

包装机械

基于 ADAMS 和 Ansys Workbench 的机器人固定支架优化设计

许哲, 杨帅, 牟晓华, 王董测
(上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: **目的** 通过有限元分析和优化设计 2 种现代机械零部件设计的主要途径, 来改善已研究的工业机械零件的强度、质量等。**方法** 通过在三维软件中建立机器人转动关节固定支架的三维模型, 应用 ADAMS 仿真软件进行动态仿真, 得出支架在关节转动状态下的受力分析, 然后根据分析的数据结果在 Ansys Workbench 下进行受力分析和优化设计。**结果** 固定支架的自身质量减少了 21.7%, 但整体强度加强了。**结论** 此方法优化效果良好, 可以明显改善机械零部件结构的质量和强度等。

关键词: 有限元分析; 优化设计; 受力分析; 固定支架; ADAMS; Ansys Workbench

中图分类号: TB486⁺.3; TH122 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)21-0157-05

Optimal Design of Fixed Support for Robot Based on ADAMS and Ansys Workbench

XU Zhe, YANG Shuai, MOU Xiao-hua, WANG Dong-ce

(Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the strength and weight, etc. of the studied industrial mechanical parts through such two main methods as finite element analysis and optimal design used to design modern mechanical components and parts. By building the 3D model of rotary joint fixed support for robot based on 3D software and carrying out dynamic simulation with ADAMS simulation software, the stress analysis of the support under the condition of the rotary joint was obtained. Then stress analysis and optimal design were conducted in the Ansys Workbench according to the data results analyzed. The weight of the fixed support decreased by 21.7%, and the overall strength was enhanced. The optimization method works well and it can significantly improve the weight and strength of the structures of mechanical components and parts.

KEY WORDS: finite element analysis; optimal design; stress analysis; fixed support; ADAMS; Ansys Workbench

近年来, 随着我国机械工业的不断发展, 对于机械装备的要求也随之更加严谨, 尤其对于追求经济、稳定、效率的包装机械尤为重要。对于包装机械结构方面一些复杂的零部件很难像之前一样采用经验设计、类比设计的方法确定结构布置方案, 利用经验公式进行详细且准确的强度分析计算相对而言比较困难, 故生产实际中很容易造成尺寸的

过度加大, 从而造成材料的浪费, 甚至有些时候设计的结构强度不够, 造成产品的不合格, 最终损害生产效益。尤其是对于分析在产生位移或旋转的状态下的受力, 按照以往的设计方法是很难实现的, 因此, 通过 ADAMS 工程软件可以解决零部件在整个装备运动状态下的受力分析难题, 从而摒弃了以往人们只是简单的将负载质量(其大小和方向都是

收稿日期: 2016-01-20

基金项目: 上海市“联盟计划”基金(D-8005-14-0115)

作者简介: 许哲(1970—), 男, 吉林安图人, 博士, 上海海洋大学副教授, 主要研究方向为机电一体化。

不准确的)附加于零件上来进行静力分析的做法,再加上 Ansys Workbench 工程软件的结构优化设计模块,最终将得到更加精确的最优设计方案^[1-8]。

1 参数化建模

鉴于 Ansys Workbench 与 ADAMS 在三维建模方面的缺陷,文中采用 SolidWorks 建立固定支架及 ADAMS 仿真时所需装配体的三维模型(Pro/E, UG 等均可),固定支架的三维模型见图 1,主要包含侧板、加强肋和底板三部分,其中还有 6 个替代螺纹孔用于约束的圆孔。另外,电机的安装位螺钉固定孔未在模型中体现,因为通过对比分析发现其对文中的最终分析结果并未有太大影响,几乎可以忽略不计,而且忽略后可以大大减少后期分析工作的复杂程度。

