



超大型集装箱船进出受限港池 口门通航条件分析

周树高，李坤鹏

(上海中交水运设计研究有限公司，上海 200092)

摘要：由于港池口门存在临时码头等限制条件，口门处通航宽度不满足超大型船舶进出港池的要求。拖轮拖带辅助作业可减少超大型船舶进出港池的安全隐患。通过船舶操纵模拟试验并对结果进行分析，得知港池口门外水流流速和风力对拖带船舶进出港池的航行轨迹影响较大。口门外水流流速不大于0.45 m/s、风力不大于6级时船舶可安全进出港池。理论分析与试验研究表明，在通航宽度计算结果不满足规范要求时，可采用拖轮拖带辅助作业并限定风、浪、流等边界条件的方式，达到船舶安全进出港池的目的。

关键词：港池口门；拖轮拖带；船舶操纵模拟；通航安全

中图分类号：U 65；U 61

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)10-0119-06

Analysis of navigation conditions for super-large container ship's entering and leaving restricted harbor basin's entrance

ZHOU Shu-gao, LI Kun-peng

(Shanghai China Communications Water Transportation Design Research Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: Due to the limitation of temporary wharf at the entrance of harbor basin, the navigable width at the entrance does not meet the requirements of the large ships entering and leaving the harbor basin. According to the ship maneuvering simulation test results and correlation analysis, we know that the flow velocity and wind force outside the entrance of the basin have great influences on the trajectories of towing ships entering and leaving the basin. When the flow velocity outside the entrance is not more than 0.45 m/s and the wind force is not more than force 6, the ship can safely enter and leave the harbor basin. The theoretical analysis and experimental research reveal that when the calculation result of navigable width does not meet the specification requirements, the purpose of safe entry and exit of ships can be achieved by means of auxiliary operation of tugs and limiting boundary conditions such as wind, wave and flow.

Keywords: harbor basin entrance; tugboat towing; ship maneuvering simulation; navigation safety

基于经济和环保的驱动，油船、集装箱船和豪华游轮都在向大型化方向发展。港池是船舶进行舾装作业的主要区域，港池口门剩余距离受现状码头位置限制不能满足大型船舶进出港池所需通航宽度的要求，对大型船舶进出港池口门的通航安全和口门处现状码头的安全影响较大^[1-4]。本

文以目前世界上最大的集装箱船为例，对超大型集装箱船进出受限港池口门通航条件进行分析。该船舶尺寸为400.0 m×61.3 m×8.0 m(总长×型宽×舾装吃水)，进出跃进港池现状口门宽度约190 m。

船舶操纵仿真系统由三维视景系统、电子海

图系统、操纵控制台(船体、舵、侧推器和拖轮等)等组成,能够实现模拟船舶在风、浪、流、浅水等环境因素影响下的船舶操纵运行。通过模拟大型船舶进出港池口门的操纵试验,分析船舶通过口门的可行性及安全性,根据模拟试验结果得出超大型船舶安全进出港池口门的相关作业条件。

1 港池概况

跃进港池位于上海长兴岛,西至厂区现有规划红线,东至厂区东侧向东 1.04 km,南至长兴岛南麓长江水域,北至长兴岛长兴江南大道(图 1)。港池利用跃进港天然河道建设挖入式港池,港池宽 300 m,纵深 900 m。港池两侧岸线建设码头,水域设计泥面高程为 -10.0 m,局部为 -12.0 m。港池东岸壁码头长 930 m,码头面高程 6.0 m,前沿设计泥面高程为 -10.0 m,布置特种船舶舾装泊位、保障船靠泊泊位、特型船舶试车泊位等 6 个泊位;港池西岸壁码头长 750 m,码头面高程 6.0 m,布置 2 个特型船舶目标型泊位,前沿设计泥面高程为 -12.0 m,1 个特型船舶基本型泊位,泥面设计高程为 -10.0 m;港池北侧护岸总长约 225 m,作为港池后方水平船台的出运通道,护岸顶高程 4.8 m,前沿设计泥面高程为 -10.0 m;港池东侧存在一处临时材料码头,结构状况良好。为了避免资源浪费,拟保留该码头,口门宽度受到影响,仅剩余 190 m。



