

# 基于知识工程的岸桥数字化样机设计系统<sup>①</sup>

夏正行, 仲梁维, 朱娟

(上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093)

**摘要:** 提出了一种岸边集装箱起重机的数字化设计方法, 这种方法以专家系统和模型库为支撑, 构建基于知识工程的岸边集装箱设计系统。论述了数据库和计算方法为基础的专家系统, 并且讨论了模型库的结构, 标准件、外购件的选择方法。由基础设计参数、设计约束、设计规则寻找最适合的型号和尺寸驱动模型。通过计算后的数据到专家系统中寻找型号, 再从模型库中获得此型号装配, 并自动生成设计说明书和施工图纸等, 解决了目前 CAD 技术在岸边集装箱起重机设计计算过程中错误和数据共享的问题, 实现了计算、结构设计、工艺设计、产品数据管理一体化过程。

**关键词:** 岸边集装箱起重机; CAD; 知识工程; 专家系统; 数字化样机

## Digital Design of Quayside Container Crane Based on Knowledge Engineering

XIA Zheng-Xing, ZHONG Liang-Wei, ZHU Juan

(Department of Mechanics, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** This paper proposes a digital design method of quayside container crane based on expert systems and model base. It builds a design system of quayside container crane based on knowledge engineering. This paper discusses expert systems based on data base and calculation, and discusses structure of model base, standard parts, outsourcing parts selecting. It searches for the most suitable type and size driver model according to the basic design parameter, designs restriction and regulation. After calculation, it looks for type from expert systems, and then gains this type from model base for assembling, then generates design specifications and construction drawings automatically. This design solves the calculation and data sharing during problems during the quayside container crane design with CAD technology. And it realizes that calculation, structural design, process design, product data management integration.

**Keywords:** quayside container crane; CAD; knowledge engineering; expert system; digital prototyping

## 1 引言

随着集装箱运输船舶大型化的蓬勃发展和技术进步, 岸边集装箱起重机(简称岸桥)也在不断更新换代。对岸桥设计提出了更高更新的要求: 一是要改进岸桥的技术参数, 如外伸距、起升速度增大, 提高吊具下额定起重量; 二是研究高效率的岸桥设计方法, 以满足大型船舶的发展带来的岸桥生产率的要求。然而, 传统的手工设计方法设计周期长, 工作量繁杂, 查阅相关设计资料多, 而且需要经验丰富的工程师才能胜任。岸桥是一种大型又复杂的港口机械产品, 包括整机金属结构、机器房、起升机构、俯仰机构、小车牵引机构,

大车运行机构等, 对这种大型机械产品的参数化是数字化样机设计的难点, 为解决这个问题, 需要应用很多技术。知识工程(knowledge based engineering, 简称 KBE)以知识为处理对象, 把多种信息关联在一起, 主要为专家系统、人工智能提供知识表达、知识获取和知识重用的技术和方法<sup>[1]</sup>。

知识工程(KBE)应用到计算机辅助设计过程中可以有效解决形式的多样性和设计的复杂性, 应用知识工程原理对数字化样机设计进行研究, 就是利用知识丰富的岸桥设计工程师总结出设计中的经验和规则, 采用知识工程的方法表达出来, 使之成为设计者操作

<sup>①</sup> 基金项目: 上海市教委重点学科建设项目(J50503)

收稿时间: 2010-09-04; 收到修改稿时间: 2010-10-19

计算机的对象,从而使设计经验和行业规范转化为软件系统,能保证设计和分析的一致性,协调性,从而实现岸桥的快速和优化设计,缩短设计周期,提高设计质量,而且对于新手也可以很轻易地设计出结构复杂的岸桥,以达到智能化设计的目的。

