

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.02.010

ADAMS 和 ANSYS 对机构的联合仿真分析

彭礼辉, 李 光

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 提出了利用 ADAMS 和 ANSYS 的联合仿真对机构进行优化设计。利用 ADAMS 软件对机构进行动力学仿真分析; 将动力学仿真分析得到的载荷谱输入 ANSYS 软件中, 计算出机构更精确的应力和应变值; 利用 ADAMS 软件构建一个刚柔耦合模型, 从而可以更加真实地模拟机构的动态性能, 提高计算精度。并以夹紧机构为例, 说明了该方法的有效性。

关键词: 机械动力学; ADAMS; ANSYS; 联合仿真

中图分类号: TH122

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)02-0043-06

Co-Simulation Analysis of the Mechanism Based on ADAMS and ANSYS

Peng Lihui, Li Guang

(School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: For optimize design of the mechanism, the co-simulation of ADAMS and ANSYS was presented. Firstly the dynamic simulation analysis was finished by ADAMS; Secondly the load spectrums achieved from the dynamic simulation analysis were imported to ANSYS and the values of stress and strain were obtained; Lastly a rigid-flex coupling model was built by ADAMS to get a more real simulation of the mechanism dynamic performance and to improve the calculation accuracy. With the clamping institution as an example, the effectiveness of the method was demonstrated.

Keywords: mechanical dynamics; ADAMS; ANSYS; co-simulation

0 引言

机械系统动力学自动分析 (automatic dynamic analysis of mechanical systems, ADAMS) 软件是目前较权威的机械系统动力学仿真分析软件, 它是美国 MDI (mechanical dynamics Inc.) 公司开发的虚拟样机分析软件, 用户利用该软件可以创建机械系统的几何模型, 其模型主要是刚性体, 并可以对该模型进行静力学、运动学和动力学分析^[1]。有限元分析 (finite element analysis) 软件是将一个复杂问题用较简单的问题代替, 然后再求解。ANSYS 软件是一款

集结构、热、流体、电磁及多物理场耦合为一体的大型通用有限元分析软件^[2], 其主要功能是对柔性体进行有限元分析, 分析过程可以分为 3 步: 前处理 (preprocessor), 施加载荷与求解 (solution), 后处理 (postprocessor)。

通常将样机构作为刚性系统处理, 以满足设计要求, 但是在一些需要考虑构件变形的特殊情况下, 完全将机构模型作为刚性系统处理不能达到精度要求, 因此需要将机构模型的部分构件作为会变形的柔性体处理^[3]。针对该问题, 本文提出了一种将 ADAMS 软件和 ANSYS 软件联合起来对机构进行仿

收稿日期: 2011-12-16

作者简介: 彭礼辉 (1985-), 男, 湖南新化人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为包装机械设计理论与控制技术,

E-mail: wxzti@126.com

真分析的方法。

1 2个软件联合仿真流程

1.1 利用 ADAMS 软件生成构件的边界条件

ADAMS 软件对构件进行运动分析,生成载荷文件即 lod 格式文件,该文件存储了运动学仿真后的载荷谱和位移谱信息,具体过程如下:

1) 创建或导入模型。对简单的构件,可以直接在 ADAMS 软件下进行建模,而对较复杂的构件或样机,可以用三维建模软件(如 Pro/E, UG, CATIA 等)绘制模型,并保存为 Parasolid 格式文件。

2) 创建约束。将 Parasolid 格式文件导入 ADAMS 软件中,在刚体之间添加约束,定义物理间的相对运动。

3) 添加驱动。将运动副在没有约束的自由度上加以约束,让其按照某种规律变化。

4) 仿真分析和测量曲线。设置仿真分析的有关控制参数,如分析类型、时间、步长等,对机构进行动力学分析,并输出位移、速度、加速度以及其它的力学性能曲线^[4],即得到机构中某些构件的边界条件。

1.2 利用 ANSYS 软件对刚性构件进行有限元分析

载荷文件中的数据是有限元分析的边界条件,将其导入 ANSYS 软件中,对刚性构件进行应力、应变或疲劳分析,并且生成模态中性文件,即 mnf 格式文件,该文件是基于精确动力学仿真结果的应力、应变分析结果,可以提高计算精度,具体的实现过程如下:

