



基于离散事件的港域航道通过能力仿真试验*

白响恩, 周伟, 郑剑, 余翘楚

(上海海事大学商船学院 航运仿真技术教育部工程研究中心, 上海 201306)

摘要: 由于港口岸线资源紧张, 为充分利用水域自然条件, 港域航道存在码头回旋水域占用航道现象, 船舶靠离泊作业对航道内船舶的通航产生影响, 航道通过能力存在折减。通过离散系统仿真实理论的应用, 模拟码头船舶靠离泊和航道通航过程, 以吴淞国际邮轮码头为例, 量化分析靠离泊作业对通过能力的影响, 为码头岸线规划提供参考。

关键词: 港域航道; 通过能力; 离散仿真; 靠离泊作业; 占用航道; 回旋水域

中图分类号: U 651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0118-04

Discrete event simulation on traffic capacity of harbor channel

BAI Xiang-en, ZHOU Wei, ZHENG Jian, YU Qiao-chu

(Engineering Research Center of Simulation Technology, Ministry of Education, Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Due to the absence of shoreline resources, harbor channel is occupied by the turning area to make use of natural condition. Ship berthing and unberthing has an impact on ship navigation, which leads to traffic capacity reduction. This paper uses discrete event simulation theory to simulate the system which includes ship berthing, departing and navigation. Taking Wusong cruise terminal for example, this paper gives a quantitative analysis to the influence of ship berthing and unberthing at traffic capacity, which can provide reference for planning terminal and coastal line.

Key words: harbor channel; traffic capacity; discrete event simulation; berthing and unberthing; occupy channel; turning area

随着我国水运业的不断发展, 码头岸线资源日益紧张。为充分利用水域自然条件, 同一片水域被赋予两种不同的功能。由此造成航道与回旋水域重合的情况越来越多, 使得这类水域的通航局面更加复杂。当回旋水域中有船舶靠泊作业时, 水域通过能力会受到很大影响。航道船舶面对前方回旋水域被占用, 一般要减速等待直至通过, 使得航道通过能力折减, 成为港域航道通航的“瓶颈”。

航道通过能力的研究始于 20 世纪 60 年代日

本学者藤井对日本东京湾水道船舶交通容量的研究^[1]。我国航道通过能力计算模型大多数是利用国外公式推导出来的经验公式, 这些公式一般是以航道的实际情况和多年的观测数据来确定一系列的待定系数^[2]。如李强^[3]对汉江航道通过能力现状及提高措施, 谈超凤等^[4]对集装箱码头泊位通过能力影响因素及相关指标研究, 宋向群等^[5]对船型组合对沿海散货港区航道通过能力的影响, 董宇等^[6]对内河航道通过能力计算方法研究, 米罗诺夫^[7]对提高航道通过能力和安全性的方法研

收稿日期: 2013-09-29

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (51149001); 上海海事大学科研基金 (20130480)

作者简介: 白响恩 (1984—), 女, 博士研究生, 讲师, 从事载运工具运用工程研究。

究等。航道通过能力研究广泛且深入, 但针对码头回旋水域占用港域航道的情况研究较少, 本文运用离散系统仿真实论, 仿真量化靠离泊作业对航道影响, 为岸线利用等提供参考。

1 靠离泊影响水域的运行过程

假设正常航行状态下, 靠离泊影响水域航段上口、下口单方向通过能力相等。以下水方向航道通过能力为例分析水域的运行过程, 见图1。

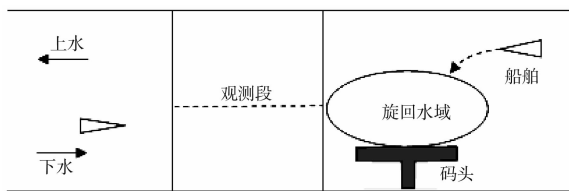


图1 靠离泊影响水域通航示意图

1) 正常通过状态。

上水方向船舶没有出现靠港需求, 下水方向船舶正常通航。

2) 发生上水船舶靠泊对岸码头。

上水船舶靠港, 船舶进入码头调头水域, 船舶调头、靠泊时间0.5~0.7 h, 占用航道水域。

3) 航道拥堵过程。

当上水船舶进行靠泊作业时, 即将进入观测段(观测段长度按船舶避让时警戒安全距离确定)的下水船舶需要减速让行, 船舶航速明显降低。后续下水方向船舶进入观测段后逐一降低航速, 观测段内进行避让的船舶形成一列缓行船队, 航道呈现拥堵状态。

