

· 港口 ·



## 地中海某油气码头总平面设计

叶剑<sup>1</sup>, 杨晓婷<sup>1</sup>, 宋伟华<sup>1</sup>, 张军<sup>1</sup>, 孙英广<sup>2</sup>

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290;

2. 中国港湾工程有限责任公司, 北京 100027)

**摘要:** 以地中海某油气码头现汇竞标工程为例, 针对波浪大、泊位多、环境条件复杂、可布置水域空间小、泊稳条件要求高、不确定性因素多的特点, 重点围绕狭小空间下防波堤和多泊位布置、口门外单点系泊停运不确定下航道布置等核心问题, 采用波浪潮流数值模拟、船舶操纵和系泊试验等方法, 通过多方案的研究论证形成科学、经济、合理的总平面布置方案, 提出和总结境外限额设计工程总平面布置的思路和设计经验, 供同类工程参考借鉴。

**关键词:** 限额设计; 狭窄水域; 油气码头; 总平面布置

中图分类号: U652.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0037-07

### General layout design of oil and gas terminal in Mediterranean

YE Jian<sup>1</sup>, YANG Xiaoting<sup>1</sup>, SONG Weihua<sup>1</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>, SUN Yingguang<sup>2</sup>

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China;

2. China Harbour Engineering Co., Ltd., Beijing 100027, China)

**Abstract:** This paper takes an oil and gas terminal's bidding project in Mediterranean as an example. In view of the characteristics of large waves, multiple berths, complex conditions, limited water area space, high requirements for downtime, and multiple uncertainties, this paper studies the core issues such as the arrangement of breakwaters and multiple berths layout in narrow space, as well as the channel layout under the uncertainty of single-point mooring operations outside the channel entrance gate. This paper uses the methods such as numerical simulation of waves and currents, ship maneuvering and mooring tests to determine the scientific, economic and reasonable general layout scheme through the research and demonstration of multiple schemes. This paper proposes and summarizes the main ideas and design experiences for the general layout of overseas budget-constrained design projects, which can provide references for similar projects.

**Keywords:** budget-constrained design; narrow water area; oil and gas terminal; general layout design

### 1 工程概况

某油气码头工程位于地中海南岸、阿尔及利亚东北部, 是近年来阿尔及利亚乃至北非地区最大的港口现汇竞标工程。该工程拟对现有石化港进行扩建, 建设1个25万吨级油品泊位、1个22万m<sup>3</sup>液化天然气(LNG)泊位、1个5万吨级集装箱泊位以及2个工作船舶泊位, 新建新东防波堤, 同时对现有北防波堤进行加固、延长, 使之满足新增泊位作业的要求。设计采用英国规范、欧洲规范等国

际通用规范<sup>[1]</sup>。

与国际上常见的投标工程不同, 该工程的招标文件中没有提供平面定义图, 码头位置、防波堤长度、航道布置均未知, 需要投标单位基于现有港址条件和招标文件中的功能要求, 自行提供投标平面并进行报价。在投标过程中, 在仔细阅读招标要求、执行标准的基础上, 充分考虑了当地水文、气象、地形、地质等自然条件, 通过学习当地港口平面布局特点, 吸收经验, 大胆突破

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 叶剑 (1978—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口、航道与海岸工程规划设计。

国内一些常规做法，提出极具竞争力的投标平面方案，协助总承包方成功中标，并且在中标后成功通过模型试验验证，顺利通过咨询工程师审批。

## 2 工程特点

1) 波浪大、潮差小<sup>[2]</sup>。本工程位于地中海南岸，波浪常浪向和强浪向为 NNW 向，次常浪向为 N 向。波浪玫瑰图见图 1，波高与周期联合分布见图 2。有效波高 1.5 m 以上的波浪占比约 10%，2.0 m 以上的波浪占比约 5%，100 a 一遇设计有效波高 8.0m。谱峰周期 10 s 以下的波浪占比 94%。NNW 和 N 向有效波高超过 1 m 的波浪分别为 12% 和 9%，NNE-N-ENE 向有效波高超过 0.3 m 的波浪为 11.3%。工程区潮差约 0.3 m，平均海平面季节变化约 0.15 m。

