



船闸系统仿真模块库的建立与应用

鲁彦汝, 周 强

(武汉理工大学 物流工程学院, 湖北 武汉 430063)

摘要: 基于面向对象的建模技术和系统仿真方法, 分析船闸物流系统的组成、关联关系和系统构型, 建立船闸系统的对象模型和动态模型, 阐述船闸系统仿真模块库开发的普适性, 构建船闸系统仿真模块库。通过快速搭建三峡船闸仿真模型并进行仿真试验, 验证本模块库的工程应用价值。

关键词: 面向对象; 船闸; 仿真模块; 快速搭建

中图分类号: U 641.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0125-06

Establishment and application of simulation module library for lock system

LU Yan-ru, ZHOU Qiang

(College of Logistics Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: This paper analyzes the composition, relationship and system configuration of lock logistics system based on the object-oriented modeling technology and system simulation method, establishes the object model and dynamic model of lock system to elaborate the universality of simulation module library for lock system, and builds the simulation module library of lock system. Building quickly the Three Gorges ship lock simulation module and carrying out simulation experiment, this paper verifies the engineering application value of the module library.

Keywords: object-oriented; ship lock; simulation module; quick building

船闸系统是一个典型的离散事件动态系统, 具有非线性和不确定性等复杂特征。系统仿真技术是分析复杂工程系统最有效的手段, 长期以来一直被广大学者所青睐。朱顺应^[1]基于 Arena 平台建立三峡船闸仿真模型, 根据仿真结果分析该系统问题, 提出改善方案; 赵春鹏^[2]从船舶队列优化和船闸船舶组合两个方面对船闸调度系统进行优化, 并利用仿真对结果进行分析; Smith L D^[3]通过构建离散事件仿真模型来研究密西西比河上游的交通堵塞问题。但是, 在建立船闸系统仿真模型时, 首先要对船闸的系统边界、系统构建、逻辑流程等进行分析, 再进行模型的搭建, 这不仅需要熟悉船闸的物流活动、运营操作, 还需要熟练使用不同的仿真软件。因此, 建模周期往往比较长。鉴于此, 本文深入分析船闸系统的复杂

关系, 阐述适用性广泛的系统仿真模块库的开发思想, 研发一套基于面向对象的船闸系统仿真模块库, 用户可以利用本模块库在仿真平台上通过“拖入模块”→“创建逻辑联系”→“输入数据参数”等简单步骤进行船闸模型的快速搭建, 深入研究船闸系统中的若干问题。

1 模块库的开发思想

面向对象建模方法是通过构造软件系统来研究复杂系统中复杂问题的有效方法, 其中, 面向对象的对象建模技术是一种和编程无关的图形表示法, 其工作基础是把船闸系统作为对象, 分别从结构和相互作用两个方面依次建立船闸系统的对象模型和动态模型, 从而进行船闸系统仿真模块库的开发。

1) 船闸系统的对象模型。

船闸系统的对象模型主要是围绕对象进行建

模,通过描述系统中的对象、对象之间的联系、属性以及刻画每个对象类的属性和操作来表示系统的静态结构^[4]。抽取船闸系统的主要对象有:锚地、调度中心、引航道、待闸区、闸门、闸室、输水系统。具体描述如下:

- ①锚地:供船舶停泊等待,具有空闲和占用两个状态;
- ②调度中心:根据排档计划进行闸室排档,生成闸室排档图,向待泊船舶发布调度指令;
- ③引航道:具有尺寸,可被占用或空闲;
- ④待闸区:闸室内水位调节未完成时,船舶可在待闸区排队等待;
- ⑤闸门:开启或关闭;
- ⑥闸室:具有尺寸,供船舶停泊等待水位调节,空闲或被占用;
- ⑦输水系统:通过灌水或泄水来调节闸室内的水位高程。

