



多智能体航道通航标准仿真技术

姚海元, 房卓, 郝军, 查雅平, 孙平, 左天立

(交通运输部规划研究院, 北京 100028)

摘要: 以往对港口生产作业状况的分析均集中于基于船舶流的航道通过能力研究。将港口生产运营视为随机的服务系统, 考虑通航环境的各种随机因素对航道通过能力的影响, 并兼顾航道与泊位、锚地的匹配性。研究运用多智能体仿真技术, 基于 Anylogic 仿真软件平台, 分析船舶进出港全部流程的逻辑结构, 建立模拟港口生产运营系统的仿真模型, 科学、客观地反映港口的实际生产运营情况, 可为港口规划布局和航道项目建设提供技术支撑和决策依据。

关键词: 通过能力; 仿真模拟; 通航影响; Anylogic

中图分类号: U 61

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)05-0116-05

Simulation method of criteria for waterway navigation based on multi-agent technology

YAO Hai-yuan, FANG Zhuo, HAO Jun, ZHA Ya-ping, SUN Ping, ZUO Tian-li

(Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China)

Abstract: Existing researches on the status of port production operations were concentrated on the channel transit capacity on the basis of the vessel traffic flow. However, the actual port production operation should be regarded as a random service system and various random factors of navigable environment should be considered in term of channel transit capacity, and in view of matching with berths and anchorage. By adopting the multi-agent simulation technology and simulation software platform Anylogic, a simulation model for port production operation system, which is a scientific and objective reflection of the actual port production operation, is employed to analyze the logical structure of the entire entry and departure process for vessels and to provide technical support and decision-making basis for the port layout and waterway construction projects.

Keywords: traffic capacity; simulation analysis; navigation effect; Anylogic

航道通过能力作为衡量航道通航标准的一项重要性能指标, 反映了航道的适航程度。航道通过能力的研究对港口规划、通航管理、船舶交通流组织及调度等诸多方面具有重要意义^[1]。目前, 国内外对于航道通过能力的研究主要集中在内河航道, 提出了多个内河航道通过能力的计算方法, 如西德公式、长江公式、川江航道公式、苏南运河公式、王宏达公式等。上述计算方法均采用基于船舶流的通过能力研究方法^[2-4], 但航道

船舶交通流的到港规律和气象、水文条件也具有—定随机性, 使港口生产运营也形成一个随机的作业服务系统。因此, 航道通航标准应考虑通航环境的各种随机因素, 并兼顾与泊位、锚地等港口设施的匹配性^[5-6], 不仅要考虑航道通过能力, 还要考虑航道服务水平。

随着计算机技术的快速发展, 仿真模拟手段越来越多地应用于结构复杂化、逻辑网络化的数学模型。仿真模型通过抽象分析和数学描述, 考

收稿日期: 2015-12-04

作者简介: 姚海元 (1988—), 男, 硕士, 助理工程师, 从事港口工程平面规划及港口运营仿真优化研究。

虑各种随机因素, 可全面真实地反映实际系统的运转情况, 弥补传统静态计算方法的不足。作为港口规划的辅助手段, 仿真模拟技术在国外已被广泛采用^[7]。

本研究基于 Anylogic 仿真软件平台, 运用多智能体仿真技术, 建立模拟港口生产运营系统的仿真模型, 并结合黄骅港 LNG 接收站选址工程实例, 计算分析该港远期航道通航标准, 为黄骅港航道项目建设提供技术支撑和决策依据。

1 建立港口生产运营仿真模型

1.1 建模思路

依据港区布局、气象水文条件以及通航管理规则等, 构建仿真模型的基础框架, 采用多智能体仿真方法, 建立仿真模型。根据港口岸线资源和港口布局, 确定远期船舶流量和船型结构。通过分析通过能力、服务水平等指标, 从而评估远期合理的航道通航标准。建模思路见图 1。