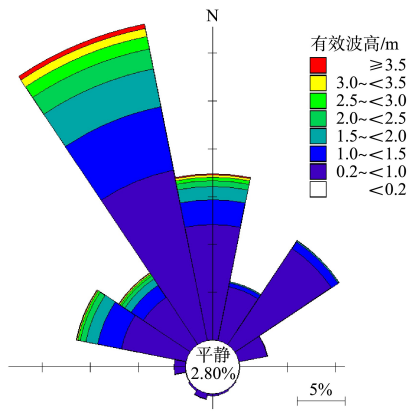


图1 波浪玫瑰图

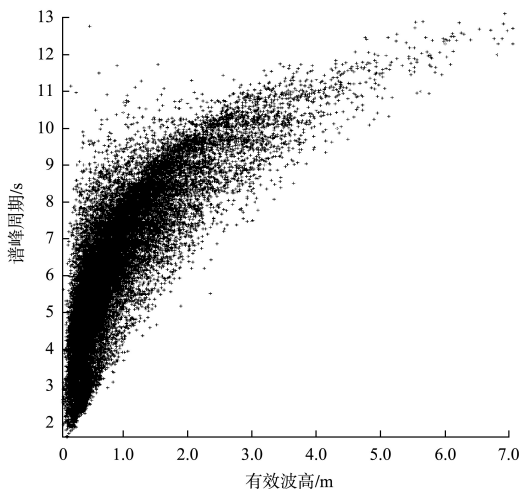


图2 波高与周期联合分布

2) 环境复杂，可布置的水域空间小。石化港现有 7 个 3 万~13 万吨级油气石化码头、1 个集装箱码头，防波堤呈双环抱式布置，口门向东。拟建工程在该基础上向东扩建，扩建时不能影响现有泊位运行。

口门东侧约 1.6 km 处即有单点系泊海底管道，见图 3。该海底管道大部分直铺在海床上，管顶水深不足，不能满足 25 万吨级油轮满载通航的要求。因此新扩建的码头、港池航道、防波堤等设施，只能在这 1.6 km 的空间布置，空间十分有限。

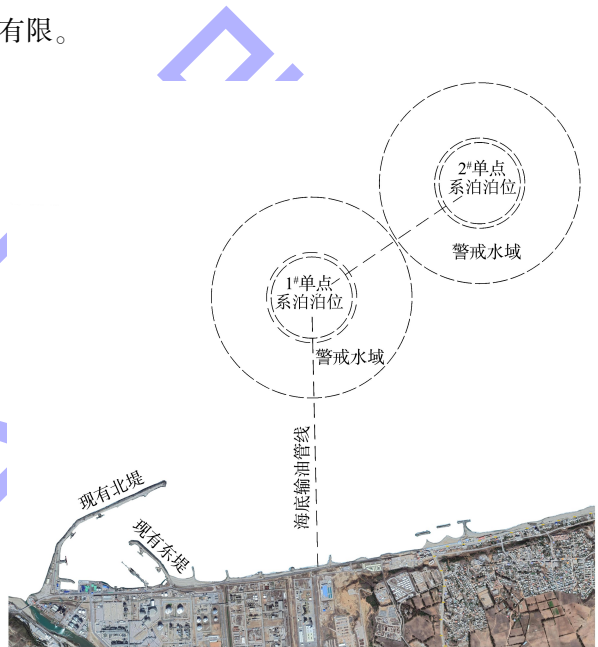


图3 工程前港口布置

3) 泊稳条件要求高。标书要求油品码头和 LNG 码头年可作业时间保证率不小于 95%，集装箱码头不小于 85%。由于 3 个码头均须向下兼靠小船，其中油品泊位兼靠 5 万~25 万吨级油船，LNG 泊位兼靠 1 万~22 万 m<sup>3</sup> LNG 船，集装箱泊位兼靠 300~4 000 TEU 集装箱船，因此要求即使只有上述最小船靠泊，也要达到标书的最小保证率要求。由于 3 类泊位中掩护较差的集装箱泊位，系泊试验中得到的最小集装箱船的可作业有效波高仅为 0.3 m<sup>[3]</sup>，因此对港口泊稳条件要求非常高。

