

塔式起重机平衡重参数化计算系统

王良文, 王传鹏, 王才东, 穆小奇

(郑州轻工业学院 机电工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 针对塔式起重机在实际工作中经常出现需要变换臂长, 而对应的起升载荷也将变化等问题, 研究开发出一套适合实际应用、简洁、方便的塔式起重机平衡重参数化计算系统。本系统根据塔机的工作特点和起重特性, 针对塔机的不同臂长状态, 利用三维设计软件 Pro/E 建立塔机主要结构参数化模型, 进行结构的快速设计及自动化装配。以 VB 为系统开发工具, 与 Pro/E 相结合, 实现数据的传输与调用, 简化了建模与计算等过程。通过算例验证了系统的正确性和可行性。

关键词: 塔式起重机; 平衡重; 参数化计算系统

中图分类号: TH213.3 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-476X.2013.06.013

The parameterization calculation system for the counterweight of the tower crane

WANG Liang-wen, WANG Chuan-peng, WANG Cai-dong, MU Xiao-qi

(College of Mechanical and Electrical Engineering Zhengzhou University of Light Industry Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Aiming at the problems that the tower crane often needs to transform arm length and the corresponding hoisting load varies frequently in the practical situation, a new parameterized calculation system of tower crane counterweight was developed, which was more practical, simple and convenient. The system which was based on the feature and working conditions, could build the tower crane main structure parameteric model with Pro/E (the three dimensional design software), design and assemble automatically according to the different length of the crane arm. It could transfer and invoke the data using VB cooperated with the Pro/E as the developing tool, so as to simplify the model and calculating process, which was proven to be correct and feasible by the examples.

Key words: tower crane; counterweight; parameterization calculation system

0 引言

目前, 塔式起重机(简称塔机)的发展方向是大型化、结构超高超长。塔机通常有多种臂长组合方式以适应实际的工作需要, 每种臂长组合方式都对

应不同的起重性能。为了保证塔机的抗倾覆稳定性, 其平衡重的设计计算就显得尤为重要。采用传统的方法来计算确定不同工况的平衡重, 计算过程较复杂、准确度较差^[1-2]。为了提高计算效率和精度, 本文拟对塔机平衡重参数化计算系统进行研

收稿日期: 2013-10-19

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及动力学分析与综合、数字化设计、CAE 工程。

究,开发相应的系统,以提高塔机设计水平.

1 塔机平衡重参数化计算系统总体设计

本文所开发的塔机平衡重参数化计算系统实现过程是:在三维设计环境下,利用 Pro/E 软件建立臂架、拉杆、平衡臂、套架、过渡节等结构的参数化模型,由 VB 建立与 Pro/E 的联接,用参数驱动设计系统,通过相关参数的修改快速完成模型的再生^[3-4],然后根据实际要求进行塔机臂架自动装配,形成参数列表,借助相关函数提取塔机各部件质量载荷及距回转中心的距离等,再依据平衡重计算方法,进行平衡重可视化计算,如满足塔机实际工作要求,则提取计算结果,否则返回,重新进行参数化计算.整个过程通过 VB 进行封装并调用,从而使计算出的结果在可视化平台清晰展现.主程序流程图如图 1 所示.对塔机主要结构进行参数化建模、自动装配、建立参数列表等,是本文工作的基础.作者前期的研究^[3-5]为开展塔机平衡重参数化计算提供了技术上的支撑.

2 塔机平衡重的计算原理

2.1 塔机平衡重的确定原则及常用方法

完整的塔机主要由标准节、上下支座、起重臂、起升机构、回转机构、平衡重等组成,塔机组成结构简图见图 2.

塔机平衡重的功能主要是保证塔机平衡,构成设计上所要求的、与起重力矩方向相反的平衡力矩.平衡重的计算在塔机设计中非常关键.塔机基本臂、基本臂幅度的起重量、额定起升力矩等参数在

《塔式起重机分类》(JG/T 5037—93)中都有明确的规定.《塔式起重机设计规范》(GB/T 13752—92)中指出了塔机平衡重的确定原则:上回转塔机应按塔身所受的荷载最小原则确定平衡重质量^[6].

