

The Static and Dynamic Characteristics Analysis of Table Sorting Device Ontology

Zhijun Zhou, Zhiguo An, Ling Xue, Chaoyue Gu, Yunfeng Feng, Feng Liu, Kexian Chen

School of Mechatronics & Vehicle Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing
Email: 272027974@qq.com

Received: Apr. 6th, 2017; accepted: Apr. 26th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

The finite element analysis of the sorting device is to simulate the real physical system by means of digital approximation, which can accurately predict the performance of the sorting device and shorten its development cycle. According to the required body structure and performance requirements, the overall design scheme and the structure of the manipulator are established. The stress and displacement cloud charts and static stiffness of the manipulator are analyzed by the turntable sorting device. The top ten-step natural frequency and main vibration type, as well as the displacement curve of a node at the end of the manipulator with the modal change are obtained, which provide the theoretical basis for the further optimization design of the weak dangerous link.

Keywords

Sorting Device, Finite Element, Statics, The Modal Analysis

转台式分拣装置本体静动态特性分析

周志军, 安治国, 薛 令, 谷超越, 冯云峰, 刘 丰, 陈科先

重庆交通大学机电与车辆工程学院, 重庆
Email: 272027974@qq.com

收稿日期: 2017年4月6日; 录用日期: 2017年4月26日; 发布日期: 2017年4月30日

摘 要

分拣装置有限元分析是利用数字近似的方法对其真实物理系统进行模拟, 可以准确预测该分拣装置的性能, 缩短其研发周期。本文根据所需本体结构及性能要求, 确立总体设计方案和机械手结构, 以转台式分拣装置为研究对象, 分析得到机械手的应力、位移云图和静刚度强度情况, 并通过模态分析找到了前

十阶的固有频率和主振型以及机械手臂末端某一节点随模态变化的位移曲线图，为其薄弱危险环节进一步优化设计提供了理论依据。

关键词

分拣装置，有限元，静力学，模态分析

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着各行各业对自动化要求的提高，工业机器人在代替人力做重复繁重劳动或者危险作业中的重要性得到高度重视，而利用有限元数值分析的方法可以有效地进行优化设计，很多学者在这方面也做了大量的研究。孙建香通过对工业垃圾分拣装置中的机械手模型进行仿真模拟，对其重要部件进行有限元分析，并进一步优化设计[1]。纪海峰等使用 ABAQUS 软件对机械手典型零部件进行有限元分析，校核结果得到在最大载荷下所产生的最大应力，为 CAD/CAE 技术在教学用轻型机械手研发中提供了参考依据[2]。董凯瑞等对一种机械手装置通过动态虚拟仿真，改进机械手运动规则，并对其进行空间、应力分析，为其优化设计奠定理论依据[3]。张艺应用有限元分析对微型机械手关键部位进行了力与位移关系、传动比详细的分析，得到影响其参数变化的原因，并验证了整个微型机械手的性能[4]。马睿等通过 ANSYS 有限元分析软件完成对小臂的有限元静态分析，研究了其刚度和强度，有效地验证了设计的可靠性、科学性和合理性，为其优化设计提供理论依据[5]。

本文以转台式分拣装置为研究对象，对其本体结构进行了静动态分析，并找到了薄弱环节，为其优化设计提供了理论依据。

2. 转台式分拣装置本体结构

该转台式分拣装置本体结构大部分采用铝合金材料，其外形尺寸为 911 mm×700 mm×700 mm，垂直运动同步带滑台的有效行程为 500 mm，水平运动同步带滑台的有效行程为 270 mm，机械手采用 2 组 7 齿齿轮啮合结构，最大张角间距为 165 mm，其手爪闭合时整体的最大长宽高为 112 mm×69 mm×60 mm。其本体结构三维模型如图 1 所示。