4) 不确定性因素多，风险高。本工程口门东

侧的海底管道和东北侧的2个单点系泊泊位,据悉已停产一段时间,但以后是否继续运营,尚无确切说法。海底管道资料少,其健康状况如何难以评估,贸然对海底管道进行改建风险高。

### 3 总平面设计

#### 3.1 总体布置思路

1) 工程位置的主浪向为NNW向,次常浪向为N向,为新增泊位提供掩护水域最经济的方法,就是将现有北堤(主防波堤)进行延长。同时,新建东防波堤,掩护来自NNW向和N向经北堤绕射后的大浪,为LNG泊位提供掩护,并拦截自东向西的沿岸输沙。这样形成内外双港池,内港池为现有泊位港池,外港池为新增的5个泊位的港池。

2) 东防波堤头位置,在满足航道宽度并且不小于1倍船长的前提下,尽量贴近北堤,以控制口门宽度,尽量减少进入港池的波浪能量,这样有利于保证港内的泊稳条件。

3) 东堤头在保证港内掉头圆布置的前提下,要尽量往西靠近掉头圆布置,才能尽量减少北堤延长的长度,为口门外航道布置提供更多空间,同时也可以控制造价。

4) 考虑到现北堤内侧泊位均为油品泊位,为了油品管线安全,同时也为了方便管理,25万吨级油品泊位布置在外港池北堤内侧。LNG泊位和集装箱泊位最小兼靠船型分别仅为1万 $m^3$ LNG船和300 TEU集装箱船,泊稳作业标准高,将其布置在新东防波堤内侧,以提供好的掩护条件。

5) 考虑LNG泊位的安全要求,在新东堤内侧布置1个小港池,LNG泊位和集装箱泊位分别布置在小港池的东、西两侧。

6) 3个大泊位共用回旋水域。由于25万吨级油船泊位只有1个,25万吨级船舶掉头时,其掉头圆可利用25万吨级油品泊位的停泊水域。LNG船和集装箱船掉头时,其掉头圆则按不占油品泊位停泊水域布置。

7) 由于海底管道改建风险高,航道优先考虑不过海底管道的方案,过航道的方案不考虑对管道进行改建埋深,只考虑对管道进行保护。

港口总体布置思路见图4。

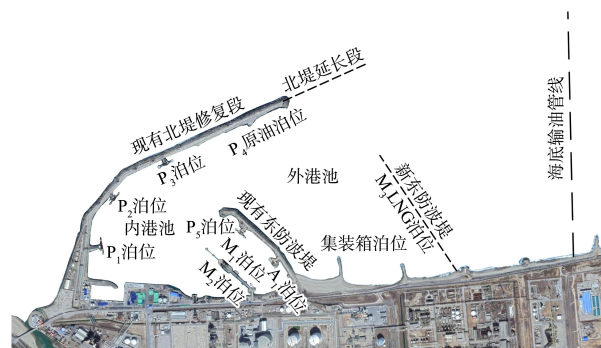


图4 港口总体布置思路

#### 3.2 北防波堤延长段长度的确定

为合理确定北堤延长段的长度,根据波浪特点,考虑北堤延长段长度分别为500、550和600m共3种方案。针对3种情况分别进行初步波浪数值模型计算,特别是针对5个泊位中掩护条件最差的集装箱泊位的泊稳情况。初步模型试验结果表明,虽然北堤延长500m的方案掩护条件没有北堤延长550m的方案好,但集装箱泊位有向岸侧继续优化的条件。北堤水深大,少延长50m更节省造价;同时北堤短一些,堤头与海底管线之间的空间就更大,更有利于外海航道布置。综合考虑,最终选择北防波堤延长500m的方案。

