

基于虚拟样机技术的电动切卡机 创新设计及仿真优化

贾相武¹, 胡树根^{2*}

(1. 浙江交通职业技术学院 机电学院, 浙江 杭州 311112;
2. 浙江大学 机械设计研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为了实现电动切卡机产品的优化设计, 首先运用机电产品创新设计的方法, 对该产品进行了功能原理求解, 获得了功能方案, 然后利用Pro/E和ADAMS软件对该方案进行了三维建模, 最后应用虚拟样机技术进行了运动学和动力学仿真分析, 并对该设计方案进行了参数优化, 获得了最优结果, 实现了设计目标。研究表明: 运用创新设计方法和虚拟样机技术相结合的方案进行产品的优化设计是非常有效的。

关键词: 电动切卡机; 创新设计; 仿真优化

中图分类号: TH86; TP29 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)05-0525-04

Innovation design and simulation optimizing of electric card-cut machine based on virtual prototyping technology

JIA Xiang-wu¹, HU Shu-gen²

(1. Mechanical and Electronic Institute, Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 311112, China;
2. Institute of Mechanical Design, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at realizing the optimal design of the electric card-cut machine, firstly, the method of innovation design was applied in function principle solution of mechatronics product, the function scheme was obtained. Then Pro/E and AMAMS software were used for three dimensional modeling, the virtual prototyping technology was used to do the analysis of kinematics and dynamics, the parameter optimization of design scheme was done, and the optimization result was obtained, the design objective was realized. The research results show that the method combined with innovation design and virtual prototyping technology is very effective for product optimization design.

Key words: electric card-cut machine; innovation design; simulation optimizing

0 引 言

虚拟样机技术源于多体系统动力学研究, 其核心部分是多体系统运动学与动力学建模理论及其技术实现。它利用软件建立机械系统的三维实体模型和力学模型, 分析和评估系统的性能, 改变过去从部件到整机的“自底向上”设计流程, 从而为物理样机的设计和制造提供依据^[1]。

创新设计的核心就是概念设计。把创新设计应用

到产品设计中去, 需要以创新设计的理论和方法为基础, 应用创新思维模式和思维方法, 结合创新设计的基本要素、思维特点和基本原理进行产品创新。

本研究应用创新设计的理论和方法, 基于虚拟样机技术进行辅助设计, 结合电动切卡机的设计要求, 进行原理方案的创新设计, 并对方案进行仿真优化。

1 国内外研究现状

机电一体化产品概念设计的研究主要集中在欧

收稿日期: 2011-10-22

作者简介: 贾相武(1974-), 男, 宁夏中宁人, 主要从事模具工程、机械设计理论、设计方法学等方面的研究。E-mail: jxw@zjvtit.edu.cn

通信联系人: 胡树根, 男, 教授, 硕士生导师。E-mail: hsgen@zju.edu.cn

洲,主要研究机构有:德国 Darmstadt 大学、英国 Lancaster 大学工程设计中心、荷兰 Twente 大学、比利时 Leuven 大学、挪威科技大学、丹麦技术大学和芬兰 VIT 研究中心等。另外,在美国与机电一体化系统有关的概念设计工作大多集中在 MIT 大学、Carnegie Mellon 大学、Michigan 大学和 Standford 大学^[2]。在日本,东京大学的 Yoshikawa 和 Tomiyama 两位学者的对一般机电一体化产品的概念设计有一定的研究。国内一些研究单位,如浙江大学、华中科技大学等单位,在机械产品概念设计及计算机辅助创新设计方面也进行了研究,如上海交通大学邹慧君教授,从1996年开始深入研究了机电系统概念设计的基本原理,并取得了初步的研究成果。他从广义功能原理出发,将机电一体化系统划分为广义执行机构子系统、传感检测子系统、信息处理及控制子系统,称为“三子系统论”^[3]。并由此建立机电一体化系统概念设计的框架体系,有利于机电一体化产品的创新设计。

2 概念设计过程

本研究根据切卡机的总功能,寻求其总功能的原理解。依据原理方案设计的方法,对各种功能进行分解:能量转化(电机)、能量传递(转动→转动或摆动)、切卡与回位(转动或摆动→直线运动)。从设计任务到总功能的提取以及功能分解的整个过程如图1所示。

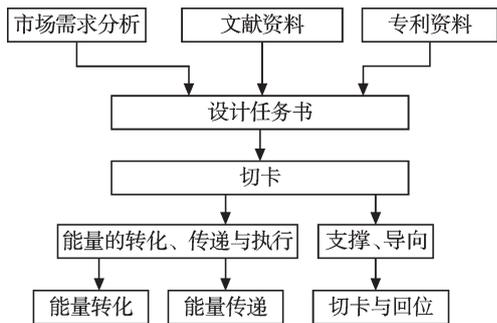


图1 功能分解过程图

3 原理求解的综合

功能分解完成后,本研究将分功能的解整合为整体解的过程称为原理求解的综合,也就是原理方案^[4]。机械部分用来实现原理解所含功能的已知功能载体及特征标志如表1所示。本研究主要就是针对机械执行机构的仿真优化设计。

