



基于仿真技术的集装箱海港 港内锚地设置对航道通过能力的影响*

杜鹏程, 王文渊, 唐国磊, 郭子坚
(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁大连 116024)

摘要: 通过分析沿海集装箱港区单向航道船舶进出港作业流程, 提出航道资源有限时可通过建设港内锚地以提高航道通过能力的思路。基于计算机仿真技术, 建立拥有港内锚地的沿海集装箱港区船舶航行作业系统仿真模型, 研究港内锚地的锚位数对航道通过能力的影响。仿真结果表明: 港内锚地锚位数与航道通过能力服从多项式的函数关系, 且存在极值; 在该极值范围内, 建设港内锚地对提高航道通过能力效果显著, 但当锚位数超过极值后航道通过能力将不再随锚位数的增加而增加; 因而该极值可为确定港内锚地的建设容量提供参考。

关键词: 港内锚地; 沿海集装箱港区; 系统仿真; 航道通过能力

中图分类号: U 651.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)01-0086-04

Impact of container terminal anchorage on fairway throughput capacity based on simulation techniques

DU Peng-cheng, WANG Wen-yuan, TANG Guo-lei, GUO Zi-jian

(Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: This paper analyzes the operation process of ship's entering and leaving port through single-fairway in coastal container terminals and puts forward that the idea of improving the fairway throughput capacity by building anchorages when channel resources are limited. Moreover, a simulation model of ship navigation operation system is built in coastal container terminals considering the inner harbor anchorage. The results show that the number of anchorage and fairway capacity is correlated with an extreme of inner anchorage. Otherwise, it is available to increase the fairway throughput capacity by constructing anchorage in harbor. However, fairway throughput capacity no longer increases when the number of anchorage in harbor exceeds the extreme value. The extreme value could be regarded as the reference number of the anchorage in harbor.

Key words: anchorage in harbor; coastal container terminals; system simulation; fairway throughput capacity

随着集装箱运输业的快速发展, 沿海集装箱港区规模不断扩大、到港集装箱船舶数量不断增加, 部分港口的进港航道已经成为制约港口通过能力发挥的主要因素。扩建航道规模可有效缓解航道拥堵、提高航道通过能力, 但航道开挖及维护的投资巨大。为节省投资, 可在港内水域条件

允许的情况下, 通过建设港内锚地予以实现。如洋山港着手研究设立港内锚地以满足大型船舶在港区内锚泊的需要^[1]; 湛江港也准备开辟新的港内锚地以缓解锚地拥堵的情况^[2]。港内锚地的建设首先需要确定港内锚地的规模。因此, 立足于提高航道通过能力, 研究确定港内锚地规模显得很有

收稿日期: 2013-05-08

*基金项目: 国家自然科学基金(51079022, 51279026)

作者简介: 杜鹏程(1989—), 男, 硕士研究生, 从事港口规划、港口系统仿真优化研究。

必要。

目前, 关于确定港内锚地规模的研究较少。港内锚地的锚位数取决于在提高航道通过能力的前提下能够同时锚泊的船数, 采用静态模型计算容易忽略船舶到达及占用锚位的随机性, 采用排队论的理论和数学模拟的方法推算, 则容易忽视港口生产作业系统各因素的影响^[3-4]。针对以上问题, 采用系统仿真方法则可避免上述不足, 但现有关于港内锚地规模的研究, 仅仅分析了锚位数对平均等待时间和平均等待队长的影响^[5], 缺少其对航道通过能力的影响研究。

本研究提出在港内水域条件允许的条件下, 通过建设港内锚地以缓解航道拥堵、提高航道通过能力的思路。基于计算机仿真技术, 建立拥有港内锚地的沿海集装箱港区船舶航行作业系统仿真模型, 定量分析港内锚地对航道通过能力的影响, 以为合理确定港内锚地规模提供依据, 进而提高航道通过能力, 为沿海集装箱港口的航道规划、建设提供参考。

