

舟山北部水域大型泊位规划 对通航效率影响的仿真模拟研究

任建乔¹, 吴晓烈²

(1. 宁波舟山港股份有限公司, 浙江 宁波 315040; 2. 武汉理工大学航运学院, 湖北 武汉 430063)

摘要: 远期规划的舟山北部水域大型泊位高达 50 余个。进港航速低、历时长、乘潮和靠泊时间窗口要求特殊, 是大型船舶影响港口通航效率的主要因素。在现状及近、远期港口规划条件下, 基于 Arena 仿真建模方法, 构建舟山北部水域大型船舶进出港仿真模型, 定量统计分析不同阶段大型泊位规划对船舶通航效率的影响。结果表明: 近、远期规划实施后大型船舶流量增加 33% 和 65%, 远期规划中黄泽作业区的船舶平均等待时间较现状增加约 10.5 h, 小洋山作业区和鼠浪湖作业区分别增加约 0.5 h 和 2 h, 对通航效率整体影响有限。

关键词: 大型泊位; 通航效率; 舟山水域; Arena 仿真

中图分类号: U 651.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)04-0044-05

Simulation study on impact of large berth planning on navigation efficiency in northern Zhoushan waters

REN Jian-qiao¹, WU Xiao-lie²

(1. Ningbo Zhoushan Port Co., Ltd., Ningbo 315040, China;

2. School of Navigation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: There are more than 50 large-scale berths planned in the long-term of the northern waters of Zhoushan. The low port entry speed, long duration, specific tide, and berthing time windows are the key factors impacting the port navigation efficiency of large ships. Under the conditions of existing and short-term and long-term planned ports, based on the Arena simulation modeling method, a simulation model of large ships in and out of the port in the northern Zhoushan waters is constructed to quantitatively analyze the impact of large-scale berth planning at different stages on the navigation efficiency of ships. The results show that after the short-term and long-term planning, the flow of large ships will increase by 33% and 65%, and the average waiting time of ships in the Huangze operation area will increase by about 10.5 hours compared with the current situation and that in the Xiaoyangshan operation area and the Molanghu operation area will increase by about 0.5 h and 2 h respectively, which has a limited impact on the overall navigation efficiency.

Keywords: large berth; navigation efficiency; Zhoushan waters; Arena simulation

浙江省舟山群岛北部水域分布有衢山港区、嵊泗港区和洋山港区, 其深水岸线、航道、锚地条件较好, 大型泊位众多, 邻近上海、长江和杭州湾, 对长三角地区的辐射能力强, 具有较大的发展潜力, 其港口发展将对长三角地区的经济社

会发展起着重要的战略支撑作用。根据港口总体规划, 3 大港区规划港口岸线全部开发完成后将会形成 15 个 VLCC (very large crude carrier, 本文指 15 万 t 及以上液体散货船舶)、9 个 VLOC (very large ore carrier, 本文指 20 万 t 及以上干散货船

收稿日期: 2020-08-06

作者简介: 任建乔(1974—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程规划、技术管理工作。

船)、2 个 LNG(liquefied natural gas, 本文指所有液化天然气船舶)、28 个 5 万吨级及以上集装箱等大型泊位。研究港区通航条件对规划泊位特别是大型泊位的通航效率影响, 对于实施港口规划、提高通航效率具有重要的支持作用。

大型船舶进港安全间距大、航速低、历时长、乘潮和靠泊时间窗口特定, 是影响港口通航效率的重要因素^[1]。相比中小型船舶进出港, 大型船舶更容易成为港口通航效率的瓶颈^[2]。当前主要是利用排队论、船舶交通流仿真等方法研究航道通过能力^[3]、航道利用率^[4]、船舶排队长度和等待时间^[5]等相关参数之间的变化规律。排队论是将航道交通看作是一个排队系统, 从宏观角度研究交通流特征参数及服务规则对通航效率的影响, 其往往忽略了船舶在实际航行中的相互干扰^[6]。交通流仿真是解决此类问题的有效方法^[7], 已有

