

doi: 10.7690/bgzdh.2021.03.017

设备舱底板组件结构优化设计

董龙飞, 许先明, 卢明

(博微太赫兹信息科技有限公司, 合肥 230088)

摘要: 为提高产品的性能, 对设备舱底板组件进行静力学仿真。以底板组件的中间板厚和型材壁厚作为设计变量, 构建设备舱底板组件 3 维模型, 利用 3 维设计软件对底板组件结构进行参数化设计, 基于轻量化原则, 使用有限元分析软件对底板组件进行结构优化, 对优化结果进行后处理, 设置优化目标的参数与权重, 确定最佳设计点。仿真结果表明: 与原方案相比, 优化后的底板组件质量减少 40.94%。

关键词: 底板组件; 有限元分析; 结构优化

中图分类号: TH122 **文献标志码:** A

Structural Optimization Design of Equipment Cabin Base Plate Assembly

Dong Longfei, Xu Xianming, Lu Ming

(Brainware Terahertz Information Technology Co., Ltd., Hefei 230088, China)

Abstract: In order to improve the performance of the product, a static simulation of the equipment cabin base plate assembly was carried out. Taking the middle plate thickness and profile wall thickness of the base plate assembly as design variables, the 3-dimensional model of the equipment base plate assembly was constructed, and the structure of the base plate assembly was parametrically designed using 3-dimensional design software. Based on the principle of lightweight, finite element analysis software was used to optimize the structure of the base plate assembly. Post-process the optimization results, the parameters and weights of the optimization target were set, and the optimal design point was determined. The simulation results show that the weight of the optimized base plate assembly was reduced by 40.94% compared with the original plan.

Keywords: base plate assembly; finite element analysis; structural optimization

0 引言

随着生产技术的不断发展, 缩短产品研发周期、提高生产效率、节省成本已成为企业不断追求的目标^[1]。依靠传统经验的机械设计方法一般安全系数较高, 不能较好地契合企业对降本增效的诉求^[2]。近年来, 随着有限元方法的不断运用, 越来越多的产品通过结构优化设计不断提升产品性能^[3-4], 如: 韩晓东等^[5]对变压器油箱进行优化设计, 减小了油箱质量, 降低了生产成本; 程相文等^[6]使用 ANSYS Workbench 对滚筒进行了多目标优化, 使其静态特性得到提高; 李铁刚等^[7]对码垛机器人抓手的易疲劳部位进行优化设计, 使其疲劳寿命得到显著提高。

笔者以设备舱底板组件为研究对象, 采用 3 维设计软件进行参数化建模, 运用有限元分析软件进行静力学分析与结构优化设计。

1 设备舱底板组件静力学分析

设备舱底板组件上预留有叉车孔, 可满足产品灵活部署、快速转运的市场需求。而底板组件作为

设备舱的关键承重件, 其质量和强度的考虑是必要的。根据原设计方案, 中间板厚 $H=10\text{ mm}$, 型材壁厚 $B=8\text{ mm}$ 。如图 1 所示, 将底板组件沿 A-A 方向剖开, 得到零件 2 和零件 3 的截面, 其中 B 指零件 2 截面壁厚及零件 3 虚线部分截面壁厚。

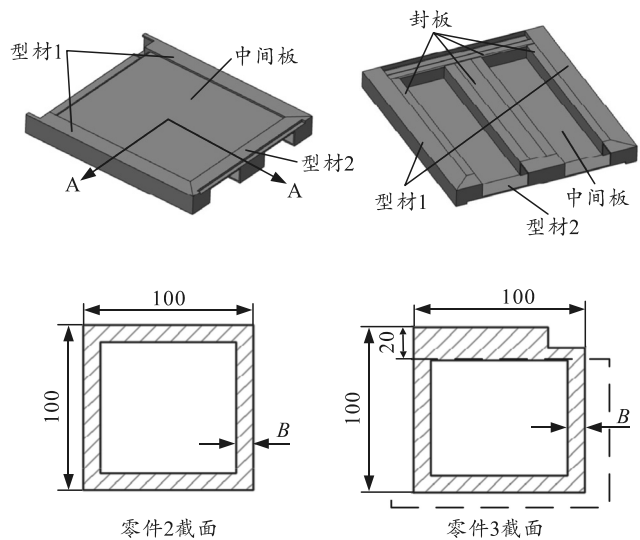


图 1 底板组件结构

收稿日期: 2020-11-17; 修回日期: 2020-12-10

作者简介: 董龙飞(1991—), 男, 安徽人, 硕士, 助理工程师, 从事智能安检设备机械设计与仿真研究。E-mail: 1430953806@qq.com。

使用 3 维设计软件对设备舱底板组件进行 3 维建模, 并设置与有限元分析软件无缝对接模式, 可将模型直接导入有限元分析软件, 无需中间格式转换^[8-9]。设置底板组件材料为铝合金 6061T4, 弹性模量为 71 GPa、泊松比为 0.33、屈服强度为 110 MPa、密度为 2 770 kg/m³。如图 2(a)所示, 对底板组件采用网格自动划分形式, 设置网格单元尺寸为 10 mm, 得到单元数为 95 863, 节点数为 283 846。由于设备舱采用叉车转运方式, 且在底板组件上方安装设备; 因此, 在底板组件安装设备接触面处和型材受力面处添加力载荷, 约束叉车货叉与底板组件接触面为固定约束, 同时添加底板组件自身重力, 如图 2(b)所示。求解出底板组件的总体变形量云图与等效应力云图如图 3 所示。

