



钦州港大榄坪港区 20 万吨级集装箱船 靠离泊风险评估

于松荣¹, 朱 峰²

- (1. 广西北部湾国际港务集团有限公司, 广西 南宁 530021;
2. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 为满足钦州港未来 20 万吨级集装箱船进出港及靠离泊作业安全性和可靠性要求, 依托大榄坪港区东航道及 9[#]泊位建立船舶操纵数学模型。通过模型计算反演船舶进出港以及靠离泊的有效航迹, 为航道及回旋水域安全通航提供建议。结果表明: 东航道现有 10 万吨级双向通航航道可满足未来 20 万吨级集装箱船在 6 级风况下单向通航的需求, 航道水深需进一步疏浚至 -16.3 m, 船舶可以乘潮进出港; 进港时, 南段转三墩段的建议航速为 9 kn, 参考舵角 15°; 三墩段转大榄坪段, 建议航速为 7 kn, 参考舵角 20°。在靠岸风和涨潮流共同作用下, 船舶回旋的航迹幅度较大, 水域沿水流方向尺度需由原先的 790 m 扩展为 1 200 m。

关键词: 船舶操纵; 航道宽度; 回旋水域; 靠离泊

中图分类号: U 652

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)10-0018-05

Risk assessment of berthing and unberthing of 200,000 DWT container ships in Dalanping port area of Qinzhou Port

YU Song-rong¹, ZHU Feng²

- (1. Guangxi Beibu Gulf International Port Group Co., Ltd., Nanning 530021, China;
2. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: In order to meet the safety and reliability requirements of the future 200,000 DWT container ships entering and leaving the port, berthing and unberthing operation in Qinzhou Port, a ship maneuvering mathematical model is established based on the east channel and the 9[#] berth in the Dalanping port area. The effective tracks of ships entering and leaving the port and berthing and unberthing are analyzed through model calculation, and the safe navigation conditions of channel and whirling waters are concluded. The analysis results reveal that the current 100,000 DWT two-way navigable channel in the east channel of Qinzhou Port can meet the requirements of one-way navigable channel for 200,000 DWT container ships in the future under level 6 wind conditions, and the channel water depth needs to be further dredged to -16.3 m to ensure that ships can enter or leave the port while taking advantage of the tide. Through the navigation process simulation, it is suggested that when the ship enters the port, the speed of turning from the south section to the Sandun section should be controlled at 9 knots, and the rudder angle suggested to be 15°; while the speed of turning from the Sandun section to the Dalanping section should be controlled at 7 knots, and the rudder angle suggested to be 20°. Under the combination of shore wind and rising tide current, the ship's departure turning track has an unexpected range, and the scale of turning water area along the flow direction needs to be expanded from 790 m to 1 200 m.

Keywords: ship maneuvering; channel width; whirling waters; berthing and unberthing

收稿日期: 2022-05-20

作者简介: 于松荣(1975—), 男, 高级工程师, 从事港口工程建设、波浪与结构物相互作用研究。

广西北部湾港位于广西壮族自治区南端、南海北部湾北岸, 海岸线长 1 629 km, 有水域宽阔、纳潮量大、地形隐蔽、水深浪小、港池航道淤积少等良好的天然水域条件和广阔的陆域, 开发潜力巨大, 是我国西南沿海地区的深水良港。广西北部湾港背靠大西南、面向东南亚、东临粤港澳, 是我国西南地区最便捷的出海通道, 也是我国与东盟国家海上贸易的重要口岸, 地理位置十分优越^[1]。

钦州港位于广西北部湾经济区的中心位置, 是我国大西南出海的陆上咽喉要道。为了实现钦州港千万标箱集装箱干线港的目标, 规划建设的大榄坪港区是钦州港“十三五”期间重点集装箱项目之一。本项目功能定位为满足集装箱干线港的发展需要, 近期主要满足外贸集装箱运输需求, 兼顾部分内贸集装箱运输, 远期主要满足区域外贸集装箱水路运输需求。

钦州港大榄坪港区泊位工程项目的建设会对附近水域的通航环境产生影响^[2], 为保证过往船舶的安全航行和航运畅通, 保障工程水域通航船舶的安全, 开展了通航安全技术模拟试验, 根据真实风浪流条件, 进行船舶进出港及靠离泊模拟仿真试验, 得出 20 万吨级船舶在风浪流条件下进出港的适应性和限制条件。

