

基于 iSIGHT 平台桥式起重机小车架 多学科集成研究

杨 芬¹, 王宗彦¹, 潘 变¹, 纪彩华²

(1. 中北大学 机械工程与自动化学院, 太原 030051; 2. 武汉高德红外股份有限公司, 武汉 430070)

摘要:针对国内对起重机轻量化研究不够深入的情况,以 160T 桥式起重机小车架为例,利用 SOLIDWORKS 和 ANSYS 软件,基于 iSIGHT 设计平台,集成小车架参数化设计系统,实现了小车架多学科设计优化的外层框架,创造了对需要进行有限元分析的实体造型进一步进行结构设计优化的通用软件运行环境,确定了使小车架质量最轻时的各主要梁结构的板厚尺寸,达到了减轻该桥式起重机小车架结构质量的目的,为实现我国起重机快速有效的轻量化设计提供一定的实例依据。

关键词:iSIGHT 平台;参数化设计;小车架;多学科优化设计

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2012)09-0113-05

起重机小车架是安装、支承起升机构与小车运行机构的机架。设计结构时要求有足够的强度和一定的刚度,以及尽可能轻的重量,方便制造安装。因它是重量较大的一个部件,所以在满足强度、刚度的前提下,减轻它的重量,对于降低小车轮压、减轻桥架负载和节约钢材方面具有一定的意义^[1]。随着 CAE 理论及有限元方法在实践中的运用,小车架轻量化设计将变得很容易。

目前,国内外学者对起重机优化设计已进行了大量深入的研究工作^[2-4]。但随着起重机械在工程领域应用的日益广泛,客户个性化的需求对起重机的重量也提出了更高的要求,由此显现出了我国桥式起重机小车架轻量化研究不够深入,设计过于保守,以及由此引起的小车架重量偏大等问题。文献[5]代表了起重机常用的设计方法:用三维 CAD 软件对小车架进行三维模型建模,再将其导入有限元软件进行应力、应变分析,得到小车架在受静载荷作用下的变形值,然后再判断结果是否满足材料特性要求,如不满足就需再修改模型尺寸,经有限元软件进行二次及以上分析,直至满足要求为止。

上述方法不仅要求设计人员做大量的重复性工作,而且要求对大量的数据进行比较处理并得到最优的模型尺寸,但是在有限的时间内完成上述工作并不

容易。本文运用多学科优化思路进行参数化建模、有限元分析,并在此基础上提出一种多学科协同建模、仿真、优化的方法,充分发挥各个学科的软件优势,实现了多学科的高度集成研究,并以桥式起重机小车架为实例进行了详细的验证说明。

iSIGHT^[6-10]是一种可在设计流程中集成所使用的其它软件工具,并自动对分析目标进行最佳设计的多学科优化设计软件^[11-14]。鉴于有限元软件 ANSYS 在机械设计领域的广泛使用和自带优化模块的局限性,文中通过集成 iSIGHT 软件能进行过程优化的功能和特点,综合利用 iSIGHT、Solidworks 和 ANSYS^[15] 软件对桥式起重机小车架进行以减轻质量为目标的结构优化设计,其中优化寻优算法采用 iSIGHT 中自带的混合整型优化方法。结果证明在满足结构刚度和强度等约束条件的情况下,该方法对减重为目标的桥式起重机小车架结构进行的优化设计,取得了比较好的效果。

1 小车架参数化设计系统

以 SolidWorks 2010 为三维设计平台,以 Visual Basic 6.0 为开发工具,以关系型数据库 SQL Server2008 和 MS Access2003 为数据管理软件,开发出小车架参数化设计系统如图 1 所示。

收稿日期:2012-07-09

基金项目:山西省科学技术发展计划项目(20090321024)

