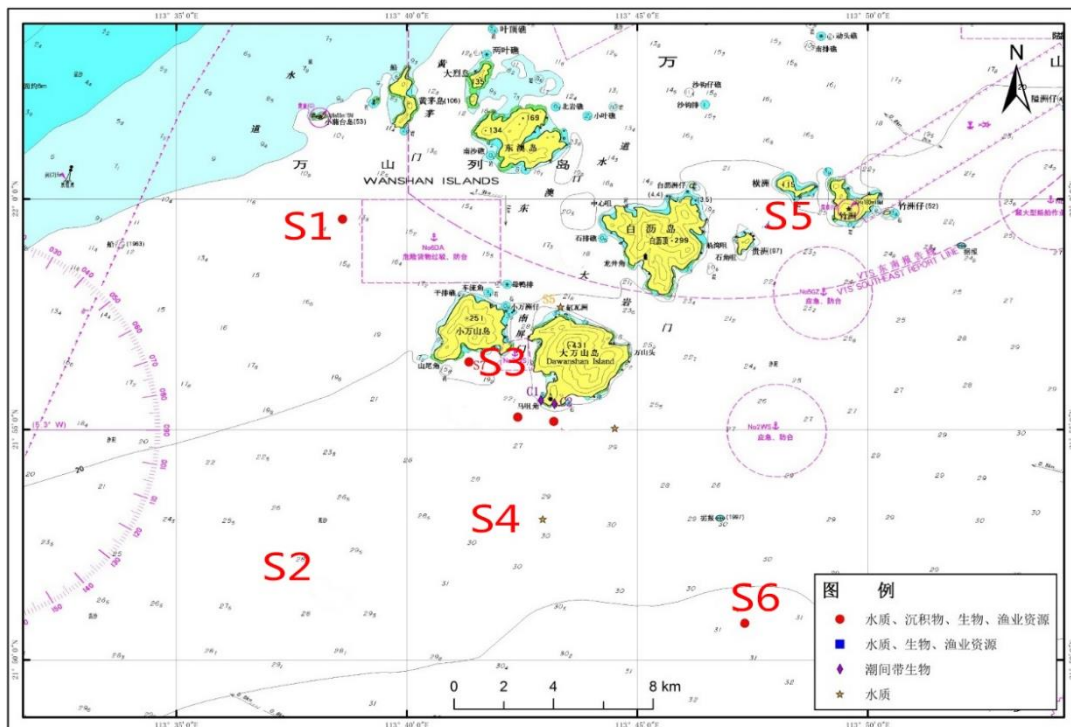


图 11.3-1 跟踪监测站位布置图

12.5.1.2 监测内容

(1) 水生生物监测要素：

叶绿素 a、浮游植物、浮游动物和底栖生物。

(2) 渔业资源监测要素

调查鱼卵、仔鱼种类组成、数量分布；渔获物种类组成；渔获物生物学特征；优势种分布；渔获量分布和现存相对资源密度。

12.5.1.3 监测频率和时间

施工期进行 1 次，工程运行后一年内的春（5 月）、秋（10 月）两季各进行 1 次。

12.5.2 海水水质、沉积物环境监测

为了解项目施工期悬浮物的污染状况，系泊系统施工及电缆沟开挖对海洋水质环境的影响，监测施工过程中悬浮物影响程度和范围，评价施工期水质是否满足海水水质标准，为施工期环境管理提供依据，对项目施工期水环境质量进行跟踪监测。

12.5.2.1 范围及站点布设

海水水质环境监测范围及站点布设参考本次评价水质调查范围及站点布置确定。

12.5.2.2 监测内容

水质：pH、悬浮物、油类、化学需氧量、溶解氧、无机氮、活性磷酸盐、叶绿素-a。

沉积物：pH、锌、铜、油类、含水率。

12.5.2.3 监测频率和时间

施工期水环境、沉积物环境监测进行 1 期，与渔业生态监测同步进行，运营开始后的一周年内的春（5 月）、秋（10 月）两季各实施 1 期。

12.5.3 水下噪声监测

为具体了解本项目波能装置水下噪声影响，在波浪能示范工程营运期开展水下噪声监测。

12.5.3.1 监测时间及布点

在运行初期开展水下噪声监测，监测时间可与水质监测同步。在距离波浪发电场单个波能装置约 100m 处监测水下辐射噪声。同时应在距离工程厂区外部界限 3-4km 处进行水下背景噪声的综合测量。