相关研究多数是将系统抽象为典型的排队服务系统, 船舶作为模拟的对象, 进出港过程往往做简化处理, 如单一不变的航速、固定的潮流潮汐等。

本文基于 Arena 建模仿真软件, 综合考虑潮汐、潮流、作业天数、航道、泊位、锚地等条件, 建立不同规划阶段舟山北部水域港口大型船舶进出港仿真模型, 系统研究大型泊位的规划与通航效率影响程度, 为港口规划提供技术支撑。

1 舟山北部水域大型泊位规划

舟山北部水域主要分布有小洋山、沈家湾、马迹山、黄泽、蛇移门及鼠浪湖共 6 个作业区。同时, 由于舟山北部水域水深条件良好, 周围建成及规划大型船舶泊位分布密集, 已建成的大型泊位分布情况见图 1, 各作业区大型泊位规划见表 1。

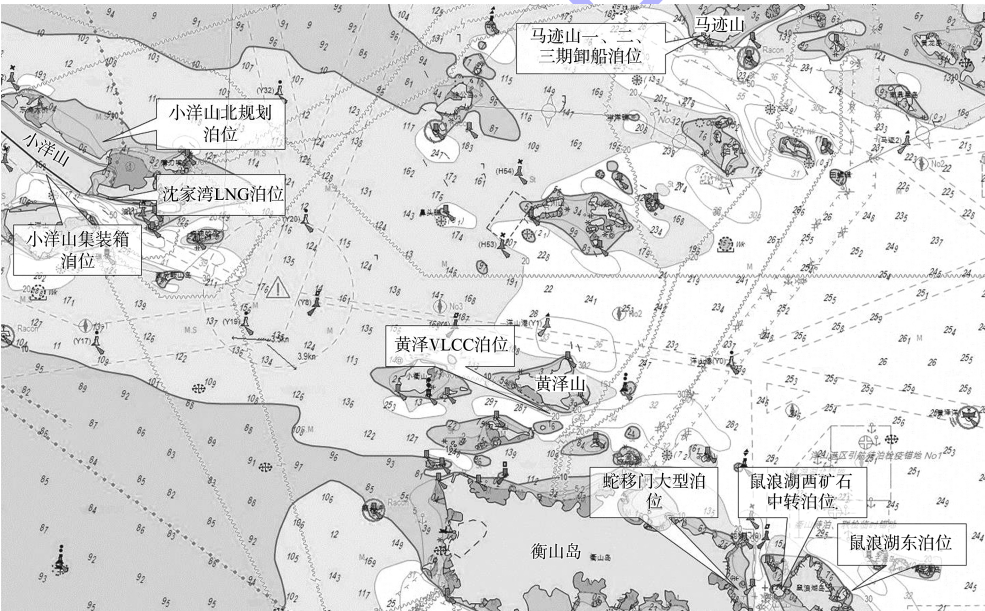


图 1 舟山北部水域已建大型泊位分布

表 1 舟山北部水域大型泊位远期规划数量 个				
作业区	VLCC	VLOC	LNG	大型集装箱
鼠浪湖	7	3	-	-
黄泽	8	-	-	-
蛇移门	-	2	-	-
马迹山	-	4	-	-
小洋山	-	-	-	28
沈家湾	-	-	2	-
合计	15	9	2	28

2 仿真建模

舟山北部水域交通流错综复杂, 多个作业区船舶进出港须利用同一航道, 大型船舶进出港时制约因素较多且与其他船舶间相互影响较大, 仅利用理论分析难以进行准确的评估。本节基于大型泊位现状以及规划, 利用仿真技术系统量化船舶进出港对通航效率的影响。首先, 梳理舟山北部水域不同泊位大型船舶进出港航道条件、潮汐、

