

三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路

北延下穿隧道项目

海域使用论证报告书

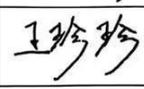
(公示稿)

海南冉升海洋科技有限公司

统一社会信用代码：91460108MAA92DH83P

2025年7月

论证报告编制信用信息表

论证报告编号	4602022025001772		
论证报告所属项目名称	三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目		
一、编制单位基本情况			
单位名称	海南冉升海洋科技有限公司		
统一社会信用代码	91460108MAA92DH83P		
法定代表人	李燕姣		
联系人	骈心悦		
联系人手机	13215825627		
二、编制人员有关情况			
姓名	信用编号	本项论证职责	签字
汤宝怡	BH003802	论证项目负责人 1.概述 2.项目用海基本情况 4.资源生态利用协调分析 5.海域开发利用协调分析 7.项目用海合理性分析 9.结论	
符静	BH005234	3.项目所在海域概况 10.报告其他内容	
王珍珍	BH005436	6.国土空间规划符合性分析 8.生态用海对策措施	
<p>本单位符合海域使用论证有关管理规定对编制主体的要求，相关信息真实准确、完整有效，不涉及国家秘密，如隐瞒有关情况或者提供虚假材料的，愿意承担相应的法律责任。愿意接受相应的信用监管，如发生相关失信行为，愿意接受相应的失信行为约束措施。</p> <p style="text-align: center;">承诺主体：  (盖章)</p> <p style="text-align: right;">2025年7月30日</p>			

项目基本情况表

项目名称	三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目			
项目地址	海南省三亚市海棠区海棠北路			
项目性质	公益性 (√)	经营性 ()		
用海面积	4.8656ha	投资金额	330075 万元	
用海期限	40 年	预计就业人数	/	
占用岸线	总长度	0m	邻近土地平均价格	/
	自然岸线	0m	预计拉动区域经济产值	/
	人工岸线	0m	填海成本	/
	其他岸线	0m		
海域使用类型	海底工程用海中的海底隧道用海		新增岸线	/
用海方式		面积	具体用途	
跨海桥梁、海底隧道用海		4.8656 公顷	暗挖海底隧道	
注：邻近土地平均价格是指用海项目周边土地的价格平均值。				

摘 要

一、项目用海基本情况

(1) 申请单位：三亚海棠湾投资控股有限公司；

(2) 用海面积：项目申请用海总面积为 4.8656ha；

(3) 项目申请用海年限：40 年；

(4) 建设内容：三亚市海棠路隧道项目位于三亚海棠湾片区，以海棠北路与龙海路交叉口为起点，沿海棠路向北下穿椰子洲岛风景名胜区，重点顺接山海高速与柳州路预留的交叉口。

项目采用城市主干路、设计速度 60km/h、双向四车道的建设标准，隧道全长约 3785m，采用明挖暗埋的隧道施工方法。其中盾构段长约 2450m，明挖段长约 1335m；穿越椰子洲岛风景保护区及水域段采用盾构法施工暗挖隧道，两岸采用明挖法施工，建设总工期约 44 个月。

二、项目立项情况

(1) 项目名称：三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目

(2) 项目性质：新建项目

(3) 建设单位：三亚海棠湾投资控股有限公司

(4) 工程总投资：330075 万元，资金来源为政府投资

三、用海必要性

目前，海棠湾既有交通规划中并未对骨干路网进行调整；南北向 3 条贯通道路（含 G223）均已建成，与交通需求不匹配：南北向干路间距 1.6km，最大间距 2.2km；东西向干路间距 1.4km，最大间距 2km。既有规划路网与未来南北向逐步增强的交通需求的不匹配，另外区域内 SKP、免税店三期、亚特兰蒂斯 2 期、海昌不夜城 2 期等重点地区周边路网集散压力巨大。

本项目为海棠路北延下穿隧道工程，为处理现状海棠路沿线旅游车辆多以及路线与

椰子洲岛风景区规划干扰等问题，采用隧道下穿椰子洲岛风景区，打通南侧风塘片区与北侧东溪片区，故路线起终点根据规划及工程现状龙海路、柳州路的情况进行拟定。起终点明确后，考虑减少周边水闸、桥梁、酒店等的影响，同时亦需考虑侵占基本农田及生态林等因素，路线走廊带基本定形。海棠路北延伸的实施，也将加强海棠湾风塘与东溪、藤桥片区组团联系，支持跨椰子洲岛两侧组团的交通联系。

本项目建设有利于完善海棠湾内部骨干路网结构，在海棠湾内部形成完善的骨干路网系统。结合整体路网规划，建议近期推进南北沿海岸线骨干路网建设，主要包括南北向的海棠路北延伸接柳州路、山海高速连接线至海棠湾北互通、椰风路（含地下通道）建设；东西向的跨高速东西骨干路网建设与二绕及北横通道衔接，主要包括风塘路、石姆龙路西北延伸（服务海棠湾站集散，联系南田片区）等。通过贯通椰风路、海棠路北延伸、增加跨河东西通道等完善内部路网，促进内部微循环，在重点片区完善停车设施建设，通过地下道路改善交通组织。

因此，项目建设和用海是必要的。

四、规划符合性

本项目用海属于《产业结构调整指导目录（2024年本）》中的“二十四、公路及道路运输：1.公路交通网络建设：国家高速公路网项目建设，国省干线改造升级”和“二十七、综合交通运输：1.综合交通枢纽一体化建设与改造、枢纽站城融合开发”项目，属于鼓励类建设项目。项目建设用海符合《海南省国土空间规划（2021-2035年）》《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035）》《三亚市海域详细规划》等涉海规划以及行业规划。项目用海不涉及生态保护红线，对海南省海洋生态保护红线没有影响。

五、占用岸线情况

本项目建设采用盾构法施工，从海底底土穿越，故不占用岸线。

六、利益相关者协调情况

本项目主要利益相关者有海南省环岛旅游公路陵水土福湾至三亚海棠湾通道工程（藤桥东河段），利益协调部门有三亚市交通运输局、三亚市自然资源和规划局等。本项目用海与周边利益相关者和利益协调责任部门具有可协调性，用海申请单位应切实落实与利益相关者达成的协调协议或方案，与需协调部门达成一致协调意见，保障用海秩序。

七、资源生态影响及生态保护修复措施

本项目为海底隧道工程，工程采用盾构法施工，盾构始发井、接收井均在陆域上，盾构全过程在海床以下进行，覆土最小厚度约 13.4m 不对海洋水环境产生扰动，不影响海域水文动力环境。对工程区大范围海域的潮流动力条件基本没有影响。

根据相关文献资料研究，盾构隧道施工对海床存在轻微的扰动影响。根据相关文献资料研究，盾构隧道施工对海床存在轻微的扰动影响。

本项目施工期废水主要为施工生活污水、施工生产废水、盾构泥浆废水和基坑涌水。基坑涌水委托清运，废水不排入海洋，对海洋水质环境无影响。

运营期清洗隧道清洗废水收集到隧道废水池后委托清运。隧道清洗废水泵至上岸后经预处理后纳管，不会对地表水体产生影响。

本工程海底隧道施工采用盾构法，通过在海床下暗挖隧洞的方法，可以保持开挖表面稳定。此种施工方法对海洋表层沉积物影响不大，仅由于盾构法施工过后可能会引起海床表面轻微的塌陷，对海床下层的沉积物环境可能产生一定的影响。可见，施工活动除对海底沉积物造成部分位移和松动外，无其他污染物混入，因而沉积物环境质量不会产生明显变化，其质量状况仍将基本保持现有水平。

项目涉海段采用盾构法施工，施工期不会在海域范围内进行表层开挖，亦不会在海岸边修筑施工便道，或在海上搭建施工平台，不破坏海岸线自然性状，不扰动海床。项目建成后，亦不会在海床上留下任何永久性构筑物。

本项目建设对海洋生物的主要影响包括施工期间的振动，这些影响是短暂的，施工期结束后就会消失。施工过程不会产生悬浮物，不会引起局部海域水体浑浊，对海洋生态环境基本不会造成影响。

八、项目用海选址、方式、面积、期限的合理性

项目选址区位和社会条件满足项目建设运营要求，本项目用海方式为海底隧道，用海方式对海域自然属性影响不大，对区域的水动力环境和海洋生态环境影响较小。项目申请用海面积 4.8656 公顷，从海底底土穿越，不占用岸线，项目用海面积满足项目用海需求，符合相关行业设计标准和规范。根据《中华人民共和国海域使用管理法》，本项目主要为隧道工程，属于海底工程用海，拟申请公益性用海，因此拟申请用海年限 40 年合理。因此，项目用海选址、方式、面积、期限是合理的。

目录

摘 要	1
一、项目用海基本情况	1
二、项目立项情况	1
三、用海必要性	1
四、规划符合性	2
五、占用岸线情况	2
六、利益相关者协调情况	2
七、资源生态影响及生态保护修复措施	3
八、项目用海选址、方式、面积、期限的合理性	4
1. 概述	4
1.1. 论证工作来由	4
1.2. 论证依据	8
1.3. 论证等级和范围	12
1.4. 论证重点	13
2. 项目用海基本情况	14
2.1. 用海项目建设内容	14
2.2. 平面布置和主要结构尺度	18
2.3. 项目主要施工工艺与方法	65
2.4. 项目用海需求	82
2.5. 项目用海必要性	88
3. 项目所在海域概况	91
3.1. 海洋资源概况	91
3.2. 海洋生态概况	94
4. 资源生态影响分析	129
4.1. 生态评估	129
4.2. 资源影响分析	133
4.3. 生态影响分析	137

4.4. 项目用海风险分析	146
5. 海域开发利用协调分析	149
5.1. 海域开发利用现状	149
5.2. 项目用海对海域开发活动的影响	154
5.3. 利益相关者界定	156
5.4. 相关利益协调分析	158
5.5. 项目用海对国防安全 and 国家海洋权益的影响分析	160
6. 国土空间规划符合性分析	161
6.1. 所在海域国土空间规划分区基本情况	161
6.2. 对周边海域国土空间规划分区的影响分析	167
6.3. 项目用海与国土空间规划的符合性分析	169
7. 项目用海合理性分析	185
7.1. 用海选址（线）合理性分析	185
7.2. 用海方式合理性分析	191
7.3. 用海平面布置合理性分析	199
7.4. 占用岸线合理性分析	203
7.5. 用海面积合理性分析	203
7.6. 用海期限合理性分析	211
8. 生态用海对策措施	212
8.1. 概述	212
8.2. 生态用海对策	213
9. 结论	223
9.1. 用海基本情况	223
9.2. 项目用海必要性结论	223
9.3. 项目用海资源环境影响分析结论	224
9.4. 海域开发利用协调分析结论	225
9.5. 国土空间规划符合性结论	225
9.6. 项目用海合理性分析结论	225

9.7. 生态用海对策结论	226
9.8. 项目用海可行性结论	226

1. 概述

1.1. 论证工作来由

本项目拟选于三亚市海棠区海棠北路，起点位于龙海路与海棠路交叉口，终点位于山海高速与柳州路交叉口。为支持海棠湾“国家海岸”、“国际旅游度假区”建设，进一步完善海棠湾交通路网结构，匹配二绕高速及连接线等区域重大项目进度，加强片区与高速路网衔接，缓解区域内部交通压力，增强三亚旅游及交通基础设施供给，满足游客及周边居民的日常生活出行需求，特启动三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目。



图 1.1-1a 项目位置图

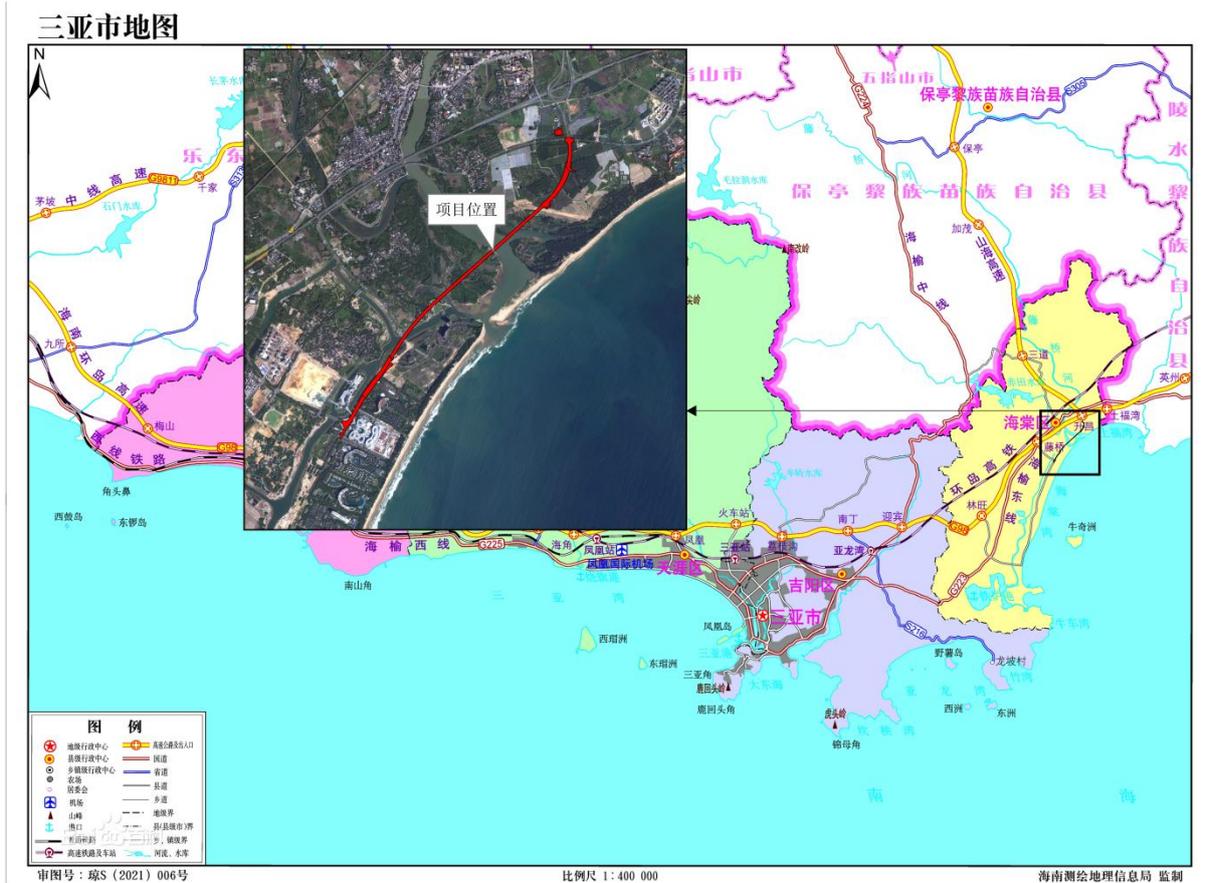


图 1.1- 1b 工程地理位置图

目前海棠湾既有交通规划分析：骨干路网未调整；南北向 3 条贯通道路（含 G223）均已建成，与交通联系需求不匹配；南北向干路间距 1.6km，最大间距 2.2km；东西向干路间距平均 1.4km，最大间距 2km。综合来说，即既有规划路网与未来南北向逐步增强的交通需求不匹配。目前在国庆、春节等重要节日期间，三亚旅游人流激增，免税城区域已出现交通严重拥堵，后期随着区域内 SKP、免税店三期、亚特兰蒂斯 2 期、海昌不夜城 2 期等重点地区的运营开业后，交通状况将进一步恶化，当前路网集散压力巨大。

海棠湾片区南北狭长，内部“四横七纵”骨干路网基本形成，次之道路建设相对滞后。现状南北向主要道路主要包括：林旺大道、藤桥路、海棠北路；东西道路主要包括：江林路、海岸大道、龙江路、风塘路、石姆龙路、龙海路及椰林路。

现状主要道路以双向 4 车道为主，次要道路以双向 2-3 车道为主。局部路段如海棠北路（衔接椰林路）、跨高速向北通道等待建，尚未形成互联互通的整体路网体系，影响路网运行效率。

目前 G98 环岛高速作为三亚唯一一条环岛高速公路，交通量在高峰时期已达到饱和

状态。二绕高速的建设可极大程度缓解 G98 交通压力,是三亚近期即将建设的重点项目。而本项目通道山海高速可将海棠片区交通有效向周边辐射。考虑到二绕高速建设的紧迫性,本项目作为其配套完善的重要一环,也是迫切需要建设的。



图 1.1-2 海棠湾片区现状主要道路设施断面情况图



图 1.1-3 海棠湾片区现状主要道路设施图

因此，结合地区路网规划和发展需求，从支撑海棠区城市空间结构，实现三亚南海自由港和国际旅游城的目标，完善三亚和海棠湾交通路网结构，承担海棠湾核心区北向疏解功能，加强海棠湾对外通道、增强片区与高速路网衔接，完善海棠湾内部路网、缓解区域内部交通压力，增强海棠湾旅游基础设施供给，加强风塘、东溪片区组团联系，促进片区土地开发利用，提高北部免税商业区、滨海酒店群及椰子洲岛的交通组织及集散能力等方面分析，本项目都是必要和紧迫的。

为保障三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目的顺利推进，根据《中华人民共和国海域使用管理法》规定，在中华人民共和国内水、领海持续使用特定海域三个月以上的排他性用海活动，任何单位或个人使用海域，必须依法取得海域使用权。据此，受三亚海棠湾投资控股有限公司的委托，海南冉升海洋科技有限公司（以下简称“论证单位”）负责编制《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目海域使用论证报告书》。论证单位在接受委托后进行了现场勘测，相关资料的搜集，依据项目基础资料，按有关论证规范编制项目的海域使用论证报告书。

1.2. 论证依据

1.2.1. 法律法规

- [1] 《中华人民共和国海域使用管理法》（第九届全国人民代表大会常务委员会第二十四次会议，自 2002 年 1 月 1 日起施行）；
- [2] 《中华人民共和国环境保护法》（第十二届全国人民代表大会常务委员会，2015 年 1 月 1 日修订施行）；
- [3] 《中华人民共和国海上交通安全法》（第十三届全国人民代表大会常务委员会第二十八次会议，2021 年 9 月 1 日修订施行）；
- [4] 《中华人民共和国海洋环境保护法》（第十二届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议，2023 年 10 月 24 日修订施行）；
- [5] 《中华人民共和国环境影响评价法》（第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议，2018 年 12 月 29 日修订施行）；
- [6] 《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》（国务院令 61 号文，自 1990 年 8 月 1 日起施行）；
- [7] 《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 475 号文，2018 年 3 月 19 日修订施行）；
- [8] 《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》（国务院令 507 号文，2018 年 4 月 4 日修订施行）；
- [9] 《建设项目环境保护管理条例》（国务院令 253 号，2017 年 10 月 1 日修订施

行)；

[10]《防治船舶污染海洋环境管理条例》(国务院令第561号,2018年3月19日修订施行)；

[11]《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(全国人民代表大会常务委员会,2020年9月1日修订施行)；

[12]《建设项目环境影响评价分类管理名录》(生态环境部令第16号,2021年1月1日修订施行)；

[13]《产业结构调整指导目录(2024年本)》(中华人民共和国国家发展和改革委员会令第7号,2024年2月1日施行)；

[14]《海南省实施<中华人民共和国海域使用管理法>办法》(海南省人民代表大会常务委员会,2015年1月1日施行)；

[15]《海南省海洋环境保护规定》(海南省人大常委会,2016年3月31日修订施行)；

[16]《海南省人民代表大会常务委员会关于实施海南省总体规划的决定》(海南省第六届人民代表大会常务委员会第三次会议,2018年4月3日施行)；

[17]《中共中央国务院关于支持海南全面深化改革开放的指导意见》(国务院,2018年4月11日施行)；

[18]《海岸线保护与利用管理办法》(中央全面深化改革领导小组第二十九次会议,2017年11月1日)；

[19]《海南省国土空间规划(2021-2035年)》(国函[2023]97号,2023年9月)；

[20]《海南省国土空间生态修复规划(2021-2035年)》(海南省自然资源和规划厅,2022年4月)；

[21]《国家生态文明试验区(海南)实施方案》(中共中央办公厅、国务院办公厅,2019年5月12日发布)；

[22]《海南省海洋主体功能区规划》(海南省人民政府,2018年3月)；

[23]《海南省三亚市国土空间规划(2021-2035年)》(三亚市人民政府,2023年7月)；

[24]《海南省海岸带及海洋空间规划(2021-2035年)》(海南省海洋厅,2024年9月)；

[25]《三亚海域使用详细规划》（三亚市自然资源和规划局，2023年5月）；

1.2.2. 标准和规范

[1]《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023）（国家海洋局，2023年7月1日起施行）；

[2]《海域使用分类》（HY/T123-2009）（国家海洋局，2009年5月1日起施行）；

[3]《海籍调查规范》（HY/T124-2009）（国家海洋局，2009年5月1日起施行）；

[4]《海域使用面积测量规范》（HY070-2003）（国家海洋局，2003年10月1日起施行）；

[5]《建设项目海洋环境影响跟踪监测技术规程》（国家海洋局，2002年4月）；

[6]《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007）（中华人民共和国农业部，2008年3月1日起施行）；

[7]《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》（海洋出版社，1986年3月1日发布）；

[8]《海滨观测规范（GB/T14914.2-2019）》（国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会，2019年10月1日起施行）；

[9]《海洋监测规范（GB/T17378-2007）》（质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会，2008年5月1日起施行）；

[10]《海洋调查规范（GB/T12763-2007）》（国家质量监督检验检疫总局和国家标准化管理委员会，2008年2月1日起施行）；

[11]《海水水质标准（GB3097-1997）》（国家环境保护局，1998年7月1日起施行）；

[12]《海洋生物质量（GB18421-2001）》（国家质量监督检验检疫总局，2002年3月1日起施行）；

[13]《海洋沉积物质量》（GB18668-2002）（国家质量监督检验检疫总局，2002年10月1日起施行）；

[14]《污水综合排放标准》（GB8978-1996）（国家环境保护总局，1998年1月1日起施行）；

[15]《宗海图编绘技术规范》（HY/T251-2018）（中华人民共和国自然资源部，2018年11月1日实施）；

[16]《城市道路工程设计规范（2016年版）》（CJJ37-2012）（住房和城乡建设部，2012年5月11日实施）；

[17]《城市道路交通设施设计规范（2019年版）》（GB50688-2011）（住房和城乡建设部，2012年5月11日实施）；

[18]《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）（交通运输部公路局，2015年1月1日实施）；

[19]《公路隧道设计规范第二册交通工程与附属设施》（JTG D70/2-2014）（中华人民共和国交通运输部，2014年8月1日实施）；

[20]《珊瑚礁生态监测技术规程》（HY/T082-2005）（国家海洋局，2005年9月1日施行）；

[21]《我国近海海洋综合调查与评价专项-珊瑚礁调查规程》（国家908专项）；

[22]《近岸海域环境监测技术规范》（HJ442-2008）（中华人民共和国环境保护标准，2009年5月1日实施）；

[23]《水上溢油环境风险评估技术导则》（JT1143-2017）（中华人民共和国交通运输部，2017年11月1日施行）；

[24]《关于规范海域使用论证材料编制的通知》（自然资规[2021]1号，自然资源部，2021年1月8日发布）。

1.2.3. 项目基础资料

[1]《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目可行性研究报告（报批稿）》（中铁第四勘察设计院集团有限公司，2024年8月）；

[2]《三亚海棠路北延下穿隧道（工可）项目岩土工程勘察报告》（中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司，2024年5月）；

[3]《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目河工物理模型试验研究》（珠江水利委员会珠江水利科学研究院，2024年6月）；

[4]《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目河工水文及

河演分析（含水文和水下地形测量）研究专题报告》（珠江水利委员会珠江水利科学研究院，2024年6月）；

[5] 《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目河流泥沙数学模型专题研究》（江苏海洋大学，2024年6月）；

[6] 《三亚热带海滨风景名胜区椰子洲景点海棠路北延下穿隧道建设项目选址方案论证专题报告》（三亚市城市规划研究院有限公司，2025年2月）；

[7] 《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目海洋环境现状调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2025年5月）；

[8] 业主提供的其他相关资料。

1.3. 论证等级和范围

1.3.1. 论证等级

本项目为隧道工程，根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234号），项目用海类型为“路桥交通用海”（一级类）中的“路桥隧道用海”（二级类）。根据《海域使用分类》（HY/T 123-2009），项目用海类型为海底工程用海（一级类）中海底隧道用海（二级类），用海方式为构筑物（一级方式）中跨海桥梁、海底隧道（二级方式）。

项目采用盾构式施工法，盾构法施工段2450m（其中穿越海域段长度1313m）。根据《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023）论证等级判据（见表1.3-1），本项目论证等级应为二级，本报告论证类型为报告书。

表 1.3-1 海域使用论证等级判据表

一级用海方式	二级用海方式	用海规模	所在海域特征	所在海域特征	论证等级
构筑物用海	暗挖海底隧道用海（隧道涉及海域1313m）	明挖海底隧道	长度大于（含）250m	所有海域	一
			长度小于250m	所有海域	二
		暗挖海底隧道	所有规模	所有海域	二

1.3.2. 论证范围

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023），结合海域特征和周边海域开发利用现状，本项目论证范围以项目用海外缘线为起点向海一侧西北向、东北向、西南向扩展。跨海桥梁、海底管线、航道等线性工程项目用海的论证，二级论证东、南、西侧各向外扩展 3km，向陆一侧至 2019 年海南修测岸线，论证面积约为 29.16km²，论证范围如图 1.3-1，论证范围拐点坐标见表 1.3-2。

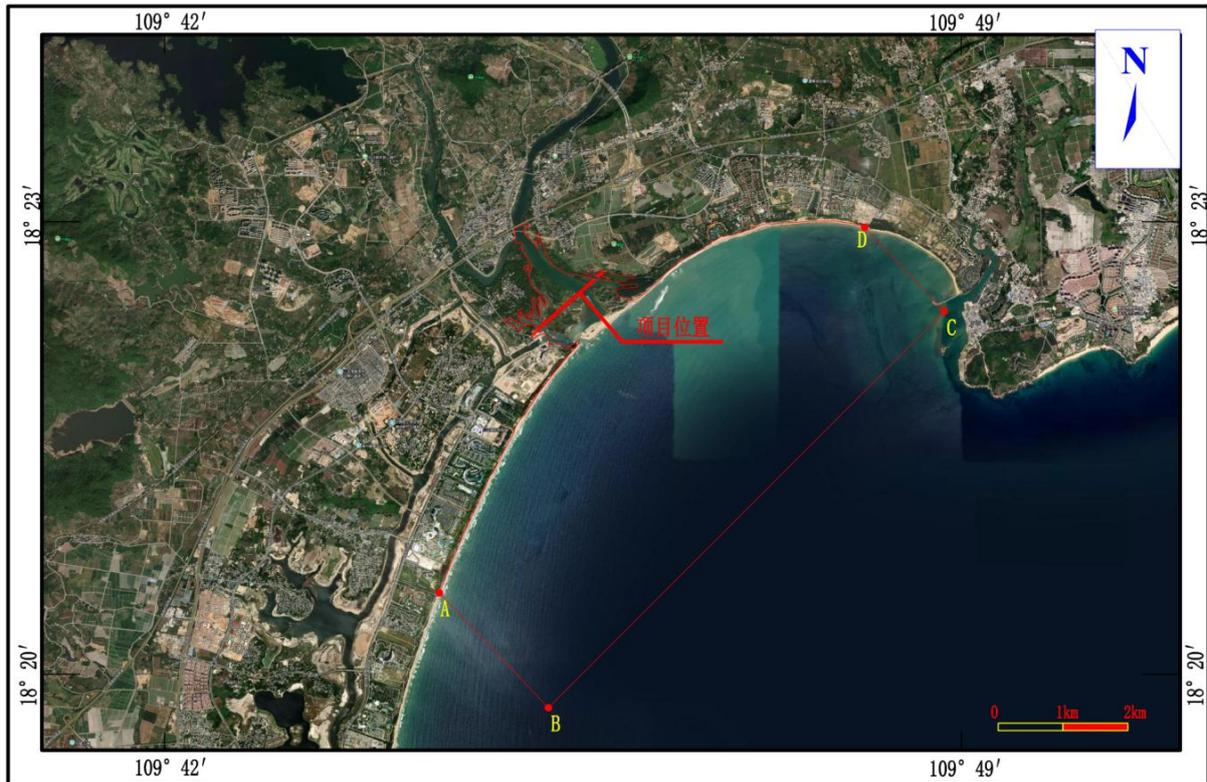


图 1.3-1 论证范围图

1.4. 论证重点

通过拟建项目使用海域及附近海域海洋自然条件、资源和环境的调查，参照《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023）的要求进行分析、研究和论证，本项目论证重点有：

- (1) 选址（线）合理性分析。主要包括工程安全以及工程施工的难易程度适宜性等；
- (2) 用海面积的合理性。主要包括界址点的界定、用海面积的界定等；
- (3) 开发利用协调分析。主要包括项目用该对周边项目用海的影响，利益相关者界定及协调分析；

(4) 资源环境影响分析。

2. 项目用海基本情况

2.1. 用海项目建设内容

2.1.1. 项目建设内容

(1) 项目名称：三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目

(2) 项目性质：新建项目

(3) 建设单位：三亚海棠湾投资控股有限公司

(4) 工程总投资：330075 万元，资金来源为政府投资，项目建设工期为 44 个月。

(5) 地理位置：本工程位于三亚市海棠路与龙海路交叉口，线位沿海棠路北延下穿椰子洲岛名声风景区，北至山海高速与柳州路交叉口；中心地理位置为北纬 $18^{\circ}23'25''$ 、东经 $109^{\circ}45'55''$ ，项目位置见图 2.1-1 所示。



图 2.1-1 项目位置图

(6) 项目建设内容及规模

1) 本项目建设内容：三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目路线以三亚国际免税城二期东侧的既有海棠北路为起点，顺接后向北布线，从渠道及海棠湾酒店中间穿越，继续下穿椰子洲岛保护区，终点顺接山海高速与椰洲路预留的交叉口，路线长约 3.589km，采用设计速度 60km/h 的城市主干路标准进行建设，路基段标准横断面 42m，主路采用双向四车道，两侧设置非机动车道及人行道；其中在隧道敞开段，在标准横断面基础上中间增设双向四车道道路，横断面宽度 57.5m。其中隧道段长 3.1km，包括盾构段 2.5km，采用双洞分离的双向四车道，盾构隧道外径 11.8m，建设内容包括隧道工程（结构工程、通风工程、给排水与消防系统、隧道供配电及照明等）、接线道路工程、附属工程（新建 1 处管理中心，2 座风塔及地面疏散口）等。

2) 本项目申请用海建设内容：以既有海棠北路与龙海路交叉口为起点，沿海棠路向北下穿椰子洲岛风景名胜区，终点顺接山海高速与椰洲路预留的交叉口。隧道全长约 3785m，其中盾构段长约 2450m，明挖段长约 1335m；穿越椰子洲岛风景保护区及水域段采用暗挖隧道盾构法施工，两岸采用明挖法施工，新增用海面积为 4.8656ha，不占用岸线。

表 2.1-1a 项目规模表

	项目	起点里程	终点里程	长度 (m)
隧道工程	左线南岸敞开段	ZK+235	ZK+395	160
	左线南岸暗埋段	ZK+395	ZK+525	130
	右线敞开段	YK+345	YK+525	180
	南岸合建段	ZK+525	ZK+886	361
	南岸工作井	ZK+886	ZK+910	24
	盾构段	ZK+910	ZK3+360	2450
	北岸工作井	ZK3+360	ZK3+384	24
	左线北岸暗埋段	ZK3+384	ZK3+900	516
	左线单层敞开段	ZK3+900	ZK4+020	120
	道路工程	起点段接线地面道路	K0+000.000	K0+860.488
终点接线道路（主线道路）		ZK4+020.000	ZK4+181.857	161.857
终点接线道路（规划支路）		AK0+000.000	AK0+280.000	280
建设工程总长				4181.857
隧道涉海段				1313
隧道总长度				3785

表 2.1-1b 项目工程及建设内容一览表

名称	内容	建设规模
主体工程	隧道工程	<p>隧道全长约 3785m，其中盾构段长约 2450m，明挖段长约 1335m，涉海段隧道长越 1313m；</p> <p>本项目隧道平面南起龙海路交叉口北 235m，左右线先后入地，由左右线并层转化为上下叠层形式向北敷设，隧道左线置于下层，右线置于上层。于海棠北路路基边坡下方空地设置南岸工作井。后以盾构形式穿越椰林路桥梁桩基，侧穿 1#排水闸，下穿椰子洲风景名胜区及藤桥河，至北岸下穿基本农田后设置北岸工作井，随后隧道由上下叠层转为左右并层，下穿规划支路后出地，衔接路基段接椰洲路交叉口。</p>
	道路工程	<p>道路段采用城市主干路标准，建设范围含起点段接线道路、终点段接线道路及规划支路改建段。起点段接线地面道路长 860.488m (K0+000.000~K0+860.488)，设计速度与既有海棠路保持一致，采用 40km/h。其中起点衔接段标准横断面宽度 48m，标准横断面采用双向八车道，两侧设置非机动车道及人行道；海棠路改建段，标准横断面宽度 37m，采用双向四车道，两侧设置非机动车道及人行道。终点接线道路总长 441.857m，其中主线地面道路 161.857m (ZK4+020.000~ZK4+181.857)，设计速度 60km/h，标准横断面宽度 37m，标准横断面采用双向六车道，两侧设置非机动车道及人行道；规划支路长 280m，(AK0+000.000~AK0+280.000)，设计速度 20km/h，标准横断面宽度 15m，双向二车道，两侧设人行道。道路建设内容包含道路工程、给排水工程、电力工程、交通工程及景观绿化工程等。</p>
	工作井	设置 2 座工作井。
配套工程	供电系统	<p>在隧道南岸、北岸工作井各设置 1 座 10kV 配电所为一半隧道供电，规模均为二进十出，采用小电阻接地工作方式。其中南岸 10kV 配电所由地方电网采用全电缆型式接引两路独立 10kV 电源供电，10kV 电源电缆采用 YJV22-8.7/15kV3x300mm² 交联聚乙烯绝缘钢带铠装三芯铜芯电缆，本阶段两路电源合计暂按 16km 计列。</p> <p>北岸 10kV 配电所由南岸 10kV 配电所站馈接引 2 路 10kV 电源供电，10kV 站馈高压电缆采用 YJV22-8.7/15kV3x120mm² 交联聚乙烯绝缘钢带铠装三芯铜芯电缆。南岸、北岸工作井 10kV 配电所均合建 1 座双电源 10/0.4kV 变电所。在隧道废水泵房旁设置 1 座双电源 10/0.4kV 变电所，为隧道区间废水泵房及隧道风机供电。在隧道控制管理中心设置 1 座双电源</p>

		<p>10/0.4kV 变电所，为管理中心供电。在隧道进出口各设 1 座双电源 10/0.4kV 箱式变电站，为进出口雨水泵房供电。所有 10/0.4kV 变电所、箱式变电站均由就近 10kV 配电所站馈接引 2 路 10kV 电源供电。重要或大型动力设备采用放射式供电方式，一般设备采用放射式和树干式相结合的混合式配线网络。动力设备控制方式一般采用就地控制，部分设备控制纳入机电设备监控系统。</p>
	疏散口	<p>盾构段：盾构段在行驶前进方向隧道左侧路缘带及防撞侧石处，纵向间距 80m 交叉设置疏散口进入侧部疏散楼梯间。上下层车道疏散口通过楼梯相连，能有效快速地将人员从事故隧道疏散至非事故隧道。</p> <p>明挖暗埋段：明挖暗埋段平均间距 200~250m，将叠层结构加宽，设置疏散楼梯间实现上下层疏散。</p>
	管理中心	<p>管理中心呈 L 形布局，主要通过门厅内设置的两部电梯衔接交通，另在东西两侧设置两部楼梯解决疏散问题。</p> <p>管理中心共地上三层，层高 4.2m，其中一层主要为水、电设备用房、食堂及配套用房、消防水池、消防控制室、卫生间等；二层为主要使用功能，核心房间隧道中央控制室设置于管理中心西侧，设置为两层通高大空间，剩余空间主要为隧道办公室，会议室，隧道休息室及卫生间等，其中中央控制室设置朝南露台。</p> <p>三层功能为隧道活动室、风机房、中央控制室通高部分及屋顶露台。</p>
	风塔	<p>设置两座风塔，分别位于南北工作井附近绿化带中。风塔高度结合项目环评要求本阶段按 15m 考虑，风口净面积不小 27m²。</p>
公用工程	综合监控系统	<p>包括中央计算机系统、交通监控系统、交通流视频检测系统、隧道结构体健康监测系统、隧道数字化智能运维平台。</p>
	通信系统	<p>隧道自建有线电话系统，即公务电话、紧急电话合一。采用数字调度交换机技术，使得各类电话制式相同、网管统一、故障自诊断能力强。</p>
	给排水	<p>隧道采用雨污分流排水系统，洞口设置隧道雨水排水系统，隧道内部设置废水排水系统。</p>
	消防系统	<p>每座工作井各设一座消防泵房，每座消防泵房旁配套设置 2 座消防水池。每座消防泵房内配套设置水喷雾泵组 2 台，1 用 1 备。消火栓泵组 2 台，1 用 1 备。泡沫泵 2 台，1 用 1 备。并在泵房内配套设置 2 座泡沫液储罐。</p>

	机械系统	隧道内设置 2 套平开立转式防淹门（长 9.55m× 宽× 5.3m）；在两岸两个工作井内各停放 1 辆电瓶运输车，每台设置充电插座。
	机电设备监控系统（BAS）	隧道控制管理中心设置一台火灾报警控制主机，隧道南、北工作井弱电设备房间内各设一台火灾报警控制分机及一组光纤光栅感温探测处理机。
	火灾自动报警系统（FAS）	于工作井内设置 FAS 控制机，FAS 控制机负责隧道区域的保护；于工作井内设置线型光纤感温探测机组负责隧道相应区域的自动报警功能；隧道内 FAS 控制机通过 FAS 专用环网接入隧道管理中心的中央监控系统。
	供电系统	采用 LED 灯作为基本照明的主光源。隧道照明供电采用 0.4kV 低压供电的方式，同时布置消防应急照明及疏散指示标志灯。
环保工程	景观绿化工程	①中分带：选择大王椰子/粉花风铃木+白花鸡蛋花+洋金凤/重瓣扶桑等，乔木种植间距 5 米/株。 ②侧分带：选择苦楝+大花紫薇+台湾草，种植间距 5 米/株。 ③人行道：选用红花羊蹄甲作为行道树，采用树穴种植，搭配树池算子，种植间距 6 米/株； ④渠化岛：选用狐尾椰+台湾草进行组团布置。
	污水收集工程	雨水泵房负责将隧道敞开段的雨水抽排至市政雨水管。废水泵房负责将隧道消防废水、隧道渗漏水 and 清洗废水抽排至市政污水管。
临时工程	临时施工场地	项目设置 2 个施工场地，分别位于北边的北岸工区和南边的南岸工区，占地面积共 55890m ² 。
	拆迁工程	征地拆迁的房屋面积为 1097.25m ² 。

2.2. 平面布置和主要结构尺度

2.2.1. 平面布置

本项目起于海棠北路与龙海路交叉口，经 235m 路基段后设置隧道 U 型槽，左右线先后入地，由左右线并层转化为上下叠层形式向北敷设，隧道左线置于下层，右线置于上层。于海棠北路路基边坡下方空地设置南岸工作井。后以盾构形式穿越椰林路桥梁桩基，侧穿 1#排水闸，下穿椰子洲风景名胜区及藤桥河，至北岸下穿基本农田后设置北岸工作井，随后隧道由上下叠层转为左右并层，下穿规划支路后出地，衔接路基段接椰洲

路交叉口。

隧道采用城市主干路、设计速度 60km/h、双向四车道的建设标准，隧道全长约 3785m，其中隧道盾构段长约 2450m，两岸明挖段长约 1335m；穿越椰子洲岛风景保护区及水域段采用盾构法施工，盾构外径 14.5m。两岸采用明挖法施工。建设内容为隧道工程（结构工程、通风系统、给排水与消防系统、供配电及照明等）、接线道路工程、附属工程（隧道管理中心，风塔及地面疏散口）等。接线道路建设范围含起点段接线道路、终点段接线道路及规划支路改建段。起点段接线地面道路长 860.488m（K0+000.000~K0+860.488），设计速度与既有海棠路保持一致，采用 40km/h。其中起点衔接段标准横断面宽度 48m，标准横断面采用双向八车道，两侧设置非机动车道及人行道；海棠路改建段，标准横断面宽度 37m，采用双向四车道，两侧设置非机动车道及人行道；终点接线道路总长 441.857m，其中主线地面道路 161.857m（ZK4+020.000~ZK4+181.857），设计速度 60km/h，标准横断面宽度 37m，标准横断面采用双向六车道，两侧设置非机动车道及人行道；规划支路长 280m，（AK0+000.000~AK0+280.000），设计速度 20km/h，标准横断面宽度 15m，采用双向二车道，两侧人行道标准。接线道路建设内容包含道路工程、给排水工程、电力工程、交通工程及景观绿化工程等。

2.2.1.1. 隧道工程

（1）主要控制因素

①风景名胜保护区

隧道线位涉及一、二级风景保护区。根据规划要求，一、二级风景保护区为严禁开发建设区，故隧道采用盾构法施工。

②四季酒店及停车场（停工状态）

隧道入口位于四季酒店出入口附近，隧道敞开段起点避开酒店出入口。隧道南岸明挖段选择向北绕避，南岸工作井设置于路基下方空地。

③椰林路跨海棠路桥梁

隧道以盾构形式下穿椰林路桥梁，隧道盾构结构需避让桥梁桩基。

④1#排水闸

受藤桥河 1#排水闸位置影响，隧道盾构段选择绕避水闸，由北侧穿 1#水闸基础。

⑤基本农田

为避免北岸工作井施工侵占基本农田，隧道于距离基本农田边界 24m 处设置北岸工作井。

(2) 平面布置设计

本项目隧道平面南起龙海路交叉口北 235m，左右线先后入地，由左右线并层转化为上下叠层形式向北敷设，隧道左线置于下层，右线置于上层。于海棠北路路基边坡下方空地设置南岸工作井。后以盾构形式穿越椰林路桥梁桩基，侧穿 1#排水闸，下穿椰子洲风景名胜区及藤桥河，至北岸下穿基本农田后设置北岸工作井，随后隧道由上下叠层转为左右并层，下穿规划支路后出地，衔接路基段接椰洲路交叉口。见图 2.2-1。



图 2.2-1 隧道平面布置图

(3) 隧道纵断面设计

本项目主线隧道纵断面设计主要根据实测水下地形资料、河床冲刷深度、隧道最小覆土厚度及东西两岸接线道路标高等因素综合确定。

本项目隧道运营期盾构段顶部百年冲刷线以下覆土厚度需满足不小于4.5m的要求。结合最新水文专题，最大冲刷出现在藤桥东河口段，数模+物模包络下百年河床冲刷标高为-6.84m，隧道顶部覆土13.4m，远大于4.5m，满足抗浮要求；施工阶段现状河床底以下1倍盾构外径的覆土要求，目前施工期现状河床一下覆土最小厚度约17m，大于1D14.5m，满足埋深要求。

海棠路北延下穿隧道上层（右线）整体方向为南往北，下层（左线）整体方向为北

往南。最大纵坡 4.5%，最小纵坡 0.3%。

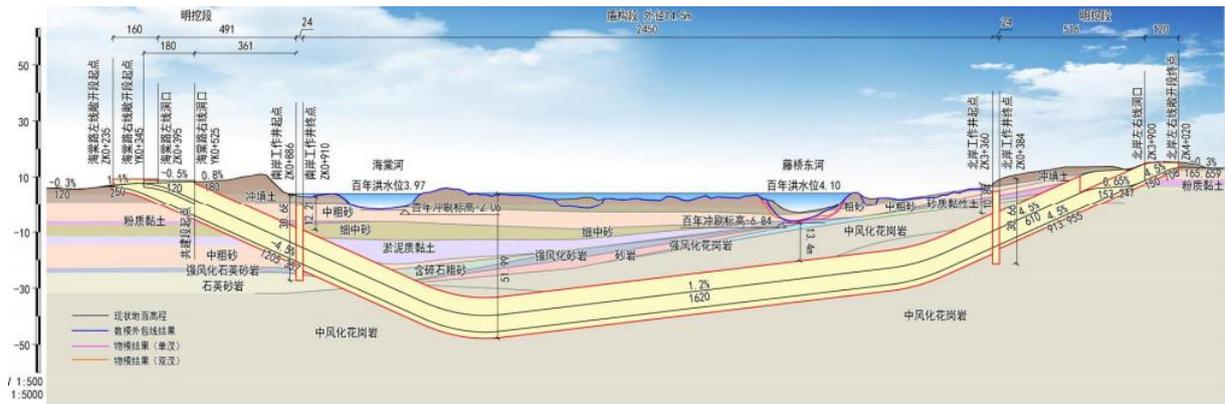


图 2.2-2 隧道纵断面布置图

表 2.2-1 隧道方案规模表

项目	项目	起点里程	终点里程	长度 (m)	项目	起点里程	终点里程	长度 (m)
	隧道工程	左线南岸敞开端	ZK+235	ZK+395	160	右线敞开端	YK+345	YK+525
左线南岸暗埋段		ZK+395	ZK+525	130				
南岸合建段		ZK+525	ZK+886	361				
南岸工作井		ZK+886	ZK+910	24				
盾构段		ZK+910	ZK3+360	2450				
北岸工作井		ZK3+360	ZK3+384	24				
左线北岸暗埋段		ZK3+384	ZK3+900	516				
左线单层敞开端		ZK3+900	ZK4+020	120				
隧道全长				3785				

2.2.1.2. 道路工程

(1) 道路路线设计

① 平面总体布置

隧道南出口接地点位于龙海路交叉口北侧，南进口位于龙海路北侧，由于隧道出口距离交叉口较近，因此龙海路交叉口与隧道明挖段之间建议采用双向八车道，一步实施到位，可满足远期交通量。

隧道主线北出入口接地点位于柳州路南侧，隧道洞口位于 ZK3+900，结合既有柳州路交叉口进行交通组织，并适当调整规划支路，地面标准段采用双向六车道进行交通组

织。



图 2.2-3 道路平面示意图

②纵断面布置

隧道起点设置明挖段顺接海棠路路面，设置隧道明挖暗埋段下穿，于在建酒店西侧空地设置盾构机进出风井，道路采用盾构下穿海棠河及椰子洲岛风景区，在椰子洲岛北岸设置盾构进出风井后，迅速抬高纵断面与椰州路交叉口既有标高顺接。

风塘片区，由于海棠河高程、冲刷及覆土限制，单洞双层方案需按左右幅前后出洞的形式进行交通组织。东溪片区，由于单管方案下层高程较低，穿越椰子洲岛后，为了尽快出地，采用较大纵坡迅速抬高纵断面，减少对生态林地的占用，按左右幅同时出洞的形式进行交通组织。

由于采用上下层隧道的组织形式，根据风塘片区及东溪片区既有交通出入分部情况，为尽量疏解多的交通，隧道上层车流为南侧风塘片区往北侧东溪片区；隧道下层由于标高较低，前后均需多延伸一段才能出地，车流为北侧东溪片区往南侧风塘片区。

根据水文资料，海棠河百年洪水位 3.97m，藤桥东河百年洪水位 4.10m；起点洞口接地点地面标高约 6.45m，终点接地点地面标高约 13.48m，且接地点均设置反坡，避免隧道内进水。且由于起点两侧均存在现状酒店停车场等，为平顺衔接，不宜设置太大高差，后期结合内涝水位专题，进一步对敞开段挡墙高度开展设计。

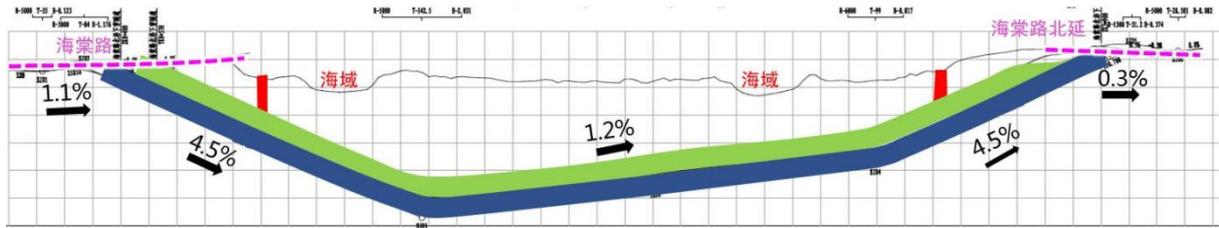


图 2.2-4 道路纵断面示意图

③标准横断面布置

a. 南岸起点段接线道路总体布置

隧道南进出口接地点位于龙海路交叉口北侧，由于隧道出口距离交叉口较近，因此龙海路交叉口与隧道明挖段之间建议采用双向八车道，一步实施到位，可满足远期交通量。

起点衔接段考虑交叉口交通组织，部分压缩中分带位置后，采用左幅四车道，右幅四车道，满足车辆进出的需求。衔接道路平面与纵断面按既有道路平纵面拟合，尽量少填少挖，不影响道路两侧建筑，在两侧改扩建，绕过隧道洞口后，再将线位拟合顺接至既有道路，南岸地面道路终点与既有海棠路顺接。

(2) 路基路面设计

①路基设计原则

a. 根据《城市道路路基设计规范》（CJJ194-2013）并结合道路沿线地质、水文、土壤等情况进行路基设计。

b. 路基设计应保证路基的强度及稳定性。路基必须做到密实、均匀、稳定，确保路基顶面回弹模量值满足设计要求。同时应做好路基边坡防护设计，避免与防止滑坡及塌方等工程事故的发生。

c. 路基填筑材料应因地制宜，就近合理采用当地材料，节省工程投资。

d. 路基设计应满足防洪泄洪要求。

e. 路基设计要注意环境保护要求，注意工程景观效果。

③路基填筑与压实

路基的填筑材料应因地制宜，就近取土。路基填筑前应做好平整场地工作，先挖除地表杂填土、腐植土、耕植土、植被等；路基填筑应分层均匀碾压，分层压实厚度不大

于 30cm，路基压实采用重型击实标准，路基填料的强度、粒径及压实度应满足规范要求，确保土基顶面回弹模量机动车道不应小于 60MPa，非机动车道不应小于 30MPa，人行道不应小于 20MPa。遇到地面自然横坡陡于 1: 5 时（包括纵断面方向）时应挖台阶再分层压实，台阶宽度为一般为 2m，台阶底应有 2%向内倾斜的坡度。路基填挖衔接处必须采取超挖回填的措施，进行压实。路基填料的强度、粒径及压实度具体要求如下表：

表 2.2-1 路基填料强度和粒径要求表

项目分类	路面底以下深度 (cm)	CBR (%)		填料最大粒径 (mm)
		主干道		
填方路基	上路床	0~30	8	10
	下路床	30~80	5	10
	上路堤	80~150	4	15
	下路堤	150 以下	3	15
零填及路堑路床	0~30	8	10	
	30~80	5	10	

路基填筑应严格控制填料的粒径、压实度和均匀性，对每一段路基均须分层摊铺、分层均匀碾压。路基顶面回弹模量为设计指标，机动车道不应小于 60MPa，非机动车道不应小于 30MPa，人行道不应小于 20MPa。土质路基的压实度不应低于下表：

表 2.2-2 路基压实度要求表

项目分类	路床顶面以下深度 (m)	路基最小压实度 (%)	
		主干路	支路、非机动车道、人行道
填方路基	0~0.8	95	92
	0.8~1.5	93	91
	>1.5	92	90
零填及挖方路基	0~0.3	95	92
	0.3~0.8	93	—

注：表中数值均为重型击实标准。

④路基表层处理

a.根据初步勘察，道路段路基下部素填土较厚，因此考虑路基底 0.8m 范围内换填石渣，基底开挖 80cm 后，进行震动碾压，之后回填 80cm 石渣。压实度（重型）不应小于规范要求。

b.填筑路堤前，应将地基表层碾压密实。在一般土质地段基底的压实度（重型）不应小于 90%。路基填土高度小于路面和路床总厚度时，应将地基表层土进行超挖并分层回填压实，其处理深度不应小于重型汽车荷载作用的工作区深度。

c.其它未尽事宜可参照相关规范要求处理。

⑤低填浅挖路基处理

为确保路基强度和变形要求，低填浅挖路基，在路基工作影响深度 1.5m 范围内，若地基 CBR 值、压实度或土基回弹模量满足不了设计相应层位要求时，应超挖至路面结构底面以下 1.5m 并换填透水性材料或回填合格土（受水影响采用透水性材料）。处理后的低填浅挖路基的上、下路床的压实度均不得小于 96%。低填浅挖路基填筑应严格按照现行《城市道路路基设计规范》（CJJ194-2013）、《公路路基设计规范》（JTCD30-2015）与《公路路基施工技术规范》（JTG/T3610-2019）相关规定执行。

⑥一般路基防护

为了加强路基的稳定性及防止雨水对路基边坡的冲刷，需要对路基边坡进行防护。

边坡防护以边坡设计坡率为依据，本着稳定、方便施工、经济、美观的基本原则，在满足路基边坡稳定的前提下，路基防护应充分考虑环保和景观的要求，以植物防护为主、工程防护为辅进行设计。

结合当地做法，本项目边坡防护采用框格植草，坡率为 1: 1.5。

⑦路面设计原则

本次设计按照《城市道路路基设计规范》（CJJ194-2013）、《城镇道路路面设计规范》（CJJ169-2012）及《城市道路工程设计规范》（CJJ37-2012），根据道路等级、使用功能要求、交通量及其组成情况和当地材料、气候、水文、土质等自然条件，并结合本地的实践经验，遵循因地制宜、合理选材、方便施工、利于养护的原则进行路面结构设计。

a.道路等级：城市主干路，设计时速 50km/h；

b.路面设计标准荷载：BZZ-100kN（双轮组单轴载 100kN）；

c.路面结构达到临界状态的设计年限：沥青路面为 15 年；

d.公路自然区划：华南沿海台风区IV7。

⑧路面材料选用

a.机动车道路面面层

I) 沥青路面与水泥混凝土路面比较

高级路面相应可采用的路面面层有沥青路面和水泥混凝土路面两种类型。沥青路面和水泥混凝土路面在技术上各有优缺点，原则上均能满足城市道路的需要。两种路面比较情况如下表。

表 2.2-3 沥青路面与混凝土路面比选表

序号	项目	沥青路面	水泥混凝土路面
1	施工工艺	施工工艺较复杂，需配备专门技术和设备。	施工工艺简单，所需设备较少。
2	施工影响	施工后即可开放交通。	施工后需养护一段时间后才能开放交通。
3	强度	温度稳定性差，耐久性差，使用年限较短。	强度高，稳定性好，耐磨，耐久性好，使用年限较长。
4	养护	修复容易、易于养护，但施工时要有较高的气温。	路面边部和板角容易破损，损坏后修复困难，修补工作量大。
5	明色性	夜间能见度差。	夜间能见度好。
6	行车效果	路面连续、平整，噪声和振动小；路面颜色黑，视觉好，行车舒适，不易疲劳。	路面接缝多、不平整，噪声和振动大；路面颜色灰白，视觉差，行车不舒适，容易疲劳。
7	排水性	可满足路面排水要求。	路面排水性能较好。
8	造价	造价较高。	造价适中。

从上表可见：水泥混凝土路面在施工工艺、强度、工程造价等方面要优于沥青路面，但沥青路面在行车效果方面又明显优于水泥混凝土路面，其景观性、环保性等均优于水泥混凝土路面，而且沥青路面对路基变形的适应性较强，尤其适用于软土发育地区。另外，早期由于沥青的质量不好，易老化、开裂、泛油，还对环境有一定的污染，并且稳定性及耐久性均较差，现在随着沥青提炼质量的提高，改性沥青、SMA 工艺的成熟和广泛运用，这些问题都得到了解决，沥青路面的优越性则充分体现出来。通过近几年城市道路的运行情况来看，沥青路面的使用状况要优于水泥混凝土路面。

考虑到沥青路面在行车效果性、景观性、环保性及对路基变形的适应性等方面有显著的优点，并且考虑到城区的高品质定位，以及该片区已经建成和即将实施的项目均采用沥青路面，因此本项目推荐采用沥青混凝土路面结构。

2.2.2. 设计主尺度

隧道设计主要原则：

- (1) 结构应满足施工、运营、抗震、防排水、防腐和防火的要求，并具有足够的耐久性，以满足使用期需要，做到安全、经济、适用、可行。
- (2) 主体结构设计的使用年限为 100 年。
- (3) 结构的内净空尺寸应满足建筑限界和功能使用以及施工工艺的要求，并考虑施工误差、测量误差、结构变形及后期沉降的影响。
- (4) 结构安全等级为一级，重要性系数取 1.1。
- (5) 车辆荷载等级：城-A 级。
- (6) 主体结构按 100 年基准期超越概率 10% 的地震动参数设计，按超越概率 3% 的地震动参数验算，并采取抗震构造措施。按国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》（GB50223）抗震设防类别，本工程抗震设防类别为乙类。
- (7) 基坑设计应满足安全可靠、经济合理、施工便利的要求。
- (8) 结构计算应根据施工阶段和运营阶段可能出现的最不利荷载组合，进行强度、刚度、裂缝和稳定性验算。
- (9) 结构进行抗浮验算时，按最不利情况进行验算。分施工阶段与运营阶段两种工况进行。抗浮安全系数：施工期：不小于 1.05；运营期：不小于 1.10（不考虑摩阻力）。
- (10) 设计洪水频率按百年一遇设计，按三百年一遇校核。盾构段设计低水位按历史最低水位计算；明挖段设计水位：高水位按规划地面标高考虑，低水位按低于结构底板以下考虑。
- (11) 盾构隧道衬砌宜采用具有一定刚度的柔性结构，应限制其变形和接头的张开量，满足结构受力和防水要求。盾构隧道衬砌结构变形验算：计算直径变形不大于 $0.3\%D$ （ D 为隧道外径）。
- (12) 两节明挖结构之间变形缝宽度 20mm，并采取防差异沉降措施。
- (13) 明挖段结构内、外表面均海边氯盐环境考虑，环境作用等级为结构迎土侧为 III-C 级，背土侧为 III-D 级；盾构段结构内外侧为 III-E。
- (14) 主体结构构件在永久荷载和基本荷载作用下，按荷载短期效应组合并考虑长

期效应组合的影响进行结构构件裂缝验算，裂缝宽度：迎土面、背土面均按不大于 0.2mm。当计及地震或其他偶然荷载作用时，可不验算结构的裂缝宽度。

(15) 防火等级：主体结构耐火等级按一级考虑，承重结构采用 RABT 标准升温曲线测试，耐火极限不低于 2h。

(16) 人防荷载等级：六级。

2.2.2.1. 隧道工作井设置

工作井平面位置需预留较为充裕的施工场地，同时纵断面上作为承接明挖和盾构隧道区段的关键节点，工作井处盾构覆土厚度需满足抗浮要求。综上，南岸工作井设置在海棠北路路基坡下位置，距离路基坡脚约 11m；北岸工作井设置在基本农田北侧约 24m 位置。见图 2.2-1。

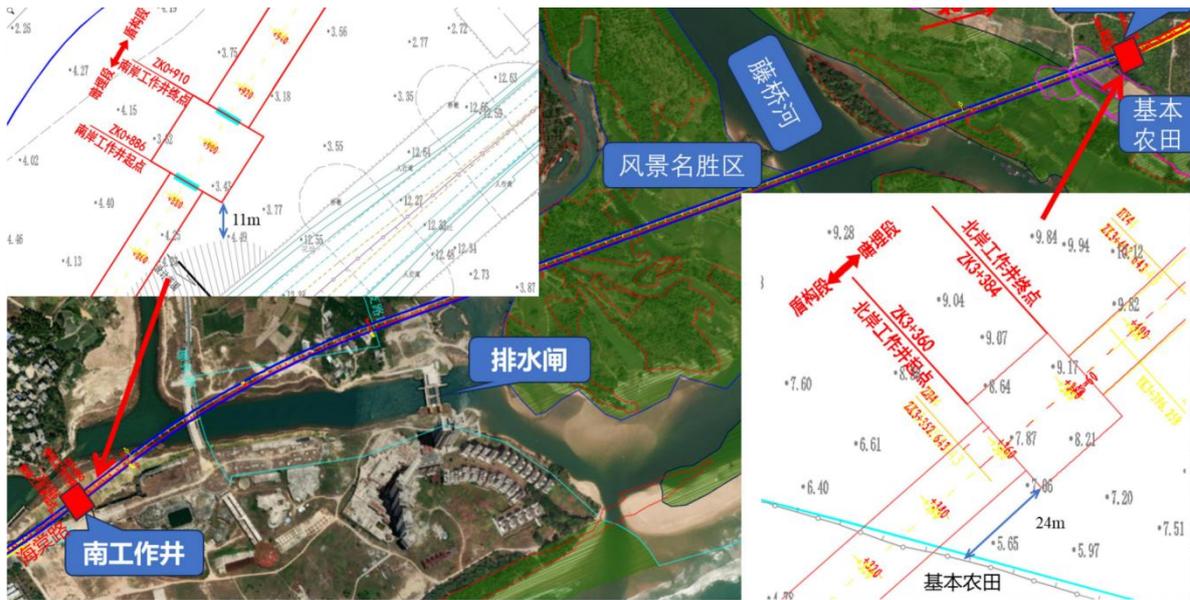


图 2.2-1 南北岸工作井布置图

2.2.2.2. 隧道洞口、起终点设置

(1) 南岸隧道洞口及起点

为保证龙海路与海棠路交叉口功能，并尽可能控制工程规模，南岸隧道左右线洞区间隔 130m 前后设置于龙海路与海棠北路交叉口北侧。隧道左线起点距交叉口 235m，右线起点距交叉口 345m。

图 2.2-2 南岸隧道洞口及接起点布置图

(2) 北岸隧道洞口及终点

北岸隧道处工作井后平面左右线分离，于北岸工作井北侧 516m 设置洞口后左右线同时出地，经 120m 敞开段同时接地。

图 2.2-3 北岸隧道洞口及接终点布置图

2.2.2.3. 圆隧道结构内径的确定

圆隧道的盾构内半径，主要取决于建筑限界和设备布置空间设计要求，同时考虑施工误差、测量误差、曲线段衬砌结构拟合误差、不均匀沉降等因素。根据已有的设计、施工经验，综合考虑隧道轴线的施工误差为±100mm，隧道后期不均匀沉降±50mm，确定隧道的盾构内直径为 13.3m，外径 14.5m，管片厚度 0.6m。

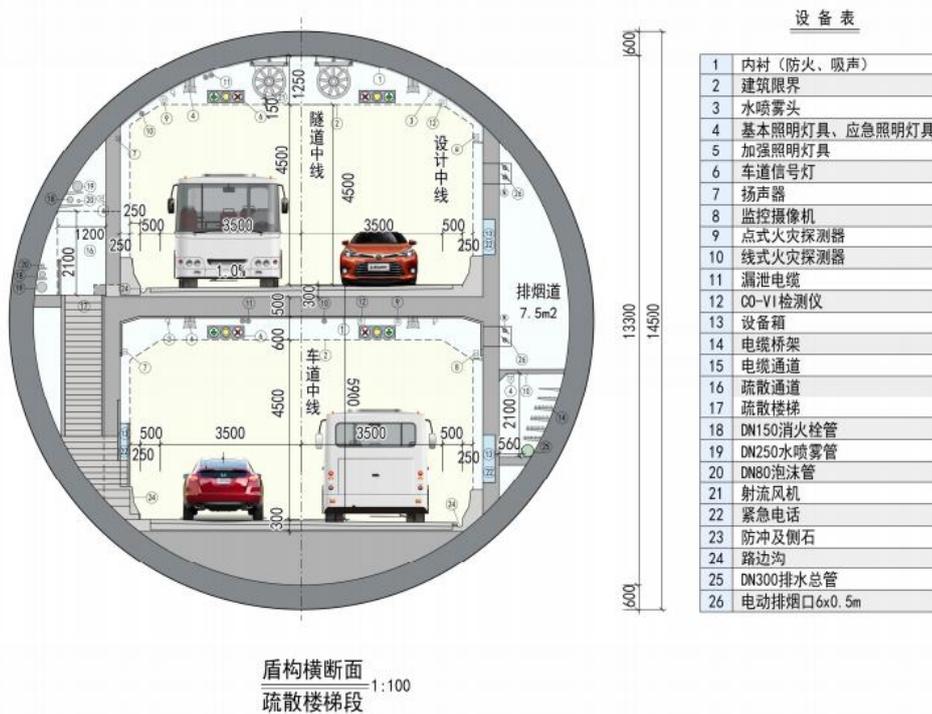


图 2.2-4 隧道盾构段横断面布置图

2.2.2.4. 主线矩形断面设计

明挖暗埋隧道横断面设计时，主要考虑以下几方面的因素：

(1) 设备布置

隧道内设备同盾构段，设备布置时考虑矩形隧道特点，各种设备箱布置在隧道内两侧内衬预留孔洞内。通信信号电缆及电力电缆布置在结构中隔廊的上部，各种给排水管布置在中隔廊的底部，考虑电缆桥架及检修道的宽度，其余设备均根据设备安装、使用、维护要求布置在隧道顶部或侧墙。顶部设备安装空间为45cm，侧墙设备安装空间为80cm。

(2) 考虑隧道内装修的要求

隧道内装修主要目的是提供舒适、美观的行车环境。顶部装修要求具有防水、防火、吸收噪音的功能，隧道两侧采用装饰板（骨架安装）进行装修，装修层厚度为5cm。

(3) 各种误差

侧墙考虑施工误差5cm，顶板考虑施工误差5cm。

(4) 结构变形及不均匀沉降

顶板预留5cm。

(5) 路面层

路面层有基层和面层组成，厚度取25cm。

主线明挖横断面如下图所示。

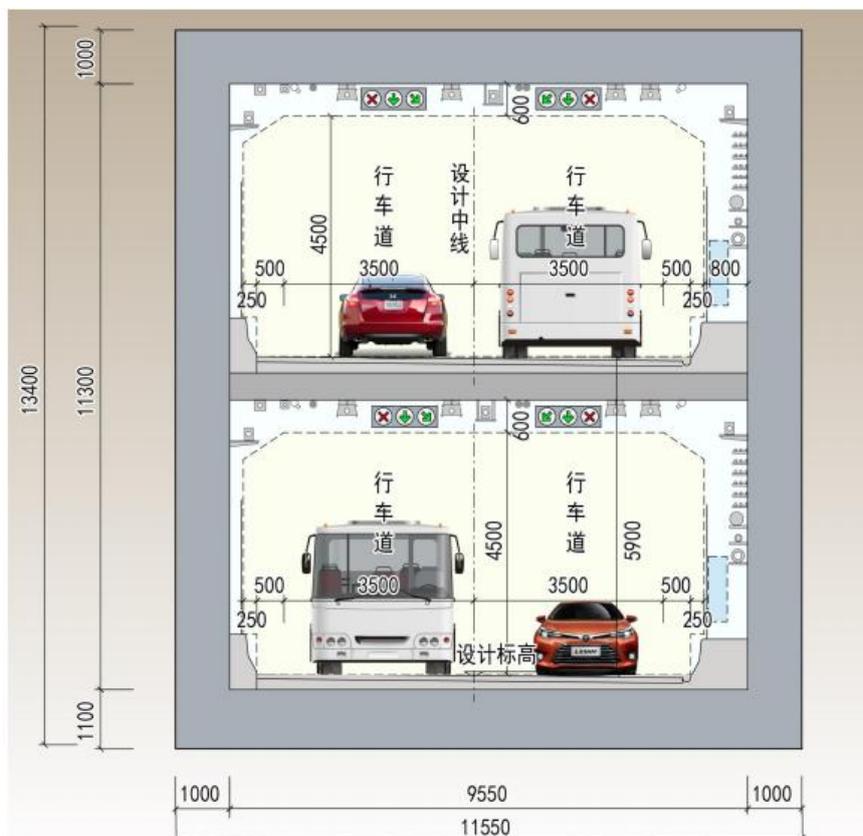


图 2.2-5 主线双向 4 车道横断面示意图

2.2.2.5. 盾构段结构设计

本工程拟采用通用楔形环管片结构形式。

(1) 衬砌环宽及楔形量

钢筋混凝土管片在整个机械系统配备合理协调的情况下，随着设计、施工经验的成熟，衬砌环宽加大后，使同等长度隧道内环缝数量减少，漏水环节减少，对提高隧道的纵向刚度，加快施工进度，降低造价也均有利。同时选择环宽时应考虑千斤顶行程能力、线路曲线以及施工技术水平等方面。

