

8-14-2020

Joint Dynamics Simulation Analysis and Optimization in Carrying Manipulator of Sound-absorbing Board Packing Device

YanJun Xiao

School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

Feng Hua

School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

Wang Zhao

School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

Yonggeng Wang

School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Joint Dynamics Simulation Analysis and Optimization in Carrying Manipulator of Sound-absorbing Board Packing Device

Abstract

Abstract: As an important part of the sound-absorbing board packing device, the efficiency and operational stability of carrying manipulator play a decisive role on packing. When the natural frequency of carrying manipulator is close to the excitation frequency of motor, the carrying manipulator will shake violently. In response to above problems, we put joint dynamic simulation analysis of ADAMS and ANSYS Workbench on the carrying manipulator which is in use. We got the important components' stress situation with the acceleration time of 0.1 s and the low-order natural frequency of the traverse key displacement in return. And on this basis we carried out partial optimization of relevant parameters and structural improvement. After then, we put simulation analysis on the carrying manipulator under the same conditions again and verified in engineering practice. Analysis and verification results show: The results of simulation have an important engineering significance to guide the installation and commissioning works on-site.

Keywords

carrying manipulator, dynamic, joint simulation, stability

Recommended Citation

Xiao Yanjun, Feng Hua, Wang Zhao, Wang Yonggeng. Joint Dynamics Simulation Analysis and Optimization in Carrying Manipulator of Sound-absorbing Board Packing Device[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(9): 2118-2125.

吸音板搬运机械手联合动力学仿真分析与优化

肖艳军, 冯华, 王昭, 王永庚

(河北工业大学机械工程学院, 天津 300130)

摘要: 搬运机械手作为吸音板装箱环节的重要组成部分, 其效率和运行稳定性对装箱效果起着决定性作用。机械手横移的启动加速度过大, 吸音板将会滑落磨损; 而机械手固有频率与电机的激励频率接近时, 会造成机械手的剧烈抖动。针对上述问题对现场的机械手进行ADAMS与ANSYS联合动力学仿真分析, 得到了加速时间为0.1 s时重要部件受力情况及横移关键位移处的低阶固有频率, 并在此基础上进行了相关的参数优化与结构改进, 在相同工况下再次仿真分析并在工程实践中进行了验证。分析与验证结果表明: 仿真结果与实际使用过程中的搬运机械手工作情况具有较高的一致性, 对指导现场安装调试具有十分重要的工程意义。

关键词: 搬运机械手; 动力学; 联合仿真; 稳定性

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X(2016)09-2118-08

Joint Dynamics Simulation Analysis and Optimization in Carrying Manipulator of Sound-absorbing Board Packing Device

Xiao Yanjun, Feng Hua, Wang Zhao, Wang Yonggeng

(School of Mechanical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: As an important part of the sound-absorbing board packing device, the efficiency and operational stability of carrying manipulator play a decisive role on packing. When the natural frequency of carrying manipulator is close to the excitation frequency of motor, the carrying manipulator will shake violently. In response to above problems, we put joint dynamic simulation analysis of ADAMS and ANSYS Workbench on the carrying manipulator which is in use. We got the important components' stress situation with the acceleration time of 0.1 s and the low-order natural frequency of the traverse key displacement in return. And on this basis we carried out partial optimization of relevant parameters and structural improvement. After then, we put simulation analysis on the carrying manipulator under the same conditions again and verified in engineering practice. Analysis and verification results show: The results of simulation have an important engineering significance to guide the installation and commissioning works on-site.

Keywords: carrying manipulator; dynamic; joint simulation; stability

引言

珍珠岩吸音板是一种集吸声、防火、耐水、

保温、隔热等多种功能于一体的新型建筑材料, 被广泛用于建筑室内吸音壁板、吸音吊顶及工业噪声治理领域, 具有广阔的市场前景。然而, 目前市场上对于吸音板的装箱仍停留在手工作业阶段, 这种工作方式不仅劳动强度大、生产效率低, 而且会造成工作人员与产品的直接接触, 对其健康造成威胁^[1-2]。



收稿日期: 2016-05-28 修回日期: 2016-07-11;
基金项目: 天津市科技计划(15JCTPJC62400);
作者简介: 肖艳军(1976-), 男, 河北沧州, 博士, 副教授, 研究方向为嵌入式系统应用、余热利用技术、新能源装备及其关键技术等; 冯华(1992-), 女, 山西临汾, 硕士, 研究方向为机电一体化成套设备及其关键技术。

