基于 ADAMS 的模切机双肘杆机构优化设计研究

徐立峰，张 雷
（上海理工大学，上海 200093）

摘要：利用 MSC. ADAMS 对模切机双肘杆机构进行了参数化建模，通过建立双肘杆机构优化目标函数，实现了双肘杆机构的结构尺寸参数化优化分析，并进行了相关的运动学、动力学仿真。优化结果表明，减小动平台与水平方向的震动偏角和在水平方向的位移，将大大提高模切速度、精度和整机的稳定性。

关键词：模切机；双肘杆机构；ADAMS 仿真；参数化
中图分类号：TB486^{+}.02　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2013)01-0075-04

Optimal Design of Dual-elbow-bar Mechanism of Die-cutting Machine Based on ADAMS

XU Li-feng, *ZHANG Lei*
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Dual-elbow-bar mechanism parametric model of the die-cutting machine was established using MSC. ADAMS. By establishing the optimizing objective function of dual-elbow-bar mechanism, parametric optimization analysis of the structural dimensions of dual-elbow-bar mechanism was achieved. Related kinematics and dynamics simulation was carried out by using ADAMS. The optimization results showed that reducing the angle of the moving platform and the horizontal plane, and the horizontal displacement will greatly improve the cutting speed, accuracy and stability of the whole machine.

Key words: die-cutting machine; dual-elbow-bar mechanism; ADAMS; parameterize

当今，包装工业不断快速发展，市场对模切机的需求数量与日俱增，同时对其性能也提出了更高的要求。模切机主要包括进料、压模（或烫印）、清废、出纸堆垛等 4 个功能部分。其中，双肘杆机构是压模、烫印部分的核心部件，其工作性能的好坏直接影响印刷产品的模切精度和整机的速度及稳定性。若要提高模切的运转速度，以及使平台能更好地契合模切工艺的要求，应用优化设计的方法对肘杆机构中各肘杆、连杆的长度及相关的角度位置参数进行合适的选择显得尤为重要。

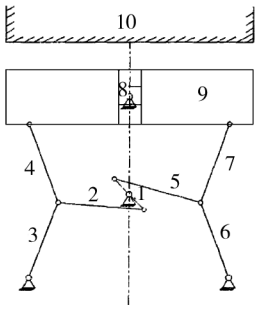
利用虚拟样机技术使设计的产品在概念设计时期迅速地进行分析、比较各种设计方式，获得最优工作性能。同时减少了对物理样机的束缚，节省制造时间，提升了产品的性能[1-2]。

文中以 MW1050 全自动平压模切机双肘杆机构为例，通过研究模切机双肘杆机构的运动原理以及结构特点，使用现代的参数化分析设计方法对双肘杆机构进行了系统的创新优化设计，以此提高双肘杆机构的运动学性能和模切质量。将 CAD 技术和虚拟样机技术运用到双肘杆机构的优化设计过程中，将在 MSC. ADAMS 中建立的双肘杆机构的参数化模型，通过肘杆机构结构尺寸的计算公式，实现机构的优化设计，并进行相关运动学和动力学分析。

1　模切机双肘杆机构的工作原理

全自动平压模切机的双肘杆机构运动原理见图 1。该机构主要由曲轴连杆和双肘杆机构构成。图 1 中：曲轴 1 与连杆 2 和连杆 5 通过轴承连接，实现曲轴带动连杆一起运动；下肘杆 3 和下肘杆 6 分别与上肘杆 4 和上肘杆 7 连接构成双肘杆机构；8 为导向滑块，主要用于平衡下平台（动平台）9 的上下运动；10

收稿日期：2012-10-10
作者简介：徐立峰（1990-），男，江苏淮安人，上海理工大学硕士生，主攻 CAD/CAE/CAM。



1-曲轴;2-连杆;3-下轴杆;4-上轴杆;5-连杆;6-下轴杆;7-上轴杆;8-滑块;9-动平台;10-静平台

图 1 双肘杆机构简图

Fig. 1 The diagram of dual-elbow-bar mechanism

为上平台(静平台)。

肘杆机构是一种效果很好的增力机构,是实现自动平压模切机模切的重要机构。电动机通过电磁离合器(或气动离合器)带动飞轮和蜗轮,蜗杆副将动力传到曲轴,再由曲轴带动连杆机构和肘杆机构(上下摆杆)一起运动,把电动机的旋转运动转化为下平台的垂直往复运动。动平台往复运动到上止点时,叼纸牙排带来纸张与固定在上平台下的模切刀线、压痕线或烫印块相切压,从而实现对纸张的模切、压痕和冷(或热)压凹凸。