建立船闸系统的对象模型如图 1 所示。

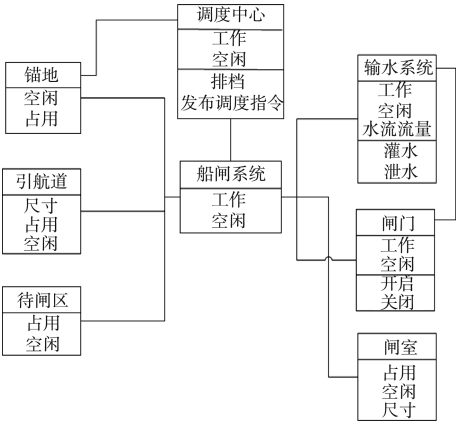


图 1 船闸系统的对象模型

2) 船闸系统的动态模型。

船闸系统作为典型的复杂离散事件动态系统,其动态模型主要用来描述系统瞬间的、行为化的控制特征,以状态图作为描述工具来建立船闸系统的动态模型,表示对象的状态和对象之间状态的变迁(事件操作)。船闸系统中的主要事件有:船舶申报、船舶进入锚地、调度中心进行闸室排档、船舶进入引航道、输水系统调节水位、闸门开启、闸门关闭、船舶进闸、船舶出闸。根据以上事件建立船闸系统的动态模型如图 2 所示。

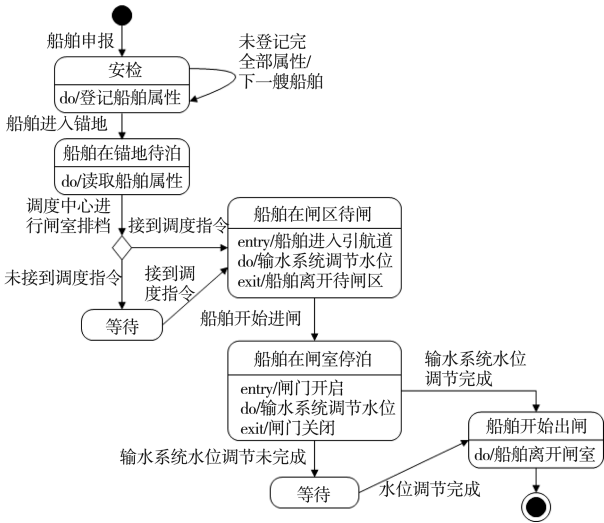


图 2 船闸系统的动态模型

2 构建模块库的系统假定

在开发船闸系统仿真模块库之前,系统做出如下假定:

- 1) 船闸系统仿真模型的边界为船舶进入的待闸锚地和船舶离开闸室后的航道末端。
- 2) 假设每一艘过闸的船舶都是独立的个体,船舶只要进入仿真就能运行而不会中途抛锚。
- 3) 船舶过闸按照“重点船舶优先安排,一般船舶先到先过”的原则进行。在仿真模型中设置 VIP 船舶锚地、一般船舶锚地、VIP 船舶安检区、普通船舶安检区、危险品船舶安检区(危险品船舶进行全面安检)。船舶申报安检后在相应锚地待泊,等待调度过闸。
- 4) 船舶是仿真系统的临时实体,假设船舶到达的时间间隔服从负指数分布,过闸船型依据尺寸大小分类,数量服从一定的概率分布,并假设船型分布与船舶载重吨级分布一致。
- 5) 船舶在闸室中停泊时,船舶之间在纵向和横向上都有安全距离,体现在闸室的集泊长度和集泊宽度上,即两者是在闸室原有尺寸上减去安全距离进行计算得到的。

3 模块库的系统构建及模块结构说明

3.1 模块库的系统构建

基于面向对象建模方法建立的对象模型和动态模型是船闸系统仿真模块库划分的重要依据,

船闸系统仿真模块库的主要系统构建为：船舶计划产生与调度模块、引航模块、闸室模块、数据统计模块和公共变量模块。其中，因为船闸系统的多样性，将引航模块细分为：上行引航模块和下行引航模块；闸室模块细分为：上行闸室模块、下行闸室模块和上下行交错闸室模块。模块库构建及模块的复杂度如表 1 所示。