#### 3.3 回旋圆直径

根据中国的JTS 165—2013《海港总体设计规范》<sup>[4]</sup>,掩护条件较好、水流不大、有港作拖轮协助时船舶回旋圆直径取1.5~2.0倍船长。对于液化天然气码头,回旋圆尺度要求不宜小于2.5倍船长<sup>[5]</sup>,当布置较困难且水流流速较小时,不应小于2倍设计船长;实际设计时多采用2.0~2.5倍船长。国际规范中,根据国际航运协会(PIANC)的*Harbour Approach Channels Design Guidelines*<sup>[6]</sup>,当有拖轮协助时,回旋水域回旋圆直径宜为2倍设计船长;英国的BS 6349-1-1<sup>[7]</sup>,对于有拖轮协助的情况,回旋水域可以布置成直径为1.8~2.0倍

设计船长的圆。国际两本规范都提到，在详细设计阶段，应通过船舶操纵试验来验证和优化回旋水域尺度。*Port Designer's Handbook*<sup>[8]</sup>也提到当自然条件、回旋水域条件良好、有拖轮协助时，回旋圆直径可以取1.6倍设计船长。通过调研当地港口后，回旋圆的直径大胆采用1.8倍船长设计。该尺度最终通过船舶操纵试验获得验证，为合理控制港内水域空间，进而控制防波堤长度和工程造价创造了条件。回旋水域船舶操纵试验船舶航行轨迹包络图见图5。

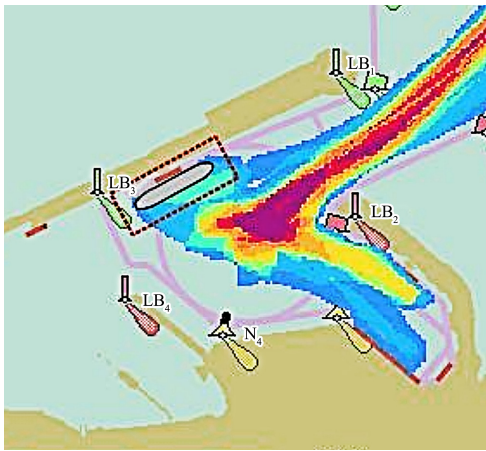


图5 船舶操纵试验航行轨迹包络图

### 3.4 新东堤及内侧泊位布置

基于上述北堤延长段长度和掉头圆直径既定的前提下，本工程投标阶段开展了多方案比选研究，代表性的方案如下。

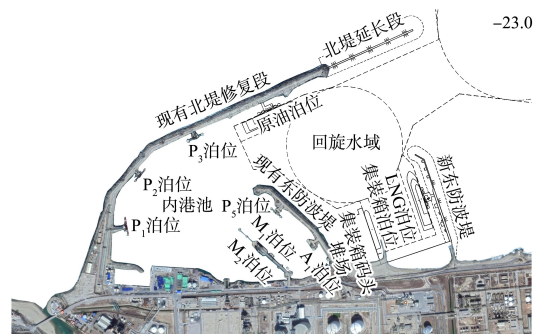
布置方案A见图6a)。其特点是新东堤垂直岸向布置，可以保证新东堤最短。由于东堤内侧需要布置LNG泊位和集装箱泊位，并且二者之间还有防爆、防火要求，因此在东堤内侧须布置1个小港池，这样留给集装箱码头的堆场面积很有限，仅8.5万m<sup>2</sup>。经核算，该面积不能满足标书文件中提出的最小地面箱位要求。

布置方案B布置见图6b)。该方案可以保证集装箱堆场用地需求，但东堤需要斜向布置，才能保证东堤内侧可以布置22万m<sup>3</sup>LNG泊位，同时集装箱泊位只能布置在港池南侧(B点)或旧东堤东侧(A点)。该方案存在的最大问题是集装箱

