

塔机快速设计系统中臂架参数化设计

王良文¹, 穆小奇¹, 王英姿², 杜文辽¹, 王传鹏¹, 王红亮³

- (1. 郑州轻工业学院 机电工程学院, 河南 郑州 450002;
2. 河南机电高等专科学校 实验管理中心, 河南 新乡 453000;
3. 许昌市特种设备检测检验所, 河南 许昌 461000)

摘要:在塔机的快速设计系统中,在完成单节臂架参数化的基础上进行整个臂架的参数化设计,依据臂架长度变化的要求进行具有变臂特征的塔机的臂架设计,可实现自动装配设计.通过实例,给出了拉杆长度自动计算、参数化设计等方法.臂架参数化设计的实现为塔式起重机快速设计的实现奠定了基础.

关键词:塔机;臂架;参数化设计;VB;Pro/E;二次开发;自动装配

中图分类号:TH213.3 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2014.05.019

Parametric design of crane jib in rapid design system of tower crane

WANG Liang-wen¹, MU Xiao-qi¹, WANG Ying-zi²,
DU Wen-liao¹, WANG Chuan-peng¹, WANG Hong-liang³

- (1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;
2. Center of Experiment Management, He'nan Mechanical and Electrical Engineering College, Xinxiang 453000, China;
3. Special Equipment Inspection Institute of Xuchang City, Xuchang 461000, China)

Abstract: In rapid design system of tower crane, the parametric design of entire jib was done based on the parameterization of single jib. According to some requirements of the jibs' length change, the jib design of tower crane with the characteristic of variable arms was performed, which could realize the design of automatic assembly. Through an example, the methods including automatic calculation of pull rods' lengths and parametric design, etc. were given. Implementation of the jib parametric design lays the foundation for the rapid design of tower crane.

Key words: tower crane; crane jib; parametric design; VB; pro/E; secondary development; automatic assembly

0 引言

近年来,塔式起重机设计生产技术进步非常迅速.从国内市场看,激烈竞争的市场要求不断降低生产成本;而从国际市场看,由于不同国家建筑风

格的差异,对塔机的使用要求不同,使得塔机的规格需求多变.为了满足市场的需求,对塔机的设计生产提出了更高的要求.如:在满足载荷要求下尽量减轻整机质量;快速设计制造适应各种应用环境的塔机;为满足国际市场需求,开发多样化的塔机

收稿日期:2014-02-23

基金项目:河南省科技攻关项目(122102210221);河南省教育厅科学技术研究重点项目(13A460375)

作者简介:王良文(1963—),男,湖北省荆州市人,郑州轻工业学院教授,博士,主要研究方向为机器人机构设计、动力学分析与综合、数字化设计、CAE工程.

产品种类等.因此,研究塔机的快速设计系统,加速新产品的开发,具有重要的意义^[1-3].

快速设计通过储存设计的整个过程,能设计出一簇而非单一的、形状和功能具有相似性的产品模型,可以缩短新产品开发周期,减少重复劳动,提高设计效率.此外,借助先进技术手段,在塔机满足载荷要求的前提下,还能合理减少塔机结构的质量,降低整机的生产成本.

在塔机的快速设计系统中,通常以 Pro/E 的二次开发为基础,通过 VB 建立与 Pro/E 的联接,进行塔机的参数化设计^[4-6].进一步地,利用 VB 语言及 ANSYS 二次开发工具(APDL)建立塔机的有限元分析可视化界面,实现塔机几何参数、工况载荷参数及材料参数等参数驱动的塔机动态分析计算,为塔机设计人员提供丰富的、准确的设计和分析数据^[7-11].

臂架是塔式起重机的重要承载部件之一,臂架的参数化设计在塔式起重机的快速设计系统中占有非常重要的地位.本文以 Pro/E 二次开发为基础,通过 VB 建立与 Pro/E 的联接,进行臂架的参数化快速设计.

1 臂架参数化设计过程

1.1 参数化设计流程

根据参数化设计的思路,塔机臂架的参数化设计流程为实体建模、部件参数化、整机装配和参数保存.

1) 实体建模.利用 Pro/E 的全相关性,实现修改尺寸驱动几何模型改变.通过建立实体模型的尺寸与参数的约束关系来实现参数驱动实体.关系的建立以需要参数化的尺寸为出发点,首先设定参数,并与需要参数化的尺寸建立关系,其次把其他相关尺寸与参数化尺寸建立结构上的关系约束.

对于塔机臂架参数化而言,具体设计思想是通过改变臂架结构件的规格型号、尺寸参数等改变性能.

