

基于 TRIZ 理论的纸盒成型机主轴结构的优化设计

周杨¹, 邓援超¹, 王爱群², 张立¹

(1.湖北工业大学, 武汉 430068; 2.湖北省信息研究院, 武汉 430071)

摘要: **目的** 运用 TRIZ 理论对纸盒成型机主轴结构进行优化设计。**方法** 利用 TRIZ 理论的冲突解决原理对纸盒成型机主轴结构进行分析归纳, 得到相应的创新设计原理和优化方向, 通过分析对比选择最佳的创新原理, 以解决设计中的矛盾, 并利用 TRIZ 理论提供的优化方向对主轴结构进行有限元分析。**结果** 通过 TRIZ 理论得到了纸盒成型机主轴结构的优化方案和方向, 利用有限元仿真软件进一步分析得到了纸盒成型机主轴结构的的最大变形为 0.1796 mm, 通过对纸盒成型机主轴结构最终优化方案的实验验证, 得到主轴结构的最大变形为 0.18 mm, 满足使用要求。**结论** 利用 TRIZ 理论和有限元相结合的方式为纸盒成型机主轴结构的优化设计提供了一种新的思路, 同时也为纸盒成型机主轴结构的进一步优化设计提供了依据。

关键词: TRIZ; 纸盒成型机; 主轴; 优化设计

中图分类号: TB486⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)09-0125-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.09.022

Optimal Design of the Spindle Structure of Carton Forming Machine Based on TRIZ Theory

ZHOU Yang¹, DENG Yuan-chao¹, WANG Ai-qun², ZHANG Li¹

(1. Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China; 2. Hubei Academy of Scientific and Technical Information, Wuhan 430071, China)

ABSTRACT: The work aims to optimize the design of spindle structure of carton forming machine based on the TRIZ theory. The spindle structure of carton forming machine was analyzed and summarized based on the conflicts of the TRIZ theory, to obtain the corresponding innovation design principle and optimization direction. The optimal innovation principle was selected through analysis and comparison to solve the conflicts in the solution design. The optimization design provided by the TRIZ theory was applied to conduct the finite element analysis on the spindle structure. The optimization scheme and direction of the spindle structure of carton forming machine were obtained through the TRIZ theory. The maximum deformation of the spindle structure of the carton forming machine was 0.1796 mm, obtained through the further analysis with the finite element simulation software. The maximum deformation of the spindle structure was 0.18 mm, obtained through the experimental verification of the ultimate optimization scheme of the spindle structure of carton forming machine, which met the usage requirements. A new idea is provided for the optimization design of the spindle structure of carton forming machine by combining the TRIZ theory with the finite element method, and the basis is provided for the further optimization design of the spindle structure of carton forming machine.

KEY WORDS: TRIZ; carton forming machine; spindle; optimal design

TRIZ 即“发明问题解决理论”是由前苏联发明家根里奇·阿奇舒勒带领一批学者对世界上近 250 万份

高水平专利文献加以搜集、研究、整理、归纳、提炼后建立的一套系统化、实用化的解决发明问题的理

收稿日期: 2017-11-27

基金项目: 国家科技部创新方法专项 (2016IM020200-01)

作者简介: 周杨 (1992—), 男, 湖北工业大学硕士, 主攻机械设计及创新。

通信作者: 邓援超 (1963—), 男, 湖北工业大学教授、硕导, 主要研究方向为机械设计理论及实用机械创新。

论、方法和体系^[1-2]。TRIZ 理论在解决问题时有别于常规的方法。常规方法在解决问题时,是将待解决问题直接进行分析和综合后得到最终解决方案,这种方法存在盲目性和离散性,降低了解决问题的效率。TRIZ 理论在解决问题时首先利用系统功能分析和三轴分析法对问题进行分析,其次根据问题的类型利用创新原理、分离方法、知识库和标准解来解决问题,从而得到备选方案,最后通过对备选方案的评价得到问题解的概念方案。这个过程具有明显的方向性,通常能够高效地得到问题的最终解决方案^[3-7]。在工程应用领域,利用 TRIZ 理论成功解决工程问题的案例有很多。夏文涵等^[8]运用 TRIZ 理论对管道机器人进行创新设计,实现了机器人对不同管道的自适应检测。陶义等^[9]运用 TRIZ 理论得到了重型卡车弹簧支架轻量化的设计方案,降低其生产成本,增加了经济效益。张士强^[10]运用 TRIZ 理论提出了一种新型全自动成垛浆粕上料机,替代了人工操作。CEMPEL^[11]等利用 TRIZ 理论的冲突矩阵找到影响机械振动系统的关键参数。YANG^[12]等利用 TRIZ 理论进化法则解决设计问题得到新的想法。