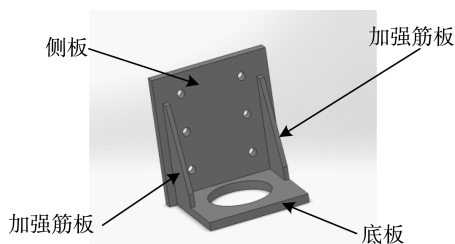


图 1 固定支架三维模型

Fig.1 The three-dimensional model of fixed support

为了后期在 Ansys Workbench 中进行的结构参数优化设计,定义侧板厚度参数为 DS_D1、底板厚度参数为 DS_D2 和加强肋宽度参数为 DS_D3。根据对称性,两侧加强肋的外形及宽度均相同。

2 固定支架的动态受力分析^[4-8]

利用三维建模软件 SolidWorks 建立分析所需的机器人旋转关节的装配模型(其固定支架载荷质量初步测定为 8.44 kg,材质暂设为不锈钢,装配后尺寸为 265 mm×150 mm×509 mm,并将文件存为 Parasolid 格式,扩展名为*.X_T 类型的文件。然后将保存的*.X_T 类型文件导入 ADAMS 中,并建立好各零件之间的约束关系,见图 2。

将上述仿真模型中的刚性体固定支架替换为通过 Ansys Workbench 柔性化处理后的三维模型,导入之前已分别将侧板上用于固定作用的 6 个通孔和底板上用作支撑作用的接触面设置为刚性体

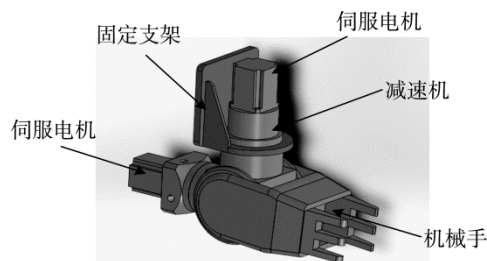


图 2 旋转关节仿真模型

Fig.2 The simulation model of the rotating joint

与柔性体的连接区域,并设连接节点为 NOTE1 和 NOTE2。在 ADAMS 中将 NOTE2 与关节模型建立固定约束 JOINT6,运动仿真完成后得出受力曲线,见图 3。

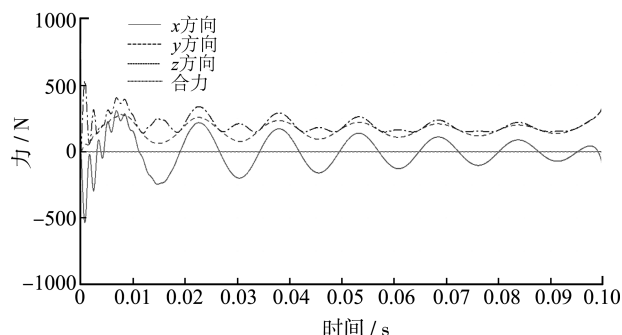


图 3 JOINT6 的受力分析曲线

Fig.3 The force analysis curve of JOINT6

从 JOINT6 的受力分析曲线上可以看出固定支架所承受的负载并不是稳定的,且最高值远大于关节自身的质量,同时空间受力方向并非平行于 y 方向。由于后续 Ansys Workbench 中的优化分析需要得到 ADAMS 中准确的受力大小及方向,因此,需要导出 NOTE2 受力最大的某时刻分析数据文件。

3 建立有限元模型并进行静力分析^[9-13]

建立有限元模型即给建好的固定支架三维模型添加材料属性并进行网格划分。

1) 材料参数设置。将固定支架的三维模型导入 Ansys Workbench 软件后,首先定义其材料属性,包括密度、泊松比、弹性模量等。文中对固定支架所添加的材料是结构钢,其材料的具体参数:密度为 7850 kg/m³,弹性模量为 200 GPa,泊松比为 0.3,屈服强度为 345 MPa。

2) 有限元模型。固定支架采用 Ansys Workbench 中的自由网格划分法,可以对局部进行网格细化,以保证计算结果的准确性。固定支架的有限

元网格划分见图 4a, 共有个 6547 单元和 12 359 个节点。

3) 加载与求解。在静力分析之前根据固定支架的使用条件, 对侧板的 6 个螺纹孔进行固定, 参照 ADAMS 导出的 FEA-loads 文件对受力面施加载荷或直接以 APDL 语言的形式加载到 Static Structural 模块中, 然后对固定支架总变形和总应力进行求解, 得出结果见图 4, 最大变形为 0.013 558 mm, 最大应力为 7.1682 MPa。