1 工程背景

本工程建设 2 个 10 万吨级集装箱泊位, 布置在大榄坪南作业区集装箱 9[#]、10[#]泊位, 见图 1。为满足未来 20 万吨级集装箱船靠离泊的要求, 7[#]、8[#]泊位水域底高程由-13.3 m 进一步疏浚至-15.1 m, 可满足 10 万吨级集装箱满载乘潮(乘潮水位 1.59 m)进港、12~15 万吨级集装箱船舶满载乘潮(乘潮水位 3.43 m, 3 h 乘潮保证率 90%)进港、20 万吨级集装箱船舶减载(船舶吃水减载至 16.2 m)乘潮(乘潮水位 3.43 m, 3 h 乘潮保证率 90%)进港要求; 9[#]、10[#]泊位水域底高程由-13.3 m 进一步疏浚至-16.3 m, 可满足 10 万吨级集装箱满载全潮进港, 20 万吨级集装箱船满载乘潮(乘潮水位 3.43 m, 3 h 乘潮保证率 90%)进港要求。7[#]、

8[#]泊位的回旋水域直径按 2 倍 10 万吨级集装箱船长考虑, 取 692 m; 9[#]、10[#]泊位的回旋水域按 1.975 倍 20 万吨级集装箱船长考虑, 取 790 m。设计船型的基本尺寸参数见表 1^[3]。



图 1 钦州港 9[#]、10[#]泊位总体规划

表 1 设计船型基本尺寸

船型	总长 L/m	型宽 B/m	型深 H/m	满载吃水 T/m	备注
10 万吨级 集装箱船	346	45.6	24.8	14.5	设计代表船型
20 万吨级 集装箱船	400	61.5	33.5	17.0	结构设计船型

本地区季风分布特征比较明显, 每年 5—8 月多偏南风, 10—翌年 3 月多偏北风, 多年平均风速 3.8 m/s, 极大风速 36 m/s。钦州湾外海涨潮流向东北、落潮流向西南, 涨落潮流均与航道走向大体一致, 流向较稳定, 落潮流速大于涨潮流速, 落潮历时小于涨潮历时, 涨潮平均流速为 0.08~0.28 m/s, 最大为 0.54 m/s。落潮平均流速为 0.09~0.55 m/s, 最大流速 0.95 m/s。钦州湾内最大涨潮流速为 1.0 m/s, 最大落潮流速为 1.7 m/s。在 1 个大潮周期内, 东航道内的水流条件好于西航道, 东航道内除个别拐弯点外, 最大横向流速分量均小于 0.25 m/s; 西航道个别航段横向流速分量达 0.50 m/s 的时间在 4 h 左右。

2 理论基础

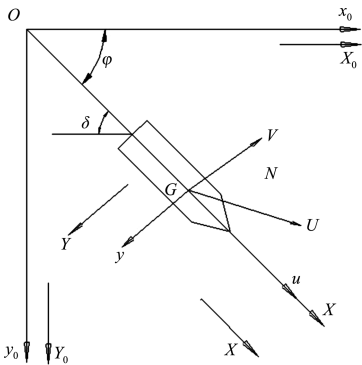
通航模拟是一种数值验证方法, 可以通过计算

仿真在一定程度上预测工程的实际实施效果，为近海交通工程设计提出有价值的参考依据^[4]。以航道水力模型和自由航行的船模为基础进行船舶航行操作模拟，可实现对拟建港口及航道工程进行船舶航行、靠离泊等模拟研究和通航安全评估^[5]。

船舶在水中的操纵运动可以看作是船首尾方向及正横方向的并进运动及绕船重心垂直轴的回转运动^[6]。根据图 2 中坐标系及受力方式，得出方程组(1)。

$$\begin{cases} X_0 = m\ddot{x}_{0G} \\ Y_0 = m\ddot{y}_{0G} \\ N_0 = I_{zz}\ddot{\varphi} \end{cases} \quad (1)$$

