

· 港口工程 ·



## 盐田港东作业区超大型集装箱码头布置\*

施晓迪, 赵敏

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 盐田港东作业区拟建3个20万吨级超大型集装箱泊位, 针对船体较长、系缆安全要求高以及南端泊位受风浪影响大等特点导致码头平面布置困难, 通过泊位间富余长度取值和风浪影响等计算分析, 提出合理的码头布置优化措施。首先, 结合规范要求、船公司系缆需求和港区运营情况, 提出泊位间富余长度取90 m, 经系泊模拟计算确保安全可行; 其次, 针对港区东南角局部区域未填海情况, 通过计算风浪流单一及组合工况下南端泊位的泊稳条件, 明确采用满堂式布置形式可以显著提高泊位作业天数。较好地解决了超大型集装箱船安全系泊问题, 且为港区东南角填海的必要性提供了科学依据, 满足了系缆安全和泊稳要求。

**关键词:** 超大型集装箱码头; 系缆安全; 泊位间富余长度; 泊稳条件

中图分类号: U656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0001-07

### Layout of super-large container terminal in east operating area of Yantian Port

SHI Xiaodi, ZHAO Min

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** Three super-large container berths with a capacity of 200,000-ton each are planned to be built in the eastern operation area of Yantian Port. To address the technical challenges caused by the long hull, high safety requirements for mooring, and significant wind and wave impacts on the southern berths, which complicate the layout of the dock, an analysis based on the surplus length between berths and the effects of wind and waves has been conducted. This analysis proposes reasonable optimization measures for the dock layout. Firstly, in accordance with regulatory requirements, mooring needs of shipping companies, and port operational conditions, it is suggested that the surplus length between berths be set at 90 meters, ensuring safety and feasibility through mooring simulation calculations; Secondly, regarding the issue of unreclaimed area in the southeast corner of the port, an analysis of the mooring stability conditions under single and combined wind and wave scenarios for the southern berths has been conducted. It has been clarified that adopting a full-coverage layout can significantly increase the number of berths operation days. This article effectively resolves the safe mooring issues for super-large container ships and provides scientific basis for the necessity of land reclamation in the southeast corner of the port area, meeting the requirements of mooring safety and stability.

**Keywords:** super-large container terminal; mooring safety; excess length between berths; berthing conditions

随着全球化贸易的蓬勃发展, 超大型集装箱船已逐渐成为海上物流的中坚力量, 然而, 超大型船舶的引入也带来了新的挑战, 尤其是在系缆

安全和泊稳方面。

超大型集装箱船体较长, 针对其泊位间富余长度的取值, 目前规范要求具有局限性, 而船舶

收稿日期: 2024-09-27

\*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFB2604200)

作者简介: 施晓迪 (1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程总平面设计。

公司对超大型船舶系泊有特殊的安全要求，且各港口特点和运营习惯不同，因此需要对泊位间富余长度取值进行深入和系统的研究。

盐田港区的效率以及服务水平相对较高，其东作业区拟建设 3 个 20 万吨级集装箱泊位，水工结构按可靠泊 3.2 万 TEU 集装箱船设计，这是按照可靠泊世界最大船型建设的高度自动化、智能化的集装箱港区。作为一个标杆性的港口，基础设施应为高效运营创造更加完善的条件。

本文结合盐田东作业区水域特点，探讨解决超大型集装箱船舶的系缆安全和南端泊位受风浪影响的问题，旨在为未来的港口设计提供有益参考。

## 1 建设条件

### 1.1 气象条件

盐田海洋站累计年平均风速 2.5 m/s，年主导风向为 SE 和 ESE 向，出现频率分别为 29% 和 19%，风向和风速随季节变化明显。秋、冬季盛行偏北风，春季以偏东风居多，夏季盛行东南季风，东南风频率最大达 45%，次多风向为东东南。春、夏、秋、冬季风速相差不大，其风速多年平均值为 2.2~2.9 m/s。每年夏秋季（6—10 月）本海区常遭受台风的影响，据统计在 1992—2006 年，影响工程区域的主要热带气旋共 22 个，多年平均次数为 1.5 次<sup>[1]</sup>。

