

## 方罐盖注胶烘干机罩边机构有限元分析及优化设计

李玉华<sup>1</sup>, 王文雅<sup>2</sup>, 蒙磊<sup>3</sup>, 李光<sup>2</sup>

(1. 天津市奥恒机电装备有限公司, 天津 300380; 2. 天津科技大学, 天津 300222;  
3. 天津天狮学院, 天津 301700)

**摘要:**目的 研究方罐盖注胶烘干机罩边机构在复杂应力作用下的静态和动态特性, 并进行优化设计。方法 通过 Ansys Workbench 建立罩边机构三维模型, 应用有限元分析方法对上压板结构进行静态分析和模态分析; 建立优化数学模型, 对比分析优化前后结果。结果 通过分析获得了优化前后的应力云图、变形云图以及模态振型图。优化后的上压板厚度减小了30%, 宽度减小了7%, 变形量等效应力增加, 固有频率有所减少, 质量减轻了约7.1 kg。结论 经分析, 罩边机构上压板的结构优化是合理的, 在保证强度和刚度的条件下, 减少质量并节约成本。

**关键词:** 方罐盖; 罩边机构; 上压板结构; 有限元分析; 优化设计

中图分类号: TB486 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)07-0120-05

## Finite Element Analysis and Optimization Design of Cover Edge Mechanism for Square Tin Cover Glue-injection and Drying Machine

LI Yu-hua<sup>1</sup>, WANG Wen-ya<sup>2</sup>, MENG Lei<sup>3</sup>, LI Guang<sup>2</sup>

(1. Tianjin Aoheng Mechanical and Electrical Equipment Co., Ltd., Tianjin 300380, China; 2. Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China; 3. Tianjin Tianshi College, Tianjin 301700, China)

**ABSTRACT:** This experiment researched the static and dynamic characteristics and made an optimization design of cover edge mechanism for square tin cover glue-injection and drying machine. The 3D model of cover edge mechanism was created by Ansys Workbench, and the method of finite element analysis was used for the static analysis and modal analysis of up plate structure. The optimization mathematic model was created and the analytical results before and after optimization were compared. Through the analysis, the stress and deformation before and after optimization and the modal vibration mode were obtained. The up plate thickness after optimization decreased by 30%, and the width reduced by 27%, while the equivalent stress deformation increased, the natural frequency reduced, and the quality decreased by about 7.1 Kg. The analysis showed the optimization of up plate structure was reasonable, and the quality was reduced and the cost was saved in the condition of ensuring the strength and rigidity.

**KEY WORDS:** square tin cover; cover edge mechanism; up plate structure; finite element analysis; optimization design

方罐盖注胶烘干机是制罐行业的专用设备, 由输送、取料、加紧送进、罩边、注胶、烘干和堆码等机构组成, 其工作原理是将冲压好的未罩边的方罐盖通过输送带送入翻转结构, 经翻转取料后由夹紧步进机构送到罩边工位, 罩边模具在凸轮的驱动下上升并罩边, 夹紧步进机构同时将罩边后的罐盖移送到注胶和烘

干工位, 烘干后传递至出料输送带上, 移至堆垛机构垂直码放整齐。

罩边机构是方罐盖注胶烘干机整个系统的重要组成部分, 罩边的作用主要是使方罐盖的侧边与方罐盖垂直冲压形成向内侧弯曲, 以实现方罐盖堆码后分层, 方便后期封盖操作。利用三维建模软件 Pro/E 建

收稿日期: 2015-06-23

作者简介: 李玉华(1960—), 男, 天津人, 工程师, 主要研究方向为包装机械。

立罩边机构的三维模型,见图1,其工作原理是在凸轮的推动下通过升降完成罩边。罩边机构在工作过程中,上压板是主要的承载部分,要承受一定的载荷和形变,因此上压板具有足够大的强度、刚度和振动性能是必要的。在罩边机构的结构设计中有必要对上压板结构进行静态和模态分析<sup>[1-2]</sup>,为获得最优的设计结构,也有必要对其结构进行优化设计。