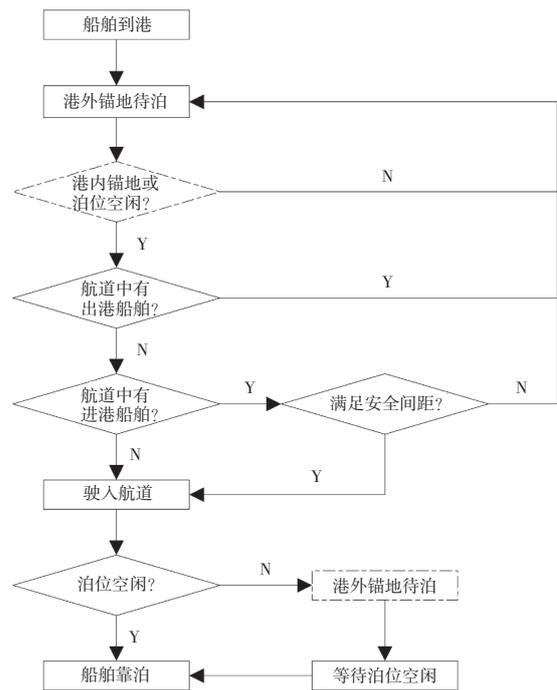
1 设置港内锚地的系统仿真模型

1.1 相关概念

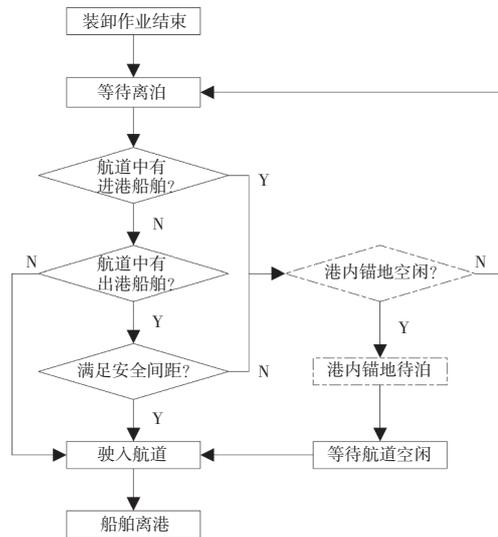
港内锚地是指防波堤以内专供船舶待泊及进行水上装卸作业的指定水域。结合港口航道自身特点, 并借鉴道路交通工程学、内河航道和海上交通工程学中的定义, 将沿海港口航道通过能力定义为: 对于确定港区的给定航道, 在港区正常生产作业状态下, 达到指定的港区服务水平时 1 a 中通过该航道所有船舶的载质量总和 (万 t/a)^[7]。其中, 港口服务水平是指船舶平均等待时间与平均在泊作业时间之比, 即 AWT/AST 。

1.2 拥有港内锚地时船舶进出港作业流程

对于拥有港内锚地的沿海集装箱港区船舶进出港作业系统逻辑模型, 与没有设置港内锚地的模型相比, 不同之处在于船舶到港靠泊以及离泊出港两个过程中的条件判断上 (图1)。其所开辟的港内锚地能在一定程度上提高航道和泊位的利用率, 缩短船舶在港等待时间, 从而促进航道通过能力的发挥。



a) 船舶到港靠泊过程



b) 船舶离泊出港过程

图1 拥有港内锚地时的船舶进出港流程

1.3 船舶航行作业系统仿真模型的改进

在沿海港口船舶航行作业系统仿真基本模型^[7]的基础上, 增加船舶进出港过程中判断占用港内锚地的子程序, 并结合集装箱船进出港的特点, 构建拥有港内锚地的沿海集装箱港区船舶航行作业系统仿真模型。仿真模型将整个船舶进出港作业系统分为港外锚地待泊、船舶进港、港内锚地待泊、船舶装卸作业、港内锚地等待离港、船舶