文中将 TRIZ 理论应用于纸盒成型机主轴结构中,对主轴结构进行优化设计,根据 TRIZ 理论提供的方向对主轴结构进行有限元分析,并将得到的最终优化方案应用于实际生产中。

1 纸盒成型机及其主轴结构的介绍

现代包装机械行业中,计算机、通讯和电子消费类产品的包装盒属于高端精品包装盒,这类包装盒主要由牛皮纸和硬纸板 2 部分组成,见图 1。

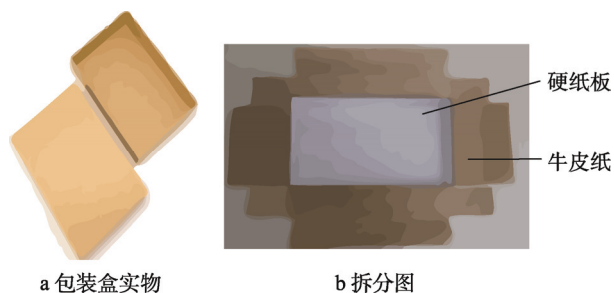


图 1 包装盒
Fig.1 Packaging box

目前国内外对高精度纸盒成型机都有一定的研究,国外的纸盒成型机生产精度可以达到 0.2 mm,国内的沿海地带也对相关设备进行了研究,但在生产精度上与国外还有一定的差距^[13-16]。文中研究的纸盒成型机主要工艺动作包括送纸、上胶、定位贴合、包边成型,结构部分主要包含上糊机、皮带输送机、拼板机、大转盘和铲边折入这几部分,见图 2。

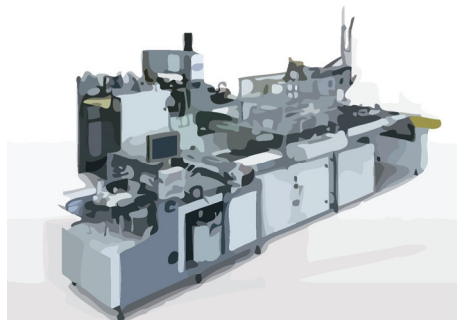


图 2 纸盒成型机
Fig.2 Carton forming machine

主轴结构是纸盒成型机大转盘部分结构中的一部分机械结构,主轴结构在纸盒成型机中的功能是将硬纸板盒子与牛皮纸组合到一起,其外形结构见图 3。加强板固连于旋转机架上,立板固连于加强板上,导轨安装座滑动连接于立板上,导轨安装座与导轨固连,内膜固定在导轨的底端,通过驱动导轨安装座从而实现内膜的上升和下降。

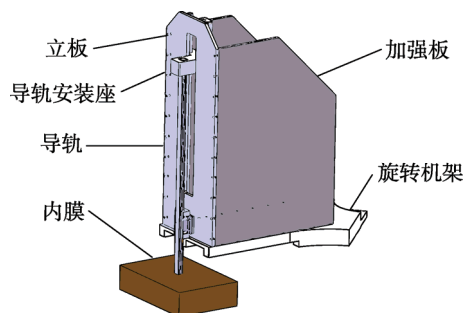


图 3 纸盒成型机主轴结构
Fig.3 Spindle structure of carton forming machine

2 问题分析

2.1 问题描述

如图 4 所示,内膜上吸附有硬纸板盒子后需要下降与其下方的牛皮纸相贴合,但是在实际样机调试过程中发现,硬纸板盒子与牛皮纸贴合时总是出现一定的偏差,这样不仅影响包装盒后续的制作,也会导致最终成型的包装盒的精度达不到使用要求。常规解决精度不足的问题方法是提高零部件的制造精度,但会导致生产成本大幅度增加。综合上面分析,该问题可描述为:下降的硬纸板盒子与牛皮纸贴合位置不准确。