2) 部件参数化.对各节臂架进行参数化设计:在 VB 环境下建立与 Pro/E 的联接,使在 VB 环境下能够调用 Pro/E 底层函数;在 VB 环境下建立参数化界面和部件装配界面.

3) 整机装配.装配是按照结构顺序,每完成 1 节臂架的参数化设计就调出装配图进行装配.装配时要注意各节间的位置和尺寸约束.

4) 参数保存.在结束参数化设计后,把相关参数保存到数据库,并在参数列表中显示.根据列表

可以直观地看到整体结构的参数.同时,在后续进行有限元分析时,编写命令流时可以直接调用这些参数.

1.2 单节臂架的参数化设计

塔机的起重臂,其截面通常为三角形变截面、变模数结构.起重臂架上弦杆和下弦杆为矩形结构(可能是矩形管或采用双角钢拼焊而成).臂架之间用销轴连接,第 1 节臂架根部用销轴与回转塔身连接.

单节臂架的完全参数,通常应该包含臂架的总长(以两端连接销轴孔的中心距计算)、总宽(以两侧下弦结构的外侧距离计算)、总高(以两侧下弦结构的上表面到上弦结构中心的距离计算),上弦杆、下弦杆的结构及尺寸参数,底部直腹杆、底部斜腹杆、侧面斜腹杆(通常采用钢管)的尺寸参数、位置、数量,两端连接块的结构参数,连接销轴孔的尺寸等.通常情况下,底部直腹杆、底部斜腹杆、侧面斜腹杆均采用在结构上对称分布的方式.两头连接块的结构也类似,一头加工有凸槽,一头加工有凹槽,两者为耦合结构,可以配合.

塔机的快速设计,通常以一类设计较为完善且已有塔机的结构为基础,并将该塔机形成的模型称为“标准型”模型.在此基础上,进行材料规格、尺寸等改变以完成快速设计.在塔机臂架的设计实践中,通常更改的为上弦杆的结构及尺寸参数(在钢管或矩形结构之间变化,更改结构的外型、尺寸及壁厚)、下弦杆的结构及尺寸参数(主要是矩形结构的外型尺寸及壁厚),底部直腹杆、底部斜腹杆和侧面斜腹杆的尺寸参数(管的外径及壁厚)等.以此思想设计的臂架参数化模型界面见图 1,此时界面显示的是“标准型”单节臂架的尺寸,用户可根据实际需要通过对尺寸参数的修改来完成模型的再生.

1.3 整个臂架的参数化设计

由于臂架是由多节变模数的桁架结构组成,所以臂架的参数化可以分为对这多个臂架节的参数化.以某企业生产的 QTZ63 塔机为例,它由 8 节变模数的桁架结构组成,所以臂架的参数化可以分为对这 8 个臂架节的参数化.整体臂架参数化的原理与单节采用的参数化思想一致:更改的为上弦杆、下弦杆和底部直腹杆的尺寸参数,底部斜腹杆、侧面斜腹杆的尺寸参数等.同时要注意的是这 8 节臂架之间的相互连接尺寸应保持一致.如图 1 所示,通过 VB 界面的选择可分别对 8 节臂架进行参数化设计.