3. 转台式分拣装置模态分析理论

对于转台式分拣装置，可将其看作是一个多自由度的线性系统。对于一般多自由度的系统而言，任何运动皆可以由其自由振动的模态来合成，有限元的模态分析就是建立模态模型并进行数值分析的过程[6]。在物理坐标系下，描述 N 自由度离散振动系统的运动微分方程为：

$$[M]\{\ddot{X}_{(t)}\} + [C]\{\dot{X}_{(t)}\} + [K]\{X_{(t)}\} = \{F_{(t)}\} \quad (1)$$

式(1)中： $[M]$ ——质量矩阵(对称且正定)， $M \in R^{n \times n}$ ； $[C]$ ——阻尼矩阵， $C \in R^{n \times n}$ ；

$[K]$ ——刚度矩阵(对称且正定或半正定)， $K \in R^{n \times n}$ ； $\{X_{(t)}\}$ 、 $\{\dot{X}_{(t)}\}$ 、 $\{\ddot{X}_{(t)}\}$ —— N 维位移、速度和加速度响应向量； $\{F_{(t)}\}$ —— N 维激振力向量。

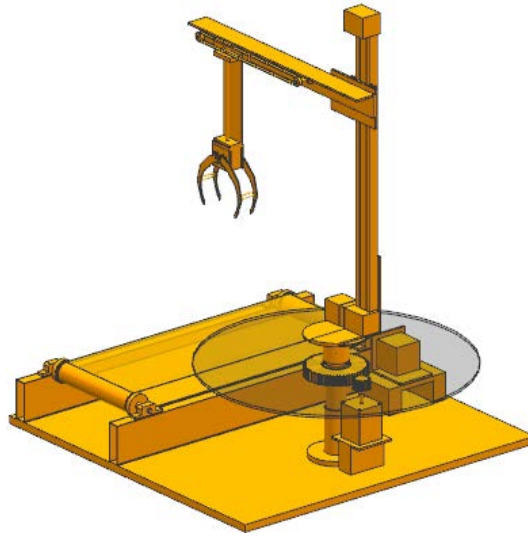


Figure 1. Body structure of turntable sorting device
图 1. 转台分拣装置本体结构

由于结构的阻尼对其模态频率及振型的影响很小，可以忽略不计。因此该线性系统结构模态分析的实质即求解有限个自由度的无阻尼或者无载荷状态下的运动方程的模态矢量。因此，取载荷向量 $\{F_{(t)}\}$ 为 0 值时，得到系统在无阻尼状态下的自由振动方程：

$$[M]\{\ddot{X}_{(t)}\} + [K]\{X_{(t)}\} = 0 \quad (2)$$

方程具有下列简谐运动形式的解：

$$\{X(x, y, z, t)\} = \{\Phi(x, y, z)\} e^{i\omega_n t} \quad (3)$$

式(3)中： $\{\Phi(x, y, z)\}$ ——位移矢量的幅值； ω_n ——简谐运动的角频率。

将(3)式代入(2)式得到：

$$[K - \omega_n^2 M]\{\Phi\} \exp(i\omega_n t) \quad (4)$$

由于式(4)在任意时刻 t 均成立，故去掉含 t 的项，得到：

$$[K - \omega_n^2 M]\{\Phi\} = 0 \quad (5)$$

其中 $\{\Phi\}$ 有非零解的条件是系数行列式值为 0，即：

$$|K - \omega_n^2 M| = 0 \quad (6)$$

式(6)左边即为 ω_n^2 多项式，令 $\lambda = \omega_n^2$ ，可以解出其一组离散根 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$ ，将式(6)代入式(5)得到矢量 $\{\Phi_i\} (i=1, 2, \dots, n)$ ，使得下式成立：

$$[K - \lambda_i M]\{\Phi_i\} = \{0\}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

式(7)中： λ_i ——结构系统的第 i 个特征值； $\{\Phi_i\}$ ——对应的第 i 个特征矢量。

4. 有限元模型的建立

4.1. 有限元网格的划分

综合考虑了该分拣装置的传动精度和效率，对其几何模型结构进行适当简化，忽略传动系统和电机

对该装置本体结构的影响因素，并且去除不必要的倒角、圆角和螺钉安装孔等细小的特征。利用 ABAQUS 有限元分析软件，采用四面体单元对其分拣装置本体结构进行网格划分，得到该装置有限元网格划分模型如图 2 所示。