图 1 港池地理位置及平面布置

2 通航环境

2.1 水文

长江口南支河段受潮流和径流的双重作用,

潮汐类型为非正规半日浅海潮,属中等强度的潮汐河口,为中潮差、大径流河段。每天两涨两落,呈现较显著的日潮不等现象且落潮流历时长于涨潮流历时,落潮流流速大于涨潮流流速。

根据潮流数模计算结果,挖入式港池口门外侧区段涨落潮主流基本为往复流,落潮主流向约 150°,涨潮主流向约 325°,港池纵向方向为 32°/212°,船舶进出港池口门与主流之间存在 60°交角(图 2)。

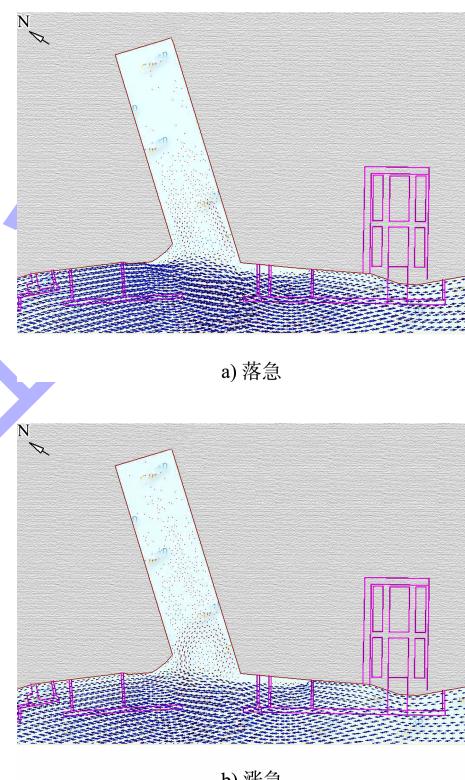


图 2 港池建设后流场矢量分布

2.2 波浪

长兴岛位于长江口南港水道北侧,其北向隔北港为崇明岛及其向东伸展的崇明东滩,东向有横沙岛和其向东伸展的横沙东滩,东南向为分布的九段沙,南向隔南港为浦东,南港及南、北槽成 SE 走向入海。根据长江口海区的波况并结合口内水道地形分布特征可知,影响长江口内水域的波浪主要为 SE 向浪,同时受地形的影响作用外海浪由外向内能量逐渐衰减;特别是长江口深水航道一、二期导堤工程实施后,外海浪对口内南港水域的影响作用已较小,影响南港水域的波浪主

要以风浪为主。

2.3 港口设施

现状大型船舶进出港池口门处存在 2 处码头, 分别为 9#舾装码头和临时材料码头, 码头与港池位置关系见图 3。



图 3 码头与港池位置关系

2.4 航道概况

跃进港池外海侧为长兴水道, 长兴水道是长兴岛南岸的一条深槽水域。10 m 等深线至岸线距离为 700~900 m, 长兴水道下口与长江口深水航道圆圆沙航段相接, 自下口 H7 灯浮至上游潘石港航段目前为自然水深航道。

长兴水道是长兴岛南岸的上海港机、振华港机、中海长兴修船基地及中船长兴造船基地等企业进出长兴岛的必经之路, 同时为长兴—横沙沿岸往来的客运船舶、小型运输船及渔船的主要通道。长兴水道上口受南侧瑞丰沙与上游中央沙的影响, 在长兴岛西端处被暗沙堵塞, 形成断头水域, 南岸码头的船舶无法通过上口驶向长江口上游。工程周边航道情况如图 4 所示。

