

基于ADAMS的柔性焊接机器人动力学仿真

彭礼辉, 李光, 刘领化

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 在Pro/E中完成了焊接机器人的三维建模, 然后导入ADAMS软件中, 添加约束后建立了焊接机器人的虚拟样机模型。考虑到柔性构件对机器人系统运动性能的影响, 构建了该机器人的刚柔耦合模型, 并进行了动力学仿真。结果表明: 柔性手臂构件对机械手的运动精度产生了较大影响。

关键词: 机械动力学; 虚拟样机; 刚柔耦合模型

中图分类号: TP242.2; TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9833(2011)04-0045-04

Dynamics Simulation of Flexible Welding Robot Based on ADAMS

Peng Lihui, Li Guang, Liu Linghua

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

Abstract: Set up three-dimensional model of welding robot by Pro/E. Imported the model to the software of ADAMS, added constraints and established the virtual prototype model. Considering the influence of flexible components on the robot motion performance, constructed a rigid-flex coupling model of the welding robot and conducted dynamics simulation. The results show that flexible arm components have significant impact on the motion accuracy of manipulator.

Keywords: mechanical dynamics; virtual prototype; rigid-flex coupling model

在工业生产中, 机器人被广泛应用于点焊、喷漆等生产环节。自20世纪60年代以来, 机器人技术越来越成熟, 其主要特点有: 劳动生产率高, 工人劳动强度得到改善; 可以在有害环境下工作; 对工人操作技术的要求有所降低; 产品改型换代的准备周期得到缩短等。在以往的机械设计中, 机器人系统的运动学和动力学模型均设为刚性体^[1], 据此确定各关键点的位移、速度、加速度、作用力和力矩等, 忽略了系统高速运行时的弹性变形。随着机器人技术的进步和生产高速、高效化的发展需要, 构件的弹性变形越来越受到重视^[2]。本文拟利用ADAMS软件对机器人进行柔性体建模, 并对其进行动力学仿真研究。

1 虚拟样机技术概述

近年来, 在各种行业中对虚拟样机技术给出了不同定义^[3-5]。简单来讲, 虚拟样机技术就是用来代替真实物理样机的技术, 即在设计过程中, 利用零部件设计及分析技术, 构造出产品的整体模型, 然后对其各种工况进行仿真分析, 测得其整体性能, 从而对产品进行优化设计的一门技术^[6]。虚拟样机技术一般可分为以下几个过程:

1) 概念设计。即在ADAMS软件里完成实体建模, 或者从其他CAD软件中导入, 经过添加约束、力矩等产生系统模型, 建立整体样机模型。在ADAMS中可以快速形成相关的运动方程, 并完成

收稿日期: 2011-04-24

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: wxzzti@126.com

快速求解, 得到可靠的计算结果。

2) 设计细化。完成了产品的概念设计, 即建立好了虚拟样机模型, 实现了相关运动特性的测试后, 即可以对样机模型进行相关的细化及改进。

3) 设计验证。利用 ADAMS 软件可检查虚拟样机的工作性能, 通过不同输入, 可得到一系列运动过程, 有效避免了工程预算的增加或工程延期。

4) 试验规划。用模拟样机代替物理样机, 实现模拟试验实测, 然后对该样机进行物理样机实际试验方案的规划。

5) 工作状态再现。ADAMS 软件可以实现系统的故障诊断, 例如产品出现了失灵、不必要的振动现象时, 就可以利用 ADAMS 进行建模并求解, 实现其故障再现, 从而对故障原因进行分析和处理。

2 虚拟样机模型的建立

据焊接机器人的工艺要求, 提出一种符合实际的设计方案。本研究设计的机器人包括躯干、肩、手臂、手腕、机械手、底座部分, 均为旋转自由度连接, 手臂为柔性体。其结构简图如图 1 所示。

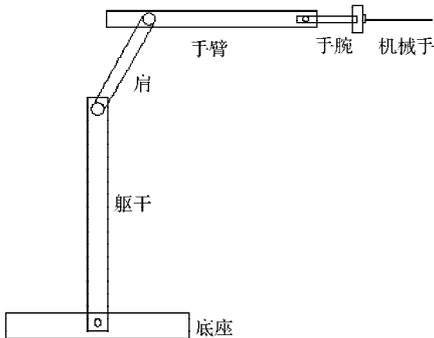


图1 焊接机器人结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of welding robot

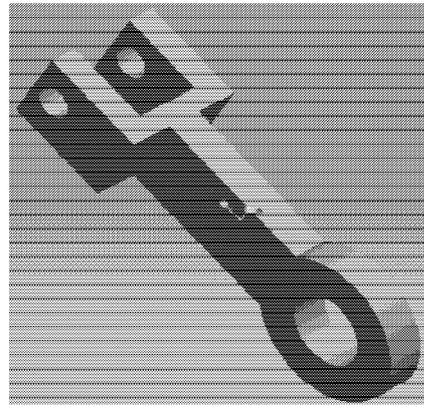
利用 ADAMS 软件建模的具体步骤如下:

