



# 400 m 长集装箱船进出青岛港 受限港池套泊通航条件分析 \*

朱成斌<sup>1</sup>, 刘君伟<sup>1</sup>, 于周讯<sup>1</sup>, 王武修<sup>2</sup>, 王裕平<sup>2</sup>, 刘 刚<sup>3</sup>

(1. 青岛港国际股份有限公司, 山东 青岛 266000; 2. 青岛引航站, 山东 青岛 266000;  
3. 武汉理工大学 航运学院, 内河航运技术湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430063)

**摘要:**为进一步拓展青岛前湾港区400 m集装箱船靠离泊窗口时间,提升码头泊位利用率,针对目前前湾港区400 m集装箱船套泊的需求以及在受限港池靠离泊过程中的高风险系数,结合受限港池进行集装箱船套泊作业的成果和船舶操纵模拟试验,模拟400 m集装箱船在不同风、流、吃水工况条件下在港池近端、中端和远端泊位进行3种典型套泊作业试验,并根据试验结果得出安全套泊作业条件和船舶交通组织。结果表明,在给定的安全套泊作业条件和制定的船舶交通组织,青岛前湾港区可常态化进行2条400 m集装箱船套泊作业。

**关键词:**400 m集装箱船; 受限港池; 套泊作业; 交通组织; 船舶操纵模拟

中图分类号: U 653.1; U 653.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)01-0111-06

## Mooring navigable conditions for 400 m container ships entering and leaving Qingdao Port's restricted harbor basins

ZHU Cheng-bin<sup>1</sup>, LIU Jun-wei<sup>1</sup>, YU Zhou-xun<sup>1</sup>, WANG Wu-xiu<sup>2</sup>, WANG Yu-ping<sup>2</sup>, LIU Zhao<sup>3</sup>

(1.Qingdao Port International Co., Ltd., Qingdao 266000, China; 2.Qingdao Pilot Station, Qingdao 266000, China;  
3.Hubei Province Key Laboratory of Inland Waterway Transport Technology,  
School of Navigation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

**Abstract:** In order to further expand the berthing and departure window time of 400 m container ships in Qingdao Qianwan Port area, and improve the utilization rate of berths at the wharf, this paper aims at the current demand for berthing of 400 m container ships in Qianwan Port area and high risk coefficient of the berthing and unberthing process in the restricted harbor basins. Combined with container ship mooring operation results in the harbor basins and ship maneuvering simulation test, the paper simulates the 400 m container ships in the harbor basins under different wind, current and draft conditions to carry out three typical mooring operation tests at the near-end, mid-end and far-end berths, and obtains the condom mooring conditions and ship traffic organization according to the test results. The results show that under the given condom mooring conditions and the established ship traffic organization, Qingdao Qianwan Port area can routinely carry out the mooring operation of two 400 m container ships.

**Keywords:** 400 m container ship; restricted harbor basin; mooring operation; transportation organization; ship maneuvering simulation

收稿日期: 2022-05-05

\*基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1407404)

作者简介: 朱成斌(1992—), 男, 硕士, 从事水上交通安全与港口航道评估。

青岛前湾港区同一泊位集装箱船传统靠离泊模式为：通常在船舶准点离泊后，安排靠泊船间隔 1.5 h 后到达引航站上引水，即离泊船出港池航行至出第 2 警戒区水域（引水登离轮水域）（图 1）时进港船航行至第 2 警戒区上引水。正常情况下，离泊船从码头解缆掉头至第 2 警戒区需要 1.0~1.5 h，靠泊船从第 2 警戒区上引水至靠妥码头也需要 1.0~1.5 h。因此，同一泊位从离泊船出港至靠泊船靠泊的空泊时间 2.0~3.0 h，如若再有大油船或大矿船进出港，码头空泊时间更长，极大降低了泊位有效利用率以及集装箱班轮周转效率，与码头快速增长的生产需求不相适应。