## 2 岸桥数字化样机设计系统的结构

岸桥数字化样机设计系统是以知识库和专家系统为核心,以产品模型库、产品数据库和标准库为支撑,集成计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助分析(CAE)技术,为岸桥设计人员提供一个能够不断使用和更新企业已经有的知识、模型、经验、数据等资源的岸桥开发设计平台。根据岸桥总体设计的特点,提出如图 1 所示的岸桥数字化样机设计系统。

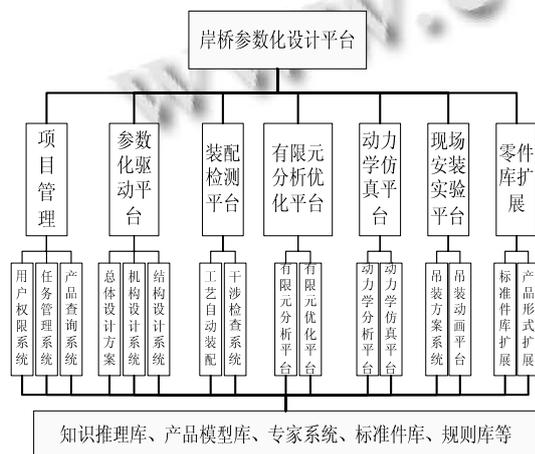


图 1 岸桥数字化样机设计系统结构

系统基于 C/S 结构,数据库放在服务器中,各个子系统根据关系数据库和角色库,实现了数据的共享和修改的规范性,已达到数据完整性、一致性、冗余度低等特点。为了保证系统的有序进行,系统配有几种不同的角色,根据角色进入各自的客户端,把部件的设计传到专家系统中,其他部件设计者能够查看。总体设计尺寸传送至专家系统,CAE 部门进入角色后可以查看这些结构数据,工艺部门可以进入角色查看设计部门的工程图和相关文档。对各个角色权限管理和注册管理。结合安全控制和容错技术,提高系统的安全性和稳定性,防止非法利用。

知识工程是人工智能在处理知识信息方面的发展,它主要研究如何应用计算机来表达知识,进行问

题的智能求解。知识工程的研究使人工智能的研究从理论转向了应用,本系统中的参数化驱动平台基于知识的模型和结合特征造型理论,在参数化设计中引入知识工程,来弥补当前参数化设计的不足。它不仅可以随时调整产品形状和尺寸,而且可以随时调整产品的结构和特征,同时实现尺寸驱动、特征驱动和自动装配。本系统的子系统装配检测平台功能是按照工艺路线进行装配和公差分析,分析结果返回知识库。子系统有限元分析及优化平台是调用参数化系统中的数据进行对整机结构和机构分析,优化后重新被参数化系统表达。动力学仿真平台分析岸桥的性能。本系统随时监督设计过程,检验设计是否合格,并提出适当的建议,与设计人员进行人机对话。

## 3 基于KBE的岸桥设计流程

岸桥的设计包括总体设计、机构设计和总体性能的检测,总体设计采用的自顶向下(TOP-DOWN)的设计方法,岸桥中的各个机构部件需要从整机知识库中调用数据,对这些机构尺寸进行设计调整来满足整机尺寸的需要,设计时涉及到电动机、减速器、制动器等外购件的选用,这些外购件的型号和性能参数都已经标准化。选用适合装配到各个机构中。所涉及的设计和选用的经验规则建成专家系统,知识库以这个专家系统为基础,再把工程师大量的设计经验和岸桥设计的法则作为推理机。来确定岸桥主要参数和零部件的尺寸,由此提出如图 2 所示一种基于 KBE 的岸桥数字化样机设计的流程图。这些主要结构进行有限元分析和运动学和动力学分析,来满足刚度、强度等静态特性要求。