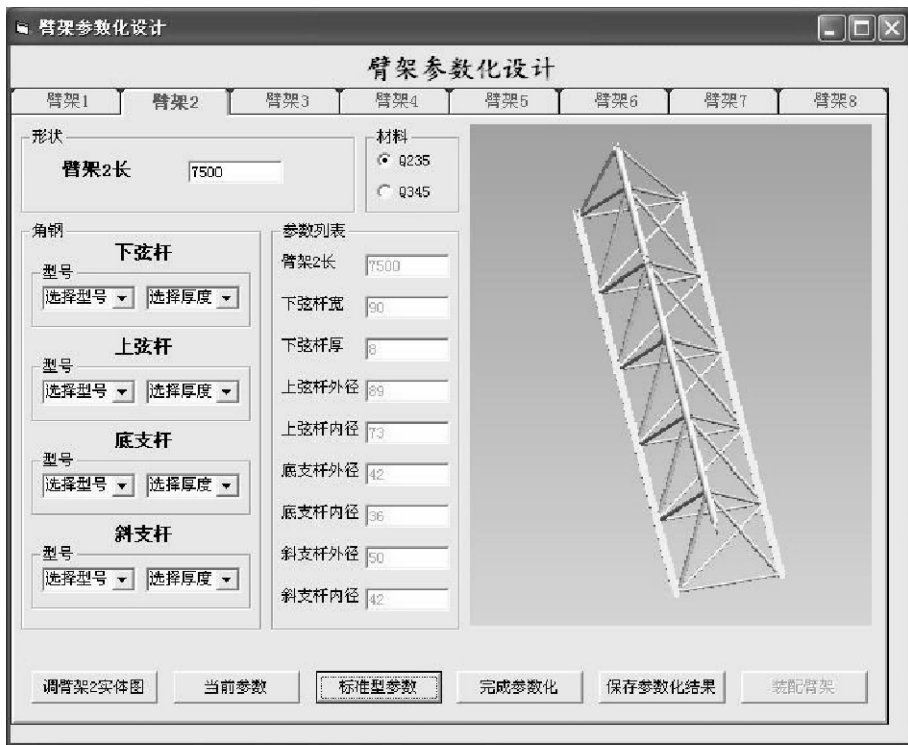


图1 “标准型”单节臂架的参数化模型界面

2 具有变臂特征的塔机臂架设计

具有变臂特征的塔机臂架设计,就是在“标准型”塔机臂架的基础上,对臂架的节数进行改变.通常是去掉臂架中的某几节,缩短臂架;特殊情况下,也可增加臂架中的某节,使臂架整体变长.在本系统中,根据实际工作的需要,臂架的参数化模型完成之后,以参数驱动的模式完成臂架的变臂长设计与装配,其中臂架的自动装配设计方法及参数显示关键技术如下.

2.1 基于VB的Pro/E自动装配技术

使用VB对Pro/E的二次开发过程就是在VB的IDE中编写程序代码,通过ActiveX Automation技术,控制Pro/E应用程序.完成自动装配的关键是正确选择装配基准约束和建立尺寸约束.调入装配图是将ASM格式的装配文件调入内存并显示出来,这个过程主要用2个函数来完成:ModelRetrieve()将Pro/E模型调入内存,但并不在Pro/E屏幕中显示;SessionsetcurrentModel()将Pro/E模型从内存中调出并显示.在装配之前,要选择装配物和基础节之间的装配基准约束,如果没有合适的装配约束就要创建装配基准约束,完成装配的过程中主要是2个函数的运用:Object.AsmAddConstraint()添加装配部件之间的约束关系;Object.AsmAddComponent()把

装配件添加到装配图中^[12-13].在塔机快速设计系统中可以根据设计的需要,在臂架参数化模型再生之后,完成臂架的自适应装配.

2.2 参数列表

在塔机快速设计系统中,运用VB程序的数据库技术将臂架参数化设计中每一节臂架的参数化结果都保存、归档到参数列表.参数列表是塔机参数化并装配后存入到数据库的参数数据,是为了更好地整体把握塔机的参数化过程而制作的一个界面,在这个界面里可以看到塔机的参数,其中相互配合的参数是否满足要求会一目了然^[13].某类塔机臂架的参数列表如图2所示.

3 吊点位置的调整及拉杆的设计

在臂架的参数化设计中,可能会涉及吊点位置的调整及拉杆的设计问题.拉杆是承受臂架和平衡臂质量的部件,在起升过程中也是受力集中的部件,所以拉杆的工作稳定性对塔机工作的安全性十分重要.塔机的臂架拉杆结构,主要有单拉杆和双拉杆2种,单拉杆主要用于小型塔机,大部分塔机都采取双拉杆结构.本文所阐述的塔机采用双拉杆,其拉杆吊点位置结构简图如图3所示.

对于双拉杆结构,推荐的比例关系为^[14-15]

$$L_1 : L_2 : L_3 = 0.27 : 0.50 : 0.23 \quad \textcircled{1}$$



图 2 某塔机臂架的参数列表

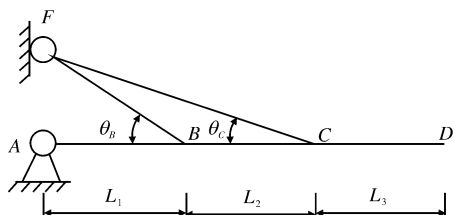


图 3 双拉杆吊点位置结构简图

在实际设计过程中,可以根据具体结构进行调整,并进行受力计算,以使结构形成较优受力状态.

大多数塔机有 4 根拉杆,其中安装在臂架的有 2 根,安装在平衡臂的有 2 根.在此主要关注臂架上的 2 根拉杆,分别为臂架短拉杆(对应前吊点)和臂架长拉杆(对应后吊点).臂架短拉杆与臂架长拉杆结构类似,可以简化成前后有过渡板、中间采用圆钢连接的模型.在前后过渡板上加工有连接孔,分别与塔顶及臂架相连.拉杆的参数化设计界面见图 4.在此界面中,可根据不同的设计要求,把拉杆参数化设计过程分成平衡臂拉杆、臂架拉杆、臂架拉杆过渡板 3 部分.三者的设计过程,可以根据设计界面图中的按钮进行选择,各个按钮具有互锁功能,能够避免误操作.在臂架拉杆框选择对应的尺寸之后,会在臂架拉杆参数对应的文本框显示数值,并将数据传递到参数化列表中保存参数,然后进行装配.