表 1 船闸系统仿真模块库的构建			
模块类型	模块名称		模块复杂度
业务类	船舶计划产生与调度模块		复杂
	引航模块	上行引航模块	一般
		下行引航模块	
	闸室模块	上行第一级闸室模块	复杂
		上行中间级闸室模块	
		上行最后一级闸室模块	
		下行第一级闸室模块	
		下行中间级闸室模块	
		下行最后一级闸室模块	
	上下行交错闸室模块		
统计类	统计模块	一般	
辅助类	公共变量模块	简单	

各模块的具体组成和功能如下：

1) 船舶计划产生与调度模块。

组成：船舶、调度计划、船舶安检区、锚地、输入输出接口。

功能：产生船舶，分别完成申报、安检活动后进入泊位系统进行待泊；排档计划根据已登记的船舶属性排档完成后，由调度系统向待泊船舶发布过闸指令，实现船舶顺序过闸的调度功能。

2) 引航模块。

组成：引航道、待闸区、输入输出接口。

功能：规定船舶由锚地到闸口的航行路线，船舶可在靠近闸门处的待闸区进行排队，准备进闸。

3) 闸室模块。

组成：闸门、闸室、输水系统、输入输出接口。

功能：通过输水系统调节闸室内水位的高低，从而使相邻两级闸室的水位相平，船舶完成过闸，同时在水位调节过程中，船舶可在闸室内停泊等待。

4) 数据统计模块。

组成：直方图、饼图、变量等用来统计各个指标的工具。

功能：在仿真过程中对船闸系统的通过能力、船舶待闸时间、船舶过闸时间、闸室面积占用率等数据进行统计，得到定量的数据来分析研究的问题，寻找方法解决问题。

5) 公共变量模块。

组成：公共变量以及各个模块实体元素的属性变量。

功能：作为辅助模块，主要由各个模块的共用变量和属性变量组成。

3.2 模块结构及使用方法说明

建立船闸系统仿真模块库的主要目的就是为了解决可以快速搭建船闸模型，获得需要的统计参数进行系统的深入研究。船闸系统模块库中各个模块的主要结构组成为：模块输入接口、模块逻辑主体和模块输出接口。

其中，模块输入接口在系统模块库中表现为模块的输入接口子模块，主要组成元素是变量，它可以用来接收外部用户输入的基本参数，用户在使用模块库完成模型的快速搭建后，只需要按照所需向输入接口导入数据参数即可。

模块输出接口在系统模块库中表现为模块的输出接口子模块，一方面用来输出统计参数至数据统计模块，进行统计；另一方面，与模块输入接口进行连接，输出船舶后由模块输入接口接收，再输入至模块的逻辑主体部分，进行模型间实体流和信息流的传递。

利用模块特定的结构组织形式，用户在使用模块库时，只需要分析船闸的布局结构，明确所需模块及各个模块的数量，然后清楚所需的数据参数和模块的连接顺序，在仿真平台上通过“拖入模块”→“创建逻辑联系”→“输入数据参数”等过程就可以完成模型的搭建工作。可以说，船闸系统模块库很好地体现了面向对象建模技术的三大特点，即封装性、继承性和多态性。