潮流及靠泊时间窗口，并建立 Arena 仿真框架，见图 2；其次，根据大型船舶进出港规则及水域特点，形成仿真规则，并结合不同阶段船舶流量预

测数据，设置仿真参数；最后，综合仿真得到的船舶等待时间，确定大型泊位规划对通航效率的影响。

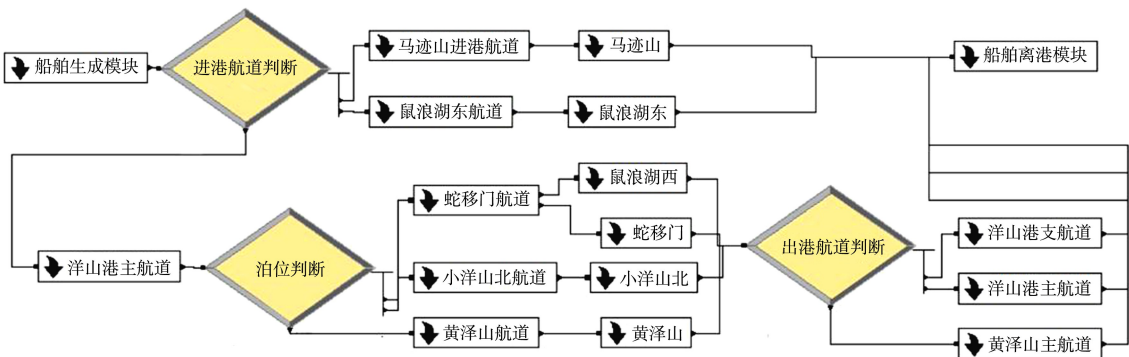


图 2 Arena 仿真框架

2.1 工况设置

基于附近作业区建设运营现状，结合未来吞吐量和交通流分布，综合考虑舟山北部水域大型泊位规划实施前后对附近通航的影响，设置 3 组仿真工况：

- 1) 工况 1。基于舟山北部水域现状下的交通流分布特点，作为后续工况的基础对照组，以便得到舟山北部水域规划营运后对通航的影响。
- 2) 工况 2。基于近期规划方案下(未考虑规划预留泊位)各作业区规划预测交通流量的仿真。
- 3) 工况 3。基于长远期规划方案下(考虑小洋山北、鼠浪湖东侧的规划预留泊位)各作业区规划预测交通流量仿真。

2.2 仿真规则

舟山北部水域潮流复杂，不同航道乘潮条件不同，不同泊位靠泊时间窗口受潮流变化影响存在特殊要求，各大型泊位间交通组织存在相互影响，系统而准确的大型船舶进出港及靠离泊规则是仿真的基础和关键，主要仿真规则如下：

- 1) 乘潮及靠离泊规则。大型船舶满载进港时受航道乘潮要求和泊位前沿潮流等条件制约，仿

真的潮位、潮汐信息来源于舟山引航站潮汐潮流信息系统，未获得信息的泊位参考临近测站信息，利用 Arena 构建的水文生成器模拟潮位、潮流变化并收集高平潮和低平潮时间。

根据文献[8-11]及舟山引航站多年靠离泊经验，鼠浪湖西及蛇移门作业区选择涨末缓流阶段顺靠泊位；洋山 LNG 码头选择初落顶流靠泊，且禁止掉头靠泊；洋山港集装箱泊位可选择缓流时间顺靠或掉头靠泊；受航道水深影响 VLOC 和 VLCC 禁止低潮时段进港；其他泊位选择缓流时段顶流靠泊。

2) 航行规则。舟山北部水域规划大型泊位及进港航道分布见图 3，进港船舶直接由外海到达 A₀点或从锚地起锚航行至 A₀点，之后根据靠泊港区和泊位选择不同航道，所有船舶均沿相关航道航行。除黄泽作业区南侧进港航道为单向航道外，其他作业区进港航道均满足本文仿真船型双向通航，由于其可沿出港航道出港，不影响船舶同时进港。

