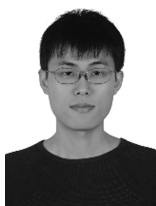


· 信息技术 ·



施工期临时航道建设规模仿真

许才广¹, 杨锡鏊², 王 更¹, 王 烽¹

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230;

2. 佛山市交通科技有限公司, 广东 佛山 528041)

摘要: 针对航道建设过程中施工船舶与港口进出船舶相互影响环境下的施工临时航道建设规模难以论证的问题, 采用计算机仿真研究手段, 基于 Flexsim 仿真平台, 结合工程案例, 构建施工临时航道仿真模型, 模拟航道工程疏浚及吹填施工的全过程。通过仿真试验, 分析施工临时航道建设规模对施工工期的影响。结果表明, 对于长度较短、通航密度不高的施工临时航道, 建设规模对工期的影响有限, 而储泥坑及吹泥站的规模也是影响工期的重要因素。

关键词: 施工临时航道; 建设规模; 仿真模型; 工期

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)06-0183-05

Simulation of temporary channel scale during construction period

XU Cai-guang¹, YANG Xi-liu², WANG Geng¹, WANG Feng¹

(1. CCCC-Fourth Harbor Design Institute Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. Foshan Transportation Science and Technology Co., Ltd., Foshan 528041, China)

Abstract: Aiming at the difficulty of demonstrating the construction scale of construction temporary channel under the environment of the complex interaction between dredgers and merchant ships in the course of waterway construction, we apply the computer simulation research method, establish a temporary channel simulation model based on the Flexsim simulation platform combining with engineering cases, simulate the entire process of channel dredging and reclamation works, and analyze the influence of construction scale of the temporary channel on the schedule through model experiments. The results show that the construction scale has a limited influence on the schedule for the construction temporary channel with a short length and low density of ship flow, and the scale of mud storage area and reclamation station is also an important factor in the schedule.

Keywords: construction temporary channel; construction scale; simulation model; schedule

将疏浚土用于陆域吹填是沿海深水航道建设过程中的一种经济、环保的疏浚土处理方式。由于吹泥区设置在近岸区域, 因此在主航道和吹泥区之间往往需要设置施工临时航道供运泥船通行, 施工临时航道是航道工程建设过程中的重要保障措施。对于主航道通航繁忙、施工作业交界面复杂、施工船舶数量多的深水航道工程, 如何科学合理地确定施工临时航道建设规模是工程建设过程中极为关键的问题。

由于港航系统是一个复杂的离散事件动态系统, 传统的经验公式只能对航道通过能力进行静态估算, 不能动态反映航道的运营过程^[1-2], 因此对于航道建设规模的研究往往要借助计算机仿真技术。如王更等^[3]基于 Flexsim 仿真平台对深圳港铜鼓航道的通过能力进行仿真研究; 李邵武等^[4]基于 SIMIO 仿真平台对秦皇岛港 10 万吨级航道及规划的 20 万吨级航道的通过能力进行仿真研究; 宁双林等^[5]基于 Arena 仿真平台对北方某航道的通

收稿日期: 2020-08-19

作者简介: 许才广(1990—), 男, 硕士, 工程师, 从事港航工程咨询、设计及项目管理。

过能力进行研究。虽然已经有很多学者利用仿真技术对港口进港主航道的通过能力和建设规模等进行研究和论证,但针对施工船舶与港口进出船舶相互影响环境下的施工临时航道仿真研究仍比较少见。

本文结合工程案例,基于 Flexsim 仿真平台,在模拟某主航道通航条件基础上建立施工临时航道仿真模型,进行仿真试验和数据统计,对施工船舶等待时间和工期等指标进行分析,为施工临时航道建设提供参考。

1 港航系统计算机仿真技术

计算机模拟也称为系统仿真,是建立在系统科学、系统识别、控制理论、计算技术与控制工程基础上的综合性很强的试验科学技术,它利用计算机对客观存在的或设计中的系统结构和行为进行动态模拟,以安全和经济的方法获得与系统有关的数量指标,从而达到分析、研究与设计该系统的目的。系统仿真技术是系统工程、管理科学、运筹学等学科领域广泛采用的一种研究手段^[6]。