<http://www.china-simulation.com>

• 2118 •

针对上述问题, 本文采用搬运机械手来实现装箱目的。作为吸音板装箱环节的核心部分, 搬运机械手的工作效率和运行稳定性对装箱效果起着决定性的作用。由于本文研究的搬运机械手由电机提供驱动力, 如果电机的启动加速度过大, 将会造成吸音板与托板手爪之间的横向滑移; 而且, 当机械手的固有频率与电机的激励频率接近时, 将会造成机械手的剧烈抖动, 无法顺利进行装箱。为了研究机械手在运行过程中因启动加速度过大而造成的吸音板滑移现象, 本文将采用 ADAMS 动力学分析软件对机械手在提升与横移过程中的运动与受力情况进行分析^[3-4], 以找到能够满足装箱要求的许用加速度。同时, 为了减轻机械手在横移过程中的抖动, 本文将借助 ANSYS WORKBENCH 有限元软件对其进行模态分析, 根据分析结果在原有基础上对机械手进行一定的结构改进和优化, 并应用于工程实践中, 进一步对比分析方法的准确性与可行性, 以达到减弱机械手抖动的问题^[5-8]。

1 基于 ADAMS 的搬运机械手运动过程仿真分析

1.1 搬运机械手运行过程工况分析

在对堆叠好的吸音板进行装箱的过程中, 搬运机械手的动作流程为: 横移电机驱动直线滑块在直线导轨上水平往复运动, 当托板手爪运动到吸音板的正上方位置时, 横移升降气缸动作, 使托板手爪垂直向下运动, 传感器检测托板手爪到达指定位置后, 搬运机械手的旋转气缸动作将吸音板托住, 随后, 横移升降气缸将吸音板向上提升, 搬运机械手在横移电机的驱动下运动到指定位置后, 将吸音板放下, 进行装箱。搬运机械手升降位移 $s_1=260$ mm, 水平位移 $s_2=1\ 512$ mm, 完成一次装箱过程用时需在 5 s 以内。

根据实际生产需求, 确定搬运机械手的运动参数如下:

上升速度 $v_1=200$ mm/s, 横移速度 $v_2=600$ mm/s。

1.2 搬运机械手运动过程仿真分析

1.2.1 仿真模型的导入

搬运机械手中含有对仿真分析没有影响的零部件如部分机架、连接螺栓螺钉、垫圈等, 如果不进行简化, 不仅仿真分析过程计算缓慢、容易出错, 而且很有可能造成与实际工况偏差较大, 因此根据搬运机械手的运动关系和仿真目的进行简化, 并将简化后的虚拟样机模型导入到 ADAMS 中, 如图 1 所示。

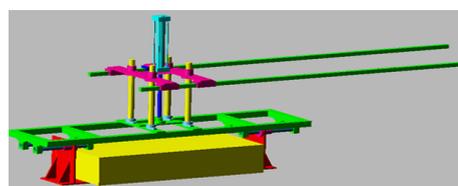


图 1 搬运机械手简化模型

1.2.2 运动过程分析

搬运机械手的上升过程是靠气缸提供动力, 考虑到气缸的工作特性, 其在上升过程的开始和结束阶段必然会有加速和减速的过程, 这对吸音板以及搬运机械手整体的受力情况都有影响; 搬运机械手的横移过程由步进电机驱动, 也存在加速和减速的过程, 如果加减速的时间太短吸音板会在惯性力的作用下与托板手爪发生相对滑移, 从而导致装箱工位无法正常进行。机械手上升过程和横移过程的驱动函数建立过程如下:

①机械手上升过程:

升降气缸的行程为, 实际工作时的速度为, 取加减速时间为, 可求得机械手升起总用时为, 进而可得提升速度随时间变化的关系曲线如图 2 所示。

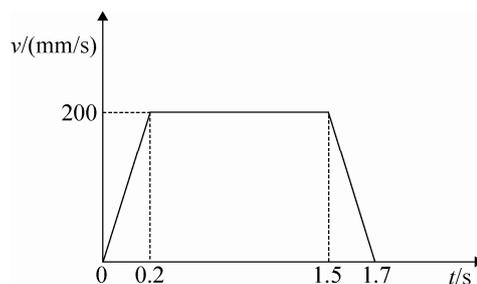


图 2 搬运机械手提升速度随时间变化的关系曲线

根据图 3 的速度-时间曲线可得到机械手提升运动的函数关系式为:

$$v_1(t) = \begin{cases} 1000t & 0 < t < 0.2 \\ 200 & 0.2 < t < 1.5 \\ 200 - 1000(t - 1.5) & 1.5 < t < 1.7 \\ 0 & 1.7 < t < 4.42 \end{cases} \quad (1)$$

