

# 广州港深水航道通过能力仿真分析

唐颖<sup>1,2</sup>, 薛晓晓<sup>1</sup>, 商剑平<sup>1,2</sup>

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007;

2. 中国交建现代综合交通虚拟仿真应用技术研发中心, 北京 100007)

**摘要:** 针对广州港深水航道工程实例, 对船舶到达锚地、进入航道、在泊作业和船舶离港的作业全过程进行分析。在考虑潮汐、多支汊航道管制规则等影响因素的基础上, 建立了复杂航道系统仿真模型; 在预测运量和船型发展的基础上, 基于服务水平分析不同航道拓宽方案的通过能力, 为航道拓宽方案提供重要的决策支持依据。

**关键词:** 多支汊航道; 通过能力; 仿真

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)10-0157-05

## Simulation on the throughput capacity analysis of deep channel in Guangzhou port

TANG Ying<sup>1,2</sup>, XUE Xiao-xiao<sup>1</sup>, SHANG Jian-ping<sup>1,2</sup>

(1.CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China; 2.Research and Development Center on Virtual Reality & Simulation Application Technology of Modern Comprehensive Transportation, CCCC, Beijing 100007, China)

**Abstract:** According to a practical cases of the deep channel in Guangzhou port, this paper analyzed the process of ships arriving anchorage, entering channel, operation on berth and leaving port, and built a complex channel system simulation model which considered the influence factors such as tidal, multiple branching channel control rules. Based on the port service level in condition of traffic volume forecasting and the development of ship type, the paper analyzed the throughput capacity of several broaden project schemes of deep channel in Guangzhou port which offered important support to the broaden project.

**Keywords:** multiple branching channels; throughput capacity; simulation

广州港是我国沿海主要港口和集装箱干线港之一, 是珠江三角洲地区能源和原材料运输的主要中转港。为适应港口运输需求不断增长和船舶大型化的发展趋势, 多年来广州港出海航道经历了几次大规模的整治建设。目前, 广州港出海主航道宽 243 m、水深 17 m, 可以满足 10 万吨级集装箱船不乘潮单向通航、12 万吨级散货船乘潮单向通航、5 万吨级船舶全天候双向通航, 在一定程度上满足了广州港、深圳西部港区、虎门港和中山港发展的需求。但从目前的发展趋势看, 在运量快速增长的同时, 船舶大型化也非常明显, 为

适应这一发展趋势开展了广州港深水航道拓宽工程的前期研究工作。

### 1 问题的提出

广州港出海航道具有人工航段里程长、自然条件复杂、航道分叉多、相关港区多、船舶类型多、交通量大等特点, 采用常规的经验公式无法估算航道的通过能力, 更不能对航道的服务水平做出评价。针对如此复杂的航道服务系统, 国际通用的做法是采用计算机仿真技术进行分析<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2016-06-16

作者简介: 唐颖 (1983—), 女, 工程师, 从事水运工程相关系统的仿真研究。

## 2 仿真模型

### 2.1 模型范围与模型边界

本文建立了以船舶交通为核心研究对象的港航系统模型,模拟船舶到达外海锚地、通过航道到达目的港、在泊作业以及离港的全过程。模型范围包括锚地、航道及各港口、港区(图1),具体如下:1)锚地:桂山锚地和13ZH锚地;2)航道:广州港主航道(从13ZH锚地至西基调头区)及与其相连的支线航道(榕树头航道、铜鼓航道、横门东出海航道、莲花山西航道);3)港口、港区:广州港(内港港区、黄埔港区、南沙港区、南沙港区和南沙港区)、虎门港、中山港和深圳港西部港区。