对于塔机平衡重的确定,一种常用方法是:塔机非工作状态,小车在最小幅度的吊钩空钩且 250 Pa 风载由吊臂向平衡臂吹时的向后倾翻力矩等于最大起重量的最大幅度处超载 10%,且 250 Pa 风力由平衡臂吹向吊臂时的向前倾翻力矩.另一种常用方法是:塔机最大起重量的最大幅度处吊 110% 的最大起重量时载荷突然坠落,250 Pa 风载由吊臂向平衡臂吹时向后的倾翻力矩等于最大起重量的最大幅度处超载 10%且 250 Pa 风力由平衡臂吹向吊臂时的向前倾翻力矩.

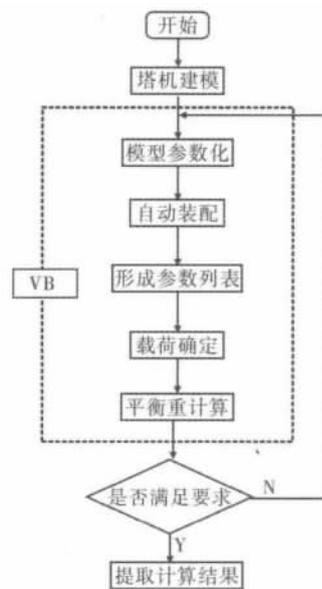


图 1 塔机平衡重参数化计算流程图

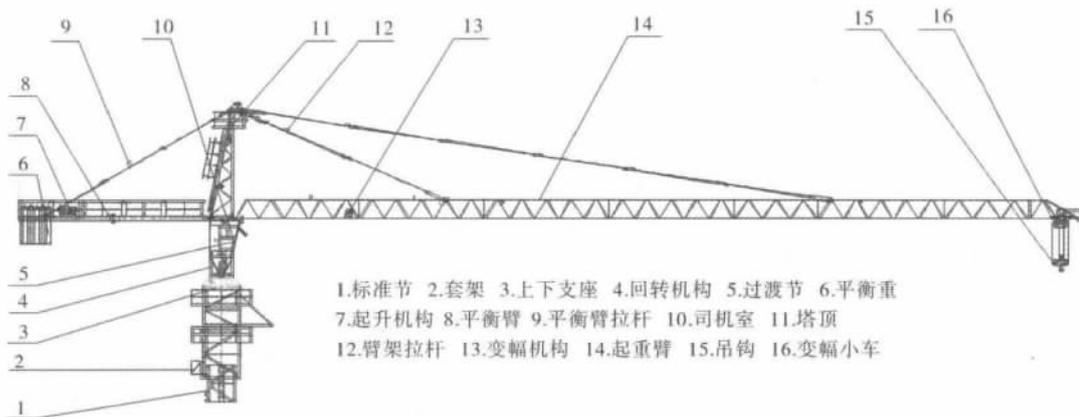


图 2 塔机组成结构简图

2.2 塔机平衡重常用计算方法存在的问题

塔机的平衡重设计计算,在结构的受力情况条件下,要满足安装、使用、拆卸的实际需要.按照第 1 种方法计算的平衡重虽然可以满足液压顶升的要求,但是液压顶升点在塔机上部重心的前部,向后倾翻的力矩并不是最恶劣工况下的后倾翻力矩,所以按照这种方法计算的平衡重,不能保证塔身所受载荷最小.第 2 种方法计算的平衡重能够实现塔身所受载荷最小,却出现这样的情况:塔机在顶升的过程中,小车处于最小幅度,上部重心处于液压顶升点的前部(即吊臂一侧),会出现“前重”现象,不能满足塔机顶升时上部的平衡调整^[7-8].

2.3 塔机平衡重计算方法的改进

综观塔机的整个工作过程,塔身向平衡臂方向倾翻的最恶劣工况为:250 Pa 风载由其吊臂吹向平衡臂、且最大起重量的最大幅度处吊 110% 的最大起重量;向吊臂方向倾翻时最恶劣的工况为:250 Pa 风力由平衡臂吹向吊臂、且最大起重量的最大幅度处起吊 110% 的最大起重量.

根据塔机平衡重的确定原则列方程如下:

$$\sigma_{前} = \sigma_{后} \quad (1)$$

式中 $\sigma_{前}$ 为塔身向吊臂侧倾翻时,最恶劣工况产生的塔身主肢应力; $\sigma_{后}$ 为塔身向平衡臂侧倾翻时,最恶劣工况产生的塔身主肢应力.