式中： x_{0G} 、 y_{0G} 为在 t_0 时刻船重心 G 的坐标； I_{zz} 是绕 z 轴的船的质量惯性矩。



注： x_0, y_0 为整体坐标轴； xy 为局部坐标轴； X_0 为作用于船的 x_0 轴方向的合力； Y_0 为作用于船的 y_0 轴方向的合力； X 为作用于船的 x 轴方向的合力； Y 为作用于船的 y 轴方向的合力； N 为绕船重心垂直轴的合力矩； m 为船的质量； φ 为船的转头角； U 为船速； u 和 v 分别为船速在船首尾方向及横向的分量； δ 为航行方向与 x 坐标轴之间的夹角。

图 2 船舶航行受力分析

将船舶运动方程(1)转化为船体坐标的表达式，以船体重心 G 为原点，船首尾为 x 轴，垂直于船首尾向为 y 轴，则可得到式(2)：

$$\begin{cases} (m + \lambda_{11})\dot{u} - (m + \lambda_{22})vr - (mx_g + \lambda_{26})r^2 = \sum X \\ (m + \lambda_{22})\dot{v} - (m + \lambda_{11})ur - (mx_g + \lambda_{26})\dot{r} = \sum Y \\ (I_z + \lambda_{66})\dot{r} - (mx_g + \lambda_{26})(\dot{v} + ur) = \sum N \end{cases} \quad (2)$$

式中： r 为转头角速度； m_x 、 m_y 为 x 、 y 向的附加质量； λ 为各个运动分量之间相关的运动惯量； I_z 为 z 向附加惯性矩。采用通常的水动力模型，可

将 X 、 Y 、 N 表达为：

$$\begin{cases} X = X_H + X_R + X_P + X_W + X_{WV} \\ Y = Y_H + Y_R + Y_P + Y_W + Y_{WV} + Y_{\gamma\gamma} \\ N = N_H + N_R + N_P + N_W + N_{WV} + N_{V\dot{V}\gamma} \end{cases} \quad (3)$$

式中：角标 H 、 R 、 P 、 W 、 WV 分别为作用在裸船体、舵、螺旋桨上及风和浪所产生的力和力矩^[7]。对裸船体的操纵运动所产生的横荡力 Y_H 和船摇力矩 N_H 均可用多项式表示^[8]。

每一时刻船舶的运动可以通过离散方程逐次积分计算求得^[9]。因此船舶对水流速为：

$$\begin{cases} \dot{v}_{xi} = \frac{X_i}{m + m_x} \\ \dot{v}_{yi} = \frac{(I_z + I_{zz})Y_i + Y_i N_i}{(m + m_y)(I_z + I_{zz}) - Y_i N_i} \\ \dot{\gamma}_i = \frac{(m + m_y)N_i + N_i Y_i}{(m + m_y)(I_z + I_{zz}) - Y_i N_i} \\ v_{x,i+1} = v_{xi} + \dot{v}_{xi}\Delta t \\ v_{y,i+1} = v_{yi} + \dot{v}_{yi}\Delta t \end{cases} \quad (4)$$

式中： v_x 、 v_y 为船对水运动速度在 x 、 y 方向的分量。在对水运动计算的基础上可进一步计算船对地运动的航行参数。

3 船舶进出港航迹分析

船舶进出港航迹是判断航道宽度是否满足同行安全性的重要参考依据，因此本项目进行了船舶进出港船舶的航迹分析。通航环境仿真模型中风况设置为 NE 向吹开风、SW 向吹拢风，典型风力 6 级，模拟试验浪况设置与风况相匹配。航道及港池的潮流数据参考相应的潮流场计算结果。选取设计代表船型 20 万吨级集装箱船作为模拟试验船型，船舶模型见图 3。