LNG 船舶移动安全区参考文献[12]设置；根据习惯做法，前后进港的大型船舶保持至少 20 min 的安全间隔；大型船舶夜间不能进港靠泊。

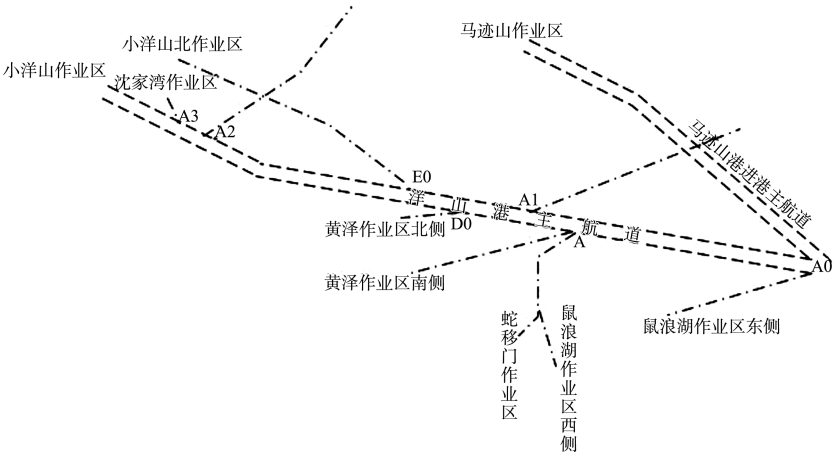


图 3 各作业区分布及进港航道

2.3 参数设置

2.3.1 模型主要输入参数

1) 船舶到港流量。基于泊位吞吐量和代表船型运量预测船舶到港流量, 按照如下公式计算:

$$N_a = \frac{Q}{k \cdot DW} \tag{1}$$

式中: N_a 为年到港船舶数量; Q 为该船型运量; k 为载质量利用率, 一般取 0.8; DW 为船舶吨级。

根据舟山北部水域大型泊位进出港船型现状, 结合泊位吞吐量和不同货类、不同吨级船型运量, 得到船舶到港流量。

2) 船舶到达率。根据文献[13], 本水域船舶到达规律服从参数为 λ 的泊松分布, 其中参数 λ 被称为船舶到达率。由于本文以月为单位进行仿真, 根据式(1)计算结果, 设置不同工况下不同船型每月到达率, 见表 2。

表 2 不同工况下船舶到达率

工况	$\lambda / (\text{艘} \cdot \text{月}^{-1})$			
	VLCC	VLOC	LNG	集装箱
1	5.25	28.05	5.25	390.00
2	42.75	70.20	11.25	446.40
3	119.40	70.20	11.25	506.55

3) 装卸效率及可作业天数。大型集装箱船平均装卸时间取 10 h/艘; 根据船舶大小, VLOC 和 VLCC 的作业时间分别取 70~80 h/艘和 70~100 h/艘。

洋山港区集装箱泊位年作业天数为 340 d, 鼠

浪湖东侧 VLCC 泊位年作业天数为 310 d, 其余作业区年作业天数为 320 d。

2.3.2 模型主要输出参数

仿真输出为各个作业区大型船舶平均等待时间和最大等待时间, 并定量统计泊位占用、靠泊窗口限制、航道占用导致船舶等待时长占总延误时间的比例。

3 仿真结果分析

3.1 仿真结果

分别按照工况 1~3 仿真 3 个月, 为减小误差, 仿真 10 次取平均值, 得到各个作业区大型船舶平均等待时间, 结果见图 4。从仿真结果可见: 仿真时设置的 LNG 船舶靠泊优先级高, 且洋山港主航道和航道两侧水域条件较好, 沈家湾作业区 LNG 船舶等待时间基本不增加; 小洋山作业区大型集装箱船舶平均进港待泊时间比现状将延长 0.5 h; 黄泽作业区 VLCC 平均等待时间增加约 10.5 h。这是由于远期规划下的 8 个泊位利用 1 个进港航道且泊位间存在相互影响, 建议根据后期规划进一步改善黄泽作业区通航条件, 提高通航效率; 鼠浪湖西和蛇移门作业区共用蛇移门航道且泊位距离较近, 近远期规划实施后船舶平均等待时间均超过 9 h; 鼠浪湖作业区船舶等待时间较现状增加约 2 h; 马迹山作业区一、二期与三期可以同时靠泊且与其他作业区不共用航道, 船舶等待时间