4) 拥堵消散过程。

上水船舶靠泊对岸码头作业完成, 下水方向航道恢复通畅, 观测段内缓行船队逐一提升航速, 恢复至正常通航状态, 拥堵开始消散。在观测段航道拥堵消散过程中, 后续进入观测段船舶仍然需要减速, 直至前方船舶全部达到正常航速时, 拥堵完全结束。

5) 连续拥堵状态。

下水方向观测段内船舶恢复通航时, 上水方向

再度有船舶进行靠港作业, 重复2)~4)状态^[8]。

2 航道通过能力折减

航道通过能力是指单位或特定的时段内, 能够通过航道某区段或某一地点的船舶数量或船舶载质量的^[9]。通过能力研究中通常采用系数修正的方式反映某一因素对通过能力的影响。当码头靠离泊水域占用航道时, 航道通过能力通常会减少, 为便于分析靠离泊作业对航道通航能力的影响, 本研究采用 K 表示靠离泊折减系数, 具体表述如下:

$$K = P'/P \quad (1)$$

式中: P' 和 P 分别表示考虑靠离泊影响的航道通过能力和基本航道通过能力(艘/h)。本研究中 P' 和 P 均采用仿真获得。当观测航道内船舶出现排队拥堵无法疏散, 或观测航道内船舶间距达到船舶领域, 此时对应船舶流量即为航道通过能力。在取消船舶靠离泊作业条件下进行仿真, 可得到基本航道通过能力 P , 加入靠离泊影响, 可获得靠离泊影响的航道通过能力 P' 。

3 仿真逻辑模型

本文的通航过程仿真, 属于离散随机系统仿真, 为方便仿真系统设计, 构建仿真系统逻辑模型(图2)。该模型包括两部分——码头船舶靠离泊过程和航道通航过程。码头船舶到达后, 经过属性赋值(船速、船长等)、靠泊作业、装卸货作业(包括码头逗留时间)、离泊作业后离开系统。航道船舶到达后, 经过属性赋值、航道航行、通过回旋水域时先判断码头是否有船舶靠离泊作业, 如有则减速航行, 没有则正常航行离开系统。回旋水域是否有船舶靠离, 通过状态变量确定, 如变量值为1则有船舶靠离, 相反则没有。船舶靠离泊过程, 修改状态变量值, 从而影响航道船舶通航, 使其减速航行。