1) 创建有限元模型。有 2 种方法创建有限元模型,一是用 ANSYS 软件创建实体模型,定义关键点,再生成线、面和体;另一种方法是用 CAD 绘图软件建立实体模型,再将其导入 ANSYS 软件中,再定义材料的属性、实常数、单元类型和划分网格。

2) 施加载荷并求解。将载荷文件导入 ANSYS 软件中,如果数据是最大载荷,则可以对构件的强度校核或寿命进行评估与分析;如果数据是载荷谱,则可以观察构件在整个运动过程中应力、应变的变化规律^[5]。

3) 查看分析结果,检验结果的正确性。观察应力、应变分析结果,即构件的变形、应力变化以及节点云图等,从分析结果对构件进行优化。

1.3 利用 ADAMS 软件对刚柔耦合模型仿真分析

利用 ADAMS 软件的 Flex 模块将模态中性文件导入 ADAMS 软件中,生成柔性体,再利用模态叠加法计算其在动力学仿真过程中的变形以及连接节点的

受力情况。这样,在机械系统的动力学模型中就可以考虑零部件的弹性特征^[6],从而提高系统仿真的精度。具体过程如下:

1) 创建柔性体构件的有限元模型。用 Pro/E 软件建立构件模型,再将该模型导入 ANSYS 软件中,创建柔性体构件的有限元模型,最后生成 ADAMS 软件所需的模态中性文件,即 mnf 格式文件。

2) 刚柔耦合模型的系统动力学仿真。将 mnf 格式文件导入 ADAMS 软件,与 ADAMS 中已有的刚性体模型一起生成刚柔耦合模型,再对该模型进行系统动力学仿真,即将柔性体的变形融入机构的动力学分析仿真中。

ANSYS 软件和 ADAMS 软件联合仿真时,它们之间的数据传递如图 1 所示。



图 1 ADAMS 和 ANSYS 之间的数据传递图

Fig. 1 The diagram of data transfer between ADAMS and ANSYS

2 实例分析

以用于夹紧登月舱和宇宙飞船的夹紧机构为例,该机构由 5 个构件组成:原动件手柄(handle)、从动件摇臂(pivot)、连杆(link)、锁钩(hook)、机架大地(ground)。假设施加在手柄上的力为 100 N,通过摇臂和连杆的传动使得锁钩在大地平面上向右滑动,从而将登月舱与宇宙飞船夹紧,该机构的结构如图 2 所示。

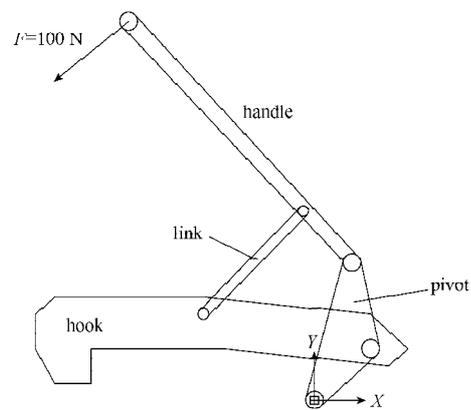


图 2 夹紧机构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the clamping institution

