



考虑船舶随机到港影响的 集装箱港区实时交通仿真模型*

宋向群¹, 陈中亚¹, 王文渊¹, 丁文涛²

(1. 大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116024; 2. 交通运输部规划研究院, 北京 100028)

摘要: 受船舶随机到港的驱动, 集装箱港区实时交通量具有较强的随机性, 如何合理预测对于港区集疏运系统规划具有重要意义。目前, 对于集疏运交通量的预测多根据统计资料利用“不平衡系数法”进行推算, 而新建港区往往不具备历史资料, 在港区规划初期此方法的应用存在较大局限。本研究构建了考虑船舶随机到港影响的港区作业系统仿真模型, 模拟从船舶到港到集装箱离港的整个作业过程, 预测出港区的实时交通量, 并对模型进行验证。最后以北方某新建国际集装箱枢纽港区为例, 分析该港区船舶到港规律, 应用仿真模型预测其在不同规模时的集疏运交通量, 为分阶段建设该港区集疏运系统提供科学依据。

关键词: 集装箱港区; 集疏运交通量; 随机性; 仿真模型

中图分类号: U 651.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)04-0045-05

Dynamic traffic simulation model for container terminal based on random arrival of vessel

SONG Xiang-qun¹, CHEN Zhong-ya¹, WANG Wen-yuan¹, DING Wen-tao²

(1. Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

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

Abstract: Influenced by the random arrival of vessel, the dynamic traffic flow of container terminals is full of randomness. How to forecast the traffic flow is very important in the planning of the collecting and distributing systems. Most present studies forecasted the traffic flow based on the statistical information with the method of unbalance factor. But it doesn't suit for the newly built port area very well for the lacking of statistical information. In this study, we construct a dynamic traffic simulation model for the container terminal based on the random arrival of vessel, forecast the real time traffic flow reasonably by simulating the process from the arriving of vessel to the leaving of container and verify the reliability of the simulation model. In the end, depending on the regulation of the arrival of vessel, we forecast the collecting and distributing traffic volume of different periods taking a newly built international container terminal for example. This provides a scientific basis for the instalment construction of the collecting and distributing system.

Keywords: container terminal; collecting and distributing traffic flow; randomness; simulation model

随着我国外向型经济的快速发展, 集装箱港口发展呈现出大型化、专业化的趋势, 港城交通矛盾不断加剧, 对港口的集疏运系统提出了更高

的要求。准确预测港区集疏运交通量是集疏运系统规划的基础。目前港口集疏运交通量预测多是利用已有统计资料确定港口生产不平衡系数, 进

收稿日期: 2015-10-13

*基金项目: 国家自然科学基金 (51309049, 51279026)

作者简介: 宋向群 (1959—), 女, 教授, 从事港口规划与港口物流方面的教学和科研。

而预测高峰小时交通量,即“不平衡系数法”^[1-4]。该方法计算简单方便,但是预测误差较大,特别是无历史统计资料的新建港区,更加无法准确预测。基于此,学者们考虑将交通预测中常用的方法引入到港口集疏运量的预测中:杨龙海等^[5]采用“四阶段”法进行港口交通量的预测;杨君等^[6,7]采用生成率法和总量控制法预测集疏港交通需求,但集装箱港区交通流并不是独立的,利用统计的方法或生成率法和总量控制法无法反应其受船舶到港、港内作业等因素的影响;同时港区集疏运具有较强的随机性,“四阶段”法或生成率法和总量控制法无法体现港区集疏运的不平衡性,对于高峰小时交通量的预测存在一定局限。丁文涛^[8]在对集疏运交通的研究过程中,考虑了船舶随机到港的影响,但其仿真过程中只模拟了船舶到港和离港的过程,并未将港区内部作业系统纳入考虑。

为充分反映船舶到离港及港区内部作业对集疏运交通特征的影响,本研究将港口作业系统作为一个整体,充分考虑船舶随机到港对集疏运交通流的影响,构建集装箱港区实时交通仿真模型,模拟港区作业流程,得到了集装箱港区集疏运的实时交通量,对实时交通量进行统计分析,提出集疏运系统规划的设计交通量。

1 船舶到港诱发的交通需求分析

船舶到港时间呈现出较大的随机性,多数集装箱码头的日到港船舶数服从泊松分布^[9]。集装箱的集疏港作业主要由集卡完成,集卡必须在船舶到港前完成集装箱的集港作业,在船舶离港后一定时间内完成集装箱的疏港作业。这一特性决定了集装箱港区集疏运交通需求本质上由船舶到离港诱发,呈现出“车随船动”的规律,车辆到离港时间很大程度上受船舶到离港时间影响。