图1 罩边机构三维模型

Fig.1 3D mode of cover edge mechanism

## 1 罩边上压板结构有限元分析过程

有限元分析是通过将三维模型划分成有限个小的单元格,然后对每一个单元格进行求解,从而解决问题。由于有限元不仅仅计算精度高,并且能够适应各种复杂的形状,因此它是工程分析的有效手段。将有限元方法与优化设计结合,不仅摆脱了设计人员繁琐的实验,还能够缩短研发时间和降低研发成本,使产品在提高性能、减少经济成本上相协调<sup>[3-5]</sup>。

### 1.1 建立罩边上压板结构三维模型

罩边机构的实际结构比较复杂,利用 Ansys Workbench 建立罩边上压板结构的模型,见图2,在建模过程中简化了一些像倒角、圆弧等对上压板刚度影响不大的结构,以便有限元计算和以后的优化设计。罩边上压板结构的整体尺寸为 470 mm × 130 mm × 30 mm,孔圆心距离为 390 mm,圆孔直径为 50 mm,中心孔直径为 10 mm,中心孔圆心距离为 40 mm,屈服强度为 310 MPa,抗拉强度为 460 MPa。

### 1.2 确定材料参数和有限元单元类型

罩边上压板结构所选用材料为 304 不锈钢,304 不锈钢是不锈钢中常用的一种材质,其冲压弯曲等加工性能好,韧性高,具有良好的耐蚀性、耐热性等特点,广泛地被应用于工业、家具行业与医疗食品等行业。

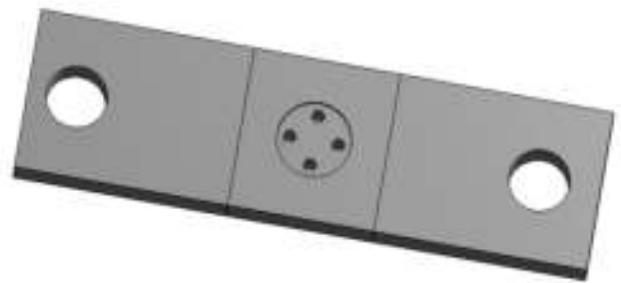


图2 罩边上压板结构三维模型

Fig.2 3D mode of up plate structure of cover edge mechanism

经查手册知其弹性模量为 200 GPa,泊松比为 0.3,密度为 7.85 g/cm<sup>3</sup>。分析罩边上压板结构,选取 10 节点,每个节点有 3 个沿着 xyz 方向平移的自由度的 Solid187 单元类型,此单元可以很好地模拟所需模型,见图3。

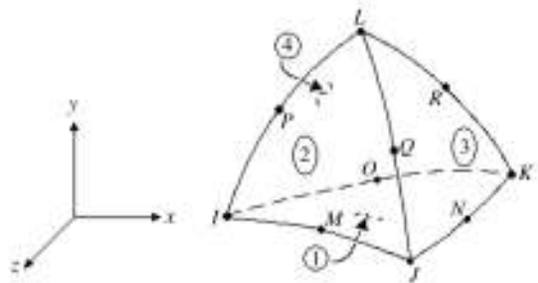


图3 Solid187单元类型

Fig.3 Solid187 element

### 1.3 确定上压板边界条件

施加合理的边界条件,对结构的自由度进行约束,有利于提高有限元分析的准确性。在进行有限元分析之前,必须对结构施加正确的约束,否则会使分析计算结果不准确,从而影响到有限元分析和优化设计的结果。罩边中上压板与中间压块采用 4 个直径为 10 mm 的螺栓连接在一起,两侧通过两个外径为 50 mm、内径为 27 mm 的弹簧压在两侧的导杆上,应该对上压板中间与两侧施加约束。

### 1.4 网格划分

网格划分后罩边上压板结构包括 11 994 个节点,6570 个单元。上压板网格划分模型见图4。

## 2 静力结构分析

静力结构分析是工程设计中应用得最为频繁的一种结构分析类型,主要用于求解结构在静力载荷的

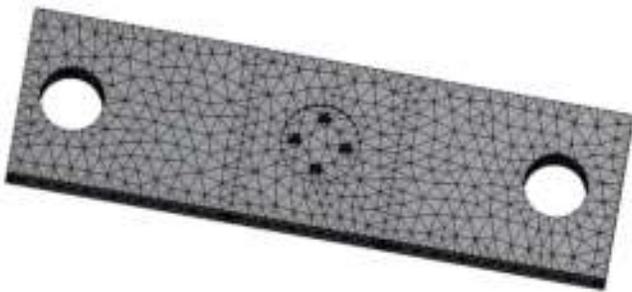


图4 上压板网格划分模型

Fig.4 Meshing model of up plate

作用下发生的与时间无关的位移和应力。静力结构分析求解的步骤:首先建立模型,然后对模型施加载荷与边界条件,最后进行求解分析评价。对罩边机构上压板结构静态分析结果云图见图5。