图 3 20 万吨级集装箱船模型

船舶进港的航线顺序为：由航道南段转至三墩段，再由三墩段转至大榄坪段，然后进入泊位的回旋水域进行靠泊。船舶经南段转三墩段以及由三墩段转大榄坪段的进港航迹见图 4。

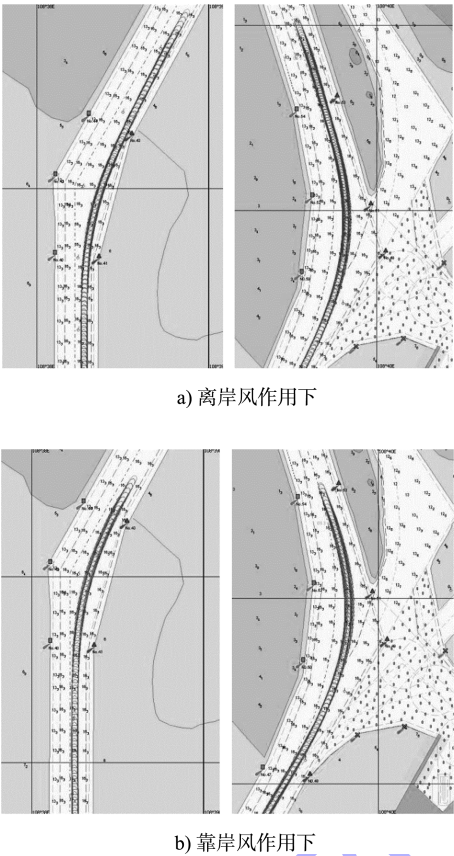


图 4 集装箱船进港航迹

根据模拟试验结果，20 万吨级集装箱船进港时，在东航道南段船速一般为 8~11 kn，风流压差约 2°~3°；船舶三墩段船速一般为 8~10 kn，风流压差约 3°~5°；转入大榄坪段船速一般为 5~8 kn，风流压差约 5°~8°，转入港池水域时航速需要降至 4 kn 以下。

船舶离港的航线顺序为：由泊位的回旋水域进入大榄坪段，由大榄坪段转至三墩段，再由三墩段转至航道南段。船舶出港航迹见图 5。

模拟试验操作过程表明，进港航道 55#灯浮至回旋水域段为船舶进港的制动段，也是船舶离泊出港时上线的关键航段，船舶低速状态下受风影响显著，且舵效差，进港船舶单凭船舶难以完成由航道转入港池的操作，应使用拖轮协助控制船

位及制动。

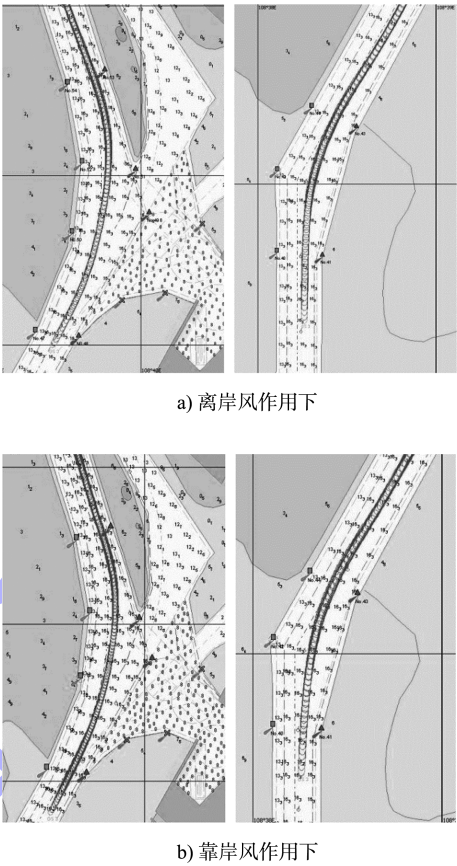


图 5 集装箱船出港航迹

船舶进出港过程中，建议选择 1 艘大马力拖轮在船尾进行吊拖，协助船舶进行制动及提高舵效；船舶进港过程中，船舶在东航道南段转入三墩段，控制船速 9 kn 为宜，模拟操作时的舵角大约 15°；三墩段转入大榄坪段，控制船速 7 kn 为宜，模拟操作时的舵角大约 20°，船舶进出港航行需注意风流同向对船舶的影响，合理调整船位。模拟试验结果显示在三墩段航迹带宽度最大，试验数据按三墩段航道宽度核算。模拟试验中 20 万吨级集装箱船进出港航迹带宽度最大为 137 m，所需单向航道宽度最大值为 230 m。航道通航宽度 230~280 m 满足 20 万吨级集装箱船在 6 级及以下风力条件下乘潮单向通航的要求。

4 船舶靠离泊分析

进港后，船舶靠泊与离泊是船舶装卸作业的

关键步骤，也是判断船舶与港口作业条件安全的重要条件，为此开展了船舶靠离泊航迹分析。分析模型中风况设置为 NE 向吹开风、SW 向吹拢风，风力设置为 6 级风，浪况设置与风况相匹配。