4.2. 静力学分析参数的确定

建立载荷模型，如图 3 所示，以机械操作手为研究对象，进行受力分析。

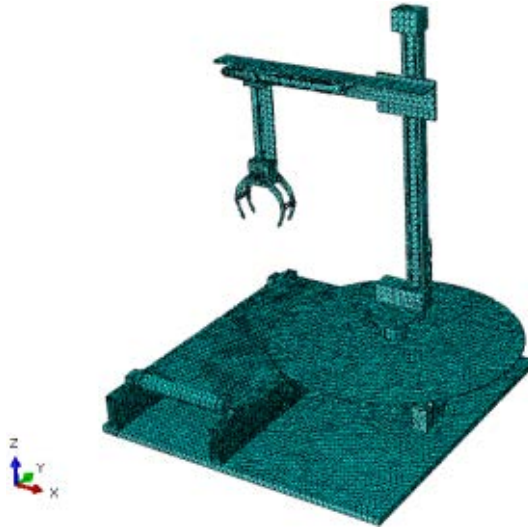


Figure 2. Finite element mesh model of turret sorting device body structure

图 2. 转台分拣装置本体有限元网格模型

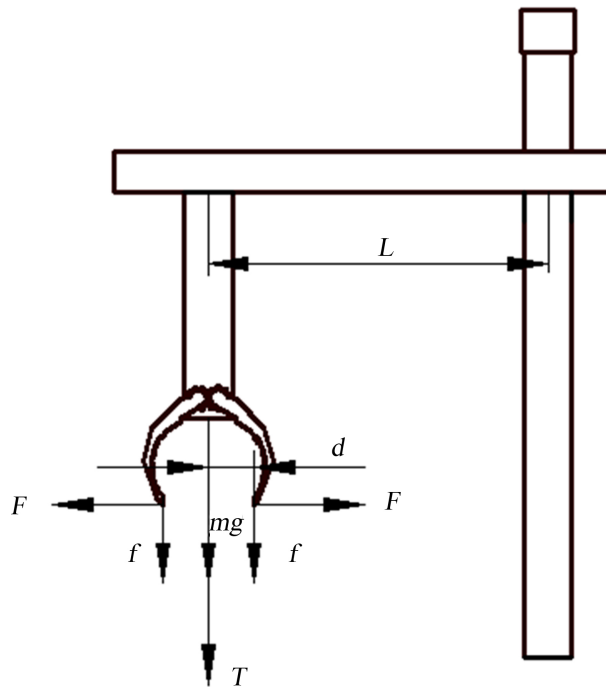


Figure 3. Load force model

图 3. 载荷受力模型

则：

$$F_{\text{机械手}} = T + mg + 2f + 2fd \quad (8)$$

式中： $F_{\text{机械手}}$ ——机械手受力，单位：N； T ——横梁对机械手的转矩，单位：N/m；

mg ——机械臂的质量，单位：N； f ——抓取物对机械手内壁的摩擦力，单位：N； d ——机械手抓取时内壁 1/2 的距离，单位：mm； L ——机械手中心到垂直同步带滑台距离，单位：mm；经测量计算 $d = 23 \text{ mm}$ ， $L = 344 \text{ mm}$ ， $m = 0.896 \text{ kg}$ ， $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ，取摩擦系数 $\mu = 0.03$ ；计算得： $T = mgL = 3.02 \text{ N} \cdot \text{m}$ ， $f = \mu mg = 0.26 \text{ N}$ 。

根据式(8)求得： $F_{\text{机械手}} = 12.33 \text{ N}$ 。

5. 结果与分析

5.1. 静力学分析

针对机械手、机械手臂和水平同步带滑台不同材料属性(钢、ABS)，对机械手臂末端沿 z 轴负方向施加不同载荷(12.33N, 15N, 18N, 20N)，分别在机械手、机械手臂、水平同步带滑台和垂直同步带滑台取某个单元(单元编号分别为：111827、24651、28373、21529)，获得其应力曲线如图 4。