模型有两个边界:1)陆域边界,即码头岸线;2)海域边界,即外海锚地。

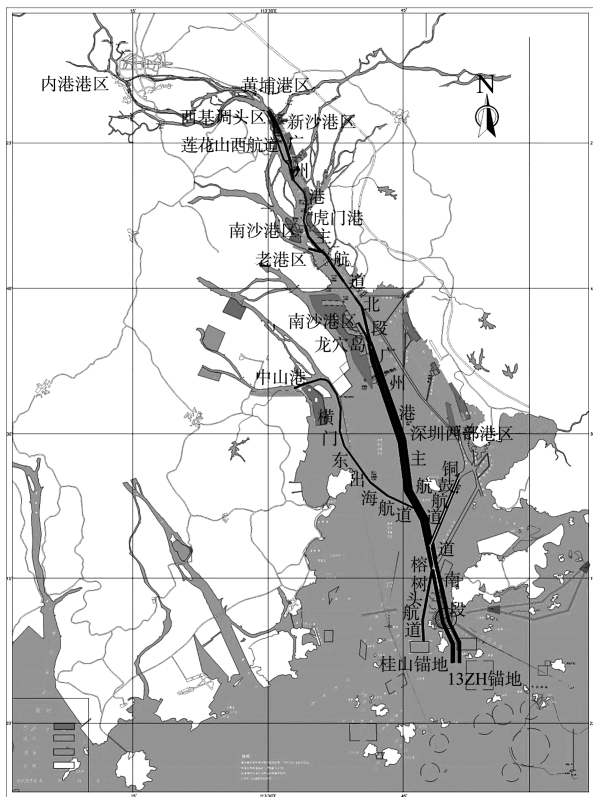


图1 模型范围

### 2.2 港航系统作业分析

结合航道拓宽方案,本文的研究重点在南沙港区龙穴岛以南的航道段。在该航道段上的船舶主要是从外海进入航道,到目的港码头作业的船舶。

其进出港流程<sup>[2]</sup>见图2。

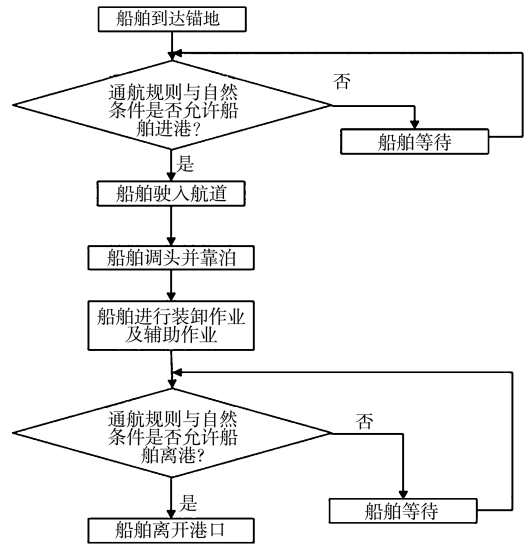


图2 船舶作业流程

### 2.3 仿真系统模型

#### 2.3.1 船舶生成模型

##### 2.3.1.1 船型组合

广州港出海航道属于综合性航道,经过广州港出海航道的船舶既有远洋航线、又有近洋航线、支线船等,船舶类型多、交通量大、船舶构成十分复杂。根据预测的到港船舶数和船型组合(表1、2),可以得到经过广州港航道的船舶的2个特点:

- 1) 集装箱船和散货船是主流船型,且集装箱船呈增长趋势;而散货船有下降趋势。
- 2) 船型呈大型化趋势,其中10万吨级及以上大船2030年比2020年增长了4526艘次,占比增加3.7%。

表1 通过广州港航道的船舶类型分布

船舶类型	2020年预测		2030年预测	
	通过船舶数/艘	占比/%	通过船舶数/艘	占比/%
集装箱船	24 496	33.9	37 678	41.9
油船	6 490	9.0	8 404	9.3
散货船	38 348	53.0	39 621	44.0
修造船	2 775	3.8	3 352	3.7
邮轮	195	0.3	930	1.0
合计	72 304	100.0	89 985	100.0

表 2 通过广州港航道的船舶吨级分布

船舶吨级/t	2020 年预测		2030 年预测	
	通过船舶数/艘	占比/%	通过船舶数/艘	占比/%
0.3 万~0.5 万	39 894	55.2	44 376	49.3
1 万~2 万	16 030	22.2	18 948	21.1
3.5 万	2 637	3.6	3 120	3.5
5 万	5 967	8.3	9 257	10.3
7 万	2 860	4.0	4 842	5.4
10 万	1 876	2.6	3 608	4.0
12 万	1 867	2.6	3 465	3.9
15 万	957	1.3	1 902	2.1
>15 万	216	0.3	467	0.5
合计	72 304	100.0	89 985	100.0