按国内外已建盾构隧道的情况，小直径的地铁区间隧道一般采用 1.0m~1.5m 的环宽较多。大直径的隧道采用 2.0m 较多：武汉长江越江隧道、南京纬七路越江隧道、钱江隧道、上海崇明越江隧道、杭州庆春路隧道、荷兰“绿色心脏”隧道等。

随着盾构机施工技术的发展，目前已能够施工较大环宽的管片衬砌。考虑国内、外的成熟经验，结合本工程的线路、工程地质、水文地质以及施工机械、施工技术等实际情况，本次设计管片宽度取环宽 2.0m。

衬砌环楔形量根据隧道平面曲线半径、竖曲线半径及线路纠偏需要等因素确定，通过比较分析，本工程 14.5m 盾构拟采用通用双面楔形环管片。楔形量按最小平曲线半径 2500m 计算，取 48mm。该方案能满足本工程直线、曲线段及盾构施工纠偏控制的需要，并为机械设备今后的使用预留了一定的空间。

(2) 管片厚度

管片的厚度设计得过小，则衬砌环的变形量很大，对施工中的拼装和隧道防水不利。如果管片的厚度设计得太大，则会增加工程造价。根据工程类比以及不同厚度下管片结构的受力状态分析，设计选择管片的厚度为 600mm。

(3) 分块方式

衬砌环分块需综合考虑管片连接方式、结构受力、管片运输、吊装、拼装等因素。衬砌环分块时，按以下设计思路进行设计：

- ①类比国内外类似工程，考虑盾构机械的拼装能力，衬砌环分块按照 10 块考虑。
- ②考虑到管片吊装、运输方便，单块管片弧长不宜超过 5.5m。

③管片拼装采用错缝拼装，管片划分时必须考虑盾构机千斤顶的布置，尽量避免千斤顶撑靴压缝。

④千斤顶对管片环面尽量不出现偏心。

本工程管环外径大，管片较厚，单块管片重量大，封顶块角度应取合理最小值，且由于隧道水压高，防水要求非常高，鉴于以上考虑，衬砌环采用 9+1 的分块方式，即由 1 块封顶块 F（圆心角 12.857° ）、2 块邻接块 L1~L2（单块圆心角 38.571° ）、7 块标准块 B1~B7（单块圆心角 38.571° ）共计 10 块管片组成。

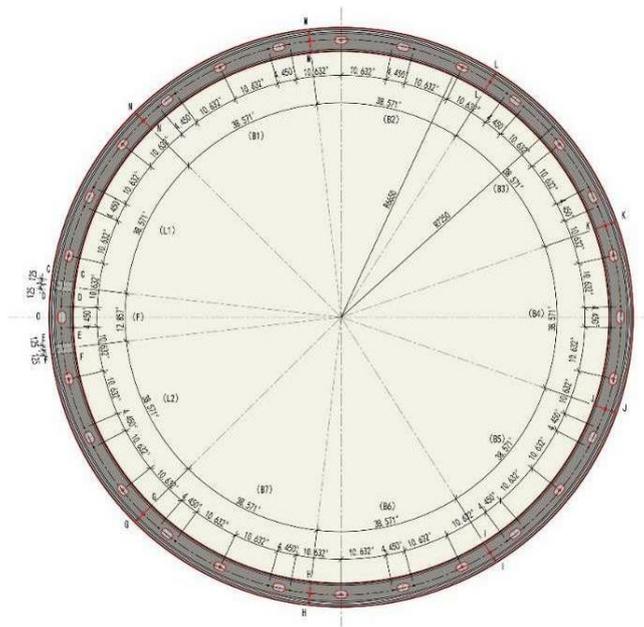


图 2.2-6 衬砌块分块示意图

(4) 封顶块的接头角度和插入角度

对于本隧道的高水压条件，封顶块应采用轴向插入方式以提高管片接头抗剪能力，同时在 2000mm 环宽的条件下，考虑施工机械的实际条件，封顶块拼装采用先径向搭接 1.4m，然后再纵向插入的方式，防止出现混凝土破碎的现象。

(5) 管片连接构造

盾构隧道常用的螺栓连接主要有三种：直螺栓、弯螺栓和斜螺栓。斜螺栓手孔尺寸较小，对管片有效断面削弱程度较小，且施工方便，但是连接刚度较低、对预埋螺帽精度要求较高。直螺栓连接刚度较大，抗震性能好，但手孔对管片削弱也较大。弯螺栓连接刚度居中，对管片削弱也较小，且预制精度要求较低，在中小直径盾构隧道中较为常

用。

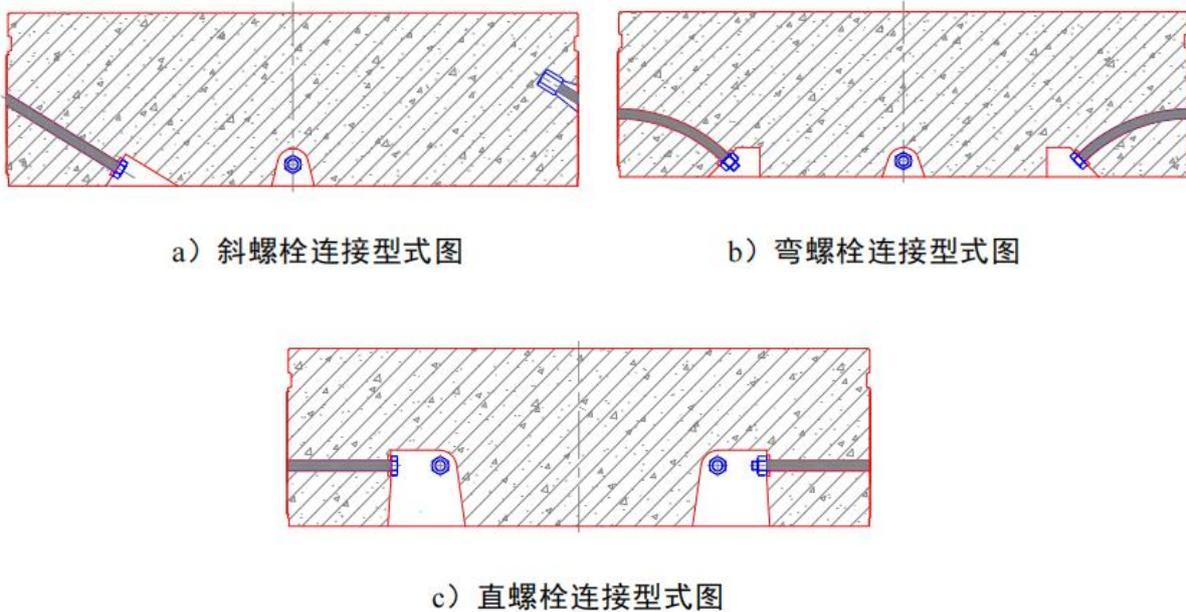


图 2.2-7 螺栓连接方式示意图

鉴于斜螺栓用钢少，手孔小，对截面削弱较小，受力合理，施工方便，只需对螺栓的一端进行防水和防腐蚀处理，由此加快了施工进度，降低了造价的特点。

在大型的越江隧道中得到了广泛应用，如南京长江隧道、上海长江隧道、南京五桥夹江隧道等。因此，本工程采用纵、环向连接采用斜螺栓的连接方式，具体布置如下图所示。每个纵缝采用 3 根，共 36 根 M36 螺栓，环缝共采用 42 根 M36 螺栓。

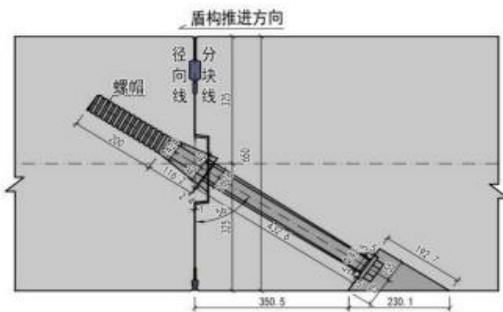


图 2.2-8 纵向连接构造图

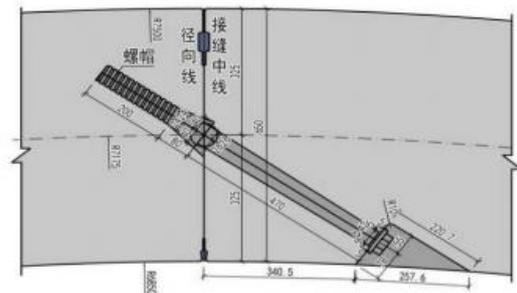


图 2.2-9 环向连接构造图

(6) 工程材料

标准衬砌环：钢筋混凝土强度等级 C60，抗渗等级为 P12；

钢筋：HPB300、HRB400

预埋钢板：Q235 钢

管片连接螺栓：8.8 级；

螺栓套预埋件：聚酰胺材料。

(7) 管片预制及施工精度要求

为保证盾构装配式衬砌良好的受力性能，提供符合结构计算假定的工作条件，管片的制作和组装必须达到一下精度：

①单块管片制作的允许偏差：

表 2.2-1 预制成型管片允许偏差表

序号	项目	允许偏差 (mm)	检查数量
1	宽度	±0.5	3 点
2	弧弦长	±1	3 点
3	厚度	+3/-1	3 点
4	螺栓孔位及孔径	±1	所有螺栓孔

②整环拼装的允许偏差

表 2.2-2 管片水平拼装检验允许偏差表

序号	项目	允许偏差 (mm)	检验频率
1	环向缝间隙	1	每环测 6 点
2	纵向缝间隙	2	每条缝测 2 点
3	成环后内径	±2	测 4 条（不放衬垫）
4	成环后外径	+6, -2	测 4 条（不放衬垫）

③推进时轴线误差≤100mm。

(8) 结构横向计算

①计算模型与计算简图

由于管片采用错缝拼装，计算模型的选择必须考虑管片接头部位抗弯刚度的下降、环间螺栓等对隧道结构总体刚度的补强作用，根据国内外常用的模型和计算方法，采用匀质圆环法计算，除了考虑管片接头的影响对刚度折减外，还要考虑错缝拼装效应造成的管片间弯矩传递的影响。

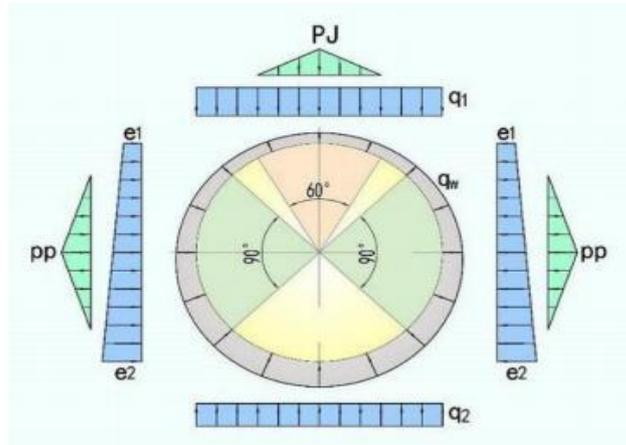


图 2.2-10 荷载系统示意图

a. 荷载

根据《盾构隧道工程设计标准》（GB_T51438-2021）以及盾构隧道的特点，荷载取值与分类如下：

表 2.2-3 结构荷载表

荷载类型	荷载名称		荷载计算及取值	备注
永久荷载	结构自重		按构件实际重量计算。	
	覆土压力		取隧顶以上的全部土柱重量	
	侧向地层压力		侧向土压力和地基抗力	
	静水压力		按最不利水位计算静水压力	
	隧道上方荷载		隧道上方或破坏棱柱影响范围内的建（构）筑物压力	根据实际情况考虑
可变荷载	基本可变荷载	地面车辆荷载	一般按 20kPa 考虑；如有施工机械，根据实际情况按 30~50kPa 均布荷载考虑。	
		地面车辆荷载引起侧向力	按上述均布面荷载引起的侧向地层压力计算。	
		隧道内车辆荷载	施工期根据实际荷载计算，运营期按照城-A 级荷载计算	
	其它可变荷载	施工荷载	包括千斤顶推力、注浆压力，盾构设备荷载等	根据实际情况确定
温度荷载		±10℃		
偶然荷载	地震作用		100 年基准期超越概率 10%和 2% 的地震动参数计算	

荷载类型	荷载名称	荷载计算及取值	
	车辆爆炸荷载	按 50kgTNT 炸药爆炸计算	
	人防荷载	抗力级别 6 级	
	沉船荷载	按 50kPa 计	

b. 结构荷载组合表

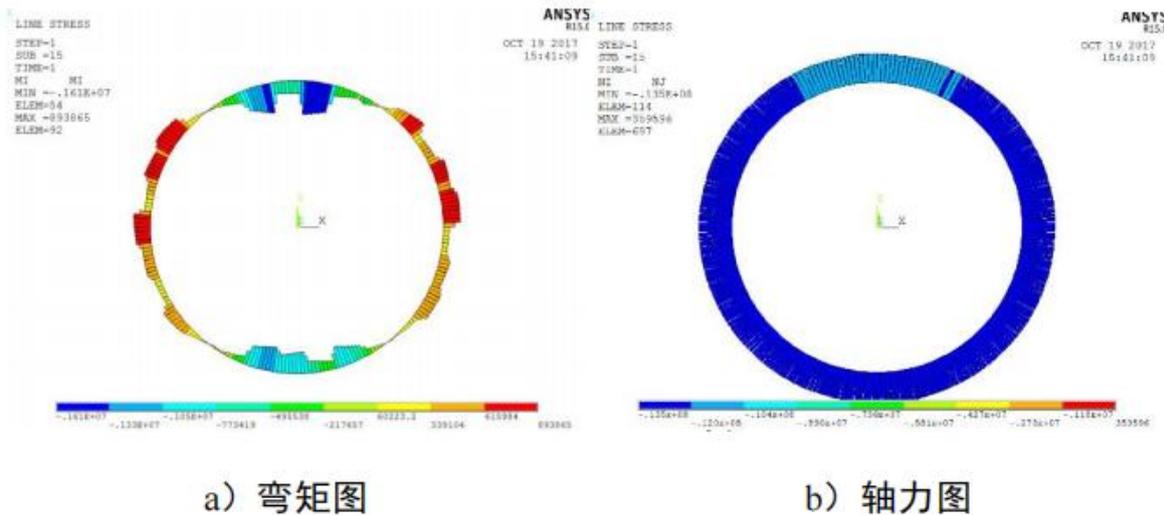
衬砌结构以及内部附属结构计算所采用的荷载组合如下表所示，设计中取其最不利组合作为设计依据。

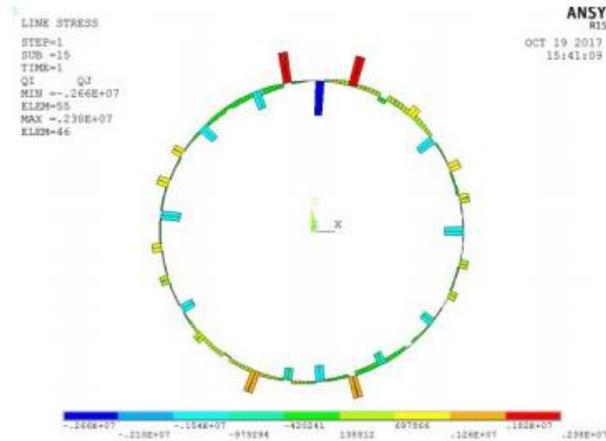
表 2.2-4 荷载组合表

序号	作用效应组合	荷载类型	永久荷载	可变荷载		偶然荷载
				基本可变荷载	施工荷载	
1	基本组合（强度计算）		1.35	1.4	/	/
2	标准组合（裂缝验算）		1.0	1.0	/	/
3	偶然组合		1.2	/	/	地震 1.3/人防 1.0
4	施工阶段效应组合		1.0	/	1.0	/

c. 计算断面

针对项目特点，本项目工程可行性研究方案对厚度为 600mm 的管片进行了计算分析，最不利断面位于埋深最深处，计算得到的断面内力标准值见下图。





c) 剪力图（修正均质圆环模型）

图 2.2-11 断面内力图

d. 配筋设计

根据计算结果，进行荷载组合后，根据混凝土结构相关规范进行配筋设计，厚度为 600mm 的管片能够满足相关规范要求。根据各断面的内力计算结果，管片配筋采用分段配筋方式，针对不同的隧道埋深、工程地质及水文地质条件选用不同的配筋类型，管片衬砌类型见下表。

表 2.2-5 管片衬砌类型一览表

衬砌类型	适用条件	备注
[R1]	浅埋段衬砌环（粉土粉砂层）	钢筋混凝土管片
[R2]	中埋深及河中浅覆土段衬砌环	钢筋混凝土管片
[R3]	深埋段衬砌环（岩层）	钢筋混凝土管片
[BR]	地质条件急剧变化处、工作井围护结构与管片连接处	大变形环，钢管片
[R] 0	出洞环	节点处需特殊设计
[R] 1	进洞环	节点处需特殊设计

(9) 盾构段抗震计算

工可阶段，本工程抗震计算采用有限元动力计算法进行横断面的抗震计算，地震原始波型采用 EI 波型，加速度峰值设为 0.05g，考虑等幅值剪波和纵波联合作用的影响，并在边界上设置无限元动力人工边界。该阶段对管片厚为 600mm、地震工况下隧道管片各关键点（顶部、左部、底部）的震中内力和变形随时间变化进行了分析。限于篇幅，下面只列出部分内力计算图。

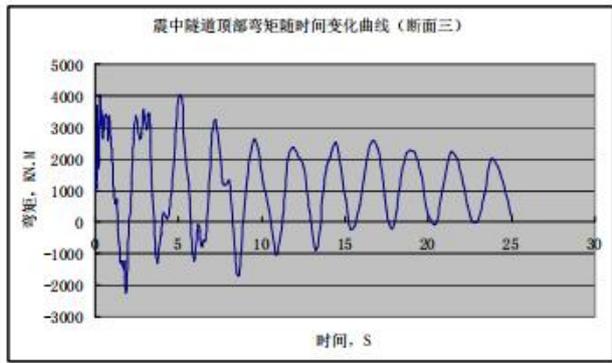
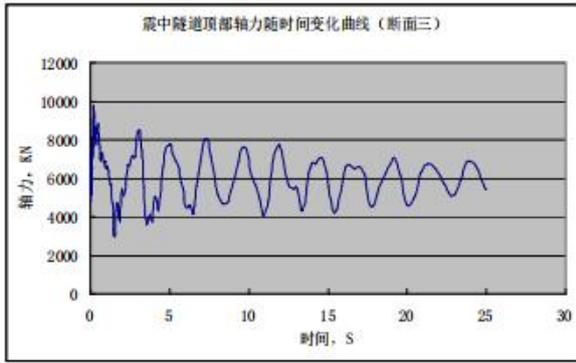


图 2.2-12 洞顶管片轴力随时间变化曲线图 图 2.2-13 洞顶管片弯矩随时间变化曲线图

从计算结果看，无论从变形上，还是结构内力上，叠加地震作用后的结果都有所增大，相对静力常时荷载单独作用而言，附加动力作用的最大负弯矩、最大正弯矩、最大轴力均有增加。但地震反应对结构影响不属于控制工况，其内力值不控制断面配筋设计。

由于工可阶段所掌握的地质资料有限，影响隧道的纵向抗震计算，设计阶段将根据地质资料补充纵向抗震分析。

通过计算可知，6 度地震力作用对结构设计不起控制作用，故抗震设计的重点应是加强构造措施。针对抗震问题，将采取以下措施：

衬砌接头间采用螺栓连接，保持结构连续性。在环向和纵向接头处设弹性密封垫，以适应地震中地层施加的一定变形。纵向产生的拉应力按由纵向螺栓承担进行设计。

在工作井与隧道接头附近设置变形缝，以适应适量的不均匀沉降。在工作井两侧连接处、下卧地层急剧变化处设置大变形环，适应地震时隧道结构产生的更大不均匀沉降。

(10) 隧道抗浮计算及措施

隧道覆土厚度是决定隧道造价及施工安全的关键因素，在满足各种使用、施工、河床等地质条件下，应尽量减小隧道的埋置深度。但是，当隧道置于覆土太浅的饱和含水地层中，浮力大于结构自重与覆土重量之和时，又会造成结构的整体上浮失稳。因此，必须考虑隧道最浅覆土处的抗浮稳定。抗浮验算分施工阶段与运营阶段两种工况进行。

① 施工期

施工期主要考虑该阶段最小抗浮要求及掘进安全要求。

按照目前的工程实例，施工期最小覆土厚度可控制在 0.7D。本隧道在穿越椰子洲风景区地段处于花岗岩地层，隧道顶距离藤桥东河河床面最小为 17m，可满足施工期隧道最小覆土的要求；

工作井盾构始发段覆土厚度为 10.84m，满足抗浮要求。

②运营期

结合最新冲刷数模成果，最大冲刷点位于藤桥河靠近南岸位置，现状河床标高扣除最大冲刷深度后，隧道埋深（13.34m）仍满足隧道的最小抗浮设计要求 4.5m，可满足运营期抗浮要求。

（11）盾构内部结构

①主要设计原则及标准

- a. 结构应满足施工、运营、抗震等要求，做到安全、适用、经济。
- b. 主体结构设计使用年限为 100 年。内部结构中除封堵墙、水沟、砌体结构外属于主体结构。
- c. 结构安全等级为一级，重要性系数取 1.1。
- d. 道路车辆荷载等级：运营期间城-A 级车辆荷载计算；施工期间按管片运输车辆计算，管片运输车辆轴重最大为 20t。
- e. 结构主要构件最大允许裂缝开展宽度：0.2mm。
- f. 结构抗震设防烈度为 6 度，构造措施按 7 度设防。
- g. 环境作用等级：靠近行车道层 I-C 级(干湿交替的室内潮湿环境)，其余 I-B 级。

②工程材料

- a. 混凝土等级：上下层现浇墙板、车道板、疏散楼梯、立柱、纵梁—C40 砼（不小于 P6）；钢筋混凝土沟槽、沟槽盖板、防撞侧石、封堵墙—C35、填充素混凝土—C20；
- b. 构件生产使用的混凝土原材料（水泥、粉煤灰、粗细骨料、水、外加剂、钢筋等）配合比及养护等要求均应满足《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T50476-2008）和《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》（JTG/TB07-01-2006）的要求。
- c. 钢筋：钢筋采用 HPB300、HRB400 级。
- d. 钢材：钢结构构件采用 Q235 钢。所有外露铁件均需进行防锈处理。

e. Mb5 混合砂浆砌 A3.5B06 蒸压加气混凝土砌块--用于内部结构上下层侧墙。

③内部结构形式

隧道盾构段内部结构行车道分上下两层，上层为由南向北行车路面，下层为由北向南行车路面。结构上层主要由钢筋砼现浇车道板、砼块砌筑侧墙组成；下层主要由南北侧立柱及柱顶纵梁、立柱间砌块砌筑墙，疏散楼梯、隧底填充等组成。其中沟槽盖板、砌块墙孔洞的过梁采用预制构件。

下层路面最低点处设置废水泵房，在最低点前后约 10m 的长度做现浇，泵房两端设封堵墙。

2.2.2.6. 明挖段结构设计

(1) 明挖段结构

隧道岸边明挖段结构包括北岸段和南岸墩。

南岸明挖段：主线隧道 ZK0+235~ZK0+910 共 675 米，结构分为敞开段、暗埋段与南岸工作井。

北岸明挖段：主线隧道 ZK3+360~ZK4+020 共 660 米，结构分为敞开段、暗埋段与北岸工作井。

(2) 围护结构设计

①基坑安全等级

a. 基坑安全等级

参考《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120—2012）、《建筑基坑工程技术规程》（DB33/T1096-2014）及有关其它规范确定基坑的安全等级：

一级基坑：开挖深度 $h > 10\text{m}$ ，在基坑开挖影响范围内有重要建构筑物、需严加保护的管线或其他重要设施。

二级基坑：除一、三级基坑以外基坑。

三级基坑：基坑开挖深度 $h \leq 5\text{m}$ ，且周围环境无特别要求的基坑。

b. 基坑变形量限值

根据基坑安全等级，确定基坑变形量限值为：

一级：围护墙体最大水平位移 $\leq 3\%h$ ；

二级：围护墙体最大水平位移 $\leq 4\%h$ ；

三级：围护墙体最大水平位移 $\leq 1\%h$ 。

②基坑围护形式选择

基坑围护形式的选择必须根据基坑开挖深度、地质情况、场地条件、环境条件以及施工条件，通过多方案比选确定，所采用的围护结构应安全可靠、技术可行、施工方便、经济合理。

考虑施工便利及节省投资，对于北岸基坑深度 3m 以内较浅的部分，考虑到场地空旷，设计采用放坡开挖。南岸基坑深度 3m 以下部分由于场地受限，基坑采用重力式挡墙支护对于深度 3~10m 的基坑，选择采用 SMW 工法桩围护。围护墙体具有质地均匀、强度均匀、厚度均一、连续无缝的优势突出，具有较好的强度和止水防渗效果。

对于深度 10~30m 的基坑，南岸地层为粉土粉砂层，地下水丰富，结合主体结构的压顶抗浮需要，采用刚度较大，防水效果较好的地下连续墙围护，墙体厚度 800~1200mm。为加强基坑侧壁的防渗止水，连续墙接头采用十字接头，墙间接缝处设置高压旋喷桩加强；北岸地层以强度较高的中风化花岗岩为主，支护方案采用桩径 800~1200mm 钻孔桩+桩间高压旋喷止水。

表 2.2-6 明挖段围护型一览表

位置	里程范围	基坑深度 (m)	基坑宽度 (m)	支护型式	支撑型式
南岸	左线 ZK0+235~ZK0+270	0~3	11.5	重力式挡墙	
	左线 ZK0+270~ZK0+450	3~10.4	11.8	SMW 工法桩	1 道混凝土支撑+1~2 道钢支撑
	左线 ZK0+450~ZK0+525	10.4~13.8	11.8	800mm 地下连续墙	1 道混凝土支撑+2 道钢支撑
	右线 YK0+345~YK0+420	1.5~3	11.5	重力式挡墙	1 道混凝土支撑
	右线 YK0+420~YK0+525	3~7.8	11.5	SWM 工法桩	1 道混凝土支撑+1 钢支撑
	左右线共坑 ZK0+525~ZK0+650	10.4~20	22.5~18	1000mm 地下连续墙	1 道混凝土支撑+3~4 道钢支撑
	左右线共坑 ZK0+650~ZK0+886	20~26	18~25	1200mm 地下连续墙	1~2 道混凝土支撑+4~6 道钢支撑

	南岸工作井 ZK0+886~ZK0+910	31	25	1200mm 地下连续墙	5 道混凝土撑
北岸	北岸工作井 ZK3+360~ZK0+384	31	25	1200mm 地下连续墙	5 道混凝土撑
	ZK3+384~ZK3+620	31~20	25~21	1200m 钻孔灌注桩	1 道混凝土支撑+5~6 道钢支撑
	ZK3+620~ZK3+850	20~10	21~26	1000mm 钻孔灌注桩	1 道混凝土支撑+2~4 道钢支撑
	ZK3+850~ZK4+000	10~3	26	1000mm 钻孔灌注桩	1 道混凝土支撑+0~2 道钢支撑
	ZK4+00~ZK4+020	3~0	26	放坡	

③支撑型式比选

支撑常用的型式采用外锚方案、内支撑方案。

外锚方案：由于本基坑所在土层以淤泥质类土或砂质类土为主，且位于水位以下，淤泥质类土，锚杆（索）孔成孔困难，所提供的锚固力小、变形大等缺点。

内支撑方案：内支撑安全可靠，且钢支撑可多次倒换使用，用钢量较省，经济适用，适用大型深基坑。

设计采用内支撑的支护方案，尽量采用钢支撑，以达到快速支撑、快速施工、控制基坑变形并节省工程投资的目的。基坑深度大于 5m 段的第一道支撑及受力较大处采用钢筋混凝土支撑。

本工程基坑宽度约 10~25m，宽度较宽，应根据基坑的宽度以及计算考虑钢管支撑强度及稳定性的要求，设置合适的格构柱根数，以提高支撑的稳定性及承载能力。

④基坑加固处理

南岸海棠北路基坑底部主要处于淤泥质粘土、粉土粉沙地层，对于该区段基底土体采用 $\phi 850$ 三轴搅拌桩裙边+抽条加固的方式，裙边加固为宽 3m、深 6m，抽条加固为宽 3m、深 6m、纵向净间距 3m。

⑤围护结构计算

a. 基坑设计安全系数

放坡开挖基坑整体稳定性安全系数不小于 1.3，板式围护结构基坑设计安全系数如下表所示。

表 2.2-7 板式围护结构基坑设计安全系数表

基坑等级	嵌固稳定安全系数	抗隆起安全系数	圆弧滑动稳定安全系数	流土稳定性安全系数	坑底抗突涌安全系数
三级基坑	1.15	1.4	1.7	1.4	1.2
二级基坑	1.2	1.6	1.9	1.5	1.2
一级基坑	1.25	1.8	2.2	1.6	1.2

b.荷载与荷载组合

水土压力：地下水位以上采用水土合算；地下水位以下，粘性土采用水土合算，砂性土采用水土分算。

混凝土结构自重：25kN/m³。

地面超载：工作井及整体始发段 30kPa，其余 20kPa。

施工荷载：按实际情况计。

c.主要工程材料

地下连续墙：C40 水下混凝土；

钢筋：HPB300、HRB400；

型钢：Q235b；

冠梁：C30 混凝土；

导墙：C25 混凝土；

混凝土支撑：C30 补偿收缩混凝土；

混凝土围檩：C30 补偿收缩混凝土；

垫层：C20 早强混凝土；

钢支撑：φ 609 钢管，壁厚 16mm；

钢联系梁：400×200×8×13mmHN 型钢；

立柱：520×520mm 格构柱。

钢围檩：400×400×13×21mm 双拼 H 型钢

喷射混凝土：C20；

焊条：用电弧焊接 HPB300 时采用 E43XX 型、焊接 HRB400 钢筋时采用 E50XX 型。

c.计算模型

两岸的明挖段及工作井均采用明挖顺作法施工。围护结构的设计按地质情况、水文

情况、周边环境以及基坑安全等级的不同，根据工程实践，结合结构计算分析确定。

结构计算分析分施工阶段和使用阶段进行。施工阶段按“先变形、后支撑”的原则，模拟施工开挖、支撑全过程分工况进行结构计算。支护型式为多支点结构，即采用弹性支点杆系有限元法计算。围护墙或桩在施工阶段，按施工过程进行受力计算分析，开挖期间围护结构作为支挡结构，承受全部的水土压力及路面超载引起的侧压力。结构的位移及内力采用有限元方法计算，考虑分步开挖施工各工况实际状态下的位移变化，并按弹性情况考虑。

基坑以下土的作用采用弹簧模拟，被动土压力按弹性地基梁考虑，弹簧刚度及水平抗力系数采用 m 法。

d. 计算结果及分析

1) 明挖段 1200 厚地下连续墙 (ZK0+886 南岸工作井) 该部分基坑深 31m，地连墙深度 56m，计算结果如下图所示。基坑采用 5 道混凝土支撑。

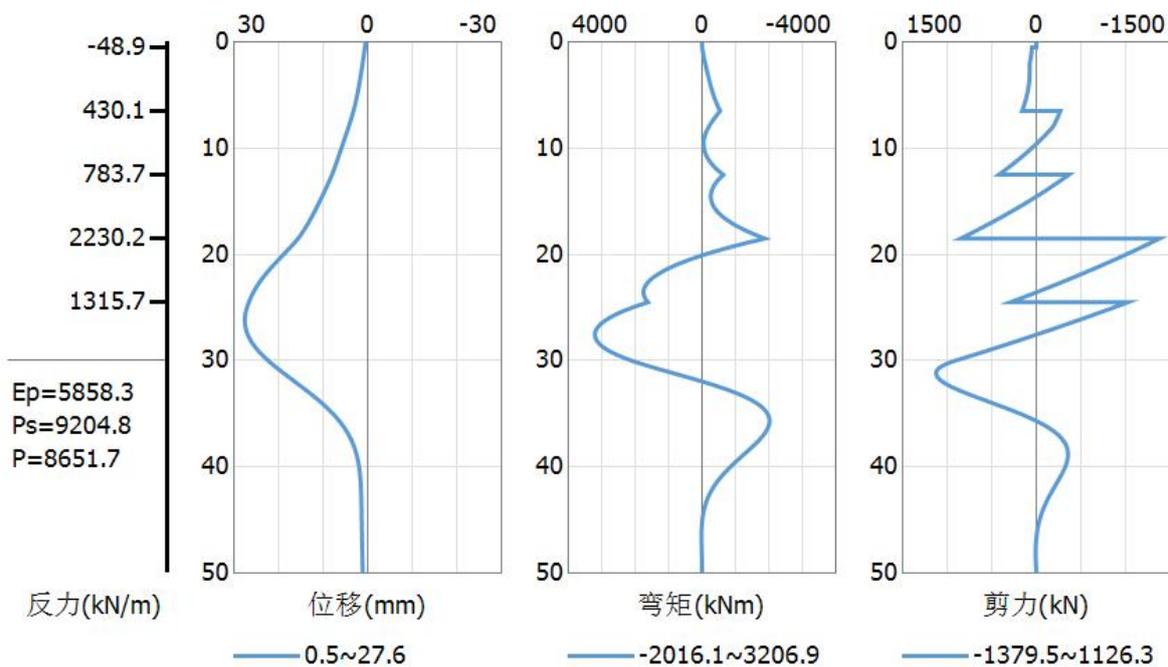


图 2.2-14 明挖段 1200mm 厚地连墙围护结构内力与位移包络图

整体稳定性安全系数: $K=1.927$

墙底抗隆起安全系数: $K=11.46$

坑底抗隆起安全系数: $K=2.56$

抗渗流稳定安全系数: $K=2.87$

抗倾覆/滑移安全系数： $K=1.358$

结果计算表明，围护结构内力分布合理，配筋率在合理范围之内，变形满足要求。

2) 明挖段 SMW 工法桩 (ZK0+400)

该部分基坑深 3~10m。取基坑深度 8m 断面，工法桩桩长 17m，计算结果如下图所示。基坑采用 2 道支撑，第一道采用钢筋混凝土支撑，第二道采用 $\phi 609\text{mm}$ 钢管支撑。

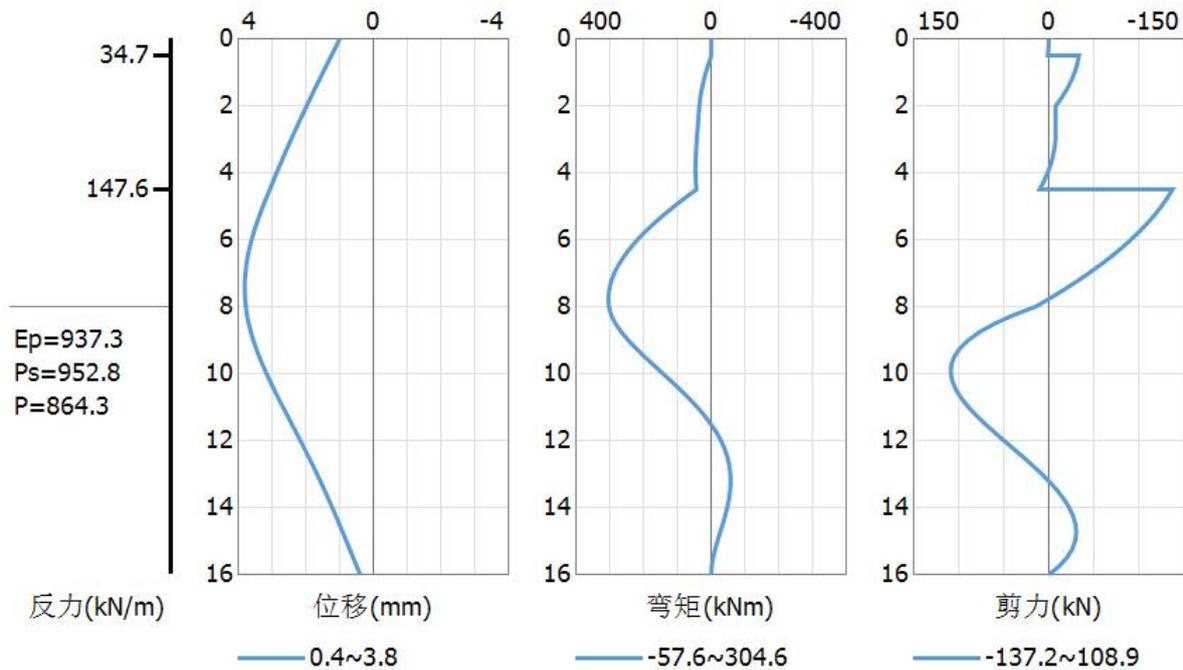


图 2.2-15 明挖段 SMW 工法桩围护结构内力与位移包络图

整体稳定性安全系数 $K=2.492$

墙底抗隆起安全系数： $K=11.79$

坑底抗隆起安全系数： $K=2.709$

抗渗流稳定安全系数： $K=3.31$

抗倾覆/滑移安全系数： $K=1.26$

结果计算表明，围护结构内力分布合理，配筋率在合理范围之内，变形满足要求。

3) 主体结构设计

I) 荷载确定及组合

根据运营阶段行车及设备布置要求，并考虑埋深、施工工法等因素，采用 U 型槽结构及箱形框架结构（明挖暗埋段及工作井）。

结构计算荷载类型和计算取值按下表“结构荷载表”采用。结构设计时应根据结构类型，按结构整体和单个构件可能出现的最不利组合，依相应的规范要求进行计算，并考虑施工和运营过程中荷载变化情况分阶段计算。运营阶段考虑水对结构的长期效应，采用水土合算和水土分算包络最不利组合计算结果。

荷载按结构承载能力极限状态及正常使用极限状态进行组合，采用荷载—结构模式，按荷载最不利组合进行结构的抗弯、抗剪、抗压、抗扭强度和裂缝宽度验算。

表 2.2-8 结构荷载表

荷载类型	荷载名称		荷载计算及取值
永久荷载	结构自重		按构件实际重量计算。
	覆土地层压力		计算截面以上的全部土柱重量；
	侧压力系数取值		结构两侧填土段采用主动土压力系数，垂直开挖段采用静止侧压力系数计算侧压力
	静水压力及水反力		按最不利地下水位计算静水压力及反力。
	混凝土收缩及徐变影响力		按降低 15℃考虑。
	侧向地层抗力及地层反力		垂直开挖段结构两侧侧向地层抗力采用水平弹簧模拟，结构两侧需要填土段，不考虑侧向地层抗力作用；底板地层抗力采用垂直弹簧模拟
可变荷载	基本可变荷载	地面超载	一般按 20kPa 考虑，如有施工机械，根据实际情况按 30~50kPa 均布荷载考虑。
可变荷载	基本可变荷载	地面超载引起侧向力	按 20kPa 的均布荷载作用于地层上考虑。
		车辆荷载	城-A 级
可变荷载	基本可变荷载	人群荷载	按 4kPa 计算。
		设备荷载	设备区一般按 8kPa 考虑，对于重要设备按实际设备重量考虑，对动力设备考虑动力系数。
	其它可变荷载	施工荷载	根据实际情况确定
		温度荷载	按结构内外升、降 10℃考虑
偶然荷载	地震作用		100 年基准期超越概率 10%和 2%的地震动效应
	人防荷载		6 级人防抗力
	车辆爆炸荷载		按单孔 50kPa 考虑

表 2.2-9 结构荷载组合表

序号	荷载组合	荷载类型		偶然荷载		
		永久荷载	可变荷载	地震	人防	车辆爆炸

1	基本组合构件强度计算	1.35 (1.0)	1.4			
2	短期效应组合构件抗裂验算	1.0	1.0			
3	长期效应组合构件变形验算	1.0	1.0			
4	抗震偶然组合构件强度验算	1.2 (1.0)		1.3		
5	人防偶然组合构件强度验算	1.2 (1.0)			1.0	
6	车辆爆炸偶然组合构件强度验算	1.2 (1.0)				1.0
7	基本组合抗浮稳定验算	1.0				

附注：括弧内数值为结构自重对结果有利时取用。

II) 主要构件的材料

工程材料根据结构类型、受力条件、使用要求和所处环境等因素选用，并考虑其经济性、可靠性和耐久性。结构构件采用钢筋混凝土。主要构件的材料：

底板、侧墙、中板和顶板：C45 防水钢筋混凝土，混凝土抗渗等级不小于 P8，20m 深度以下抗渗等级 P10，30m 深度以下抗渗等级 P12。内部构件：C40 钢筋混凝土，楼梯 C35 钢筋混凝土。

混凝土垫层：C20 早强混凝土；

钢筋：HPB300、HRB400 钢筋。

止水带：钢边橡胶止水带、镀锌钢板止水带，背贴式橡胶止水带。

防水板：高分子单面自粘式防水板。

III) 构造要求

变形缝的设计：敞开段原则上按纵向每 30m，暗埋段按纵向每 60m 设置一条变形缝，缝宽 20mm，厚度大于 800mm 的底板设置凹凸榫，厚度小于 800mm 的底板、侧墙及顶板设置剪力杆，缝内设置止水带。变形缝两侧的差异沉降须不影响车辆的正常运行和安全。

主筋保护层厚度：不小于钢筋的最小公称直径和以下的最小值。且在一般环境条件下应符合下表规定。箍筋、分布筋和构造筋的混凝土保护层厚度不得小于 20mm。裂缝验算保护层厚度大于 30mm 时，可取 30mm。

表 2.2-10 钢筋混凝土保护层最小厚度表 (mm)

结构类别	顶板、底板、外侧墙		中墙、中板	梁、柱
	外侧	内侧		

保护层厚度	50	55	40	45
-------	----	----	----	----

IV) 结构计算

计算模型

计算采用荷载—结构模式，内衬墙承担全部水、土压力。各结构断面形式的计算简图如下。

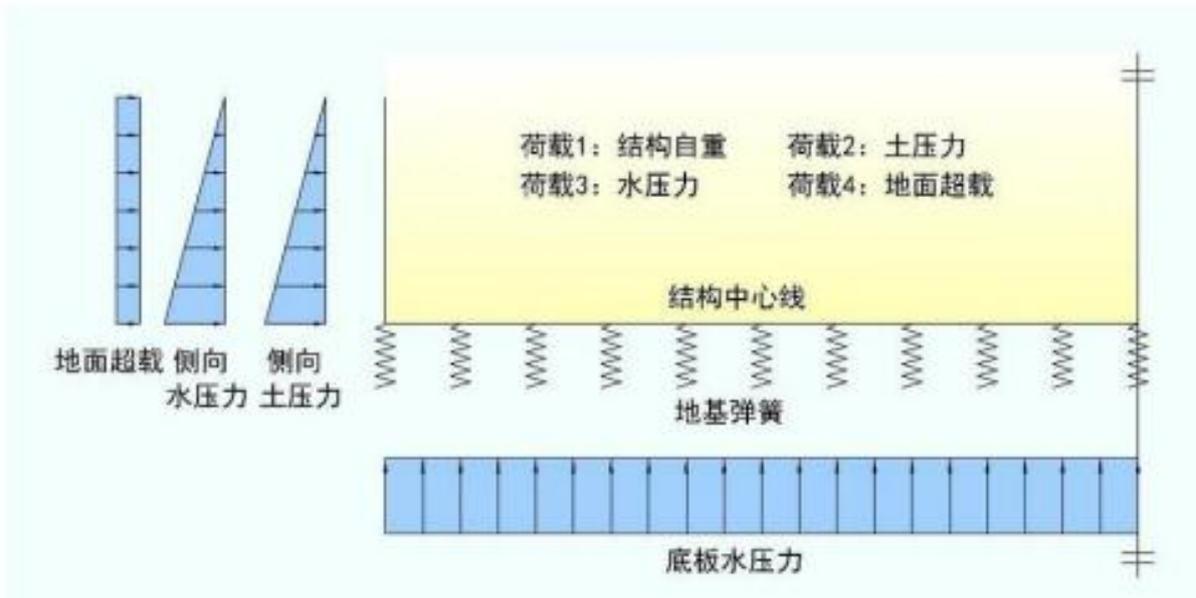


图 2.2-16 敞开段结构计算简图

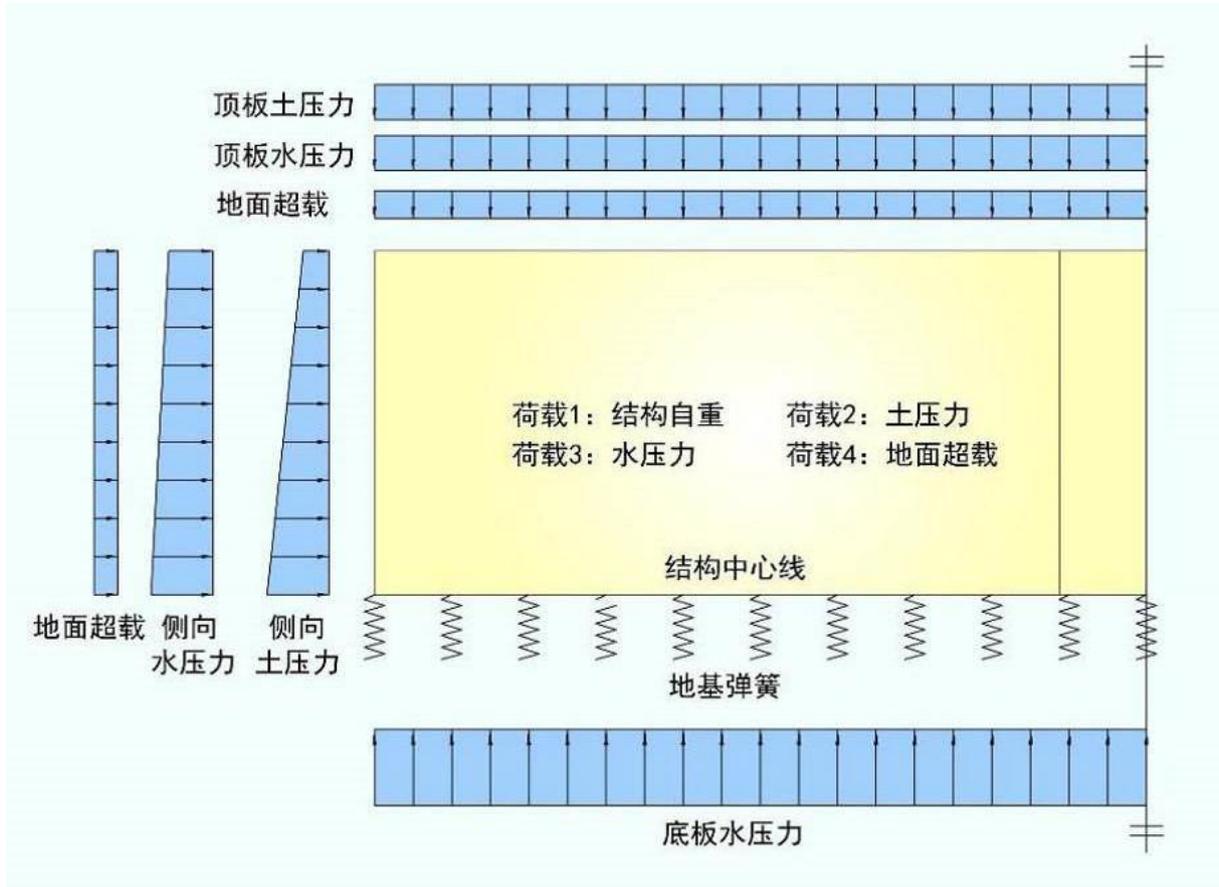


图 2.2-17 暗埋标准段结构计算简图

i) 计算结果及分析

明挖段结构典型断面计算内力如下图所示。

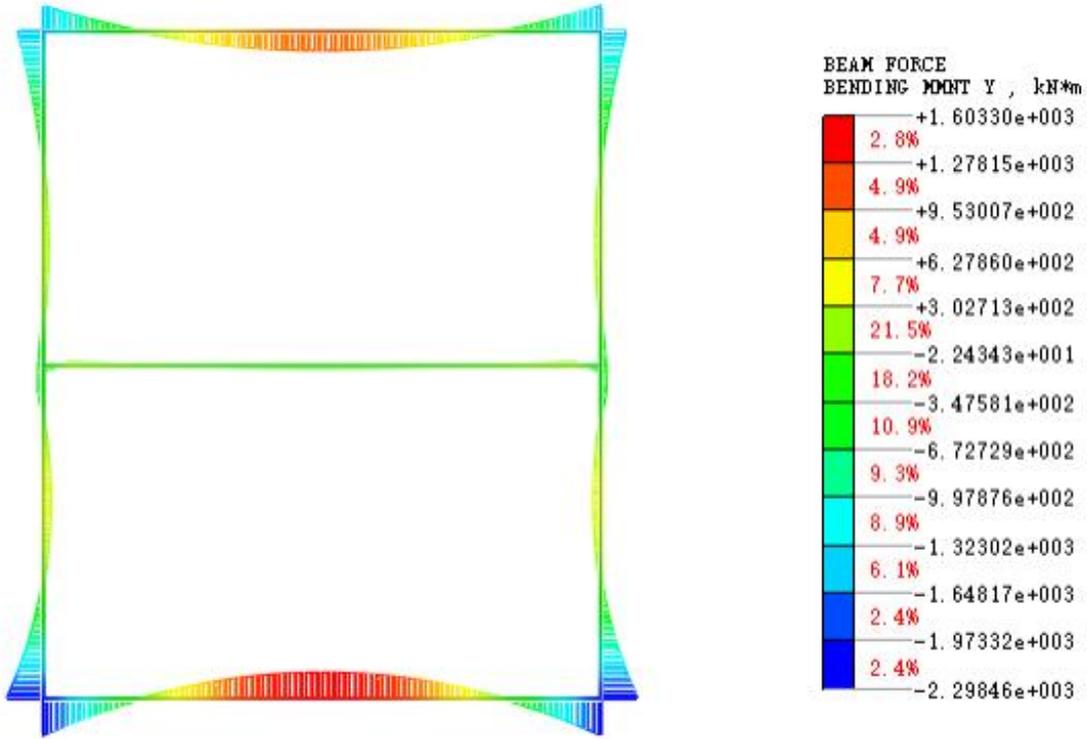


图 2.2-16 标准暗埋段弯矩图

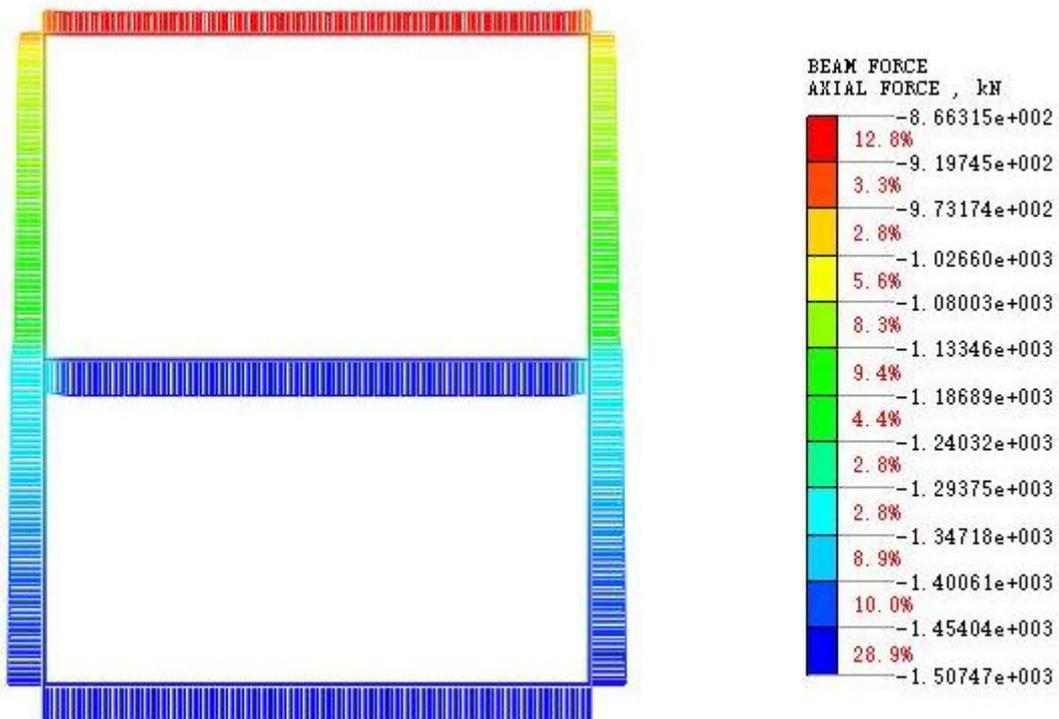


图 2.2-17 标准暗埋段轴力图

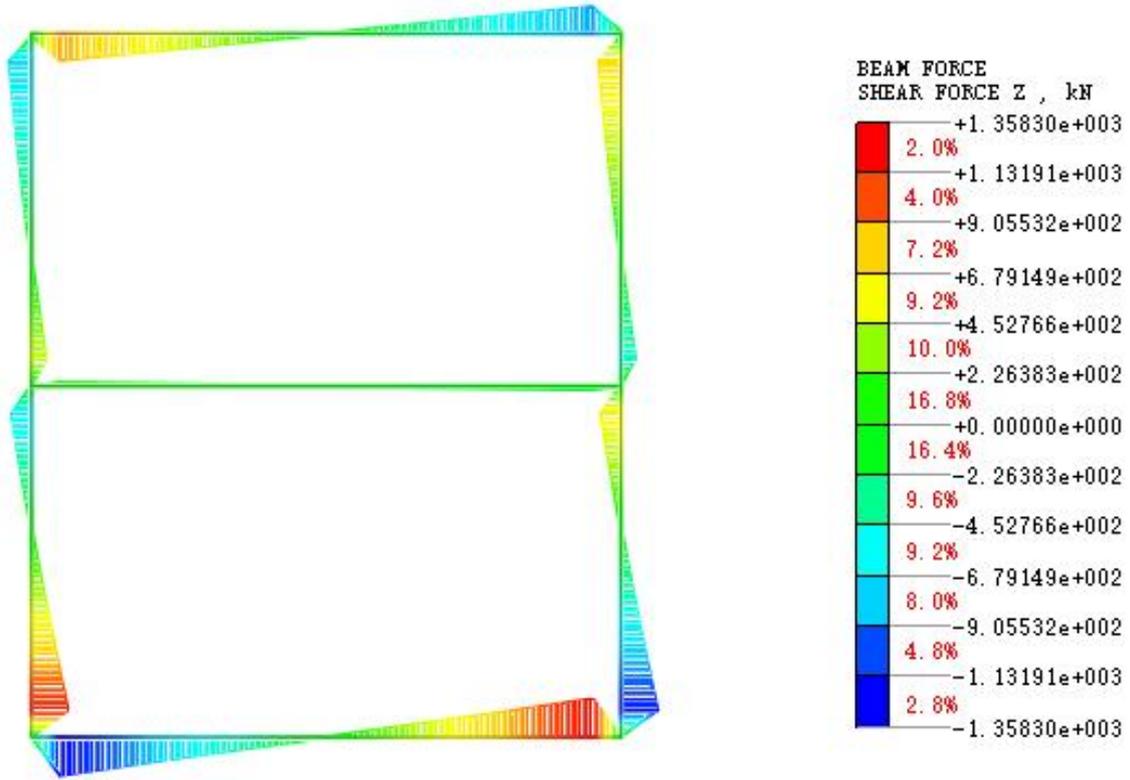


图 2.2-18 标准暗埋段剪力图

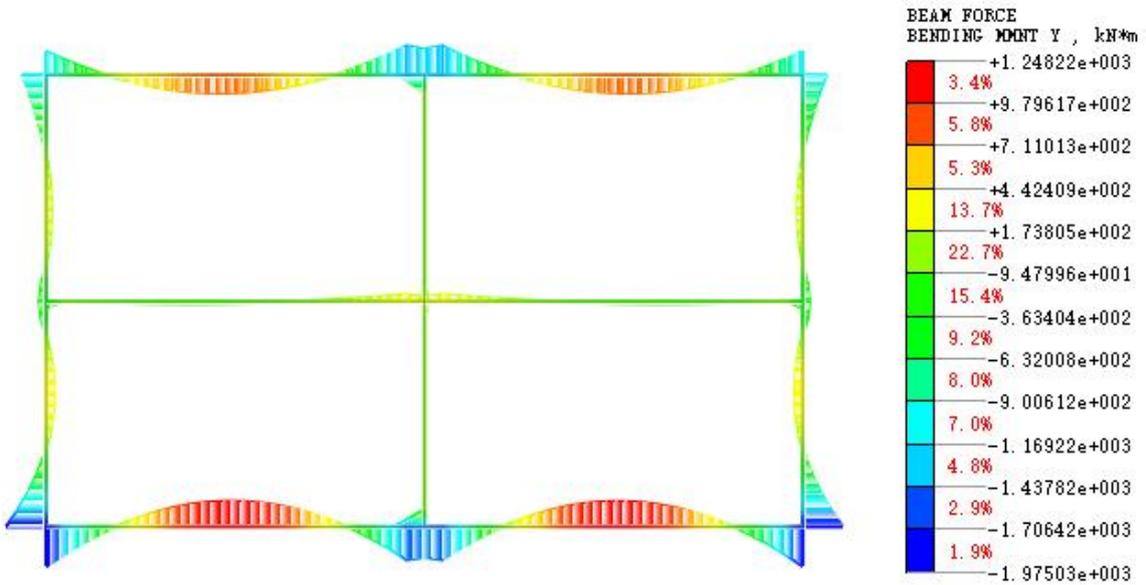


图 2.2-19 合建暗埋段弯矩图

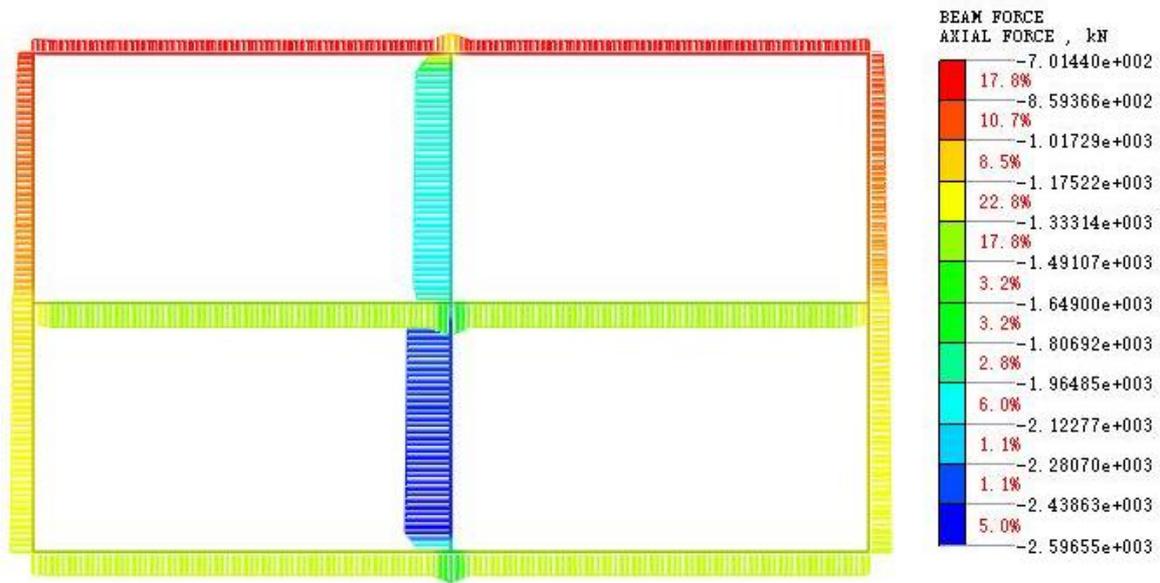


图 2.2-20 合建暗埋段轴力图

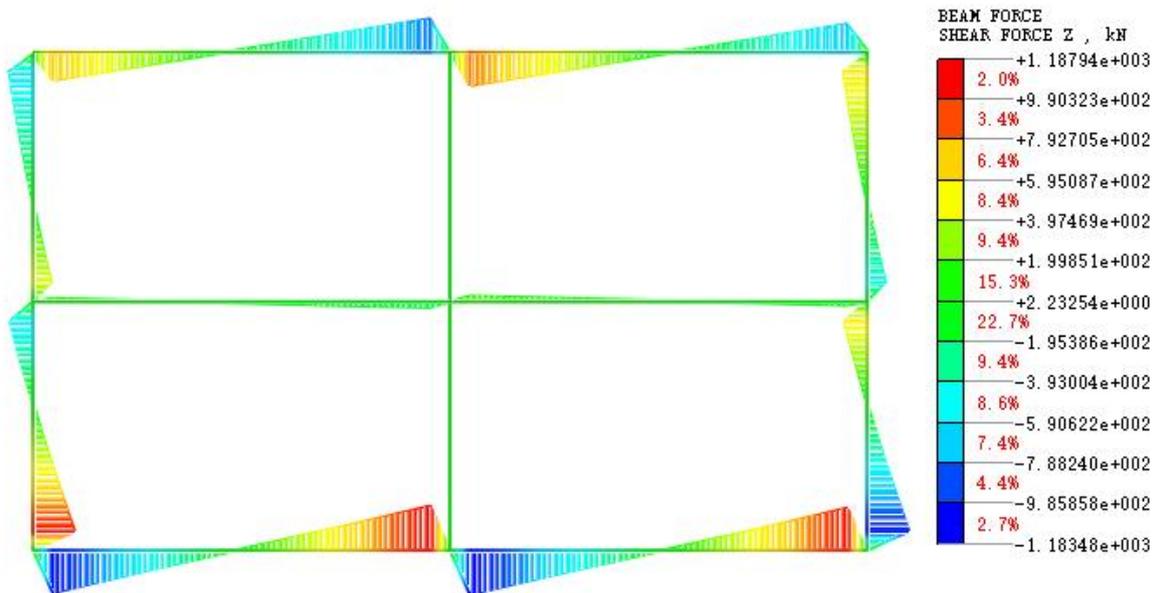


图 2.2-21 合建暗埋段轴力图

ii)抗浮设计

施工阶段，采取基坑内（或基坑外）降水、在底板设置泄水孔等措施解决恢复问题。

使用阶段，目前常用的抗浮措施有考虑围护结构联合抗浮、抗拔桩、抗拔锚杆以及设置墙趾等主要措施。锚杆适用的地层有限，在淤泥质类土不宜采用，且作为永久结构也不宜采用；设置墙趾在需要的抗浮力较小时采用，否则工程量较大。因此，结合本工程的地质、水文等情况，抗浮设计首先考虑永久围护结构的作用，仍不能满足时，采用

抗拔桩。

敞开段：结构为敞口“U”型槽结构，由于敞开段结构埋深较深、宽度大且无覆土荷载，结构自重不能满足抗浮要求。依靠增加底板、侧墙厚度解决抗浮不经济。使用阶段抗浮不满足要求时，在底板设置抗拔桩的措施，抗拔桩采用直径 1.0m 的钻孔灌注桩。桩的布置及桩长根据结构所受浮力的大小设置。暗埋段：隧道埋深较深地段采用地连墙围护，考虑永久围护结构的作用，当隧道结构抗浮不满足要求时，在围护结构顶部设置压顶梁，围护结构与隧道结构共同抗浮，仍不够时采用抗拔桩。对于采用 SMW 工法桩的地段，利用抗拔桩进行抗浮。

2.2.2.7. 结构防水设计

(1) 防水等级及标准

隧道防水等级为二级。相应的防水标准为：不允许漏水，结构表面可有少量湿渍，总湿渍面积不应大于总防水面积的 2/1000；任意 100m² 防水面积上的湿渍不超过 3 处，平均渗漏量不大于 0.05L/m².d，任意 100m² 防水面积上的渗漏量不大于 0.15L/m²。机电设备用房地下结构为一级，不允许渗水，结构表面无湿渍。

(2) 防水设计原则

①结构防水应遵循“以防为主，多道设防，突出重点防线，综合治理”的原则，确保防水的可靠性和耐久性（使用期 100 年）。

②以混凝土衬砌结构自防水为根本，衬砌接缝、结构施工缝、变形缝等防水薄弱部位为重点，确保隧道整体防水。

③防水等级为二级，即不允许漏水，结构表面可有少量湿渍。

④结构防水设计和施工必须符合环境保护的要求，并根据具体情况采取相应对策，减少对环境的影响。

⑤所有防水构件、附加防水层、混凝土外加剂等，同时应满足耐久性要求。

⑥明挖段采用全包防水，铺设高分子单面自粘式防水卷材。

(3) 盾构段防水设计

①管片自防水设计

管片自防水的关键在于混凝土配置及质量控制。隧道管片的混凝土等级为 C60，抗渗等级 P12，限制裂缝开展宽度 $\leq 0.2\text{mm}$ 。

采用高性能硅酸盐水泥，掺入二级以上优质粉煤灰和粒化高炉矿渣等活性粉料（掺量 $\leq 20\%$ ）配置以抗裂、耐久为重点的高性能混凝土，减缓碳化速度。管片水泥采用抗水性能好、泌水性小、水化热较低、干缩性小的中热硅酸盐水泥，避免水泥水化热过高而产生膨胀裂缝。

②衬砌外注浆防水

在衬砌管片与天然土体之间存在环形空隙，通过同步注浆以及二次注浆（必要时采用）充填空隙，形成一道外围防水层。同步注浆采用单液浆，二次注浆可采用水泥浆或双液浆。为减小浆材硬化收缩，所有的注浆材料皆宜掺加一定量的微膨胀剂。注浆材料应具有较好的抗水分散性和可注性，并具有合适的胶凝时间和强度，其配比由试验确定。