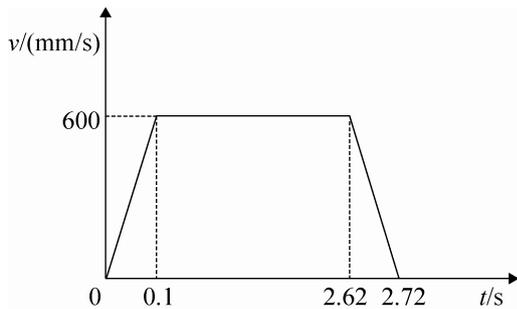


图 3 搬运机械手横移速度随时间变化的关系曲线

通过查询 ADAMS 的常用函数, 确定用 IF 函数来表达式(1), IF 函数是一个判断函数, 其格式为 IF(表达式 1: 表达式 2, 表达式 3, 表达式 4), 如果表达式 1<0, 返回表达式 2 的值, 如果表达式 1=0, 返回表达式 3 的值, 如果表达式 1>0, 返回表达式 4 的值。设式(1)的 IF 函数表达式为:

$$IF(t-0.2:y_1,0,y_1')+IF(t-1.5:y_2,0,y_2')+IF(t-1.7:y_3,0,y_3')+IF(t-4.42:y_4,y_4',y_4')$$

根据 IF 函数的定义, 当时间 t 在不同范围取值时, IF 函数的返回值情况可用如下矩阵方程表示:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_1' \\ y_2' \\ y_3' \\ y_4' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1000t \\ 200 \\ 200 \\ 200 \\ 200 - 1000(t - 1.5) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

解矩阵方程(2), 可得:

$$\begin{cases} y_1 = 1000t - 200 \\ y_1' = 0 \\ y_2 = 0 \\ y_2' = 1500 - 1000t \\ y_3 = 1700 - 1000t \\ y_3' = 0 \\ y_4 = 1000t - 1500 \\ y_4' = 1000t - 1500 \end{cases}$$

故可得到搬运机械手升起过程的驱动函数:

$$IF(t-0.2: 1000t-200, 0, 0)+IF(t-1.5:0, 0, 1500-1000t)+IF(t-1.7: 1700-1000t, 0, 0)+IF(t-4.42: 1000t-1500, 1000t-1500, 1000t-1500)$$

②机械手横移过程:

搬运机械手横向移动的距离为 $s_2=1512$ mm, 移动速度为 $v_2=600$ mm/s, 初取步进电机的加速时间为 $t_2=t_2'=0.1$ s, 则横移过程总耗时为, 那么机械手横移速度随时间变化的关系曲线如图 3 所示。

横移运动是在机械手上升到位之后, 因此横移运动的时间起点应为 1.7 s, 则机械手横移运动的函数关系式为:

$$v_2(t) = \begin{cases} 6000(t-1.7) & 1.7 < t < 1.8 \\ 600 & 1.8 < t < 4.32 \\ 600 - 6000(t-4.32) & 4.32 < t < 4.42 \end{cases} \quad (3)$$

设式(3)的 IF 函数表达式为:

$$IF(t-1.7: y_1, 0, y_1')+IF(t-1.8: y_2, 0, y_2')+IF(t-4.32: y_3, 0, y_3')+IF(t-4.42: y_4, y_4', y_4')$$

于是, 当时间 t 在不同范围取值时, IF 函数的返回值情况可用矩阵方程表示如下:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_1' \\ y_2' \\ y_3' \\ y_4' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 6000t - 10200 \\ 600 \\ 600 \\ 600 \\ 26520 - 6000t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

解矩阵方程(4), 可得:

$$\begin{cases} y_1 = 0 \\ y_1' = 6\,000t - 10\,200 \\ y_2 = 6\,000t - 10\,800 \\ y_2' = 0 \\ y_3 = 0 \\ y_3' = 25\,920 - 6\,000t \\ y_4 = 10\,800 - 6\,000t \\ y_4' = -15\,720 \end{cases}$$

故可得到搬运机械手横移过程的驱动函数:

$$IF(t-1.7:0,0,6\,000\ t-10\,200)+IF(t-1.8:6\,000\ t-10\,800,0,0)+IF(t-4.32:0,0,25\,920-6\,000\ t)+IF(t-4.42:10\,800-6\,000\ t,-15\,720,-15\,720)$$

1.2.3 设置物理属性并添加约束及驱动

将在 ADAMS 中新建材料并为吸音板添加物理属性, 其密度 $\rho = 2.3392 \times 10^{-7} \text{ N/mm}^3$, 杨氏模量 $E = 2.04 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, 泊松比 $\lambda = 0.24$ 。其余构件的物理属性直接从 ADAMS 数据库中选用即可。