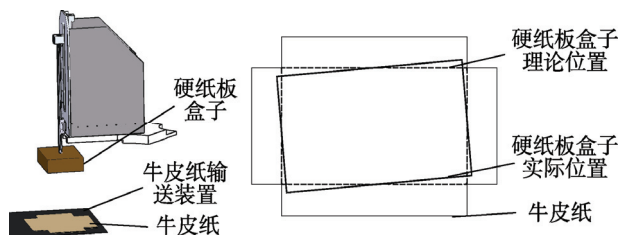


图 4 硬纸板盒子与牛皮纸贴合
Fig.4 Fitting of cardboard box and kraft paper

2.2 系统功能组件分析

组件列表可以回答系统是由哪些组件组成,包括系统作用对象、技术系统组件、子系统组件以及和系统组件发生相互作用的超系统组件。超系统组件有导轨驱动装置、输送机架、牛皮纸输送装置、牛皮纸;系统组件有旋转机架、加强板、立板、导轨安装座、导轨、内膜;作用对象为硬纸板盒子,见图 5。

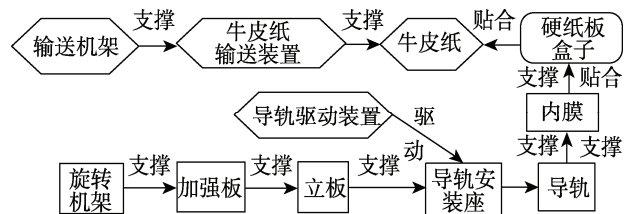


图 5 功能组件分析
Fig.5 Functional component analysis

2.3 因果链分析

因果链分析可以帮助梳理逻辑关系,找到解决问

题的更多突破口。针对问题描述,对当前系统进行因果链分析,得到因果链分析见图 6。

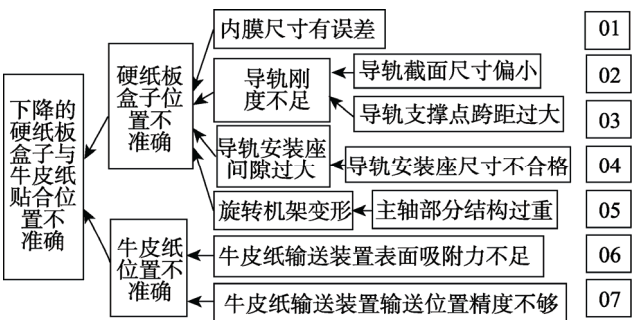


图 6 因果链分析
Fig.6 Causal chain analysis

2.4 资源分析

资源分析可以对详细全面地考察并列出现系统涉及的所有资源有帮助。通过资源分析,会使系统资源更加充分合理地利用,见表 1。

表 1 主轴结构资源分析
Tab.1 Resource analysis of spindle structure

系统	物质资源	能量资源	信息资源	空间资源	时间资源	功能资源
当前系统	主轴升降装置	电能、物理能	声音、震动	安装位置、运行空间	导轨升降运行过程	贴合
系统过去	拼板装置					
系统未来	刷边打耳装置					
超系统	真空系统、纸盒自动成型系统	机械能、温度、电能	声音、震动	纸盒生产厂	运行时间	温度、压力
超系统过去						
超系统未来						
子系统	输送气路	压力、重力	下降速度	体积	下降时间	
子系统过去	纸浆					
子系统未来	纸盒					

3 解决方案

对以上因果链分析的结果进行分析和试验研究。针对 01 号和 04 号原因对内膜尺寸和导轨安装座尺寸分别进行校核,测得其尺寸均满足设计要求;针对 06 号和 07 号原因,通过现场实验表明牛皮纸每次输送的位置均满足要求;针对 03 号原因,由于基本设计尺寸已经确定,支撑点跨距难以改变;02 号原因所描述的内容属于现场样机工作过程中的某种工作状态,可考虑运用 TRIZ 工具对其做进一步的研究;05 号原因是确实存在,样机阶段主轴部分的零部件尺寸偏大,亦可作进一步的讨论。