2020 年由青岛港与青岛引航站首创国内受限港池进行集装箱船套泊作业以来，青岛前湾港区已常态化进行 15 万吨级及以下集装箱船套泊作业，即离泊船在港池码头前沿正在掉头或已掉头准备出港，此时靠泊船已提前进入港池准备靠泊，2 条船在港池内或码头前沿会遇的作业方式，但仍限制 400 m 集装箱船常态化套泊作业。考虑目前青岛港集装箱国际航线密度不断增加，400 m 集装箱船到港密度和数量也在不断增加，导致有限的集装箱泊位资源和船舶压港的矛盾越来越突出。为解决 400 m 集装箱船在前湾港区可常态化进行套泊作业，基于船舶操纵模拟试验<sup>[1-2]</sup>，仿真建立三维前湾港区水域环境，配合不同风、浪、流以及吃水工况，模拟试验 400 m 集装箱船在受限港池进行套泊作业的安全性和可靠性，并根据模拟试验结果得出安全套泊的作业条件以及套泊作业过程中的船舶交通组织。

## 1 青岛前湾港区通航环境

### 1.1 航道及泊位分布

团岛南侧第 1 警戒区汇聚大港、黄岛油港、内锚地、前湾、海西湾 5 大交通流（图 1），且警戒区内水流湍急，可航行水域宽度受限，多方向船舶交通流汇聚，交通态势复杂多变。前湾港区兼有煤炭矿石泊位、散杂货泊位以及集装箱泊位，码头泊位特点小突堤大顺岸，较有利于船舶靠离泊作业，泊位分布如图 2 所示。



图 1 青岛胶州湾进港航道



图 2 前湾港区泊位分布

### 1.2 交通流

本文统计 2018—2021 年近 4 年不同船型、船长  $L$  进出青岛港数量变化见表 1。

表 1 不同船型进出青岛港数量变化 艘次

年份	矿船	危险品船	集装箱船	$L \geq 350$ m 船	$L \geq 390$ m 船
2018	1 512	4 516	16 164	1 434	396
2019	1 546	4 681	18 236	1 726	638
2020	1 692	5 014	17 994	1 662	610
2021	1 778	5 776	17 886	1 774	701

根据表 1 统计得到的近 4 年进出青岛港胶州湾航道船舶交通流特征变化<sup>[3]</sup>趋势：1) 进出胶州湾航道矿船、危险品船以及集装箱船等不同船型数量均呈增长趋势；2) 通过胶州湾主航道进出前湾集装箱船数量最多，日均 49 艘次，且船舶大型化趋势较明显。

### 1.3 船舶通航现状

由于前湾航道可航行水域宽度受限，进出前

湾港区船舶实行单向通航, 目前前湾航道二期扩建工程正在施工, 扩建后可满足 10 万吨级集装箱船全天候双向通航。

## 1.4 自然环境

### 1.4.1 风况

根据团岛气象站资料, 常风向和强风向均为 NW 向, 出现频率为 13.82%; 次常风向为 SE 和 NNW 向, 出现频率分别为 12.26% 和 12.09%。全方位  $\geq 6$  级风出现频率为 4.04%。全方位  $\geq 7$  级风出现频率为 1.83%。

### 1.4.2 水文情况

青岛海域的潮汐属于正规半日潮。根据验潮资料计算得出青岛港潮位特征值(潮位值从青岛理论最低低潮面起算): 平均海平面 2.42 m, 平均高、低潮位分别为 3.80、1.02 m, 最高高、最低低潮位分别为 5.39、-0.70 m, 最大、平均潮差分别为 4.75、2.78 m, 平均涨、落潮时间分别为 339、406 min。

胶州湾海流属于规则的半日潮流。涨潮流速大于落潮流速, 最大涨潮流速 0.55 m/s, 方向 345°。最大落潮流速 0.53 m/s, 方向 130°。

根据显浪站实测资料, 常浪向为 NW 向, 频率为 10.43%; 次常浪向为 NE 向, 频率为 7.52%; 强浪向为 NNE 向, 该向  $H_{1/10} > 1.1$  m 的频率为 0.38%。