20 万吨级集装箱船进港靠泊时，离岸风作用下，船舶逐渐减速抵达泊位前方，左舷首尾拖轮对船舶进行顶推使其逐步靠岸；靠岸风作用下，随着船舶减速，其舵效逐渐降低，船舶受到风流力影响逐渐向岸偏移，此时拖轮需根据风流力方向调整拖力及拖带方向，使船舶缓慢平行靠泊，靠泊轨迹见图 6。

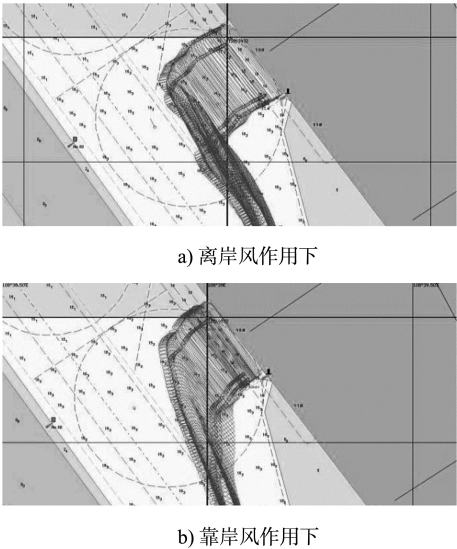


图 6 集装箱船靠泊轨迹

20 万吨级集装箱船离泊出港时，左舷首尾及船中各带 1 艘拖轮，另一艘拖轮待命，根据风向调整拖轮的拖力及拖带方向，利用风力和拖轮拖力使船舶平行出泊，使用拖轮调整船位及姿态，根据流向、流速调整与流向的交角，船舶至码头前沿水域外距离泊位一定安全距离(根据风力、风向确定)时，首部的拖轮加车，并使用备用拖轮顶右舷首部，使船移向回旋水域并向左转向，用拖轮控制船首和船位，摆正船位进入航道略偏向上风、流一侧，加车提速进入出港航道，待船速提高到 4 kn 以上时，适时解掉拖轮，快车出港。离泊轨迹见图 7。

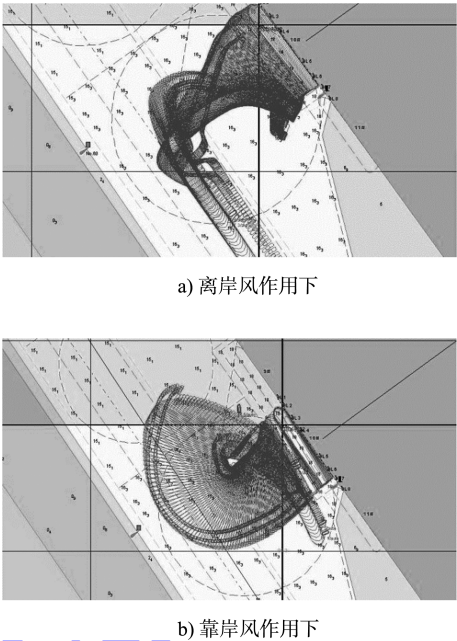


图 7 集装箱船离泊轨迹

船舶操纵模拟出港航迹结果表明：在离岸风和涨潮流作用下，由于外荷载对船舶航迹有推离泊位的作用，因此 20 万吨级集装箱船离泊过程较为顺利；在靠岸风和涨潮流共同作用下，20 万吨级集装箱船掉头操作较为困难，为防止船舶与泊位间距过近，在控制前冲态势情况下，船尾在拖轮辅助下需要发生较大幅度的回旋，掉头操作轨迹沿水流方向超出设计回旋水域范围。因此，设计回旋水域不能满足 20 万吨级集装箱船在拖轮协助下掉头操作的要求，建议回旋水域形状修正为椭圆形，沿水流方向尺度由原先的 790 m 扩展为 1 200 m。

5 结论

- 1)通过对船舶航行过程的模拟分析，可以得到航道不同区间的定量参考航速和舵角，例如南段转三墩段，航速应控制在 9 kn、舵角约 15°左右为宜；三墩段转入大榄坪段，航速应控制在 7 kn，舵角约 20°左右为宜。
- 2)通过航行模拟，可以确定 20 万吨级集装箱船进出港航迹带在三墩段宽度最大为 137 m，所需单向航道宽度最大值为 230 m。航道通航宽度可以满足 20 万吨级集装箱船在 6 级及以下风力条件下乘潮单向通航的要求。