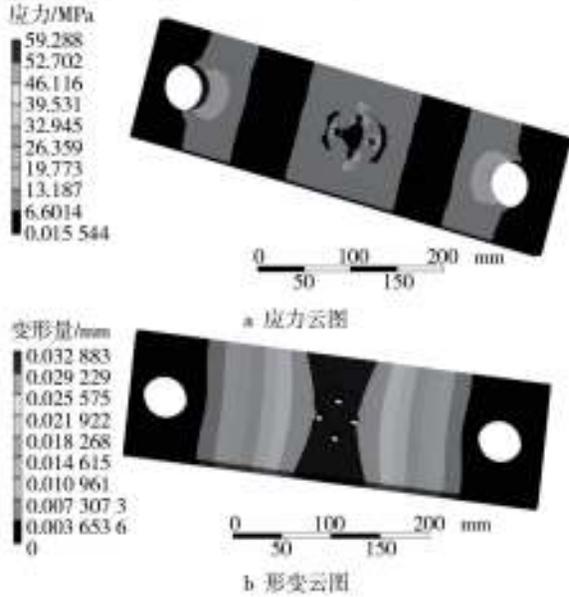


图5 静态结构分析云图

Fig.5 The static structural analysis

从图5a可以看出,最大应力为59 MPa,出现在上压板的中间位置。最大应力远远小于屈服极限,整个上压板结构不会发生屈服,满足应力要求,从图5b可以看出,最大变形量为0.03 mm,发生在在上压板的中间位置,通过图中最大变形量与上压板厚度进行比较可知能满足刚度要求。

### 3 模态分析

通过模态分析可以得到罩边机构上压板结构的固有频率和相应的振型,从而分析出结构比较薄弱的区域,也可以得到相连接部位的共振频率,模态分析可为结构优化设计提供必要依据<sup>[6-7]</sup>。上压板模态分析中,前5阶模态分析结果见表1,振型云图见图6。

表1 上压板前5阶固有频率

Tab.1 The five-order natural frequencies of up plate

模态阶数	振型	固有频率/Hz
1	板的中间沿y轴上下摆动	1251.6
2	靠中间板的两侧沿y轴摆动	3412.8
3	两端靠中间位置沿y轴摆动	3674.4
4	两端靠中间位置扭转	4299.6
5	两端靠中间位置沿y轴摆动	5693.9

### 4 结构优化设计

通过对上压板的静态与动态分析,得到其主要的受力部位与不受力或者少受力部位,原来的上压板结构完全能够达到所需的功能要求,因此可以通过改进上压板的结构对其进行优化设计,即在达到其使用功能,保证足够的支撑强度的同时,通过优化结构质量