1.1 集疏运需求产生机理

为提高装船作业的效率,出口箱根据航线、航次和作业要求,提前到达堆场,做好装船准备。码头运营公司根据船舶到港时间制定收箱计划,

送箱集卡在规定时间内到达港口。收箱时间长短与船舶吨级有关,船舶吨级越大,收箱时间越长。我国集装箱码头规定的出口箱收箱时间为船舶到港前1~5 d,送箱集卡会在这一时间段内随机到达港口完成集装箱的集港作业。

进口箱方面,只有少量的进口箱会被货主从码头前沿直接提走,大部分进口箱则暂时在堆场堆存,然后陆续疏运出港,执行提箱任务的疏港集卡到达港口时间迟滞于船舶抵达港口。为保证堆场的利用率,通常规定较短的免费堆存期,多数港区为4~7 d。

1.2 集卡抵港分布

对于任意集装箱船,为其进行集港和疏港服务的集卡抵港时间服从某种概率分布。本研究通过对调查数据进行分析,得到了集装箱港区集港、疏港卡车抵达港口的分布规律。

将每艘船的集疏港时间均分为20等份,统计各个时间段内的集港卡车数量,结果呈现“前多后少”的特点(图1),用Beta分布拟合误差在7%内,可认为其服从Beta分布。疏港集卡的到达呈现“中间多前后少”的特点(图2),用Weibull分布拟合较为理想,误差在10%以内,可认为其服从Weibull分布。

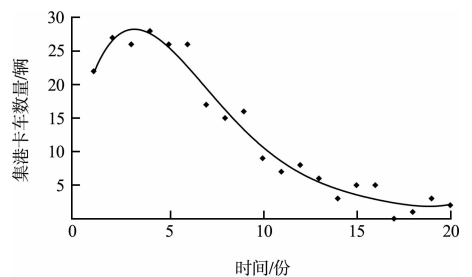


图1 集港卡车抵港时间分布规律

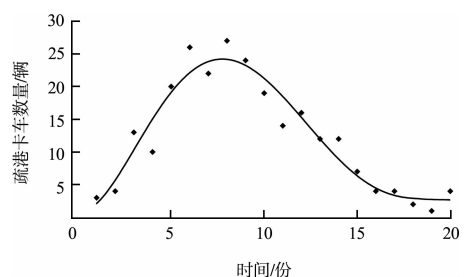


图2 疏港卡车抵港时间分布规律

但同一时间内, 港区内一般有多个船舶进行装卸作业, 服务于各个集装箱船的集疏运卡车同时进出港, 则呈现出较大的随机性。对于规划和建设中的港区, 通常无法通过其历年统计数据推算其集疏运交通量, 但可以采用系统仿真的方法, 模拟港区未来的运营过程, 得出港区未来集疏运的交通量。

2 集装箱港区交通量预测模型

以船舶到港规律、集装箱港区通过能力、吞吐量及货物堆存期和集卡抵港、离港规律等为基础, 基于 Arena 仿真平台建立港区作业系统的仿真模型, 模型共分为船舶靠离泊作业、装卸作业、集疏运作业 3 个子模型, 实现船舶到离港、装卸作业及集疏运作业全年的仿真, 从而得到港区集疏运的实时交通量。

2.1 靠离泊作业子模型

包括船舶到达港口后经航道到达泊位停靠和完成装卸作业后离开泊位的过程。该子模型用以描述运营期内船舶到离港、辅助作业和通过航道的情况。首先根据船舶到港规律生成船舶, 并赋予相应属性 (包括船舶吨级、靠泊时刻、集装箱种类和装卸数量等), 船舶到港后, 先判断靠泊条件 (天气、航道、空闲泊位等): 靠泊条件满足要求, 船舶进港, 开始靠泊、装卸、离泊等作业; 若靠泊条件不满足要求, 船舶进入锚地等待。具体过程如图 3 所示。

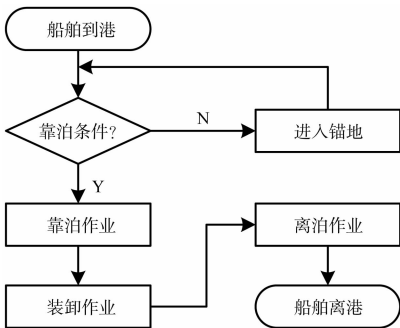


图 3 靠离泊作业子模型

2.2 装卸作业子模型

包括船舶靠泊后装卸作业、港内集卡水平运输及堆场作业的过程。首先对需要装卸的集装箱

分配箱区, 确定装载该集装箱的集卡的目标位置。船舶靠泊后, 岸桥开始作业, 配备足量的装卸卡车, 以保证岸桥的装卸效率, 当达到装卸箱量之后, 停止作业, 船舶离港。装卸船舶和集卡行驶过程中遵循“先卸后装”原则和集卡调度“最短路径”的原则。具体过程如图 4 所示。