2 双肘杆机构的虚拟样机的建立

2.1 建立实体模型

在双肘杆机构的优化设计中,参数化几何建模占有重要的地位。一般把对优化目标有重要影响并且可以控制的独立参数设为设计变量,根据双肘杆机构的原始参数,在 ADAMS2005 中采用参数化建模技术,建立双肘杆机构的实体模型。在此选取曲柄长度 x_1、连杆长度 x_2 和上下 2 个肘杆的长度 x_3 为优化变量。

2.2 添加约束

在 ADAMS/View 中添加各个运动副,根据机构的实际工作原理,除了导向块与动平台间的运动副为移动副,其他杆件间均为转动副。

2.3 添加驱动力

在曲轴端部中心添加旋转驱动力,研究模切机输入转速为 179.18 r/min,仿真时间为 23.0 s,步长为 150,求解双肘杆机构 2 个周期的运动规律。该机构在 ADAMS 中建立虚拟样机模型,并施加约束与驱动,见图 2。

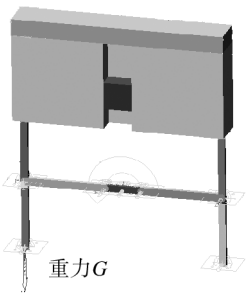


图 2 双肘杆机构的虚拟样机

Fig. 2 Virtual prototype of dual-elbow-bar mechanism

3 双肘杆机构的优化设计

由于双肘杆机构各个杆件之间由转动副相连,其运动方式并不是直上直下的往复运动,而是“上下起伏、左右摇晃”的运动状态。当动平台水平方向的位移和水平方向的倾斜角增大时,动平台与导向滑块之间的作用力也相应增大。由此在达到工艺要求的前提下,应尽可能使动平台自由行程变小,以及使动平台水平方向的偏移和水平方向的倾斜角减小,从而提高模切速度、进度以及整机的稳定性[3]。

3.1 目标函数的建立

模切机工作速度提高后,双肘杆机构运动稳定性降低,活动平台在回程时,运动副中的反力可能换向,从而产生冲击和振动,加剧运动副的磨损。要提高机构运动稳定性,必须改变双肘杆机构结构参数[4]。通过 ADAMS 运动分析软件对双肘杆机构尺寸参数优化,来降低动平台的运动对平稳性的影响,设计出新的连杆尺寸。目标函数按设计变量来表达出原设计所期望达到的特殊性能的解析表达式,用以衡量设计方法的好坏,参考标准化的形式,往往将优化问题转变为所求目标函数的最小值方面。由于模切机的动平台与水平面的倾角对模切机整体的稳定性有很大的影响,使模切机的动平台在一个自由行程中最大倾角为最小,可以实现提升模切机整体稳定性的目的。

angle-a 是由静平台的 marker1 和动平台的 marker2, marker3 的 3 个点组成,所以优化目标设最小化 angle-a 最小,动平台与水平面倾角的目标函数为:$\min f(\phi_a) = \min|\phi_a|$。

3.2 约束条件的建立

动平台的自由行程是指平台上同一点的最高与

最低位置在竖直方向上的距离 H。若要保证模切机正常工作，必须满足的条件：叼纸牙排（厚度为 24 mm）可以顺利通过模切平台，自由行程必须大于 48 mm，所以规定优化的约束条件为：$g(x)=48-H<0$。

3.3　优化设计的结果分析

根据设置好的设计变量、约束条件及目标函数，单击开始后，ADAMS 软件自动完成优化设计分析，经过仿真分析后得到的优化结果见表 1。

表 1　优化后设计变量的结果

Tab. 1 Results of the optimized design variables

	L_1/ mm	L_2/ mm	L_3/ mm
优化前	54	230	203
优化后	48	234	203

进入 ADAMS/Post Processor 后处理模块，可以查看优化前后动平台与水平方向的倾斜角度的变化，见图 3，动平台在水平方向的位移变化见图 4。

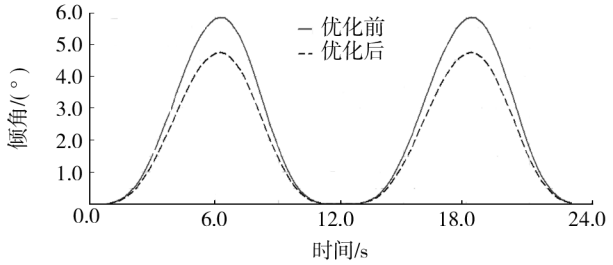


图 3　优化前后动平台与水平方向的倾角

Fig. 3 Inclination angle between moving platform and horizontal direction before and after optimization