1) 导入从 Pro/E 中建好的三维模型。利用 Pro/E 三维设计软件建立焊接机器人各个构件模型图, 并完成装配过程。该焊接机器人部分构件图如图 2 所示, 限于篇幅, 不一一列出。

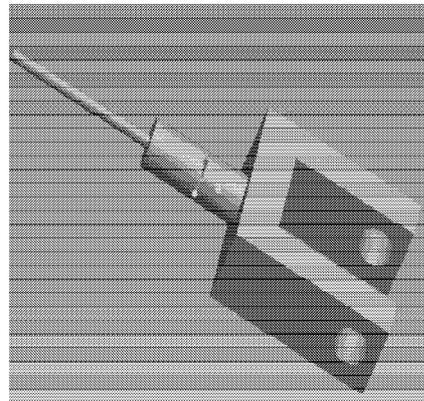
2) 添加约束。ADAMS 软件提供的约束副包括转动副、移动副、固定副、球副、圆柱副等。在该虚拟样机模型中, 底座与地面以固定副连接在一起, 底座与躯干、躯干与肩、肩与手臂、手臂与手腕均以转动副连接。

3) 模型校验。在 ADAMS 软件中, 提供了虚拟样机模型的验证功能。通过该检验功能可以得到很多重要的模型信息^[7], 除了说明模型是否合理之外,

还列出了自由度数, 以及移动副、转动副数等。该虚拟样机的模型信息如图 3 所示。



a) 肩



b) 机械手

图2 焊接机器人部分构件图

Fig. 2 The components of welding robot

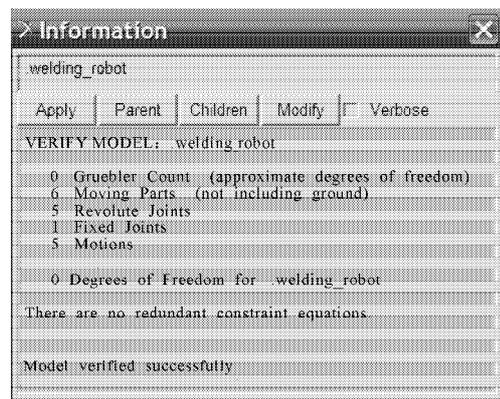
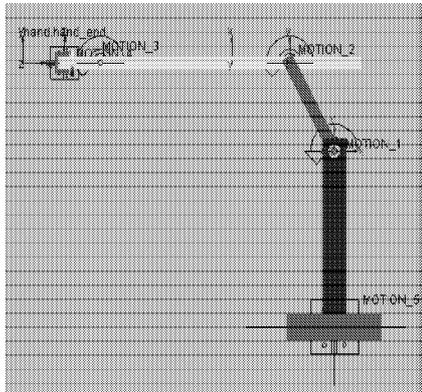


图3 模型校验信息

Fig. 3 Model testing information

4) 添加驱动。在该焊接机器人模型底座与躯干处添加驱动函数, 即 $\text{Function}(\text{time})$ 输入框中分别输入 $100 \text{ d} \cdot \text{time}$ 和 $1000 \text{ d} \cdot \text{time}$; 构件手臂与肩处添加驱动函数 $10 \text{ d} \cdot \sin(180 \text{ d} \cdot \text{time} + 90 \text{ d})$; 在手臂与末端执行器之间添加的驱动函数为 $-10 \text{ d} \cdot \sin(180 \text{ d} \cdot \text{time} - 90 \text{ d})$ 。

完成了上面一系列工作之后, 就建立好了该焊接机器人的刚性体模型, 如图 4 所示。



a) 几何模型图



b) 刚性手臂动态仿真过程

图4 焊接机器人刚性体模型

Fig. 4 Rigid model of the welding robot

5) 柔性体建模。本文主要研究焊接过程中柔性体结构对机器人系统运动精度产生的影响, 所以还需要进行柔性体建模。在 ADAMS 中完成柔性体建模有 3 种方法: a. 将离散后的刚性构件之间采用柔性梁连接; b. 直接读取由其它有限元分析软件得到的模态中性文件 MNF (modal neutral file); c. 在 ADAMS 软件中利用 ADAMS/AutoFlex 模块, 直接用柔性体替代刚性体。