在人机界面中输入岸桥的总体参数:吊具下起重量、整机工作级别、轨面上起升高度、俯仰机构工作级别、俯仰工作速度、轨面下起升高度、前伸距、后伸距等一级参数,根据输入的参数通过推理机计算出符合或者接近条件的岸桥。借用这个岸桥的基础模型进行变形设计,修改和确定这些主要性能参数和主要尺寸,完成总体方案设计。数字化样机设计系统根据总体设计选择,从产品模型库调调整整机结构如图 3 所示,小车结构件和机器房等辅助性结构件,经过尺寸修改后装配成岸桥总机。再进行岸桥五大机构设计,机构设计中由知识工程对标准件库的选择,装配。选用以前设计过并经过论证的型号,然后驱动机构的尺

寸。做好机构装配到机器房中，这样岸桥的整机装配出，利用基于知识的辅助分析系统，调用专家系统中钢结构参数和材料参数等，按照计算标准校核强度、刚度、疲劳、屈曲，合格后输出设计数据和形成计算报告，不合格修改界面属性或者结构特性。

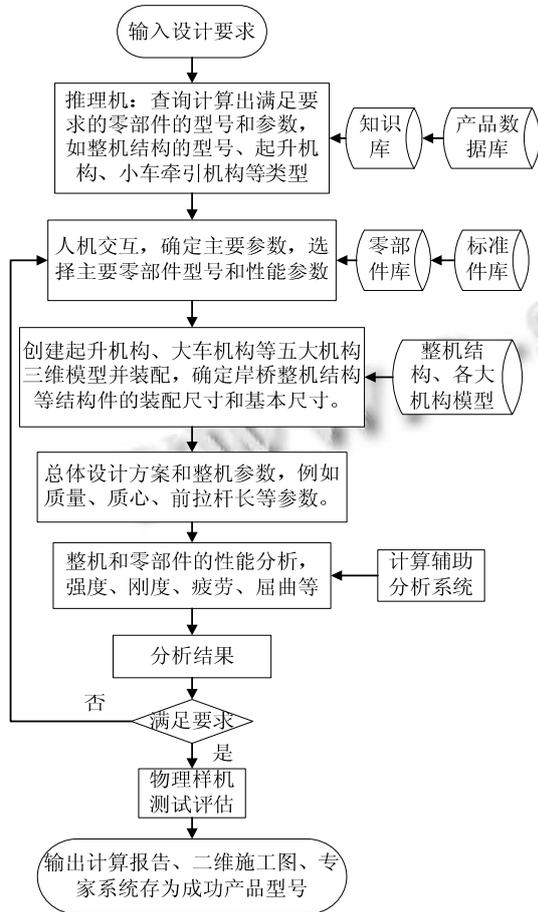


图 2 基于 KBE 的岸桥数字化样机设计流程

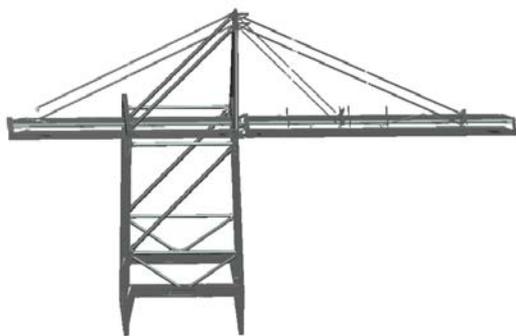


图 3 可参数化驱动的整机结构模型

系统设计方案确定是一个渐进优化过程,通过上述流程,获得满足性能要求的最优设计方案。由知识

工程建好的岸桥重新传入专家系统,供以后设计学习查找。

## 4 基于知识的岸桥设计平台功能及实现

### 4.1 基于知识的参数驱动系统

企业必须利用好以前项目的设计经验,使之能够得以继承、续用,各层次各阶段的开发设计者的知识经验能够得以捕获、总结、存储、积累并在以后新产品开发中传递、续用和创新<sup>[2]</sup>,这个对一个企业产品开发很重要,对产品的开发效率的加快,成本的降低,产品质量的提高起至关重要的作用。