作者简介:杨芬(1987—),女,湖北洪湖人,中北大学在读硕士研究生,研究方向:计算机集成制造。

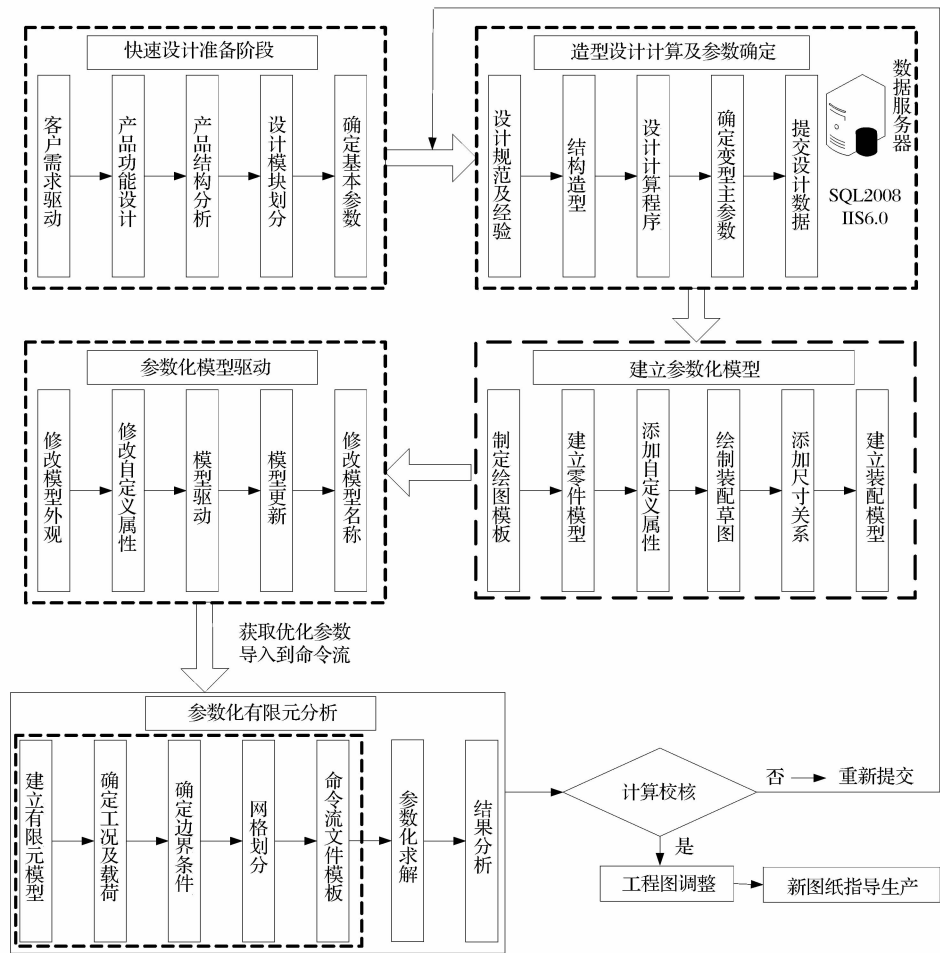


图 1 小车架参数化设计系统

该图展示了系统设计的总体思路:第一步,总体分析规划;第二步,参数化建模,参数化设计,参数化驱动结果集成;第三步,编写程序实现各模块的功能;第四步,集合各模块的功能,根据参数化模型驱动机制生成新产品模型;第五步,对模型进行静力学分析,得到符合计算校核要求的产品用于指导生产,同时通过数据服务器记录和编辑参数化驱动的结果。

利用开发的参数化设计系统,建立的小车架结构模型如图 2 所示,主要包括端梁、起升减速器器座子、定滑轮组梁、电机梁、卷筒组梁、运行机构支架等部件。该起重机的起重量为 160T,起重量比较大,不适宜采用型钢,同时为了减轻小车架重量,所有部件均采用钢板通过焊接而成。系统设计过程中,虽然以 ANSYS 作为强度校核工具对各主要梁进行了有限元分析,但仅从结构整体在所受载荷作用下是否满足强度刚度要求考虑,不能确定各部件结构的最优尺寸,势必造成材料的浪费,增加制造成本。