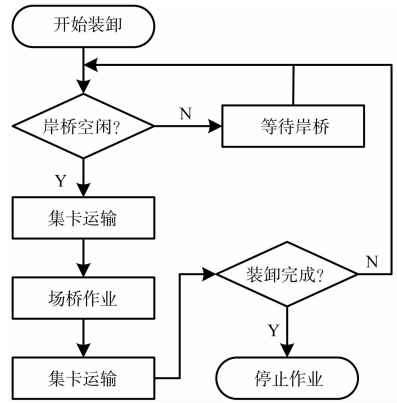


图 4 装卸作业子模型

2.3 集疏运作业子模型

包括外卡进出港、提箱及送箱的过程, 统计集卡抵港和离港的时刻及数量。在模拟的过程中, 结合港区具体情况综合考虑确定集卡的重车比例、单箱车比例及双箱车比例, 集卡到港后确定目标箱区, 到达指定位置后场桥进行装卸作业, 同时在集卡进出港区时对每辆集卡的到离港时刻进行记录和统计。具体过程如图 5 所示。

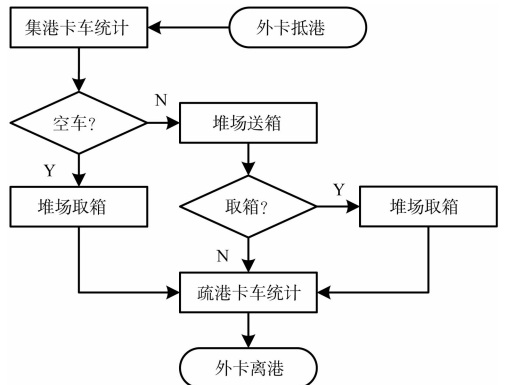


图 5 集疏运作业子模型

2.4 模型校验

以某集装箱码头一期工程闸口处集卡到港记录为依据, 统计每小时抵达港口的集卡数量, 与模型的仿真预测结果进行比较 (表 1)。

表1 模型预测值与统计值对比

交通量	统计值/(辆/h)	预测值/(辆/h)	误差/%
最大值	120	113	5.83
平均值	33	32	3.03

由表1可以看出,交通量预测模型能够较为真实地反映港区货运交通量的真实情况,能够作为预测港区未来交通量的方法。

3 应用实例

以北方某新建国际集装箱港区为例,应用本研究所构建模型分别对其2020年和2030年全年的运营情况进行仿真模拟,预测其不同时期的集疏运交通量。

3.1 港区概况

该港区为顺岸式布置形式,陆域纵深900 m,岸线长约5 000 m,规划建设12个15万吨级以上超大型集装泊位,陆域面积 $460 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。港区后方设置3个进港大门,每个大门布置闸口12个,为集装箱卡车进出港区的通道。根据分期实施原则,计划2020年前建成2个泊位并建成1#大门,2030年前完成所有泊位建设并建成所有3个大门。根据港区吞吐量预测结果,2020年港区设计吞吐量为110万TEU,2030年港区设计吞吐量为730万TEU。

3.2 参数设定

1) 到港船型。

参考该港区总体规划,结合港区所在区位及功能定位,对港区到港船型及比例进行预测,结果见图6。

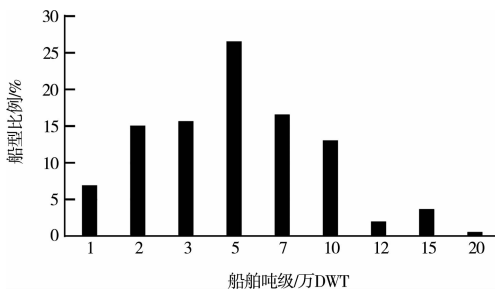


图6 到港船型比例分布

2) 船舶到港规律。

结合临近港区船舶到港规律,确定该港区船舶到港规律服从泊松分布。船舶到港后按照先到

先服务原则靠泊。

3) 自然条件影响。

受自然条件影响港区年不可运营天数为15 d。

4) 集卡、箱量比例。

结合临近港区集疏运交通特征,预计该港区集卡重车进重车出的比例为10%,其他类型集卡的占比为90%;进口箱、出口箱、中转箱的比例为2:2:1,堆存期参照相关规范^[10]进行设定(表2),同时按照负指数分布对堆存天数进行计算。

表2 集装箱堆场平均堆存期

集装箱类型	堆存期/d	运量比例/%
进口箱	7~10	约50
出口箱	3~5	约50

4.3 仿真结果

通过仿真得到2020年及2030年港区全年各大门所有集卡的抵港和离港时刻,统计分析仿真结果,2020年1#大门连续24 h的集疏运交通量见图7,2020年和2030年集装箱港区各大门处的交通量特征见表3。结合港区总体规划,根据现行规范^[10]相关公式计算,得到港区大门的交通量(表4)。