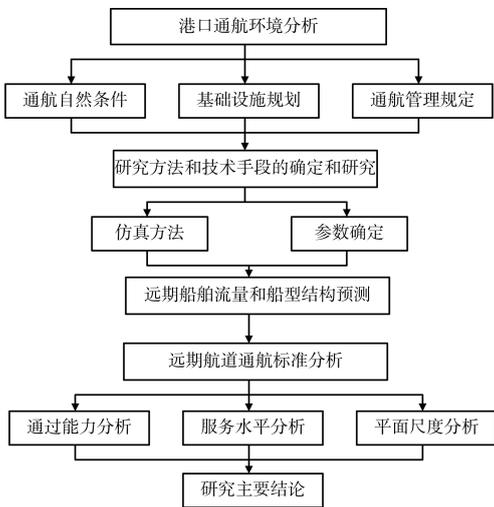


图 1 模型建立思路

1.2 建模方法

港口运营系统效率的发挥依赖各个子系统之间的相互协调, 难以用解析理论建立通常意义上的数学模型。仿真技术为研究这类动态联系复杂、涉及众多随机因素的系统提供了一条有效的途径^[8-10]。

多智能体仿真方法采用自下而上的研究方法,

通过对系统个体特征和行为的研究, 建立个体特征和行为的模型, 将个体特征映射为智能体的属性, 利用智能体间的自治、推理、通讯和协作机制, 模拟个体间相互独立又交互作用的现象, 从而研究系统的整体结构和功能。多智能体技术可将港口运营系统中的船舶、泊位、航道和锚地等对象视为智能体, 实现多个智能体之间的实时信息交换, 全面模拟船舶进出港流程。例如, 将分段航道视为多个智能体, 可以分别赋予不同的航道通航等级、双向通航组合、乘潮条件、航行速度、夜航限制等属性信息, 并通过仿真模拟得到航道的通过船舶艘次、等待航道时间等多个指标, 从而对航道通过能力及标准进行科学评估。

多智能体仿真方法具有以下特点^[11]: 1) 在船舶先到先服务的理论基础上, 突破了传统的排队论思维局限, 将气象水文条件、港口服务设施和通航管理规定等有机结合, 建立了符合实际状况的多变量网状逻辑结构, 制定了涵盖系统内部微观环节的全港船舶航行作业规则。2) 在船舶进港、靠泊、作业、离港等系统仿真过程中, 将船舶实体作为主动仿真对象, 通过对系统内部各项航行条件及运营信息全面预约判断, 实现船舶进出港全过程中的智能化处理。3) 由于预约存在着一定的灵活性与不可预见性, 因此在全面预约的基础上, 各对象与系统之间进行实时信息与进程交换, 实现港区各系统与船舶之间的合理化、集约化作业。

1.3 建模过程

基于智能体仿真建模平台和 Java 程序设计语言, 构建船舶进出港全过程的逻辑架构, 形成模型主体的两大系统: 1) 主系统。与船舶进出港航行密切相关的各环节参数的设定部分。2) 航行系统。将船舶定义为智能体, 判断船舶进出港行为的逻辑流程部分。