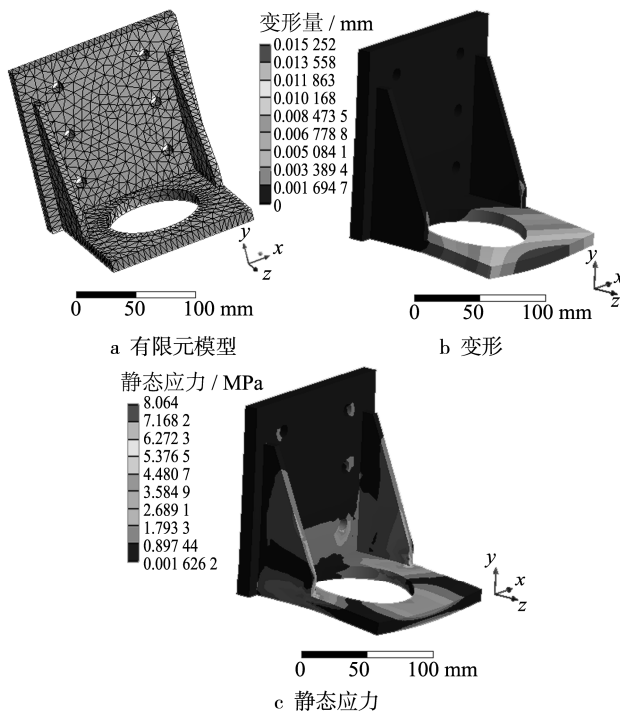


图 4 固定支架的有限元模型与静力分析

Fig.4 Finite element model and static analysis of the fixed support

4 拓扑优化设计^[14—15]

通过分析前面固定支架变形图和静态应力图发现在拓扑优化中设置质量减小 20% 的优化条件相对比较合适 (20% 只是根据个人分析得出的参考值), 并以此比例对固定支架进行形状拓扑优化, 图 5a 为拓扑优化结果, 图 5a 中颜色较深部分表示可切除区域, 颜色较浅部分表示不重要的部分, 可以根据需要进行切除或保留, 灰色表示保留部分。对结构形状进行修改时, 不一定完全与优化结果一致, 可根据实际情况而定。文中针对拓扑优化结果对固定支架模型的外形进行修改, 修改后的模型见图 5b, 对其施加相同的约束和载荷条件, 计算最大变形为 0.011 717 mm, 最大应力为 11.552 MPa。

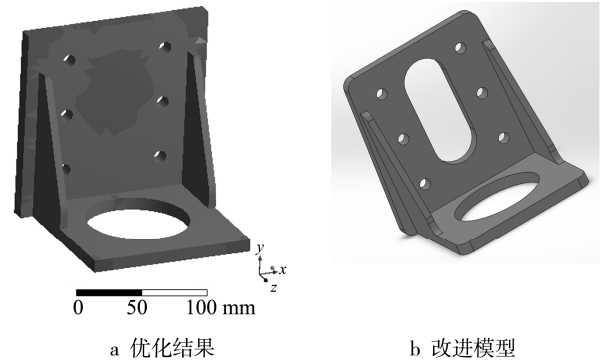


图 5 拓扑优化结果与改进的模型

Fig.5 Optimal result and model of topology optimization

5 多目标优化求解

应用 Ansys Workbench 中的 Response Surface 模块进行优化分析时需要先定义有限元模型、设计变量、目标函数、约束条件、设计变量初值和优化数学模型, 才能得出优化设计计算结果, 分析之后确定最后的设计尺寸。

1) 有限元模型。将拓扑优化后的模型导入 Ansys Workbench 中自动进行网格划分, 采用正六面体占优的网格类型, 单元尺寸为 5 mm, 划分后的模型共有 6042 个单元格和 11 656 个节点。