2 小车架多学科集成优化设计

2.1 小车架设计优化模型

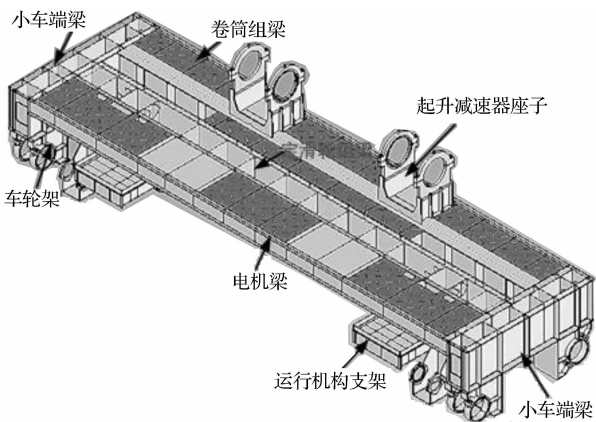


图 2 小车架模型

起升质量离地起升或下降制动时所激发的振动过程属于小车架工作时的极限工况,该工况下小车架受到的载荷主要包括自重载荷 G (小车架金属结构自重、其上的机构自重和电器设备)、起升载荷 Q (额定起重量 160t)、动载荷 (启动加速或制动减速时振动载荷和惯性载荷) 和冲击载荷 (小车架车轮通过钢轨

接缝或轨道接头高低差时产生铅垂方向的冲击振动载荷),以上载荷在对小车架进行有限元分析时均已考虑。因此小车架优化设计的主要任务就是,在小车架承受四种载荷作用力的同时,保证小车架运动过程的安全,并使小车架的重量最轻。

鉴于上述分析,对小车架进行优化模型建立,选碳钢 Q235 为材料,以小车架总重量 MASS 为优化目标,小车架各部件所应满足的强度和刚度为约束条件,小车架的结构参数为优化设计变量。本设计以各主要部件焊接采用的钢板厚度为设计变量,总共取 5 个优化设计变量, $X=\{L_{xd},L_{jz},L_{dz},L_{dj},L_{zj}\}$, L_{xd} 表示端梁钢板厚度, L_{jz} 表示卷筒组梁钢板厚度, L_{dz} 表示定滑轮主梁钢板厚度, L_{dj} 表示电机梁钢板厚度, L_{zj} 表示运行支架钢板厚度;约束条件具体为小车架结构的最大应力不超过 750Mpa,最大变形量不超过 1.0mm。其结构优化设计的数学模型为:

$$Min MASS(X) = \rho \cdot V(X)$$
$$X_{min} \leq X_i \leq X_{max}$$
$$\sigma_{max} \leq [\sigma]$$
$$|\epsilon_{max}| \leq [\epsilon]$$

式中:MASS(X)为小车架的质量函数; ρ 材料密度; $V(X)$ 为小车架体积; X_{min} 、 X_{max} 为各设计变量的上、下限; σ_{max} 为各设计变量控制的小车架有限元分析结果中的最大应力; $[\sigma]$ 为小车架材料的许用应力; $|\epsilon_{max}|$ 为各设计变量控制的小车架有限元分析结果中的最大变形量, $[\epsilon]$ 为小车架结构允许的最大变形量。其中,小车架的质量、应力和应变可分别通过 CAD 软件和 CAE 软件相关工具获得。

iSIGHT 作为优化设计软件,提供了优化设计界面,可以使设计人员方便的在该界面中描述优化设计问题,如图 3 所示为 iSIGHT 中的优化问题描述界面。在此界面中,设计人员可以直观地看到优化问题的数学模型。

	aramet	Var	Obj	Type	ver Bo	ent V	er Bo
1	Lxd			REAL	0.0		10.0
2	Ljz			REAL	0.0		10.0
3	Ldz			REAL	0.0		10.0
4	Ldj			REAL	0.0		10.0
5	Lxj			REAL	0.0		10.0
6	Stress			REAL	200.0		780.0
7	Strain			REAL	0.1		1.0
8	MASS			REAL			

