基于真实载荷的托架瞬态分析及优化

王军利[1]，冯博琳[2]，何亚银[1]，李托雷[1]，雷帅[1]

（1.陕西理工大学 机械工程学院，汉中 723000；2.西北机电工程研究所，咸阳 712099）

摘要：目的 研究托架在称量传感器标定过程中的应力、变形情况。**方法** 采用有限元分析技术对称量传感器标定过程进行仿真模拟，研究托架在称量传感器标定过程中的应力、变形情况，并对有限元分析结果进行验证。**结果** 通过对仿真结果分析发现了称量传感器标定装置托架应力集中部位。**结论** 优化设计时对应力集中部位进行了圆角化，使得托架强度和刚度得到了较大的提高。

关键词：称量传感器；托架；优化设计；瞬态分析

中图分类号：TB482　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1001-3563(2019)11-0142-06

DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.11.021

Transient Analysis and Optimization of Brackets Based on Real Load

WANG Jun-li[1], *FENG Bo-lin*[2], *HE Ya-yin*[1], *LI Tuo-lei*[1], *LEI Shuai*[1]

(1.Department of ME, Shaanxi University of Technology, Hanzhong723000, China;
2.Northwest Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Xianyang 712099, China)

ABSTRACT: The paper aims to study stress and deformation of bracket during calibration of the weighing sensor. The finite element analysis technique was adopted to simulate the calibration process of the symmetric weight sensor. The stress and deformation of the bracket during calibration of the weighing sensor were studied, and the finite element analysis results of the bracket were verified. Through analysis on the simulation results, the stress concentration part of the bracket of the load cell calibration device was found. The optimized design is used to round the stress concentration part of the bracket. As a result, the strength and rigidity of the bracket are greatly improved.

KEY WORDS: weighing sensor; bracket; optimization design; transient analysis

传感器检测设备的开发研制已成为传感器测量领域的研究热点之一[1—5]，为了达到客户对称量传感器性能的要求，出厂前要对其进行检测设计等。

托架作为称量传感器误差标定装置主要承受各种外界冲击载荷的部件。在称量传感器误差标定过程中，称量传感器标定装置受到的冲击载荷，通过托架传递到地面上[3—4]。

为使托架具有更好的抗冲击能力，文中借助于 CAD/CAE 仿真设计，对基于真实载荷下的托架受力情况进行模拟，并对有限元仿真结果进行验证，以降低称量传感器标定装置的设计成本，也为后续称量传感器标定装置的改进设计提供理论支撑。

1 称量传感器误差标定装置

称量传感器误差标定装置主要组成见图 1，其尺寸参数为：长 1000 mm，宽 1100 mm，高 2055 mm。

2 托架瞬态动力学分析

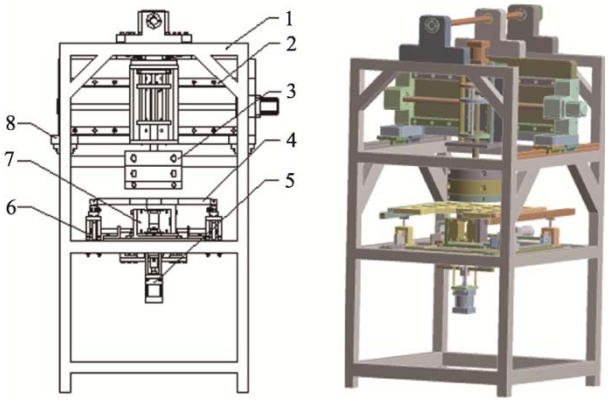
2.1 瞬态分析理论基础

瞬态动力学分析也称为时间历程分析，通过瞬态

收稿日期：2018-11-07

基金项目：国家自然科学基金（501605270）；陕西省重点研发计划（2017ZDXM-GY-138）；陕西省自然科学基础研究计划（2016JM1030）；陕西省教育厅专项科学研究项目（16JK1139）；陕西理工大学校级科研项目（SLGKY16-24）

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。



1.托架 2.y 坐标直线导轨运动机构 3.气缸砝码组机构 4.托盘 5.气缸夹具夹紧机构 6.托盘抬升机构 7.称量传感器 8.x 坐标直线导轨运动机构

图 1　称量传感器误差标定装置的结构
Fig.1 Structure diagram of error calibration device for weighing sensor