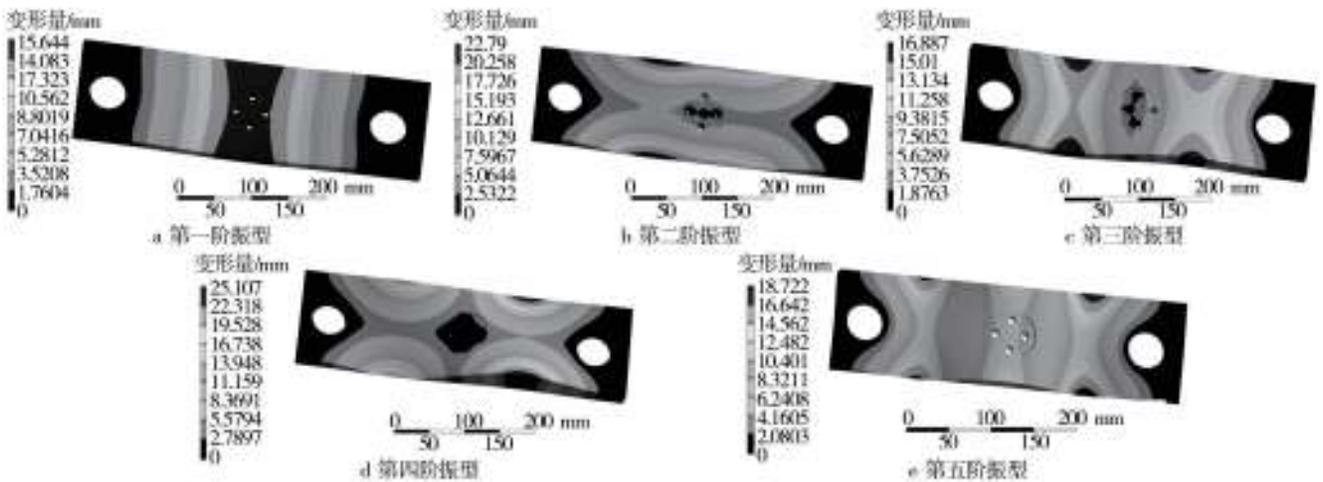


图6 上压板前5阶模态振型

Fig.6 The five-order modal shape of up plate

达到节约成本的目的<sup>[8-10]</sup>。

### 4.1 优化数学模型

优化之前首先要建立上压板的优化数学模型,包括目标函数、约束条件和设计变量的选取。根据罩边机构与上压板的位置可以确定上压板的约束条件,上压板的厚度与结构作为设计的变量,上压板的总质量作为目标函数<sup>[11-13]</sup>,建立优化数学模型:

$$\text{求 } t_1, t_b, \text{ 使 } M = \sum_{i=1}^N m_i^0 \rightarrow \min$$

约束条件:  $\underline{\sigma}_i \leq \sigma_i \leq \overline{\sigma}_i \quad (i=1, 2, \dots, n)$ ,  $\underline{u} \leq u \leq \overline{u}$ ,  $\underline{t}_1 \leq t_1 \leq \overline{t}_1$ ,  $\underline{t}_b \leq t_b \leq \overline{t}_b$ 。

式中:  $t_1$  和  $t_b$  为设计变量,  $M$  为上压板板的总质量;  $\overline{\sigma}_i$  为许用应力上限;  $\underline{\sigma}_i$  为许用应力下限; 选取上压板的厚度  $t_1$ , 宽度  $t_b$  为设计变量, 取设计变量的取值范围为  $1 \leq t_1 \leq 30$ ,  $65 \leq t_b \leq 13$ 。目标函数为这个上压板的质量要求最小。约束条件分别为应力约束和位移约束, 应力约束为  $-200 \text{ MPa} \leq \sigma \leq 200 \text{ MPa}$ , 位移约束为  $-15 \text{ mm} \leq u \leq 15 \text{ mm}$ 。采用 Ansys Workbench 进行求解计算<sup>[13-15]</sup>。

### 4.2 优化结果分析

优化前上压板厚度为 30 mm, 经过优化最终得到其厚度为 19.925 mm; 优化前宽度为 130 mm, 优化后宽度为 94.696 mm; 优化后质量为 94.696 kg。优化后的分析云图和模态振型图见图 7—8。优化后上压板前 5 阶固有频率见表 2。可知, 保证罩边上压板结构能够承受其所受到的压力, 对上压板的厚度和宽度取最小值, 能够提高产品设计的经济性、精