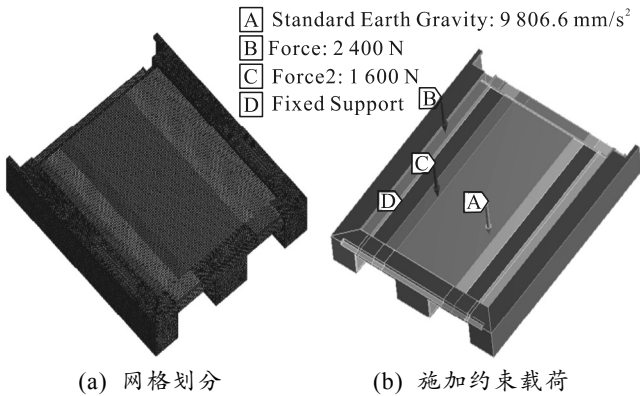


图 2 网格划分与施加约束载荷

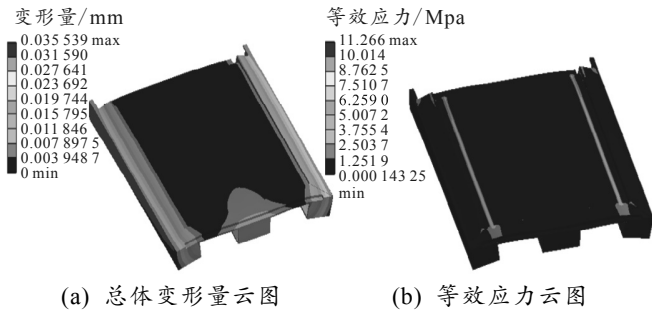


图 3 总体变形量与等效应力云图

分析可知: 原方案底板组件质量为 57.054 kg, 最大变形量约为 0.036 mm, 最大等效应力为 11.266 MPa。最大等效应力远小于材料的屈服极限, 可见底板组件有较大的优化空间。

2 设备舱底板组件结构优化设计

2.1 设计变量参数设置

由于封板质量较小且只用作叉车侧壁的遮挡, 故不予考虑。只以中间板厚 H 和型材壁厚 B 作为设计变量, 利用 3 维设计软件对底板组件进行参数化

设计, 根据加工工艺和重量要求确定输入参数的变化范围见表 1 所示。

设计变量	变化范围
中间板厚 H	4~12
型材壁厚 B	2~8

2.2 灵敏度分析

灵敏度是指系统输入参数对输出结果的影响程度^[10]。如图 4 所示, 运用有限元分析软件对设计变量相对于最大变形量、最大等效应力和质量进行灵敏度分析, 可确定设计变量对输出结果的影响程度。

可见, 设计变量参数 H 和 B 对底板组件的最大变形量和最大等效应力的影响为负相关, 而对质量的影响为正相关。参数 B 对最大变形量的影响远大于参数 H , 而参数 H 对最大等效应力和质量的影响略大于参数 B 。

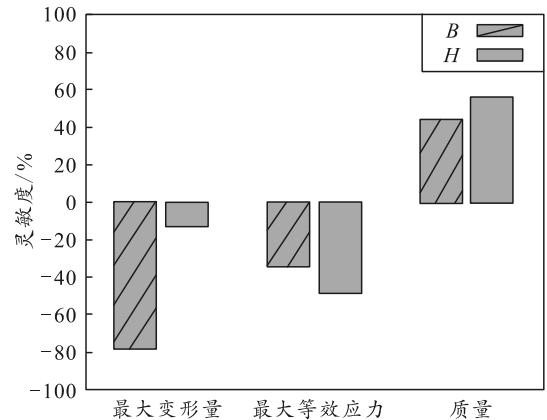


图 4 灵敏度分析

2.3 响应面分析

在网格划分、施加约束载荷与静力学仿真前处理相同的情况下, 根据设计变量 H 和 B 的变化范围, 基于有限元分析软件对底板组件进行结构优化, 得出优化目标的响应面如图 5—7 所示。