2) 设计变量。取 3 个设计变量, 即: $x=[D_1 D_2 D_3]$ 。式中: D_1 为侧板厚度; D_2 为底板厚度; D_3 为加强肋的宽度。

3) 目标函数。将固定支架的质量作为目标函数, 可以表示为 $F(x)=\sum_{j=1}^{n_e} m_j^e$ 。式中: n_e 为全部单元个数, m_j^e 为第 j 个单元的质量。

4) 约束条件。在性能约束条件中, 取许用应力为 345 MPa (材料的屈服应力)。许用位移为空间的位移不大于 0.01 mm。性能约束条件为: $\sigma_{\max} \leq \sigma_s = 345 \text{ MPa}$, $\delta_{\max} \leq \delta = 0.01 \text{ mm}$; 设计变量上、下约束: $8 \text{ mm} \leq D_1 \leq 14 \text{ mm}$, $9 \text{ mm} \leq D_2 \leq 15 \text{ mm}$, $4 \text{ mm} \leq D_3 \leq 10 \text{ mm}$ 。

5) 设计变量初值 (mm): $x=[12 \ 10 \ 6]$, 结构的初始质量为 3.19 kg。

6) 优化数学模型。求设计变量 $x=[D_1 D_2 D_3]$, $\min F(x)=\sum_{j=1}^{n_e} m_j^e$ 满足如下约束条件: $\sigma_{\max} \leq 345 \text{ MPa}$, $\delta_{\max} \leq 0.01 \text{ mm}$, $8 \text{ mm} \leq D_1 \leq 14 \text{ mm}$, $9 \text{ mm} \leq D_2 \leq 15 \text{ mm}$, $4 \text{ mm} \leq D_3 \leq 10 \text{ mm}$ 。

7) 优化结果。Ansys Workbench 在各参数范围内选择足够数量的测量点进行组合生成设计点, 经过 16 次优化迭代, 得到了表 1 的优化设计计算结果。同时计算完成后, 得到各输入点及各输出点拟合构造响应曲线或者响应面。优化方案即根据目标函数从响应曲线或响应曲面上确定最优条件或最优区域。图 6 分别是固定支架的最大变形量、等效应力最大值及模型总质量的关键性响应曲面。

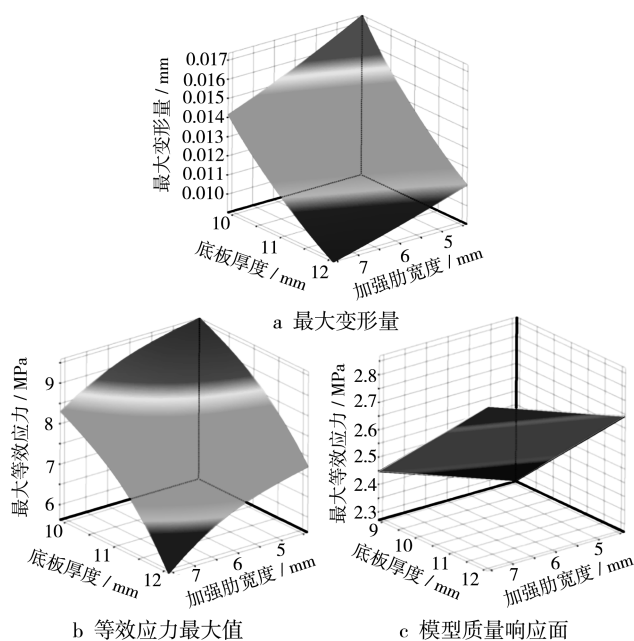


图 6 响应曲面

Fig.6 response surface

结合表 1 数据及图 6a, b 响应曲面, 综合考虑

零件实际加工 (采用焊接成型) 及材料参数, 将各设计点进行圆整, 最终确定优化设计结果为: $D_1=9$ mm, $D_2=12$ mm, $D_3=7$ mm。

