

doi: 10.7690/bgzdh.2016.08.023

基于 ANSYS Workbench 的某定位平台基座的拓扑优化设计

何雨松, 李玉峰

(1. 西南自动化研究所武器装备信息与控制技术研发中心, 四川 绵阳 621000;

2. 中国兵器装备集团公司, 北京 100089)

摘要: 为了在满足基座使用需求的前提下尽可能减轻其质量, 使用三维设计软件 Pro/E 与有限元分析软件 ANSYS Workbench 对结构进行拓扑优化设计。基于拓扑优化的优点, 以某型定位平台的基座为研究对象, 在 Pro/E 软件中建立其三维模型, 利用 ANSYS Workbench 强大的有限元分析功能, 结合基座的工程使用条件, 进行结构拓扑优化设计, 并对优化前后的基座动静特性进行对比分析。分析结果表明: 优化后基座的静刚度与固有频率得到有效提高, 并减轻了约 10% 的质量, 拓扑优化设计的结果对生产实践具有良好的理论指导意义。

关键词: 基座; 拓扑优化; 有限元分析; ANSYS Workbench

中图分类号: TP202 **文献标志码:** A

Topological Optimization Design of the Base of Position Stage Based on ANSYS Workbench

He Yusong, Li Yufeng

(1. *Research & Development Center of Weapon Equipment Information & Control, Southwest Automation Research Institute, Mianyang 621000, China;* 2. *China South Industries Group Corporation, Beijing 100089, China*)

Abstract: In order to reducing the weight of base while meeting the using requirements, the topological optimization of the design of the structure is done by 3D design software Pro/E and ANSYS Workbench. According to the advantages of topological optimization, studying on the base of some kind of position stage, establishing the 3D model with Pro/E, the topological optimization of the base is done under the real working condition with ANSYS Workbench which has the powerful function of finite element analysis. Comparing the static characteristics and dynamic characteristics of the base in the topological optimization after and before, the results of analysis shows that: the stiffness and nature frequency of the optimized base are all effectively improved, while reducing the quality with 10%, and these proves that the design with topological optimization has a good significance in theory for the productive practice.

Keywords: base; topological optimization; finite element analysis; ANSYS Workbench

0 引言

从结构设计与工程应用的角度出发, 结构优化的层次大概可以分为 3 类: 首先是拓扑优化, 确定结构的最优拓扑; 其次是形状优化, 确定给定拓扑条件下的最优边界形状; 最后是尺寸优化, 最终确定结构中各处细节的具体尺寸。其中, 拓扑优化是在给定的一个设计域内, 结合边界条件, 通过计算得到该结构中材料的最优分布。拓扑优化结束后, 可以根据拓扑优化结果对产品的形状和尺寸进行合理优化^[1-2]。由此可见, 拓扑优化是整个产品设计中的核心。

基座是某型坐标定位平台的重要组成部分, 其静态与动态特性直接关系到整套设备的稳定性和定位精度。同时人们又希望能够在满足基座使用需求的前提下尽可能减轻其质量; 因此, 笔者结合基座的实际安装尺寸要求和功能指标需求, 使用三维设

计软件 Pro/E 与有限元分析软件 ANSYS Workbench 对结构进行拓扑优化设计, 并对改进前后的基座静态和动态特性进行对比分析。

1 建立三维模型

使用三维建模软件 Pro/E 进行基座的三维建模, 在此过程中笔者结合圣维南原理对部分基座上的部分倒角、凸台及螺钉孔之类的结构进行了适当的简化^[3]。既不影响基座的强度和刚度, 又提高了有限元分析的效率。笔者使用的基座三维模型如图 1 所示。

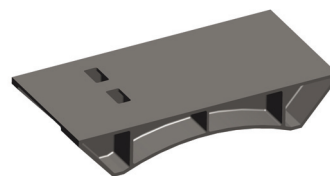


图 1 基座

收稿日期: 2016-04-28; 修回日期: 2016-05-15

作者简介: 何雨松(1987—), 男, 四川人, 工学硕士, 助理工程师, 从事机械设计及理论、机械机构动力学及应用研究。

2 有限元分析

2.1 建立有限元模型

将基座三维模型以 Pro/E 原格式导入 ANSYS workbench 中, 坐标系设置为 ANSYS workbench 默认坐标系。

按照设计要求, 基座壁厚均匀, 内部布有十字交叉加强筋, 所使用材料为 HT250, 取其弹性模量 $E=1.1 \times 10^{11}$ Pa, 泊松比 $\lambda=0.28$, 密度 $\rho=7\ 200$ kg/m³。