### 1.2 水文条件

盐田港区位于大鹏湾湾顶西侧，海湾周边地形似口袋状，屏蔽较好。大鹏湾海域潮汐性质为不正规半日混合潮，潮流为不正规半日混合潮流，水流呈往复流形态，潮流流速普遍较小，水流动力较弱，涨、落流平顺，落潮流动力强于涨潮流。本区受大鹏湾口岛屿的遮拦以及地形和狭长水道的能量损耗影响，波浪由外海传入盐田港区附近时，波高及周期都大为减弱。工程海域水清少沙，自然状态下基本处于冲淤平衡状态。

### 1.3 用海条件

东作业区一期工程红线范围内整体已成陆，仅东南角区域有 2.1 万 m<sup>2</sup> 未取得海域使用证，如

图 1 所示。东南角端部区域是否填海决定了码头整体布置的合理性<sup>[2]</sup>。

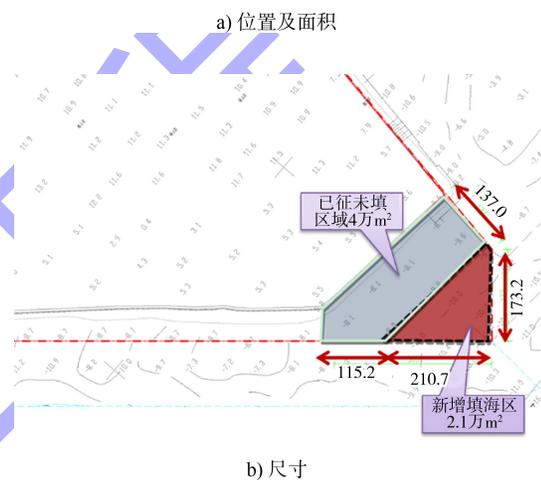


图 1 东南角未填海区域（单位：m）

Fig. 1 Unreclaimed area in southeast corner (unit: m)

## 2 超大型集装箱泊位间富余长度取值

### 2.1 泊位间富余长度取值

#### 2.1.1 规范取值要求

合理的泊位间距不仅能够确保船舶安全靠离泊，避免相邻船舶相互干扰，同时也为岸桥等装卸设备的高效运作提供了便利。

JTS 165—2013《海港总体设计规范》<sup>[3]</sup>中规定的泊位间富余长度的取值是从我国建港设计和多年使用经验以及从靠泊系缆角和系泊力理论计算角度出发得到的结果，并与欧美规定的数值较为接近。连续布置泊位船舶间距，对于船长大于 320 m 的船舶采用 35~40 m 进行取值。规范条文说明中解释，连续布置的泊位，富余长度的取值考虑船体之间的安全距离，存在交叉带缆情况。

### 2.1.2 马士基对超大型集装箱船的系缆要求

鉴于超大型集装箱船船长远大于 320 m, 在交叉带缆时, 存在严重的安全隐患、影响大船靠离泊效率, 马士基于 2013 年正式向交通运输部发函提出, 15 万~20 万吨级船舶连续靠泊期间, 每艘船的船首和船尾各需要不少于 8 根缆绳, 且不允许交叉带缆, 见图 2。

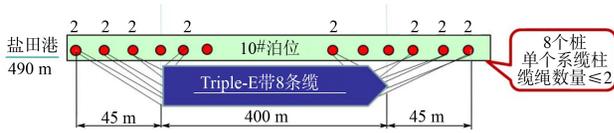


图2 盐田港现有 20 万吨级集装箱船系缆

Fig. 2 Mooring lines of existing 200,000-ton container ships in Yantian Port

### 2.1.3 系缆角度

根据规范对系缆力计算的要求, 若缆绳与岸线夹角  $\alpha$  过大, 将造成结构受力过大, 从而导致码头工程造价过高, 工程风险较大。同时也会造成系缆力在顺岸方向的分力过小, 船体泊稳性差, 影响装卸作业。通常计算和实际应用中  $\alpha$  取值为  $30^\circ \sim 45^\circ$ 。

### 2.1.4 泊位间富余长度取值

以本工程为例, 按照上述缆绳不少于 8 根, 系缆角度位于  $30^\circ \sim 45^\circ$  之间的要求进行控制, 20 万吨级集装箱船舶间距内需按 5~6 个系船柱布置, 系船柱间距按盐田港常用间距 15 m 计, 则泊位间富余长度取值 90 m, 3 个 20 万吨级泊位总长度约 1 470 m, 见图 3。

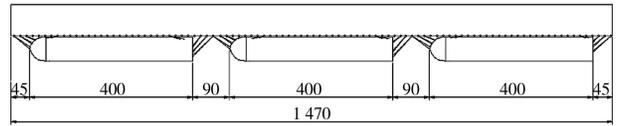


图3 盐田港东作业区泊位岸线长度及船舶系缆 (单位: m)  
Fig. 3 Berth shoreline length and ship mooring in east operation area of Yantian Port (unit: m)