2.1 由 ADAMS 到 ANSYS 的数据传递

2.1.1 基于 ADAMS 的机构仿真

1) 创建机构刚性体模型。用 Pro/E 软件建立机构的三维实体模型,并进行装配,再通过 Pro/E 和

ADAMS 的接口将该模型导入 ADAMS 软件中, 定义相应的约束和运动关系, 生成刚性体模型^[7]如图 3 所示。

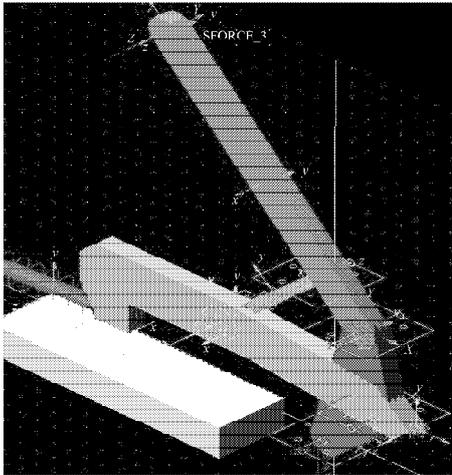
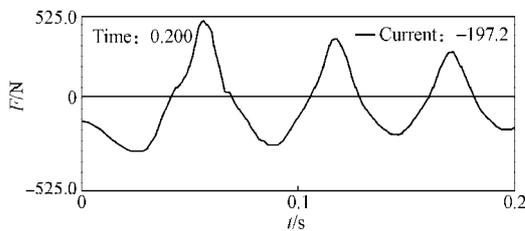


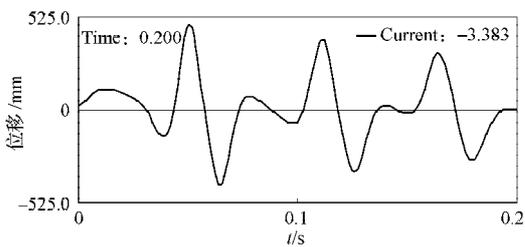
图3 模型示意图

Fig. 3 The model schematic diagram

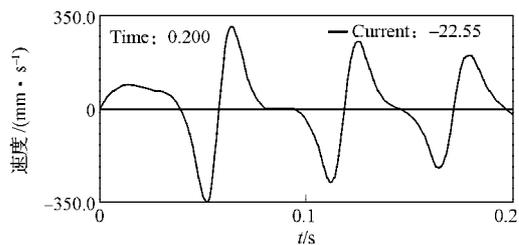
2) 仿真分析机构模型。仿真分析得到夹紧机构各个构件上指定点在全局坐标系 X, Y, Z 方向的速度、位移、作用力的分量曲线和合成曲线。假设原动件手柄受力为 100 N 时, 得到夹紧机构各构件在全局坐标方向的载荷谱、位移谱信息, 由于篇幅所限, 本文只列出了 X 方向的信息曲线, 如图 4 所示。