注浆压力一般高于掘进面水土压力 $0.1\sim 0.2\text{MPa}$ ，施工中应根据地层特征及水压力进行调整，但需满足以下要求：

- a.应大于开挖面的水土压力；
- b.不能使地面有较大隆起（ $<10\text{mm}$ ），也不能使地面有较大沉降（ $<30\text{mm}$ ）；
- c.不能使管片因局部受压而错位变形；
- d.不能使浆液经常或大量从管片间或盾构机与管片间渗漏。另外注浆时应采取合理措施保证注浆量和注浆的及时性。

(4) 衬砌接缝防水

接缝防水设计首先应根据所收集到的施工实例资料对施工过程中的防水效果作出综合分析，结合试验决定适合本工程实际的密封垫设计方案；同时从管片拼装误差、接缝容许变形量和密封材料特性等三方面关系出发，通过理论计算出设计安全系数。

密封垫的止水机理是在管片压密后，靠橡胶本身的弹性复原力密封止水。为了使密封垫的弹性复原力能永久保持，除了密封沟槽的斜度设计之外，最重要的就是密封垫的断面设计。

综合国内外相关工程和材料研究成果可知，管片接缝防水密封垫的设计过程中应主

要考虑以下几点：

- a.对止水所需的接触面压力，设计时应考虑接缝的张开量和错位量；
- b.在设计确定的耐水压力条件下，接缝处不允许出现渗漏；
- c.在千斤顶推力和管片拼装的作用力下，不致使管片端面和角部损伤等弊病发生；
- d.要考虑远期的应力松弛和永久变形量。

盾构管片外侧防水采用多孔 EPDM 弹性密封垫结合采用聚醚聚氨酯密封垫作为辅助防水措施，管片内侧嵌缝采用泡沫橡胶棒与聚硫密封胶。

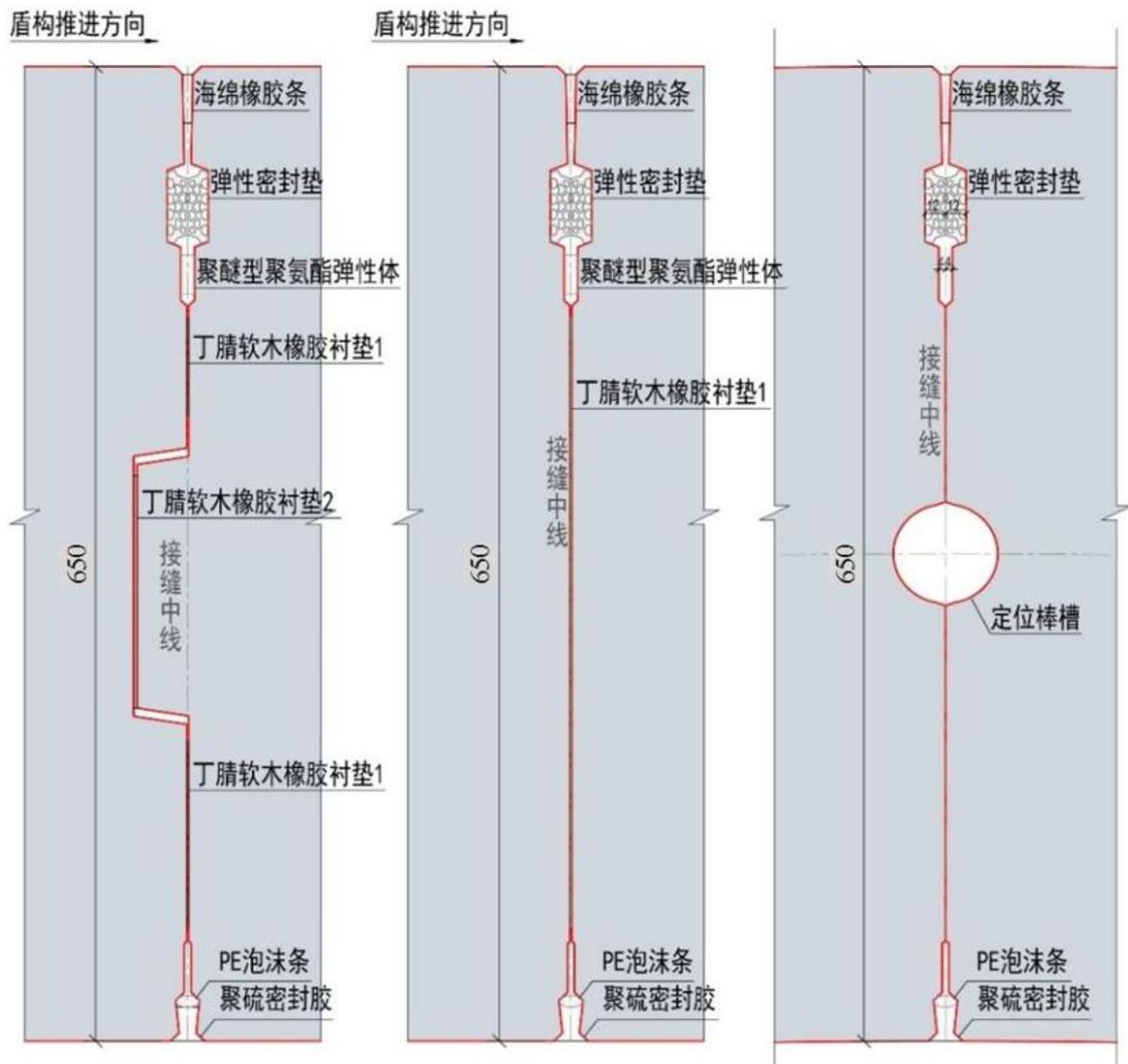


图 2.2-22 接缝防水图

接缝防水包括弹性密封垫、遇水膨胀橡胶密封垫、最外侧的海绵橡胶条以及内侧嵌缝四个方面。

①弹性密封垫设计

密封垫的止水机理是在管片压密后，靠橡胶本身的弹性复原力密封止水。为了使密封垫的弹性复原力能永久保持，除了密封沟槽的斜度设计之外，最重要的就是密封垫的断面设计。

综合国内外相关工程和材料研究成果可知，管片接缝防水密封垫的设计过程中应主要考虑如下几点：

- I) 对止水所需的接触面压力，设计时应考虑接缝的张开量和错位量；
- II) 在设计确定的耐水压力条件下，接缝处不允许出现渗漏；
- III) 在千斤顶推力和管片拼装的作用力下，不致使管片端面和角部损伤等弊病发生；
- IV) 要考虑近期的应力松弛和永久变形量。

弹性密封垫材质为三元乙丙橡胶，截面加工为多孔梳形（如下图所示）。弹性密封垫加工成棱角分明的框形橡胶圈，将橡胶圈套在四周有沟槽的管片上。要求在接缝张开8mm、错位15mm条件下，设计使用年限内能够抵抗0.52MPa的水压。

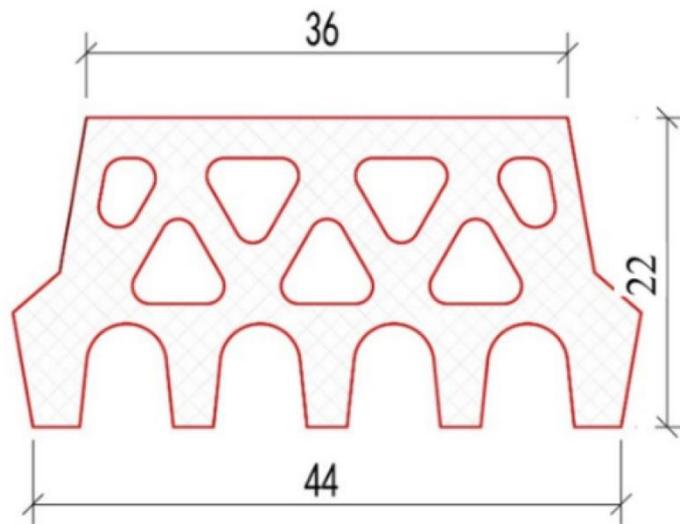


图 2.2-23 三元乙丙橡胶弹性密封垫图

②遇水膨胀橡胶密封垫：遇水膨胀橡胶密封垫的材质为聚醚型聚氨酯弹性体，通过吸水膨胀提高接触应力起到防水作用，是管片防水的第二道防线。

③最外侧的海绵橡胶条：设于环缝、纵缝外侧的海绵橡胶材质为氯丁海绵橡胶，施工中起到防止泥沙进入弹性密封垫沟槽、防止同步注浆浆液沿管片接缝穿流以及节约盾尾密封油脂的多重作用。

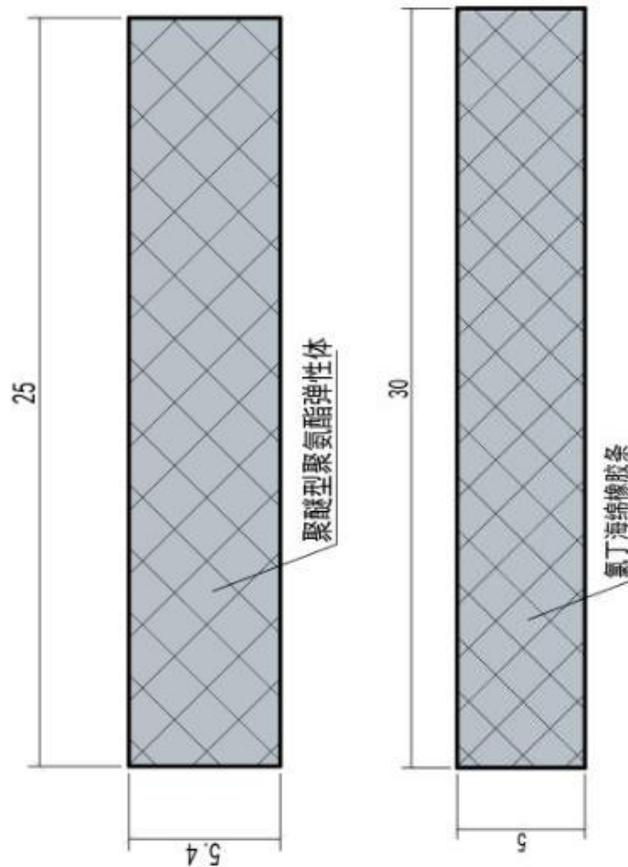


图 2.2-24 膨胀橡胶密封垫和海绵橡胶条示意图

④内侧嵌缝：嵌缝防水施工必须在盾构千斤顶顶力影响范围外进行。同时，应根据隧道的稳定性确定嵌缝作业开始时间。嵌缝作业应在接缝堵漏和无明显渗水后进行。嵌缝槽表面混凝土如有缺损，应采用聚合物水泥砂浆或特种水泥修补，修补质量要满足结构受力的要求。

(5) 衬砌节点防水

①螺栓孔防水：采用遇水膨胀橡胶密封圈作为螺孔密封圈，利用其压密和膨胀的双重作用加强螺孔防水。

②管片角部加强防水：在密封垫外角部覆贴自粘性橡胶薄片，材质为未硫化丁基橡胶薄片。

③注浆孔防水：采用遇水膨胀橡胶止水圈，加强注浆孔与管片混凝土间密封防水。

(6) 盾构始发及到达防水

盾构机通过洞口时，洞口环形钢板和盾构机外壳或衬砌管片外壁之间存在环形间隙，若不进行密封，外面土体和水极容易从间隙流入工作井内，长时间会使得洞外土体严重

流失，导致土体沉降，因此，须在洞口安装出洞防水装置以确保施工安全。同时始发防水装置使得盾构始发后能在盾尾形成相对密封的注浆空腔，以确保盾尾同步注浆能饱满地填充盾尾间隙。

本隧洞在始发区域端头加固的基础上，始发洞口临时防水装置采用双道翻板及帘布橡胶板辅以 $\phi 32$ 注浆管、油脂加注孔等作为临时防水措施。盾构到达采用干接收，在接收端头加固的基础上，临时防水装置采用卡板+帘布橡胶板的接收方式，临时防水装置如下图所示。

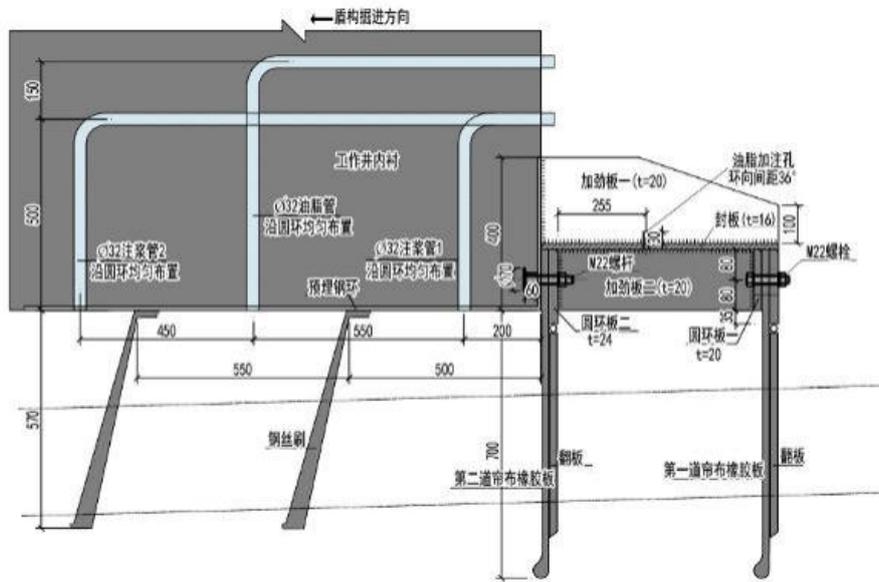


图 2.2-25 始发洞口装置图

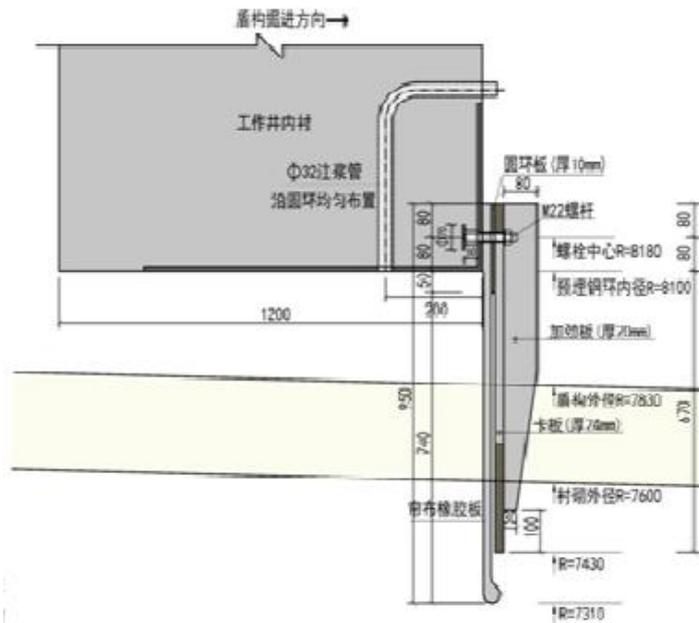


图 2.2-26 盾构接收装置图

(7) 工作井与圆形隧道接头防水

盾构隧道与工作井之间采用 C45 补偿收缩钢筋混凝土后浇环框刚性连接，后浇环框与井壁内衬钢板、管片混凝土面之间均设有遇水膨胀橡胶止水条，并在洞门环框中预埋可重复注浆管。

(8) 隧道明挖段防水设计

①混凝土结构自身防水

为提高内衬结构混凝土自防水功能，结构采用 C45 防水钢筋混凝土，并采取措施提高混凝土的抗渗能力和减少裂缝。混凝土的抗渗等级采用 P8（0.8MPa）及以上，限制裂缝开展宽度 $\leq 0.2\text{mm}$ 。

②结构外包防水

结构外表面设置柔性防水卷材全包防水。防水卷材材料为高分子单面自粘防水卷材，其性能指标满足《地下工程防水技术规范》要求。

③施工缝防水

纵向施工缝：采用镀锌钢板止水带和内侧遇水膨胀止水胶防水，接缝面刷涂水泥基渗透结晶型防水涂料。

环向施工缝：全环采用中埋钢边橡胶止水带和遇水膨胀止水胶，接缝面刷涂水泥基渗透结晶型防水涂料。

④变形缝防水

变形缝防水设三道防线：

I)外防水，即侧墙、底板外设背贴式止水带，顶板面层粘贴防水材料，为保证施工质量，在顶板上方先涂刷橡胶化非固化沥青防水涂料；

II)中间防水，采用中埋式钢边橡胶止水带；

III)内侧采用接水盒对部分渗漏水进行引排，避免渗水滴漏对行车造成影响。为减少变形缝处的差异沉降，厚度 $>800\text{mm}$ 的底板设置凸凹榫槽，厚度 $\leq 800\text{mm}$ 的底板设置钢筋剪力杆，顶板、侧墙和中墙设置钢筋剪力杆，增加变形缝处的抗剪能力。

(9) 结构耐久性设计

①结构的设计使用年限及分级

本工程主体结构的设计基准期 100 年，级别为一级。

②环境分类与环境作用等级

根据《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T50476-2019）中结构所处环境的分类办法，本隧道工程明挖段环境作用等级为结构背土侧为III-C，迎土侧为III-D；盾构段为III-E。

③结构耐久性设计

a.混凝土材料耐久性设计

盾构管片采用强度等级 C60 的高性能混凝土，明挖结构采用 C45 高性能混凝土。结构混凝土的其它技术要求详见下表。

表 2.2-10 隧道主体结构混凝土耐久性技术要求表

工程部位		盾构管片	工作井	明挖段
混凝土抗渗等级		≥P12	埋深<20m, ≥P8; 埋深≥20m, ≥P10; 埋深 ≥30m, ≥P12	埋深<20m, ≥P8; 埋深≥20m, ≥P10; 埋深 ≥30m, ≥P12
耐久性措施		C60 高性能混凝土;	C45 高性能混凝土	C45 高性能混凝土
附加防腐措施		阻锈剂掺量为胶凝材料的 2%		
水泥及添加材料	水泥及矿物掺和合料	强度等级≥52.5MPa 的 PI 或 PII 型水泥+高炉矿渣微粉或优质粉煤灰等超细矿物掺和料。	强度等级≥42.5MPa 的低水化热的 PI 或 PII 型水泥+高炉矿渣微粉或优质粉煤灰等超细矿物掺和料。	强度等级≥42.5MPa 的低水化热的 PI 或 PII 型水泥+高炉矿渣微粉或优质粉煤灰等超细矿物掺和料。
	最小凝胶材料用量 (kg/m ³)	400	320	320
	水胶比	≤0.35	≤0.45	≤0.45
混凝土氯离子扩散系数 (m ² /s)		<4×10 ⁻¹²	<7×10 ⁻¹²	<7×10 ⁻¹²
总碱含量 (kg/m ³)		≤3.0	≤3.0	≤3.0
氯离子含量 (%)		不超过 0.1 (与凝胶材料重量的比值)		

b.构造及裂缝要求

根据《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T50476-2008）对混凝土保护层最小厚度

的相关规定,考虑到盾构管片为工厂预制构件,混凝土设计强度比最低值(C40)高 20MPa,因此主筋的保护层厚度取 50mm,分布筋和箍筋的保护层厚度不小于 35mm。各部位钢筋保护层厚度取值如下表所示:

表 2.2-11 各结构部位钢筋保护层厚度表

部位	混凝土标号	保护层厚度 (mm)	
		背土面	迎土面
盾构管片	C60	50	50
工作井及明挖段	C45	50	55
地下连续墙	C35	50/70 (叠合/复合)	50/70 (叠合/复合)
抗拔桩	C35	/	70

混凝土表面裂缝计算宽度的允许值取 0.2mm。

c.防水材料耐久性要求

防水材料的耐久性要求必须与结构耐久性要求相一致。防水材料除满足规范要求的物理力学指标外,还应进行耐久性测试,不同材质的防水材料耐久性测试方法按照相关规范执行。防水材料的使用年限需超过 100 年。

d.耐久性要求的施工工艺及质量保证措施

I)施工采用的混凝土配比及其原材料,应在正式施工前的混凝土配试工作中,通过混凝土抗裂抗渗性能和氯离子扩散系数的对比试验进行优选,确定合适的混凝土配比。

II)严格控制混凝土保护层的厚度,确保满足设计要求。保护层厚度应通过保护层定位夹或定型生产的纤维砂浆块控制。在浇筑混凝土前,应仔细检查保护层定位夹(块)的数量及其紧固程度以提高保护层混凝土厚度尺寸及钢筋位置的准确性。

III)混凝土浇筑后应按照施工操作规程有序地进行振捣,并对混凝土表面抹光压平,以增加混凝土密实性,降低混凝土渗透性。喷淋到混凝土表面的冷水温度与混凝土表面温度差不宜大于 20℃,防止表面喷洒冷水,使混凝土水化热的热表面产生强烈的温度应力而导致混凝土表面开裂。采用塑料薄膜覆盖养护的混凝土,应注意塑料薄膜搭接处严密,保持塑料薄膜内有凝结水,防止混凝土内部水分蒸发。

IV)管片混凝土蒸汽养护时间不宜少于 2h,升温速度不宜超过 15℃/h,降温速度不宜超过 10℃/h,恒温最高温度不宜超过 60℃,出模时管片温度与环境温度差不得超过 20℃。

V)防止过早拆模，严格按照《混凝土结构工程施工及验收规范》的规定执行，防止因过早拆模导致受力构件变形和开裂。

VI)施工部门应有切实良好的工程质量管理体系；保证所使用的原材料符合产品标准和设计规定；施工程序和临时支撑拆模日期均应有施工组织设计。

e.使用阶段的检测要求

I)隧道耐久性质量检验内容

i) 通过无损检测，测定钢筋的混凝土保护层实际厚度。

ii) 通过现场混凝土表层抗渗性测试仪，测定表层混凝土的抗渗性。

iii) 从现场混凝土取样进行氯离子扩散系数的测定。

II)混凝土耐久性长期监控措施

本项目设置结构健康监测系统，通过在管片内设置预埋式结构劣化的无损监测系统，以持续监测管片的裂缝发展、钢筋的锈蚀、接缝处的漏水等项目，为混凝土劣化的分析及制定修复措施提供依据。

2.2.2.8. 隧道管材比选

由于海底隧道内的消防管道及排水管道长期处于高盐度和潮湿的环境下，且废水管输送的介质主要是含盐废水，就导致该环境下给排水管道更加容易腐蚀受损。相比国内大多数隧道工程采用的镀锌钢管来说，防腐性能更加优秀的管材主要有以下四种：PE管、不锈钢管、衬塑料复合管和内外涂塑复合钢管。

其中PE管是四种管道中防腐性能最好的管材。但PE管刚性不足，抗震及抗沉降性不好，且容易老化，熔点不高，致使存在爆管及火灾时易熔化的风险。且PE管多采用热熔连接，在运营和养护过程中，要更换和维护起来较为复杂，因此不建议采用PE管。

不锈钢管道虽然防腐能力也十分卓越，但是其价格高昂，是所有管道中价格最高的一种。且本项目隧道长度较长属于一类隧道，如果大规模采用不锈钢管，会导致工程整体造价高昂，缺乏经济合理性，因此DN100以上的管道不建议采用不锈钢管。由于泡沫水喷雾系统中的泡沫液管道管径小于等于DN100，且泡沫液也具有很高的腐蚀性，因此建议仅泡沫液管道采用不锈钢管。

涂塑复合钢管和衬塑复合钢管是较为经济合理的管材选择。这两种管道既有钢管的强度、又有很强的防腐性能。但由于衬塑钢管通常是在钢管内衬一圈塑料材质，管道外壁仍然为普通镀锌防腐材质，致使该管道在长期潮湿、高盐度的环境下，也容易从管道外壁发生锈蚀的情况。而内外涂塑钢管是在管道内和外侧均有塑料层的涂装，可有效防止内侧或外侧的腐蚀，且运营维护方便所以本项目输水的管道的管材选择内外涂塑复合钢管，采用不锈钢卡箍连接的方式，包括消火栓系统管道、泡沫水喷雾中水喷雾管道和所有排水管道。

2.2.2.9. 隧道设备及综合管线布置

方案如图 2.2-27 所示，隧道的消防管线铺设在上层的疏散楼梯间内，沿隧道纵向铺设，共设有 6 根消防管道，其中 2 根 DN250 水喷雾管、2 根 DN150 消火栓管、2 根 DN80 泡沫液管。DN300 排水管网和强弱电桥架铺设于隧道烟道的下层隧道管廊通道内。隧道上层风机采用顶部安装的形式，安装在上部弧形管片之下。下层风机位于 2 个疏散楼梯间的间隙处，采用侧面安装的形式。明挖段的双层结构隧道设备及管线布置方案如图 2.2-28 所示，将所有的消防管道，DN250 水喷雾管、DN150 消火栓管和 DN80 泡沫液管及消防器材箱均布置在隧道的一侧，位于隧道装饰板后。隧道的强电、弱电桥架也采用相同的方案布置在隧道装饰板后的空间内。因隧道的废水管道从工作机伸出至地面，因此明挖段中不再放置隧道的压力废水管道。

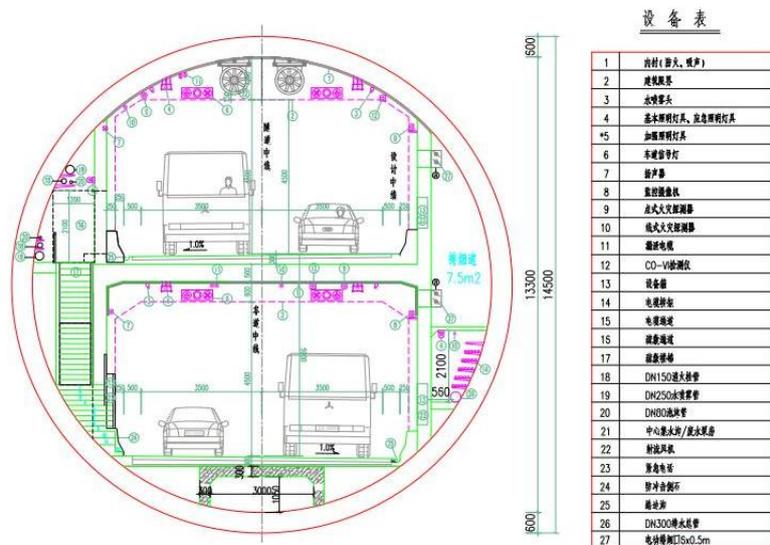


图 2.2-27 隧道盾构管综合布置图

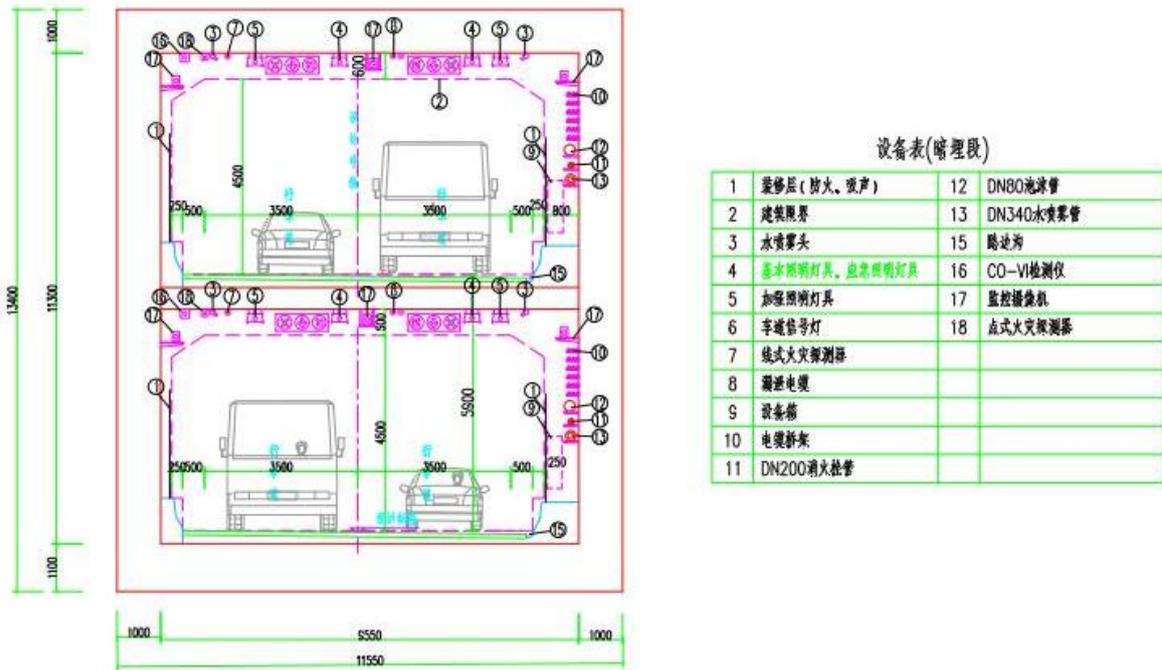


图 2.2-28 隧道明挖段综合布置图

2.3. 项目主要施工工艺与方法

2.3.1. 施工条件

2.3.1.1. 交通条件

本项目位于三亚海棠区，项目两侧连接海棠北路，衔接柳州路和山海高速，交通便利，工程所需材料，机械等运输均可通过现有道路来完成，材料运输以汽车为主。

2.3.1.2. 环境条件

项目所在的三亚海棠区全年无冷冻期，属于热带海洋性季风气候，冬无严寒，夏无酷暑，终年温暖，区域地质稳定性良好，但可能会受台风影响，施工期应充分做好防台措施。

2.3.1.3. 建筑材料

工程所需钢材、混凝土、砂石料等均可就近解决。

2.3.1.4. 施工队伍

项目周边施工队伍较多，且技术装备及施工力量雄厚，可以承担施工任务。

2.3.1.5. 场地条件

工程所在地交通方便，衔接海棠路、椰州路，与 G98 环岛高速和山海高速相连接。水上航线可通往海口、八所、广东、广西、越南海防等地，拥有理想的水陆交通网络；海南省有较好的施工条件和成熟的道路建设经验，施工力量雄厚。

综上所述，拟建项目具有较好的自然条件、落实的各种外部协作条件，完善的施工设施等依托条件，各方面施工条件均已具备，施工条件良好。

2.3.2. 施工工艺与方法

2.3.2.1. 盾构掘进施工措施

在施工阶段，重点是盾构机掘进的姿态控制，盾构施工注意以下问题：

①合理选择掘进速度，使盾构刀盘能对正面硬岩层进行充分破碎，减少刀具非正常损耗；

②对盾构刀具勤检查，及时更换磨损刀具，保持盾构机更好的工作状态；

③调整盾构机推进千斤顶的区域油压，硬岩区域推进千斤顶油压较软土部位适当加大，提高对硬岩部位的挤压力；从复合地层盾构设计施工的工程实践看，处理好以上问题，本隧道采用盾构施工应是可行的和可控的。

2.3.2.2. 穿越全断面硬岩地层处理措施

结合目前的地勘试验成果，本工程隧道全断面穿越的中风化花岗岩岩石强度较高，其中最大单轴抗压强度可达 71.5MPa；其余段落岩层抗压强度普遍在 25~53Mpa。由于全断面基岩段岩层强度的相对均一，滚刀的磨损量较为均匀，通过配置高强度滚刀，现

有的盾构机制造技术对于该种强度条件下的岩层掘进是有保证的。

综合国内类似地层盾构施工情况，例如武汉地铁 8 号线越江段(隧道外径 12.1m，岩层最大抗压强度约 200MPa)、广深港客运专线狮子洋隧道(隧道外径 10.8m，岩层最大抗压强度约 83MPa)和福田站益田路隧道(隧道外径 12.8m，岩层最大抗压强度约 220MPa)，目前均已建成实施。通过精细化管理并借鉴目前已有的大量复合地层施工经验，本工程在硬岩地层盾构掘进是有保证的。

结合既有大盾构穿越硬岩工程案例，对本工程泥水盾构提出如下配置要求：

- (1) 采用气垫式复合泥水平衡盾构机，同时配备较高效率及高可靠性破碎机；
- (2) 保证刀盘的整体结构强度和刚度适应地层特性；
- (3) 配备高强度滚刀，采取常压更换刀具及滚(刀)齿(刀)互换技术；
- (4) 通过加装耐磨材料提高刀盘和刀具的耐磨性，并设置磨损检测；
- (5) 刀盘开口率合理，采用可冲洗装置，避免刀盘中心区域结泥饼；
- (6) 配备开挖仓监控系统；
- (7) 配备盾构机全周超前钻探，中心面板也可实现超前钻探，并具有物探和超前注浆功能。
- (8) 从盾尾至盾尾后 50 环，隧道姿态实时测量系统，并具有同步注浆密实度实时监测系统。
- (9) 配备双液浆同步注浆系统。

2.3.2.3. 盾构始发、到达端头土体加固

为了在拆除盾构工作井的盾构端头临时墙时保持地层的稳定，防止在盾构出洞始发完全进入地层之前与防止盾构进洞到达完全脱出地层之后其周围流出地下水和泥砂造成端头失稳，需要考虑地层条件、水文条件、隧道埋深及周边环境等因素对盾构进出洞端头进行相应处理。

由于盾构始发推进、接收时，上部覆土层较薄，为保证盾构推进时的泥水系统压力平衡，控制盾构姿态，所以需要对土层进行加固。总结国内盾构隧道各类地层中的端头加固的施工经验、参照国内外类似工程的相关实例和本工程的各端头地质条件、地表环境等实际情况，确定对本工程的盾构进出洞端头地层进行加固，采用高压旋喷桩桩加固。

北延盾构始发上部土层采用旋喷加固。盾构开洞范围为岩层，接收井在侧墙内预埋钢管超前注浆。采用注浆花管，前进式分段注浆工艺。注浆范围为隧道外侧 5m，注浆长度为 20m。同时在开洞范围上方 120° 设置注浆管棚。始发纵向长 20m。南岸盾构接收端头采用旋喷加固，在靠洞口连侧墙外侧设置方式，高压旋喷桩施工范围，盾构隧道上下及左右两侧各 3m，始发纵向长 20m。

盾构始发、接收地层加固要求：

- (1) 凿除洞门时洞口土体的稳定性；
- (2) 初期泥水平衡的建立；
- (3) 封堵洞门以及盾构刀盘前方土体的稳定；
- (4) 洞口密封方法以及洞门附近土体加固。

2.3.2.4. 盾构施工方案

盾构采用一次性整机始发。在盾构完成试验段 60m 掘进后，拆除盾构工作井内的负环管片、反力架等，安装后配套拖车上的风管、风机。

(1) 盾构 60 米试掘进

①试掘进段的目的

- 1) 用最短的时间对盾构机的操作方法、机械性能进行熟悉，较好的控制隧道轴线及地面沉降。
- 2) 加强地面沉降的监测，及时获取监测结果，调整施工参数，进行泥水参数的优化。
- 3) 逐步熟悉掌握盾构掘进、管片拼装的操作工序，并提高管片拼装质量，加快施工进度。
- 4) 加强对盾构施工参数的采集，取得各种数据，并结合监测资料进行综合分析研究，掌握盾构在控制地面沉降、纠正轴线偏差等方面的特性，为此后的湖底施工参数设定积累经验。

②地面沉降控制

- 1) 每环推进过程中，严格控制切口泥水压，波动范围控制在 $0.02\text{kg}/\text{cm}^2$ 以内，

使切口正面土体保持稳定状态，以减少对土体扰动程度。

2) 采取信息反馈的施工方法沿隧道纵向轴线位置布设沉降观测点。在盾构推进过程中进行跟踪沉降观测，并将所测沉降数据进行分析并及时反馈，为调整下阶段的施工参数提供依据。

3) 及时充填盾尾建筑空隙，一般可采用同步注浆及二次补强注浆工艺，对沉降量控制较小的范围可根据监控量测结果作跟踪注浆，补强注浆材料可采用水硬性浆液。

4) 通过对实测数据与施工参数的收集和整理，形成一套较为完善的泥水平衡盾构施工智能数据库。

(2) 盾构正常掘进

① 施工控制标准

1) 隧道防水控制标准：隧道防水施工是直接影响隧道设计 100 年的使用年限的重要因素之一，因此，隧道防水施工极为关键。

2) 隧道沉降控制标准：在正常推进条件下，地表沉降值控制范围在 30mm，盾构推进引起的地面沉降不能影响周围建筑物和地下管线的安全和正常使用。

3) 轴线允许偏差：高程偏差 $\pm 100\text{mm}$ ，平面偏差 $\pm 100\text{mm}$ 。

4) 管片错台 $< 3\text{mm}$ ，管片拼装无贯穿裂缝，无大于 0.2mm 宽的裂缝及剥落现象。

5) 水平直径和垂直直径允许偏差 $< 40\text{mm}$ （近似于直径的 3%）。

② 掘进管理

盾构机在完成前 60m 的试掘进后，根据始掘进段的施工参数的分析总结，确定正常掘进施工参数选取。为保证工程施工的顺利进行，加强盾构在正常段的掘进管理，主要内容包括：

1) 根据地质条件、覆土厚度和试掘进过程中的经验结果进一步优化掘进参数。

2) 推进过程中，严格控制好推进方向，将施工测量结果不断地与计算的三维坐标相校核，及时调整。

3) 盾构操作人员应根据当班工程师指令设定的参数推进，推进与管片背后注浆

同步进行。不断完善施工工艺，控制施工后地表最大变形量在 30mm 之内。

4) 盾构掘进过程中，坡度不能突变，隧道轴线和折角变化不能超过 0.4%。

5) 盾构掘进施工全过程须严格受控，工程技术人员根据地质变化、隧道埋深、地面荷载、地表沉降、盾构机姿态、刀盘扭矩、千斤顶推力等各种勘察、测量数据信息，正确下达每班掘进指令，并即时跟踪调整。盾构机操作人员须严格执行指令，谨慎操作，对初始出现的小偏差应及时纠正，应尽量避免盾构机走“蛇”形，盾构机一次纠偏量不超过 4mm/环，以减少对地层的扰动。

6) 做好施工记录：盾构推进压力、盾构掘进速度、盾构刀盘压力、刀盘转速、泥水仓压力、泥浆流量、注脂压力、注浆压力、盾构竖直及水平偏差及盾构机各设备运行状态等。

(3) 盾构到达施工

盾构到达施工是指从盾构机掘进到达接收井之前 50m 到盾构机掘进贯通区间隧道进入接收井被推上盾构接收基座的整个施工过程。因此，盾构的到达相对于区间隧道的施工有其特殊性与重要性。到达施工主要包括：

到达端头加固→盾构机定位及到达端洞口位置复核测量→洞口处理→盾构到达段掘进→碴土清理及洞门临时密封装置安装→接受基座安装及盾构机布上接收基座→灌水→洞口圈封堵

2.3.2.5. 盾构机拆卸

根据施工进度要求，盾构机到达江南岸工作井端头，开始实施拆机工作。

(1) 盾构机拆卸技术措施

①盾构拆卸前必须制定详细的拆卸方案与计划，同时组织有经验的经过技术培训的人员组成拆卸班组。

②汽车吊机工作区应铺设钢板，防止地层不均匀沉陷。

③大件拆卸时应对竖井端头墙进行严密的观测，掌握其变形与受力状态。

④大件吊装时必须有 300t 以上的吊车辅助翻转。

⑤拆卸前必须对所有的管线接口进行标识（机、液、电）。

⑥所有管线接头必须做好相应密封和保护，特别是液压系统管路、传感器接口等。

⑦盾构机主机吊耳的布置必须使得吊装时的受力平衡，吊耳的焊接必须由专业技术人员操作，同时必须有专业技术人员进行检查监督。

(2) 拆机步骤

安装接收架（始发基座）→盾构机推出至接收架上→盾构机主机与后配套脱离→将主机电器、液压系统进行拆卸→将主机各大件连接螺栓进行拆卸→利用汽车吊将盾构机的大件吊卸，同时用汽车吊辅助翻身并运出退场→将后配套依次顺序拆卸并同时吊装，用汽车运输退场→清理现场，完成盾构机的拆卸工作

2.3.3. 工程重难点分析和对策

2.3.3.1. 工程特点

由于隧道线位涉及椰子洲岛风景名胜区，因此工程采取盾构法施工。由于拟定项目位置最大覆土厚度为 38.2m，最大水压约 0.52MPa（根据百年洪水位计算），隧道主要穿越粉土粉砂层和中风化花岗岩，结构受力不均衡，要求管片具有较大的抗弯刚度和良好的抗压、抗渗能力，因此工程设计采用平板型混凝土管片。

2.3.3.2. 隧道抗浮设计及措施是本工程的重点

隧道覆土厚度是决定隧道造价及施工安全的关键因素，在满足各种使用、施工、河床等地质条件下，应尽量减小隧道的埋置深度。但是，当隧道置于覆土太浅的饱和含水地层中，浮力大于结构自重与覆土重量之和时，又会造成结构的整体上浮失稳。因此必须考虑隧道最浅覆土处的抗浮稳定。

抗浮验算分施工阶段与运营期阶段两种工况进行。

(1) 施工期

施工期主要考虑该阶段最小抗浮要求及掘进安全要求。按照目前的工程实例，施工期最小覆土厚度可控制在 0.7D。

①本隧道在穿越椰子洲风景区地段处于花岗岩地层，隧道顶距离藤桥东河河床面最小为 17m，可满足施工期隧道最小覆土的要求；

②工作井盾构始发段覆土厚度为 10.84m，满足抗浮要求。

(2) 运营期

根据《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目工程可行性研究方案》，最大冲刷点位于藤桥河靠近南岸位置，现状河床标高扣除最大冲刷深度后，隧道埋深（13.34m）仍满足隧道的最小抗浮设计要求 4.5m，可满足运营期抗浮要求。

2.3.3.3. 盾构法结构设计是本工程的重点

(1) 衬砌形式

从国内外大直径盾构法隧道的实例来看，采用单层、双层衬砌结构的均有。各种水文地质条件下江（海）底盾构隧道的实践证明，采用单层衬砌完全可以满足圆形衬砌环变形、接缝张开量、混凝土裂缝及耐久性等方面的设计要求。采用单层衬砌具有施工工艺简单、工期短、投资节省的优点，因此本工程盾构段设计采用单层衬砌。

(2) 管片结构形式

盾构隧道常用的管片从材料上区分有混凝土管片、钢管片、铸铁管片等，从管片结构形状上区分有平板型管片、箱型管片和中子型管片。其中平板型混凝土管片从结构耐久性、工程造价等方面有较大的优越性，是目前盾构隧道衬砌管片的主要形式，故本工程设计采用平板型混凝土管片。

本隧道最大覆土厚度约 38.2m，最大水压约 0.52MPa（根据百年洪水位计算），隧道主要穿越粉土粉砂层及中风化花岗岩层，结构受力不均衡，要求管片具有较大的抗弯刚度和良好的抗压、抗渗能力。

综合以上分析，本工程衬砌管片型式采用 C60 钢筋混凝土平板形管片，抗渗等级 P12。

(3) 衬砌环类型

本工程拟采用通用楔形环管片，理由为：

①通过管片环旋转，满足全线直线段、平曲线段、竖曲线及施工纠偏要求，施工方

便。

②本工程南北盾构段总长约 2.45km，不需要再设计直线环或专用的转弯环，减少了钢模数量。

③通过管片不同的旋转角度实现曲线的拟合，可最大程度地减小曲线拟合误差的积累，隧道轴线偏差可控制在 5mm 以内，满足隧道轴线拟合误差的要求。

④便于管片的贮存、运输及施工管理。考虑到通用楔形环需要管片模板量少、拼装质量高、施工管理便利等特点，特别是可以拟合竖曲线，从而避免了其他类型管片必须通过设置接缝垫片方式来拟合竖曲线、从而对接缝防水效果产生不利影响的缺点，因此推荐采用通用楔形环管片。

2.3.3.4. 盾构下穿近邻构筑物 and 桥梁桩基，是本工程的重点和难点

隧道建设入口位于四季酒店出入口附近，下穿椰林路桥梁，隧道盾构结构需要避让桥梁桩基；受藤桥河排水闸位置影响，隧道盾构段选择绕避水闸。

(1) 盾构掘进时可能存在的难点

盾构施工时操作不当，将对构筑物、道路、管线等的保护造成破坏。

(2) 施工控制措施

①开工前做好对不良地质现象、周边构筑物和地下管线的详细调查，特别应查明施工区域内的流砂、承压水、不明构筑物、贮水体等情况，并应针对不良水文、地质现象制定相应的技术措施予以根除，确保盾构施工过程的绝对安全。

②根据建筑物与盾构隧道的垂直和水平关系，对盾构施工中对其影响进行分析、评估，分类，并根据需要进行保护施工。

③对风险大的建（构）筑物委托专业机构进行评估。

④与建筑物产权人或单位做好协调工作。

⑤建筑物需提前进行加固的工作量大，调配专业人员进行施工管理，合理安排施工计划。

⑥加强掘进管理控制，在掘进加强泥浆调制管理，保证开挖面的泥膜成膜效果，严格推进速度等参数的控制，建立有效的泥水平衡，确保开挖面的稳定。

⑦做好施工前、施工中和施工后的整个阶段的建筑物状态的监控、监测和数据分析与反馈总结工作。

⑧盾构掘进时加强同步注浆管理，掘进后及时通过管片预留注浆孔进行二次补充注浆，同时根据监测结果跟踪注浆，必要时进行地表加固处理。

⑨根据建（构）筑物类型，分类制定详细的、切实可行的应急预案。

2.3.3.5. 盾构穿越不同地层是本工程的难点

盾构掘进穿越软硬不均复合地层以及全断面花岗岩地层，需要从盾构机制造、掘进施工等方面采取综合配套措施处理。

(1) 复合地层段掘进中存在的问题

根据我院在类似地层的设计经验看，穿越软硬不均复合地层盾构施工存在以下方面的困难：

①刀具偏磨

因滚刀只有在一定的启动扭矩的情况下才能转动，在切割基岩时，因其天然抗压强度较高，刀具会启动自转，但在软土地层因其无法提供相应的启动扭矩，刀具仅磨损迎土面，最终形成刀具偏磨。在类似地层盾构掘进时，刀具磨损情况会比较严重，需频繁更换刀具，影响掘进进度，且具有一定的安全风险。



图 7.1-1 大直径复核泥水加压平衡盾构更换下来的刀具

②刀盘受力不均

在掘进千斤顶作用下，因前方地层抗力不均，引起刀盘结构受力不均，严重时可引起刀盘辐条开裂，危及施工安全。

③盾构施工对周边地层扰动大

从既有隧道施工经验看，软硬不均地层施工时因刀具、刀盘损耗等因素，其盾构姿态控制困难，引起盾构施工对周边地层扰动较大，严重时地面塌陷、冒浆。

广深港客运专线狮子洋隧道、深圳益田路隧道及台山核电输水隧洞均遇到该问题。

(2) 穿越软硬不均复合地层处理措施

针对本项目盾构穿越复合地层特点，可以从以下三方面着手处理该问题。

①线路纵断面

采用 4.5%大坡穿越，尽量缩短盾构穿越软硬不均段的长度。软硬不均段主要为 K1+050~K1+250 段，总长约 200m。

2.3.4. 碴土排放及运输

2.3.5. 施工机械准备

2.3.5.1. 盾构选型介绍

盾构选型主要依据工程地质条件、隧道设计参数、盾构施工工艺、进度要求等因素

综合进行分析，对盾构类型、驱动方式、功能要求、主要技术参数，辅助设备的配置等进行研究。

(1) 盾构类型概况

①泥水平衡与土压平衡盾构

根据已收集的隧道工程地质、水文地质情况及隧道直径等工程特点，可选择的盾构类型有土压平衡和泥水平衡盾构。不同类型的盾构对地层有一定的适应范围，盾构机选择的两个主要方面为掘进地层颗粒大小及组成和盾构通过地层的渗透系数。土压平衡盾构最适应于细颗粒地层，切削的碴土易获得塑性流动性和不透水性，土压力作用于工作面。而泥水平衡盾构最适应于较粗颗粒地层，在砂土地层易形成泥膜，以防止地下水喷出，泥水压力作用于工作面。

地层渗透系数对于盾构机的选型是一个很重要的因素。根据欧美和日本的施工经验，两种盾构能够适应的地层渗水系数范围如下图所示。当地层的透水系数小于 $10^{-7}m/s$ 时，可以选用土压平衡盾构；当地层的渗水系数在 $10^{-7}m/s$ 和 $10^{-4}m/s$ 之间时，既可以选用土压平衡盾构也可以选用泥水式盾构；当地层的透水系数大于 $10^{-4}m/s$ 时，宜选用泥水盾构。

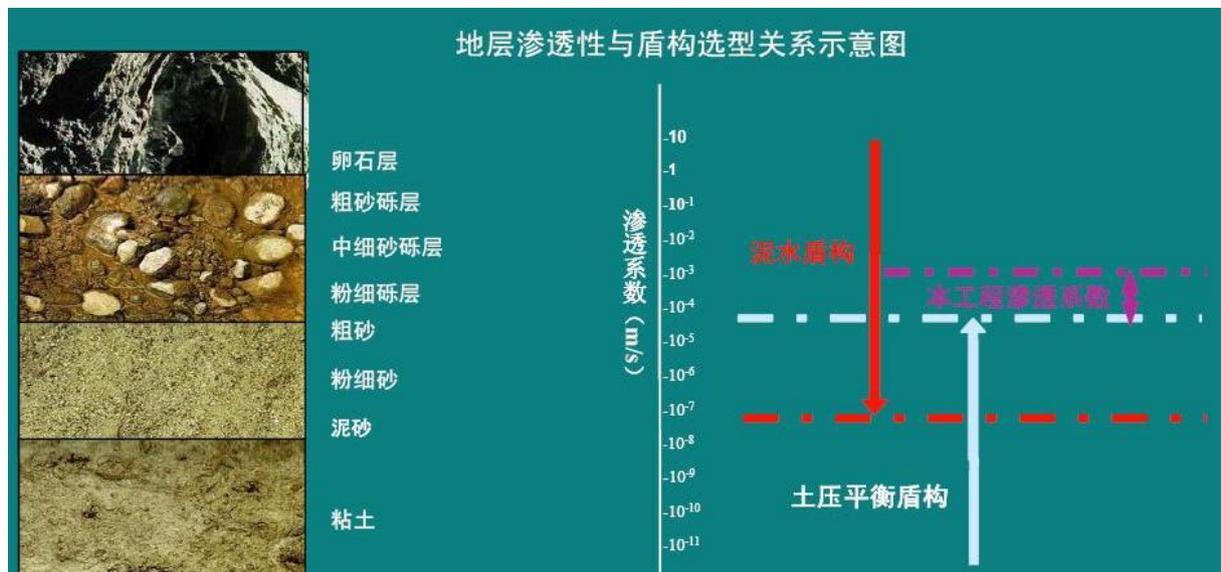


图 2.3-1 地层渗透性与盾构选型关系图

(2) TBM

①TBM 概述

TBM 法是采用全断面岩石掘进机（TunnelBoringMachine，简称缩写 TBM）进行隧

道施工的方法的简称。TBM 是一种集掘进、出渣、导向、支护等多功能于一体的隧道施工机械，具有施工安全、快速、环保、高效、优质、自动化和信息化程度高等特点，适用于有自稳能力的岩层开挖。TBM 破岩工作原理为：主机前部是装有若干滚刀的刀盘，由刀盘驱动系统驱动刀盘旋转，并由 TBM 推进系统给刀盘提供推进力，在推进力的作用下滚刀切入掌子面岩石，不同部位的滚刀在掌子面留下不同半径的同心圆切槽轨迹，在滚刀的挤压下岩石产生破裂，裂纹不断扩张联通，相邻切槽上的岩石在剪切力和拉应力的作用下，从岩体上剥落下来形成石渣，石渣随着刀盘的旋转由刀盘上的铲渣斗自动带起，经刀盘结构内的溜渣槽滑落到主机皮带上，再连续转运到后配套的电带上运出。

②双模盾构

双模盾构既泥水平衡+TBM 或土压平衡+TBM 的工作模式，该盾构类型考虑施工效率，在岩石较为完整且强度较高的地层采用 TBM 模式；除上述地层条件外，盾构可根据地层实际情况切换至泥水平衡模式或土压平衡模式。

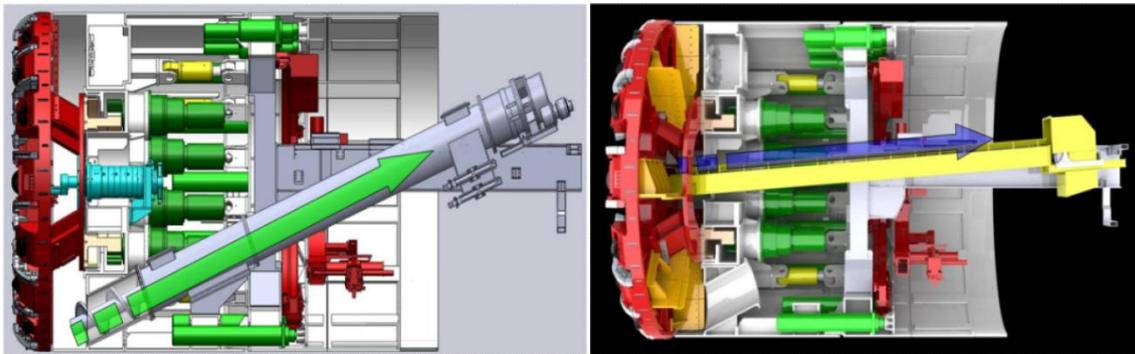


图 2.3-2 土压/TBM 双模混合盾构工作示意图

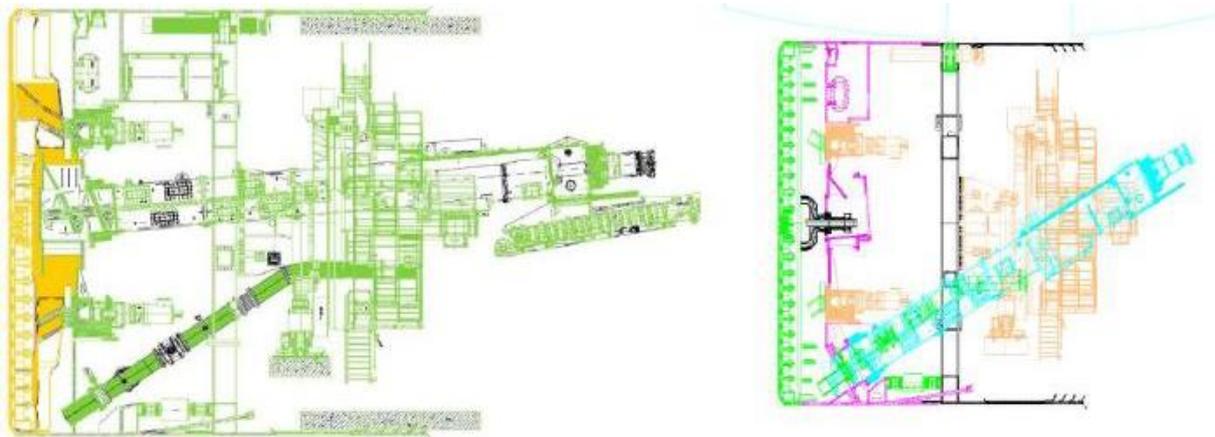


图 2.3-3 泥水/TBM 双模混合盾构工作示意图

2.3.5.2. 盾构选型

本工程隧道在椰子洲南岸穿越的粉砂层长度约 150m、砂层+强风化砂岩+中风化花岗岩软硬不均复合地层约 200m、全断面中风化花岗岩约 2100m。

粉土粉砂层及复合地层段落渗透性强，水压较高(0.33Mpa)；同时盾构为外径 14.5m 的超大直径盾构，从地质条件和施工安全性方面分析，土压平衡盾构在开挖面压力平衡控制方面较难满足要求，而 TBM 难以解决掌子面稳定问题，故该段落应采用泥水平衡盾构；在 2100m 的全断面花岗岩段，隧道承受的最大水压达 0.52Mpa（根据百年洪水位计算），水压高，目前可研阶段该岩层段地下水分布以及不良地质构造尚不明确；另一方面该段落隧道顶部中风化花岗岩的厚度范围为 4~11m，小于 1 倍洞径，采用 TBM 掘进，难以保证掌子面稳定，故本项目全线采用泥水+TBM 双模盾构类型风险较大，故不推荐。

借鉴类似工程经验，从盾构开挖面稳定性、盾构掘进姿态控制、地下水控制等方面考虑，推荐本工程全段落采用气垫式复合泥水平衡盾构，该种盾构对于开挖面的压力控制更为精确，施工安全性更高。目前已建成通车的武汉长江隧道、南京长江隧道和上海长江隧道均采用该种盾构，最新贯通的南京燕子矶长江隧道同样也是采用该种盾构。

本工程对复合式泥水平衡盾构机的适应性要求如下：

- (1) 适应高水压和地层渗透性要求；
- (2) 对软弱不均复合地层、全断面硬岩的适应性要求；
- (3) 对长距离掘进及刀具更换的适应性要求；
- (4) 对局部浅覆土和小间距的适应性要求；
- (5) 对最大纵坡和最小曲线半径的适应性要求；
- (6) 地表沉降控制要求；
- (7) 精确方向控制要求；
- (8) 掘进速度满足工期进度要求；
- (9) 对施工安全及环境保护的要求。

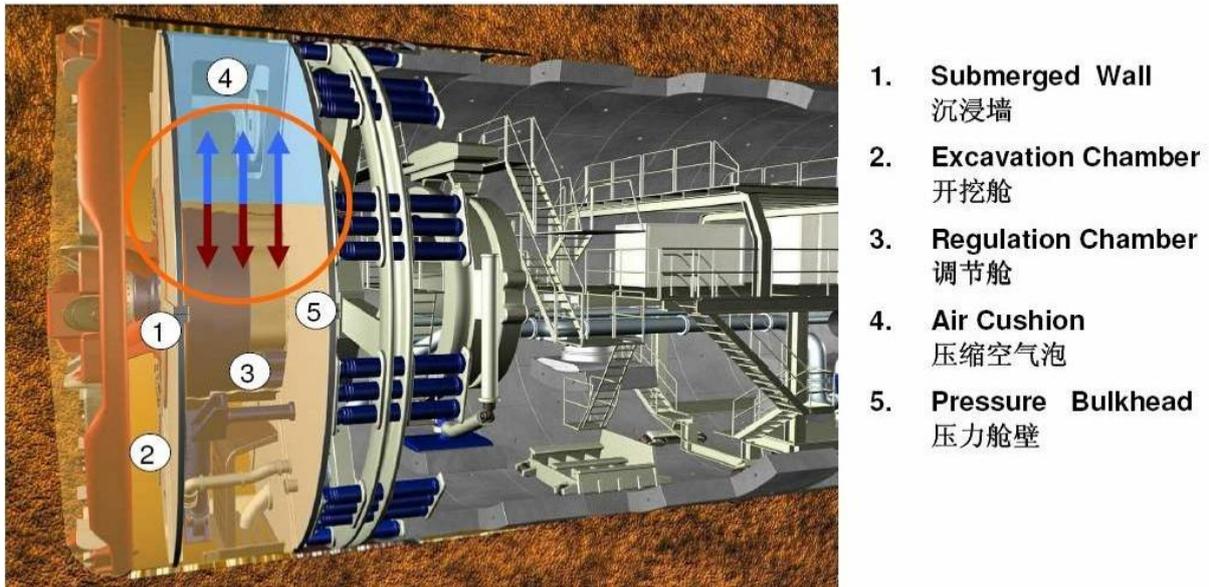


图 2.3-4 混合盾构机气垫技术基本原理图

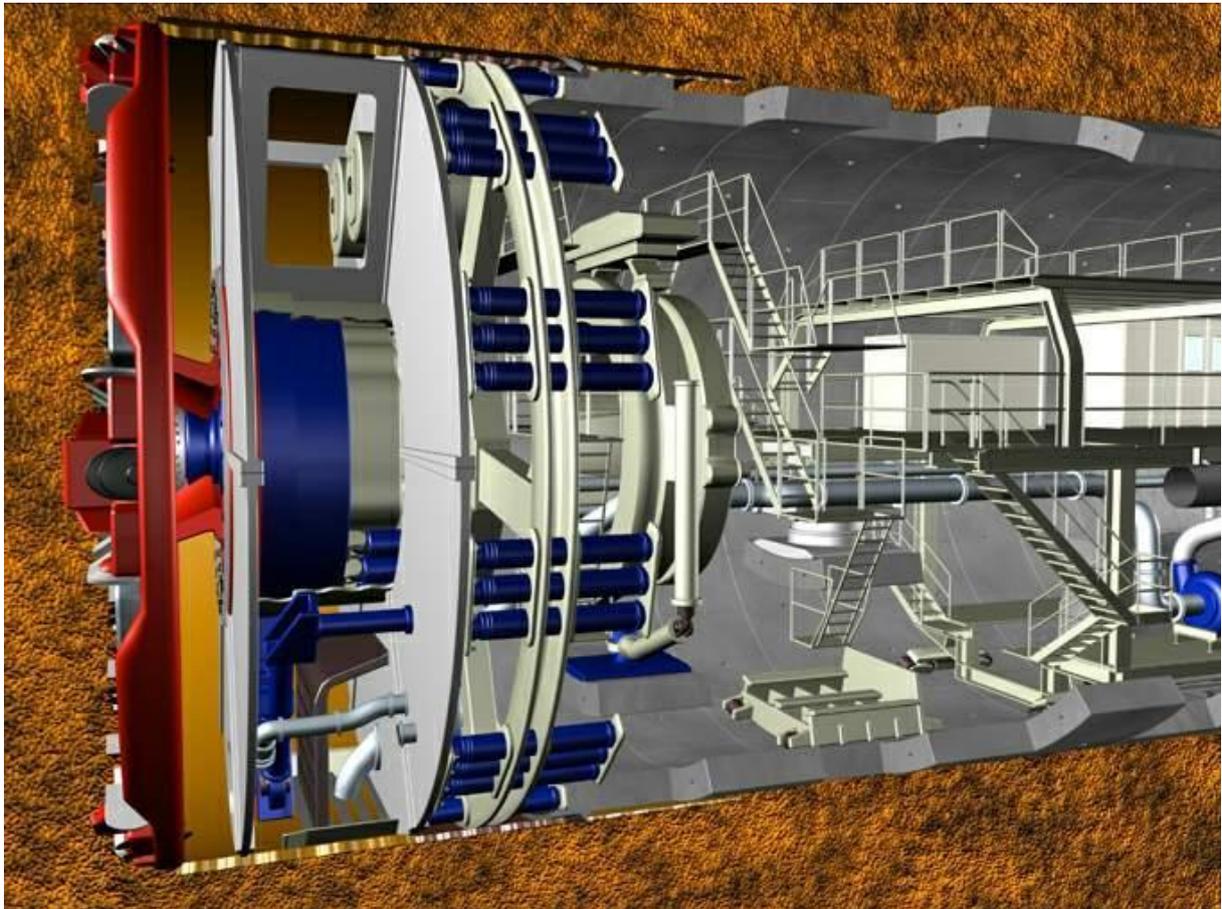


图 2.3-5 复合式泥水盾构结构示意图

2.3.5.3. 盾构机制造

本项目地层不是不适合盾构施工，只是盾构施工的工效较低，且国内外也有不少成

合理配置具有足够破岩能力的滚刀和破碎机。采用气垫式泥水平衡盾构（带常压换刀功能），精确的控制掌子面压力，可保证软硬不均地层开挖面的稳定性。泥水管路系统应根据盾构开挖地层的特性设置相应的泥浆泵。

表 2.3-2 典型的常压换刀泥水平衡盾构机工程造价和研制工期表

项目名称	盾构机直径	研制工期	盾构机造价	备注
武汉地铁 8 号线越江隧道	Φ12.51	11 月	2.32 亿	硬岩刀盘
南京地铁 10 号线过江隧道	Φ11.64	11 月	1.615 亿	软岩刀盘
南京长江隧道	Φ14.93	14 月	3.51 亿	软岩刀盘
土耳其伊斯坦布尔 波斯普鲁斯海峡隧道	Φ13.66	14 月	-	硬岩刀盘
武汉地铁 7 号线 三阳路越江隧道	Φ15.76	16 月	4.5 亿	硬岩刀盘
珠三角佛莞城际铁路 狮子洋隧道	Φ13.60		3.4 亿	

2.3.6. 土石方平衡

2.3.6.1. 隧道工程土石方平衡

本工程隧道盾构段横断面直径 14.5m，盾构段长度为 2450m，即涉海开挖量实方约为 161.83 万 m³，松方按 1.5 倍计算为 242.72 万 m³；工作井挖方约 2.17 万 m³，回填方量约 0.36 万 m³；明挖段挖方约 25.79 万 m³，回填方量约 9.69 万 m³。共产生弃方约 78.59 万 m³。

盾构过程泥浆循环系统产生泥浆量约 5 万 m³，泥浆处理在自建砂浆站内进行，泥水分离系统对盾构排出的泥浆进行处理，使排出泥浆能够重新达到盾构掘进过程中泥浆的要求，由泵送入盾构机，加以循环利用，从而达到整个盾构过程中的泥水物质平衡。废浆全部可以处理成干渣，无需泥浆外排。

本项目可研阶段尚未确定最终弃土场，目前施工营地设置渣土场面积 10100m²，施工产生弃土暂存渣土场。

2.3.6.2. 道路工程土石方平衡

本项目道路工程总挖土石方为 8.92 万 m³，填方量为 2.18 万 m³，即废弃土石方为 6.74 万 m³。

表 2.3-2 土石方平衡表

工程		挖方 (万 m ³)	填方 (万 m ³)	弃方 (万 m ³)
隧道工程	明挖段	25.79	9.69	16.1
	工作井	2.17	0.36	1.81
	盾构段	60.68	0	60.68
道路工程		8.92	2.18	6.74
盾构 (泥浆)		0	0	5.00
合计		97.56	12.23	90.33

2.3.7. 施工进度安排

本项目施工期共分为 5 个工区，见表 2.3-3。

表 2.3-3 工区划分表

序号	工区名称	主要施工任务
1	北岸工区	北岸明挖段、始发工作井及规划支路施工
2	南岸工区	海棠北路明挖段、接收井的施工
3	椰子洲岛段工区	盾构施工洞内道路及附属工程和设备安装外的所用工程
4	机电设备安装工区	本工程机电设备采购、安装工程
5	其他工程工区	道路、管理用房泵房等以上四个工区未包括的工程任务

盾构段施工进度指标如下：

盾构始发及接收段：120m/月；穿软硬不均地层：60m/月；穿基岩段：100m/月；

一般砂土、粘土段：200m/月。采用 1 台复合式泥水平衡盾构机，先后由北侧工作井始发、在南侧海棠路工作井接收。

工程建设应严格按照总的进度要求，及时进行组织协调，保证施工有条不紊地进行。根据本工程的规模和施工特点，本工程计划总工期为 44 个月，主要施工项目为隧道工程、道路工程等。

2.4. 项目用海需求

三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目主要建设内容为以既有海棠北路与龙海路交叉口为起点，沿海棠路向北下穿椰子洲岛风景名胜区，终点顺接山海高速与椰洲路预留的交叉口。隧道全长约 3785m，其中盾构段长约 2450m，明

挖段长约 1335m；穿越椰子洲岛风景保护区及水域段采用暗挖隧道盾构法施工，两岸采用明挖法施工。项目实际用海面积为 4.8656ha，项目施工采用盾构法从底土穿越，不占用岸线，拟申请用海期 40 年。项目用海类型为“海底工程用海”（一级类）中的“海底隧道用海”（二级类）；用海方式为“构筑物”（一级方式）中的“暗挖海底隧道”（二级方式）。申请用海宗海图见图 2.4-1~图 2.4-3。