分析可以得到结构的位移、应力、应变与时间之间的关系[6—7]。瞬态动力学基本方程为：

$$[M]\{\ddot{x}\}+[C]\{\dot{x}\}+[k]\{x\}=[F] \tag{1}$$

式中：$[M]$为质量矩阵；$[C]$为阻尼矩阵；$[K]$为刚度矩阵；$\{\ddot{x}\},\{\dot{x}\},\{x\}$分别为加速度矢量、速度矢量以及位移矢量；$[F]$为力矢量。结构瞬态动力学分析是通过 Newmark 时间积分对式（1）进行求解。

2.2　有限元模型的建立

有限元分析时，忽略掉丝杠副的螺纹特征，通过设置好的接口将三维模型导入 Ansys Workbench 中，设置好材料参数，采用自由网格划分模式对三维模型进行有限元网格划分[8—15]，578 419 个节点，475 956 个单元，划分后的有限元模型见图 2。

2.3　载荷施加及求解

在对称量传感器进行标定时，气缸将砝码依次冲击托盘上 5 个位置（A，B，C，D，O）并进行测量，见图 3，砝码移动速度为 300 mm/s[1]。

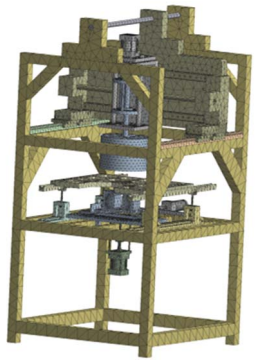


图 2　称量传感器标定装置有限元模型
Fig.2 Finite element model of load cell calibration device

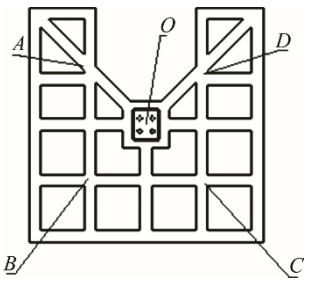
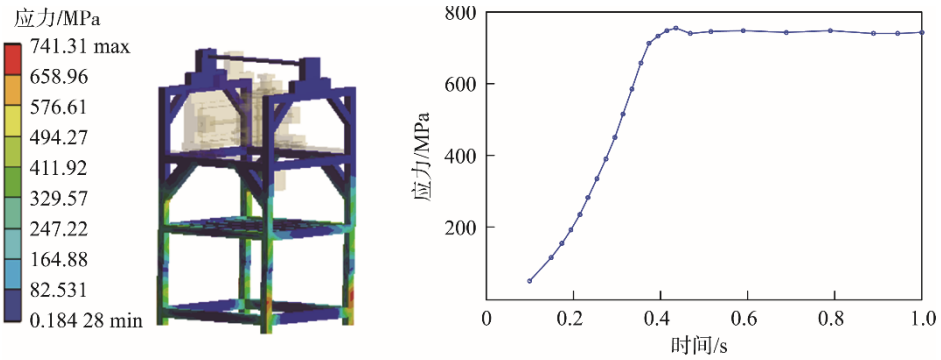


图 3　砝码冲击部位
Fig.3 Weight impact parts

文中采用完全法来对称量传感器标定装置进行瞬态分析，通过瞬态分析得到实际标定工作时托架的最大变形、最大应力随时间变化曲线，见图 4—7。

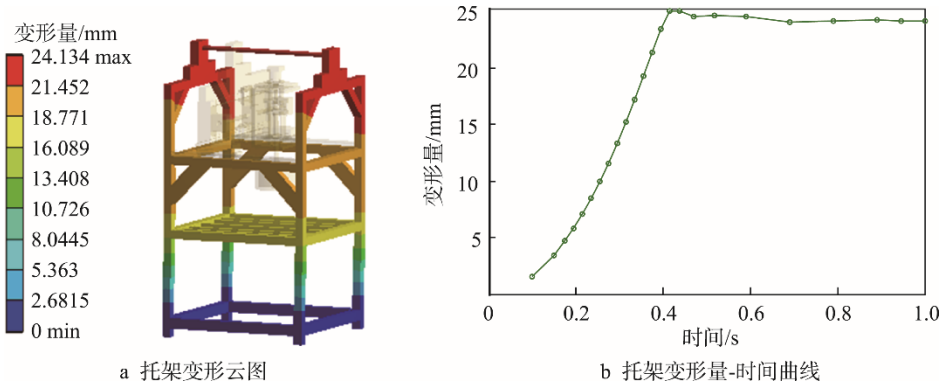
通过图 4、图 5 可以发现：托架的最大应力从 0.2~0.4 s 逐渐增大，最大应力发生在托架的立柱上，最大应力为 741 MPa，托架的最大变形从 0.2~0.4 s 逐渐增大，最大变形发生在托架的上部，最大变形为 24 mm。