根据岸桥的结构、机构组成和运行机理,对岸桥的结构体系做较为全面、系统而深入的研究。根据岸桥设计规范,进行各机构和结构规范设计和标准零部件的选取,作为专家系统中的知识库和推理机。专家系统由模型库、标准库等知识库和推理机模块组成。采用基于模型实例+规则的混合推理方式,首先启用基于以前成功项目的推理,推理出成熟的岸桥产品的相似设计方案,机构选择方法一样,再调用基于规则的推理获得新的设计方案。推理结果的正确性及合理性等因素,知识库的结构和建立是专家系统研究的核心内容之一<sup>[3]</sup>。岸桥设计知识具有层次性、关联性、继承性、耦合性等特点,本文采用基于面向对象的混合表示方法,将产生的规则、框架等表示方法封装在系统程序中,较方便地实现了岸桥设计的知识的表示。基于专家系统岸桥设计虚拟样机设计界面如图 4 所示。知识表示的描述语言是 Visual C++ 开发环境中实现,利用 Visual C++ 的 MFC 编程方法创建可视化的 Pro/TOOLKIT 应用程序来实现岸桥三维模型的二次开发<sup>[4]</sup>。其层次结构如图 5 所示。



图 4 岸桥数字化样机设计系统界面

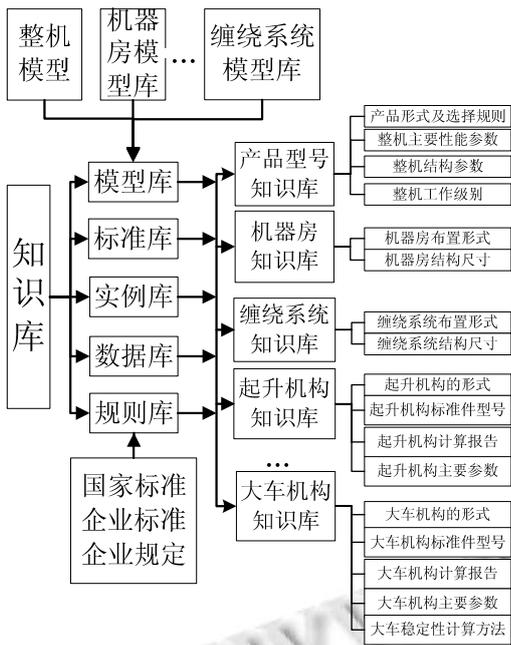


图 5 岸桥数字化样机知识库结构

### 4.2 起升机构系统的数字化样机设计系统

产生虚拟环境的基本方法有两种，即基于图像的方法(image-based method)和基于模型的方法(model-based method)<sup>[5]</sup>，对于岸桥数字化样机产用第二种方法，起升机构子系统也是采用基于模型的方法。

起升机构是岸桥中一个重要部件，功能是控制集装箱的上升和下降。起升机构的设计是本数字化样机设计系统的一个子系统，起升机构设计分为计算选型模块和参数化驱动模块。计算选型模块包括数据的输入，各标准件的计算选型、校核，设计计算书的自动生成；参数化驱动模块包括选型装配，三维模型驱动，二维图纸的输出。选型装配和尺寸驱动厚的模型如图 6 所示。