4 创建执行机构的几何模型

在电动切卡机的设计中,本研究运用 Pro/E 和 ADAMS 联合建模。复杂零件采用 Pro/E 进行 CAD 建模,文件采用 Render 格式,部分简单零件在 ADAMS 中简

表1 功能载体

序号	功能	功能载体	功能标志
1	能量转化	齿轮减速电机	功率、转速
2	能量传递	曲柄导杆机构	结构尺寸
3	切卡与回位	滚子移动从动件单圆弧凸轮机构	偏心距、圆弧直径、滚子直径
4	支撑导向	机架	Pro/E 建模

化,但它们的质量属性、质心位置信息都是根据 Pro/E 中的三维模型计算得到,然后手动输入到 ADAMS 中虚拟样机的每个零件中去。由于 ADAMS 在进行机械系统的各种仿真求解时只关心零件的质心位置和相应的质量属性,机械动力学仿真用的虚拟样机模型对机械系统的零件外形要求不高,为了获得精确的模型,同时也为了参数化设计的需要,首先创建设计点,然后依据点阵建立特征,最后构成整个模型^[5-8]。本研究将建立好的 CAD 模型在 ADAMS 中装配好,设置完质量属性以后,接着对机械系统添加适当的约束。电动切卡机的运动副有5类:转动副、棱柱移动副、圆柱副、凸轮副和固定铰链。为使建立的虚拟样机模型更加灵活,本研究将多自由度铰链简化成单自由度铰链,为了建模方便,减少约束个数,凸轮轴和凸轮简化为一个整体,且凸轮轴形状也简化为一个圆柱体;弹簧的作用是获得实际工作中的切卡力和摩擦力。简化后得到的电动切卡机传动机构的 ADAMS 虚拟样机及运动副联接情况如图2所示。在 ADAMS 中对模型进行正确性校验,若模型具有1个自由度,则验证成功,说明三维动力学模型建模成功。

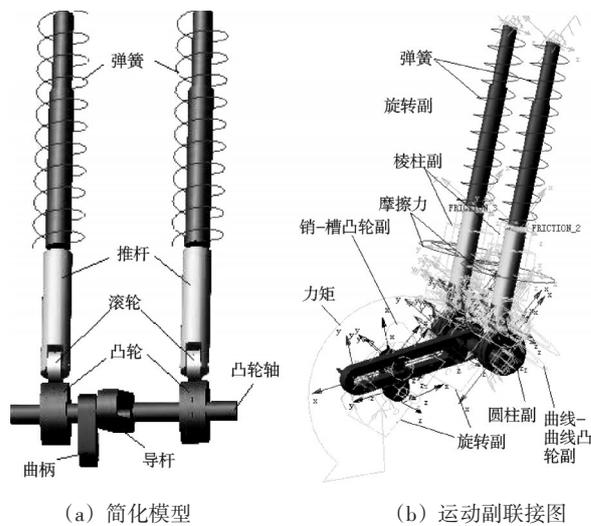


图2 传动机构和运动副

5 执行机构的仿真分析

5.1 设置仿真分析输出

仿真输出设置有两种方式:①使用系统自带测量

输出,如:对各零件的质量属性,凸轮的受力情况,以及推杆的受力状况等其他信息,通过直接测量的方法得到仿真的信息;②使用自定义输出,为了掌握切卡路力的变化、切刀的位移量、凸轮的受力情况等,本研究自定义了部分输出的函数及其表达式,如表2所示。

表2 自定义函数表

意义	函数名称	函数表达式
切刀位移	Displacement_2	6-DM(MARKER_160, MARKER_161)
切刀位移	Displacement_3	DM(MARKER_160, MARKER_161)-15
凸轮受力情况	Tulongforce	JOINT(.qiezhji9.JOINT_5,0, ltuigan.cm)
切卡速度	Velocity	VM(MARKER_160, MARKER_161, MARKER_160)

5.2 模型及约束修改

为了使仿真的效果与真实情况一致,需要添加几何细节结构和约束条件。几何细节结构包括:边缘倒角、边缘圆角、开孔、添加凸台、挖空或在外围添加材料等。在电动切卡机的工作过程中,推杆运动及切刀运动时都有阻力存在,因此,在添加约束时,弹簧和圆柱副等都需要添加摩擦阻力,推杆添加了20 N的阻力,切卡时的摩擦阻力为10 N。