4 模块库的应用验证

下面将三峡双线连续 V 级船闸作为仿真模块库的应用对象，在 WITNESS 仿真平台上用本模块库来搭建三峡船闸仿真模型，验证本模块库的可用性和便捷性。

4.1 模块选取及模型搭建

三峡船闸为双线连续 V 级船闸，每一线船闸的基本组成为：锚地、引航道、闸室、闸门、输水系统。三峡船闸系统模型的搭建布局依据图 3 所示的平面设计图进行。

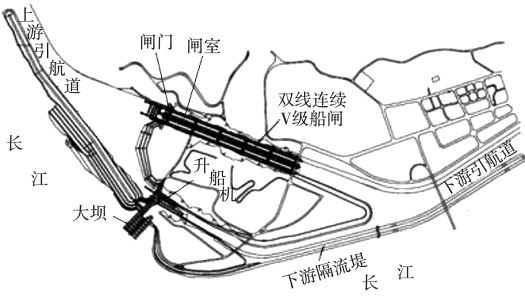


图 3 三峡船闸系统平面布局

4.1.1 模块选取

每一线船闸都由锚地、引航道和 V 级闸室组成，以北线船闸为例，在已经建立好的模块库中选取公共变量模块、数据统计模块、船舶计划产生与调度模块、上行引航模块、上行第一级闸室模块、上行中间级闸室模块、上行最后一级闸室模块，南线船闸类似处理。选定的基础模块及所需的数量如表 2 所示。

表 2 基础模块数量

模块名	数量
船舶计划产生与调度模块	2
上行引航模块	1
上行第一级闸室模块	1
上行中间级闸室模块	3
上行最后一级闸室模块	1
下行引航模块	1
下行第一级闸室模块	1
下行中间级闸室模块	3
下行最后一级闸室模块	1
数据统计模块	1
公共变量模块	1

4.1.2 模型搭建

在 WITNESS 仿真平台上，按照公共变量模块、数据统计模块、船舶计划产生与调度模块、上行引航模块、上行第一级闸室模块、上行中间级闸室模块、上行最后一级闸室模块的顺序依次拖入模块，然后建立模块间的逻辑关系，按照三峡船闸系统的数据参数导入数据，完成北线船闸仿真模型的搭建；南线船闸搭建过程相似。其中，在模型的基础数据输入过程中，除了三峡船闸的基础设施数据外，船舶过闸调度遵循“重点船舶优先安排，一般船舶先到先过”^[5]的原则，船舶船型分布按照《长江水系过闸运输船舶标准船型主尺度系列》^[6]进行设定，调度计划的实施间隔按照长江三峡通航管理局发布的调度计划，为 85 min。建立好的三峡船闸仿真模型在 WITNESS 中的截图如图 4 所示。