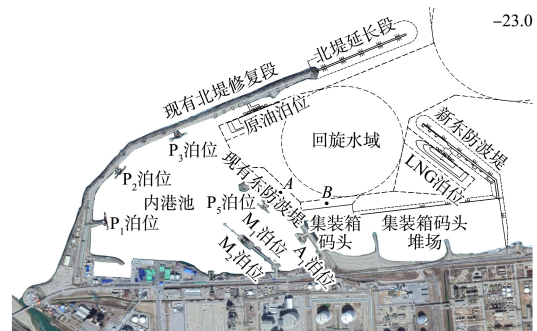
泊位直面口门入射波浪，掩护条件差。

布置方案C<sub>1</sub>吸收方案A、B的问题和经验，见图6c)。要保证东堤内侧不仅能布置LNG泊位和集装箱泊位，还要保证集装箱泊位有足够的堆场面积，东堤必须采用斜向布置，为港内争取更大空间。同时，集装箱泊位必须跟LNG泊位一样都布置在东堤的掩护之下，才能避免口门入射波浪的影响。投标阶段采用自建波浪数模初步分析，该方案所有泊位泊稳条件都能够满足要求，确定其为东堤及LNG和集装箱泊位布置的投标方案。

布置方案C<sub>2</sub>见图9。标后通过系泊试验和操船试验<sup>[9]</sup>验证，当集装箱泊位只停靠1艘300~4000TEU船时，作业保证率都能满足85%的要求；当停靠2艘集装箱小船时，南北2个小船作业保证率分别为87.5%和75%。业主要求增加北侧小船保证率也要同时满足85%。由于投标时集装箱码头预留了向岸侧优化的空间，因此在保持东防波堤和LNG泊位布置不变的前提下，将集装箱码头沿现有码头前沿向岸侧稍微平移。平移后集装箱码头停靠2艘小船的作业保证率分别提高到91.1%和86.9%，完全满足标书和业主要求。



a) 布置方案A



b) 布置方案B

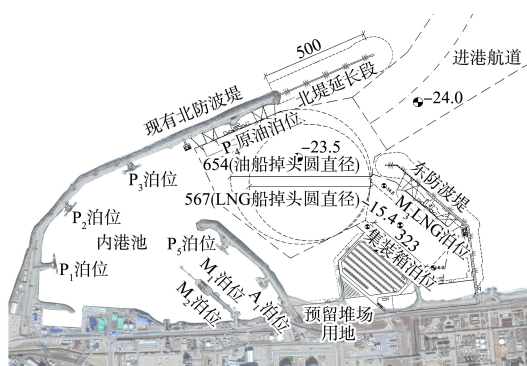
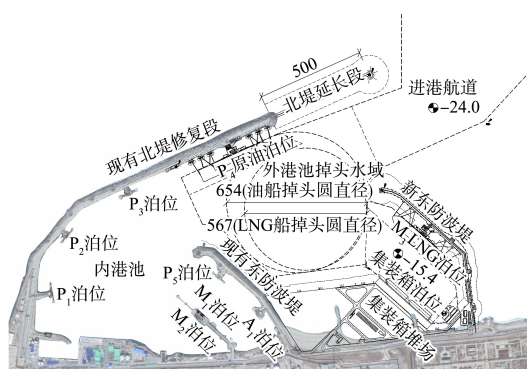
c) 布置方案C<sub>1</sub>d) 布置方案C<sub>2</sub>

图 6 东堤及 LNG 和集装箱泊位布置方案(单位:m)

### 3.5 航道布置

本工程东侧有单点系泊泊位和海底管道,其资料较少,且有较长时间没有运营,管道的健康状况难以评估。初步分析认为,如果完全采取穿越海底管道的方案,可能需要对海底管道进行埋深,其风险极大。为此航道设计重点在不改建海底管道的方案研究上,针对是否占用单点系泊水域和是否穿越海底管道列出以下典型航道方案。

方案 1 的口门外设掉头圆,见图 7a)。传统航线不穿越海底管道,船舶从西北向进出。但本工程实施后,北堤延长后与海底管道之间距离更短,堤头外航道转弯半径太小,仅约 800 m,不到最大设计船长的 3 倍,大型船舶进出港较困难。为此,该方案考虑在口门外设外掉头圆,对于大型船舶可以在口门外大掉头圆掉头后,再进入港内。

