关节型码垛机器人操作臂静态分析与优化

王浦全，何庆中，张 明，王志鹏，郭 帅
（四川理工学院，自贡 643000）

摘要：运用 Inventor 软件创建了码垛机器人操作后臂的三维模型，再将此模型导入 ABAQUS 中进行有限元静力学的分析。通过分析验证了 2 种软件接口问题和计算方法、步骤的正确性，并且通过分析发现了操作后臂所存在的安全性问题，并针对此问题对模型进行了优化设计和校核，结果表明优化后的结果满足要求。

关键词：Inventor；ABAQUS；操作后臂；静态分析
中图分类号：TP242　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2013)23-0077-03

Static Analysis and Optimization of Polyarticular Palletizing Robots

WANG Pu-quan, *HE Qing-zhong*, *ZHANG Ming*, *WANG Zhi-peng*, *GUO Shuai*
(Sichuan University of Science and Engineering, Zigong 64300, China)

Abstract: Three-dimensional model of palletizing robot´s operation rear arm was created using Inventor software, and the model was imported to ABAQUS finite element software for statics analysis. Two software interface issues, the correctness of the calculation method, and the analyzing steps were verified. From the analysis, the security issues in the operation rear arm were found. Optimal design was carried out on the model and verification was carried out. The result showed that the optimization meets the requirements.

Key words: inventor; ABAQUS; operation rear arm; static analysis

随着工业化的发展，工业机器人已经广泛用于各种生产领域，工业机器人代替人们完成了焊接、喷涂、搬运等工作[1]。码垛是物流自动化技术领域的一门新兴技术，码垛要求将袋状、箱体等对象按照一定模式和次序码放在托盘上，以便实现物料的搬运、存储、装卸、运输等物流活动，现代化码垛技术常用于食品饮料、化工、煤炭等大批量生产的场合[2]。文中所研究的码垛机器人就是在自动化生产线上，对白酒包装箱进行搬运码垛的工业机器人。针对其操作臂进行有限元分析，目的在于保证机器人工作的安全性和稳定性。笔者首先利用 Inventor 对码垛机器人的操作后大臂进行三维建模，再将模型导入至 ABAQUS 中进行静力学分析并优化。该研究所提供的分析优化方法可对从事该行业的工作人员有一定的借鉴作用[3-4]。

1　机器人的结构及工作原理

该码垛机器人采用平行四边形结构，该结构紧凑、稳定性好、承载能力大[5]，见图 1。具体操作步骤：末端执行器抓取酒箱→臂部抬起→底座转动→臂

图 1　机器人结构
Fig. 1 The robot overall structure

收稿日期：2013-06-07
基金项目：自贡市科技局科技计划研究项目(2010Q03)；泸州老窖科研基金项目(091jzk08)；四川理工学院科研基金重点培育项目(2012PY08)

作者简介：王浦全(1989-)，男，湖北赤壁人，四川理工学院硕士生，主攻机械结构优化及有限元分析。

部放下→末端执行器松开，见图 2。

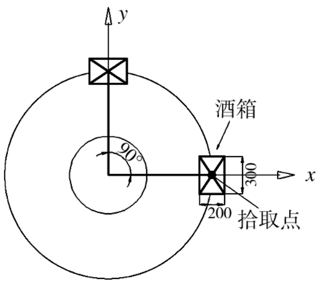

图 2　工作原理

Fig. 2 Working principle diagram

2　操作后臂的结构与受力分析

为了使码垛机器人轻量化，其操作臂均采用铝合金材料，并为空心薄壁杆件。码垛机器人操作后臂的结构受力见图 3。图 3 中 F_1 是码垛机器人在做整体回转运动时的惯性力，根据对机器人的整体结构进行受力分析[6]，取 $F_1=330$ N。F_2 和 F_3 是码垛机器人通过前臂传递过来的力，取 $F_2=0$，$F_3=600$ N。

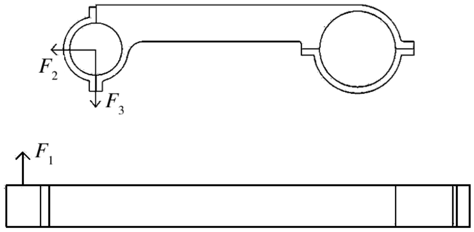

图 3　操作后臂的受力分析

Fig. 3 Force diagram of the rear operation arm

操作后臂的位移条件为零。铝合金材料的弹性模量为 70 GPa，泊松比为 0.3，密度为 2.7×10^{-6} kg/mm^3。

3　操作后臂的静力学分析[7]

利用 Inventor 建立操作后臂的三维模型并保存为“.sat”文件，再将该文件导入 ABAQUS 中。根据上述的边界条件，得到操作后臂的应力应变，结果见图 4-5。