5.3 创建设计变量

为了便于比较不同的设计方案,可以定义设计点和设计变量,将模型进行参数化,这样就可以通过修改参数自动地修改整个模型。本研究建立了从“DV_1”至“DV_12”总共12个变量。本研究通过对这12个变量逐个进行仿真分析,以获得它们对优化目标的敏感度,并据此决定要对哪些参数进行优化,以期获得最优的零件和安装尺寸。

5.4 优化设计变量

本研究的优化目标是在保证切刀有6 mm~12 mm位移的约束条件下,电动切卡机工作时输出的剪切力最大。依据这个目标,通过分析每个变量对输出(如:刀具位移、剪切力等)的影响状况,把变量“DV_1”至“DV_12”逐个进行优化,得到它们对优化目标的敏感度,为后续的选择优化参数提供依据。对变量“DV_1”的优化设计报告^[9]如图3所示。优化过程中剪切力变化曲线如图4所示,从结果可以看出变量DV_1对优化目标的敏感度是37。

运用同样的方法,本研究依次对其他变量进行优化分析,都可以得到相应的优化分析报告和相关的变化曲线,同时可获得该变量对优化目标的敏感度值。对所有变量优化后可知,对优化目标敏感度较高的几个变量如表3所示。

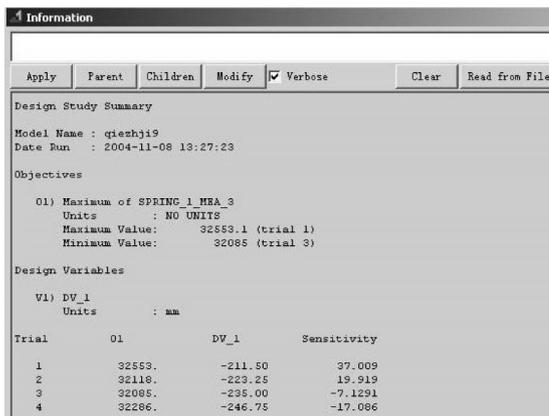


图3 对变量DV_1的优化设计报告

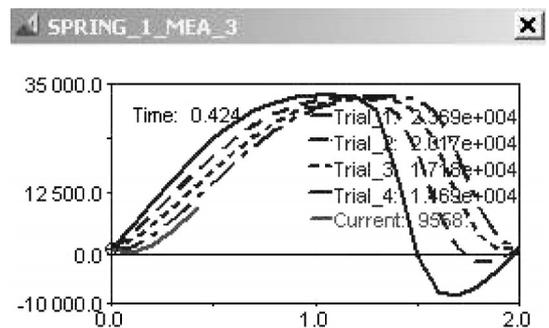


图4 刀具的剪切力

表3 设计变量优化结果(敏感度)

变量名称	设计点位置	初始值	在初始值处的敏感度/(N·cm ⁻¹)	最优值
DV_1	电机输出轴X坐标	-235	37	-211.5
DV_2	电机输出轴Y坐标	96	-304.8	86
DV_3	刀具安装位置X坐标	138.8	1.15	138.77
DV_4	刀具安装位置Y坐标	236.7	7	236.74
DV_9	凸轮轴X坐标	-150	-534	-135
DV_10	凸轮轴Y坐标	70	1322	63

6 模型参数优化

对虚拟样机进行建模、仿真分析和数据分析处理以后,一般还要对虚拟样机进行参数优化。模型的参数化有利于提高虚拟样机深入研究的效率。ADAMS/View 提供了3种参数化的分析方式:①单参数设计(DS);②多参数试验(DOE);③优化设计(Optimization)。ADAMS/View 提供了4种模型参数化的方法:①设计点;②设计变量;③表达式;④定位工具^[10]。本研究选用Optimization的方式进行参数化分析,运用设计点、设计变量和表达式3种参数化方法对设计变量进行优化,以获得一个最优组合,并达到设计目的。从表3可以看出:设计变量“DV_2”、“DV_9”和“DV_10”对优化目标的敏感度最高,说明它们对电动切卡机的切卡力影响最大,下面就对这3个变量进行优化设计。

6.1 修改设计变量

进行优化设计,就要给参数设定一个变化范围,同时还要添加一定数量的约束条件^[11]。本研究增加了两个约束条件:Constraint_1:切刀位移不能小于6 cm;Constraint_2:切刀位移不能大于15 cm。要想获得最大的切卡力,保证正常的切卡,就要满足这两个约束条件,对变量“DV_2”取值的修改如图5所示,分别设定了最大值106 mm和最小值86 mm。