表 1 优化设计计算结果

Tab.1 The results of optimization design

	D_1 /mm	D_2 /mm	D_3 /mm	$\sigma_{\max}$ /MPa	$\delta_{\max}$ /mm	质量/kg
1	10.5	11	6	7.9587	0.012 306	2.57
2	8.9	11	6	9.0709	0.012 554	2.3589
3	12.1	11	6	8.0346	0.012 158	2.781
4	10.5	9.9	6	9.1981	0.015 638	2.4899
5	10.5	12.1	6	7.1606	0.010 001	2.6501
6	10.5	11	4.4	8.5522	0.013 668	2.4815
7	10.5	11	7.6	7.6414	0.011 167	2.6585
8	9.1991	10.106	4.6991	9.702	0.016 426	2.2604
9	11.801	10.106	4.6991	9.5972	0.016 021	2.6036
10	9.1991	11.894	4.6991	7.2336	0.011 485	2.3925
11	11.801	11.894	4.6991	7.2876	0.011 086	2.7357
12	9.1991	10.106	7.3009	8.1803	0.013 911	2.4061
13	11.801	10.106	7.3009	8.0778	0.013 602	2.7493
14	9.1991	11.894	7.3009	6.1789	0.009 710 4	2.5346
15	11.801	11.894	7.3009	6.507	0.009 434 5	2.8778

将最终优化设计的模型进行有限元静力分析, 对其施加相同的约束和载荷条件, 计算最大变形为 $0.008\ 656\ 9\ \text{mm} \leq \delta$, 最大应力为 $5.5398\ \text{MPa} \leq \sigma_s$, 变形和应力均满足设计要求。同时考虑到采用焊接成型工艺, 需要校核焊缝是否符合强度标准, 文中按照母材强度 0.8 倍的标准, 得出焊缝的屈服强度为 276 MPa, 设计强度仍符合要求。优化前后结构参数的变化见表 2。

表 2 固定支架优化前后参数对比

Tab.2 Comparison of parameters before and after optimization of fixed support

	最大变形/mm	最大应力/MPa	侧板厚度/mm	底板厚度/mm	加强肋宽度/mm	质量/kg
优化前	0.013 558	7.1682	12	10	6	3.1932
拓扑优化后	0.011 717	11.552	12	10	6	2.6989
参数优化后	0.008 657	5.5398	9	12	7	2.4995

6 结语

通过发挥 ADAMS 与 Ansys Workbench 的特长, 解决了以往优化结构施加不准确载荷的问题, 同时优化的方法使得结构无论在变形、应力还是质量方面均变得更优。在完全符合使用条件的前提下, 固定支架的质量减少了 21.7%, 优化效果良好。

参考文献:

- [1] 梅菊, 黄松和, 李超军. 基于 ADAMS 与 Ansys 的凸轮连杆长摆臂系统的刚柔耦合分析[J]. 包装工程, 2016, 37(7): 103—106.
MEI Ju, HUANG Song-he, LI Chao-jun. Annalysis of Rigid-flexible Couping CAM system with Long Swing Rod Based on Ansys and ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2009, 2016, 37(7): 103—106.