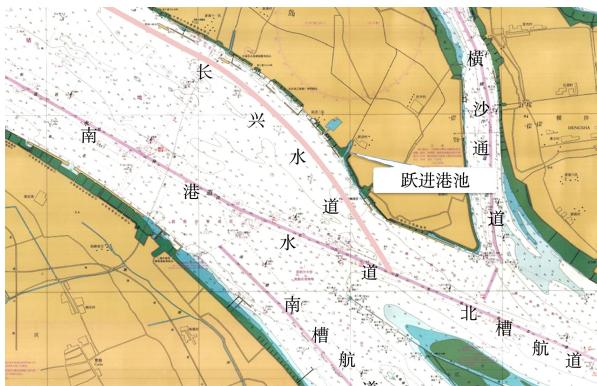


图 4 跃进港池周边航道

3 通航可行性分析

3.1 航行宽度计算

根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[5], 单线航道通航宽度计算公式如下:

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

$$\text{其中 } A = n(L \sin \gamma + B) \quad (2)$$

式中: W 为航道通航宽度 (m); A 为航迹带宽度 (m); c 为船舶与航道底边间富余宽度 (m), 取 0.5 倍设计船宽; n 为船舶漂移倍数, 取 1.81; L 为设计船长 (m); γ 为风、流压偏角 ($^\circ$), 根据对风、水流条件分析结果, 取 3° ; B 为设计船宽 (m)。

按照港池目前靠泊最大船型 ($400.0 \text{ m} \times 61.3 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$) 计算, 所需单线航道通航宽度为 210.13 m 。现状港池口门处存在 9#舾装码头和临时材料码头, 根据规范要求, 航道底边线与可能触碰的建筑物间应有一定的安全距离, 两处码头角点间距离约为 190 m , 不满足船舶单线通航宽度及安全距离两项之和的要求, 因此大型船舶须借助拖轮拖带进出港池。

3.2 船舶操纵模拟试验工况

采用船舶操纵模拟试验的方法模拟各类工况下大型船舶在拖轮拖带下进出港池口门的过程, 根据船舶进出港池时与口门处码头间的剩余距离, 总结分析大型船舶进出港池所需的安全作业条件。

1) 长江口地区以偏北风和偏南风为主, 强风向为 NE, 次强风向为 SE—E、W 和 NW。模拟试验考虑船舶进出港池的不利风向, 因此选择 NW、SE 向, 风速选择风力 5 级(风速 8 m/s)和 6 级(风速 10.8 m/s)。

2) 潮流是影响船舶进出港与靠离泊安全的重要因素。为保障船舶安全进出港池, 选择当地高(低)平潮阶段进行船舶进出港与靠离泊试验, 港池口外主流流速设定 0 、 0.45 、 0.50 m/s 共 3 种状态。

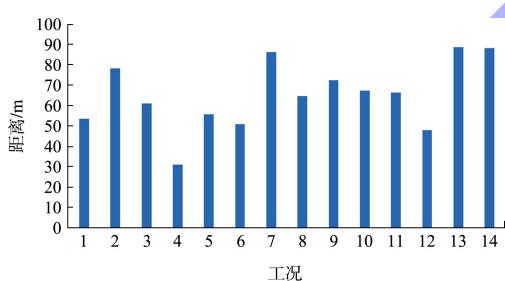
3.3 船舶操纵模拟试验结果

通过船舶操纵仿真三维视景系统, 模拟大型船舶在 8 艘全回转拖轮拖带下 14 种工况进出港池口门的情况, 结果见表 1。

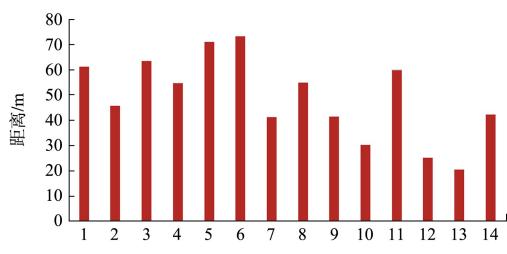
表 1 操纵模拟试验成果

工况	流速/(m·s ⁻¹)	风力/级	风向	试验结果
1	0.00	-	-	安全进口靠泊
2	0.30	-	-	安全进口靠泊
3	0.45	-	-	安全进口靠泊
4	0.50	-	-	进口困难
5	0.30	5	NW	安全进口靠泊
6	0.30	5	SE	安全进口靠泊
7	0.30	6	NW	安全进口靠泊
8	0.45	5	NW	安全进口靠泊
9	0.45	5	SE	安全进口靠泊
10	0.45	6	NW	安全进口靠泊
11	0.45	6	SE	安全进口靠泊
12	0.50	5	NW	进口非常困难
13	0.45	6	SE	安全出口
14	0.50	6	NW	安全出口