通过图 6、图 7 可以发现：托架的最大应力逐渐增大且应力增长率逐渐增大，最大应力发生在托架的立柱上，最大应力为 381.96 MPa，托架的最大变形从 0.2~0.8 s 逐渐增大，最大变形发生在托架的上部，最大变形量为 13.258 mm。



a 托架应力云图　　b 托架应力-时间曲线

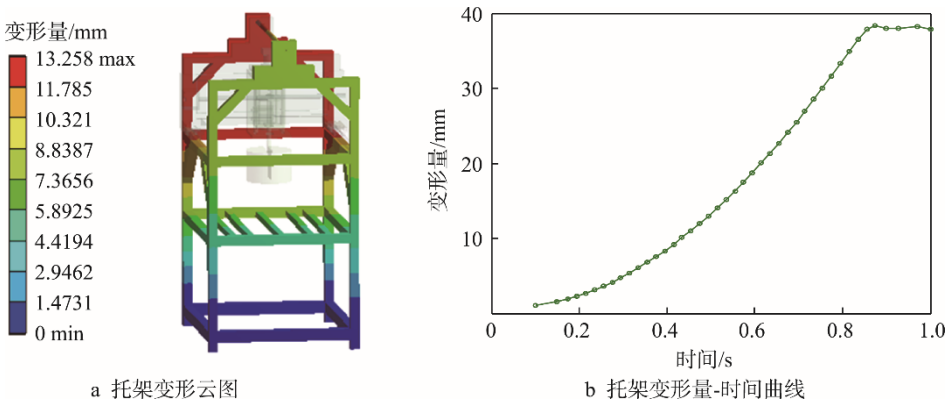
图 4　x 方向进给运动时托架应力与时间关系
Fig.4 Relationship between bracketstress and time of in x-direction feeding



a 托架变形云图　　b 托架变形量-时间曲线

图 5　*x* 方向进给运动时托架变形量与时间关系

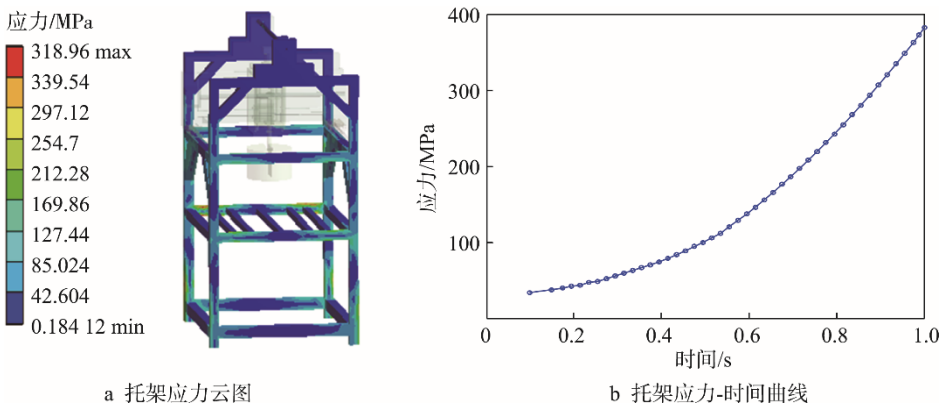
Fig.5 Relationship betweenbracket deformation and time in *x*-direction feeding



a 托架变形云图　　b 托架变形量-时间曲线

图 6　*y* 方向进给运动时托架变形量与时间关系

Fig.6 Relationship between bracket deformation and time in*y*-direction feeding



a 托架应力云图　　b 托架应力-时间曲线

图 7　*y* 方向进给运动时托架应力与时间关系

Fig.7 Relationship between bracket stress and time in *y*-direction feeding

2.4　托架应力实验测试

托架应力检测实验，实验仪器采用动态电阻应变仪以及数据采集仪。实验中应变片的粘贴与测试点设置见图 8，冲击载荷施加方向为 *y* 轴方向。试验中实验参数的设置参考文献[8]。实验应力检测现场见图 9，结果见图 10。由图 10 可知，在应力检测时测试点 2 幅值较大且有波浪式起伏；测试点 8，2，4 在砝码桩基托架的瞬间应力急剧增大；测试点 5，3，7 应力随着时间的增大而逐渐增大，且增长幅度越来越大。