在设置完各零件的物理属性之后, 根据上述机械手的运动过程为其施加约束及驱动, 得到的模型如图 4 所示。

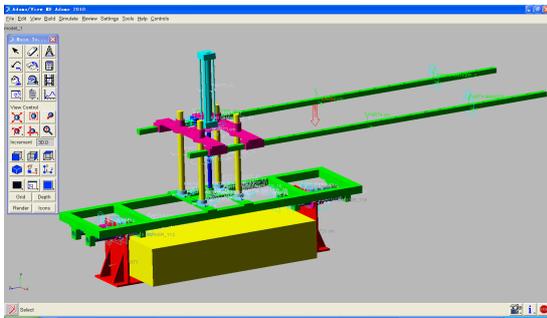


图 4 设置物理属性并添加约束及驱动之后的模型

1.2.4 运动仿真

搬运机械手的运动仿真主要是对吸音板的提升和横移过程进行分析, 分析吸音板及直线导轨在运动过程中的受力及力矩变化, 保证搬运过程中吸音板不会与托板手爪发生相对滑移, 整体架体不会发生抖动。将仿真时间设为 4.42 s, 仿真步数为 100, 点击开始按钮进行仿真。仿真完成后得到 JOINT_1、JOINT_30 处的受力曲线分别如图 5~6

所示。其中, JOINT_1 为直线导轨与架体之间的运动副, JOINT_30 为吸音板与托板手爪之间的运动副。

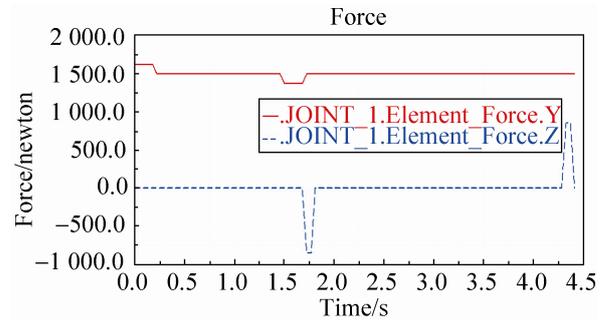


图 5 JOINT_1 处受力变化曲线

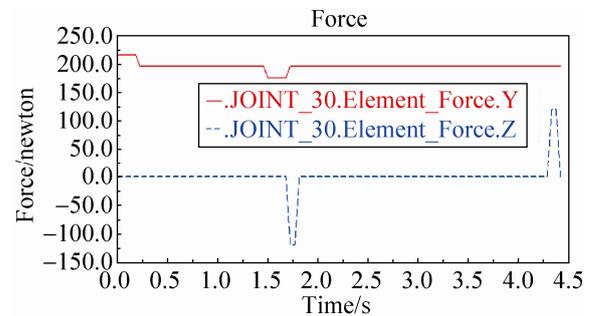


图 6 JOINT_30 处受力变化曲线

1.2.5 结果分析与优化

由图 7 可以看出, 在搬运机械手工作过程中, JOINT_1 处即直线导轨与安装架体之间只受到 Y 方向和 Z 方向的作用力, 其中在吸音板加速上升过程中 Y 方向受力最大为 1 618.67 N, 匀速上升和吸音板横移过程中 Y 方向受力为 1 496.56 N, 减速上升时受力最小为 1 374.44 N, 在直线导轨的承载范围之内; 在 Z 方向上的受力只有在横移加速减速时达到最大值 852.05 N, 其余阶段不受力。

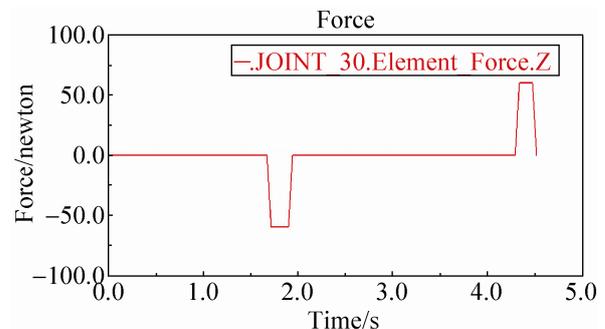


图 7 优化后的 JOINT_30 处受力变化曲线

由图 7 可以看出, 在搬运机械手工作过程中, JOINT_30 处即吸音板与托板手爪之间在吸音板上加速过程中会产生一个 Y 方向受力的最大值 216.13 N, 其余过程 Y 方向受力 196.13 N, 意味着托板手爪在整个工作中受力很小, 可以保证托板部分的稳定可靠运行; 但是在横移的加减速过程中在 Z 方向会产生 120 N 的力, 考虑到吸音板与托板手爪之间的摩擦系数为 0.4, 其摩擦力, 而横移过程中产生的惯性力大于吸音板与托板手爪之间的摩擦力, 在横移过程中会出现相对滑动, 进而导致后续装箱工位无法顺利进行, 因此需要加长步进电机的加速时间, 由原来的 0.1 s 改为 0.2 s, 则相应的横移过程驱动函数为:

$$IF(T-1.7:0,0,6\ 000T-10\ 200)+IF(T-1.8:6\ 000T-10\ 800,0,0)+IF(T-4.32:0,0,25\ 920-6\ 000T)+IF(T-4.42:10\ 800-6\ 000T,-15\ 270,-15\ 270)$$