4 设计实例

以某公司生产的 QTZ63 型号塔机为例,塔机型

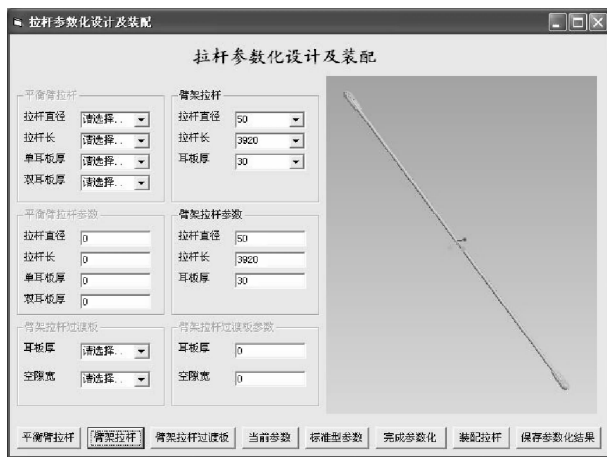


图 4 拉杆的参数化设计界面

号或臂架长度变化时,可采用参数化设计方法实现快速设计.塔机臂架自适应装配系统如图 5 所示.

按照图 1 界面的引导,首先完成“标准型”设计,即 QTZ63 型号的塔机建模并添加零部件之间的对应关系.根据设计的需要,对 8 节臂架可分别选择臂架长度及下弦杆、上弦杆、底支杆、斜支杆的尺寸;然后点击“完成参数化”按钮,实现模型的再生,完成新的臂架模型的创建;最后通过“保存参数化结果”按钮可把臂架的相关零部件尺寸保存到参数列表中.

4.1 臂架自动装配原理

每完成 1 节臂架的参数化设计,通过装配臂架按钮进入图 5 所示的塔机臂架的参数化装配界面.在装配环境下,根据界面的引导结合设计的实际需



图5 塔机臂架参数化装配界面

ASMMATE_SURF 基准平面. 2) 对齐元件 a 中的 AX_A_1 基准轴和装配体中 b 元件的 A_1 基准轴. 这样就把元件 a 装配到装配体 asm1 中了. 装配第 1 节臂架如图 7 所示.

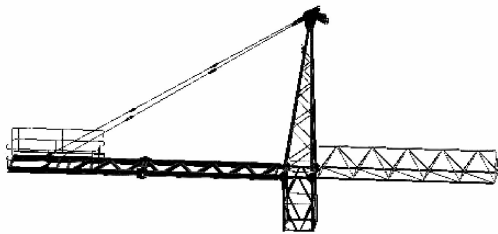


图7 塔机臂架参数化装配后第1节臂架

要来完成臂架的装配.

首先点击“调入基础模型”命令按钮,通过 VB 函数在 Pro/E 环境中调入基础模型部分(平衡臂、塔顶、回转节已完成装配体),基础模型如图 6 所示.

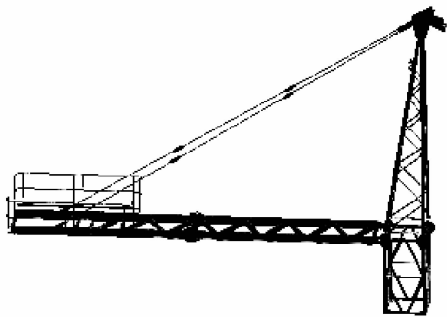


图6 塔机臂架参数化基础模型

主要程序如下:

```
tower63. ModelRetrieve (" E:\vnb\tower\tower\TOWER002. asm")
```

```
tower63. SessionSetCurrentModel (" E:\vnb\tower\tower\TOWER002. asm")
```

然后根据设计者要求,可对 8 节臂架进行自适应装配. 装配中涉及 2 个主要的函数是 AsmAddComponent 和 AsmAddConstraint.

AsmAddComponent 添加 1 个元件到装配体中(封装形式),再使用 AsmAddConstraint 约束添加的元件.

例如:装配 1 个新的元件(a. prt)到装配体(asm1. asm)中,首先把零件模型" a. prt" 载入到 Pro/E 的内存中(程序如 gw. ModelRetrieve (" a. prt")),然后添加元件的约束: 1) 对齐元件 a 中的 MATE_SURF 基准平面和装配体中 b 元件的

完成臂架第 1 节装配后,利用相同的原理,在图 5 中“臂架 2 选择”可以选择臂架第 2 节到 8 节中的任一节完成后续装配.