3　托架结构优化

从变形云图和应力云图可以看出，*x* 方向进给运动时托架本身发生了很大应力集中与变形，托架的最大应力发生在下半部分，最大变形发生在上半部分。因此，在托架应力集中部位设计圆角来减小应力集中，在变形最大部位设计加强筋提高托架刚度，优化后的托架模型见图 11，优化后的托架应力、变形与时间的关系见图 12。

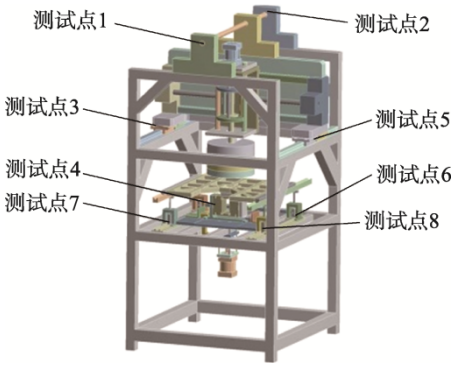


图 8　实验测试点设置

Fig.8 Setting of experimental test points

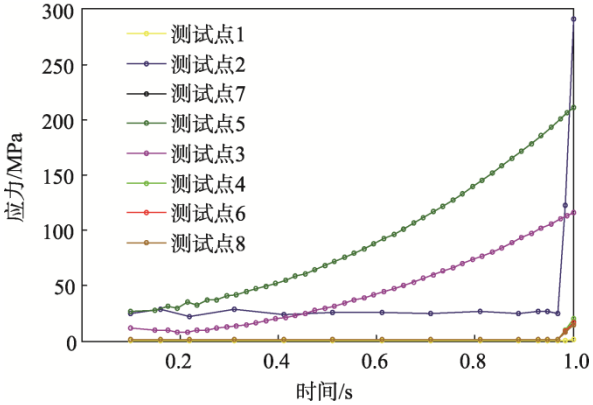


图 10　实验检测结果

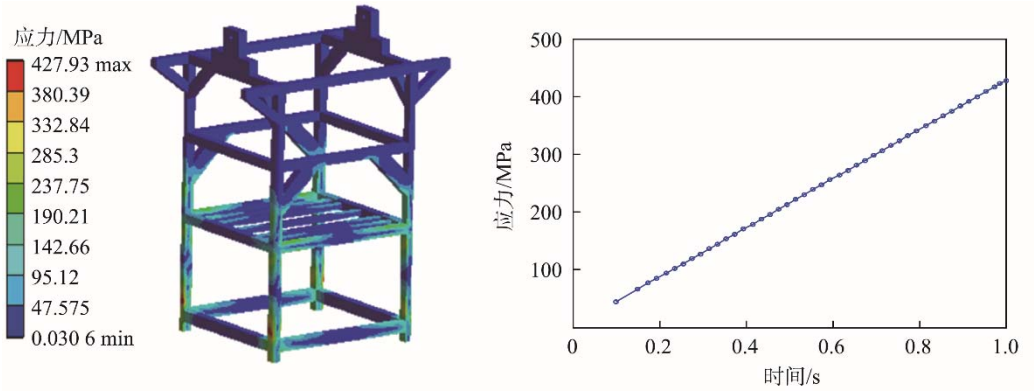
Fig.10 Experimental test results

图 9　托架应力检测现场

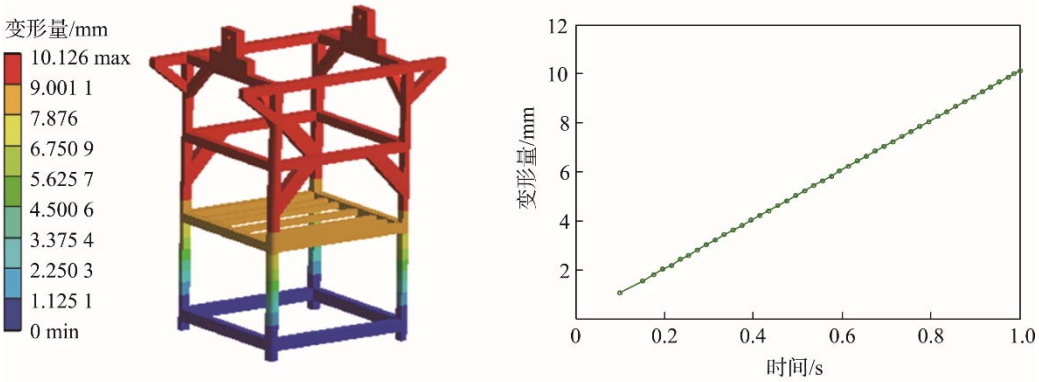
Fig.9 Stress detection site of bracket

图 11　优化后的托架模型

Fig.11 Optimized bracket model



a　*x*方向进给运动时托架应力与时间关系



b　*x*方向进给运动时托架变形量与时间关系

图 12　优化后的托架应力、变形量与时间的关系

Fig.12 Relationship between the post-optimized brackets stress, deformation and time

通过对优化前后的托架分析结果进行对比发现：在时间历程为 1 s 时，优化前托架的最大变形量为 24 mm，最大应力为 741 MPa，优化后托架的最大变形量为 10 mm，最大应力为 427 MPa，可以看出优化后的托架结构很好地降低了托架应力集中程度，提高了托架的刚度。优化前后 x 方向进给运动时托架最大变形、应力对比见表 1。

表 1 优化前后各参数对比
Tab.1 Comparison of parameters before and after optimization

参数	托架最大变形量/mm	托架的最大应力/MPa
优化前	4.134	741.31
优化后	10.126	427.93
变幅/%	-58	-42.30

4 结语

结合三维建模软件 PROE 以及有限元分析软件 Ansys，对称量传感器标定装置进行瞬态动力学分析，得到了实际工况下托架变形、应力与时间的关系曲线，为了验证有限元分析的准确性对托架进行了应力检测，以有限元分析结果以及实验检测结果为依据，通过对托架应力集中部位进行圆角化，以及设计加强筋，使得托架的最大应力减少了 42.4%，最大变形减少了 58%，可为称量传感器标定装置的样机制造及优化提供一定的理论参考。

参考文献：

[1] 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.

[2] 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 Automationl, 2014, 33(7): 89—90.

[3] RATNAM M M, LIM J H, KHALIL H P S. Study of Three-dimensional Deformation of a Pallet Using Phase-shiff Shadow Moire and Finite-element Analysis[J]. Experimental Mechanics, 2005, 45(1): 9—17.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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 Ling. Research on the Light-Weight Methods for the Metal Structure of Venice Series Bus Bodies[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010.