主系统与航行系统的参数、变量及逻辑函数等数据可实时交互、彼此调用。船舶进出港逻辑流程见图 2。

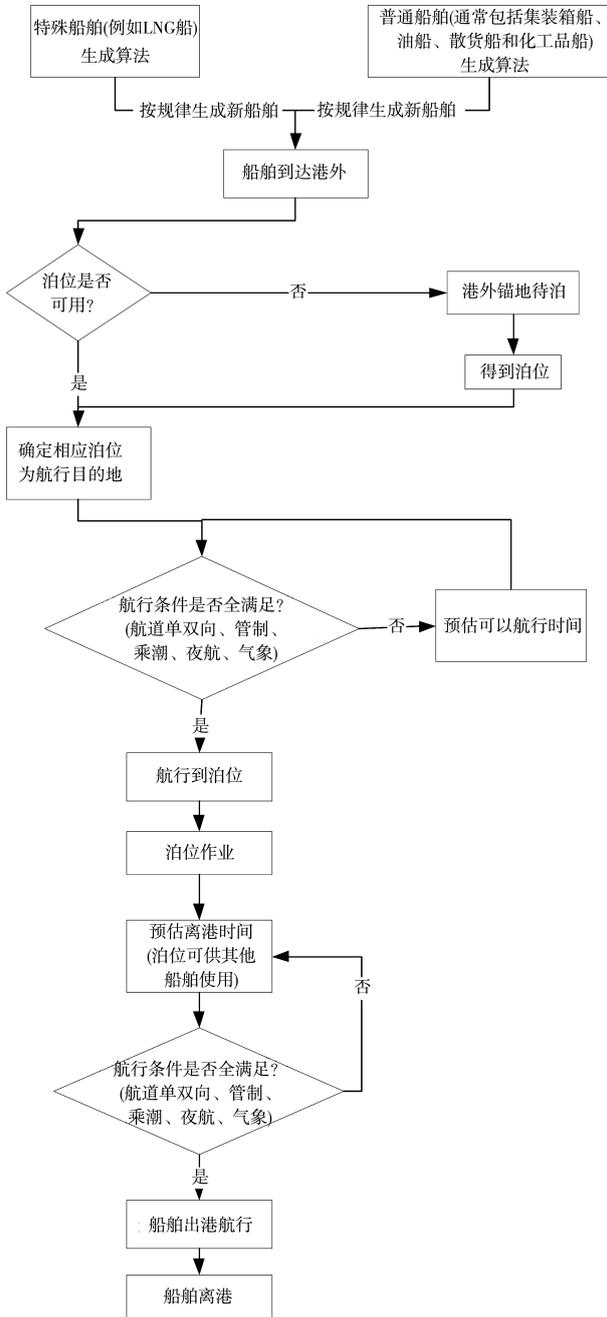


图2 船舶进出港逻辑流程

2 远期航道通航标准分析

2.1 远期到港船舶流量及船型预测

根据功能定位及其服务和运输需求，黄骅港综合港区及散货港区共分为4大功能区：分别是码头作业区、物流园区、综合服务区和预留港口发展区。结合黄骅港LNG接收站选址工程实例，按照远期最大资源容量全部开发情景进行船舶流量预测，并根据对港口后方产业和运输需求的判断，测算黄骅港综合港区及散货港区远期共可建

设124个泊位，形成吞吐能力5.7亿t，见表1。船舶流量分船型预测结果见表2。

表1 黄骅港散货港区和综合港区远期资源全部开发设施情况

作业区	泊位用途	泊位数量	通过能力/万t
液体散货作业区	原油泊位	14	12 400
	矿石泊位	8	12 000
干散货作业区	煤炭泊位	10	10 000
	通用散杂	4	1 600
通用散杂货作业区	通用散杂等	37	7 600
集装箱作业区	集装箱	21	8 200(810万TEU)
液体化工品作业区	液体化工品、成品油	30	5 200
合计		124	57 000

2.2 远期航道通航标准计算工况

为方便后期深入的研究，仿真模型可生成充分的、差别化的、可供分析的仿真方案输出结果，形成不同的仿真计算方案，或者通过修改仿真系统或仿真方案中相关的参数，对系统中的船舶数量和泊位的资源利用率进行多次仿真试验^[12]。本研究即根据远期综合港区及散货港区航道条件及可能的实施情况，考虑20万吨级单向通航航道、20万/30万吨级航道的(5万t+5万t)双向通航航道、(10万t+5万t)双向通航航道、(10万t+10万t)双向通航航道、(15万t+15万t)双向通航航道共5组航道通航标准，设计5组计算工况。

2.3 远期航道通航标准结果分析

2.3.1 远期航道通过能力

模拟计算结果表明(图3)，在20万t完全单向、(5万t+5万t)双向的通航标准下，全年仿真通过船舶总艘次占比预测船舶艘次分别为79%、91%；(10万t+5万t)双向、(10万t+10万t)双向及(15万t+15万t)双向通航标准下的通过能力接近，全年仿真通过船舶总艘次占比预测船舶艘次分别达到98%、99%及99%，上述航道条件基本可以满足该港区远期港口资源全部开发时的通过能力需求。