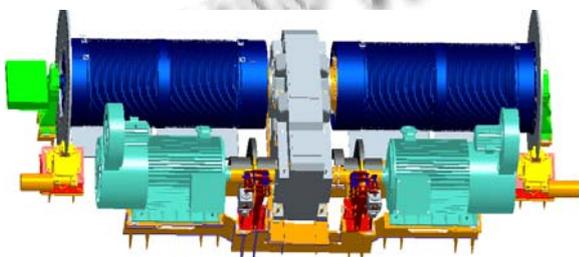


图 6 自动装配和尺寸驱动后的起升机构模型

提出了如图 7 所示的基于知识库的起升机构设计流程，系统实现了以下功能，选择起升机构类型，模

型库中共有四种类型：一套减速器居中，两侧分布电机和卷筒；两套减速器居中，两侧分布电机和卷筒等四种布置形式<sup>[7]</sup>。从数据库中调用之前已经确定好的整机参数，例如前伸距、后伸距、轨上起升高度、轨下起升高度等，调用知识库中辅助性参数，由规则推理机推出速度参数、效率参数。根据计算好钢丝绳最大静拉力知识库中选择钢丝绳类型，由一系列的规则计算出最小直径、在知识库中选取滑轮的型号，复制模型库中的此滑轮模型到此新产品文件夹下。再由之前数据和知识库推算出卷筒的总圈数、长度等。再进行卷筒强度校核、稳定性校核，不合格则自动增加筋板。依次人机交互输入一些参数和知识库中的参数，由一些经验公式和规则计算出电动机最小功率、选择电动机型号、过载校核和发热校核，从模型库复制这个合格的电动机型号模型。同样对减速器选择、联轴器选择、制动器选择。通过 PRO/E 二次开发技术装配选择好的标准件。从知识库中寻找各个标准件的安装尺寸，由此安装尺寸驱动起升机构装配的模型。

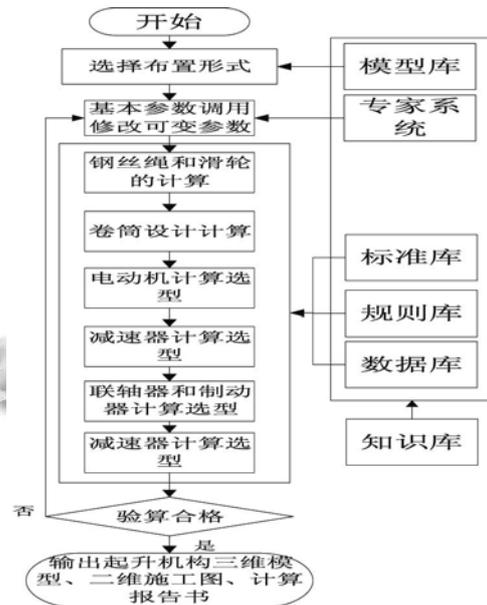


图 7 基于知识库的起升机构设计流程图

### 4.3 有限元分析及优化系统

本系统为岸桥定制一个系列化的结构设计有限元分析平台，本子系统可以单独使用，也可以继承参数驱动系统使用，最常用的结构特征尺寸作为参数化系列数据存入知识库，可以单独使用系统界面调用知识库中这些数据。也可以从参数驱动系统计算好的结构

尺寸进行分析优化。本系统提出如图8所示的岸桥有限元分析流程图。参数被调用后进入推理机检查是否正确,由标准库中欧洲起重机械设计规范(FEM)和GB-3811确定载荷系数和约束条件<sup>[8]</sup>,进行强度、刚度、屈曲等分析,由规则库中的成本和优化目标评估各项性能,不满足则调整结构形式和截面尺寸,直至满足要求,满足后发布到专家系统中,输出计算报告。