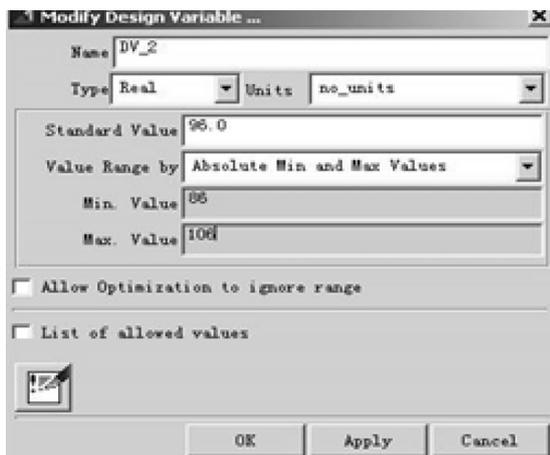


图5 修改设计变量DV_2对话框

6.2 优化结果

本研究设置了约束条件,选择了优化的对象,利用ADAMS软件对变量进行参数优化设计。最终优化设计结果如表4所示。由结果可以看出:在满足两个约束条件的情况下,当设计变量“DV_2”、“DV_9”和“DV_10”的值分别为86.4 mm、155.04 mm和77.008 mm的时候,切卡机有最大剪切力32 001 N,切刀位移为12.476 mm。

表4 优化分析结果

	SPRING_1_MEA_3 /N	Displaceme nt_3 /mm	DV_2 /mm	DV_9 /mm	DV_10 /mm
初始值	15 502	8	96	-150	70
优化值	32 001	12.476	86.4	-155.84	77.008

7 结束语

本研究运用设计方法学的思想对切卡机的传动机构进行创新设计,打破了用皮带、链轮和齿轮传动的传统,利用曲柄导杆机构实现了能量的传递,充分利用了该机构的杠杆特性和急回特性。本研究建立了传动机构的动力学模型并进行仿真优化,该产品已获得了实用新型专利(201120066541.6)。

参考文献(References):

- [1] 叶鸣强. 基于虚拟样机技术的车轮随机侧滑仿真分析及悬架参数优化[D]. 杭州:浙江大学机械与能源学院,2005.
- [2] LAU H C W, JIANG B, CHAN F T S, et al. An innovative scheme for product and process design[J]. **Journal of Materials Processing Technology**, 2002, 123(1):85-92.
- [3] 李瑞琴,邹慧君. 现代机构的创新设计理论与方法研究[J]. **机械科学与技术**, 2003, 2(1):83-85.
- [4] DORST K, CROSS N. Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution [J]. **Design Studies**, 2011, 22(5):425-437.
- [5] 王国强,张进平,马若丁. 虚拟样机技术及其在ADAMS上的实践[M]. 西安:西北工业大学出版社,2002.
- [6] 尹洋,殷国富. 基于ADAMS的机床高速主轴虚拟设计系统研究[J]. **制造技术与机床**, 2010(2):37-41.
- [7] 周陈霞,曹芳芳. 基于虚拟样机和有限元技术的举升机构的设计[J]. **机械**, 2011, 38(5):26-29.
- [8] 贾相武. 电动切卡机的创新设计及仿真优化[D]. 杭州:浙江大学机械与能源学院,2005.
- [9] 王颖,张维强. 基于ADAMS的偏置曲柄滑块机构的运动学及动力学仿真研究[J]. **科学技术与工程**, 2010, 32(10):8042-8045.
- [10] TOMES A, EROL R, ARMSTRONG P. Technological entrepreneurship: integrating technological and product innovation[J]. **Technovation**, 2000, 20(3):115-127.
- [11] 刘伟达,刘剑雄,毕世英,等. 基于ADAMS的夹钳动力学仿真分析[J]. **机械设计与制造**, 2005(11):68-70.

[编辑:张翔]

(上接第520页)

- [8] WEIR D H, CARK A J. A Survey of Mid-level Driving Simulators[N]. SAE Paper, 950172.
- [9] 吴超仲,张晖,毛骝. 基于驾驶操作行为的驾驶员疲劳状态识别模型研究[J]. **中国安全科学学报**, 2007, 17(4):162-165.
- [10] DESAI A V. The utility of the AusEd driving simulator in the clinical assessment of driver fatigue[J]. **Behavior Research Methods**, 2007, 39(3):673-681.

- [11] CHEN A C. A low-cost driving simulator for full vehicle dynamics simulation [J]. **Transactions on Vehicular Technology**, 2003, 52(1):162-172.
- [12] 陈光雄,石心余. 摩擦力-相对滑动速度关系的实验研究[J]. **润滑与密封**, 2002(3):44-48.
- [13] 史智宁. MUH低成本姿态增稳系统研究[D]. 杭州:浙江大学控制科学与工程学系,2010.

[编辑:张翔]