进行优化仿真之后得到的 JOINT_30 处受力变化曲线如图 7 所示, 横移加减速过程中 Z 方向受力最大为 60 N, 小于吸音板与托板之间的摩擦力, 吸音板不会横向滑出, 搬运过程可以顺利完成。

当电机的加速时间延长至 0.2 s 后, 搬运机械手完成一次装箱过程所用时间为 $T=4.42+0.2=4.62\text{ s}<5\text{ s}$, 满足装箱要求。

2 搬运机械手的结构动力学分析与优化

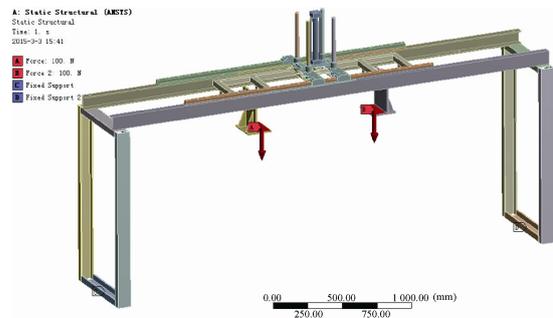
装箱装置搬运机械手是装箱环节的核心部分, 其运行可靠性与稳定性直接影响到吸音板装箱动作的顺利实现, 因此对其进行结构动力学分析显得尤为重要。由机械振动相关知识可知, 当机械手位于架体中间位置时, 整机的固有频率最低, 最容易发生共振, 故选择此位置进行模态分析; 此外, 在加速阶段由于预应力的存在, 会影响结构的固有频率, 因此在加速阶段的末端位置也进行模态分析。

2.1 搬运机械手整体三维模型的建立与网格划分

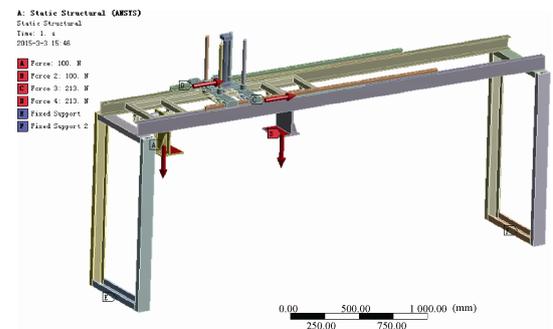
采用有限元软件对结构进行模态分析时, 三维模型的建立是至关重要的一步, 不仅要保证分析精度, 同时还应该尽可能提高运算效率。将模型导入 Workbench 中进行模态分析之前, 对直线轴承、直线导轨滑块等复杂零件进行简化, 并对简化后的模型进行网格划分。

2.2 施加约束条件与载荷

在实际使用过程中, 装箱装置的搬运机械手安放在装箱工位和叠板工位之间, 故需要对架体的底端进行固定约束。当搬运机械手横向运动到不同的位置时, 其载荷的施加有所不同: 在匀速阶段中间位置, 机械手已经处于匀速运行状态, 不再受到惯性力的影响, 故只需在两个托板手爪上添加吸音板的重力即可; 在加速阶段末端位置, 机械手处于加速运行状态, 搬运机械手内部存在惯性力, 故还要在直线导轨滑块和直线导轨之间添加惯性力载荷。施加好约束与载荷的模型如图 8(a)、图 8(b)所示。



(a) 匀速阶段中间位置



(b) 加速阶段末端位置

图 8 施加好约束与载荷的模型

2.3 仿真分析结果

在对结构进行模态分析时,首先要确定出模态的阶数。对于一般的机械设备,无特殊使用要求时高阶振型对结构的特性影响不大,所以应用 ANSYS Workbench 进行模态分析时只需重点分析设备在正常工作条件下所涉及的频率,本文只研究搬运机械手的前十阶模态。搬运机械手的外部激励主要来源于步进电机驱动和动力传递过程中产生的振动,横移部分的同步带轮直径 $d=129.36\text{ mm}$,步进电机加速时间 $t=0.2\text{ s}$,稳定运行时横移速度 $v=600\text{ mm/s}$,减速器减速比 $i=10$,设电机转速为 n ,横移加速度为 a ,故根据式(1.5)、式(1.6)可得步进电机稳定运行时的转速 $n=885.83\text{ r/min}$,即电机的激励频率 $f=n/60=14.76\text{ Hz}$ 。