1) 在试验工况下, 船舶在拖轮拖带进出港池口门时距港池口门上游端和下游端最近距离统计结果见图 5。



a) 距口门上游端最近距离



b) 距口门下游端最近距离

图 5 船舶距口门上、下游端最近距离

2) 在试验工况下, 船舶在拖带进出口门过程中, 船舶中心线与口门两端连线中垂线的偏移距离见图 6。

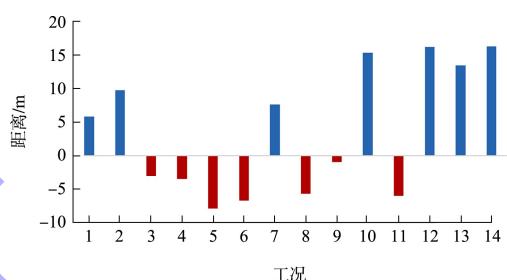


图 6 船舶中心线与口门中垂线偏移距离

从图 5、6 可知, 在试验工况下船舶进出港池口门距上游端最近距离为 31.2 m, 距下游的最近距离为 20.4 m。在流速 0.45 m/s、风力 6 级时, 距口门上游端最近距离为 66.4 m, 距下游端最近距离为 59.8 m。船舶在拖轮拖带下进出口门时与口门中垂线偏移距离最大为 16.3 m。各工况下船舶操纵试验航迹见图 7。