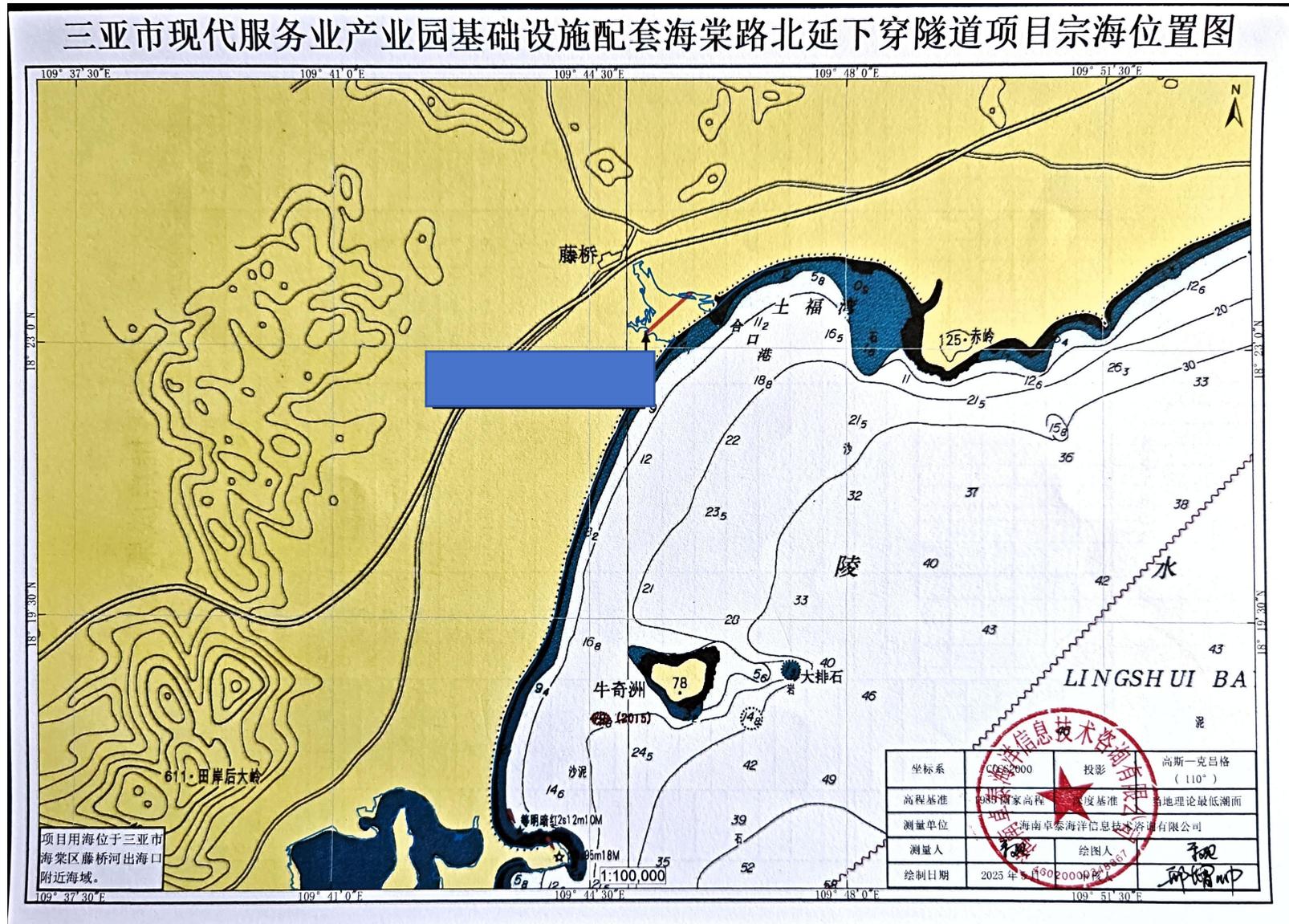


图 2.4-1 宗海位置图

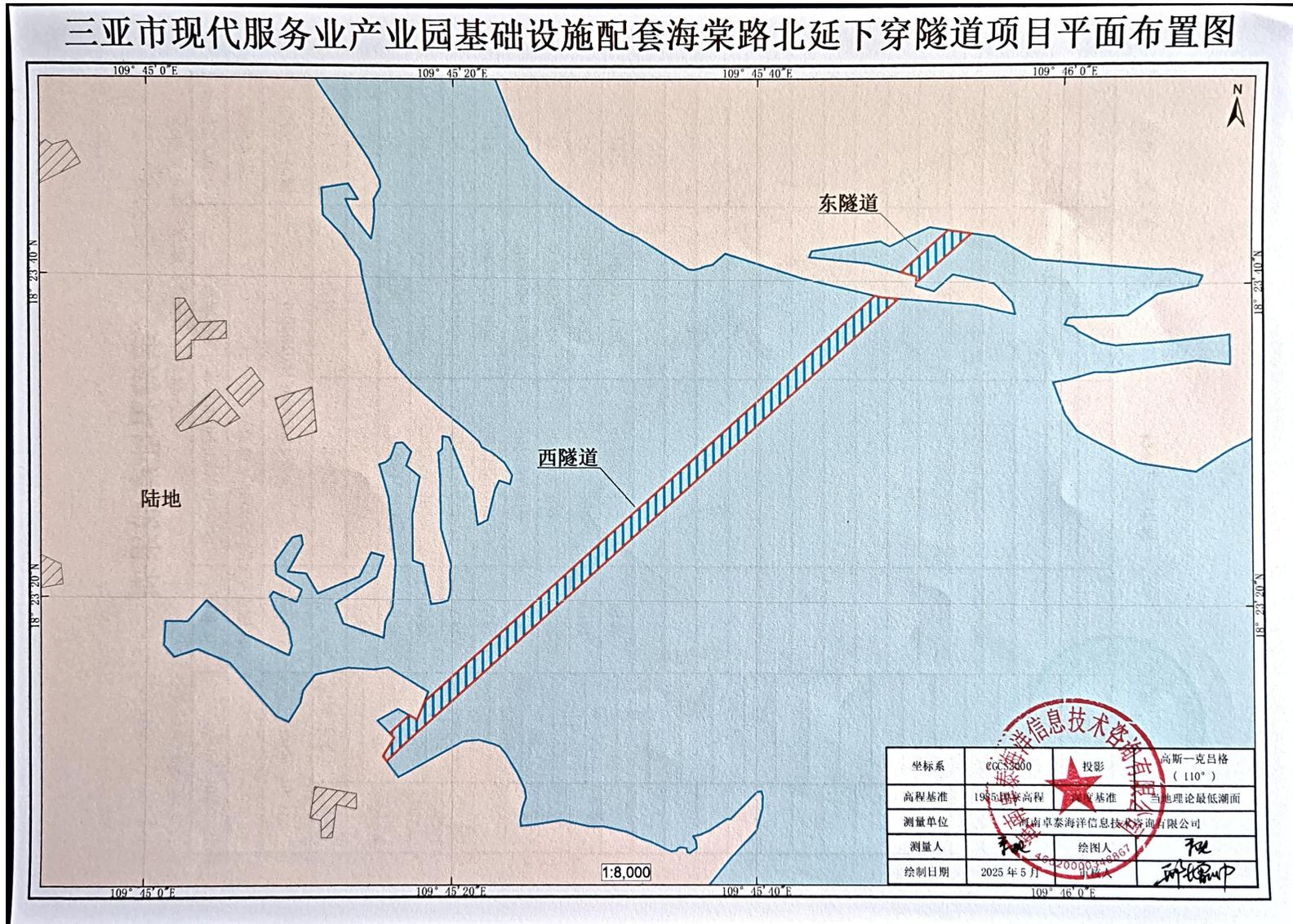


图 2.4-2 宗海平面布置图

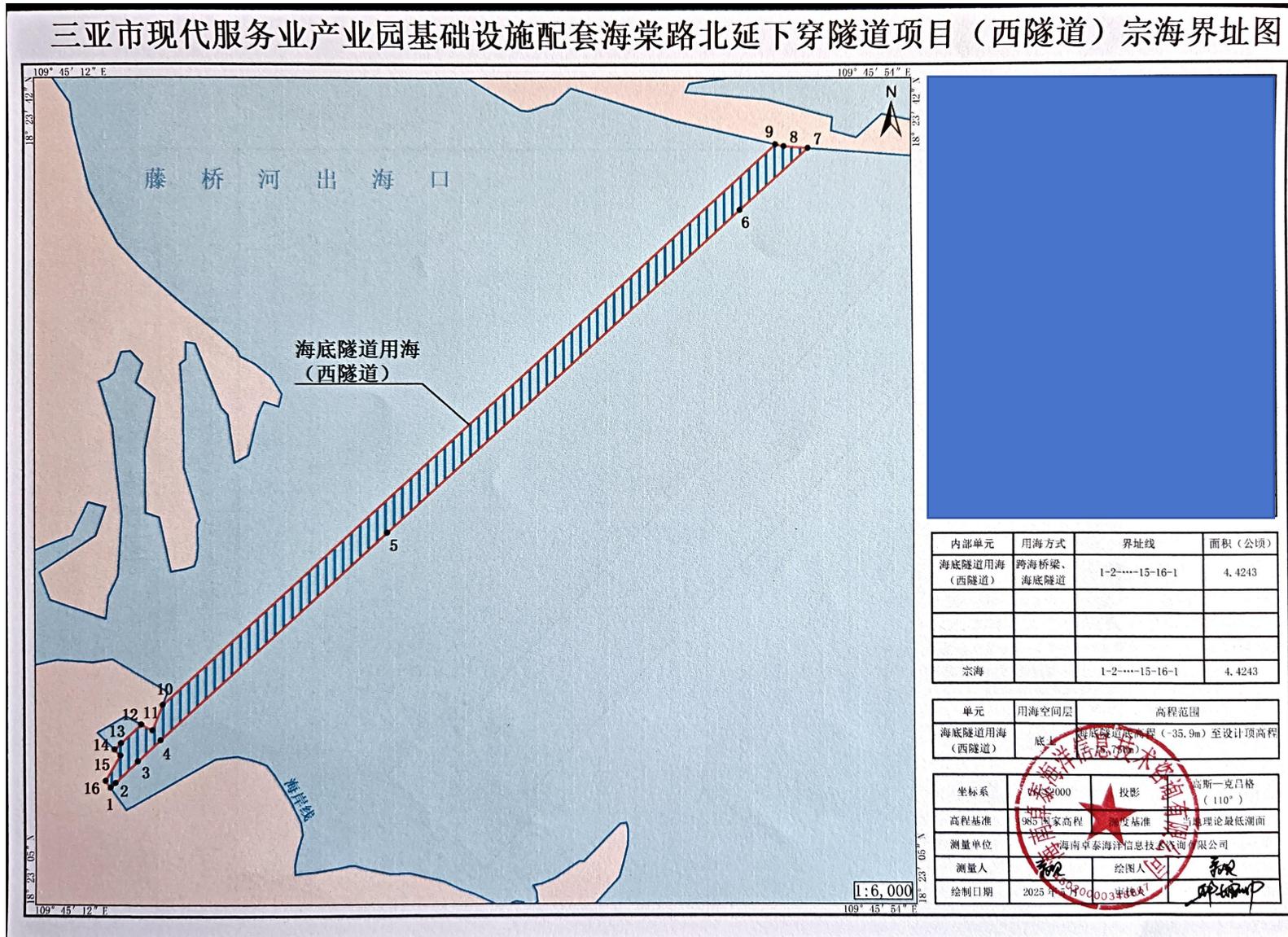


图 2.4-3a 宗海界址图

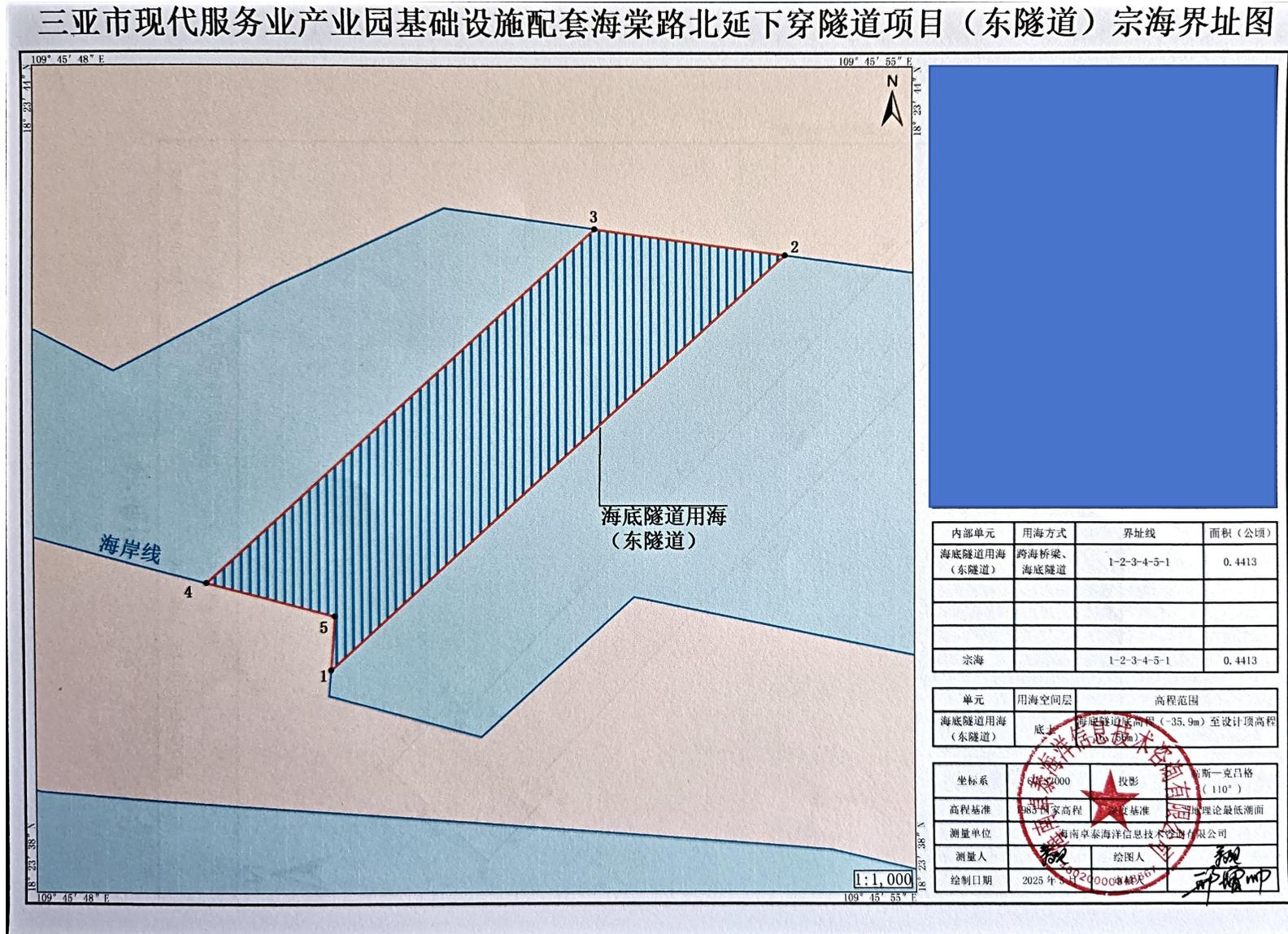


图 2.4-3b 宗海界址图

2.5. 项目用海必要性

2.5.1. 建设的必要性

(1) 本项目符合《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》

根据《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》，以“三城并举”融合城乡发展空间，旨在突破三亚长条形城市发展局限，有效利用 G98 北侧至 G98 高速扩容工程之间的空间资源，统筹城乡发展，优化城乡功能布局，构建“主城区-城郊组团-中心村-基层村”四级城乡体系，引领高质量发展。

本项目对于支撑三亚和海棠湾国土空间布局，改善海棠湾对外连接，衔接对外高速公路、环岛旅游公路，改善区域内部交通系统，促进地区交通微循环等多方面具有有重要意义。因此本项目的建设也支撑三亚市“十四五”社会经济发展规划、国土空间布局规划以及海棠湾专项规划等，是符合三亚和地区的相关规划的。

(2) 本项目响应《三亚海棠湾国家海岸休闲园区控制性详细规划》，有利于改善片区层面交通问题。

针对日趋严峻的交通问题，面向未来亚龙湾、海棠湾（后简称“两湾”）旅游服务高质量发展要求，三亚市明确提出要切实解决现状亚龙湾、海棠湾对外交通进出不畅、内部交通服务品质不高、特色不显等问题。本规划力求以“两湾”为着眼点，以近中期为重点，采取综合手段，解决片区交通面临的突出问题，并为“两湾”长远高质量发展预留条件。

海棠湾地区结合地区交通问题及发展需求，进行了片区层面的交通改善专项规划。在该规划中提出推动海棠路北延，定位为城市主干路，增加南北向贯通通道与 G98 高速、山海高速衔接，匹配南北向交通联系需求。通过海棠路北延伸项目的建设，将有利于内部交通北向的分流，避免过多交通通过龙海路，藤桥互通进行转换；目前地区向北疏散通道主要通过海棠湾北互通，土福湾互通，内外交通主要依靠椰洲路、环岛旅游公路、椰林路进行转换，这些通道存在绕行多、沿线开发进出交通干扰等问题，导致内外转换功能没有充分发挥，对于免税城等片区的直接分流作用不明显，未来随着流量的增加，这条通道的压力将增加，而新建海棠湾北延伸后，北向疏散通道的线形顺直，绕行

也减少了将近 2km，分流效果将大幅上升，因此建设海棠湾北延伸是完善海棠湾北部内
外交通衔接的重要抓手。

(3) 本项目符合《扩大内需战略规划纲要（2022-2035 年）》的要求

根据《扩大内需战略规划纲要（2022—2035 年）》，要求“优化投资结构，拓展投资空间”，就包括：持续推进重点领域补短板投资，加快交通基础设施建设。完善以铁路为主干、以公路为基础、水运民航比较优势充分发挥的国家综合立体交通网，推进“6 轴 7 廊 8 通道”主骨架建设，增强区域间、城市群间、省际间交通运输联系。完善公路网骨干线路，提升国家高速公路网络质量，加快省际高速公路建设，推进普通国省道瓶颈路段贯通升级。

基础设施建设等重大项目吸纳投资大，产业链条长，创造就业机会多。2023 年全国固定资产投资同比增长 6.1%，基础设施投资增长 7.1%，比全部投资增速高 1%。这显示出，基础设施投资仍是当前稳定宏观经济大盘的重要抓手。

2.5.2. 用海的必要性

本项目作为海底隧道工程建设，项目用海是由工程建设的特殊性及其项目建设的必要性决定的。

项目的建成将支撑三亚市城市空间结构的形成，实现三亚南部国际贸易港和国际旅游城的目标，特别是支撑海棠湾“一线、五楔、九片区、三统筹”的空间结构，对于海棠区未来的发展和定位是具有极其重要的作用。

对于海棠路北延下穿隧道项目可行性研究中，在现场踏勘、勘察的基础上，结合沿线地形、城市规划等工程建设环境因素，从工程可行性和经济合理性出发，根据桥梁、隧道不同的工程特性共研究了一个桥址方案和两个隧址方案。

表 2.5-1 桥隧方案综合比选表

序号	比较内容	桥梁方案	隧道方案
1	施工经验及难度	施工经验较多，施工难度较小	已积累一定的施工经验，施工难度不大。
2	施工风险	技术成熟	具备成功实施的技术和水平，具有一定的施工风险，须引起重视，以既有技术和水平完全可以克服

3	运营及设备维护管理费用	常规运营维护简单，无需通风，白天无需照明，运营费用相对较低，但大跨桥梁需要定期更换缆索时费用较高，全服役期大修费用较高	需通风照明等措施，隧道运营监控措施严格，常规运营费用相对较高，但隧道结构耐久性好，在运营期主体结构基本无需大修，因而维修费用低
4	受恶劣天气气候条件的影响	在雷雨台风、浓雾或雨雪天气时，行车会受到很大影响，需限制通行或封闭交通	基本不受气候影响，可全天候运行
5	对水环境的影响	桥墩邻近水系及占用湿地，对生态环境影响大	无论是施工还是运营对水环境及湿地影响小
6	对基本农田的影响	占用一定的基本农田	基本无不利影响
7	对岸线资源的影响	占用一定的岸线资源，对岸线开发利用产生影响	基本无不利影响
8	对风景区的影响	桥梁结构破坏原有的景区生态环境，与景区环境不协调。	基本无不利影响
9	接线条件	平面接线位置位于椰林路交叉口后，交通组合较为有利，但对在建酒店影响大。桥梁跨越叶子洲岛风景区，为保证通航，高程很高，因此两端纵坡大。	隧道顺接两端交叉口，下穿椰子洲岛风景区，纵坡较长，纵坡相对较小，交通组织合理。
10	地块影响	墩台设置一定程度上，破坏了地块的完整性	基本无不利影响
11	社会稳定性协调难度	对在建酒店、水闸、椰子洲岛风景区、生态林地、基本农田等影响大，征迁数量大，协调困难。	对周边建筑、风景区、生态林地、基本农田等影响小，征迁数量小，协调难度相对较小。
12	工程造价	相对较低	高
研究结论		占用基本农田、岸线及通航资源，分隔椰子洲岛风景区，影响景点生态环境，不推荐。	推荐

根据本桥梁位置的工程地质、水文及环境等条件，选择桥梁方案与隧道方案在技术上均可行，其综合比选结果详见表 2.5-1。从表中可以看出，桥梁方案与隧道方案在施工案例、施工经验及难度、施工风险等方面相当，桥梁方案在运营环境、常规运营养护尤其本工程造价等方面具有优势，而隧道方案在对航运的影响、受恶劣天气通行影响、对生态环境、基本农田的影响、对沿线居民的环境影响及社会稳定影响、对两岸占地影响、对沿线两侧地块环境及价值的影响、拆迁影响、海岸线景观效果、对岸线资源的影响及与规划的协调性等方面具有优势。如果综合周边土地价值的影响，工程及环境总费

用更具有优势，经综合比较推荐采用隧道建设方案。

因此，本项目的用海是必要的。

综上所述，本项目的建设和用海是必要的。

3. 项目所在海域概况

3.1. 海洋资源概况

3.1.1. 港口资源

三亚位于海南岛南端，东南与三沙市西沙群岛隔海相望，是我国东南沿海对外开放的贸易口岸和琼南地区的交通枢纽。三亚市所辖海岸线各种功能区占用岸线总长 264.42km，海湾众多，且以开阔的海湾为主，海岸线曲折绵长，沿海大小港湾 18 个，自西向东分布的主要港湾有：崖州湾、红塘湾、三亚湾、大东海、亚龙湾和海棠湾。项目论证范围内的渔港有：

后海渔港：原为后海村的三级渔港，港池水深较浅，目前，渔港仅存在一条长约 300m 的突堤式码头，供后海村渔船的停靠锚泊。而在后海突堤码头西侧直线距离约 100m 为蜈支洲岛的岛渡码头，该处原为后海渔港内，后经改扩建作为后海村与蜈支洲岛之间的岛渡码头。

赤岭渔港：土福湾东部为英州河，英州河发源于保亭县六弓乡尖岭，自北向南流经陵水县隆广镇和英州镇，在英州镇赤岭村汇入南海，总长 29.33km。英州河口避风条件较好，建有赤岭渔港，赤岭渔港为地方群众性渔港，主要靠泊本地机动渔船，目前在该港停靠的渔船数量在 200 艘左右，现为三级渔港。近年来，由于该渔港设施简陋，港池航道淤积，避风条件差，已不适当当地渔业生产发展的要求。

3.1.2. 岸线资源

三亚市海岸线长度 264.42km，分为人工岸线和自然岸线。其中自然岸线长度 171.59km，人工岸线 92.83km。人工岸线主要是构筑物岸线、填海造地岸线和围海岸线；自然岸线包括砂质岸线、基岩岸线、泥质岸线和生物岸线。人工岸线长度 92.83km，其中构筑物岸线长度约 4.43km、填海造地岸线长度约 18.05km、围海岸线长度约 30.46km。

自然岸线长度为 171.59km，其中砂质岸线长度约 103.33km、基岩岸线长度约 53.61km、泥质岸线长度约 5.99km、生物岸线长度约 8.63km。

从海岸线利用类型看，论证范围内海岸线利用类型以未利用岸线、渔业岸线、特殊岸线、交通运输岸线和其他岸线为主。根据海南省严格保护、限制开发和优化利用类别分布图，本项目论证范围内岸线类型主要为优化利用岸线和限制开发岸线，本项目防波堤所在岸线为优化利用岸线。

3.1.3. 渔业资源

三亚市南邻南海，渔业资源丰富，海洋生物种类繁多，鱼类品种有 1064 种，虾类 350 种，蟹类 325 种，软体动物 700 种，其中经济价值较高的有 402 种。三亚渔汛渔场是海南岛周围海域三大著名渔汛渔场之一，渔场面积 1.4 万 km²，盛产红鱼、马鲛鱼、鲳鱼、海参、龙虾、鱿鱼、鲍和大珠母贝等四十多种优质海产品，主要经济鱼类是带鱼、鲳鱼、鲷、鳎鱼等。据相关统计资料估计，三亚渔汛渔场年捕捞量在 4.88 万吨左右，是海洋捕捞的黄金海域。由于近年来小型作业船只在近海狂捞滥捕，近岸海区渔业资源已利用过度，渔业资源有所降低；外海区渔业资源属中等利用程度，尚有一定开发潜力。

3.1.4. 旅游资源

三亚具有高等级旅游资源的蜈支洲岛、西岛、大东海、三亚湾、亚龙湾、海棠湾、崖州湾等区域，其美丽的岛礁、海水，以及沙滩运动、潜水、冲浪、海钓、游泳等备受游客欢迎，成为国内外知名的水上运动与沙滩运动基地。三亚拥有半山半岛帆船港、鹿回头公共游艇码头、鸿州国际游艇会码头、凤凰岛国际邮轮码头等码头，泊位有 1000 多个，可停靠不同长度的游艇、帆船和国际邮轮。游艇码头均有相关配套设施，尤其是半山半岛帆船港有帆船学校落户，还吸引了沃帆赛船队、美洲杯帆船赛“中国队”等参赛队在此集训。三亚河、临春河两条内河与三亚城市中心空间合理衔接与有效融合，河内以红树林为标志的生态景观系统良好，是近年来三亚龙舟运动赛事举办地。

三亚有 2008 北京奥运会火炬国内传递第一站凤凰岛、十一届亚运会南端点火台等旅游资源，还有一批高端的五星级酒店及休闲度假服务设施，能够在发展水上旅游的过程中提供良好的配套服务。

项目论证范围内的蜈支洲岛，被誉为中国的马尔代夫。位于海南省三亚市北部的海棠湾内，北面与南湾猴岛遥遥相对，南邻美誉天下第一湾的亚龙湾。蜈支洲岛享有“中国第一潜水基地”美誉。蜈支洲岛距海岸线 2.7km，方圆 1.48km²，呈不规则的蝴蝶状。蜈支洲岛又名情人岛，从上空俯瞰呈天然的心形，宛如绽放在南海之滨的璀璨之星，是国内首座集海上娱乐、特色潜水、高端酒店、美食餐饮与休闲观光于一身的海岛旅游度假胜地。

3.1.5. 海岛资源

三亚市所辖海域范围内分布有大小海岛 67 个，分为 1 个有居民海岛（西瑁州）和 66 个无居民海岛其中面积大于 500m² 的岛屿有 46 个，占总岛屿面积的 65%以上。按岛屿性质划分，基岩岛 61 个，沙泥岛 5 个，珊瑚岛 1 个。面积较大、开发利用价值较高的主要岛屿有 11 个，自西向东分别是：西鼓岛、东锣岛、西瑁洲、东瑁洲、小青洲、神岛、野薯岛、西洲、东洲、蜈支洲和椰子洲。面积超过 1km² 的岛屿有西瑁洲和蜈支洲。三亚市还有 2 个人工岛，凤凰岛和南海观音岛。项目范围内有高岛、单寮、三牙门、藤沙岛和石头公岛。

3.1.6. 珊瑚资源

项目周边的珊瑚礁资源主要是分布在土福湾沿岸。用截线样条法调查（定量）土福湾附近海域 5 个站位的总平均珊瑚覆盖度为 2.31%，其中平均硬珊瑚覆盖度为 2.31%，平均软珊瑚覆盖度为 0.00%，平均死珊瑚覆盖度为 0.00%。

C1 号站位以礁石底质为主，其余站位均以砂质底质为主。对土福湾附近海域而言，岩石占比为 0.00%，砂质底质占比为 65.33%，礁石占比为 32.36%，珊瑚总覆盖度占比为 2.31%。共记录鉴定硬珊瑚 12 科 24 属 36 种。优势种类分别为丛生盔形珊瑚、地衣滨珊瑚、橙黄滨珊瑚、鹿角杯形珊瑚、复叶陀螺珊瑚、索马里角孔珊瑚、多星孔珊瑚和标准盘星珊瑚等。

调查共记录鉴定软珊瑚 2 种。种类分别为短指软珊瑚和短足软珊瑚等。5 个调查站位平均补充量为 0.64ind./m²。最高站位为 C4 号站位，次高站位为 C5 号站位，其余站位均未发现有硬珊瑚有补充，补充量为 0.00ind./m²。

发现大型藻类 21 种，大型底栖生物 31 种。珊瑚礁资源调查中，各个站位均未发现有死亡情况，死亡率为 0.00%；各个站位均未发现有白化情况，白化率为 0.00%。未发现白化现象。各个站位均未发现长棘海星、核果螺等敌害生物。

3.2. 海洋生态概况

本项目位于海南省三亚市海棠湾海棠路及风景名胜区。海棠区属热带海洋性季风气候。受南海海洋气候影响较大，终年气温高，寒暑变化不大，四季温暖，年均气温 23.8℃，月最高气温 25℃至 36℃，月最低气温在 10℃以上；年均降水量丰富，年晴日 300 天以上。1 至 6 月为东北季风期，6 至 12 月为西南季风期。5 至 10 月为雨季，雨量占全年雨量的 90%；11 月至次年 4 月为旱季，降水量仅为全年的 10%，每天日照时间为 7 小时。

3.2.1. 区域气候与气象

3.2.1.1. 气温

三亚市位于海南岛最南端，地处北回归线以南的热带北缘，受海洋性气候影响较大，属于热带海洋性季风气候，冬无严寒，夏无酷暑，终年温暖，四季常青。

年平均气温 25.5℃，6 月份平均气温最高，达 28.5℃，1 月份平均气温最低，为 20.9℃，年极端最高气温为 37.5℃，年极端最低气温为 5.1℃。

3.2.1.2. 降水

三亚市全年雨量充沛，多年平均降雨量 1279 毫米，最大年降雨量 1871 毫米，最小年降雨量 747 毫米。干湿季明显，每年的 5—10 月为雨季，降雨量占全年总降雨量的 91.7%；11 月至翌年 4 月为旱季，降雨量为全年的 8.3%。

3.2.1.3. 相对湿度

年平均相对湿度 79%，全年各月相对湿度变化不大，其中 8 月份湿度最大，为 84%，12 月份气候相对干燥，但也有 70%。

3.2.1.4. 风况

三亚大风天气主要来源于冷空气和热带气旋，其中热带气旋引起的大风强度更大，三亚大于或等于 20m/s 的风速出现在 6~10 月，都是热带气旋所致，热带气旋引起的最大风速瞬间达 45m/s (SW)，全年平均风速 2.5m/s。三亚以 E、NE 和 ENE 风向为最多，一年内几乎有 8 个月的时间被上述风向控制，其余四个月 (5~8 月) 风向较乱，但以 W、WSW 风向为主。

3.2.2. 水文动力

本项目水文动力资料引用《赤岭印象美丽渔村水上娱乐项目海洋环境现状调查报告》(海南正永生态工程技术有限公司，2024 年 4 月)。2024 年 02 月 22 日至 02 月 23 日 (大潮期)，海南正永生态工程技术有限公司在项目附近海域共布设 4 个潮流观测站，其中 2 个临时潮位监测站，同步进行流速、流向、悬沙含量等要素观测，水文观测站位分布见图 3.2-2，观测站位坐标详见表 3.2-7。

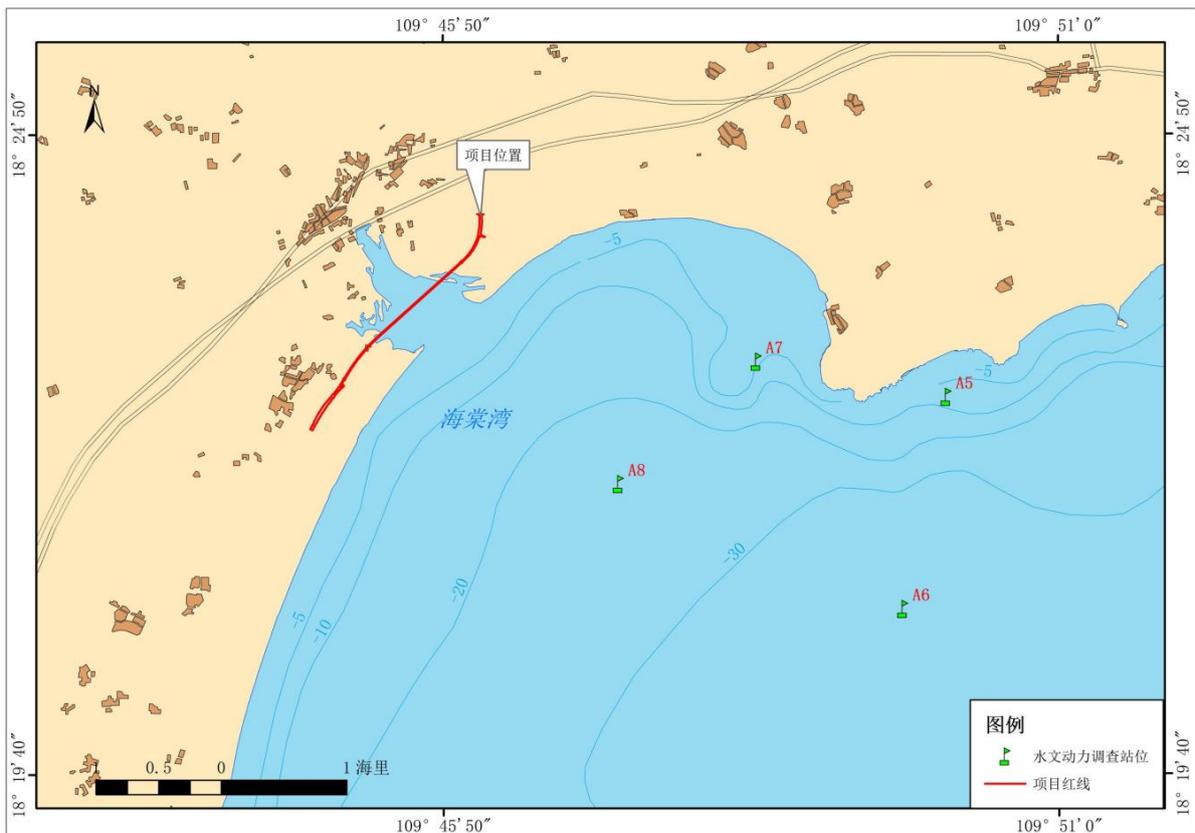


图 3.2-2 水文观测站位分布图

3.2.2.1. 潮汐

(1) 各基面转换关系见图 3.2-3。

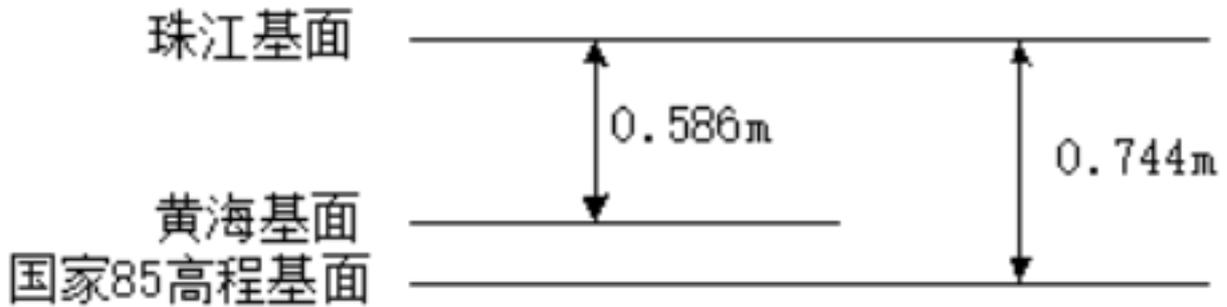


图 3.2-3 基面关系图

(2) 潮汐性质及潮位特征值。

项目附近海域没有长期验潮站，与之相距较近的验潮站是国家海洋局三亚海洋环境监测站设在三亚湾的验潮站，根据该监测站 1997 年~2014 年累计潮汐观测资料统计，三亚湾的潮位特征值如下（国家 85 高程）：

平均潮位：72cm；

平均潮差：83cm；

最大潮差：203cm（出现日期为 2004 年 12 月 14 日）；

最高潮位：253cm（出现时间为 2012 年 11 月 17 日 00 时 35 分）；

最低潮位：-43cm（出现时间为 2000 年 7 月 31 日 18 时 30 分）。

根据实测潮位数据，采用自动潮位仪进行观测，观测时间基本与潮流同步。将观测期间潮高基面订正至观测期间 85 国家高程。

根据潮位过程曲线图，大潮期观测到的潮型为正规日潮型，一个观测周内有一次高潮和一次低潮。

大潮期 A5 站最高潮出现于 2 月 22 日 21:10，潮高为国家 85 高程以上 0.97m；最低潮出现于 2 月 23 日 5:20，潮高为国家 85 高程以下 0.27m，最高潮差为 1.24m。涨潮历时约 15 小时，落潮历时约 9 小时，潮汐日不等现象显著。

3.2.2.2. 海流

(1) 流向频率

可以看出：A5 站大潮期各层的涨潮流流向集中在 WNW；A6 站大潮期各层的涨潮流流向集中在 NNE、NNW；A7 站大潮期各层的涨潮流流向集中在 NW、NNW；A8 站大潮期各层的涨潮流流向均集中在 WNW。

A5 站大潮期各层的落潮流流向集中在 SE；A6 站大潮期各层的落潮流流向集中在 E；A7 站大潮期各层的落潮流流向集中在 SSW、S；A8 站大潮期各层的落潮流流向集中在 SSE。

(2) 流速频率

可以看出，A5 站大潮期表层流速频率分布范围较广，各层半数集中在 10cm/s~20cm/s；A6 站大潮期各层流速频率分布范围较广，各层半数集中在 10cm/s~20cm/s；A7 站大潮期各层流速频率分布范围最广，各层大部分集中在 10cm/s~20cm/s，20cm/s~30cm/s 区间亦有一定的分布；A8 站大潮期各层流速频率分布范围最小，各层均集中在 0cm/s~20cm/s。

(3) 平均流速和最大流速

可以看出：

A5 站大潮期各层平均流速在 14.2cm/s~16.8cm/s，各层平均流速大小差异不大；最大涨潮流流速为 33.1cm/s、流向为 324.0°，出现在表层；最大落潮流流速为 30.7cm/s，流向为 124.2° 出现在表层；A5 站各层最大涨潮流流向集中出现在西北偏北向，最大落潮流流向集中出现在东南向。

A6 站大潮期各层平均流速在 15.6cm/s~18.0cm/s 之间，中层较大；最大涨潮流流速为 39.3cm/s、流向为 17.4°，出现在底层；最大落潮流流速为 37.6cm/s、流向为 95.2°，出现在表层；A6 站最大涨潮流流向集中出现在西北偏北向，最大落潮流流向集中出现在东向。

A7 站大潮期各层平均流速在 18.8cm/s~20.8cm/s 之间，底层平均流速较大；最大涨潮流流速为 50.3cm/s、流向为 196.7°，出现在 A7 站表层；最大落潮流流速为 44.5cm/s、流向为 148.8°，出现在 A7 站中层；A7 站各层最大涨潮流流向集中出现在西南偏南向，最大落潮流流向集中出现在西南向。

A8 站大潮期各层平均流速在 8.7cm/s~10.9cm/s 之间，底层平均流速最大；最大涨潮流流速为 19.8cm/s、流向为 160°，出现在 A8 站底层；最大落潮流流速为 18.1cm/s、

流向为 318°，出现在 A8 站表层；A8 站各层最大涨潮流流向较为分散，最大落潮流流向集中出现在西北向。

3.2.2.3. 余流

A5 站余流值在 2.7cm/s~5.8cm/s 之间，中底层余流较大，流向为 294°。A6 站余流值在 6.9cm/s~9.8cm/s 之间，底层余流流速较大，流向为 10.6°。A7 站余流值在 5.0cm/s~6.3cm/s 之间，底层余流较大，流向为 239.4°。A8 站余流值在 1.8cm/s~2.7cm/s 之间，表层余流较大，流向为 245.4°。

3.2.2.4. 悬浮泥沙

(1) 悬沙特征分析

分析工程区含沙量有如下特征：

- ①观测期间附近海域含沙量不大，悬沙平均值介于 9.00~11.52mg/L 之间；
- ②A7 和 A8 涨潮期含沙量与落潮期含沙量差异不大，A5 和 A6 涨急期或落急期含沙量有一定的增加；
- ③垂向方向上，各站位的表层、中层、底层含沙量在涨落急期间差异不大。
- ④大潮期观测站含沙量浓度最大出现在涨潮期 A5 站表层。

(2) 单宽输沙率计算

海岸地区的泥沙输移是波浪和潮流共同作用的结果，一般来说，波浪掀沙，但波浪本身对泥沙的搬运能力较弱。泥沙一旦处于悬浮状态，相对较小的稳定流即可搬运泥沙，即使这种流速小于临界启动流速。因此潮流输沙对于海岸带的泥沙输运和地形地貌演变具有重要的意义。

根据本次实测的流速资料和同步观测的水体含沙量资料，进行输沙率计算。计算公式为：

$$Q_i = \int_0^t q_i(\phi_{ij}, U_{ij}, \theta_{ij}) dt$$

其中： u_{ij}^t 表示 t 时刻第 i 个测站第 j 个测点（层）的流速， θ_{ij}^t 表示 t 时刻第 i 个测站第 j 个测点（层）的流速； ϕ_{ij}^t 表示 t 时刻第 i 个测站第 j 个测点（层）的含沙量； $q_i(\phi_{ij}, U_{ij}, \theta_{ij})$

为第 i 个测站沿高度的单时输沙率，由实测流速及含沙量计算得出。

根据各个测站实测数据，按照实测期间的潮位值分别统计涨潮和落潮期内的单宽输沙率，最后相加得到全潮单宽输沙率。计算步骤如下：

①计算 t 时刻各个测站每个测点的输沙率 q_{ij}^t ；

②设南北向为 y 轴,东西向为 x 轴；对各测点输沙率 q_{ij}^t 进行分解，得 q_{ix}^t 、 q_{iy}^t ；

③求得每个测站在 t 时刻的输沙率，亦即对 t 时刻每个测站的各个测点的 x 、 y 分量分别求和；

④每个测站所得的输沙率分别按照涨潮时间和落潮时间累加,得各个测站在一个全潮周期内（约 25 小时）涨潮和落潮的输沙量 Q_x 、 Q_y ；

⑤将涨潮和落潮时段的输沙量分别合成，得到落潮、涨潮输沙率和净输沙率。

计算以正北方向为基准，角度为与正北方向的夹角，以顺时针为正向。

大潮期 A6 站的输沙率最大，达到 2437.9kg/m/d，A7 站最小，为 325.7kg/m/d。输沙率基本与平均流方向相同，这也说明平均流的大小和方向控制了输沙率。

总体来说，本次测流整体输沙率较小。

3.2.2.5. 波浪

本节资料引自《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目水文及河演分析（含水文和水下地形测量）研究专题报告》（珠江水利委员会珠江水利科学研究院，2024 年 6 月）。

三亚海区的波浪以风浪为主占 80%，涌浪占 42%。常浪向为 SE-SSE，强浪向为 S-WSW，平均波高为 0.67m。因受季风和地形的影响，呈现平均波高夏季大于冬季的特点，夏季平均波高在亚龙湾为 0.4~0.6m，榆林湾 0.6~0.8m，冬季平均波高在榆林湾为 0.2~0.3m。在台风期间榆林湾最大波高可达 4.6m，冬季为 1.8m。据风场及牙笼湾实测资料，结合蜈支洲及其海棠湾的特点，分析本海区风浪的基本特征。

（1）平均波高

全年各向平均波高以 E-ENE 向最大，平均值为 0.6~0.8m，而 S-SSE 和 NW 向较小，均为 0.3m，其余各向平均值在 0.4~0.5m 之间。平均波高频率分布见图 3.2-19。

(2) 实测最大波高

根据蜈支洲岛南部的牙龙湾一年的波浪观测资料分析，本区实测最大波高以东至东北向较大，其值为 2.2~3.6m，而南西南向最大值为 0.3m，其余各向最大波高在 0.5~1.7m 之间。

(3) 波高累积频率分布

本区波浪以 1-2 级为主。

(4) 设计波高

根据实测最大波高分布特征，本区强浪向为 E—SSE 向，因此，本报告利用三亚地区气象站的多年风资料进行深水区域的设计波高推算。

3.2.3. 径流分析

本节资料引自《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目水文及河演分析（含水文和水下地形测量）研究专题报告》（珠江水利委员会珠江水利科学研究院，2024 年 6 月）。

为获取三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目所在河段的流量、流速、流向、潮位、含沙量、底质、地形等数据。本次水文观测站点包括：28 个表层底质取样点，3 个流量测量断面，3 个潮位监测点，3 个流速采样点，4 个含沙量采样点。



图 3.2-20 表层地质采样点布置图

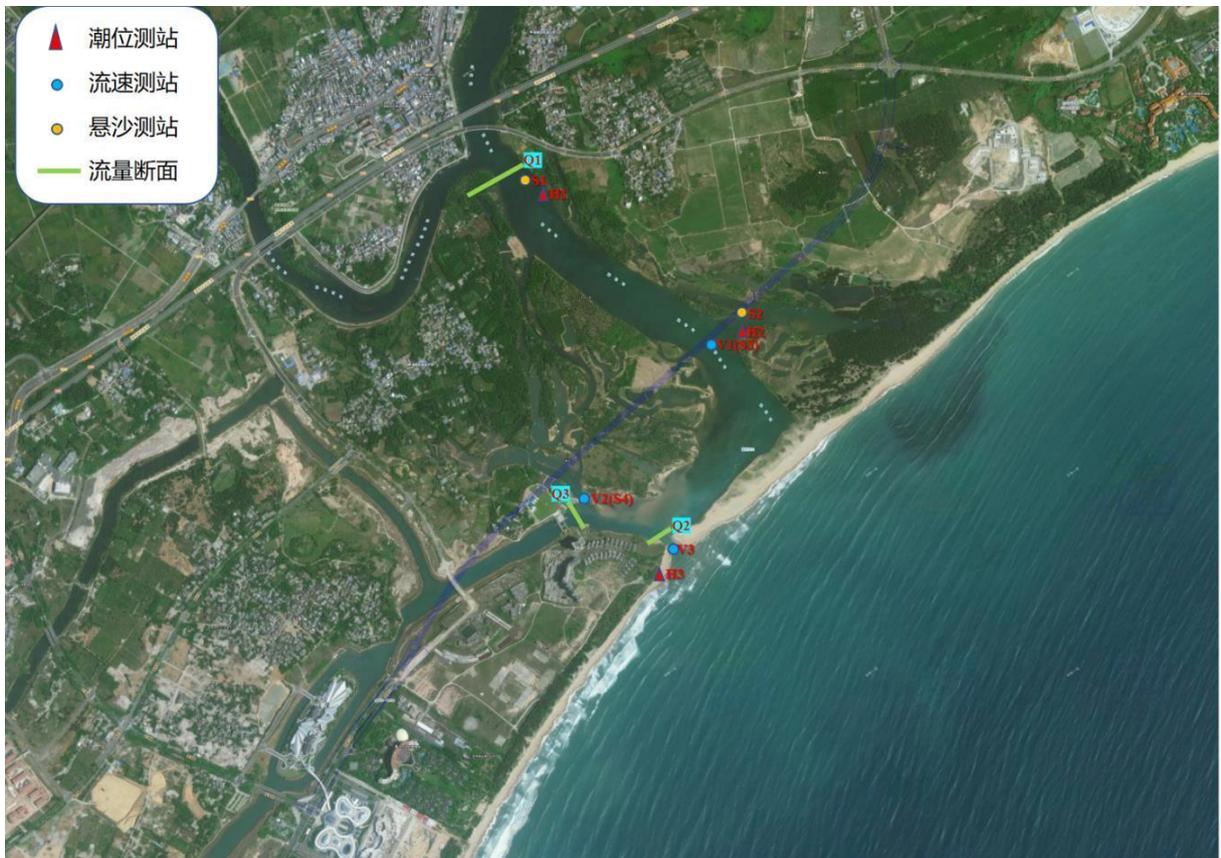


图 3.2-21 水文测验站点布置示意图

3.2.3.1. 潮位分析

海棠湾河口段潮汐类型为混合潮，一天中有时出现两涨两落，有时出现一峰一谷，不论是两涨两落或是一峰一谷，所需要的历时大约是 24 小时 50 分钟。

潮位仪布设后，用 GNSS 接收机在水面测得大地高，联测 3 个有效控制测区的高等级起始水准点，从而获得 1985 国家高程基准水位。

本次水文监测共布置 3 个潮位测站。由各测点的潮位变化过程线对比图看，潮位变化过程涨落有序，和谐一致。

3.2.3.2. 流速流向分析

(1) 测点流速

本次测区 V1、V2、V3 都在 5m 以下，则采用三点法分析。

工程河段的潮流以往复流为主，流向与岸线走向基本平行；各测点流速均表现为上层流速略大于下层。总体来看，V3 测点垂线平均流速较大，且涨潮流速大于落潮流速。测量结果基本反映测区水流动力环境。

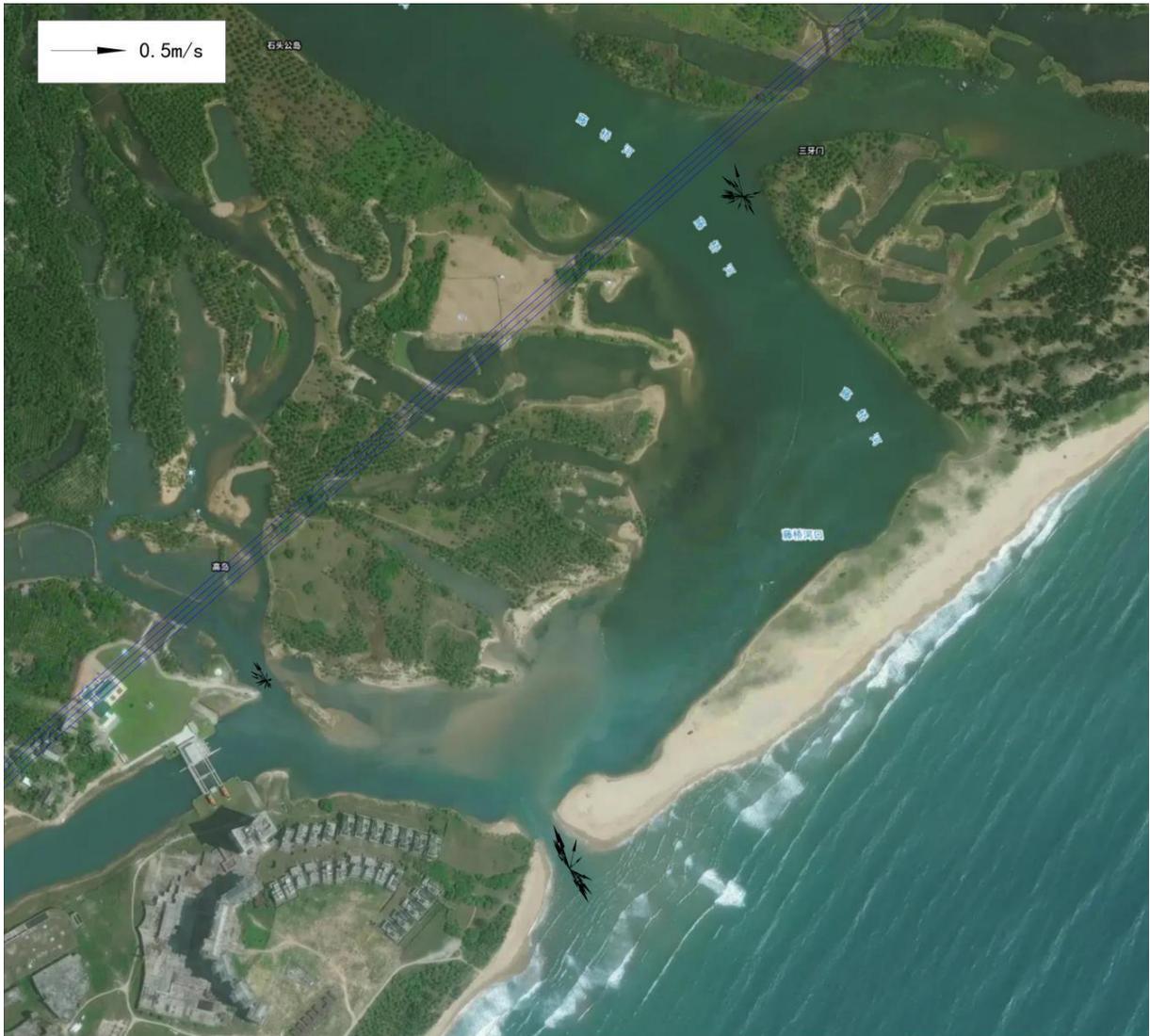


图 3.2-26 各测点垂向平均流速玫瑰图

(2) 垂线平均流速

由表格可知，3 个测点的涨急流速均大于落急，量值在 0.1m/s 以内。V1 测点的涨潮平均流速为 0.12m/s，落潮平均流速为 0.07m/s，流速范围为 0.02m/s~0.22m/s；V2 测点的涨潮平均流速为 0.06m/s，落潮平均流速为 0.03m/s，流速范围为 0.01m/s~0.14m/s；V3 测点的涨潮平均流速为 0.16m/s，落潮平均流速为 0.16m/s，流速范围为 0.03m/s~0.31m/s。

总体来看，所有测点流向与岸线走向基本平行。测量结果基本反映测区水流动力环境。

3.2.3.3. 断面流量分析

依据流量观测结果，统计各站平均和最大流量，具体流量过程线见图 3.2-30。测验期间，测得断面潮流以不规则全日潮为主。由于潮汐动力较弱，Q1 断面实测最大落潮流量为 $70.1\text{m}^3/\text{s}$ ，最大涨潮流量为 $61.3\text{m}^3/\text{s}$ 。测量期间，测量人员发现水闸打开，临时加测 Q3 断面，Q3 断面实测最大涨潮流量为 $22\text{m}^3/\text{s}$ 。本次水文测验测得最大落潮流量为 $87.3\text{m}^3/\text{s}$ ，位于 Q2 断面，其最大涨潮流量为 $86.4\text{m}^3/\text{s}$ 。

3.2.3.4. 悬浮质含沙量分析

本次水文测验期间，藤桥河河道流量与流速都较小，含沙量分布较为均匀。测验期间测得各站点平均含沙量为 $0.024\sim 0.042\text{kg}/\text{m}^3$ 。其中 S4 的含沙量稍微高点，S4 的平均含沙量为 $0.042\text{kg}/\text{m}^3$ 。结果表明，测量期间，垂线含沙量总体上呈现底层 > 中层 > 表层。

从平面上看，S1~S4 的含沙量总体看来差距不大；从垂线上来看，总体上是底层大于表层，单站成果合理。因流量与流速都较小，水流无法起动沉积在河床上的泥沙，则水体中的悬沙主要由河口外挟带而来，含沙量分布较为均匀。

3.2.3.5. 河床底质

根据现场底质取样粒度分析结果，工程区附近表层沉积物以砂-粉砂-粘土为主，沉积物主要有以下几种类型：粘粒、粉砂、砂粒，另外在部分地区（主要分布在 1、18、24 观测点附近），分布一些粗砂以及砾石等较粗物质。经中值粒径统计，取得样品中值粒径在 $0.009\sim 1.436\text{mm}$ 之间，其中隧址附近的样品中值粒径在 $0.013\sim 0.097\text{mm}$ 之间。

3.2.4. 工程河段水动力特性分析

根据《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目工程潮流泥沙数学模型研究》数模分析，拟建隧址近区藤桥河河口东汉河口现状封闭状态及发育贯通后 100 年一遇洪水、50 年一遇洪水、20 年一遇洪水遭遇下游低潮位的河道水流流态见图 3.2-35~图 3.2-40。

(1) 现状藤桥河口东汉封闭状态

现状藤桥河口东汉封闭状态，洪水大部分沿河道主槽通过下游西汉的入海口流出，遭遇大洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩及会出现明显的漫滩溢流现象，藤桥东河东、西汉河道分流比约为 1:4。

(2) 藤桥河口东汉发育后贯通状态

藤桥河东汉发育贯通后，藤桥河河口部分水流从东汉河道出流入海，遭遇大洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩漫滩溢流现象较现状有所减弱。此时，藤桥东河东、西汉河道分流比约为 1:3。

总体而言，现状藤桥河口东汉封闭状态，洪水大部分沿河道主槽通过下游西汉的入海口流出，西汉河道为主要行洪通道。遭遇大洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩及会出现明显的漫滩溢流现象。受椰子洲岛及下游岛屿的影响，隧址近区流态稍有紊乱，但没有形成大的回流。

3.2.4.1. 河道水流流速分析

(1) 现状藤桥河口东汉封闭状态

现状藤桥河口东汉封闭状态，藤桥河河口水流大部分沿河道主槽通过下游西汉的入海口流出，遭遇 20 年一遇以上洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩及会出现明显的漫滩溢流现象。

龙江溪：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 0.07m/s、0.06m/s、0.05m/s；位于龙江溪桥下（采样点 2#）。

椰子洲岛支流：隧址处（采样点 5#）100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 1.05m/s、0.99m/s、0.91m/s。

藤桥东河西汉：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 2.03m/s、1.88m/s、1.67m/s；位于藤桥东河西汉椰子洲岛东侧（采样点 17#）。

藤桥东河东汉：隧址处（采样点 28#）100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 0.66m/s、0.59m/s、0.49m/s。

(2) 藤桥河口东汉发育后贯通状态

藤桥河东汉发育贯通后，藤桥河河口部分水流从东汉河道出流入海，遭遇 20 年一遇以上洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩漫滩溢流现象较现状明显减弱。

龙江溪：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 0.07m/s、0.06m/s、0.05m/s；位于龙江溪桥下（采样点 2#）。

椰子洲岛支流：隧址处（采样点 5#）100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 1.06m/s、1.01m/s、0.92m/s。

藤桥东河西汉：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 2.08m/s、1.93m/s、1.71m/s；位于藤桥东河西汉椰子洲岛东侧（采样点 17#）。

藤桥东河东汉：隧址处（采样点 28#）100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 0.85m/s、0.80m/s、0.72m/s。



图 3.2-41 采样点布置图

3.2.4.2. 工程河段水动力特性分析

根据《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目工程潮流泥沙数学模型研究》数模分析，拟建隧址近区藤桥河河口东汉河口现状封闭状态及发育贯通后 100 年一遇洪水、50 年一遇洪水、20 年一遇洪水遭遇下游低潮位的河道水流流态。

(3) 现状藤桥河口东汉封闭状态

现状藤桥河口东汉封闭状态，洪水大部分沿河道主槽通过下游西汉的入海口流出，遭遇大洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩及会出现明显的漫滩溢流现象，藤桥河东、西汉河道分流比约为 1:4。

(4) 藤桥河口东汉发育后贯通状态

藤桥河东汉发育贯通后，藤桥河河口部分水流从东汉河道出流入海，遭遇大洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩漫滩溢流现象较现状有所减弱。此时，藤桥河东、西汉河道分流比约为 1:3。

总体而言，现状藤桥河口东汉封闭状态，洪水大部分沿河道主槽通过下游西汉的入海口流出，西汉河道为主要行洪通道。遭遇大洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩及会出现明显的漫滩溢流现象。受椰子洲岛及下游岛屿的影响，隧址近区流态稍有紊乱，但没有形成大的回流。

3.2.4.3. 河道水流流速分析

(3) 现状藤桥河口东汉封闭状态

现状藤桥河口东汉封闭状态，藤桥河河口水流大部分沿河道主槽通过下游西汉的入海口流出，遭遇 20 年一遇以上洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩及会出现明显的漫滩溢流现象。

龙江溪：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 0.07m/s、0.06m/s、0.05m/s；位于龙江溪桥下（采样点 2#）。

椰子洲岛支流：隧址处（采样点 5#）100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 1.05m/s、0.99m/s、0.91m/s。

藤桥东河西汉：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 2.03m/s、1.88m/s、1.67m/s；位于藤桥东河西汉椰子洲岛东侧（采样点 17#）。

藤桥东河东汉：隧址处（采样点 28#）100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 0.66m/s、0.59m/s、0.49m/s。

(4) 藤桥河口东汉发育后贯通状态

藤桥河东汉发育贯通后，藤桥河河口部分水流从东汉河道出流入海，遭遇 20 年一遇以上洪水时，椰子洲岛、下游岛屿及西汉河口处沙滩漫滩溢流现象较现状明显减弱。

龙江溪：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 0.07m/s、0.06m/s、0.05m/s；位于龙江溪桥下（采样点 2#）。

椰子洲岛支流：隧址处（采样点 5#）100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 1.06m/s、1.01m/s、0.92m/s。

藤桥东河西汉：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 2.08m/s、1.93m/s、1.71m/s；位于藤桥东河西汉椰子洲岛东侧（采样点 17#）。

藤桥东河东汉：隧址处（采样点 28#）100 年、50 年、20 年一遇洪水最大流速分别为 0.85m/s、0.80m/s、0.72m/s。



图 3.2-48 采样点布置图

3.2.5. 项目海域地形地貌

项目所在区域为海棠湾海区，海棠湾位于海南岛南部，为东南方向敞开的弧形沙质海湾，呈 NNE—SSW 走向，长约 21km，东北部为赤岭基岩岬角，西南部为铁炉角和后海角基岩岬角，赤岭和后海岬角分别构成弧形海岸的上岬角和下岬角，在东南向波浪作用下发育了浪控弧形海岸。藤桥河从海棠湾中部入海，英州河在海棠湾湾头处赤岭脚下入海，海棠湾西南端是铁炉港泻湖，藤桥河和英州河为山区型小河流，流程短，坡降大，集水面积也较小，通常情况下来水来沙较小，海岸地貌以波浪作用为主，在河口处形成沿岸沙嘴；在洪水期则水沙集中，洪水往往冲垮沙嘴。藤桥河和英州河的年输沙量较小，对于海棠湾的岸滩演变影响较小，仅在河口区发育了小型水下冲击扇。

海棠湾的泥沙来源主要是第四纪全新世海侵过程中海平面上升，波浪携带陆架上的沉积物搬运至岸边堆积，再加上陆源河流输沙以及沿岸低丘风化剥蚀物质也在岸边堆积，从而形成较为宽阔的海滩，大约 6000a 前，海平面达到与现代海平面接近的高度，尔后海平面进入相对稳定期，经过波浪和潮流的长期塑造，形成了类型多变的海岸地貌。海棠湾是典型的浪控弧形海湾，发育了风成沙丘、滩肩、滩面、水下岸坡、陆连岛、连岛沙坝、沿岸双向沙嘴、泻湖、河口沙坝等河口海岸地貌。

藤桥河流域位于海南省南部地区，地跨三亚、陵水和保亭三市县，全长 56.1km。藤桥河分为东、西两河，东河为藤桥河的干流，坡降 5.75‰。西河为藤桥河的支流，在距出海口 1.8km 处汇入东河，河流长度 32.9km，河床坡降 4.8‰。工程区位于藤桥河中下游，包括低山丘陵区、沿海平原及台地。河道整体地势北高南低。其中工程区上段东河、西河之间的龙楼岭最高峰高程约 220.4m。

3.2.6. 河床演变分析

本节引用《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目水文及河演分析（含水文和水下地形测量）研究专题报告》（珠江水利委员会水利科学研究院，2024 年 6 月）。

3.2.6.1. 干流变化情况

和少数基本农田和耕地，周边有个别村庄零星分布，受人类活动影响较小，加之河

岸植被茂盛，对河道冲刷较小。

藤桥河中游流经南梗村、什龙村、加茂村等村庄，中游大部分河段为自然岸坡，在加茂镇建有护岸，左岸长 0.92km，右岸长 3.65km。两岸主要为基本农田和林地、耕地和园地，周边分布有多个村庄，但受人类活动影响较小，加之河岸植被较为茂盛，对河道冲刷较小。

藤桥河下游流经海棠区，三亚段海棠区段建有 1km 右护岸。主要为平原河流，两岸基本为农田和林场，两岸分布有居民点，有人类活动影响。河道落差较小，对河道的冲刷较小。通过影像数据对比发现，近 10 年来藤桥河河道平面形态变化不大，河道摆幅较小。藤桥河在中游和下游建有护岸，增强了河势的稳定性；其余河岸为自然岸坡，地势平坦，两岸主要为基本农田和部分林地，两岸植物茂盛，总体受人类活动影响较小，河势基本稳定。藤桥河全流域无规划采砂区域，不会因采砂导致河床发生变形，使河势向不利方向演变。总体而言，藤桥河河床结构和水流流态稳定，河床冲淤态势平衡，河势基本稳定。

藤桥西河干流上游河段为自然岸坡，坡度较陡，河岸植被茂盛，两岸主要为林地和少数基本农田和耕地，周边有个别村庄零星分布，受人类活动影响较小，加之河岸植被茂盛，对河道冲刷较小。

藤桥西河中游流经新建村、报什村、什奋村等村庄，中游大部分河段为自然岸坡，在新建村新村小学附近建有 0.9km 左右的渠道，左岸建有 0.5km 左右的渠道，用于两岸基本农田的灌溉。河道两岸主要为基本农田和林地、耕地和园地，周边分布有多个村庄，但受人类活动影响较小，加之河岸植被较为茂盛，对河道冲刷较小。

藤桥西河下游流过番通之后流入三亚的赤田水库，主要为山区性河流，两岸主要为基本农田和林地，分布零星居民点，基本无人类活动影响。河道落差较大，对河道的冲刷较为严重。通过影像数据对比发现，近 10 年来藤桥西河河道平面形态变化不大，河道摆幅较小。藤桥西河上下游河段为自然岸坡，两岸植物茂盛，受人类活动影响较小，河势基本稳定。藤桥西河全流域无规划采砂区域，不会因采砂导致河床发生变形，使河势向不利方向演变。总体而言，藤桥西河河床结构和水流流态稳定，河床冲淤态势平衡，河势基本稳定。