通过比较钢和 ABS 材料对应应力曲线，可知 ABS 的同一单元同一载荷的应力值相对较小，机械结构较稳定。因此在机械手、机械手臂和水平同步带滑台机械材料选取中优先选择 ABS。

其中在机械手臂末端沿 z 轴负方向施加 12.33 N 的载荷中，通过计算得到其静刚度为 $33.28 \times 10^3 \text{ N/mm}$ 。通过有限元静力学分析，得到位移和应力云图如图 5 所示。

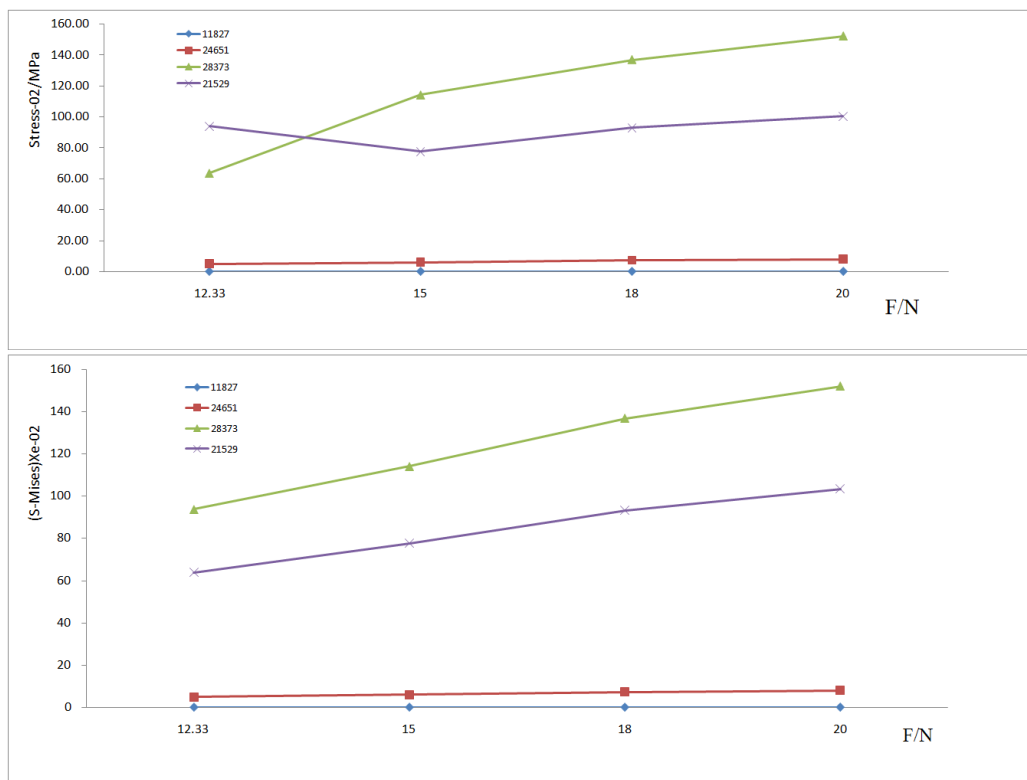


Figure 4. Corresponding steel, ABS material stress curves of robot, mechanical arm and horizontal timing belt slide