- [2] 雄楚良, 黄松和, 朱鹏飞. 码垛机器人刚柔耦合动力学仿真分析[J]. 包装工程, 2015, 36(19): 84—88.
XIONG Chu-liang, HUANG Song-he, ZHU Peng-fei. Rigid-flexible Coupling Dynamics Simulation Analysis of Palletizing Robot[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19): 84—88.
- [3] 梅江平, 曹家鑫, 张新, 等. 采用 SOLIDWORKS 的高速重载码垛机器人的静力学分析和结构优化[J]. 现代制造工程, 2012(10): 18—22.
MEI Jiang-ping, CAO Jia-xin, ZHANG Xin, et al. Static analysis and structure optimization of the High-speed Heavy-load Palletizing Robot Based on Solidworks[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2012(10): 18—22.
- [4] 孙祥溪, 罗庆生, 苏晓东. 工业码垛机器人运动学仿真[J]. 计算机仿真, 2013, 30(3): 303—306.
SUN Xiang-xi, LUO Qing-sheng, SU Xiao-dong. Kinematics Simulation of Industrial Palletizing Robot[J]. Computer Simulation, 2013, 30(3): 303—306.
- [5] 原永亮, 杨臻, 王圣辉. 基于 ADAMS 翻转机构的优化设计[J]. 包装工程, 2014, 35(11): 71—74.
YUAN Yong-liang, YANG Zhen, WANG Sheng-hui. Optimized Design for Turnover Mechanism Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 71—74.
- [6] 尹恩强, 李士才, 张新昌. 新型纸浆模塑通用平托盘的结构与性能研究[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 10—11.
YIN En-qiang, LI Shi-cai, ZHANG Xin-chang. Research on Structure and Capability of New Molded Pulp Tray[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(8): 10—11.
- [7] 张永德, 汪洋涛, 王沫楠, 等. 基于 ANSYS 与 ADAMS 的柔性体联合仿真[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(17): 4501—4504.
ZHANG Yong-de, WANG Yang-tao, WANG Mo-nan, et al. Co-simulation of Flexible Body Based on ANSYS and ADAMS[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(17): 4501—4504.
- [8] 韩凌, 刘英, 张晓. 包装机抱合机构参数分析与综合动态优化[J]. 包装工程, 2015, 36(13): 74—79.
HAN Ling, LIU Ying, ZHANG Xiao. Parameter Analysis and Dynamic Comprehensive Optimization for Packaging Proper Linkage of Packing Machine[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(13): 74—79.
- [9] 张新昌, 潘梦洁, 林冬鸣. 基于 ANSYS 模拟分析的纸浆模塑单元结构参数研究[J]. 包装工程, 2007, 28(9): 11—13.
ZHANG Xin-chang, PAN Meng-jie, LIN Dong-ming. Research on Structural Parameters of Molded Pulp Unit Using ANSYS Simulation[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(9): 11—13.
- [10] 刘俊, 林砺宗, 刘小平, 等. ADAMS 柔性体运动仿真分析研究及运用[J]. 现代制造工程, 2004(5): 53—55.
LIU Jun, LIN Li-zong, LIU Xiao-ping, et al. Study and Application of ADAMS Flexible Body Kinetic Simulation[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2004(5): 53—55.
- [11] 于殿勇, 钱玉进. 基于 ADAMS 动力学仿真参数设置的研究[J]. 计算机仿真, 2006, 23(9): 103—107.
YU Dian-yong, QIAN Yu-jin. Parameter-Settings for the Dynamic Simulation Based on ADAMS[J]. Computer Simulation, 2006, 23(9): 103—107.
- [12] 赵希芳. Adams 中的柔性体分析研究[J]. 电子机械工程, 2006, 22(3): 62—64.
ZHAO Xi-fang. A Study on Flexible Body Using ADAMS[J]. Electro-Mechanical Engineering, 2006, 22(3): 62—64.
- [13] 赵凡, 设宏伟, 王怀文, 等. 纸浆模塑托盘构型三维设计及支腿结构 CAE 分析[J]. 包装工程, 2013, 34(7): 13—16.
ZHAO Fan, JI Hong-wei, WANG Huai-wen, et al. Three-dimension Design for the Molded Pulp Pallet and CAE Analysis of the Outrigger Unit[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(7): 13—16.
- [14] 刘锦阳, 洪嘉振. 刚-柔耦合动力学系统的建模理论研究[J]. 力学学报, 2002, 34(3): 408—414.
LIU Jin-yang, HONG Jia-zhen. Research on Modeling Theory of Rigid Flexible Coupling Dynamic System[J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2002, 34(3): 408—414.
- [15] 查太东, 杨萍. 基于 ANSYS Workbench 的固定支架优化设计[J]. 煤矿机械, 2012, 33(2): 28—30.
CHA Tai-dong, YANG Ping. Optimization Design of Fixed Support Based on Ansys Workbench[J]. Coal Mine Machinery, 2012, 33(2): 28—30.