12.5.3.2 监测要素

噪声频带有效声压级 (dB re 1 μ Pa)；噪声声压谱（密度）级；分析水下噪声时-频特性。

12.5.4 电磁辐射

在升压站运行一年内，每半年在升压站厂界四周进行电磁辐射监测，监测项目包括工频电场、工频磁场和无线电干扰。

13 结论与建议

13.1 工程分析

13.1.1 工程概况

大万山岛波浪能示范工程示范区拟建 6 个波浪能发电示范泊位，测试区拟建 3 个波浪能发电测试泊位，共 9 个泊位，每个泊位最大送出功率可达 100kW。本工程以 1 回 10kV 电缆线路接入大万山岛 10kV 架空线，电缆型号为 YJV22-8.7/15KV-3X95。示范区 6 个泊位的电缆必需先在汇流站并联，然后统一输送到变电站。汇流站到登陆点的 10kV 主电缆长度为 1.5km，其他场内连接电缆总长度合计 4791m。年上网电量约 443000kWh

13.1.2 工程方案合理性分析

13.1.2.1 工程选址合理性分析

本项目选址已充分考虑了项目建设对港口航运、渔业生产、国防军事及生态环境等的影响，得到了地方海洋、海事、部队、农业等部门的认可。场址所在区域具有丰富的波浪能资源，场址与海洋功能区划等规划相容，布置方案总体上较为合理。

13.1.2.2 波能装置选型合理性分析

本项目用海方式包括透水构筑物用海（发电装置）、锚地用海（锚泊系统、安全防护范围）以及电缆管道用海。依据《海籍调查规范》的相关规定和本项目装置的使用功能、设计型式和实际效果界定的上述用海方式是合理的，可行的，对海域的基本功能和环境的影响都较小。

13.1.2.3 平面布置合理性分析

项目设计阶段对平面布置做了几种方案的比选，综合考虑了水文动力情况、冲淤情况，海域开发利用现状等，目前的平面布置可以使各发电装置最大限度接收来自东、南向主浪；并且将测试区布置在左侧、示范区布置在右侧，可以减少

示范区因输电电缆长度导致能量损失，提高使用效率；另外，受海底地形、海岛岸线、岛上接收站位置和军事活动区限制，电缆走向和长度经多次优化后最终形成该方案。综上所述，项目平面布置已是最优化方案，是合理、可行的。

13.1.2.4 施工布置合理性分析

根据现场踏勘，本工程主体部分位于海上，海缆登陆点为基岩海岸，坡度较为陡峭；升压站所在位置现状为天然植被覆盖，且岛上地势起伏，无现成施工场地，因此先进行临时生活设施建设，后进行生产设施建设；10KV 升压站和电缆敷设工程先期开工建设。在保证上述两项的施工组织原则下，其他工程如仓库、临时设施、测试站、升压站基础处理、混凝土基础、海缆登陆井等项目可以同步进行，平行建设，其分部分项可以流水作业，以加快施工进度，保证工期。

可见该施工方案可立足岛上现有条件，因地制宜开展施工，可有效缩短工期，减少施工对海域环境的影响，具有一定的环境合理性。

13.1.3 各阶段环境影响分析

13.1.3.1 施工期

本项目施工期主要环境影响为锚泊沉块下放和电缆沟开挖施工导致海底泥沙再悬浮引起水体浑浊，污染局部海水水质，影响局部沉积物环境，并由此可能对工程海域海洋生态环境(底栖生物和浮游动、植物)和渔业资源造成一定损害，海上施工作业也对工程海域渔业生产产生一定影响。施工过程中产生的施工污水、废气、扬尘、施工噪声和固体废弃物可能对工程区域环境质量造成一定污染。

13.1.3.2 运行期

波浪能发电的工艺流程是利用自然波浪能转变为机械能，再将机械能转变为电能的过程。在生产过程中不消耗燃料，不产生污染物，对环境的影响主要表现在：(1) 锚泊系统的沉块和锚对局部海底地形和潮流场的影响；(2) 底流在锚泊系统桩周围产生涡流，将海底泥沙搅动悬浮带走，对工程区域的冲淤情况的影响；(3) 工程建设造成渔业生产海域面积减小，降低渔业捕捞量，对渔民生活的产

生一定影响；(4) 波浪能装置周围海域通航环境的可能产生一定影响影响；(5) 波能装置及升压站运行噪声及电磁辐射对周围声环境和电磁辐射环境产生影响；(6) 管理人员生活污水和生活垃圾排放对陆域环境质量的影响。