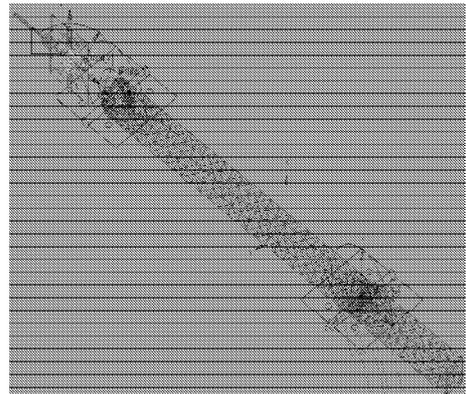
本文采用 Flexible Bodies >>Rigid To Flex 方法, 直接建立柔性体手臂, 完成刚柔耦合模型的创建, 在对应的地方添加相应的约束, 完成柔性体建模后的动态仿真图如图 5 所示。

3 仿真分析

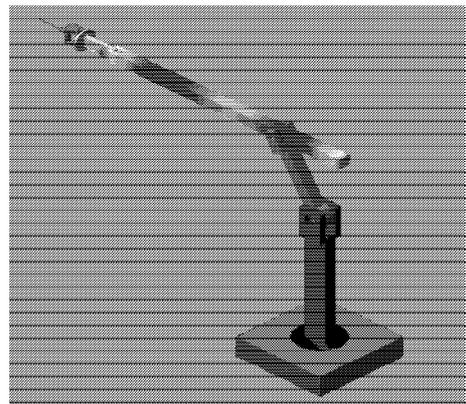
机械动力学分析软件 ADAMS 在仿真分析完成后, 可以自动产生仿真结果输出。在后处理模块 (postprocess) 中, 虚拟样机模型上各个构件、运动

副部位的速度、位移、加速度、力矩等数据曲线都可以在软件系统内经过计算处理而得到。

为了分析柔性构件对机器人系统运动精度的影响, 就需要对柔性响应进行相应求解。首先利用 ADAMS 进行刚性体模型与刚柔耦合模型的动态响应求解, 再利用二者之差求得误差曲线。令机器人转动的角速度分别为 $\omega_1=100 (^{\circ})/s$, $\omega_2=1\ 000 (^{\circ})/s$, 末端执行器 (机械手) 的柔性位移变化曲线如图 6 所示。



a) 有限元网格



b) 柔性手臂动态仿真过程

图5 刚柔耦合模型

Fig. 5 Rigid-flex coupling model

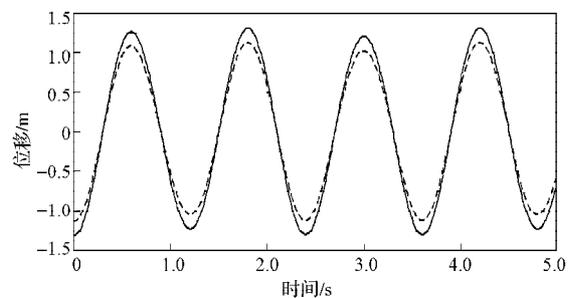


图6 机械手的柔性位移曲线

Fig. 6 Flexible displacement of robot arm

从图 6 可以看出, 在 1 个工作周期内, 当角速度不同时, 机械手的柔性位移将发生变化。当角速度

为 $100 (^{\circ})/s$ 时, 机械手末端位置(图中虚线所示)的最大位移为 1.1365 m ; 当角速度为 $1000 (^{\circ})/s$ 时, 机械手末端位置(图中实线所示)的最大位移是 1.1545 m : 即机械手末端位移幅度增大了 18 mm 。

当机器人转动的角速度分别为 $\omega_1=100 (^{\circ})/s$, $\omega_2=1000 (^{\circ})/s$ 时, 机械手的柔性加速度变化曲线如图 7 所示。