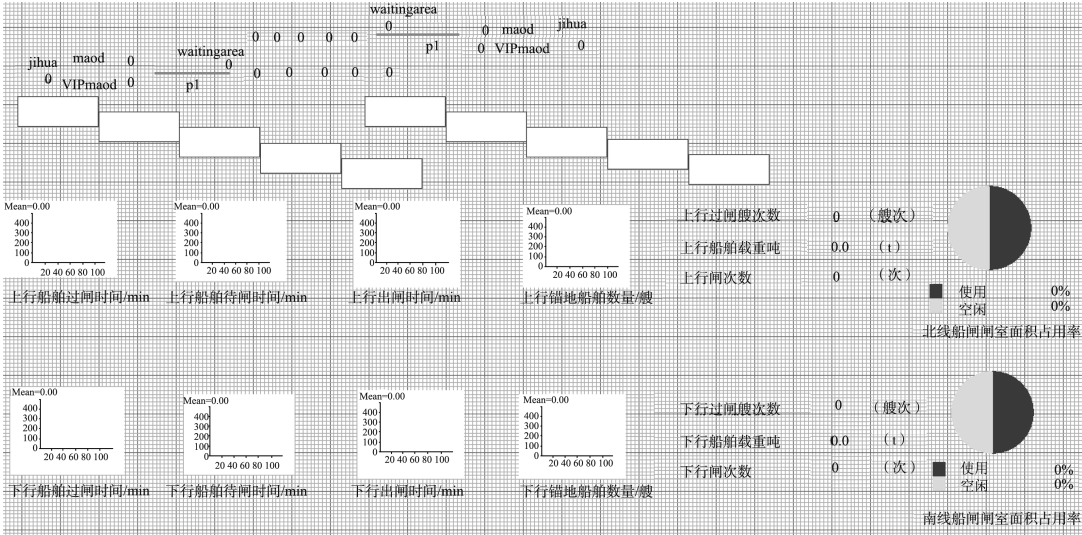


图 4 三峡船闸系统的 WITNESS 截图

多种复杂因素对船闸系统通过能力的作用机制，量化分析影响程度。

2) 仿真模块与船闸对象的同构性好，模块库还具有优良的扩展性和移植性，可以方便用户根据特殊的需求修改参数和模块结构。

3) 三峡船闸仿真应用案例说明本模块库具有重要的实用价值，将会大大提高船闸的研究效率。

当然，本船闸系统仿真模块库的开发研究是基于船舶过闸遵循“重点船舶优先、一般船舶先到先过”的原则进行的，在后续的研究过程中，可以设置优先考虑闸室面积利用率等不同的船舶过闸原则，将调度计划作为可选择性，这样将会使仿真研究更加充分完整。

(上接第 124 页)

3) 高水工况在内侧较大水压力作用下闸室边墙向外侧倾斜，底板顶部中心附近产生最大拉应力，键槽闸室底板顶部拉应力与整体式闸室底板对应位置的拉应力基本接近；地基反力在接缝附近取得较大值分别为 470 和 403 kPa；底板正弯矩最大值出现在边墩内，对结构计算不起控制作用，受键槽缝的影响，有效减小了键槽闸室底板跨中弯矩值。

参考文献：

[1] 刘晓平, 陶桂兰. 渠化工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.

[2] 姜丞. 岩基上键槽式船闸闸室结构受力特性研究[D]. 南京: 河海大学硕士学位论文, 2015.

参考文献：

[1] 朱顺应, 朱凯, 王丽铮. 基于 Arena 的三峡枢纽运输系统仿真模型[J]. 水运工程, 2011(2): 40-44.

[2] 赵春鹏. 船闸调度优化与仿真[D]. 大连: 大连海事大学, 2012.

[3] Smith L D, Sweeney D C, Campbell J F . Simulation of alternative approaches to relieving congestion at locks in a river transportation system [J]. The Journal of the Operational Research Society, 2009, 60 (4): 519-533.

[4] 张合, 刘小红. 面向对象的对象建模技术及其应用研究[J]. Software, 2011(3): 66-68.

[5] 长江三峡通航管理局. JTS 196-6—2012 三峡船闸通航调度技术规程[S]. 中华人民共和国交通运输部. 北京: 人民交通出版社, 2012.

[6] 交通运输部. 长江水系过闸运输船舶标准船型主尺度系列[R]. 武汉: 交通运输部长江航务管理局, 2012.

(本文编辑 郭雪珍)

[3] 张燎军. 水工结构接触问题的力学模型及其在三峡工程中的应用[D]. 南京: 河海大学博士学位论文, 2005.

[4] 龙渝川, 周元德, 张楚汉. 基于两类横缝接触模型的拱坝非线性动力响应研究[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1 094-1 099.

[5] 孙林松, 王德信, 谢能刚. 接触问题有限元分析方法综述[J]. 水利水电科技进展, 2001, 21(3): 18-20.

[6] 苏向震, 张程宏, 李锐. 基于 ANSYS 的岩质边坡软弱结构面非线性接触分析[J]. 四川水力发电, 2011, 30(6): 119-121.

[7] 杜成斌, 江守燕. 拱坝横缝键槽形式对拱坝地震响应的影响分析[J]. 水力发电学报, 2010, 29(5): 1-5.

[8] 赵卫平. 基于 ANSYS 接触分析的粘结-滑移数值模拟[J]. 建筑科学与工程学报, 2011, 28(2): 44-51.

(本文编辑 郭雪珍)