

包装机械

称量传感器标定装置进给系统的动态特性分析

王军利, 冯博琳, 熊超, 贺洋洋, 张昌明
(陕西理工大学, 汉中 723000)

摘要: **目的** 解决称量传感器标定装置因进给系统在实际工作时频繁受到电机的振动而可能引发检测装置共振的问题。**方法** 利用三维设计软件 PROE 建立称量传感器标定装置进给系统三维模型, 结合有限元仿真技术对称量传感器标定装置进给系统进行动态特性分析和瞬态分析, 并对模态分析结果进行试验验证。**结果** 当外界激励频率与进给系统第 5 阶模态(412 Hz)接近时, 进给系统的变形、应力值较大。**结论** 在实际工作环境中应当避免称量传感器标定装置工作在第 5 阶(412 Hz)模态频率附近。

关键词: 称量传感器; 进给系统; 动态特性; 瞬态分析

中图分类号: TB486; TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)15-0111-05

Dynamic Characteristic Analysis of Feeding System of Weighing Sensor Calibration Device

WANG Jun-li, FENG Bo-lin, XIONG Chao, HE Yang-yang, ZHANG Chang-ming
(Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem that the feeding system of weighing sensor calibration device is subject to vibration of the motor frequently during actual operation, thus possibly causing the resonance of the detection device. The three-dimensional design software PROE was used to establish the three-dimensional model for the feeding system of weighing sensor calibration device. The dynamic characteristic analysis and the transient analysis of the feeding system of weighing sensor calibration device were conducted in combination with the finite element simulation technology, and the modal analysis results were tested and verified. The results showed that, when the external excitation frequency was close to the fifth-order modality (412 Hz) of the feeding system, the deformation and stress of the feeding system were larger. Therefore, in the actual working environment, the operations of weighing sensor calibration device in the vicinity of the fifth-order (412 Hz) modal frequency should be avoided.

KEY WORDS: weighing sensor; feeding system; dynamic characteristics; transient analysis

随着自动化技术的发展, 传感器广泛运用到各个领域。在称量传感器设计领域, 对称量传感器检测设备的开发研制已成为这一领域的研究热点之一^[1]。进给系统是称量传感器误差标定装置的主要部件之一, 在对称量传感器进给系统进行设计时, 进给系统的结构设计很大程度上决定了其动态特性^[2]。在实际工程应用中, 称量传感器标定装置发生剧烈振动在很大程度上是由于进给系统结构设计不合理造成的, 使得在称量传感器标定过程中不能准确地将砝码加载到指

定位置, 使得称量传感器误差标定的精度降低^[3]。由此, 有必要对称量传感器误差标定装置进给系统的动态特性以及瞬态特性进行研究。

文中利用有限元分析技术结合模态分析以及谐响应分析理论对称量传感器标定装置进给系统进行了动态特性分析, 验证进给系统在电机以及外界振源的振动下是否发生共振, 经过谐响应分析得到了进给系统电机安装部位的幅频响应曲线。假设称量传感器标定装置进给系统在极限工况下, 通过瞬态分析对不

收稿日期: 2017-03-10

基金项目: 国家自然科学基金(51605270); 陕西省科技厅科学研究计划(2016JM1030); 陕西理工学院人才启动项目(SLGQD13(2)-21); 陕西省教育厅科学研究项目(15JK1142)

作者简介: 王军利(1977—), 男, 博士, 陕西理工大学讲师, 主要研究方向为机械振动及气动弹性。

同进给速度下的进给系统受力、变形情况进行模拟,从而验证称量传感器标定装置进给系统结构设计是否合理。

1 称量传感器误差标定装置介绍

称量传感器误差标定装置结构见图1。称量传感器误差标定装置工作原理如下:首先通过气缸夹紧机构将称量传感器进行夹紧固定,固定好传感器以后通过x,y坐标运动机构将气缸砝码组机构移动到托盘的正上方,然后气缸将砝码加载到托盘上,然后再对4个角的位置进行加载^[3]。