## 2 套泊作业可行性分析

### 2.1 套泊作业关键要素影响分析

根据船舶交通流统计分析以及胶州湾航道通航环境可知:

1) 胶州湾航道通航船舶种类、数量较多, 船况以及航速差别较大, 船舶交通流向交叉多变, 通航环境较复杂<sup>[4]</sup>, 给集装箱船套泊作业带来一定的通航风险。

2) 由于胶州湾航道可航水域宽度有限, 满载或半载乘潮进港靠泊黄岛油港区超大型油船(VLCC)和前湾港区 Cape 型大矿船要走主航道中间进港, 此类船舶吃水较大, 操纵受限, 航速较

慢, 长时间占用原本紧张的进出港航道资源<sup>[5]</sup>, 影响集装箱船套泊安全和通航效率。

3) 受前湾航道船舶单向通航限制以及狭窄的受限港池水域环境, 极大降低了前湾进出港船舶通航效率<sup>[6]</sup>, 进出前湾集装箱船经常与杂货船以及散矿船等船舶形成紧张局面。

4) 前湾受限港池南北两岸码头泊位内外贸集装箱船日均呈满泊运转状态, 船舶靠离泊作业较频繁, 如若遇到大风浪等恶劣天气将会给集装箱船套泊作业带来极大的操纵风险。

### 2.2 回旋水域宽度计算

根据《海港总体设计规范》<sup>[7]</sup>、前湾受限港池特点以及 400 m 集装箱船船型特点, 回旋水域直径  $D$  取  $2.0L$ 。故 400 m 集装箱船所需回旋水域直径为 800 m。

目前前湾 20 万吨级集装箱码头泊位宽度最窄处位于三期集装箱码头 83#泊位, 宽度为 890 m, 101#泊位前沿航道宽度为 1 km 左右, 结合 400 m 集装箱船船型以及操纵特点可知, 83#泊位前沿附近水域无法满足 2 条 400 m 集装箱船同时进行靠离泊作业, 101#~108#泊位前沿水域宽度可满足 2 条 400 m 集装箱船同时进行靠离泊作业, 港池不同泊位位置和航道宽度如图 3 所示。



法为：

双向航道宽度：

$$W=2A+b+2c \quad (1)$$

航迹带宽度的取值：

$$A=n(L\sin\gamma+B) \quad (2)$$

式中： $W$  为双向航道的有效宽度； $c$  为船舶与航道底边间的富余宽度； $b$  为船舶之间的富余宽度，按照论证船宽取值； $n$  为船舶漂移倍数； $\gamma$  为风、流压偏角，为风压角与流压角之和； $L$  为船长； $B$  为船舶宽度； $A$  为航迹带宽度。 $\gamma$  和  $n$  取值见表 2， $c$  取值见表 3。

表 2  $\gamma$  和  $n$  取值

横风风力/级	横流流速 $v_w$ /(m·s <sup>-1</sup> )	$n$	$\gamma/(^{\circ})$
$\leq 7$	$v_w \leq 0.25$	1.75	5
	$0.25 < v_w \leq 0.50$	1.69	7
	$0.50 < v_w \leq 0.75$	1.59	10
	$0.75 < v_w \leq 1.00$	1.45	14

表 3 船舶与航道底边间的富余宽度  $c$  取值

船型	航速/kn	$c$
散货船	$\leq 6$	$0.75B$
	$> 6$	$B$
危险品船和油船	$\leq 6$	$B$
	$> 6$	$1.50B$
集装箱船和杂货船	$\leq 6$	$0.50B$
	$> 6$	$0.75B$

根据前湾港池潮流资料以及 400 m 集装箱船受风面积大等船型特点，取风、流压偏角  $\gamma$  为  $7^{\circ}$ ，船舶漂移倍数  $n$  为 1.69，400 m 集装箱船港池内平