3.2.6.2. 工程区变化情况

流域平面形态较为稳定，变化主要集中在河口处，口门位置近年来逐步由东侧转移至西侧，2015 年左右，口门西侧新开龙江溪及配套水闸，至 2020 年左右完工，龙江溪发源于三亚新坡，长度 12.3 千米，集雨面积 28.9 平方千米，平均坡降 0.26‰，年均径流量 0.24 亿立方米。

3.2.6.3. 岸线演变分析

藤桥河流域历年岸线：2014~2016 年口门整体位于东侧，2017 年开始口门逐年向西侧运动，且口门东侧岸滩呈逐年淤积趋势。除口门处岸线变化较大外，其他区域岸线总体变化不大。

3.2.6.4. 工程河段河道近期演变

为了分析工程近区河床演变特征，取工程上游 1100m 至下游 400m 的河段进行河床演变分析，采用 2007 年、2023 年测量的河道地形资料进行对比，将河段剖划为 29 个断面，工程位于 20#~23#断面，主槽宽约 200m，断面间距约为 30~60m。

通过分析以上图表可知工程附近河段近期演变特征如下：

(1) 平均河宽的变化

2007 年各断面平均河道宽度 187.39m，2023 年各断面平均河道宽度 253.05m，2007 年到 2023 年平均河宽有增大。工程所在 21#断面 2007 年河宽为 212.62m，2023 年为 228.45m，河宽略有增大。

(2) 平均水深变化

2007 年各断面平均水深 2.08m，2023 年各断面平均水深 1.67m，2007 年到 2023 年平均水深呈减小态势。工程所在 21#断面 2007 年平均水深为 1.72m，2023 年为 2.06m，2007~2023 年工程所在的 21#断面水深逐渐增大。

(3) 河相系数变化（宽深比）

河段宽深比的计算公式为： $\zeta = \frac{\sqrt{B}}{h}$ ，其中水深 h 、宽度 B 为本报告中水位 0m 时的断面平均水深和相应水面宽度。2007 年河相系数平均值为 6.88，2023 年河相系数平均值

为 9.81。2007-2023 年，河相系数有增大，河段总体向宽浅型发展。

(4) 河段冲淤变化

2023 年与 2007 年相比，工程附近河道断面总体呈轻微冲刷态势，冲刷量 $3.132 \times 10^4 \text{m}^3$ ，年均冲刷量 $0.196 \times 10^4 \text{m}^3$ ，年冲刷强度为 0.006m/a 。河道整体处于轻微下切趋势。

(5) 综合分析

综合以上分析，工程所在河段冲淤总体稳定，呈现微冲态势，冲淤变化不大。但从工程附近实测的河床断面（20#~23#）变化分析可知，工程附近河道主槽有摆动趋势，边滩冲刷也不稳定，本工程方案设计时应予以重视。

3.2.6.5. 演变趋势分析

根据河道近期演变趋势分析，2007-2023 年期间河道整体河宽增大，平均水深略有减小，由于河道容积增大的原因，河道冲淤处于轻微下切的趋势，河道整体较为稳定。

藤桥河河口特点是潮差较小，潮流较弱，径流相对较强，泥沙主要来自流域。藤桥河一年之中出现大流量的时间较短，常年处于小流量下的径流与潮流往复流动状态，河床的再塑作用不强，河床较稳定。汇合口以上东、西河段，河床纵向冲淤微弱，河道在平面上变化不大；汇合口至出海口河段，口门逐渐由右岸向左岸偏移，沙坝逐渐淤高。由上述分析可知，藤桥河河口稳定性较差，且受人类活动影响剧烈，河口形态变化存在较大不确定性；同时，目前藤桥河河口尚无明确治理规划或整治方案，未来其河口形态仍存在较大不确定性，设计中应充分考虑河口未来规划方案。由于工程区主要为砂质床面，在遭遇大洪水情况下，工程位置所在河段流速增大，河床泥沙易搬运形成较大冲刷，对工程位置河道稳定性产生不利影响，因此隧道设计应引起重视。在工程设计时应考虑一定的安全富余深度，同时运行期应加强对河床冲淤变化的观测，发现冲刷过大的情况，及时采取补救措施，确保工程安全。

3.2.7. 工程河段河床冲淤特性分析

本节引用《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目工程潮流泥沙数学模型研究》（珠江水利委员会水利科学研究院，2024 年 6 月）。

3.2.7.1. 冲刷后滩槽平面形态计算分析

根据《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目工程潮流泥沙数学模型研究》数模分析，针对不同频率洪水遭遇下游低潮位情况，选取等高线变化对隧址近区河床的滩槽变化进行分析。可以看出：

(1) 现状藤桥河口东汉封闭状态

隧址附近等高线 100 年一遇洪水遭遇下游低潮位时，龙江溪隧址附近等深线达到了 -2.0m 左右；椰子洲岛支流隧址附近等深线达到了 -1.5m 左右；藤桥东河西汉隧址附近等深线达到了 -6.60m 左右；藤桥东河东汉隧址附近等深线达到了 -0.05m 左右。

(2) 藤桥河口东汉发育后贯通状态

隧址附近等高线 100 年一遇洪水遭遇下游低潮位时，龙江溪隧址附近等深线达到了 -2.0m 左右；椰子洲岛支流隧址附近等深线达到了 -1.5m 左右；藤桥东河西汉隧址附近等深线达到了 -6.40m 左右；藤桥东河东汉隧址附近等深线达到了 -0.40m 左右。综上，考虑东汉河口发育贯通前、后，龙江溪隧址附近等深线达到了 -2.0m 左右；椰子洲岛支流隧址附近等深线达到了 -1.5m 左右；藤桥东河西汉隧址附近等深线达到了 -6.60m 左右；藤桥东河东汉隧址附近等深线达到了 -0.40m 左右。总体而言，藤桥东河东汉河口发育贯通前后，主要对藤桥河冲刷影响较大，对龙江溪的冲刷影响较小。等高线在平面上沿河道无明显摆动，仅幅度略有调整。

3.2.7.2. 河道冲淤变化特征计算分析

(1) 现状藤桥河口东汉封闭状态

现状藤桥河口东汉封闭状态，藤桥河河口水流大部分沿河道主槽通过下游西汉的入海口流出，东汉冲刷较弱。针对不同频率洪水遭遇下游低潮位情况，隧址附近 100 年、50 年、20 年一遇洪水冲刷情况

如下：

龙江溪：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大冲刷深度分别为 0.34m、0.33m、0.31m，位于龙江溪桥下。

椰子洲岛支流：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大冲刷深度分别为 2.25m、

2.13m、1.96m。

藤桥东河西汉：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大冲刷深度分别为 4.26m、3.67m、2.81m，位于西汉河道隧址处靠近椰子洲岛侧。

藤桥东河东汉：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大冲刷深度分别为 1.01m、0.97m、0.91m。

(2) 藤桥河口东汉发育后贯通状态

藤桥河东汉发育贯通后，藤桥河河口部分水流从东汉河道出流入海，东汉和西汉均有洪水流入外海，东汉冲刷有所增大。针对不同频率洪水遭遇下游低潮位情况，隧址附近 100 年、50 年、20 年一遇洪水冲刷情况如下：

龙江溪：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大冲刷深度分别为 0.33m、0.31m、0.30m，位于龙江溪桥下。

椰子洲岛支流：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大冲刷深度分别为 2.18m、2.06m、1.88m。

藤桥东河西汉：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大冲刷深度分别为 4.01m、3.37m、2.54m，位于西汉河道隧址处靠近椰子洲岛侧。

藤桥东河东汉：隧址处 100 年、50 年、20 年一遇洪水最大冲刷深度分别为 1.49m、1.45m、1.37m。

综上，根据模型计算的冲刷结果，可以看出藤桥东河东汉河口发育贯通前后，主要对藤桥河冲刷影响较大，对龙江溪的冲刷影响较小。隧址处最大冲刷深度为：藤桥东河西汉 4.26m、藤桥东河东汉 1.49m、椰子洲岛支流 2.25m、龙江溪 0.34m。

3.2.7.3. 断面形态变化计算分析

为了量化工程实施前后河床冲淤特征、断面型式及发展变化，在工程上下游共布置了 5 个断面，其中断面 C3#布置于隧址沿线，断面 C1#、C2#、C4#和 C5#分别布置于隧址上游 150m、上游 50m、下游 50m 和下游 150m。

(1) 现状藤桥河口东汉封闭状态

工程河段具有明显的滩槽格局，现状藤桥河口东汉封闭状态，洪水沿河道主槽通过下游西汉的入海口流出，西汉河道为主要行洪通道。

不同洪水频率下隧址近区河床整体出现下切，其中主槽下切程度大于滩地，主槽未发生明显的偏移。各河道断面形态如下：

龙江溪：根据河道冲淤特征分析可知，藤桥东河东汉河口发育贯通前后，主要对藤桥河冲刷影响较大，对龙江溪的冲刷影响较小。在不同洪水频率下，隧址处（断面 C3#）河床最小底高程约为-2.06m，对应的冲刷深度约为 0.28m。

椰子洲岛支流：在不同洪水频率下，隧址处（断面 C3#）河床最小底高程约为-1.52m，对应的冲刷深度约为 2.11m；隧址上下游 150m 的范围内河床最小底高程约为 -1.35~-2.49m。

藤桥东河西汉：在不同洪水频率下，隧址处（断面 C3#）河床最小底高程约为-6.54m，对应的冲刷深度约为 3.76m，位于藤桥东河西汉河道深弘线靠近

椰子洲岛侧；隧址上下游 150m 的范围内河床最小底高程约为-5.87~-6.77m。

藤桥东河东汉：在不同洪水频率下，隧址处（断面 C3#）河床最小底高程约为-0.03m，对应的冲刷深度约为 0.81m；隧址上下游 150m 的范围内河床最小底高程约为 -0.03~-1.26m。

(2) 藤桥河口东汉发育后贯通状态

藤桥河口东汉发育后，部分洪水从藤桥东河东汉河道出流入海，不同洪水频率下隧址近区河床整体出现下切，其中主槽下切程度大于滩地，主槽未发生明显的偏移。各河道断面形态如下：

龙江溪：根据河道冲淤特征分析可知，藤桥东河东汉河口发育贯通前后，主要对藤桥河冲刷影响较大，对龙江溪的冲刷影响较小。在不同洪水频率下，隧址处（断面 C3#）河床最小底高程约为-2.06m，对应的冲刷深度约为 0.28m。

椰子洲岛支流：在不同洪水频率下，隧址处（断面 C3#）河床最小底高程约为-1.44m，对应的冲刷深度约为 2.03m；隧址上下游 150m 的范围内河床最小底高程约为 -1.33~-2.36m。

藤桥东河西汉：在不同洪水频率下，隧址处（断面 C3#）河床最小底高程约为-6.36m，对应的冲刷深度约为 3.44m，位于藤桥东河西汉河道深弘线；隧址上下游 150m 的范围内河床最小底高程约为-5.92~-6.36m。

藤桥东河东汉：在不同洪水频率下，隧址处（断面 C3#）河床最小底高程约为-0.38m，

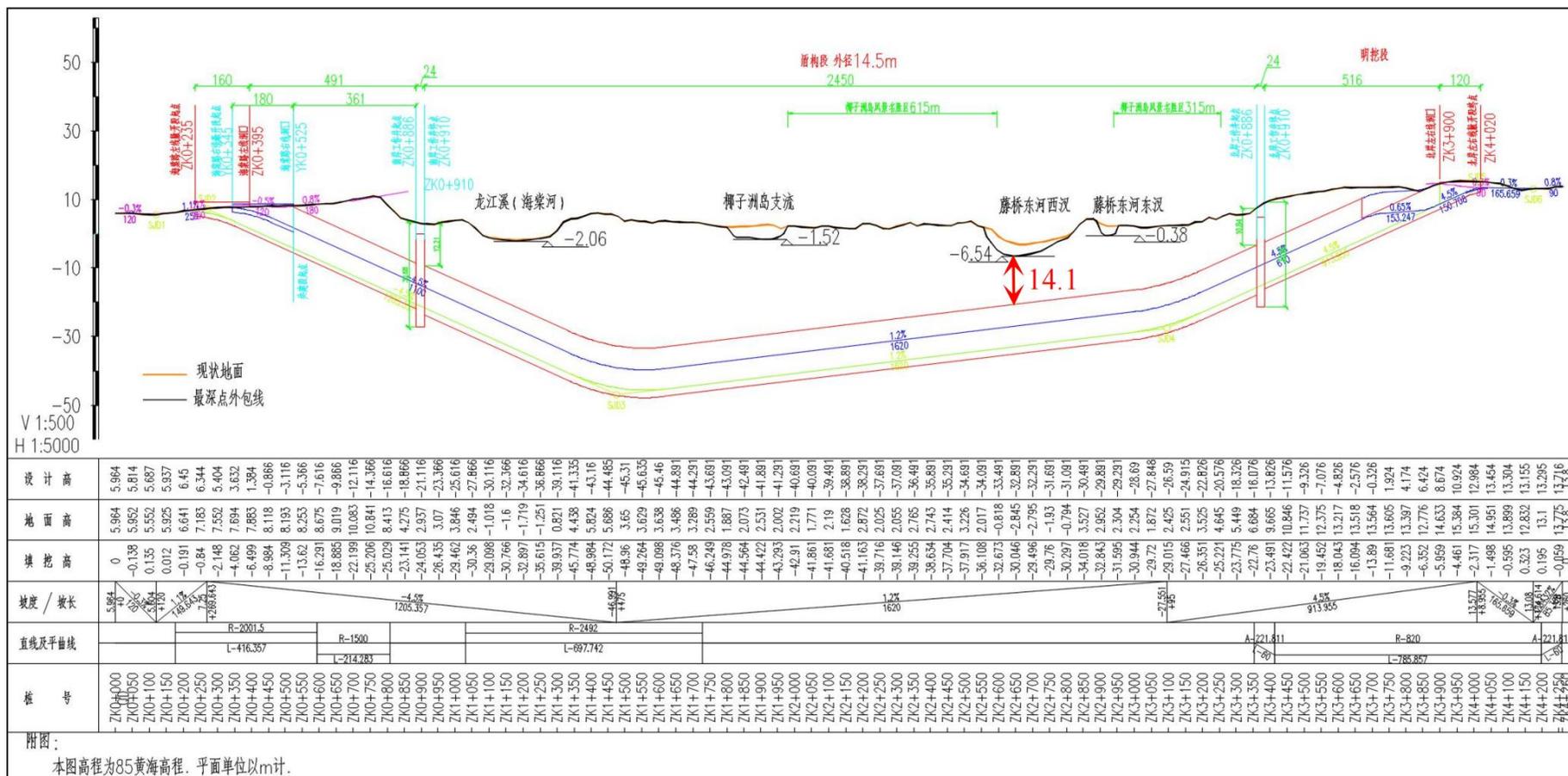
对应的冲刷深度约为 1.15m；隧址上下游 150m 的范围内河床最小底高程约为 -0.38~-2.05m。

综上，考虑藤桥河口东汉发育前、后，各河道隧址处最低底高程为龙江溪-2.51m、椰子洲岛支流-1.52m、藤桥东河西汉-6.54m、藤桥东河东汉-0.38m。

3.2.7.4. 隧址断面深泓包络线分析

根据隧址轴线数模 100 年一遇洪水藤桥河口东汉发育前、后冲刷成果绘制隧址断面最深点包络线。

考虑藤桥河口东汉发育前、后，各河道隧址处最低底高程为龙江溪-2.06m、椰子洲岛支流-1.52m、藤桥东河西汉-6.54m、藤桥东河东汉-0.38m。从图 3.2-可以看出，100 年一遇极限冲刷情况下，河床深泓点距离工程的最小垂向距离为 14.1m，隧址沿程隧顶距各河底距离均在 14.1m 以上。



3.2.8. 工程地质

本项目工程地质资料引用《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目工程可行性研究报告》（2024年8月，中铁第四勘察设计院集团有限公司）。

3.2.8.1. 区域地质构造

根据区域地质资料，三亚地区在区域地质上属于琼南拱断隆起构造区，位于九所—陵水断裂带南侧。地质构造以华夏纬向构造体系为格架，由华夏、新华夏等构造系复合形成了本区的特征。新构造运动以不对称的穹状隆起为特点，以间歇性上升为主，局部产生断陷，形成各级夷平面台地。勘察区本项目场地为第四系滨海相沉积层所覆盖，基底为中三叠世二长花岗岩。本场地第四系地层中未发现断裂活动的痕迹，区域稳定性较好，详见图 3.2-70。

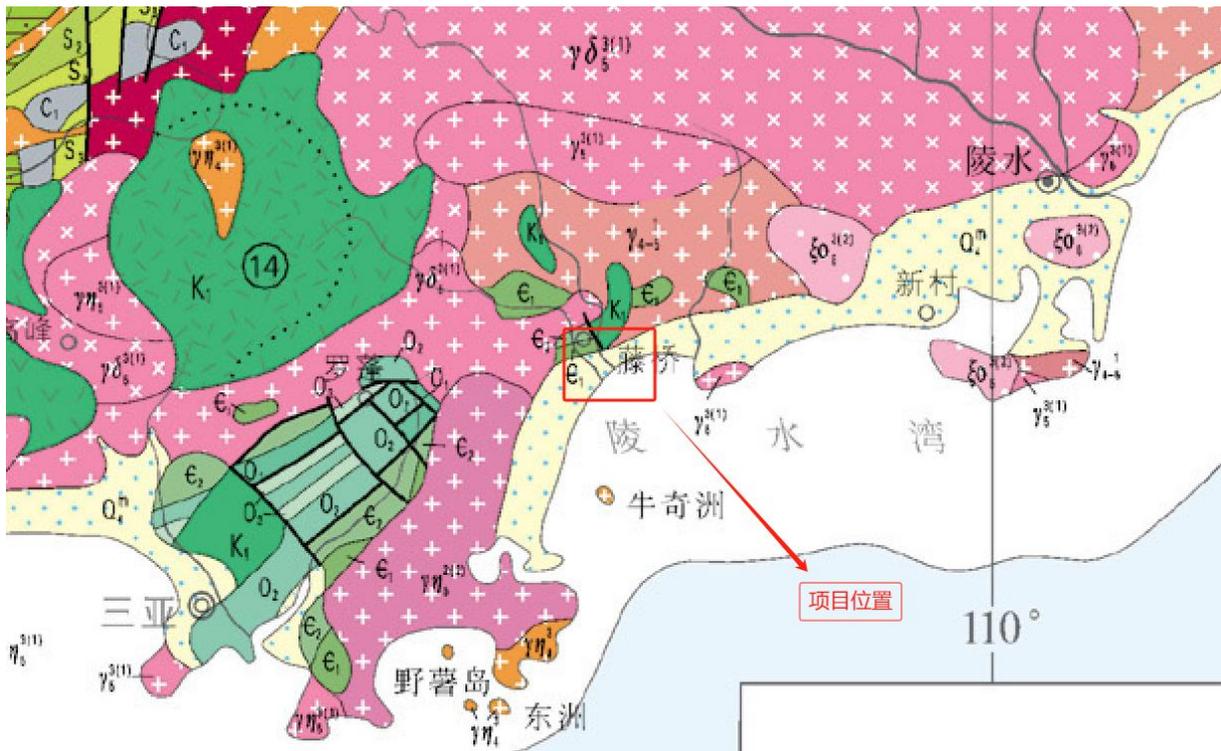


图 3.2-70 项目区基岩地质图

3.2.8.2. 工程地质特征

区内水文地质条件较复杂，受地层、岩性、构造、地形、地貌等因素的控制。地层主要为中生代酸性岩浆岩类发育区，区内地层沉积和岩浆活动主要受东西向九所~陵水

深大断裂控制，区内岩体断裂、褶皱较发育。区内地下水主要受大气降水补给，地下水自分水岭向两侧，多以泉水和散浸状形式排泄于山涧盆地及山沟河谷。本区根据含水层的赋水条件和岩性，可分为孔隙潜水和基岩裂隙水。

(1) 孔隙潜水：主要分布于河流两岸的阶地、漫滩中，埋深较浅，地下水位受地形及地表水位变化所控制，水量欠丰富，接受大气降水及基岩裂隙水补给，排泄于附近沟谷、河床。

(2) 基岩裂隙水：主要受构造发育及岩体风化程度所控制。地下水埋深一般在 10~15m 以下，接受大气降水补给，排泄沟谷、河床。

根据野外鉴别、原位测试结合室内土工试验成果，本次钻探最大揭露深度范围内揭示的地层从上至下可划分为①层素填土、②₁层粗砂、②₂层中粗砂、②₃层粉质黏土、②₄层中细砂、③₁层砾砂、④₁层强风化砂岩、⑤₁层强风化石英砂岩、⑥₁层强风化花岗岩。

根据沿线钻孔揭露地质岩土层场地分布地层如下：

第①层素填土（ Q_1^m ）：黄褐色，灰黄色，主要成分为中细砂，松散状，稍湿～饱和，局部分布，其顶板标高 0.94～12.84m，层厚 0.50～3.00m。

第②₁层粗砂（ Q_4^{mc} ）：深灰色、灰黑色，松散状，主要为粗砂、砾砂，含腐殖质有机质，有腥臭味。其顶板埋深 0.00～0.50m，顶板标高-2.36～0.44m，层厚 0.80～2.80m。

第②₂层中粗砂（ Q_4^{mc} ）：灰黄色、黄褐色，局部灰褐色，饱和，松散～稍密状，含云母碎片、长石、石英等矿物。其顶板埋深 0.80～3.00m，顶板标高-3.36～0.72m，层厚 2.60～6.80m。

第②₃层粉质黏土（ Q_4^{mc} ）：灰黄色、黄褐色，软塑-可塑状态，以粉质黏土为主，含有砂土颗粒，细粒含量 5～30%，含零星贝壳碎屑。其顶板埋深 0.80～9.80m，顶板标高-6.08～12.04m，层厚 1.40～2.90m。

第②₄层中细砂（ Q_4^{mc} ）：灰黄色、黄褐色为主，局部灰褐色、灰色、浅灰色，饱和，稍密状，石英质，细粒含量约 5～15%，局部混含圆砾，局部见零星贝壳碎屑。其顶板埋深 7.20～11.20m，顶板标高-8.94～-6.26m，层厚 3.70～6.60m。

第②₅层淤泥质粉质黏土（ Q_4^{mc} ）：深灰色、灰黑色，流～软塑状，切面稍光滑，局部夹粉细砂，局部含腐殖质，有腥臭味。其顶板埋深 12.70～15.30m，顶板标高-12.86～-11.58m，层厚 3.10～8.40m。

第②₆层中粗砂（ Q_4^{mc} ）：灰黄色、黄褐色，稍密～中密状，石英质，细粒含量约 5～15%，局部见零星贝壳碎屑。其顶板埋深 18.40～22.20m，顶板标高-21.26～-14.68m，层厚 2.40～8.10m。

第③₁层砾砂（ Q_1^e ）：灰黄色、黄褐色，饱和，稍密～中密状，石英质，细粒含量约 5～15%，稍密～中密状，含云母碎片、长石、石英等矿物，夹花岗岩碎块，粒径约 3-10cm。其顶板埋深 3.60～24.60m，顶板标高-23.66～-5.96m，层厚 0.90～5.40m。

第③₂层砂质黏性土（ Q_1^e ）：灰黄、黄褐色，可塑～硬塑状，主要由砂粒和粘土颗粒混合组成，其中黏土颗粒的含量较小。其顶板埋深 3.70m，顶板标高 9.14m，层厚 2.80m。

第④₁层强风化砂岩（K）：棕红色，强风化，泥砂质结构，层状构造，泥质胶结，节理裂隙发育，岩芯呈土柱状，手捏易碎，局部呈碎块状。其顶板埋深 16.40m，顶板标高-16.34m，层厚 3.10m。

第④₂层中风化砂岩（K）：棕红色，中风化，砂质结构，层状构造，岩芯较完整，节理裂隙发育，岩芯多呈长柱状，部分呈短柱状，RQD约70-80%，岩体基本质量等级为IV级。岩芯采取率约80%~90%。其顶板埋深19.50m，顶板标高-19.44m，层厚3.50m。

第⑤₁层强风化石英砂岩（K）：灰白色，青灰色，砂质结构，层状构造，砂质胶结，节理裂隙发育，岩芯呈碎块状。其顶板埋深26.50m，顶板标高-22.78m，层厚1.70m。

第⑤₂层中风化石英砂岩（K）：灰白色，青灰色，砂质结构，层状构造，岩芯完整-较完整，节理裂隙发育，岩芯多呈长柱状，部分呈短柱状，RQD约70-90%，岩芯采取率约80%~90%，岩体基本质量等级为IV级。其顶板埋深28.20m，顶板标高-24.48m，层厚7.30m。

第⑥₁层强风化花岗岩（T）：麻灰色，黄褐色，粗粒结构，块状构造，裂隙很发育，岩芯呈块状，局部短柱状，岩体破碎，结构部分已破坏，局部充填风化残积土。其顶板埋深4.40~6.50m，顶板标高-6.86~6.34m，层厚1.00~1.90m。

第⑥₂层中风化花岗岩（T）：麻灰色，浅灰色，青灰色，由石英、长石、云母、角闪石等矿物组成，块状结构，中粗粒花岗构造岩芯破碎-较破碎，节理裂隙发育，岩芯多呈短柱状，RQD约40~60%，岩芯采取率约65%~80%，岩体基本质量等级为IV级。其顶板埋深5.60~23.00m，顶板标高-22.94~5.34m，揭露层厚4.7~13.6m。

第⑥₃层中风化花岗岩（T）：麻灰色，浅灰色，青灰色，由石英、长石、云母、角闪石等矿物组成，块状结构，中粗粒花岗构造岩芯完整-较完整，节理裂隙发育，岩芯多呈长柱状，RQD约80~95%，岩芯采取率约90%~98%，岩体基本质量等级为III级。其顶板埋深12.20~35.50m，顶板标高-31.78~-0.64m，最大揭露层厚50m。

3.2.8.3. 不良地质、特殊性岩土及处理措施

表 3.2-28 不良地质情况表

不良地质、特殊性岩土	特性	处理措施
填土（素填土）	松散状态、强度低，不均匀，局部夹少量生活垃圾及建筑垃圾，未见有湿陷性，自稳性能差，堆填年限小于10年，对基坑稳定性不利。	位于道路底部的素填土建议进行强化处理或换填，位于工作井基坑的素填土加强支护措施。

软土（淤泥质粉质黏土）	软塑状态，局部呈流塑状态，强度低，灵敏度高，自稳性能差。	位于道路底部的淤泥质土建议进行加固处理或换填，位于工作井基坑及盾构顶部的软土加强支护措施。
残积土（含碎石粗砂、砂质黏性土）	含碎石粗砂含有大小不一的风化岩块，砂质黏性土土体不均匀性、孔隙比较大等，遇水容易软化等特性。	此层位遇水容易软化，故若使用此层位作为一般建筑物的持力层时应避免此层位长时间的暴露，同时做好防水措施。
残积土（含碎石粗砂、砂质黏性土）及风化岩（砂岩、花岗岩）	风化岩主要为砂岩、花岗岩，本次勘察勘探孔较少，未发现孤石、球状风化等，根据地区经验，本场地花岗岩存在球状风化、孤石。风化球的存在使得土石分布不均匀，如将球体误判为基岩易产生不均匀沉降	勘察时为控制风化球，控制孔需进入中微风化带 5m，重要工程进入微风化带的深度尚需增加。
河床冲刷	在隧道敞开段，北侧为海棠河，建设场地在河流河漫滩处，河流冲刷作用，产生边坡失稳等影响，洪水期海水倒灌淹没场地，	建议对河岸边坡建筑堤防，同时对冲刷影响的坡岸进行加固。
其他	隧道穿越椰林路桥，隧道边线距离桥墩约 18.5m，ZK1+380~ZK1+760 段隧道穿越已建民房	应注意盾构施工对已建建筑的影响。

3.2.9. 项目海域水质质量现状调查与评价

海水水质质量现状调查资料引用《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目海洋环境现状调查报告》（海南正永生态工程技术有限公司，2025 年 5 月）。调查时间为 2025 年 4 月 23 日至 4 月 24 日。共布设海水水质 12 个站位，海洋沉积物质量站位、海洋生物体质量、海洋生态调查站位和渔业资源调查站位各 8 个。潮间带调查站位 4 个。珊瑚礁调查站位 5 个。

根据《海南省近岸海域功能区划(2010 年修编报批稿)》的海洋功能区划水质管理要求可知，本项目的 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 号站执行第一类海水水质标准。

本次海水水质调查项目包括透明度、水温、pH 值、盐度、溶解氧、无机氮（硝酸氮、氨氮、亚硝酸氮）、活性磷酸盐、悬浮物、化学需氧量、生化需氧量、油类、硒、镍、硫化物、挥发酚、总铬、汞、砷、铜、铅、镉和锌共 24 项。布设调查站位 12 个，本次调查共采集 15 个层次海水样品。

调查海域的 pH 值、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量、活性磷酸盐、无机氮、油

类、硫化物、挥发酚、硒、镍、总铬、汞、砷、铜、铅、镉和锌含量均符合《海水水质标准》（GB 3097-1997）中水质参数的分类规定第一类海水水质标准要求，其中 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12 号站执行第一类海水水质标准。

3.2.10. 海洋沉积物质量现状调查与评价

根据《海南省近岸海域功能区划(2010 年修编报批稿)》的海洋环境保护目标管理要求可知，对调查海域海洋沉积物并未规定相应的执行目标；因此本项目的 2、3、4、6、7、8、9、12 号站海洋沉积物质量标准应维持现状。

本次沉积物调查分析项目为硫化物、油类、有机碳、铜、铅、锌、镉、铬、汞和砷共 10 项。在调查海区共布设调查站位 8 个，共采集 8 个海洋表层沉积物。

调查海域的表层沉积物中硫化物、有机碳、油类、铜、铅、锌、镉、铬、总汞和砷均符合《海洋沉积物质量》（GB18668—2002）中沉积物质量参数的分类规定第一类海洋沉积物质量标准。依据近岸海域功能区划要求调查 2、3、4、6、7、8、9、12 号站海洋沉积物质量标准维持现状。

3.2.11. 海洋生态现状调查评价

3.2.11.1. 生物体质量

根据《海南省近岸海域功能区划(2010 年修编报批稿)》的海洋环境保护目标管理要求可知，对调查海域海洋生物体并未规定相应的执行目标；因此本项目的 2、3、4、6、7、8、9、12 号站海洋生物体质量标准应维持现状。

调查海域的生物体石油烃、铜、铅、锌、镉和总汞均符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。依据近岸海域功能区划要求调查 2、3、4、6、7、8、9、12 号站海洋沉积物质量标准维持现状。

根据标准要求鱼类（6、7、8、9、12 号站）符合《环境影响评价技术导则 海洋生态环境》（HJ1409-2025）附录 C 中所属种类的质量标准要求。而甲壳类（3、4、6、8 号站）；头足类（7 号站）样品砷含量均大于 1，为超标样品。经过分析，根据河北省唐山市疾病预防控制中心张文德《海产品中砷的形态分析现状》分析，鱼类及软体动物中主要为有机态砷有机态砷又分为水溶性砷和脂溶性砷，水溶性砷高于脂溶性砷，其中

有机态砷约占总砷含量的 80% 以上。我国学者韦超等对中国海产品中砷的形态进行了分析，海产品中主要是有机砷，而无机砷含量极低。鱼贝类中有机砷的萃取率占总砷的 61%~91%，萃取液中无机砷含量仅占总萃取砷的 0.3%~1.7%。萃取过程中没有对有机砷产生分解和影响。本次检测方法为总砷检测，结合相关研究说明，样品中的无机砷含量极低，生物体质量仍然是相对安全的。

3.2.11.2. 叶绿素 a 和初级生产力结果

调查海区叶绿素 a 含量范围为 (0.22~2.85) mg/m³，调查站位均为贫营养区；调查海区初级生产力变化范围是 (97.12~412.62) mg·C/m²·d。

3.2.11.3. 浮游植物

根据本次调查所采集到的样品，调查海域共鉴定到浮游植物 3 门 36 属 90 种，以硅藻类占多数。各调查站位浮游植物的细胞丰度介于 (0.03~2.96) ×10⁵ cells/m³ 之间，平均细胞丰度为 0.58×10⁵ cells/m³。调查海域浮游植物优势种类明显，主要为平裂藻等。各站位的浮游植物丰富度指数介于 0.66~3.41 之间，平均值为 2.03，单纯度指数介于 0.08~0.96 之间，平均值为 0.43，多样性指数介于 0.19~4.35 之间，平均值为 2.49，均匀度指数介于 0.05~0.80 之间，平均值为 0.49。

3.2.11.4. 浮游动物

据本次调查所采集到的标本鉴定，调查海域浮游动物共有 35 种，桡足类有 19 种，管水母类有 3 种，水螅水母类有 3 种，被囊类有 2 种，枝角类有 2 种，毛颚类有 2 种，腹足类有 1 种，介形类有 1 种，十足类有 1 种，栉水母类有 1 种。浮游动物丰度范围为 (10.48~85.48) ind./m³，平均丰度为 43.96 ind./m³；生物量范围为 (3.13~73.55) mg/m³，平均生物量为 15.93 mg/m³。该海域浮游动物优势种类主要有小唇角水蚤、长尾类幼体、中型莹虾、小哲水蚤、短尾类幼体、中华哲水蚤、肥胖箭虫、红纺锤水蚤、异体住囊虫。该水域浮游动物多样性指数范围在 2.80~3.76 之间，平均值为 3.27；均匀度指数范围在 0.78~0.98 之间，平均值为 0.83；丰富度指数范围在 1.87~3.03 之间，平均值为 2.50；单

纯度指数范围在 0.11~0.20 之间，平均值为 0.15。

3.2.11.5.大型底栖生物

本次调查，调查海域大型底栖动物共采集鉴定到 7 门 53 科 72 种，其中节肢动物有 21 种，软体动物有 21 种，环节动物有 17 种，棘皮动物有 6 种，脊索动物有 5 种，头索动物和星虫动物均有 1 种。各站位底栖生物栖息密度的幅度为(20.51~82.05)ind./m²，平均密度为 45.51ind./m²；生物量的幅度为(1.39~155.22)g/m²，平均生物量为 29.32g/m²。调查海域大型底栖动物栖息密度主要以环节动物门为主，平均密度为 19.23ind./m²，其次为节肢动物门，平均密度为 12.82ind./m²，最低为头索和星虫动物门，平均密度均为 0.64ind./m²；生物量以软体动物门为主，平均生物量为 24.60g/m²，其次为节肢动物门，平均生物量为 2.02g/m²，最低为头索动物门，平均生物量为 0.03g/m²。调查期间该海域大型底栖动物优势种类突出，优势种为毡毛岩虫和种子岛铠甲虾。各站丰富度的幅度为 0.19~1.41，平均值为 0.82；各站单纯度的幅度为 0.12~0.76，平均值为 0.30；各站多样性指数的幅度为 0.59~3.12，平均值为 2.11；各站均匀度的幅度为 0.59~1.00，平均值为 0.90。

3.2.11.6.游泳动物

本次共采集到获游泳动物 39 种，隶属于 9 目 28 科，其中鱼类为 6 目 19 科 26 种，甲壳类 2 目 7 科 11 种，头足类 1 目 2 科 2 种。游泳动物的平均渔获率为 0.036kg/h 和 0.94ind./h。其中，鱼类为 0.022kg/h 和 0.56ind./h，甲壳类的平均渔获率为 0.013kg/h 和 0.36ind./h，头足类的平均渔获率为 0.001kg/h 和 0.02ind./h。根据扫海面积法估算，评价区及附近海域内的 8 个站位均放置流刺网，不做资源密度评估。根据相对重要性指数(IRI)公式计算评价调查海域内的相对重要性指标 (IRI)，并以 IRI 大于 100 作为优势渔获物的判断指标，本次调查的优势渔获种类共有 8 种。其中短吻鲷的 IRI 最高，为 1455.20；其他优势渔获物依次为红星梭子蟹(1346.02)、多齿蛇鲻(723.51)、逍遥馒头蟹(517.48)、远洋梭子蟹(369.80)、强壮菱蟹(317.49)、彭氏黎明蟹(122.38)和褐篮子鱼(105.70)等。本次调查海域渔获物中，鱼类平均幼体比例为 26.79%；虾类平均幼体比例为 50.00%；

蟹类平均幼体比例为 39.74%；头足类平均幼体比例为 100.00%。项目海域渔获物重量密度丰富度指数 (d) 均值为 1.52 (0.36-2.60)，单纯度指数 (C) 均值为 0.34 (0.14-0.59)，多样性指数 (H') 均值为 2.07 (0.86-3.28)，均匀度指数 (J') 均值为 0.83 (0.69-1.00)。渔获物尾数密度丰富度指数 (d) 均值为 30.85 (-6.18-141.04)，单纯度指数 (C) 均值为 0.37 (0.16-0.72)，多样性指数 (H') 均值为 1.95 (0.72-2.98)，均匀度指数 (J') 均值为 0.75 (0.47-0.87)。

3.2.11.7. 鱼卵与仔稚鱼

本次调查，土福湾附近海域鱼卵与仔稚鱼共鉴定种类 32 种，隶属于 22 个科，鉴定到科的有 6 种，鉴定到属的 7 种，鉴定到种的 19 种。从发育阶段来看，鱼卵出现种类有 26 种，仔鱼出现种类有 11 种，稚鱼出现种类有 2 种。

垂直拖网共采集到鱼卵 106 粒，仔鱼 6 尾，稚鱼 1 尾。鱼卵数量以鲷具有数量上的绝对优势，占总数比例的 46.23%，隆头鱼科一种占 35.85%；仔鱼数量以日本金线鱼具有数量上的绝对优势，占总数比例的 50%，日本鳀占 16.67%，尖吻鲷占 16.67%，鰕虎鱼占 16.67%；稚鱼数量以凹鳍鲷具有数量上的绝对优势，占总数比例的 100%。

水平拖网共采集到鱼卵 3816 粒，仔鱼 16 尾，稚鱼 1 尾。鱼卵数量以鲷具有数量上的绝对优势，占总数比例的 49.14%，隆头鱼科一种占 28.30%；仔鱼数量以金线鱼属具有数量上的绝对优势，占总数比例 18.75%，尖吻鲷占 12.5%，刺鲳占 12.5%，金钱鱼占 12.5%，日本金线鱼占 12.5%；稚鱼数量以鰕虎鱼具有数量上的绝对优势，占总数比例 100%。

3.2.11.8. 潮间带生物

4 个潮间带断面共采集了 4 个生物类别中的 12 科 15 种生物（包含定性样品）。其中节肢动物门有 7 种，软体动物门有 4 种，环节动物门有 3 种，脊索动物门有 1 种。4 条潮间带生物断面高潮区未采集到生物，高潮区平均栖息密度为 0.00ind./m²，平均生物量为 0.00g/m²；中潮区平均栖息密度为 5.00ind./m²，平均生物量为 2.18g/m²；低潮区平均栖息密度为 14.00ind./m²，平均生物量为 1.24g/m²。其中生物量分布状况为软体动物 (0.98g/m²) > 环节动物 (0.15g/m²) > 节肢动物 (0.01g/m²)。栖息密度的分布状况为

环节动物 (3.67ind./m²) > 软体动物 (2.00g/m²) > 节肢动物 (0.67g/m²)。该区域的潮间带生物优势种类突出, 优势种为长锥虫、羽须鳃沙蚕和小紫蛤。本次调查, 4 条潮间带断面高潮区均未采集到一种生物, 丰富度、单纯度、多样性指数和均匀度均为 0.00。4 条潮间带断面中潮区除断面 IV 采集到生物以外, 其余断面均未采集到生物, 丰富度、多样性指数和均匀度均为 0.00, 单纯度平均值为 0.25。4 条潮间带断面低潮区丰富度范围在 0.00~0.42 之间, 平均为 0.16, 单纯度范围在 0.00~0.76 之间, 平均为 0.30, 多样性指数范围在 0.00~1.38 之间, 平均为 0.49, 均匀度范围在 0.00~0.87 之间, 平均为 0.37。

3.2.11.9.珊瑚礁资源调查

用截线样条法调查(定量)土福湾附近海域 5 个站位的总平均珊瑚覆盖度为 2.31%, 其中平均硬珊瑚覆盖度为 2.31%, 平均软珊瑚覆盖度为 0.00%, 平均死珊瑚覆盖度为 0.00%。

用截线样条法调查(定量)调查发现, 5 个站位中, C1 号站位以礁石底质为主, 其余站位均以砂质底质为主。对土福湾附近海域而言, 岩石占比为 0.00%, 砂质底质占比为 65.33%, 礁石占比为 32.36%, 珊瑚总覆盖度占比为 2.31%。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集(定性), 本次调查共记录鉴定硬珊瑚 12 科 24 属 36 种。优势种类分别为丛生盔形珊瑚、地衣滨珊瑚、橙黄滨珊瑚、鹿角杯形珊瑚、复叶陀螺珊瑚、索马里角孔珊瑚、多星孔珊瑚和标准盘星珊瑚等。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集(定性), 本次调查共记录鉴定软珊瑚 2 种。种类分别为短指软珊瑚和短足软珊瑚等。

用截线样条法调查(定量)土福湾附近海域 5 个调查站位平均补充量为 0.64ind./m²。最高站位为 C4 号站位, 次高站位为 C5 号站位, 其余站位均未发现有硬珊瑚有补充, 补充量为 0.00ind./m²。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄(定性), 本次调查共记录鉴定大型藻类 21 种。种类分别为半叶马尾藻、脆叉节藻、脆枝果胞藻、耳壳藻、费氏马尾藻、凤尾菜、腹扁二叉藻、环蠕藻、喇叭藻、马尾藻、南方团扇藻、匍扇藻、琼枝、三亚马尾藻、网地藻、网球藻、易碎幅毛藻、长乳节藻、殖丝藻、紫衫状海门冬和总状蕨藻等。用截线样条法调查(定量)土福湾附近海域平均大型藻类覆盖度为 21.49%。最高覆盖度的站

位为 C1 号站位，最低覆盖度的站位为 C3 号站位，未发现大型藻类覆盖。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄（定性），本次调查共记录鉴定大型底栖 31 种。种类分别为阿文绶贝、斑砂海星、大刺羽螅、单鳃海星、多孔螅、桂皮群海葵、海齿花、黑海参、红腹海参、红口土发螺、环刺棘海胆、黄疣海参、焦棘螺、节蝶螺、巨疣海星、喇叭毒棘海胆、蓝环冠海胆、蓝指海星、篱凤螺、马蹄螺、面包海星、旗江珧、网盾海胆、新飞地海星、许氏大羽花、圆凸叶海牛、远洋梭子蟹、蜘蛛螺、栉羽星、紫海胆和棕板蛇尾等。

用截线样条法调查（定量）土福湾附近海域的珊瑚礁资源调查中，各个站位均未发现有死亡情况，死亡率为 0.00%；各个站位均未发现有白化情况，白化率为 0.00%。通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集（定性）。各个站位均未发现白化现象。各个站位均未发现长棘海星、核果螺等敌害生物。

通过实地摄像调查、记录和照片拍摄采集（定性），本次调查共记录鉴定珊瑚礁鱼类 6 种。种类分别为短吻蝠、花斑短鳍蓑鲉、克氏双锯鱼、纹腹叉鼻鲀、五代巨牙天竺鲷和圆拟鲈等。

3.2.12. 海洋自然灾害

3.2.12.1. 热带气旋

影响本区的极端天气主要为热带气旋，2010~2018 年间，西北太平洋和南海共生成 223 个热带气旋，平均每年生成 27.9 个。有 69 个热带气旋进入南海或在南海生成，有 13 个登陆海南岛。其中，1002 号台风“康森”于 2010 年 7 月 16 日 19 时 50 分左右在海南岛三亚亚龙湾一带沿海登陆。按月份统计，7 月登陆次数最多，6 月和 8 月为其次，1 月~4 月和 12 月没有热带气旋登陆三亚。

3.2.12.2. 风暴潮

三亚海域风暴潮现象主要是由热带气旋影响期间在沿岸引发不同程度的风暴增水造成的。2010~2018 年间，三亚海域共出现 6 次较明显的风暴潮过程，分别为：1108 号强热带风暴“洛坦”影响期间，三亚站最高潮位 227cm，未超当地警戒潮位；1117 号强

台风“纳沙”影响期间，三亚验潮站最高潮位 256cm，接近当地警戒潮位；1119 号强台风“尼格”影响期间，三亚海洋验潮站最高潮位 273cm，接近当地警戒潮位；1213 号台风“启德”影响期间，三亚湾验潮站最大增水 36cm，最高潮位 220cm；1719 号强台风“杜苏芮”影响期间，三亚验潮站最大增水 67cm，最高潮位 275cm，超蓝色警戒潮位 7cm；1809 号热带风暴“山神”影响期间，三亚验潮站最大增水 60cm，最高潮位为 159cm。

3.2.12.3. 地震

参照《中国地震动参数区划图》（GB18306—2015），本项目拟建场地位于海南省三亚市海棠区，场地抗震设防烈度为 6 度，设计基本地震加速度 0.05g，设计地震分组第一组。根据场地各钻孔波速测试结果，拟建场地 ZK1、ZK2 孔处场地类别为 III 类，ZK3、ZK4、ZK5、ZK6 孔处为 II 类。

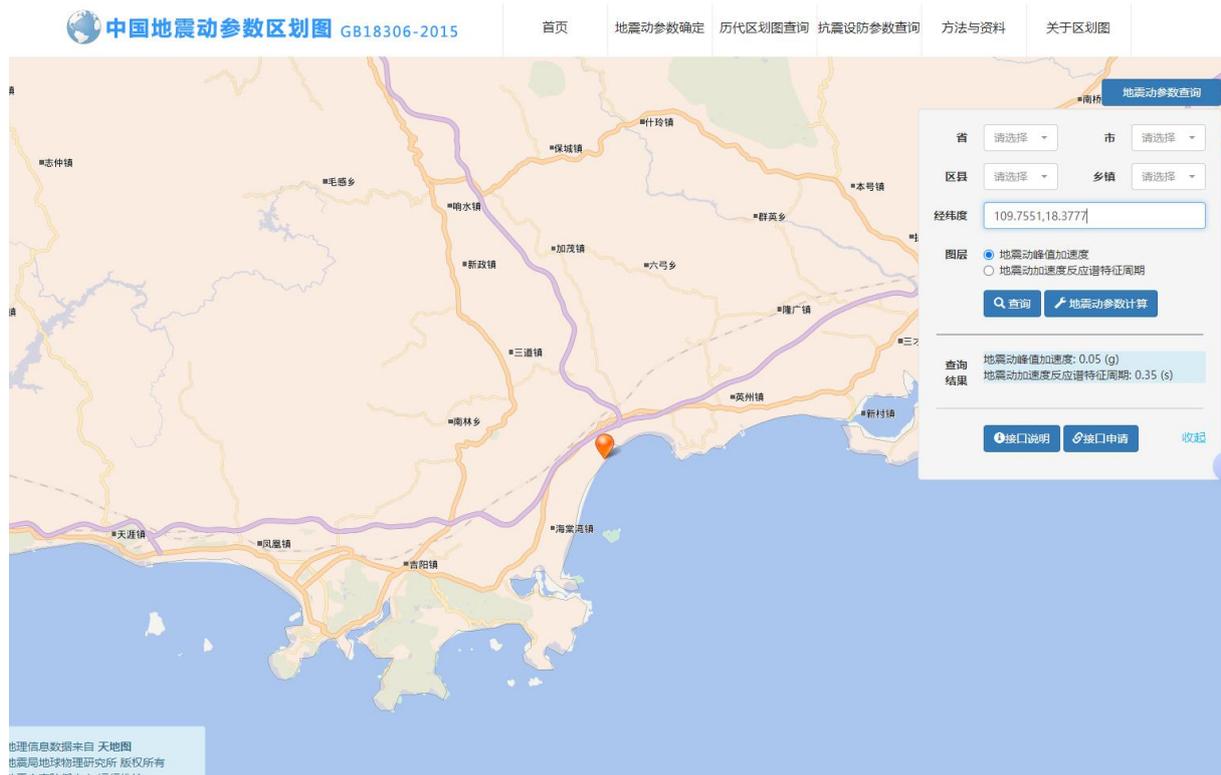


图 3.2-82 三亚市海棠湾地震动参数区划图

4. 资源生态影响分析

4.1. 生态评估

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023）要求，论证等级为二级的用海项目，应开展生态评估。

4.1.1. 资源生态敏感目标

根据本项目用海基本情况和所在海域生态基本特征分析，本项目用海周边主要的生态敏感目标为珊瑚礁、椰子洲岛风景名胜区和无居民海岛，生态敏感目标分布见表 4.1-1 和图 4.1-1。

表 4.1-1 项目海域周边资源生态敏感目标一览表

名称	方向距离	敏感要素
珊瑚礁	项目用海周边 (最近距离约 2.37km)	珊瑚礁及生境
椰子洲岛风景名胜区	项目从椰子洲岛风景名胜区底土穿越	椰子洲岛生境
石头公岛	西北侧约 526m	石头公岛生境
单寮	西北侧约 86m	单寮生境
藤沙岛	西北侧约 549m	藤沙岛生境
高岛	西北侧约 71m	高岛生境

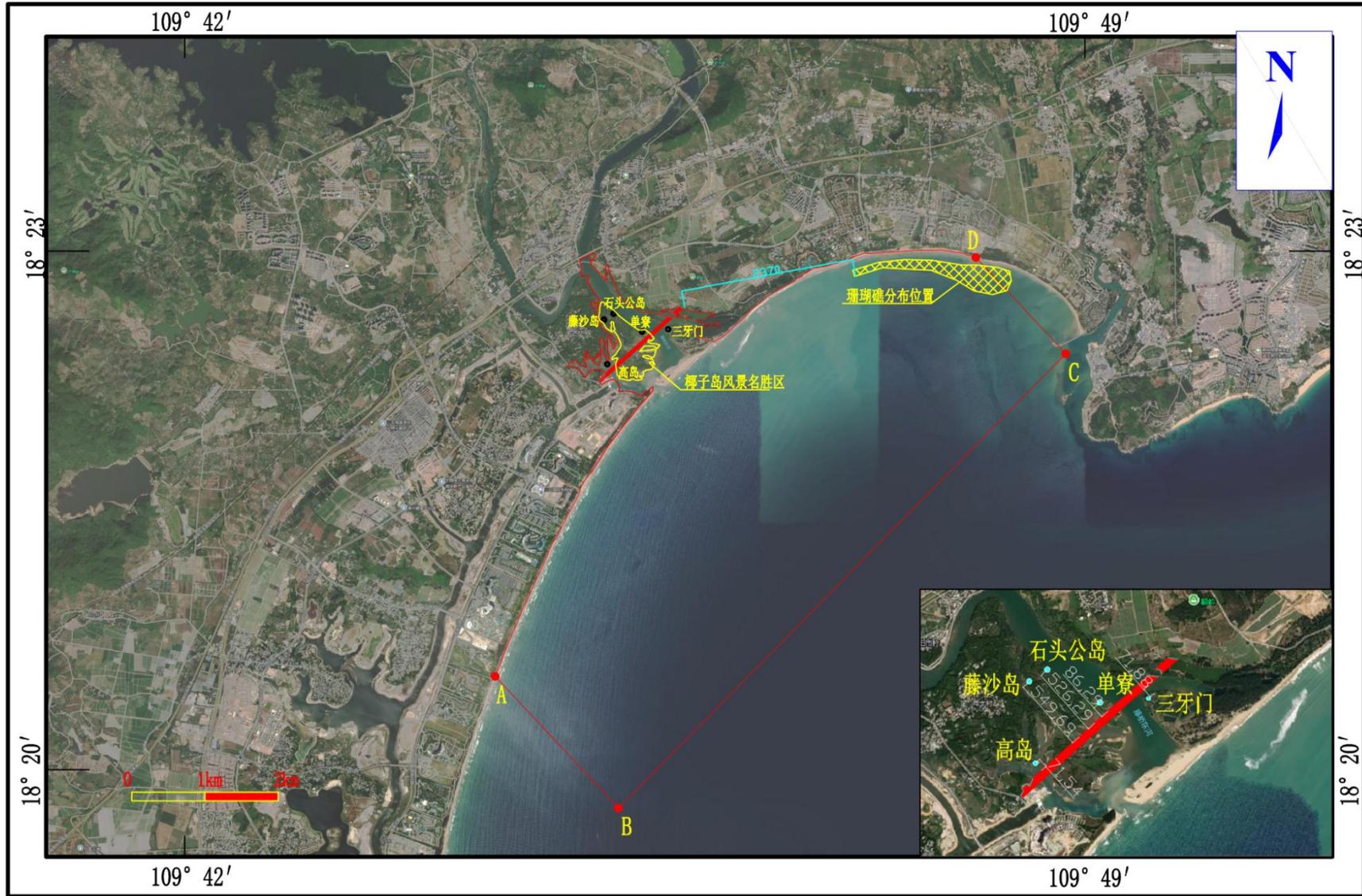


图 4.1-1 项目用海与敏感目标位置关系图

4.1.2. 用海方案比选分析

根据本桥梁位置的工程地质、水文及环境等条件，选择桥梁方案与隧道方案在技术上均可行，其综合比选结果详见下表 4.1-2。

从表中可以看出，桥梁方案与隧道方案在施工案例、施工经验及难度、施工风险等方面相当，桥梁方案在运营环境、常规运营养护尤其本工程造价等方面具有优势，而隧道方案在对航运的影响、受恶劣天气通行影响、对生态环境、基本农田的影响、对沿线居民的环境影响及社会稳定影响、对两岸占地影响、对沿线两侧地块环境及价值的影响、拆迁影响、海岸线景观效果、对岸线资源的影响及与规划的协调性等方面具有优势。如果综合周边土地价值的影响，工程及环境总费用更具有优势，经综合比较推荐采用隧道建设方案。

表 4.1-2 桥隧方案比选表

序号	比较内容	桥梁方案	隧道方案
1	施工经验及难度	施工经验较多，施工难度较小	已积累一定的施工经验，施工难度不大。
2	施工风险	技术成熟	具备成功实施的技术和水平，具有一定的施工风险，须引起重视，以既有技术和水平完全可以克服
3	运营及设备维护管理费用	常规运营维护简单，无需通风，白天无需照明，运营费用相对低，但大跨桥梁需要定期更换缆索时费用较高，全服役期大修费用较高	需通风照明等措施，隧道运营监控措施严格，常规运营费用相对较高，但隧道结构耐久性好，在运营期主体结构基本无需大修，因而维修费用低
4	受恶劣天气气候条件的影响	在雷雨台风、浓雾或雨雪天气时，行车会受到很大影响，需限制通行或封闭交通	基本不受气候影响，可全天候运行
5	对水环境的影响	桥墩邻近水系及占用湿地，对生态环境影响大	无论是施工还是运营对水环境及湿地影响小
6	对基本农田的影响	占用一定的基本农田	基本无不利影响
7	对岸线资源的影响	占用一定的岸线资源，对岸线开发利用产生影响	基本无不利影响
8	对风景区的影响	桥梁结构破坏原有的景区生态环境，与景区环境不协调。	基本无不利影响

9	接线条件	平面接线位置位于椰林路交叉口后，交通组合较为有利，但对在建酒店影响大。桥梁跨越椰子洲岛风景区，为保证通航，高程很高，因此两端纵坡大。	隧道顺接两端交叉口，下穿椰子洲岛风景区，纵坡较长，纵坡相对较小，交通组织合理。
10	地块影响	墩台设置一定程度上，破坏了地块的完整性	基本无不利影响
11	社会稳定性协调难度	对在建酒店、水闸、椰子洲岛风景区、生态林地、基本农田等影响大，征迁数量大，协调困难。	对周边建筑、风景区、生态林地、基本农田等影响小，征迁数量小，协调难度相对较小。
12	工程造价	相对较低	高
研究结论		占用基本农田、岸线及通航资源，分隔椰子洲岛风景区，影响景点生态环境，不推荐。	推荐

综上所述，桥隧方案各有优缺点，但隧道方案对河口布局，路网结构协调性，工程经济性、协调外部建设环境等方面优势明显。

4.2. 资源影响分析

4.2.1. 海洋空间资源影响

本项目占用海域 4.8656ha，为排他性占用。项目从海域底土穿越，不占用海岸线。

4.2.2. 建设项目生物损害评估和补偿测算

本项目所采用的盾构隧道方案工程属于海底工程，盾构施工段的隧道将直接穿越海底，并与海床表面要预留一定距离，水下段隧道顶部最小标高为-31.564m，因此不会对项目海域造成生物损害和损失。

4.2.3. 对海洋生物资源影响分析

根据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》（SC/T9110-2007），本项目位于海棠湾海域，附近有珊瑚礁、海草床、无人岛和风景名胜区等敏感资源分布，无珍惜濒危水生生物，本小结主要结合论证范围内海洋资源分布和项目用海生态影响结果，针对项目建设对浮游生物、底栖生物、游泳动物和敏感目标等海洋生物资源影响作出分析。

4.2.3.1. 对底栖生物的影响

海底隧道施工采用的是盾构施工法，从海底-9.29m~-35.90m 通过，而底栖生物的活动范围一般是海底 40cm 以上底土里，底土下 40cm 一般不会有底栖生物，因此，海底隧道在海底的施工对底栖生物基本上没有影响。

4.2.3.2. 对浮游生物、游泳生物、渔业资源的影响分析

本项目所采用的盾构隧道方案工程属于海底工程，盾构施工段的隧道将直接穿越海底，并与海床表面要预留一定距离，水下段隧道顶部最小标高为-31.564m，因此不会对项目海域造成生物损害和损失。

海底隧道施工产生的弃渣，通过运土车运至三亚海棠区指定的弃渣处理点，施工产生的泥浆在泥浆厂内进行，不会对工程所在海域的环境产生影响。各类污废水经处理达标后排放到指定回收处理点，均不排放入海，因此对海洋浮游生物、游泳生物、渔业资源基本没有影响。

4.2.3.3. 运营期海洋生态环境影响分析

隧道建设后，隧道内少量渗漏水或消防、冲洗水由废水泵房集中抽排至地面市政管网，雨水由雨水泵房集中抽排至地面市政管网。管理中心产生的工作人员办公生活污水及路面清洁时产生的少量废水一起排入市政水管网。因此运营期对海洋生态环境影响较小。

4.2.4. 对“三场一通道”影响分析

项目所在的南海渔业水域主要分布有南海中上层鱼类产卵场、南海底层、近底层鱼类产卵场和幼鱼繁育场保护区，以及海南岛东南部重要渔业资源产卵场。

4.2.4.1. 经济鱼类产卵场

①中上层鱼类产卵场

项目附近的中上层产卵场主要为蓝圆鲹粤西外海区产卵场（东经 110°30'~112°40'，

北纬 $18^{\circ}15' \sim 20^{\circ}05'$ ），水深约为 $70 \sim 180\text{m}$ ，产卵期 $4 \sim 6$ 月。该产卵场位于项目东北侧，与本项目距离约 58km 。

②底层、近底层鱼类产卵场

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。与本项目距离较近的底层、近底层鱼类产卵场主要有：

a.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（东经 $111^{\circ}45' \sim 115^{\circ}45'$ ），水深 $25 \sim 107\text{m}$ ，主要是 $40 \sim 80\text{m}$ ，产卵期 $3 \sim 8$ 月。该产卵场位于项目东北侧，与本项目距离约 255km 。

b.黄鲷产卵场：i)南海北部产卵场，在南海分布广而狭，处于外海，沿着 90m 等深线由海南岛东部向东北延伸至汕尾外海（约东经 $111^{\circ}45' \sim 115^{\circ}45'$ ，水深 $77 \sim 119\text{m}$ ），连成一条带状，产卵期为 11 月~翌年 3 月，该产卵场位于项目东北侧，与本项目距离约 200km 。ii)海南岛南部产卵场，位于东经 $108^{\circ}55' \sim 109^{\circ}15'$ ，北纬 $17^{\circ}15' \sim 17^{\circ}50'$ ，水深 $70 \sim 120\text{m}$ ，产卵期为 10 月~翌年 2 月，该产卵场位于项目西南侧，与本项目距离约 65km 。

c.深水金线鱼产卵场：在南海北部的分布范围很广，从海南岛东岸东经 $110^{\circ}30'$ 以东一直延伸到东经 $177^{\circ}00'$ 水深 $90 \sim 200\text{m}$ 范围内均有分布，主要产卵期 $3 \sim 9$ 月。该产卵场位于项目东北侧，与本项目距离约 65km 。

③海南岛东南部重要渔业资源产卵场

海南岛东南部重要渔业资源产卵场分布在海南岛东南海域，从琼海一直延伸到三亚海棠湾附近，与本项目的最近距离约 8km （详见下图）。

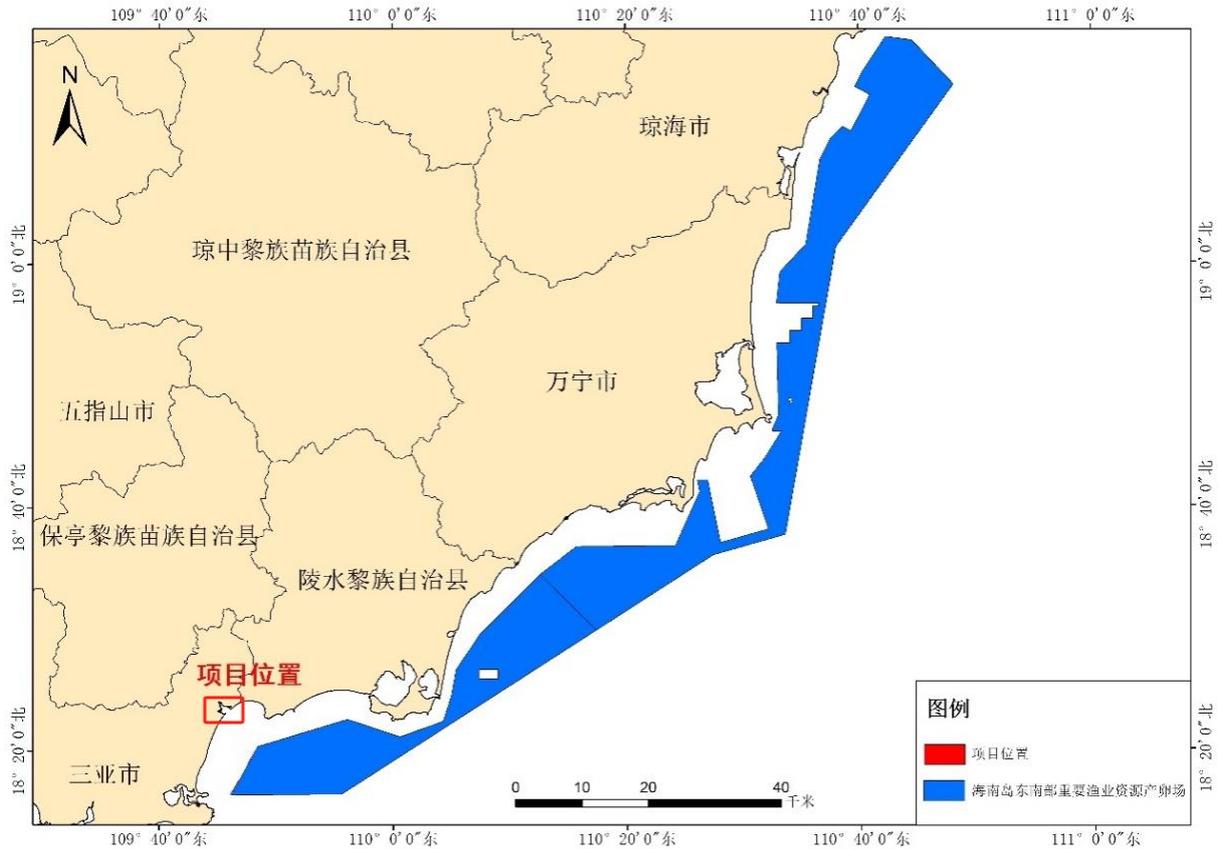


图 4.2-4 海南岛东南部重要渔业资源产卵场分布示意图

4.2.5. 幼鱼繁育场保护区

①幼鱼幼虾保护区

南海区幼鱼、幼虾保护区共有 4 处（见图 4.2-5），一为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；二为海南省东部沿岸文昌县木兰头浅滩东北至抱虎角 40m 水深以内海域。保护期为每年的 3 月 1 日至 6 月 15 日；三为海南省万宁县大洲岛至陵水县赤岭湾 50m 水深以内海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 5 月 31 日；四为海南省临高县临高角至东方县八所港 20m 水深以内海域，保护期为每年的 3 月 1 日至 6 月 15 日。本项目位于海南省万宁县大洲岛至陵水县赤岭湾幼鱼幼虾保护区内。

②南海北部幼鱼繁育场保护区

位于南海北部及北部湾沿岸 40m 等深线、17 个基点连线以内水域，保护期为 1~12 月，该保护区的管理要求为禁止在保护区内进行底拖网作业。项目所在海域为南海北部

幼鱼繁育场保护区。

4.3. 生态影响分析

4.3.1. 水文动力环境影响分析

本项目为海底隧道工程，工程采用盾构法施工，盾构始发井、接收井均在陆域上，盾构全过程在海床以下进行，覆土最小厚度约 17m 不对海洋水环境产生扰动，不影响海域水文动力环境。对工程区大范围海域的潮流动力条件基本没有影响。

4.3.2. 地形地貌与冲淤环境影响分析

根据相关文献资料研究，盾构隧道施工对海床存在轻微的扰动影响。研究表明，盾构法施工过程中将引起地层原始应力状态的改变，形成扰动地应力场，使得隧道周围土体应力释放产生松动、沉陷，从而引起地表沉降，或是隧道周围土体应力增加，产生紧缩、上拱，表现为地表隆起。隧道掘进过程中，地表沉降可分为初期沉降、开挖面隆起、尾部沉降、尾部空隙沉降和长期延续沉降共五个阶段。初期沉降指盾构开挖面未到之前产生的沉降，一般认为是由于盾构施工导致的地下水或孔隙水下降引起，通常该沉降值均非常小。开挖面隆沉指盾构开挖面处由于掘进参数（开挖面泥水压力、掘进速度、推进力等）差异，使得开挖面土体应力状态不同，形成了土压的增加或应力释放，从而导致开挖面处地表隆起或沉降。尾部沉降由于盾构机身对土层的剪切扰动，使得隧道周围土体在拉应力作用下向盾构后移动，从而带来地表沉降。盾尾空隙沉降是指盾构尾部通过后，由盾尾的建筑空隙引起，或者在注浆不及时、不充分的情况下均会引起地表沉降。长期延续沉降是指盾构通过后，相当长一段时间内由于土体自身特性导致的塑性变形，从而产生了持续时间较长的地表沉降。

参考南京长江隧道施工监测，在盾构掘进过程中，盾构开挖面将要达到监测断面时，监测断面处地表呈现略微隆起，随着盾构逐渐越过监测断面，地表开始由隆起转为沉降，并随着盾构的不断前行，持续沉降并达到最大值，在达到最大沉降值后，随着盾构的远离，沉降值略有反弹，原状土段监测位置地表最大沉降值约为 38.5mm，参考该研究成果，基本可以判断盾构隧道施工对海床扰动较小。考虑到盾构掘进引起的地层原始应力