13.2 环境现状

13.2.1 水文水动力环境

13.2.1.1 潮汐水流条件

(1) 潮汐类型

工程海域为珠江河口伶仃洋水域，潮汐类型属于不正规半日混合潮型，潮流属不规则半日潮流，日不等现象显著，潮流以往复流为主，外海主流呈南北向。

海域实测月最高潮位出现在 9 月份，为 3.35m，最低潮位为-0.23m，出现在 7 月份，多年平均海平面为 1.55m。

(2) 实测水流

示范区观测站点月、季和全年各层涨潮的最大流速在 36~171cm/s，上层最大流速大于底层；涨潮最大流速对应流向以偏西向为主。多数水层冬夏季涨潮最大流速大于春秋季节。落潮的最大流速在 28~168cm/s，中间水层最大流速大于近表、底层；落潮最大流速对应流向以偏东向为主。多数水层冬夏季落潮最大流速大于春秋季节。测试区涨潮的最大流速在 40~167cm/s，上层最大流速大于底层；涨潮最大流速对应流向以偏西向为主。多数水层冬夏季涨潮最大流速大于春秋季节。落潮的最大流速在 36~157cm/s，中间水层最大流速大于近表、底层；落潮最大流速对应流向以偏东南向为主。多数水层冬夏季落潮最大流速大于春秋季节。

13.2.2 地形地貌与冲淤环境

评价区内大万山岛近岸区域，离岛约 150m 区域，这个区域水深变化较大，等深线密集，水深由 7m 急剧变化至 20m。其他区域整体地势较为平坦，整体趋势呈现为西北部向东南部倾斜，水深由西北部约 20m 逐渐变化至东南部 27m。

调查区域内偶见零星分布些锚钩划痕。该海底表面地势平坦，无明显人工地

貌体和其他障碍物。岸坡附近坡度陡峭,大万山岛周围水域为水下三角洲,是三角洲的水下部分,发育于水下岸坡地带,表面坡度较为平缓,表层沉积物为含砂质的软泥。

13.2.3 环境质量

13.2.3.1 海洋水质

2016年4月涨潮期水质中的活性磷酸盐、镉、锌、砷、铅、铜、汞、总铬、pH、COD、硫化物、挥发酚、BOD₅、溶解氧、悬浮物符合水质二类标准;石油类超标率8.33%、无机氮超标率2.78%。

2016年4月落潮期水质中的活性磷酸盐、镉、锌、砷、铅、铜、汞、总铬、pH、COD、硫化物、挥发酚、BOD₅、溶解氧、悬浮物符合水质二类标准;石油类超标率16.67%、无机氮超标率5.56%。

2016年4月调查站位所属的功能区管理要求中,执行海水水质二类标准,区内对应的站位为S7、S8、S9。根据水质二类标准评价结果,三个站位的水质均符合二类标准,与功能区的环境管理要求相符合。大万山岛港口航运区内对应的站位为S5,环境要求执行水质三类标准。S5站所有项目均符合水质三类标准。万山群岛保留区内分布的站位有S1、S2、S3、S4、S6、S10、S11、S12,该区的环境保护要求为海水水质、海洋沉积物质量和海洋生物质量等维持现状。水质调查结果与其所处的功能区海洋环境保护要求相符合。

13.2.3.2 沉积物质量

2016年4月调查结果的评价显示,本次调查所有站位的沉积物有机碳、石油类、硫化物、铅、总镉、锌、铜、砷、总汞、总铬的含量均达到一类沉积物标准。符合各站位所在功能区的管理要求。

13.2.3.3 海域生态环境质量

(1) 叶绿素 a

2016年4月调查海域叶绿素 a 含量普遍处于较低水平,变化范围为

105~2.46mg/m³ 之间，平均值为 1.82mg/m³，初级生产力水平的变化范围为 116.38~227.55mg·C/m²·d，平均值为 185.48mg·C/m²·d。调查海域的叶绿素 a 值处于中等水平，不同站位叶绿素含量差异显著。

(2) 浮游植物

2016 年 4 月调查有硅藻、甲藻、蓝藻、绿藻、金藻和黄藻共 6 大门类 22 科 74 种。其中硅藻门的种类最多，其次是甲藻门。浮游植物密度分布范围在 64.73×10⁴ cells/m³~102.00×10⁴ cells/m³ 之间，平均为 85.71×10⁴ cells/m³。2016 年 4 月浮游植物 Shannon-weaner 多样性指数分布范围在 3.23~3.61 之间，平均为 3.44，均匀度的分布范围在 0.70~0.75 之间，平均为 0.72。2016 年 4 月本调查海区浮游植物的最大优势种是中肋骨条藻，优势特征明显，第 2 优势种是旋链角毛藻。