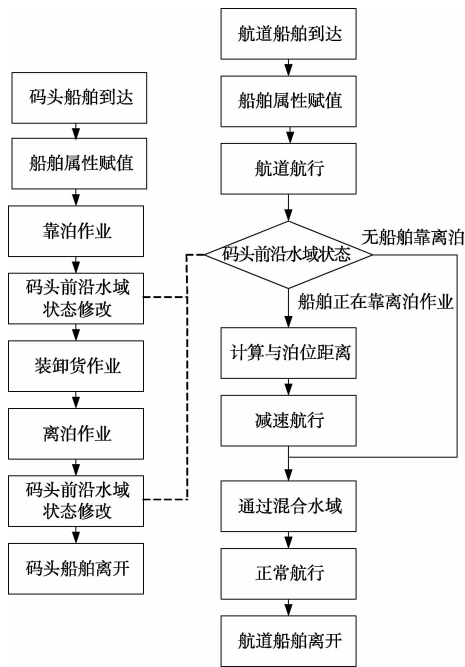


图2 仿真系统逻辑模型

其中，船舶在装卸货作业过程，与船舶吨级、装卸效率有关，在泊位作业时间一般服从二阶爱尔朗 (Erlang) 分布^[10]，公式为：

$$f(t) = \frac{\mu k (\mu kt)^{k-1}}{(k-1)!} e^{-\mu kt} \quad t > 0 \quad (2)$$

式中： k 表示阶数，取 $k=2$ ； μ 表示平均泊位作业时间。

仿真过程中船舶最小间距需满足船舶安全距离要求。根据藤井模型，船舶进出港航行一般为狭窄水域航行，船舶领域取前后两船长的3倍^[11]。

4 仿真系统设计

根据仿真逻辑模型，采用离散系统仿真软件 Arena 软件设计仿真系统，如图3所示。图3中，①为航道船舶通航过程，用 Create 模块产生船舶实体，用 Assign 模块进行属性赋值，用 process 模块模拟航行过程，用 Decide 模块判断是否有船舶正在靠离泊作业。②为码头船舶靠离泊过程。③为数据采样过程，通过 ReadWrite 模块采用 ADO 技术绑定 EXCEL 实现数据采样，获得仿真过程数据，数据采样频率为1次/h。

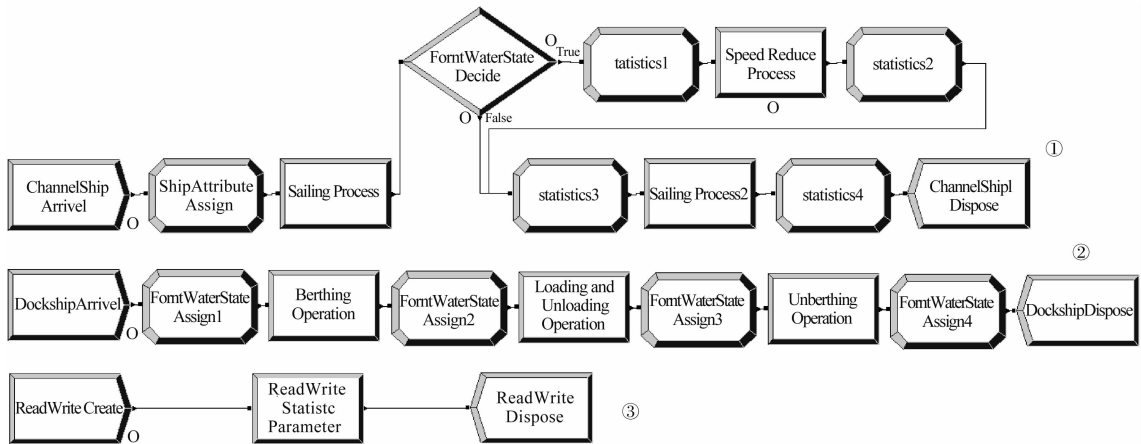


图3 仿真系统

5 仿真试验分析

吴淞口国际邮轮码头按地理位置处于宝山罗泾港区。地理坐标范围：E121°29'53" ~ 121°30'45"，N31°24'18" ~ 31°24'51"。吴淞口国际邮轮码头长度1545 m，布置国际邮轮泊位、国内游船泊位若干，一期只设计15万吨级邮轮泊位，因此，本文只考虑15万吨级单泊位作业情况(图4)。考虑码头通过能力和不平衡系数，码头进出港流

量取0.75艘次/d^[12]。通过模拟试验获得15万吨级邮轮靠离泊时间(表1)。

分析15万吨级船舶离泊作业时间，船舶在回旋水域的离泊作业时间取三角分布 $TRIA(9, 11, 14)$ (单位: min)。同样，靠泊作业时间取三角分布 $TRIA(12, 14, 15)$ 。根据流量观测数据，平均船长约为50 m，平均船速为8.7 kn，船速分布见图5。

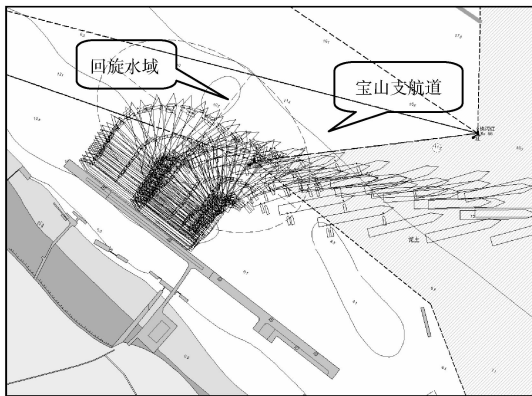


图 4 15 万吨级大型邮轮离泊 1[#], 2[#] 泊位模拟

表 1 15 万吨级大型邮轮离泊模拟试验数据

编号	状态	风		流		回旋时间/min
		风向/(°)	风速/kn	流向/(°)	流速/kn	
1	离泊	113	7	122	2.7	11.2
2	离泊	23	7	122	2.7	11.0
3	离泊	338	7	122	2.7	9.7
4	离泊	90	7	122	2.7	13.8
5	离泊	68	7	122	2.7	10.5