a) 工况 1



d) 工况 4



b) 工况 2



e) 工况 5



c) 工况 3



f) 工况 6

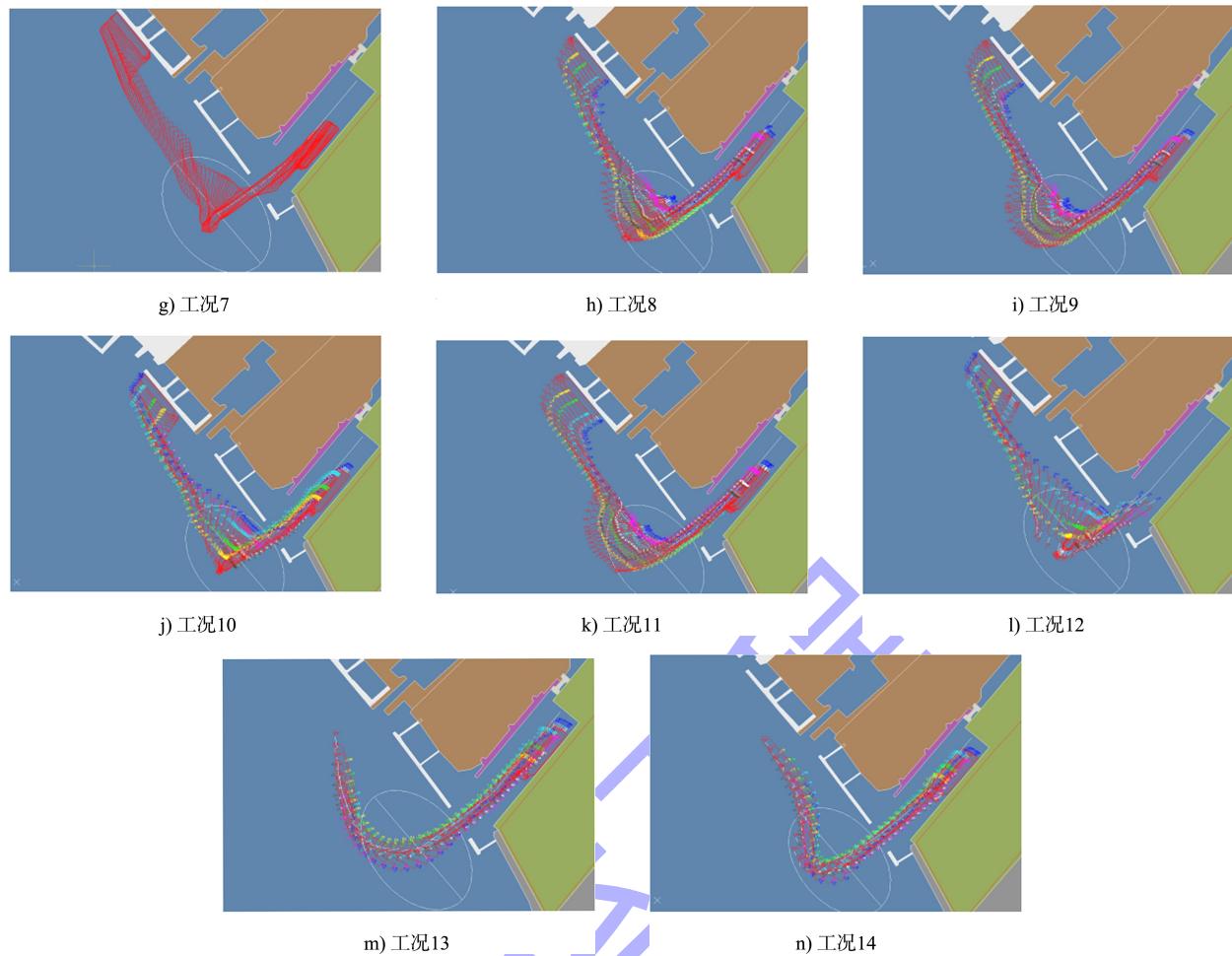


图 7 各工况下船舶操纵试验轨迹

3.4 试验结果分析

1) 港池口门外侧涨落潮主流为往复流, 水流对船舶进出口门的影响较大。受潮流影响, 船舶会向下漂移, 为使船舶在口门中心线航行, 须在拖轮顶推作用下减少船舶偏移的距离。船舶进入口门时, 外侧船体受到水流的影响产生较大的流压力, 口门内侧流压力较小, 因而产生的转船力矩会使船舶产生回旋, 须在拖轮协助下克服转船力矩。港池口门外侧流速越大, 产生的转船力矩越大, 对船舶航行轨迹的影响越明显。

2) 大型船舶尺度较大, 空载状态下侧向受风面积约为 1 万 m^2 , 因此受风的影响较大, 其中 SE、NW 向风对船舶进出港池口门的影响最为明显。

4 通航安全保障措施

4.1 船舶进出口门操纵方案

港池外通航环境较为复杂, 船舶须在拖轮的拖带下缓慢进出港池口门, 受风、流等外界环境

因素影响较大, 船舶回旋运动控制较为困难。因此, 须在船舶进出港池口门前做好各项准备工作, 并根据拖船的性能、自然环境因素影响及码头与港池情况制定完整灵活的船舶操纵方案, 并根据进出口实际情况随时根据环境变化对操纵方案进行调整, 确保船舶进出港池口门的安全。

4.2 进出口门安全操纵要求

1) 掌握船舶特性。本项目的特型船舶尺寸较大, 进出港池前须掌握船舶的载重情况、纵横倾对航行的影响, 对拖轮等操纵、系泊设备投入使用的有效性及可靠度有全面的了解。

2) 掌握外界的客观条件。船舶进出港池口门前必须熟悉掌握外界的客观条件, 包括口门两处码头的靠泊情况, 港池外长兴水道的船舶流量, 以及船舶进出时附近风力、水流、潮位情况等。