图 4. 机械手、机械手臂和水平同步带滑台对应钢、ABS 材料应力曲线

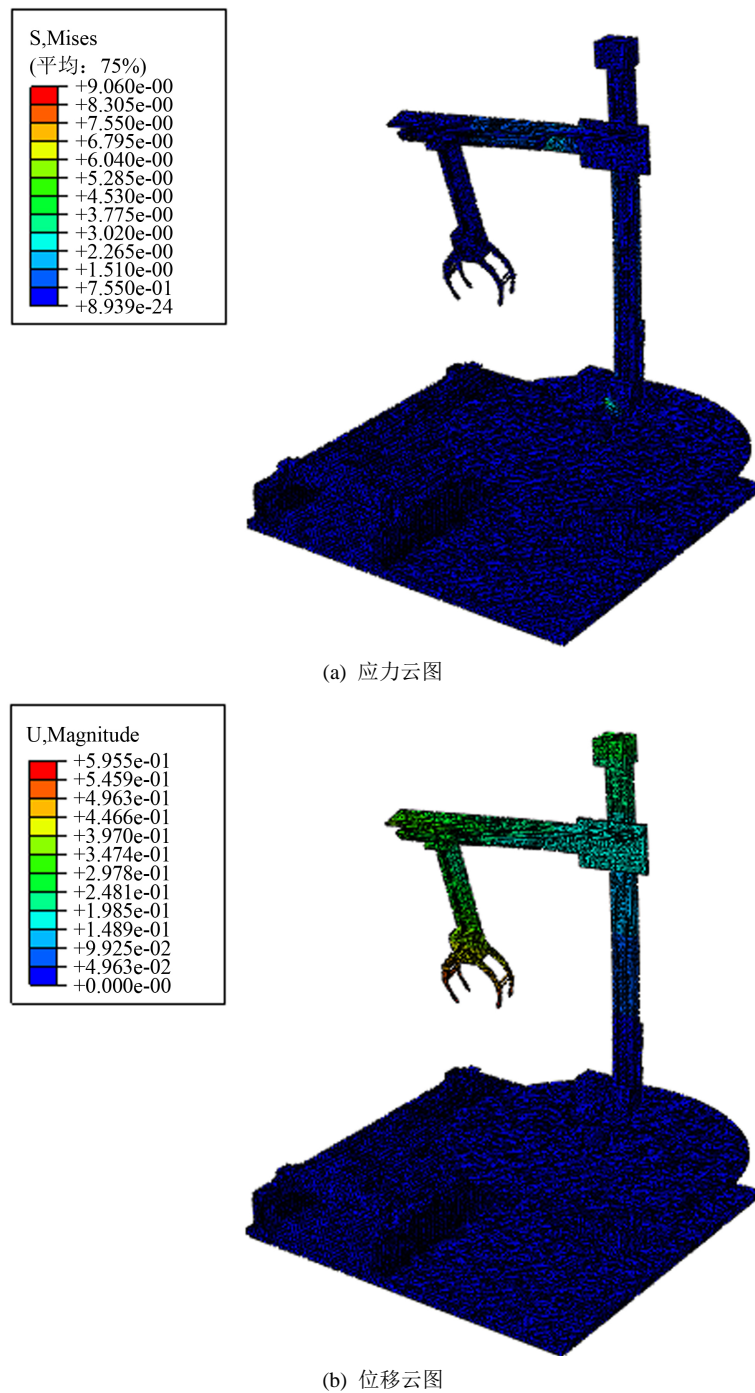


Figure 5. Stress and displacement cloud charts of static analysis
图 5. 静力学分析应力、位移云图

通过图 5 可知，综合位移为 0.5955 mm，最大应力为 9.06 MPa。根据国际标准，ABS 的屈服强度为 50 MPa，表明该转台式分拣装置满足设计要求。

5.2. 模态分析

采用 ABAQUS 中的 Lanczos 求解器，提取了前 10 阶模态频率和主振型，如表 1 所示。

由于篇幅有限，只给出第 1、2、5、6、8、9 阶振型图，如图 6 所示。

通过选取机械手臂末端 101458 节点，绘制了该节点随模态变化的位移曲线，如图 7 所示。

Table 1. The top ten-step vibration table of turntable sorting device
表 1. 转台式分拣装置前十阶振型表