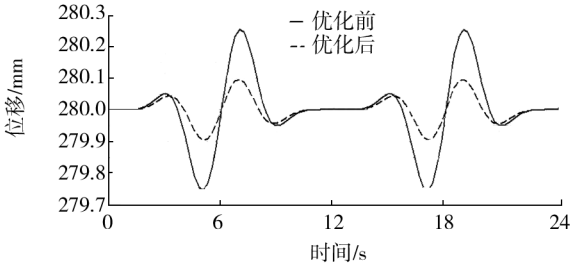


图 4　优化前后动平台与水平方向的位移

Fig. 4 Displacement between moving platform and horizontal direction before and after optimization

从图 3、图 4 中可以分析出优化后，虚线（优化后）表示的曲线波动幅度比实线（优化前）表示的曲线小很多。动平台在工作过程中，与水平面的最大倾斜角和在水平方向的位移都有了大幅度的减小，经过优化得到新杆件的尺寸，大大减小了双肘杆机构的振动和冲击，也改善了产品质量，降低了噪声，这对提高模切的质量和模切精度，都具有一定重要的意义[5]。

4　双肘杆机构的运动仿真

4.1　模切机双肘杆机构运动学特性分析

双肘杆机构的平稳性是影响模切机运动特性的最重要的性能，对模切精度也起着决定性的作用。整机稳定性及加工精度是由活动平台与水平方向的倾斜角及其在水平方向的位移大小决定的[6]。动平台的理想工作状态是在垂直方向做往复运动，动平台台面始终与静平台台面保持平行，而不会产生水平方向的偏移或与水平方向的倾斜角度。对优化后的双肘杆机构进行运动学仿真，并利用 ADAMS/View 中的测量（Measure）工具，测得动平台绕 z 轴的转动角以及动平台质心在 x 轴方向的位移，见图 5、图 6。

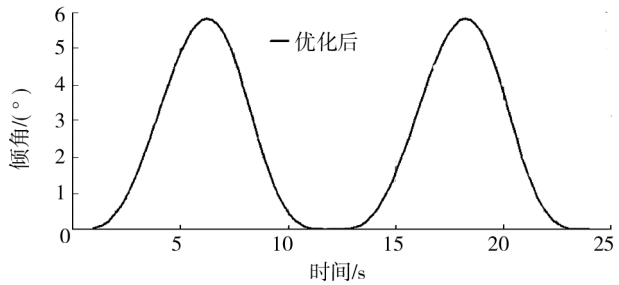


图 5　动平台与水平方向的倾角

Fig. 5 Inclination angle between moving platform and horizontal direction

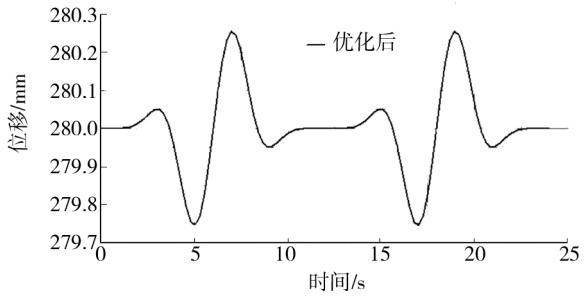


图 6　动平台在水平方向的位移

Fig. 6 Displacement between moving platform and horizontal direction

从图 5、图 6 可以看出，当动平台位于最高点位置

附近和最低点处时，其水平方向倾斜角和位移的大小趋于0，其余位置曲线均为倾斜状态，且倾斜呈现一定的变化规律，而这种规律对牙排的通过是有利的。以曲柄长度为54 mm举例：在0°～180°区间以内，动平台靠近牙排的点要比远离牙排的点低，并且在180°时动平台的最大倾角为5.70°，有利于牙排顺利进入；在180°时动平台达到最低点，牙排在上下平台之间；满足印刷机实际工作理论设计要求。

从图5、图6中可以看出，动平台在模切加工时，其水平转角和水平位移均接近于0，这说明双肘杆机构在模切及加压模切过程中，动平台的上平面基本保持水平状态。由此，优化后的肘杆机构具有较高的加工精度和整体稳定性。