图 3 iSIGHT 优化模型描述

2.2 优化方法选择

iSIGHT 内部包含了丰富的优化设计方法,主要包括三类:数值型优化技术、探索型优化技术和专家系统技术。小车架的优化设计共有 5 个设计变量: $L_{xd},L_{jz},L_{dz},L_{dj},L_{zj}$,设计空间是连续多维空间,搜索比较困难。另外,本算例计算过程属于数值计算,所以本算例适合选用数值优化算法。iSIGHT 提供了多种数值优化算法,据小车架优化问题设计空间的特点,选用混合整型优化方法—MOST。优化设计变量从给定初始值出发,采用选定的优化方法,按照图 4 所示设计流程进行优化。

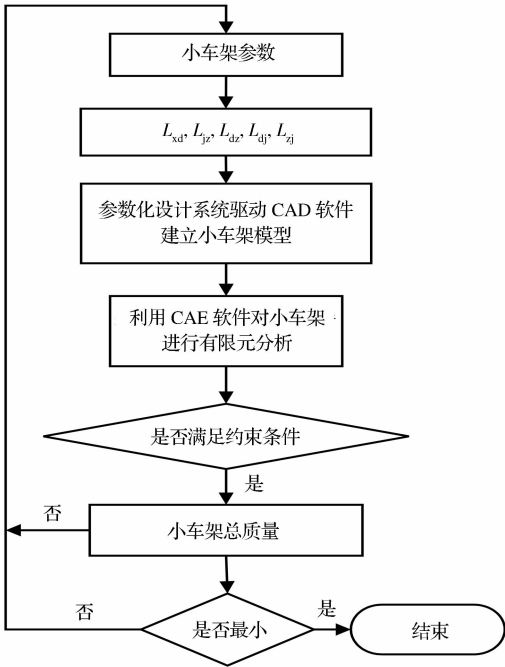


图 4 小车架优化设计流程图

2.3 集成优化的实现

应用 iSIGHT 软件集成 SolidWorks 和 ANSYS 软件,实现桥式起重机小车架轻量化设计的自动化优化流程如图 5 所示。系统中包含利用 VB 开发的小车架参数化设计系统,读取模型参数文件 Model_Parameter.txt,驱动 SolidWorks 软件实现模型的重建,保存为 Frame.iges 文件,并输出全模型质量文件。Frame.iges 作为 ANSYS 软件有限元分析的模型文件,ANSYS 采用命令流方式对模型进行静力有限元分析,利用生成的 APDL 语言文件 ANSYSCommand.lgw 扩展为 ANSYSCommand.txt,作为有限元分析的输入文件,对模型进行网格划分、施加载荷和约束,完成求解并输出结果文件 ANSYSResult.txt,系统集成结构如图 6 所示。