阶数	频率 $\times 10^{-5}$ (cycle/time)	主振型
1	1.4948	机械手臂沿 y 轴正方向弯振
2	1.8630	输送带沿 z 轴正方向振动
3	1.8645	底座和输送带沿 z 轴正方向振动
4	1.9793	垂直同步带滑台沿 y 轴负方向弯振
5	2.5231	垂直同步带滑台沿 y 轴负方向弯振 机械手臂沿 y 轴正方向弯振
6	3.1821	输送带电机座沿 y 轴正方向振动
7	3.5558	输送带电机座沿 x 轴正方向振动
8	3.7334	输送带绕 y 轴扭振
9	3.7342	输送带绕 y 轴扭振、弯振
10	4.6533	垂直同步带滑台沿 y 轴负方向弯振 机械手臂沿 y 轴负方向弯振

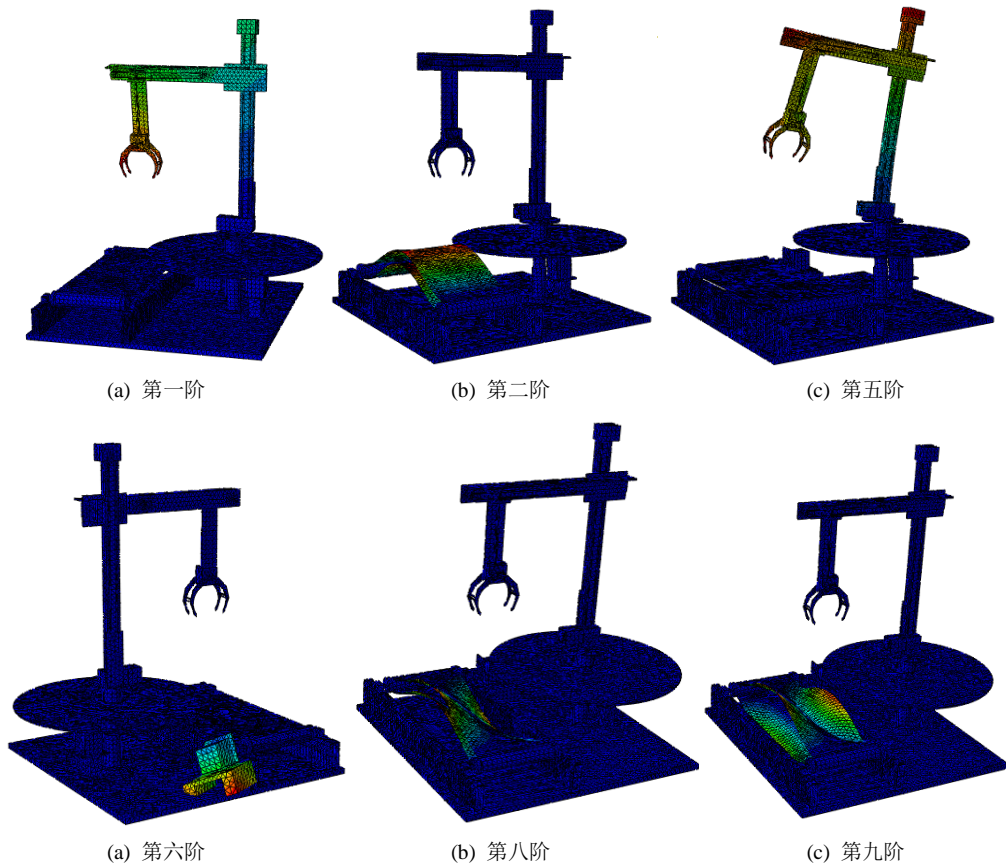


Figure 6. 1,2,5,6,8,9 step vibration diagram of turntable sorting device
图 6. 转台式分拣装置 1、2、5、6、8、9 阶振型图