3) 与拖轮协作配合。船舶进出港池口门前, 提前做好拖轮编队系缆, 并考虑留有充分的富余。提前检查各艘拖轮的性能、联系信号和使用情况

等，确保船舶拖带航行时各艘拖轮的有效配合。

拖轮船队应做好与海事管理机构的沟通联系，拖航前应先报告海事批准，并使用 VHF 工作频道与崇明海事巡逻艇联系。

4.3 水上作业应急措施

4.3.1 破舱进水事故处置

1) 视破损情况对进水舱室进行排水或封舱；
2) 若抢修救险失败，船舶失去动力、照明时，对外发出求救信号和组织人员撤离；

3) 抢修救险失败、危及在船人员生命安全、所有通讯手段失效时，应急处置领导小组有权做出决定对外发出信号和组织人员撤离，并在恢复对外通讯的第一时间向公司应急指挥机构汇报。

4.3.2 拖轮故障

作业拖轮发生故障无法作业时，拖轮船长应立即报告指挥船长，在确认拖轮无法短时间修复后，应使用就近备用拖轮快速响应使其替换故障拖轮。指挥船长在船位控制后向指挥中心报告，拖航重新编队结束后根据现场情况决定是否继续作业。

4.3.3 突遇大风、强流

拖航船队在突遇大风、强流等恶劣环境时，应立即停止船队行驶，拖带拖轮就近控制船位，领航或备用拖轮快速响应协同控制船位。必要时，被拖船舶可抛下锚链，稳定船位。

4.3.4 船体异常倾斜

1) 对机舱、艏推力器舱、舵机舱、污水井、油舱等的装载及漏水情况进行检查或测量；

(上接第 118 页)

[2] 交通运输部天津水运工程科学研究所.尼日尔-贝宁原油外输管道施工图设计项目配套码头岸滩稳定与泥沙冲淤试验研究报告[R].天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2020.

[3] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 尼日尔-贝宁原油外输管道工程配套码头物理模型试验-系泊物理模型试验研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2020.

[4] 邱驹. 港工建筑物[M]. 天津: 天津大学出版社, 2005.

[5] 季小强, 陆培东, 喻国华. 离岸堤在海岸防护中的应用

2) 对应急电源、应急照明、排水系统等进行检查；

3) 对货舱、帆缆舱、压载舱、水密系统、水舱的装载情况进行检查或测量；

4) 综合检查和测量结果，找出异常倾斜的原因，调整压载水，控制异常倾斜。

5 结语

1) 通过规范公式计算，港池口门剩余宽度不满足超大型船舶单线航道通航宽度的要求。

2) 口门外水流流速不大于 0.45 m/s、风力不大于 6 级时船舶可安全进出港池。

3) 超大型船舶在进出口门受限的港池时，在限定风、浪、流等边界条件的情况下，可通过拖轮拖带辅助作业的方式安全进出港池。

参考文献：

- [1] 罗健, 程凯. 长江下游地区挖入式港池口门宽度的计算方法[J]. 水运工程, 2011(3): 67-70.
- [2] 孙锡坤, 曹英, 陆元旦. 宝山港区超大型船舶倒航进出港池的研究[C] // 中国航海学会. 中国航海学会论文集, 北京: 中国航海学会, 1999.
- [3] 李宏江, 谢海波. 满载大型船舶靠泊丹东港大东港区二号港池操纵分析[J]. 航海, 2018(4): 34-37.
- [4] 张名军. 大型船舶靠离蓬莱港新泊位引航技术研究[J]. 中国水运(下半月), 2009, 9(11): 1-2.
- [5] 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, 2013.

(本文编辑 郭雪珍)

探讨[J]. 水利水运工程学报, 2011(1): 35-43.

[6] 谢世楞. 离岸堤在海岸工程中的应用[J]. 海洋技术, 1999, 18(4): 39-45.

[7] SUH K, DALRYMPLE R A. Offshore breakwaters in laboratory and field[J]. Journal of waterway, port, coastal and ocean engineering, 1987, 113(2): 105-121.

[8] 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.

[9] PICNIC. Harbour approach channels design guidelines[S]. Brussels: PIANC, 2014.

(本文编辑 武亚庆)