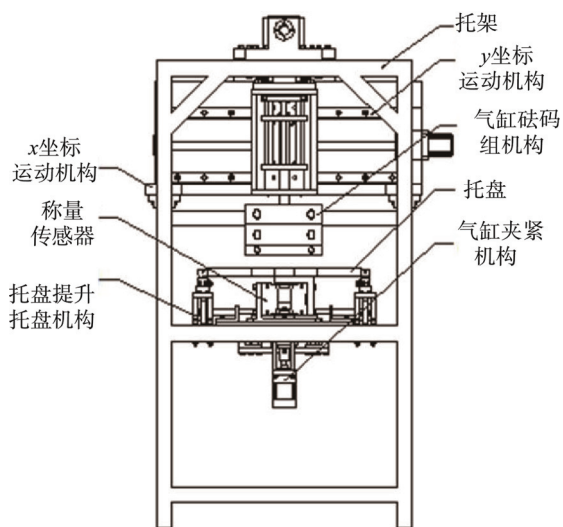


图1 称量传感器误差标定装置结构
Fig.1 The schematic diagram of weighing sensor error calibration device

2 进给系统动态特性分析

2.1 进给系统模态分析

当外部振源频率接近进给系统固有频率时,导致其发生较大变形甚至产生共振,从而使称量传感器误差标定装置其他部件的安装基准发生变化,严重影响了称量传感器误差标定装置的工作性能,通过对称量传感器标定装置进给系统进行模态分析,可以用来检验称量传感器标定装置进给系统的结构设计能否克服共振、疲劳,等受迫振动引起的有害效果^[4-5]。

在对称量传感器误差标定装置进给系统进行模态分析是首先需要建立有限元模型,文中通过三维设计软件 PROE 首先建立进给系统的三维模型,再通过 PROE 与 Ansys Workbench 的接口将三维模型导入 Ansys Workbench 中^[6]。在对进给系统建模时,将进给系统中的倒角、凸台以及螺纹特征进行删除。根据实际进给系统设计材料选用结构钢,在 Ansys Workbench 材料库中直接选择即可,弹性模量、泊松比、密度默认都已经设置好。总体采用自由网格划分

模式对进给系统进行有限元网格划分,并对局部网格进行加密处理,导轨与滑块之间的接触以及其他零件之间的接触设置为绑定接触,经过有限元分析得到了488 419个节点,295 956个单元,划分后的有限元模型见图2。

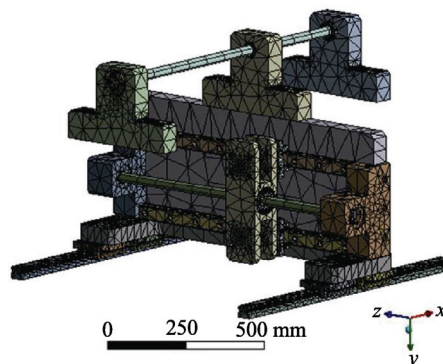


图2 进给系统有限元模型
Fig.2 Finite element model of feeding system

进给系统中轴承座与托架采用螺栓连接在一起^[6],模态分析时对进给系统导轨采用固定约束。由于低阶振型对整个机构的动态特性影响较大^[7],因此对模态分析结果进行了试验验证。试验设备采用 PCB 力锤,以及北京东方振动和噪声技术研究所研制的模态试验软件,模态试验现场见图3。

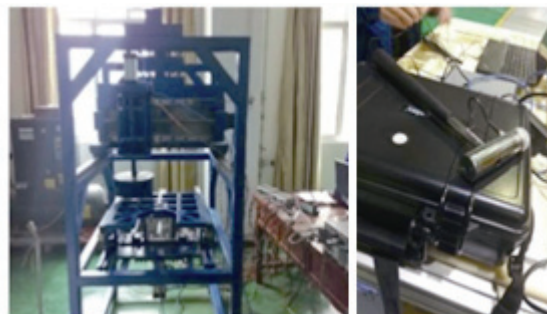


图3 模态试验现场
Fig.3 Modal test site

经过模态试验分析得到进给系统固有频率见表1。

表1 固有频率及振型
Tab.1 Natural frequency and mode of vibration

阶数	实验模态/Hz	固有频率/Hz	误差/%	振动型式
1	280.4	259.42	8.1	整体沿 x 轴摆动+弯曲
2	380.45	364.09	4.5	整体沿 y 轴扭转+弯曲
3	410.2	399.97	2.56	x 方向进给丝杠摆动+弯曲
4	413.23	402.25	2.73	上部丝杠摆动+弯曲
5	423.87	411.94	2.9	整体沿 z 轴扭转+弯曲
6	490.52	464.38	5.63	y 方向进给丝杠摆动+弯曲