由应变分析可知最大变形为 0.4864 mm，一般变形应控制在 0.2 mm 以内，所以该变形超出了所允许的变形范围。

通过查询材料手册知道铝合金的屈服强度为 195

图 4　操作后臂应力云图

Fig. 4 Stress nephogram of the rear operation arm

图 5　操作后臂应变云图

Fig. 5 Strain nephogram of the rear operation arm

MPa，抗拉强度为 175 MPa。根据 ABAQUS 的分析结果得到 3 个方向的最大和最小应力见表 1。

表 1　操作后臂的受力情况

Tab. 1 Stress distribution of the operation rear arm

名称	最大应力/MPa	最小应力/MPa
x 向	2.081	-5.749
y 向	11.91	-18.04
z 向	1.187	-2.09

取安全系数 $n=1.5$，所以$[\sigma]=130$ MPa，而最大变形应力为 11.91 MPa，由此可以看出后大臂的变形应力在所要求的范围之内，满足材料要求。

4　操作后臂的优化计算

机器人的臂部在发生扭转时，会产生切应力，一般情况下发生在薄壁处，把薄壁当作由许多狭长的矩形截面组成，再将各个截面进行求和[8]。根据切应力的公式可以得到薄壁杆的最大切应力为：

$$\tau_{\max}=\frac{T}{2\Omega\delta_{\min}} \tag{1}$$

式中：Ω 为薄壁截面的中心所围成的面积；T 为外载产生的扭矩；$\delta_{\min}$ 为最小壁厚。若把一个外力偶 M 作用到臂部的截面杆上，则所产生的切应力为：

$$\tau=\frac{T}{2hb\delta} \tag{2}$$

式中：h 为截面长度；b 为截面宽度；δ 为壁厚。出于对码垛机器人操作后臂的安全考虑，需要对其进行加厚处理，并且要保证臂部截面为矩形且等壁厚，这样会使扭转切应力变小，抗扭性增强。考虑到码垛机器人的受力平衡和在做回转运动的时候会产生一定的惯性切应力，所以又在操作后臂的并排方向加上一个辅助的后臂，以减小惯性力带来的冲击。优化后的模型见图 6。

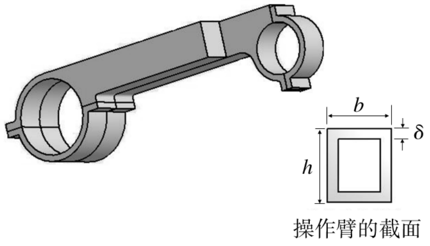

图 6　操作后臂的优化模型及薄壁杆截面

Fig. 6 Optimized model of rear operation arm and cross-section of thin-walled bar

将优化后的模型再次导入 ABAQUS 中得到应力应变结果见图 7–8。

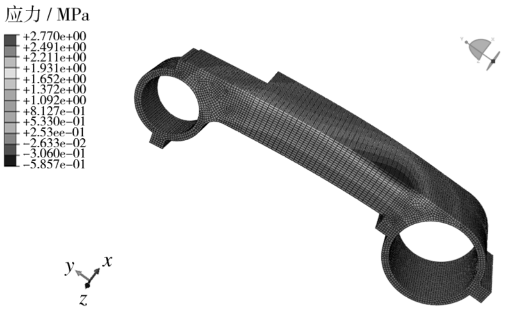

图 7　操作后臂优化应力云图

Fig. 7 Stress nephogram of optimized rear operation arm

根据优化后的结果可以看出，操作后臂的最大变形量为 0. 090 69 mm，变形在范围之内。

根据 ABAQUS 的分析结果，得到操作后臂优化后 3 个方向的最大和最小应力见表 2。

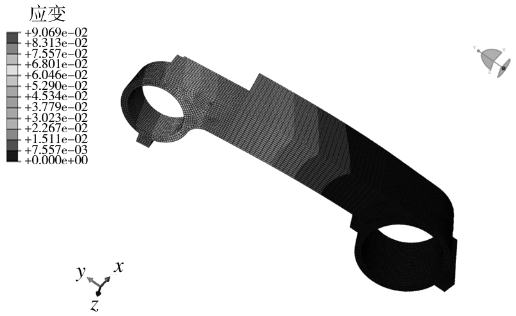

图 8　操作后臂优化应变云图

Fig. 8 Strain nephogram of optimized rear operation arm

表 2　操作后臂优化后的受力情况

Tab. 2 Force distribution of optimized rear operation arm

名称	最大应力/MPa	最小应力/MPa
x 向	0. 5862	-1. 339
y 向	2. 77	-3. 894
z 向	0. 3451	-1. 31

由表 2 可以看出，在操作后臂优化后，各项应变指标均满足了所选材料的要求。

5　结语

利用 Inventor 建立的码垛机器人及其操作后臂的模型，再导入 ABAQUS 中对其进行分析计算。验证了 2 种 CAE 软件之间接口的问题，并且通过静力学的分析计算，发现码垛机器人操作后臂存在结构问题。通过优化，在对操作后臂进行结构上的调整后，再次导入 ABAQUS 中进行分析计算后，使之满足材料的强度要求，从而保证了码垛机器人在工作中的安全性和稳定性[9]。

参考文献：

[1] 朱世强，王宣银. 机器人技术及其应用[M]. 杭州：浙江大学出版社，2000.
ZHU Shi-qiang，WANG Xuan-yin. Robotics Technology and Application [M]. Hangzhou：Zhejiang University Press，2000.