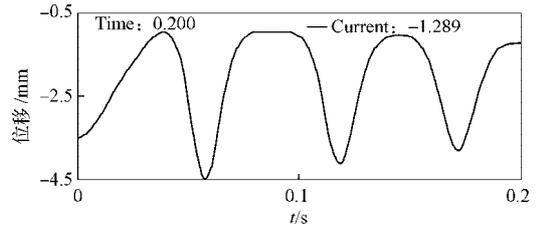
a) 原动件手柄受力曲线



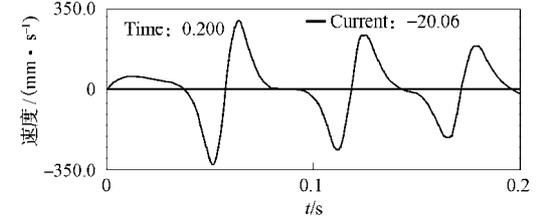
b) 原动件手柄位移曲线



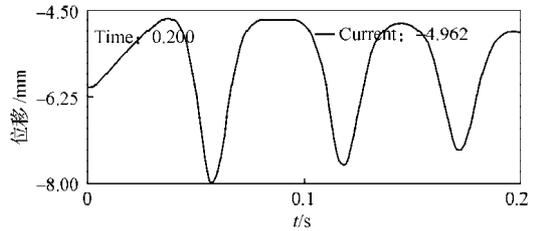
c) 连杆速度曲线



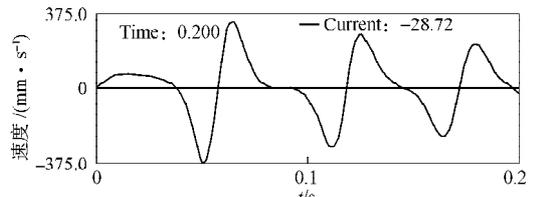
d) 连杆位移曲线



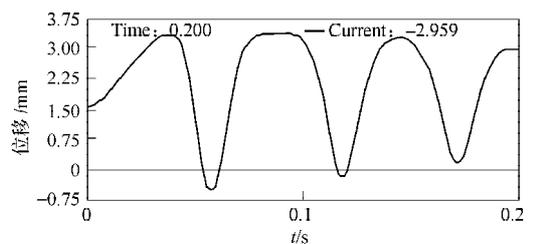
e) 锁钩速度曲线



f) 锁钩位移曲线



g) 从动件摇臂速度曲线



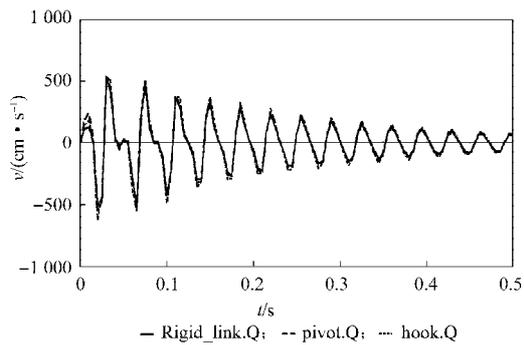
h) 从动件摇臂位移曲线

图4 构件在 X 方向的仿真分析结果

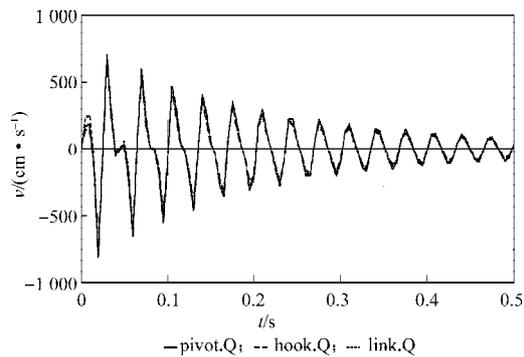
Fig. 4 The result of simulation analysis for the widget on the X -direction

由图 4 中图 c) ~h) 可知, 当手柄往下压时, 从动件摇臂、连杆和锁钩三者几乎同步运动, 即当从动件摇臂运动到 X 方向的最大位移处时, 连杆和锁钩也运动到 X 方向的最大位移处。

当原动件手柄受力分别为 100 N 和 300 N 时, 将他们相应的从动件摇臂、连杆及锁钩的速度曲线叠加在一起, 如图 5 所示。该速度仍是 X 方向的, 本文只对 X 方向进行了研究。



a) 连杆、从动件摇臂与锁钩速度曲线图 ($F=100\text{ N}$)



b) 连杆、从动件摇臂与锁钩速度曲线图 ($F=300\text{ N}$)

图5 不同受力下构件的速度曲线图

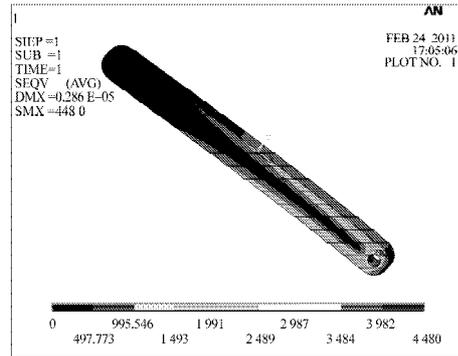
Fig. 5 The curve of the widget velocities under different forces

由图5可知,原动件手柄受力为100 N时,连杆、从动件摇臂和锁钩的速度趋势几乎一致,刚开始3个构件都是增速运动,当它们的速度达最大值后,就开始减速至0;然后,反向加速运动(设向右为正),当速度达到最大后,再减速,这样重复运动。原动件手柄受力为300 N时情况一样。对原动件手柄在多种受力情况下进行分析,得到的规律和参数可以作为设计人员设计或检验机构的依据。