状态的改变与施工条件和技术密切相关，本报告要求隧道掘进过程中对海床隆沉进行密切监测，防止因海床过渡隆起或塌陷对海底地形地貌造成较大改变。

4.3.3. 水质环境影响分析

4.3.3.1. 施工期水质环境影响分析

海底隧道施工由于是采用盾构的施工方式，从海底-9.29m~-35.90m 通过，施工过程中对海洋水质环境基本不会产生影响。项目施工过程中对海洋环境的影响主要来自于工作井建设时陆上施工中产生的废水，主要来自暴雨时的地表径流、建筑施工废水和生活污水。如果收集处理不当，将对海洋环境产生一定的污染。海底隧道施工作业时陆上明挖暗埋段和工作井施工需进行开挖后回填。

根据工程分析可知，盾构过程泥浆循环系统产生泥浆量约 5 万 m³，泥浆处理在自建砂浆站内进行，泥水分离系统对盾构排出的泥浆进行处理，使排出泥浆能够重新达到盾构掘进过程中泥浆的要求，由泵送入盾构机，加以循环利用，从而达到整个盾构过程中的泥水物质平衡。废浆全部可以处理成干渣，无需泥浆外排；基坑涌水委托清运，废水不排入海洋，对海洋水质环境无影响。

施工过程中，施工废水、泥浆经过预处理后再排放，采用专用的运输车进行废水和泥浆的运输，施工现场设置连续畅通的排水系统，合理组织排水。土方外运时加以遮盖，车辆驶入市政道路前，经过洗车槽并设专人进行冲洗，防止泥土污染道路，冲洗车辆后的污水经沉淀后排入新引河。开挖土方时，及时洒水，保持土壤湿润，存放的土方、砂石料、建筑垃圾集中堆放并加以覆盖，防止扬尘，控制运输车装载，加以遮盖，安排专人对工地内周边的道路清扫，及时清扫洒落的尘土砂石。泥浆排放采用泥浆车及时外运至指定卸浆点。经过采取这些措施后，地表径流对海洋水环境影响很小。施工人员产生的生活污水排入居住场所所在地的污水系统，经处理后达标排放，对海洋环境影响轻微。施工机械产生的油污水和施工船舶产生的污染物经收集后有资质的单位接收处理，不会对海洋水环境产生影响。

4.3.3.2. 运营期水环境影响分析

本工程敞开段的水环境影响主要是路面径流，污染物为悬浮物和石油类。

路面径流对水体的污染，一般来说，在降雨初期，路面径流从路面两端进入水体后，将在径流落水点附近的局部小范围内造成污染物浓度的瞬时升高，但在向下游流动的过程中随着水体的搅浑将很快在整个断面上混合均匀，其对这些河流污染物浓度升高的贡献微乎其微。由此可以确定，路面径流对水体的影响是十分轻微的，不会改变水体的水质类别。项目建设有市政雨水管网，路面径流可通过雨水管网排走，路面径流不会对地表水造成影响。

为有效收集敞开段径流雨水，本工程在隧道各进、出口处设雨水泵房，共设置 2 座，在洞口路面上设置两道横截沟，将雨水拦截入雨水泵房，采用过潜水排污泵通过扬水管就近排入市政雨水管网。由于敞开段及接线道路径流雨水均纳入城市雨水系统且雨水中污染物只在降雨初期才产生影响，因此，本项目建成后，径流雨水不会对沿线水环境产生明显影响。

清洗隧道清洗废水收集到隧道废水池后委托清运，要求隧道清洗废水收集池容积不小于 50m³。隧道清洗废水泵至上岸后经预处理后纳管，不会对地表水体产生影响。

隧道建设后，盾构段一般渗漏水较少，在救援通道两侧设置半圆形排水沟，轨道两侧设置轨旁排水沟，并每隔一段距离将上层排水沟引流至隧道底部排水沟。盾构段废水最终通过底部排水沟排放至最低点废水泵房，然后通过斜井集中抽排至地面管网。本项目产生的废水将不会带来明显的水污染影响。隧道建设过程中及建成后，将加强防水设计和建设，防水等级标准达到一级，将采取一系列措施进行防水工作。**隧道的建设施工单位严格按有关规范及设计进行施工，确保工程质量，本项目建设后，不会有明显渗水，对项目附近海域水质环境造成影响不大。**

4.3.4. 沉积物环境影响分析

4.3.4.1. 施工期沉积物环境影响分析

海底隧道施工由于是采用盾构法施工，海域段受海底构造带影响，岩层相对较破碎，项目施工过程中将破坏一定的沉积底土。

根据项目施工期水环境影响分析结果，本项目施工期产生的废水不会产生较明显的

水污染影响，施工机械产生的油污水经收集后有相关单位接受处理。因此工程施工将破坏一定的沉积底土，但是不会对海洋沉积物环境质量产生影响。

4.3.4.2. 运营期沉积物环境影响分析

隧道建设后，隧道内少量渗漏水或消防、冲洗水由废水泵房集中抽排至地面市政管网，雨水由雨水泵房集中抽排至地面市政管网。管理中心产生的工作人员办公生活污水及路面清洁时产生的少量废水一起排入市政污水管网。产生的生活垃圾集中收集运至垃圾处理站处理。因此运营期基本不会对海洋沉积物环境产生影响。

4.3.5. 海底环境的影响分析

本项目隧道工程过海段采用盾构掘进施工方案，从海底-9.29m~-35.90m 通过，盾构掘进方式不会对海域环境及海床表层造成影响，但施工过程中会对穿越土层围岩的土体产生破坏扰动，疏排地下水等会在一定范围内产生砂土地震液化和软土沉降等不良地质问题。根据项目地质灾害危险性评估报告，隧道施工抽排水造成的地面塌陷地质灾害危险性为中等，因存在软厚土层预测隧道口明挖段地面沉降地质灾害危险性为中等。根据设计要求，在进行盾构掘进施工前，对地表的相关地段和关键部位进行了地表加固预处理。地表加固方式包括三轴搅拌桩、高压旋喷桩和沙袋压重三种施工方法。采取了切实有效的地质灾害防治措施，减少或避免地质灾害造成的损失。

4.3.6. 对珊瑚礁生态影响分析

在论证范围内土福湾附近存在珊瑚礁，项目距离珊瑚礁约 2.37km，距离珊瑚礁较远，项目采用盾构法从海底底土穿越，因此对珊瑚礁没有影响。

4.3.7. 对椰子洲岛风景名胜区的影晌分析

本节资料引用《三亚热带海滨风景名胜区椰子洲景点海棠路北延下穿隧道建设项目选址方案论证专题报告（送审稿）》（三亚市城市规划设计研究院有限公司，2025 年 2 月）的内容，该专题报告已通过初审。

4.3.7.1. 对风景名胜区资源能控制保护影响分析

根据《三亚热带滨海风景名胜区总体规划（2017-2030年）》，论证范围穿越椰子洲景点，穿越部分道路总长度3004m，其中地上长度277m，地下长度2727m。论证范围总面积123983m²，包括地上部分15615m²（包括风井、疏散口和地上道路部分等），处于椰子洲景点三级保护区内；地下隧道108368m²，穿越一级陆域保护区（核心景区）、二级保护区和三级保护区。

拟建工程地上建设部分位于椰子洲景点三级保护区内（限制建设范围），区域内允许建设机动车道、给水设施、排水管网以及夜景照明设施等道路设施及基础设施。

项目在景区内建设地上部分为风井、疏散口和地上道路部分及其配套的设施工程。建设内容符合建设控制管理及资源分级保护中的相关要求。地下部分的线路虽穿越一级陆域保护区（核心景区）、二级保护区，但其均为盾构隧道形式，无地面工程，对景区无影响。

4.3.7.2. 对景区景源的影响

项目在景区内建设地上部分距离藤桥墓群建设控制地带约400米距离，距离较远，且正交部分为暗埋隧道形式穿越，中间还有大部分的林地遮挡，整体影响较小。地下部分均为盾构隧道形式无地面工程，对景源椰子洲无影响。

4.3.7.3. 对游赏规划的影响

项目在景区内建设地上部分在新建热带植物游赏区，一是为平面道路布局，二是道路与内部道路和外部道路顺畅衔接，占地较小，整体影响较小。地下部分穿越改造升级的椰洲湿地游赏区，但均为盾构隧道形式，无地面工程，对地面椰洲湿地游赏区无影响。

4.3.8. 对无居民海岛的影响分析

在本项目论证范围内有高岛、单寮、三牙门、藤沙岛和石头公岛。

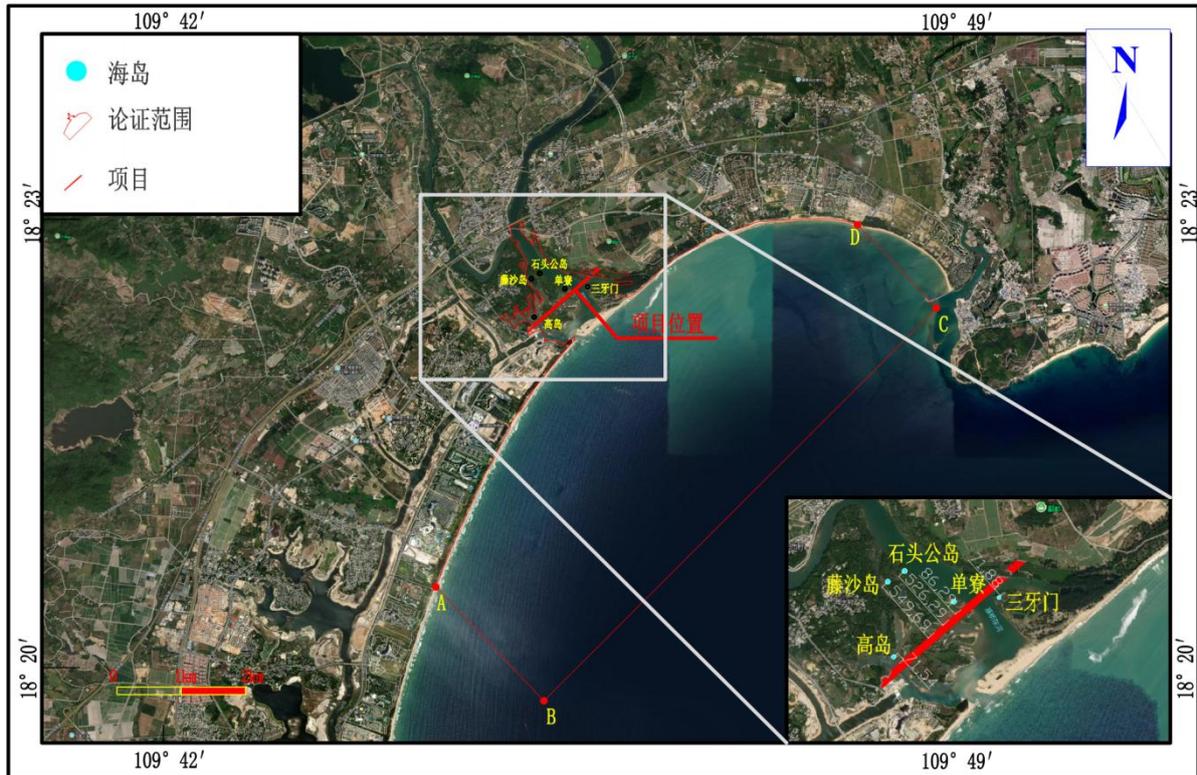


图 4.3-1 项目与无居民海岛位置图

表 4.3-1 论证范围内海岛一览表

名称	面积 (km ²)	海岛类别	主导用途	保护对象	管控要求
高岛	0.017	无居民海岛	游憩用岛	海岛自然岸线	控制海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性，用岛方式应为轻度利用式或原生利用式；保护海岛自然景观资源；严格落实生态环境保护措施。
单寮	0.0085	无居民海岛	保护类海岛		
三牙门	0.06807	无居民海岛	游憩用岛	海岛自然岸线	控制海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性、占用岸线、用岛方式与规模等；保护海岛自然景观资源；严格落实生态环境保护措施，实施海岛生态保护和修复。
藤沙岛	0.001463	无居民海岛	保护类海岛		
石头公岛	0.413376	无居民海岛	游憩用岛	海岛自然岸线和典型植被	控制海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性，用岛方式应为轻度利用式或原生利用式；保护海岛自然景观资源；严格落实生态环境保护措施。

本项目为盾构法施工，暗挖海底隧道，项目从底土穿越，不会产生悬浮泥沙，对冲淤环境影响较小。因此对海岛影响较小。

4.3.8.1. 项目对高岛的影响分析

根据表 4.3-1，高岛的主导用途为游憩海岛，保护对象为海岛自然岸线，管控要求为控制海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性，用岛方式应为轻度利用式或原生利用式；保护海岛自然景观资源；严格落实生态环境保护措施。

本项目采用盾构隧道形式，隧道从海底底土穿越，覆土深度达 12 米。项目属于基础设施建设，并已纳入市域综合交通规划图属于海南省 2024 年重大项目投资计划之一；项目对高岛开发利用强度较低，项目的实施不会影响高岛的自然景观资源，不会改变海岛的自然属性。因此，不会对高岛产生影响。

4.3.8.2. 项目对三牙门的影响分析

根据表 4.3-1，三牙门的主导用途为游憩海岛，保护对象为海岛自然岸线；管控要求为控制海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性、占用岸线、用岛方式与规模等；保护海岛自然景观资源；严格落实生态环境保护措施，实施海岛生态保护和修复。

本项目不涉及三牙门用岛。项目采用盾构隧道形式，隧道从海底底土穿越，覆土深度达 12 米，是必要的基础设施建设工程。项目不占用岸线，项目的实施不会对三牙门自然景观资源，海域自然属性和海岛生态环境产生影响。因此本项目不会对三牙门产生影响。

4.3.8.3. 项目对石头公岛的影响

根据表 4.3-1，三牙门的主导用途为游憩海岛，保护对象为海岛自然岸线和典型植被；管控要求为控制海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性，用岛方式应为轻度利用式或原生利用式；保护海岛自然景观资源；严格落实生态环境保护措施。

本项目采用盾构隧道形式，隧道从海底底土穿越，覆土深度达 12 米。项目属于基础设施建设，并已纳入市域综合交通规划图属于海南省 2024 年重大项目投资计划之一；

项目对高岛开发利用强度较低，项目的实施不会影响高岛的自然景观资源，不会改变海岛的自然属性。因此，不会对石头公岛产生影响。

4.3.9. 项目用海对通航条件的影响分析

4.3.9.1. 工程对船舶通航的影响

本项目采用盾构法施工，地下穿越河道，项目建成后不在河道内设置水工建筑物，项目周边通航船只多为游艇、客船为主，主要分布在外海，本项目为地下隧道工程，隧道从河床底部深处穿越，水域内未布置水工建筑物，项目建设不改变河底高程。工程建设后流速、流向基本无变化。水动力环境基本不改变，对所在水域水流条件影响较小。

工程建设对所在水域潮流条件影响较小，基本不改变水下地形，水动力场也基本无变化，整体上本项目对于项目周边水域的冲淤幅度和影响范围都较小，本项目位于藤桥河河口，周边航道主要分布在外海，本项目隧道从河床底部深处穿过，采用盾构法施工，项目不涉及航道疏浚等工程，不改变航道现状，因此对未来航道升级整治工程无影响。

因此，对船舶通航基本无影响。

4.3.9.2. 工程对通航安全设施的影响

海事监管系统主要有 VTS 系统，雷达子系统、CCTV、海岸电台、DGPS 台链等，船舶通讯信号主要有船舶的导航系统、通信系统的信号。本项目附近的海事监管系统和船舶通讯信号中存在无线电传播的设备主要有雷达、AIS、GPS、GMDSS 通信设备等。这些信号在传播的过程中如果遇到障碍物，会有不同程度的影响。本项目为地下隧道工程，不会阻碍这些信号的船舶。因此对通航安全监管实施影响不大。

4.3.9.3. 隧道助探及防护桩施工对通航安全的影响

本项目位于藤桥河河口，项目周边用海主要为旅游娱乐用海。周边通航船只多为游艇、客船为主，主要分布在外海。本项目勘探和防护桩施工主要位于河口位置，对附近航行的船舶基本无影响。项目施工期间在划定的施工活动水域周围设置警示标志，在施

工作业时加强瞭望，注意与周围船舶加强沟通联系，提醒过往船舶，保障船舶航行安全。因此探及防护桩施工对通航安全影响较小。

综上所述，本项目为地下隧道工程，项目建成后不在河道内设置水工建筑物，对船舶通航基本无影响，不会影响通航安全监管实施。因此本项目对通航安全影响有限。

4.3.10. 对河道的影响

本项目建设后，河道的河底高程不会发生改变，不会改变河道断面及水流形态，不会产生阻水、壅水现象，对河道的行洪、冲淤、水位、流速等均无影响。本项目为地下隧道工程，道路从主河床底部深处穿过，未破坏河道两岸边界条件。河道内未布置水工建筑物，不改变断面形态和河段天然河道的水流结构。因而项目的建设对工程河段河势稳定不会产生不利的影晌。

4.3.11. 对堤防及岸坡稳定和其他水利工程的影响分析

(1) 对堤防及岸坡稳定的影响分析

隧道穿越龙江河和藤桥河河段现状无堤防，穿越河段两岸均为自然边坡，穿越工程施工期虽然安排的非汛期，其不会对正常防洪造成影响，但对于常流水的渠道，施工开挖会对渠道工程产生短暂影响。施工完成后覆土复原，保持河床原貌。故项目运行期间不会对堤防及岸坡稳定产生影响。

(2) 对其他水利工程设施安全的影响分析

隧道穿越河道龙江河和藤桥套河两岸为自然岸坡，工程均为地下穿越工程，管道深埋底层岩层，不会引起拟建工程附近流速和流向的变化，因此对上游水库不会造成较大影响。因此本项目的建设对上下游其他水利工程无影响。

4.3.12. 项目用海对防洪影响分析

根据《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目水文及河演分析（含水文和水下地形图）专题研究》和《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目潮流泥沙数学模型研究》，海棠路北延下穿隧道工程采用的盾构隧道过河方案不占用水域，对藤桥河口水域的潮位基本没有影响。三亚市海棠区藤桥河口水域的行洪安全基本无影响。

隧道工程建成后，藤桥河口两侧近岸流速基本不变，不会对现有海堤造成冲刷。因此，海棠路北延下穿隧道工程不会对现有防洪工程产生不利影响。

4.3.13. 对排水闸及椰林跨海棠路桥梁的影响

本项目周边有椰林路跨海棠路桥梁以及藤桥河 1#排水闸。隧道以盾构形式下穿椰林路桥梁，绕避水闸，由北侧穿 1#水闸基础。

隧道在选址时已避开藤桥河 1#排水闸，在施工时应核实盾构结构与排水闸附近基础结构竖向位置关系；隧道下穿椰林路桥梁均为盾构结构，覆土深度最小达 12m，施工期应核实盾构结构是否避开桥梁桩基。

综上，在考虑盾构结构已避开上述水工建筑基础的情况下，项目建设对排水闸及椰林路跨海棠路桥梁的稳定不造成影响。

4.4. 项目用海风险分析

4.4.1. 自然灾害风险分析

4.4.1.1. 热带气旋带来的暴雨洪水

藤桥河属于三亚市海棠湾区，暴雨多由热带气旋和冷锋等天气系统造成，其中以台风暴雨居多，流域受台风影响多年平均为 3~4 次。暴雨具有雨量集中、强度大、延续时间长、时空分布不均等特点。本流域地处三亚市，三亚降雨的水源补给主要来自南海和太平洋，由于三亚经常处于由海南岛东面或东南面而来的台风的第二象限位置，受北部高大的五指山的阻挡，降雨量明显少于海南岛的东部、中部和东北部。另外在每年的 4~5 月，由北部南下的冷空气而形成的前汛期降雨也因为五指山的阻挡作用很难到达三亚。此外受热干风的影响，降雨量也明显偏少。藤桥河境内年平均降雨量 1653mm，变差系数 0.28 之间，最大降雨量比最小降雨量多 1918mm，最大年降雨量是最小年降雨量的 3.6 倍，最小年降雨量是多年平均降雨量的 0.44 倍。

藤桥河洪水由暴雨形成，其时空变化特性与暴雨情况一致，具有历时短、流量变幅大、水位陡涨陡落的特性。年最大洪水一般发生在 4~11 月份，以 9、10 月份最多，占年最大洪水的 56%~72%，一次洪水过程历时一般为 1~3d，连续洪水可达 5d。洪水形状

单峰稍多于复峰，涨洪历时 0.5~1d，退水历时 1~3d，与洪水大小及峰型有关。

流域内多年平均降雨量 1653mm，多年平均降水总量 11.7 亿 m³，多年平均径流量 5.96 亿 m³。径流年际变化和年内分配与暴雨一致。河流的水位、流量及水位变化均呈现丰、枯交替的周期性变化。洪水过程具有历时短、流量变幅大、水位陡涨陡落的特性。

4.4.1.2. 风暴潮

三亚海域风暴潮现象主要是由热带气旋影响期间在沿岸引发不同程度的风暴增水造成的。2010~2018 年间，三亚海域共出现 6 次较明显的风暴潮过程，分别为：1108 号强热带风暴“洛坦”影响期间，三亚站最高潮位 227cm，未超当地警戒潮位；1117 号强台风“纳沙”影响期间，三亚验潮站最高潮位 256cm，接近当地警戒潮位；1119 号强台风“尼格”影响期间，三亚海洋验潮站最高潮位 273cm，接近当地警戒潮位；1213 号台风“启德”影响期间，三亚湾验潮站最大增水 36cm，最高潮位 220cm；1719 号强台风“杜苏芮”影响期间，三亚验潮站最大增水 67cm，最高潮位 275cm，超蓝色警戒潮位 7cm；1809 号热带风暴“山神”影响期间，三亚验潮站最大增水 60cm，最高潮位为 159cm。

热带气旋和台风带来的巨浪和风暴潮破坏力巨大，对项目工程的施工期和正常运营期都会带来一定的风险。为了防患于未然，工程施工期间，业主单位、施工单位应密切注意天气预报，避免台风期间进行施工作业。同时在施工和运营期间，业主单位需制定和采取相应的防范、应急措施，以抵御热带气旋和台风，降低巨浪和风暴潮可能带来的危害。

4.4.2. 海底隧道风险

4.4.2.1. 隧道坍塌、涌水风险

海底隧道通常具有较复杂的地质条件和周围环境。海底隧道修建时，由于海底隧道处于巨大水系之下，地下水富存，并且在勘测、定位和选线方面比陆域隧道受限制大，故其穿越断层破碎带的几率大、数量也多。盾构隧道从海底断层破碎带通过，随时可能给工程带来淹没、坍塌、涌水或形成泥石流的危险，因此海底隧道施工期环境风险主要

是隧道坍塌导致的涌水涌沙风险，日本丹那隧道，在 1925 年 12 月施工时遇到高压涌水，水压达 $21\text{kg}/\text{cm}^2$ ，并夹带泥石流，花费了 42 个月才渡过险关。

盾构段建议施工中采用声纳法、水压力感应器法等信息化反馈手段，及时摸清海底隆沉情况，以及时调整盾构机施工参数将其掘进对海底的扰动降到最低。以防止地面沉降和各堤围的安全，盾构掘进时，衬砌管片外侧应及时注浆充填，防止地面沉降和增加隧道抗渗能力和防水性能。盾构机进、出口井端局部处于软土层中，应加强井口支护。

4.4.2.2. 隧道火灾风险

隧道火灾是隧道运营期主要的风险，其风险可能来源于车辆故障、交通事故、隧道内电气故障等因素。

隧道建筑结构复杂，环境相对密闭，在封闭空间内热量不易消散，火灾时温度较高。一旦发生隧道火灾，扑救相当困难，并可能引发爆炸冲击或中毒事件，造成隧道衬砌和结构严重破坏，往往会造成重大的人员伤亡和财产损失。对于水下隧道还可能因结构被破坏而导致隧道修复困难。因此，应高度重视隧道火灾安全控制管理措施，切实加强并落实隧道防灾救援软硬件设施的建设。

5. 海域开发利用协调分析

5.1. 海域开发利用现状

5.1.1. 社会经济概况

5.1.1.1. 社会环境概况

三亚市地处海南岛最南端，位于北纬 18°09'34"~18°37'27"、东经 108°56'30"~109°48'28"之间。东邻陵水县，北依保亭县，西毗乐东县，南临南海。东西长 91.6km，南北宽 51km，陆地总面积 1919.58km²，境内海岸线长 263.29km，管辖的海域面积 3500km²。全市设有四个区，吉阳区、天涯区、海棠区、崖州区。

本项目位于海棠区海域，海棠区位于三亚市东部，西连吉阳区及亚龙湾旅游开发区，东北与陵水黎族自治县接壤，西北与保亭黎族苗族自治县毗邻，西南以仲田岭、回风岭、竹络岭、琼南岭群山为界北纬 18°24'，东经 108°之间，总面积为 384.2km²，海岸线长 21.8km。海棠区地形地貌呈南北向狭长状，地势从西北向东南倾斜，包括低山丘陵、滨海平原等地区。海棠区下辖 4 个社区（居）、19 个行政村，有自然村 78 个，村民小组 138 个，居民小组 46 个。截至 2023 年末，海棠区户籍人口 87478 人，汉族 48570 人，占总人口的 55.5%；黎族 37439 人，占总人口的 42.7%；其他民族 1469 人，占总人口的 1.6%。海棠区共有 A 级及以上景区 2 处，其中 5A 景区 1 处，为三亚蜈支洲岛旅游区，4A 景区 1 处，为三亚水稻国家公园。

5.1.1.2. 社会经济状况

根据《2024 年三亚市经济运行情况》，各行各业经济状况如下：

在农业上，2024 年全市农林牧渔业总产值 162.52 亿元，同比增长 4.0%。其中，农业产值增长 2.3%，林业产值增长 74.3%，渔业产值增长 11.2%，农林牧渔专业及辅助性活动产值增长 7.4%。主要农作物产量稳步增长，蔬菜产量增长 6.5%；园林水果产量增长 0.5%，其中，芒果产量增长 1.2%，菠萝产量增长 131.1%；槟榔产量增长 3.6%；水产品产量增长 13.5%，其中，海水产量增长 13.0%，淡水产量增长 33.0%。

在工业上，全市规上工业总产值同比增长 49.1%。分类型看，有色金属冶炼和压延加工业增长 127.1%，水的生产和供应业增长 16.6%，食品制造业增长 12.2%，电力、热力生产和供应业增长 10.1%，燃气生产和供应业增长 2.9%。

旅游业上，全市接待过夜游客 2615.52 万人次，同比增长 1.7%。其中，过夜国内游客 2540.44 万人次，与上年同期基本持平；过夜入境游客 75.07 万人次，增长 1.5 倍。全市过夜游客总花费 904.47 亿元，增长 0.9%。其中，国内过夜游客总花费 864.10 亿元，下降 2.6%；入境游客总花费 5.60 亿美元，增长 3.3 倍。全市规上服务业营业收入同比增长 5.2%，增速比前三季度提升 3.2 个百分点。其中，信息传输、软件和信息技术服务业增长 18.1%，交通运输、仓储和邮政业增长 11.6%，文化、体育和娱乐业增长 31.3%，教育类增长 15.6%，居民服务、修理和其他服务业增长 31.5%。

全市固定资产投资同比增长 7.8%。民间投资表现活跃，同比增长 35.0%，占比 38.6%，较上年同期提升 7.8 个百分点。分类型看，公共服务投资增长 10.8%，房地产投资增长 37.8%。分产业看，第三产业投资增长 9.8%，其中，交通运输、仓储和邮政业投资增长 4.7%，科学研究和技术服务业增长 24.3%。全市社会消费品零售总额 408.94 亿元，同比下降 15.9%，降幅比前三季度收窄 2.3 个百分点。限额以上单位商品零售中，粮油、食品类增长 15.4%，其中，蔬菜类增长 24.1%，干鲜果品类增长 18.2%；“以旧换新”政策强势发力，家用电器和音像器材类增长 2.6 倍，新能源汽车增长 24.0%。

2024 年，全市货物贸易进出口总额 309.08 亿元，增长 28.7%，增速比前三季度提升 15.7 个百分点。其中，进口 163.61 亿元，下降 21.4%；出口 145.48 亿元，增长 3.6 倍。

全市居民人均可支配收入 41540 元，同比增长 4.4%。其中，城镇常住居民人均可支配收入 47666 元，增长 3.9%；农村常住居民人均可支配收入 24599 元，增长 7.0%。

全市居民消费价格总指数下降 0.2%。分类别看，食品烟酒类下降 1.2%，衣着类下降 2.6%，交通和通信类下降 2.8%，教育文化和娱乐类下降 0.2%；居住类增长 2.9%，生活用品及服务类增长 0.8%，医疗保健类增长 0.1%，其他用品和服务类增长 0.8%。

5.1.1.3. 交通道路规划概况

海棠湾片区位于三亚市东海岸，是三亚东部沿海门户，区域交通联系主要以东西沿

海交通为主。结合现状调研及既有资料梳理，对外交通联系以三亚市区方向（西侧）为主，陵水方向（东侧，东北侧）为辅；内部交通联系主要沿海岸线展开，以南北交通联系为主。

海棠湾现状主要联系方向为西侧三亚市区方向，占比约 80%；其次，是沿海岸线及环岛高速东侧方向，包括陵水，文昌等，占比约 17%；北部方向由于山海高速刚建成不久，且内陆中部地区高速网络尚未完全联通，因此现状流量较小，未来随着海南岛中部高快速路网的完善，这个地区的交通联系将逐步增加。现状海棠湾内部主要联系方向为南北向，通过林旺大道、海棠路、藤桥路等进行南北组团联系；同时由于对外联系大，大部分交通都需要通过高速及高速互通与片区东西联系干道进行转换，主要体现在海棠湾互通，藤桥互通与海岸大道，龙海路之间联系交通流量较大。在高峰期，海棠湾内部联系转换节点的干道局部路段出现拥堵缓行的情况。



图 5.1-1 区域对外主要交通设施分布图

5.1.2. 海域使用现状

根据全国海域使用动态监管中心查询数据、收集的历史资料和现场勘查，论证范围内已确权项目主要有项，分别为：晋和海棠湾度假酒店海水泳池取排水工程项目、三亚海棠湾亚特兰蒂斯项目海洋取水排水工程、陵水年代商贸发展有限公司土福湾休闲渔业和珊瑚礁生态观光、海滩侵蚀地块防护工程和海南省环岛旅游公路陵水土福湾至三亚海棠湾通道工程（藤桥河口段）。

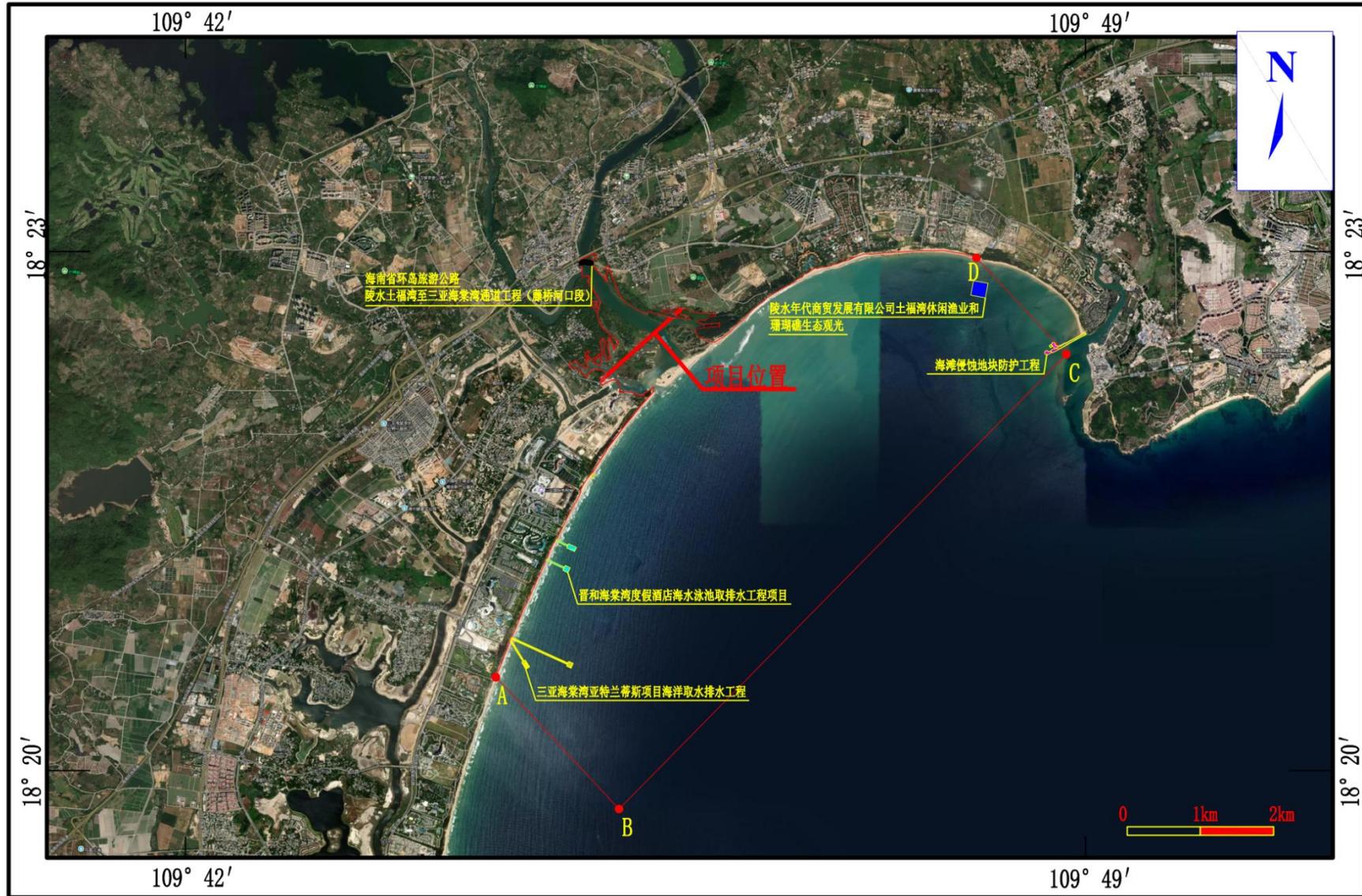


图 5.1-2 项目论证范围已确权用海分布图

5.2. 项目用海对海域开发活动的影响

项目用海对海域开发活动的有影响主要从项目占用和资源生态影响范围两个方面开展。

5.2.1. 对航道、锚地的影响分析

①工程对水流条件的影响

三亚地区为弱潮海区、潮差较小，平均潮差仅 0.88m。潮汐为不正规日潮混合潮型，以日潮为主，且有明显的日潮不等现象。本项目为地下隧道工程，隧道从河床底部深处穿越，水域内未布置水工建筑物，项目建设不改变河底高程。工程建设后流速、流向基本无变化。水动力环境基本不改变，对所在水域水流条件影响较小。

②工程对航道冲淤变化的影响

海岸地区的泥沙输移是波浪和潮流共同作用的结果，潮流输沙对于海岸带的泥沙输运和地形地貌演变具有重要的意义。本项目为地下隧道工程，采用盾构法施工，工程建设对所在水域潮流条件影响较小，基本不改变水下地形，水动力场也基本无变化，整体上本项目对于项目周边水域的冲淤幅度和影响范围都较小，基本对航道冲淤环境无影响。

③工程对航道布置及助航标志配布的影响

本项目为地下隧道工程，穿越龙江河和藤桥河，项目采用盾构法施工，水域内未布置水工建筑物，项目不对水域浮标等助航设施进行调整.同时项目不改河道断面和宽度。因此对航道及助航设施基本无影响。

综上所述，本项目无需占用航道、锚地海域，根据《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目工程可行性研究报告》，隧道下穿处隧顶高程为-35.890m，隧顶部与河床底部距离为 12m，且隧道施工作业期间，建设单位严格落实安全生产责任，通过严密、科学的施工组织和合理的生产调度，把工程安全、施工安全放在首位，做好施工作业的安全管理工作，事故风险在可控范围内。项目施工对附近的航道、锚地没有影响。且隧道进口位于顺接海棠路路面，后设置隧道明挖暗埋段下穿废弃酒店西侧空地设置盾构段进出风井，采用盾构隧道下穿海棠河及椰子洲岛风景区，在椰子洲岛北岸设

置盾构井进出口风井后，迅速抬高纵断面与椰洲路交叉口既有标高顺接，进出口都远离海域，项目建成后，也不会对航道、锚地产生影响。

5.2.2. 对邻近构筑物及管线施工的影响分析

隧道进口位于顺接海棠路路面，后设置隧道明挖暗埋段下穿废弃酒店西侧空地设置盾构段进出风井，采用盾构隧道下穿海棠河及椰子洲岛风景区，在椰子洲岛北岸设置盾构井进出口风井后，迅速抬高纵断面与椰洲路交叉口既有标高顺接。盾构施工时若操作不当，将对构筑物、道路和管线的保护造成破坏。施工时采取了以下控制措施：

(1) 开工前做好对不良地质现象、周边构筑物和地下管线的详细调查，特别应查明施工区域内的流砂、承压水、不明构筑物、贮水体等情况，并应针对不良水文、地质现象制定相应的技术措施予以根除，确保盾构施工过程的绝对安全。

(2) 根据建筑物与盾构隧道的垂直和水平关系，对盾构施工中对其影响进行分析、评估，分类，并根据需要进行保护施工。

(3) 对风险大的建（构）筑物委托专业机构进行评估。

(4) 与建筑物产权人或单位做好协调工作。

(5) 建筑物需提前进行加固的工作量大，调配专业人员进行施工管理，合理安排施工计划。

(6) 加强掘进管理控制，在掘进加强泥浆调制管理，保证开挖面的泥膜成膜效果，严格推进速度等参数的控制，建立有效的泥水平衡，确保开挖面的稳定。

(7) 做好施工前、施工中和施工后的整个阶段的建筑物状态的监控、监测和数据分析与反馈总结工作。

(8) 盾构掘进时加强同步注浆管理，掘进后及时通过管片预留注浆孔进行二次补充注浆，同时根据监测结果跟踪注浆，必要时进行地表加固处理。

(9) 根据建（构）筑物类型，分类制定详细的、切实可行的应急预案。项目施工已结束，在采取以上措施的前提下，对沿线建筑物的安全影响不大。

5.2.3. 其他码头的的影响分析

本项目海棠湾一侧分布码头较少，无需占用附近码头的进港航道或回旋水域等，项

目施工过程中未发生通航事故，未对附近的码头产生影响；项目建成投入使用后，也不会对附近的码头产生影响。

5.2.4. 项目用海对周边确权用海活动的影响分析

论证范围内有 5 宗确权的用海项目，用海类型主要为旅游娱乐用海、跨海桥梁、海底隧道用海和取排水口用海。其中，距离本项目最近的项目为海南省环岛旅游公路陵水土福湾至三亚海棠湾通道工程（藤桥河口段）距离本项目约 1.25km。项目对周边确权用海活动的影响主要体现在施工期桩基工程产生的噪声和振动会影响临近的正常活动。

5.3. 利益相关者界定

根据《海域使用论证技术导则》（GB/T42361-2023），利益相关者是指与项目用海有直接或间接连带关系或者受到项目用海影响的开发者、利益者，即与用海项目存在利害关系的个人、企事业单位或其它组织或团体。

5.3.1. 利益相关者界定

根据海域开发利益现状，结合本项目的用海位置、用海规模以及对海域开发活动的影响程度，将列为利益相关者。根据与周边用海的叠置图，由于海南省环岛旅游公路陵水土福湾至三亚海棠湾通道工程（藤桥河口段）距离本项目约 1.25km，距离本项目较近，因此将其列为相关利益者。周边其他确权用海活动影响较小，本报告不再将其列为利益相关者。此外，项目施工将对周边椰子洲岛风景名胜区、珊瑚礁、无居民海岛生境造成一定影响。

因此，本项目主要利益相关者有（如图 5.3-1、表 5.3-1）。

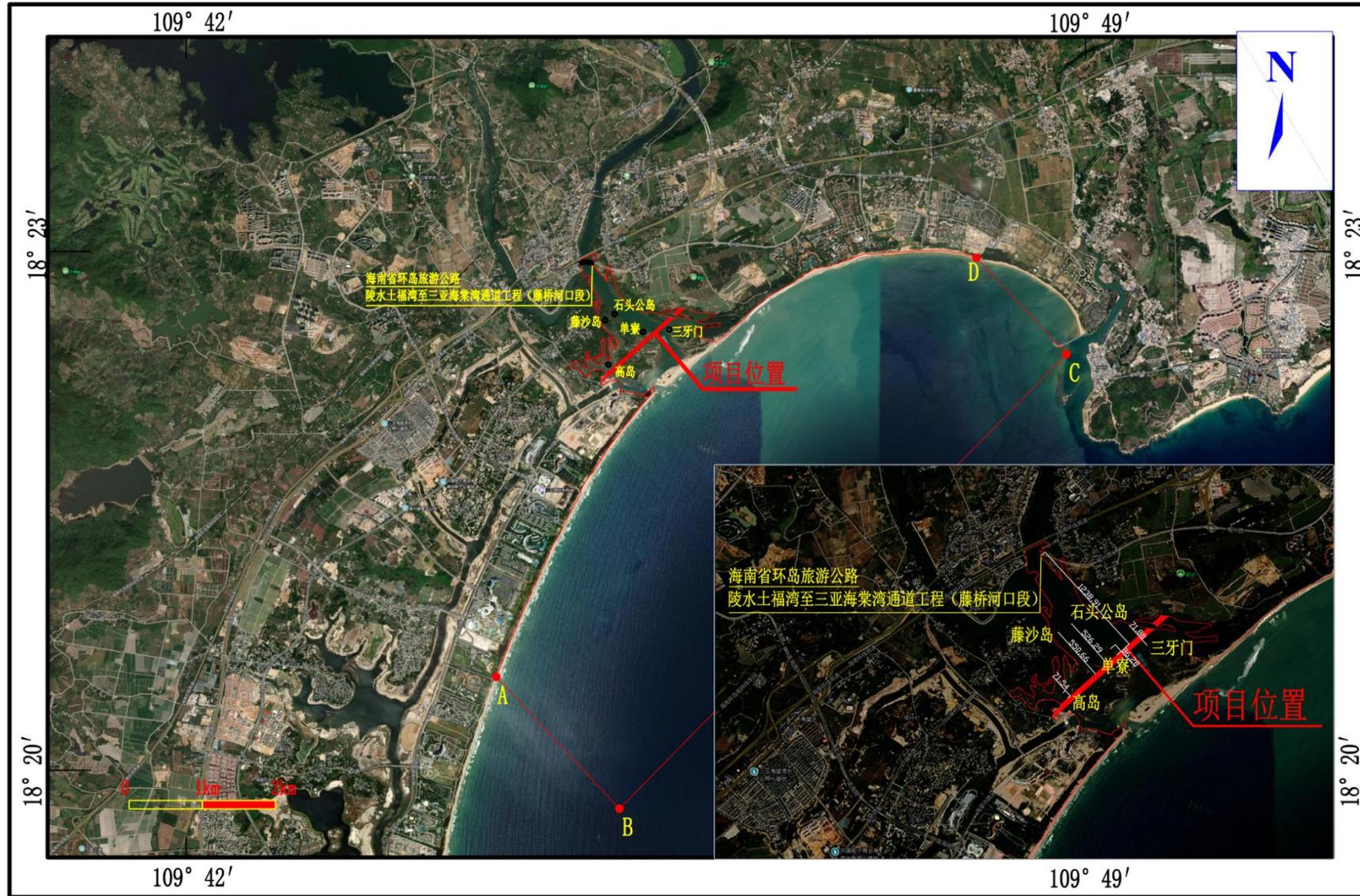


图 5.3-1 利益者相关者分布图

表 5.3-1 利益相关者界定一览表

利益相关者	协调原因	影响程度	是否列为利益相关者
海南省环岛旅游公路陵水土福湾至三亚海棠湾通道（藤桥河口段）	施工期可能会产生振动的影响	影响较大	是
无居民海岛	施工期可能会产生振动的影响	影响较大	

5.3.2. 利益协调部门界定

项目建设可能对周边海域无居民海岛生境和椰子洲风景名胜区造成一定影响，因此将三亚市自然资源和规划局列为利益相关者协调部门。由于本项目为隧道工程，因此本项目将三亚市交通运输局及相关海事部门列为利益协调部门，见表 5.3-2 所示。

表 5.3-2 利益相关协调责任部门表

序号	事项	协调部门	是否为协调责任部门
1	项目隧道施工	三亚市交通运输局	是，需协调
2	无居民海岛生境	三亚市自然资源和规划局	是，需协调
3	项目水下施工	海事部门	是，需协调

5.4. 相关利益协调分析

5.4.1. 与三亚市交通运输局的协调分析

本工程盾构下穿椰子洲岛风景名胜区，距离海南省环岛旅游公路陵水土福湾至三亚海棠湾通道工程（藤桥河口段）1.2km，根据《三亚热带海滨风景名胜区椰子洲景点海棠路北延下穿隧道建设项目选址方案论证专题报告》（三亚市城市规划设计研究院有限公司，2025 年 2 月），覆土深度达 12m，对临近交通路线基本没有影响，且本项目属于基础设施建设并已纳入市域综合交通规划图，属于海南省 2024 年重大项目投资之一，因此与三亚市交通运输局具有可协调性。

5.4.2. 与三亚市自然资源和规划局的协调分析

本工程盾构下穿椰子洲岛风景名胜区，根据《三亚热带海滨风景名胜区椰子洲景点海棠路北延下穿隧道建设项目选址方案论证专题报告》（三亚市城市规划设计研究院有限公司，2025 年 2 月），本项目不占用省级重要湿地，项目位于椰子洲岛风景名胜区，

属于河口湿地区域。本项目属于海南省 2024 年重大项目投资之一，项目涉及风景名胜区保护区均采用盾构隧道形式，无地面工程，覆土深度达 12m，对湿地影响较小。项目施工前应依法办理相关审批手续，在此基础上，符合《海南省湿地保护条例》的管理要求。因此，本项目与三亚市自然资源和规划局具有可协调性。

5.4.3. 与海事管理部门的协调责任分析

本项目位于藤桥河河口处，隧道穿越椰子洲风景名胜区、临近椰林跨海棠路桥梁和排水闸等构筑物，项目施工过程中会对安全造成一定隐患。另外，由于本过江隧道设在河床下，不便于辨识，隧道施工期及建成后必须按有关规定在隧道水域的两岸设立管线标。根据《中国海区水上助航标志》（GB4696-2016），管线标设在需要标示跨河管线（即隧道、电缆、电线等）的两端或一端岸上或设在跨河管线的上、下游适当距离的两岸或一岸。

由于隧道的埋深有足够的安全厚度，为了防止钻探、取沙等行为破坏隧道安全，结合航道航行条件、现状辖区航标养护习惯，综合考虑潮汐、风浪、水流及地质等因素影响，根据规范管线标设置在管线上下游适当距离的两岸或一岸，考虑到隧道一侧为排水闸，不便于设标，本工程仅在终点一侧岸边设置 H5m 规格管线标 1 座，提示相关人员避免在隧道区域进行钻探取土。本项目建设已综合考虑到相关情况并作出相应措施，因此，项目可协调。

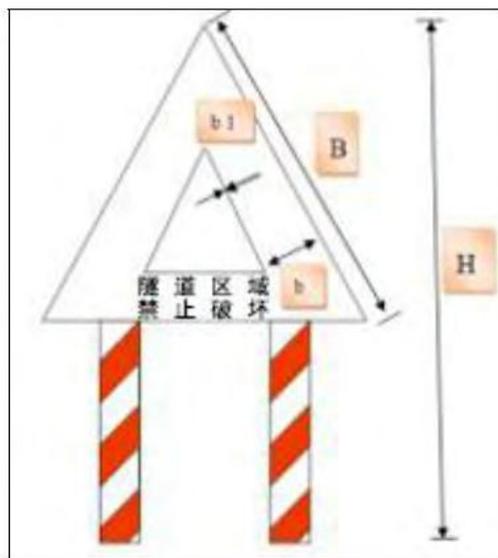


图 5.4-1 管线标示意图

5.5. 项目用海对国防安全 and 国家海洋权益的影响分析

项目用海区域附近没有军事设施和国防安全保护目标，项目用海不会对国防安全和军事活动造成影响。

项目用海区域无国家领海基点，项目用海没有涉及国家秘密，不会对国家海洋权益造成影响。

6. 国土空间规划符合性分析

6.1. 所在海域国土空间规划分区基本情况

6.1.1. 与《海南省国土空间规划（2021-2035年）》的相关性分析

根据《海南省国土空间规划（2021-2035年）》，优化海洋空间布局要求，构建了“两空间内部一红线”近岸海域总体布局，对近岸海域开发保护功能进行引导。“两空间”包括海洋生态空间和海洋开发利用空间，“一红线”为海洋生态保护红线。

项目所在海域为海洋开发利用空间（图 6.1-1）。海洋开发利用空间允许集中开展海洋渔业、海洋交通运输业、海洋工矿通信业、海洋旅游业等活动。



图 6.1-1 项目用海与《海南省国土空间规划（2021-2035年）》海洋空间布局叠置图

6.1.2. 与《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》的相关性分析

根据《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》，项目所在海域的海洋功能分区为游憩用海区，游憩用海区是指以开发利用滨海和海上旅游资源为主要功能导向的海域。项目周边的海洋功能分区为渔业用海区、生态控制区、生态保护区和特殊用海区，项目所在海域及周边海域海洋功能分区如下图所示。

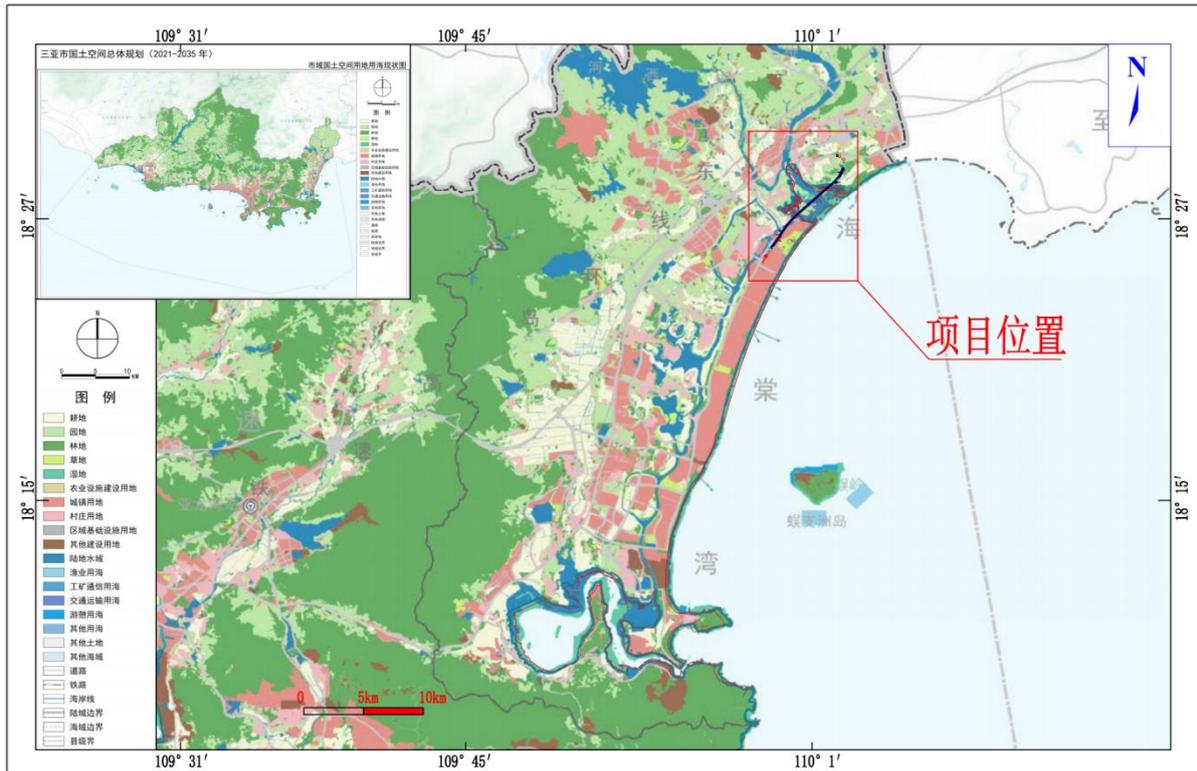


图 6.1-2 项目与《三亚市国土空间总体规划（2021-2035 年）》海洋功能分区叠置图

6.1.3. 与《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》的相关性分析

《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》基于国土空间规划分区体系，将海洋空间划分为生态保护区、生态控制区和海洋发展区，并将海洋发展区细分为渔业、交通运输、工矿通信、旅游娱乐、特殊用海、预留用海等功能分区，具体包括 3 类一级区、8 类二级区，如表 6.1-1 所示。

本项目用海所在《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》海洋功能分区为海棠湾游憩用海区（图 6.1-3），登记表详见表 6.1-2。

表 6.1-1 海洋功能分区表

目标	一级分区	序号	二级分区	含义
保护与保留	生态保护区	1	生态保护区	具有特殊重要生态功能或生态敏感脆弱、必须强制性严格保护的海洋自然区域，海洋生态保护红线划定的区域
	生态控制区	2	生态控制区	需要予以保留原貌、限制开发建设行为的海洋自然区域
开发与利用	海洋发展区	3	渔业用海区	以渔业基础设施建设和增养殖等渔业利用为主要功能导向的海域
		4	交通运输用海	以港口建设、航道利用、锚地利用、路桥建设等

		区	为主要功能导向的海域
	5	工矿通信用海区	主要包括以临海工业利用和海底电缆通信为主要功能导向的海域，以及以油气和固体矿产等勘探、开采、盐田和可再生能源利用等为主要功能导向的海域
	6	游憩用海区	以开发利用滨海和海上旅游资源为主要功能导向的海域
	7	特殊用海区	以污水达标排放、倾倒、军事等特殊利用为主要功能导向的海域
	8	海洋预留区	为保留海域后备空间资源，近期限制开发利用的海域

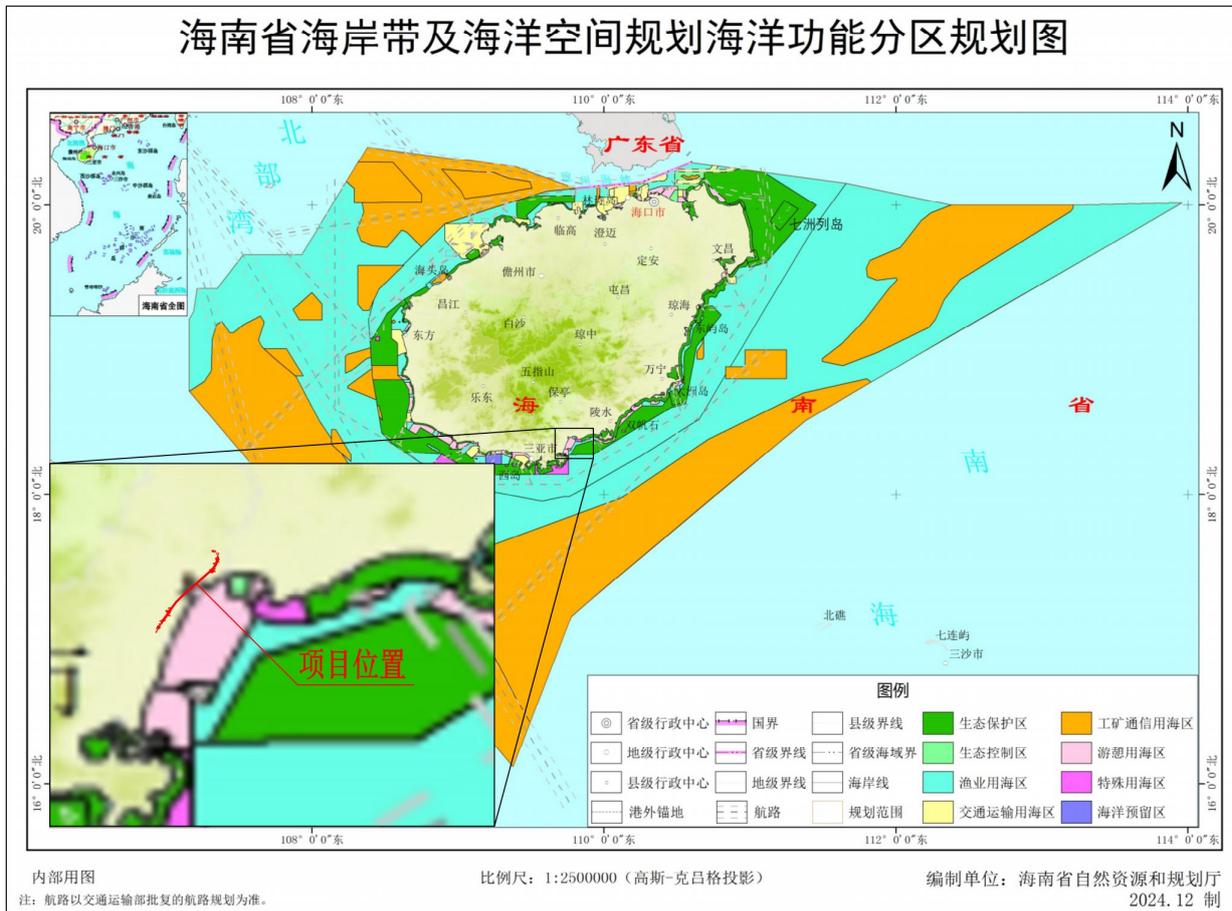


图 6.1-3 项目所在海南省海岸带及海洋空间规划海洋功能分区图

表 6.1-2 海棠湾游憩用海区登记表

序号: [146]					
名称	海棠湾游憩用海区		代码	640-027	
分区类型	游憩用海区		位置	中心点坐标 109° 45' 41.287"E, 18° 20' 16.022"N	
地理范围	位于陵水县和三亚市交界的海棠湾海域, 东至 109° 48' 59.06", 西至 109° 43' 10.07", 南至 18° 15' 42.79", 北至 18° 24' 07.26"				
空间资源现状	岸线长度 (千米)	31.31			
	潮间带面积 (公顷)	319.20			
	海域面积 (公顷)	6571.49			
	海岛数量 (个)	有居民海岛	0	无居民海岛	6
开发利用现状	用海区内确权有旅游基础设施用海, 后海北侧建有游艇码头等、赤岭建有拦沙堤等构筑物; 游乐场用海; 海底电缆管道用海, 为取排水用海; 科研教学用海				
岸线类型	严格保护岸段	位置 (列出岸段序号)	无	长度 (千米)	0
	限制开发岸段		无		0
	优化利用岸段		590、593...618、620		31.31
有居民海岛主体功能	无				
无居民海岛 (名称)	生态保护区内	单寮、藤沙岛			
	生态控制区内	无			
	海洋发展区内	游憩用岛; 高岛、三牙门、石头公岛、蜈支洲岛			
管控要求	空间准入	主导用海类型为游憩用海, 兼容渔业用海, 可适度开展休闲渔业和海洋牧场用海活动			
	利用方式	严格限制改变海域自然属性; 控制海岛开发利用强度, 严格论证开发利用的必要性、占用岸线、用岛方式与规模等, 其中高岛和石头公岛用岛方式应为轻度利用式或原生利用式			
	保护要求	保护沙滩、沿岸地质地貌、自然岸线和防护林; 保护海岛自然岸线和典型植被, 严格落实生态环境保护措施, 三牙门和蜈支洲岛实施海岛生态保护和修复			
	其他要求	位于三亚热带风景名胜区、陵水海滨风景名胜区的区域, 同时按照风景名胜区的管理要求进行管理			



6.1.4. 与《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》的相关性分析

《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》以重点流域、区域、海域等为基础单元，划分中部山地生态保护修复区、海岸带生态保护修复区、台地平原生态修复区、流域生态廊道生态保护修复区 4 类国土空间生态修复分区。其中，海岸带生态保护修复区范围由陆域和海域两部分构成，海岸带近岸陆域面积 2261.23 平方公里（由大潮高潮线向陆延伸 2 公里，综合考虑岸线自然保护区、生态敏感区、城镇建设区、港口工业区、旅游景区、交通道路等具体划定），海南岛近岸海域面积 5019.47 平方公里（由大潮高潮线向海延伸至 20 米等深线）。涉及海口、三亚、儋州、文昌、琼海、万宁、东方、澄迈、临高、昌江、乐东、陵水 12 个市县。

本项目所在修复区为海岸带生态保护修复区，生态保护重大工程有三亚市海棠区湿地生态系统修复项目，如图 6.1-4 所示。

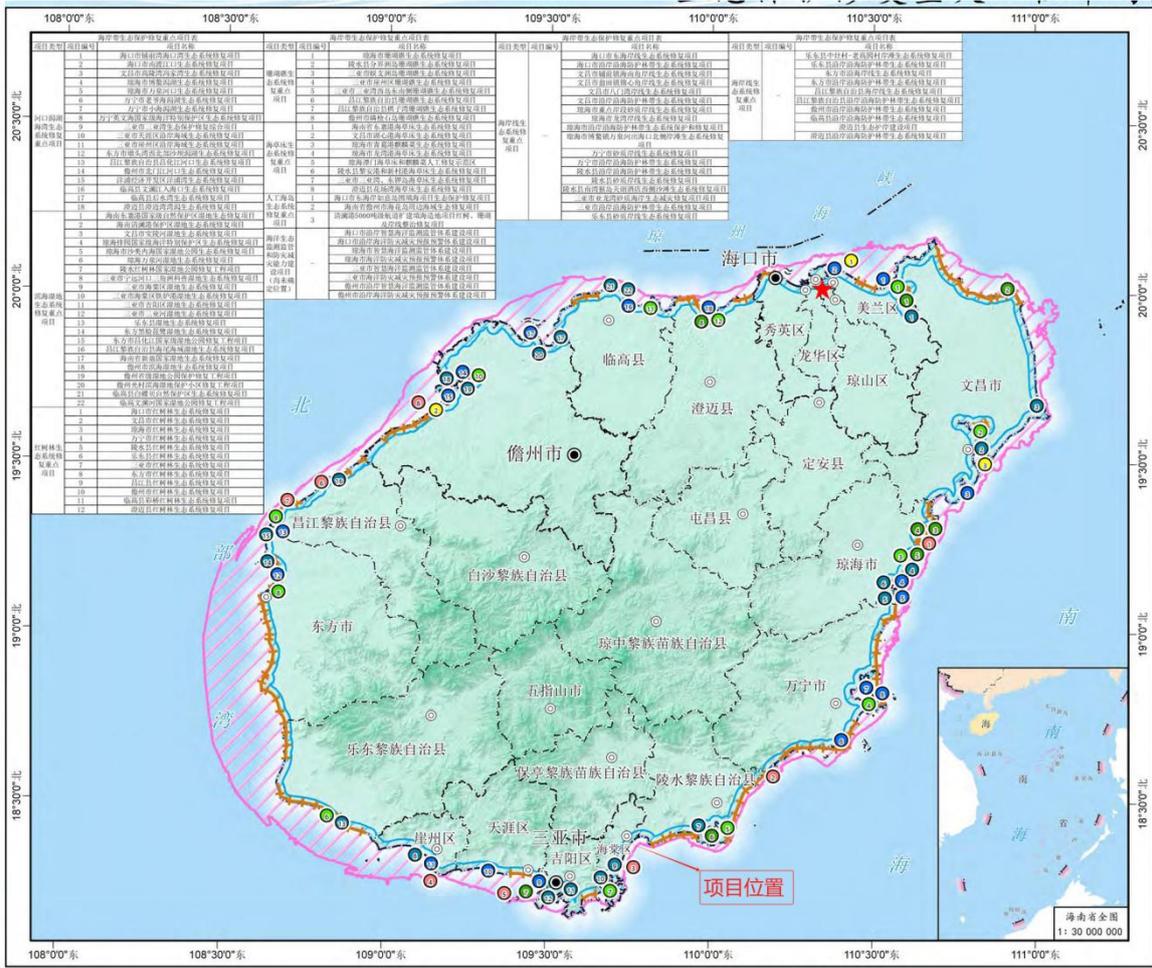


图 6.1-4 项目所在海南省国土空间生态修复规划海岸带生态保护修复区位置图

6.1.5. 与《三亚市海域使用详细规划》的相关性分析

根据《三亚市海域使用详细规划》，本项目用海位于游憩用海/用岛区(代码为 21-01)。

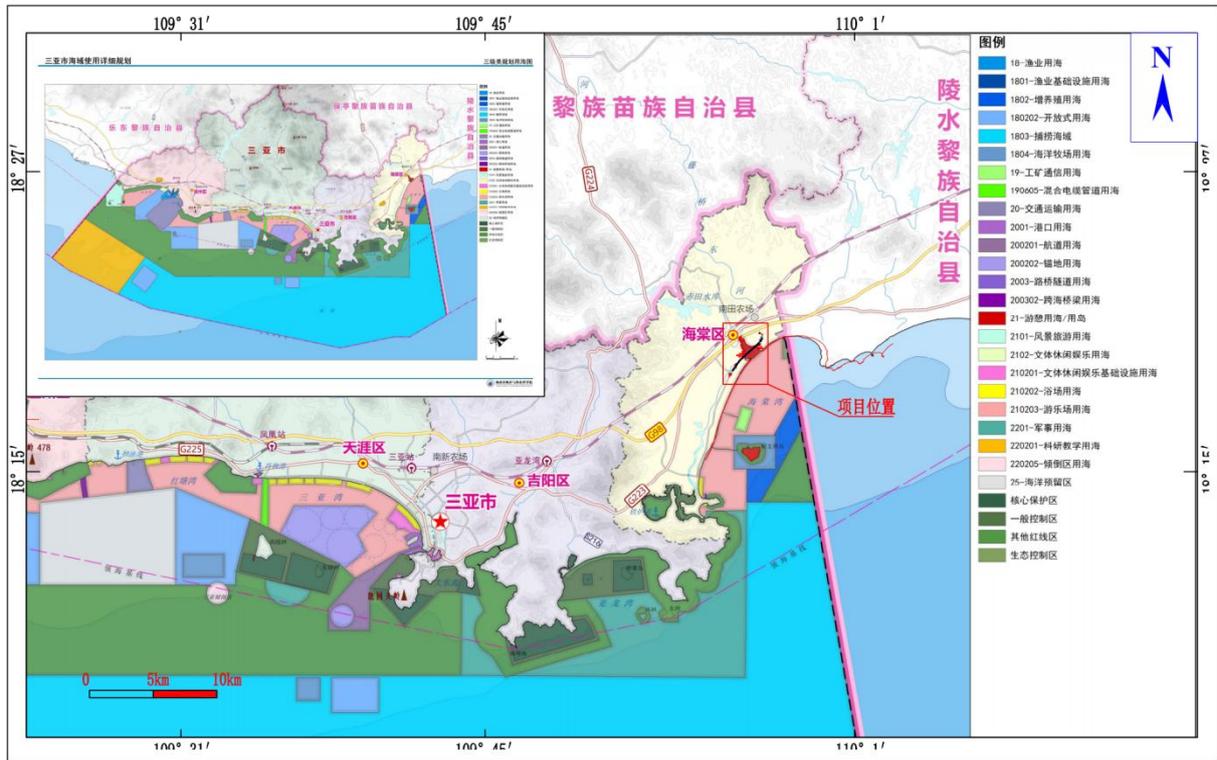


图 6.1-5 项目与《三亚市海使用详细规划》叠置图



图 6.1-6 项目与《三亚市海使用详细规划》管控叠置图

6.2. 对周边海域国土空间规划分区的影响分析

根据《海南省国土空间规划(2021-2035年)》和《三亚市国土空间总体规划(2021-2035年)》，论证范围内周边的海洋功能分区从海洋空间方面来说分布有海洋开发利用空间、海洋生态空间和海洋生态保护红线；从具体的海洋功能分区方面来说，项目周边主要是渔业用海区、生态控制区、生态保护区和特殊用海区。