根据塔机的结构受力情况,其受力简图见图 3.图 3 中 G' 为平衡重; G_1 为吊重,即塔机起吊的载荷质量(含变幅小车、吊钩、钢丝绳); G_2 为吊臂及吊臂上变幅机构等的自重; G_3 为前长拉杆的自重; G_4 为前短拉杆的自重; G_5 为塔顶的自重; G_6 为平衡臂及平衡臂上起升机构等的自重; G_7 为后拉杆的自重; l_0 为平衡重到塔身中心距离; $M_{前}$ 为塔身以上结构产生的向吊臂侧的倾翻力矩; $M_{后}$ 为塔身以上结构产生的向平衡臂侧的倾翻力矩; A 为塔身标准节的主肢截面积.

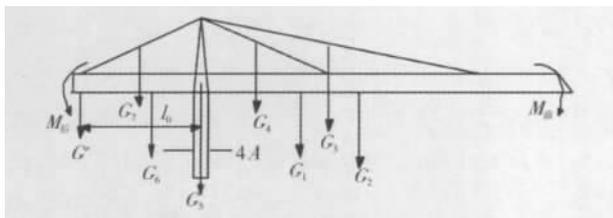


图 3 塔机受力简图

由应力计算公式知①为

$$\frac{G + G' + G_1}{4A} + \frac{M_{前}}{2A \times a} = \frac{M_{后}}{2A \times a} + \frac{G + G'}{4A} \quad (2)$$

式中 a 为塔身标准节的主肢之间的中心距,记塔身标准节主肢角钢外包尺寸 B ,主肢外缘与重心间距 Z_0 ,得 $a = B - 2 \times Z_0$; G 为塔身控制截面以上部分除平衡重以外的总自重, $G = (G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7)$.

$$M_{前} = 110\% \times M_{额} + M_{风} + M_{自} + M_{吊具} - M_{平} \quad (3)$$

$$M_{后} = M_{平} + 0.5 \times 110\% \times M_{额} + M_{风} - M_{自} - M_{吊具} \quad (4)$$

$$M_{平} = G' \times l_0 \quad (5)$$

将式③④⑤代入②求得平衡重为

$$G' = \frac{0.275M_{额} + M_{自} + M_{吊具} + 0.2a \times G_1}{l_0} \quad (6)$$

式中 $M_{额}$ 为塔机额定起升力矩; $M_{自}$ 为各部件自重产生的力矩; $M_{吊具}$ 为塔机吊具产生的力矩(包含吊钩、钢丝绳、变幅小车等).

按此方法计算的平衡重还需满足塔机架设要求.通常塔机顶升过程中利用改变小车的位置,使被顶升部分达到平衡.为了对平衡重进行校核,建立塔机顶升过程受力简图见图 4.图 4 中 O' 为标准节上踏步位置,是顶升过程中塔机需要前后平衡的平衡中心; G_i 为塔机装配中,被顶升的部分零部件质量(包含图 3 中的 $G_2, G_3, G_4, G_5, G_6, G_7$ 以及图 2 中的套架、司机室、上下转台、回转机构的自重,不含平衡重); x_i 为 G_i 到塔身中心的距离; $G_{节}$ 为准备加入的塔身标准节重以及变幅小车、吊钩、钢丝绳的质量; b 为准备加入的标准节重心到塔身回转中心的距离; x_0 为塔机踏步顶升轴心到塔身回转中心的距离.

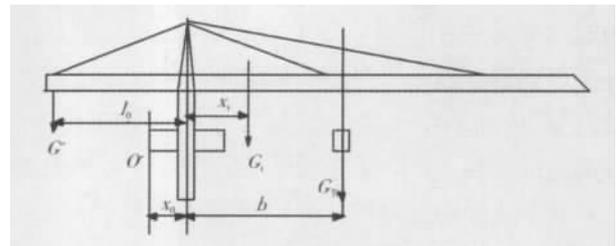


图 4 塔机顶升过程受力简图

两侧平衡满足条件为

$$MO' = 0$$

即

$$\sum G_i \times (x_i + x_0) + G_{节} \times (x_0 + b) -$$

$$G' \times (l_0 - x_0) = 0 \tag{7}$$

由⑦式求得

$$b = \frac{\sum G_i \times (x_i + x_0) + G' \times (l_0 - x_0)}{G_{节}} - x_0 \tag{8}$$

为了满足塔机顶升要求

$$l_{min} < b < l_{max} \tag{9}$$

式中 l_{min} 为塔机臂架最小工作幅度 l_{max} 为塔机臂架的最大工作幅度.