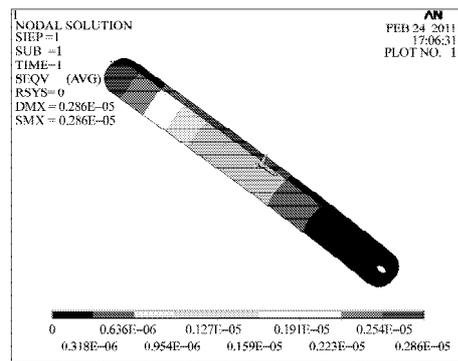
2.1.2 有限元应力、应变分析

在ADAMS软件中得到手柄的载荷谱、位移谱信息,将这些数据作为边界条件,在ANSYS软件中对手柄进行应力、应变分析。

将Pro/E软件中创建的手柄模型导入ANSYS软件,然后输入相关的物理信息:材料弹性模量为117 GPa,泊松比为0.3,质量密度为4 500 kg/m³。手柄选用10节点实体单元,即solid92单元,对其进行自由网格划分,得到该手柄计算模型共有20 049个节点,12 455个单元。手柄的约束加到手柄与从动件摇臂相联接的位置,约束手柄在3个方向移动的自由度,还在手柄上端添加载荷。由于手柄会随着连杆和从动件摇臂的运动而下移,因此本文取某一运动时刻对手柄进行有限元分析,手柄的受力变形分析结果如图6所示。



a) 应力



b) 应变

图6 手柄应力、应变图

Fig. 6 The stress and strain diagrams of the handle

由图6可知,手柄的最大应力发生在底端与从动件摇臂接触处,最大位移发生在手柄上端。这样得到的基于精确动力学仿真结果的应力、应变分析结果,提高了计算精度,为手柄的结构设计和材料选择提供了有效依据。机构中的其他构件如连杆、锁钩和摇臂也可以进行有限元分析,对它们的强度、疲劳、寿命和刚度进行分析,得到满足条件的优化设计,这里不一一详叙。

2.2 从ANSYS到ADAMS的数据传递

2.2.1 有限元模态分析

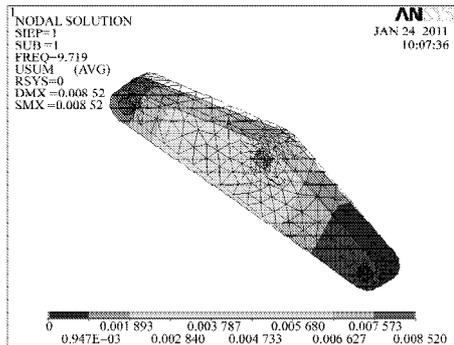
为了说明柔性体对机构运动的影响,这里将从动件摇臂作为柔性体进行动力学分析。其实,选择任何部件来进行刚柔耦合模型分析都可以,这里暂时选择摇臂为研究对象。利用Pro/E软件建立摇臂模型,并导入ANSYS软件进行几何模型的离散化、材料属性的设置等,还利用ADAMS软件得到的边界条件对柔性体进行有限元分析。模态分析结果如表1所示。

表1 摇臂模态分析结果

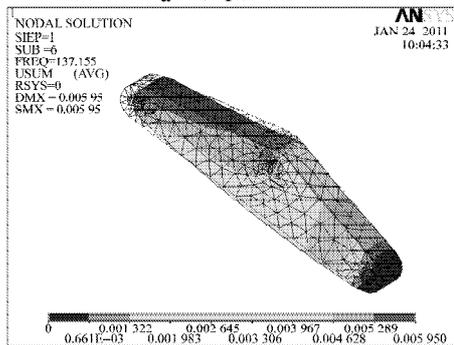
Table 1 The results of pivot modal analysis

模态阶数	频率 / Hz	模态阶数	频率 / Hz
1	9.719 0	4	73.648 0
2	13.066 0	5	91.890 0
3	53.075 0	6	137.160 0