均航速取 6 kn。经计算航迹带宽度  $A$  为 187.2 m，双向航道宽度  $W$  为 498.3 m。

前湾三期集装箱码头 83#泊位外挡水域航道垂直宽度为 480 m(图 3)，无法满足 2 条 400 m 集装箱船会遇，101#~108#泊位前沿水域可满足 2 条 400 m 集装箱船会遇。由于港池内 2 条 400 m 集装箱船套泊作业时风险系数较高且港池南北两岸在泊船较多，套泊作业水域范围无法满足其他船舶正常离泊<sup>[8]</sup>。

## 2.4 套泊作业模拟试验工况

建立前湾港区三维仿真水域环境，基于船舶操纵模拟试验模拟各类工况下进行 2 条 400 m 集装箱船典型套泊试验，并以此得出安全套泊作业条件和船舶交通组织。试验工况为：

1) 青岛港冬季多偏 N 向风，夏季多偏 S 向风，模拟试验选择不利于船舶靠离的风向，即 N 向，风力选 5 级(风速 10.7 m/s)、6 级(风速 13.8 m/s)以及 7 级(风速 14.0 m/s)。

2) 根据潮流资料，模拟试验流速设定涨流 0.55 m/min、落流 0.53 m/min。

3) 船舶吃水设定为 15.0 和 11.0 m。

## 2.5 套泊作业模拟试验

自动化码头近端、前湾四期码头中端、前湾三期码头远端泊位模拟试验结果见表 4，并基于自动化泊位前沿水域较宽阔原因，建议按照如图 4 所示的船舶靠离泊操纵模式进行套泊。

表 4 各类工况组合下试验结果

工况	风力/级	流速/(m·min <sup>-1</sup> )	吃水/m	近端泊位试验结果	中端泊位试验结果	远端泊位试验结果
1	5	0.55	15.0	安全套泊	安全套泊	安全套泊
2	5	0.55	11.0	安全套泊	安全套泊	安全套泊
3	5	0.53	15.0	安全套泊	安全套泊	安全套泊
4	5	0.53	11.0	安全套泊	安全套泊	安全套泊
5	6	0.55	15.0	无法保证安全	离泊困难	离泊困难
6	6	0.55	11.0	无法保证安全	靠泊困难	靠泊困难
7	6	0.53	15.0	无法保证安全	离泊困难	离泊困难
8	6	0.53	11.0	无法保证安全	靠泊困难	靠泊困难
9	7	0.55	15.0	无法保证安全	无法保证安全	无法保证安全
10	7	0.55	11.0	无法保证安全	无法保证安全	无法保证安全
11	7	0.53	15.0	无法保证安全	无法保证安全	无法保证安全
12	7	0.53	11.0	无法保证安全	无法保证安全	无法保证安全