根据前面章节分析，结合资源生态影响分析结果，本项目实施基本不会造成资源生态影响，本项目的实施对周边国土空间规划分区影响很小（处于游憩用海区，但是项目为交通建设，属于政府鼓励建设项目），与各国土空间规划分区管控要求的影响分析见表 6.2-1。

表 6.2-1 用海与周边各功能分区管控要求影响分析表

功能区名称	管控要求		影响分析
赤岭渔业用海区 (610-032)	空间准入	主导功能为渔业用海，兼顾游憩用海、工矿通信用海，允许适度开展休闲渔业活动	项目采用盾构法施工，隧道从海底底土穿越，不占用岸线，不会对水质环境、沉积物环境产生影响，不会产生悬浮泥沙，距离赤岭渔业用海区 7.302km，因此不会对赤岭渔业用海区产生影响。
	利用方式	允许适度改变海域自然属性	
	保护要求	保护海域生态系统；保护河口地貌；保护航道	
	其他要求	无	
陵水湾-海棠湾渔业用海区 (610-031)	空间准入	主导功能为渔业用海、兼顾游憩用海，允许适度开展休闲渔业和海洋牧场活动	项目采用盾构法施工，隧道从海底底土穿越，不占用岸线，不会对水质环境、沉积物环境产生影响，不会产生悬浮泥沙，距离陵水湾-海棠湾渔业用海区 7.384km，因此不会对陵水湾-海棠湾渔业用海区产生影响。
	利用方式	严格限制改变海域自然属性	
	保护要求	保护渔业资源及产卵场	
	其他要求	无	
赤岭特殊用海区 (650-010)	空间准入	主导用海类型为特殊用海	项目采用盾构法施工，隧道从海底底土穿越，不占用岸线，不会对水质环境、沉积物环境产生影响，不会产生悬浮
	利用方式	允许适度改变海域自然属性	
	保护要求	保护海域自然生态环境；海岛自然地形地貌和自然岸线；保护珊瑚礁及其生态系统；保护	

		自然岸线	泥沙，距离赤岭特殊用海区 6.097km，因此不会对赤岭特殊用海区产生影响。
	其他要求	无	
世知海岸生态保护区 (100-046)	空间准入	允许开展对生态功能不造成破坏的有限人为活动；严格按照自然保护地管理规定、生态红线管理规定等进行管理	项目采用盾构法施工，隧道从海底底土穿越，不占用岸线，不会对水质环境、沉积物环境产生影响，不会产生悬浮泥沙，距离世知海岸生态保护区 4.8km，因此不会对世知海岸生态保护区产生影响。
	利用方式	严格限制改变海域自然属性	
	保护要求	保护海岸形态、地址地貌及海域自然生态环境	
	其他要求	无	
土福湾生态控制区 (200-04)	空间准入	保留原貌，强化生态保育和生态建设，限制开发建设规模	项目采用盾构法施工，隧道从海底底土穿越，不占用岸线，不会对水质环境、沉积物环境产生影响，不会产生悬浮泥沙，距离海棠湾生态控制区 3.4km，因此不会对土福湾生态控制区产生影响。
	利用方式	严格限制改变海域自然属性	
	保护要求	保护沙滩、沿岸地址地貌；保护海域自然生态环境	
	其他要求	无	
蜈支洲岛珊瑚礁生态保护区 (100-047)	空间准入	允许开展对生态功能不造成破坏的有限人为活动；严格按照自然保护地管理规定、生态红线管理规定、珊瑚礁保护规定等进行管理	项目采用盾构法施工，隧道从海底底土穿越，不占用岸线，不会对水质环境、沉积物环境产生影响，不会产生悬浮泥沙，因此不会对蜈支洲岛珊瑚礁生态保护区产生影响。
	利用方式	严格限制改变海域自然属性；控制情人岛海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性，用岛方式应为轻度利用式或原生利用。	
	保护要求	保护珊瑚礁及其生态系统；保护海洋生物多样性；保护海岛自然景观资源，严格落实生态环境保护措施	
	其他要求	无	

通过对本项目用海与周边功能区用途管制中的空间准入、利用方式、保护要求等分析，本项目用海不会对周边各功能管控要求产生影响。

6.3. 项目用海与国土空间规划的符合性分析

6.3.1. 与《海南省国土空间规划（2021-2035年）》符合性分析

根据《海南省国土空间规划（2021-2035年）》“两空间内部一红线”分区要求，本项目位于海洋开发利用空间区域，其管控要求为：在近岸海域依据海洋开发利用现状和适宜性，衔接海洋发展战略，划定海洋开发利用空间。海洋开发利用空间允许集中开展海洋渔业、海洋交通运输业、海洋工矿通信业、海洋旅游业等活动。

本项目位于海棠湾海域，项目的建设是支撑三亚市和海棠区城市空间结构，实现三亚南海自由港和国际旅游城的目标的需要；是完善三亚和海棠湾交通路网结构，承担海棠湾核心区北向疏散功能的需要，与环岛旅游公路搭配，共同支撑未来北向疏解交通和组团交通的交通需求。本项目的隧道工程作为海棠路北延下穿隧道项目重要的一环，有利于完善海棠湾内部骨干路网结构，在海棠湾内部形成完善的骨干路网系统。

本项目用海为海底工程用海，实质为民生项目，符合海洋开发利用空间用海管控要求。因此，项目满足《海南省国土空间规划（2021-2035年）》。

6.3.2. 与《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》符合性分析

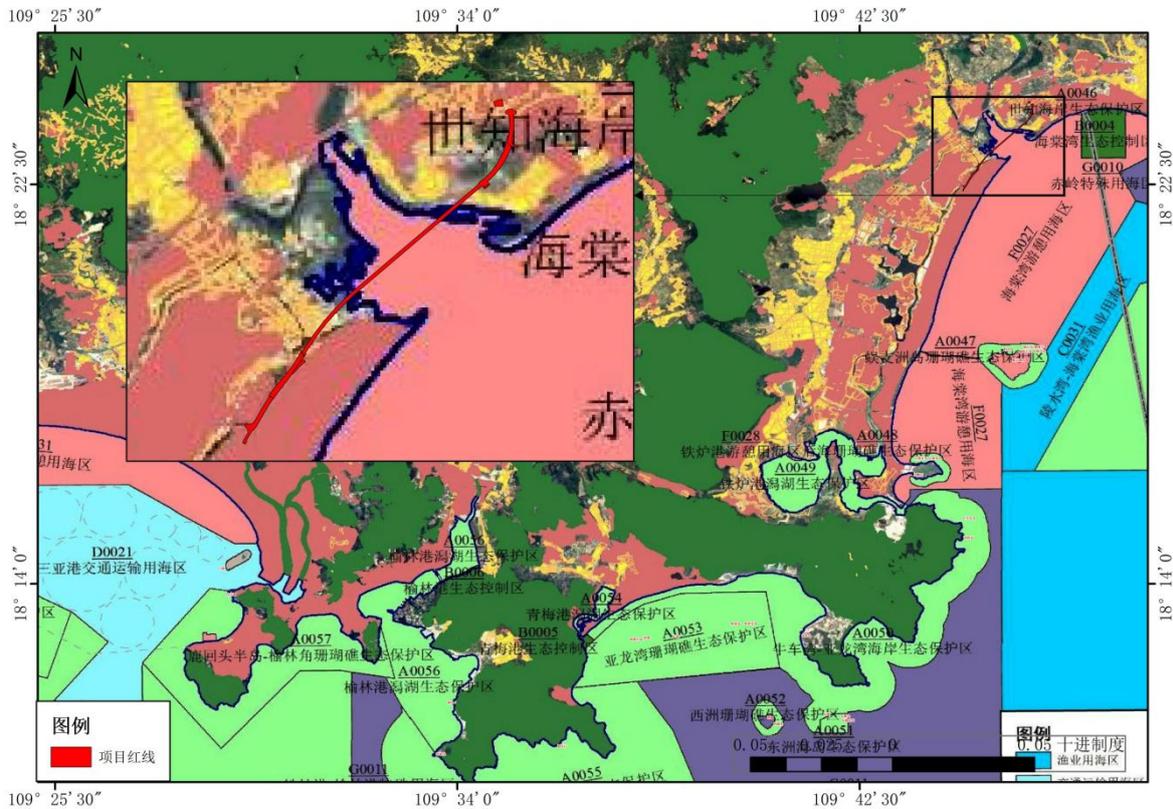


图 6.3-1 与《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》叠置图（局部）

《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》中提出三亚形成“山海相连、陆海统筹，三城并举、区域协同”的国土空间开发保护总体格局。保护三亚地形地貌本底格局，保育唯一性价值的热带陆海生境；由陆地海滨城市转型成为陆海统筹城市，构建国土空间全要素规划体系；从“一城两园区”转型成为产城融合、职住服均衡的三大城市功能组团；从城市思维转向大三亚都市圈的协同发展思维，共建大三亚经济圈。

“市国空”中体现三亚建设自贸港标杆城市高效的交通支撑需求以及国际旅游消费中心引领城市高品质的旅游观览需求，在全市建设高效的通勤快网和以全域旅游观光的特色的观览慢网。构建“两横一纵”高速公路网和“四横三纵”国省干线网络。

高速公路网中的“两横”指 G98 环岛高速大三亚扩容段和快速化改造后的 G98，“一纵”指位于海棠区的现状山海高速。国省干线网络中的“四横”为 G223、G225、环五指山旅游公路、环岛滨海旅游公路，“三纵”为 G224、S216、S314。

本项目对于支撑三亚和海棠湾国土空间布局，改善海棠湾对外连接，衔接对外高速

公路、环岛旅游公路，改善区域内部交通系统，促进地区交通微循环等多方面具有有重要意义。

海棠路北延伸项目的建设，增加了 1 条海棠湾片区向北疏散并联系海棠湾东溪片区的道路。该道路与环岛旅游公路相搭配，一方面满足未来不断增加的交通需求，同时也为旺季高峰及极端高峰交通运行管理提供一定冗余，使得海棠湾对外疏散通道具备较强的韧性，较为符合三亚及海棠湾旺季高峰峰值较高，突发交通压力较大的现实情况。

因此，项目建设符合《三亚市国土空间规划（2021-2035 年）》。

6.3.3. 与《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》符合性分析

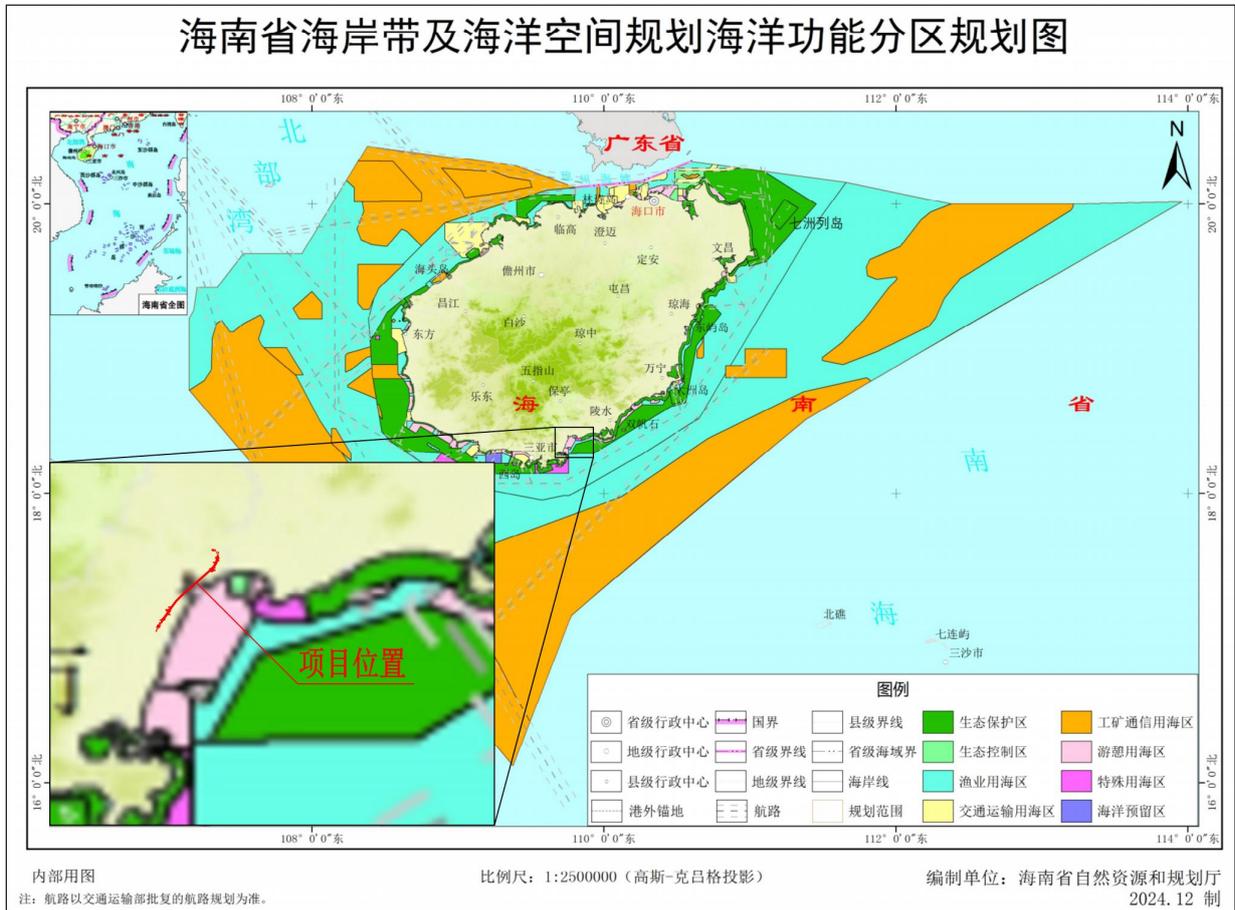


图 6.3-2a 项目与海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）功能区叠置图

序号: [146]					
名称	海棠湾游憩用海区		代码	640-027	
分区类型	游憩用海区		位置	中心点坐标 109° 45' 41.287"E, 18° 20' 16.022"N	
地理范围	位于陵水县和三亚市交界的海棠湾海域, 东至 109° 48' 59.06", 西至 109° 43' 10.07", 南至 18° 15' 42.79", 北至 18° 24' 07.26"				
空间资源现状	岸线长度 (千米)	31.31			
	潮间带面积 (公顷)	319.20			
	海域面积 (公顷)	6571.49			
	海岛数量 (个)	有居民海岛	0	无居民海岛	6
开发利用现状	用海区内确权有旅游基础设施用海, 后海北侧建有游艇码头等、赤岭建有拦沙堤等构筑物; 游乐场用海; 海底电缆管道用海, 为取排水用海; 科研教学用海				
岸线类型	严格保护岸段	位置 (列出岸段序号)	无	长度 (千米)	0
	限制开发岸段	无			0
	优化利用岸段	590、593、618、620			31.31
有居民海岛主体功能	无				
无居民海岛 (名称)	生态保护区内	单寮、藤沙岛			
	生态控制区内	无			
	海洋发展区内	游憩用岛: 高岛、三牙门、石头公岛、蜈支洲岛			
管控要求	空间准入	主导用海类型为游憩用海, 兼容渔业用海, 可适度开展休闲渔业和海洋牧场用海活动			
	利用方式	严格限制改变海域自然属性; 控制海岛开发利用强度, 严格论证开发利用的必要性、占用岸线、用岛方式与规模等, 其中高岛和石头公岛用岛方式应为轻度利用式或原生利用式			
	保护要求	保护沙滩、沿岸地质地貌、自然岸线和防护林; 保护海岛自然岸线和典型植被, 严格落实生态环境保护措施, 三牙门和蜈支洲岛实施海岛生态保护和修复			
	其他要求	位于三亚热带风景名胜、陵水海滨风景名胜区的区域, 同时按照风景名胜区的管理要求进行管理			



功能区位置图



功能区空间范围图

表 6.1-2b 海棠湾游憩用海区登记表图

根据《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》，项目位于海棠湾游憩用海区（代码：640-027）（见图 6.3-2 所示）。本报告分别从空间准入、利用方式、保护要求和其他要求等四个方面分析项目占用海岸带分区的符合性见表 6.3-1：

表 6.3-1 本项目与《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035 年）》的符合性分析一览表

代码	名称	管控要求	本项目	符合性分析	
640-027	海棠湾游憩用海区	空间准入	主导功能为游憩用海, 兼顾渔业用海可适度开展休闲渔业和海洋牧场用海活动。	本项目建设内容为隧道工程, 为海底工程项目。本项目用海类型为交通运输永海, 为民生项目, 符合空间准入要求。	符合
		利用方式	严格限制改变海域自然属性; 控制海岛开发利用强度, 严格论证开发利用的必要性、占用岸线、用岛方式与规模等, 其中高岛和石头公岛用岛方式应为轻度利用式或原生利用式。	本项目为暗挖海底隧道工程, 采用盾构法施工, 项目位于海底位置, 不改变海域自然属性, 不会对无居民海岛自然属性产生影响。	符合

		保护要求	保护沙滩、沿岸地质地貌、自然岸线和防护林；保护海岛自然岸线和典型植被，严格落实生态环境保护措施，三牙门和蜈支洲岛实施海岛生态保护和修复。	本项目不涉及无居民海岛，采用盾构法施工，从海底底土穿越无居民海岛。项目对珊瑚礁、海草床、无居民海岛及其生态系统没有影响。项目为完善海棠区交通网络，有利于海棠区发展，符合保护要求。	符合
		其他要求	位于三亚热带风景名胜、陵水海滨风景名胜的区域，同时按照风景名胜区的管理要求进行管理。	本项目建设有利于完善海棠湾内部骨干路网结构，在海棠湾内部形成完整的骨干路网系统，增强海棠湾旅游基础设施供给，加强风塘、东溪片区组团联系，完善风景区规划。	符合

综上所述，项目用海符合海棠湾游憩用海区的空间准入、利用方式、保护要求和其他要求，项目用海符合《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》。

6.3.4. 与《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》符合性分析

根据《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》（以下简称“规划”），《规划》明确2025、2030、2035年三个阶段的生态质量类和修复治理类16个规划指标，提出“一心+一环+多点+多廊”的陆海统筹生态修复总体格局，划定中部生态保护修复区、海岸带生态保护修复区、台地平原生态修复区、流域廊道生态保护区4个修复分区，部署热带雨林国家公园生态保护修复、海岸带生态保护修复、全域土地综合整治、历史遗留矿山生态修复、流域山水林田湖草沙生态保护修复、生物多样性保护能力建设6类重大工程和重点项目。

《规划》提出海南省国土空间生态修复规划主要指标中生态质量类设计海域的指标主要包括湿地面积 ≥ 32 万公顷，海洋生态保护红线占比 $\geq 35.2\%$ ，自然岸线保有率 $\geq 60\%$ 等。本项目位于藤桥河口，不涉及海洋生态保护红线，不占用岸线，对自然岸线保有率无影响。

因此，本项目符合《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》要求。

6.3.5. 与《三亚市海域使用详细规划》符合性分析



图 6.1-3 项目与《三亚市海使用详细规划》管控叠置图

根据《三亚市海域使用详细规划》，本项目用海位于游憩用海/用岛区（代码：21-01）。游憩用海的用途管控为“主导游憩用海，可兼顾休闲渔业用海等主导功能没有明显影响的其他用海功能。”其使用规划为“椰子洲岛布置面向国内外游客与市民，开发多样化水上素质拓展产品，建立合适不同人群的素质拓展培训中心，开展龙舟、皮划艇、浆板等培训与体验活动，建设成为国家级海上运动体验与培训基地，成为专业运动队，国内外游客和市民可以共享的基地；开展沙滩休闲、水上椰林观光风活动。”本项目是增强海棠湾旅游基础设施供给，加强风塘、东溪片区组团联系，促进片区土地开发利用的需要，提高北部免税商业区、滨海酒店群及椰子洲岛的交通组织及集散能力等方面。

因此本项目符合《三亚市海域使用详细规划》。

6.3.6. 与海南省生态保护红线的符合性分析

海南省生态保护红线划定方案于 2016 年公布，通过划定生态保护红线，坚持保护优先、自然恢复为主，全面提升自然生态系统稳定性和生态服务功能，为推进生态系统治理体系和治理能力现代化、加快建设国家生态文明（海南）试验区、美丽中国海南篇章奠定坚实生态基础。

2022年海南省已完成生态红线“三区三线”的划定，“三区三线”是国土空间规划的核心内容，包含了农业空间、生态空间、城镇空间三种类型空间，以及分别对应划定的永久基本农田保护红线、生态保护红线、城镇开发边界三条控制线。根据项目用海区与生态保护红线（三区三线版）套核结果，项目涉及海域部分不占用海洋生态保护红线，详见图 6.3-4。

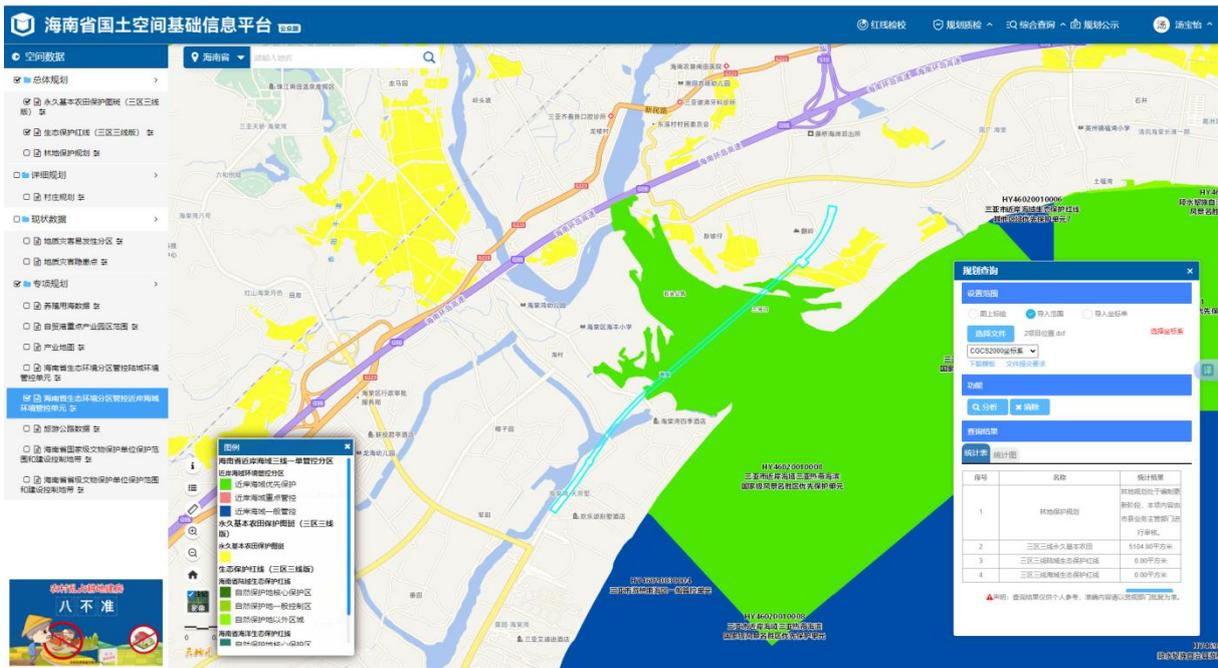


图 6.3-4 项目与生态保护红线（三区三线版）的位置关系图

6.3.7. 与海南省生态环境管控分区的符合性分析

本项目选址于海南省三亚市海棠区藤桥河口处，对照《海南省生态环境分区管控方案（2023年版）》附图2中海南省近岸海域环境分区管控图可知，项目选址于优先保护单元（图 6.3-5），生态管控要求详见下表 6.3-2。

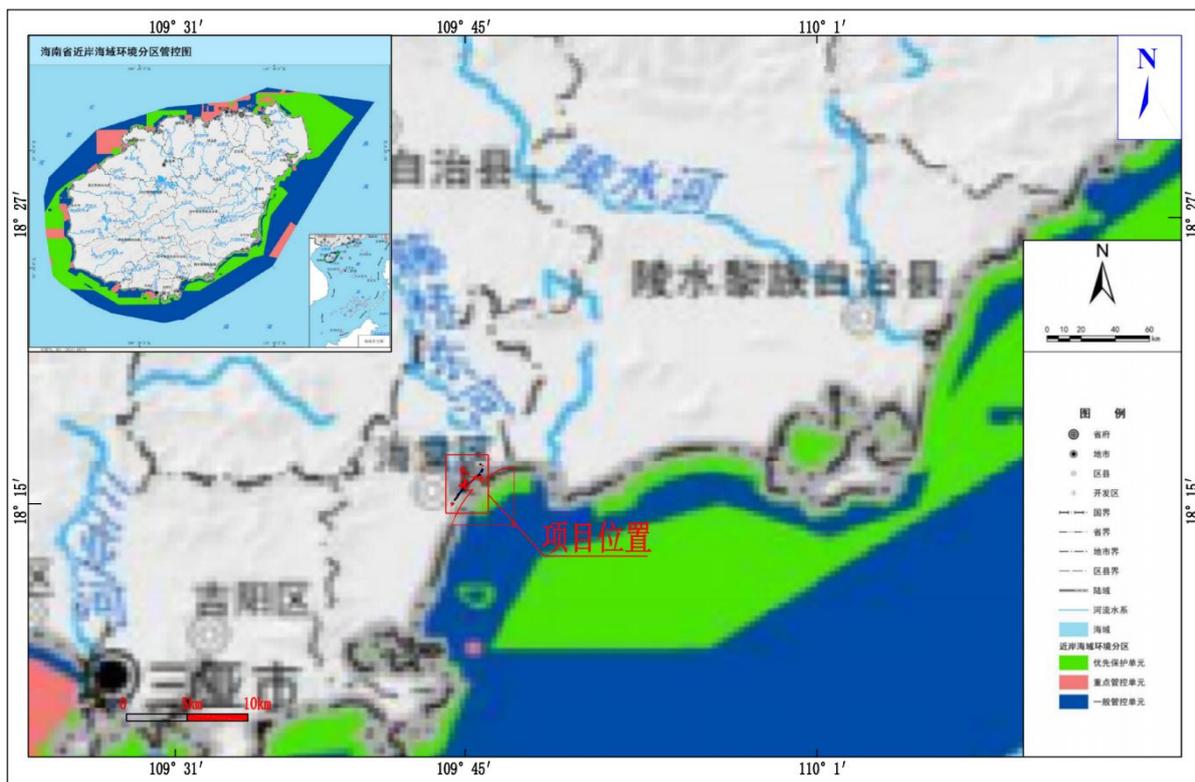


图 6.3-5 项目与海南省近岸海域环境分区管控叠置图

表 6.3-2 全省总体生态环境管控要求表

管控单元分区/编码	维度	管控要求	符合性分析	
<p>三亚市近岸海域三亚热带海滨国家级风景名胜区优先保护单元 (HY46020010008)</p>	<p>空间布局约束</p>	<p>1.执行生态空间（生态保护红线其他区域）普适性管控要求。生态保护红线其他区域严格禁止开发性、生产性建设活动，除国家重大战略项目外，仅允许对生态功能不造成破坏的人为活动。生态保护红线内涉及自然保护地的，遵循现有法律法规要求，空间重叠区域从严要求。</p> <p>2.执行风景名胜区普适性管控要求。自然保护地整合优化方案国务院批准前，各类自然保护地按照现行经依法批准的保护边界管理。禁止开山、采石、开矿、开荒、修坟立碑等破坏景观、植被和地形地貌的活动。</p> <p>3.执行红树林普适性管控要求。禁止非法占用或者征收红树林用地。因国家或者省重点工程建设项目确需占用或者征收红树林地的，应当依照本省有关规定办理相关手续。</p> <p>4.执行湿地普适性管控要求。禁止开（围）垦、排干自然湿地，擅自填埋自然湿地，擅自采砂、采矿、取土等破坏湿地及其生态功能的行为。</p> <p>5.执行珊瑚礁普适性管控要求。禁止采挖珊瑚礁；禁止以爆破、钻孔、施用有毒物质等方式破坏珊瑚礁；任何单位和个人不得占用、填毁珊瑚礁。</p>	<p>项目主体工程涉海段不涉及海洋生态保护红线。本项目属于基础设施建设并已纳入市域综合交通规划图属于海南省 2024 年重大项目投资计划之一，符合准入要求。</p> <p>本项目已编制《三亚热带海滨风景名胜区椰子洲景点海棠路北延下穿隧道建设项目选址方案论证专题报告》并已完成初审，符合建设工程和活动占用风景名胜区的相关要求。</p> <p>本项目不占用省级重要湿地，项目位于椰子洲岛风景名胜区，属于河口湿地区域。本项目属于海南省 2024 年重大项目投资计划之一，项目建设涉及风景名胜区内保护区均采用盾构隧道形式，无地面工程，覆土深度达 12 米，对湿地影响较小。项目施工前应依法办理相关审批手续，在此基础上项目建设符合《海南省湿地保护条例》的管理要求。</p> <p>项目选址不涉及红树林及珊瑚礁。</p>	<p>符合</p>

综上所述，本项目的建设符合《海南省生态环境分区管控方案（2023 年版）》相关要求。

6.3.8. 与《海南省近岸海域环境功能区划（2010年修编）》的符合性分析

根据本项目与《海南省近岸海域环境功能区划（2010年修编）》的叠置图（见图6.3-6），本项目位于海棠湾度假旅游区（代码：HN050BI），主导功能为旅游、浴场、娱乐，执行一类海水水质保护目标。

根据前文针对项目周边区域水质调查结果分析，除个别站位铅含量超标外（超标站位不属于海棠湾度假旅游区），该区域海域海水各项指标符合第一类海水水质标准要求，符合区域海水水质保护目标的要求，区域水质状况较好。项目施工期产生的悬浮泥沙对海域水质的影响是短暂的，随着施工结束，影响也随之结束；项目施工期产生的生活污水均依托后方陆域进行处置；施工期产生的船舶含油废水经收集后运至岸上委托有资质单位统一处置，禁止排海；施工期间产生的固体废物均收集后外运妥善处置，严禁排海，对海洋水质及生态环境的影响较小。本项目符合《海南省近岸海域环境功能区划（2010年修编）》的相关要求。

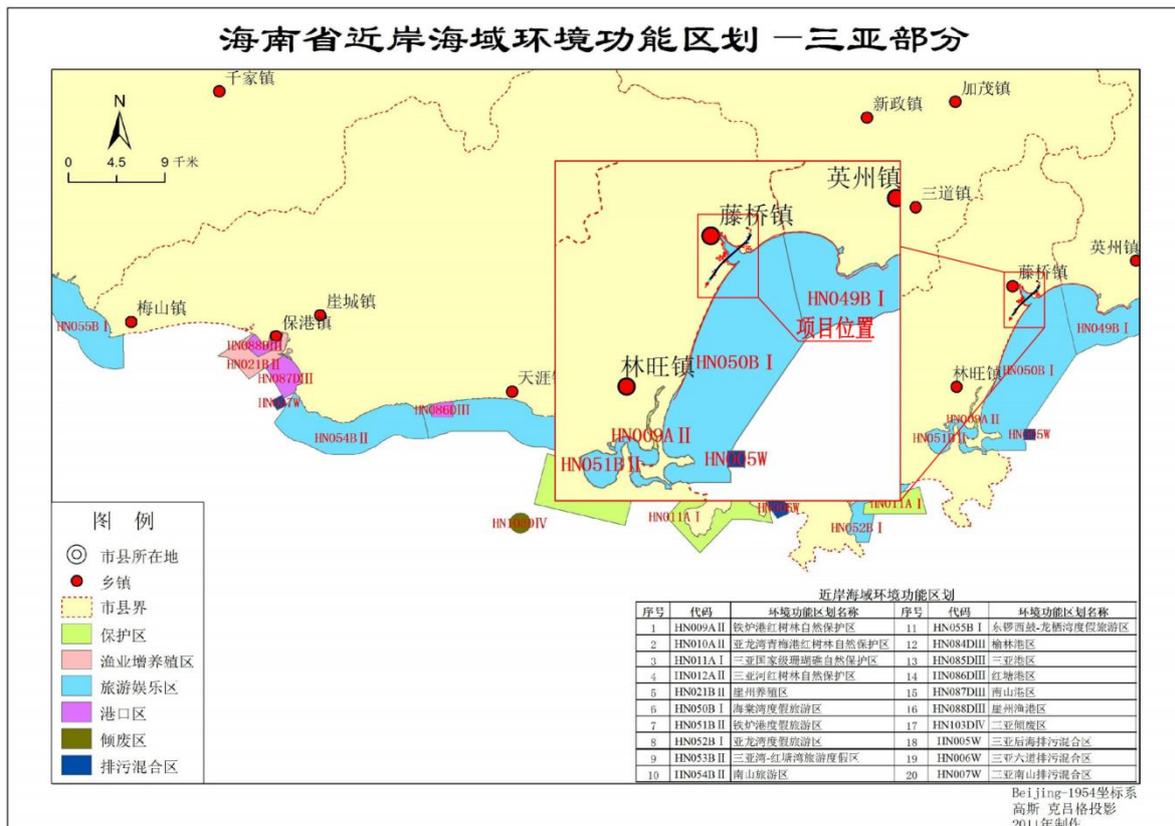


图 6.3-6 本项目与《海南省近岸海域环境功能区划（2010年修编）》叠置图

6.3.9. 与风景名胜区相关条例的符合性分析

6.3.9.1. 与《风景名胜区条例》的符合性分析

本项目拟建工程在三亚市热带海滨风景名胜区范围内，依据《风景名胜区条例》（2016 修订）相关要求，项目建设前应按条例的要求办理相关手续，具体条款如下：

第二十六条：在风景名胜区内禁止进行下列活动：

- （一）开山、采石、开矿、开荒、修坟立碑等破坏景观、植被和地形地貌的活动；
- （二）修建储存爆炸性、易燃性、放射性、毒害性、腐蚀性物品的设施；
- （三）在景物或者设施上刻划、涂污；
- （四）乱扔垃圾。

第二十七条：禁止违反风景名胜区规划，在风景名胜区内设立各类开发区和在核心景区内建设宾馆、招待所、培训中心、疗养院以及与风景名胜资源保护无关的其他建筑物；已经建设的，应当按照风景名胜区规划，逐步迁出。

第二十八条：在风景名胜区内从事本条例第二十六条、第二十七条禁止范围以外的建设活动，应当经风景名胜区管理机构审核后，依照有关法律、法规的规定办理审批手续。

在国家级风景名胜区内修建缆车、索道等重大建设工程，项目的选址方案应当报省、自治区人民政府建设主管部门和直辖市人民政府风景名胜区主管部门核准。

第二十九条：在风景名胜区内进行下列活动，应当经风景名胜区管理机构审核后，依照有关法律、法规的规定报有关主管部门批准：

- （一）设置、张贴商业广告；
- （二）举办大型游乐等活动；
- （三）改变水资源、水环境自然状态的活动；
- （四）其他影响生态和景观的活动。

第三十条：风景名胜区内内的建设项目应当符合风景名胜区规划，并与景观相协调，不得破坏景观、污染环境、妨碍游览。

在风景名胜区内进行建设活动的，建设单位、施工单位应当制定污染防治和水土保

持方案，并采取有效措施，保护好周围景物、水体、林草植被、野生动物资源和地形地貌。

本项目建设内容包括隧道工程（结构工程、通风系统、给排水与消防系统、供配电及照明等）、接线道路工程、附属工程（隧道管理中心，风塔及地面疏散口）等，不属于条例中禁止建设的项目，项目地上部分建设均位于三级保护区内，不涉及核心景区，地下部分采用盾构法施工，不会影响风景名胜区的生态和景观，本项目在 2025 年 2 月通过了《三亚热带海滨风景名胜区椰子洲景点海棠路北延下穿隧道建设项目选址方案专题论证报告》的审批工作，依照有关法律、法规的规定办理审批手续，在此基础上，项目建设符合《风景名胜区条例》（2016 修订）的管控要求。

6.3.9.2. 与《三亚海棠湾国家海岸休闲园区控制性详细规划》符合性分析

根据《三亚海棠湾国家海岸休闲园区控制性详细规划》中提出道路系统规划：由“四横七纵”交通性干路构成骨架交通格局，与生活性干路和支路一并构成的棋盘状城市道路网络。

“四横”交通性干路。即平行于海岸和内河的 4 条南北向交通性干路，自西向东依次为：红藤西路-红藤东路，仲田路，223 国道（海棠湾段），林旺北路-林旺南路，以及海棠北路-海棠南路。

“七纵”交通性干路。即垂直于海岸与内河的 7 条东西向交通性干路，自北向南依次为：温泉路-海丰路，南田路-龙海路，石龙北路-石龙路，丰塘路，龙江路，海岸大道，以及江林路。

根据《亚龙湾、海棠湾片区和凤凰机场片区交通改善提升规划》上位规划，结合两湾地区交通拥堵和未来发展，明确提出海棠湾地区应加快对外通道建设，完善海棠湾内部路网等项目，并提出三年项目建设计划实施库，海棠湾北延伸项目是其中重要组成部分。

因此，本项目符合《三亚海棠湾国家海岸休闲园区控制性详细规划》。

表 6.3-3 《三亚海棠湾国家海岸休闲园区控制性详细规划》提出的海棠湾地区对外和内部交通设施规划建设一览表

分类	序号	项目	建议
----	----	----	----

海棠湾对外联系通道	1	北横通道东段（海棠湾第三通道）	已纳入十四五，启动鹿城大道东延和北横通道东段项目建设
	2	大茅隧道及迎宾、海棠湾立交改造	扩能改造，按照快速路标准建设
	3	二绕高速及联络线建设	对接好联络线建设，服务海棠湾片区
海棠湾片区内部	1	海棠湾片区停车场建设	利用海棠湾控规中确定的周边停车场用地建设停车楼
	2	海棠区椰风路拓宽	地面拓宽为双向4车道，研究建设地下隧道，统筹地下空间
	3	亚特兰蒂斯远期停车场建设	利用地块南侧绿地地下空间建设立体停车设施
	4	铁炉港路至英墩路联通项目	铁路港路东延，新建跨河桥，至英墩路
	5	海棠湾片区路网完善	推动海棠路北延 ，增加1条南北贯通次干路，增加1条南北下穿次干路，增加4条东西跨河通道，8条生活性干路调整为双向4车道。



图 6.3-7 海棠湾道路系统规划图

6.3.9.3. 与《三亚热带海滨风景名胜区总体规划（2017-2030 年）》的符合性分析

项目位于三亚市西侧，部分位于三亚市热带海滨风景名胜区总体规划中椰子洲景点范围内。根据《三亚市热带海滨风景名胜区总体规划(2017-2030 年)》。拟建项目范围内地上工程均位于三级保护区（限制建设范围），依据《三亚热带海滨风景名胜区总体规划》三级保护区保护要求，区域内可进行适度开发建设；地下部分地下部分穿越一级陆域保护区、二级保护区和三级保护区，但其均为盾构隧道形式，无地面工程，对景区无影响。拟建工程属于道路工程，拟建工程已完成立项批复，工程建设后完善了海棠湾北

路与藤桥片区东西向交通联系，与风景名胜区总体规划管控要求是相符合的。



图 6.3-8 与《三亚热带海滨风景名胜区总体规划（2017-2030 年）》叠置图

6.3.10. 与《海南省湿地保护条例》的符合性分析

本项目不占用省级重要湿地，项目位于椰子洲岛风景名胜区，属于河口湿地区域。

根据《海南省湿地保护条例》第二十二条“除经依法批准的国家和本省重大基础设施、重大民生项目、重点区域的生态修复项目建设，以及湿地公园、生态旅游项目等的配套设施建设外，禁止征收、占用一般湿地。”本项目属于海南省 2024 年重大项目投资计划之一，项目建设涉及风景名胜区内一级保护区、二级保护区均采用盾构隧道形式，无地面工程，覆土深度达 12 米，对湿地影响较小。

项目施工前应依法办理相关审批手续，在此基础上项目建设符合《海南省湿地保护条例》的管理要求。

6.3.11. 与《无居民海岛保护与利用管理规定》的符合性分析

本项目周边存在的无居民海岛有有高岛、单寮、三牙门、藤沙岛和石头公岛。

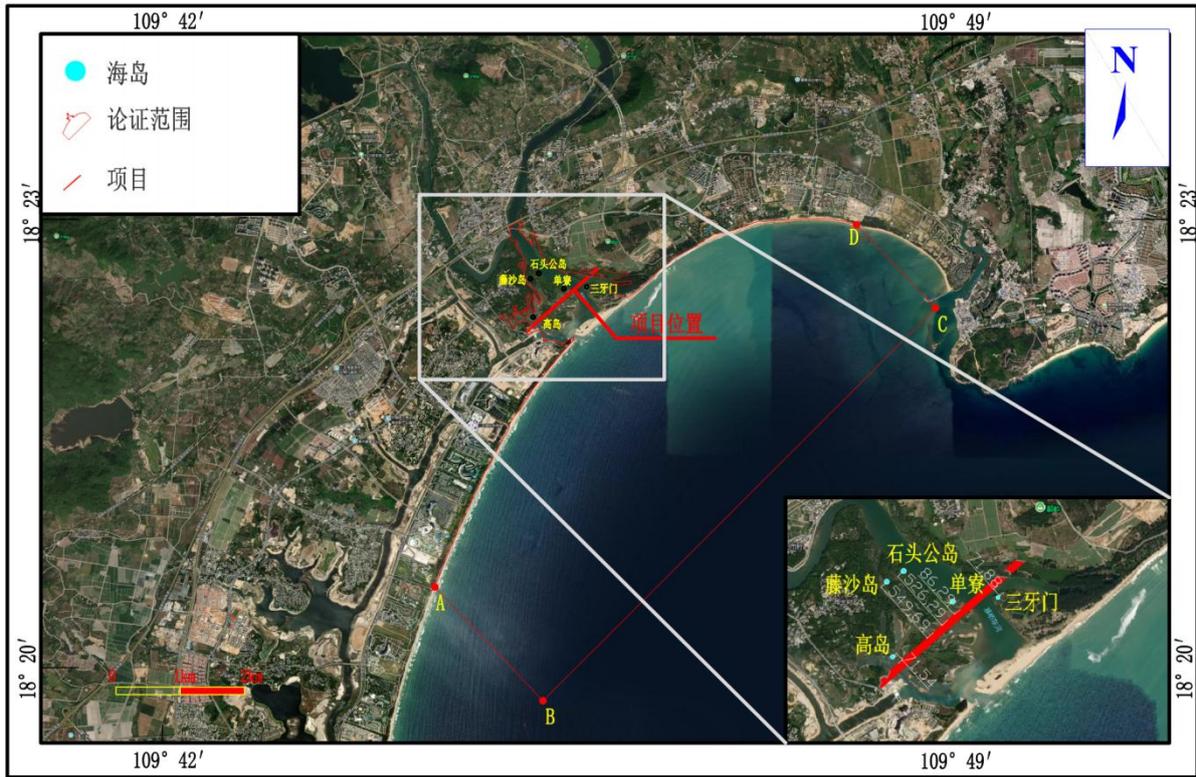


图 6.3-9 项目与无居民海岛位置图

表 6.3-4 评价范围内海岛资源一览表

名称	面积 (km ²)	海岛类别	主导用途	保护对象	管控要求
高岛	17.15	无居民海岛	游憩用岛	海岛自然岸线	控制海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性，用岛方式应为轻度利用式或原生利用式；保护海岛自然景观资源；严格落实生态环境保护措施。
单寮	8.52	无居民海岛			
三牙门	68.08	无居民海岛	游憩用岛	海岛自然岸线	控制海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性、占用岸线、用岛方式与规模等；保护海岛自然景观资源；严格落实生态环境保护措施，实施海岛生态保护和修复。
藤沙岛	1.46	无居民海岛			
石头公岛	413.38	无居民海岛	游憩用岛	海岛自然岸线和典型植被	控制海岛开发利用强度，严格论证开发利用的必要性，用岛方式应为轻度利用式或原生利用式；保护海岛自然景观资源；严格落实生态环境保护措施。

本项目区内不涉及无居民海岛。根据《无居民海岛保护与利用管理规定》第三条规定，国家鼓励无居民海岛的合理开发利用和保护，严格限制炸岛、岛上采挖砂石、实体坝连岛工程等损害无居民海岛及其周围海域生态环境和自然景观的活动。本项目采用盾构隧道形式，隧道从海底底土穿越，覆土深度达 12 米，项目实施后不会改变海域自然属性，对岸滩冲淤环境几乎没有影响，不会改变海岛自然属性，不用岛上资源，对无居民海岛没有影响。因此，本项目的实施符合《无居民海岛保护与利用管理规定》。

7. 项目用海合理性分析

7.1. 用海选址（线）合理性分析

针对本项目的用海特点，拟从区域社会条件、自然资源和海洋生态适宜性、工程重难点分析和对策等方面分析本项目选址的合理性。

7.1.1. 与区域社会经济条件的适宜性

(1) 是支撑三亚市和海棠区城市空间结构，实现三亚南海自由港和国际旅游城的目标的需要。

三亚市国土空间总体规划提出到 2035 年，基本建成国际旅游胜地，成为全国顶尖、世界知名的旅游目的地，提出三亚形成“山海相连、陆海统筹，三城并举、区域协同”的国土空间开发保护总体格局。

三亚海棠湾国家海岸休闲园区控制性详细规划提出将海棠湾建成国家海岸——国际旅游度假区。规划在海棠湾形成“一线、五楔、九片区、三统筹”的总体空间结构。

本项目位于三亚海棠湾，本项目建成将支撑三亚市城市空间结构的形成，实现三亚南部国际贸易港和国际旅游城的目标，特别是支撑海棠湾“一线、五楔、九片区、三统筹”的空间结构，对于海棠区未来的发展和定位是具有极其重要的作用。

(2) 是完善三亚和海棠湾交通路网结构，承担海棠湾核心区北向疏解功能的需要。

根据《亚龙湾、海棠湾片区和凤凰机场片区交通改善提升规划》上位规划，结合两湾地区交通拥堵和未来发展，明确提出海棠湾地区应加快对外通道建设，完善海棠湾内部路网等项目，并提出三年项目建设计划实施库，海棠湾北延伸项目是其中重要组成部分

分。

通过海棠路北延伸项目的建设，将有利于内部交通北向的分流，避免过多交通通过龙海路，藤桥互通进行转换；目前地区向北疏散通道主要通过海棠湾北互通，土福湾互通，内外交通主要依靠椰洲路、环岛旅游公路、椰林路进行转换，因此建设海棠湾北延伸是完善海棠湾北部内外交通衔接的重要抓手。

(3) 是增强海棠湾旅游基础设施供给，加强风塘、东溪片区组团联系，促进片区土地开发利用的需要。

按照规划，“国家海岸”海棠区的区域定位为国际休闲度假区，主要建设三大国家级和世界级品牌，包括国际顶级品牌滨海酒店带、世界级的游艇休闲社区和国家级医疗及健身疗养基地，最终呈现一个集“度假、宜居、活力、财富、养生”为五大特色的高端海湾。未来的海棠区将是国际化精品旅游城区的代名词，三亚旅游业态转型升级的排头兵和三亚发展的先行区。

目前两大片区的交通联系非常不便，亟需规划新的通道，本项目的建设将弥补两大片区的交通短板，利用各自片区的规划优势错位发展，互为补充，积极促进海棠湾旅游发展以及片区开发，以“TOD”模式的交通带动城市发展。因此本项目是增强海棠湾旅游基础设施供给，加强风塘、东溪片区组团联系，促进片区土地开发利用的需要。

因此，项目选址区域的社会条件符合项目用海的需求。

7.1.2. 与自然资源和海洋生态的适宜性

7.1.2.1. 与周边交通条件适宜性分析

(1) 道路及管线

海棠路北延下穿隧道始于海棠路与龙海路交叉口，起点衔接段在既有的海棠路的基础上拓宽改建，与区域主要道路交通对接，同时保证隧道洞口、接地点与交叉口的距离，既保障周边居民安全出行有符合规划要求；重点拟定于柳州路与山海高速交叉口处，该位置可以很好地与山海高速相接，同时东溪片区可通过柳州路与风塘片区联络，解决目前东溪片区可通过柳州路与风塘片区间缺少交通通道直接相连的绕行问题，路线重点绕避已出让地块，也尽量减少对椰子洲岛风景区开发的影响，符合规划要求。

(2) 房屋建筑及地下构筑物

隧道入口位于四季酒店出入口附近，隧道敞开段起点避开酒店出入口。隧道南岸明挖段选择向北绕避，南岸工作井设置于路基下方空地；隧道以盾构形式下穿椰林路桥梁，隧道盾构结构需要避让桥梁桩基；受藤桥河排水闸位置影响，隧道盾构段选择绕避水闸，由水闸北侧穿。需核实盾构结构与排水闸基础结构竖向位置关系。

综上所述，节约用地，合理布置施工，尽量不破坏工程范围外的原有植被，本项目的选址与环境地质条件基本适宜。

7.1.2.2. 与工程地质条件适宜性分析

三亚地区在区域地质上属于琼南拱断隆起构造区，位于九所—陵水断裂带南侧。地质构造以华夏纬向构造体系为格架，由华夏、新华夏等构造系复合形成了本区的特征。新构造运动以不对称的穹状隆起为特点，以间歇性上升为主，局部产生断陷，形成各级夷平面台地。勘察区本项目场地为第四系滨海相沉积层所覆盖，基底为中三叠世二长花岗岩。本场地第四系地层中未发现断裂活动的痕迹，区域稳定性较好。进出口引道、明挖暗埋段基坑开挖段主体结构为U型槽敞开结构，抗浮验算水位按百年水位考虑，需采取必要的结构抗浮措施进行抗浮设计。

勘察期间为平水季节，各钻孔均遇见地下水，属孔隙潜水类型，主要赋存于②₁层粗砂、②₂层中粗砂、②₄层中细砂、②₆层中粗砂及③₁层砾砂等层中，受大气降水及侧向海水及海棠河、藤桥河地下径流补给，水位随季节变化，水量较大。勘察期间，测得各钻孔地下水稳定水位埋深在0.00~3.20米间，标高变化在-2.36~0.52米间。根据地区工程经验和区域水文地质资料，本场地地下水水位年变化幅度约为2.00~3.00米。

场地基本烈度为6度，行强化处理或换填，填土层位于工作井基坑的素填土加强支护措施。软土层位于道路底部的淤泥质土建议进行加固处理或换填，位于工作井基坑及盾构顶部的软土加强支护措施。残积土层遇水容易软化，故若使用此层位作为一般建筑物的持力层时应避免此层位长时间的暴露，同时做好防水措施。同时也应注意盾构施工对已建建筑的影响。

综上所述，在施工过程中加强地质环境监视监测，采取正确的施工方法和有效的风险防范措施的前提下，本项目的选址与场地工程地质条件基本适宜。

7.1.2.3. 与区域生态环境的适宜性

项目涉海段采用盾构法施工，施工期不会在海域范围内进行表层开挖，亦不会在海岸边修筑施工便道，或在海上搭建施工平台，不破坏海岸线自然性状，不扰动海床。

项目建成后，亦不会在海床上留下任何永久性构筑物。本项目建设对海洋生物的主要影响包括施工期间的振动和噪声，这些影响是短暂的，施工期结束后就会消失。施工过程不会产生悬浮物，不会引起局部海域水体浑浊，对海洋生态环境基本不会造成影响。

7.1.2.4. 与河床冲淤条件适宜性分析

根据工程区河段河床演变专题分析可知，至 2005 年后河床由于受人类活动影响较小，河床演变相对稳定。根据该区域的相关规划，未来围垦、人工采砂等人类活动将有所减少，因此河床演变将趋于稳定。工程区域藤桥河口水深约 13m~16m，按目前的河床演变规律及航道疏浚要求分析，隧道在满足规范要求埋深的前提下，河床冲刷的结果不会造成隧道露出河床面，隧道工程的建设也不会航道河床底部形成跌坎。由于本隧道在目前河床以下约 12m，加上采用盾构施工方法，因此工程对附近河势稳定影响也较小。因此，本项目的选址与河床冲淤条件是适宜的。

7.1.3. 与周边海洋开发活动的适宜性

根据 5.3、5.4 节的分析，建设单位按照本报告 5.3、5.4 节所提的协调方案进行后续利益相关者及相关部门的协调沟通，在此前提下，因此本项目与周围利益相关者具有可协调性，与周边海洋开发活动相适宜。

7.1.4. 隧址比选方案

本项目隧址主要控制因素为：椰子洲岛风景名胜区、基本农田、海岸线等控制因素。

隧道线位涉及椰子洲岛风景名胜区景点用地及风景保护用地，根据海棠湾规划要求，风景名胜区为严禁开发建设区，因此隧道采用盾构法施工。

7.1.4.1. 项目建设起点、重点论证

本项目为海棠路北延下穿隧道工程，为处理现状海棠路沿线旅游车辆多以及路线与

椰子洲岛风景区规划干扰等问题，采用隧道下穿椰子洲岛风景区，打通南侧风塘片区与北侧东溪片区，故路线起终点根据规划及工程现状龙海路、柳州路的情况进行拟定。起终点明确后，考虑减少周边水闸、桥梁、酒店等的影响，同时亦需考虑侵占基本农田及生态林等因素，路线走廊带基本定形。

(1) 起点

起点主要考虑与既有海棠路顺接点及隧道出入口布置，因此建议将起点布置于既有海棠路与龙海路交叉口。项目起点衔接段在既有海棠路的基础上拓宽改建，与区域主要道路交通对接，同时保证隧道洞口、接地点与交叉口的距离，并尽量减少暗埋下穿海棠路的影响，保障周边居民出行安全，同时符合规划要求，项目起点位置设置是合适的。

(2) 终点

本项目终点为了更好与路网衔接，最大限度提高道路疏解能力，拟定于柳州路与山海高速交叉口处，该位置可很好地与山海高速相接，同时东溪片区可通过柳州路与风塘片区联络，解决目前东溪片区与风塘片区间缺少交通通道直接相连的绕行问题，项目主要功能之一为片区之间联系的主要通道，因此项目终点也应在主要通道上进行交通组织，将终点设置于柳州路与山海高速预留的平交口，实现主要交通流内部及外部的快速转换是最为合适的。路线终点绕避已出让地块，也尽量减少对椰子洲岛风景区开发的影响，符合规划要求。

7.1.4.2. 线位方案比选

起点选择受制于海棠路周边水域蓝线、三亚国际免税城、天房洲际度假酒店及在建酒店及地下车库等影响。目前路线方案一规避了在建酒店及地下车库，并下穿海棠河后，往海棠河水闸北侧通过。路线方案二下穿在建酒店及车库后，在海棠河水闸南侧通过。由于方案二对在建酒店及地下车库影响较大，拆迁面积已达 6 万平，且距离水闸及酒店高层距离较近，安全风险较大，因此推荐采用方案一。

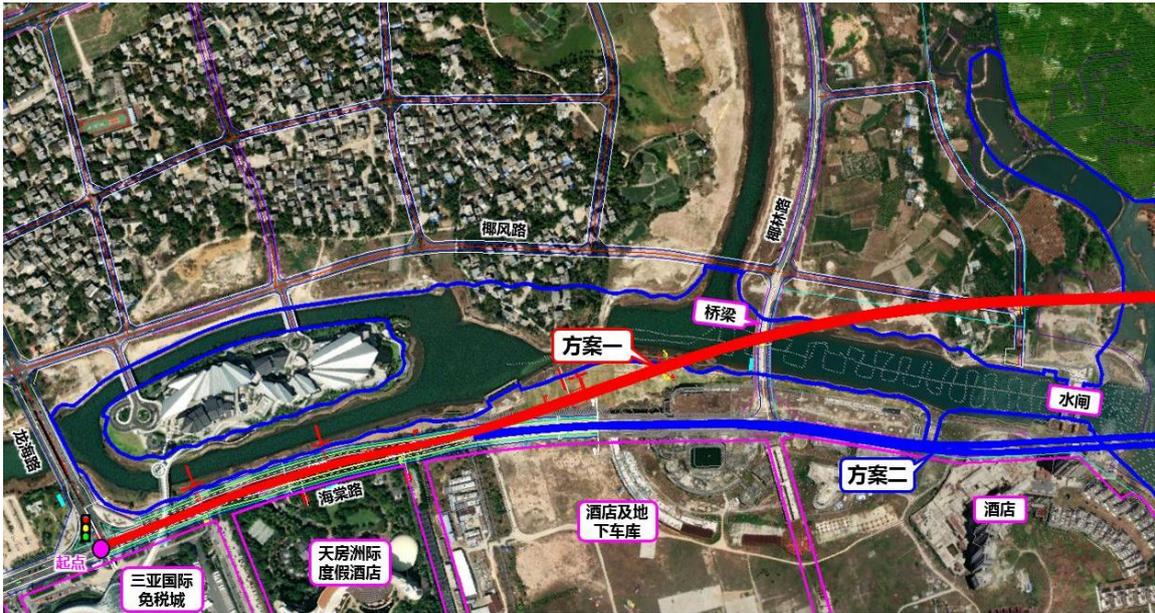


图 7.1-1 起点接线方案示意图

终点接线方案主要有三个，方案一采用 760m 半径，接山海高速与柳州路交叉口，该方案线形指标较高，但规划支路需调整。方案二采用 400m 半径，接山海高速与柳州路交叉口，该方案为了避开基本农田，并且为了满足在直线段采用盾构，因此线性指标较低，但规划支路线位调整较小。方案三采用 500m 半径，接规划路交叉口，该方案能更好地与片区路网衔接，但海棠路作为区域交通性干线的功能有所减弱，且远期藤桥河隧道出口与方案三终点交叉口较近，未来交通组织将变得较为复杂。综合考虑项目作为交通性干线的功能标准，接入柳州路与山海高速交叉口较为有利，且规划支路尚未建设，可与本项目同步建设，集约用地，同时应避免与远期藤桥路北延工程主要接线交叉口过近，推荐采用方案一。



图 7.1-2 终点接线方案示意图

表 7.1-1 线位比选表

项目	方案一	方案二	方案三
规模	约 4.18km	约 4.3km	约 4.1km
线型	线型指标相对较好，最小半径 760m。	线型指标相对较差，最小半径 400m。	线型指标相对一般，最小半径 500m。
占地	占地 118.156 亩，相对较少，主要为既有道路及园。	占地 130.561 亩，相对较多，主要为既有道路及果园。	占地 115.894 亩，相对较少，主要为既有道路、林地及果园。
交通功能	起点接龙海路，终点接州路。起终点衔接合理，作为交通干线功能明确。	起点接龙海路，终点接柳州路。起终点衔接合理，作为交通干线功能明确。	终点接线规划路，与藤桥北延项目较近，导致近期交通功能不足，远期干线交通过于集中的情况。
项目	方案一	方案二	方案三
隧道实施难易程度	隧道下穿海棠河、规划建设用地、椰子洲岛风景区、藤桥东河，技术相对成熟，风险较小。	隧道下穿在建酒店及地下车库、规划建设用地，邻近酒店及水闸，下穿椰子洲岛风景区、藤桥东河，技术相对成熟，拆迁量大。	隧道下穿海棠河、规划建设用地、椰子洲岛风景区、藤桥东河，技术相对成熟，风险较小。
造价	造价相对适中，33.4 亿元。	造价相对较高，38.08 亿元。	造价相对较低，34.12 亿元。

综上所述，方案一隧道实施风险较小，道路规模合理，线型指标好，推荐采用方案一。

7.2. 用海方式合理性分析

7.2.1. 采用隧道用海方式的合理性

由于本项目位于海棠区藤桥河口处，一般建设通道有桥梁和隧道方案，桥梁方案由于自身施工方法的局限性，存在征地拆迁量大，对地表地貌造成破坏且难以恢复，对地区规划影响较大等问题，考虑到椰子洲岛风景名胜区保护要求严格，以下先介绍桥梁方案，后重点论述隧道。

7.2.1.1. 桥梁方案

拟建道路南岸起点（K0+000）顺接既有海棠路，道路于 K0+240 接椰林路交叉口，继续向西北方向，设置海棠湾特大桥（中心桩号 K1+575），依次跨越海棠湾河、柳州湿地园林、藤桥东河等，在 K2+705 设置接地点，继续向西北方向延伸，顺接既有柳州路，终点桩号 K3+400。

①平面设计

拟建桥梁平曲线要素：直线（桥梁起点：K0+335.527、终点桩号：K0+488.793）；圆曲线（起点桩号：K0+488.793、终点桩号：K0+643.334，半径 R：700m）；直线（起点桩号：K0+643.334、终点桩号：K1+068.839）；圆曲线（起点桩号：K1+068.839、终点桩号：K1+331.605，半径 R：2000m）；直线（起点桩号：K1+331.605、终点桩号：K2+493.747）；圆曲线（起点桩号：K2+493.747、桥梁终点，半径 R：1000m）。

②纵断面设计

拟建桥梁存在 3 个竖曲线：第 1 个竖曲线半径 R=5000，变坡点桩号为 K0+850.000，后退方向纵坡为 4%，前进方向纵坡为 0.3%第 2 个竖曲线半径 R=20000，变坡点桩号为 K1+550.000，后退方向纵坡为 0.3%，前进方向纵坡为 0.3%第 3 个竖曲线半径 R=5000，变坡点桩号为 K2+300.000，后退方向纵坡为 0.3%，前进方向纵坡为 4%。

③横断面设计

根据总体设计及道路相关技术要求，标准桥梁断面 19m=0.5m（SS 级护栏）+0.75m（路缘带）+2×3.5（行车道）+0.75（路缘带）+1.0m（中分带）+0.75（路缘带）+2×3.5（行车道）+0.75m（路缘带）+0.5m（SS 级护栏）。

④关键控制性节点设计

拟建桥梁桥横跨海棠湾河、柳州湿地园林、藤桥东河。结合桥位地形、地物、地质、路线线形、施工等因素，跨海棠湾河设计跨径为（100+250+100）m 预应力混凝土斜拉桥，跨柳州湿地园林、藤桥东河设计跨径为（230+550+230）m 组合梁斜拉桥。

⑤桥梁方案特殊技术问题研究

a. 台风对大桥设计、施工及运营安全的影响

桥址位于三亚市位于海南岛最南端，地处北回归线以南的热带北缘，受海洋性气候影响较大，属于热带海洋性季风气候，致使该地区天气气候复杂多变，致灾台风登陆影响十分频繁。现行设计规范中各类结构抗风设计依据无法涵盖和解决风扰动或湍流特征对大跨度柔性构筑物的影响等问题。

由于大风、热带气旋以及台风的影响，常规的施工方法、施工设备在海洋环境下往往不能适用。大桥建成后，恶劣的气候尽管不会使大桥本身结构造成破坏，但对行使的车辆仍然存在威胁，对设计标准较低的部分交通安全设施也会造成破坏，不得不在一定条件下限制通行(比如 8 级以上大风封闭交通等)。

b.大跨桥梁抗震设计所面临的挑战

琼南地区历史上发生过多地地震，但多为弱震和微震，桥址处的地震危险性较大，高耸的桥塔又易发生震害，因此，桥梁结构的地震危害性较大，如何防止大地震下结构的不倒塌十分关键。

c.海域区桥梁结构的耐久性问题

结构耐久性关系到桥梁的设计使用寿命，主要有以下 3 个方面:永久性结构的抗疲劳寿命;永久性结构的抗腐蚀及其保护措施;桥梁养护维修管理。桥梁结构抗腐蚀措施包括结构性防腐和外层保护防腐两种类型，外层保护防腐又可分为一次性防护和多次性防护。大部分情况下两种类型的防腐措施结合使用，根据结构物设计使用寿命，基础采用一次性防护，上下部构造采用 10~30a 多次性防护。

d.周边海域区水环境影响分析

大桥建设对水环境的影响主要表现为:①桥墩阻水以及桥轴线与水流向之间夹角会影响过流能力，桥址附近水域的潮流流速可能整体减小，导致泄流能力降低，涨潮流量减小，可能对部分水利设施和防洪堤坝产生影响。②大桥建设对海区流场的影响可能导致航道的变化(摆动，回淤等)。③桥墩及防撞设施增加了阻水面积(可达 80%~12%)，影响湾口纳潮和输沙能力，可能对周围港口形成淤积。

7.2.1.2. 隧道方案

盾构法是采用特殊盾构机械，在盾壳的保护下开挖地层土体，并以预制衬砌拼装成

环形成隧道结构的一种暗挖工法。此工法对隧道的埋深、地层条件的适应性很大，且施工场地占用较少。目前主要用于穿越软弱地层和下穿江河中，其最大特点是不影响或较少影响地面建筑物和环境。在现阶段，特别是在软弱地层中是最好的修建地下工程的施工方法，加之近年来盾构机械设备和施工工艺的不断发展，使其对各种工程地质和水文地质条件的适应能力大为提高。日本东京湾海底隧道、武汉长江隧道、南京长江隧道及杭州钱塘江上已建的庆春路过江隧道和钱江隧道便采用此工法。盾构法隧道施工的主要技术特点是：

①除竖井和两岸明挖段施工外，其它施工作业均在地下进行，既不影响地面交通，又可减少对附近居民的噪音和振动影响；越江、河、海道时，不影响航道。

②在穿越软土地层或江、河、海等水域时，由于是在盾壳的保护下进行土体开挖，故施工风险较小。尤其是近年来随着技术进步和盾构机成本的降低，在水底隧道施工中均使用全机械、封闭式盾构机，这使得施工过程中的风险进一步降低。

③盾构推进、出土、拼装衬砌等主要工序均为机械化作业，循环进行，施工人员较少，施工易于管理。

④盾构法施工工艺决定了施工期间不受水文及气候条件影响，因而既定工期容易保证。

⑤盾构法隧道可以适应粘土、粉土、砂土、砾石及基岩等各种地质条件，尤其是在土质差、水位高的地方修建埋深较大的隧道，盾构法有较大的技术经济优势。

⑥由于盾构机是利用刀盘的旋转进行地层掘削的，故绝大多数盾构隧道都是圆形截面，对公路隧道来说，因为建筑限界近似为矩形，这就使得断面的利用率降低。



图 7.2-5 盾构隧道施工现场图

7.2.1.3. 隧道方案下穿风景名胜区采用工法适应性分析

①周边环境情况

海棠路北延下穿隧道工程是横跨藤桥河及海棠湾风景名胜区的水底隧道，隧址南岸邻近海棠湾免税城，北岸下穿基本农田。

a. 藤桥河

藤桥河，是海南岛南部较大的河流，由东河、西河组成，东河为主流。藤桥河出口处沉积物以沙为主，内河自北向南经椰子洲岛后汇流入海，后期配套风景名胜区存在通航需求。

b. 风景名胜区

以椰子洲岛为中心的风景区，涉及一、二级保护区范围，规划要求禁止开发利用。

c. 基本农田

规划要求基本农田范围内禁止开发利用。

②工法选择

a. 矿山法及围堰明挖法适用性分析

考虑到围堰明挖法仅适用于藤桥河段隧道施工，无法解决陆域一、二级保护区、基本农田范围的隧道建设问题，故围堰明挖法在本项目下不可行。隧道穿越椰子洲一、二级风景保护区段落长 2450m，区间地层差异明显，其中粉土粉砂层 150m；砂层+强风化砂岩+中风化花岗岩复合地层 200m；中风化花岗岩 2100m，由于在粉土粉砂层为强透水层，该段落采用矿山法施工极易引发透水事故，因而不具备采用矿山法施工的条件。