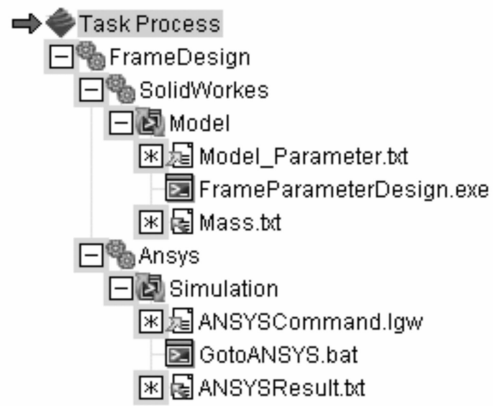


图 5 iSIGHT 集成结构树图

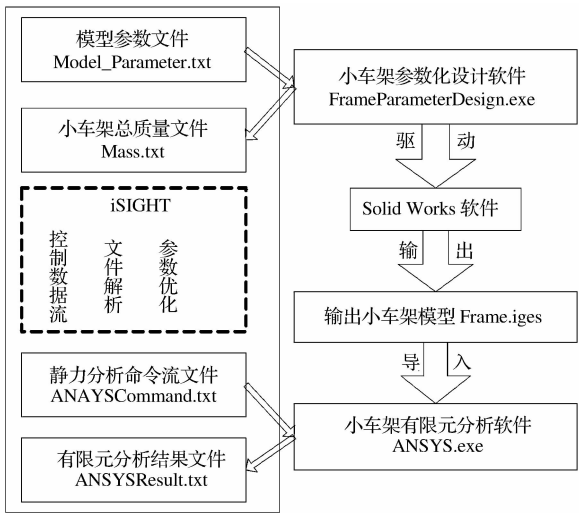


图 6 集成优化流程图

2.4 优化结果及分析

利用 iSIGHT 自带的混合整型优化方法 (MOST)在整个设计空间里对小车架进行结构优化迭代计算,最终完成全部的优化过程,得到小车架各主要梁的钢板厚度最优解,小车架总质量在优化迭代过程中的变化曲线如图 7 所示。优化前后结构参数对照表如表 1 所示。优化后小车架最终结构重量为 18 947kg,同时满足材料强度与刚度约束。经过优化以后整个小车架的结构重量大大减轻,相对于初始设计重量 19 979kg,减少了约 5.17%。在满足材料刚度要求的情况下,小车架结构所受最大等效应力值为 580.49MP,受力更加均匀,说明材料得到了更加充分的利用。故算例所得到的优化结果对小车架轻量化设计是有参考价值的。

从小车架优化设计过程中可以发现,使用基于 iSIGHT 的优化设计方法有如下优点:

1)iSIGHT 帮助工程师选择设计工具,通过简单

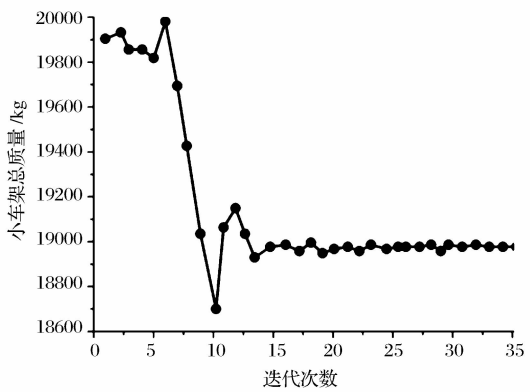


图 7 小车架总质量变化曲线

的图像界面可以集成多个学科完成对设计问题的优化,具有独特的与其它学科软件进行通信的方式,通过文件解析控制数据流,实现优化设计自动化。

2) iSIGHT 具有专门用于优化问题描述的工作界面,便于设计人员在此界面中轻松的对优化问题的数学模型进行描述,既直观又方便。

3) iSIGHT 提供了丰富的优化算法,设计人员可以根据优化问题的特点和要求进行选择,大大节约了人力和时间,缩短产品设计、制造周期。

表 1 结构参数优化结果

参数名称	初始值	下限	上限	优化结果
端梁钢板厚度 L_{xd}/mm	6.0	0.0	10	4.769
卷筒组梁钢板厚度 L_{jz}/mm	6.0	0.0	10	6.284
定滑轮组梁钢板厚 L_{dz}/mm	6.0	0.0	10	7.845
电机梁钢板厚度 L_{di}/mm	6.0	0.0	10	4.291
运行支架钢板厚度 L_{zj}/mm	6.0	0.0	10	3.856
小车架最大等效应力/MPa	0.0	200.0	780.0	580.49
小车架最大变形量/mm	0.0	0.1	1.0	0.578
小车架结构总重量/Kg	19 979.0			18 948.87

3 结论

本研究基于 iSIGHT 平台成功实现了学科软件对桥式起重机小车架结构参数进行协同优化的目的。小车架减重优化效果明显,优化后强度和刚度性能仍然满足要求,说明了在 iSIGHT 平台上,集成小车架参数化设计系统、SolidWorks 三维建模软件和 ANSYS 有限元分析软件,对小车架进行优化设计的方法是可行的。在优化过程中,利用各个学科软件的命令流文件编制的批处理程序,实现了从更改参数、建立实体模型、传递数据、分析与输出结果的高度自动化,从整体形成了一个快速有效的优化系统。

上述方法成功实现大幅度提高设计效率,节约设计成本,不仅对今后桥式起重机小车架轻量化设计

具有指导意义,而且为桥式起重机或其它机械结构优化问题的解决,提供了一个良好的工具和平台。

参考文献

[1] 张质文. 起重机设计手册[M]. 北京:中国铁道出版社, 1997.