由于本工程作业保证率要求高,船舶在口门外掉头时允许的作业波高  $H_s$  需要提高到 2.75 m。

在该波高下一般港作拖轮作业效率大幅降低<sup>[10]</sup>,协助船舶在口门外掉头难度较大。因此,该方案没有被推荐。

方案 2 利用单点系泊泊位水域,见图 7b)。通过利用单点系泊泊位布置进港航道,航道转向角可以控制在 60°以内,航道转弯半径也可以保证不小于 5 倍船长,航道设计尺度完全满足规范要求。但该方案最大的问题是航道通航时,1#单点系泊泊位必须停止运营。

方案 3 利用单点系泊泊位外警戒水域,见图 7c)。取消口门外掉头圆,也不占用单点系泊泊位水域。通过利用单点系泊泊位外警戒水域,加大航道转弯半径的方式实现船舶直接进出港。该方案航道转弯半径 1 325 m,约为最大设计船长的 3.65 倍,但转向角仍较大(约 82.2°)。船舶操纵试验结果表明,该方案 25 万吨级油船满载出港可行,满载进港时有一定难度,建议在风浪条件较好的天气进行。考虑到本工程所在地原油船主要是出港,且进港的概率较少,进港的油轮很少满载,该方案最终被选为可行的方案之一。

方案 4 为组合方案,见图 7d)。由于海底管道埋藏水深不够的原因,穿越海底管道方案存在的问题为:要么将海底管道改建埋深,要么只能限制吃水不超过 17.6 m 的船舶通过。考虑到现有海底管道较长时间没有运营,管道的健康状况难以评估,如果完全采取穿越海底管道的方案,需要对海底管道进行埋深,风险太大。根据 Q88<sup>[11]</sup>和 Clakson<sup>[12]</sup>数据库,目前船型中只有 6 艘船舶的吃水大于 17.6 m。综合评估,该方案考虑不对海底管道改建,只对海底管道进行保护,限制吃水 17.6 m 的船通过东北向航道;超过 17.6 m 的船舶主要是原油船,数量较少,并且主要是满载出港,走不穿越海底管道的西北向航道。该方案顺利通过船舶操纵试验,其船舶航行轨迹见图 8。试验结果表明,该方案船舶操纵较方案 3 更容易。