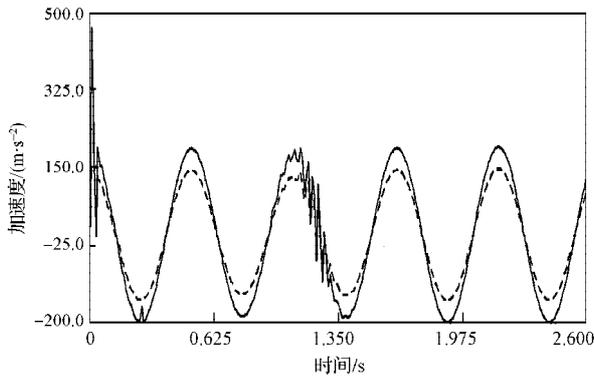


图7 机械手的柔性加速度曲线

Fig. 7 Flexible acceleration of robot arm

从图 7 可以看出, 在 1 个工作周期内, 当角速度不同时, 机械手的柔性加速度发生了较大变化。选择 Plot tracking 命令, 可以得到最大值、平均值以及均方根值等。当角速度为 $100 (^{\circ})/s$ 时, 机械手的加速度在 0.08 s 达到最大值 153.035 m/s^2 (图中虚线所示); 而当角速度增大到 $1000 (^{\circ})/s$ 时, 机械手的加速度在 0.03 s 即达到最大值 479.616 m/s^2 (图中实线所示), 约增至 3.2 倍。可以推想, 随着角速度的继续增大, 柔性体手臂将会导致更大的柔性加速度, 这肯定会降低系统的运动精度; 另外, 在工作过程中, 焊接机器人末端执行器发生了振动现象, 且随着角速度增大, 柔性手臂引起的振动会更强烈, 这将影响其正常工作及使用寿命。

4 结语

在对机器人操作要求高效、精密和高速的系统中, 当进行机械产品设计时, 一定要考虑到柔性构件对系统运动精度的影响。本文利用 ADAMS 软件, 以焊接机器人为例, 对机器人从刚性体手臂至柔性体手臂进行了建模, 并对其进行了动力学仿真。结果表明, 仿真构建的柔性手臂对机器人末端执行器的运动过程以及整个机器人系统的运动精度均产生了较大影响, 这为机器人的优化设计提供了一定的参考依据。

参考文献:

- [1] 刘水利, 薛力猛, 毛清华, 等. 基于 ADAMS 的液压支架焊接机器人动力学仿真分析[J]. 煤矿机械, 2009, 30(8): 85-87.
Liu Shuili, Xue Limeng, Mao Qinghua, et al. Simulation Analysis of Powered Support Welding Robot Based on ADAMS[J]. Coal Mine Machinery, 2009, 30(8): 85-87.
- [2] 李颖, 辛洪兵, 赵东洋, 等. MOTOMAN-HP3 型机器人运动学建模[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2009, 27(2): 20-24.
Li Ying, Xin Hongbing, Zhao Dongyang, et al. Kinematics Modeling for MOTOMAN-HP3[J]. Journal of Beijing Technology and Business University: Natural Science Edition, 2009, 27(2): 20-24.
- [3] 李粤, 张永波. 虚拟样机技术的内涵及其在机械产品开发中的实现[J]. 华南热带农业大学学报, 2006, 12(1): 65-68.
Li Yue, Zhang Yongbo. Virtual Prototype Technology: Connotation and Realization in Development of Machinery Products[J]. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 2006, 12(1): 65-68.
- [4] 席俊杰. 虚拟样机技术的发展及应用[J]. 制造业自动化, 2006, 28(11): 19-21.
Xi Junjie. Development and Application of Virtual Prototyping Technology[J]. Manufacturing Automation, 2006, 28(11): 19-21.
- [5] 杜平安, 于德江, 岳萍. 虚拟样机技术的技术与方法体系研究[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(15): 3447-3451.
Du Ping'an, Yu Dejiang, Yue Ping. Research on Technology and Methodology Architecture of Virtual Prototyping Technology[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(15): 3447-3451.
- [6] 王斌锐, 金英连, 徐心和, 等. 仿生膝关节虚拟样机与协同仿真方法研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(6): 1554-1557.
Wang Binrui, Jin Yinglian, Xu Xinhe, et al. Virtual Prototype and Collaborative Simulation of Bionic Knee Joint[J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(6): 1554-1557.
- [7] 郭柏林, 胡正义. 基于 ADAMS 的搬运机械手轨迹规划与仿真[J]. 湖北工业大学学报, 2007, 22(4): 37-39.
Guo Bailin, Hu Zhengyi. The Trajectory Planning & Simulation of the Handling Manipulator Based on ADAMS[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2007, 22(4): 37-39.

(责任编辑: 李玉珍)