基本不增加。同样的，大型船舶最长等待时间也有与平均等待时间相似的特点，不考虑气象等自然条件封航因素，黄泽作业区船舶最长等待时间超过 45 h。

基于港口吞吐量的船舶流量在近、远期规划下分别增加 33% 和 65%，对船舶通航效率有一定影响，随着泊位数量的增加，除黄泽作业区外其他作业区船舶平均等待时间增加 0.5~2 h，整体影响有限。

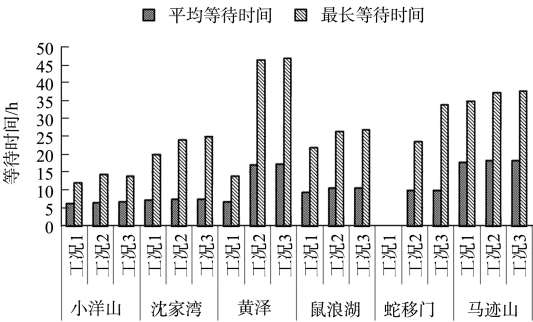


图 4 不同作业区大型船舶等待时间

3.2 影响分析

为进一步评估各个作业区通航效率影响因素，对泊位占用、等待靠泊窗口、航道占用共 3 个主要导致船舶等待的因素量化，分别统计其占总等待时间的比例。由于马迹山作业区船舶与其他作业区船舶利用的航道不同，蛇移门作业区尚未有大型泊位，不再对其统计，具体见图 5，从结果可见：

1)造成船舶等待的原因主要是泊位占用和等待靠泊窗口，航道影响相对较小，说明舟山北部水域航道条件良好，不是制约通航效率的主要因素。

2)随着规划实施，除鼠浪湖作业区因泊位占用造成的等待时长比例略有下降外，其他略有上升，说明泊位数量基本能够适应未来大型船舶流量；鼠浪湖作业区靠泊窗口占用比例较大且未来有一定上升，这是由于鼠浪湖作业区靠泊窗口较严苛，可作业天数较少，在一定程度上影响了大型船舶的通航效率。

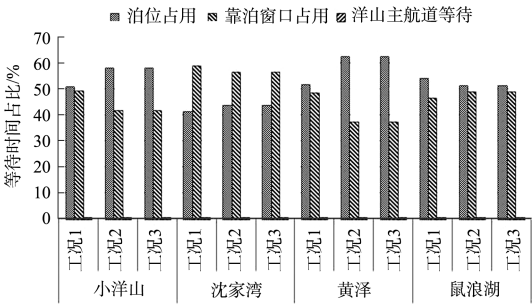


图 5 船舶等待时长占比

4 结论

1)基于 Arena 仿真软件，通过分析舟山北部水域大型泊位现状及规划，结合潮汐、潮流、港口运营和引航员靠离泊经验等确定仿真规则和参数设置，构建涵盖船舶进出港、锚地、靠离泊及港口作业主要过程的仿真模型。

2)大型船舶流量在近远期规划下增加 33% 和 65%，黄泽作业区的船舶平均等待时间增加约 10 h，其他作业区增加 0.5~2 h，对通航效率整体影响有限。

3)造成大型船舶等待的主要原因是泊位占用和靠泊窗口限制，小洋山和黄泽作业区近远期大型泊位规划下泊位占用对船舶等待时长的占比略有提高，鼠浪湖作业区靠泊时间窗口限制成为船舶等待的关键因素。

参考文献：

[1] 史殿中.超大型船舶通航对航道通过能力影响的研究[D].大连:大连海事大学,2017.

[2] 王亚琪.提高长江航道通航效率分析[J].科技视界,2016(5):149,200.

[3] KADARSA E, LUBIS A R S, SJAFRUDDIN A, et al. Fairway traffic capacity in Indonesia [J]. Procedia engineering, 2017, 171: 1443-1453.

[4] 宋向群,杨沛霖,唐国磊,等.沿海集装箱港区泊位装卸效率对单线航道利用率的影响[J].水运工程,2011(4):51-53,57.

[5] LIN J, ZHANG X Y, YIN Y, et al. Optimization of ship scheduling based on one-way fairway [C]//14th International conference on algorithms and architectures for parallel processing.Berlin: Springer, 2014.