计算机仿真技术在港航工程领域的应用具有起步晚、发展快的特点,近年来越来越多的仿真模型成功地成为港口的规划设计、建设管理和运营管理提供决策信息。港航工程仿真研究的思路是从系统的观点出发,对由船舶、航道、锚地、泊位、天气和潮汐等有关因素组成的港航系统的作业过程进行分析,研究港航系统组成要素的特点和各自的运行规则,探讨各相关因素对系统运行的影响。港航水域的仿真研究集中在航道通过能力、船舶操纵模拟以及拖船作业系统设备配置研究,港航陆域的仿真研究主要集中在集装箱码头的规划和运营、港口装卸系统、码头前沿及堆场管理、港口作业调度等研究。目前在港航系统计算机仿真领域,应用较多的仿真软件有 Arena、Anylogic、Witness、Simio 和 Flexsim(包括 Flexterm)等。本文使用的 Flexsim 仿真软件,是一套集仿真

技术、人工智能技术、计算机三维图像处理技术、数据处理技术为一体的新一代离散事件系统仿真工具,采用面向对象的建模方式,建模过程方便快捷,通过图形的拖动和必要的附件程序就可以快速地建立仿真模型。

2 施工临时航道仿真模型构建

2.1 仿真研究对象特性分析

港航作业系统包括主航道和施工临时航道部分,其中主航道+施工临时航道作业系统是一个复杂的离散事件动态系统,具有以下特性:1)船舶到港、施工船舶作业都具有离散性及动态性的特点;2)主航道和临时航道是一个有机整体,临时航道以主航道为基础建立;3)主航道通行船舶和施工船舶交界面多、相互影响,施工船舶作业不得妨碍主航道通行;4)临时航道和主航道交汇处航行环境复杂。

针对以上特性,仿真模型的建立须实现以下场景:1)在尽可能真实地模拟主航道船舶到达、通航和进港作业过程的基础上建立施工临时航道仿真模型;2)以实际数据模拟施工船舶的疏浚、运泥和吹填的全作业流程;3)施工船舶与主航道通行船舶相互避让,原则是施工船舶避让主航道船舶;4)临时航道与主航道交汇口处船舶的避让,原则是进出临时航道的施工船舶避让主航道通行船舶;5)当不同区域施工船舶同时到达临时航道入口时,原则上是航行较远距离的施工船舶先进入临时航道。

2.2 仿真模型研究范围

建立以施工船舶为核心的港航作业系统模型,模拟施工船舶在主航道疏浚施工、运泥、进出施工临时航道至储泥坑吹填施工的全过程。施工作业是一个循环作业过程,仿真终止时间设定为完成施工要求的时间。模型范围包括主航道、施工临时航道、储泥坑及吹泥站,其作业流程如图 1 所示。