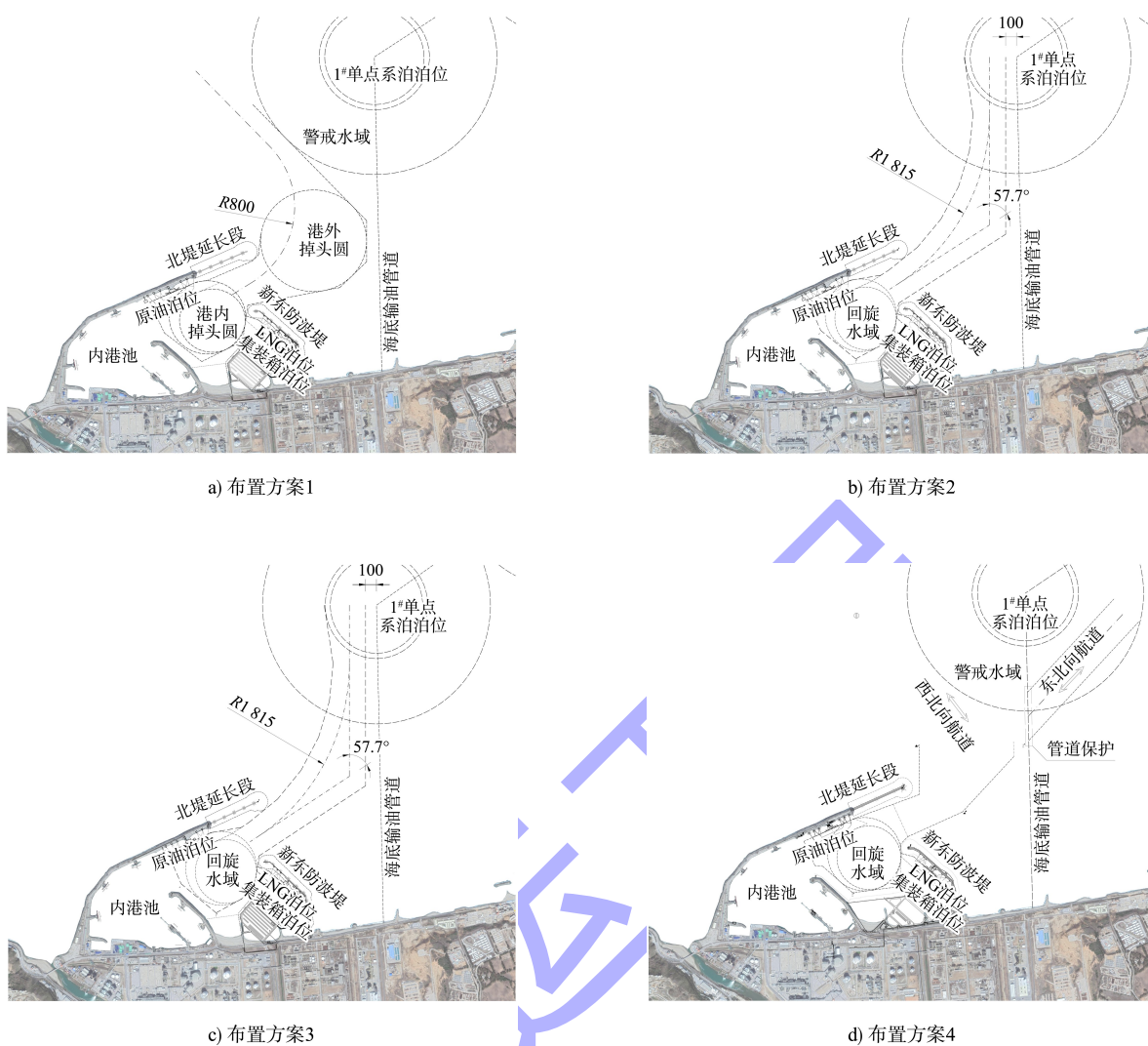
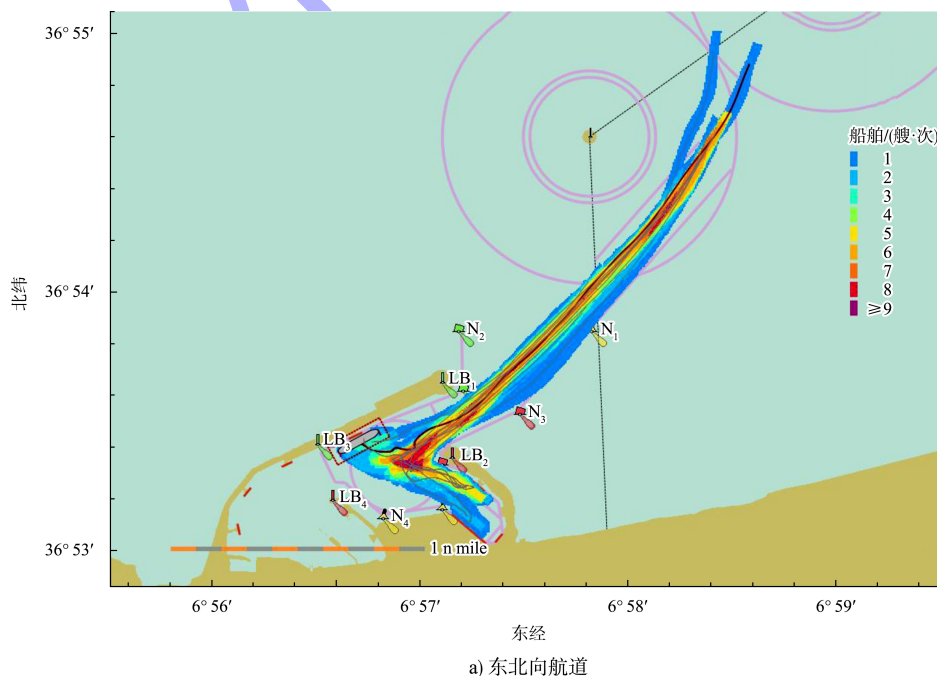