综上，围堰明挖法及矿山法不适合本隧道穿越景区段落的修建。

b.沉管法适应性分析（破坏风景名胜区地形地貌）

由于海岸线保护要求高，用地紧张，干坞选址困难；河床基槽开挖会破坏风景区现状地形地貌，风景名胜区一、二级核心保护范围严格禁止开挖建设，故沉管法并不适用本工程。

c.盾构法适应性分析

盾构法是采用特殊盾构机械，在盾壳的保护下开挖地层土体，并以预制衬砌拼装成环形成隧道结构的一种暗挖工法。随着盾构隧道技术的进步，特别是各种大直径复合式盾构机械的应用，在各种复杂地层中相继成功修建了一批隧道，目前盾构法对隧道的埋深、地质条件的适应性很强，可以适应松软土层和岩层。另外从隧道直径规模上近二十多年来不断取得突破，目前世界上在建的最大直径盾构隧道已达到 17.6m（香港屯门～赤蜡角海底隧道工程）。我国应用盾构施工技术始于 20 世纪 50 年代末，1965 年我国采用直径 10.2m 的盾构修建了长 1.34km 的第一条黄浦江水底隧道，80 年代以来，随着我国改革开放和经济发展，盾构隧道在铁路、公路、地铁、市政公用管道中得到广泛的应用，迄今为止，已成功修建了直径 3m 至 15m 各类盾构隧道。隧道外径 11.0m 的武汉长江隧道于 2008 年 12 月顺利建成通车，直径 15.0m 的上海长江隧道和直径 14.5m 的南京长江隧道也分别在 2009 年和 2010 年相继通车，直径 10.8m、盾构段长度 9340m 的广深港客运专线狮子洋隧道于 2011 年 3 月全线贯通，上述工程的实施均为本工程提供了很好的参考和经验。

表 7.2-1 国内外部分代表性盾构法隧道工程实例表

工程实例	盾构段长度 (m)	隧底最大 水压 (m)	地址情况概述	隧道直径 (m)
丹麦斯多贝尔特 隧道	7.9	80	冰碛物沉积层	7.5

日本东京湾隧道	9.1	60	软弱冲积层	13.9
荷兰西斯凯尔特河隧道	6.6	60	粉细砂、粘土	11.0
武汉长江隧道	2.55	57	粉细砂、中粗砂、粘土	11.0
上海长江隧道	7.6	60	粉细砂、粘土	15.0
杭州钱江隧道	3.25	40	淤泥质粉质粘土、粉土、粉质粘土	15.0
南京长江隧道	3.9	65	粉细砂、砾砂、粘土	14.5
扬州瘦西湖隧道	2.6	40	硬塑黏土	14.5
上海上中路隧道	1.5	40	灰色粉质粘土、砂质粉土	14.5
广深港高铁狮子洋隧道	10.8	67	粉细砂、粉砂岩、砾岩	10.8
武汉市三阳路道路隧道	2.59	64	粉细砂、中粗砂、粘土、粉砂质泥岩、砾岩	15.2
武汉地铁8号线过江隧道	3.2	51	粉细砂、中粗砂、粘土、砾岩	12.1
南京燕子矶长江隧道	2.96	79	砂层，全断面硬岩，岩溶地层和区域断裂带	14.5
济南黄河隧道	2	45	粘质黏土、富水砂层	15.2
武汉和平大道南延隧道	1.3	53.8	灰岩、砂纸泥岩	15.4
杭州望江隧道	2.4	35	淤泥质粉质粘土、粉土、粉质粘土	11.3
杭州博奥隧道	1.8	32	淤泥质粉质粘土、粉土、粉质粘土、圆砾层	11.3
杭州艮山东路过江隧道	3.2	37	淤泥质粉质粘土、粉土、粉质粘土	14.5

本项目隧道主要穿越粉土粉砂、强中风化石英砂岩、中风化花岗岩等地层，盾构段长度约 2.45km。结合国内建成的武汉长江隧道、上海长江隧道、南京长江隧道、杭州钱江隧道等这些大直径盾构隧道的成功修建，尤其是类似地质条件的南京燕子矶长江隧道用盾构法顺利贯通的经验，国内现有盾构技术完全可以满足本工程对超大直径、高水压和长距离掘进的要求，推荐海棠路北延下穿隧道穿越椰子洲风景名胜区及基本农田范围采用盾构法施工。

7.2.1.4. 桥隧方案比选

根据本桥梁位置的工程地质、水文及环境等条件，选择桥梁方案与隧道方案在技术

上均可行，其综合比选结果详见下表 7.2-2。

从表中可以看出，桥梁方案与隧道方案在施工案例、施工经验及难度、施工风险等方面相当，桥梁方案在运营环境、常规运营养护尤其本工程造价等方面具有优势，而隧道方案在对航运的影响、受恶劣天气通行影响、对生态环境、基本农田的影响、对沿线居民的环境影响及社会稳定影响、对两岸占地影响、对沿线两侧地块环境及价值的影响、拆迁影响、海岸线景观效果、对岸线资源的影响及与规划的协调性等方面具有优势。如果综合周边土地价值的影响，工程及环境总费用更具有优势，经综合比较推荐采用隧道建设方案。

表 7.2-2 桥隧方案比选表

序号	比较内容	桥梁方案	隧道方案
1	施工经验及难度	施工经验较多，施工难度较小	已积累一定的施工经验，施工难度不大。
2	施工风险	技术成熟	具备成功实施的技术和水平，具有一定的施工风险，须引起重视，以既有技术和水平完全可以克服
3	运营及设备维护管理费用	常规运营维护简单，无需通风，白天无需照明，运营费用相对低，但大跨桥梁需要定期更换缆索时费用较高，全服役期大修费用较高	需通风照明等措施，隧道运营监控措施严格，常规运营费用相对较高，但隧道结构耐久性好，在运营期主体结构基本无需大修，因而维修费用低
4	受恶劣天气气候条件的影响	在雷雨台风、浓雾或雨雪天气时，行车会受到很大影响，需限制通行或封闭交通	基本不受气候影响，可全天候运行
5	对水环境的影响	桥墩邻近水系及占用湿地，对生态环境影响大	无论是施工还是运营对水环境及湿地影响小
6	对基本农田的影响	占用一定的基本农田	基本无不利影响
7	对岸线资源的影响	占用一定的岸线资源，对岸线开发利用产生影响	基本无不利影响
8	对风景区的影响	桥梁结构破坏原有的景区生态环境，与景区环境不协调。	基本无不利影响
9	接线条件	平面接线位置位于椰林路交叉口后，交通组合较为有利，但对在建酒店影响大。桥梁跨越叶子洲岛风景区，为保证通航，高程很高，因此两端纵坡大。	隧道顺接两端交叉口，下穿椰子洲岛风景区，纵坡较长，纵坡相对较小，交通组织合理。

10	地块影响	墩台设置一定程度上，破坏了地块的完整性	基本无不利影响
11	社会稳定性协调难度	对在建酒店、水闸、椰子洲岛风景区、生态林地、基本农田等影响大，征迁数量大，协调困难。	对周边建筑、风景区、生态林地、基本农田等影响小，征迁数量小，协调难度相对较小。
12	工程造价	相对较低	高
研究结论		占用基本农田、岸线及通航资源，分隔椰子洲岛风景区，影响景点生态环境，不推荐。	推荐

综上所述，桥隧方案各有优缺点，但隧道方案对河口布局，路网结构协调性，工程经济性、协调外部建设环境等方面优势明显，因此，本项目采用隧道用海方式是合理的。

7.3. 用海平面布置合理性分析

7.3.1. 隧道横断面设计的合理性

海棠路北延工程项目位于三亚市海棠湾，是连接海棠湾风景区、免税店、亚特兰蒂斯、海昌不夜城等重要旅游地与海棠北互通的道路工程，路线呈南北走向，南起龙海路与海棠路交叉口，隧道下穿椰子洲岛后，终于椰洲路与山海高速连接线交叉口，路线全长约 4.18km，规划定位为城市主干路。本项目分为地面道路和地下道路（隧道）两部分内容。

目前地下道路（隧道）在既有海棠路设置明挖段顺接既有路面，承接龙海路及既有海棠路地面交通，下穿椰林路桥梁及海棠河，在椰子洲岛穿过，顺接椰洲路与山海高速连接线交叉口。

为满足以上功能，根据隧道的不同断面形式，可采用单洞隧道方案及双洞隧道方案，两种方案实现相同功能的情况下，由于单洞双层隧道上下层纵断面高程的不同，导致所需的坡度坡长不同，进而引起平面的布置将存在较大的差别。因此就单洞及双洞隧道平面方案进行梳理分析。为实现以上功能，起点衔接段，由于要保证海棠河处冲刷条件下覆土要求，单管方案下层出地较迟，既有海棠路开挖范围较大，上层与双管方案相同，可以在实现较早出地的目标，实现风塘片区与东溪片区平面交通组织的功能相同。



图 7.3-1 单管方案道路流向图

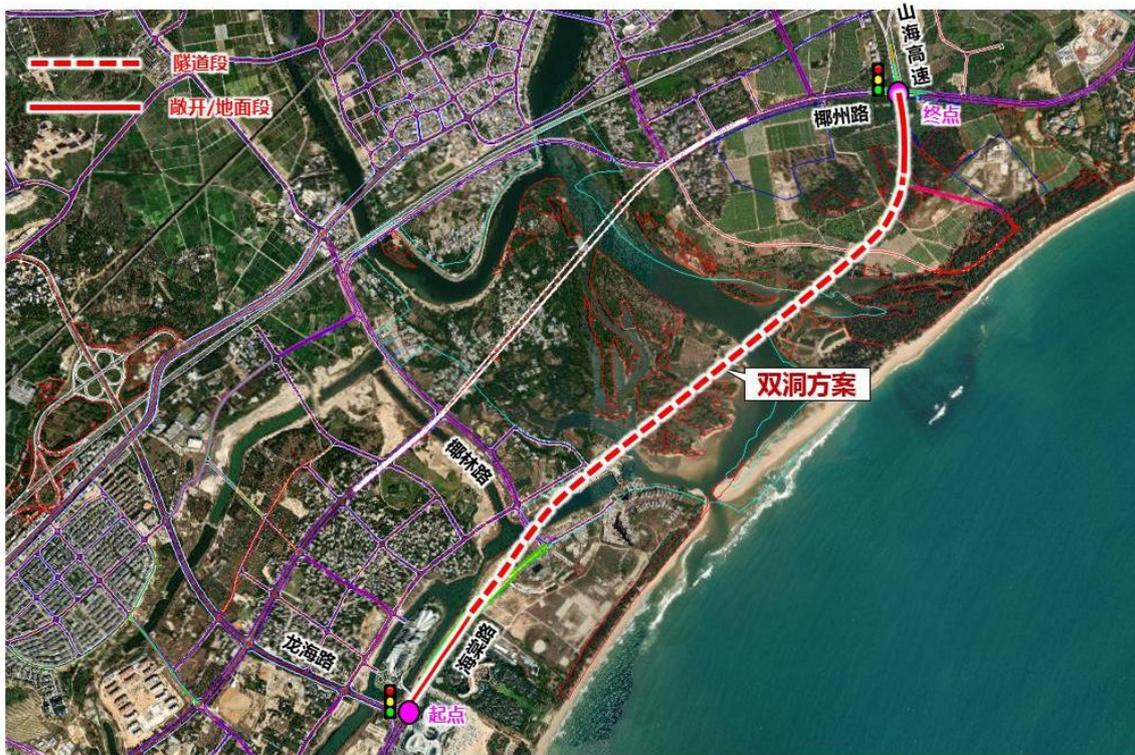


图 7.3-2 双管方案道路流向图

表 7.3-3 单双管工程对比表

比较项目	单管双层盾构法	双管单层盾构法
地层适应性	地层适应性好，运营期所需覆土 4.5m	地层适应性好，运营期所需覆土 3.8m

<p>与两岸道路衔接</p>	<p>南岸接龙海路，北岸接柳州路，两岸接线简单，南岸由于上下层先后出地，与既有道路衔接存在前后高差，上层为由北往南行驶车辆，下层为有南往北车辆，布局与南岸及北南交通出入均能很好地衔接。道路占地 118.156 亩，其中生态林地 1.937 亩。</p>	<p>南岸接龙海路，北岸接柳州路，两岸接线简单，由于左右线标高相同，于既有道路衔接较为顺畅。道路占地 121.478 亩，其中生态林地 9.342 亩。</p>
<p>交通组织评价</p>	<p>南岸接龙海路，采用双向八车道，交通功能完善，由北往南接地点距离停止线约 155m，由南往北接地点距离停止线约 265m，满足规范要求。北岸接柳州路交叉口入口道为四个车道，出口道为三个车道，功能完善，隧道接地点距离停止线约 118m，相对较近，需限制支路由南往北交通需限制直接进入主路跨越车道进行左转。单管方案，合理布置隧道出入口，能较好地顺应既有道路交通需求，总体交通功能完善，与两侧道路衔接较好。</p>	<p>南岸接龙海路，采用双向八车道，交通功能完善，接地点距离停止线约 367m。 北岸接柳州路交叉口入口道为四个车道，出口道为三个车道，功能完善，隧道接地点距离停止线约 180m，相对较远。双管方案，交通功能完善，与两侧道路衔接较好。</p>
<p>对航道的影响</p>	<p>无影响</p>	<p>无影响</p>
<p>对河道行洪的影响</p>	<p>无影响</p>	<p>无影响</p>
<p>设备制造</p>	<p>江苏片区、武汉、杭州、济南盾构外径 14.5~15.5m，具备制造能力</p>	<p>常规盾构，目前市场上设备较多</p>
<p>工程规模</p>	<p>隧道全长 3.785m，其中盾构段长度 2450m，盾构直径 14.5m；明挖段叠层布置，长度 1335m；</p>	<p>双管方案隧道全长 3.36km，盾构段单线长度 2.55km，盾构直径 12m，明挖段平层布置，长度 0.81km。</p>

防灾疏散救援能力	明挖段通过设置车行横通道实现横向疏散，盾构段人员通过疏散楼梯实现纵向疏散，能满足防灾救援要求	明挖暗埋段与盾构段通过设置疏散楼梯实现上下层互为疏散，满足防灾救援要求。
工程可行性及建设难度	1、工程可行性重点在用海、环评审批； 2、明挖、盾构工法及施工组织较为成熟，相比单层方案，叠层段明挖基坑深，结合地勘资料，场地内地层条件较好，基坑支护方案具备可安全实施性。	1、工程可行性重点在用海、环评审批； 2、明挖、盾构工法及施工组织较为成熟，施工难度相对小； 3、双管盾构隧道距离椰林路桥桩更近，影响范围更大。
施工工期	44 月	50 个月（两台盾构）
隧道总投资	33 亿	40.8 亿
是否推荐	推荐	

综上所述，本项目隧道横断面推荐采用单管双层方案，在经济、技术方案是合理的、可行的。

7.3.2. 隧道平面走向的合理性

本项目在《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目工程可行性研究方案》中针对建设方案进行了专题论证，明确隧道平面南起龙海路交叉口北235m，左右线先后入地，由左右线并层转化为上下叠层形式向北敷设，隧道左线置于下层，右线置于上层。于海棠北路路基边坡下方空地设置南岸工作井。后以盾构形式穿越椰林路桥梁桩基，侧穿1#排水闸，下穿椰子洲风景名胜区及藤桥河，至北岸下穿基本农田后设置北岸工作井，随后隧道由上下叠层转为左右并层，下穿规划支路后出地，衔接路基段接椰洲路交叉口。

该平面布置方案满足了三亚市海棠区规划，降低施工风险等方面的要求，是比选后的最优方案。



图 7.3-3 隧道平面走向布置图

因此，本项目平面布置是合理的。

7.4. 占用岸线合理性分析

由于本项目采用盾构法施工，隧道从底土穿越岸线，海底穿越岸线长度 433.05m，不占用岸线，不改变海岸自然形态，不影响海岸生态功能。

7.5. 用海面积合理性分析

7.5.1. 用海面积的合理性

7.5.1.1. 项目用海面积与项目用海需求及相关设计标准和规范符合性

本项目建设隧道全长 3785m，其中盾构段长度 2450m，隧道左线置于下层，右线置于上层，隧道最大外径 14.5m。

按照《海籍调查规范》5.4.5.2（b）规定：“隧道主体及其海底附属设施用海，以隧道主体及其海底附属设施的外缘线向两侧外扩 10m 距离为界。”以隧道最外缘线向两侧各外扩 10m 线和 2019 年修编的海岸线为界址线，据此量算隧道用海面积为 4.8656hm²。

7.5.1.2. 项目用海减少海域使用面积的可能性

本项目根据项目所在海域自然资源的特点、周边开发利用现状等情况，设计了不同的用海结构方案，根据项目总平面布置图，经过桥隧方案比选、隧道施工方法和隧道横、纵断面方案比选，推荐的用海结构方案水域利用率更高，在有限的水域内在满足相关设计规范的前提下，本项目用海面积的计算是依据设计单位提供的总平面布置图、断面结构图判定其用海方式，并按照《海籍调查规范》（HY/T124-2009）的规定，对本项目海底隧道部分采取项目的用海范围界定方法，计算得到用海面积。

为保障隧道工程建设达到设计要求，最终确定的用海方案基本没有减少海域使用面积的可能。

7.5.1.3. 项目用海面积是否符合相关行业的设计标准和规范

本设计方案隧道结构尺度严格按照《城市地下道路工程设计规范》（CJJ221-2015）、《公路水下隧道设计规范》（JTG/T3374-2022）等规范的合理值选取计算，满足海棠湾路网规划和缓解交通压力的需求。此外，本项目设计中同时考虑国家通用规范、行业规范对本项目工程进行论证分析，确保结构安全、经济、适用并满足安全性、抗灾害性等要求。项目用海面积设计符合相关设计标准和规范，符合《中华人民共和国海域使用管理法》等有关法律法规对该工程的要求。

7.5.1.4. 项目用海面积与用海控制指标的符合性

根据《建设项目用海面积控制指标（试行）》（国家海洋局，2017 年 5 月）的适用

范围：《指标》适用于在中华人民共和国管辖海域范围内的新建、改建和扩建的渔业、工业、交通运输、旅游娱乐和造地工程等建设项目用海。《指标》中未列出的用海类型，可比照现有标准和行业涉及规范合理确定用海规模。项目建设属于海底工程用海，该类型用海控制指标包括海域利用率和岸线利用率，指标要求见表 7.5-1。由于本项目不涉及填海造地，因此不适用于该项指标要求。

本设计方案水域尺度严格按照《公路水下隧道设计规范》（JTG/T3374-2022）的合理值选取计算，设计中同时考虑国家通用规范、行业规范对本项目工程进行论证分析，确保结构安全、经济、适用并满足安全性、抗灾害性等要求。项目用海面积设计符合行业相关设计标准和规范。

7.5.2. 项目用海面积的量算

7.5.2.1. 用海面积的界定

根据本项目的设计方案，本项目的主体工程为明挖暗埋海底隧道工程。根据《海域使用分类》（HY/T123-2009）中规定的分类方法，本项目的一级用海类型为海底工程用海，二级用海类型为海底隧道用海。根据《海籍调查规范》（HY/T124-2009），采用“5.4.5.2 节海底隧道用海”来界定本项目的宗海界址。

海底隧道的界定方法为：

- a) 通风竖井等海底之上的设施用海，以通风竖井及其防护设施的水下外缘线为界；
- b) 隧道主体及其海底附属设施用海，以隧道主体及其海底附属设施的外缘线向两侧外扩 10m 距离为界，参见附录 C.33。

7.5.2.2. 用海面积量算

该项目用海的面积测算使用 CGCS2000 坐标系，高斯-克吕格投影法，中央子午线为 109°30'E。绘图采用 AutoCAD 软件成图，面积量算直接采用该软件面积量算功能，其算法与坐标解析法原理一致。即对于有 n 个界址点的宗海内部单元，根据界址点的平面直角坐标 x_i 、 y_i （ i 为界址点序号），计算各宗海的面积 S （ m^2 ）并转换为公顷。

面积计算公式如下：

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x^i (y_{i+1} - y_i)$$

式中，S 为宗海面积（m²），x_i、y_i 为第 i 个界址点坐标（m）。

最终计算得到项目用海面积为 4.8656 公顷。

7.5.3. 宗海图绘制

本项目用海依据采用 2019 年海南省海岸线修测成果，宗海位置图底图采用 1:20000 的数字底图（投影是高斯-克吕格投影，深度基准为当地理论最低潮面，坐标系为 CGCS2000）。宗海界址图底图采用中铁第四勘察设计院集团有限公司提供的总平面布置图，该总平面布置图为 CGCS2000 大地坐标系，本项目通过将 CGCS2000 大地坐标的 CAD 文件导入 GIS 软件计算得到相应坐标。宗海位置图如图 7.5-1 所示。

本项目的一级用海类型为海底工程用海，二级用海类型为海底隧道用海。根据《海籍调查规范》（HY/T124-2009）的规定，本项目隧道的界址范围以其外缘线为界。宗海平面布置图如图 7.5-2 所示，宗海界址图如图 7.5-3 所示。

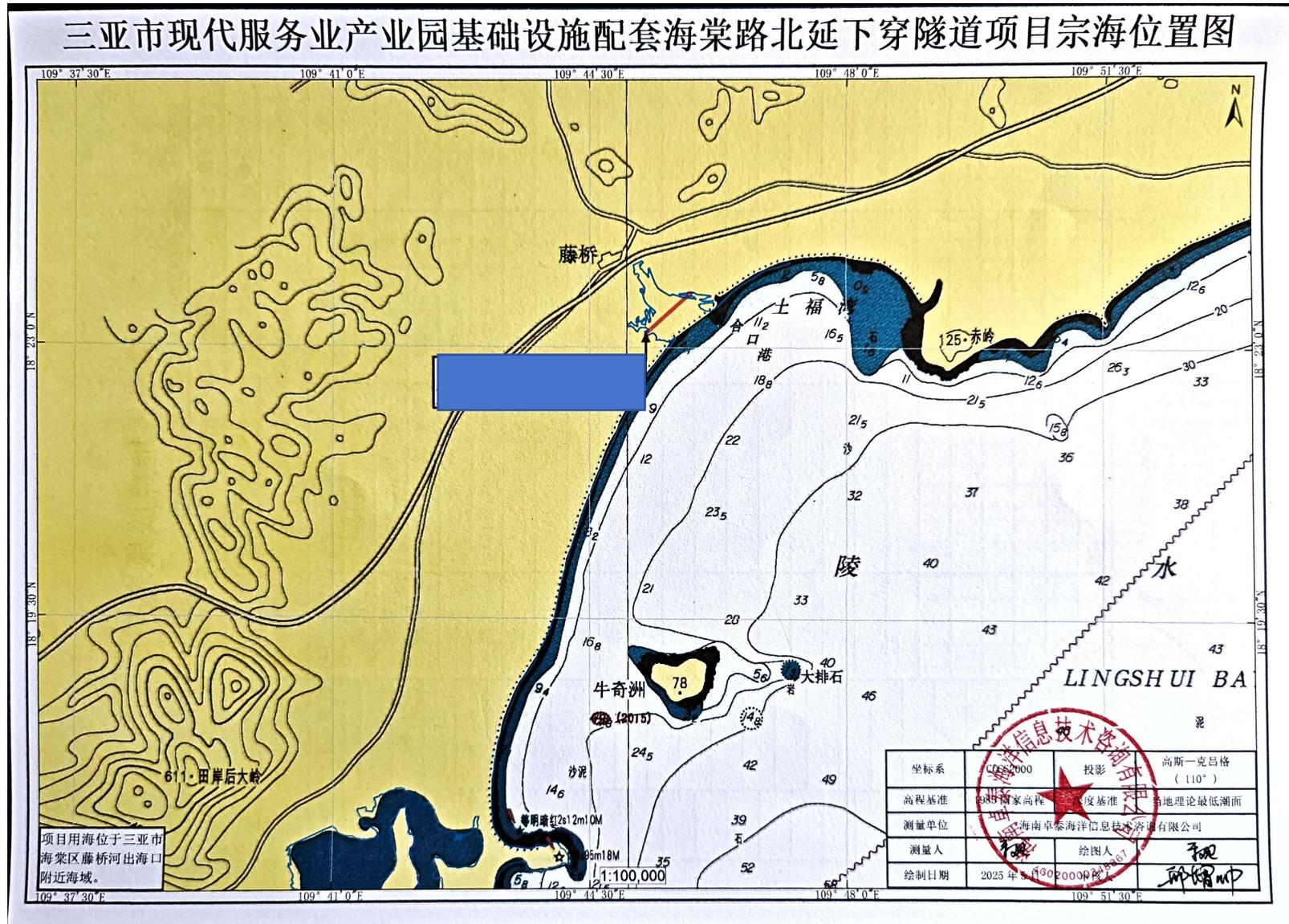


图 7.5-1 宗海位置图

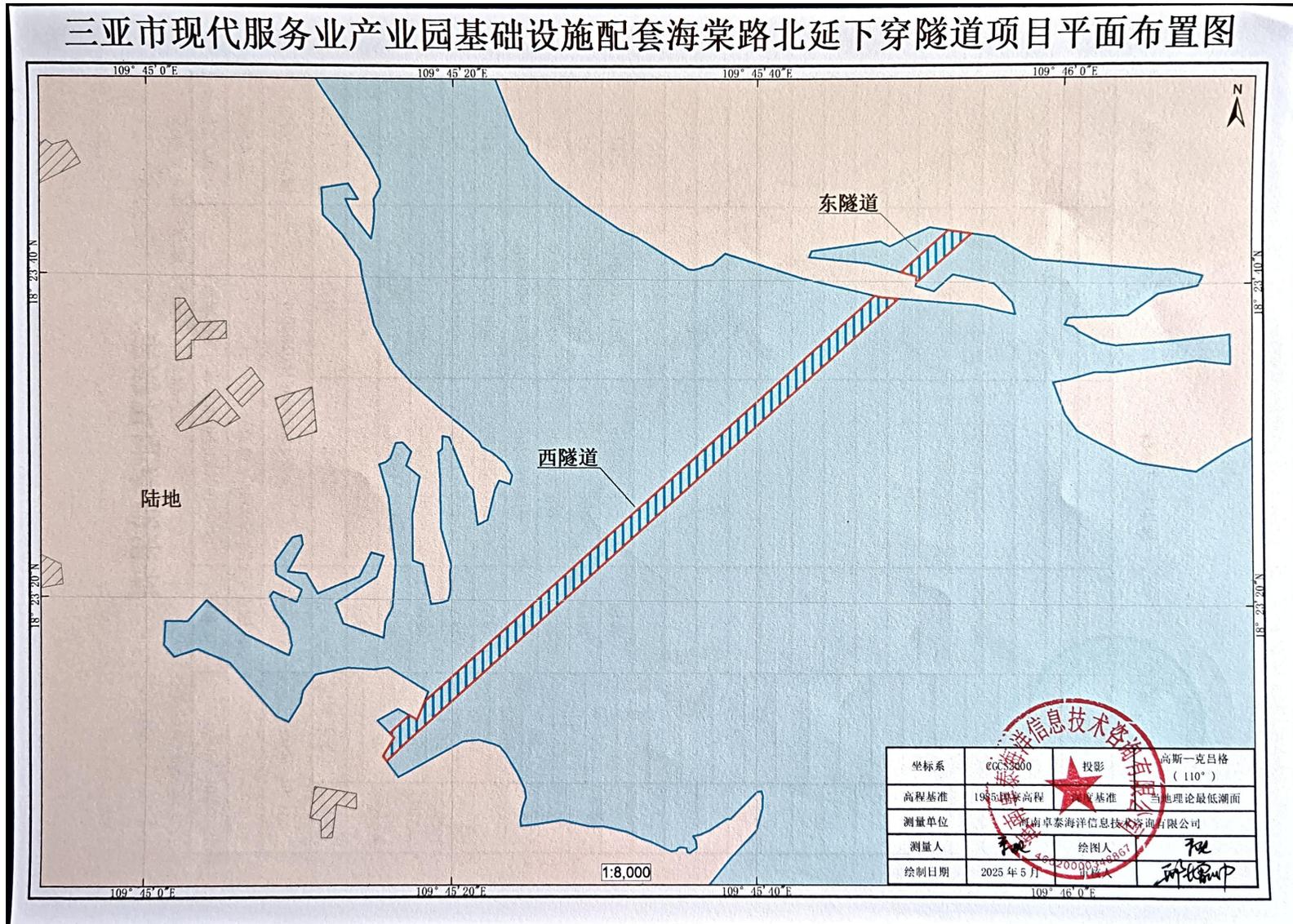


图 7.5-2 宗海平面布置图

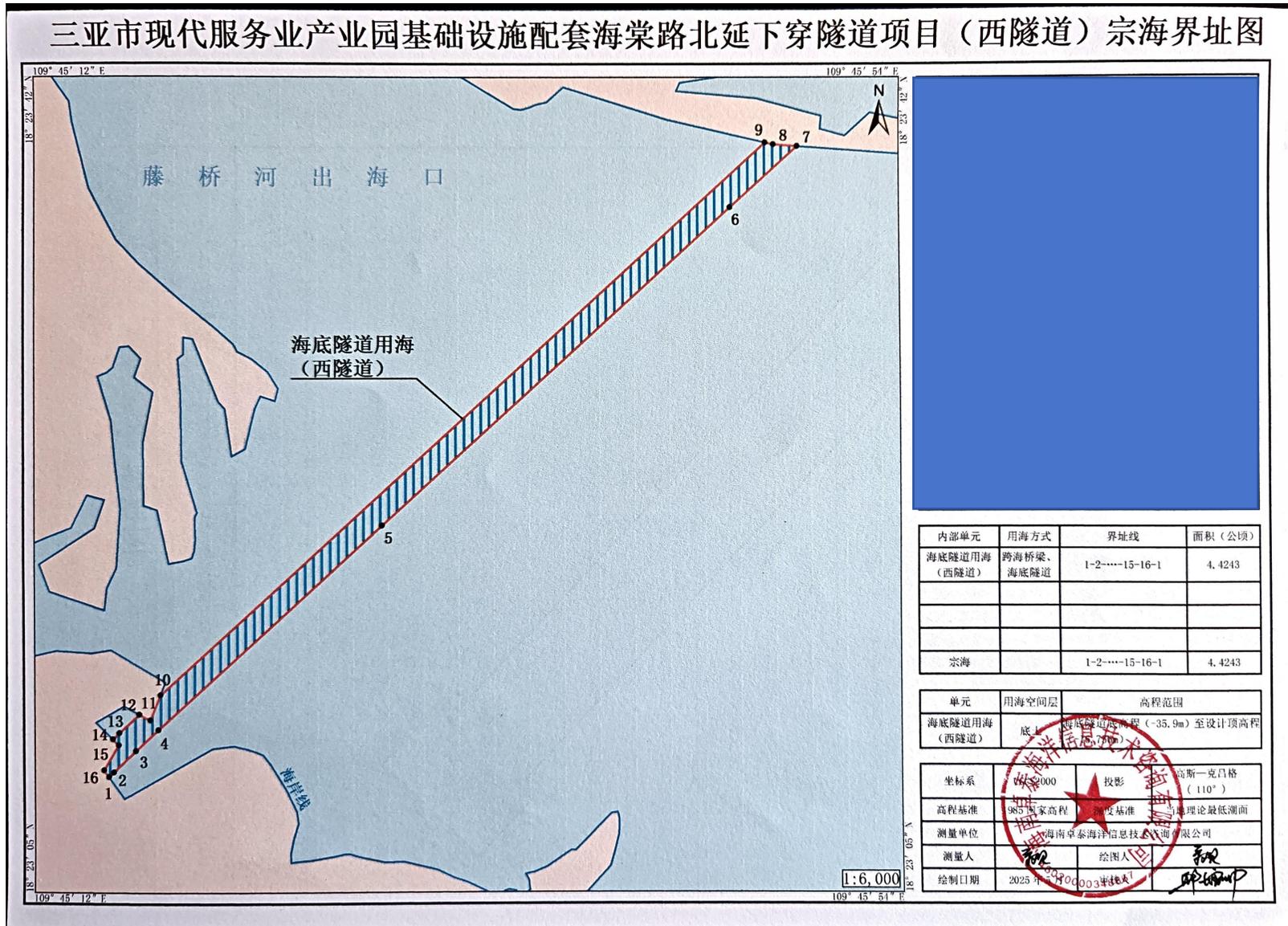


图 7.5-3a 宗海界址图

7.6. 用海期限合理性分析

根据《三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目可行性研究报告》，隧道设计使用年限为 100 年，但本项目隧道作为海棠湾交通路网的重要组成部分，属于交通运输用海，为公益性用海，因此根据《中华人民共和国海域使用管理法》的规定：“公益事业用海四十年。”因此，项目用海可申请 40 年。

项目具体用海年限应以管理部门批准年限为准，当项目的海域使用权到期后，项目申请人仍需使用该海域，应依法申请继续使用，获批准后方可继续用海。

8. 生态用海对策措施

8.1. 概述

本项目使用类型为海底工程用海（一级类）中的海底隧道用海（二级类），用海方式为海底隧道，项目隧道采用盾构法下穿藤桥河，登陆点位于陆域，所在海域的海岸类型为人工岸线，项目用海不占用岸线。海底隧道用海使用的是海域的底土空间，隧道顶距离现状海床 12m 距离，项目对海域水文动力、冲淤环境没有影响，对海洋生态环境没有影响。

(1) 海洋水动力环境

本工程属于海底工程，涉海段采用盾构法施工，隧道直接穿越海底，并与海床表面预留一定距离，对工程区域水动力不产生影响。

(2) 地形地貌与冲淤环境

本项目涉海段隧道埋于地下，建成后不存在裸露于海床之上的构筑物，因此隧道工程建设不会改变该水域的海床演变规律，也不会对海床稳定产生不利影响，对附近潮流动力也不会产生明显不良影响。故本项目涉海段对地形地貌与冲淤环境不会产生不良影响。

(3) 海洋水质环境

在项目施工过程中采取严格的保护措施的前提下，本项目所在的海区海洋水质环境不会产生不良影响。

(4) 海洋沉积物环境

施工振动轻微，工程建设不会导致海底沉积物化学溶出，隧道上方表层沉积物类型、粒度参数等物理特性也不会发生明显变化，不会对海洋沉积物环境质量产生不良影响。

(5) 岸线资源

本项目海底隧道采用盾构法施工，项目用海使用的是海域的底土空间，从海底底土穿越岸线，利用了岸线的立体空间，不实际占用岸线，不改变岸线类型及长度，不影响岸线形态及生态功能。

(6) 生物资源

本项目海底隧道采用盾构法施工，仅占用海底底土，施工产生的振动，噪声均不大，对鱼类等海洋渔业资源不会造成伤害，不会对海洋生物资源产生影响。

综上，项目用海基本不会带来明显生态问题。

8.2. 生态用海对策

本项目隧道采用盾构方式下穿藤桥河口海域，登陆点位于陆域，项目设计能保持潮汐通道畅通、不涉及生态敏感目标，尽可能减少对海洋自然资源的占用等。用海方式为海底隧道，对周边海域水动力冲淤环境、海洋生态环境没有影响，海底隧道不占用岸线。

本项目施工过程中产生的生活污水和生产废水均收集上岸处理，其中生活污水经收集后进入市政污水管网，最终进入污水处理厂达标后排放，生活垃圾收集后定期清运；整体上项目产生的废水、废弃物均得到有效的处置，不排海，不对海水水质、沉积物、生态环境造成影响。

8.2.1. 生态保护对策

8.2.1.1. 施工阶段生态保护对策措施

按照《中华人民共和国海域使用管理法》的规定，海洋产业的发展必须符合海洋功能区划和海域开发利用与保护总体规划的要求，以保护海洋资源和海洋环境为前提，海洋开发活动要实施综合管理，统筹规划，海洋资源的开发不得破坏海洋生态平衡。

8.2.1.2. 施工期污染排放与控制

本工程施工期产生的生活污水和生产废水均已进行有效的收集处理或交有资质的单位处理，不直接排放海域，此外，本工程为城轨过江隧道工程，运营期间会产生少量渗漏水或消防、冲洗水，少量的管理人员生活污水和生活垃圾，其中废水和生活污水排入市政管网，生活垃圾由环卫部门及时清运处理，对海洋水质、沉积物和生态环境的影响很小。综上所述，本工程施工期及运营期对废水、固废等污染物均采取有效的措施进行收集处理，严格进行污染物排放与控制，污染物的管理满足该类项目和海域的管理要求。

8.2.2. 风险防范对策措施

8.2.2.1. 自然灾害风险防范措施

(1) 工程地质灾害风险防范措施

①项目场地属于地质灾害非易发区，构筑物按有关规范执行。

②项目的基础施工必须严格按照设计选用的基础处理方式，以及基础施工规范进行，加强监理工作。

(2) 地质灾害应急预案

制定突发地质灾害应急预案，建立响应体系，尽可能减小事故发生的规模和其所造成的损失与危害。应急预案应报备相关市、区人民政府以及街道办，其主要内容有：

①及时划定地质灾害危险区，设立明显的危险区警示标志，确定预警信号的撤离路线，组织群众转移避让。

②建立应急组织机构，明确分工、职责。

③制定地质灾害应急响应程序，并进行相关的培训、演练。

④配备应急装备及通讯、交通等必要设备。

⑤应急救护及灾害控制、削减的措施。

⑥应急监测及事故后评估。

⑦风险事故的善后处理措施。

⑧事故过程的记录及报告。

8.2.2.2. 工程设计防范措施

引起火灾的因素很多，首先应通过预防，防患于未然，将火灾发生的可能性降至最低，主要措施有：

(1) 隧道内的火灾绝大多数是列车火灾引起的，因此，首先应提高列车自身的防火灭火能力；非正常状态下，列车应尽量驶出隧道，最好不要停在隧道内，以减轻灾害对司乘人员安全的威胁；

(2) 提高隧道内易燃设施的防火能力，杜绝隧道内尤其是电力设施的火灾隐患；

(3) 建立健全隧道防火管理制度，包括：防火安全制度，车辆维护保养制度，进入隧道列车管理制度等；

(4) 成立专门的管理机构，建立指挥救援中心，组成由铁路、地方、消防多方组成的消防救援队伍，组成完善的防灾、救灾体系；

(5) 利用现代技术，参考国内外隧道消防技术，结合隧道的实际情况，建立先进的隧道火灾报警系统，灭火系统、事故通风系统、通信系统等防灾、救灾设施。

根据《铁路工程设计防火规范》（TB10063-2007、J774-2008），长度 5km 以上的隧道需考虑防火设计。

(1) 隧道内通风、电力、通信信号设备洞室均应设置耐火极限不小于 3.0h 的隔墙以及防护门，客运专线铁路隧道防护门的防爆荷载不应小于 0.05MPa；

(2) 隧道内通风、电力、电力牵引、通信、信号设备洞室应设置火灾自动灭火装置，并应设置 3 具 4.0kg 的 ABC 干粉灭火器；

(3) 5km 以上隧道两侧的洞室内应设事故报警电话。电话应有防潮、防风压、防震、防电磁影响等防护设施，其上方应有指示标识（灯光式或蓄光式）和里程显示；

(4) 隧道内敷设的电力、通信、信息、信号的光缆、电缆及电线的绝缘、护套及机械防护材料，宜采用低烟无卤难燃材料。电缆的余长腔内应采用防火堵材料进行封堵；

(5) 隧道内和用于疏散、救援的通道内应设置疏散照明，其灯具应有防潮、防风压、防震动功能，安装高度距地面不应大于 2.5m，地面最低照度不应小于 0.5LX，供电时间不应小于 2.0h；隧道内和用于疏散、救援的通道内应安装灯光或蓄光型疏散标志，疏散标志应沿疏散方向设置，其指示标志应符合现行国家标准《消防安全标志规范》（GB13495）的有关规定。

8.2.2.3. 施工期风险防范对策措施

(1) 盾构进出工作井始发到施工风险防范措施

①严格控制始发端头地层的加固质量；②设置性能良好的密封止水装置；③严格控制主要掘进参数，减少压力波动，采用低速均匀推进，避免对土体大的扰动，加强泥浆管理和出土量监控，防止超挖和欠挖。

(2) 穿越特殊地层段（软硬不均、硬岩）风险防范措施

①盾构机进入软硬不均地层前应进行全面检查，保证设备性能完好。

②采用合理的刀具配置，根据开挖面硬岩比例和强度及时调整滚刀所占比例。

③根据地质条件和掘进过程中的监测结果，不断优化掘进参数，宜采用降低刀盘转速、增加刀盘扭矩、降低掘进速度、增大推力等相互协调的掘进参数，并严格控制泥水仓压力。

④及时进行同步注浆与二次注浆。

⑤施工过程中严格控制盾构机掘进姿态，应经常进行盾构姿态检测，严禁出现盾构姿态突变。

⑥盾构纠偏必须及时且连续，不可在发生偏差量过大时再采取一次过量纠偏。

⑦掘进过程密切观察出土排渣量和渣土成分，严格控制出渣量，防止出渣量与实际掘进开挖量出现过大偏差，维持掘进速度与出渣量的相对平衡。

⑧刀具更换应根据其磨损实际情况有计划地进行，防止造成新刀具快速磨损的情况。

⑨遇到特殊情况时应停止掘进，查找和分析原因后再确定处理方案。

(3) 盾构段开挖面失稳风险防范措施

①正确地计算并选择合理的舱压，经常检查开挖面水压信号；

②控制推进速度和泥渣排土量，及时补给新鲜泥浆量；

③利用探测装置进行土体崩塌检查。

(4) 盾尾密封失效风险防范措施

①在盾构机上设置多道密封刷，并采用自动或手动装置经常向密封刷注油脂；

②提高管片拼装质量，以防盾构与管片之间建筑空隙一边过分增大、一边过分减少，从而可能降低盾尾密封效果；

③盾尾配备紧急密封装置。

(5) 侧穿椰林路桥梁桩基时风险防范措施

①盾构机上跨前应进行全面检查，保证设备性能完好。

②根据地质条件和掘进过程中的监测结果，不断优化掘进参数，宜采用降低刀盘转速、增加刀盘扭矩、降低掘进速度、增大推力等相互协调的掘进参数，并严格控制泥水仓压力。

③及时进行同步注浆与二次注浆。

④施工过程中严格控制盾构机掘进姿态，应经常进行盾构姿态检测，严禁出现盾构姿态突变。

⑤加强桥梁桩基的监测。

(6) 较大的地层损失及不均匀沉降风险防范措施

①在盾构机试掘进段，通过信息化施工积累掘进参数，使正常掘进时掘进参数达到最优化；

②采用气垫式泥水平衡盾构。

③加强盾构推进过程中切口水压、推进速度、推力及扭矩等主要技术参数的控制，防止波动过大；

④加强盾构设备的保养与维修，避免盾构发生故障；

⑤通过同步注浆及时充填盾尾建筑空隙，严格同步注浆量、注浆压力和注浆质量的控制，减少施工过程中土体变形。

(7) 围护结构折断或大变形、坑底隆起、坑底管涌、流砂风险防范措施

①设计时认真分析地质、水文勘察资料，考虑各种不利工况及组合；施工中严格按照规程、规范及设计文件要求施工；

②做好紧急预案及应急物资的储备；

③加强施工监测及信息反馈，做到信息化施工。

8.2.2.4. 施工期隧道坍塌、涌水风险的防范及应急反应措施

(1) 深化地质勘察工作，准确评价隧道地质状况，以确定隧道位置。对于暗挖隧道方案，应探明并准确评价岩石覆盖层高度、岩体风化界面位置、断裂破碎带形状及程度、区域内各层的物理力学性质、渗透系数等。工程前期应进一步查清探明存在风化深槽的三维形状和分布情况，摸清风化槽的物理力学性质和渗透性能，并对隧道通过风化槽的工程处理措施进行相应的专题研究，克服施工中可能存在突水突泥的难点，以降低施工风险。在地质勘察的基础上，确定合适的安全顶板厚度，降低隧道坍塌风险。

(2) 为防范涌水，必须将盾尾与衬砌之间的建筑空间及时注浆充填，同时改善隧道衬砌的受力状态，加固地层的效应，封堵从隧道后部向前流动的地下水。因此，掘进

时同步注浆为主，二次注浆为辅的注浆作业已成为防范隧道坍塌和涌水的有效手段。

(3) 根据地质条件合理进行盾构选型和关键参数确定，研究开发与盾构机设计配套的超前地质预报系统，力求保证对前方开挖的地质情况做到心中有数，保证开挖面稳定和施工安全。

(4) 建立土压平衡掘进，充填土仓以减少附近地下水对开挖面的补充；使用泡沫剂等碴土改良剂对开挖面进行止水，并改善渣土的流动性，使出渣畅顺；同时尽量提高施工进度，减少故障或非故障停机时间以减少地下水的补充。

(5) 根据地质、岩性情况，利用盾构机上的超前注浆孔进行超前注浆，加固刀盘前方土体，尽可能地截断水源，防止大量涌水。

(6) 注意采用先进有效的技术对断层和软弱地层进行加固，防止发生通透性的突水突泥问题；从安全角度考虑，对水下隧道全部采用抗水压全封闭衬砌，并做好施工缝和沉降缝的防水处理，解决好初期支护和二次衬砌之间的密实问题，提高结构的抗压能力，避免运营期严重漏水或突水。

(7) 注重施工安全，施工前应制定隧道坍塌、突水突泥事故的应急反应体系（预案），包括指挥、救援与恢复的软硬件系统（人员组织、计划和设施）。

8.2.2.5. 运营期风险对策防范措施

主体结构防灾从以下几个方面实现：

①通过合理的结构计算，确保主体结构具有足够的承载能力

主体结构计算时除考虑水土压力、结构自重、车辆荷载等常规荷载外，还考虑地震、爆炸、火灾等荷载，并采用多种模型进行了对比计算，使在各种荷载作用下结构具有相应的安全度，不致发生倒塌事故。

②防范隧道混凝土开裂、防水材料密封设防不足等造成漏水

采用高性能混凝土，混凝土施工严格按照程序进行。盾构隧道结构采用两道防水加关键部位嵌缝，确保防水可靠。

③加强地下结构防水

控制主体结构自身防水、施工缝防止和防水层处理；处理好围护结构中地连墙分幅处防水；围护结构外侧旋喷以提高整体防水性能；设置防水板以提高防水效果。

④加强管片接缝的防水设计

根据防水等级为二级的目标要求，采取多道措施防水，确保防水效果。

⑤明挖段抗浮安全系数不足地段采用抗拔桩处理

明挖段抗浮安全系数不足地段采用抗拔桩处理后，由于抗拔桩既能承受拉力，也能承受压力，且刚度较大，对减少不均匀变形十分有利。

⑦同步注浆控制包括注浆量和注浆压力控制。盾构推进时同步注浆要及时、充足；为了控制同步注浆压力，在注浆管路中安装安全阀，以免注浆压力过高而顶破覆土。为了加强对正面土体的支护能力，防止地面冒浆，采用重浆推进。泥水密度控制在 1.2g/cm^3 左右，粘度控制在 $22\sim 25\text{s}$ ；为了确保泥水质量，在推进过程中，泥水处理人员应加大对泥水的测试频率，及时调整泥水密度，保证地基的稳定性，防止因地基不均匀变形造成地面沉降，影响正常运营。

⑧通风系统的防灾措施

本工程采用全射流风纵向式通风方式。同时，纵向通风系统兼火灾时排烟系统，工作井内的大型轴流风机兼火灾时排烟风机。当火灾位置位于进洞口暗埋段或盾构段时，开启进洞口至出洞口工作井区段内所有射流风机、出洞口工作井内的大型轴流风机，烟气从风塔排出；当火灾位置位于出洞口工作井至出洞口区段，开启该区段内的所有射流风机，烟气从出洞口排出。

⑨通信、信号、监控、供电、照明等方面的防灾措施

a 隧道内紧急电话布置在侧墙设备箱洞内，间距 100m 左右，为突发事件或抛锚车辆提供紧急救助的手段，紧急电话直通监控中心，免拨号，摘机即可通话，不进入市话网络，通话内容由录音机记录。

b 配备有线广播功能，主要在隧道内阻塞、交通事故、火灾等情况下使用。

c 火灾报警联动控制系统。系统检测隧道内的火警和联动控制消防设备的运行，为隧道的安全运行提供保障。当隧道发生火警时，及时报警，提供救援和消防指挥，联动有关设备的运行，进行扑救，同时组织人员疏散。

d 隧道内可以满足无线通信要求。

e 应急照明措施。隧道内应急照明采用集中式 EPS 电源装置供电，应急照明供电系统在正常外部电源全部失电或在正常母线电压低于额定电压的 85% 时，自动启动 EPS

不间断的交流电源，应急时间为 3.0 小时。

f 综合监控措施。隧道健康系统以确保隧道运营、人身安全及提高车辆通过能力为目的，满足疏导交通、防灾和救灾的功能要求。

g 在隧道洞口前不小于 1km² 范围内应设置车辆引导标志。

8.2.3. 区划实施对策措施

本项目属于海底隧道工程，仅在发生风险事故后可能会有污染物的排放，项目施工期与运营期正常工况下基本无污染物排放，不涉及总量控制要求。

选址符合海洋功能区划和区域及行业相关规划，选址合理可行。

本工程盾构隧道直接穿越海底，并于河床表面预留一定的距离，对工程区域水动力不产生影响，对地形地貌与冲淤环境无影响，对海洋沉积物环境质量无影响，海洋生态环境无影响，对“三场一通道”无影响，对航道疏浚和船舶抛锚无影响，项目建设不会对现有防洪工程产生不利的影 响，不占用海洋自然资源空间。本项目采用盾构法施工，施工不产生悬浮泥沙，有利于维护海域的自然形态和生态功能。

根据《中华人民共和国海域使用管理法》第四条规定：“国家实行海洋功能区划制度，海域使用必须符合海洋功能区划。”《中华人民共和国海域使用管理法》第二十八条规定“海域使用权人不能擅自改变经批准的海域用途；确需改变的，应当在符合海洋功能区划的前提下，报原批准的人民政府批准”。海洋行政主管部门依法对海域使用的性质进行监督，对违法行为依照《中华人民共和国海域使用管理法》第四十六条处罚。可见，海洋功能区划是海域使用的基本依据，海域使用权人不能擅自改变经批准的海域位置、海域用途、面积和使用期限。

海洋功能区划管理，是指在海域使用过程中，依据本地区海洋功能区划管理的具体要求，在海洋功能区监测和评估基础上，开展有针对性的海洋功能区维护活动，使项目用海毗邻海域的海洋功能长期保持健全状态。海洋功能区划管理的范围，既包括项目用海所在海洋功能区，也包括受项目用海影响的毗邻海洋功能区。海洋功能区划的管理，要注意功能区的兼容性和排他性，注意功能区自然属性的维护、功能区环境质量的维护以及毗邻功能区的保护。

本项目海棠路北延下穿隧道所在区域的海洋功能区划为海棠湾游憩用海区。本项目为海底隧道工程，不会影响到功能区用海需求，项目用海经过论证后平面布置合理，体现集约节约用海的原则，项目建设期间采取的环境保护措施，能够有效降低对附近水产资源的影响。因此，本项目的建设满足了对所在海域海洋功能区的使用管理要求。

8.2.4. 环境监测措施

环境监测在环境监督管理中占有主要地位，通过制定并实施环境监测计划，可有效监督各项环保措施的落实情况，及时准确地掌握环境质量和污染源动态，及时发现存在问题，以便进一步修正、改进环保工程措施，更好的贯彻执行有关环保法律法规和环保标准，确实保护好环境资源和环境质量，实现经济建设和环境保护协调发展。

根据本建设项目的工程特征和区域环境现状、环境规划要求，制定本项目的环境监测计划，包括环境监测的项目、频次、监测实施机构、监督机构等具体内容，分施工期和运营期两个时段。

8.2.4.1. 建设单位生态环境管理机构

为了有效保护拟建项目所在区域环境质量，切实保证本报告提出各项施工期环境保护措施的落实，除了施工单位应设置环境保护管理机构外，针对本项目的建设施工，项目建设单位成立专门小组，负责监督施工单位对各项环境保护措施的落实情况，并在选择施工单位前，将主要环境保护措施列入招标文件中，将各施工单位落实主要环境保护措施的能力作为项目施工单位中标考虑因素，将需落实的环保措施列入与施工中标单位签署的合同中，聘请有资质的施工监理单位对施工单位环境保护措施落实情况进行跟踪监理，并且配合环境保护主管部门对项目施工实施监督、管理和指导。

加强建设项目的环境管理，根据本报告提出的污染防治措施和对策，制定出切实可行的环境污染防治办法和措施。项目建设单位环保管理机构的职责如下：

- (1) 宣传并执行国家有关环保法规、条例、标准，并监督有关部门执行；
- (2) 负责本项目施工期与运营期的环境保护管理工作。负责监督各项环保措施的落实与执行情况；

(3) 在施工地点，应由工程环境监理人员在施工现场跟踪监控管理，监察环保设施设置与实施情况；

(4) 工程环境监理纳入工程监理，接受海洋主管部门的指导和监督，以便更好地履行职责；

(5) 按相关管理部门的规定和要求填报各种环境管理报表；

(6) 配合海洋相关管理部门进行环保设施竣工验收；

(7) 负责对营运期污染事故的调查、监测分析工作，并写出调查报告；

(8) 协调、处理因本项目的建设和营运所产生的环境问题而引起的各种投诉，并达成相应的谅解措施；

(9) 环境监测工作及监测计划的实施，应由建设单位的环保机构完成，在不具备条件的情况下亦可委托有资质的环境监测站协助进行。

8.2.4.2. 环境保护管理建议

针对本项目的建设和投入营运，提出如下环境保护管理要求和建议：

(1) 所有与本项目直接相关的污染防治设施的建设必须与项目主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。

(2) 项目竣工投入试运营后，应按照有关要求申请进行建设项目环保竣工验收。

(3) 建议本项目在落实各项环境保护设施时，采用生态环境主管部门认证合格单位的污染治理技术活设施。

8.2.5. 生态跟踪监测

根据本项目不同建设阶段的工程特征和主要环境影响问题，结合区域环境现状、敏感目标的具体情况，按阶段分别制定本项目的环境监测计划。监测计划分为施工期和营运期两个时段，包括环境监测范围、项目、频次、监测实施机构等具体内容。

8.2.5.1. 施工期监测

由于本项目属于海底隧道工程建设，对水质、生态、沉积物等影响均较小，故施工期可以不对其进行生态监测。

8.2.5.2. 运营期监测

运营期主要是对项目所在海域的水下地形及地面沉降情况进行检测。

(1) 水下地形观测

应加强对工程附近水下地形进行观测，建议在运行 1 年、6 年各进行一次。

(2) 地面沉降情况监测

在隧道两侧或构筑物设置监测站位监测地面沉降情况，每月各监测一次。

(3) 隧道坍塌、突水突泥事故的应急监测

应加强对隧道坍塌、突水突泥事故的应急监测，建议在运营 1 年、3 年和 6 年各进行一次。

9. 结论

9.1. 用海基本情况

三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目起点位于海棠北路与龙海路交叉口，线位沿海棠路北延下穿椰子洲岛名声风景区，终点位于山海高速与柳州路交叉口。隧道全长约 3785m，采用明挖暗埋的隧道施工方法。其中盾构段长约 2450m，明挖段长约 1335m；穿越椰子洲岛风景保护区及水域段采用盾构法施工暗挖隧道，两岸采用明挖法施工。

根据《海域使用分类》（HY/TC123-2009），本项目用海类型为“海底工程用海”（一级类）中“海底隧道用海”（二级类），用海方式为“构筑物”（一级方式）中“海底隧道”（二级方式）。申请用海面积为 4.8656 公顷，项目申请用海期限为 40 年。

9.2. 项目用海必要性结论

本项目符合《海南省国土空间规划（2021-2035 年）》《三亚市国土空间总体规划（2021-2035 年）》，响应《三亚海棠湾国家海岸休闲园区控制性详细规划》，有利于改善片区层面交通问题；符合《扩大内需战略规划纲要（2022-2035 年）》的要求。

本项目作为海底隧道工程建设，项目用海是由工程建设的特殊性及其项目建设的必要

性决定的。

项目的建成将支撑三亚市城市空间结构的形成，实现三亚南部国际贸易港和国际旅游城的目标，特别是支撑海棠湾“一线、五楔、九片区、三统筹”的空间结构，对于海棠区未来的发展和定位是具有极其重要的作用。

隧道方案在对航运的影响、受恶劣天气通行影响、对生态环境、基本农田的影响、对沿线居民的环境影响及社会稳定影响、对两岸占地影响、对沿线两侧地块环境及价值的影响、拆迁影响、海岸线景观效果、对岸线资源的影响及与规划的协调性等方面具有优势。

因此，本项目的用海是必要的。

9.3. 项目用海资源环境影响分析结论

本项目为海底隧道工程，工程采用盾构法施工，盾构始发井、接收井均在陆域上，盾构全过程在海床以下进行，覆土最小厚度约 13.4m 不对海洋水环境产生扰动，不影响海域水文动力环境。对工程区大范围海域的潮流动力条件基本没有影响。

根据相关文献资料研究，盾构隧道施工对海床存在轻微的扰动影响。根据相关文献资料研究，盾构隧道施工对海床存在轻微的扰动影响。

本项目施工期废水主要为施工生活污水、施工生产废水、盾构泥浆废水和基坑涌水。基坑涌水委托清运，废水不排入海洋，对海洋水质环境无影响。

运营期清洗隧道清洗废水收集到隧道废水池后委托清运。隧道清洗废水泵至上岸后经预处理后纳管，不会对地表水体产生影响。

本工程海底隧道施工采用盾构法，通过在海床下暗挖隧洞的方法，可以保持开挖表面稳定。此种施工方法对海洋表层沉积物影响不大，仅由于盾构法施工过后可能会引起海床表面轻微的塌陷，对海床下层的沉积物环境可能产生一定的影响。可见，施工活动除对海底沉积物造成部分位移和松动外，无其他污染物混入，因而沉积物环境质量不会产生明显变化，其质量状况仍将基本保持现有水平。

项目涉海段采用盾构法施工，施工期不会在海域范围内进行表层开挖，亦不会在海岸边修筑施工便道，或在海上搭建施工平台，不破坏海岸线自然性状，不扰动海床。项目建成后，亦不会在海床上留下任何永久性构筑物。

本项目建设对海洋生物的主要影响包括施工期间的振动，这些影响是短暂的，施工期结束后就会消失。施工过程不会产生悬浮物，不会引起局部海域水体浑浊，对海洋生态环境基本不会造成影响。

9.4. 海域开发利用协调分析结论

本项目主要利益相关者有海南省环岛旅游公路陵水土福湾至三亚海棠湾通道工程（藤桥东河段），利益协调部门有三亚市交通运输局、三亚市自然资源和规划局等。本项目用海与周边利益相关者和利益协调责任部门具有可协调性，用海申请单位应切实落实与利益相关者达成的协调协议或方案，与需协调部门达成一致协调意见，保障用海秩序。

9.5. 国土空间规划符合性结论

项目用海符合《产业结构调整指导目录（2024年本）》，符合《海南省国土空间规划（2021-2035年）》、《三亚市国土空间总体规划（2021-2035年）》《海南省海岸带及海洋空间规划（2021-2035年）》《海南省国土空间生态修复规划（2021-2035年）》《三亚市海域使用详细规划》等要求，符合“海南省生态保护红线”及“海南省生态环境管控分区”管控要求。

9.6. 项目用海合理性分析结论

本项目是支撑三亚市和海棠区城市空间结构，实现三亚南海自由港和国际旅游城的目标的需要，选址区域的社会条件符合项目用海的需求；路线重点绕避已出让地块，也尽量减少对椰子洲岛风景区开发的影响，节约用地，合理布置施工，尽量不破坏工程范围外的原有植被，本项目的选址与环境地质条件基本适宜。

本项目南岸接龙海路，北岸接椰州路，两岸接线简单，南岸由于上下层先后出地，与既有道路衔接存在前后高差，上层为由北往南行驶车辆，下层为有南往北车辆，布局与南岸及北南交通出入均能很好地衔接。该平面布置方案满足了三亚市海棠区规划，降低施工风险等方面的要求，因此项目平面布置是合理的。

由于本项目位于海棠区藤桥河口处，一般建设通道有桥梁和隧道方案。桥梁方案由

于自身施工方法的局限性，存在征地拆迁量大，对地表地貌造成破坏且难以恢复，对地区规划影响较大等问题，考虑到椰子洲岛风景名胜区保护要求严格，采用隧道方案，因此，项目用海方式是合理的。

本项目用海类型为海底隧道用海，用海方式为暗挖海底隧道，申请隧道用海面积为4.8656ha，由于本项目施工方法为盾构法，隧道从海底底土穿越，因此不占用岸线。

从海洋资源利用率和海域管理的角度出发，本项目的用海面积可以满足项目的用海需求，符合相关标准和规范。

本项目用海面积为4.8656公顷，用海面积可满足项目用海的需求。界址点测量和用海面积量算符合《海籍调查规范》《海域使用面积测量规范》等相关规范的要求。因此，项目用海面积是合理的。本项目属于公益事业用海，结合本项目结构物涉及使用年限，本项目申请用海期限为40年，既符合隧道设计标准和营运需要，也符合《中华人民共和国海域使用管理法》有关规定。因此，本项目申请用海期限是合理的。

9.7. 生态用海对策结论

本项目为海底隧道工程，采用盾构法施工，隧道从海底底土穿越，不会对海洋水文、水质、沉积物、生态环境等产生影响，不会造成海洋生物损失。

9.8. 项目用海可行性结论

本项目已纳入《三亚市国土空间总体规划（2021—2035年）》市域综合交通规划，项目涉海段均采用盾构法施工，对海域影响极小，同时项目建设可以联通海棠北路至海三高速交通枢纽，对支撑三亚和海棠湾国土空间布局，改善海棠湾对外连接，衔接对外高速公路、环岛旅游公路，改善区域内部交通系统，促进地区交通微循环等多方面具有重要意义。

本项目属于《产业结构调整指导目录》（2024年本）中第一类“鼓励类”，“二十四、公路及道路运输”中的“1、公路交通网络建设”，符合国家的产业政策。

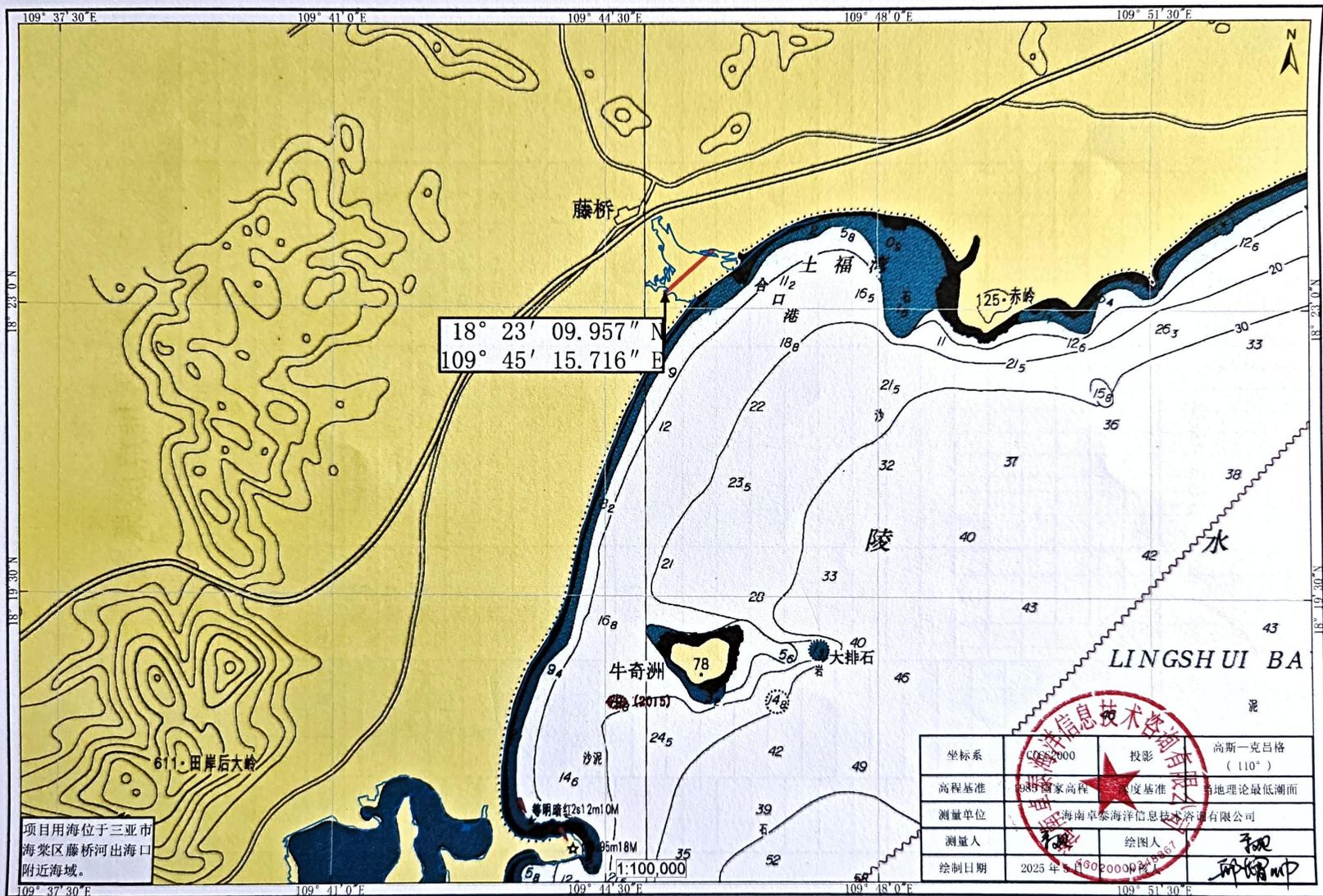
此外项目建设还符合《海南省国土空间规划（2021—2035年）》《三亚市国土空间总体规划（2021—2035年）》《海南省国土空间生态修复规划（2021—2035年）》国

土空间“三区三线”划定成果、《三亚市海域使用详细规划》等的要求。项目施工期和运营期正常排放的污染物对现有环境功能不会造成较大改变，项目建设可获得较好的社会效益和经济效益。

在建设单位认真落实本报告提出的各项环境保护对策措施得到全面落实的前提下，该建设项目是可行的。

综上，本项目用海是可行的。

三亚市现代服务业产业园基础设施配套海棠路北延下穿隧道项目宗海位置图



坐标系	CGCS2000	投影	高斯-克吕格 (110°)
高程基准	1985国家高程基准	深度基准	当地理论最低潮面
测量单位	海南卓泰海洋信息技术有限公司		
测量人	李强	绘图人	李强
绘制日期	2025年5月02日		