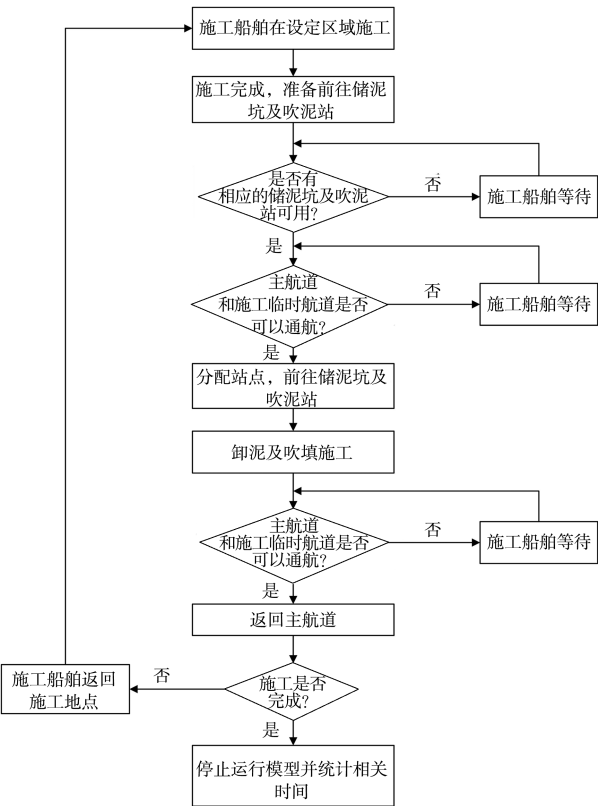


图 1 施工作业系统流程

2.3 仿真模型组成

2.3.1 施工船舶模块

简化船舶施工作业过程，在各施工航段设定固定的实体作为施工船舶，并设定施工船舶作业区域、作业时间和航行轨迹。

施工作业区域为各区域施工船舶疏浚范围，作业时间包括在主航道疏浚施工时间和在储泥坑

卸泥或者吹填时间，航行轨迹为施工船舶在各区域挖泥、运泥、抛泥和吹填、返回主航道施工的循环作业轨迹。

2.3.2 主航道模块

对主航道模块进行简化，通过对港区船舶交通管理系统(VTS)监控数据进行分析，模拟分货类、分吨级船舶进主航道至泊位装卸作业至离港的过程。设定船舶在主航道上的航速为 8 kn，并且船舶不会发生追越。为了防止发生船舶碰撞事件，船舶的安全间距取 6 倍船长，即安全距离 = $6 \times \max [L_1, L_2]$ ，其中 L_1 、 L_2 分别为前、后船的船长。

2.3.3 施工临时航道模块

在主航道模块的基础上建立施工临时航道模块。施工船舶在临时航道航速取 6 kn。通过设定相应的规则，可以控制临时航道为单向航道或者双向航道。

2.3.4 储泥坑及吹泥站模块

根据施工组织安排，为各施工船舶指定储泥坑卸泥和吹泥站吹填站点，考虑施工船舶卸泥作业和吹填作业及各种辅助作业的时间。

2.3.5 施工调度模块

设定施工船舶和主航道通航船舶调度的优先级、船舶航行中的避让规则以及船舶进出临时航道和储泥坑及吹泥站的条件。航道工程施工过程动态运行仿真模型界面见图 2。

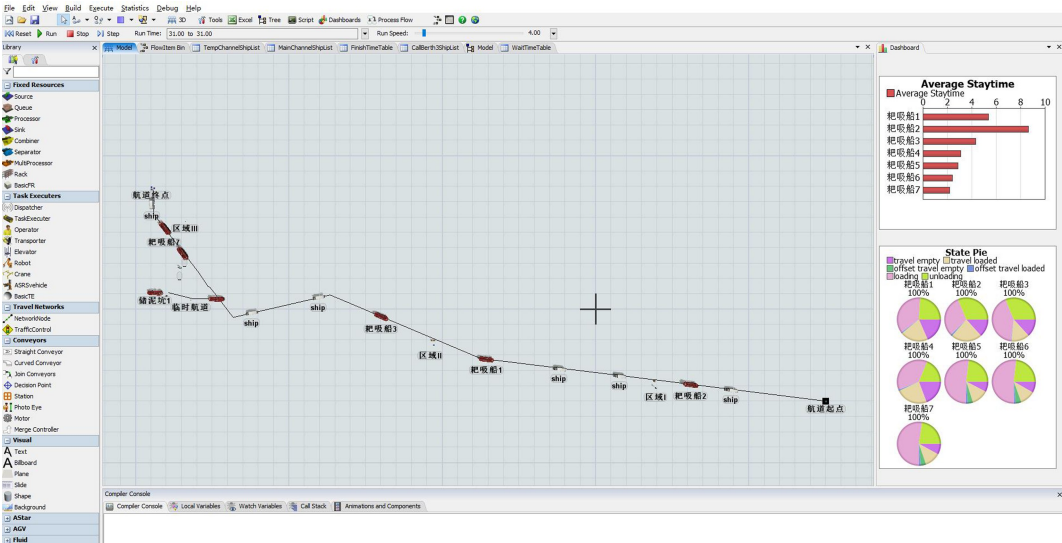


图 2 航道工程施工过程动态运行仿真模型界面

3 仿真试验与试验分析

3.1 工程概况

某航道工程在现有港区主航道基础上进行浚深和拓宽,航道全长 64.1 km,以湾口门为界分内航道和外航道,共设置 4 个转弯段和 1 个会船区。

根据施工组织安排,按照航道里程划分为区域 I~III:其中施工区域 I 为断面里程 0+000~36+200 的航段,施工船舶为 2 艘大型耙吸船;区域 II 为断面里程 36+200~53+000 的航段,施工船舶为 2 艘大型耙吸船;区域 III 为断面里程 53+000~64+100 的航段,施工船舶为 3 艘中型耙吸船。为满足某海岛产业用地陆域形成回填要求,考虑充分利用航道疏浚物吹填上岸至产业用地,吹填量约 2 600 万 m³,上岸方式为区域 I 疏浚土由耙吸船在吹泥站直接艘吹上岸,区域 II 和 III 疏浚土由