从表 1 可知，试验模态频率与有限元分析结果基本一致，个别模态偏大是因为有限元模型建立时将丝杠上的螺纹特征进行了简化，经过对进给系统模态振型云图进行分析，发现一阶振型表现为进给系统整体沿着 x 轴上下弯曲摆动，二阶振型表现为进给系统整体沿 y 轴左右的摆动与弯曲，三、四阶振型主要变形为上部丝杠摆动与弯曲，五阶振型主要表现为进给系统整体沿 z 轴左右摆动与弯曲，六阶振型主要表现为下部丝杠的摆动与弯曲。

2.2 进给系统谐响应分析

由于进给系统在实际工作中丝杠与螺母之间存在间隙，因此进给力是变化的，所以进给系统实际工作中所受到的反作用力也是变化的^[8-16]，因此有必要对进给系统进行谐响应分析。根据模态分析结果，重点分析电机安装部位受强迫激励下的振动谐响应情

况，结合实际情况电机安装部位施加 500 N 的激励，根据进给系统实际工作环境以及结合模态分析结果，谐响应分析时 x, y, z 方向选择全局坐标，频率间隔设置为 2 Hz，将激振频率范围设置为 200~500 Hz，经过谐响应分析得到进给系统位移频率响应曲线，见图 4。进给系统进给系统应力与频率响应曲线见图 5。

由图 4 可知， y 轴方向的振幅最大，最大振幅为 1.22 mm，接近 x 向、 z 向的 2 倍。当外界激振频率在 412 Hz 附近与进给系统固有模态第 5 阶接近时进给系统的变形较大，此时可能引发进给系统共振。由图 5 可知， z 轴放向的应力最大，最大应力为 49.5 MPa，接近 x 向、 z 向的 2 倍，在激振频率为 412 Hz 下进给系统的最大应力和变形见图 6。由图 6 可知进给系统在 412 Hz 外界振源的振动下最大变形为 0.0334 m，最大变形发生在丝杠上，最大应力为 13.882 GPa，最