出港共6个子过程建立仿真模型。在其子模块^[8]的基础上,增加了Decide模块来判断港内锚地是否空闲以及Assign模块记录港内锚地各吨级船舶的数量。

1.4 仿真模型参数

1) 船舶到港规律: 船舶到港规律服从泊松分布^[9], 到港船舶吨级、比例等参数按现运营集装箱船舶吨级比例确定^[10]。

2) 航道条件: 航道为单向航道, 航道宽度根据最大到港船舶尺度确定; 采用通航历时统一考虑航道长度和航速的影响; 航道内船舶航行的最小安全时距为20 min。

3) 泊位组合: 泊位吨级组成与到港船型比例相同。

4) 最大锚泊船舶吨级: 拟建的港内锚地水深满足该吨级及其以下船舶锚泊需要, 大于该吨级的船舶在港内锚地不能停泊。

5) 自然条件: 因恶劣天气影响, 港区年不可作业天数为40 d, 随机分配在1 a中。

6) 船舶进出港规则: 采用先到先服务的进出港规则。

2 港内锚地对航道通过能力的影响

仿真时间为5 a。在不同通航历时、不同港内锚地水深情况下, 仿真得到不同锚位数所对应的实际最大系泊水域面积及其锚位吨级组合情况^[4], 并将此作为判断港内锚地是否空闲的依据, 进而分析港内锚地规模对航道通过能力的影响。

分别选取通航历时1 h, 2 h, 3 h, 仿真最大锚泊船舶吨级为5万t, 7万t和10万t, 依次增加港内锚地的锚位数, 得到不同通航历时、不同锚地水深情况下, 各港内锚位数对应的航道通过能力。并以无港内锚地情况的航道通过能力为基数, 分析各港内锚位数对应的航道通过能力增加情况。当通航历时一定时(以1 h为例), 得到不同港内锚地水深下港内锚位数与航道通过能力及其增率的相互关系(图2a)); 当港内锚地水深一定时(以最大锚泊船舶吨级为7万t为例), 得到不同通航历时下港内锚位数与航道通过能力及其增率的相互关系(图2b))。

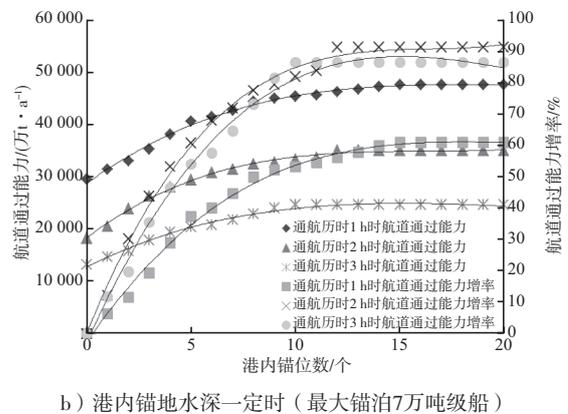
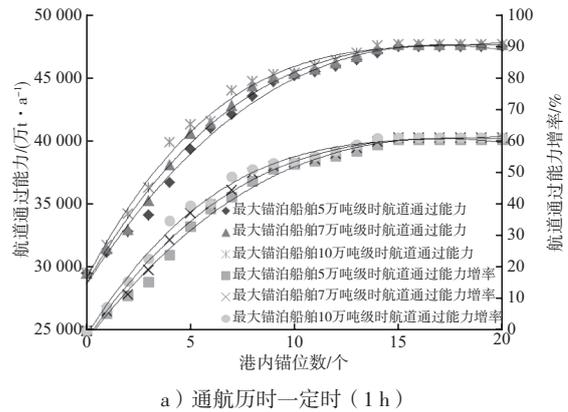


图2 港内锚位数与航道通过能力及其增率关系

对图2a)中不同港内锚位数下的航道通过能力数据点进行曲线拟合, 得出其相互关系服从多项式分布, 分布关系式如式(1)所示, 相关参数见表1。

$$C=AX^3+BX^2+FX+H \quad (1)$$

式中: C为集装箱港区的航道通过能力(万t/a); X为港内锚位数(个); A, B, F, H为相关参数。

表1 式(1)中各参数值及拟合优度R²

最大锚泊船舶吨级/万t	通航历时/h	A	B	F	H	R ²
5	1	1.157 0	-104.56	2 555.3	28 729	0.993 5
	2	3.101 1	-165.08	2 906.9	17 471	0.992 5
	3	1.055 3	-82.977	1 799.9	12 776	0.991 9
7	1	2.570 6	-151.25	2 953.3	28 534	0.993 8
	2	3.720 7	-182.31	3 000.8	18 392	0.995 6
	3	1.615 1	-101.65	1 965.2	12 883	0.992 7
10	1	3.514 4	-179.61	3 120.3	29 196	0.99 4
	2	4.244 1	-199.53	3 131.3	18 938	0.993 7
	3	2.230 9	-119.76	2 070.7	13 351	0.992 0