4.2 模切机双肘杆机构动力学特性分析

随着企业生产效率的提高，模切机对双肘杆机构动作频率的要求也越来越高，但是电机转速的提高会对肘杆机构各部件在铰链处受力接触以及整机的稳定性等方面造成许多负面的影响[7]。肘杆机构正常工作时，模切压力为2500 kN左右，极限模切压力为3800 kN左右。下面主要对肘杆机构在这2种工况下各部件铰链处的接触力进行分析，曲轴与连杆铰链处的受力见图7，肘杆与动平台受力曲线见图8。

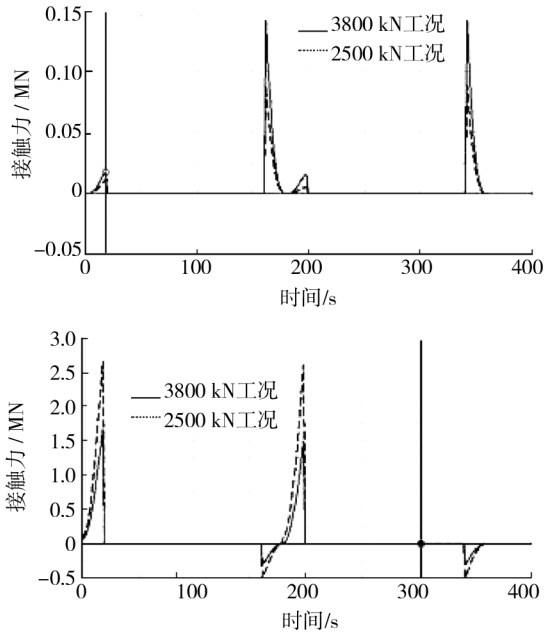


图7 连杆和曲柄铰链处的受力曲线（*x*/*y* 方向）

Fig. 7 The force curve of the hinge between link and crank (*x*/*y* direction)

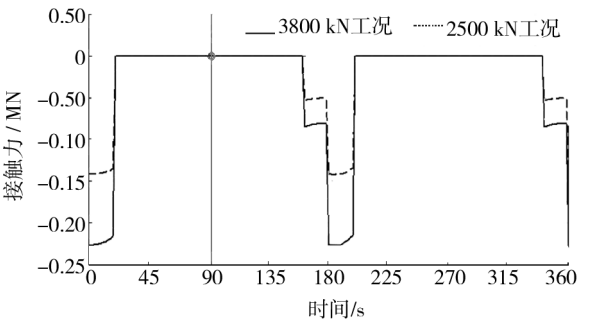


图8 动平台和肘杆铰链处的受力曲线

Fig. 8 The force curve of the hinge between moving platform and elbow-bar

从图7、图8可以看出在最大模切压力为3800 kN的工况下，曲柄中心受到的最大力 $F_x = 1.68\times10^5$ N，$F_y = 1.78\times10^5$ N，上肘杆 $F_y = -1.83\times10^6$ N。由此可见，这些参数为肘杆特定的尺寸设计、选择材质以及受力变形、疲劳寿命的研究提供了可靠的依据。同时，从图中7、图8中也可以看出，双肘杆机构在活动平台移动到最高点位置的时候，产生的模切力最大。此时上下两肘杆撑成一条直线，压力将垂直地传递给机座，连杆和曲柄承受的载荷非常小。这明显地减小了连杆与曲柄上负载的极值，增加了双肘杆机构整机的使用寿命。

5 结论

以某企业MW1050型的模切机双肘杆机构为研究对象，利用ADAMS的参数分析优化功能，通过确定设计变量和建立目标函数，对双肘杆机构进行了运动学仿真，避免了复杂的数学推导。重点介绍了ADAMS中对双肘杆机构优化设计的方法，同时对仿真结果进行了详细的分析，得到了双肘杆机构新的连杆尺寸。对优化后的双肘杆机构进行了运动学和动力学性能分析，结果显示动平台与水平方向的倾斜角度和水平方向的位移均大大减小，实现了多目标优化，达到了显著改善机构性能的目的，从而缩短了模切机开发时间，提高了产品开发效率。

参考文献：

[1] 熊光楞，李伯虎，柴旭东. 虚拟样机技术[J]. 系统仿真学报，2011(1)：114-116.

（下转第87页）

[4] 李成伟,负超. 码垛机器人机构设计与运动学研究[J]. 机械设计与制造,2009,6(6):181-183.
YI Cheng-wei, YUN Chao. Palletizing Robot Mechanical Design and Kinematics[J]. Mechanical Design and Manufacturing,2009,6(6):181-183.