2.2 施加约束与载荷并求解

根据基座的安装要求与受力情况, 将基座底部弧面固定, 即 X 、 Y 、 Z 3 个方向位移为 0; 同时在基座顶部最大平面上施加 3 200 N 的作用力, 作用力的方向垂直并朝向该平面, 如图 2 所示。

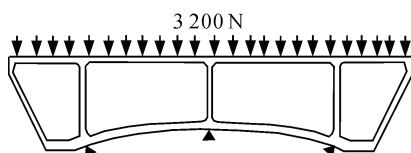


图 2 约束与载荷

考虑整套设备的运行情况, 基座主要受力方向为 Y 向(即垂直方向), 在水平方向几乎不受力, 为了简化受力模型并提高分析效率, 笔者只考虑 Y 向的静刚度分析。调取 ANSYS Workbench 中“Static Structure”模块进行静力学分析, 位移变形如图 3 所示, 求解结果汇总于表 1。静刚度公式^[4]如下:

$$K=F/\delta. \quad (1)$$

式中: K 为静刚度; F 为作用力; δ 为变形量。

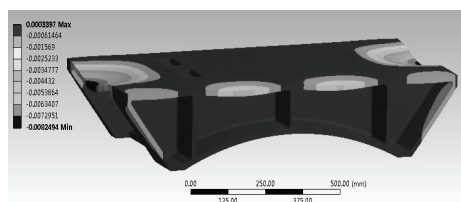


图 3 Y 向位移变形

同时, 由于设备使用环境的特殊性, 在启动后会维持一段时间的低速运转, 这个阶段的振动频率小于或等于 300 Hz。为了避免因共振而导致设备损坏, 需要使用 ANSYS Workbench 中“Modal”模块对基座的前六阶模态进行分析, 见表 1。

表 1 优化前后基座固有频率

基座模态	优化前固频/Hz	优化后固频/Hz
1	501.02	726.93
2	510.14	896.45
3	786.25	990.70
4	820.23	1 060.80
5	854.75	1 096.90
6	865.73	1 112.10

根据静力学与模态分析的结果, 结合工程实际可知, 基座各项技术指标均满足使用需求, 说明该基座的原设计可以用于实际使用。

3 拓扑分析与结果验证

拓扑优化实际上是一种模型的几何造型的优化, 在特定的情况下也可以称为“布置”优化。拓扑优化的目标是, 在受到给定约束的情况下, 为了使某个目标量(总体刚度、自振频率等)最小化或最大化而寻求实体材料的最佳使用方案^[5]。

3.1 拓扑优化

因为整套设备容纳基座的空间尺寸发生变化, 在满足使用需求, 保证结构刚度的前提下, 尽量减小基座质量, 并最大可能地优化基座结构形状, 笔者利用 ANSYS Workbench 的拓扑优化功能对原有基座进行了优化设计。

选用“shape optimization”模块, 模型的导入和约束、载荷的添加与前述分析相同, 设置优化目标(即基座质量)为 20%, 进行运算求解, 得出优化结果如图 4。图中箭头所指位置表示可去除的部分。

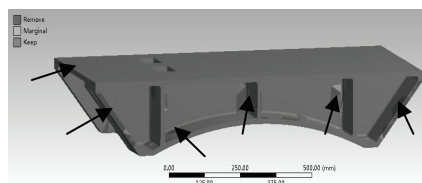


图 4 拓扑优化运算结果

3.2 基座结构的优化改进

图 4 所示可以删除的部分多为不规则形状, 结合整套设备的实际运行环境与使用需求, 考虑到基座底部与接口设备之间连接必须保证密封性; 所以结合优化运算结果与工程实际, 在三维造型软件 Pro/E 中对原有基座结构进行规则切除与重塑, 同时在跨度较大的部位设置加强筋板^[6], 得出新的基座模型如图 5 所示。