摇臂第 1 阶和第 6 阶振型如图 7 所示:



a) 第 1 阶振型



b) 第 6 阶振型

图 7 摇臂振型图

Fig. 7 The modes of pivot vibration

本文对摇臂进行了 1~6 阶模态分析, 限于篇幅只给出了第 1、第 6 阶的振型图。将摇臂模态分析结果(见表 1)读入 ADAMS 软件后, 施加驱动和约束, 进行系统动力学仿真, 并输出图表或者数值, 也可将仿真结构保存为与其它软件兼容的文件。通过模式的线性叠加就将摇臂的变形融入到整个机构的动力学仿真分析中去, 这样, 在机械系统的动力学模型中就可以考虑机构零部件的弹性特征, 提高系统仿真的精度。

2.2.2 在 ADAMS 软件中对刚柔耦合体进行分析

对机械系统进行运动学分析时, 为了得到精确的仿真结果, 不能将所有构件视为刚性体, 而忽视其弹性变形, 所以还必须把模型的部分构件作为会产生变形的柔性体^[8]来处理。将柔性体摇臂代替刚性体摇臂, 即建立了一个刚柔耦合的夹紧机构模型, 设置相关参数, 通过数据曲线分析机构的运动性能, 柔性体摇臂、连杆和锁钩速度曲线如图 8 所示。

由图 8 可知, 柔性体摇臂、连杆和锁钩三者几乎同步运动; 与图 5 a) 的刚性体摇臂速度曲线不同, 刚柔耦合体的速度趋势是先反向加速(同样设向右为正), 加速至最大速度后再减速, 再正向加速至最大值后再减速, 如此重复运动。

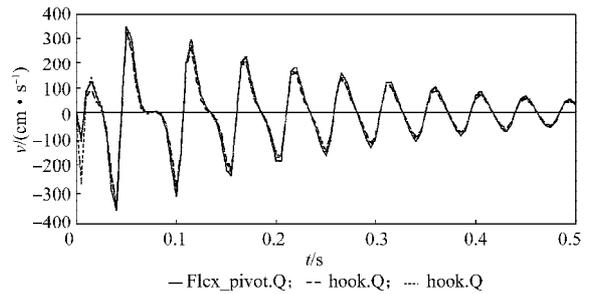
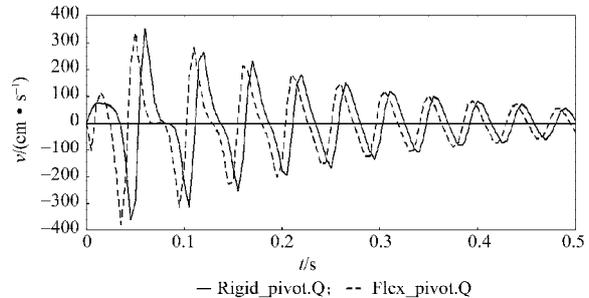


图 8 柔性体摇臂、连杆与锁钩速度曲线图

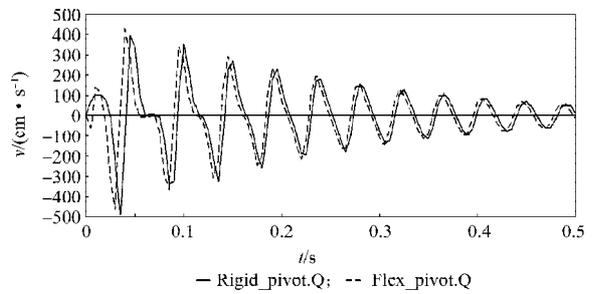
Fig. 8 The velocity curves of flex pivot, link and hook

3 结果对比

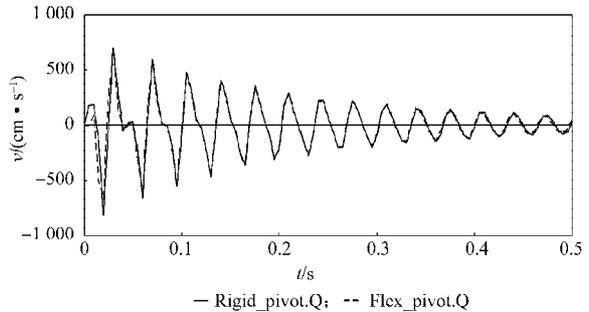
当摇臂受力为 100 N、200 N 和 300 N 的 3 种情况下, 刚性体和柔性体摇臂的运动情况对比结果如图 9 所示。