(3) 浮游动物

2016 年 4 月海域浮游动物经初步鉴定有 9 个生物类群，共 34 种。其中以桡足类的种类最多，其次是浮游幼虫类。浮游动物平均密度为 132.24ind/m³。2012 年 11 月海域浮游动物平均密度为 327.94ind/m³。多样性指数 H' 范围为 3.69~4.26 之间，平均为 3.88；均匀度 J 范围为 0.80~0.92 之间，平均为 0.87。最大优势种是桡足类小拟哲水蚤，优势地位突出，其次是小哲水蚤和桡足类幼虫，优势特征也十分明显。

(4) 底栖生物

2016 年 4 月调查，共出现底栖生物 7 门 24 科 26 种。其中环节动物 11 科 13 种，占种类总数的 50.00%；棘皮动物 4 科 4 种，占种类总数的 15.38%；节肢动物 3 科 3 种，占种类总数的 11.54%；软体动物和鱼类各 2 科 2 种，各占种类总数的 7.69%；纽形动物和半索动物各 1 科 1 种，各占种类总数的 3.85%。

2016 年 4 月调查，出现的 26 种生物中，优势度在 0.02 以上的优势种有 6 种，分别为裸盲蟹、双齿围沙蚕、光滑倍棘蛇尾、膜质伪才女虫、中华内卷齿蚕、持真节虫。底栖生物的总平均生物量为 30.86g/m²，平均栖息密度为 93.75ind/m²。

2017 年 9 月的定量调查，共出现底栖生物 8 门 25 科 29 种（种类名录见附录）。其中环节动物 9 科 14 种，占种类总数的 48.28%；节肢动物 8 科 8 种，占

种类总数的 27.59%；软体动物 2 科 2 种，占种类总数的 6.90%；扁形动物、棘皮动物、纽形动物、线虫动物和蠕虫动物门各 1 科 1 种各占种类总数的 3.45%。优势种有 4 种，分别为纽虫未定种、沟纹拟盲蟹、纳加索沙蚕、异足倒颚蟹，底栖生物的总平均生物量为 $26.47\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $111.11\text{ind}/\text{m}^2$ 。多样性指数变化范围在 1.84~3.46 之间，平均为 2.61；均匀度分布范围在 0.84~0.97 之间，整个海区均匀度指数的平均值为 0.91。

(5) 潮间带生物

2016 年 4 月潮间带生物的定量调查，共鉴定出潮间带生物 3 门 9 科 10 种。其中，软体动物 6 科 7 种，占种类总数的 70.00%；节肢动物 2 科 2 种，占种类总数的 20.00%；环节动物 1 科 1 种，占种类总数的 10.00%。2016 年 4 月，2 个断面的潮间带生物定量调查，共出现 10 种生物。2016 年 4 月的定量调查，潮间带生物平均生物量为 $2160.11\text{g}/\text{m}^2$ ，平均栖息密度为 $731.48\text{ind}/\text{m}^2$ 。

(6) 生物体质量

2016 年 4 月潮间带生物多样性指数和均匀度的变化范围均较大，在 0.0203~2.8168 之间，平均值为 1.5379；均匀度的变化范围为 0.0203~0.9647，平均值为 0.6570，总的来说，多样性指数和均匀度均处于较低水平。

13.2.4 海洋渔业资源

13.2.4.1 鱼卵、仔鱼

2016 年 4 月定量调查，共捕获鱼卵 721 枚、仔稚鱼 14 尾；经鉴定隶属于 1 门 12 科 20 种。捕获的鱼卵和仔稚鱼属于沿岸浅海性种类，主要是鳀科、狗母鱼科、鲹科、带鱼科、马鲛科、长鲳科、石首鱼科、鲷科、鲷科、羊鱼科、鲷科、金线鱼科。2012 年 11 月秋季调查，捕获鱼卵 177 枚，捕获仔稚鱼 31 尾，经鉴定隶属于 1 门 1 纲 6 目 13 科 20 种。捕获的鱼卵和仔稚鱼基本上属于沿岸浅海性鱼类，主要是鳀科、狗母鱼科、鲷科、鲷科、石首鱼科、篮子鱼科、鲹科、龙头鱼科、带鱼科、鲱科、鲷科、鲷科和鲷科。