### 2.3.1.2 船舶到港规律

由于广州港航道属于综合性航道,通过的船舶种类繁多,船舶的到港规律各不相同。尤其是大型集装箱班轮到港,具有明显周期性。模型中对于 10 万吨级及以上集装箱船按经验分布到港,其他集装箱班轮采用二阶爱尔朗分布,其他散货、油船等船舶到港时间间隔采用负指数分布。

### 2.3.2 锚地模型

模型中将外海锚地分为两块:桂山锚地和 13ZH 锚地。根据广州港 AIS 录像可以看出:3 万吨级以上的船舶分配到 13ZH 锚地;3 万吨级及以下的船舶,62%从 13ZH 锚地进入航道,38%从桂山锚地进入航道。

### 2.3.3 航道模型

#### 2.3.3.1 航道条件

广州港航道条件见表 3。

表 3 广州港出海航道及相关支航道

航道名称	长度/km	航行速度/kn	会遇等级
主航道南段	66.6	13.5	拓宽方案 1:10 万+10 万 拓宽方案 2:15 万+10 万 拓宽方案 3:15 万+15 万
主航道北段	52.8	10.8/9	5 万吨级单向
榕树头航道	14.8	13.5	3 万吨级单向
铜鼓航道	23.7	13.5	现状:10 万吨级单向 规划:10 万+10 万
横门东出海航道	28.9	13.5	现状:3 000 吨级单向 规划:1 万吨级以上单向
莲花山西航道	7.7	10.8	2 万吨级单向通航

注:“10 万+10 万”为 10 万吨级双向航道简称,“15 万+10 万”为 15 万吨级和 10 万吨级船舶可会遇航道简称,“15 万+15 万”为 15 万吨级双向航道简称。

模型根据航道建设方案的尺度不同,按照《海港总体设计规范》规定不同货类、不同吨级的船舶在航道中会遇的有效宽度,模拟船舶会遇策略。

#### 2.3.3.2 安全间距

船舶航行时,需要与其前后的其他船舶保持一定的安全间距。安全间距的取值根据每艘船的船舶领域确定。

根据藤井船舶领域理论,模型中的船舶在主航道南段的纵向船舶领域取 8 倍船长,在主航道北段的纵向船舶领域取 6 倍船长<sup>[3]</sup>。所以相邻两船的安全间距按照如下公式计算:

主航道南段:

$$\text{安全间距} = 8(L_1 + L_2) / 2 \quad (1)$$

主航道北段:

$$\text{安全间距} = 6(L_1 + L_2) / 2 \quad (2)$$

式中:  $L_1$ 、 $L_2$  为相邻两船的船长。

#### 2.3.4 泊位模型

模型假设泊位数量充足,船舶不会因为泊位限制而等待。根据来船的货种、吨级以及目的港区,为该船舶指定装卸的泊位、船舶在泊位进行装卸作业以及各种辅助作业。根据广州港生产性停泊时间统计得到船舶在泊位作业时间。

#### 2.3.5 潮汐生成模型

珠江口潮汐为不规则半日混合潮型,模型中每隔 12.58 h 生成一次高潮水位,高潮位持续时间根据《珠江口潮汐表》统计。

#### 2.3.6 船舶调度模型

##### 2.3.6.1 船舶调度的优先级

原则上按照船舶抵港和离泊先后顺序安排,但下列情形优先安排:1) 邮轮(均为 10 万吨级及以上);2) 10 万吨级及以上集装箱班轮;3) 1 万吨级以上集装箱班轮;4) 12 万吨级及以上散货船和 10 万吨级及以上油船;5) 5 万吨级及以上散货船和油船。

##### 2.3.6.2 船舶航行中的避让规则

船舶航行过程中,为了防止发生船舶相撞的事件,船舶之间均要通过保持合理的安全间距来避让冲突。这主要包括 3 种冲突:1) 船舶在航道

中与航行在其前后的船舶由于突发状况而产生突发状况；2) 船舶在航道交汇口与相向而行的船舶相交产生冲突；3) 支航道航行的船舶汇入主航道与主航道同向而行的船舶在交汇口会产生冲突。

如果准备进入航道的船舶会与其他船舶发生以上冲突，为了船舶航行安全，该船舶需为已在航道中航行的船舶留出足够的安全间距。

**2.3.6.3 船舶乘潮**

根据广州港进出口船舶统计数据可得，广州港散货船和油船均是满载进港，船舶乘潮只考虑进港船舶顺潮波进港。船舶乘潮历时由船舶在需乘潮航道段的航行时间、靠泊时间和富余时间组成。其中船舶靠泊时间和富余时间合计取 45 min。