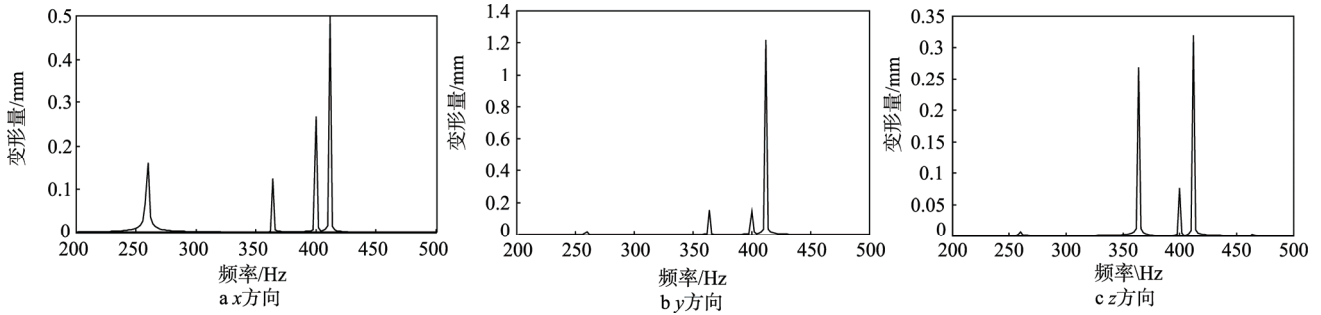


图 4 进给系统位移频率响应曲线

Fig.4 Displacement frequency response curve of feeding system

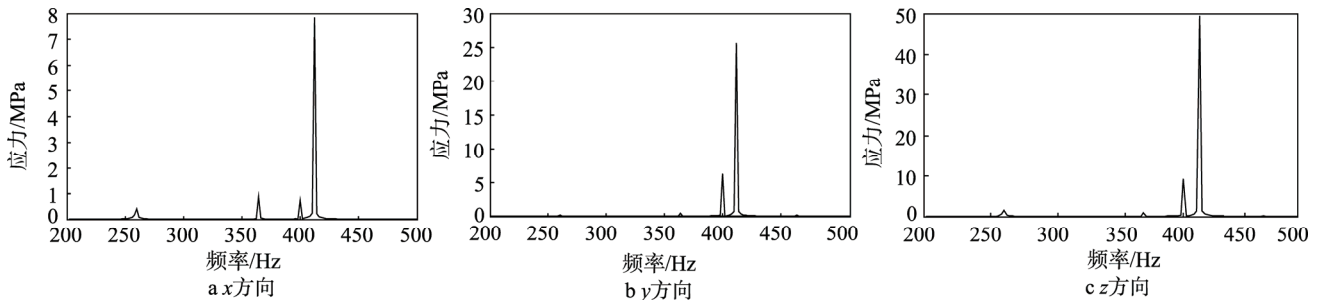


图 5 进给系统应力与频率响应曲线

Fig.5 Stress and frequency response curve of feeding system

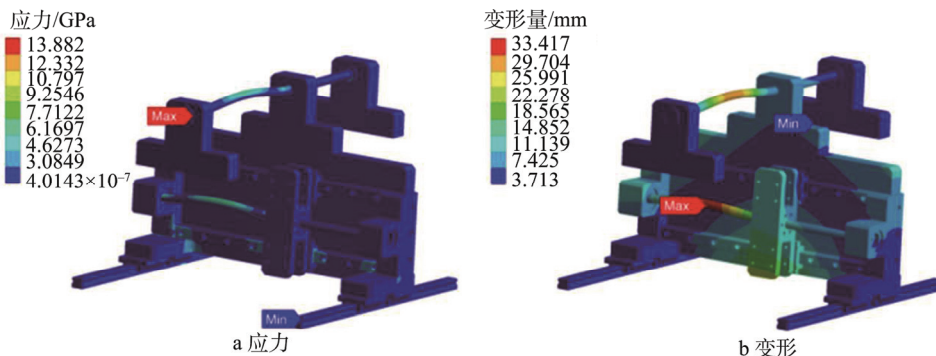


图 6 进给系统在激励频率 412 Hz 下的最大应力、变形云图

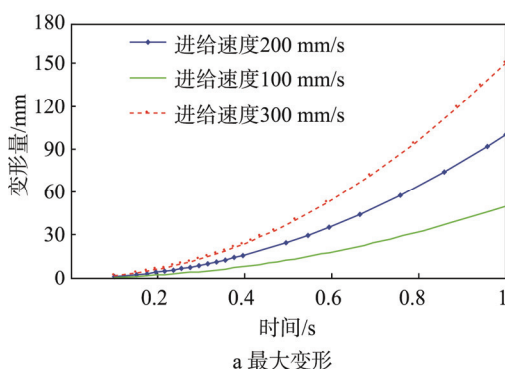
Fig. 6 The maximum stress and deformation of the feeding system at the excitation frequency of 412 Hz

大应力发生在上部丝杠与轴承座接触部分,最大应力超过了材料屈服强度,因此在此振动频率作用下进给系统将发生强度破坏,所以进给系统在工作时应当避开此频率。

3 进给系统瞬态分析

3.1 瞬态分析设置

瞬态动力学分析相较于静力学,计算时间较长,为了提高计算效率将模型中的一些小孔、螺纹特征进行删除,将轴承用简单支撑代替。首先将 Pro/E 中装配好的进给系统三维模型导入 Ansys Workbench 中设置好网格尺寸及划分方式,然后将滑块与导轨以及丝杠与支撑板之间的约束设置为摩擦接触,摩擦因数设置为 0.1,对机架底部 4 个角施加固定约束,并对滑块以及支撑板添加移动副,分析求解时分别给进给系统支撑板施加不同的进给速度,并且分析步设置时,时间设置为 1 s,最大子步为 100,最小子步为 5。载荷施加为标准地球重力,具体载荷和边界条件设置见图 7。