13.2.4.2 渔业资源现状

2016年春季大万山岛波浪能示范工程项目海域渔业资源调查总平均资源密度为 2496.675kg/km²，总平均资源尾数密度为 44937.1ind/km²。各类游泳生物的平均资源密度由高到低依次为鱼类、虾类、蟹类、头足类和虾蛄类；各类游泳生物的平均资源尾数密度由高到低依次为鱼类、虾类、蟹类、头足类和虾蛄类。

13.2.4.3 海洋捕捞现状

珠江口海域是多种经济鱼类、虾类、蟹类、虾蛄类和头足类等渔业资源种类的繁育场，水域内 20m 水深以浅的范围是法定的幼鱼、幼虾保护区，保护期为 3 月 1 日至 5 月 31 日。

海域渔业生产作业方式主要有单拖网、双拖网、掺缯网、虾拖网、流刺网、定置网、奶鱼扒、白蚬扒、企门缯、装笼、下钓等。掺缯网、虾拖网、流刺网、下钓等作业方式因受海底底质影响较少，本调查海域平时常见到这些作业。定置网、奶鱼扒、白蚬扒、企门缯等作业方式基本上是在靠岸水浅的海域作业。

13.2.5 陆生动物资源

13.2.5.1 陆生动植物资源

在大万山镇政府周边的区域分布着大面积的台湾相思+破布叶+假萍婆群落。项目区域远离人为居住的大万山镇，周边只有大面积连片的草海桐+鸭脚木+潺槁树群落，群落生长现状良好。项目建设对其影响程度较低。

台湾相思+破布叶+假萍婆群落在大万山岛有分布。整个群落为人工栽培而成的绿化防护林，由于地处低山坡地，水肥条件相对较好，植物群落郁闭度较高，植物种类繁多，是海岛绿化和植被恢复的理想模式。

天然植被海岛上主要的植被类型，现存的天然植被为灌草丛，是植被演替的先锋阶段。灌草丛是海岛上最具优势的植被类型，其种类组成对植被恢复具有十分重要的参考价值，是天然的生态模板。

13.3 主要环境影响预测

13.3.1 水文水动力环境

涨潮期：工程前工程海域涨潮流按顺时针方向绕大、小万山岛向西北流动，靠近海岛岸边流速随水深的变浅而逐渐减小，流速变化范围为0.15m/s~0.33m/s、流向主要变化范围为245°~303°。

工程后因波能水中构筑物的影响，涨潮流速及流向都发生了较大的变化。其中，示范区波能构筑物东西两侧垂直于涨潮流方向，水流运动受阻导致流速变小，受东侧波能构筑物的影响，靠近大万山岛的涨潮流向略偏向东北；在束流影响下，构筑物东北侧、测试区与示范区之间以及构筑物南面的流速较工程前略有增大。

除此之外，工程后由于波能构筑物的影响，涨潮时测试区与示范区之间存在小的环流结构。测试区内部存在小尺度的顺时针和逆时针环流，这些环流区域内的流速均小于工程前的流速，最大值不超过0.3m/s。

落潮期：工程前落潮流围绕大万山岛流向西南方向。与涨潮相似，靠近海岛岸边的流速因水深的变浅而逐渐减小，同时，由于大万山岛的阻流作用，其南面的流速也有所减小，流速较大值出现在大万山岛的东、西两侧。大万山岛东侧平均流速约为0.35m/s，西侧平均流速约为0.26m/s。

落潮流态工程后与工程前相似，但示范区与试验区之间出现小的环流，且示范区东侧流向顺应调整为东向。总体上流速较工程前要略小约10%。

13.3.2 水质环境

(1) 施工期间发生在涨急时段，各沉块源强计算点大于1mg/L的悬浮物底层、中层最大扩散面积分别不超过0.13km²、0.07km²；大于5mg/L的悬浮物底层、中层最大扩散面积分别不超过0.03km²、0.002km²；大于10mg/L的悬浮物仅出现在底层、最大扩散面积不超过0.013km²。

(2) 海缆敷设时底层悬浮物最大扩散面积大于中层和表层，表层最小。底层、中层和表层大于5mg/L的最大悬浮物扩散面积分别为9.859km²、9.761km²、9.765km²；对应大于10mg/L（超I、II类水质）的最大悬浮物扩散面积分别为5.978km²、5.721 km²、4.421km²。