[2] 李晓刚，刘晋浩. 码垛机器人的研究与应用现状、问题及对策[J]. 包装工程，2011，32(3)：96-102.

（下转第 115 页）

vent/Pigment[J]. Information Recording Materials, 2008, 9(3): 3-6.

[7] 胡朝丽,李路海,张小军. 水性蓝色喷印墨水的研制及性能研究[J]. 包装工程,2008,29(10):40-42.
HU Zhao-li, LI Lu-hai, LI Xiao-jun. Preparation and Study of the Water-based Cyan Ink for Ink-jet Printer[J]. Packaging Engineering, 2008, 28(10): 40-42.

[8] 周奕华. 数字印刷[M]. 武汉:武汉大学出版社,2006.
ZHOU Yi-hua. Digital Printing[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2006.

[9] 高少红,魏先福,黄蓓青,等. pH 值对绿色荧光喷墨油墨发光性能的影响[J]. 北京印刷学院学报,2011,19(4):17-19.
GAO Shao-hong, WEI Xian-fu, HUANG Bei-qing, et al. Effect of pH on the Luminescent Properties of the Green Fluorescent Inks for ink-jet Printing[J]. Journal of Beijing Institute of Graphic Communication, 2011, 19(4): 17-19.

[10] 李强林,黄方千,冯西宁. 纺织品中有机紫外吸收剂综述[C]//中国纺织工程学会. 第四届中国(广东)纺织助剂行业年会论文集. 广东:中国纺织工程学会,2012,123-131.
LI Qiang-lin, HUANG Fang-qian, FENG Xi-ning. Review of Organic Ultraviolet Absorber in the Textile[C]//China Textile Auxiliaries Industrial Association. The 4th Annual Technical Conference of China Textile Auxiliaries Industrial Association. Guangdong: China Textile Engineering Society, 2012, 123-131.

[11] 莽佑,李雷,陈立功. 受阻胺类光稳定剂的研究进展[J]. 精细化工,2013,30(4):385-390.
MANG You, LI Lei, CHEN Li-gong. Research on the Development of Hindered Amine Light Stabilizer[J]. Fine Chemicals, 2013, 30(4): 385-390.

[12] 郭振宇,王玉民,宁培森,等. 受阻胺光稳定剂(HALS)在聚合物材料上的应用[J]. 塑料助剂,2011,15(2):18-25.
GUO Zhen-yu, WANG Yu-ming, NING Pei-sen, et al. Application of Hindered Amine Light Stabilizer (HALS) in Polymeric Material[J]. Plastics Additives, 2011, 15(2): 18-25.

(上接第 79 页)

LI Xiao-gang, LIU Jin-hao. Research and Application Situation, Problems and Solutions of Palletizing Robots[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3): 96-102.

[3] 张明,何庆中,郭帅. 酒箱码垛机器人的机构设计与运动仿真分析[J]. 包装工程,2013,34(1):83-87.
ZHANG Ming, HE Qing-zhong, GUO Shuai. Mechanical Design and Motion Simulation Analysis of Liquor Automated Production Line Palletizing Robot[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(1): 83-87.

[4] 王明超,何庆中,赵献丹. 码垛机械手末端执行器挡板静态分析及优化[J]. 制造业自动化,2011(5):22-24.
WANG Ming-chao, HE Qing-zhong, ZHAO Xian-dan. Static Analysis and Optimizating for Left Board of Palletizing Robots[J]. Manufacturing Automation, 2011(5): 22-24.

[5] 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]. 现在制造工程,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.

[6] 李金泉,段冰蕾,南倩. TH50 型码垛机器人动态静力学分析[J]. 北京科技大学学报,2011,30(4) :504-505.
LI Jin-quan, DUAN Bing-lei, NAN Qian. Kincto-static Analysis on a TH50 Type Palletizing Robot[J]. Journal od University os Science and Technology Beijing, 2011, 30(4): 504-505.

[7] 石亦平,周玉蓉. ABAQUS 有限元分析实例详解[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
SHI Yi-ping, ZHOU Yu-rong. The Finite Element Analysis Example Explanation[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2006.

[8] 芮执元,马占义. 铝锭码垛机械手框架的应力分析与优化[J]. 机械设计与制造,2010(5):141-143.
RUI Zhi-yuan, MA Zhan-yi. Stress Analysing and Optimizating to Frame Aluminum Ingot Palletizing Robot[J]. Machinery Design & Manufacture, 2010(5): 141-143.

[9] 张松,乔凤斌,张华德,等. 基于 ANSYS 的搅拌摩擦点焊机器人的有限元分析[J]. 机械传动,2012,36(3):81-83.
ZHANG Song, QIAO Feng-bin, ZHANG Hua-de. Finite Element Analysis of Friction Stir Spot Welding Robot Based on ANSYS[J]. Mechanical Drive, 2012, 36(3): 81-83.