[5] 姚猛,韩宝玲,罗庆生,等. 工业码垛机器人机构设计与运动学分析[J]. 组合机床与自动化加工技术,2011,5(5):31-37.
YAO Meng, HAN Bao-ling, LUO Qing-sheng. Industrial Palletizing Robot Mechanical Design and Kinematic Analysis [J]. Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique,2011,5 (5):31-37.

[6] 刘飞飞,缪周. 重型桶装物品搬运码垛机器人的设计与研究[J]. 机床与液压,2004(6):130-132.
LIU Fei-fei, MIAO Zhou. The Heavy Barrels Items Handling Palletizing Robot Design and Research[J]. Machine Tools and Hydraulic,2004(6):130-132.

[7] 龚振邦. 机器人机械设计[M]. 北京:电子工业出版社,1995.
GONG Zhen-bang. Robot Mechanical Design[M]. Beijing: Electronics Industry Press,1995.

[8] CRAIG J J. 机器人学导论[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
CRAIG J J. Robot Introduction[M]. Beijing:China Machine Press,2005.

[9] 芮执元,刘涛. 码垛机器人运动学分析与仿真[J]. 机械制造,2010,48(4):7-10.
RUI Zhi-yuan, LIU Tao. Palletizing Robot Kinematics Analysis and Simulation[J]. Machinery Manufacturing,2010,48 (4):7-10.

[10] 何庆中,赵献丹,刘明,等. 基于 MATLAB 的微电驱串联机械手工作空间域解算与仿真[J]. 四川理工学院学报,2006,10(5):5-9.
HE Qing-zhong, ZHAO Xian-dan, LIU Ming, et al. Based on the MATLAB Micro Electric Drive Series on the Working Space of Manipulator Field Computation and Simulation [J]. Journal of Sichuan Institute of Technology, 2006, 10 (5):5-9.

[11] 雷崇华,何庆中,李江. 电驱微差 6R 关节型开链机械手工作空间运动学逆解[J]. 四川理工学院学报,2008,6(3):103-106.
LEI Chong-hua, HE Qing-zhong, LI Jiang. Electric Drive Differential 6R Joint Type Open the Working Space of Manipulator Kinematics Inverse Solution [J]. Journal of Sichuan Institute of Technology,2008,6(3):103-106.

(上接第 78 页)

XIONG Guang-leng, LI Bo-hu, CHAI Xu-dong. Virtual Prototyping Technology[J]. Journal of System Simulation,2011 (1):114-116.

[2] 贺兵. 基于虚拟样机技术的包装机械系统仿真研究[J]. 包装工程,2008,29(2):47-49.
HE Bing. Simulation Study of Packaging Machine Based on Virtual Prototyping[J]. Packaging Engineering, 2008, 29 (2):47-49.

[3] 成刚虎,柴三中,张选生. 模切机施压机构的运动特性分析与优化设计[J]. 西安理工大学学报,2006,22(3):249-252.
CHENG Gang-hu, CHAI San-zhong, ZHANG Xuan-sheng. Motion Analysis and Optimum Design of the Dual-elbow-bar Mechanism of the Die-cutting Machine[J]. Journal of Xi'an University of Technology,2006,22(3):249-252.

[4] 谢继光,邹慧君. 自动平压平模切机双肘杆机构动态分析[J]. 机械设计与研究,2005,21(3):75-77.
XIE Ji-guang, ZOU Hui-jun. Dynamic Analysis of the Double-elbow-bar Mechanism of Automatic Vertical Platen Die-cutter[J]. Machine Design and Research,2005,21(3):75-77.

[5] 耿武帅,齐元胜,王晓华,等. 平压平模切机驱动机构创新设计及理论分析[J]. 包装工程,2011,32(11):61-64.
GENG Wu-shuai, QI Yuan-sheng, WANG Xiao-hua, et al. Creative Design and Theoretical Analysis of Drive Mechanism of Plane Die-cutting Machine[J]. Packaging Engineering,2011,32(11):61-64.

[6] 李发展,卢章平. 基于 ADAMS 模切机肘杆机构特性分析[J]. 包装工程,2011,32(1):24-26.
LI Fa-zhan, LU Zhang-ping. Characteristic Analysis of the Elbow-bar Mechanism of Die-cut ting Machine Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering,2011,32(1):24-26.

[7] 朱皞,葛正浩,苏鹏刚,等. 基于 ADAMS 的平行分度凸轮机构的动力学仿真[J]. 包装工程,2009,30(6):1-4.
ZHU Hao, GE Zheng-hao, SU Peng-gang. et al. Dynamic Simulation of Parallel Indexing Cam Mechanism Based on Adams[J]. Packaging Engineering,2009,30(6):1-4.