3.1 技术矛盾解决问题

针对 02 号原因,经功能组件分析及因果链分析,可以理解为主轴部分的导轨下降到设计的位置后由

于悬臂长度较长导致结构刚度不足。改进刚度的问题一般可以缩短导轨下降的长度或改用其他规格的导轨,但由于结构的限制导轨的下降高度不能更改。可以通过改用其他规格的导轨实现,但是导轨的规格发生变化后,会对与导轨相连的零部件的结构造成较大的影响,增加他们的制造难度,因此需要改进导轨部分的刚度,其导致的结果是与导轨相连部分的零部件的制造难度变大,这之间是相互矛盾的。依据 TRIZ 的工具解决技术矛盾问题采用矛盾矩阵表。

需要改善的方面:导轨下降过程中的刚度。恶化的参数:导致与导轨相连部分的零部件的制造难度增加。定义工程参数:改善的工程参数为 No.14 强度;恶化的工程参数为 No.32 可制造性。

查阅矛盾矩阵表,得到 4 种解决问题的发明原理:11 预先防范、3 局部质量、10 预先作用、32 改变颜色。依据 11 号原理,方案 1:可以对牛皮纸输

送装置进行调整,在硬纸板盒子下降过程中,输送装置根据硬纸板盒子下降贴合的位置提前对牛皮纸的位置进行修正。依据3号原理,方案2:改变导轨的截面形状,加大导轨非滑动部分的尺寸,从而在不改变导轨基本安装尺寸的前提下,提高导轨的刚度。方案3:可以对主轴升降装置的导轨进行加强,比如加强筋,但通过上述的资源分析发现系统中输送气路的矩形管可以利用,将输送气路的矩形管与导轨组合实现对导轨的加强作用,从而在尽可能小的改变主轴结构的情况下又能较好地解决主轴导轨的刚度问题。

以上3个方案理论上都能够解决问题,方案1会导致牛皮纸输送装置变得更加复杂,整个系统调整检测复杂,成本较高;方案2需要对导轨的截面进行改变,会增加导轨的制作成本,同时也会导致导轨部分的质量增加;方案3利用系统已有资源输送气路的矩形管,对主轴部分的结构改动较小。故导轨部分采用方案3的方式进行优化。

3.2 结合有限元解决问题

针对05号原因,由功能组件分析得到,主轴部分可以考虑减质量的零部件为加强板,因为内膜、导轨、导轨安装座和立板的尺寸已基本定型,旋转机架本身存在刚度不足的可能,因此可以理解为主轴部分的质量过大,需要减轻结构的质量,由功能组件分析及因果链分析其根本原因是加强板部分的质量过大。由TRIZ提供的思路,可以采用有限元软件对主轴部分的结构进行合理设计。利用有限元中拓扑优化设计模块,对主轴结构进行分析。

为了提高有限元软件分析的效率,对主轴结构中不重要的孔、倒角和非关键的细小结构进行简化处理^[17]。将简化后的模型导入到Workbench中,选择Shape Optimization模块,根据实际情况定义各材料的属性和创建零件之间接触。采用自动划分网格,将主轴结构划分为143 679个节点,83 943个单元。依据主轴结构的受力情况,如图7所示,在A处施加沿z轴正向200 N的载荷,B处施加固定约束。求解后结果见图8,图8中“Remove”对应的区域表示对结构刚度影响较小的可去掉部分,而加强板主要是对主轴结构的加强,因此,可依据分析结果和实际情况对此部分进行优化。

3.3 方案确定

通过以上解决思路,结合样机中的实际情况,对现有主轴结构进行优化处理。加强板部分的结构改成L型结构从而降低结构的重量,减小了机架部分的负载;对导轨部分采用与输送气路矩形管组合的形式,通过矩形管对导轨结构的加强,从而优化了导轨在下降运动过程中的刚度不足的问题,见图9。