性和安全性。

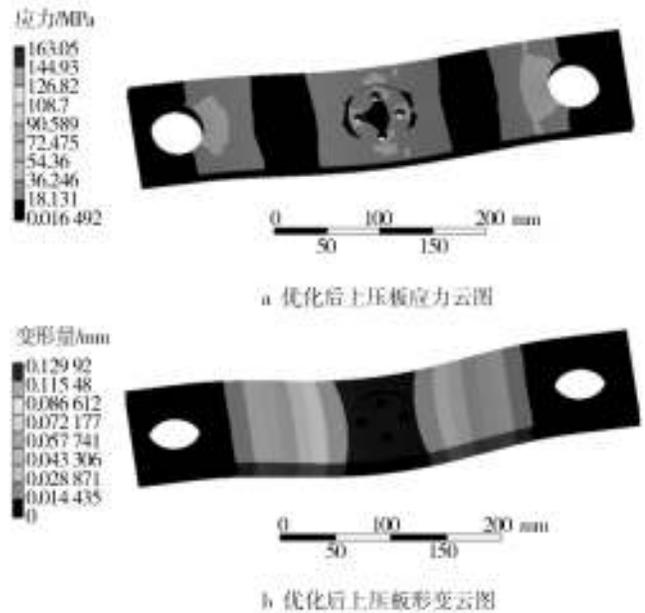


图7 优化后静态结构分析云图

Fig.7 The static structural analysis after optimization

表2 优化后上压板前5阶固有频率

Tab.2 The first five-order natural frequencies after optimization

模态阶数	振型	固有频率/Hz
1	板的中间沿 y 轴上下摆动	915.72
2	两端靠中间位置沿 y 轴摆动	2964.8
3	靠中间板的两侧沿 y 轴摆动	3586.8
4	两端靠中间位置扭转	4094.1
5	两端靠中间位置沿 y 轴摆动	4536.3

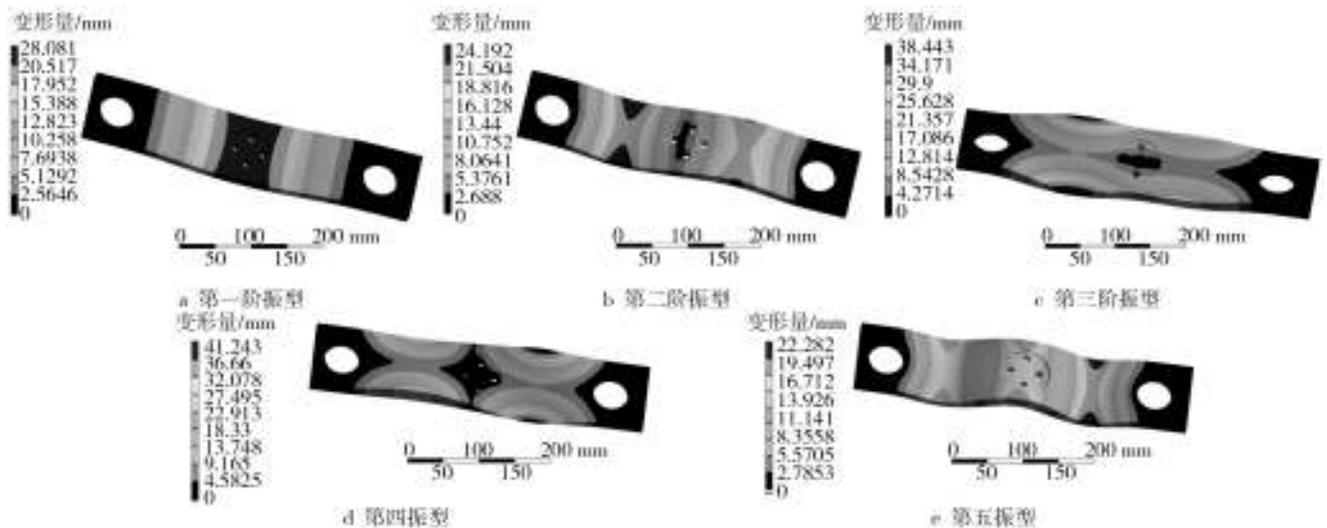


图8 优化后上压板前5阶模态振型

Fig.8 The five - order modal shape of up plate after optimization

## 5 结语

采用 Ansys Workbench 对方罐盖注胶烘干机罩边机构上压板进行建模,保证了模型分析结果的可靠性,通过静态分析与模态分析得出其原尺寸可满足它所需的功能要求。在保证上压板长度不变的情况下,以其厚度和宽度作为设计变量,总质量作为目标函数,对其结构进行优化改进设计。通过对比分析优化前后的罩边上压板结构应力云图与变形云图,以及前5阶振型图,可以看出优化后的模型能够保证总体性能的稳定性。最终得到了罩边机构上压板合理的结构优化,即在满足刚度和强度的前提下,罩边机构上压板的厚度减小了30%,宽度减小了27%,质量减轻了约7.1 kg,节省了材料,减小了质量,节约了成本。