[2] 吴焕,高建和. 基于有限元的桥式起重机静动态性能校核[J]. 起重机运输机械,2011(6):50—52.

[3] 李扬,卫良保. 基于 VC 和 MATLAB 的单梁起重机主梁优化设计[J]. 太原科技大学学报,2012,33(1):26—29.

[4] 陶元芳,石小飞. 基于改进微粒群算法的起重机主梁优化设计[J]. 中国工程机械学报,2012(1):50—53.

[5] 郭瀚澄. 16/3.2 吨桥式双梁起重机小车轻量化研究[D]. 杭州:浙江工业大学, 2009.

[6] 宋保维,李楠. iSIGHT 在鱼雷鳍舵优化设计中的应用研究[J]. 兵工学报,2010,31(1):104—108.

[7] 薛松海,样树兴,等. 基于 iSIGHT 卷弧尾翼结构优化设计研究[J]. 弹箭与制导学报,2010,30(2):175—178.

[8] FENG TAO WEI, LI SONG, YAN LI, et al. Application of iSIGHT in solving multi-objective optimal design problems [C]// International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet) 2011. XianNing CHINA.

[9] MEI LI, JOHN E. Allison. Determination of Thermal Boundary Conditions for the Casting and Quenching Process with the Optimization Tool OptCast[J]. Metallurgical and Materials Transactions,2007,38 (4):567—574.

[10] CHEN X,YU X, JI B. Study of Crankshaft Strength Based on iSIGHT Platform and DOE Methods[C]//International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation(ICMTMA), 2010,3:548—551.

[11] 刑文训,谢金星. 现代优化计算方法[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

[12] 余雄庆,关于多学科设计优化计算框架的探讨[J]. 机械科学与技术,2004,23(3): 286—289.

[13] 王平,郑松林,等. 基于协同优化和多目标遗传算法的车身结构多学科优化设计[J]. 机械工程学报,2011,47(2):102—108.

[14] 纪国华,李彦,等. 一种面向复杂系统的多学科设计优化方法[J]. 机械设计与研究,2011,27(4):6—12.

[15] 张朝晖. ANSYS11.0 结构分析工程应用实例解析[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

Research on the Multidisciplinary Integration Research for the Bridge Crane Trolley Frame Based on the iSight Platform

YANG Fen¹, WANG Zong-yan¹, PAN Bian¹, JI Cai-hua²

(1. College of Mechanical Engineering and Automation,North University of China,Taiyuan 030051,China;
2. Wuhan Guide Infrared Company Limited,Wuhan 433070,China)

Abstract: Aiming at domestic researchers deal with the study of crane lightweight is not intensive, taking the 160T bridge crane car for example, by making use of SolidWorks and Ansys software, based on iSIGHT optimization design platform, integrated the parametric design system, realizing the outer frame of the trolley frame based on method of multidisciplinary optimization design ,constructed the general software running environment of the entity model which needs finite element analysis and on this basis needs further study of structure optimization design, determined the plate thickness size of the main beam structure which can make the trolley frame to be lightest, achieved the objective to reduce trolley frame quality of the bridge crane, and provides theoretical and practical examples basis to realize the rapid and effective lightweight design of the crane to some extent.

Key words: iSIGHT platform;parametric design;trolley frame;multidisciplinary optimization design

(上接第 70 页)

The Empirical Analysis of the Profits Stability Based on Hebei List Companys from the Perspective of Profits Quality

LIU Yu-tao, YANG Fang-wen

(Department of Economics and Management,North China Electric Power University, Baoding Hebei 071003,China)

Abstract: Profits quality have been concerned by the users of financial statements, profits quality depends on the profit stability, We through studies the listed company in Hebei province 2008 to 2010 years of profits constitution to analyze their financial situation, try to find some existed problems in the listed companies from the angle of low profit stability, helping investors to distinguish the investment.

Key words: profit;quality;stability