$$a = \frac{v}{t} = 3\text{ m/s}^2 \quad (5)$$

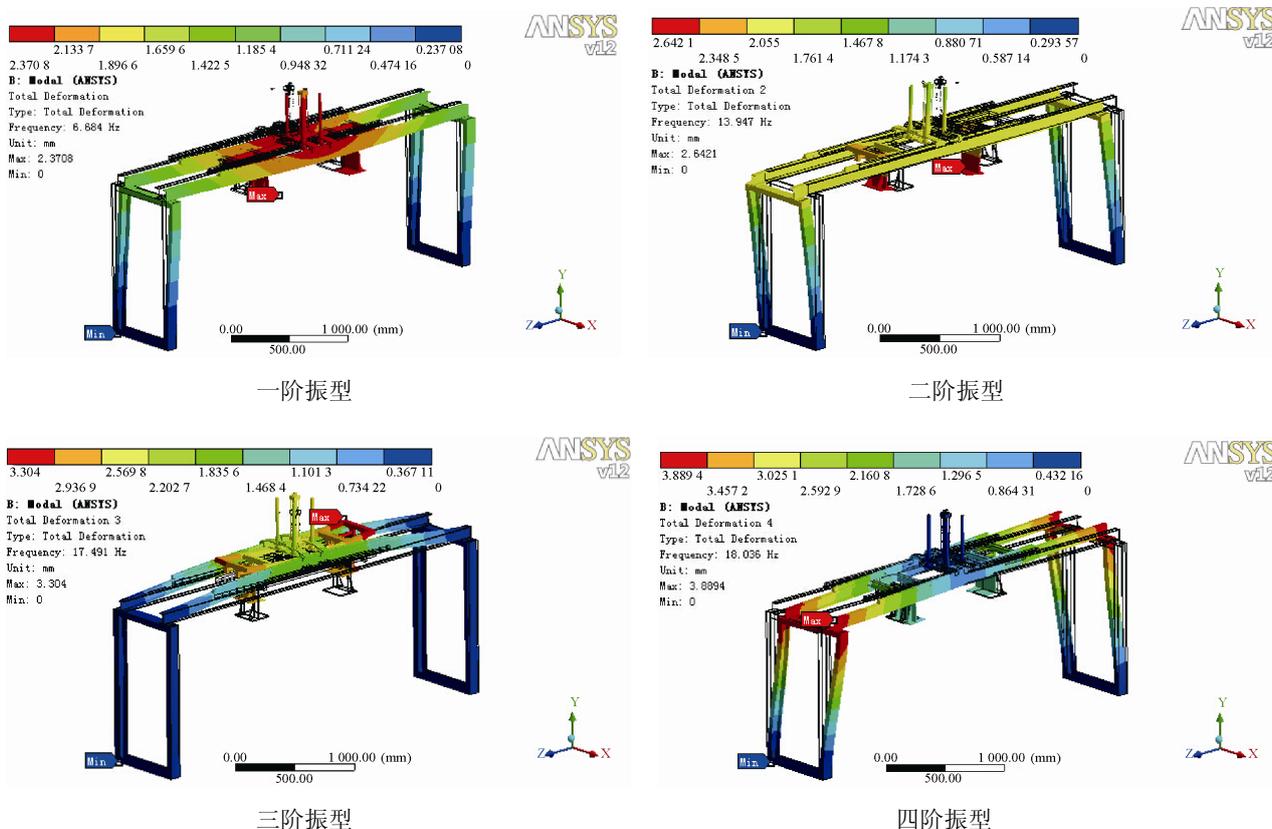
$$v = \frac{\pi dn}{60i} \quad (6)$$

因此,模态分析的结果只要避开步进电机的激励频率就可以避免共振的产生。本文计算了搬运机械手的前 10 阶固有频率和振型,固有频率如表 1。

表 1 搬运机械手前 10 阶固有频率

模态数	匀速阶段中间位置固有频率/Hz	加速阶段末端位置固有频率/Hz
1 阶	6.684	7.093 9
2 阶	13.947	13.976
3 阶	17.491	16.708
4 阶	18.036	18.291
5 阶	20	22.451
6 阶	22.802	24.682
7 阶	27.598	27.191
8 阶	38.097	34.884
9 阶	42.752	41.711
10 阶	60.78	45.224