3.2 瞬态分析结果

通过瞬态分析得到不同进给速度下进给系统的最大变形、最大应力随时间变化曲线见图 8。由图 8 可知,进给系统的最大变形量随着进给速度的增大而增大,在 1 s 时最大变形量最大,最大变形量为 150 mm。

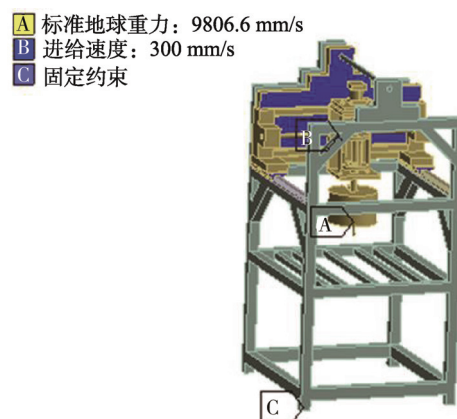


图 7 具体载荷施加和边界条件设置

Fig.7 Specific load application and boundary condition setting

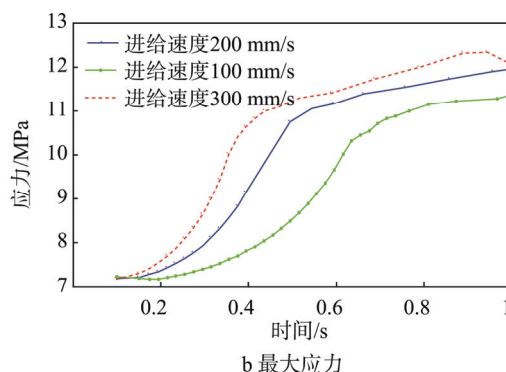


图 8 最大变形量、最大应力随时间变化曲线

Fig.8 Maximum deformation, maximum stress versus time curve

进给系统的最大应力随着进给速度的增大而增大,在 0.2~0.4 s 时增长率逐渐增大,0.4~1 s 增长率逐渐下降,1 s 时应力值最大,最大应力值在 11~13 MPa 之间,最大应力小于材料屈服强度,因此进给系统的设计比较可靠。

4 结语

通过对称量传感器进给装置进行模态分析初步确定了其前 6 阶的固有频率和振型。前 6 阶固有频率的振型中,第 3,4,6 阶振型丝杠发生弯曲变形最厉害,会导致进给系统无法准确地对砝码进行加载。经过谐响应分析发现,当外界激励频率为 412 Hz 即第 5 阶固有频率时,称量传感器标定装置进给系统处于共振频率,振动最为剧烈,在实际标定工作中应使得称量传感器标定装置远离此频率。

对称量传感器标定装置进给系统进行瞬态分析发现,随着时间的增加,进给系统变形增加,变形曲线呈二次曲线形状,最大应力没有超过设计材料屈服强度,因此,称量传感器标定装置进给系统满足设计要求。

参考文献:

- [1] CHEN Mei. Test and Analysis of the Performance of Capacitance Vehicle Weighing Sensor[J]. Sensor Review, 2010, 30(2): 130—136.
- [2] 王庆梁,陈纯,陈子玮,等. 称重传感器误差标定装置的设计[J]. 机械工程师, 2016(1): 109—111.
WANG Qing-liang, CHEN Chun, CHEN Zi-wei, et al. Calibration Device Design of Weighing Sensor Error[J]. Mechanical Engineer, 2016(1): 109—111.
- [3] 戴俊平,尤迪,栗宜猛,等. 称重传感器误差标定装