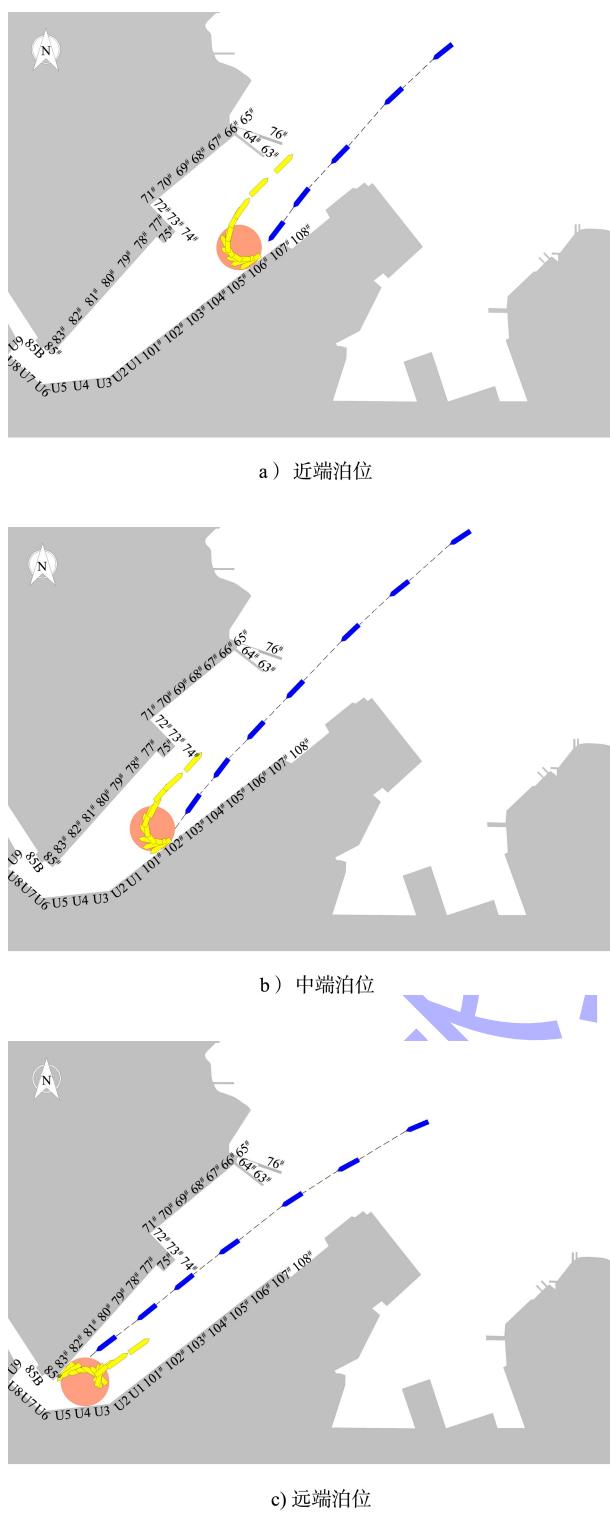


图 4 船舶套泊操纵模式

## 2.6 试验结果分析

由模拟试验结果可知, 400 m 集装箱船舶在靠离泊过程中受风的影响最大, 且南岸泊位受北风吹拢风影响明显, 当风力达到 5 级时, 靠离泊作

业应加强拖轮配置<sup>[9]</sup>。由此得出安全套泊作业条件为: 风力不大于 5 级; 能见度不小于 1 n mile; 避开大潮汛、急涨急落时段<sup>[10]</sup>控制套泊作业水域范围内其他船舶靠离泊<sup>[11]</sup>。

## 3 交通组织

### 3.1 团岛水域建立船舶优先级

胶州湾进港满载或半载 VLCC 和 Cape 型大矿船都需要选择在平流时段进行靠泊, 此类船舶具有最高优先级<sup>[12]</sup>。因此, 当集装箱船进行套泊作业遇到 VLCC 或 Cape 型大矿船进港靠泊时, 应尽量安排套泊船跟随 VLCC 或 Cape 型大矿船进港, 并保持足够安全距离, 见图 5。当没有 VLCC 或 Cape 型大矿船进港时, 进港套泊集装箱船具有最高优先级, 港口调度和引航站应控制好主航道其他船舶进港时机。