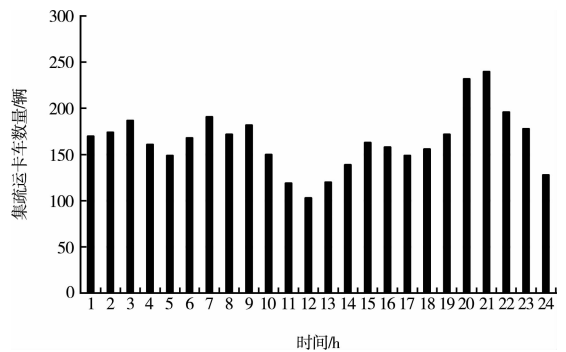


图7 2020年1#大门连续24 h仿真结果

表3 仿真得到的集装箱港区大门交通量特征

年份	位置	最大交通量/(辆/h)	平均交通量/(辆/h)	高峰小时流量比/%
2020	1#大门	242	160	6.29
	1#大门	586	360	6.79
2030	2#大门	534	373	5.96
	3#大门	422	280	6.29
合计		1 542	1 013	6.34

注:高峰小时流量比是指高峰小时交通量与该日日交通量之比。

表4 根据现行规范计算得到的集装箱港区交通量

年份	最大交通量/(辆/h)
2020	140~281
2030	931~1 863

对比仿真结果和计算结果,仿真结果都在规范计算值的范围内,具有理论意义。同时,本模型得到的结果更加精确,可以更准确地为实际工程设计提供参考。

5 结论

1) 考虑船舶到港对集疏运交通量的影响,构建了集装箱港区实时交通仿真模型,能够较为真实地反映整个港区的实际作业过程。

2) 构建的仿真模型能够反映船舶到离港及港区内部作业对集疏运交通特征的影响,并且可以得到港区集疏运的实时交通量。

3) 模拟实例港区得到其在不同规划水平年的实时交通量,对比仿真结论与现行规范计算值,仿真得到的高峰交通量在现行规范计算得到的数值范围内且更加准确,有效避免了根据规范计算得到的范围过大的问题,为工程设计提供参考。

参考文献:

- [1] 李朝阳,孙伟.港口运输需求预测及集疏运设施规划研究——以钦州港为例[J].交通科学与工程,2009(4):79-85.
- [2] 王晓坤,陆化普.集装箱深水港交通需求预测方法研究[J].中南公路工程,2005(4):124-128.
- [3] 赵有明,韦明华,董志强.日照港石臼港区公路对外集疏运研究[J].水运工程,2008(11):98-102.
- [4] 蔡峥.集装箱码头的通过能力、堆场通过能力、出入口车道数计算公式探讨[J].水运工程,1998(11):12-16.
- [5] 杨龙海,章锡俏,李社教,等.深圳盐田港保税区货运交通需求预测[J].城市交通,2007(2):51-54.
- [6] 杨君,蒋科,张杰.集装箱港区道路交通量需求预测方法探讨[J].公路交通技术,2007(5):109-112.
- [7] 翟长旭,邓卫,潘艳荣.集装箱港区交通系统规划研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2009,33(1):188-191.
- [8] 丁文涛.基于船舶到港规律的集装箱港区货运交通需求预测方法[D].大连:大连理工大学,2011.
- [9] Du P C, Wang W Y, Tang G L, et al. Study on the ship arrival pattern of container terminals [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 409-410: 1 197-1 203.
- [10] JTS 165—2013 海港总体设计规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

港珠澳大桥非通航孔桥完成吊装 大桥将全面合龙

随着最后一块重达1 950 t钢箱梁的成功吊装,港珠澳大桥主体工程非通航孔桥箱梁吊装近日全部完成,通航孔桥大节段钢箱梁吊装预计于8月底完成。届时,港珠澳大桥桥梁将全面合龙。

港珠澳大桥钢箱梁吊装施工为大型水上吊装作业,具有吊装质量大、吊装风险高等特点。本次吊装的非通航孔桥边跨大节段钢箱梁位于94#墩与95#墩之间,梁长86.4 m,宽33.1 m,梁重1 950 t。

港珠澳大桥主体桥梁工程长达22.9 km。考虑到水上水下施工条件限制和对通航的影响,以及景观、养护和工期等因素,深水区非通航孔桥采用110 m跨径钢箱连续梁桥,浅水区非通航孔桥则采用85 m跨径钢混组合梁桥。

组合梁已于2015年全部吊装完成,此次吊装的钢箱梁标志着港珠澳大桥非通航孔桥所有吊装任务圆满完成。

(来源:《中国新闻网》)