耙吸船卸至储泥坑后再由绞吸船吹填上岸,总吹填施工工期要求为 8 个月。吹泥区设置在该海岛附近,储泥坑满足大型耙吸船卸泥、掉头和吹泥以及大型绞吸船吹填施工的要求,由于近岸区域水深较浅,为满足耙吸船通航,须开挖一段施工临时航道,长度约 2.8 km。

由于吹填施工工期十分紧张,如果按照单向航道设计,施工临时航道疏浚量小,但是航道通过能力小,船舶等待时间长;如果按照双向航道设计,航道通过能力大,船舶等待时间短,但是施工临时航道的疏浚量大,临时航道疏浚施工也会影响工期。同时主航道通航繁忙,3 个区域的耙吸船都会进出施工临时航道,还应考虑施工船舶和通航船舶的相互避让。因此如何在确保工期的前提下,科学、经济、合理地确定施工临时航道的建设规模成为亟待解决的关键难题。

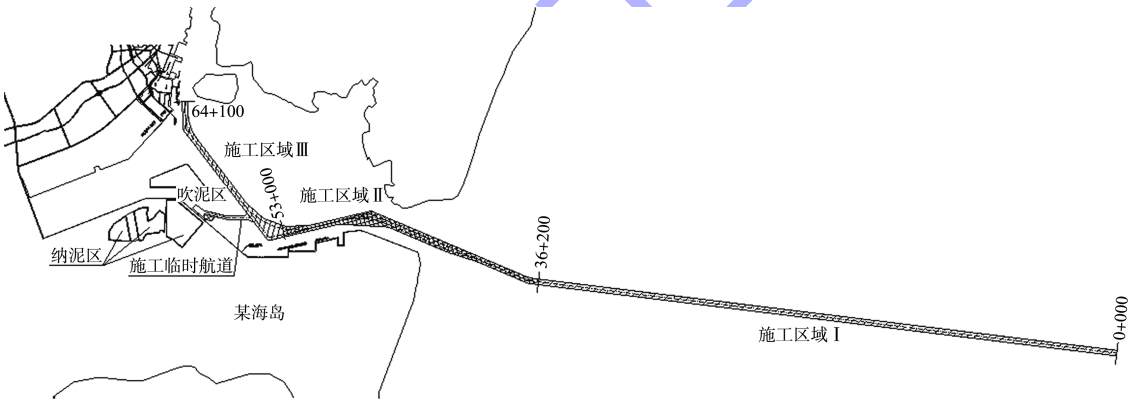


图 3 某航道工程平面布置

3.2 仿真试验设计

3.2.1 仿真基础数据

1)施工作业基础数据。设定区域 I~III 的施工船舶疏浚施工时间和储泥坑卸泥和吹泥站吹填作业时间,其中:区域 I 施工船舶为 2 艘大型耙吸船,船舶在主航道疏浚施工时间为 3 h,在储泥坑舢吹时间为 3 h,舢吹完成后耙吸船返回航道施工;区域 II 施工船舶为 2 艘大型耙吸船,船舶在主航道疏浚施工时间为 2 h,在储泥坑卸泥时间为

1 h,卸完泥后耙吸船返回航道施工;区域 III 施工船舶为 3 艘中型耙吸船,船舶在主航道疏浚施工时间为 2 h,在储泥坑卸泥时间为 1 h,卸完泥后耙吸船返回航道施工。

2)主航道仿真基础数据。主航道采用港区 2017 年 VTS 监控数据和船舶通过量进行仿真设计,模拟主航道实际运营的情况。2017 年实际到港船舶数量见表 1。

表 1 2017 年港区船舶数量

| 船舶吨级/DWT | <1 万 | 1 万~5 万 | 5 万~10 万 | 10 万~20 万 | 20 万~30 万 | |
|----------|-------|---------|----------|-----------|-----------|----------|
| 船舶数量/艘次 | 3 578 | 1 380 | 706 | 132 | 446 | 合计 6 242 |