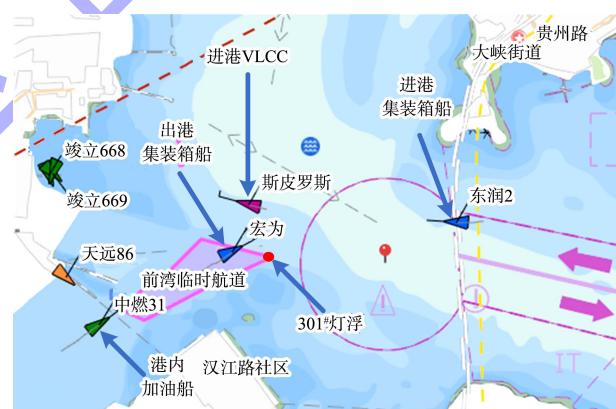


图 5 不同优先级船舶进港

### 3.2 港池待离船舶与套泊作业船舶的交通组织

当前湾三期码头远端泊位或四期码头中端泊位 2 条 400 m 集装箱船进行套泊作业时, 港口调度和引航站应控制相邻泊位以及南北两岸以东泊位的船舶进行离泊作业, 待套泊离泊船使过待泊位船舶时再安排解缆离泊(图 6)。当自动化码头近端泊位进行套泊作业时, 可安排港池中端南北两岸以西泊位待离船舶解缆掉头, 并跟随套泊离泊船出港池。



图 6 延迟离泊船与套泊船靠离顺序

### 3.3 港池待离船舶之间的船舶交通组织

针对港池内多艘待离船舶情形，当套泊作业船舶已不影响其他船舶靠离泊时，若离泊船在相邻泊位，则应首先安排外贸船舶或申请拖轮为内贸船舶解缆离泊，此类船舶掉头离泊操纵需时较短。若离泊船在同岸不相邻泊位或南北两岸的泊位，此时港口调度和引航站应通知离泊船港池内其他船舶动态，在互不影响的前提下谨慎解缆掉头离泊。延迟离泊船舶出港顺序见图 7。



图 7 延迟离泊船舶出港顺序

### 4 结语

1) 通过规范公式计算结果可知，83<sup>#</sup>泊位前沿水域宽度不满足 2 条 400 m 集装箱船安全会遇，

101<sup>#</sup> ~ 108<sup>#</sup>泊位前沿水域宽度满足 2 条 400 m 集装箱船安全会遇。

2) 前湾港受北风影响较大，当风力达到 5 级时，靠泊南岸的船舶应加强拖轮配置。

3) 通过船舶操纵模拟试验结果可知，在满足安全套泊作业条件以及船舶交通组织前提下，前湾港区可常态化进行 2 条 400 m 集装箱船套泊作业。

4) 研究成果可为其他沿海港口进行套泊作业提供安全指导与参考。

### 参考文献：

- [1] 周树高, 李坤鹏. 超大型集装箱船进出受限港池口门通航条件分析[J]. 水运工程, 2021(10): 119-124.
- [2] 应翰海, 关宏旭. 福姜沙中水道船舶操纵模拟试验研究[J]. 水运工程, 2020(9): 126-131.
- [3] 张丹丹, 王雷. 船舶交通特征统计分析中的大数据挖掘应用[J]. 舰船科学技术, 2017, 39(8): 127-129.
- [4] 孔祥伟, 孙健. 青岛港团岛口水域通航秩序探讨[J]. 航海技术, 2016(5): 15-17.
- [5] 李成海, 王建涛, 胡甚平. 青岛港水域航行安全的风险评估[J]. 北部湾大学学报, 2020, 35(11): 7-13.
- [6] 王静举. 港区通航规则选取对通航效率的影响研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2020.
- [7] 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.
- [8] 陈法敏. 沿岸通航密集区航行风险识别、评估和控制[J]. 中国航海, 2014, 37(3): 80-84.
- [9] 赵有明, 戴冉. 基于实船资料的大型船舶拖轮配置研究[J]. 水运工程, 2015(7): 47-50.
- [10] 黄仕唯, 王志明, 吴善刚. 嘉兴乍浦港潮水急涨时段靠泊时间窗口分析[J]. 中国航海, 2020, 43(4): 59-64, 77.
- [11] 付博文. 船舶间时距的数据挖掘模型设计[J]. 舰船科学技术, 2016, 38(10): 19-21.
- [12] 闫化然, 薛松辉, 熊华, 等. 大型船舶进出洋山港四期码头交通组织[J]. 中国航海, 2018, 41(4): 53-56.

(本文编辑 王璁)