## 2.2 采用系泊分析软件论证系泊合理性

### 2.2.1 系泊安全控制指标

判断船舶系泊是否满足要求的控制指标主要有缆绳张力以及船舶运动量, 当两者同时满足要求时, 可以认为满足装卸作业标准。

对于缆绳张力, 根据 *Mooring Equipment Guidelines*<sup>[4]</sup>, HMPE 缆绳的安全工作张力为最小破断力的 50%。因此, 对于最小破断力为 1 370 kN 的缆绳, 其张力不得超过 685 kN。

对于船舶运动量, 根据《海港总体设计规范》, 常规集装箱船舶的运动量控制标准见表 1, 本项目为自动化集装箱码头, 对码头作业平稳度要求更高, 而国内外尚未出台自动化集装箱码头的允许作业标准, 暂按常规集装箱码头的标准进行分析。

表 1 集装箱船舶的运动量控制标准

Tab. 1 Motion control standards for container ships

纵移/m	横移/m	升沉/m	回转/(°)	纵摇/(°)	横摇/(°)
1.0	0.6	0.8	1.0	1.0	3.0

### 2.2.2 计算工况及结果

为验证上述泊位布置的合理性, 采用国际通用的 Optimoor 系泊分析计算软件进行正常工况系泊分析<sup>[5]</sup>。具体参数: 横风 6 级、顺流 0.3 m/s、顺浪 1.2 m(周期 8 s)。Optimoor 计算系缆见图 4。

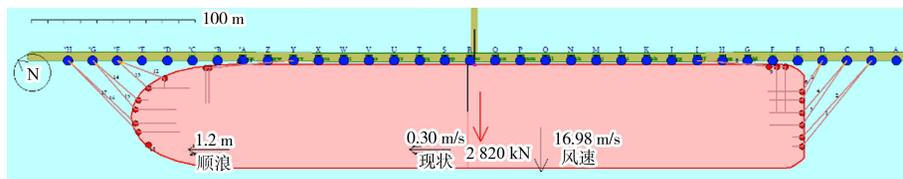


图4 Optimoor 计算系缆

Fig. 4 Optimoor calculation of mooring lines

根据计算, 在正常作业工况下, 码头最大缆绳张力为 550 kN, 最大系船柱受力为 1 020 kN。

船舶最大纵移 0.32 m, 最大横移 0.55 m, 以及回转  $0.1^\circ$ , 升沉 0.08 m, 均满足系泊安全要求。

根据上述分析可以归纳出：1) 从安全角度考虑，超大型集装箱泊位间富余长度应在规范基础上适当加大，满足 5~6 个系船柱布置的要求，不交叉带缆；2) 缆绳与岸线夹角  $\alpha$  应按照  $30^\circ \sim 45^\circ$  控制，以满足结构受力和装卸作业要求；3) 本超大型集装箱泊位间富余长度取 90 m，岸线总长度 1 470 m，可以满足 3 个 20 万吨级集装箱船安全靠泊需求，通过系泊分析论证该系泊方式合理。

### 3 港区东南角填海区对码头布置的影响

东南角端部未填海区域与泊位间关系见图 5。该区域填海与否对于码头水域的整体布局起着至关重要的作用，是决定泊位布置合理性的关键因素<sup>[6]</sup>。如果不利用东南角区域，将对南端泊位的系泊稳定性和泊位整体通过能力产生显著影响，因此，本文从船舶系泊稳定计算的角度进行深入分析。



图 5 东南角填海区与泊位间关系  
Fig. 5 Relationship between reclamation area in southeast corner and berths

#### 3.1 计算思路

东南角填海区是否实施主要对南端泊位附近水流流向和波浪来向产生较大影响，进而影响南端泊位的泊稳条件和作业安全。

若东南角填海区不实施，南端泊位将受到大角度水流和波浪( $96^\circ$ )的影响；而东南角填海区实施后，港内水流和波浪方向基本与码头前沿线平行( $140^\circ$ )，泊稳条件将大幅改善，见图 6。拟采用 Optimoor 软件进行针对性计算，分析不同来浪来流条件下的船舶泊稳性能，为东南角填海必要性提供计算依据<sup>[7]</sup>，计算参数见表 2。