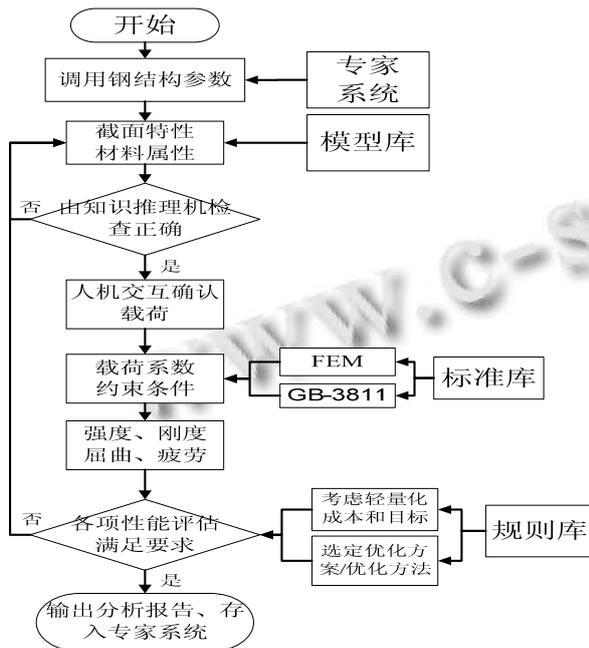


图8 岸桥有限元分析流程

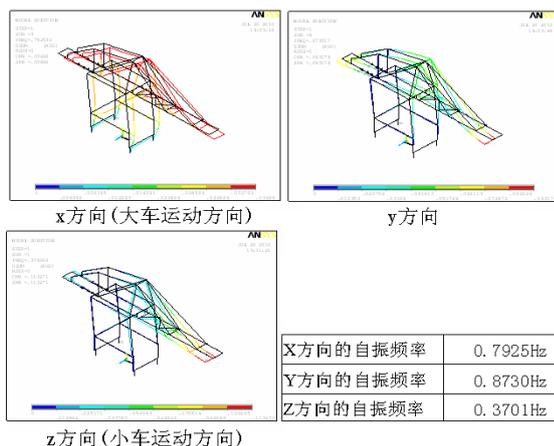


图9 岸桥骨架金属结构的模态分析

此系统开发环境是 Visual studio 2005,有限元软件采用的 ANSYS11.0,用 SQL sever2005 作为数据库。有限元模型库中主要有主体钢结构、小车架、大车行走机构、关键连接部件等。系统从知识库中将参数读

取,并自动形成有限元分析的 APDL 命令流,生成结构的几何模型,再由规则库和推理机加载选定工况、约束情况,分析结构的强度、刚度、疲劳、屈曲、自振频率,ANSYS 具有强大的模态分析功能,它提供了包括 Suspace(子空间法)、Reduced (缩减法)、Damped (阻尼法)等7种模态提取方法<sup>[9]</sup>。考虑到岸桥的模型规模,选用 Reduced 法。图9为岸桥骨架金属结构的模态分析,最后输出结果文件。

## 5 结论

研发了基于知识工程的岸桥数字化样机设计系统,根据用户输入的需球,通过知识库、模型库系统实现岸桥知识和设计经验的重复使用,产生岸桥的总体配置方案,并由配置方案提供驱动参数驱动,再对岸桥机构的计算选型,自动装配五大机构到总体配置的参数模型中。由有限元系统调用这些参数进行强度、模态等分析和优化,优化后尺寸重新调用到知识库中,由这些参数再驱动模型,依次循环,已达到产品的最优化。

## 参考文献

- 江伟光,武建伟.面向知识工程的产品信息模型.农业机械学报,2008,(7):133-138.
- Sudarsan R, Fenves SJ, Sriram RD, et al. A product information modeling framework for product lifecycle management. Computer-Aided Design, 2005,37(13): 1399-1411.
- 贺蜀山,杜静,等.运用知识工程的摩托车设计系统研究.中国机械工程,2005,(9):1509-1511.
- 龙新平,张洪波.基于 P/ro TOOLKIT 的射流泵三维造型的二次开发.武汉大学学报(工学版),2006,(4):20-23.
- 李小雷,童水光,等.机械设计与研究.机械设计与研究,2005,(4):9-11.
- HYK Lau, et al. A virtual design platform for interactive product design and visualization. Journal of Materials Processing Technology, 2003,139(40):402-407.
- 蒋国仁.岸边集装箱起重机.武汉:湖北科学技术出版社,2001.
- 潘钟林译.欧洲起重机械设计规范.上海振华港口机械公司译丛,1998.
- 蒋红旗,王繁生.起重机吊臂结构有限元模态分析.农业机械学报,2006,(3):20-22.