工程施工期对海域海洋环境的影响属于较小范围。但由于工程海区的波浪动力作用较强，波浪产生的紊动与开挖过程中产生的悬浮物充分混合均匀后，在工程局部范围内形成较高浓度的含沙水体。工程海域地表层所含的细颗粒泥沙（粘性土及淤泥质土），沉降时间大约需要 4~6 个小时，短期内将对工程海域周围水体环境造成影响。但这种影响是暂时的，工程施工完成后高浓度含沙水体将逐渐沉降，水质将得到恢复。

13.3.3 沉积物环境

施工期由于施工船舶在工程海域集结和在岸滩区设置施工场地，施工活动将产生生产废水、生活污水和垃圾等，若管理不善，可能发生施工机械船舶废水、施工生产废水和生活污水等未经处理直接排海，或生活垃圾、废机油等直接弃入海中，将直接污染区域海水水质，进而影响区域海域沉积物质量，可能造成沉积物中酸碱度、有机污染物、大肠菌群、病原体和石油类等指标超标。本工程海上部分运行期基本无污染物产生。锚链设计按每年0.8mm的侵蚀量，作用20年后，仍然可以满足使用要求，锚链不考虑牺牲阳极防腐设计，因此运行期无锌释放，不会对附近海域沉积物环境产生污染影响，运行期对沉积物环境影响较小。

13.3.4 地形地貌与冲淤环境

工程海区北部（近海岸）水深变化较大，水底凌乱分布暗礁石，另有几处明礁石；中南部水域水深变化较缓，水深由南向北逐渐变浅，最深水底高程为-28.2m。工程海区主要地层表层及中上部为近代海相淤泥、砂、粘性土及淤泥质土。

本海区水动力作用较强，海蚀现象明显，海岸泥沙运动近似于动态平衡，没有大规模的冲刷堆积现象。模型计算时将透水构筑物视为非透水构筑物进行计算，放大了工程前后流速变化的影响，实际上工程后局部水动力变化引起的冲刷或淤积区域相对于模型计算要略小一些。由于工程海区沿岸供砂有限，因而工程后水动力的变化对海底的冲淤影响也不会太大，经过一段时间调整后海床活动将恢复新的平衡。

13.3.5 对海洋生态和渔业资源环境的影响

13.3.5.1 施工期

(1) 对浮游生物的影响

锚泊系统沉块安装和海底电缆敷设施工会使海底泥沙再悬浮,海底泥沙中有害物质也会再溶出,从而可能对周围水域的浮游生物产生不利影响。

(2) 对底栖生物的影响

锚泊系统沉块安装、电缆沟开挖完全改变施工区附近底栖生物的生境。计算得海缆敷设破坏导致底栖、潮间带生物经济损失为 4.17 万元。

(3) 对渔业资源的影响

悬浮泥沙扩散浓度为 10~50mg/L、50~100mg/L、>100mg/L 的影响水域中鱼卵仔鱼、幼鱼、幼虾和幼蟹的损失率分别取为 1%、10%和 20%。鱼卵折成鱼苗按 1%成活率计,仔鱼折成鱼苗按 5%成活率计;从幼体长成鱼虾蟹的成熟的个体均按 50%成活率计,成鱼和成蟹按 100g/尾计,成虾按 7g/尾计,经济损失按 3 年计算,则项目施工期渔业资源直接经济损失总计为 54 万元。

(5) 对渔业生产的影响

在施工期,由于工程施工阶段所涉及的区域较大,对在这一带渔业生产活动产生一定的影响。施工期间将禁止渔船进入施工海域捕捞生产,由此导致作业渔场范围减少;施工的扰动影响,使渔获率降低,最终影响捕捞产量。但作业船有限,且集中在锚泊施工点附近,施工作业对渔业资源捕捞活动的影响是有限的。如果施工活动安排在秋冬季节等非捕捞旺季的时段,施工作业对渔业生产的影响可以得到明显的减缓。

13.3.5.2 运行期

(1) 对海洋生态的影响

本工程运营期对海洋生态的影响主要是锚泊系统沉块压占的底栖生物的生境遭到永久的破坏,项目占用年限 20 年以上的,按不低于 20 年补偿,底栖动物经济价值以每吨 1.0 万元计,计算永久占用海域造成经济损失为 0.43 万元。

(2) 对渔业生产影响

在波浪能营运期时段，这一海域渔业捕捞将受到负面影响，难以进行大规模捕捞作业。

13.3.6 其他环境影响

13.3.6.1 电磁环境影响

本工程 10kV 变压器投运后，在没有外界干扰源的情况下，厂界外的工频电场强度和工频磁感应强度均较小，且远小于《500kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范》(HJ/T 24-1998) 中推荐的工频电场 4kV/m 和磁感应强度 0.1mT 的评价标准要求；加之本工程 10kV 变压器远离环境敏感目标，因此其运行对周围电磁环境无明显影响。