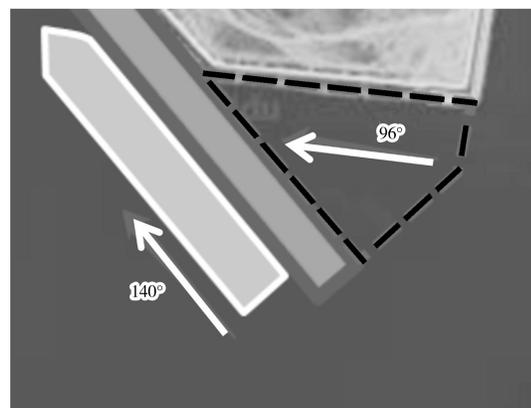


图 6 水流、波浪方向  
Fig. 6 Direction of water current and waves

表2 计算参数  
Tab. 2 Calculation parameters

船舶长度/m	船舶LBP长度/m	船舶宽度/m	船舶满载吃水/m	水位/m	风速
400 (20万吨级集装箱船)	385	61.5	16.5	2.26 (设计高水位)	6级风 (16.98 m/s)
船舶长度/m	风向/(°)	波浪	来浪方向/(°)	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流向/(°)
400 (20万吨级集装箱船)	0~360 全风向	波高试算8 s(以张力和运动量控制波高限值)	140/96	0.3	140(填海顺岸线方向) /96(不填海沿现状护岸方向)

### 3.2 计算分析

#### 3.2.1 单工况分析

1) 水流工况。计算流速取0.31 m/s(0.6 kn),

分别对不同流向进行计算。结果显示,由于流速量级不大,流速方向对船舶缆绳张力与位移影响很小,结果见表3。

表3 0.31 m/s 流速下不同流向计算结果  
Tab. 3 Calculation results of different flow directions under a flow velocity of 0.31 m/s

缆绳编号	浪向 96°					浪向 140°				
	系船柱	缆绳收紧长度/m	缆绳总长度/m	初始垂直角度/(°)	缆绳张力/kN	系船柱	缆绳收紧长度/m	缆绳总长度/m	初始垂直角度/(°)	缆绳张力/kN
1	B	0.54	69.8	13	107	B	0.54	69.8	13	104
2	B	0.52	66.2	13	107	B	0.52	66.2	13	104
3	C	0.52	65.7	18	106	C	0.52	65.7	18	103
4	D	0.43	45.4	19	107	D	0.43	45.4	19	103
5	D	0.42	42.2	23	107	D	0.42	42.2	23	103
6	F	0.41	43.7	48	97	F	0.41	43.7	48	98
7	G	0.44	51.2	32	96	G	0.44	51.2	32	97
8	G	0.40	41.8	34	96	G	0.40	41.8	34	97
9	*C	0.42	42.5	31	104	*C	0.42	42.5	31	102
10	*D	0.40	38.4	39	101	*D	0.40	38.4	39	10
11	*D	0.36	28.9	30	102	*D	0.36	28.9	30	10
12	*E	0.37	32.2	26	99	*E	0.37	32.2	26	97
13	*F	0.48	57.9	21	97	*F	0.48	57.9	21	97
14	*F	0.51	64.8	17	97	*F	0.51	64.8	17	97
15	*G	0.56	76.7	13	96	*G	0.56	76.7	13	96
16	*G	0.59	84.3	11	96	*G	0.59	84.3	11	97
17	C	0.52	65.0	19	107	C	0.52	65.0	19	104
18	*E	0.44	48.4	33	99	*E	0.44	48.4	33	98

注:船舶运动量纵移0.01 m、横移0.00 m、回转0.01 m、升沉0.01 m(相对船舶参考点);常水位2.26 m;船舶吃水16.5 m;船首尾吃水差0.1 m。

2) 波浪工况。取波浪周期8 s,限定缆绳张力50%、纵移1.0 m和横移0.6 m,计算96°(不填海)和140°(填海)下波浪的波高限值分别为0.98和2.00 m(缆绳张力和运动量控制)。波浪影响缆绳张力较船舶位置更敏感。

3) 风工况。限定缆绳张力50%、纵移1.0 m和横移0.6 m,计算缆绳初张力100和200 kN下的风速限值分别为18.52 m/s(36 kn)和21.60 m/s