**2.3.6.4 船舶能否进入航道的判断**

船舶到港后，根据航道状态判断该船能否进港，如果条件满足，则进入航道，否则在锚地等待；同样，船舶完成在泊作业之后，也根据航道状态判断该船能否离港，如果条件满足，则进入航道，否则在泊位等待。

航道状态包括：1) 航道中是否有与船舶发生会遇的船舶；2) 当前潮位是否满足船舶乘潮要求；3) 船舶安全间距是否足够。

**2.3.6.5 船舶进出港优先转换规则**

船舶进出港优先规则与一般航道单双向转换规则的目的相同，都是为避免航道一端的船舶等待时间过长。但是船舶进出港优先规则更加复杂，由于广州港出海航道服务的船舶吨级范围广，所以当进港船舶优先时，不与航道内和计划的进港船舶冲突的出港船舶也可以出港，反之亦然。

一般情况下，根据航道状态判断船舶能否进入航道，但是由于船舶到港和泊位作业具有不平衡性，可能会在航道一端出现船舶排队等待进入航道的情况。这时为避免进港船舶或出港船舶等待航道时间过长的现象，更加合理利用航道资源，模型中会转换航道规则为该方向船舶优先。

**2.3.7 统计模型**

通过计算机仿真试验，统计船舶进、出港平均等待航道时间。

考虑到广州港深水航道拓宽工程的主要目的

是提高大型船舶尤其是大型集装箱班轮的服务水平，试验单独统计了 10 万吨级及以上船舶的等待航道时间。

**2.4 仿真模型的实现**

针对广州港出海航道的特点，在 Simio 商业仿真平台上建立了广州港出海航道的仿真模型。模型主要分 7 个模块，即：船舶模块、锚地模块、航道模块、泊位模块、潮汐模块、船舶调度模块、统计模块。模型运行的仿真图见图 3。

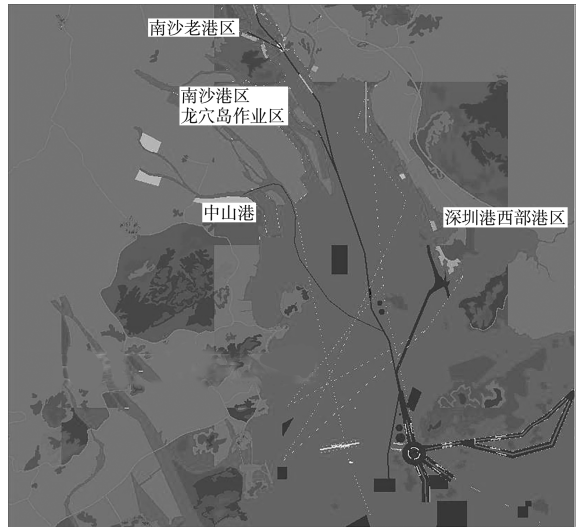


图 3 广州港出海航道仿真模型

**3 基于服务水平航道通过能力分析**

**3.1 试验设计**

仿真试验分别以 2020 年和 2030 年预测的到港船型组合为条件，按航道拓宽各尺度方案进行仿真试验。每个试验工况都从年通过航道船舶 4 万艘次起，逐步增加船舶到港密度，直到试验中作业船舶等待航道时间过长为止，分析不同拓宽方案在两个船型组合下的合理通过能力。试验方案见表 4。

表 4 仿真试验方案

试验方案	航道尺度/吨级	船型组合
1	10 万+10 万	2020 年预测船型组合
2	10 万+10 万	2030 年预测船型组合
3	15 万+10 万	2020 年预测船型组合
4	15 万+10 万	2030 年预测船型组合
5	15 万+15 万	2020 年预测船型组合
6	15 万+15 万	2030 年预测船型组合