13.3.6.2 大气环境影响

(1) 施工期大气环境影响

工程施工中由于土方的开挖、建材堆放和施工车辆的行驶，在作业面及其附近区域将产生粉尘和二次扬尘，造成局部区域的空气污染。施工粉尘和扬尘总量不大，工程区域周围无居民区、学校等环境敏感目标，且施工区域的地形条件有利于粉尘和扬尘的扩散，故不会对周围空气环境产生明显影响。

(2) 运行期大气环境影响

本工程万山岛 10kV 升压站设有备用柴油发电机，在应急情况下柴油发电机启动发电过程中会产生一定量的燃油废气。由于备用柴油发电机只在停电的应急情况下才使用，运行期使用时间数少，废气排放量较少，而且采用含硫量小于 0.2% 的轻质柴油作燃料，污染物排放量较少。燃油废气经配套的净化处理器处理

13.4 环境事故风险

本项目主要环境风险包括 (1) 船舶波能装置碰撞溢油风险；(2) 雷电、台风等自然灾害风险；(3) 海底线缆突发事故风险；针对可能发生的环境事故，本报告提出了相应的事故防范措施，采取上述措施后，上述环境事故的发生概率可

明显降低，事故发生对环境的影响可明显减小。

13.5 清洁生产与污染对策措施

13.5.1 施工期环保措施

海上施工船舶施工污染物应按照海上施工作业规范及相关法规、规范、标准要求处理达标后排放或运至陆上处置，

针对本项目主要的对渔业生产和鸟类的不利影响，建议落实下列保护措施：

- (1) 避免在鱼类产卵高峰期进行施工；
- (2) 优化施工方案，加强科学管理，在保证施工质量的前提下尽可能缩短水下作业时间，控制施工范围；
- (3) 施工应该避免恶劣天气，保障施工安全和避免悬浮物剧烈扩散；
- (4) 对在该海域从事渔业捕捞生产的渔民造成的损失，应加强沟通，落实对捕捞渔民的补偿。
- (5) 落实海缆登陆段自然岸线修复。

13.5.2 运行期环保措施

本项目在正常运行下，为减少工程建设对海洋生态和渔业资源的影响，实施以增殖放流为主的生态修复措施。

工程主要环保措施见表 13.5-1。

表 13.5-1 环境保护对策措施、生态保护对策措施一览表

项目	环境保护对策措施	具体内容	规模及数量	预期效果	责任主体及运行机制
污水处理	生产废水处理	生产废水处理设施	污水处理设备 1 套	处理达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920-2002) 标准后回用	施工单位建设、使用和管理
	施工人员生活污水	污水收集处理设施	统一收集	纳管, 不向环境排放	
	升压站油污水	油污水收集桶	设置 0.1m ³ 收集桶 1 个, 集中收集统一外运	外运	建设单位使用和管理, 可委托专业单位
固体废弃物处置	生活垃圾处置	垃圾桶	根据需要设置生活垃圾筒	统一收集后委托环卫部门清运处理	施工单位、建设单位建设、使用和管理
海洋生态保护	渔业资源补偿	采用增殖放流方法补偿	-	按照相关主管部门的要求, 按时完成增殖放流的品种、数量	建设单位落实, 可委托专业单位
海底线缆保护	本项目海缆保护	加大海缆埋深	加大海缆埋深	防止船舶锚泊威胁海底电缆安全	建设单位、施工单位

13.6 公众参与结论

从公众调查的情况来看，参与调查的公众和团体都认真地回答了提问，所有被调查公众和团体对工程建设持肯定的态度，且绝大部分对本工程都表示出一定的认知，反映了对本工程的建设总体上表示关心、理解和支持。针对本次调查收集到的与环保有关的合理的公众建议，本报告均予以采纳。公众认为本工程建设有利于当地经济及各项事业的发展，对当地村民和渔民的生活基本无影响或影响很小，支持工程建设。公示期间，建设单位和环评单位均未收到公众对本工程建设的意见和建议，说明公众对本工程建设表示赞同或不介意，无重大反对意见。

13.7 综合评价结论

13.7.1 综合评价结论

大万山岛波浪能示范工程的建设符合我国可持续发展能源战略，工程建设能为我国波浪能发电技术提供科研和技术积累，为后续行业发展提供示范作用。工程建设和运行存在的主要环境问题是海洋生态、渔业生产的不利影响，在落实本报告提出的各项环保措施前提下，从环境影响的角度评价来看，不存在制约本工程建设的环境因素，工程建设总体可行。