### 参考文献:

- [1] 龚曙光,邱爱红,谢桂兰. 基于有限元分析的零部件优化设计研究与应用[J]. 机械,2002,29(5):23—25.  
GONG Shu-guang, QIU Ai-hong, XIE Gui-lan. The Research and Application of Parts Optimal Design Based on Finite Element Analysis[J]. Machinery, 2002, 29(5): 23—25.
- [2] 张洪才. Ansys14.0理论解析与工程应用实例[M]. 北京:机械工业出版社,2013.  
ZHONG Hong-cai. Ansys 14.0 Theoretical Analysis and Engineering Application[M]. Beijing: China Machine Press, 2013.
- [3] 高德,董静,李军. 基于非线性有限元的瓦楞纸板动态冲击响应的仿真研究[J]. 包装工程,2006,27(8):10—11.  
GAO De, DONG Jing, LI Jun. Research on Simulation of Dynamic Response of Corrugated Board with Nonlinear Finite Element[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(8): 10—11.
- [4] WHITNEY J M. Structural Analysis of Laminated Plates[M]. Lancaster: Technomic Publishing Co., 1987.
- [5] 王妮,赵美宁,孙莎莎. 全自动装箱机抓瓶机构的优化设计[J]. 包装工程,2010,31(23):32—34.  
WANG Ni, ZHAO Mei-ning, SUN Sha-sha. Optimization Design of Bottle Gripping Device of Automatic Packing Machine[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(23): 32—34.
- [6] 吴斌方,熊华. 基于有限元分析的瓦楞机支撑侧板结构优化设计[J]. 包装工程,2014,35(5):62—66.  
WU Bin-fang, XIONG Hua. Structural Optimization of Supporting Panel for Corrugators Based on Finite Element Analysis[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 62—66.
- [7] 朱建萍. 包装机械设计方法研究[J]. 包装工程,2007,28(7):97—99.  
ZHU Jian-ping. On the Design Methods of Packaging Machinery[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 97—99.
- [8] 罗维,李瑞琴. 机构优化设计综述与研究[J]. 现代机械,2011(5):47—50.  
LUO Wei, LI Rui-qin. Summary and Research of Mechanism Optimal Design[J]. Modern Machinery, 2011(5): 47—50.
- [9] 安伟刚. 多目标优化方法研究及其工程应用[D]. 西安:西北工业大学,2005.  
AN Wei-gang. Study on Multi-Objective Optimization and Its Application in Engineering[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2005.
- [10] 丁玉平,钱怡. 基于 Ansys Workbench 的整体包装件动态缓冲特性仿真分析[J]. 包装工程,2014,35(11):18—22.  
DING Yu-ping, QIAN Yi. Dynamic Cushioning Property Simulation Analysis of the Overall Package Based on Ansys Workbench[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11): 18—22.
- [11] FU M C. Optimization for Simulation: Theory VS Practice[J]. Inform Journal on Computing, 2002(14): 192—215.
- [12] 边炳传,彭观明. 方形卧式真空罐的有限元分析及优化设计[J]. 制造业自动化,2007,28(7):97—99.  
BIAN Bing-chuan, PENG Guan-ming. Finite Element Analysis and Optimum Design of Square Horizontal Type Vacuum Tank[J]. Manufacturing Automation, 2007, 28(7): 97—99.
- [13] MARLER R T, ARORA J S. Survey of Multi-Objective Optimization Methods for Engineering[J]. Structural & Multidisciplinary Optimization, 2004, 26(6): 369—395.
- [14] 张洪才. Ansys Workbench14.5数值模拟工程实例解析[M]. 北京:机械工业出版社,2013.  
ZHANG Hong-cai. Ansys Workbench14.5 Numerical Simulation of Engineering Example Analysis[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2013.
- [15] 薛超志,齐元胜,张伟,等. 模切机机架的有限元分析[J]. 包装工程,2011,32(9):63—65.  
XUE Chao-zhi, QI Yuan-sheng, ZHANG Wei, et al. Finite Element Analysis of Die-cutter Frame[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9): 63—65.