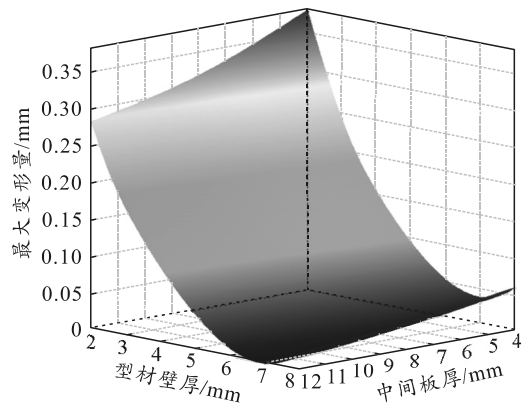


图 5 最大变形量响应面

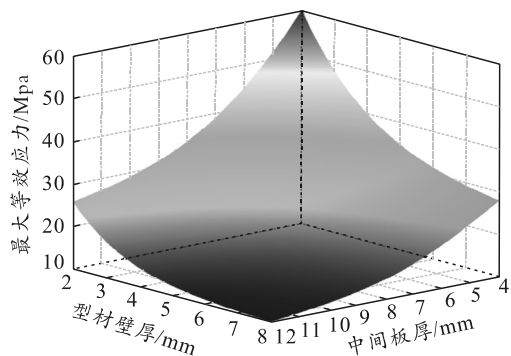


图 6 最大等效应力响应面

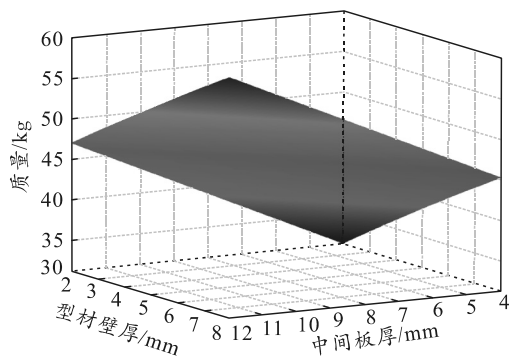


图 7 质量响应面

由响应面分析可知：只要给出设计变量 H 和 B 的确定值，可以得出底板组件的最大变形量、最大等效应力、质量的具体结果。

2.4 优化结果分析

在有限元分析软件下对优化结果进行后处理，设置优化目标的参数与权重如表 2 所示。底板组件为焊接件，为了保证结构强度，许用应力设为 55 MPa (安全系数取 2)，以轻量化为原则，将质量权重设为最高。

表 2 优化目标设置

目标函数	优化目标	权重
最大等效应力/MPa	≤55	默认
最大变形量	最小	默认
质量	最小	最高

如表 3 所示，仿真得出结构优化的推荐设计点。

表 3 推荐设计点

H/mm	B/mm	质量/kg	最大变形量/ mm	最大等效应力/ MPa
4.035	2.771	33.206	0.272	50.508
4.082	3.923	36.083	0.160	40.263
4.012	5.075	38.662	0.092	34.692

综合考虑，选择第 1 个设计点：中间板厚 H 为 4.035 mm、型材壁厚 B 为 2.771 mm。对该设计点的尺寸进行圆整，作为最佳设计点，取 H 为 4 mm， B 为 3 mm，使其符合加工工艺与市场上成熟型材厚度要求。

优化后方案与原方案的对比结果如表 4 所示。

表 4 优化前后方案对比

方案	质量/kg	最大变形量/mm	最大等效应力/MPa
原方案	57.054	0.036	11.266
优化后	33.696	0.244	48.382

与原方案相比，优化后的底板组件虽然最大变形量和最大等效应力都有一定增加，但仍满足结构强度条件，质量减少了 40.94%。

3 结论

笔者对设备舱底板组件进行参数化设计，通过灵敏度分析，发现设备舱底板组件的中间板厚和型材壁厚对优化目标有较大影响。进一步将中间板厚和型材壁厚作为自变量，以轻量化为原则，对底板组件进行结构优化。结果表明：在保证结构强度的条件下，优化后的底板组件质量相比于原设计方案减少了 40.94%。

参考文献：

- [1] 周大钧. 现代制造企业 ERP 系统中采购管理与库存管理子系统的设计与实现[D]. 济南: 山东大学, 2007.
- [2] 李恒熙. 基于 ANSYS 的 CK6136 数控车床的有限元分析及优化设计[D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [3] HUANG W, OU C S, LU H M, et al. Finite Element Analysis and Topology Optimization for the Gantry Milling Machine Column Structure[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011(80-81): 1016-1020.
- [4] LI J, KONG X W, LI L, et al. Analysis of Finite Element and Optimization Design of Mechanical Excavator Rotary Platform[J]. Advanced Materials Research, 2013, 706-708(2): 1205-1208.
- [5] 韩晓东, 王革鹏, 高飞, 等. 基于 ANSYS Workbench 的变压器油箱优化设计[J]. 高压电器, 2014, 50(8): 110-114.
- [6] 程相文, 刘钊, 魏荣. 基于 ANSYS Workbench 带式输送机传动滚筒的多目标优化设计[J]. 矿山机械, 2013, 41(3): 70-73.
- [7] 李铁刚, 冯显英, 岳明君, 等. 码垛机器人抓手的结构设计及有限元分析与优化[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(3): 49-52.
- [8] 张永伟, 康兴无. 基于 ANSYS Workbench 的某通信发射塔模态及地震响应谱分析[J]. 兵器装备工程学报, 2016, 37(11): 83-86.
- [9] 查太东, 杨萍. 基于 Ansys Workbench 的固定支架优化设计[J]. 煤矿机械, 2012, 33(2): 28-30.
- [10] 张国锋, 王卫荣. 基于 ANSYS Workbench 的吊座尺寸多目标优化设计[J]. 机械工程与自动化, 2014(1): 69-70, 73.