与表 1 的一到四阶固有频率相对应的振型如图 9 所示。



(a) 匀速阶段中间位置

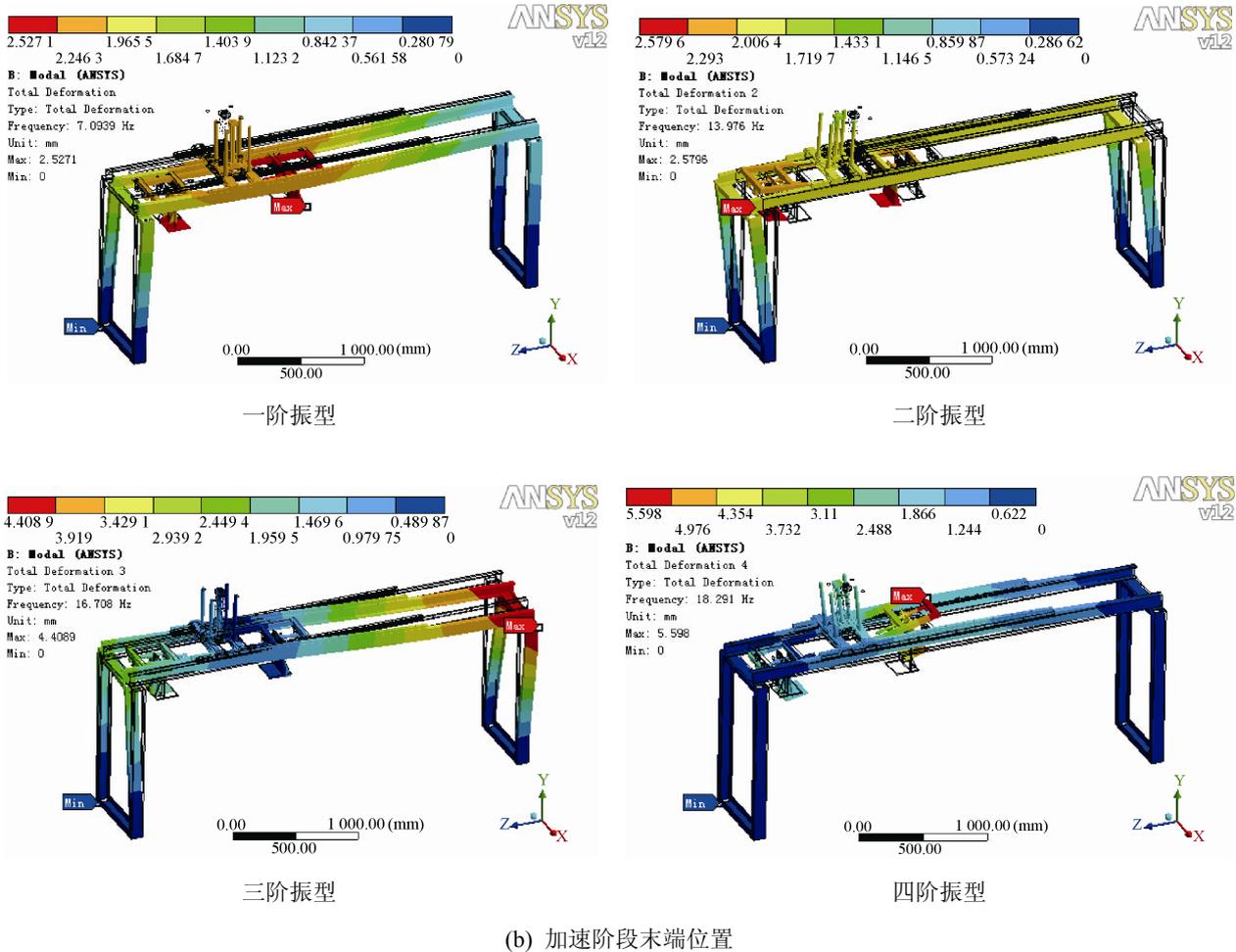


图 9 两种状态下搬运机械手的前四阶固有振型

3 结构优化与实践验证

从模态分析结果可以看出, 匀速阶段中间位置和加速阶段末端位置的二阶固有频率分别为 13.947 Hz 和 13.976 Hz, 与步进电机的激励频率很接近, 在实际运行中易发生共振, 且两个位置的二阶固有振型的最大变形量都是在托板手爪处, 运行中会直接影响到吸音板的稳定性, 进而引起整机的抖动, 严重影响搬运机械手的工作可靠性。

为了减轻搬运机械手在工作过程中的抖动, 必须对其进行结构优化, 提高系统的固有频率, 以避免步进电机的激励频率, 避免共振。实际使用时搬运机械手放置在叠板装置和装箱装置之间, 实现两个工位之间吸音板的传递, 这里对搬运机械手进行结构优化如下: 将搬运机械手的架体前端与叠板装置的架体固连, 后端与装箱装置的架体固连, 优化