图7 航道布置方案



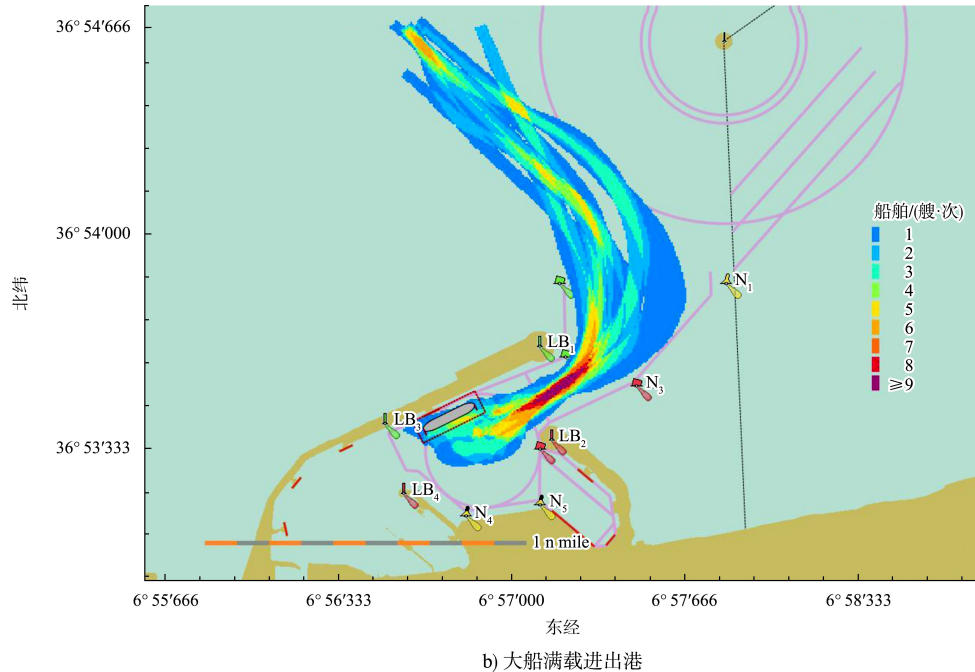


图 8 船舶操纵试验航行轨迹包络图

综合以上分析, 得出最终航道方案为: 如果同意 1<sup>#</sup>单点系泊停止运营, 优先采用方案 2 穿越单点系泊水域不穿越海底管道的航道方案; 如果暂时不能保证 1<sup>#</sup>单点系泊停止运营, 则采取方案 4, 即吃水不超过 17.6 m 的船舶推荐走穿越海底管道的东北向航道, 同时对海底管道进行保护, 超过 17.6 m 的船舶主要是原油船, 数量较少, 并且主要是满载出港, 走不穿越海底管道的西北向航道。

#### 4 结语

1) 对于此类没有定义图的现汇竞标工程, 总平面设计对造价起着至关重要的作用。在满足招标文件要求的前提下, 抓住影响造价的主要因素(比如本工程的港池尺度和北防波堤延长段长度), 成为平面设计控制项目造价重要手段。

2) 国际规范中很多条文多是建议性质, 具体执行时需要设计人员结合现场情况综合考虑, 很多复杂的情况最终往往以试验验证结果为准。

3) 采取国际规范设计时, 要多研究境外特别是当地港口平面特点, 寻找灵感和启发, 从而敢

于突破国内规章中的一些管理规定和常规做法, 轻装上阵, 与国际承包商同台竞争。比如本工程的回旋圆直径取值、泊位与航道之间安全距离等, 符合国际规范和当地管理要求, 但相对中国规范有所突破。

#### 参考文献:

- [1] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 北非某油气码头工程基础设计[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2019.
- [2] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 北非某油气码头工程波浪数模报告[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2019.
- [3] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 北非某油气码头工程系泊试验报告[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2019.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [5] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 液化天然气码头设计规范: JTS 165-5—2016[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.