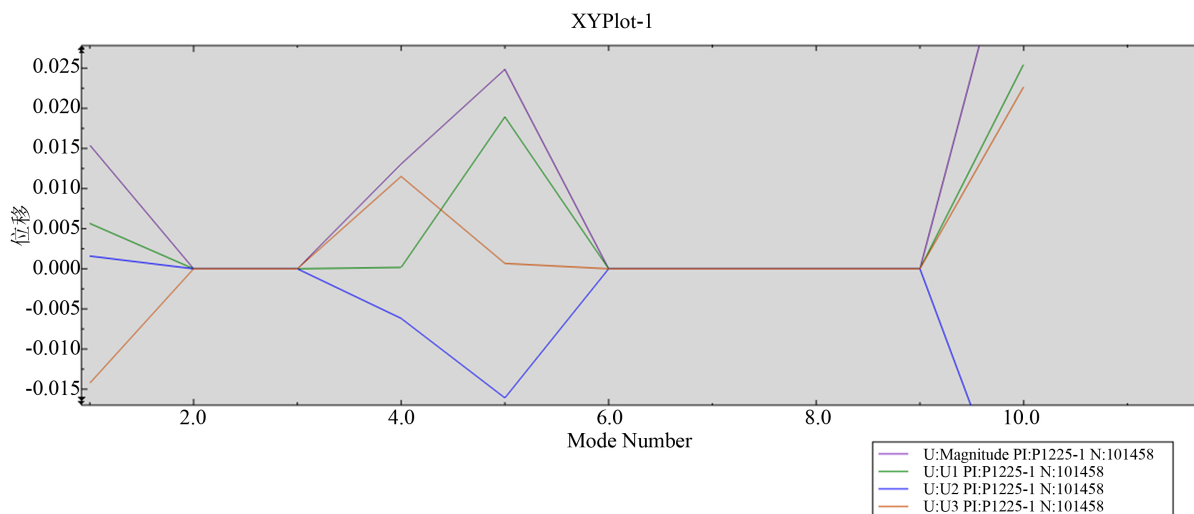


Figure 7. Displacement curve of the manipulator end node 101458 with modal change

图 7. 机械手臂末端节点 101458 随着模态变化的位移曲线

由表 1 和图 6、图 7 可知, 该分拣装置前十阶的固有频率相差较大, 具有一定的抗震性能。一方面, 机械手臂是该分拣装置的重要组成部分, 其变形影响到整个分拣过程的定位精度和抓取准确性, 其中前十阶的主振型有三处为机械手臂的振动变形, 且振动幅度较大, 分析其原因是因为机械手臂选用材料强度不足和系统稳定性不够好。另一方面输送带的扭振变形较大, 其中前十阶的主振型有六处为输送带的振动变形, 对分拣完成的物件运送不够平稳, 分析其原因是由于输送结构制作时张紧较困难, 输送带与转盘沿 z 轴负方向有平行度误差, 从而造成输送稳定性不足。因此需要改进机械手的材料刚度以及增大输送系统的传送平稳性, 以达到设计要求。

6. 总结

文章通过对转台式分拣装置进行静力学和模态分析, 分析了其静刚度, 找到了造成结构刚度较弱的部位, 还提取了前十阶的固有频率和主振型以及机械手臂末端某一节点随模态变化的位移曲线图, 找到了其振动位移相对较大的部位并分析了其原因, 为该转台式分拣装置的结构分析和结构进一步优化提供了参考依据。

参考文献 (References)

- [1] 孙建香. 工业垃圾分拣机械手的设计及性能仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2014
- [2] 纪海峰, 邵娟, 等. 教学用轻型机械手的设计运动仿真及有限元分析[J]. 现代制造技术与装备, 2015(2): 79-81.
- [3] 董凯瑞, 张帆. 基于 CATIA 的机械手装置的运动仿真及有限元分析[J]. 电脑编程技巧与维护, 2015(1): 75-77.
- [4] 张艺, 徐锡林. 微机械手的传动分析[J]. 上海交通大学学报, 1999, 33(7): 862-864.
- [5] 马睿, 胡晓兵, 万晓东. 基于 ANSYS 的小型机器人小臂的有限元静态分析[J]. 机械设计与制造, 2012(9): 4-6.
- [6] 曹妍妍, 赵登峰. 有限元模态分析理论及其应用[J]. 机械工程及其自动化, 2007(1): 73-74.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：dsc@hanspub.org