之后, 搬运机械手架体的四个立梁和叠板装置、装箱装置分别固连。结构优化后的搬运机械手如图 10 所示。



图 10 结构优化后的搬运机械手

从之前的模态分析结果看出, 匀速阶段中间位置的一阶固有频率比加速阶段末端位置的小, 更容易发生共振, 因此对匀速阶段中间位置优化后的结构进行模态分析, 得到前 5 阶模态分析结果的详细

参数如图 11 所示。结构优化之后的二阶固有频率为 18.212 Hz, 避开了步进电机的激励频率, 从而达到了减轻搬运机械手抖动的目的。

通过对实际使用中的搬运机械手进行结构优

化, 并在相同工况条件下观察其运行情况。观察结果显示: 经过结构优化后的搬运机械手, 在其运行过程中抖动现象得到明显改善, 与模态分析结果有着较高的一致性。

Object Name	Total Deformation	Total Deformation 2	Total Deformation 3	Total Deformation 4	Total Deformation 5
State	Solved				
Scope					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	All Bodies				
Definition					
Type	Total Deformation				
Mode	1.	2.	3.	4.	5.
Identifier					
Results					
Minimum	0. mm				
Maximum	2.6677 mm	3.546 mm	5.1123 mm	5.9718 mm	4.7793 mm
Minimum Occurs On	03-架体立梁322				
Maximum Occurs On	01-14 托板手爪	08-08-安装架体	01-14 托板手爪	22-04 气缸体	01-14 托板手爪
Information					
Reported Frequency	9.0908 Hz	18.212 Hz	19.489 Hz	24.113 Hz	41.358 Hz

图 11 进行结构优化后的搬运机械手前 5 阶模态分析结果详细参数

4 结论

本文通过对吸音板装箱装置搬运机械手进行联合动力学仿真分析与优化, 并观察结构优化后的机械手运行情况, 得到了以下结论:

(1) 通过 ADAMS 运动仿真分析, 得到了步进电机加速时间为 0.1 s 时重要部件的受力情况, 在此情况下吸音板将会与托板手爪发生相对滑移。实际生产中为了避免此类滑移现象, 可以将加速时间延长至 0.2 s, 以降低启动加速度, 该方法基本不会影响机械手的工作效率, 但可以很好地避免吸音板的横向滑移。仿真分析结果验证了此方法的可行性, 从根本上解决了上述问题。

(2) 通过对搬运机械手容易发生共振的两个关键位置进行模态分析, 得到了其低阶固有频率和相应振型, 并通过与电机的激励频率进行比较, 找到了搬运机械手产生抖动的的原因。

(3) 结合实际使用情况, 对搬运机械手进行了相应的结构改进和优化, 并在相同工况下对优化后的结构进行模态分析与实践验证。验证结果表明: 进行结构优化后的搬运机械手, 在其运行过程中抖动现象得到了明显改善, 刚度显著提高, 与模态分

析结果有着较高的一致性, 对于指导现场安装调试具有重要的工程意义。

参考文献:

- [1] 王铎霖. 水泥基膨胀珍珠岩材料吸声性能分析 [J]. 低温建筑技术, 2011 (8): 13-14.
- [2] 肖艳军, 郭迪明, 关玉明, 等. 吸音板自动布料机的设计与研究 [J]. 机械设计与制造, 2013 (12): 4-7.
- [3] 孙群, 张龙, 赵颖. 基于虚拟样机技术的六自由度机械手建模与仿真 [J]. 机械设计与制造, 2013 (7): 178-181.
- [4] 王建军, 袁帮谊. 基于虚拟样机技术的搬运机械手仿真设计与研制 [J]. 机械工程与自动化, 2010 (2): 80-81.
- [5] 李一民. 自动抱夹横移机的虚拟设计及其吸盘支架仿真分析 [J]. 现代制造工程, 2009 (9): 133-136.
- [6] 姜振廷, 郑忠才, 董旭. 基于 ANSYS Workbench 的六自由度机械臂有限元分析及结构优化 [J]. 制造业自动化, 2014 (1): 109-110.
- [7] Tokhi M O, Mohamed Z. Modeling of a flexible robot manipulator using finite methods: a symbolic approach [J]. Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active control (S1461-3484), 1999, 18(2): 63-76.
- [8] 谢志江, 孙玉, 李诚, 等. 基于 ANSYS Workbench 的搬运机械手结构优化设计 [J]. 机械与电子, 2010 (1): 65-67.