表 2 远期到港船舶流量预测

集装箱船		散杂货船		原油船		液体化工品及成品油船	
吨级/万 t	流量/(艘数/a)	吨级/万 t	流量/(艘数/a)	吨级/万 t	流量/(艘数/a)	吨级/万 t	流量/(艘数/a)
<1.0	442	<1.0	3 163	<1.0	0	<1.0	2 401
1.0	312	1.0	1 317	1.0	0	1.0	1 015
1.5	375	1.5	875	2.0	22	1.5	515
2	469	2.0	785	3.5	44	2.0	418
3.5	625	3.5	823	5.0	441	3.5	318
5.0	332	5.0	1 132	7.0	112	5.0	215
7.0	265	7.0	904	10.0	134	7.0	141
10.0	442	10.0	414	15.0	112	10.0	88
12.0	0	15.0	320	20.0	0		
15.0	319	20.0	128	25.0	79		
20.0	265	25.0	44	30.0	185		
		30.0	45				
合计	3 846	合计	9 950	合计	1 129	合计	5 111
总计				20 036			

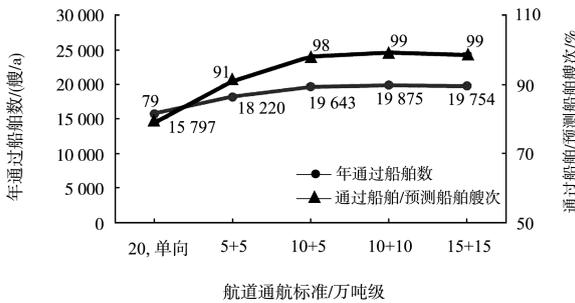


图 3 全年通过总船舶艘数及占比

2.3.2 远期航道服务水平

模拟计算结果表明(图 4), 航道通航标准由 20 万 t 完全单向提升到(10 万 t+5 万 t)双向的通航标准时, 船舶进港等待航道时间明显缩短, 由 26.3 h 下降到 10.9 h、降幅达 59%。从船舶进港等待航道时间下降幅度上看, (10 万 t+5 万 t)双向、(10 万 t+10 万 t)双向及(15 万 t+15 万 t)双向的船舶进港等待时间整体上相差不大。

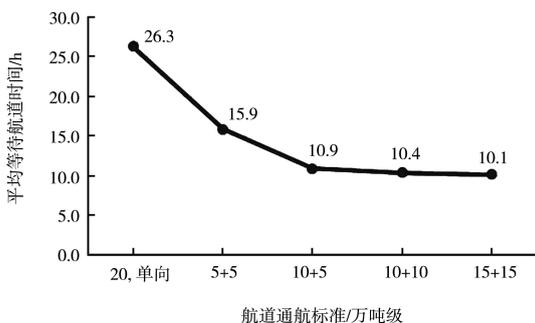


图 4 船舶平均等待航道时间

由统计结果可以得到: 航道通航标准由 20 万 t 完全单向提升到(10 万 t+5 万 t)双向的通航标准时, 船舶进港等待航道时间明显缩短, 由 26.3 h 下降到 10.9 h、降幅达 59%。从船舶进港等待航道时间下降幅度上看, (10 万 t+5 万 t)双向、(10 万 t+10 万 t)双向及(15 万 t+15 万 t)双向的船舶进港等待时间整体上相差不大。

2.3.3 远期航道尺度合理性

从不同通航标准的航道底宽测算来看, (10 万 t+5 万 t)双向通航航道有效宽度需要 350~380 m, 远期液体散货作业区以东进港通航规模为 30 万吨级单向, 航道底宽需 350 m, 利用其航道边坡水深通航, 可以兼顾 10 万 t+5 万 t 双向通航, 见表 3。