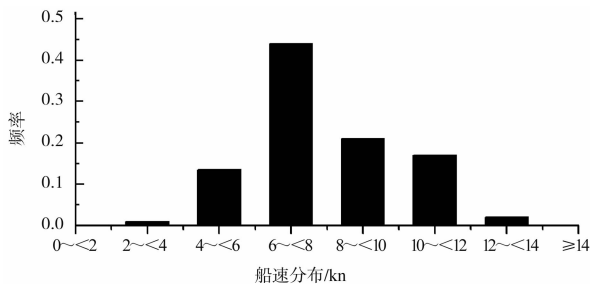


图 5 船速分布

采用仿真试验输入参数和实测船舶流量, 借助 Arena 的 Schedule 功能输入系统 (图 6)。输入参数为船舶到达泊松或实测分布, 平均船速 8.7 kn, 平均船长 50 m, 靠离频次 0.75 艘次/d, 靠泊时间 $TRIA (9, 11, 14)$, 离泊时间 $TRIA (12, 14, 15)$, 停泊时间 $ERLA (8, 2)$, 船舶领域 6 倍船长。同时将其他参数也输入仿真系统, 检验仿真系统逻辑, 获得输出流量与观测流量接近, 故仿真系统参数准确。

为便于分析靠离泊影响, 仿真试验仅考虑靠离泊因素, 并以平均船舶间距达到船舶领域作为达到通过能力的依据。做 100 d 连续仿真试验, 取平均值, 获得仿真试验结果: 基本通过能力 $P = 1\ 259$ 艘次/d,

靠离泊影响的通过能力 $P' = 1\ 243$ 艘次/d, 靠离泊折减系数 $K = 0.98$, 受影响船舶艘次为 16.2 艘次/d, 累计延误 1.85 h/d。

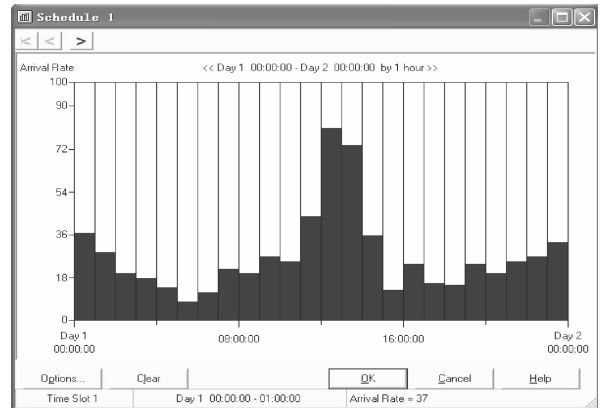


图 6 船舶流量 Schedule 方式输入截图

6 提高通过能力的措施

1) 针对码头回旋水域与航道重叠的问题, 可适当调整航标布设, 设置相应的助航标志, 规范该水域的船舶航行。

2) 根据船舶尺度和吨位合理估算所需拖船数量, 配备足够数量和功率的拖船协助靠离泊, 尽可能减少船舶靠离泊作业占用航道的时间和面积。

3) 加强瞭望, 正确显示信号灯号型, 尽早发布动态船舶的操纵意图, 必要时发布有关的航行通告或警告, 申请海事巡逻艇在现场维护通航秩序。

4) 根据附近水域船舶流量变化的特点, 在选择回旋作业时间上尽可能避开船舶流量的高峰期。

5) 制定切实可行的船舶靠离泊计划, 保持与附近码头的联系, 及时互通信息以取得相互的配合与协助, 避免相互干扰和妨碍。

7 结论

1) 码头回旋水域占用航道现象十分普遍, 提高港口岸线利用率的同时, 对港域航道船舶通航产生影响, 使得航道通过能力减弱。

2) 通过离散事件仿真试验, 模拟船舶靠离泊作业时, 航道船舶阻塞形成和消散的过程, 能够反映真实系统的运行情况。