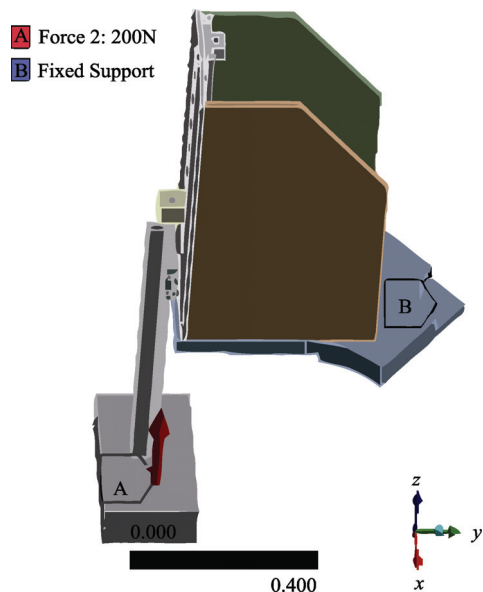


图7 载荷与约束
Fig.7 Loads and constraints



图8 拓扑优化结果
Fig.8 Topology optimization results

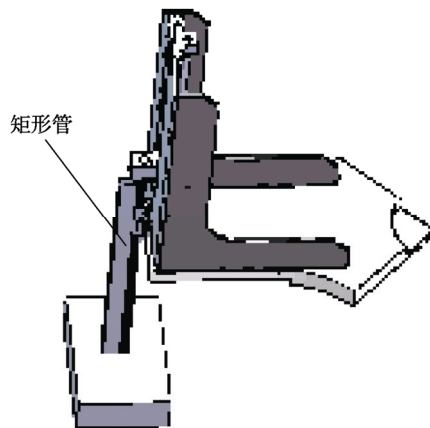


图9 优化后结构
Fig.9 Optimized structure

3.4 方案验证

通过以上 TRIZ 理论的分析及最终解决方案的确定,对主轴结构进行有限元分析,分析结果见图 10,根据设计要求,主轴部分最大变形应小于 0.2 mm,有限元计算结果为 0.1796 mm,同时优化后主轴加强板部分的质量由原来 5.13 kg 变为 2.16 kg,降低了 57.9%,因此由有限元软件分析的结果得到该方案具有可行性。并将该优化方案应用于实际样机中,通过在内膜外侧垂直水平面的适当位置放置一固定导轨,在导轨精加工表面侧放置百分表,沿固定导轨表面上下方向调整百分表的固定位置,分别读取内膜上一定点在内膜工作行程的最高点和最低点的数值,两数值之差即为内膜在上升下降运动过程中的偏差,经多次测试发现主轴内膜上升下降过程中最大偏差为 0.18 mm,即主轴上升下降过程中最大误差为 0.18 mm,通过样机实际制造的纸盒检测发现纸盒的尺寸及外形均满足制造要求。

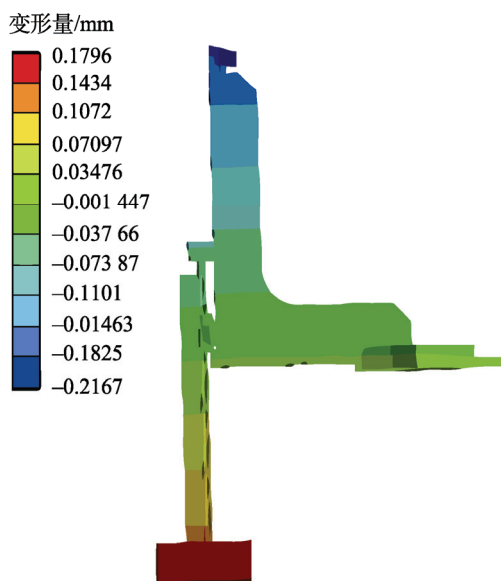


图 10 有限元分析结果
Fig.10 Results of finite element analysis

4 结语

通过对纸盒成型机主轴结构问题的描述和分析,将实际工程问题转化为 TRIZ 问题,运用 TRIZ 的理论方法和相关的工具提出解决问题的方案;利用 TRIZ 提供研究方向,结合有限元,找到了主轴加强板比较合理地优化方案;利用有限元对最终方案进行力学分析,通过有限元的分析验证了方案的可行性,并将最终方案应用于样机中,取得了理想的效果。将 TRIZ 理论创新方法应用在纸盒成型机上,为纸盒成型机的进一步优化工作提供了指导。

参考文献:

- [1] 檀润华. 发明问题解决理论[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
TAN Run-hua. Theory of the Solution of Inventive Problem[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] 刘训涛, 曹贺, 陈国晶. TRIZ 理论及应用[M]. 北京: 北京大学出版社, 2011.
LIU Xun-tao, CAO He, CHEN Guo-jing. The Method and Application of TRIZ[M]. Beijing: Peking University Press, 2011.
- [3] ILEVBAR I M, PROBERT D, PHAAL R. A Review of TRIZ and Its Benefits and Challenges in Practice[J]. Technovation, 2013, 33(2/3): 30—37.
- [4] 根里奇·阿奇舒勒著. 创新算法: TRIZ、系统创新和技术创造力[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
ALTSHULLER G S. The Innovation Algorithm TRIZ、Systematic Innovation and Technical Creativity[M]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology Press, 2008.
- [5] 邢青松, 杨育, 刘爱军, 等. 客户协同设计中基于 QTF 的产品创新方案生成研究[J]. 中国机械工程, 2013, 24(15): 2101—2109.
XING Qing-song, YANG Yu, LIU Ai-jun, et al. Research on Generating Process of Product Innovation Projects Based on QTF in Customer Collaborative Design[J]. China Mechanical Engineering, 2013, 24(15): 2101—2109.
- [6] 刘志峰, 杨明, 张雷. 基于 TRIZ 的可拆卸连接结构设计研究[J]. 中国机械工程, 2010, 21(7): 852—859.
LIU Zhi-feng, YANG Ming, ZHANG Lei. TRIZ Based Design for Disassembly of Joint Structure[J]. China Mechanical Engineering, 2010, 21(7): 852—859.
- [7] 平恩顺, 檀润华, 孙建广. 基于 TRIZ 的机械产品突破性创新设想生产过程研究[J]. 中国机械工程, 2014, 25(18): 2439—2446.
PING En-shun, TAN Run-hua, SUN Jian-guang. Research on Ideas Generation Process for Mechanical Product Radical Innovation Based on TRIZ[J]. China Mechanical Engineering, 2014, 25(18): 2439—2446.
- [8] 夏文涵, 王凯, 李彦, 等. 基于 TRIZ 的管道机器人自适应检测模块创新设计[J]. 机械工程学报, 2016, 52(5): 58—67.
XIA Wen-han, WANG Kai, LI Yan, et al. Innovation Design for Adaptive Detection Module of In-pipe Robot Based on TRIZ[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2016, 52(5): 58—67.
- [9] 陶义, 王宗彦, 吴淑芳, 等. 基于 TRIZ 矛盾分析法重型卡车弹簧支架轻量化设计研究[J]. 机械设计与制造, 2015(3): 188—191.
TAO Yi, WANG Zong-yan, WU Shu-fang, et al. Research on Lightweight Design of Heavy Truck Tractor Front Leaf Spring Stent Based on TRIZ Contradiction Analysis[J]. Machinery Design & Manufacture, 2015(3): 188—191.

- [10] 张士强. 基于 TRIZ 理论的成垛浆粕上料机设计[J]. 包装工程, 2016, 37(23): 135—139.
ZHANG Shi-qiang. Design of Stamping Pulp Feeding Machine Based on TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(23): 135—139.
- [11] CEMPEL C. Application of TRIZ Approach to Machine Vibration Condition Monitoring Problems[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2013, 41(1): 328—334.
- [12] YANG C J, CHEN J L. Forecasting the Design of Eco-products by Integrating TRIZ Evolution Patterns with CBR and Simple LCA methods[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(3): 2884—2892.
- [13] 唐唤清, 吕建华. 我国包装机械的现状与发展趋势[J]. 中国包装工业, 2015(18): 81—82.
TANG Huan-qing, LYU Jian-hua. Present Situation and the Development Trend of Packaging Machinery in Our Country[J]. China Packaging Industry, 2015(18): 81—82.
- [14] 金健. 礼品盒自动成型加工工艺: 中国, 104441760 A[P]. 2015-03-25.
- JIN Jian. Automatic Molding Process of Gift Box: China, 104441760 A[P]. 2015-03-25.
- [15] 唐书喜. 全自动热熔胶封盒机的研究设计[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2015.
TANG Shu-xi. Research and Design of Full-automatic Hot Melt Adhesive Carton Sealer[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, 2015.
- [16] 周卫江. 纸盒包装机的结构设计和分析[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
ZHOU Wei-jiang. Structural Design and Analysis of the Carton Packaging Machinery[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2011.
- [17] 李耀明, 孙朋朋, 庞靖, 等. 联合收获机底盘机架有限元模态分析与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(3): 38—46.
LI Yao-ming, SUN Peng-peng, PANG Jing, et al. Finite Element Mode Analysis and Experiment of Combine Harvester Chassis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(3): 38—46.