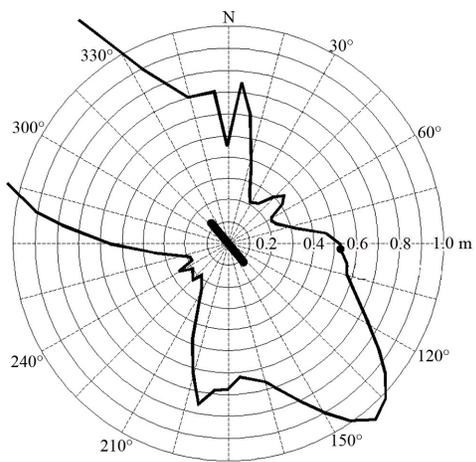
(42 kn)(6级风为16.98 m/s,30 s平均),最不利方向为垂直船舶方向的吹开风。另外,船舶在风的影响下,可以增大缆绳初张力来控制船舶位移。

#### 3.2.2 组合工况

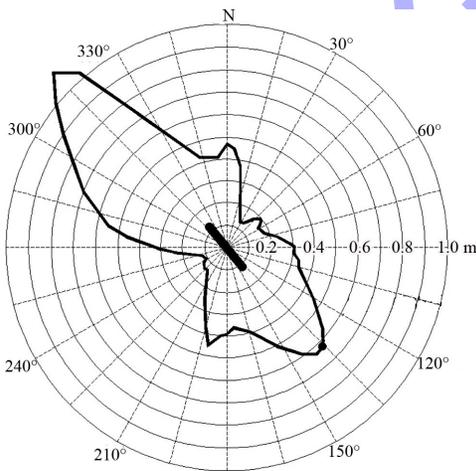
由单工况分析结果可以归纳出:1)流速0.31 m/s对船舶缆绳张力和位移影响较小;2)波浪对船舶缆绳张力影响大于对船舶位移的影响;3)垂直船舶的吹开风对船舶的横移影响较大,但

可以通过增大缆绳初张力来控制船舶位移。

综上,系泊分析组合工况考虑,缆绳初张力 200 kN,6 级风 16.98 m/s(90°吹开风)情况下,限定缆绳张力 50%,计算 96°(不填海)和 140°(填海)下波浪(叠加同向 0.31 m/s)的波高限值分别为 0.52 和 1.22 m,见图 7。即在不填海情况下,受大角度(96°)水流或波浪影响,允许波高≤0.52 m;而填海后,在顺岸水流或波浪影响下,允许波高≤1.22 m。



a) 组合工况96°对应波高限值0.52 m



b) 组合工况140°对应波高限值1.22 m

图 7 组合工况对应波高限值

Fig. 7 Limit value of wave height corresponding to combined conditions

### 3.3 东南角不填海情况下的装卸作业天数损失分析

根据 Optimoor 计算组合工况的结果,分析装卸作业天数和通过能力的损失<sup>[8]</sup>。

结合工程海域地形特征及波况,不填海平面布置方案(不填海时护岸方向 96°)影响工程的波浪方向为 E、ESE、SE、SSE 向(横浪、顺浪),填海平面布置方案(填海后岸线方向 140°)影响工程的波浪方向为 SE、SSE 向(顺浪)。

参照大鹏湾盐田水文气象站 E—SSE 浪向的波高分级统计及波周期概率分布统计数据,结合工程附近已建码头设计使用情况,综合分析计算得到:

1) 东南角填海情况下,船舶主要受顺浪影响,波周期限值 8 s,波高限值 1.22 m 的波浪影响作业天数为 10 d。

2) 东南角不填海情况下,船舶兼受顺浪及横浪影响,波周期限值 8 s,顺浪波高限值 1.22 m、横浪波高限值 0.52 m 的波浪影响作业天数为 30 d。

3) 综合气象、水文条件对码头可作业天数影响的分析,考虑到工程区台风期大风、大雨、大浪往往同时发生,雷暴往往与大雨同时出现,扣除各因素可能重叠影响天数<sup>[9]</sup>,确定 7 万~20 万 DWT 集装箱船舶位年可作业天数东南角填海情况下约为 330 d,东南角不填海情况下约为 310 d。

综上,工程区域东南角若不填海,则外侧端部泊位损失作业天数 20 d(6.06%),相应每年将损失 6.3 万 TEU 的吞吐量。此外,装卸船采用“自动化+远程控制”作业模式,船舶的泊稳条件对岸桥的自动对位有直接影响,进而影响作业过程中的人工干预度和岸桥的实际作业效率。因此,东南角填海区实施非常必要,否则会影响码头作业天数和操作效率。