如果由⑧计算的结果满足⑨式,则表明⑥式计算的平衡重满足要求;否则取一个合适的 b ,按下式重新计算平衡重:

$$G' = (\sum G_i \times (x_i + x_0) + G_{节} \times (x_0 + b)) / (l_0 - x_0)$$

3 平衡重参数化计算系统开发的关键技术

3.1 基于 VB 的 Pro/E 自动装配技术

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.首先是将 ASM 格式的装配文件调入内存并显示出来,即调入装配图.主要由 2 个关键函数来完成这个过程: ModelRetrieve() 是将事先完成的 Pro/E 模型调入内存,但是并不在 Pro/E 屏幕环境中显示; Sessionsetcurrent-Model() 是将内存中 Pro/E 模型调出并在屏幕上显示.在进行装配之前,要确定基础和装配物之间的装配基准约束,如果没有合适的装配约束就要创建新的装配基准约束,完成自动装配的 2 个关键函数是: Object. AsmAddConstraint() 为添加装配件之间的约束关系; Object. AsmAddComponent() 把装配件添加到装配图中^[9-10].在本系统中可以根据设计的需要,选择装配不同的臂架节数来计算平衡重,装配完成之后,保存并进入下一步界面.为平衡重计算而形成的塔机参数化装配界面见图 5.

3.2 Pro/E 自动提取特征属性

对 Pro/E 二次开发可以对模型的单位进行修改(长度单位和质量单位),并计算出模型的质量属性(体积、质量、表面积等).其中用到的关键函数如下: ModelSetLengthUnits() 和 ModelSetMassUnits(), 这 2 个函数分别对模型的长度单位和质量单位进行



图 5 塔机平衡重参数化装配界面

设定; ModelSetDensity() 和 ModelGetMass Prop() 这两个函数的作用是设定密度和计算质量属性. ModelSetDensity() 的函数原型为: object. ModelSetDensity (density, [modelName]). ModelGetMass Prop() 的函数原型为: ModelGetMassProp(Volume, Surface, Density, Mass, X, Y, Z, [CSYS], Volume, Surface, Density). Mass, X, Y, Z 都是必需项,分别指计算后得到的体积、表面积、密度、质量、重心的 X, Y, Z 坐标.在系统中通过程序函数的设定,可以完成塔机部件的质量和质心坐标的提取.

3.3 参数列表

在本设计系统中,运用 VB 程序的数据库技术将部件参数化设计中每一个部件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设计的一个界面,塔机的参数在这个界面一目了然,其中相互配合的参数是否满足要求会清晰展现,比如部件之间的连接尺寸,回转塔身节和臂架、塔顶、平衡臂的配合尺寸等.在开发的系统中保存参数列表中的数据,进入参数化计算界面自动提取质量特性参数,系统就可完成平衡重计算.

4 实例

以某公司生产的 QTZ63 塔机为例,在塔机快速设计系统中,完成塔机建模、参数化、装配、参数列表之后,通过调用相关的数据进行平衡重参数化计算.塔机最大幅度为 50 m,7 节臂架组合,塔身主肢为角钢 L: 160 mm × 160 mm × 12 mm,计算工况为起吊最大额定起重量时的最大幅度处,最大额定起重量为 6 t,其最大幅度为 13.22 m.参数化计算界面见图 6.