- 置托盘提升装置设计[J]. 机械工程师, 2015(6): 7—9.
DAI Jun-ping, YOU Di, LI Yi-meng, et al. Design of Tray Lifting Device in Weighing Sensor Error Calibration Device[J]. Mechanical Engineer, 2015(6): 7—9.
- [4] RATNAM M M, LIM J H, KHALIL H P S. Study of Three-dimensional Deformation of a Pallet Using Phase-shift Shadow Moire and Finite-element Analysis[J]. Experimental Mechanics, 2005, 45(1): 9—17.
- [5] 张博, 刘锡朋, 雷林. 称重传感器精确标定研究[J]. 兵工自动化, 2014, 33(7): 89—90.
ZHANG Bo, LIU Xi-peng, LEI Lin. Research on Accurate Calibration About Load and Weighing Cell[J]. Ordnance Industry Automation, 2014, 33(7): 89—90.
- [6] 张昌明, 申言远, 陈子玮, 等. 参数化称重传感器标定托盘有限元分析优化[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2015, 31(6): 1—6.
ZHANG Chang-ming, SHEN Yan-yuan, CHEN Zi-wei, et al. FEM Analysis and Optimization of Pallet of Parametric Weighing Sensor Calibration Device[J]. Journal of Shaanxi University of Technology(Natural Science Edition), 2015, 31(6): 1—6.
- [7] 韩霞, 李卓, 衣淑娟, 等. 组合定位各元件限定自由度分析[J]. 机械设计与制造, 2014(5): 31—35.
HAN Xia, LI Zhuo, YI Shu-juan, et al. The Restricting DOF Analysis of Elements in the Integrated Positioning[J]. Machinery Design & Manufacture, 2014(5): 31—35.
- [8] 蔡瑾, 段国林, 李翠玉, 等. 夹具设计技术发展综述[J]. 河北工业大学学报, 2002, 31(5): 36—40.
CAI Jin, DUAN Guo-lin, LI Cui-yu, et al. The Sumrn arization of the Fixture Designe Techniques[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2002, 31(5): 36—40.
- [9] 柏青, 钟康民. 基于气压传动的偏心夹紧装置[J]. 液压与气动, 2007(2): 85.
BAI Qing, ZHONG Kang-min. Eccentric Clamping Device Driven by Pneumatic Pressure[J]. Hydraulic and Pneumatic, 2007(2): 85.
- [10] 吴冬梅, 沈铭, 钟康民, 等. 基于机电液一体化技术的绿色夹紧装置[J]. 机床与液压, 2015, 43(2): 30—32.
WU Dong-mei, SHEN Ming, ZHONG Kang-min. Green Clamping Device Based on Integrative Technology of Mechanics-electronics-hydraulics[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2015, 43(2): 30—32.
- [11] 龙超, 金秋谈, 陈哲吾. 菱形收割机车架有限元分析及优化[J]. 机械科学与技术, 2014, 33(1): 9—12.
LONG Chao, JIN Qiu-tan, CHEN Zhe-wu. Finite Element Analysis and Optimization of Rhombus Harvester Frame[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2014, 33(1): 9—12.
- [12] 徐中明, 余烽, 张志飞, 等. 小型机动平台车体动态特性分析与减振优化[J]. 机械设计, 2011, 28(3): 84—87.
XU Zhong-min, YU Feng, ZHANG Zhi-fei, et al. Dynamic Characteristics Analysis and Improvement of Body for Mini Mobile Platform[J]. Journal of Machine Design, 2011, 28(3): 84—87.
- [13] 刚灵. 威尼斯之旅客车车身金属结构的轻量化研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
GANG Lin. Research on the Light-Weight Methods for the Metal Structure of Venice Series Bus Bodies[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.
- [14] 李波. 某载货车车架结构分析与优化设计[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.
LI Bo. Structure Analysis and Optimization of A Heavytruck Frame[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2009.
- [15] 李惠林, 周兵兵, 刘倩. 载重货车驱动桥壳谐响应分析[J]. 机械设计与制造, 2019(9): 101—106.
LI Hui-lin, ZHOU Bing-bing, LIU Qian. Harmonic Response Analysis for Heavy-Duty Lorry Drive Axle Housing[J]. Machinery Design & Manufacture, 2019(9): 101—106.
- [16] 苏勋文, 王少萍, 朱冬梅. 直升机中减速器谐响应分析与传感器优化布局[J]. 南京航空航天大学学报, 2011, 37(9): 1 049—1053.
SU Xun-wen, WANG Shao-ping, ZHU Dong-mei. Harmonic Analysis and Optimized Vibration Sensor Locations of the Helicopter Intermediate Gearbox[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2011, 37(9): 1049—1053.