## 4 结论

1) 超大型集装箱码头布置需要综合考虑多种因素。通过科学规划和精心设计,可以构建出安全高效的现代化集装箱码头<sup>[10-11]</sup>。

2) 综合大型船公司靠泊需求和港区长期运营情况,15 万~20 万吨级超大型集装箱船舶系泊时船舶间富余长度需在规范要求基础上进一步加大,以满足船首、尾不少于 8 根缆绳且缆绳与岸线夹

角为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 的要求。工程船舶间富余长度确定为90 m,通过系泊分析论证确保安全可行。

3) 工程南端泊位受风浪影响大,经计算风浪流单一及组合工况计算可知,港区东南角若不填海,则南端泊位每年将损失6.3万TEU的吞吐量,而该区域填海后,南端泊位为满堂式布置,其泊稳条件、作业天数、船舶在港的平稳程度将大大改善,为提高码头作业天数和操作效率提供有效保障。

#### 参考文献:

- [1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 深圳港盐田港区东作业区集装箱码头工程一期工程初步设计文件[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2022. CCC Third Harbor Consultants Co., Ltd. Preliminary design document for First Phase Project of Container Terminal in east operating area of Yantian Port, Shenzhen Port[R]. Shanghai: CCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., 2022.
- [2] 浙江省水利河口研究院. 深圳港盐田港区集装箱码头三期工程填海(东港区)海域使用权优化调整海域使用论证报告书[R]. 杭州: 浙江省水利河口研究院, 2022. Zhejiang Provincial Institute of Water Conservancy and Estuary Research. Demonstration report for optimization and adjustment of sea area use right for reclamation of east port area in Third Phase Project of Container Terminal in Yantian Port Area, Shenzhen Port [R]. Hangzhou: Zhejiang Provincial Institute of Water Conservancy and Estuary Research, 2022.
- [3] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014. CCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., CCC First Harbor Consultants Co., Ltd. Design code of general layout for sea ports: JTS 165—2013 [S]. Beijing: China Communications Press, 2014.
- [4] International Maritime Organization. Mooring equipment guidelines (MEG4) [M]. London: International Maritime Organization, 2018.
- [5] 袁海平, 黄达望. 缆尾在系泊设计中的应用[J]. 水运管理, 2024, 46(7): 23-26. YUAN H P, HUANG D W. Application of cable tail in mooring design [J]. Shipping management, 2024, 46(7): 23-26.
- [6] 戴江山, 张雷. 波浪与系缆方式对系泊船舶响应的影响研究[J]. 水运工程, 2024(6): 51-57. DAI J S, ZHANG L. Influence of waves and mooring methods on response of moored ships [J]. Port & waterway engineering, 2024(6): 51-57.
- [7] 赵泓任, 周凌霄. 集装箱船作业环节影响的不可作业天数分析[J]. 中国水运(下半月), 2022, 22(4): 5-7. ZHAO H R, ZHOU L X. Number of non-operational days affected by container ship operation [J]. China water transport (Second half of month), 2022, 22(4): 5-7.
- [8] 吕淑杰. 大陈岛某码头泊稳分析以及受风浪影响作业天数统计分析[J]. 珠江水运, 2023(13): 41-43. LYU S J. Berthing stability analysis of a dock on Dachen Island and statistical analysis of number of operation days affected by wind and waves [J]. Pearl river water transport, 2023(13): 41-43.
- [9] 刘青明, 黄河, 张银苗. 复杂水动力条件下开敞式大型散货码头泊稳条件分析[J]. 水运工程, 2018(6): 154-157. LIU Q M, HUANG H, ZHANG Y M. Mooring stability condition analysis of open-type large offshore bulk cargo terminal under complex hydrodynamic conditions [J]. Port & waterway engineering, 2018(6): 154-157.
- [10] 李晓磊, 张会钦, 王伟峰. 基于操纵模拟器的超大型船舶泊稳条件研究[J]. 中国水运, 2024(11): 24-26. LI X L, ZHANG H Q, WANG W F. Research on the berthing conditions of ultra large ships based on maneuvering simulator [J]. China water transport, 2024(6): 24-26.
- [11] 陈伟丰. 超大型船舶的稳泊安全研究[J]. 船舶物资与市场, 2020(8): 72-74. CHEN W F. Research on stability and safety of ultra-large ships [J]. Marine equipment/materials & marketing, 2020(8): 72-74.

(本文编辑 赵娟)