a) F=100 N



b) F=200 N



c) F=300 N

图 9 不同受力下的刚性体与柔性体摇臂速度曲线图

Fig. 9 The velocity curves of rigid pivot and flex pivot under different forces

由图 9 可知, 当受力为 100 N 时, 刚性体摇臂与

柔性体摇臂的运动情况对比结果如图 9 所示。

柔性体摇臂的速度变化趋势相似,但是刚性体摇臂的速度滞后于柔性体较大;当受力为200 N时,刚性体摇臂的速度滞后性减小;当受力为300 N时,刚性体与柔性体摇臂的运动变化几乎一致。受力并不是越大越好,具体情况这里不讨论。

3 结语

本文将ADAMS和ANSYS软件联合对机构进行仿真分析。利用ADAMS软件仿真夹紧机构主要部件的受力、位移和速度曲线,使该机构的受力运动情况更加直观、准确,且效率更高;利用ANSYS软件进行手柄的有限元分析,得到其应力、应变图,由此分析结果可以对该机构的结构进行相关调整,从而为夹紧机构的结构设计提供了参考依据;最后利用ADAMS软件得到夹紧机构的刚柔耦合模型,这样,在机械系统的动力学模型中就可以考虑零部件的弹性特征,提高系统仿真的精度。相关实例说明,这种方法是行之有效的。

参考文献:

- [1] 游世明, 陈思忠, 梁贺明. 基于ADAMS的并联机器人运动学和动力学仿真[J]. 计算机仿真, 2005, 22(8): 181-185.
You Shiming, Chen Sizhong, Liang Heming. Kinematics and Dynamics Simulation of PMT Based on ADAMS[J]. Computer Simulation, 2005, 22(8): 181-185.
- [2] 朱春霞, 朱立达, 刘永贤, 等. 并联机器人多柔体系统协同建模与动力学仿真[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(3): 366-370.
Zhu Chunxia, Zhu Lida, Liu Yongxian, et al. Modeling of Parallel Robots in Coordination with Flexible Multibody System and Dynamic Simulation[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2008, 29(3): 366-370.
- [3] 张劲夫, 许庆余, 张陵. 考虑连杆柔性和运动副粘性摩擦的曲柄滑块机构的动力学建模及计算[J]. 航空学报, 2001, 22(3): 274-276.
Zhang Jinfu, Xu Qingyu, Zhang Ling. Dynamic Modeling and Calculation of Slider-Crank Mechanism with Flexible Connecting Rod and Viscous Friction[J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 2001, 22(3): 274-276.
- [4] Shanahan Murray. A Cognitive Architecture that Combines Internal Simulation with a Global Workspace[J]. Consciousness and Cognition, 2006, 15(2): 433-449.
- [5] Demirli K, Molhim M. Fuzzy Dynamic Localization for Mobile Robots[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2004, 144(2): 251-283.
- [6] 刘治波, 禹宏云. Pro/E、ADAMS与ANSYS在虚拟设计中的联合应用[J]. 机械工程与自动化, 2008, 147(2): 48-53.
Liu Zhibo, Yu Hongyun. United Application of Pro/E, ADAMS and ANSYS in Virtual Design[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2008, 147(2): 48-53.
- [7] 丁寿滨, 常宗瑜, 武雅洁, 等. ADAMS与常用CAD软件之间的接口[J]. 微计算机信息, 2005, 21(10-3): 202-204.
Ding Shoubin, Chang Zongyu, Wu Yajie, et al. Interface between ADAMS and CAD Software[J]. Control & Automatic, 2005, 21(10-3): 202-204.
- [8] 郑晓亚, 尤军峰, 张铎, 等. ADAMS和ANSYS在机构分析中的应用[J]. 固体火箭技术, 2010, 33(2): 201-204.
Zheng Xiaoya, You Junfeng, Zhang Duo, et al. Application of ADAMS and ANSYS to Mechanism Analysis [J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2010, 33(2): 201-204.

(责任编辑: 邓彬)