3.2.2 仿真试验方案

施工仿真模型基于各区域实际施工作业数据进行仿真设计，同时为了反映主航道通航和疏浚

施工的相互影响，在试验方案设计时通过设定相关的避让规则来体现主航道通航船舶对施工船舶的影响。试验设计方案见表 2。

表 2 仿真试验方案

| 试验方案 | 主航道通航影响 | 施工临时航道规模 |
|------|-------------------|----------|
| 1 | 不考虑主航道通航船舶对施工船舶影响 | 单向航道 |
| 2 | 不考虑主航道通航船舶对施工船舶影响 | 双向航道 |
| 3 | 考虑主航道通航船舶对施工船舶影响 | 单向航道 |
| 4 | 考虑主航道通航船舶对施工船舶影响 | 双向航道 |

通过仿真试验，本文主要获取下列数据作为评价指标：1)施工作业完成总时间；2)各区域施工作业完成时间；3)施工船舶从主航道进入施工临时航道的等待时间；4)施工船舶从储泥坑及吹泥站进入临时航道的等待时间；5)施工船舶平均

等待储泥坑及吹泥站的时间。

3.3 试验结果分析

当考虑和不考虑主航道通航对施工船舶影响时，分别进行单向施工临时航道和双向施工临时航道仿真研究，试验结果见表 3。

表 3 主航道通航影响仿真试验结果

| 工况 | 施工临时航道规模 | 施工完成时间/h | | | | 平均等待时间/h | | |
|------------|----------|----------|-------|-------|--------|----------|--------------|------------------|
| | | 所有区域 | 区域 I | 区域 II | 区域 III | 储泥坑及吹泥站 | 从主航道进入施工临时航道 | 从储泥坑及吹泥站进入施工临时航道 |
| 不考虑主航道通航影响 | 单向航道 | 4 558 | 3 835 | 4 180 | 4 558 | 1.15 | 0.17 | 0.01 |
| | 双向航道 | 4 334 | 3 831 | 4 334 | 3 718 | 0.75 | 0 | 0 |
| 考虑主航道通航影响 | 单向航道 | 4 555 | 4 371 | 4 421 | 4 555 | 1.26 | 0.18 | 0.01 |
| | 双向航道 | 4 466 | 4 368 | 4 466 | 3 699 | 0.83 | 0 | 0 |

通过仿真试验结果可以得出：
1)该工程施工临时航道服务水平较高，单向航道时施工船舶从主航道进入施工临时航道平均等待时间只有 0.18 h，施工船舶从储泥坑及吹泥站返回施工临时航道平均等待时间只有 0.01 h，施工船舶等待临时航道时间较短；而对于双向航道，施工船舶基本不用等待进入临时施工航道。

2)施工临时航道从单向提升至双向时，施工工期变化不明显。不考虑主航道通航影响时，总工期减少 224 h，约占总工期的 4.9%；考虑主航道通航影响时，总工期减少 89 h，约占总工期的 2.0%。原因为施工临时航道长度较短，施工船舶通航密度不高，施工临时航道的单双向设置对工期的影响有限。

3)施工船舶等待储泥坑及吹泥站时间明显高于等待施工临时航道时间，储泥坑及吹泥站的规模对工期的影响大于施工临时航道规模对工期的

影响，因此在航道吹填施工工程中要充分考虑储泥坑及吹泥站的设置。

4 结语

1)本文基于 Flexsim 仿真平台，针对航道建设过程中施工船舶与港口进出船舶相互影响环境下的施工临时航道展开研究，在模拟某主航道通航条件基础上建立了施工临时航道仿真模型，实现了对航道施工全过程的模拟，结果表明仿真技术可以为优化施工临时航道和储泥坑设计提供一种很好的解决思路。

2)对于长度较短、通航密度不高的施工临时航道，单双向设置对施工工期的影响有限，而储泥坑及吹泥站的规模对工期影响甚至会大于施工临时航道规模对工期的影响，因此对于施工船舶数量多的航道吹填工程应充分考虑储泥坑及吹泥站的设置。