由图2可知, 当通航历时一定时, 港区的航道通过能力随着港内锚位数的增加而增加, 但增加到一定程度后航道通过能力不再变化, 此时航道成为船舶进出港的主要制约因素, 即使增加港内锚位数也无法缓解船舶对航道的压力, 由此可得到不同通航历时下的港内锚位数极值, 见表2, 该极值可为确定港内锚地的建设规模提供参考。同时可知, 当港内锚位数一定时, 通航历时相对越小或港内锚地水深能适应的到港船型越多, 则航道通过能力越大。

表2 港内锚地锚位数极值

通航历时/h	1	2	3
港内锚地极限锚位数/个	15	12	10

由港内锚位数对航道通过能力增率的影响分析可知, 当通航历时为1 h, 最大锚泊船舶吨级为5万t, 7万t和10万t时, 通过建设港内锚地可以提高6%~60%, 7%~61%, 8%~61%的航道通过能力, 且港内锚地的水深所能适应的到港船型越多、锚位数越多, 提高的航道通过能力越大。当最大锚泊船舶吨级为7万t时, 在通航历时分别为1 h, 2 h, 3 h时, 通过建设港内锚地最多可分别提高61%, 93%, 88%的航道通过能力, 可见当通航历时为2 h时, 建设港内锚地对航道通过能力的提高作用是最为显著的。

3 算例分析

以我国北方某沿海集装箱港区为例, 研究其在已有泊位和航道条件下, 建设港内锚地对航道通过能力的影响。

3.1 港区概况

港区共有泊位14个, 各吨级泊位现状见表3。

表3 港区泊位现状

泊位吨级DWT/万t	1	3	5	7	10
泊位数量/个	2	4	3	2	3

该港区拥有1条人工主航道, 有效宽度210 m, 设计底高程-13.5 m, 航道长度7.5 km。根据实际情况, 船舶通航历时约为1.5 h, 最小安全时距为20 min。

3.2 仿真结果分析

拟在该港区建设港内锚地以满足5万吨级及其以下船舶锚泊需要。仿真运行20次, 得到实际港区航道通过能力及其增率与港内锚位数的关系(图3)。由图3可知, 航道通过能力随着港内锚位数的增加而增大, 直到锚位数达到极值14个后, 航道通过能力提高到52%且不再变化。对于该港区, 建议港内锚地的建设锚位数不宜超过14个, 仿真结论可为该港区港内锚地的建设提供参考。

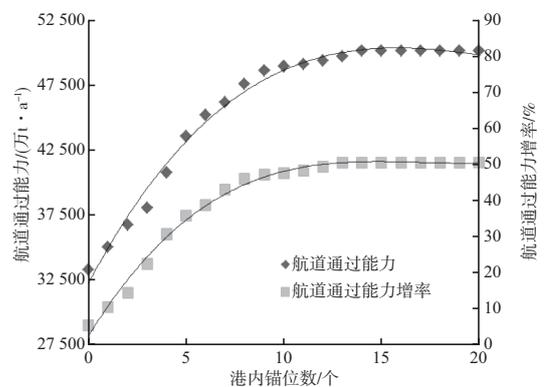


图3 算例中港内锚位数和航道通过能力及其增率关系

4 结论

1) 在通航历时和港内锚地水深一定时, 港内锚位数与航道通过能力呈三次多项式分布关系, 且港内锚位数存在极值, 该极值可为确定港内锚地的建设规模提供参考。

2) 当港内锚位数小于该极值时, 通过增建港内锚地对提高航道通过能力效果显著。

3) 当港内锚位数大于该极值时, 航道通过能力不再随着锚位数的增加而增大。

4) 当港内锚位数一定时, 通航历时相对越小或港内锚地水深所能适应的到港船型越多, 航道通过能力越大。

参考文献:

[1] 唐武, 曹勇. 论洋山港港内应急锚地的设立[J]. 航海技术, 2009(2): 15-17.
 [2] 庄盛发, 朱建平. 湛江港锚地容量评估与锚地开发[J]. 中国水运, 2007(7): 26-27.
 [3] 郭子坚. 港口规划与布置[M]. 3版. 北京: 人民交通出版社, 2011.