### 3.2 航道通过能力分析

广州港航道是公共服务设施, 其通过能力应当基于合适的服务水平来确定。航道尺度条件、自然条件以及船舶通航管制规则的限制会在不同程度上使需要进港的船舶出现等待航道的现象, 严重的等待会使船舶拥堵, 延长船舶在港非作业停时, 造成经济损失。尤其 10 万吨级及以上大型集装箱班轮对等待时间的要求非常严格。一般等待超过 30 min, 未来可能就不愿意继续选择该港挂靠了。综合考虑广州港航道集装箱班轮多和船舶大型化发展趋势, 提高广州港出海航道沿线港口的综合竞争力, 本文着重以 10 万吨级及以上船舶(其中 75%左右为集装箱班轮)的等待航道时间作为服务水平评价标准, 评价各拓宽方案的通过能力。

图 4 反映了各航道尺度下航道通过船舶数与 10 万吨级及以上船舶平均等待航道时间的关系。

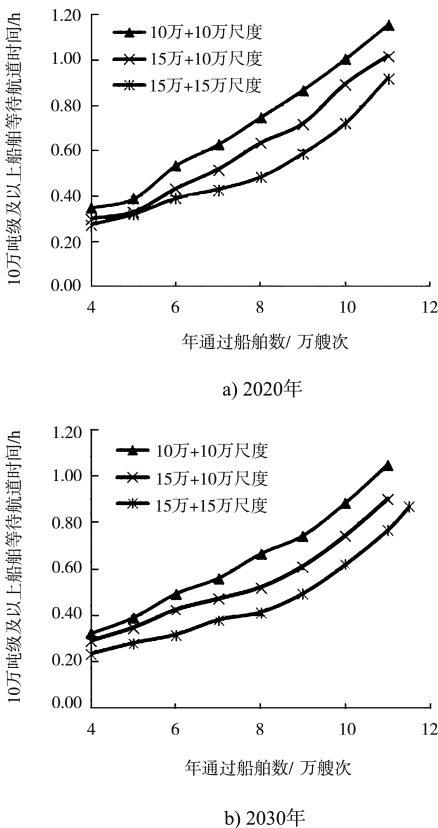


图 4 预测船型下航道通过船舶数与 10 万吨级及以上船舶平均等待航道时间关系

本文选取了 10 万吨级及以上船舶平均等待航道时间为 0.4、0.6、0.8 h 作为航道通过能力的评价标准, 利用插值法求得各拓宽方案在 2020 年和 2030 年预测船型组合下的航道通过能力(表 5), 供港方和设计方决策。

表 5 基于 10 万吨级及以上船舶平均等待航道时间的航道通过能力 万艘次

航道尺度/ 吨级	2020 年预测船型组合			2030 年预测船型组合		
	0.4 h	0.6 h	0.8 h	0.4 h	0.6 h	0.8 h
10 万+10 万	5.1	6.6	8.4	5.1	7.4	9.4
10 万+15 万	5.7	7.7	9.5	5.7	9.0	10.4
15 万+15 万	6.0	9.0	10.4	7.5	9.9	11.2

当等待时间为 0.6 h 时, 10 万+10 万方案的通过能力不能满足 2030 年预测的约 9 万船舶通过数量, 10 万+15 万方案刚好能够满足船舶预测。综合考虑广州港航道集装箱班轮和船舶大型化发展趋势, 提高广州港出海航道沿线港口的综合竞争力; 广州港航道里程长, 大型船舶单向通航时, 对其他船舶通航影响大; 以及船舶通航安全, 建议按照 10 万+15 万方案拓宽航道。

### 4 结语

本文针对广州港多支汊航道的通航特点, 建立了计算机仿真模型, 在考虑潮汐、航道管制等影响因素下, 模拟了船舶到达锚地、进入航道、在泊作业和船舶离港的作业全过程。

本文根据广州港航道的通航船型特点, 提出以 10 万吨级及以上大船的等待航道时间作为航道通过能力的服务水平评价指标, 对比分析了 3 个主航道拓宽方案下的航道通过能力, 根据广州港航道预测船舶数, 推荐了 10 万+15 万拓宽方案, 为航道拓宽方案提供了重要的决策支持依据。

### 参考文献:

- [1] 吴澎.深水航道设计[M].北京:人民交通出版社, 2011.
- [2] 吴澎, 商剑平.沿海港口航道通过能力仿真模型研究[J].中国港湾建设, 2010(S1): 42-45.
- [3] 张保华.基于船舶领域理论的水道通过能力研究[D].大连:大连理工大学, 2009.