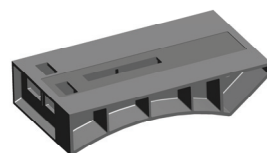


图 5 改进后的基座模型

3.3 优化模型的结果验证

比照前述分析方法, 笔者对优化改进后的基座模型进行静力学分析和模态分析^[7], 根据加载后的变形结果计算其静刚度, 列于表 2。

表 2 分析结果汇总

基座	Y 向刚度/(N/m)	质量/kg
优化前	3.90×10^8	166.16
优化后	8.89×10^8	151.22

对比分析表 1 与表 2 所列数据可知：优化改进后的基座模型静刚度明显增大，前六阶固有频率相应提高，仍满足使用需求，且基座质量比原来减轻了约 15 kg。

4 结论

1) 使用三维造型软件 Pro/E 与有限元分析软件 ANSYS Workbench 联合对基座进行静力学和动力学分析，快速有效地验证了基座结构设计满足实际使用需求，极大地缩短了产品的研制周期。

2) 通过 ANSYS Workbench 对基座结构进行拓扑优化设计，同时结合工程应用实际改进基座构形，既提高了基座的静刚度，又有效地避免了材料浪费(减重 15 kg)，同时基座的固有频率也相应提高，得到了较为优良的基座设计方案。

此外，文中所涉及的设计和优化数据已经应用

(上接第 82 页)

参考文献：

[1] 许军, 吕强, 陈圣俭. 电路故障诊断方法的研究现状与发展[J]. 火力与指挥控制, 2008(S2): 1-4.

[2] Cui J, Wang Y. A novel approach of analog circuit fault diagnosis using support vector machines classifier[J]. Measurement, 2011, 44(1): 281-289.

[3] Zhou S G, Luo Z F. Application of Fuzzy Neural Network to Analog Circuit Fault Diagnosis[J]. Applied Mechanics & Materials, 2012, 182-183(5): 1179-1183.

[4] 许丽佳, 黄建国, 王厚军. 基于 HMM 的模拟电路故障诊断方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(7): 1215-1222.

[5] Luo H, Cui J, Wang Y. A SVDD approach of fuzzy classification for analog circuit fault diagnosis with FWT as preprocessor[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(8): 10554-10561.

[6] Li Z, Tan G. Open Switch Fault Diagnosis for Three-Level Inverter based on Wavelet Packet Analysis and Hybrid LSSVM[J]. Appl. Math, 2014, 8(1L): 379-384.

[7] 黄江帅. 基于液体状态机的脑运动神经系统的建模研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.

于生产实践，具有良好的实际指导意义。

参考文献：

[1] Manolis G D, Paraskevopoulos E, Panagiotopoulos C, et al. Risk analysis of industrial structure under extreme transient loads[J]. Soil Dynamics and earthquake Engineering, 2004, 24(4): 435-448.

[2] 张向宇, 熊计, 郝铎, 等. 基于 ANSYS 的加工中心滑座拓扑优化设计[J]. 设计与研究, 2008(6): 68-70.

[3] 高东强, 毛志云, 张功学, 等. 基于 ANSYS Workbench 的 DVG850 工作台拓扑优化[J]. 机械设计与制造, 2011(2): 62-63.

[4] 刘江. ANSYS 14.5 Workbench 机械仿真实例详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2015: 121-149.

[5] 蔡新, 郭兴文, 张旭明. 工程结构优化技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 21-35.

[6] 杨姝. 复杂机械结构拓扑优化若干问题研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.

[7] 吴伟峰, 张伟中, 钱荣. 一种新型二自由度并联机构的运动学及静力学分析[J]. 机电工程, 2015, 32(2): 206-210.

[8] Burgsteiner H. Training networks of biological realistic spiking neurons for real-time robot control[C]. Proceedings of International Conference on Engineering Applications of Neural Networks, (2005b): 129-136.

[9] Tal D, Schwartz E L. Computing with the Leaky Integrate-and-Fire Neuron: Logarithmic Computation and Multiplication[J]. Neural Computation, 1997, 9(2): 305-318.

[10] Maass W, Natschläger T, Markram H. Fading memory and kernel properties of generic cortical microcircuit models[J]. J Physiol Paris, 2004, 98(4-6): 315-330.

[11] Markram H, Maass W, Natschläger T. Real-Time Computing Without Stable States: A New Framework for Neural Computation Based on Perturbations[J]. Neural Computation, 2002, 14(11): 2531-2560.

[12] Chella A, Rizzo R. Biological & Artificial Intelligence Environments[M]. Springer Netherlands, 2005: 133-139.

[13] Auer P, Burgsteiner H M, Maass W. The p-Delta Learning Rule for Parallel Perceptrons[Z]. Submitted for publication, 2001.

[14] 竺琼, 胡志忠, 浦建开. 基于 SLPS 的模拟电路故障样本自动获取技术[J]. 电子设计工程, 2012, 20(1): 36-38.