[7] 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.

[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 Surnrnarization of the Fixture Designe Tchniques[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2002, 31(5): 36—40.

[9] 冯博琳，王军利，黄崇莉，等. 参数化称重传感器标定托架有限元分析及优化[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2016, 32(6): 19—23.
FENG Bo-lin, WANG Jun-li, HUANG Chong-li, et al. FEM Analysis and Optimization of Bracket of Parametric Weighing Sensor Calibration Device[J]. Journal of Shaanxi University of Technology (Natural Science Edition), 2016, 32(6): 19—23.

[10] 冯博琳，王军利，贺洋洋，等. 新型称重传感器气缸砝码组件设计[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2017, 33(1): 27—32.
FENG Bo-lin, WANG Jun-li, HE Yang-yang, et al. New Type Weighing Transducer Cylinder Farmar Component Design[J]. Journal of Shaanxi University of Technology (Natural Science Edition), 2017, 33(1): 27—32.

[11] 冯博琳，王军利，熊超，等. 称重传感器蠕变误差检测装置机架动态特性研究[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2017, 33(2): 34—38.
FENG Bo-lin, WANG Jun-li, XIONG Chao, et al. Study on Dynamic Characteristics of Weighing Sensor Creep Error Detection Device Rack[J]. Journal of Shaanxi University of Technology (Natural Science Edition), 2017, 33(2): 34—38.

[12] 王军利，冯博琳，贺洋洋，等. 称重传感器蠕变误差检测装置机架的轻量化设计[J]. 陕西理工大学学报(自然科学版), 2017, 33(4): 12—16.

WANG Jun-li, FENG Bo-lin, HE Yang-yang, et al. Lightweight Design to Frame of the Creep Error Detection Device of Load Cells[J]. Journal of Shaanxi University of Technology (Natural Science Edition), 2017, 33(4): 12—16.

[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 Ling. 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.