4.2 拉杆长度的自动计算

为了简化设计过程,塔顶的结构与相关参数在本系统中保持确定不变. 根据设计的实际需要,当确定了臂架长度(如 50 m)之后,在装配系统(见图 5)文本框中输入 50 m. 由于塔顶的高度已经确定,当输入拉杆吊点坐标,可以根据拉杆吊点坐标的计算公式,快速求得拉杆的长度.

拉杆吊点坐标,既可以根据①式计算,也可以根据实际结构,输入设计的坐标. 比如,对于设计实例 50 m 臂长的塔机,塔顶高度已经确定为 6.35 m,根据拉杆吊点坐标的计算公式,可自动计算出拉杆前后的吊点位置为 13.5 m,38.5 m,然后点击系统中拉杆长度计算按钮,能够快速求得拉杆的长度为 14.92 m,39.02 m. 进入拉杆参数化设计界面图 4,可以完成拉杆的参数化设计. 在图 5 所示系统的引导下,经过适当的配合及约束,完成臂架拉杆的装配,如图 8 所示.

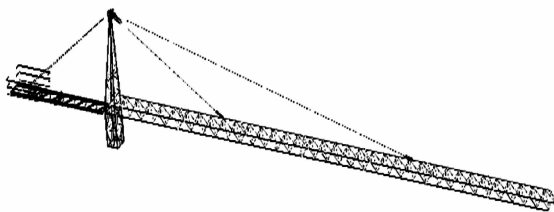


图8 参数化装配完成后的塔机臂架

按此方法可分别完成塔机中所有零部件的建模,并可建立产品库.

5 结论

本文阐述了塔机快速设计中建立塔机臂架参数化设计的方法和步骤,说明了臂架参数化设计的实现过程:单节臂架参数化、整个臂架的参数化、具有变臂特征的塔机的臂架设计,臂架的自动装配设计方法、拉杆的参数化设计等.以 QTZ63 型塔机为例,介绍了臂架参数化设计的整个过程.对其他产品的设计,同样可以采用此方法完成快速设计.

塔机臂架的参数化设计采用一类“标准型”塔机为基础,快速设计出一簇功能上具有相似性的结构,避免了重复劳动,缩短了产品设计生产周期,对提高相关生产企业的产品市场竞争力具有重要意义.

参考文献:

- [1] 王良文,王雷.塔式起重机参数化设计[J].工程机械,2008,39(12):21.
- [2] 范俊祥.塔式起重机[M].北京:中国建材工业出版社,2004:2-28.
- [3] 赵国恩,孟宪颐.全参数化塔机结构模型的研究[J].建筑机械,2004(8):71.
- [4] 张继春.Pro/ENGINEER二次开发实用教程[M].北京:北京大学出版社,2003:40-60.
- [5] 张继春,杨建国,徐斌.使用VB进行Pro/ENGINEER二次开发[J].机械与电子,2006(4):73.
- [6] 王跃进,陶良云.基于Automation Gateway的塔机套架参数化设计[J].建筑机械,2005(1):86.
- [7] 徐云岳,何函.基于ANSYS的塔式起重机塔身设计平台开发研制[J].计算机应用技术,2010,37(7):33.
- [8] 赵伟,王良文,徐中明,等.塔式起重机整体结构有限元分析[J].机械与电子,2006(10):67.
- [9] Zhou J X, Qiu X G, Jing W, et al. Research of detecting system of tower crane based on NET environment [C]//Electrical and Control Engineering (ICECE), Wuhan: IEEE, 2010:1598-1601.
- [10] Song S J, Li L, Wang J Y, et al. APDL language-based optimization of tower crane [C]//Digital Manufacturing and Automation (ICDMA), Changsha: IEEE, 2010:248-251.
- [11] Yang W H, Li Y R, Fang Z F, et al. Study on dynamic optimum design of tower crane structure [C]//Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), Hohhot: IEEE, 2011:1660-1663.
- [12] 王浩,马玉军,陈连山,等. Visual Basic 从入门到精通 [M]. 北京:化学工业出版社,2011:20-100.
- [13] 王良文,王雷,赵北辰,等.基于VB的塔机参数化设计[J].郑州轻工业学院学报:自然科学版,2010,25(1):76.
- [14] 刘佩衡.塔机使用手册[M].北京:机械工业出版社,2002:72-73.
- [15] 黄大巍.现代起重运输机械[M].北京:化学工业出版社,2006:121-142.