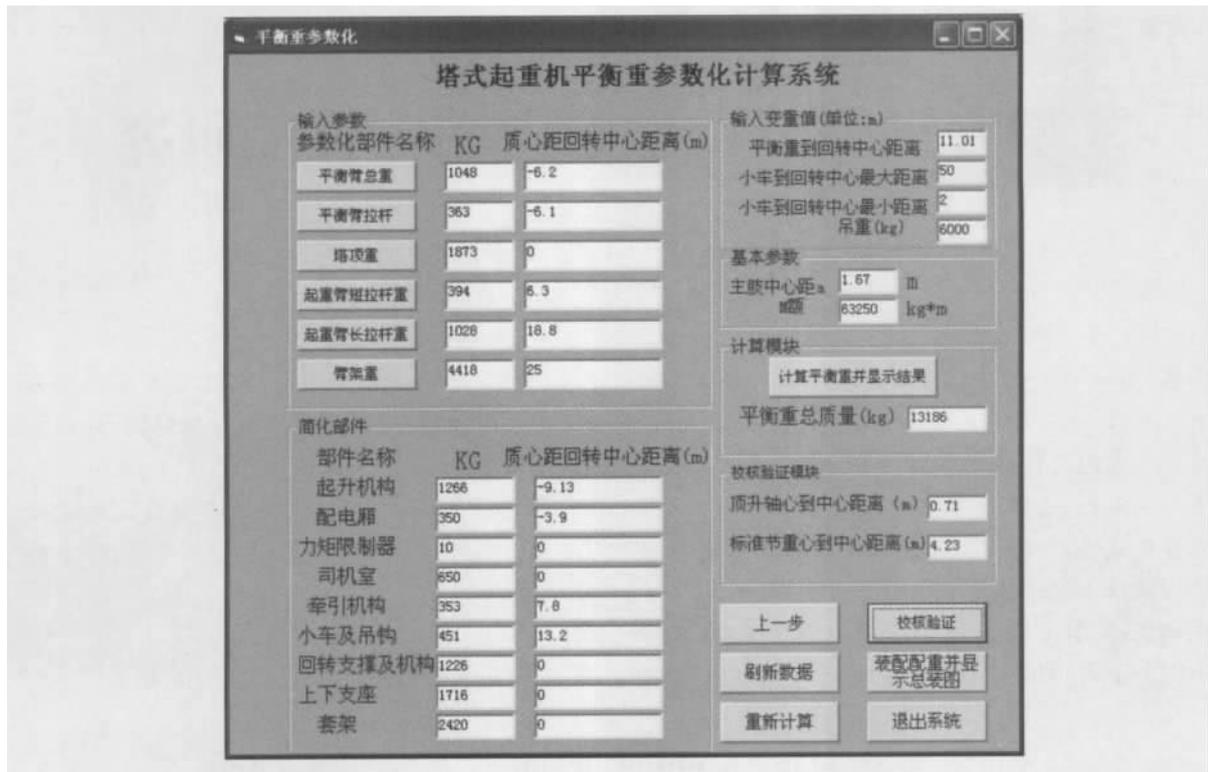


图6 塔机平衡重计算系统界面

用户直接在 VB 界面中根据界面引导,点击 Frame 框架中的相关命令按钮,提取塔机结构的质量和质心距回转中心的距离。为了保证计算结果的正确性,需要将某些简化部件的参数代入计算:在简化部件的框架中输入相关结构的数值,还要在对应的窗口手动输入基本参数、变量值等,完善平衡重计算所需的参数,然后点击平衡重计算按钮调用计算模块,计算结果便显示出来。最后通过校核验证模块判断计算结果是否满足要求。通过实例得出计算结果与实例塔机说明书给出的结果相差很小。实例塔机说明书的平衡重为 13 400 kg,与本系统的计算结果差距为 214 kg,这主要是系统模型简化计算误差所致。

5 结论

本文研究开发出一套适合实际应用、简洁、方便的塔式起重机平衡重参数化计算系统。

1) 本系统在设计方面考虑了多种臂长的工作状态,计算方法符合《塔式起重机设计规范》,并且具有人机交互功能,实用性强。

2) 本系统采用 VB 对 Pro/E 进行二次开发,并结合 VB 建立塔机的参数化模型。整个操作过程通过参数赋值进行模型再生、自动装配、数值提取,提高了塔机设计效率和计算的准确性。

3) 通过具体的实例验证,系统能够可靠地运行,并且计算结果与实际计算值基本吻合,可用于产品的设计计算。

参考文献:

- [1] 杜波,陈世教.塔式起重机计算机辅助设计的研制及程序系统实现[J].建筑机械,2009(1):81.
- [2] 辛虹.系列零部件三维参数化设计方法研究[J].机械设计与制造,2013(4):202.
- [3] 王良文,王雷.塔式起重机参数化设计[J].工程机械,2008(12):21.
- [4] 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.
- [5] 王良文,王雷,赵北辰,等.参数化塔机模型有限元分析中的接口技术[J].工程机械,2010(41):35.
- [6] GB/T 13752—92 塔式起重机设计规范[S].
- [7] 王积永,宋世军.塔式起重机平衡重的确定及起升特性的调整[J].工程机械,2000(2):22.
- [8] 范俊祥.塔式起重机[M].北京:中国建材工业出版社,2004.
- [9] 张长富,陈华.Visual Basic 6.0 中文版入门图解教程[M].北京:北京希望电子出版社,1999.
- [10] 张继春.Pro/ENGINEER 二次开发实用教程[M].北京:北京大学出版社,2002.