表 3 黄骅综合港区及散货港区远期 30 万吨级航道底宽合理性分析

通航规模	有效宽度/m	底高程/m	说明
30 万吨级液散货	350	-21.8	可以利用 1:5 边坡兼顾通航
15 万吨级 LNG	325	-16.5	
10 万+5 万吨级船型组合	350~380	-17.1	

此外, 从航道通航水深条件看, 考虑到我国原油主要来自非洲和中东, 这两个地区至中国沿海港口的航线一般通过马六甲海峡, 马六甲海峡水深 25.4 m, 允许自由通行船舶的最大

吃水为 21.0 m，各船公司油轮通过马六甲海峡实
 载多为 25 万~27 万 t(满载吃水小于等于 21.0 m)。
 按此船型考虑，30 万吨级油船减载乘潮通航进

港和 20 万吨级满载乘潮进港的通航水深相差并
 不多、约 2.8 m。不同通航规模情况下航道尺度
 见表 4。

表 4 黄骅综合港区远期航道规划尺度

吨级	航段	有效宽度/m	通航水深/m	底高程/m	说明
20 万吨级 (满载)	矿石作业区以东	250,380	20.9,17.1	-19.0,17.1	乘潮
	矿石作业区以西	380	17.1	-17.1	
	10 万吨级 LNG 船	280	15.0	-15.0	
	15 万吨级 LNG 船	325	16.5	-16.5	
30 万吨级 (减载)	液散货作业区东	350	23.5	-21.8	乘潮
	矿石作业区/液散货作业区	250,380	20.9,17.1	-19.0,17.1	乘潮
	矿石作业区以西	380	17.1	-17.1	

3 结语

1) 航道通航标准应从远期港口通过能力、航
 道服务水平及航道宽度和深度的合理性等方面分
 析，综合判断远期航道通航标准的制定。

2) 利用计算机仿真技术模拟港口运营系统，
 可以充分考虑港口营运中的各种随机因素，科学
 客观地反映港口生产运营的实际状况。

3) 仿真技术还可对航道服务水平、特殊船型
 通航影响等问题进行模拟研究，可以作为港口规
 划工作的一种重要研究手段。

4) 通过采用仿真技术进行模拟分析，黄骅港
 综合港区及散货港区远期航道拓宽到 30 万吨级航
 道、(10 万 t+5 万 t) 船舶双向通航的标准较为
 合理。

参考文献:

[1] 邓小瑜,李引珍,赵亚玲.港口航道通过能力研究综述[J].水运工程,2005(3):10-15.
 [2] 卞艺杰.航道通过能力研究[J].水运工程,2000(8):27-30.
 [3] 王亥索,张冠群.进港航道通过能力经验公式的比较分析[J].港工技术,2009,46(5):5-6.

[4] 刘明俊,万长征.航道通过能力影响因素的分析[J].航海工程,2008,37(5):116-118.
 [5] 鲁子爱,林民标.港口服务系统的计算机仿真研究[J].河海大学学报,1999,27(3):17-21.
 [6] 宋向群,张静,郭子坚,等.通航历时对沿海散货港区航道通过能力的影响分析[J].港工技术,2010,47(2):18-20.
 [7] 张铭强,商剑平,王诺.计算机模拟在港口规划中的应用[J].水运工程,2005(2):33-36.
 [8] 孙凤兰.多智能体网络的一致性研究[D].武汉:华中科技大学,2012:4-13.
 [9] 杨文.多智能体系统一致性问题研究[D].上海:上海交通大学,2009:2-3.
 [10] Keshav P D, Stuart J G, Graeme M B, et al. Port system simulation facility with an optimization capability [J]. International Journal of Computational Intelligence and Applications, 2003(4):395-410.
 [11] 李德春.港口航道通航能力仿真分析[D].天津:天津大学建筑工程学院,2007:2-6.
 [12] Reefke H. Simulation of container traffic flows at a metropolitan seaport [C]//Lecture Notes in Business Information Processing. German: Springer, 2010:420-431.
 (本文编辑 武亚庆)