目 录

1	总论	1
1.1	评价任务的由来与评价目的	1
1.2	编制依据	3
1.3	评价技术路线	8
1.4	环境保护目标	18
2	工程概况	20
2.1	项目概况与地理位置	20
2.2	建设方案概述	22
2.3	项目占用海岸线、滩涂、海域、无居民海岛和土地状况	32
2.4	工程施工	33
3	工程分析	49
3.1	生产工艺过程分析	49
3.2	工程各阶段环境影响分析	50
3.3	工程各阶段环境影响因子	58
4	区域自然环境和社会环境概况	60
4.1	自然环境概况	60
4.2	社会环境概况	78
4.3	环境质量概况	79
4.4	海洋功能区划与海域开发利用与保护概况.....	82
5	环境质量现状调查与评价	90
5.1	水文动力环境现状调查与评价	90
5.2	地形地貌现状调查与评价	107
5.3	海洋水质、沉积物环境现状监测与评价.....	112
5.4	海域生态环境现状调查结果与评价.....	131
5.5	海洋渔业资源（生产）现状调查与评价.....	148
5.6	中华白海豚及其他珍稀濒危动物资源.....	164
5.7	幼鱼幼虾保护区及其他珍稀濒危水生动物.....	165
5.7.4.6	陆生植物资源现状调查与评价	170
6	环境影响预测与评价	172

6.1	水文动力环境影响预测与评价	172
6.2	地形地貌与冲淤环境影响预测与评价	188
6.3	水质环境影响预测与评价	190
6.4	海洋沉积物环境影响预测与分析	200
6.5	海洋生态和渔业资源环境影响预测与评价	201
6.6	其他环境影响预测与评价	210
7	环境事故风险评价	213
7.1	环境事故识别	213
7.2	溢油事故风险评价	213
7.3	风暴潮风险分析	234
8	清洁生产与环境保护对策措施	235
8.1	清洁生产分析	235
8.2	海域污染防治措施	240
8.3	陆域污染防治措施	243
8.4	海洋生态保护措施	250
8.5	陆生动植物资源保护措施建议	252
8.6	总量控制分析	254
9	环境经济损益分析	255
9.1	环保投资	255
9.2	经济效益	255
9.3	环境损益	256
9.4	环境经济损益综合分析	257
10	海洋工程的环境可行性	258
10.1	相关政策、法规、规划、区划符合性分析	258
10.2	工程方案环境合理性分析	281
11	环境管理与监测计划	287
11.1	环境管理计划	287
11.2	环保验收清单	288
11.3	环境监测计划	290
12	工程生态用海方案分析	293
12.1	生态用海分析	293

12.2	岸线占用与恢复	296
12.3	污染排放与控制	296
12.4	生态修复与补偿	296
12.5	跟踪监测及监测能力建设	297
13	结论与建议.....	300
13.1	工程分析	300
13.2	环境现状	302
13.3	主要环境影响预测	306
13.4	环境事故风险	310
13.5	清洁生产与污染对策措施	311
13.6	公众参与结论	313
13.7	综合评价结论	313

附件：

- 附件 1 委托书
- 附件 2 广东省珠海警备区司令部意见函
- 附件 3 广东省海洋与渔业厅关于调整用海选址意见的函
- 附件 4 工程区域现场照片
- 附件 5 评审意见及修改清单
- 附件 6 专家组长复核意见

附图：

- 附图 1 工程地理位置图
- 附图 2 工程区域位置图
- 附图 3 工程平面布置图
- 附图 4 工程宗海位置图
- 附图 5 工程宗海界址图
- 附图 6 工程区域敏感目标分布图
- 附图 7 广东省海洋功能区划图
- 附图 8 工程区水下地形图
- 附图 9 工程与广东省海洋生态红线区位置关系示意图
- 附图 10 工程与广东省海洋生态红线区位置关系示意图（局部）
- 附图 11 工程与万山群岛海岛自然岸线位置关系示意图
- 附图 12 工程与万山群岛海岛自然岸线位置关系示意图（局部）
- 附图 13 测试站、升压站区域位置图
- 附图 14 测试站、升压站平面布置图

附录：

- 附录 1 浮游植物种类名录
- 附录 2 浮游动物种类名录
- 附录 3 底栖生物种类名录
- 附录 4 潮间带生物种类名录